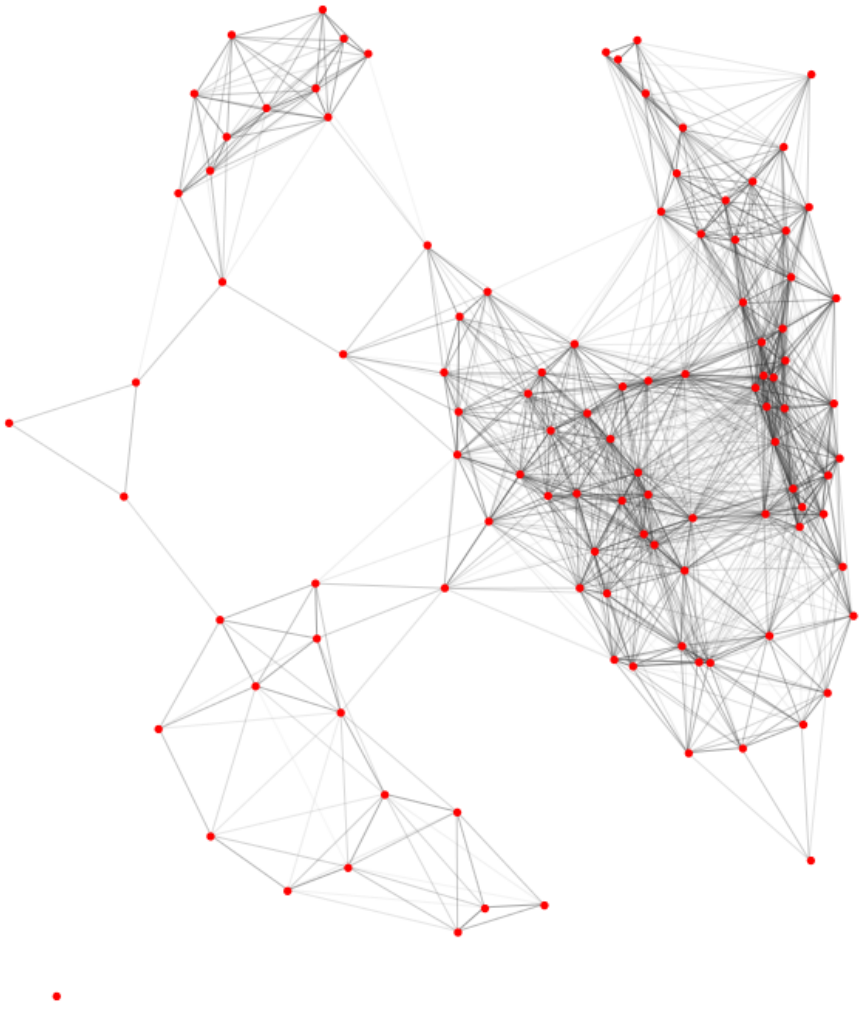
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΙΙΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΓΛΩΣΣΑ – ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Πολυδιάστατες Δομές Σύγκρισης Χώρων: Εννοιολογικά Σχήματα και Μέτρηση Χωρικών Ποιοτήτων

Διδακτορική Διατριβή
Άννα Λάσκαρη



Επιβλέπων
Γ. Παρμενίδης, Καθηγητής ΕΜΠ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΙΙΙ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΓΛΩΣΣΑ - ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

ΠΟΛΥΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΔΟΜΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΧΩΡΩΝ:
ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΧΩΡΙΚΩΝ ΠΟΙΟΤΗΤΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΝΝΑΣ Ν. ΛΑΣΚΑΡΗ

Διπλωματούχου Αρχιτέκτονα Μηχανικού ΕΜΠ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

Γ. Παρμενίδης, Καθηγητής ΕΜΠ (Επιβλέπων)

Δ. Παπαλεξόπουλος, Καθηγητής ΕΜΠ

Π. Σταματόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Γ. Παρμενίδης, Καθηγητής ΕΜΠ (Επιβλέπων)

Ε. Εφεσίου, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Π. Σταματόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

Κ. Μωραϊτης, Καθηγητής ΕΜΠ

Π. Τουρνικιώτης, Καθηγητής ΕΜΠ

Σ. Παπαδόπουλος, Καθηγητής Πανεπ. Θεσσαλίας

Μ. Σαντοριναίος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΑΣΚΤ

ΑΘΗΝΑ, Σεπτέμβριος 2016

Η έγκριση της παρούσας διδακτορικής διατριβής από την επταμελή εξεταστική επιτροπή και τη Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν προϋποθέτει και την αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 202, παράγραφος 2 του Ν.5343/1932

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ θερμά τα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, που με καθοδήγησαν και με στήριξαν ουσιαστικά καθ' όλη την πορεία της έρευνας και της συγγραφής αυτής της διατριβής.

Επιθυμώ να εκφράσω τη βαθύτατη θλίψη μου για την απώλεια του Καθηγητή Δημήτρη Παπαλεξόπουλου, ενός πραγματικού δασκάλου, στον οποίο οφείλω απεριόριστη ευγνωμοσύνη, καθώς από τα χρόνια των προπτυχιακών και μεταπτυχιακών σπουδών μου υπήρξε όχι μόνο σύμβουλος και καθοδηγητής, αλλά και πηγή έμπνευσης, με τη θέρμη, την αγάπη του για το αντικείμενό του και για τους φοιτητές, τη δυναμική και τη σπάνια ανθρώπινη ποιότητά του. Είχα την τύχη να τον έχω πλάι μου μέχρι την ολοκλήρωση αυτής της διατριβής, στην οποία η συμβολή του είναι ανυπολόγιστη.

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Γεώργιο Παρμενίδη, η διεισδυτική σκέψη του οποίου καθόρισε την κατεύθυνση, τη μεθοδολογία και το περιεχόμενο της έρευνας και κυρίως τον τρόπο με τον οποίο βλέπω τα πράγματα.

Ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Παναγιώτη Σταματόπουλο, για την υποστήριξη, την πάντα θετική ματιά του, τη γενναιόδωρη διαθεσιμότητα και τις καίριες και ουσιαστικές παρεμβάσεις του.

Ευχαριστώ την Καθηγήτρια κα. Ειρήνη Εφεσίου, που δέχθηκε να αναλάβει το βαρύ έργο της αντικατάστασης του Δημήτρη Παπαλεξόπουλου στην τριμελή επιτροπή, χωρίς να υπολογίσει το φόρτο που αυτό συνεπάγεται για την ίδια.

Ευχαριστώ το διευθυντή της ομάδας σχεδιαστικής έρευνας Superspace της εταιρίας Woods Bagot και διδάσκοντα στο UCL κ. Christian Derix, που παρακολούθησε εξ' αποστάσεως αλλά συστηματικά την έρευνα και που με την κριτική ματιά και τις σχολαστικές παρατηρήσεις του με ωθούσε να αμφισβητώ και να επαναπροσδιορίζω τις υποθέσεις και τους στόχους μου. Τον ευχαριστώ επίσης για το πλούσιο βιβλιογραφικό υλικό και για την παραχώρηση αλγορίθμου στον οποίο βασίστηκε η εφαρμογή του Νευρωνικού Δικτύου Kohonen.

Ευχαριστώ τέλος τον διδάσκοντα στο UCL και ερευνητή του εργαστηρίου της Space Syntax κ. Sean Hanna, για τη συμβολή του στα πρώτα στάδια διαμόρφωσης της ερευνητικής κατεύθυνσης και ανάπτυξης της αλγοριθμικής προσέγγισης, στα πλαίσια της φοίτησής μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα Adaptive Architecture and Computation στο UCL.

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων 1
Λίστα από Εικόνες 6
Λίστα από Πίνακες 10
Εισαγωγή 11
I. Το αντικείμενο της έρευνας 12
I.i. Υπόθεση 13
I.ii. Στόχος 13
I.iii. Μεθοδολογία 14
I.iv. Σημασία 17
II. Ανασκόπηση μεθόδων προσέγγισης μη περιγράψιμων χωρικών ποιοτήτων 18
II.i. Η αντίληψη της πόλης βάσει της εικονικότητάς της κατά τον Kevin Lynch 18
II.ii. Η προσέγγιση της πόλης μέσω των αστικών συντελεστών από τον Aldo Rossi 20
II.iii. Οι χωρικές δομές ως στοιχεία μιας γλώσσας προτύπων κατά τον Christopher Alexander 22
II.iv. Ανάλυση του χώρου βάσει διατακτικών ιδιοτήτων από τη Space Syntax 24
III. Παράδειγμα εφαρμογής 27
III.i. Ορισμός του μοναδιαίου στοιχείου: Το αστικό κενό 27
III.i.1. Το αστικό κενό ως terrain vague 28
III.i.2. Το αστικό κενό ως γενόσημος χώρος 29
IV. Μεθοδολογία 31
IV.i. Στρατηγική περιγραφής των χωρικών δομών 31
IV.i.1. Προσέγγιση μη περιγράψιμων ιδιοτήτων μέσω πολλαπλών περιγραφικών διαστάσεων 31
IV.i.2. Ποσοτικοποίηση περιγραφικών διαστάσεων 33
IV.i.3. Επιλογή χαρακτηριστικών: Εντοπισμός και μέτρηση ιδιοτήτων 37
IV.ii. Πολυδιάστατα διανύσματα 39
IV.ii.1. Πλήθος διαστάσεων: Αδυναμία εξαντλητικής απαρίθμησης 40
IV.iii. Μείωση διαστάσεων: Κατανομές σημείων 41
IV.iv. Κατηγοριοποίηση 43
V. Στάδια ανάπτυξης της μεθοδολογίας: Δοκιμή, εφαρμογή και αξιολόγηση βάσει πληθυσμιακής, τοπολογικής και εντατικής σκέψης 45
VI. Δομή της εφαρμογής 48
VII. Στάδιο 1: Πιλοτική εφαρμογή. Δοκιμή της μεθοδολογίας σε γνωστό δείγμα 50
VII.i. Πλαίσιο ανάπτυξης της εφαρμογής 50
VII.ii. Μοναδιαίο στοιχείο 51
VII.iii. Μέτρηση χαρακτηριστικών 51
VII.iii.1. Τοπικές ιδιότητες 51

VII.iv. Πολυδιάστατη αναπαράσταση και μείωση διαστάσεων 52
VII.v. Κατηγοριοποίηση: Επιβεβαίωση ετικετών 53
VII.vi. Πληθυσμιακή λογική 53
VIII. Στάδιο 2: Εφαρμογή σε άγνωστο δείγμα 56
VIII.i. Πλαίσιο ανάπτυξης της εφαρμογής 56
VIII.ii. Μοναδιαίο στοιχείο 57
VIII.iii. Κριτήρια κατηγοριοποίησης 58
VIII.iv. Μέτρηση χαρακτηριστικών 58
VIII.iv.1. Τοπικές ιδιότητες 58
VIII.iv.2. Καθολικές ιδιότητες 58
VIII.v. Πολυδιάστατη αναπαράσταση και μείωση διαστάσεων 58
VIII.vi. Κατηγοριοποίηση: Εξαγωγή τυπολογίας μέσω συσταδοποίησης 60
VIII.vi.1. Συσταδοποίηση 60
VIII.vii. Τοπολογική Λογική 61
VIII.viii. Οι χωρικοί τύποι ως γενόσημοι τύποι 62
VIII.ix. Οι χωρικοί τύποι ως μάγματα 63
IX. Στάδιο 3: Εισαγωγή πρόθεσης. Ιεραρχίες βάσει εμπρόθετης απόδοσης βάρους 64
IX.i. Το παραμετρικό μοντέλο 66
IX.ii. Εντατική λογική 68
X. Τα μεθοδολογικά στάδια και η δομή του κειμένου 70
X.i. Επιλογή χαρακτηριστικών: Καταγραφή και ποσοτικοποίηση ιδιοτήτων 70
X.ii. Πολυδιάστατη αναπαράσταση 70
X.iii. Μείωση διαστάσεων 70
X.iv. Συσταδοποίηση και εξαγωγή τυπολογίας 70
X.v. Ιεραρχία: Διαβάθμιση ιδιοτήτων και ανακατανομή συσχετισμών 71
X.vi. Η δομή του κειμένου 71
Κεφάλαιο 1 73
1. Τα δεδομένα: Ορισμός της χωρικής μονάδας και της περιοχής μελέτης, χαρτογράφηση και δημιουργία της αρχικής βάσης δεδομένων 73
1.1. Χωρική αναπαράσταση μέσω κάτοψης 73
1.2. Μορφοποίηση της κάτοψης 75
1.3. Βάση δεδομένων της πιλοτικής εφαρμογής 75
1.4. Βάση δεδομένων της κυρίως εφαρμογής 78
Κεφάλαιο 2 81
2. Μετρήσεις πολλαπλών ιδιοτήτων: Επιλογή και ποσοτικοποίηση χαρακτηριστικών 81
2.1. Ανασκόπηση μεθόδων χωρικής ανάλυσης βάσει χαρακτηριστικών της κάτοψης 81
2.1.1. Μετρήσιμα χαρακτηριστικά κατόψεων και χωρική εμπειρία 81
2.1.2. Μετρήσιμα χαρακτηριστικά κατόψεων και ταξινόμηση χώρων 83
2.2. Είδη μετρήσεων 84

2.2.1. Τάξεις ιδιοτήτων: Μετρικά, γεωμετρικά, τοπολογικά χαρακτηριστικά 84
2.2.2. Κλίμακα ιδιοτήτων: Τοπικά και καθολικά χαρακτηριστικά 85
2.2.3. Τύποι δεδομένων 85
2.2.4. Κλίμακες δεδομένων 86
2.3. Μετρήσεις πολλαπλών ιδιοτήτων βάσει αλγοριθμικών τεχνικών 87
2.4. Τοπικά χαρακτηριστικά 88
2.4.1. Μετρικά μεγέθη 88
2.4.2. Γεωμετρικά μεγέθη. Φρακταλική ή μορφοκλασματική διάσταση 97
2.4.3. Τοπολογικά – Συντακτικά μεγέθη 121
2.5. Καθολικά χαρακτηριστικά 146
2.5.1. Ανάλυση σε επίπεδο δικτύου. Συνδεσιμότητα και κεντρικότητα 146
2.5.2. Το δίκτυο των αδόμητων χώρων 147
2.5.3. Απόδοση συνδεσιμότητας με όρους διαβαθμισμένου βαθμού [weighted degree] 149
2.6. Αποτελέσματα μετρήσεων 158
2.6.1. Κλίμακες ανάλυσης 158
2.6.2. Πιλοτική εφαρμογή 158
2.6.3. Κυρίως εφαρμογή 174
Κεφάλαιο 3 181
3. Πολυδιάστατη αναπαράσταση 181
3.1. Πολλαπλότητα μετρήσεων 181
3.2. Αναπαράσταση πολυδιάστατων δεδομένων σε τρεις διαστάσεις 182
3.3. Πολυδιάστατη αναπαράσταση: Πολυδιάστατα διανύσματα και χώρος ιδιοτήτων 183
3.3.1. Ευκλείδεια απόσταση ως μέτρο διαφοράς 184
3.3.2. Αναπαράσταση του πολυδιάστατου χώρου ιδιοτήτων 184
Κεφάλαιο 4 187
4. Μείωση διαστάσεων 187
4.1. Οπτικοποίηση δεδομένων 187
4.1.1. Η σημασία της οπτικοποίησης δεδομένων για την κατανόηση της δομής τους 187
4.1.2. Οπτικοποίηση πολυδιάστατων δεδομένων: Ανάγκη μείωσης διαστάσεων 188
4.2. Μείωση Διαστάσεων 188
4.2.1. Μέθοδοι μείωσης διαστάσεων 189
4.2.2. Επιλογή μεθόδου μείωσης διαστάσεων 191
4.3. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών [Principal Component Analysis (PCA)] 193
4.3.1. Αλγεβρικοί και γεωμετρικοί ορισμοί και χαρακτηριστικά 194
4.3.2. Ιστορία 197
4.3.3. Εφαρμογές 197
4.3.4. Υπολογισμός Κυρίων Συνιστωσών 203
4.3.5. Περιγραφή του αλγορίθμου 203

4.3.6. Περιορισμοί στην εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών και παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις 206
4.3.7. Επιλογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών 213
4.3.8. Εφαρμογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών 221
4.3.9. Παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα 224
4.3.10. Περιγραφή εφαρμογών και αποτελέσματα 227
4.4. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα: Μείωση διαστάσεων με τη χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων Kohonen 242
4.4.1. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα [Artificial Neural Networks (ANN)] 242
4.4.2. Είδη Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων και επιλογή μεθόδου 250
4.4.3. Νευρωνικά Δίκτυα Kohonen ή Αυτοοργανωνόμενοι Χάρτες [Self Organising Maps (SOM)] 252
4.4.4. Εφαρμογές του Αυτοοργανωνόμενου Χάρτη 257
4.4.5. Αρχές λειτουργίας του Αυτοοργανωνόμενου Χάρτη 260
4.4.6. Γενική περιγραφή του αλγορίθμου 261
4.4.7. Περιορισμοί στην εφαρμογή της μεθόδου και παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα 263
4.4.8. Εφαρμογή: Ο αλγόριθμος 273
4.5. Συστήματα Σωματιδίων - Ελατηρίων: Μείωση διαστάσεων με τη χρήση Προσομοίωσης Συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων 284
4.5.1. Προσομοίωση Συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων [Particle - Springs System simulation] 284
4.5.2. Εφαρμογές 287
4.5.3. Εφαρμογή: Ο αλγόριθμος 292
Κεφάλαιο 5 301
5. Συσταδοποίηση: Κατηγοριοποίηση και εξαγωγή χωρικών τύπων 301
5.1. Ανάλυση Συστάδων [Cluster Analysis] 301
5.1.1. Το πρόβλημα της συσταδοποίησης 301
5.1.2. Ορισμός της συστάδας 302
5.1.3. Η Ανάλυση Συστάδων ως ανεπίβλεπτη κατηγοριοποίηση 303
5.2. Λογικές κατηγοριοποίησης 304
5.2.1. Αποκλειστική, μη αποκλειστική και ασαφής κατηγοριοποίηση 305
5.2.2. Ενδογενής και εξωγενής κατηγοριοποίηση 306
5.2.3. Ιεραρχική και διαχωριστική κατηγοριοποίηση 306
5.2.4. Πλήρης και μερική κατηγοριοποίηση 307
5.3. Συσταδοποίηση: Αποκλειστική, ενδογενής κατηγοριοποίηση 308
5.3.1. Αλγόριθμοι Ανάλυσης Συστάδων 308
5.3.2. Τύποι συστάδων 309
5.4. Εφαρμογή: Διαδικασία συσταδοποίησης 311
5.4.1. Βήμα 1. Από το νέφος σημείων στο γράφο εγγύτητας 311

5.4.2. Βήμα 2. Ανάλυση Συστάδων μέσω βελτιστοποίησης της δομοστοιχείωσης 316
5.4.3. Τελική συσταδοποίηση. Συνδυασμός αποτελεσμάτων 328
5.4.4. Ερμηνεία συσταδοποίησης βάσει εσωτερικών κριτηρίων 330
5.5. Γενόσημοι χωρικοί τύποι 335
5.6. Οι χωρικοί τύποι ως μάγματα 336
5.6.1. Ιδιότητες των μαγμάτων 337
5.6.2. Εκ των υστέρων περιγραφή 339
Κεφάλαιο 6 341
6. Εισαγωγή ιεραρχίας βάσει της εμπρόθετης απόδοσης βαρών 341
6.1. Περιγραφή των τύπων βάσει της αναγνώρισης κοινών υποσυνόλων χαρακτηριστικών 342
6.2. Οι χωρικοί τύποι ως Ομοιοστατικές Συστάδες Ιδιοτήτων 344
6.2.1. Ορισμός ειδών Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων 344
6.2.2. Χαρακτηριστικά των χωρικών τύπων ως Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων 346
6.3. Εφαρμογή: Απόδοση βαρών 357
6.3.1. Επεξηγηματικός ορισμός: Εντοπισμός χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του κάθε τύπου 357
6.3.2. Ανάγκη ιεράρχησης ιδιοτήτων 358
6.3.3. Πολλαπλά κριτήρια 359
6.3.4. Εισαγωγή ιεραρχιών: Διαβάθμιση των ιδιοτήτων και ανάθεση βαρών 359
6.3.5. Το παραμετρικό μοντέλο 360
6.3.6. «Μονάδα μέτρησης» τύπων Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων 363
6.3.7. Περιορισμοί 363
6.3.8. Υπο-συστάδες ιδιοτήτων: Χωρικές ποιότητες ως Ομοιοστατικές Συστάδες Ιδιοτήτων 365
Συμπεράσματα 369
I. Ανακεφαλαίωση της έρευνας 369
II. Συμπεράσματα 370
II.i. Τα μέρη: Είδος διαστάσεων 370
II.ii. Το σύνολο: Πολλαπλότητα συσχετισμών 371
II.iii. Πολλαπλότητα περιγραφικών διαστάσεων 372
II.iv. Πολυδιάστατος αναπαραστατικός χώρος 372
II.v. Μείωση διαστάσεων 373
II.vi. Συσταδοποίηση 373
II.vii. Ιεραρχίες 374
II.viii. Συνδυασμός υφιστάμενων μεθόδων 374
II.ix. Μεταγραφές μεταξύ αναπαραστατικών χώρων διαφορετικού πλήθους διαστάσεων 375
II.x. Επίλογος 376
Πιθανές προεκτάσεις και εφαρμογές 377

I. Χωρική ανάλυση 377
I.i. Επέκταση λειτουργικότητας του αναλυτικού εργαλείου 377
I.ii. Αναζήτηση συσχέτισης χωρικών τύπων με μη χωρικά στοιχεία 378
II. Υποστήριξη της σχεδιαστικής διαδικασίας 379
II.i. Κατανομή νέων χρήσεων: Αντιστοίχιση γενόσημων λειτουργικών τύπων με γενόσημους χωρικούς τύπους 379
II.i.1. Τύποι χρήσεων 379
II.i.2. Γενόσημοι λειτουργικοί τύποι 380
II.i.3. Απόδοση γενόσημων λειτουργικών τύπων σε γενόσημους χωρικούς τύπους. Έκφραση του σχεδιαστικού προγράμματος συναρτήσει των μετρήσεων 381
II.i.4. Χρήση του παραμετρικού μοντέλου ως συμμετοχικής πλατφόρμας 382
II.ii. Προσδιορισμός επιθυμητών χωρικών ποιοτήτων 383
II.ii.1. Εφαρμογή σε δείγμα υφιστάμενων χώρων για συγκριτική ανάλυση και την αναζήτηση επιθυμητών ποιοτήτων 383
II.ii.2. Κατηγοριοποίηση ανάλογα με την ομοιότητα με υφιστάμενα παραδείγματα που εμφανίζουν επιθυμητές ιδιότητες 383
II.iii. Κατηγοριοποίηση ενός συνόλου προτεινόμενων λύσεων 384
Βιβλιογραφία 387
Παράρτημα 403
I. Πίνακες ιδιοτήτων 403
II. Φρακταλική διάσταση 427
III. Συνδεσιμότητα 452
IV. Ανάλυση αποτελεσμάτων 470

Λίστα από Εικόνες

Εικόνα 1 - 1. Το αστικό κενό ως το αρνητικό του δομημένου χώρου εντός του οικοδομικού τετραγώνου 73
Εικόνα 1 - 2. Περιοχές μελέτης της πιλοτικής εφαρμογής 75
Εικόνα 1 - 3. Το οικοδομικό τετράγωνο ως σύνολο επιμέρους δομημένων και αδόμητων χώρων. 76
Εικόνα 1 - 4. Το δείγμα: Οικοδομικά τετράγωνα από τις πέντε περιοχές μελέτης 78
Εικόνα 1 - 5. Η περιοχή μελέτης και τα οικοδομικά τετράγωνα που αποτελούν το δείγμα των Πατησίων 78
Εικόνα 1 - 6. Το δείγμα: Αριθμημένα αστικά κενά της περιοχής των Πατησίων 79
Εικόνα 2 - 1. Διαφορετικές μέθοδοι χαρτογράφησης της Space Syntax (Hillier & Hanson, 1984: 90, 91, 92, 100, 104) 82
Εικόνα 2 - 2. E-spaces (Peponis et al, 1997: 774, 775) 82
Εικόνα 2 - 3. Τιμές συνδεσιμότητας (Psarra & Grajewski, 2001: 4, 12) 83
Εικόνα 2 - 4. Q-codes και σημειολογικά γραφήματα (Gero & Jupp, 2003: 8, Jupp & Gero, 2003: 4) 83

Εικόνα 2 - 5. Αντικειμενικές αξίες για τις τέσσερις περιοχές της Αθήνας (βάσει των Πινάκων Αντικειμενικών Αξιών του Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών) 90

Εικόνα 2 - 6. Μεγέθη που αναφέρονται στους όρους δόμησης για τις τέσσερις περιοχές της Αθήνας (Διεύθυνσης Πολεοδομίας Δήμου Αθηναίων, 2007) 91

Εικόνα 2 - 7. Υφιστάμενα ύψη κτιρίων για τις τέσσερις περιοχές της Αθήνας (Εργαστήριο Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών του Τομέα Πολεοδομίας και Χωροταξίας της Σχολής Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ) 92

Εικόνα 2 - 8. Φρακταλικά χαρακτηριστικά γοτθικής ναοδομίας (Lorenz, 2003) 99

Εικόνα 2 - 9. Φρακταλική προσομοίωση της αστικής ανάπτυξης της πόλης του Cardiff (Batty & Longley, 1994) 100

Εικόνα 2 - 10. Ανάλυση κατόψεων και όψεων βάσει φρακταλικού ρυθμού και φρακταλικής διάστασης (Bovill, 1996) 100

Εικόνα 2 - 11. Box-counting σε Processing 102

Εικόνα 2 - 12. Ομαλά και αποκλίνοντα αποτελέσματα αρίθμησης κουτιών (Lorenz, 2003: 122) 103

Εικόνα 2 - 13. Παράδειγμα γραφικού και προσεγγιστικού υπολογισμού φρακταλικής διάστασης 104

Εικόνα 2 - 14. Επίδραση του προσανατολισμού της κάτοψης στη φρακταλική διάσταση 106

Εικόνα 2 - 15. Παράδειγμα μέτρησης της φρακταλικής διάστασης στην πιλοτική εφαρμογή 108

Εικόνα 2 - 16. Επίδραση διαφορετικών μορφοποιήσεων της γραφικής απόδοσης της κάτοψης στη φρακταλική διάσταση 109

Εικόνα 2 - 17. Επίδραση ανάγνωσης χρώματος στη φρακταλική διάσταση 111

Εικόνα 2 - 18. Επίδραση πλήθους κελιών κανάβου στη φρακταλική διάσταση 115

Εικόνα 2 - 19. Παράδειγμα χώρου με φρακταλική διάσταση μικρότερη της μονάδας 116

Εικόνα 2 - 20. Χώροι με φρακταλική διάσταση μικρότερη της μονάδας: Παρατήρηση μετρήσεων ως προς άλλα χαρακτηριστικά 118

Εικόνα 2 - 21. Υπολογισμός φρακταλικής διάστασης βάσει εικόνας (bitmap) και διανυσματικής γεωμετρίας (vector) 120

Εικόνα 2 - 22. Διαφορετικές χαρτογραφήσεις της χωρικής συνδεσιμότητας 123

Εικόνα 2 - 23. Μετρήσεις συνδεσιμότητας σε Processing 125

Εικόνα 2 - 24. Κατανομή συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου και μέση συνδεσιμότητα για διαφορετικούς βαθμούς απόκρυψης και συμμετρίας (Psarra & Grajewski, 2001: 4) 127

Εικόνα 2 - 25. Υπολογισμός h-value 129

Εικόνα 2 - 26. Οπτική διαπερατότητα από το δρόμο 131

Εικόνα 2 - 27. Μετρήσεις συνδεσιμότητας κατόψεων με συνεχές περίγραμμα, χωρίς εσωτερικές υποδιαιρέσεις και ασυνέχειες (Psarra, 2003: 10) 133

Εικόνα 2 - 28. Συνδεσιμότητα περιμέτρου με εσωτερικά εμπόδια 134

Εικόνα 2 - 29. Υπολογισμός θέσης σημείου με συνδεσιμότητα ίση με τη μέση συνδεσιμότητα 137

Εικόνα 2 - 30. Παραδείγματα υπολογισμού συνδεσιμότητας με όρους οπτικής διαπερατότητας από το δρόμο 139

Εικόνα 2 - 31. Παράδειγμα μετήσεων συνδεσιμότητας για το αστικό κενό 1651 142

Εικόνα 2 - 32. Επεξήγηση υπολογισμού οπτικής διαπερατότητας από το δρόμο σε μια απλή διάταξη τετραγωνικής κάτοψης 143

Εικόνα 2 - 33. Οι τρεις βασικοί τύποι ή ιεραρχικές τάξεις αδόμητων χώρων στην περιοχή των Πατησίων 148

Εικόνα 2 - 34. Χάρτης συνδεσιμότητας όλων των αδόμητων χώρων 150

Εικόνα 2 - 35. Γράφος συνδεσιμότητας όλων των αδόμητων χώρων 151

Εικόνα 2 - 36. Γράφος διαβαθμισμένης συνδεσιμότητας των αστικών κενών 153

Εικόνα 2 - 37. Χάρτης διαβαθμισμένης συνδεσιμότητας των αστικών κενών 154

Εικόνα 2 - 38. Ενδιάμεση Κεντρικότητα 155

Εικόνα 2 - 39. Κεντρικότητα Εγγύτητας 155

Εικόνα 2 - 40. Εκκεντρικότητα 156

Εικόνα 2 - 41. Σύγκριση μετρήσεων κατόψεων με οπτικές ομοιότητες 164

Εικόνα 2 - 42. Φρακταλική διάσταση: Διατεταγμένο γράφημα και βασικά στατιστικά μεγέθη για κάθε περιοχή 165

Εικόνα 2 - 43. Συνδεσιμότητα: Διατεταγμένα γραφήματα των τιμών συνδεσιμότητας για κάθε περιοχή 166

Εικόνα 2 - 44. Ιδιότητες αδόμητων χώρων: Διατεταγμένα γραφήματα μετρήσεων που αφορούν στα αδόμητα τμήματα των οικοδομικών τετραγώνων για κάθε περιοχή 167

Εικόνα 2 - 45. Ιδιότητες αδόμητων χώρων: Χαρακτηριστικοί αδόμητοι χώροι 167

Εικόνα 2 - 46. Ιδιότητες δομημένων χώρων: Διατεταγμένα γραφήματα μετρικών ιδιοτήτων των δομημένων χώρων των οικοδομικών τετραγώνων 168

Εικόνα 2 - 47. Γραφήματα διασποράς τιμών συνδεσιμότητας προς συνολική μέση συνδεσιμότητα 169

Εικόνα 2 - 48. Γραφήματα διασποράς τιμών συνδεσιμότητας ανα ζεύγη 170

Εικόνα 2 - 49. Γραφήματα διασποράς τιμών συνδεσιμότητας προς φρακταλική διάσταση 171

Εικόνα 2 - 50. Γραφήματα διασποράς μετρικών ιδιοτήτων προς φρακταλική διάσταση 173

Εικόνα 2 - 51. Γραφήματα διασποράς περιμέτρου αδόμητων χώρων προς τιμές συνδεσιμότητας 173

Εικόνα 4 - 1. Κατηγοριοποίηση κατόψεων κτιρίων βάσει Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών των Φασμάτων Αξονικών Χαρτών των κατόψεων (Hanna, 2007c: 10 - 11) 198

Εικόνα 4 - 2. Φάσματα Αξονικών Χαρτών (Hanna, 2007a: 6, 2007b: 216) 198

Εικόνα 4 - 3. Αξονικοί χάρτες δύο δειγμάτων 199

Εικόνα 4 - 4. Γραφική αναπαράσταση των Φασμάτων Αξονικών Χαρτών του δείγματος ως προς τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες 201

Εικόνα 4 - 5. Φασματική ανάλυση και μετρικά χαρακτηριστικά 202

Εικόνα 4 - 6. Συσχετίσεις των τριών πρώτων Κυρίων Συνιστωσώντης φασματικής ανάλυσης με όλες τις μετρήσεις 202

Εικόνα 4 - 7. Ομοιότητες φασματικής ανάλυσης με την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών μετρικών χαρακτηριστικών 203

Εικόνα 4 - 8. Προβολή δεδομένων στις δύο πρώτες Κύριες Συνιστώσες 227

Εικόνα 4 - 9. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το δείγμα από την Αθήνα 230

Εικόνα 4 - 10. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το δείγμα από την Αθήνα και το Λονδίνο 231
Εικόνα 4 - 11. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το σύνολο του δείγματος 233
Εικόνα 4 - 12. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το δείγμα από το Λονδίνο και κάθε ένα από τα δείγματα της Αθήνας 234
Εικόνα 4 - 13. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το δείγμα από το Λονδίνο και το δείγμα από το Μουσείο 235
Εικόνα 4 - 14. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το δείγμα από τα Πατήσια 236
Εικόνα 4 - 15. Σχέση Κυρίων Συνιστωσών με τις αρχικές μεταβλητές 237
Εικόνα 4 - 16. Πρώτη Κύρια Συνιστώσα και μέγεθος 238
Εικόνα 4 - 17. Δεύτερη Κύρια Συνιστώσα και ανοιχτότητα 239
Εικόνα 4 - 18. Τρίτη Κύρια Συνιστώσα και συνδεσιμότητα 240
Εικόνα 4 - 19. Σχηματική λειτουργία του Αυτοοργανωνόμενου Χάρτη 262
Εικόνα 4 - 20. Μορφή κανάβου: Ορθογωνική και εξαγωνική διάταξη 265
Εικόνα 4 - 21. Μορφή κανάβου: Επίπεδη και κυκλική διάταξη 266
Εικόνα 4 - 22. Ρύθμιση παραμέτρων και συναρτήσεων προσαρμογής του χάρτη 274
Εικόνα 4 - 23. Οπτικοποίηση του χάρτη 279
Εικόνα 4 - 24. Διαδοχικά στάδια της διαδικασίας χαρτογράφησης 281
Εικόνα 4 - 25. Συνεκτικότητα αποτελεσμάτων 282
Εικόνα 4 - 26. Χαρτογράφηση γνωστού δείγματος πιλοτικής εφαρμογής 283
Εικόνα 4 - 27. Αρχικοποίηση του συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων 294
Εικόνα 4 - 28. Σχηματική λειτουργία και τελική κατάσταση του συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων 296
Εικόνα 4 - 29. Παραγόμενος γράφος: Δημιουργία συνδέσεων βάσει απόστασης 299
Εικόνα 4 - 30. Οπτικοποίηση στο χάρτη της περιοχής 300
Εικόνα 5 - 1. Συσταδοποίηση γράφου (Newman, 2006: 8577) 303
Εικόνα 5 - 2. Δέντρο τύπων κατηγοριοποίησης 305
Εικόνα 5 - 3. Διευρυμένο δέντρο τύπων κατηγοριοποίησης 308
Εικόνα 5 - 4. Γράφος εγγύτητας από πλήρη γράφο 314
Εικόνα 5 - 5. Γράφοι εγγύτητας από νέφη σημείων 316
Εικόνα 5 - 6. Διάγραμμα των φάσεων λειτουργίας του αλγορίθμου Louvain (Blondel et al, 2008: 1003) 320
Εικόνα 5 - 7. Ανάλυση Συστάδων 322
Εικόνα 5 - 8. Κατανομή των χωρικών τύπων στο χάρτη της περιοχής 323
Εικόνα 5 - 9. Πίνακες δομοστοιχείωσης 325
Εικόνα 5 - 10. Διαγράμματα κατανομής των στοιχείων σε συστάδες (pie charts) 326
Εικόνα 5 - 11. Πίνακες κατανομής των στοιχείων σε συστάδες 327
Εικόνα 5 - 12. Αντιστοιχία συστάδων διαφορετικής κλίμακας 328
Εικόνα 5 - 13. Πίνακες κατανομής των στοιχείων σε συστάδες και συνδυασμός τους στην τελική συσταδοποίηση 329

Εικόνα 5 - 14. Κατανομή των τελικών χωρικών τύπων στο χάρτη της περιοχής 329

Εικόνα 6 - 1. Ανάθεση βαρών και ανακατανομή συσχετισμών 360

Εικόνα 6 - 2. Διαφορετικοί σχηματισμοί βαρών διαχωρίζουν και περιγράφουν σαφέστερα συγκεκριμένους τύπους 363

Εικόνα 6 - 3. Εναλλακτικές περιγραφές του ίδιου τύπου 365

Λίστα από Πίνακες

Πίνακας 2 - 1 Μετρήσεις που αναφέρονται στην υφιστάμενη κατάσταση 94

Πίνακας 2 - 2 Ανάθεση βάρους σε κάθε σύνδεση ανάλογα με τον τύπο των διασυνδεόμενων χώρων 150

Πίνακας 2 - 3 Κατανομή φρακταλικής διάστασης και μέσης συνδεσιμότητας 163

Πίνακας 2 - 4 Συσχετιζόμενα μεγέθη 176

Πίνακας 4 - 1 Ιδιοτιμές 225

Πίνακας 4 - 2 Φόρτιση Συντελεστών για τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες 226

Πίνακας 4 - 3 Φόρτιση Συντελεστών για όλες τις Κύριες Συνιστώσες του δείγματος από την Αθήνα 229

Πίνακας 4 - 4 Φόρτιση Συντελεστών για όλες τις Κύριες Συνιστώσες του δείγματος από την Αθήνα και το Λονδίνο 232

Πίνακας 4 - 5 Φόρτιση Συντελεστών για όλες τις Κύριες Συνιστώσες του δείγματος των Πατησίων 240

Πίνακας 4 - 6 Διαγράμματα Διασποράς μετρήσεων με μεγάλη Φόρτιση Συντελεστών (>0.8) για μία από τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες, προς την αντίστοιχη Συνιστώσα 241

Πίνακας 5 - 1 Διατεταγμένα διαγράμματα κατανομής των τιμών των μετρήσεων ανά συστάδα 334

Πίνακας I - 1 Πίνακες ιδιοτήτων πιλοτικής εφαρμογής 412

Πίνακας I - 2 Πίνακες ιδιοτήτων κυρίως εφαρμογής 426

Πίνακας II - 1 Φρακταλική διάσταση κατόψεων πιλοτικής εφαρμογής 436

Πίνακας II - 2 Φρακταλική διάσταση κατόψεων κυρίως εφαρμογής 447

Πίνακας II - 3 Αστικά κενά με φρακταλική διάσταση μικρότερη της μονάδας (κυρίως εφαρμογή) 451

Πίνακας III - 1 Συνδεσιμότητα κατόψεων πιλοτικής εφαρμογής (δείγμα) 456

Πίνακας III - 2 Συνδεσιμότητα κατόψεων κυρίως εφαρμογής 464

Πίνακας III - 3 Συνδεσιμότητα κατόψεων κυρίως εφαρμογής με όρους οπτικής διαπερατότητας από το δρόμο 469

Πίνακας IV - 1 Συνολικά στατιστικά χαρακτηριστικά μετρήσεων 470

Πίνακας IV - 2 Συσχετίσεις μετρήσεων πιλοτικής εφαρμογής 470

Πίνακας IV - 3 Συσχετίσεις μετρήσεων κυρίως εφαρμογής 471

Πίνακας IV - 4 Διαγράμματα διασποράς όλων των μετρήσεων ανά ζεύγη, πιλοτική εφαρμογή 472

Πίνακας IV - 5 Διαγράμματα διασποράς όλων των μετρήσεων ανά ζεύγη, κυρίως εφαρμογή 473

Εισαγωγή

Οι χωρικές διατάξεις γίνονται αντιληπτές μέσω μιας πληθώρας ποικίλων περιγραφών της φυσικής μορφής και δομής τους. Η αντίληψη του χώρου μέσω πολλαπλών περιγραφών περιλαμβάνει και προϋποθέτει τη θεώρηση πολυεπίπεδων ερμηνειών, αξιολογήσεων, διακρίσεων και κατηγοριοποιήσεων[1]. Διαφορετικά κριτήρια αποκαλύπτουν διαφορετικούς συσχετισμούς, αντιστοιχώντας σε εξίσου έγκυρες προσεγγίσεις σχέσεων και κατηγοριών[2]. Ιδιαίτερα στην περίπτωση σχεδιασμένων χωρικών οργανώσεων, όπου η ιδεολογία και η προθετικότητα είναι καθοριστικές, οι περιγραφές και οι διακρίσεις συχνά εφαρμόζουν προκαθορισμένους όρους και ονόματα και ρητά κριτήρια, που υποδεικνύονται από την εκάστοτε εμπρόθετη επίδοση ιδιοτήτων στα στοιχεία του υλικού και εννοιολογικού πεδίου που ορίζουν το δομημένο περιβάλλον[3].

Οι χωρικές διατάξεις, μέσω της υλικής παρουσίας των πραγμάτων, διαμορφώνοντας συγκεκριμένες οργανώσεις δυνατών κινήσεων, θεάσεων και θέσεων, ορίζουν ένα οργανωμένο πεδίο σχέσεων[4]. «Ο χώρος σχηματίζεται ως πεδίο δυνατών κινήσεων και με τη σειρά τους οι κινήσεις παρουσιάζονται ως εν δυνάμει χωρικοί σχηματισμοί. […] Ο [κτιριακός] χώρος παρουσιάζεται ως σύστημα σχέσεων, όχι ως συνεχές κενό. Στο πλαίσιο αυτών των σχέσεων, οι συγκεκριμένες προοπτικές μεταβολές δεν παύουν να είναι άπειρες» (Πεπονής, 2003: 14, 171).

Ο ορισμός του χώρου ως δυναμικού πεδίου συσχετισμών και μετασχηματισμών απαιτεί τη διαρκή επανερμηνεία των όρων σχηματισμού, οικειοποίησης και περιγραφής των χωρικών διατάξεων, με αποτέλεσμα να μην παρέχονται άμεσα παγιωμένες και ρητές περιγραφές χωρικών ποιοτήτων που σχετίζονται με τη χωρική αντίληψη και την εμπειρία της χωρικής ταυτότητας, αλλά οι όροι έκφρασής τους επανεφευρίσκονται διαρκώς.

[1] Ο Lynch, αναφερόμενος στη χωρική αντίληψη, σε αστική κλίμακα, βάσει πολλαπλών αναγνώσεων, σημειώνει ότι «συνήθως η αντίληψη για την πόλη δεν είναι συνεχής, αλλά μάλλον μερική, θραυσματική, αναμεμειγμένη με άλλα στοιχεία. Σχεδόν κάθε αίσθηση βρίσκεται σε λειτουργία και η εικόνα είναι η σύνθεση όλων τους» (Lynch, 1960: 2).

[2] «Η πραγματοποίηση κατηγορικών διακρίσεων δια μέσου της οργάνωσης του χώρου μπορεί να πάρει διάφορες χαρακτηριστικές τροπές» (Πεπονής, 2003: 198).

[3] «Ο χώρος ορίζεται ως το δυναμικό πεδίο που παράγεται από το σύμπλεγμα των μετασχηματισμών στις σχέσεις και ιδιότητες του υποκειμένου / αντικειμένου κατά τις διαδράσεις και αμοιβαίες συστάσεις τους. Το δυναμικό πεδίο αναπτύσσεται στο δομημένο περιβάλλον, ένα υλικό και εννοιολογικό πεδίο όπου οι ιδιότητες των στοιχείων του ευνοούν ή αποθαρρύνουν διαδράσεις. […]. Η εμπρόθετη επίδοση ιδιοτήτων στα στοιχεία του υλικού και εννοιολογικού πεδίου βασίζεται σε αφηγήσεις που αναφέρονται στον επιθυμητό τρόπο του κάθεσθαι, συνδιαλέγεσθαι, συνευρίσκεσθαι, επικοινωνείν, κοινωνείν, και συστήνει συνέχειες μεταξύ των στοιχείων συγκροτώντας αντικείμενα, σώματα, λογισμούς» (Παρμενίδης, Ατζάμπου & Καραδήμα, 2015: 444).

[4] «Ως χώρο εννοούμε ένα συνεχές ομοιόμορφο και κενό πεδίο, μέσα στο οποίο τοποθετούνται και αποκτούν μορφή, διαστάσεις και σχέσεις τα πράγματα. Δεν έχουμε όμως άλλη λέξη για να περιγράψουμε το οργανωμένο πεδίο, τη συγκεκριμένη δηλαδή οργάνωση των δυνατών κινήσεων, θεάσεων και θέσεων που προκύπτουν από την παρουσία των πραγμάτων» (Πεπονής, 2003: 186-187).

Ι. Το αντικείμενο της έρευνας

Αντικείμενο της έρευνας είναι να εξετάσει τη δυνατότητα συγκρότησης χωρικών περιγραφών που να ανταποκρίνονται στην πολλαπλότητα της χωρικής αντίληψης και να διαχειρίζονται τη μη περιγραψιμότητα και μη μετρησιμότητα ασαφών χωρικών ιδιοτήτων[5] που είναι θεμελιώδεις για την κατανόηση και κατ' επέκταση για το σχεδιασμό του χώρου.

Οι ασαφείς, μη περιγράψιμες και μη μετρήσιμες αυτές χωρικές ποιότητες αναφέρονται σε διαισθητικά αναγνωρίσμες και εμπειρικά διαχειρίσμες ιδιότητες οι οποίες είναι καίριες για τη διαδικασία πρακτικής διάδρασης με το χώρο, αλλά ταυτόχρονα είναι εξαιρετικά δύσκολο να εργαλειοποιηθούν στα πλαίσια της συστηματικής χωρικής ανάλυσης και του σχεδιασμού, ελλείψει κατάλληλων όρων και μέτρων για τη γλωσσική έκφραση και την ποσοτική μέτρησή τους.

Οι χωρικές αυτές ποιότητες, αναγνωριζόμενες ως καθοριστικές της χωρικής εμπειρίας, χρησιμοποιούνται ευρέως στην καθιερωμένη σχεδιαστική πρακτική, αλλά με έναν τρόπο διαισθητικό και εμπειρικό, καθώς δεν ανάγονται σε μεμονωμένα και εντοπίσιμα χαρακτηριστικά. Έτσι είναι ανοιχτές σε πολλαπλές ερμηνείες, περιγραφές και αναπαραστάσεις και επομένως δεν μπορούν να επιτευχθούν σχεδιαστικά με την άμεση απόδοση συγκεκριμένων ιδιοτήτων και την εφαρμογή κανόνων[6]. Πρόκειται για αναδυόμενες ιδιότητες, σύνθετες μεταδομές[7] που δεν σχεδιάζονται άμεσα αλλά παράγονται έμμεσα από τα χωρικά συστήματα και αναγνωρίζονται μόνο εκ των υστέρων ως συμπτωματικά, ενδεχομενικά [contingent][8] φαινόμενα.

Η αναγνώριση των ιδιοτήτων αυτών όχι ως μονοσήμαντων χαρακτηριστικών που προκύπτουν από την εφαρμογή κανόνων, αλλά ως δυναμικά αναδυόμενων δομών, αναφέρεται στην προσέγγιση του χώρου ως δυναμικού πεδίου μετασχηματιζόμενων συσχετισμών και του σχεδιασμού ως μιας διαδικασίας, η οποία «επιδίδοντας ιδιότητες στα στοιχεία του υλικού και εννοιολογικού πεδίου (που συνιστά το δομημένο περιβάλλον), επιδιώκει τον προσδιορισμό αφενός των διαδράσεων που θα ευνοούνται ή αποθαρρύνονται να αναπτυχθούν και αφετέρου της χρονικής αλληλουχίας τους. Κατ' αυτόν τον τρόπο σχεδιάζεται το σύμπλεγμα των μετασχηματισμών στις σχέσεις και ιδιότητες του

[5] Ασαφείς, μη περιγράψιμες και μη μετρήσιμες χωρικές ποιότητες αναφέρονται σε αντιληπτικές ιδιότητες, που είναι διαισθητικά και εμπειρικά αναγνωρίσιμες αλλά όχι άμεσα αναγώγιμες σε σαφή και σταθερά χαρακτηριστικά. Οι ιδιότητες αυτές σχετίζονται με την αντιληπτική λειτουργία, την οπτική αντίληψη και τη γνωσιολογική αναγνώριση κατηγοριών. Οι ιδιότητες αυτές και ο τρόπος σχηματισμού τους έχουν απασχολήσει πολλά επιστημονικά πεδία, όπως η γνωσιακή επιστήμη, η ψυχολογία, η αισθητική, η κυβερνητική. Στο σχεδιασμό, προσπάθειες έκφρασης και συστηματοποίησης τέτοιων αντιληπτικών ιδιοτήτων αποτελούν για παράδειγμα οι αρχές της οργάνωση των αντιληπτικών μορφών της ψυχολογίας της Gestalt (Wertheimer, 1923), οι γνωσιακές εικόνες της οπτικής σκέψης του Arnheim (1976), οι ποιότητες της μορφής του Lynch(1960). Βλ. και υποσημείωση Εισαγωγή.103.

[6] Σύμφωνα με τον Hillier (1996: 7), «η αρχιτεκτονική κυβερνάται αλλά δεν καθορίζεται από νόμους. Αυτό που κυβερνάται από τους νόμους δεν είναι η μορφή των μεμονωμένων κτιρίων αλλά το πεδίο δυνατοτήτων εντός του οποίου επιτελείται η επιλογή της μορφής. Αυτό σημαίνει ότι ο αντίκτυπος αυτών των νόμων στο πέρασμα από τη διατύπωση του προβλήματος στη λύση δεν είναι άμεσος αλλά έμμεσος. Έγκειται βαθειά στις χωρικές και υλικές μορφές των κτιρίων, στους γονότυπους και όχι στους φαινότυπούς τους».

[7] Ο όρος μεταδομή [metastructure] (Badiou, 2007) δεν εκφράζει έναν συνολικό και εξωτερικό έλεγχο της δομής, αλλά αναφέρεται σε μια αναδυόμενη δομή, που παράγεται και κείται στο επίπεδο των συσχετισμών από τους οποίους αναδύεται, αλλά γίνεται αντιληπτή μακροσκοπικά και δεν αναγνωρίζεται εκ των προτέρων.

[8] Σύμφωνα με την προσέγγιση της ενδεχομενικότητας [contingency] από τον Meillasoux οι ιδιότητες αυτές είναι αναγνωρίσιμες ως αποτελέσματα, ως συμπτώματα που είναι πιθανό αλλά όχι αναγκαίο να εμφανιστούν. Πρόκειται για αναδυόμενες και όχι άμεσα προσδιοριζόμενες ιδιότητες, μη αποδιδόμενες σε αναγκαίες και ικανές συνθήκες παραγωγής τους και μη αναγόμενες σε σταθερές σχέσεις αιτιότητας. «Η ενδεχομενικότητα εκφράζει το γεγονός ότι οι φυσικοί νόμοι παραμένουν αδιάφοροι στο εαν ένα γεγονός θα συμβεί ή όχι –επιτρέπουν σε μια οντότητα να αναδυθεί, να διατηρηθεί ή να πεθάνει» (Meillasoux, 2008: 39).

υποκειμένου / αντικειμένου, σχεδιάζεται ο χώρος σημασιοδοτημένος από τις προθέσεις που προσδιόρισαν το είδος των διαδράσεων που θα αναπτυχθούν και την αλληλουχία τους» (Παρμενίδης, Ατζάμπου & Καραδήμα, 2015: 444) και όχι συγκεκριμένες, περιγράψιμες και παγιωμένες ιδιότητες της υλικής διάταξης του χώρου.

Θεωρώντας το χώρο ως δυναμικό πεδίο μετασχηματισμών, οι χωρικές διατάξεις μπορούν να οριστούν ως υλικά αποτυπώματα των μετασχηματισμών αυτών[9]. Κατ' επέκταση, η αντιληπτική πρόσληψη των χωρικών διατάξεων έγκειται σε μια δυναμική διαδικασία διαρκών, πολλαπλών αναγνώσεων και επανερμηνειών και του συσχετισμού τους σε εξίσου δυναμικές, ανοιχτές και πολλαπλές περιγραφικές δομές.

I.i. Υπόθεση

Σύμφωνα με τη θεώρηση αυτή, οι χωρικές διατάξεις γίνονται αντιληπτές μέσω πολλαπλών περιγραφών των αντιληπτικών χαρακτηριστικών τους. Κάθε περιγραφή μπορεί να προσφέρει μια αυτόνομη ερμηνεία ή να συνδυαστεί με άλλες παραθετικά, σε μια λογική πολλαπλών διακριτών αλληλεπιτιθέμενων επιπέδων ή στιβάδων [layers]. Ωστόσο, ουσιαστική πληροφορία που αναφέρεται στην πολλαπλότητα των μετασχηματισμών που αποτυπώνονται στο χωρικό πεδίο, ενσωματώνεται στους συσχετισμούς μεταξύ των επιμέρους περιγραφών και δεν μπορεί να αποδοθεί παρά από μια ταυτόχρονη θεώρηση συνόλων περιγραφών εντός μιας πολυδιάστατης δομής[10].

Αν και οι αναφερόμενες μη περιγράψιμες χωρικές ποιότητες δεν ανάγονται ρητά σε σαφή μεμονωμένα χαρακτηριστικά, εξετάζεται η δυνατότητα προσέγγισής τους μέσω ιδιοτήτων που εκφράζονται ως συστάδες πλήθους χαρακτηριστικών. Η μέτρηση πολλαπλών επιμέρους χαρακτηριστικών χωρικών αναπαραστάσεων, που διαισθητικά σχετίζονται μερικώς και έμμεσα με ασαφείς χωρικές ποιότητες, και η ταυτόχρονη και ισότιμη θεώρησή τους σε ένα ενιαίο περιγραφικό σύστημα θα μπορούσε να αποκαλύψει ιεραρχικούς συσχετισμούς μεταξύ ιδιοτήτων που αποδίδουν με τρόπο μετρήσιμο στοιχεία των ζητούμενων μη περιγράψιμων, σύνθετων χωρικών ποιοτήτων. «Η πολλαπλότητα των αναγνώσεων μιας έννοιας αποδίδεται στον πραγματικό της πλούτο. Δεν είναι ότι μια έννοια έχει πολλές σημασίες, είναι ότι αποτελεί τον μοναδικό αντιπρόσωπο ενός πολύπλοκου υλικού που αναλύεται σε διάφορα φαινόμενα [effects]» (Lafont, 1986: 17).

I.ii. Στόχος

Σε σχέση με τα παραπάνω, ο βασικός στόχος της έρευνας ανάγεται στη διερεύνηση του αν και σε ποιο βαθμό ποσοτικοποιήσιμα χαρακτηριστικά χωρικών διατάξεων παρέχουν πληροφορία σχετική με

[9] «Οι διαδράσεις που αναπτύσσονται (στο χώρο ως δυναμικό πεδίο), εναποθέτουν τα αποτυπώματά τους στα στοιχεία του υλικού και εννοιολογικού πεδίου, καθώς μετασχηματίζονται οι ιδιότητες των στοιχείων του κατά τους μετασχηματισμούς του υποκειμένου / αντικειμένου. Όσο οι ιδιότητες του υλικού και εννοιολογικού πεδίου μετασχηματίζονται, τόσο η αντίληψη και η νόηση του δυναμικού πεδίου, του χώρου, διευρύνονται καθημερινά από τις επιτελούμενες διαδράσεις, καθώς συμπεριλαμβάνουν το βάθος των προηγούμενων μετασχηματισμών του υλικού και εννοιολογικού πεδίου που είχαν προκύψει ως εναπόθεση αποτυπωμάτων προηγούμενων διαδράσεων» (Παρμενίδης, Ατζάμπου & Καραδήμα, 2015: 444).

[10] Η κατάτμηση της αναπαράστασης σε επιμέρους τμήματα για αναλυτικούς σκοπούς και η εκ των υστέρων επανασύνδεσή τους αναπόφευκτα αγνοεί ή καταστρέφει συνδέσεις που δεν μπορούν να ανασυσταθούν εκ των υστέρων. Σύμφωνα με τον Cilliers (1998: 2), «κατατέμνοντας ένα σύστημα, η αναλυτική μέθοδος καταστρέφει αυτό που επιδιώκει να κατανοήσει».

ποιότητες που δεν είναι ρητά περιγράψιμες αλλά ωστόσο είναι ουσιώδεις για την εμπειρία της χωρικής αντίληψης.

Ο στόχος αυτός επιδιώκεται μέσω της εξέτασης της δυνατότητας διεξαγωγής μιας συγκριτικής ανάλυσης[11] και κατηγοριοποίησης άτυπων χωρικών σχηματισμών βάσει της συγχρονικής θεώρησης πολλαπλών μετρήσιμων χωρικών χαρακτηριστικών, στο βαθμό που αυτά αποτυπώνονται σε χωρικές αναπαραστάσεις.

Κεντρικό στοιχείο αποτελεί η ανάπτυξη και εφαρμογή μιας μεθοδολογίας για την αυτοματοποιημένη διεξαγωγή και επεξεργασία πολλαπλών χωρικών περιγραφών, με τη χρήση προγραμματισμού σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Προτείνεται μια ανοιχτή και επεκτάσιμη αλγοριθμική διαδικασία, αποτελούμενη από διαδοχικά στάδια ή συνδεόμενες ενότητες [modules], κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει επιμέρους στάδια καταγραφής, επεξεργασίας και οπτικοποίησης χωρικών δεδομένων. Η σπονδυλωτή αυτή δομή εξυπηρετεί τόσο την επεκτασιμότητα του ψηφιακού εργαλείου όσο και την προσαρμοστικότητά του σε διαφορετικά χωρικά δεδομένα και σε πιθανά διαφορετικές υποθέσεις εργασίας.

I.iii. Μεθοδολογία

Στα πλαίσια της πειραματικής ανάπτυξης της εν λόγω εφαρμογής επιλέγεται δοκιμαστικά ένα περιορισμένο εύρος χωρικών δεδομένων που σχετίζονται με τη φυσική μορφή και δομή χωρικών διατάξεων, όπως αυτές αποδίδονται σε κάτοψη, και τα οποία είναι σε κάποιο βαθμό εποπτικά επαληθεύσιμα. Η επιλογή συγκεκριμένων χωρικών δομών και ενός συνόλου χαρακτηριστικών τους λειτουργεί ως παράδειγμα και δεν αντιπροσωπεύει το εύρος του πιθανού πεδίου εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας.

Η πειραματική αυτή εφαρμογή εστιάζει σε άτυπους χωρικούς σχηματισμούς που δεν εμφανίζουν σαφή και ρητά περιγράψιμα μορφολογικά, τυπολογικά, δομικά, ή ακόμα και γεωμετρικά χαρακτηριστικά, αλλά παρόλα αυτά χαρακτηρίζονται από αντιληπτικά αναγνωρίσιμες και διαισθητικά εντοπίσιμες ασαφείς ποιότητες. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελεί μια σταδιακή διαδικασία περιγραφής, συγκριτικής ανάλυσης και κατηγοριοποίησης άτυπων χωρικών σχηματισμών. Η περιγραφή των χώρων αυτών μέσω της ταυτόχρονης πολυδιάστατης αναπαράστασης πολλαπλών επιμέρους μετρήσιμων χαρακτηριστικών διαφορετικών τάξεων στοχεύει στην κατάρτιση ενός μη ιεραρχικού συστήματος αναπαράστασης. Οι πολυδιάστατες αναπαραστάσεις επιμέρους χωρικών ενοτήτων εντός του συστήματος αυτού έχουν σχετική σημασία και μέσω της συγκριτικής τους ανάλυσης επιχειρείται η εξαγωγή τύπων, κλάσεων ή οικογενειών ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενων χώρων. Η εκ των υστέρων αναζήτηση κοινών χωρικών ποιοτήτων στα μέλη των τύπων σε συνδυασμό με τη στατιστική ανάλυση που εστιάζει στον εντοπισμό επαναλαμβανόμενων σχηματισμών συνδυασμών [patterns] συγκεκριμένων μετρήσιμων χαρακτηριστικών θα μπορούσε να συμβάλει τόσο στην περιγραφή των εξεταζόμενων άτυπων σχηματισμών όσο και στη σύνδεση μη περιγράψιμων χωρικών ποιοτήτων με συστάδες πολλαπλών μετρήσιμων χαρακτηριστικών.

[11] «Η κατανόηση της χωρικής μορφής, όπως και των περισσότερων πραγμάτων, συνδέεται αναπόσπαστα με τη δυνατότητα συγκρίσεων. Οι συγκρίσεις μας επιτρέπουν να ορίσουμε αρχικά τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της μορφής, διατυπώνοντας περισσότερο ή λιγότερο αφαιρετικές έννοιες, και να προχωρήσουμε έπειτα στην περιγραφή των σχέσεων και των αρχών που διέπουν το σχηματισμό της, των μαθηματικών και φυσικών περιορισμών που της επιβάλλονται και των ανοικτών δυνατοτήτων μορφοπλασίας που διαβλέπουμε μέσα από τη σύγκριση του δεδομένου μορφολογικού υλικού» (Πεπονής, 2003: 15).

Μια διαδικασία περιγραφής, σύγκρισης και κατηγοριοποίησης ασχεδίαστων, υπολειμματικών αδόμητων χώρων με άτυπα μορφολογικά και δομικά χαρακτηριστικά δεν θα ήταν εύκολο να προσδιοριστεί συνολικά εκ των προτέρων κατά τρόπο καθοριστικό και απαρέγκλιτο, καθώς εμπεριέχει ασάφειες και απροσδιοριστίες σε όλα τα επίπεδα διερεύνησης και εφαρμογής της. Οι παράμετροι του προβλήματος δεν είναι δεδομένες, καθώς δεν υπάρχει τρόπος εκ των προτέρων προσδιορισμού των καταλληλότερων χαρακτηριστικών προς μέτρηση, δεν παρέχονται προαποφασισμένα χαρακτηριστικά ως προς τα οποία να επιδιώκεται η περιγραφή και η συγκριτική ανάλυση των χώρων, και δεν υφίστανται προκαθορισμένες κατηγορίες για την κατανομή τους ή δεδομένα κριτήρια κατηγοριοποίησης και αξιολόγησης της κατηγοριοποίησης[12].

Επομένως η διατύπωση των προδιαγραφών του προβλήματος και η στρατηγική προσέγγισής του εξελίσσονται ταυτόχρονα, σε μια διαδικασία δυναμικού αλληλοπροσδιορισμού, που δεν στοχεύει σε μια καθοριστική απάντηση ή λύση αλλά στην υπόδειξη ασαφών περιοχών πιθανών συγκλίσεων.

Τέτοιου τύπου προβλήματα, για τα οποία δεν υπάρχει σαφής και μοναδική διατύπωση, αλλά «η διατύπωση του προβλήματος είναι το πρόβλημα […] και κάθε προσδιορισμός του προβλήματος είναι ένας προσδιορισμός της κατεύθυνσης στην οποία θεωρείται μια λύση» (Rittel & Webber, 1973: 161), ονομάζονται από τους Rittel και Webber (1973, 1984) «πονηρά προβλήματα» [wicked problems][13]. Τα προβλήματα αυτά είναι πολυπαραγοντικά και οι παράμετροι που υπεισέρχονται στη διατύπωσή τους είναι ασαφείς, διαφορετικών, μη συγκρίσιμων κατηγοριών και συχνά ασύμβατες και αντικρουόμενες. Χαρακτηρίζονται από πολυπλοκότητα, απροσδιοριστία και πολλαπλότητα και δεν υποστηρίζουν μοναδικές στρατηγικές επίλυσης ούτε καταλήγουν σε σωστές ή βέλτιστες απαντήσεις. Αντίθετα, η αντιμετώπισή τους απαιτεί πολλαπλές προσεγγίσεις, κάθε μια από τις οποίες μπορεί να οδηγεί σε νέα πεδία εξίσου έγκυρων αλλά διαφορετικών λύσεων.

Τέτοιου τύπου πολύπλοκα και πολυπαραγοντικά προβλήματα που εμπεριέχουν τη διαχείριση ασαφών παραγόντων και πολλαπλών δεδομένων ανάγονται συχνά σε προβλήματα «τύπου 2» [type-2

[12] Ο Cilliers (1998: 21-22) περιγράφοντας τέτοιου τύπου προβλήματα, αναφέρει ότι «δεν είναι δυνατή η χρήση εκ των προτέρων κεκτημένης γνώσης πεδίου επειδή συχνά δεν είναι γνωστό ποιες περιοχές του πεδίου είναι σχετικές. […] Η δομή (του προβλήματος) δεν μπορεί να εκφραστεί, επειδή δεν μπορεί να καταστεί ρητή με συμβολικούς όρους».

[13] Σύμφωνα με τους Rittel και Webber (1973: 161-167), τα wicked problems έχουν τουλάχιστον δέκα χαρακτηριστικά, που δεν είναι όμως απαραίτητο να εμφανίζονται όλα για να χαρακτηριστεί ένα πρόβλημα ως wicked. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής:

1. Δεν υπάρχει απόλυτη διατύπωση του προβλήματος

2. Τα Wicked problems δεν έχουν κανόνες τερματισμού

3. Οι λύσεις δεν είναι σωστές ή λάθος, αλλά καλές ή κακές

4. Δεν υπάρχει άμεση και οριστική δοκιμασία-αξιολόγηση της λύσης

5. Κάθε λύση είναι «μια κι έξω». Επειδή δεν υπάρχει η δυνατότητα μάθησης μέσω δοκιμών, κάθε απόπειρα είναι σημαντική

6. Τα wicked problems δεν έχουν ένα απαριθμήσιμο (ή εξαντλητικά περιγράψιμο) σύνολο πιθανών λύσεων, ούτε υπάρχει ένα σαφώς ορισμένο σύνολο επιτρεπόμενων χειρισμών

7. Κάθε wicked problem είναι μοναδικό

8. Κάθε wicked problem μπορεί να θεωρηθεί ως σύμπτωμα κάποιου άλλου προβλήματος

9. Η ύπαρξη ασυμφωνίας που αντιπροσωπεύει ένα wicked problem μπορεί να εξηγηθεί με πολλούς τρόπους. Η επιλογή της ερμηνείας καθορίζει τη φύση της επίλυσης του προβλήματος.

10. Ο σχεδιαστής δεν έχει δικαίωμα να κάνει λάθος

problems] (Clark & Thornton, 1997)[14]. Στα προβλήματα «τύπου 2» οι ενδεχόμενες κανονικότητες στα δεδομένα δεν είναι εμφανείς, όπως συμβαίνει στα προβλήματα «τύπου 1», αλλά απαιτείται η επανερμηνεία και η επανακωδικοποίηση των δεδομένων προκειμένου να καταστούν ορατοί οι σχετικοί τυπικοί σχηματισμοί [patterns].

Επομένως η εξασφάλιση της δυνατότητας ανάδυσης τυπικών σχηματισμών σχέσεων, εφόσον αυτοί ενυπάρχουν στα δεδομένα, προϋποθέτει το σχεδιασμό ενός συστήματος ανοιχτού σε πολλαπλές αναγνώσεις και επανερμηνείες, που να μην βασίζεται σε μονοσήμαντες αναπαραστάσεις και κλειστούς συμβολισμούς, αλλά να υποστηρίζει την πολλαπλότητα, την ασάφεια και την ετερογένεια των περιγραφών[15].

Βάσει των προδιαγραφών αυτών, η προτεινόμενη μέθοδος για την περιγραφή άτυπων χώρων βασίζεται στην ποσοτικοποίηση πολλαπλών χωρικών χαρακτηριστικών διαφορετικών τάξεων και στη σύγκρισή τους σε έναν πολυδιάστατο χώρο ιδιοτήτων. Εστιάζοντας σε διατακτικά[16] χαρακτηριστικά (Hillier & Hanson, 1984), οι υπό μέτρηση ιδιότητες αναφέρονται κυρίως σε μετρικά, γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά των κατόψεων των αντίστοιχων χώρων.

Οι εξαγόμενοι τύποι αναφέρονται ως «γενόσημοι» χωρικοί τύποι (Badiou, 2007) ή «μάγματα» (Καστοριάδης, 1995), με την έννοια ότι δεν είναι παγιωμένες ή σαφείς κατηγορίες ευθέως σχετιζόμενες με συγκεκριμένες και ρητά περιγράψιμες αρχιτεκτονικές ιδιότητες, όπως μορφολογικά, τυπολογικά ή τεχνικά χαρακτηριστικά. Αντίθετα, θεωρούνται ως ανοιχτές και πιθανά εναλλάξιμες ασαφείς ομαδοποιήσεις σύμφωνα με αφηρημένους βαθμούς ομοιότητας και διαφοράς, ως απροσδιόριστοι και πολλαπλά ερμηνεύσιμοι τύποι αναφερόμενοι σε αντιληπτικές χωρικές ποιότητες.

Η περιγραφή των τύπων επιχειρείται βάσει της αναγνώρισης επαναλαμβανόμενων συνδυασμών κοινών χαρακτηριστικών μεταξύ των μελών τους. Η προσέγγιση διακριτών αλλά μη περιγράψιμων χωρικών τύπων μέσω του εντοπισμού «Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων» (Boyd, 2000, 1999a, 1999b, 1991) παρέχει εναλλακτικούς ορισμούς σύνθετων χωρικών ποιοτήτων που χαρακτηρίζουν κάθε τύπο.

[14] Αναφερόμενοι σε προβλήματα ανάλυσης δεδομένων και αναγνώρισης προτύπων, οι Clark και Thornton (1997) διακρίνουν προβλήματα, τα οποίο χαρακτηρίζουν ως «τύπου 1», στα οποία εντοπίζονται κανονικότητες βάσει της κατάλληλης ανάλυσης των δεδομένων χωρίς να απαιτείται επανερμηνεία τους, και προβλήματα «τύπου 2» στα οποία η «στατιστική ορατότητα έγκειται στη συστηματική επανακωδικοποίηση των δεδομένων» (Clark & Thornton, 1997: 57). Στη δεύτερη περίπτωση ενδέχεται ο χώρος των πιθανών επανακωδικοποιήσεων να είναι άπειρος με αποτέλεσμα να πρέπει να εφαρμοστούν κατάλληλες μέθοδοι αναζήτησης τρόπων χαρτογράφησης που θα αποκάλυπταν ουσιαστικές κανονικότητες στα δεδομένα. Τα προβλήματα «τύπου 2» είναι πολύ κοινά αλλά δυσεπίλυτα με στατιστικές μεθόδους.

[15] Ο Toth, αναφερόμενος στην κλειστότητα των επιστημονικών παραδειγμάτων ως προς το εύρος των πιθανών ερμηνειών που επιτρέπουν, υποστηρίζει ότι «η υπόθεση είναι ότι αν υπάρχει μια απάντηση, υπάρχει εντός του παραδείγματος. Αν η απάντηση δεν μπορεί να εντοπιστεί εντός αυτής της δομής, τότε δεν υπάρχει στη θεωρία, γλώσσα, γνώση και αξιακό πεδίο του συγκεκριμένου επιστημονικού πεδίου» (Toth, 1988: 194). Επομένως, προκειμένου να αναγνωριστούν δομές που δεν εμπίπτουν στη λογική του εκάστοτε γνωστικού πεδίου και του αντίστοιχου λειτουργικού παραδείγματος, πρέπει να οριστεί ένα διαφορετικό πλαίσιο που να υποστηρίζει τους όρους ανάδυσης των αναζητούμενων δομών. Σημειώνεται ότι το παράδειγμα δεν αναφέρεται αποκλειστικά σε κάποιο συγκεκριμένο γνωστικό πεδίο ή επιστημονικό κλάδο, αλλά περιγράφει κάθε πολιτισμικό πλαίσιο μέσα από το οποίο ερμηνεύεται κάθε φορά ο κόσμος. «Ένα παράδειγμα δεν είναι απλά μια συγκεκριμένη επιστημονική θεωρία αλλά ένας ολόκληρος τρόπος εργασίας, σκέψης, επικοινωνίας και νοητικής αντίληψης» (Bohm & Peat, 1987: 52).

[16] «Διάταξη [configuration] σημαίνει, με απλά λόγια, σχέσεις που λαμβάνουν υπόψη άλλες σχέσεις. [….] Ο αρχιτεκτονικός και αστικός σχεδιασμός, τόσο από μορφική όσο και από χωρική άποψη, θεωρούνται εκ βάσεων διατακτικοί με την έννοια ότι ο τρόπος με τον οποίο τα μέρη που τοποθετούνται μαζί για να σχηματίσουν το σύνολο είναι πιο σημαντικός από οποιαδήποτε μεμονωμένα τα μέρη» (Hillier, 1996: 1). «Μια διάταξη [arrangement] μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο αρχικά τυχαία κατανεμημένων διακριτών οντοτήτων, οι οποίες εισέρχονται σε διαφορετικών ειδών σχέσεις στο χώρο-χρόνο και, αντλώντας περιγραφές από τις ταξινομητικές αρχές αυτών των σχέσεων, είναι ικανές να τις αναπαράγουν» (Hillier & Hanson, 1984: 51).

I.iv. Σημασία

Μέσω της αναζήτησης μιας περιγραφικής προσέγγισης της άτυπης μορφής, προτείνεται ένας τρόπος περιγραφής του μη σαφώς περιγράψιμου και μέτρησης και του μη ρητά μετρήσιμου. Επιδιώκεται η διαχείριση της μη αναπαραστασιμότητας της πολλαπλότητας, η οποία εκφράζει μια «παράδοξη λειτουργία που είναι όμως αναγκαιότητα, εξαιτίας της αδυναμίας της αντίληψης και της διαισθητικής φαντασίας του χώρου»[17] (Lafont, 1986:19).

Διερευνώνται εργαλεία για την προσέγγιση της χωρικής εμπειρίας «που οδηγούν σε μη συμβατικές αναγνώσεις του χώρου» και σε ένα «διαφοροποιημένο αντιληπτικό μοντέλο. Έναν αντιληπτικό μετεωρισμό, ο οποίος αναδεικνύει τάσεις και δυναμικές οι οποίες ενεργοποιούν δυνητικούς μετασχηματισμούς βασικών χωρικών δομών» (Παρμενίδης, Ατζάμπου & Καραδήμα, 2015: 445).

Η γλωσσική διατύπωση μη περιγράψιμων αντιληπτικών ποιοτήτων και χωρικών συσχετισμών στοχεύει στη διεύρυνση των υφιστάμενων πρακτικών προσέγγισης του χώρου, καθώς «η δυνατότητα να μιλήσουμε για τα πράγματα συμβαδίζει με τη δυνατότητα να εφευρίσκουμε και να χρησιμοποιούμε συστήματα αφηρημένων σχέσεων μέσα από τα οποία συγκροτείται το γλωσσικό νόημα» (Πεπονής, 2003: 38).

Η προτεινόμενη μέθοδος, με την οργάνωση μιας στρατηγικής για την επεξεργασία και τη συνδυαστική επανερμηνεία υφιστάμενης χωρικής πληροφορίας[18], φιλοδοξεί να παρέχει ένα επιπλέον εργαλείο ανάλυσης αλλά και αντίληψης, έναν συμπληρωματικό τρόπο ανάγνωσης του χωρικού πεδίου, που λειτουργώντας σαν ανοιχτός, πολλαπλός και συσχετιστικός χάρτης ιδιοτήτων, θα μπορούσε να συμβάλει στην περαιτέρω κατανόηση και δυνατότητα διαχείρισης του χώρου ως δυναμικού πεδίου συσχετισμών, μέσω της μοντελοποίησης πολλαπλών περιγραφών του. Η προσέγγιση του χώρου ως δυναμικού πεδίου σχέσεων «απαιτεί νέους τρόπους χαρτογράφησης και ανάλυσης. Χαρτογραφώντας τα αλληλεπικαλυπτόμενα εδαφικά πεδία [territories] εντός του χώρου τον οποίο καταλαμβάνουν, αναδύεται ένα αθέατο και άγνωστο ακόμα δίκτυο» (Langley, Derix & Coates, 2007: 9).

[17] Η Lafont, αναφερόμενη στην αδυναμία αναπαράστασης της τοπολογικά ορισμένων επιφανειών, υποστηρίζει ότι «η ταινία του Moebius διατηρεί στο χώρο μας την κατάσταση ενός αντιπροσώπου του μη αναπαραστάσιμου. Αυτή η παράδοξη λειτουργία είναι μια αναγκαιότητα, εξαιτίας της αδυναμίας της αντίληψης και της διαισθητικής φαντασίας του χώρου» (Lafont, 1986:19).

[18] Σύμφωνα με τον Yinger, «καθώς η γνώση αλλάζει, πρέπει κανείς να αλλάζει και τις ικανότητες και τις στρατηγικές για τη διαχείριση και την επεξεργασία αυτής της πληροφορίας. Μόνο αφού στηθεί η βασική αντιληπτική σκαλωσιά η πληροφορία αρχίζει να βγάζει νόημα» (Yinger, 1980: 18).

II. Ανασκόπηση μεθόδων προσέγγισης μη περιγράψιμων χωρικών ποιοτήτων

Η συστηματική προσπάθεια εφεύρεσης όρων για την περιγραφή σύνθετων χωρικών ιδιοτήτων, που ενώ είναι αντιληπτικά αναγνωρίσιμες και διαισθητικά διαχειρίσιμες τόσο στην πρακτική, εμπειρική διάδραση με τις χωρικές δομές όσο και στο σχεδιασμό, παραμένουν ασαφείς και δεν παρέχονται τα μέσα ρητής περιγραφής και μέτρησής τους, χαρακτηρίζει πλήθος προσεγγίσεων της χωρικής ανάλυσης και σύνθεσης των τελευταίων δεκαετιών.

Ενδεικτικά, ως εξίσου σημαντικές ως προς την επιρροή τους στη σκέψη για τον χώρο και την πόλη, αλλά και ως διαφορετικές μεταξύ τους προσεγγίσεις, που επιδεικνύουν την πολλαπλότητα του ζητήματος, αναφέρονται η αντιληπτική αστική «εικονικότητα» [imageability] του Kevin Lynch, ο ορισμός των «αστικών συντελεστών» από τον Aldo Rossi, τα patterns του Christopher Alexander και η συντακτική ανάλυση της Space Syntax.

II.i. Η αντίληψη της πόλης βάσει της εικονικότητάς της κατά τον Kevin Lynch

Ο Kevin Lynch, στο βιβλίο του «Η εικόνα της Πόλης» [The Image of the City] (1960), προτείνει μια μεθοδολογία για την αξιολόγηση της αστικής μορφής βάσει ενός νέου κριτηρίου, της εικονικότητας [imageability] της πόλης. Σύμφωνα με τον Leonard Eaton (συντάκτη του περιοδικού Progressive Architecture), πρόκειται για μια θεωρία της οπτικής αντίληψης της πόλης βάσει αντικειμενικών κριτηρίων.

Χρησιμοποιώντας ως παραδείγματα εφαρμογής τρεις μεγάλες αμερικανικές πόλεις, τη Βοστώνη, το Τζέρσεϋ και το Λος Άντζελες, το βιβλίο διερευνά «την οπτική ποιότητα της αμερικάνικης πόλης μελετώντας τη νοητική εικόνα της πόλης από τους πολίτες της. Επικεντρώνεται κυρίως σε μια συγκεκριμένη οπτική ποιότητα: την φαινομενική σαφήνεια ή αναγνωσιμότητα [legibility] του αστικού τοπίου. Με αυτό εννοούμε την ευκολία με την οποία τα μέρη του μπορούν να αναγνωριστούν και να οργανωθούν σε ένα συνεκτικό σχηματισμό» (Lynch, 1960: 2).

Η οπτική μορφή της πόλης συγκροτείται σε μια ενιαία αντιληπτική εικόνα, η οποία μπορεί να αναλυθεί σε τρεις συνιστώσες[19], την ταυτότητα[20] [identity], τη δομή[21] [structure] και το νόημα[22] [meaning]. Καθώς η συνιστώσα του νοήματος είναι πιο διακυμαινόμενη και λιγότερο συνεκτική από τις άλλες δύο[23], ο Lynch εστιάζει την ανάλυσή του στις άλλες δύο συνιστώσες, την ταυτότητα και τη δομή. Οι συνιστώσες αυτές σχετίζονται με ιδιότητες καθοριστικές για τη διαμόρφωση αυτού που ο

[19] Σύμφωνα με τον Lynch (1960:8), «είναι χρήσιμο να τις διαχωρίσουμε για ανάλυση, αλλά στην πραγματικότητα πάντα εμφανίζονται μαζί».

[20] «Μια χρηστική εικόνα απαιτεί πρώτα απ' όλα την ταυτοποίηση ενός αντικειμένου, η οποία συνεπάγεται τη διάκρισή του από άλλα πράγματα, την αναγνώρισή του ως ξεχωριστής οντότητας. Αυτό ονομάζεται ταυτότητα, όχι με την έννοια της ισότητας με κάτι άλλο, αλλά με την έννοια της ατομικότητας και της ενότητας» (Lynch, 1960:8).

[21] «Δεύτερον, η εικόνα πρέπει να περιέχει τη χωρική ή σχηματική σχέση του αντικειμένου με τον παρατηρητή και με άλλα αντικείμενα» (Lynch, 1960: 8).

[22] «Τέλος, το αντικείμενο πρέπει να έχει κάποιο νόημα για τον παρατηρητή, είτε πρακτικό είτε συναισθηματικό. Το νόημα είναι και αυτό μια σχέση, αλλά διαφορετικής φύσης από τη χωρική ή σχηματική σχέση» (Lynch, 1960: 8).

[23] «Οι ομαδικές εικόνες με νόημα είναι λιγότερο πιθανό να είναι συνεκτικές σε επίπεδο πόλης από ότι οι αντιλήψεις περί οντότητας και σχέσης» (Lynch, 1960: 8).

Lynch ορίζει ως εικονικότητα[24] της πόλης. Ως εικονικότητα [imageability] ορίζεται «αυτή η ποιότητα του φυσικού αντικειμένου που του δίνει μεγάλη πιθανότητα πρόκλησης μιας ισχυρής εικόνας σε κάθε παρατηρητή. Είναι αυτό το σχήμα, το χρώμα, ή η διάταξη που διευκολύνει τη δημιουργία έντονα ταυτοποιήσιμων, ισχυρά δομημένων, χρήσιμων νοητικών εικόνων του περιβάλλοντος» (Lynch, 1960: 9). Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, η εικονικότητα είναι μια σύνθετη και ασαφής χωρικής ποιότητα, ανοιχτή σε πολλαπλές αναγνώσεις και μεταβαλλόμενες ερμηνείες[25] και η αντιληπτική της πρόσληψη εξαρτάται από πλήθος παραγόντων. Στα πλαίσια της έρευνάς του, ο Lynch εστιάζει στους παράγοντες εκείνους που εντοπίζονται σε φυσικά χαρακτηριστικά της υλικής δομής της πόλης[26]. Σε αυτό το πλαίσιο, διακρίνει πέντε βασικούς τύπους εικονικών στοιχείων, που αναφέρονται σε φυσικές μορφές και καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό το περιεχόμενο της εικόνας της πόλης. Οι τύποι αυτοί είναι οι διαδρομές[27] [paths], οι ακμές[28] [edges], οι περιοχές[29] [districts], οι κόμβοι[30] [nodes] και τα τοπόσημα[31] [landmarks] (Lynch, 1960: 8, 46-47).

[24] Η εικονικότητα «μπορεί να ονομαστεί και αναγνωσιμότητα [legibility] ή ίσως ορατότητα [visibility] με μια οξυμένη έννοια κατά την οποία τα αντικείμενα δεν είναι μόνο ικανά να ιδωθούν, αλλά παρουσιάζονται με οξύτητα και ένταση στις αισθήσεις» (Lynch, 1960: 9).

[25] «Η έννοια της εικονικότητας δεν σημαίνει υποχρεωτικά κάτι σταθερό, περιορισμένο, σαφές, ενιαίο ή κανονικά τακτοποιημένο, αν και κάποιες φορές μπορεί να έχει αυτές τις ποιότητες. Ούτε σημαίνει το κατευθείαν εμφανές, το προφανές, το οφθαλμοφανές ή το απλό. Το περιβάλλον που προτυποποιείται [patterned] είναι πολύ πολύπλοκο, ενώ η προφανής εικόνα γίνεται σύντομα βαρετή, και μπορεί να επιδεικνύει λιγοστά μόνο χαρακτηριστικά του κόσμου» (Lynch, 1960: 10).

[26] «Η ανάλυση περιορίζεται στα αποτελέσματα των φυσικών, αντιληπτών αντικειμένων. Υπάρχου κι άλλες επιρροές στην εικονικότητα, όπως το κοινωνικό νόημα μιας περιοχής, η λειτουργία της, η ιστορία της, ή ακόμα και το όνομά της. Αυτά τα παραβλέπουμε, καθώς εδώ επιδιώκεται το αντικειμενικό να αποκαλύψει από μόνο του το ρόλο της μορφής» (Lynch, 1960: 46).

[27] Paths: «οι διαδρομές είναι κανάλια κατά μήκος των οποίων ο παρατηρητής συνήθως, συγκυριακά ή πιθανά κινείται. Μπορεί να είναι δρόμοι, πεζοδρόμια, γραμμές μετάβασης, κανάλια, σιδηρόδρομοι. Για πολλούς ανθρώπους είναι κυρίαρχα στοιχεία των εικόνων τους. ο κόσμος παρατηρεί την πόλη καθώς κινείται μέσα της και κατά μήκος αυτών των διαδρομών διατάσσονται και συσχετίζονται τα υπόλοιπα περιβαλλοντικά στοιχεία».

[28] Edges: «οι ακμές είναι τα γραμμικά στοιχεία που δεν χρησιμοποιούνται και δεν γίνονται αντιληπτά ως πορείες από τον παρατηρητή. Είναι όρια μεταξύ δύο φάσεων, γραμμικές διακοπές της συνέχειας: ακτές, σιδηροδρομικές διακοπές, όρια διαμορφώσεων, τοίχοι. Είναι περισσότερο πλάγιες αναφορές παρά άξονες συντεταγμένων. Οι ακμές μπορεί να είναι εμπόδια, περισσότερο ή λιγότερο διαπερατά, που περικλείουν μια περιοχή σε σχέση με μια άλλη, ή μπορεί να είναι ραφές, γραμμές κατά μήκος των οποίων δύο περιοχές συσχετίζονται και συνενώνονται. Τα στοιχεία των ακμών, αν και πιθανά δεν είναι τόσο κυρίαρχα όσο οι πορείες, είναι για πολλούς σημαντικά οργανωτικά χαρακτηριστικά, ιδιαίτερα ως προς το ρόλο τους μα συγκρατούν μαζί γενικευμένες περιοχές, όπως το περίγραμμα μιας πόλης από νερό ή τείχη».

[29] Districts: «οι περιοχές είναι μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους τμήματα της πόλης, αντιληπτά ως δισδιλαστατες εκτάσεις, στις οποίες ο παρατηρητής «εισέρχεται» και οι οποίες αναγνωρίζονται ως έχουσες κοινό, ταυτοποιήσιμο χαρακτήρα. Αναγνωρίσιμες από το εσωτερικό τους, χρησιμοποιούνται και ως εξωτερικές αναφορές, ιδωμένες από έξω».

[30] Nodes: «οι κόμβοι είναι σημεία, τα στρατηγικά μέρη σε μια πόλη στα οποία ο παρατηρητής μπορεί να εισέλθει και τα οποία είναι τα εντατικά σημεία εστίασης προς τα οποία και από τα οποία ταξιδεύει. Μπορεί να είναι κυρίως οδικοί κόμβοι, τόποι διακοπής μεταφορών, διασταυρώσεις ή συγκλίσεις πορειών, στιγμές μετάβασης από μια δομή σε άλλη. Ή μπορεί α είναι απλά συγκεντρώσεις, που αποκτούν τη σημασία τους από το γεγονός ότι είναι συμπυκνώσεις κάποιας χρήσης ή φυσικού χαρακτήρα, όπως ένας χώρος συνάντησης σε μια γωνία ή μια περίκλειστη πλατεία. Κάποιοι από αυτούς τους κόμβους συγκέντρωσης μπορεί να είναι το σημείο εστίασης και η επιτομή μιας περιοχής, η επιρροή τους επί της οποίας ακτινοβολεί και για την οποία αποτελούν σύμβολα. Μπορούν να αποκαλεστούν πύρινες».

[31] Landmarks: «τα τοπόσημα είναι ένας άλλος τύπος σημείου αναφοράς, αλλά σε αυτή την περίπτωση ο παρατηρητής δεν εισέρχεται εντός τους, είναι εξωτερικά. Είναι συνήθως ένα απλά οριζόμενο φυσικό αντικείμενο: κτίριο, σήμα, κατάστημα, βουνό. Η χρήση τους περιλαμβάνει την απομόνωση ενός στοιχείου από ένα πλήθος δυνατοτήτων. […] συχνά χρησιμοποιούνται ως στοιχεία ταυτότητας ή ακόμα και δομής».

Τα στοιχεία αυτά είναι «η πρώτη ύλη της περιβαλλοντικής εικόνας σε κλίμακα πόλης» (Lynch, 1960: 83), αλλά δεν εμφανίζονται μεμονωμένα[32], ούτε χαρακτηρίζουν τα φυσικά στοιχεία του χώρου με τρόπο κατηγορηματικό, μονοσήμαντο και σταθερό. Αντίθετα, τα διαφορετικά στοιχεία διαπλέκονται μεταξύ τους και συνδιαμορφώνουν την εικόνα της πόλης, ενώ οι τύποι είναι ανοιχτοί και εναλλάξιμοι, με αποτέλεσμα η ίδια φυσική δομή να μπορεί να ερμηνευθεί ως υπαγόμενη σε διαφορετικούς τύπους, ανάλογα με την εκάστοτε οπτική και το πλαίσιο αναφοράς ως προς το οποίο παρατηρείται[33].

II.ii. Η προσέγγιση της πόλης μέσω των αστικών συντελεστών από τον Aldo Rossi

Ο Aldo Rossi, στο έργο του «Η Αρχιτεκτονική της Πόλης» [L'Architettura della citta] (1978), προτείνει μια μέθοδο ανάλυσης της πόλης που βασίζεται στη θεωρία των αστικών συντελεστών και στη διαίρεση της πόλης σε πρωτογενή στοιχεία και σε περιοχή κατοικίας. Η μέθοδος αυτή «προσφέρεται τόσο σε μια ποσοτική όσο και σε μια ποιοτική αξιολόγηση» (Rossi, 1991: 20).

Όπως και ο Lynch, ο Rossi θεωρεί ότι η πόλη αποτελείται από διαφοροποιημένους αυτόνομους τομείς, τους οποίους επιχειρεί να περιγράψει ως αστικούς συντελεστές[34]. Οι αστικοί συντελεστές είναι τμήματα του αστικού ιστού που εμφανίζουν ενότητα, ατομικότητα και διάρκεια και παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της αντιληπτικής εικόνας της πόλης και την εμπειρικής αναγνώρισης της ταυτότητάς της, «αποτελούν τμήματα της πόλης που δεν είναι δυνατό να συμπιεσθούν, επειδή αυτά ακριβώς τη συγκροτούν» (Rossi, 1991: 66). Τα στοιχεία του αστικού ιστού που συνιστούν αστικούς συντελεστές δεν έχουν απαραίτητα ομοιότητες ως προς τη μορφή, τη λειτουργία ή την κλίμακά τους[35]. Μπορεί να είναι μνημεία, μεμονωμένα κτίρια, δρόμοι, πλατείες, οικοδομικά τετράγωνα, συνοικίες, ολόκληροι τομείς της πόλης. Οι αστικοί συντελεστές είναι συχνά πρωτογενή στοιχεία[36], δηλαδή πυρήνες συγκέντρωσης, «στοιχεία ικανά να επιταχύνουν τη διαδικασία αστικοποίησης μιας συγκεκριμένης πόλης, όπως και σε σχέση με μια πιο μεγάλη περιοχή, είναι στοιχεία που χαρακτηρίζουν τις διαδικασίες μετασχηματισμού του χώρου αυτής της περιοχής» (Rossi, 1991: 120).

Στην ανάλυση αυτή, ο Rossi υιοθετεί μια θεωρητική προσέγγιση που θεωρεί την πόλη κυρίως ως δομή του χώρου και όχι ως προϊόν των λειτουργικών συστημάτων απ' τα οποία γεννιέται η αρχιτεκτονική της[37] (Rossi, 1991: 24). Η θεωρία των αστικών συντελεστών «παίρνει υπόψη της πιο πολύ τη δομή τους, παρά τη λειτουργία τους» (Rossi, 1991: 83).

[32] «Κανένας από τους τύπους στοιχείων δεν υφίσταται μεμονωμένα. […] Τα στοιχεία κανονικά αλληλεπικαλύπτονται και διατρυπούν το ένα το άλλο. Αν αυτή η ανάλυση ξεκινά με τη διαφοροποίηση των δεδομένων σε κατηγορίες, πρέπει να τελειώσει με την επανενσωμάτωσή τους στη συνολική εικόνα» (Lynch, 1960: 48-49).

[33] «Η εικόνα μιας δεδομένης φυσικής πραγματικότητας ενδέχεται περιστασιακά να μετατοπίζει τον τύπο της υπό διαφορετικές συνθήκες θέασης.» […] Αλλά οι κατηγορίες φαίνεται να είναι σταθερές για έναν δεδομένο παρατηρητή όταν λειτουργεί σε ένα δεδομένο επίπεδο» (Lynch, 1960: 48).

[34] «Η πόλη είναι χωρισμένη σε διαφορετικούς τομείς, οι οποίοι από μορφολογική και ιστορική άποψη αποτελούν σύνθετους αστικούς συντελεστές» (Rossi, 1991: 80-83).

[35] «Η ποιότητα μερικών συντελεστών είναι πιο σημαντική από το μέγεθός τους» (Rossi, 1991: 122).

[36] «Τα κυρίαρχα στοιχεία της πόλης τα ονομάσαμε πρωτογενή, επειδή συμμετέχουν στην εξέλιξη της όλης στο χρόνο κατά τρόπο σταθερό και συχνά ταυτίζονται με τους συντελεστές που συγκροτούν την πόλη» (Rossi, 1991: 116-118).

[37] Σύμφωνα με τον Rossi, μπορούμε να μελετήσουμε την πόλη από πολλά σημεία και ο ίδιος επιλέγει να προσεγγίσει την πόλη ως τελικό δεδομένο, ως κατασκευή. «Όταν αναλύσουμε τους αστικούς συντελεστές που πήραν μέρος ως την τελική

Θεωρεί ότι το σύνολο των χαρακτηριστικών των αστικών συντελεστών συγκεντρώνεται στη μορφή τους[38] και δε λαμβάνει υπόψη του τη λειτουργία τους[39], καθώς «αν οι αστικοί συντελεστές θεωρηθεί ότι υπάρχουν μονάχα για την οργάνωση μιας λειτουργίας, τότε δεν μπορούν να παρουσιάσουν ούτε συνέχεια ούτε ατομικότητα» (Rossi, 1991: 45).

Η συνέχεια είναι βασικό χαρακτηριστικό των αστικών συντελεστών, καθώς αποτελούν τα στοιχεία εκείνα, που παραμένοντας αναγνωρίσιμα διαμέσου διαρκών μεταβολών, καθορίζουν την εικόνα και την ταυτότητα της πόλης[40]. «Μέσα από την εναλλαγή των εποχών και των πολιτισμών, είναι δυνατό να παρατηρήσουμε μια σταθερότητα στοιχείων που εξασφαλίζει στην αστική έκφραση μια σχετική ενότητα» (Rossi, 1991: 50). Η σταθερότητα αυτή δεν σημαίνει απουσία μεταβολής. Οι αστικοί συντελεστές μπορεί να μεταβάλλονται, να αλλάζουν χρήση ή και εν μέρει μορφή, αλλά παραμένουν ζωτικοί όταν συμμετέχουν στη ζωή της πόλης με διάρκεια. «Τόσο η επιβίωση όσο και η διάρκεια αυτών των συντελεστών οφείλεται στην ικανότητά τους να συγκροτούν τν πόλη, στην ιστορία τους και στην τέχνη τους καθώς και στην ύπαρξη και τη μνήμη τους» (Rossi, 1991: 66).

Αν και η ατομικότητα είναι συστατικό χαρακτηριστικό των αστικών συντελεστών, ο Rossi επιχειρεί την τυπολογική τους κατηγοριοποίηση, με την έννοια ότι το τυπικό στοιχείο ή ο τύπος, ως σταθερά, βρίσκεται σε όλους τους αρχιτεκτονικούς συντελεστές[41]. Προϋποθέτει τη «σύλληψη του αρχιτεκτονικού συντελεστή ως δομής και ότι η δομή εμφανίζεται και μπορεί να αναγνωριστεί μέσα στον ίδιο το συντελεστή.[…] Κανένας τύπος δεν ταυτίζεται με μια μορφή, αν και όλες οι αρχιτεκτονικές μορφές μπορούν να αναχθούν σε τύπους» (Rossi, 1991: 41).

Οι αστικοί συντελεστές, σε αναλογία με τους βασικούς τύπους εικονικών στοιχείων του Lynch, είναι τα στοιχεία εκείνα που καθορίζουν τη συλλογική εικόνα της πόλης. Σύμφωνα με τον Rossi (1991: 60-61), «το πρωταρχικό στοιχείο για την κατανόησή τους βρίσκεται στο συλλογικό τους χαρακτήρα.[…] Η πόλη κατασκευάζεται στο σύνολό της, δηλαδή όλα τα συνθετικά στοιχεία της συμμετέχουν στη δημιουργία ενός συντελεστή. […] Η πόλη και κάθε αστικός συντελεστής είναι από τη φύση τους συλλογικοί».

κατασκευή μιας σύνθετης επεξεργασίας, τότε θα υπολογίσουμε όλα τα δεδομένα αυτής της επεξεργασίας, που δεν μπορούν να περιληφθούν ούτε στην ιστορία της αρχιτεκτονικής, ούτε στην κοινωνιολογία, ούτε και στις άλλες επιστήμες» (Rossi, 1991: 22). «Η αρχιτεκτονική αποτελεί τη μια μόνο όψη μιας σύνθετης πραγματικότητας, μιας ιδιαίτερης δομής, αλλά συγχρόνως, επειδή είναι και το μόνο επαληθεύσιμο δεδομένο αυτής της πραγματικότητας, αποτελεί τον πιο συγκεκριμένο τρόπο προσέγγισης των αστικών προβλημάτων» (Rossi, 1991: 31).

[38] Ωστόσο «η περιγραφή της μορφής ενός αστικού συντελεστή […] δεν είναι παρά μια στιγμή, ένα εργαλείο. Είναι ένα βήμα προς τη γνώση της δομής του, αλλά δεν ταυτίζεται μ' αυτήν» (Rossi, 1991: 31).

[39] «Η λειτουργία δεν αρκεί για να καθορίσει τη συνέχεια των αστικών συντελεστών και αν αυτή θεωρηθεί ως βάση του τυπολογικού ορισμού των αστικών συντελεστών, τότε δε θα ήταν δυνατό να εξηγηθεί κανένα φαινόμενο επιβίωσής τους. […] Στην πραγματικότητα εξακολουθούμε να χρησιμοποιούμε στοιχεία που η λειτουργία τους έχει χαθεί από καιρό. Άρα η αξία αυτών των συντελεστών βρίσκεται αποκλειστικά και μόνο στη μορφή τους, που είναι στενά συνδεδεμένη με τη μορφή της πόλης» (Rossi, 1991: 67).

«Τα γενεσιουργά στοιχεία έχουν υλική και πνευματική φύση και δεν μπορούν να ταξινομηθούν σαν λειτουργίες. Όμως, επειδή κάθε λειτουργία αναγνωρίζεται μέσα από μια μορφή, η οποία με τη σειρά της μπορεί να είναι ένας αστικός συντελεστής, μπορούμε να βεβαιώσουμε ότι μια μορφή, ένα αστικό στοιχείο επιτρέπει την αναγνώριση κάποιου συντελεστή. Και αν αυτή η μορφή είναι δυνατή, μπορούμε να σκεφτούμε ότι ένας ορισμένος αστικός συντελεστής παραμένει μαζί της και οτι ίσως, όταν ακριβώς παραμένει μέσα σ' ένα σύνολο μεταβολών, τότε αποτελεί έναν κατεξοχήν αστικό συντελεστή» (Rossi, 1991: 58).

[40] «Στην πραγματικότητα η δομή των αστικών συντελεστών διαχωρίζει τις πόλεις στο χρόνο και στο χώρο 'per genus et differentiam'. Κάθε μεταβολή ενός αστικού συντελεστή προϋποθέτει μια ποιοτική αλλαγή» (Rossi, 1991: 72-73).

[41] «Θεωρώ την έννοια του τύπου ως κάτι που παραμένει, ως κάτι σύνθετο, μια λογική σύλληψη που προηγείται από τη μορφή και που την ορίζει» (Rossi, 1991: 40).

II.iii. Οι χωρικές δομές ως στοιχεία μιας γλώσσας προτύπων κατά τον Christopher Alexander

Ο Christopher Alexander, στα βιβλία «The Timeless Way of Building» (Alexander, 1979) και «A Pattern Language» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977), αναπτύσσει μια γλώσσα προτύπων [pattern language] και μια μεθοδολογία χρήσης της για την υποστήριξη της σχεδιαστικής διαδικασίας[42]. «Τα στοιχεία της γλώσσας αυτής είναι οντότητες που ονομάζονται πρότυπα [patterns]» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: x), τα οποία αντλούνται από το δομημένο περιβάλλον, μέσα από την κατηγοριοποίηση υφιστάμενων μορφών και δομών σε οικογένειες. Τα patterns συνδυαζόμενα μεταξύ τους με διαφορετικούς τρόπους παράγουν χωρικές επιλύσεις σε μια λογική γενεσιουργής γραμματικής.

Προκειμένου να ορίσει τα σημεία της προτεινομένης γλώσσας, ο Alexander διακρίνει το δομημένο περιβάλλον σε επιμέρους οντότητες διαφορετικών κλιμάκων, που προσδιορίζονται βάσει της «κατανόησης της φύσης της διαδικασίας δόμησης» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: ix) και τις οποία επιχειρεί να περιγράψει μέσω των προτύπων. Τα πρότυπα αυτά είναι στοιχεία της συλλογικής αντιληπτικής και βιωματικής εικόνας του δομημένου περιβάλλοντος και αποτελούν εκφράσεις των δυνάμεων σχηματοποίησής του. Ο Alexander τα χαρακτηρίζει ως άχρονα [timeless], καθώς θεωρεί ότι πηγάζουν από αρχετυπικές και καθολικές νοητικές κατασκευές που σχετίζονται με την ανθρώπινη κατανόηση της δομής του χώρου.

Στο «A Pattern Language», συγκεντρώνονται 253 patterns, τα οποία συναποτελούν μια γλώσσα. «Η γλώσσα προτύπων έχει τη δομή δικτύου» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: xviii), η οποίο ορίζει και το συντακτικό της. Ο τρόπος με τον οποίο τα patterns συνδυάζονται μεταξύ τους είναι προκαθορισμένος, ιεραρχικός και ακολουθεί μια διαδοχική, γραμμική λογική[43]. Σύμφωνα με τη λογική αυτή, τα patterns ταξινομούνται ανάλογα με τη χωρική κλίμακα στην οποία αναφέρονται και καταχωρούνται κατά φθίνουσα σειρά μεγέθους[44]. Η σειρά αυτή ακολουθεί τον τρόπο κατά τον οποίο συσχετίζονται μεταξύ τους. Σε αυτή τη γραμμική διαδοχή, κάθε pattern συνδέεται με κάποια μεγαλύτερης κλίμακας patterns που προηγούνται και με κάποια μικρότερης κλίμακας patterns που έπονται. Έτσι κάθε pattern συμπληρώνει τα μεγαλύτερα patterns που βρίσκονται από πάνω του και συμπληρώνεται από τα μικρότερα patterns από κάτω του[45]. Σε αυτό το σύστημα ιεραρχικών αλληλοσυσχετισμών «κανένα pattern δεν είναι απομονωμένη οντότητα. Κάθε pattern μπορεί να υπάρχει στον κόσμο μόνο στο βαθμό στον οποίο υποστηρίζεται από άλλα patterns: τα μεγαλύτερα

[42] Στο βιβλίο «The Timeless Way of Building», που αποτελεί το υπόβαθρο για την ανάπτυξη και τις οδηγίες για τον τρόπο χρήσης της γλώσσας, υποστηρίζει τη σημασία της συλλογικότητας της διαδικασίας δόμησης, η οποία θεωρεί ότι προϋποθέτει μια κοινά αναγνωρίσιμη και ζωντανή γλώσσα προτύπων. Στο «A Pattern Language», παρουσιάζει μία πιθανή τέτοια γλώσσα προτύπων, που την αποκαλεί «ο άχρονος τρόπος» [the Timeless Way]. Η γλώσσα αυτή είναι «εξαιρετικά πρακτική» και «έχει διυλιθεί από προσωπικές προσπάθειες δόμησης και σχεδιασμού» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: x, ix).

[43] «Όταν χρησιμοποιούμε το δίκτυο μίας γλώσσας, το χρησιμοποιούμε πάντα ως γραμμική διαδοχή, κινούμενοι πάντα από τα μεγαλύτερα patterns προς τα μικρότερα» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: xviii).

[44] Η σειρά με την οποία τα patterns παρουσιάζονται στο A Pattern Language ακολουθεί μια κατάταξη φθίνουσας κλίμακας. Έτσι τα πρώτα patterns αναφέρονται σε περιφέρειες και πόλεις και ακολουθούν διαδοχικά γειτονιές, ομάδες κτιρίων, κτίρια, δωμάτια και κοιλότητες, κατασκευαστικές λεπτομέρειες (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: xii).

[45] Η δομή αυτή εξυπηρετεί δύο σκοπούς. «Πρώτον, η παρουσίαση κάθε pattern συνδεόμενου με άλλα patterns, ώστε να γίνει αντιληπτή η συλλογή των 253 patterns ως σύνολο, ως μια γλώσσα, με την οποία μπορεί κανείς να δημιουργήσει μια άπειρη ποικιλία συνδυασμών. Δεύτερον, για να παρουσιαστεί το πρόβλημα και η λύση του κάθε pattern κατά τρόπο ώστε να μπορεί κανείς να το κρίνει και να το τροποποιεί χωρίς να χάνεται η ουσία που είναι κεντρική σε αυτό» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: xi).

patterns στα οποία ενσωματώνεται, τα patterns ίσου με αυτό μεγέθους που το περιβάλλουν και τα μικρότερα patterns που ενσωματώνονται σε αυτό» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: xiii).

Σύμφωνα με τη δομή αυτή, η οργάνωση του δικτύου εμφανίζει ενθυλακωμένες ιεραρχίες δενδροειδούς μορφής. Παρά τη γραμμικότητα του τρόπου διασύνδεσης μεταξύ patterns διαφορετικών κλιμάκων, οι δυνατοί συνδυασμοί είναι πάρα πολλοί. Επίσης, η διαγραμματική δομή των patterns τα καθιστά ανοιχτά σε πολλαπλές αναγνώσεις και ερμηνείες[46]. Επομένως, ακόμα και ο ίδιος συνδυασμός μπορεί να οδηγήσει σε πολύ διαφορετικά αποτελέσματα.

Σύμφωνα με τους Alexander, Ishikawa και Silverstein (1977: x), «κάθε pattern περιγράφει ένα πρόβλημα που εμφανίζεται επαναλαμβανόμενα στο περιβάλλον μας, και στη συνέχεια περιγράφει τον πυρήνα της λύσης σε αυτό το πρόβλημα, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει αυτή τη λύση ένα εκατομμύριο φορές, χωρίς ποτέ να το κάνει δύο φορές με τον ίδιο τρόπο».

Η προσέγγιση αυτή επιδιώκει την αντιστοίχηση προβλημάτων διαφορετικών κλιμάκων και τάξεων με παραδείγματα επιτυχημένων επιλύσεων με σκοπό την εξαγωγή από τις πολλαπλές αυτές επιλύσεις της κοινής, σταθερής, βαθύτερης ουσίας που τις διέπει[47] και την απόδοσή της με μορφή διαγράμματος. Κάθε πρόβλημα αντιστοιχείται σε ένα πεδίο λύσεων το οποίο ανάγεται σε ένα αρχετυπικό παράδειγμα του pattern και σε ένα αντίστοιχο πρωτότυπο διάγραμμα.

Τα patterns αξιολογούνται ανάλογα με την εγκυρότητα και την καθολικότητά τους. Ο Alexander θεωρεί οτι κάποια patterns «συνοψίζουν μια ιδιότητα κοινή σε όλους τους δυνατούς τρόπους επίλυσης του εκάστοτε προβλήματος». Σε αυτές τις περιπτώσεις το pattern εκφράζει μια σταθερά, «περιγράφει μια βαθειά και αναπόφευκτη ιδιότητα ενός καλώς σχηματισμένου περιβάλλοντος» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: xiv). Άλλα patterns είναι λιγότερα απόλυτα ως προς την καθολικότητά τους και επιδέχονται βελτιώσεις και προσαρμογές, ενώ κάποια είναι απλώς ενδεικτικά, χωρίς καθολική αξία.

Σύμφωνα με τον Alexander, η προτεινόμενη γλώσσα προτύπων δεν είναι παρά μία πιθανή προσέγγιση, ανάμεσα σε άλλες[48]. Ωστόσο, θεωρεί ότι κάποια patterns είναι τόσο βαθειά ριζωμένα στην ανθρώπινη αντίληψη, που αποτελούν καθολικά αναγνωριζόμενα στοιχεία[49].

Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας σχεδιασμού, βάσει της ανάλυσης του σχεδιαστικού προβλήματος σε υπο-προβλήματα διαφορετικών κλιμάκων, την αντιστοίχηση του κάθε υπο-προβλήματος σε μια σειρά patterns και τον συνδυασμό τους σε μια συνολική σύνθεση εγείρει πολλά ερωτήματα σε όλα τα στάδια προσδιορισμού τόσο του προβλήματος όσο και της λύσης. Ωστόσο, η λογική των patterns παρέχει ένα περιγραφικό και αναλυτικό εργαλείο που υποστηρίζει πολλαπλές αναγνώσεις και ερμηνείες του χώρου βάσει αντιληπτικών ποιοτήτων που δεν περιγράφονται άμεσα,

[46] «Τα patterns είναι υποθέσεις, και τα 253 και επομένως είναι δοκιμαστικά, ελεύθερα να εξελιχθούν κάτω από την επίδραση νέας εμπειρίας και παρατήρησης» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: xv).

[47] «Προσπαθήσαμε σε κάθε λύση να αποδώσουμε την αμετάβλητη ιδιότητα που είναι κοινή σε όλους τους τόπους που επιτυγχάνουν να επιλύσουν το πρόβλημα» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: xiv).

[48] Σύμφωνα με τον Alexander, Ishikawa και Silverstein (1977: xvi - xvii), «κάθε κοινωνία […] έχει τη δική της μοναδική και διακριτή γλώσσα προτύπων. Και επιπλέον, κάθε άτομο εντός αυτής της κοινωνίας έχει μια μοναδική γλώσσα, εν μέρει μοιραζόμενη, αλλά η οποία ως σύνολο είναι μοναδική για το νου του ατόμου που την έχει. Με αυτή την έννοια, σε μια υγιή κοινωνία υπάρχουν τόσες γλώσσες προτύπων όσα άτομα – αν και αυτές οι γλώσσες είναι κοινές και παρόμοιες». Η προτεινόμενη γλώσσα είναι «ένα εγχειρίδιο χρήσης, ή ένας δάσκαλος, ή μια εκδοχή μίας πιθανής γλώσσας προτύπων».

[49] «Με αυτή την έννοια, τουλάχιστον ένα μέρος της γλώσσας που παρουσιάζουμε, είναι ο αρχετυπικός πυρήνας όλων των πιθανών γλωσσών προτύπων» (Alexander, Ishikawa & Silverstein, 1977: xvii).

αλλά προσεγγίζονται εμπειρικά μέσα από υλοποιημένες χωρικές διατάξεις. Η προσπάθεια κατηγοριοποίησης των διατάξεων αυτών σε ομάδες που απαντούν στο ίδιο ερώτημα και εξαγωγής της κοινής ουσίας που τις ταξινομεί ως παρόμοιες, συμβάλλει στην απόδοση σύνθετων και ασαφών ποιοτήτων μέσω διαγραμματικών περιγραφών.

II.iv. Ανάλυση του χώρου βάσει διατακτικών ιδιοτήτων από τη Space Syntax

Η Space Syntax είναι μια «μέθοδος και θεωρία του χώρου» (Hillier, 2005: 1) που βασίζεται στην προσέγγιση του χώρου ως «πτυχής της κοινωνικής ζωής» (Hillier, 1996: 1). Η Space Syntax ξεκίνησε να αναπτύσσεται στη δεκαετία του ’70 από τον Bill Hillier και την Julienne Hanson[50], καθηγητές της σχολής Αρχιτεκτονικής The Bartlett του πανεπιστημίου University College London, σε συνεργασία με μια ομάδα ερευνητών. Η θεωρητική και πρακτική της βάση συνοψίζεται στο βιβλίο «The Social Logic of Space» των Hillier και Hanson, του 1984. «Έκτοτε, η θεωρία έχει εξελιχθεί σε ένα εκτενές ερευνητικό πρόγραμμα αναφορικά με τη χωρική φύση και τη λειτουργία των κτιρίων και των πόλεων, σε λογισμικά ηλεκτρονικών υπολογιστών που συνδέσουν τα αναλυτικά εργαλεία της Space Syntax με γραφικές αναπαραστάσεις και αποτελέσματα για ερευνητές και σχεδιαστές, και σε ένα επεκτεινόμενο εύρος εφαρμογών στον αρχιτεκτονικό και αστικό σχεδιασμό» (Hillier, 1996: 1).

«Η κεντρική ιδέα της Space Syntax είναι η περιγραφή του χώρου και της κίνησης ως μιας διάστασης κοινωνικής συμπαρουσίας» (Peponis et al, 1997: 764). Βασικός στόχος της Space Syntax είναι «να δείξει πώς η τάξη στο χώρο πηγάζει από την κοινωνική ζωή και επομένως να αναδείξει τους τρόπους με τους οποίους η κοινωνία διαπερνά ήδη τους χωρικούς σχηματισμούς που χρειάζεται να περιγραφούν και να αναλυθούν» (Hillier & Hanson, 1984: 8).

Σύμφωνα με τον Bafna (1999), βασική αρχή της χωρικής θεωρίας της Space Syntax είναι ότι οι σχέσεις προσβασιμότητα μεταξύ των στοιχείων μιας χωρικής διάταξης συνδέονται στενά με την κοινωνική κατάσταση που στεγάζει. «Η θεωρία της Space Syntax είναι ότι οι κοινωνικές σχέσεις και διεργασίες εκφράζονται στο χώρο πρωτίστως – αλλά όχι αποκλειστικά- μέσω χωρικών διατάξεων» (Hillier et al, 1987: 363). Η σχέση αυτή μεταξύ κοινωνικών διεργασιών και χωρικών διατάξεων θεωρείται αμφίδρομη, καθώς από τη μία, η χωρική διάταξη είναι σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό των κοινωνικών διαδικασιών και από την άλλη, παράγεται και η ίδια από κοινωνικές διαδικασίες.

Η Space Syntax, εστιάζοντας στα διατακτικά χαρακτηριστικά του χώρου, θεωρεί το χώρο ως σύστημα συσχετισμών, η ανάλυση και η κατανόηση του οποίου προϋποθέτει μια συνολική προσέγγιση που

[50] Η θεωρία και οι μέθοδοι της Space Syntax συγκεντρώνονται και εκθέτονται αναλυτικά για πρώτη φορά στο βιβλίο The Social Logic of Space, που γράφτηκε από τους Bill Hillier και Julienne Hanson το 1984. Έκτοτε, τόσο η θεωρία όσο και οι μέθοδοι και οι εφαρμογές της Space Syntax δεν έχουν σταματήσει να εξελίσσονται και έχει δημοσιευθεί πλήθος βιβλίων, εγχειριδίων και άρθρων που τεκμηριώνει την εξέλιξη αυτή. Σήμερα η Space Syntax διδάσκεται σε πολλά πανεπιστήμια παγκοσμίως και αποτελεί αρκετά κοινή πρακτική στον αστικό και τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό. Εκτός από την ερευνητική ομάδα του UCL που συνεχίζει να αναπτύσσει τη Space Syntax σε ακαδημαϊκό πλαίσιο, έχει ιδρυθεί και εταιρεία με την επωνυμία Space Syntax, η οποία λειτουργεί σε συνεργασία με την ερευνητική ομάδα και εφαρμόζει τις μεθόδους της σε εμπορικές εφαρμογές.

δεν εστιάζει σε κάθε μέρος ξεχωριστά[51], αλλά επιδιώκει την αναγνώριση τυπικών σχηματισμών συσχετισμών[52].

Σε αυτά τα πλαίσια έχουν αναπτυχθεί, και συνεχίζουν να εξελίσσονται, διάφορες αναλυτικές μέθοδοι που βασίζονται στη μέτρηση διατακτικών χαρακτηριστικών. Η συγκριτική ανάλυση των αποτελεσμάτων των μεθόδων αυτών οδηγεί στη συγκρότηση μοντέλων που στοχεύουν στην κατανόηση της χωρικής δομής και του συσχετισμού της με την ανθρώπινη δράση. Οι μέθοδοι αυτές αναφέρονται σε όλες τις χωρικές κλίμακες, από την περιφερειακή και αστική μέχρι την κλίμακα των εσωτερικών διατάξεων μεμονωμένων κτιρίων. Στην αστική κλίμακα, βασικό πεδίο ανάλυσης της Space Syntax είναι το δίκτυο των δρόμων, καθώς αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα που καθορίζει την κίνηση στην πόλη, αλλά και τον σκελετό του αστικού ιστού. Σε κλίμακα εσωτερικού χώρου κτιρίου, προτεραιότητα παίρνουν διατακτικές ιδιότητες που σχετίζονται με την οπτική αντίληψη καθώς θεωρείται ότι η κίνηση σε χώρους μεγέθους που επιτρέπει τη συνολική εποπτεία καθορίζεται κυρίως από την οπτική διείσδυση. Τα επικρατέστερα εργαλεία της Space Syntax βασίζονται στην ανάλυση των διατάξεων βάσει αξονικών γραμμών και κυρτών χώρων[53]. Από τη βασική αυτή ανάλυση εξάγονται μια σειρά χαρτών και μετρήσεων που συνδυαζόμενες αποδίδουν διαφορετικά διατακτικά χαρακτηριστικά και υποστηρίζουν την αποκάλυψη τυχόν κανονικοτήτων και επαναλαμβανόμενων δομών συσχετισμών.

Ο εντοπισμός κανονικοτήτων και η συσχέτισή τους με κανονικότητες στη χρήση των αντίστοιχων διατάξεων χρησιμοποιείται από τη Space Syntax για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το πώς διαφορετικές χωρικές διατάξεις επιτρέπουν ή καθοδηγούν συγκεκριμένες συμπεριφορές και φαινόμενα[54]. Έτσι, «οι διατακτικές τεχνικές που έχουν αναπτυχτεί για την έρευνα μπορούν εύκολα να αναστραφούν και να χρησιμοποιηθούν για την υποστήριξη του πειραματισμού και της προσομοίωσης στο σχεδιασμό» (Hillier, 1996: 1). Η αντιστοίχηση χωρικών και συμπεριφορικών κανονικοτήτων χρησιμοποιείται ως μέσο αξιολόγησης υφιστάμενων διατάξεων αλλά και σχεδιαζόμενων χωρικών παρεμβάσεων, αλλά και για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης.

Με την έννοια αυτή, η Space Syntax παρέχει ένα σύνολο θεωρητικών αρχών αλλά και πρακτικών μεθόδων και τεχνικών για τη δημιουργία και την αξιολόγηση σχεδιαστικών προτάσεων. Σύμφωνα με τον Hillier, «αυτές οι νέες τεχνικές προκύπτουν από τα αποτελέσματα πολύχρονης έρευνας στην οποία χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι τρόποι διατακτικής μοντελοποίησης, πρώτον για την αναγνώριση μη-διαλεκτικών κανονικοτήτων στον τρόπο με τον οποίο αρχιτεκτονικά και αστικά συστήματα συντίθενται χωρικά και καθορίζουν τους «γονότυπους» της χωρικής μορφής. Δεύτερον, για τη συσχέτιση αυτών των μη-διαλεκτικών κανονικοτήτων με πτυχές του πώς οι άνθρωποι εμφανίζονται

[51] «Ο αρχιτεκτονικός και αστικός σχεδιασμός, ως προς τη μορφική και τη χωρική τους έκφραση, προσεγγίζονται ως ριζικά διατακτικοί, με την έννοια ότι ο τρόπος κατά τον οποίο τα μέρη συντίθενται για να σχηματίσουν το σύνολο είναι σημαντικότερος από οποιοδήποτε από τα μεμονωμένα μέρη» (Hillier, 1996: 1).

[52] «Οι τεχνικές «διατακτικής ανάλυσης» - των οποίων οι διάφορες τεχνικές της Space Syntax αποτελούν υποδείγματα- που έχουν χτιστεί πάνω σε αυτή την ιδέα (της διάταξης) έχουν φέρει στο φως τη φευγαλέα «πτυχή προτύπων» [pattern aspect] των πραγμάτων στην αρχιτεκτονική και τον αστικό σχεδιασμό και έχουν καταστήσει δυνατή την ποιοτική έκφραση της προαιώνιας ιδέας ότι το «πώς τα πράγματα τοποθετούνται μαζί» είναι αυτό που έχει σημασία είναι» (Hillier, 1996: 1).

[53] Για περισσότερες λεπτομέρειες και αναφορές στις βασικές μεθόδους και εργαλεία της Space Syntax βλ. κεφ. 2.1.1 και 4.3.3.2.1.

[54] «Οι τεχνικές αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί τα τελευταία χρόνια για δύο βασικούς σκοπούς. Πρώτον για την διερεύνηση του βαθμού στον οποίο μπορούν να φωτιστούν και να γίνουν αντικείμενο σχολαστικών συγκριτικών αναλύσεων οι διατακτικές πτυχές του χώρου και της μορφής στη δόμηση μέσω της οποίας μεταβιβάζεται ο πολιτισμός, και δεύτερον, μέσω αυτών των συγκριτικών αναλύσεων να αναπτυχθεί ένα σώμα υλικού το οποίο να επιτρέπει τη σταδιακή ανάπτυξη μιας γενικής θεωρίας της αρχιτεκτονικής δυνατότητας» (Hillier, 1996: 60).

να λειτουργούν στο χώρο. Και τρίτον, για να αρχίσει να χτίζεται από τις κανονικότητες αυτές μια εικόνα υψηλότερης γενικότητας του πώς ρα χωρικά συστήματα συντίθενται και λειτουργούν ανταποκρινόμενα στις απαιτήσεις των ατόμων και των συλλογικοτήτων» (Hillier, 1996: 108).

Η γενίκευση των μοντέλων της Space Syntax και η χρήση τους ως εργαλεία αξιολόγησης και πρόβλεψης εγείρει ερωτήματα ως προς τη δυνατότητα απευθείας αντιστοίχισης χωρικών και συμπεριφορικών κανονικοτήτων. Ωστόσο, η παροχή εργαλείων για την περιγραφή και ποσοτικοποίηση μη-διαλεκτικών, διατακτικών χωρικών ιδιοτήτων και η δημιουργία μοντέλων για τη συγκριτική ανάλυση χώρων βάσει πολλαπλών τέτοιων ιδιοτήτων και για την αναγνώριση κανονικοτήτων και επαναλαμβανόμενων τυπικών δομών σχέσεων, συμβάλλουν στην απόδοση μη περιγράψιμων χαρακτηριστικών που δεν μπορούν να προσεγγιστούν με άλλους όρους.

Ως προς την πολλαπλότητα των παρεχόμενων περιγραφών, οι τεχνικές τις Space Syntax είναι εξελισσόμενες και επεκτεινόμενες και πολλές από αυτές λειτουργούν συσχετιστικά μεταξύ τους. Επιπλέον, ο Hillier αναφέρει ότι για τη δημιουργία ενός πιο συνολικού θεωρητικού μοντέλου «μπορούμε να ξεκινήσουμε με τα καθαρά «διατακτικά» μοντέλα και να δείξουμε πώς άλλες σημαντικές χωρικές ιδιότητες όπως η μετρική απόσταση, η επιφάνεια, η πυκνότητα, η κάλυψη, το σχήμα, τα πολιτικά όρια, και άλλα μπορούν να εκφραστούν εντός του διατακτικού μοντέλου χρησιμοποιώντας την ιδέα της ενσωμάτωσης στιβαδωμένων [layered] αναπαραστάσεων του χώρου σε ένα ενιαίο σύστημα» (Hillier, 1996: 102). Ωστόσο, μια αναπαράσταση πολλαπλών επάλληλων επιπέδων είναι πραγματικά πολλαπλή αν εκτός από τα ανεξάρτητα επίπεδα παρέχει και μια περιγραφή των μεταξύ τους συνδέσεων[55].

[55] Βλ. κεφ. IV.i.2 και VII.iv.

III. Παράδειγμα εφαρμογής

III.i. Ορισμός του μοναδιαίου στοιχείου: Το αστικό κενό

Στο παράδειγμα βάσει του οποίου αναπτύσσεται η εφαρμογή, η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόζεται σε άτυπους[56], ασχεδίαστους και υπολειμματικούς αδόμητους χώρους του αστικού ιστού οι οποίοι είναι χωρίς χρήση ή υποστηρίζουν περιστασιακές, μη θεσμοθετημένες χρήσεις.

Η συγκεκριμένη εφαρμογή εστιάζει στην κλίμακα του οικοδομικού τετραγώνου[57], ως σαφώς ορισμένου δομικού στοιχείου του αστικού ιστού[58].

Το οικοδομικό τετράγωνο θεωρείται αφαιρετικά ως μια δυαδική διάταξη δομημένων και αδόμητων χώρων, η γεωμετρική και τοπολογική οργάνωση των οποίων καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την οπτική αντίληψη του αστικού περιβάλλοντος, επηρεάζοντας τη χωρική εμπειρία και ορίζοντας τοπικές ιδιαιτερότητες που σχετίζονται με διακριτές χωρικές ποιότητες.

Ως δομημένος χώρος του οικοδομικού τετραγώνου ορίζεται οτιδήποτε ανήκει σε κτιριακό όγκο, και θεωρείται ως συνεχές και συμπαγές σώμα, ενώ ως αδόμητος χώρος προσδιορίζεται το κενό που σχηματίζεται από τη διάταξη των δομημένων όγκων του οικοδομικού τετραγώνου.

Αν και τα δύο αυτά στοιχεία είναι συμπληρωματικά και δεν μπορούν να απομονωθούν, αντικείμενο της ανάλυσης είναι ο πρωτίστως ο αδόμητος χώρος, ή το αστικό κενό.

Το αστικό κενό, ορίζεται ως η μέγιστη δυνατή συνένωση συνεχούς αδόμητου χώρου εντός του οικοδομικού τετραγώνου, ιδωμένου σε κάτοψη, ανεξάρτητα από ιδιοκτησιακά και άλλα μη κτιριακά υλικά όρια και διαχωριστικά, όπως μάντρες και φράχτες, υψομετρικές διαφορές, γεωλογικές και

[56] Οι εξεταζόμενοι αδόμητοι χώροι χαρακτηρίζονται ως άτυποι καταρχήν σε αντιδιαστολή με τους τυπικούς κοινόχρηστους ή δημόσιους αδόμητους χώρους, όπως είναι για παράδειγμα τα πάρκα και οι πλατείες. Σύμφωνα με τον Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό (ΓΟΚ Ν. 1577/1985, Μέρος Α', Πολεοδομικός Κανονισμός, Άρθρο 2, Ορισμός 2), Κοινόχρηστοι Χώροι είναι οι κάθε είδους δρόμοι, πλατείες, άλση και γενικά οι προοριζόμενοι για κοινή χρήση ελεύθεροι χώροι, που καθορίζονται από το εγκεκριμένο ρυμοτομικό σχέδιο του οικισμού ή έχουν τεθεί σε κοινή χρήση με οποιοδήποτε άλλο νόμιμο τρόπο.

Οι τυπικοί αυτοί κοινόχρηστοι χώροι είναι σχεδιασμένοι, σαφώς ορισμένοι ανοιχτοί χώροι, οργανωμένοι, πεπερασμένοι, σταθεροί και κατειλημμένοι. Είναι χώροι κλειστοί και γεμάτοι που προορίζονται για προκαθορισμένες χρήσεις και ερμηνείες. Είναι θεσμοθετημένα, επίσημα τμήματα του αστικού ιστού και ιδιοκτησία της πόλης, τυπικά και μορφολογικά ρυθμιζόμενοι και ελεγχόμενοι χώροι. Έχουν περιορισμένη, προκαθορισμένη και σαφή χρήση, χρήστες, πρόγραμμα, μορφή, ιδιοκτησία. Η δυνατότητα παρέμβασης και οικειοποίησης είναι συνήθως εμπρόθετα περιορισμένη και συχνά απαγορευμένη. Έτσι εμφανίζονται κλειστοί στη δυνατότητα εναλλακτικών χρήσεων, ερμηνειών, και οποιασδήποτε εξατομίκευσης.

[57] Σύμφωνα με τον Γενικό Οικοδομικό Κανονισμό (ΓΟΚ Ν. 1577/1985, Μέρος Α', Πολεοδομικός Κανονισμός, Άρθρο 2, Ορισμοί 7-10):

7. Οικοδομικό τετράγωνο (Ο.Τ.) είναι κάθε δομήσιμη ενιαία έκταση, που βρίσκεται μέσα στο εγκεκριμένο ρυμοτομικό σχέδιο ή μέσα στα όρια οικισμού και περιβάλλεται από κοινόχρηστους χώρους.

8. Όρια οικοδομικού τετραγώνου είναι οι οριακές γραμμές που το χωρίζουν από τους κοινόχρηστους χώρους.

9. Ρυμοτομική γραμμή είναι εκείνη που ορίζεται από το ρυμοτομικό σχέδιο και χωρίζει οικοδομικό τετράγωνο ή γήπεδο από κοινόχρηστο χώρο του οικισμού.

10. Οικοδομική γραμμή ή γραμμή δόμησης είναι το όριο οικοδομικού τετραγώνου που ορίζεται από το ρυμοτομικό σχέδιο προς την πλευρά του κοινόχρηστου χώρου, έως το οποίο επιτρέπεται η δόμηση.

[58] Η επιλογή του οικοδομικού τετραγώνου ως μοναδιαίου δομικού στοιχείου του αστικού συστήματος υιοθετείται στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης για αναλυτικούς σκοπούς και δεν υποθέτει την αναγωγή του αστικού ιστού σε μια μοναδική κατηγορία συστατικών στοιχείων, αφού αφ' ενός «ένα συνεκτικό σύστημα δεν μπορεί να αποσυντεθεί στα μέρη του», και αφ' ετέρου «υφίστανται πολλαπλές ισότιμες αποσυνθέσεις βασιζόμενες σε διαφορετικών τύπων μονάδες» (Salingaros, 2000).

δομικές ασυνέχειες, υπαίθριες διαμορφώσεις και διαφοροποιήσεις υφών. Πρόκειται δηλαδή για συνεχείς νησίδες ενοποιημένων αδιαφοροποίητων ανοιχτών χώρων, ανεξαρτήτως ιδιοκτησίας, χρήσης και χαρακτήρα, που δεν διαχωρίζονται πλήρως μεταξύ τους από την παρεμβολή κτιριακού όγκου.

Οι συνθήκες που σχηματοποίησαν τους χώρους αυτούς στην πάροδο του χρόνου συμπεριλαμβάνουν επαναλαμβανόμενες και επάλληλες διαδικασίες τοπικών χωρικών ανακατατάξεων, συνενώσεων και υποδιαιρέσεων, και προκύπτουν κυρίως από την εφαρμογή συγκεκριμένων κανονισμών, όρων δόμησης και κατασκευαστικών πρακτικών που επικρατούν την εκάστοτε περίοδο και κυρίως κατά τις δεκαετίες της μεγάλης αστικής ανοικοδόμησης στην Ελλάδα.

Οι σχηματισμοί αυτοί παράγονται κυρίως ως συνενώσεις ακαλύπτων πολυκατοικιών μεταξύ τους ενώ συχνά επεκτείνονται και γίνονται ακόμα πιο πολύπλοκοι και ακανόνιστοι με την ενσωμάτωση επιμέρους αδόμητων χώρων, όπως φωταγωγοί, πρασιές, υπολειπόμενοι χώροι από μετατοπίσεις της οικοδομικής γραμμής, υπολείμματα απαλλοτριώσεων, αδόμητα οικόπεδα, αυλές παλιών κτισμάτων ή άλλα απροσδιόριστα και αποσπασματικά χωρικά υπολείμματα.

Ως συνέπεια των διαδικασιών σχηματοποίησής τους, οι χώροι αυτοί εμφανίζονται έντονα ετερογενείς, διασπασμένοι, ασαφείς, ατελείς, τυχαίοι και μη ρητά περιγράψιμοι, αλλά παρόλα αυτά αναγνωρίσιμοι και χαρακτηριστικοί του τυπικού αθηναϊκού οικοδομικού τετραγώνου. Πρόκειται ως επί το πλείστον για ασχεδίαστες, σχεδόν τυχαίες συνενώσεις υπολειπόμενων και ανισότροπων χώρων που δεν ορίζονται παρά ως το αρνητικό του δομημένου χώρου του οικοδομικού τετραγώνου. Η αποσπασματικότητα και η απροσδιοριστία της ταυτότητάς τους τούς καθιστά χώρους ασαφείς, σχεδόν μη περιγράψιμους και εγγενώς ανοιχτούς σε πολλαπλές αναγνώσεις.

III.i.1. Το αστικό κενό ως terrain vague

Ο ασαφής, ανοιχτός και θραυσματικός χαρακτήρας των χώρων αυτών μπορεί να αποδοθεί εν μέρει με τον όρο terrain vague, με τον οποίο ο Solà-Morales περιγράφει κενούς, μη χρησιμοποιούμενους, ατελείς και αβέβαιους αστικούς χώρους[59], η συνθήκη των οποίων «είναι εσωτερική της πόλης αλλά εξωτερική της καθημερινής χρήσης» (Solà-Morales, 1995: 119).

Σχετικά με την επιλογή του όρου terrain vague για την αναφορά σε τέτοιους χώρους, ο Solà-Morales εξηγεί ότι «το γαλλικό terrain είναι πιο αστικό από το αγγλικό land, εκφράζοντας μια προέκταση του επακριβώς ορισμένου εδάφους που προορίζεται για δόμηση, για την πόλη». Ο όρος terrain αποδίδει «μεγαλύτερες και ίσως λιγότερο ακριβώς ορισμένες περιοχές, συνδεδεμένες με την υλική ιδέα ενός τμήματος γης στην δυνητικά εκμεταλλεύσιμη κατάστασή του αλλά που ήδη φέρει κάποιον ορισμό ως προς τον οποίο είμαστε εξωτερικοί» (Solà-Morales, 1995: 119). Ως προς το δεύτερο συνθετικό του όρου, το vague, το χρησιμοποιεί αξιοποιώντας διαφορετικές σημασίες του, αναφερόμενος ταυτόχρονα στην την έννοια του κύματος, του κενού και του ασαφούς. Το κύμα αναφέρεται σε κίνηση, παλινδρόμηση, αστάθεια και διακύμανση. Το κενό εκφράζει το μη-κατειλημμένο και το ελεύθερο, το διαθέσιμο, το μη-δεσμευμένο. Το ασαφές αποδίδει το απροσδιόριστο, το αδιευκρίνιστο, το ανακριβές, το θολό, το αβέβαιο.

[59] Ο Solà-Morales αναφέρεται κυρίως σε μεγάλες εκτάσεις με ασαφή όρια και χαρακτηριστικά, που εμφανίζονται είτε στα όρια είτε ως νησίδες εντός του αστικού ιστού, όπως αποβιομηχανοποιημένες ζώνες, υπολειμματικοί χώροι υποδομών, κενά οικόπεδα, πεδία καταστροφών. Ωστόσο ο όρος terrains vagues εκφράζει τα χαρακτηριστικά άτυπων χωρικών σχηματισμών ανεξαρτήτως κλίμακας.

Ο συνδυασμός των όρων στο terrain vague αναφέρεται σε «μη ενσωματωμένα περιθώρια, εσωτερικές νησίδες κενές δραστηριότητας, παραβλέψεις», σε χώρους «ξένους προς το αστικό σύστημα, νοητικά εξωτερικούς στο φυσικό εσωτερικό της πόλης, που εμφανίζονται ως η αρνητική της εικόνα» και που «υφίστανται εκτός των αποτελεσματικών κυκλωμάτων και παραγωγικών δομών της πόλης» (Solà-Morales, 1995: 120).

Για τον Solà-Morales τα terrains vagues είναι πεδία δυνατοτήτων[60], δυναμικοί χώροι όπου μπορούν να αναπτυχθούν νέες εναλλακτικές, χωρικές και προγραμματικές. Είναι κενοί χώροι «σε αναμονή, ασαφείς και διακυμαινόμενοι […]. Η σχέση μεταξύ της απουσίας χρήσης, δραστηριότητας και της αίσθησης ελευθερίας, είναι βασική για την κατανόηση της υποβλητικής δυνατότητας των terrains vagues της πόλης. Κενό, απουσία, αλλά και υπόσχεση, ο χώρος του πιθανού, της προσδοκίας» (Solà-Morales, 1995: 122, 120).

III.i.2. Το αστικό κενό ως γενόσημος χώρος

Η πολλαπλότητα των χώρων αυτών, η ασάφεια, η θραυσματικότητα, η μη-περιγραψιμότητά τους μέσω πεπερασμένων ρητών ιδιοτήτων και η ανοιχτότητά τους σε πολλαπλές ερμηνείες, τους καθιστά κατεξοχήν γενόσημους χώρους. Σύμφωνα με τον ορισμό του όρου από τον Badiou (2007: 338), «το γενόσημο είναι το είναι-πολλαπλό μιας αλήθειας», το «αδιάκριτο πολλαπλό» (Badiou, 2007: 284).

Οι γενόσημοι αυτοί χώροι δεν ορίζονται μονοσήμαντα ως ενιαίες οντότητες (είναι- λογιζόμενο- ως -ένα) (Badiou, 2007), αλλά ταυτόχρονα η θραυσματκότητά τους δεν είναι αναλύσιμη, δεν μπορούν να αναχθούν σε εντοπίσιμα διακριτά μέρη. Αν και αποτελούνται από πολλαπλά μέρη, μπορούν να διαιρεθούν σε αυτά με αναρίθμητους, εξίσου έγκυρους εναλλακτικούς τρόπους, ενώ και τα ίδια τα μέρη είναι και αυτά ασαφή και πολλαπλά καθορίσιμα. «Ως γενικός κανόνας ισχύει ότι το πολλαπλό (και τα υπο-πολλαπλά του) υπόκεινται σε πλήθος καθορισμών» (Badiou, 2007: 328).

Ενώ μπορούν να τους αποδοθούν πολλαπλές περιγραφές και ιδιότητες, καμία από τις ιδιότητες αυτές δεν τους καθορίζει κατά τρόπο που να μπορεί να αποτελέσει κριτήριο για την ονομασία ή την κατηγοριοποίησή τους. «Η κλάση των πολλαπλών που συνδέονται με το γεγονός δεν καθορίζονται από καμία από τις ιδιότητες που διατυπώνονται στη γλώσσα της κατάστασης» (Badiou, 2007: 338).

Σύμφωνα με τον Badiou (2007: 510) «η γενόσημη κατεύθυνση της σκέψης υιοθετεί την παρέκκλιση του πλεονάσματος[61] και αποδέχεται ακατανόμαστα ή μη διακριτά μέρη του όντος». Επομένως η έννοια του γενόσημου εκφράζει και ενσωματώνει τη διαρκή διαφοροποίηση, τον πλεονασμό των περιγραφών και την πιθανή αλληλεπικάλυψή τους, τους άπειρους εναλλακτικούς εντοπισμούς εναλλάξιμων μερών και αποδέχεται την ύπαρξη αδιαχώριστων αλλά ετερογενών οντοτήτων που δεν περιγράφονται με σαφήνεια και δεν κατονομάζονται ρητά.

Ο χαρακτηρισμός των εξεταζόμενων άτυπων χωρικών σχηματισμών ως γενόσημων χώρων τονίζει το γεγονός ότι «δεν μπορούν να ονομαστούν αποκλειστικά βάσει των πόρων της γλώσσας της

[60] Αντίστοιχη είναι και η προσέγγιση του Rossi (1991), σύμφωνα με τον οποίο «στην πόλη δεν υπάρχουν άμορφες ζώνες, ή, εκεί όπου υπάρχουν, είναι στιγμές μιας διαδικασίας μετασχηματισμού, παρουσιάζουν, σαν να λέμε, τις νεκρές στιγμές της δυναμικής της πόλης.[…] Αυτές οι περιοχές δεν ακολουθούν τη ζωή της υπόλοιπης πόλης και παρουσιάζονται για μεγάλο χρονικό διάστημα σαν νησίδες σε σχέση με τη γενική ανάπτυξη. Οι περιοχές αυτές μαρτυρούν τους διαφορετικούς ρυθμούς μετασχηματισμού της πόλης και διαμορφώνονται σε μεγάλες περιοχές εφεδρείας» (Rossi, 1991:133-134).

[61] Το πλεόνασμα [excess] «υποδεικνύει την μη μετρήσιμη διαφορά, και κυρίως την ποσοτική διαφορά, λη τη διαφορά δύναμης μεταξύ της κατάστασης μιας κατάστασης και της ίδιας της κατάστασης. Ωστόσο, με μια έννοια, υποδεικνύει επίσης τη διαφορά μεταξύ του όντος και του γεγονότος. Το πλεόνασμα είναι παρεκκλίνον και μη-αποδόσιμο» (Badiou, 2007: 507).

κατάστασης» (Badiou, 2007: 338), αλλά για τον ορισμό τους απαιτείται η αναζήτηση και εφαρμογή άλλων περιγραφικών λογικών[62].

[62] «Η ιδιότητα, εκφρασμένη στη γλώσσα της κατάστασης που θεμελιώνει αυτόν τον καθορισμό, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, σε καμία περίπτωση, για τη διάκριση του άπειρου θετικού αποτελέσματος της πιστής διαδικασίας» (Badiou, 2007: 337).

IV. Μεθοδολογία

IV.i. Στρατηγική περιγραφής των χωρικών δομών

IV.i.1. Προσέγγιση μη περιγράψιμων ιδιοτήτων μέσω πολλαπλών περιγραφικών διαστάσεων

Οι χωρικές ποιότητες που χαρακτηρίζουν τους εξεταζόμενους άτυπους χωρικούς σχηματισμούς, και στις οποίες αποδίδεται ο γενόσημος και ασαφής [vague] χαρακτήρας τους, αναφέρονται ως επί το πλείστον σε διατακτικές ιδιότητες[63], οι οποίες αν και είναι αντιληπτικά αναγνωρίσιμες και διαισθητικά διαχειρίσιμες, δεν είναι ρητά περιγράψιμες[64]. Πρόκειται για μη-διαλεκτικά[65], μη-οριστά[66] χαρακτηριστικά που καθορίζουν τη χωρική εμπειρία χωρίς να προϋποτίθεται η διαμεσολάβηση της λεκτικής τους απόδοσης[67]. Σύμφωνα με τον Hillier (1996: 3, 28), «η διάταξη είναι γενικά μη-διαλεκτική, που σημαίνει ότι δεν ξέρουμε πώς να μιλάμε γι' αυτήν και γενικά δεν μιλάμε γι' αυτήν ακόμα και όταν την χρησιμοποιούμε με τον πιο ενεργό τρόπο. […] Δεν έχουμε γλώσσα για την περιγραφή των διατάξεων, δηλαδή δεν έχουμε τα μέσα για να πούμε αυτό το οποίο γνωρίζουμε».

Η δυσκολία περιγραφής των αστικών κενών με ρητούς όρους δεν επιτρέπει την εκ των προτέρων διατύπωση σαφών κριτηρίων αξιολόγησης για την κατηγοριοποίησή τους σε διακριτούς τύπους.

[63] Η διάταξη [configuration] είναι ένα σύνολο ανεξάρτητων σχέσεων εντός του οποίου κάθε σχέση καθορίζεται από τη σχέση της με όλες τις άλλες (Hillier, 1996: 24).

[64] Σύμφωνα με τον Πεπονή (2003: 37), «οι λέξεις περιγράφουν δύσκολα το σχήμα και τη χωρική μορφολογία των πραγμάτων που προσεγγίζουμε με τη όραση, τον περίπατο ή την αφή και γνωρίζουμε με το σχέδιο, τα μαθηματικά ή την κατασκευή. Η προτεραιότητα των λέξεων, όσον αφορά τη συγκρότηση του νοήματος, δίνει τη θέση της σε μια αίσθηση δοκιμασία ς όταν τις απευθύνουμε στην περιγραφή της μορφής. Ίσως αυτή να είναι η αιτία που, όταν θελήσουμε να ασχοληθούμε συστηματικά με τη μορφή, ο λόγος ξεγλιστράει συχνά από την περιγραφή προς την ερμηνεία».

[65] Σύμφωνα με τον Hillier οι διατακτικές ιδιότητες είναι από τη φύση τους μη-διαλεκτικές [non-discursive]. Σχετικά με τη διατακτική φύση των χωρικών ιδιοτήτων και τη μη-λεκτική, διαισθητική διαχείρισή τους, αναφέρει ότι «τα κτίρια λειτουργούν κοινωνικά με δύο τρόπους: αποτελούν την κοινωνική οργάνωση της καθημερινής ζωής ως χωρικές διατάξεις εντός των οποίων ζούμε και κινούμαστε, και αναπαριστούν-αντιπροσωπεύουν την κοινωνική οργάνωση ως υλικές διατάξεις μορφών και στοιχείων που βλέπουμε. Και οι δύο κοινωνικές διαστάσεις των κτιρίων είναι διατακτικής φύσης, και είναι συνήθεια του ανθρώπινου μυαλού να διαχειρίζεται τις διατάξεις υποσυνείδητα και διαισθητικά με τον ίδιο περίπου τρόπο που διαχειριζόμαστε τις γραμματικές και συντακτικές δομές μιας γλώσσας διαισθητικά. Ο νους μας είναι πολύ αποτελεσματικός στη διαχείριση της διάταξης κατ' αυτόν τον τρόπο, αλλά επειδή λειτουργούμε έτσι, μας είναι πολύ δύσκολο να αναλύουμε και να μιλούμε λογικά για διατακτικές απόψεις των πραγμάτων» (Hillier, 1996: 3).

[66] Ο Καστοριάδης αναφέρει το μη οριστό ως το μη υπαγόμενο στην καθοριστικότητα, έναν από τους κυριότερους τελεστές της συνολιστικής – ταυτιστικής λογικής και υποστηρίζει ότι «το πρωτογενές είναι μη οριστό, μη αναλυτό» (Καστοριάδης, 1995: 309). Οι κυριότεροι τελεστές, ή ουσιώδη γνωρίσματα, ή λογικο-οντολογικές κατηγορίες που χρησιμοποιούνται από την συνολιστική – ταυτιστική λογική είναι «οι αρχές της ταυτότητας, της μη αντίφασης και του αποκλεισμού του τρίτου. Η ισοδυναμία ιδιότητα = κλάση. Η εντόνως βεβαιούμενη ύπαρξη σχέσεων ισοδυναμίας. Η εντόνως βεβαιούμενη ύπαρξη σχέσεων καλής διάταξης. Η καθοριστικότητα» (Καστοριάδης, 1995: 304). Σύμφωνα με την αρχή της καθοριστικότατος αυτό που Είναι είναι καθορισμένο.

[67] «Η διάταξη φαίνεται να είναι αυτό στο οποίο ο ανθρώπινος νους είναι διαισθητικά καλός, αλλά αναλυτικά κακός. Εύκολα αναγνωρίζουμε τη διάταξη χωρίς συνειδητή σκέψη, και εξίσου εύκολα χρησιμοποιούμε διατάξεις στην καθημερινότητά μας χωρίς να τις σκεφτόμαστε, αλλά δεν γνωρίζουμε τι είναι αυτό που αναγνωρίζουμε και δεν έχουμε συνείδηση του τι είναι αυτό που χρησιμοποιούμε και πώς το χρησιμοποιούμε» (Hillier, 1996: 28).

Ως προς την ανοιχτή ερμηνεία μη διαλεκτικών, αντιληπτικών ποιοτήτων, ο Toth, αναφερόμενος στα βασικά οπτικά στοιχεία που υπεισέρχονται στην ανάλυση του τοπίου, υποστηρίζει ότι «το αξιοσημείωτο σχετικά με τα βασικά οπτικά στοιχεία είναι ότι είναι στην ουσία τους ελεύθερα τιμής [value free]: δεν έχουν μετατραπεί σε περιγραφικά ουσιαστικά ή επίθετα, τα οποία μπορούν ενδεχομένως να μεταβάλουν τόσο την αντίληψη όσο και την ερμηνεία τους» (Toth, 1988: 198).

Εφόσον δεν είναι άμεσα εφικτή η λεκτική περιγραφή, και κατ' επέκταση ούτε η ποσοτικοποίηση διατακτικών ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν τους εξεταζόμενους χώρους, η ταξινόμησή τους απαιτεί την αναζήτηση μιας περιγραφικής λογικής[68] σε επίπεδο διαδικασίας.

Προκειμένου οι χώροι αυτοί να γίνουν προσεγγίσιμοι αναλυτικά, αναζητείται ένας διαδικαστικός τρόπος αναπαράστασης πολλαπλών διαστάσεων που να λαμβάνει υπόψη και να επιτρέπει τη διαχείριση της δυναμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ πολλαπλών στοιχείων διαφορετικής τάξης. Επιδιώκεται η οργάνωση ενός συστήματος αναπαράστασης που να ανταποκρίνεται στην πολλαπλότητα σε όλα τα επίπεδα αλληλοσυσχετισμών, να αποδέχεται και να ενσωματώνει την ασάφεια, τη δυναμική των συσχετισμών, τη μη ιεραρχική δομή.

Η πολλαπλότητα του χώρου προσεγγίζεται μέσω ενός ετερογενούς συνδυασμού ασυνεχών μερικών ορισμών[69], κάθε ένας από τους οποίους θεωρείται ως μια διακριτή περιγραφική διάσταση. Αντί μιας ολιστικής περιγραφής[70], επιχειρείται η απόδοση στοιχείων της φυσικής μορφής και δομής του χώρου βάσει πολλαπλών διαστάσεων, μέσα από μια διαδικασία σταδιακού εντοπισμού, μέτρησης και αναπαράστασής τους[71].

Βάσει αυτής της λογικής, η κάθε χωρική μονάδα δεν υπόκειται σε σταθερές, παγιωμένες και πεπερασμένες περιγραφές, αλλά ορίζεται στη συναρμογή πολλαπλών περιγραφικών διαστάσεων.

Σύμφωνα με τον Cache «η πρωταρχική εικόνα δεν είναι πια η εικόνα του αντικειμένου, αλλά η εικόνα του συνόλου των παραμέτρων στην αλληλοτομία των οποίων δημιουργείται το αντικείμενο. Αυτό το αντικείμενο δεν αναπαράγει πλέον ένα μοντέλο μίμησης, αλλά ενεργοποιεί ένα μοντέλο προσομοίωσης» (Cache, 1995: 97). Η αλληλοτομία αυτή δεν είναι ένα σταθερό και σαφώς ορισμένο σημείο ακριβούς γεωμετρικής σύμπτωσης, αλλά μια ασαφής περιοχή συναρμογής των περιγραφικών διαστάσεων.

Κάθε περιγραφόμενος χώρος, ως πραγματοποιημένη μοναδικότητα, βρίσκεται στην περιοχή σύγκλισης άπειρων συμβατών σειρών[72], κάθε μία από τις οποίες λειτουργεί ως μια περιγραφική διάσταση, ως μια ιδιότητα ή παράμετρος που μπορεί να λάβει άπειρες τιμές, αλλά που δεν συγκλίνει απαραίτητα σε όλα τα σημεία ανάληψης διακριτών τιμών με άλλες σειρές. Κάθε στιγμιότυπο ορίζεται

[68] Με τον όρο «περιγραφική λογική» αναφερόμαστε στην προτεινόμενη στρατηγική περιγραφής των χωρικών δομών μέσω πολλαπλών ιδιοτήτων της φυσικής δομής και μορφής τους και όχι στις τυπικές γλώσσες αναπαράστασης γνώσης [formal knowledge representation languages] στις οποίες κατατάσσονται και οι Περιγραφικές Λογικές [Description logics (DL)] στην Επιστήμη των Υπολογιστών.

[69] Σχετικά με την οργάνωση περιγραφών βάσει της χρήσης πολλαπλών, ετερογενών και μερικών ορισμών, ο Pattee (1987:329, σύμφωνα με αναφορά του Cilliers, 1998: 109) αναφερόμενος στην πολλαπλότητα των βιολογικών οργανισμών και φαινομένων, αναφέρει ότι δεν βρίσκει άλλη εναλλακτική παρά να «δεχθεί πολλαπλές, τυπικά ασύμβατες περιγραφές ως μια ικανοποιητική επεξήγηση πολλών τύπων βιολογικών γεγονότων».

[70] Μια ολιστική και εξαντλητική περιγραφή δεν είναι εφικτή, αφού σύμφωνα με τον Cilliers (1998, εισαγωγή) «δεν είναι δυνατό να ειπωθεί μια μοναδική και αποκλειστική ιστορία για κάτι που είναι πραγματικά πολύπλοκο».

[71] Σύμφωνα με τους Bohm και Peat, «η μελέτη οποιουδήποτε πεδίου ξεκινάει με μια φυσική πράξη αφαίρεσης προκειμένου να εστιαστούν ορισμένα ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά. Προκειμένου να δοθεί σημασία σε κάτι είναι πρώτα απαραίτητο να αφαιρέσουμε ή να απομονώσουμε τα βασικά του χαρακτηριστικά από την άπειρη διακυμαινόμενη πολυπλοκότητα του φόντου του. Όταν μια τέτοια πράξη αντιληπτικής αφαίρεσης είναι απελευθερωμένη από υπερβολική μηχανική δυσκαμψία, τότε δεν οδηγεί σε κατακερματισμό, αλλά μάλλον αντικατοπτρίζει τη διαρκώς μεταβαλλόμενη σχέση του αντικειμένου με το φόντο του» (Bohm & Peat, 1987:16).

[72] Σύμφωνα με τον Deleuze (2005), ο Leibniz θεωρεί οτι ο κόσμος σχηματίζεται από την επιλογή συγκλινουσών σειρών παραλλαγών, που είναι συμβατές [compossibles] μεταξύ τους. Τα σημεία σύγκλισης των σειρών παραλλαγών συμπίπτουν με τις μονάδες του κόσμου. Ο κόσμος δεν υπάρχει παρά μόνο μέσα στις μονάδες που τον αποτελούν και στο εσωτερικό των οποίων προβάλλεται.

ως ένα δίκτυο ιδιοτήτων που αλληλεπιδρούν δυναμικά μεταξύ τους παράγοντας τις αντιληπτές ποιότητες.

Η περιγραφική αυτή προσέγγιση μετατοπίζει το πρόβλημα από την προσπάθεια περιγραφής και αναπαράστασης μη ρητά περιγράψιμων, μη διαλεκτικών, μη οριστών και μη αναλυτών χωρικών ιδιοτήτων στη μέτρηση και ταυτόχρονη θεώρηση πολλαπλών επιμέρους ασύνδετων ετερογενών χαρακτηριστικών που σχετίζονται μερικά και ασαφώς με τις εξεταζόμενες χωρικές ποιότητες. Εφόσον δεν παρέχονται άμεσα οι κατάλληλοι όροι για την απόδοση των χωρικών ποιοτήτων που χαρακτηρίζουν τους εξεταζόμενους άτυπους χωρικούς σχηματισμούς, επιχειρείται η έμμεση αναγωγή άρρητων ή υπόρρητων ποιοτήτων σε υφιστάμενους περιγράψιμους συμβατικούς όρους, μέσω μιας περιγραφικής διαδικαστικής λογικής[73]. Η πολλαπλή αυτή περιγραφή του αντικειμένου εκφράζει μια σχέση του ενός και του πολλαπλού όπου το ένα είναι η ενότητα του πολλαπλού και ταυτόχρονα η πολλαπλότητα του ενός. «Το ένα είναι διανεμητικό (πολλαπλό) και το πολλαπλό συλλογικό (ένα)» (Cache, 1995: 173).

IV.i.2. Ποσοτικοποίηση περιγραφικών διαστάσεων

Προκειμένου να αναπαρασταθεί ο χώρος μέσω πολλαπλών διαστάσεών του, το πρώτο βήμα είναι να εντοπιστούν οι διαστάσεις αυτές και να προσδιοριστεί ο τρόπος ποσοτικοποίησης και μέτρησής τους.

Η ποσοτικοποίηση των περιγραφικών διαστάσεων αποτελεί προϋπόθεση για την δημιουργία ενός ενιαίου πολυδιάστατου περιγραφικού συστήματος. Προκειμένου οι εξεταζόμενοι χώροι να μπορούν να αναπαρασταθούν με τρόπο συνεκτικό και να γίνουν συγκρίσιμοι στα πλαίσια μιας συνολικής δομής, απαιτείται όλες οι περιγραφικές και αναπαραστατικές διαστάσεις να είναι της ίδιας φύσης και να έχουν μια ομοιογενή έκφραση. Επομένως, οι προτεινόμενες περιγραφικές διαστάσεις αναφέρονται σε χωρικές ιδιότητες που μπορούν με περισσότερο ή λιγότερο άμεσο τρόπο να ποσοτικοποιηθούν[74].

Κάποιες ιδιότητες, που αναφέρονται σε ποσοτικά, μετρικά χαραρακτηριστικά του χώρου είναι εξ ορισμού ποσοτικοποιημένες και επομένως άμεσα μετρήσιμες, ενώ άλλες, που αναφέρονται σε αντιληπτικές ποιότητες μάλλον παρά σε εκτατικές ποσότητες, δεν είναι απαραίτητα άμεσα μετρήσιμες με αριθμητικούς όρους.

Η διάκριση αυτή συσχετίζεται με την αντίληψη ότι κάποιες ιδιότητες είναι αντικειμενικές, ή ενδογενείς[75] του αντικειμένου, ενώ άλλες είναι υποκειμενικές και προκύπτουν από ερμηνείες αντικειμενικών ιδιοτήτων ή και από πλήρως υποκειμενικές προβολές. Σχολιάζοντας τη διάκριση αυτή, που κυριαρχεί από τον Descartes και μετά, ο Meillasoux (2008) αναφέρεται στο διαχωρισμό των χαρακτηριστικών των αντικειμένων σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες ποιότητες.

[73] Σύμφωνα με τον Καστοριάδη (1995), η γλώσσα ακολουθεί τη συνολιστική-ταυτιστική λογική, άρα για να μιλήσουμε για πράγματα εκτός αυτής της λογικής, ελλείψει κατάλληλου λεξιλογίου πάλι χρησιμοποιούμε αναγκαστικά τη συνολιστική-ταυτιστική λογική.

[74] Σύμφωνα με τον Arheim(1976: 229) «οι ποσότητες συνιστούν μια ιδιαίτερη ποικιλία αντιληπτικών μορφών. Είναι απλούστερες από τους κύκλους και τα τετράγωνα γιατί έχουν μόνο έκταση. Αλλά είναι ταυτόχρονα ικανές να μετατρέπονται και να συνδυάζονται επ' άπειρο στο εσωτερικό αυτής της μοναδικής διάστασης».

[75] Η Lafont, αναφερόμενη στις ιδιότητες των επιφανειών σύμφωνα με μια τοπολογική προσέγγιση αναφέρει οτι «μια ιδιότητα είναι ενδογενής [intrinsic] μιας επιφάνειας όταν διατηρείται ανεξάρτητα από το χώρο στον οποίο εμβυθίζεται [plunging space]. Μια ιδιότητα είναι εξωγενής [extrinsic] όταν εξαρτάται από το χώρο στον οποίο η επιφάνεια εμβυθίζεται» (Lafont, 1986: II). Σημειώνουμε ότι μια επιφάνεια λέγεται ότι εμβυθίζεται όταν δεν αφαιρείται από το χώρο εντός του οποίου ορίζεται.

Ως πρωτεύουσες ποιότητες θεωρούνται οι ποιότητες εκείνες που «υποτίθεται ότι είναι αδιαχώριστες από το αντικείμενο, ιδιότητες που υποθέτει κανείς ότι ανήκουν στο πράγμα όταν δεν το αντιλαμβάνομαι πια. Για τον Descartes αυτές είναι οι ποιότητες που αναφέρονται στην έκταση και που επομένως είναι υποκείμενα γεωμετρικής απόδειξης: μήκος, πλάτος, κίνηση, βάθος, πλήθος, μέγεθος» (Meillasoux, 2008: 2). Οι πρωτεύουσες ποιότητες θεωρούνται ως αντικειμενικές και εγγενείς του αντικειμένου και αναφέρονται κυρίως σε μετρικά, εκτατικά, άμεσα ποσοτικοποιήσιμα χαρακτηριστικά.

Αντίθετα, οι δευτερεύουσες ποιότητες θεωρούνται ως μη ενδογενείς ιδιότητες του αντικειμένου, αλλά ως εξωγενείς ιδιότητες, υποκειμενικές προβολές που προκύπτουν από ερμηνευτικές διαδικασίες[76].

«Αυτές οι αισθητές ποιότητες, που δεν βρίσκονται στα ίδια τα πράγματα αλλά στην υποκειμενική μου σχέση με αυτά – αυτές οι ποιότητες αντιστοιχούν σε αυτό που παραδοσιακά καλείται δευτερεύουσες ποιότητες» (Meillasoux, 2008: 3). Οι δευτερεύουσες ποιότητες είναι υποκειμενικές και αναφέρονται κυρίως σε ιδιότητες που δεν περιγράφονται εύκολα με ποσοτικούς όρους και που δεν μπορούν να μετρηθούν άμεσα.

Σύμφωνα με τη διάκριση αυτή, θα ήταν λογικό να υποτεθεί ότι οι πρωτεύουσες ποιότητες είναι απομονώσιμες και αντικειμενικά μετρήσιμες, ενώ οι δευτερεύουσες φαίνονται μάλλον ασαφείς, εμπειρικές και μη άμεσα μετρήσιμες. Κατά τον Meillasoux (2008: 3) «από τη μία αναγνωρίζουμε ότι το αισθητό υφίσταται μόνο ως σχέση του υποκειμένου με τον κόσμο. Αλλά από την άλλη, δεχόμαστε ότι οι μαθηματικοποιούμενες ιδιότητες του αντικειμένου εξαιρούνται από τον περιορισμό μιας τέτοιας σχέσης κι ότι είναι πραγματικά εντός του αντικειμένου με τον τρόπο που τις αντιλαμβάνομαι, είτε βρίσκομαι σε σχέση με το αντικείμενο είτε όχι».

Ωστόσο, όπως παρατηρεί και ο Καστοριάδης, το τι έρχεται από τον παρατηρητή και τι έρχεται από το παρατηρούμενο είναι μη αποφασίσιμο. «Η παρατήρηση είναι ένα συν-προϊόν όχι πλήρως αναλυτό» (Καστοριάδης, 1995: 323-324).

Επομένως, «η διαφορά μεταξύ μιας αντικειμενικής αναπαράστασης και μιας 'απλά υποκειμενικής' αναπαράστασης είναι μια συνάρτηση της διαφοράς μεταξύ δύο τύπων υποκειμενικών αναπαραστάσεων: αυτών που μπορούν να καθολικευθούν [...] και αυτών που δεν μπορούν να καθολικευθούν» (Meillasoux, 2008: 4).

Ο Deleuze (1990) αναφέρει ότι κατά την Επικούρεια θεωρία οι αισθητές ποιότητες προέρχονται από δύο ειδών σύνθετες ατομικές ενώσεις δευτέρου βαθμού, αυτές που εκπέμπονται από το βάθος των σωμάτων, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως εκπομπές, και αυτές που αποσπώνται από την επιφάνεια των πραγμάτων, που χαρακτηρίζονται ως προσομοιώσεις. Κάθε αίσθηση συνδυάζει πληροφορία από το βάθος και από την επιφάνεια με αποτέλεσμα η αντίληψη κάθε αισθητής ιδιότητας να προκύπτει από τη σύμπραξη εκπομπών και προσομοιώσεων, αλλά υπόκειται στην επίδραση όσων συναντούν οι εκπομπές και οι προσομοιώσεις στην πορεία τους από τα βάθη και την επιφάνεια του αντικειμένου αντίστοιχα ως το αισθητήριο όργανο που τις προσλαμβάνει[77].

[76] «Είτε είναι συναισθηματικό είτε αντιληπτικό, το αισθητό υπάρχει μόνο ως σχέση: μια σχέση μεταξύ του κόσμου και του έμβιου όντος που είμαι. Στην πραγματικότητα, το αισθητό δεν είναι ούτε απλά 'μέσα μου' σαν όνειρο, ούτε απλά 'στο πράγμα' ως ενδογενής ιδιότητα: είναι η ίδια η σχέση μεταξύ του πράγματος και εμένα» (Meillasoux, 2008: 2, 3).

[77] «Τα σώματα ή οι συσσωματώσεις ατόμων δεν σταματούν να εκπέμπουν ιδιαιτέρως λεπτοφυή, ρευστά και ισχνά στοιχεία. Αυτά τα δευτέρου βαθμού σύνθετα είναι δύο ειδών: είτε εκπέμπονται από το βάθος των σωμάτων, είτε αποσπώνται από την επιφάνεια των πραγμάτων (επιδερμίδες, περιτυλίγματα, φάκελοι, φλοιοί - που ο Lucretius ονομάζει simulacra και ο Επίκουρος είδωλα). Στο βαθμό που επηρεάζουν τη διάνοια και την ψυχή, αναφέρονται σε αισθητές ποιότητες. Ήχοι,

Κατά τον Lynch, «η δημιουργία της περιβαλλοντικής εικόνας είναι μια αμφίδρομη διαδικασία μεταξύ του παρατηρητή και του παρατηρούμενου. Αυτό που βλέπει βασίζεται στην εξωτερική μορφή, αλλά ο τρόπος με τον οποίο το ερμηνεύει και το οργανώνει, και το πώς κατευθύνει την προσοχή του, με τη σειρά τους επηρεάζουν αυτό που βλέπει. […] Το περιβάλλον προτείνει διακρίσεις και σχέσεις και ο παρατηρητής – με μεγάλη προσαρμοστικότητα και υπό το φως των δικών του προθέσεων- επιλέγει, οργανώνει, και επενδύει με νόημα ότι βλέπει»[78] (Lynch, 1960: 131, 6).

Δηλαδή οι πρωτεύουσες ποιότητες υπόκεινται στην εμπειρική μας σχέση με τα πράγματα και η ίδια η επιλογή και μέτρησή τους αποτελεί ερμηνευτική πράξη[79]. Από την άλλη, οι δευτερεύουσες ποιότητες σχετίζονται άμεσα με το φυσικό και πολιτισμικό πλαίσιο του εκάστοτε αντικειμένου, στο οποίο ανήκουν και οι αντιληπτικές μας δομές[80].

Ακόμα περισσότερο όταν πρόκειται για πολιτισμικά κατασκευασμένα αντικείμενα, η διαδικασία σχηματοποίησης της ατελούς μορφής σε διαρκή συσχετισμό με το πλαίσιο αναφοράς της, έχει ως αποτέλεσμα το πλαίσιο να καθορίζει και ταυτόχρονα καθρεφτίζεται στο αντικείμενο. Μέσα από αυτή τη διαδικασία αλληλοπροσδιορισμού[81], άρρητα στοιχεία ενσωματώνονται στην υλική δομή και μορφή[82] και επομένως μπορούν πιθανά να εξαχθούν από μετρικά, γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά του φυσικού αντικειμένου. Δευτερεύοντα χαρακτηριστικά ενσωματώνονται στην

οσμές, γεύσεις και θερμοκρασίες αναφέρονται κυρίως σε εκπομπές από τα βάθη, ενώ οπτικοί προσδιορισμοί, μορφές και χρώματα αναφέρονται σε προσομοιώσεις (simulacra) της επιφάνειας. […] Κάθε αίσθηση μοιάζει να συνδυάζει πληροφορία από το βάθος με πληροφορία από την επιφάνεια. Εκπομπές που αναδύονται από τα βάθη διαπερνούν την επιφάνεια και τους επιφανειακούς φακέλους, καθώς αποσπώνται από το αντικείμενο, και αντικαθίστανται από προηγουμένως κρυμμένες διαστρωματώσεις. […] Σε κάθε περίπτωση, εκπομπές και προσομοιώσεις γίνονται κατανοητές όχι ως ατομικά στοιχεία, αλλά ως ποιότητες που εκτιμώνται από απόσταση επί και εντός του αντικειμένου. […]Για αυτό το αντικείμενο γίνεται αντιληπτό όπως οφείλει, σε συσχετισμό με την κατάστασης των προσομοιώσεών του και των εκπομπών του, με την απόσταση που έχουν να διανύσουν, με τα εμπόδια που συναντούν, με τις παραμορφώσεις που υφίστανται ή τις εκρήξεις των οποίων είναι το κέντρο» (Deleuze, 1990: 273-274).

[78] «Η εικόνα που αναπτύσσεται με αυτόν τον τρόπο οριοθετεί και δίνει έμφαση στα ιδωμένα, ενώ η ίδια η εικόνα ελέγχεται ως προς φιλτραρισμένα αντιληπτικά ερεθίσματα σε μια διαρκή διαδραστική διαδικασία. Έτσι η εικόνα μιας δεδομένης πραγματικότητας μπορεί να ποικίλλει σημαντικά μεταξύ διαφορετικών παρατηρητών» (Lynch, 1960:6). «Ο ανθρώπινος οργανισμός είναι εξαιρετικά προσαρμοστικός και ευέλικτος και διαφορετικές ομάδες μπορεί να έχουν πολύ διαφορετικές εικόνες για την ίδια εξωτερική πραγματικότητα» (Lynch, 1960:131). «Ενώ υπογραμμίζεται η ευελιξία την ανθρώπινης αντίληψης, πρέπει να προστεθεί ότι η εξωτερική φυσική μορφή παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο. Υπάρχουν περιβάλλοντα που προκαλούν ή απωθούν την προσοχή, που διευκολύνουν ή αντιστέκονται στην οργάνωση και τη διαφοροποίηση» (Lynch, 1960:136).

[79] Σύμφωνα με τον Meillasoux (2008: 114), «αυτή η έλλειψη ‘άμεσης επαλήθευσης’ ισχύει για πολλούς επιστημονικούς ισχυρισμούς, αν όχι για όλους, δεδομένου ότι πολύ λίγες αλήθειες μπορούν να επιτευχθούν μέσω άμεσης εμπειρίας και ότι γενικά, η επιστήμη δεν βασίζεται σε απλές παρατηρήσεις, αλλά σε στοιχεία που έχουν ήδη επεξεργαστεί και ποσοτικοποιηθεί από ακόμα πιο πολύπλοκα εργαλεία μέτρησης».

[80] «Μέσω της χωρικής διάταξης πολιτισμικά καθορισμένοι σχηματισμοί σχέσεων [patterns] ενσωματώνονται στο υλικό και τη χωρική ‘αντικειμενικότητα’ των κτιρίων» (Hillier, 1996: 27).

[81] Ο αμοιβαίος σχηματισμός πλαισίου και περιεχομένου μπορεί να εκφραστεί με όρους δομικής σύζευξης. Σύμφωνα με τους Maturana και Varela (1992: 99) «κάνουμε λόγο για δομική σύζευξη όποτε υπάρχει μια ιστορία αναδρομικών αλληλεπιδράσεων που οδηγούν στη δομική συναρμογή δύο ή περισσότερων συστημάτων. […] Η δομή του περιβάλλοντος απλώς πυροδοτεί τις δομικές μεταβολές των αυτοποιητικών μονάδων και, αντιστρόφως, το ίδιο ισχύει για το περιβάλλον. Το αποτέλεσμα θα είναι να δημιουργηθεί μια ιστορία σύμφωνων αμοιβαίων δομικών μεταβολών για όσο χρονικό διάστημα θα υπάρχουν αυτά τα συστήματα. Θα δημιουργηθεί, δηλαδή, μια δομική σύζευξη»

[82] Σχετικά με την ενσωμάτωση άρρητων διατακτικών ιδιοτήτων στη φυσική δομή και μορφή του χώρου, ο Hillier αναφέρει ότι «ως χώρος – και ως μορφές με νόημα - τα κτίρια είναι διατακτικά, και επειδή είναι διατακτικά οι σημαντικότερες κοινωνικές και πολιτισμικές ιδιότητές τους είναι μη-διαλεκτικές. Μέσω της μη-διαλεκτικότητας μεταδίδεται η κοινωνική φύση των κτιρίων, γιατί μέσω της διάταξης η πρώτη ύλη του χώρου και της μορφής αποκτούν κοινωνικό νόημα. Το κοινωνικό υλικό των κτιρίων, μπορούμε να πούμε, είναι το διατακτικό υλικό, τόσο με την έννοια ότι τα κτίρια είναι διατάξεις χώρου σχεδιασμένες προκειμένου να βάλουν σε τάξη στο χώρο τουλάχιστον κάποιες από τις πλευρές των κοινωνικών σχέσεων, όσο και με την έννοια ότι μέσω της δημιουργίας κάποιου είδους διάταξης στη μορφή των κτιρίων μεταδίδεται κάτι σαν κοινωνικό ‘νόημα’» (Hillier, 1996: 31).

υλική δομή και μορφή και ανάγονται έτσι σε πρωτεύοντα χαρακτηριστικά, τα οποία μπορούν να μετρηθούν.

Ως προς την δυνατότητα ποσοτικοποίησης ιδιοτήτων διαφορετικών τάξεων και κατηγοριών, ο Koffka (1935) υποστηρίζει ότι «η ποσοτική, μαθηματική περιγραφή της φυσικής επιστήμης, όχι μόνο δεν αντιτίθεται στην ποιότητα, αλλά είναι ένας ιδιαίτερα ακριβής τρόπος αναπαράστασης της ποιότητας»[83] (Koffka, 1935: 14). Η δυνατότητα ενσωμάτωσης ποιοτικών και σχεσιακών χαρακτηριστικών σε ποσοτικές εκφράσεις έγκειται στο γεγονός ότι ποσοτικές περιγραφές εξάγονται από πολύπλοκες συναρτησιακές και διαδικαστικές διαδικασίες που αναφέρονται σε σύνθετες σχεσιακές ποιότητες. Σύμφωνα με τον Koffka, δεν ενδιαφέρουν οι ίδιες οι αριθμητικές ποσότητες αλλά οι μαθηματικοί τύποι που «εγκαθιδρύουν πρωταρχικά μια σαφή σχέση μεταξύ αφηρημένων αριθμών. Η μέτρηση παίζει τότε το ρόλο του ελέγχου της εγκυρότητας της συνάρτησης για τη διαδικασία την οποία περιγράφει, δηλαδή για τη σχέση που εγκαθιδρύθηκε. Μια τέτοια σχέση δεν είναι ωστόσο πλέον ποσοτική με την απλή έννοια με την οποία είναι ποσοτικός ένας συγκεκριμένος αριθμός. Η ποσότητά της δεν αντιτίθεται πλέον στην ποιότητα» (Koffka, 1935: 14). Αντίστοιχα, ο Arnheim (1976: 225) υποστηρίζει ότι «υπάρχουν δύο ριζικά διαφορετικοί τρόποι για την αξιολόγηση μιας ποσότητας: από τη μία μέσω της απαρίθμησης και της μέτρησης και από την άλλη κατανοώντας συνολικά την αντιληπτική δομή». Ο Mandelbrot υποστηρίζει ότι η έννοια της διάστασης δεν είναι μονοσήμαντα ορισμένη και αναφέρεται στην δραστική διάσταση [effective dimension], μια έννοια «που δεν θα έπρεπε να οριστεί επακριβώς» (Mandelbrot, 1982: 17). Σύμφωνα με τον Mandelbrot, τα φυσικά αντικείμενα «εμφανίζουν μια σειρά δραστικών [effective] διατάσεων», οι οποίες «αφορούν στη σχέση μεταξύ μαθηματικών συνόλων και φυσικών αντικειμένων. […] Η δραστική διάσταση έχει αναπόφευκτα μια υποκειμενική βάση. Είναι ζήτημα προσέγγισης» (Mandelbrot, 1982: 17-18). «Μετατιθέμενοι από τις διαστάσεις των μαθηματικών συνόλων στις δραστικές διαστάσεις των φυσικών αντικειμένων που μοντελοποιούνται από αυτά τα σύνολα, συναντάμε ένα διαφορετικό είδος αναπόφευκτης και συγκεκριμένα ουσιαστικής αμφισημίας» (Mandelbrot, 1982: 14).

Σύμφωνα με αυτή τη λογική, υποθέτουμε ότι υπάρχουν μη-διαλεκτικά, μη-οριστά χαρακτηριστικά των αντικειμένων που μπορούν να μετρηθούν έμμεσα και από τον αλληλοσυσχετισμό των οποίων μπορούν να προκύψουν στοιχεία σχετικά με την ταυτότητα του αντικειμένου[84]. Επίσης υποθέτουμε ότι ο συσχετισμός μεταξύ των χαρακτηριστικών ενός συνόλου αντικειμένων μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση σχηματισμών που να αποκαλύπτουν συσχετισμούς μεταξύ των ίδιων των αντικειμένων[85], με τη μορφή αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς.

[83] Παίρνοντας ως παράδειγμα την Ψυχολογία, αναφέρει ότι «μπορεί να είναι απολύτως ποσοτική χωρίς να χάνει το χαρακτήρα της ως ποιοτική επιστήμη, και από την άλλη,[…] μπορεί να είναι ποσοτική χωρίς ντροπή, γνωρίζοντας ότι αν οι ποιοτικές της περιγραφές είναι σωστές, θα είναι κάποια στιγμή δυνατό να μεταφραστούν σε ποσοτικούς όρους» (Koffka, 1935: 15).

[84] Ο Hillier τονίζει την αναλυτική σημασία της αναγνώρισης και περιγραφής μη-διαλεκτικών, διατακτικών χαρακτηριστικών λέγοντας οτι «η έλευση του μη-διαλεκτικού, η διατακτική διάσταση της κτισμένης μορφής από πολιτισμική αναπαραγωγή σε συλλογιστική συνείδηση και αφηρημένη εξερεύνηση της δυνατότητας είναι ταυτόχρονα ένα πέρασμα από το κανονιστικό στο αναλυτικό και από το πολιτισμικά προσδιορισμένο στο καθολικό, με το τελευταίο να σημαίνει ότι όλες οι δυνατότητες είναι ανοιχτές παρά τις μεταλλάξεις και φαινοτυπικές καινοτομίες που υπαγορεύονται από το ιδιωματικό [vernacular]. Το πέρασμα είναι επίσης ένα που μεταμορφώνει την ιδέα της γνώσης από πολιτισμική αρχή σε θεωρητική αφαίρεση» (Hillier, 1996: 35).

[85] Εφόσον «χωρικές και άλλες περιγραφές αναχθούν σε αριθμητική μορφή, απλές στατιστικές αναλύσεις μπορούν να αρχίσουν να αποκαλύπτουν τυπικούς σχηματισμούς συσχετισμών [patterns]» (Hillier, 1996: 106).

Εφόσον η αντικειμενικότητα[86] και η άμεση περιγραψιμότητα με ρητούς όρους δεν αποτελούν αναγκαίες και ικανές συνθήκες μετρησιμότητας μιας ιδιότητας, η προσπάθεια περιγραφής των άτυπων χωρικών σχηματισμών μέσω πολλαπλών ιδιοτήτων της φυσικής δομής και μορφής τους έγκειται στην επιλογή και ποσοτικοποίηση επιμέρους ασύνδετων και ετερογενών χαρακτηριστικών που διαισθητικά αναγνωρίζονται ως μερικώς και ασαφώς συσχετιζόμενα με σύνθετες χωρικές ποιότητες, οι οποίες συνήθως δεν είναι άμεσα και ρητά ποσοτικοποιήσιμες. Η βασική υπόθεση της περιγραφικής αυτής λογικής είναι ότι αν και κάθε μεμονωμένη περιγραφική διάσταση, που αντιπροσωπεύεται από μια επιμέρους μέτρηση, δεν αποδίδει πλήρως και μονοσήμαντα κάποια αντιληπτική χωρική ποιότητα, ωστόσο η ταυτόχρονη και ισότιμη θεώρηση πλήθους επιμέρους περιγραφών διαφορετικών κλάσεων σε ένα κατανεμημένο και όχι στιβαδωμένο (Καστοριάδης, 1995: 306) σύστημα πολλαπλών διαστάσεων, είναι δυνατό να επιτρέψει την ανάδυση πολύπλοκων τυπικών δομών σχέσεων μεταξύ των αναπαριστάμενων χώρων. Η οργάνωση μιας ανοιχτής δομής ταυτόχρονης αναπαράστασης πολλαπλών αποσπασματικών χαρακτηριστικών υποστηρίζει τη συγκριτική ανάλυση των εξεταζόμενων χώρων μέσω μιας διαδικαστικής, εντατικής λογικής που δεν βασίζεται στην ατομική ισχύ της κάθε μέτρησης αλλά στη συναρτησιακή διαδικασία ποσοτικοποίησης και συσχετισμού όλων των μετρήσεων μεταξύ τους.

«Όταν διαφορετικές γλώσσες μετάφρασης του χώρου συμβρεθούν λειτουργώντας ως ταυτόχρονες μεταφράσεις του ιδίου χωρικού φαινομένου, αναδεικνύεται η συμβατικότητα με την οποία η κάθε γλώσσα έχει προσδιορίσει τον χώρο. Κατ' αυτόν τον τρόπο αναδύεται ένα αντιληπτικό και εννοιολογικό διάκενο στη μέχρι τότε συγκρότηση του χώρου από την κάθε γλώσσα, στο οποίο παρέχεται η αίσθηση της ελευθερίας να αναδυθούν περαιτέρω συσχετισμοί, ομοιώσεις, διευρύνσεις εννοιών εντός του πεδίου ανάπτυξης της κάθε γλώσσας» (Παρμενίδης, Ατζάμπου & Καραδήμα, 2015: 444).

IV.i.3. Επιλογή χαρακτηριστικών: Εντοπισμός και μέτρηση ιδιοτήτων

Η προτεινομένη περιγραφική λογική έγκειται καταρχήν στην επιλογή, καταγραφή και ποσοτικοποίηση χωρικών ιδιοτήτων που διαισθητικά θεωρούνται ουσιαστικές για την προσέγγιση της αντιληπτικής ταυτότητας των συγκεκριμένων χωρικών σχηματισμών. Πρόθεση είναι οι πολλαπλές περιγραφικές διαστάσεις βάσει των οποίων επιχειρείται η απόδοση μη περιγράψιμων, μη διαλεκτικών χωρικών ποιοτήτων, να καταγράφονται σε διαφορετικά επίπεδα αντίληψης και κατανόησης της πολλαπλότητας του φυσικού αντικειμένου ή σε διαφορετικά «εννοιολογικά σχήματα οριοθέτησης της ατελούς μορφής ως φυσικού αντικειμένου» (Παρμενίδης, 2015), υποστηρίζοντας

[86] Ο Meillasoux, αντί για τη διάκριση σε πρωτογενείς και δευτερογενείς ποιότητες, ως κριτήριο αντικειμενικότητας προτείνει την έννοια της δι-υποκειμενικότητας [intersubjectivity]. «Η δι-υποκειμενικότητα, η ομοφωνία μιας κοινότητας, αντικαθιστά την επάρκεια μεταξύ των αναπαραστάσεων ενός μεμονωμένου αντικειμένου και του ίδιου του πράγματος ως το πραγματικό κριτήριο της αντικειμενικότητας, και πιο συγκεκριμένα της επιστημονικής αντικειμενικότητας» (Meillasoux, 2008: 4).

Ο Lynch (1960: 7) υποστηρίζει οτι «κάθε άτομο δημιουργεί και φέρει τη δική του εικόνα, αλλά φαίνεται να υπάρχει ουσιαστική συμφωνία μεταξύ μελών της ίδιας ομάδας». Αυτές οι ομαδικές εικόνες, που ο Lynch (1960: 7) ονομάζει 'δημόσιες εικόνες' [public images] είναι «κοινές νοητικές εικόνες που φέρουν μεγάλα πλήθη των κατοίκων της πόλης: περιοχές συμφωνίας που μπορεί να αναμένεται να εμφανιστούν στη διάδραση μιας μοναδικής υλικής πραγματικότητας, μιας κοινής κουλτούρας και μιας κοινής βάσης φυσιολογίας».

Σύμφωνα με τον Toth (1988: 198) «η αντίληψη του οπτικού κόσμου περιπλέκεται περεταίρω από τις διαφορές μεταξύ αυτού που βλέπουμε και του τρόπου με τον οποίο ο νους μας επεξεργάζεται αυτή την οπτική πληροφορία (Gibson, 1974, Vernon, 1963, Klee, 1964, Gombrich et al, 1973, Kennedy, 1974). Ωστόσο φαίνεται να υπάρχει κάποια ομοφωνία τόσο ως προς τα στοιχεία όσο και ως προς τη γλώσσα που αναπαριστά τις οπτικές μας εμπειρίες».

πολλαπλούς ορισμούς του, χωρίς να ανάγονται ρητά σε συγκεκριμένα και περιγράψιμα μορφολογικά, τυπολογικά και τεχνικά χαρακτηριστικά.

Σύμφωνα με τον Παρμενίδη, οι διαστάσεις ή δομοποιητικές σχέσεις της ατελούς μορφής διακρίνονται σε κατηγορηματικές, συναρτησιακές και διαδικαστικές[87]. Τα εννοιολογικά αυτά σχήματα, ή επίπεδα προσέγγισης της πολλαπλότητας του φυσικού αντικειμένου οριοθετούν διαφορετικές περιγραφικές λογικές που αποδίδουν διαφορετικών επιπέδων ιδιότητες των εξεταζόμενων άτυπων χωρικών σχηματισμών[88].

Ως προς τις κατηγορηματικές διαστάσεις, οι οποίες αναφέρονται στα «χωρικά-άυλα όρια της διακριτής οντότητας», στοχεύονται αφηρημένες ποιότητες που αναφέρονται σε ιδιότητες των ανεξάρτητων μοναδιαίων στοιχείων ως ατομικών ενοτήτων. Η οριοθέτηση του μεμονωμένου αντικειμένου βασίζεται στον προσδιορισμό πολλαπλών ατομικών χαρακτηριστικών του που το καθιστούν διακριτό και περιγράψιμο, σε μια πληθυσμιακή, ποσοτική λογική[89].

Οι συναρτησιακές διαστάσεις αναφέρονται στα «συνεχή-ασαφή όρια μεταξύ οντοτήτων». Το αντικείμενο προσδιορίζεται ως προς τη σχέση του με άλλα αντικείμενα, θεωρούμενο ως μέρος ενός συστήματος, όπου οι συσχετισμοί μεταξύ οντοτήτων τις καθορίζουν δυναμικά με όρους σχετικών βαθμών ομοιότητας και διαφοράς. Επιδιώκεται η μέτρηση συναρτησιακών ιδιοτήτων που προκύπτουν από την περιγραφή των μοναδιαίων στοιχείων ιδωμένων ως σύνθετες οντότητες. Οι τοπολογικές σχέσεις που οριοθετούν τις ιδιότητες αυτές εκφράζουν την οργάνωση, την τάξη του συστήματος εντός του οποίου ορίζεται το αντικείμενο.

Τέλος, οι διαδικαστικές διαστάσεις αναφέρονται στα «κλειστά-ανοιχτά όρια νοηματοδότησης των οντοτήτων». Οι διαδικαστικές διαστάσεις σχετίζονται με την πολλαπλότητα των ερμηνειών της φυσικής μορφής, την παραγωγή νοήματος μέσα από σχηματισμούς συσχετισμών και τη δυνατότητα εμφάνισης δυναμικής συμπεριφοράς[90] ως εκ των υστέρων αναγνωρίσιμης μεταδομής, σε μια εντατική λογική. Μετρήσιμες διαδικαστικές ιδιότητες αναδύονται από εμπειρικές και αντιληπτικές διαδικασίες.

Σε αυτά τα πλαίσια, επιδιώκεται ο εντοπισμός και η ποσοτικοποίηση χαρακτηριστικών που συσχετίζονται περισσότερο ή λιγότερο έμμεσα, μερικά ή ασαφώς με ιδιότητες των κατηγοριών αυτών, που εκφράζουν σύνθετες, μη ρητά περιγράψιμες και μη άμεσα μετρήσιμες και άρα δύσκολα διαχειρίσιμες, αλλά ταυτόχρονα αναγνωρίσιμες και ουσιαστικές ποιότητες των αδόμητων χώρων. Πρόκειται ως επί το πλείστον για αντιληπτικές χωρικές ποιότητες που αν και χρησιμοποιούνται

[87] Οι τρεις τυπολογίες ως οι τρεις λογικές αντίληψης, κατανόησης και αναπαράστασης του κόσμου, βασισμένες στους Vidler (1976) και Achten, Oxman & Bax (1998), σύμφωνα με τις σημειώσεις του μαθήματος «Η Αρχιτεκτονική ως Αντικείμενο Έρευνας Ι: Περί του Εννοιολογικού Υποβάθρου της Έρευνας, της Κατασκευής των Εννοιολογικών Εργαλείων και του Σώματος της Έρευνας», ΔΠΜΣ Αρχιτεκτονική - Σχεδιασμός του Χώρου, Κατεύθυνση Α: Σχεδιασμός - Χώρος - Πολιτισμός, Σχολή Αρχιτεκτόνων Ε.Μ.Π., 2015-2016 (Παρμενίδης, 2015).

[88] Τα εννοιολογικά αυτά σχήματα, εκτός διαφορετικές περιγραφικές λογικές των άτυπων χωρικών σχηματισμών ως μονάδων, οριοθετούν και διαφορετικά στάδια της διαδικασίας περιγραφής, συγκριτικής ανάλυσης και κατηγοριοποίησης αντίστοιχα των άτυπων χωρικών σχηματισμών.

[89] Η κατηγορηματική, συναρτησιακή και διαδικαστική λογική συσχετίζεται εδώ τόσο με την πληθυσμιακή, τοπολογική και εντατική λογική του DeLanda (βλ. κεφ. V), όσο και με τις βασικές έννοιες της επιστημονικής σκέψης, σύμφωνα με τον Koffka, ποσότητα, τάξη και νόημα. «Κοιτώντας τις επιστήμες της Φύσης, της Ζωής και του Νου, μπορούμε να εξάγουμε από την καθεμία μια συγκεκριμένη και ιδιαίτερα σημαντική έννοια, δηλαδή από την πρώτη: ποσότητα, από τη δεύτερη: τάξη και από την τρίτη: νόημα ή σημασία» (Koffka, 1935: 13). Ανάλογη είναι η ανάλυση της περιβαλλοντικής εικόνας σε τρεις συνιστώσες, την ταυτότητα [identity], τη δομή [structure] και το νόημα [meaning], σύμφωνα με τον Lynch (1960: 8).

[90] «Η συμπεριφορά είναι η περιγραφή που κάνει ένα παρατηρητής των μεταβολών της κατάστασης ενός συστήματος σε σχέση με ένα περιβάλλον» (Maturana & Varela, 1992: 176).

ευρέως στην περιγραφή και το σχεδιασμό του χώρου, δεν γίνονται ωστόσο εργαλειακά διαχειρίσιμες, λόγω της δυσκολίας γλωσσικής περιγραφής και ποσοτικής απόδοσής τους. Τέτοιες μετα-ιδιότητες ανώτερου επιπέδου, που δεν περιγράφονται παρά περιφραστικά και δεν ποσοτικοποιούνται παρά έμμεσα και μερικά μέσω επιμέρους μετρήσιμων χαρακτηριστικών, είναι για παράδειγμα η θραυσματικότητα, η πολυπλοκότητα, η συνύπαρξη πολλαπλών κλιμάκων, η σχέση μεταξύ μερών, η αυτοομοιότητα, η κυρτότητα, η συνδεσιμότητα, η ανοιχτότητα, η συμμετρία, ο ρυθμός.

Με το συνδυασμό διαφορετικών υφιστάμενων μεθόδων χωρικής ανάλυσης και ανάλυσης σχημάτων, επιδιώκεται η οργάνωση πολυεπίπεδων χωρικών περιγραφών, μέσω της ποσοτικοποίησης και μέτρησης ενός συνόλου ιδιοτήτων που εκφράζουν σε κάποιο βαθμό τις παραπάνω χωρικές ποιότητες. Οι μετρήσεις εξάγονται από κατόψεις των αντίστοιχων χώρων με την εφαρμογή μη-ερμηνευτικών, αυτοματοποιημένων αλγοριθμικών μεθόδων μέτρησης.

Είναι προφανές ότι το σύνολο των ιδιοτήτων και οι αντίστοιχες μετρήσεις δεν θεωρείται παγιωμένο, πλήρες και πεπερασμένο, αλλά ανοιχτό σε διαρκή εμπλουτισμό με την προσθήκη επιπλέον περιγραφών. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις επιλέγονται σύμφωνα με τη λογική που αναφέρθηκε, στοχεύοντας δηλαδή στην απόδοση μετρήσιμων ιδιοτήτων που σχετίζονται με μη μετρήσιμες αλλά αναγνωρίσιμες ποιότητες που θεωρούνται ουσιαστικές και χαρακτηριστικές των συγκεκριμένων άτυπων σχηματισμών.

IV.ii. Πολυδιάστατα διανύσματα

Η επιλογή και μέτρηση ενός συνόλου χωρικών ιδιοτήτων διαφορετικών κλάσεων επιτρέπει το σταδιακό ορισμό κάθε αδόμητου χώρου μέσω πολλαπλών, ανεξάρτητων περιγραφών. Η ποσοτική έκφραση χωρικών ιδιοτήτων συνεπάγεται ότι κάθε περιγραφική διάσταση εκφράζεται ως μονόμετρο μέγεθος και μπορεί να αναπαρασταθεί σε μία καρτεσιανή διάσταση. Έτσι, κάθε χωρική μονάδα αναπαρίσταται ως πολυδιάστατο διάνυσμα, με κάθε μια από τις διαστάσεις του να αντιστοιχεί σε μια από τις μετρήσεις. Κάθε πολυδιάστατο διάνυσμα μπορεί να αποδοθεί ως μια λίστα ιδιοτήτων, ενώ όλα τα διανύσματα που αντιστοιχούν στο σύνολο του δείγματος των χώρων μπορούν να καταγραφούν σε έναν πίνακα ιδιοτήτων, όπου κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα διάνυσμα (ή χώρο) και κάθε στήλη σε μια ιδιότητα.

Προκειμένου να αναπαρασταθούν τα διανύσματα όλων των αδόμητων χώρων σε ένα ενιαίο, συνεκτικό σύστημα και να γίνουν συγκρίσιμα, ορίζεται ένας πολυδιάστατος χώρος ο οποίος περιγράφεται μέσω ενός συστήματος πολλαπλών αξόνων καρτεσιανών συντεταγμένων. Κάθε διάσταση αντιπροσωπεύεται από έναν άξονα και κάθε άξονας αντιστοιχεί σε μια ιδιότητα. Στο σύστημα αυτό κάθε αδόμητος χώρος αναπαρίσταται ως μοναδικά ορισμένο πολυδιάστατο σημείο. Η συγκέντρωση ή διασπορά των σημείων αυτών αντιστοιχεί στο βαθμό συσχετισμού των αναπαριστάμενων χώρων μεταξύ τους ως προς όλα τα χαρακτηριστικά ταυτόχρονα.

Η ενιαία ποσοτικοποίηση και μη ιεραρχική οργάνωση μιας ποικιλίας ανόμοιων και ασύνδετων χωρικών χαρακτηριστικών επιτρέπει την ταυτόχρονη εισαγωγή και θεώρηση ιδιοτήτων διαφορετικών κλάσεων εντός του ίδιου συστήματος, ενσωματώνοντας την πολλαπλότητα, την ετερογένεια και τη μη-περιγραψιμότητα των αναλυόμενων χώρων και καθιστώντας τους συγκρίσιμους στο πλαίσιο ενός ανοιχτού συστήματος ποσοτικοποιημένων συσχετισμών, χωρίς να παραβλέπεται η μοναδικότητά τους. Σύμφωνα με τον Arheim (1976: 245) αυτός ο πολυδιάστατος χώρος «όχι μόνο προσφέρει στη σκέψη αποτελεσματικά μοντέλα αντικειμένων ή υλικών γεγονότων, αλλά επιπλέον αναπαριστά με τρόπο ισομορφικό τις απαραίτητες διαστάσεις για τη θεωρητική σκέψη».

IV.ii.1. Πλήθος διαστάσεων: Αδυναμία εξαντλητικής απαρίθμησης

Το πολυδιάστατο αυτό σύστημα παρέχει μια ταυτόχρονη πολλαπλή περιγραφή των αδόμητων χώρων. Είναι λογικό να υποτεθεί ότι αν και κάθε μία διάσταση του αντικειμένου δεν μπορεί να το περιγράψει, όσο περισσότερες μπορούν να εντοπιστούν και να μετρηθούν, τόσο πιο πολύ η αναπαράσταση θα προσομοιάζει του αντικειμένου, καθώς θα παρουσιάζει μια κατ' αναλογία πολλαπλότητα.

Αν και κάποιες διαστάσεις είναι αρκετά εύκολο να αναπαρασταθούν και να ποσοτικοποιηθούν, άλλες δεν είναι τόσο άμεσα διαχωρίσιμες και μετρήσιμες. Επιπλέον, πέρα από το πρακτικό πρόβλημα της κατάλληλης μορφοποίησης και απόδοσης, το πλήθος των ιδιοτήτων που μπορούν να αποδοθούν σε ένα αντικείμενο, ή χώρο, είναι ανεξάντλητο και τόσο ετερογενές που δεν μπορεί να περιγραφεί άμεσα ως πεπερασμένο σύνολο, αλλά μάλλον ως πεδίο δυνατοτήτων. Σύμφωνα με τον Meillasoux (2008: 102), ένα σημαντικό στοιχείο της θεωρίας συνόλων του Cantor είναι «η απο-ολοκλήρωση του αριθμού, μια απο-ολοκλήρωση γνωστή ως 'το υπερπεπερασμένο'», σύμφωνα με την οποία το αντιληπτό δεν είναι απαραίτητα ολοκληρώσιμο. Με αυτούς τους όρους, οι ιδιότητες του φυσικού αντικειμένου δεν αποτελούν ένα ολοκληρώσιμο σύνολο, είναι μη-συνολίσιμες (Καστοριάδης, 1995) και δεν συνιστούν μια ολότητα[91] (Meillasoux, 2008). Ο χώρος δεν μπορεί να αναχθεί σε μια πλήρη λίστα ιδιοτήτων, καθώς αυτές παράγονται δυναμικά σύμφωνα με τις προθέσεις της εκάστοτε πράξης αναγνώρισής τους. Μόνο το ίδιο το φυσικό αντικείμενο υποστηρίζει ένα πλήρες εύρος πιθανών περιγραφών[92], ενώ κάθε αναπαράσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φορέας και επικοινωνός ενός πεπερασμένου φάσματος ιδιοτήτων, προσφέροντας μια συγκεκριμένη και στοχευμένη οπτική του αντικειμένου. Η επιλογή ενός συγκεκριμένου συνόλου ιδιοτήτων, ανεξαρτήτως του πλήθους τους, είναι εξ ορισμού μια ερμηνευτική πράξη[93], ορίζοντας το πεδίο των δυνατών αναγνώσεων του αναπαριστάμενου αντικειμένου. Έτσι, η αναπαράσταση των αδόμητων χώρων μέσω πολλαπλών μετρήσιμων χαρακτηριστικών τους, όπως και κάθε αναπαράσταση, περιγράφοντας ένα υποσύνολο των διαστάσεων που αντιστοιχούν σε ιδιότητες του φυσικού αντικειμένου, αποτελεί μια διαδικασία μείωσης διαστάσεων και σημαντικής αφαίρεσης πληροφορίας[94].

Η προτεινόμενη διαδικαστική περιγραφική και αναπαραστατική λογική είναι εξ ορισμού μερική και αφαιρετική[95]. Διαφορετικά υποσύνολα ιδιοτήτων από το άπειρο πεδίο των δυνατών αναγνώσεων του φυσικού αντικειμένου λειτουργούν ως στοχευμένες περιγραφές του, πολλαπλές αλλά πεπερασμένες. Η ενσωμάτωση κατά το δυνατό περισσότερων και ευρύτερης ποικιλίας μετρήσεων είναι πιθανό να

[91] «Αυτό που είναι ποσοτικοποιήσιμο […] δεν συνιστά μια ολότητα» (Meillasoux, 2008: 104).

[92] Η πολυπλοκότητα συνεπάγεται ότι σε ένα σύστημα υπάρχουν περισσότερες δυνατότητες από εκείνες που μπορούν να ενεργοποιηθούν (Luhmann, 1985: 25, σύμφωνα με αναφορά του Cilliers, 1998: 2).

[93] Σύμφωνα με τον Καστοριάδη (1995: 307), «[…] δεν υπάρχει μόνο μια 'λογική'. Υπάρχει μια οντολογική απόφαση […] και μια συγκρότηση/δημιουργία. Μέσω των αναφερθεισών κατηγοριών και τελεστών [της ταυτιστικής-συνολιστικής λογικής], συγκροτούν μια περιοχή του είναι – και ταυτοχρόνως αποφασίζουν είτε ότι αυτή εξαντλεί το είναι […] είτε ότι εκπροσωπεί το παράδειγμα του αληθώς όντος (όντως ον), ενώ τα υπόλοιπα είναι τύχημα, αυταπάτη και πλάνη, ή ελαττωματική μίμηση, ή άμορφη και ουσιαστικά 'παθητική' 'ύλη'».

[94] Σχετικά με το ότι κάθε χαρτογράφηση είναι αφαίρεση, ο Lynch αναφέρει ότι «αυτό το οποίο χαρτογραφείται είναι μια αφαίρεση, όχι η ίδια η φυσική πραγματικότητα αλλά οι γενικευμένες εντυπώσεις που η φυσική μορφή αφήνει σε έναν παρατηρητή διαμορφωμένο σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο» (Lynch, 1960: 143).

[95] Σύμφωνα με τον Arnheim (1976: 179, 181) «η αφαίρεση δεν είναι απλά ένα δείγμα ενός δεδομένου πληθυσμού. Ούτε είναι ένα απλό δείγμα χαρακτηριστικών. Μια ιδιότητα ή μια ομάδα ιδιοτήτων μπορεί για παράδειγμα να διακρίνει έναν τύπο αντικειμένου από έναν άλλο χωρίς να συνιστά απαραίτητα μια κατάλληλη αφαίρεση του αντικείμενου. […]Η αφαίρεση δεν βασίζεται στην παράθεση επιμέρους χαρακτηριστικών αλλά στην οργάνωσή τους σε ένα οργανωμένο σύνολο»

ενίσχυαν την πολλαπλότητα των περιγραφών, αλλά εκτός από την εκ των πραγμάτων αδυναμία αναγωγής του χώρου σε μια πλήρη λίστα ιδιοτήτων, πρέπει να συνυπολογιστεί και το πρακτικό γεγονός ότι από κάποιο πλήθος και πέρα το σύνολο των μετρήσεων παύει να είναι αντιληπτικά και υπολογιστικά διαχειρίσιμο.

IV.iii. Μείωση διαστάσεων: Κατανομές σημείων

Ο παραγόμενος πολυδιάστατος χώρος αναπαράστασης, αν και είναι μαθηματικά ορισμένος, δεν μπορεί να οπτικοποιηθεί άμεσα και απλά, με έναν αναγνώσιμο και εύληπτο τρόπο. Προκειμένου να οπτικοποιηθεί το πολυδιάστατο αυτό σύστημα, πρέπει να μειωθεί το πλήθος των διαστάσεών του. Σύμφωνα με τον Arheim (1976: 303) πέρα από το όριο της τρίτης διάστασης του αντιληπτικού και φυσικού χώρου, «οι γεωμετρικοί υπολογισμοί, όπως όλοι οι πολυδιάστατοι υπολογισμοί, πρέπει να περιοριστούν σε μια θραυσματική αναπαράσταση, εάν αυτή υφίσταται. Αυτό πιθανότατα σημαίνει ότι πρέπει να περιοριστούν στην τμηματική κατανόηση αντί για την πραγματική κατανόηση του όλου». Ωστόσο, υποστηρίζεται ότι η προβολή του πολυδιάστατου χώρου σε ένα χώρο λιγότερων διαστάσεων κατά τρόπο ώστε να διατηρούνται οι μετρικές και τοπολογικές σχέσεις μεταξύ των αρχικών πολυδιάστατων διανυσμάτων, θα μπορούσε να αποκαλύψει σχηματισμούς αλληλοσυσχετισμών και να απεικονίσει βαθμούς ομοιότητας και διαφοράς μεταξύ των αναπαριστάμενων χώρων, χωρίς να κατατέμνεται το όλο σε επιμέρους θραυσματικές αναπαραστάσεις. Σύμφωνα με τον Hanna (2011), «η χρήση πολυδιάστατων εισερχομένων έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στην αποκάλυψη τύπων τεχνημάτων σε πολλά επίπεδα κλίμακας».

Ως προς τον τρόπο μείωσης των διαστάσεων, υπάρχει μια πληθώρα τεχνικών και μεθόδων για τη χαρτογράφηση και αναπαράσταση πολυδιάστατων δεδομένων σε χώρο λιγότερων διαστάσεων, οι οποίες προέρχονται από διαφορετικά επιστημονικά πεδία, όπως η Στατιστική Ανάλυση και η Τεχνητή Νοημοσύνη. Η επιλογή κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται τόσο από τη φύση και τον τύπο των δεδομένων όσο και από την πρόθεση της εκάστοτε ανάλυσης. Δεδομένου ότι οι χώροι που αναλύονται θεωρούνται αχαρακτήριστοι και δεν προδιαγράφεται το πλήθος και τα χαρακτηριστικά των κατηγοριών στις οποίες πρόκειται να υπαχθούν, επιλέγονται μη επιβλεπόμενες μέθοδοι, στις οποίες η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιείται βάσει την ίδιας της δομής τους και όχι κάποιας εξωτερικής πληροφορίας ή πρόθεσης. Αναζητούνται μέθοδοι που να διατηρούν και να επιτρέπουν τη διάκριση δομών εντός των δεδομένων, παράγοντας αναγνώσιμες και κατανοητές οπτικοποιήσεις του συστήματος συσχετισμών μεταξύ των αρχικών πολυδιάστατων δεδομένων.

Το αποτέλεσμα της μείωσης των διαστάσεων του πολυδιάστατου χώρου ιδιοτήτων είναι κατανομές σημείων σε δύο ή τρεις διαστάσεις, ώστε να είναι άμεσα οπτικοποιήσιμες και επικοινωνήσιμες με γραφικό τρόπο. Οι κατανομές αυτές αποτελούν χαρτογραφήσεις, δηλαδή διαφορετικές προβολές του πολυδιάστατου χώρου στο επίπεδο ή στον τρισδιάστατο χώρο αντίστοιχα, κατά τρόπο ώστε ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενα πολυδιάστατα διανύσματα να προβάλλονται στην ίδια περιοχή του χάρτη ενώ έντονα διαφοροποιούμενα πολυδιάστατα διανύσματα να προβάλλονται απομακρυσμένα μεταξύ τους. Η απόσταση μεταξύ σημείων αντιστοιχεί σε αφηρημένους βαθμούς ομοιότητας και διαφοράς ως προς όλες τις μετρήσεις ταυτόχρονα με αποτέλεσμα αδόμητοι χώροι που είναι παρόμοιοι μεταξύ τους να εμφανίζονται σε συγκεντρώσεις, ενώ έντονα διαφορετικοί χώροι διασπείρονται σε διαφορετικές περιοχές.

Έτσι, η χαρτογράφηση του πολυδιάστατου χώρου σε χώρο λιγότερων διαστάσεων επιτρέπει την ανάγνωση βαθμών ομοιότητας και διαφοράς και τον εντοπισμό τυπικών σχηματισμών συσχετισμών [patterns] μεταξύ των αναπαριστάμενων χώρων.

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, η ατελής μορφή οριοθετείται μέσα από την ισότιμη αλληλεπίδραση όλων των διαστάσεων, σε όλες τις κλίμακες αλληλοσυσχετισμών. Όλες οι διαστάσεις συλλειτουργούν και συνδιατυπώνουν το νόημα, χωρίς να υπάρχει ρητή αντιστοιχία μεταξύ των περιγραφικών και των αναπαραστατικών διαστάσεων και χωρίς να αποκαλύπτεται ποια αναπαραστατική διάσταση αντιστοιχεί σε ποιο χαρακτηριστικό ή ποια-ποιες διαμορφώνουν συγκεκριμένες αντιληπτικές ποιότητες. Πρόκειται για ένα πολύπλοκο σύστημα σχέσεων που, ως τέτοιο, δεν αναλύεται στις διαστάσεις του, για μια ασαφή χαρτογράφηση ενός «διακειμενικού»[96] συστήματος συσχετισμών όπου κάθε μοναδικότητα παραπέμπει σε κάθε άλλη, χωρίς να αποκαλύπτονται αιτιολογικά σχήματα.

Τόσο η περιγραφή κάθε μονάδας όσο και η αναπαράσταση των μεταξύ τους συσχετισμών βασίζεται αποκλειστικά στην ταυτόχρονη, ισότιμη και μη ιεραρχική οργάνωση των επιλεγμένων περιγραφών. Ως προς τη δομή του συστήματος συσχετισμών μεταξύ όλων των μονάδων του δείγματος, όλες οι μετρήσεις λειτουργούν στο ίδιο επίπεδο και συνδιαμορφώνουν οριζόντια[97] και συσχετιστικά τη χαρτογράφηση σε ένα σύστημα κατανεμημένης αναπαράστασης[98]. Το σύστημα δεν ακολουθεί μια στιβαδωμένη λογική επάλληλων επιπέδων [layers], αλλά οργανώνεται σε ένα επίπεδο, αυτό των διασυνδέσεων μεταξύ μη ιεραρχημένων στοιχείων.

Επομένως, οι διαστάσεις του αντικειμένου δεν δομούνται ιεραρχικά, αλλά αλληλεπιδρούν σε ένα επίπεδο, στο επίπεδο του συστήματος αλληλοσυσχετισμών. Στα κατανεμημένα συστήματα, το ενδιαφέρον μετατοπίζεται από το μοναδιαίο στοιχείο του συστήματος στην πολύπλοκη δομή του. «Η πολυπλοκότητα αναδύεται ως αποτέλεσμα των σχηματισμών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των στοιχείων» (Cilliers 1998: 4).

Η πληροφορία που φέρει κάθε μονάδα δεν έχει νόημα ως αυτοτελές στοιχείο[99], αλλά το νόημα παράγεται μέσα από τις διασυνδέσεις του δικτύου στο σύνολό του[100] σε μια διαδικασία

[96] Σύμφωνα με την έννοια της διακειμενικότητας, κάθε κείμενο (ή σημείο ή τέχνημα) συνδέεται με κάποιο τρόπο με άλλα κείμενα (ή σημεία ή τέχνηματα), αναφέρεται σε άλλα στοιχεία του συστήματος στο οποίο ανήκει και νοηματοδοτείται μέσα από αυτήν ακριβώς τη συσχέτιση με το σύνολο. Κατά την ανάγνωση οποιουδήποτε κειμένου, ο αναγνώστης παραπέμπεται με διάφορους τρόπους σε άλλα κείμενα και το νόημα παράγεται μέσα από αυτή την κίνηση μεταξύ κειμένων, από αυτή την αναφορά με δικτυακή μορφή σε όλα τα κείμενα, στο σύνολο της πολιτισμικής παραγωγής (Allen, 2001).

[97] Η οριζόντια οργάνωση του συστήματος αλληλοσυσχετισμών αναφέρεται στη μη ιεραρχική δομή του, που χαρακτηρίζει τη δομή των πολύπλοκων συστημάτων. Σύμφωνα με τον Cilliers, «επειδή η πολυπλοκότητα είναι αποτέλεσμα των διαδράσεων μεταξύ στοιχείων ενός συστήματος, η πολυπλοκότητα εκδηλώνεται στο επίπεδο του ίδιου του δικτύου. Δεν υπάρχει κάτι ούτε ένα επίπεδο χαμηλότερα (μια πηγή), ούτε ένα επίπεδο ψηλότερα (μια μετα-περιγραφή), ικανό να αποδίδει την ουσία της πολυπλοκότητας» (Cilliers, 1998: 2-3).

[98] Σε μια κατανεμημένη αναπαράσταση, «τα στοιχεία ενός συστήματος δεν έχουν τα ίδια αναπαραστατικό νόημα, αλλά μόνο με όρους σχηματισμών σχέσεων με πολλά άλλα στοιχεία» (Cilliers, 1998: 11).

Αναφερόμενος στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα, ο Cilliers υποστηρίζει ότι η κατανεμημένη αναπαράσταση εμφανίζεται σε δίκτυα όπου οι κόμβοι δεν έχουν συγκεκριμένο νόημα. «Σε αυτού του είδους τα δίκτυα ούτε οι κόμβοι ούτε τα βάρη έχουν συγκεκριμένες ερμηνείες. Η κωδικοποιημένη πληροφορία δεν είναι της μορφής αναπαραστάσεων συνεκτικών εννοιών. Η αναπαράσταση συχνά αναφέρεται ως 'υπο-συμβολική' [sub-symbolic] ή ως κωδικοποίηση 'μικρο-χαρακτηριστικών' [micro-features]. Κανένα βάρος δεν έχει νόημα από μόνο του. Επιπλέον, όλα τα βάρη συμμετέχουν κάθε φορά που στο δίκτυο παρουσιάζεται ένα πρότυπο [pattern]. Αυτή η διαδικασία κωδικοποίησης ονομάζεται 'κατανεμημένη αναπαράσταση'[distributed representation]» (Cilliers, 1998: 69).

Γενικότερα, «μια κατανεμημένη αναπαράσταση δεν είναι μια αναπαράσταση με τη συμβατική έννοια. Κατανέμει όλα τα στοιχεία ενός αναπαρασταστικού συστήματος. Δεν υπάρχουν σύμβολα με συγκεκριμένο νόημα, δεν υπάρχουν γραμματικές σχέσεις μεταξύ τους, και το ίδιο το σύστημα δεν έχει ανάγκη από ένα σημασιολογικό επίπεδο ερμηνείας» (Cilliers, 1998: 72).

[99] Σύμφωνα με τον Derrida, «το σημείο είναι μια οντότητα χωρίς κανένα θετικό περιεχόμενο. Επειδή δεν αποτελείται από τίποτα εκτός από σχέσεις, αποτελείται μόνο από ίχνη. […] Κάθε στοιχείο – φώνημα ή γράφημα- συστήνεται σε αναφορά με το ίχνος μέσα του των άλλων στοιχείων της σειράς ή του συστήματος. Αυτός ο δεσμός, αυτή η πλέξη, είναι το κείμενο,

αυτοοργάνωσης όπου δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ σημασιολογικού και συντακτικού επιπέδου[101]. Με αυτή την έννοια, τα νέφη σημείων που προκύπτουν από τη διαδικασία μείωσης διαστάσεων οπτικοποιούν μάλλον παρά αναπαριστούν τους αλληλοσυσχετισμούς μεταξύ των πολυδιάστατων διανυσμάτων. Σύμφωνα με την ορολογία του Badiou (2007), πρόκειται μάλλον για μοναδικούς όρους, που «παρασταίνονται αλλά δεν αναπαρασταίνονται»[102].

IV.iv. Κατηγοριοποίηση

Η δυνατότητα εξαγωγής μιας τυπολογίας χώρων από τις χαρτογραφήσεις αυτές εξαρτάται από τη σαφήνεια των πιθανά διακρινόμενων τυπικών σχηματισμών σχέσεων [patterns] μεταξύ σημείων που αντιπροσωπεύουν τους εξεταζόμενους χώρους και τη δυνατότητα διαχωρισμού τους σε διακριτά υποσύνολα σημείων. Η αναγωγή των σχετικών βαθμών ομοιότητας και διαφοράς σε διακριτές ομαδοποιήσεις αποτελεί ένα επιπλέον στάδιο ερμηνείας που αναφέρεται στην αντίληψη της διαφοροποίησης και της ομοιότητας μεταξύ ελεύθερα διατεταγμένων στοιχείων[103], και μπορεί να υποστηριχθεί από την κατάλληλη περαιτέρω αλγοριθμική επεξεργασία των δεδομένων.

το οποίο παράγεται μόνο μέσω της μεταμόρφωσης ενός άλλου κειμένου. Υπάρχουν μόνο, παντού, διαφορές και ίχνη ιχνών (Derrida, 1981: 26).

[100] Για τον Arheim (1976: 62, 63), «βλέπω σημαίνει βλέπω σε συσχετισμό. […] το οπτικό πεδίο, η άποψη κάθε αντικειμένου εξαρτάται από τη θέση του και από τη λειτουργία του εντός της συνολικής δομής και αυτή η επιρροή το μετατρέπει με τρόπο ριζικό. Αποσυνδεδεμένο από το πλαίσιό του το οπτικό αντικείμενο γίνεται ένα διαφορετικό αντικείμενο». Αντίστοιχα, ο Lynch (1960: 45) αναφέρει ότι «στοιχεία και ιδιότητες γίνονται αξιοσημείωτα με όρους τοποθέτησής τους εντός του συνόλου».

[101] Τα μοναδιαία στοιχεία του συστήματος δεν έχουν συγκεκριμένο, προκαθορισμένο νόημα από μόνα τους (τοπική αναπαράσταση), αλλά το νόημα παράγεται με όρους σχηματισμών αλληλοσυσχετισμών με πλήθος άλλων στοιχείων (κατανεμημένη αναπαράσταση) (Cilliers, 1998: 11, 19).

[102] Σύμφωνα με τον Badiou (2007), τα πολλαπλά μπορούν να διακριθούν σε κανονικούς όρους, σε αποφύεις καισε μοναδικούς όρους, ανάλογα με τον τρόπο κατά τον οποίο σχετίζονται με την παράσταση και την αναπαράσταση, με το ανήκειν και το εμπεριέχεται, με τη δομή και τη μεταδομή. «Ονομάζω κανονικό έναν όρο που παρασταίνεται και αναπαρασταίνεται. Ονομάζω απόφυση έναν όρο που αναπαρασταίνεται αλλά δεν παρασταίνεται. Τελικά ονομάζω μοναδικό έναν όρο που παρασταίνεται αλλά δεν αναπαρασταίνεται. […] Η κανονικότητα, η μοναδικότητα και η απόφυση συνδέονται με το διάκενο μεταξύ δομής και μεταδομής, ή μεταξύ ανήκει και εμπεριέχεται, και σχηματίζουν τις αποφασιστικές έννοιες για μια τυπολογία των δεδομένων του όντος.

Η κανονικότητα συστήνεται με την επανα-διαβεβαίωση του αρχικού Ένα με τη μεταδομή στην οποία αυτό το ένα παρασταίνεται.

Ο μοναδικός όρος […] είναι ένα-πολλαπλό της κατάστασης, 'μη-δυνάμενο-να-αναλυθεί' καθώς αυτά από τα οποία αποτελείται δεν παρασταίνονται στη μεταδομή. […] Ο όρος υπάρχει - παρασταίνεται, αλλά η ύπαρξή του δεν επιβεβαιώνεται άμεσα από τη μεταδομή.

Η απόφυση είναι ένα Ένα της μεταδομής που δεν είναι ένα Ένα της αρχικής δομής, μια ύπαρξη της μεταδομής που ενυπάρχει στην κατάσταση που η μεταδομή δομεί» Badiou (2007: 99).

[103] Η αντιληπτική διάκριση ομάδων αλληλοσυσχετιζόμενων σημείων βάσει της εποπτικής τους παρατήρησης βασίζεται στο σχηματισμό αντιληπτικών κατηγοριών, βάσει για παράδειγμα των «αρχών της οργάνωση των αντιληπτικών μορφών» της Gestalt, όπως είναι η εγγύτητα, η ομοιότητα, η συνέχεια, η απλότητα, το κλείσιμο, η συνδεσιμότητα (Wertheimer, 1923, σύμφωνα με αναφορά του Koffka, 1935). Σύμφωνα με τον Koffka (1931), «[…] η εφαρμογή της κατηγορίας της gestalt σημαίνει την εύρεση των μερών της φύσης που αποτελούν μέρη λειτουργικών συνόλων, την ανακάλυψη της θέσης τους σε αυτά τα σύνολα, του βαθμού σχετικής ανεξαρτησίας τους και τη διάρθρωση μεγαλύτερων συνόλων σε υπο-σύνολα». Αντίστοιχα λειτουργούν ως προς το σχηματισμό αντιληπτικών κατηγοριών οι «ποιότητες της μορφής» του Lynch (1960: 105-106) μοναδικότητα, απλότητα, συνέχεια, κυριαρχία, σαφήνεια συνενώσεων, διαφοροποίηση κατεύθυνσης, οπτική διείσδυση, συναίσθηση κίνησης, χρονική διαδοχή, ονόματα και νοήματα, καθώς και οι γνωσιακές εικόνες της οπτικής σκέψης του Arnheim (1976).

Η διαδικασία κατηγοριοποίησης είναι μια διαδικασία επάλληλων ερμηνειών και εμπρόθετων αναγνώσεων που επιβάλλουν συγκεκριμένες δομές στην οργάνωση των δεδομένων[104].

[104] «Η ίδια η δραστηριότητα τυποποίησης δεν είναι τυποποιήσιμη. Κάθε τυποποίηση προϋποθέτει μια δραστηριότητα τυποποίησης και τούτη εδώ δεν είναι τυποποιήσιμη […]. Κάθε τυποποίηση ερείδεται στις πρωταρχικές πράξεις θέσμισης σημείων, μιας σύνταξης και ακόμα και μιας σημασιολογίας (δίχως την οποία είναι μάταιη και άνευ ενδιαφέροντος) οι πράξεις αυτές είναι η προϋπόθεση κάθε τυποποίησης» (Καστοριάδης, 1995: 313).

V. Στάδια ανάπτυξης της μεθοδολογίας: Δοκιμή, εφαρμογή και αξιολόγηση βάσει πληθυσμιακής, τοπολογικής και εντατικής σκέψης

Η προτεινόμενη προσέγγιση για την περιγραφή, συγκριτική ανάλυση και κατηγοριοποίηση άτυπων χωρικών σχηματισμών περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια δοκιμής, εφαρμογής και αξιολόγησης της μεθοδολογίας. Τα στάδια αυτά ακολουθούν το τριμερές σχήμα της πληθυσμιακής, τοπολογικής και εντατικής σκέψης του Deleuze, όπως προσεγγίζεται από τον DeLanda[105] (2002).

Το πρώτο στάδιο αποτελεί μια πιλοτική εφαρμογή της μεθοδολογίας βάσει γνωστών δειγμάτων, προκειμένου να ελεγχθεί η εγκυρότητα της μεθόδου και η δυνατότητά της να αποδίδει διαφορετικούς βαθμούς ομοιότητας και διαφοράς μεταξύ των μελών προκαθορισμένων κατηγοριών. Οι προκαθορισμένες κατηγορίες χρησιμοποιούνται μόνο εκ των υστέρων, για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του διαχωρισμού. Η αξιολόγηση βασίζεται στη διερεύνηση του βαθμού στον οποίο η προκύπτουσα ταξινόμηση συμφωνεί με το ήδη συγκροτημένο σώμα γνώσεων γύρω από τα δοκιμαστικά παραδείγματα.

Η πιλοτική αυτή εφαρμογή ακολουθεί την πληθυσμιακή σκέψη. Η πληθυσμιακή σκέψη αναφέρεται στην οριοθέτηση της ατομικής μονάδας ως μέρους ενός συνόλου, ενός πληθυσμού διακριτών μοναδικοτήτων οι οποίες συνδιαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού. Με αυτή την έννοια η πληθυσμιακή σκέψη συσχετίζεται με την κατηγορηματική λογική, η οποία αναφέρεται στα «χωρικά-άυλα όρια της διακριτής οντότητας» (Παρμενίδης, 2015). Σύμφωνα με την πληθυσμιακή σκέψη, το πεδίο δυνατοτήτων οριοθέτησης της μονάδας είναι ο πληθυσμός[106] και τα άτομα αποτελούν πολλαπλότητες που συστήνουν συγκλίνουσες και αποκλίνουσες σειρές παραλλαγών (Deleuze, 2005). «Οι μορφές δεν προϋπάρχουν του πληθυσμού, είναι περισσότερο σαν στατιστικά αποτελέσματα. Όσο περισσότερο ένας πληθυσμός αποκτά αποκλίνουσες μορφές, τόσο περισσότερο η πολλαπλότητά του διαιρείται σε πολλαπλότητες διαφορετικής φύσης.[…] Οι δύο θεμελιώδεις συμβολές του Δαρβινισμού κινούνται στην κατεύθυνση μιας επιστήμης των πολλαπλοτήτων: η αντικατάσταση των πληθυσμών από τους τύπους και η αντικατάσταση των ρυθμών μεταβολής ή διαφορικών σχέσεων με βαθμούς» (Deleuze & Guattari, 1987: 48).

Στο δεύτερο στάδιο, που αποτελεί και την κυρίως εφαρμογή, η μέθοδος εφαρμόζεται σε άγνωστα, μη χαρακτηρισμένα δείγματα. Στόχος είναι ο διαχωρισμός των δειγμάτων σε διακριτές ομάδες, οι οποίες αποτελούν τους ζητούμενους χωρικούς τύπους. Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται αποκλειστικά βάσει της πληροφορίας που ενυπάρχει στη δομή των δεδομένων, χωρίς την αξιοποίηση εξωτερικών κριτηρίων ή προϋπάρχουσας γνώσης και ακολουθεί μια τοπολογική λογική.

Η τοπολογική σκέψη αναφέρεται στους συσχετισμούς μεταξύ των μερών ενός συστήματος και στη δυνατότητα παραμετροποίησής τους κατά τρόπο ώστε να περιγράφεται ένα «κοινό σχέδιο» (DeLanda, 2002: 11), ένα αφηρημένο γενικό πλάνο που με την εφαρμογή διαφορετικών «εντατικών

[105] Ο DeLanda, υποστηρίζοντας τη χρήση των γενετικών αλγορίθμων ως σχεδιαστικό μέσο παραγωγής αναδυόμενων οργανώσεων πολλών παραλλαγών αντί για μοναδικά στατικά αντικείμενα, αναφέρει ότι «η παραγωγική χρήση των γενετικών αλγορίθμων απαιτεί την εφαρμογή τριών φιλοσοφικών μορφών σκέψης: της πληθυσμιακής, της εντατικής και της τοπολογικής. Ο Deleuze δεν τις εφηύρε, αλλά τις έφερε μαζί για πρώτη φορά και τις έθεσε ως βάση για μια νέα σύλληψη της γένεσης της μορφής» (DeLanda, 2002: 9).

[106] «Αν και σε μια δεδομένη στιγμή μια εξελιγμένη μορφή πραγματοποιείται σε μεμονωμένους οργανισμούς, ο πληθυσμός και όχι το άτομο είναι ο πίνακας [matrix] (το πλαίσιο, το πεδίο) για την παραγωγή της μορφής» (DeLanda, 2002: 10).

πράξεων»[107] να οδηγεί σε διαφορετικά στιγμιότυπα. Το αφηρημένο αυτό διάγραμμα[108] αποτελεί μια περιγραφή κλάσης, ή παραμετρικού μοντέλου, που οριοθετεί το πεδίο δυνατοτήτων από το οποίο μπορούν να επιλεγούν, να ενεργοποιηθούν και να πραγματοποιηθούν[109] συγκεκριμένες πολλαπλότητες ή στιγμιότυπα. Το πλάνο «πρέπει να είναι αρκετά αφηρημένο ώστε να είναι συμβατό με διαφορετικούς συνδυασμούς εκτατικών ποσοτήτων[110]» (DeLanda, 2002: 11). Το πέρασμα από το ένα στιγμιότυπο στο άλλο είναι δυνατό μέσω τοπολογικών μετασχηματισμών[111], οι οποίοι προδιαγράφονται από το αφηρημένο διάγραμμα ως δυνητική πολλαπλότητα. Η τοπολογική λογική, αναφερόμενη στη δυνατότητα μετασχηματισμού από τη μια μοναδικότητα στην άλλη μέσω της συναρτησιακής έκφρασης ενός παραμετρικού μοντέλου, συσχετίζεται με τη συναρτησιακή σκέψη και τα «συνεχή-ασαφή όρια μεταξύ οντοτήτων» (Παρμενίδης, 2015). Σε αντίθεση με την πληθυσμιακή σκέψη, το αντικείμενο της τοπολογικής σκέψης δεν είναι το ίδιο το αντικείμενο, αλλά ο τρόπος με τον οποίο οι συσχετισμοί μεταξύ αντικειμένων και οι μετασχηματισμοί τους παράγουν ή περιγράφουν το χώρο. Σύμφωνα με την Lafont (1986: 7), «η τοπολογία ενδιαφέρεται μόνο για την εμφάνιση, τη διαδρομή και τις δυνατότητες των αντικειμένων να περιγράφουν έναν συγκεκριμένο χώρο». Σε αντίθεση με την Ευκλείδεια γεωμετρία, όπου το ζήτημα είναι η «παραγωγή ενός συστήματος υπολογισμών και σημειογραφειών που μας επιτρέπουν να τοποθετούμε ένα αντικείμενο και τις κινήσεις τους στο χώρο», στην τοπολογία το ζήτημα είναι «η περιγραφή του ίδιου του χώρου, λαμβάνοντας υπόψη και το αναλλοίωτο [invariance] του αντικειμένου» (Lafont, 1986: 4).

Στο τρίτο στάδιο γίνεται μια απόπειρα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων και μεταγραφής των δεδομένων από μια αναλογική σε μια ονομαστική κλίμακα[112] (Jain & Dubes, 1988), περνώντας από μια αριθμητική σε μια ποιοτική περιγραφή. Εφόσον δε διατίθενται άμεσα ρητά εξωτερικά κριτήρια αξιολόγησης, αυτή επιχειρείται μέσω μιας προσπάθειας εκ των υστέρων περιγραφής των εξαγόμενων τύπων βάσει της εισαγωγής εμπρόθετων ιεραρχήσεων των παραμέτρων του συστήματος. Το αντικείμενο της περιγραφής μετατίθεται από την κλίμακα της ατομικής χωρικής μονάδας στην κλίμακα της ομάδας συγγενών χωρικών μονάδων και η αξιολόγηση βασίζεται στη δυνατότητα αναγνώρισης συστάδων κοινών ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν κάθε τύπο. Οι συστάδες αυτές, αναφερόμενες σε σύνθετες χωρικές ποιότητες, αποτελούν εναλλακτικούς δυνατούς ορισμούς του εκάστοτε τύπου, μια πιθανή μέτρηση του μη-διαλεκτικού, μη οριστού και άτυπου χαρακτήρα των

[107] Οι εντατικές πράξεις αναφέρονται σε συνεχείς μετασχηματισμούς που δεν βασίζονται στη διαχωρισιμότητα. Οι συνεχείς μετασχηματισμοί αποτελούν τη βάση της ισότητας μεταξύ επιφανειών στην τοπολογία. «Δύο επιφάνειες καλούνται ταυτόσημες όταν η μία μπορεί να μετασχηματιστεί στην άλλη μ΄πεσω συνεχών μετασηματοσμών εντός τουπεδίου εμβύθισής τους» (Lafont, 1986: III).

[108] «Μια αφηρημένη μηχανή από μόνη της δεν είναι ούτε φυσική ούτε σωματική περισσότερο από οτι είναι σημειωτική. Είναι διαγραμματική (δεν γνωρίζει τίποτε περί της διάκρισης μεταξύ του τεχνητού και του φυσικού). Λειτουργεί βάσει ύλης, όχι βάσει ουσίας, βάσει λειτουργίας, όχι βάσει μορφής. […] Η αφηρημένη μηχανή είναι καθαρή Ύλη-Λειτουργία – ένα διάγραμμα ανεξάρτητο από τις μορφές και τις ουσίες, τις εκφράσεις και τα περιεχόμενα που θα διανείμει» (Deleuze & Guattari, 1987: 141).

[109] Κατά την αναφορά του Deleuze στον Leibniz, το δίπολο δυνητικό – πραγματικό διασπάται σε δύο ζεύγη. Στο ζεύγος δυνητικό - εν ενεργεία (virtuel - actuel), που χαρακτηρίζει την ψυχή, τη νόηση και στο ζεύγος δυνατό - πραγματικό (possible - réel), που χαρακτηρίζει το σώμα, την ύλη. Το δυνητικό ενεργοποιείται στην ψυχή και το δυνατό πραγματοποιείται στο σώμα (Deleuze, 2005: 140).

[110] Εδώ οι εκτατικές ποσότητες αντιστοιχούν στις παραμέτρους του συστήματος που μπορούν να αναλαμβάνουν διαφορετικές τιμές.

[111] «Οι πράξεις που επιτρέπονται στην τοπολογία, όπως το τέντωμα χωρίς σκίσιμο και το δίπλωμα χωρίς κόλλημα, διατηρούν μόνο ένα σύνολο αφηρημένων αμετάβλητων ιδιοτήτων. Αυτές οι τοπολογικές σταθερές – όπως το πλήθος των διαστάσεων ενός χώρου ή η συνδεσιμότητά του - είναι ακριβώς τα κατάλληλα στοιχεία για να αρχίσουμε να σκεφτόμαστε για σωματικά σχέδια ή γενικότερα για αφηρημένα διαγράμματα» (DeLanda, 2002: 12).

[112] Σχετικά με τις κλίμακες δεδομένων βλ. κεφ. 2.2.4.

εξεταζόμενων χώρων. Ο τρόπος ορισμού και περιγραφής των τύπων μέσω της εφαρμογής ιεραρχήσεων εντάσσεται σε μια εντατική λογική.

Η εντατική σκέψη σχετίζεται με εντατικά μεγέθη, σε αντιδιαστολή με τα εκτατικά μεγέθη. «Οι εκτατικές ποσότητες (μεγέθη όπως για παράδειγμα το μήκος, η επιφάνεια, ο όγκος) ορίζονται ως μεγέθη που μπορούν να υποδιαιρεθούν χωρικά. Ο όρος εντατικές, από την άλλη, αναφέρεται σε ποσότητες όπως η θερμοκρασία, η πίεση ή η ταχύτητα, οι οποίες δεν μπορούν να υποδιαιρεθούν» (DeLanda, 2002: 10). Από τον ορισμό αυτό προκύπτει ότι βασικό χαρακτηριστικό των εντατικών μεγεθών είναι η μη-διαχωρισιμότητα αλλά και η διαφορά έντασης, «η οποία αυθόρμητα τείνει να εξομοιωθεί και κατά τη διαδικασία κινεί ροές ύλης και ενέργειας. Διαφορές έντασης είναι παραγωγικές διαφορές εφόσον υποκινούν διαδικασίες κατά τις οποίες παράγεται διαφοροποίηση των μορφών» (DeLanda, 2002: 10).

Σύμφωνα με τον Deleuze «η διαφορά δεν είναι ποικιλία. Η ποικιλία είναι δεδομένη, αλλά η διαφορά είναι αυτό από το οποίο δίνεται το δεδομένο.[…] Η διαφορά δεν είναι φαινόμενο, αλλά το νοούμενο το πλησιέστερο στο φαινόμενο. […] Κάθε φαινόμενο αναφέρεται σε μια ανισότητα από την οποία προσδιορίζεται […] Καθετί που συμβαίνει και καθετί που εμφανίζεται συσχετίζεται με τάξεις διαφορών: διαφορών επιπέδου, θερμοκρασίας, πίεσης, τάσης, δυναμικού, διαφορές έντασης» (Deleuze, 1994: 222).

Η εντατική λογική αναφέρεται στη δυνατότητα εμφάνισης και προσομοίωσης δυναμική συμπεριφοράς και με αυτή την έννοια συσχετίζεται με τη διαδικαστική λογική προσέγγισης των «κλειστών-ανοιχτών ορίων νοηματοδότησης των οντοτήτων» (Παρμενίδης, 2015).

VI. Δομή της εφαρμογής

Στάδιο 1

Πιλοτική εφαρμογή: Δοκιμή της μεθοδολογίας σε γνωστά παραδείγματα (γειτονιές Αθήνας και Λονδίνου)

Μεθοδολογία:

1. Ορισμός της χωρικής μονάδας και της περιοχής μελέτης. Χαρτογράφηση και δημιουργία της αρχικής βάσης δεδομένων
2. Μετρήσεις
   2.1. Τοπικές ιδιότητες
      2.1.1. Μετρικά μεγέθη
      2.1.2. Γεωμετρικά μεγέθη
      2.1.3. Τοπολογικά-συντακτικά μεγέθη
   2.2. Αποτελέσματα μετρήσεων
3. Πολυδιάστατη αναπαράσταση
   3.1. Πίνακας ιδιοτήτων
4. Μείωση διαστάσεων
   4.1. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών

Στάδιο 2

Κυρίως εφαρμογή: Εφαρμογή μεθόδου σε άγνωστα παραδείγματα (περιοχή Πατησίων) με μη προκαθορισμένες κατηγορίες και ισότιμη συμβολή όλων των μετρήσεων

Μεθοδολογία:

1. Ορισμός της χωρικής μονάδας και της περιοχής μελέτης. Χαρτογράφηση και δημιουργία της αρχικής βάσης δεδομένων
2. Μετρήσεις
   2.1. Τοπικές ιδιότητες
      2.1.1. Μετρικά μεγέθη
      2.1.2. Γεωμετρικά μεγέθη
      2.1.3. Τοπολογικά-συντακτικά μεγέθη
   2.2. Καθολικές ιδιότητες
      2.2.1. Διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα
   2.3. Αποτελέσματα μετρήσεων
3. Πολυδιάστατη αναπαράσταση
   3.1. Πίνακας ιδιοτήτων
4. Μείωση διαστάσεων
   4.1. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών
   4.2. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα
   4.3. Σύστημα Σωματιδίων - Ελατηρίων
5. Κατηγοριοποίηση
   5.1. Συσταδοποίηση
   5.2. Αποτελέσματα και σύγκριση μεθόδων

Στάδιο 3

Εισαγωγή πρόθεσης: Ιεραρχίες βάσει εμπρόθετης απόδοσης βάρους

Μεθοδολογία:

Εισαγωγή ιεραρχίας: Διαβάθμιση βαρών και μέτρηση Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων μέσω προσδιορισμού σχηματισμών συνδυασμών βαρών ανά ιδιότητα.

VII. Στάδιο 1: Πιλοτική εφαρμογή. Δοκιμή της μεθοδολογίας σε γνωστό δείγμα

Η πρώτη εφαρμογή αποτελεί έναν πιλότο[113], μια δοκιμή της μεθοδολογίας που προτείνεται για την περιγραφή και κατηγοριοποίηση άτυπων χωρικών σχηματισμών βάσει πολλαπλών μετρήσιμων χαρακτηριστικών τους, προκειμένου να αξιολογηθεί η εγκυρότητα και η αποτελεσματικότητά της[114]. Για το σκοπό αυτό, η μεθοδολογία εφαρμόζεται σε ένα σύνολο χαρακτηρισμένων παραδειγμάτων, δηλαδή δειγμάτων χώρων που ανήκουν σε εκ των προτέρων γνωστές κατηγορίες. Η αξιολόγηση βασίζεται στο βαθμό σύγκλισης της προκύπτουσας κατηγοριοποίησης με τις ήδη γνωστές κατηγορίες.

VII.i. Πλαίσιο ανάπτυξης της εφαρμογής

Στην πιλοτική αυτή εφαρμογή, επιδιώκεται η επιλογή υποσυνόλων δειγμάτων που να μπορούν να αντιστοιχηθούν σε διακριτές κατηγορικές ετικέτες [labels] βάσει κάποιου κριτηρίου το οποίο να μην σχετίζεται άμεσα ή μονοσήμαντα με τη χωρική τους μορφή και δομή, ώστε να μην εκφράζεται με τους ίδιους όρους με τους οποίους πραγματοποιείται η υπό αξιολόγηση περιγραφή και κατηγοριοποίηση. Βάσει αυτής της λογικής, ως κριτήριο της εκ των προτέρων ομαδοποίησης ορίστηκε η περιοχή[115] από την οποία προέρχονται τα δείγματα. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκαν περιοχές με κατά το δυνατό διακριτό αντιληπτικό χαρακτήρα, αλλά ταυτόχρονα συναφείς ως προς βασικές χωρικές δομές, ούτως ώστε ο διαχωρισμός των δειγμάτων να είναι μεν δυνατός αλλά όχι προφανής[116].

Επίσης επιδιώχθηκε να υπάρχει διαβάθμιση ως προς τη διαφοροποίηση των περιοχών, προκειμένου να μπορεί να αξιολογηθεί και η ευαισθησία της μεθόδου στην αναγνώριση διαφορετικών βαθμών ομοιότητας και διαφοράς. Βάσει αυτών των κριτηρίων, επιλέχθηκαν τέσσερις συνοικίες[117] του κέντρου της Αθήνας, και συγκεκριμένα τμήματα της περιοχής του Μουσείου, του Κολωνακίου, της Πλάκας και του Μεταξουργείου, καθώς και τμήμα μιας συνοικίας του κεντρικού Λονδίνου, του Bloomsbury.

[113] Η εφαρμογή αυτή πραγματοποιήθηκε κατά το μεγαλύτερο τμήμα της στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας για την απόκτηση του μεταπτυχιακού διπλώματος σπουδών Master of Science in Adaptive Architecture and Computation, από τη Σχολή Bartlett School of Graduate Studies του Πανεπιστημίου University College London. Ο τίτλος της εργασίας είναι «Urban identity through quantifiable spatial attributes: Coherence and dispersion of local identity through the comparative analysis of building block plans» και κατατέθηκε το Σεπτέμβριο του 2007 (Laskari, 2014, 2007, Laskari, Hanna & Derix, 2008).

[114] Σύμφωνα με τον Lynch (1960:14) «σε κάθε μικρή πιλοτική μελέτη, ο στόχος είναι η ανάπτυξη ιδεών και μεθόδων, και όχι η απόδειξη γεγονότων με έναν τελικό και καθοριστικό τρόπο».

[115] Σύμφωνα με τον Rossi (1991: 73-74), «η περιοχή μελέτης μπορεί να θεωρηθεί ως μια αφαίρεση σε σχέση με το χώρο της πόλης και χρησιμεύει για τον καλύτερο ορισμό ενός φαινομένου. […] Οι περιοχές θεωρούνται πάντα ως ενότητες του αστικού συνόλου που είτε ξεχώρισαν γιατί είχαν διαφορετική πορεία ανάπτυξης και διαφοροποίησης, είτε αποτελούν συνοικίες ή τμήματα της πόλης που απέκτησαν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. […] Αυτές οι περιοχές, αυτά τα τμήματα, προσδιορίζονται κυρίως μέσα από την τοποθεσία τους: είναι η προβολή των αστικών συντελεστών στο έδαφος, η τοπογραφική τους διάσταση, η φυσική τους παρουσία. Αυτές οι πρωτογενείς περιοχές μπορούν να εντοπισθούν είτε ως τμήματα του αστικού συνόλου, που ξεχώρισαν από τις διαφορετικές στιγμές της ανάπτυξης και της διαφοροποίησής τους, είτε ως συνοικίες ή τμήματα της πόλης, που απέκτησαν έναν ιδιαίτερο χαρακτήρα».

[116] Αν για παράδειγμα επιλεγόταν μια περιοχή με συνεχές σύστημα δόμησης και μία με πανταχόθεν ελεύθερο, ή μία περιοχή γενικής κατοικίας και μια βιομηχανική ζώνη, ο διαχωρισμός θα ήταν προφανής ακόμα και σε μια απλή οπτική παρατήρηση.

[117] «Η συνοικία είναι μια μορφολογική και δομική ενότητα που χαρακτηρίζεται από ένα αστικό περιβάλλον, από ένα κοινωνικό περιεχόμενο και από μια λειτουργία» (Rossi, 1991: 75).

Βασικά κριτήρια επιλογής για τις περιοχές της Αθήνας ήταν η διαφοροποίησή τους ανα ζεύγη, πρώτον ως προς τις αντικειμενικές αξίες των ακινήτων, που θεωρήθηκε ότι παρέχουν έναν σχετικό δείκτη της κοινής εκτίμησης της ποιότητας του αντιληπτικού χαρακτήρα της συνοικίας, και δεύτερον της επικρατούσας τυπολογίας των κτιρίων. Σύμφωνα με το πρώτο κριτήριο, οι περιοχές του Μουσείου και του Μεταξουργείου χαρακτηρίζονται από σαφώς χαμηλότερες τιμές ζώνης από ότι οι περιοχές του Κολωνακίου και της Πλάκας. Σύμφωνα με το δεύτερο κριτήριο, στις περιοχές του Μουσείου και του Κολωνακίου κυριαρχεί η τυπολογία της πολυκατοικίας των δεκαετιών 60-80, ενώ η Πλάκα και το Μεταξουργείο χαρακτηρίζονται παλιότερες κατασκευές, με επικρατέστερα τα νεοκλασικά και λαϊκά κτίσματα του δεύτερου μισού του 19^{ου} αιώνα και του πρώτου μισού του 20^{ου} αιώνα. Έτσι οι τέσσερις περιοχές συσχετίζονται ανά ζεύγη εναλλάξ ως προς τα δύο κριτήρια. Η περιοχή του Λονδίνου, σαφώς διαφορετική από τις υπόλοιπες, είναι μια κεντρική περιοχή γενικής κατοικίας, με αρκετά μικτή τυπολογία αλλά και σαφή εμφάνιση του τυπικού συνεχούς συστήματος δόμησης των Βικτωριανών κατοικιών. Η εισαγωγή αυτού του έντονα διαφοροποιούμενου δείγματος στο σύνολο είχε ως στόχο την εξέταση της αποτελεσματικότητας και της ευαισθησίας της προτεινόμενης μεθόδου στην αναγνώριση βαθμών ομοιότητας και διαφοράς μεταξύ χωρικών μονάδων, αλλά και στη διερεύνηση του τι διακρίνεται ως ομοιότητα και ως διαφορά.

VII.ii. Μοναδιαίο στοιχείο

Στην πιλοτική εφαρμογή, το μοναδιαίο χωρικό στοιχείο που αναλύεται είναι το οικοδομικό τετράγωνο, όπως οριοθετείται από την οικοδομική και τη ρυμοτομική γραμμή. Το οικοδομικό τετράγωνο ορίζεται αφαιρετικά ως μια δυαδική διάταξη δομημένων και αδόμητων χώρων, με το ενδιαφέρον να εστιάζεται στους αδόμητους χώρους, οι οποίοι σε πολλές περιπτώσεις είναι περισσότεροι του ενός εντός κάθε τετραγώνου. Έτσι, κάθε χωρική μονάδα μπορεί να περιλαμβάνει διαφορετικό πλήθος κενών νησίδων. Οι μετρήσεις των ιδιοτήτων αφορούν στο σύνολο των χώρων, αδόμητων και δομημένων, που συναποτελούν το οικοδομικό τετράγωνο.

VII.iii. Μέτρηση χαρακτηριστικών

VII.iii.1. Τοπικές ιδιότητες

Για την περιγραφή και τη συγκριτική ανάλυση των οικοδομικών τετραγώνων, εφαρμόζεται ένα σύνολο υφιστάμενων μεθόδων αλγοριθμικής μέτρησης χωρικών χαρακτηριστικών, που προέρχονται από τους τομείς της χωρικής ανάλυσης και της ανάλυσης σχημάτων. Με τον τρόπο αυτό ποσοτικοποιούνται και μετρώνται ατομικές, τοπικές[118] ιδιότητες του κάθε οικοδομικού τετραγώνου ως αυτόνομης χωρικής δομής, που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές τάξεις χαρακτηριστικών και διακρίνονται σε μετρικές, γεωμετρικές και τοπολογικές / συντακτικές ιδιότητες.

[118] Στις τοπικές ιδιότητες ανήκουν όλες οι μετρήσεις που σχετίζονται με ιδιότητες του κάθε χώρου ως αυτόνομης χωρικής δομής. Καθολικές ιδιότητες αποδίδουν τον συσχετισμό του κάθε μεμονωμένου χώρου με το ευρύτερο σύστημα του αστικού δικτύου στο οποίο ανήκει. Στην πιλοτική εφαρμογή, εξαιτίας του γεγονότος ότι το δείγμα προέρχεται από διαφορετικές περιοχές, αντιπροσωπεύοντας αυθαίρετα οριοθετημένες και ασύνδετες μεταξύ τους νησίδες του αστικού ιστού, δεν θεωρήθηκε σκόπιμο να ληφθούν μετρήσεις που αναφέρονται σε καθολικά χαρακτηριστικά αναφερόμενα στη διασύνδεση των οικοδομικών τετραγώνων εντός του συνόλου του αστικού ιστού.

VII.iii.1.1. Μετρικές ιδιότητες

Οι μετρικές ιδιότητες αφορούν σε αριθμητικά, βαθμωτά μεγέθη που είναι άμεσα εξαγόμενα από την κάτοψη. Οι μετρήσεις της τάξης αυτής στοχεύουν στην απόδοση ιδιοτήτων που αναφέρονται ως επί το πλείστον σε απόλυτα, εκτατικά μεγέθη, μετρικές αναλογίες και ποσοτικές εκφράσεις της ανοιχτότητας του κάθε χώρου. Μετρήσεις της κατηγορίας αυτής είναι για παράδειγμα το συνολικό εμβαδό και το μήκος της περιμέτρου, η κάλυψη, το πλήθος των γειτονικών και των περιεχόμενων κτιρίων, το πλήθος των ανοιγμάτων προς τους γύρω δρόμους και άλλες βαθμωτές ποσότητες που αποδίδουν μετρικά χαρακτηριστικά.

VII.iii.1.2. Γεωμετρικές ιδιότητες

Οι γεωμετρικές ιδιότητες αναφέρονται σε χαρακτηριστικά του σχήματος των περιγραμμάτων του χώρου που έχουν να κάνουν με την οργάνωση των ακμών και των κορυφών του σχήματος στο επίπεδο, λαμβάνοντας υπόψη και ζητήματα μεγεθών και αναλογιών. Γεωμετρικές ιδιότητες που σχετίζονται με τη θραυσματικότητα, την πολλαπλότητα των κλιμάκων, την επανάληψη και την αυτοομοιότητα θεωρείται ότι εκφράζονται επαρκώς από τη φρακταλική ή μορφοκλασματική διάσταση [fractal dimension] (Mandelbrot, 1982) των περιγραμμάτων των χώρων[119].

VII.iii.1.3. Τοπολογικές/συντακτικές ιδιότητες

Καθώς «η τοπολογία δεν ενδιαφέρεται για το μετρικό ούτε για τις αναλογίες» (Lafont, 1986: 8), οι τοπολογικές ιδιότητες αναφέρονται σε σχέσεις που «παραπέμπουν στον τρόπο με τον οποίο τα πράγματα παρατίθενται, εμπεριέχονται, γειτνιάζουν ή συνορεύουν και τη σχέση του μέσα, του έξω και του ανάμεσα» (Πεπονής, 2003: 171). Μέθοδοι που ποσοτικοποιούν συντακτικές σχέσεις μεταξύ τοποθεσιών της κάτοψης, όπως μετρήσεις συνδεσιμότητας ή προσβασιμότητας του χώρου, αποτελούν κατ' εξοχήν τοπολογικά μεγέθη. Τέτοιες μέθοδοι σχετίζονται συνήθως με την οπτική αντίληψη του χώρου και βασίζονται στη υπόθεση ότι η οπτική πληροφορία και η χωρική εμπειρία μεταβάλλονται ανάλογα με τη θέση του παρατηρητή στο χώρο (Psarra & Grajewski, 2001). Κάποιες από τις μεθόδους αυτές αναλύουν τη διαδοχικότητα της χωρικής εμπειρίας ενώ άλλες συνδυάζουν διακριτά οπτικά στιγμιότυπα σε μια συγχρονική οπτική.

Για τη μέτρηση τοπολογικών και συντακτικών μεγεθών, όπως η χωρική συνδεσιμότητα και η κυρτότητα, εφαρμόζεται μια μέθοδος για την περιγραφή ιδιοτήτων της περιμέτρου σχημάτων. Η μέθοδος αυτή, που έχει οριστεί από τους Psarra & Grajewski (2001), παρέχει ένα συνδυασμό τοπικών και συνολικών, διαδοχικών και συγχρονικών προσεγγίσεων της οπτικής εμπειρίας, ποσοτικοποιώντας την κυρτότητα σχημάτων με όρους κατανομής συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου τους.

VII.iv. Πολυδιάστατη αναπαράσταση και μείωση διαστάσεων

Η ποσοτικοποίηση ενός πλήθους χαρακτηριστικών, βάσει διαφορετικών μεθόδων μέτρησης, επιτρέπει την αναπαράσταση κάθε οικοδομικού τετραγώνου μέσω ενός πολυδιάστατου διανύσματος ιδιοτήτων. Η χαρτογράφηση του πολυδιάστατου χώρου ιδιοτήτων σε χώρο τριών διαστάσεων, κατά τρόπο ώστε να διατηρείται η δομή των πολυδιάστατων δεδομένων και να αποδίδεται με τρόπο

[119] Αναφέρεται χαρακτηριστικά ότι τοπολογικά ταυτόσημα αντικείμενα μπορεί να έχουν διαφορετική κλασματική διάσταση (Lorenz, 2003: 31).

εποπτικά κατανοητό και αντιληπτικά διαχειρίσιμο, πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής μιας μεθόδου πολυπαραγοντικής στατιστικής ανάλυσης, της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών [Principal Component Analysis (PCA)].

VII.v. Κατηγοριοποίηση: Επιβεβαίωση ετικετών

Η περιγραφή των οικοδομικών τετραγώνων μέσω πολλαπλών μετρήσιμων χαρακτηριστικών τους, η αναπαράστασή τους ως πολυδιάστατα διανύσματα ιδιοτήτων και η προβολή των διανυσμάτων αυτών σε χώρο λιγότερων διαστάσεων, έχει ως αποτέλεσμα μια κατανομή σημείων στην οποία οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ σημείων εκφράζουν αφηρημένους βαθμούς ομοιότητας και διαφοράς ως προς όλες τις ιδιότητες ισότιμα και ταυτόχρονα.

Οι χωρικές ενότητες υπάγονται σε δεδομένες ετικέτες οι οποίες αποτελούν και το κριτήριο αξιολόγησης της περιγραφής του συνόλου του δείγματος. Οι ετικέτες αυτές είναι γνωστές εκ των προτέρων αλλά δεν χρησιμοποιούνται στην περιγραφή των χώρων ή στην κατηγοριοποίησή τους. Αντίθετα, χρησιμεύουν μόνο ως εκ των υστέρων εφαρμοζόμενο κριτήριο αξιολόγησης. Συγκεκριμένα, εμφανίζοντας τις ετικέτες μέσω χρωματικής κωδικοποίησης είναι δυνατός ο οπτικός έλεγχος του αποτελέσματος, βάσει της διερεύνησης του βαθμού στον οποίο σημεία του ίδιου χρώματος, που αντιστοιχούν σε χώρους από την ίδια περιοχή, προβάλλονται κοντά μεταξύ τους και ομαδοποιούνται και αντίθετα, του βαθμού στον οποίο χώροι από διαφορετικές περιοχές τείνουν να διασπείρονται.

Εμφανίζοντας δηλαδή την ετικέτα του κάθε σημείου, μπορεί να διαπιστωθεί αν οι συσχετισμοί που εμφανίζονται στο χώρο μειωμένων διαστάσεων αποδίδουν την πραγματική χωρική εγγύτητα μεταξύ οικοδομικών τετραγώνων ή την αντιληπτική ομοιότητα και διαφορά μεταξύ των αντίστοιχων συνοικιών, εκφράζοντας χωρικές [spatial] και διαχωρικές[120] [transpatial] σχέσεις.

Με την πιλοτική αυτή εφαρμογή διερευνάται η δυνατότητα επανασύνθεσης των αρχικών κατηγοριών μέσα από μια διαδοχή αλγοριθμικών επεξεργασιών. Η απόδοση της συνοχής των κατηγοριών ελέγχεται εκ των υστέρων, βάσει της σχετικής θέσης των χώρων που υπάγονται στην ίδια ετικέτα στην τελική κατανομή σημείων.

Στόχος είναι η επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας της προτεινόμενης μεθόδου στην κατηγοριοποίηση γνωστών παραδειγμάτων, ούτως ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί στη συνέχεια και σε άγνωστα, μη χαρακτηρισμένα παραδείγματα.

VII.vi. Πληθυσμιακή λογική

Η πιλοτική αυτή εφαρμογή ακολουθεί μια πληθυσμιακή λογική (DeLanda, 2002), με την έννοια ότι ένας πληθυσμός διακριτών χωρικών ενοτήτων περιγράφεται βάσει ενός συνόλου ατομικών χαρακτηριστικών που εμφανίζουν από κοινού όλα τα μέλη του πληθυσμού. Στόχος δεν είναι η

[120] Η διάκριση μεταξύ χωρικών και διαχωρικών σχέσεων ή οντοτήτων αναφέρεται σε τοπικές και καθολικές ιδιότητες ή σχέσεις που προσδιορίζουν μοναδικότητες ή γενικεύσιμος κατηγορίες αντίστοιχα. «Μπορούμε να ορίσουμε μια διαχωρική σχέση ως μία σχέση που πραγματοποιείται σε ένα τοπικό διακριτό σύστημα με την ίδια μορφή με την οποία πραγματοποιείται σε άλλα (συστήματα).» Η ύπαρξη μιας διαχωρικής σχέσης σε ένα τοπικό χωρικό σύστημα «καθιστά κάποια στοιχεία και τους συσχετισμούς τους μη-αντιμεταθετά από άλλα» (Hillier & Hanson, 1984: 40-41). Η διαχωρικότητα μπορεί να εκφραστεί ως γενικεύσιμος συσχετισμός, ως κανόνας που συγκεκριμενοποιείται σε κάθε διακριτή εφαρμογή του. Οι διαχωρικές σχέσεις σχετίζονται με την αναλογία και την οριοθέτηση, αφού «ανάλογες δομές πραγματοποιούνται σε ελεγχόμενη απομόνωση» (Hillier & Hanson, 1984: 145), ενώ οι χωρικές σχέσεις αναφέρονται στη γειτνίαση, τη συνάντηση και τη συνέχεια, και «η κίνηση διάσχισης των ορίων είναι βασική συνθήκη για τη δημιουργία χωρικών σχέσεων» (Hillier & Hanson, 1984: 145).

περιγραφή μεμονωμένων στοιχείων, αλλά ενός πλήθους αλληλοσυσχετιζόμενων στοιχείων, βάσει της μεταξύ τους συγκριτικής ανάλυσης. Η διαδικασία οριοθέτησης διακριτών οντοτήτων μέσω ενός πλήθους κατηγορηματικών διαστάσεων εντάσσεται σε μια κατηγορηματική λογική (Παρμενίδης, 2015). Πρόκειται για έναν ενιαίο παραμετρικό ορισμό ενός συνόλου αντικειμένων, τα οποία περιγράφονται μέσω μιας σειράς ιδιοτήτων, κάθε μία από τις οποίες εκφράζεται ως μία παράμετρος, η οποία με τη σειρά της μπορεί να λάβει μία τιμή συγκεκριμένου τύπου και εντός συγκεκριμένου εύρους. Έτσι διατυπώνεται ο παραμετρικός ορισμός μιας κλάσης, ενός αφηρημένου διαγράμματος (DeLanda, 2002) που οριοθετεί το πεδίο των δυνατών περιγραφών των οικοδομικών τετραγώνων. Κάθε χώρος του δείγματος μπορεί να εκφραστεί ως στιγμιότυπο της κλάσης μέσω της απόδοσης τιμής σε κάθε μία από τις παραμέτρους. Και αντίστροφα, κάθε στιγμιότυπο της κλάσης που μπορεί να προκύψει από την απόδοση τιμής σε κάθε παράμετρο αποτελεί και ένα διακριτό αντικείμενο – οικοδομικό τετράγωνο, υπαρκτό ή δυνητικό. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, οι χώροι του δείγματος αποτελούν επιλεγμένες και πραγματοποιημένες μονάδες μιας σειράς παραλλαγών (Deleuze, 2005) που εκφράζεται μέσω του μαθηματικού νόμου που ορίζει την κλάση.

Η συστηματική ανάλυση των αποτελεσμάτων δείχνει ότι καμία μεμονωμένη μέτρηση δεν επαρκεί για την περιγραφή των χώρων και την απόδοση των συσχετισμών τους, παρόλο που η εφαρμογή τους σε χαρακτηρισμένους πληθυσμούς υποδεικνύουν τάσεις γενικής συσχέτισης τόσο μεταξύ των προκαθορισμένων ομάδων, όσο και μεταξύ μετρήσεων.

Στο κατανεμημένο αυτό σύστημα, κάθε πολυδιάστατο διάνυσμα δεν παρέχει παρά σχετική πληροφορία η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο εντός του συστήματος και αξιολογείται εκ των υστέρων, με την εφαρμογή του εξωτερικού κριτηρίου της γεωγραφικής προέλευσης των αντίστοιχων χώρων. Κάθε σύνολο περιγραφών έχει σχετική και συγκριτική σημασία και η μονάδα δεν ορίζεται παρά μέσω της διάκρισής της από άλλες μονάδες. «Η κατάδειξη της οποιασδήποτε οντότητας, αντικειμένου, πράγματος ή μονάδας συνδέεται με την πραγματοποίηση μιας πράξης διάκρισης, που διαχωρίζει αυτό που έχει καταδειχθεί από ένα αδιαφοροποίητο υπόβαθρο. Κάθε φορά που αναφερόμαστε σε κάποιο πράγμα με ρητό ή υπόρρητο τρόπο, θέτουμε σε κίνηση ένα κριτήριο διάκρισης που υποδεικνύει αυτό για το οποίο μιλάμε και φανερώνει τις ιδιότητές του ως οντότητας, μονάδας ή αντικειμένου» [121] (Maturana & Varela, 1992: 68).

Σύμφωνα με τον Deleuze (1990: 266) «μόνο ότι μοιάζει διαφέρει» και «μόνο διαφορετικότητες μπορούν να μοιάζουν μεταξύ τους» [122].

[121] «Μια μονάδα (οντότητα, αντικείμενο) ορίζεται από μια πράξη διάκρισης. Αντιστρόφως, κάθε φορά που αναφερόμαστε σε μια μονάδα, στις περιγραφές μας ενυπάρχει η πράξη διάκρισης που ορίζει αυτή τη μονάδα και την καθιστά δυνατή» (Maturana & Varela, 1992: 68).

[122] «Αυτές είναι δύο διακριτές αναγνώσεις του κόσμου: η μία μας καλεί να σκεφθούμε τη διαφορά από το σημείο μιας προηγούμενης ομοιότητας ή ταυτότητας, ενώ η άλλη μας καλεί να σκεφθούμε την ομοιότητα και ακόμα και την ταυτότητα ως το προϊόν μιας βαθειάς ανισότητας. Η πρώτη ανάγνωση ορίζει τον κόσμο των αντιγράφων ή αναπαραστάσεων … ή του τεχνήματος, και θέτει τον κόσμο ως εικόνα [μιας Ιδέας]. Η δεύτερη, αντίθετα, ορίζει τον κόσμο των προσομοιώσεων, simulacra, και θέτει τον κόσμο ως φάντασμα [μιας Αφήγησης, ενός Μύθου]… Το τέχνημα και η προσομοίωση δεν είναι το ίδιο πράγμα, και μάλιστα είναι αντιθετικά μεταξύ τους. Το τέχνημα είναι πάντα ένα αντίγραφο ενός αντιγράφου, που θα μπορούσε να ωθηθεί μέχρι το σημείο που θα αλλάξει την φύση του και θα αντιστραφεί σε προσομοίωση (η στιγμή της Pop Art). Το τέχνημα και η προσομοίωση είναι αντιθετικά στην καρδιά του Μοντερνισμού… ως δύο δρόμοι καταστροφής, δύο μηδενισμοί. Υπάρχει μεγάλη διαφορά ανάμεσα στο να καταστρέφεις για να διατηρείς και να διαιωνίζεις την καθεστηκυία τάξη των αναπαραστάσεων, μοντέλων και αντιγράφων, και στο να καταστρέφεις τα μοντέλα και τα αντίγραφα για να ιδρύσεις το χάος που δημιουργεί (μέσα από τη λειτουργία της προσομοίωσης και την ανάδειξη του φαντάσματος) την πιο αθώα από όλες τις καταστροφές, την καταστροφή του Πλατωνισμού [την καταστροφή της προηγούμενα καθομολογουμένης ομοιότητας ή ταυτότητας, του προηγούμενα καθομολογουμένου κατηγορήματος]» (Deleuze, 1990: 266).

Έτσι, σε αυτό το στάδιο κάθε μονάδα προσδιορίζεται μόνο ως προς τη θέση της σε σχέση με όλες τις άλλες μονάδες του συστήματος και ελέγχεται αν αυτή η χωρίς προκαθορισμένο νόημα αναφορά της μίας μονάδας στην άλλη συγκλίνει με την εκ των προτέρων ερμηνεία των χωρικών ενοτήτων ως μελών μιας κλάσης γειτονιάς. Πρόκειται για ένα ανοιχτό σύστημα συσχετιστικής αναφοράς μεταξύ στοιχείων που δεν φέρουν ενδογενώς κάποιο σαφές νόημα και που απαιτεί εκ των υστέρων ερμηνεία[123] βάσει εξωτερικών κριτηρίων και προϋπάρχουσας πληροφορίας (ετικέτες) που δεν ταυτίζεται με την πληροφορία βάσει της οποίας πραγματοποιείται η απόδοση των συσχετισμών μεταξύ των άτυπων χωρικών σχηματισμών.

[123] Σύμφωνα με τον Derrida, «το νόημα του σημείου είναι πάντα μη αγκυρωμένο. Το σημείο έχει απογυμνωθεί από το ‘σημαινόμενο’ στοιχείο του. Εφόσον το σημαινόμενο συστήνεται και αυτό μέσω ενός συστήματος συσχετισμών, λειτουργεί ακριβώς όπως ένα σημαίνον. Το σημαινόμενο δεν είναι τίποτα παρά άλλο ένα σημαίνον που πρέπει να λάβει τη θέση του στην ατέρμονη διάδραση μεταξύ σημαινόντων. Το νόημα δεν είναι ποτέ απλά παρόν και επομένως δεν μπορούμε να διαφύγουμε της διαδικασίας ερμηνείας» (Derrida 1976: 44).

VIII. Στάδιο 2: Εφαρμογή σε άγνωστο δείγμα

Μετά την πραγματοποίηση της πιλοτικής δοκιμής της μεθοδολογίας σε ένα σύνολο γνωστών παραδειγμάτων με προκαθορισμένες ετικέτες, επιχειρείται η εφαρμογή της σε μη χαρακτηρισμένο δείγμα[124], με σκοπό την κατηγοριοποίησή του σε διακριτές ομάδες και την εξαγωγή μιας τυπολογίας αδόμητων χώρων, βάσει βαθμών ομοιότητας και διαφοράς τους ως προς πολλαπλές, ισότιμες μετρήσεις χαρακτηριστικών της φυσικής μορφής και δομής τους.

VIII.i. Πλαίσιο ανάπτυξης της εφαρμογής

Η εφαρμογή που αναφέρεται στην περιγραφή και κατηγοριοποίηση αδόμητων χώρων υπάγεται στις προτεινόμενες στρατηγικές που περιγράφονται ως «διαμόρφωση προϋποθέσεων για τη βελτίωση των συνθηκών κατοίκησης και ανάπτυξης του Δυτικού Μητροπολιτικού Κέντρου» (Παρμενίδης, 2013α: 11) και εντάσσεται στο πλέγμα παρεμβάσεων που αφορούν στη «δικτύωση σημείων και κόμβων», και πιο συγκεκριμένα στις «στρατηγικές αξιοποίησης των κενών» στην περιοχή των Πατησίων[125].

[124] Η εφαρμογή αυτή αναπτύχθηκε κατά μεγάλο τμήμα στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Διερεύνηση Στρατηγικών για τη Δικτύωση των Αστικών Παρεμβάσεων στο Μητροπολιτικό Κέντρο της Αθήνας» που πραγματοποιήθηκε το 2013 από τη Σχολή Αρχιτεκτόνων Ε.Μ.Π. σε συνεργασία με την Περιφέρεια Αττικής. Συγκεκριμένα, η προσπάθεια περιγραφής και κατηγοριοποίησης άτυπων αδόμητων χώρων εντάσσεται στην ευρύτερη απόπειρα διατύπωσης στρατηγικών για την επανενεργοποίηση υπολειμματικών αστικών κενών χωρίς χρήση, ή με άτυπες χρήσεις, η οποία αποτελεί και έναν από τους στόχους του εν λόγω ερευνητικού προγράμματος.

Συνοπτικά, «το αντικείμενο του ερευνητικού έργου περιλαμβάνει τον προσδιορισμό, την αξιολόγηση και την προδιαγραφή ενός σύνθετου πλέγματος δράσεων που θα συμβάλλουν στη βελτίωση των συνθηκών κατοίκησης του αστικού χώρου σε στρατηγικά επιλεγμένες περιοχές του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Αθήνας και ειδικότερα στο Μητροπολιτικό του Κέντρο. […] Σκοπός της έρευνας είναι να παρασχεθεί η δυνατότητα στην Περιφέρεια Αττικής να λαμβάνει αποφάσεις για παρεμβάσεις στο Μητροπολιτικό Κέντρο, έχοντας υπόψη

- ένα γενικό πλαίσιο ολοκληρωμένης παρέμβασης ως προς το οποίο κάθε επιμέρους δράση θα συνέβαλλε στην υλοποίησή του,
- ένα γενικό πλαίσιο συναίνεσης βάσει του οποίου οι δράσεις θα μπορούσαν να τύχουν ευρείας αποδοχής από τους εμπλεκόμενους φορείς, καθώς και
- ένα γενικό πλαίσιο αξιολόγησης των προτεινόμενων παρεμβάσεων
    - ως προς τη δυνατότητα εφαρμογής τους σε διαφορετικές περιπτώσεις στο ευρύτερο Μητροπολιτικό κέντρο,
    - ως προς την δυνατότητα χρηματοδότησης και υλοποίησής τους,
    - ως προς τη συνέργειά τους στην αναπτυξιακή πολιτική για το Μητροπολιτικό Κέντρο.

Με στόχο τη συγκρότηση των πλαισίων εντός των οποίων η Περιφέρεια Αττικής αναπτύσσει λογικές για παρεμβάσεις, χειρίζεται τα μέσα υλοποίησής τους, και αξιολογεί την ευρύτερη εφαρμογή τους, το ερευνητικό πρόγραμμα περιλαμβάνει αντίστοιχα τρεις φάσεις εργασιών:

Α’ φάση: «Γενικός Σχεδιασμός Στρατηγικών Προσέγγισης»

Β’ φάση : «Σύνταξη προδιαγραφών για δικτυακές/κομβικές επεμβάσεις στο Μητροπολιτικό Κέντρο»

Γ’ φάση: «Διερεύνηση επέκτασης του Γενικού Σχεδιασμού Στρατηγικών Προσέγγισης»

(Παρμενίδης, 2013α: 6).

[125] Χωρική Ενότητα 1: Άνω/Κάτω Πατήσια, πλ. Αττικής, Στ. Λαρίσης, πλ. Βάθης, Κολωνού. Περικλείεται από τους άξονες Πατησίων, Καυταντζόγλου, γραμμές προαστιακού, Αγ. Μελετίου και Λένορμαν. Περιλαμβάνει τις κεντρικές περιοχές κατοικίας-μεικτών χρήσεων των Άνω και Κάτω Πατησίων, των Σταθμών Λαρίσης και Αττικής και των Πλατειών Βάθης και Κολωνού. Παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις όσον αφορά τα οικονομικά της χαρακτηριστικά, λόγω των προβλημάτων φτώχειας, ανεργίας και εγκατάλειψης επαγγελματικής στέγης. Σχετικά με τα κοινωνικά της χαρακτηριστικά, πρόκειται για περιοχή στην οποία έχει μεταβληθεί τις τελευταίες δεκαετίας σε σημαντικό βαθμό η κοινωνική σύνθεση. Εντοπίζεται

Η περιοχή των Πατησίων είναι μια από τις κορεσμένες οικοδομικά περιοχές της Αθήνας, και χαρακτηρίζεται ταυτόχρονα από έλλειψη σε κοινόχρηστους χώρους, από μεγάλο αριθμό εγκαταλελειμμένων κτιρίων και κενών χρήσης στην ισόγεια στάθμη, που προέρχονται κυρίως από το κλείσιμο καταστημάτων, καθώς και από πλήθος εν δυνάμει προσβάσιμων ακάλυπτων χώρων στα οικοδομικά τετράγωνα.

Η διαπίστωση της ανάγκης για κοινόχρηστους χώρους, τόσο στεγασμένους όσο και ανοιχτούς, σε συνδυασμό με την ύπαρξη μεγάλου πλήθους κενών κελυφών και αδόμητων χώρων χωρίς χρήση ή με άτυπες και περιστασιακές χρήσεις, οδήγησε στη διατύπωση στρατηγικών για την ενεργοποίηση του λανθάνοντος δυναμικού της περιοχής με την εισαγωγή νέων χρήσεων[126].

Η συγκεκριμένη εφαρμογή εστιάζει αποκλειστικά στα μη κτιριακά αστικά κενά και συγκεκριμένα στους αδόμητους χώρους εντός των οικοδομικών τετραγώνων και αναφέρεται στη δυνατότητα μετατροπής τους σε κοινόχρηστους χώρους (Laskari, 2014, 2015).

Στα πλαίσια αυτά, και υπό την υπόθεση ενός αμοιβαίου καθορισμού χωρικών δομών και πρακτικών κατοίκησης επιδιώκεται ο εντοπισμός διακριτών χωρικών τύπων προκειμένου στη συνέχεια να προσδιοριστεί ένα εύρος κατάλληλων αντίστοιχων λειτουργικών τύπων[127].

VIII.ii. Μοναδιαίο στοιχείο

Στην εφαρμογή αυτή, ως μοναδιαίο στοιχείο δε λαμβάνεται το οικοδομικό τετράγωνο στο σύνολό του, όπως στην περίπτωση του πιλότου, αλλά κάθε διακριτός αδόμητος χώρος, δεδομένου ότι στόχος είναι η κατηγοριοποίηση των αστικών κενών βάσει των ατομικών χαρακτηριστικών της φυσικής μορφής και δομής τους, ανεξάρτητα από το οικοδομικό τετράγωνο στο οποίο ανήκουν. Κάθε συνεχής νησίδα αδόμητου χώρου αποτελεί και μια χωρική μονάδα με διακριτές ιδιότητες και δυνατότητες επανενεργοποίησης, διασύνδεσης και χρήσης.

υψηλή συγκέντρωση ευπαθών κοινωνικά ομάδων (εθνοτικές, μειονοτικές ομάδες, πρόσφυγες, άστεγοι, τοξικοεξαρτημένοι κ.ά.) και χαμηλότερων οικονομικά στρωμάτων, αλλά και μικρομεσαίων στρωμάτων που «συμπιέζονται προς τα κάτω». Η περιοχή χαρακτηρίζεται και από σημαντικές ελλείψεις σε κοινωνικές υπηρεσίες και υποδομές εκπαίδευσης, περίθαλψης και επαγγελματικών δεξιοτήτων. Επιπλέον, προκλήσεις που αφορούν πολεοδομικά χαρακτηριστικά, δημιουργούν τα προβλήματα προσβασιμότητας, κινητικότητας και ασυνέχειας του ιστού λόγω της ύπαρξης των σιδηροδρομικών γραμμών, της περιβαλλοντικής υποβάθμισης, των υψηλών πυκνοτήτων κατοίκησης, των τάσεων εγκατάλειψης, των κενών κτιρίων, αν και το πεπαλαιωμένο κτιριακό απόθεμα συχνά είναι αξιόλογο (Παρμενίδης, 2013β: 39).

[126] Η συγκεκριμένη δράση αναφέρεται στους «Θύλακες και αστικά κενά Πατησίων». Σύμφωνα με την περιγραφή της δράσης, στην περιοχή Πατησίων, προβλέπεται «εκμετάλλευση των τοπικών ιδιαιτεροτήτων του αστικού ιστού (άξονες, θύλακες, κενά) σε εν δυνάμει αστικές συρραφές, χώρους αστικής και κοινωνικής δικτύωσης με έμφαση σε χρήσεις υποστηρικτικές της κατοικίας και της τοπικής επιχειρηματικότητας. Δημιουργία 'πάρκων τσέπης' και διαδικτύωση τους» (Παρμενίδης, 2013α: 11).

Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τη συγκεκριμένη δράση βλ. Μάρη, «Τα σημεία των κενών: Ο προσδιορισμός των ανταποδοτικών χρήσεων» (Παρμενίδης, 2013β: 59-60) και Γαλάτουλα, Λάσκαρη και Longuepee, «Τα κενά οικόπεδα, οι ακάλυπτοι χώροι και οι δρόμοι: Κατευθύνσεις σχεδιασμού για έναν δημόσιο χώρο που θα απευθύνεται στην πολυπολιτισμικότητα της σύγχρονης κοινωνίας με διατυπώσεις προγραμμάτων που θα ευνοούν τον γενόσημο σχεδιασμό» (Παρμενίδης, 2013β: 91-102).

[127] Οι προτεινόμενοι λειτουργικοί τύποι καθώς και η λογική κατανομής τους στους χωρικούς τύπους αναπτύσσεται στο κεφ. II.i καθώς και στο σχετικό κεφάλαιο του ερευνητικού προγράμματος «Διερεύνηση Στρατηγικών για τη Δικτύωση των Αστικών Παρεμβάσεων στο Μητροπολιτικό Κέντρο της Αθήνας» (Παρμενίδης, 2013β: 91-102).

VIII.iii. Κριτήρια κατηγοριοποίησης

Οι εξεταζόμενοι χώροι προέρχονται όλοι από την ίδια περιοχή και δεν έχουν κάποιο σαφές διακριτικό χαρακτηριστικό που να επιτρέπει τον εκ των προτέρων διαχωρισμό τους σε κατηγορίες. Πρόκειται για αχαρακτήριστα δείγματα, χωρίς ετικέτες και προκαθορισμένα ονόματα, για τα οποία δεν παρέχονται σαφή κριτήρια αξιολόγησης και ταξινόμησης, ούτε προϋποτίθεται η ύπαρξη συγκροτημένης γνώσης πεδίου. Η μόνη διαθέσιμη πληροφορία είναι αυτή που μπορεί να εξαχθεί από την ίδια τη δομή των δεδομένων. Η διάκριση των αδόμητων χώρων σε τύπους βασίζεται αποκλειστικά στη συγκριτική τους ανάλυση, βάσει της ποσοτικοποίησης πολλαπλών χαρακτηριστικών τους και της ισότιμης και ταυτόχρονης εξέτασης των χαρακτηριστικών αυτών. Μοναδικό κριτήριο για την κατηγοριοποίηση είναι η αξιολόγηση της ομοιότητας ή της διαφοράς μεταξύ τους, όπως αυτή εκφράζεται αφηρημένα μέσω της σχετικής απόστασης των αντίστοιχων σημείων στη γραφική αναπαράσταση των πολυδιάστατων διανυσμάτων τους.

VIII.iv. Μέτρηση χαρακτηριστικών

Ακολουθώντας τη λογική της πιλοτικής εφαρμογής, μετά την καταγραφή των αδόμητων χώρων και την οργάνωση του συνόλου του δείγματος, εφαρμόζονται μια σειρά αλγοριθμικών μετρήσεων που στοχεύουν στην ποσοτικοποίηση μετρικών, γεωμετρικών και τοπολογικών χαρακτηριστικών. Η επιλογή των μετρήσεων ακολουθεί την ίδια προσέγγιση με εκείνη της πιλοτικής εφαρμογής, δεδομένου ότι τα ατομικά χαρακτηριστικά των αδόμητων χώρων που ενδιαφέρουν και στις δύο περιπτώσεις αναφέρονται σε κοινά εμφανιζόμενες μη περιγράψιμες χωρικές ποιότητες.

VIII.iv.1. Τοπικές ιδιότητες

Στις τοπικές ιδιότητες ανήκουν όλες οι μετρήσεις που σχετίζονται με χαρακτηριστικά του κάθε κενού ως αυτόνομης χωρικής δομής. Όπως αναφέρθηκε, τοπικά χαρακτηριστικά μετρώνται μέσω της ποσοτικοποίησης ιδιοτήτων διαφορετικών τάξεων, που διακρίνονται σε μετρικές, γεωμετρικές και τοπολογικές / συντακτικές ιδιότητες.

VIII.iv.2. Καθολικές ιδιότητες

Εκτός από τις τοπικές, ατομικές μετρήσεις, στην περίπτωση των Πατησίων, στην οποία όλοι οι χώροι ανήκουν στην ίδια περιοχή και συσχετίζονται μεταξύ τους με σχέσεις άμεσης γειτνίασης και χωρικής διασύνδεσης, θεωρήθηκε σημαντικό να μετρηθούν και καθολικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη σχέση του κάθε αδόμητου χώρου με το ευρύτερο δίκτυο των ανοιχτών χώρων του αστικού ιστού της περιοχής.

Για την απόδοση της προσβασιμότητας και της διασύνδεσης σε επίπεδο δικτύου χρησιμοποιείται η μέτρηση της διαβαθμισμένης συνδεσιμότητας του κάθε κενού.

VIII.v. Πολυδιάστατη αναπαράσταση και μείωση διαστάσεων

Με την κατάρτιση του πίνακα μετρήσεων για το σύνολο του δείγματος, τα δεδομένα οργανώνονται σε πολυδιάστατα διανύσματα και ορίζεται ο πολυδιάστατος χώρος ιδιοτήτων, στον οποίο κάθε αδόμητος χώρος αντιστοιχεί σε ένα μοναδικά ορισμένο πολυδιάστατο σημείο. Όπως και στην

πιλοτική εφαρμογή, προκειμένου ο χώρος αυτός να οπτικοποιηθεί κατά τρόπο αντιληπτικά κατανοητό, απαιτείται η κατάλληλη χαρτογράφησή του σε χώρο μειωμένων διαστάσεων.

Ως προς τη διαδικασία μείωσης διαστάσεων, δεδομένου ότι δεν υπάρχει άμεσος τρόπος ελέγχου του αποτελέσματος, αφού τα δείγματα είναι αχαρακτήριστα, δεν είναι σαφές ποια μέθοδος είναι καταλληλότερη για την απόδοση της εσωτερικής δομής των συγκεκριμένων δεδομένων. Για το λόγο αυτό θεωρήθηκε σκόπιμο να εφαρμοστούν διαφορετικές μέθοδοι, ούτως ώστε τα αποτελέσματα να μπορούν να αξιολογηθούν μέσω της μεταξύ τους σύγκρισης. Ελλείψει εξωτερικών κριτηρίων αξιολόγησης επιλέγεται η δυνατότητα διατύπωσης εσωτερικών, συγκριτικών κριτηρίων.

Για το σκοπό αυτό, εφαρμόζονται τρεις διαφορετικές αλγοριθμικές μέθοδοι μείωσης διαστάσεων που προέρχονται από διαφορετικά επιστημονικά πεδία και ακολουθούν διαφορετικές λογικές και τεχνικές ανάλυσης, προβολής και οπτικοποίησης των πολυδιάστατων δεδομένων. Συγκεκριμένα, οι τρεις μέθοδοι που επιλέχθηκαν προέρχονται από την περιοχή της Στατιστικής Ανάλυσης, της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Υπολογιστικής Προσομοίωσης Φυσικής και αποτελούν αντίστοιχα εφαρμογές της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, των Νευρωνικών Δικτύων Kohonen και της Προσομοίωσης Φυσικών Δυνάμεων σε Συστήματα Σωματιδίων- Ελατηρίων.

Η πρώτη μέθοδος που εφαρμόζεται είναι η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών [Principal Component Analysis (PCA)], η οποία εφαρμόστηκε και στην πιλοτική εφαρμογή. Πρόκειται για μια μη-επιβλεπόμενη προσέγγιση πολυπαραγοντικής ανάλυσης για την προβολή πολυδιάστατων δεδομένων σε έναν υπο-χώρο λιγότερων διαστάσεων έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη διάκριση μεταξύ των δεδομένων.

Η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών παράγει μια γραφική παράσταση μειωμένων διαστάσεων που διατηρεί στο μέγιστο βαθμό τη δομή των συσχετισμών μεταξύ των αρχικών πολυδιάστατων δεδομένων, χωρίς όμως να αναπαριστά συγκεκριμένες διαστάσεις του αρχικού πολυδιάστατου χώρου.

Η σχετική θέση κάθε σημείου στα πλαίσια της προκύπτουσας δομής εξαρτάται από ένα σύνολο εγγενών συσχετισμών που δεν μπορούν να διαχωριστούν εκ των υστέρων και να μελετηθούν ως ξεχωριστές συνιστώσες. Οι εγγενείς αυτές σχέσεις δεν διατυπώνονται μέσω συγκεκριμένων περιγράψιμων χαρακτηριστικών αλλά εκφράζονται ως βαθμοί εγγύτητας μέσω της συνοχής ή διασποράς των σημείων.

Στη δεύτερη εφαρμοζόμενη μέθοδο, αυτή των δικτύων Kohonen, ένα μη-επιβλεπόμενο Τεχνητό Νευρωνικό Δίκτυο χαρτογραφεί τα πολυδιάστατα διανύσματα σε δύο διαστάσεις με έναν αυτοοργανωνόμενο τρόπο, μέσω της σταδιακής προσαρμογής των συναπτικών διανυσμάτων των νευρώνων στο χώρο των εισερχόμενων δεδομένων.

Συνοπτικά, η χαρτογράφηση ακολουθεί μια σειρά διαδοχικών βημάτων που επαναλαμβάνονται μέχρι το σύστημα να σταθεροποιηθεί. Ο χάρτης αποτελείται από έναν κάναβο τεχνητών νευρώνων, κάθε ένας από τους οποίους συσχετίζεται με ένα αρχικά τυχαίο συναπτικό διάνυσμα του ίδιου πλήθους διαστάσεων με τα εισερχόμενα δεδομένα.

Σε κάθε κύκλο, κάθε ένα από τα εισερχόμενα διανύσματα συγκρίνονται διαδοχικά με όλα τα συναπτικά διανύσματα και νικητής του κύκλου είναι ο νευρώνας του οποίου το συναπτικό διάνυσμα είναι το πλησιέστερο στο εισερχόμενο διάνυσμα.

Ο νικητής και οι γείτονές του προσαρμόζουν αναλογικά τα συναπτικά διανύσματά τους, ώστε να προσεγγίσουν βαθμιαία το εισερχόμενο διάνυσμα.

Έτσι, σε κάθε κύκλο τα συναπτικά διανύσματα προσαρμόζονται σταδιακά στα εισερχόμενα, σύμφωνα με την Ευκλείδεια απόστασή τους από αυτά, και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το αποτέλεσμα να σταθεροποιηθεί και τα εισερχόμενα να χαρτογραφηθούν πάνω στο δισδιάστατο νευρωνικό χάρτη.

Η τρίτη μέθοδος που εφαρμόζεται είναι μια προσομοίωση συστήματος Σωματιδίων – Ελατηρίων [Particle – Springs]. Αν και δεν πρόκειται για καθαυτό μέθοδο μείωσης διαστάσεων, επιτρέποντας τη δυναμική χωρική έκφραση συσχετισμών μεταξύ πλήθους στοιχείων μέσω της προσομοίωσης φυσικών δυνάμεων έλξης και άπωσης, προσφέρεται για την οπτικοποίηση των σχέσεων μεταξύ των πολυδιάστατων διανυσμάτων.

Κάθε αδόμητος χώρος αναπαρίσταται ως σωματίδιο θέσης-μάζας. Όλα τα σωματίδια συνδέονται ανά ζεύγη μέσω εικονικών ελατηρίων, το ιδανικό μήκος των οποίων είναι ανάλογο της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των συνδεόμενων σωματιδίων στον πολυδιάστατο χώρο.

Υπό την επίδραση των τάσεων των ελατηρίων, που τείνουν να επιτύχουν το ιδανικό τους μήκος, το σύστημα έρχεται σε μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας, όπου η σχετική θέση των σωματιδίων στο επίπεδο εξαρτάται από τη συνισταμένη των μεταξύ τους ασκούμενων δυνάμεων και εκφράζει τη δομή του πολυδιάστατου γραφήματος.

Η επιλογή μεθόδων που διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους, τόσο ως προς τη λογική χαρτογράφησης όσο και ως προς τις τεχνικές που εφαρμόζουν, στοχεύει στην επίτευξη κατά το δυνατό διαφορετικών αποτελεσμάτων ώστε η μεταξύ τους σύγκριση να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο αξιολόγησης. Με αυτή τη λογική, τυχόν κοινοί σχηματισμοί στις τρεις χαρτογραφήσεις αντιστοιχούν πιθανότατα σε «φυσικές» δομές που ενυπάρχουν στα δεδομένα.

VIII.vi. Κατηγοριοποίηση: Εξαγωγή τυπολογίας μέσω συσταδοποίησης

Οι τρεις μέθοδοι μείωσης διαστάσεων παράγουν δισδιάστατες ή τρισδιάστατες κατανομές σημείων. Δεδομένου ότι στην εφαρμογή αυτή τα δείγματα είναι αχαρακτήριστα και δεν προσφέρονται προκαθορισμένες ετικέτες, ως προς τις οποίες να μπορεί να αξιολογηθεί η κατανομή μέσω της επιβεβαίωσης ή όχι της συγκέντρωσης σημείων της ίδιας κατηγορίας και της διασποράς σημείων με διαφορετικές ετικέτες, η τυπολογία προκύπτει απευθείας και αποκλειστικά από την ίδια τη δομή του νέφους σημείων, μέσω της αναγνώρισης διακριτών ομάδων, χωρίς τη συνδρομή εξωτερικής πληροφορίας. Αν και στις προκύπτουσες κατανομές διακρίνονται περιοχές πυκνώσεων και αραιώσεων που δίνουν μια γενική εποπτική απόδοση βαθμών σύγκλισης και απόκλισης μεταξύ σημείων ως προς όλες τις μετρήσεις, δεν εμφανίζονται σαφώς διαχωρισμένες ομάδες που να επιτρέπουν την άμεση κατηγοριοποίηση των χώρων σε διακριτούς τύπους και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφορετικών μεθόδων.

Προκειμένου να εμφανιστούν διακριτές ομάδες είναι απαραίτητη η περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων. Απαιτείται η εκ των υστέρων εφαρμογή μιας διαδικασίας συσταδοποίησης των σημείων της κατανομής, κατά τρόπο ώστε να αναλυθεί η δομή των συσχετισμών μεταξύ των δεδομένων και να γίνει δυνατή η διάκριση υποομάδων.

VIII.vi.1. Συσταδοποίηση

Το πρώτο βήμα στην κατεύθυνση αυτή είναι το πέρασμα από την κατανομή σημείων στη δικτυακή δομή, μέσω της δημιουργίας διαβαθμισμένων γράφων. Αρχικά, κάθε σημείο συνδέεται με όλα τα

υπόλοιπα και κάθε σύνδεση χαρακτηρίζεται αντιστρόφως ανάλογα προς το μήκος της. Έτσι, σημεία που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους συνδέονται με ισχυρές συνδέσεις, ενώ όσο πιο απομακρυσμένα είναι, τόσο ασθενέστερες είναι και οι συνδέσεις τους. Στη συνέχεια ορίζεται ένα όριο απόστασης, πέρα από το οποίο οι συνδέσεις θεωρούνται πολύ ασθενείς και δεν λαμβάνονται υπόψη.

Το δεύτερο βήμα αναφέρεται στην καθαυτό διάκριση συστάδων, μέσω του υπολογισμού της Δομοστοιχεώσης [Modularity] καθενός από τους τρεις διαβαθμισμένους γράφους. Η Δομοστοιχείωση αποτελεί μέτρο της δομής ενός δικτύου και εκφράζει την υποδιαίρεσή του σε υποσύνολα, που ονομάζονται και ομάδες, συστάδες ή κοινότητες. Η διαίρεση γίνεται βάσει των συνδέσεων και της ισχύος τους, έτσι ώστε στην ίδια συστάδα να ανήκουν κόμβοι που συνδέονται μεταξύ τους με πολλές και ισχυρές συνδέσεις, ενώ οι συνδέσεις μεταξύ κόμβων διαφορετικών συστάδων είναι αραιές και ασθενείς. Έτσι, με τον υπολογισμό της δομοστοιχείωσης, το δίκτυο χωρίζεται σε συστάδες ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενων σημείων. Τελικά, κάθε εξαγόμενη συστάδα θεωρείται ότι αποτελεί και έναν διακριτό χωρικό τύπο.

VIII.vi.1.1. Σύγκριση αποτελεσμάτων και εξαγωγή τελικής τυπολογίας

Από κάθε μία από τις τρεις μεθόδους μείωσης διαστάσεων προκύπτει μια διαφορετική συσταδοποίηση. Τα παραγόμενα αποτελέσματα συγκρίνονται μεταξύ τους προκειμένου να προσδιοριστεί ο βαθμός σύγκλισης των τριών μεθόδων και να αποφασιστεί η τελική ομαδοποίηση των αδόμητων χώρων σε τύπους.

VIII.vii. Τοπολογική Λογική

Η εφαρμογή αυτή ακολουθεί μια τοπολογική λογική (DeLanda, 2002), με την έννοια ότι μεμονωμένα αχαρακτήριστα δείγματα, που δεν υπόκεινται σε κάποια προαποφασισμένη ή εκ των προτέρων εμφανή οργάνωση αλληλοσυσχετισμών, κατηγοριοποιούνται και διαχωρίζονται σε ομάδες αποκλειστικά βάσει της ανάλυσης της δομής που ενυπάρχει στα δεδομένα. Στόχος των διαδοχικών αλγοριθμικών επεξεργασιών είναι η ανάδυση της δομής αυτής, η οποία διατηρείται από τον πολυδιάστατο χώρο ιδιοτήτων και σταδιακά αποκαλύπτεται με έναν μη ερμηνευτικό τρόπο που βασίζεται στην αυτοοργάνωση και όχι στην εφαρμογή εξωτερικών κριτηρίων και προαποφασισμένων αναγνώσεων. Επομένως η κατηγοριοποίηση βασίζεται αποκλειστικά στην τοπολογική οργάνωση του συστήματος συσχετισμών μεταξύ των αρχικών πολυδιάστατων δεδομένων, χωρίς να απαιτείται εξωτερική πληροφορία σχετικά με το αντικείμενο ανάλυσης.

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται το πέρασμα από την πληθυσμιακή στην τοπολογική σκέψη, καθώς η ανάλυση μεταβαίνει από το επίπεδο της περιγραφής της μονάδας στο επίπεδο οριοθέτησης του τύπου ως συνόλου ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενων μονάδων. Τα όρια μεταξύ των τύπων είναι ασαφή καθώς κάθε τύπος προκύπτει από την κατανομή διαφορετικών τάσεων σε ένα συνεχές πεδίο δυνάμεων έλξης και άπωσης. Ομάδες στοιχείων ενώνονται μεταξύ τους και διαχωρίζονται από άλλες βάσει της απόδοσης συγκεκριμένων τιμών στις πολύπλοκες μεταξύ τους σχέσεις, σε μια συναρτησιακή λογική (Παρμενίδης, 2015) που αναζητά «τα συνεχή-ασαφή όρια μεταξύ οντοτήτων». Κάθε τύπος οριοθετείται σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους και όχι ως αυτόνομη, σαφώς διακριτή οντότητα. Οι ομάδες που προκύπτουν οριοθετούνται συγκριτικά και συναρτησιακά, βάσει σχετικών αλλά μετρήσιμων πλέον βαθμών ομοιότητας και διαφοράς και δεν αποτελούν απόλυτες και γενικεύσιμες κατηγορίες.

Κάθε τύπος μπορεί να θεωρηθεί ως ένα διαφορετικό «αφηρημένο διάγραμμα», ως ένα «κοινό σχέδιο» ή γενικό πλάνο που με την εφαρμογή διαφορετικών εντατικών πράξεων οδηγεί σε

διαφορετικά στιγμιότυπα (DeLanda, 2002). Κάθε στιγμιότυπο είναι ένα εν δυνάμει μέλος του τύπου, μια παραλλαγή που υπακούει στο συναρτησιακό ορισμό του αντίστοιχου διαγράμματος. Ο κάθε τύπος μπορεί να περιγραφεί ως μια επεκτατή σειρά παραλλαγών[128] (Deleuze, 2005) που συγκλίνει με άλλες συμβατές[129] σειρές παραλλαγών-τύπους και στην οποία οι αδόμητοι χώροι που της ανήκουν αποτελούν επιλεγμένες, ενεργοποιημένες και πραγματοποιημένες μοναδικότητες από το άπειρο πλήθος των μονάδων που εκφράζουν τη σειρά. Οι συγκλίσεις μεταξύ των σειρών εξαρτώνται από το μαθηματικό νόμο που τις εκφράζει[130] και αποκαλύπτουν το βαθμό συσχετισμού μεταξύ των τύπων και τα σημεία ασάφειας των μεταξύ τους ορίων.

Η τυπολογία αυτή μπορεί να αποτελέσει ένα αντιληπτικό «βοήθημα» για την αποκάλυψη σχέσεων που δεν προκύπτουν ρητά από σχεδιαστικούς στόχους και ιδεολογίες, λειτουργικά κριτήρια και σχέσεις αιτιότητας, αλλά παράγονται δυναμικά μέσα από τον αλληλοσυσχετισμό των σημαινόντων (Derrida, 1976).

VIII.viii. Οι χωρικοί τύποι ως γενόσημοι τύποι

Οι ομαδοποιήσεις που προκύπτουν με αυτόν τον τρόπο δεν υπόκεινται σε κάποιο προκαθορισμένο ή σαφές κριτήριο κατηγοριοποίησης, το οποίο θα μπορούσε να αποτελέσει και τον ορισμό, το όνομα ή την περιγραφή της κάθε ομάδας. Αντίθετα, η δομή των υποομάδων εκφράζεται μέσω αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς μεταξύ όλων των αδόμητων χώρων, ως προς όλες τις ιδιότητες ταυτόχρονα και ισότιμα.

Οι εξαγόμενοι τύποι δεν αποτελούν παγιωμένες ή σαφείς κατηγορίες, άμεσα συνδεδεμένες με συγκεκριμένες και περιγράψιμες χωρικές ιδιότητες, αλλά ούτε μπορούν να αναχθούν σε συγκεκριμένες μεμονωμένες μετρήσεις. Αντίθετα, εμφανίζονται ως ασαφείς και πολλαπλά ερμηνεύσιμες ομαδοποιήσεις, βάσει αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς.

Με αυτή την έννοια χαρακτηρίζονται ως γενόσημοι[131] χωρικοί τύποι, με πολλαπλή ταυτότητα, ανοιχτοί σε πολλαπλές ερμηνείες, προγραμματικές διατυπώσεις και χρήσεις. Κάθε τύπος επιδέχεται πολλαπλές περιγραφές και μπορεί να αντιστοιχηθεί σε ένα φάσμα γενόσημων χρήσεων, βάσει πολλαπλών κριτηρίων.

[128] Ο υπαρκτός κόσμος ορίζεται ως «μια απειρία συγκλινουσών σειρών, που επεκτείνονται η μια μέσα στην άλλη, γύρω από μοναδικά σημεία» (Deleuze, 2005: 80).

«Ο κόσμος δεν υπάρχει παρά πτυχωμένος μέσα στις μονάδες που τον εκφράζουν και δεν ξεδιπλώνεται παρά μόνο δυνητικά, ως ο κοινός ορίζοντας όλων των μονάδων, ή ως ο εξωτερικός νόμος της σειράς που περιέχουν» (Deleuze, 2005: 101).

[129] Οι σειρές και οι μονάδες διακρίνονται σε συμβατές [compossibles] και ασύμβατες [incompossibles]. Συμβατό θεωρείται το σύνολο των επεκτατών συγκλινουσών σειρών που αποτελούν έναν κόσμο, καθώς και το σύνολο των μονάδων που εκφράζουν τον κόσμο αυτό. Αντίθετα, ασύμβατες θεωρούνται οι σειρές που αποκλίνουν και που, επομένως, ανήκουν σε διαφορετικούς δυνατούς κόσμους. Ασύμβατες, δηλαδή, είναι οι δυνατότητες που δεν μπορούν να υπάρχουν πραγματοποιημένες ταυτόχρονα, καθώς και μονάδες που εκφράζουν διαφορετικούς κόσμους. Ωστόσο είναι δυνατό ασύμβατες, αποκλίνουσες σειρές να γειτνιάζουν σημειακά σε διακλαδώσεις [**bifurcations**] (Deleuze, 2005: 82-83), σημεία μεταιχμιακά που ανήκουν ταυτόχρονα σε διαφορετικούς κόσμους.

[130] Οι σειρές παραλλαγών δεν είναι «προεκτάσεις αλλά προθέσεις ή εντάσεις, όχι αναφορές αλλά νόμοι που εκφράζονται από διαφορικές εξισώσεις» (Deleuze, 2005: 50).

[131] Για τον ορισμό της έννοιας του γενόσημου βλ. κεφ. III.i.2 σχετικά με το χαρακτηρισμό των εξεταζόμενων άτυπων χωρικών σχηματισμών ως γενόσημων χώρων.

VIII.ix. Οι χωρικοί τύποι ως μάγματα

Οι γενόσημοι χωρικοί τύποι είναι μη καθορίσιμες κατηγορίες που δεν ανάγονται στους όρους με τους οποίους συστήνονται. Πρόκειται για μη συνολίσιμες, αμφίσημες ομαδοποιήσεις και με αυτή την έννοια μπορούν να προσεγγιστούν όχι ως σύνολα αλλά ως μάγματα, σύμφωνα με τον ορισμό της έννοιας του μάγματος από τον Καστοριάδη. Κατά τον Καστοριάδη «μάγμα είναι αυτό από το οποίο μπορούμε να εξαγάγουμε (ή: μέσα στο οποίο μπορούμε να κατασκευάσουμε) συνολιστικές οργανώσεις απροσδιόριστου αριθμού, αλλά που δεν μπορεί ποτέ να ανασυγκροτηθεί (ιδεατά) με συνολιστική (πεπερασμένη ή άπειρη) σύνθεση αυτών των οργανώσεων» (Καστοριάδης, 1981: 479, 1995: 309). Τα μάγματα δεν υπόκεινται στη συνολιστική – ταυτιστική λογική αλλά διατηρούν μια απροσδιοριστία. Η προσέγγισή τους είναι δυνατή μέσω της αναγνώρισης σε αυτά συνόλων και υπο-μαγμάτων που πιθανά να είναι αμεσότερα προσιτά σε μια γλωσσική περιγραφή.

IX. Στάδιο 3: Εισαγωγή πρόθεσης. Ιεραρχίες βάσει εμπρόθετης απόδοσης βάρους

Με το διαχωρισμό των αδόμητων χώρων σε διακριτές ομάδες, το κέντρο του ενδιαφέροντος μετατοπίζεται από την περιγραφή μεμονωμένων ασαφών και άτυπων χωρικών σχηματισμών στην περιγραφή οικογενειών έντονα αλληλοσυσχετιζόμενων τέτοιων χώρων. Αν και οι τύποι είναι σαφώς προσδιορισμένοι, αφού κάθε δείγμα έχει ανατεθεί σε μία ομάδα, ο γενόσημος χαρακτήρας τους δεν επιτρέπει την άμεση και μονοσήμαντη απόδοση ρητών ορισμών, ονομάτων και ιδιοτήτων σε κάθε τύπο.

Οι τύποι που προκύπτουν δεν ανάγονται άμεσα σε συγκεκριμένα μορφολογικά, τυπολογικά και τεχνικά χωρικά χαρακτηριστικά, αλλά ούτε αντιστοιχούν ευθέως σε μεμονωμένα χαρακτηριστικά από αυτά που μετρήθηκαν. Αντίθετα, προκύπτουν ως αφηρημένες ομαδοποιήσεις βάσει ενδογενών και μη περιγράψιμων ομοιοτήτων και διαφορών όλων των υπό μελέτη χώρων ως προς όλα τα χαρακτηριστικά ταυτόχρονα. Έτσι δεν μπορούν να περιγραφούν ρητά με τους όρους βάσει των οποίων προκύπτουν[132].

Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, δεν παρέχονται προκαθορισμένα κριτήρια κατηγοριοποίησης ή εκ των προτέρων αποφασισμένες κλάσεις χώρων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και ονόματα στο οποία να υπάγονται οι εξεταζόμενοι χώροι.

Σύμφωνα με αυτούς τους περιορισμούς, προκειμένου να περιγραφούν οι τύποι χωρίς την απαίτηση επιπλέον πληροφορίας πέραν αυτής που ενυπάρχει στα δεδομένα και χωρίς την εφαρμογή εξωτερικών κριτηρίων, αλλά μόνο βάσει των κοινών χαρακτηριστικών των μελών τους, πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω η δυναμική των αλληλοσυσχετισμών που παράγουν το διαχωρισμό του δείγματος σε υποομάδες. Για την κατανόηση της δομής που εμφανίζεται στην κατάσταση δυναμικής ισορροπίας το συστήματος αλληλοσυσχετισμών, πρέπει να αναλυθεί το πεδίο δυνάμεων έλξης και άπωσης μεταξύ των μονάδων ως δυναμικό σύστημα, που ενσωματώνει δυνατότητες μετασχηματισμού και εμφάνισης συμπεριφοράς[133], ασύμμετρες δυνάμεις και διαβαθμισμένες, ιεραρχικές σχέσεις.

Η μέχρι τώρα περιγραφή των μονάδων και ο διαχωρισμός τους σε σύνολα ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενων χώρων βασίζεται στη μη ιεραρχική, ισότιμη και ταυτόχρονη συμμετοχή όλων των ιδιοτήτων για όλες τις χωρικές μονάδες. Ωστόσο οι δυνάμεις συνοχής εντός των ομάδων και οι δυνάμεις διαχωρισμού μεταξύ τους δεν είναι ίσες και αδιαβάθμητες. Οι ομαδοποιήσεις είναι αποτέλεσμα ενός ετερογενούς δυναμικού πεδίου που παράγεται από ισότιμα πολυδιάστατα διανύσματα τα οποία όμως αναπτύσσουν μεταξύ τους ασύμμετρες τάσεις και ιεραρχικές δομές.

Στο τοπικά διαφοροποιούμενο και δυναμικό αυτό πεδίο, στο εσωτερικό του κάθε τύπου δεν παίζουν όλες οι ιδιότητες ισότιμο ρόλο ως προς τη διαμόρφωση των δυνάμεων συνοχής. Αντίθετα, οργανώνονται σε επικρατή υποσύνολα, σε ιεραρχημένες συστάδες ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν κάθε τύπο στο βαθμό που τον διατηρούν συνεκτικό και τον διαφοροποιούν από τους άλλους τύπους.

[132] «Η ανάλυση προκαλεί σε μέρη την εμφάνιση μιας άλλης διάστασης που δεν περικλείει το σύνολο» (Lafont, 1986: 14).

[133] «Ως αποτέλεσμα των πολύπλοκων σχηματισμών αλληλοσυσχετισμών, η συμπεριφορά ενός συστήματος δεν μπορεί να εξηγηθεί αποκλειστικά με όρους των ατομικών του συστατικών, παρά το γεγονός οτι το σύστημα δεν αποτελείται από τίποτε άλλο πέρα από τα βασικά του συστατικά στοιχεία και τις διασυνδέσεις τους. Πολύπλοκα χαρακτηριστικά αναδύονται μέσω της διαδικασίας διάδρασης εντός του συστήματος» (Cilliers, 1998: 106).

Οι επικρατούσες αυτές ιδιότητες είναι επίσης ιεραρχικά δομημένες, εμφανίζοντας διαφορετικούς βαθμούς συμμετοχής στη σχηματοποίηση και συνοχή του τύπου.

Μελετώντας το πεδίο αυτό με όρους δυναμικής συμπεριφοράς, κάθε τύπος μπορεί να περιγραφεί μέσω των κυρίαρχων συστάδων ιδιοτήτων που τον χαρακτηρίζουν και τον διαφοροποιούν από τους υπόλοιπους τύπους. Μια τέτοια αντιστοίχηση μεταξύ τύπων και ιεραρχικών συστάδων κυρίαρχων ιδιοτήτων θα μπορούσε να αποτελέσει έναν εναλλακτικό περιγραφικό ορισμό του κάθε τύπου, έναν επεξηγηματικό ορισμό[134] του τύπου ως Ομοιοστατική Συστάδα Ιδιοτήτων[135] (Boyd, 2000, 1999a, 1999b, 1991).

Επιχειρείται η δόμηση ενός συνολικού πεδίου, περνώντας από τη μέτρηση ποσοτήτων και την πολλαπλή περιγραφή ενός πλήθους στοιχείων στην κατανόηση «των συσχετισμών των στοιχείων, των τυπικών δομών σχέσεων [patterns] και των ακολουθιών» Lynch (1960: 158). Σύμφωνα με τον Lynch στη μετάβαση αυτή «εμπλέκεται η τεχνική της αναπαράστασης πολύπλοκων, χρονικά επεκτεινόμενων προτύπων [patterns]. [...] Προκειμένου τέτοια πρότυπα να γίνουν κατανοητά και διαχειρίσιμα πρέπει να βρεθούν τρόποι αναπαράστασης της ουσίας τους, έτσι ώστε να μπορούν να επικοινωνηθούν χωρίς την επανάληψη της πρωτότυπης εμπειρίας» Lynch (1960: 159).

Για τη μελέτη του δυναμικού πεδίου συσχετισμών που προκύπτει από την αλληλεπίδραση πλήθους δυνάμεων έλξης και άπωσης μεταξύ των πολυδιάστατων διανυσμάτων των δεδομένων, προτείνεται η δημιουργία ενός παραμετρικού μοντέλου του συστήματος που να επιτρέπει την επιλεκτική εισαγωγή και δυναμική μεταβολή ιεραρχικών σχέσεων καθώς και την άμεση οπτικοποίηση των αναδιατάξεων που αυτές προκαλούν στο σύστημα, με όρους δυνατότητας μετασχηματισμού και ανάδυσης συμπεριφοράς[136].

Χαρακτηριστικό των δυναμικών, πολύπλοκων συστημάτων είναι ότι ενώ η συμπεριφορά τους προκύπτει από τοπικές, μη ιεραρχικά δομημένες αλληλεπιδράσεις μεταξύ του μεγάλου πλήθους στοιχειωδών μονάδων από τις οποίες αποτελούνται, μπορεί να εκδηλώνεται μέσω της εμφάνισης μακροσκοπικών σχηματισμών ή μεταδομών που χαρακτηρίζουν το σύστημα στο σύνολό του και που δεν μπορούν να αναχθούν σε κανένα μεμονωμένο στοιχείο ή σχέση[137]. Ενώ η συμπεριφορά αναπτύσσεται στο επίπεδο του συστήματος, εκδηλώνεται μακροσκοπικά και γίνεται αντιληπτή εξωτερικά του συστήματος[138]. Η περιγραφή της συμπεριφοράς μέσω των αποτελεσμάτων της,

[134] Κατά τον Boyd (1999a, 2000) ένας επεξηγηματικός ορισμός [explanatory definition] μιας ομάδας συγγενών οντοτήτων (ενός είδους, τύπου, κλάσης) είναι ένας εκ των υστέρων περιγραφικός ορισμός που βασίζεται στην αναφορά σε ιδιότητες που μοιράζονται από κοινού τα μέλη της ομάδας.

[135] Ο Boyd ορίζει ως Είδη Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων [homeostatic property cluster (HPC) kinds] «μια κλάση φυσικών ειδών [kinds], ιδιοτήτων και σχέσεων οι ορισμοί των οποίων παρέχονται όχι από κάποιο σύνολο αναγκαίων και ικανών συνθηκών, αλλά από μια «ομοιοστατικά» διατηρούμενη συσταδοποίηση αυτών των ιδιοτήτων ή σχέσεων» (Boyd, 1999a: 141).

[136] Κατά τον Arnheim (1976: 205) «αντίληψη είναι η κατανόηση των σημαντικών χαρακτηριστικών μιας δεδομένης κατάστασης πραγμάτων. Ενώ επίλυση μιας δυσκολίας είναι η ανακάλυψη, εντός αυτής της κατάστασης πραγμάτων, των μέσων τροποποίησης των συσχετισμών, των εντάσεων, των επανα-ομαδοποιήσεων, των επιλογών, κλπ κατά τρόπο ώστε το νέο μοντέλο να παράγει την επιθυμητή λύση.»

[137] Ο Cilliers, αναφερόμενος στην έννοια της ανάδυσης στα πολύπλοκα συστήματα λέει ότι (τα πολύπλοκα συστήματα) «δεν αποτελούνται από διαφορετικούς τύπους πραγμάτων. Αποτελούνται από ατομικά στοιχεία που συσταδοποιούνται και σχηματίζουν φαινόμενα μεγαλύτερης κλίμακας. Οι ανώτερης τάξης πολυπλοκότητες τις οποίες ελπίζουμε να κατανοήσουμε δεν ενυπάρχουν σε κανένα από τα ατομικά στοιχεία, αλλά στους πλούσιους σχηματισμούς των μεταξύ τους συσχετισμών» (Cilliers, 1998: 7).

[138] «Η πολυπλοκότητα είναι το αποτέλεσμα πλούσιας διάδρασης μεταξύ απλών στοιχείων που ανταποκρίνονται στην περιορισμένη πληροφορία που το καθένα έχει στη διάθεσή του. Όταν παρατηρούμε τη συμπεριφορά ενός πολύπλοκου συστήματος συνολικά, η προσοχή μας στρέφεται από το μοναδιαίο στοιχείο του συστήματος προς την πολύπλοκη δομή του. Η πολυπλοκότητα αναδύεται ως αποτέλεσμα των σχηματισμών διάδρασης μεταξύ των στοιχείων» (Cilliers, 1998: 4).

δηλαδή μέσω των εμφανιζόμενων μεταδομών, συνήθως δεν αποκαλύπτει τις σχέσεις αιτιότητας που προκαλούν την εμφάνιση των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών σχηματισμών. Ένας ορισμός του συστήματος βάσει της συμπεριφοράς του είναι μια εκ των υστέρων περιγραφική προσέγγιση[139] που αναφέρεται στα συμπτώματα και όχι στις αιτίες.

Οι μεταδομές αυτές, ως «υπο-πολλαπλά που λογίζονται ως ένα»[140] (Badiou, 2007), μπορεί να εκφράζουν σύνθετες χωρικές ποιότητες επιπέδου ανώτερου από αυτό των μεμονωμένων μετρήσιμων χαρακτηριστικών, και αν και προκύπτουν αποκλειστικά από τις αρχικές μετρήσεις δεν ανάγονται ρητά σε καμία από αυτές[141]. Με αυτή την έννοια, η περιγραφή των τύπων με όρους ιεραρχικών συστάδων ιδιοτήτων μπορεί να συμβάλει στην αρχική προσπάθεια περιγραφής ασαφών και μη ρητά μετρήσιμων χωρικών ποιοτήτων. Ένας τέτοιος εκ των υστέρων ορισμός, αν και λόγω της σχετικότητας του συστήματος συσχετισμών έχει συγκριτική αξία και δεν μπορεί να αποτελέσει γενικεύσιμες και προβλητέες[142] (Boyd, 1999a) κατηγορίες, θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως μέτρηση σύνθετων χωρικών ποιοτήτων που δεν έχουν ρητές περιγραφές ή άμεση μονάδα μέτρησης.

Με την εφαρμογή αυτή, μέσω της ερμηνείας και της εμπρόθετης εισαγωγής ιεραρχιών, πραγματοποιείται το πέρασμα από την παράσταση στην αναπαράσταση[143] (Badiou, 2007). Από την απόπειρα περιγραφής του στοιχείου σε μια πληθυσμιακή λογική, και από την αναζήτηση της δομής αλληλοσυσχετισμών και του «ανήκει», το ενδιαφέρον μετατοπίζεται στην αναδυόμενη μεταδομή, στο «εμπεριέχεται» και στο ιεραρχικά δομημένο υποσύνολο.

IX.i. Το παραμετρικό μοντέλο

Στο προτεινόμενο παραμετρικό μοντέλο, ή «αφηρημένο διάγραμμα» (DeLanda, 2002) οι μεταδομές εμφανίζονται μέσω της δυναμικής μεταβολής των ιεραρχιών μεταξύ των αρχικών μετρήσεων, που έχουν ως αποτέλεσμα την αναδιοργάνωση των συσχετισμών στο εσωτερικό του συστήματος.

Πρακτικά, το μοντέλο προσομοιώνει το υπό εξέταση σύστημα των πολυδιάστατων διανυσμάτων που αντιπροσωπεύουν τους αδόμητους χώρους και των μεταξύ τους συσχετισμών μέσω μιας προσομοίωσης συστήματος Σωματιδίων – Ελατηρίων[144]. Στην προσομοίωση αυτή κάθε ιδιότητα

[139] «Μπορεί να επιχειρηθεί μια ανάλυση των χαρακτηριστικών πολύπλοκων συστημάτων προκειμένου να αναπτυχθεί μια γενική περιγραφή που δεν περιορίζεται σε έναν συγκεκριμένο, εκ των προτέρων ορισμό**»** (Cilliers, 1998: 2).

[140] Η επικράτεια της μεταδομής είναι τμήματα (υπο-πολλαπλά): […] δεδομένης μιας κατάστασης η δομή της οποίας διανέμει συνεκτικά πολλαπλά που λογίζονται ως ένα, υπάρχει πάντα μια μεταδομή – η κατάσταση [state] της κατάστασης [situation]- που λογίζει ως ένα οποιαδήποτε σύνθεση αυτών των μη-συνεκτικών πολλαπλοτήτων (Badiou, 2007: 97).

[141] Ο βαθμός σύνδεσης μεταξύ της αρχικής δομής και της μεταδομής ποικίλλει. Αυτό το ζήτημα του διάκενου είναι το κλειδί για την ανάλυση του όντος, για την τυπολογία των πολλαπλών-σε-κατάσταση.

Καθώς λογίζεται ως ένα σε μια κατάσταση, το πολλαπλό βρίσκει τον εαυτό του να παρασταίνεται. Αν επίσης λογίζεται ως ένα με τη μεταδομή, τότε είναι σωστό να πούμε ότι αναπαρασταίνεται. Αυτό σημαίνει ότι ανήκει στην παράσταση και παρόμοια ανήκει στην αναπαράσταση. Είναι ένας όρος-μέρος. Αντίθετα υπάρχουν πολλαπλά που περιέχονται (αναπαρασταίνονται) και δεν παρασταίνονται (δεν ανήκουν). Αυτά τα πολλαπλά είναι μέρη και όχι όροι. Τελικά υπάρχουν όροι που παρασταίνονται και οι οποίοι δεν αναπαρασταίνονται, γιατί δεν συγκροτούν μέρη της μεταδομής (Badiou, 2007: 99).

[142] Ο Boyd χαρακτηρίζει ως προβλητέες [projectable] τις κατηγορίες εκείνες που μπορούν να γενικευθούν και ως μη προβλητέες [unprojectable] κατηγορίες που δεν γενικεύονται. Θεωρεί ότι «η εφαρμογή προβλητέων κατηγοριών και γενικεύσεων επιτρέπουν τον εντοπισμό αιτιακά διατηρούμενων γενικεύσεων» (Boyd, 1999a: 147).

[143] «Η παράσταση, ο λογισμός ως ένα, η δομή, το 'ανήκει' και το στοιχείο βρίσκονται στην πλευρά της κατάστασης. Η αναπαράσταση, ο λογισμός του λογισμού, η μεταδομή, το 'εμπεριέχεται', το υποσύνολο και το μέρος βρίσκονται στην πλευρά της κατάστασης [state] της κατάστασης [situation]» (Badiou, 2007: 103).

[144] Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την προσομοίωση συστήματος Σωματιδίων – Ελατηρίων βλ. και κεφ. 4.5.

παραμετροποιείται και μπορεί να λάβει διαφορετική ισχύ ως προς το βαθμό στον οποίο συμμετέχει στον καθορισμό των ελκτικών δυνάμεων μεταξύ των σωματιδίων που αναπαριστούν τα πολυδιάστατα διανύσματα ιδιοτήτων. Έτσι, οι ιδιότητες δε συμμετέχουν πλέον ισότιμα και μη ιεραρχικά στη διαμόρφωση της κατάστασης ισορροπίας του συστήματος, αλλά παρέχεται η δυνατότητα δυναμικής εισαγωγής εμπρόθετα εφαρμοζόμενων ιεραρχήσεων της κάθε ιδιότητας. Σε κάθε ιδιότητα μπορεί να αποδοθεί ένα βάρος, μια αριθμητική τιμή που καθορίζει την ισχύ της, ή το συντελεστή συμμετοχής της στον υπολογισμό των πολυδιάστατων Ευκλείδειων αποστάσεων μεταξύ διανυσμάτων, στον πολυδιάστατο χώρο των χαρακτηριστικών. Η αναγωγή της πολυδιάστατης αυτής απόστασης στο βαθμό ελαστικότητας του αντίστοιχου εικονικού ελατηρίου έχει ως αποτέλεσμα η κατανομή των σημείων στην κατάσταση δυναμικής ισορροπίας του συστήματος να αντιστοιχεί στην κατανομή των διαβαθμισμένων διανυσμάτων στον πολυδιάστατο χώρο. Συγκεκριμένα, η απόδοση υψηλής τιμής βάρους σε μία ιδιότητα, θα έχει ως αποτέλεσμα τα σημεία που αντιπροσωπεύουν χώρους που μοιάζουν ως προς αυτή την ιδιότητα[145] να τείνουν να πλησιάσουν περισσότερο μεταξύ τους, ενώ χώροι που διαφέρουν σημαντικά ως προς τη συγκεκριμένη ιδιότητα θα τείνουν να απομακρυνθούν μεταξύ τους.

Έτσι, εφαρμόζοντας διαφορετικούς συνδυασμούς βαρών για το σύνολο των ιδιοτήτων, το σύστημα καταλήγει σε διαφορετικούς σχηματισμούς στην κατάσταση ισορροπίας που εκφράζουν την αναδιοργάνωση των συσχετισμών μεταξύ όλων των μονάδων που αντιστοιχεί στην επιλεγμένη ιεράρχηση των ιδιοτήτων.

Έχοντας ως δεδομένο τον τύπο του κάθε αδόμητου χώρου, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της διαδικασίας συσταδοποίησης της προηγούμενης φάσης της εφαρμογής, είναι δυνατή η άμεση οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της μεταβολής των ιεραρχιών, με όρους σχετικής μετατόπισης των σημείων που ανήκουν στον ίδιο τύπο, αλλά και σε διαφορετικούς τύπους. Αν ένας συγκεκριμένος σχηματισμός ιεραρχιών προκαλεί την ενίσχυση της συνοχής ενός μεμονωμένου τύπου[146], τότε ο σχηματισμός αυτός σχετίζεται με τη διάκριση του αντίστοιχου τύπου από τους υπόλοιπους και θεωρείται χαρακτηριστικός της δομής του. Αντίθετα, σχηματισμοί ιεραρχιών που διασπείρουν τα σημεία ενός τύπου θεωρούνται ασυσχέτιστοι με τη δομή του και ακατάλληλοι για την περιγραφή του. Κάθε τύπος μπορεί να χαρακτηρίζεται από διαφορετική συστάδα ιδιοτήτων η οποία εκφράζεται μέσω διαφορετικών σχηματισμών ιεραρχιών. Ο εντοπισμός κατάλληλων συνδυασμών βαρών για κάθε ιδιότητα και κάθε τύπο θα μπορούσε να αποτελέσει ένα σύστημα συνεκτικών περιγραφικών ορισμών των τύπων, βάσει την ιεραρχικής συμβολής της κάθε ιδιότητας στο σχηματισμό τους.

Με αυτή τη λογική κάθε τύπος μπορεί να περιγραφεί μέσω ενός διαβαθμισμένου συνόλου πολλαπλών διαστάσεων, και έτσι οι τύποι αποκτούν ιδιότητες, γίνονται περιγράψιμοι και χάνουν το γενόσημο χαρακτήρα τους.

---

[145] Επισημαίνεται ότι ομοιότητα ως προς μία ιδιότητα δεν σημαίνει υποχρεωτικά έντονη παρουσία της ιδιότητας αυτής, αλλά παρόμοια τιμή. Επομένως δύο χώροι που δεν εμφανίζουν τη συγκεκριμένη ιδιότητα, δηλαδή έχουν τιμή μηδέν στην αντίστοιχη διάσταση, μοιάζουν ως προς την ιδιότητα αυτή και τείνουν να πλησιάσουν.

[146] Η συνοχή ενός τύπου εκφράζεται μέσω της συγκέντρωσης σημείων του αντίστοιχου χρώματος και της διάκρισής τους από σημεία άλλων χρωμάτων.

IX.ii. Εντατική λογική

Η εφαρμογή αυτή ακλουθεί μια εντατική λογική (DeLanda, 2002), με την έννοια ότι αναφέρεται στη δυνατότητα δυναμικού μετασχηματισμού ενός συστήματος συσχετισμών και στη μελέτη της συμπεριφοράς που αναδύεται σε επίπεδο συστήματος, ως αποτέλεσμα διαφορών έντασης στο εσωτερικό του, που υποκινούν διαδικασίες διαφοροποίησης. Το ενδιαφέρον μετατίθεται από την περιγραφή των μονάδων και των μεταξύ τους συσχετισμών στο συνολικό σύστημα, με όρους συμπεριφοράς και ανάδυσης μεταδομών που εμφανίζονται μακροσκοπικά και μελετώνται εκ των υστέρων. Οι μεταδομές αυτές αποδίδουν σύνθετες διαδικαστικές διαστάσεις (Παρμενίδης, 2015), που σχετίζονται με την εκ των υστέρων ανάγνωση διαφοροποιήσεων ως προς ένα δυναμικά μεταβαλλόμενο πλαίσιο αναφοράς. Η περιγραφή των τύπων βάσει συστάδων επικρατουσών ιδιοτήτων αποτελεί έναν εμπρόθετο και στοχευμένο προσδιορισμό των ορίων νοηματοδότησης των εξεταζόμενων οντοτήτων, συμβάλλοντας στη διερεύνηση της υφής[147] [texture] (Deleuze, 2005) τους και της δυνατότητας προβολής γενικεύσιμων ερμηνειών. «Οι αναδυόμενες εννοιολογικές διευρύνσεις ευνοούν νέους μετασχηματισμούς στις σχέσεις και ιδιότητες του υποκειμένου/ αντικειμένου, καθώς διεγείρουν τη διάκριση νέων σχέσεων και ιδιοτήτων στα στοιχεία του υλικού και εννοιολογικού πεδίου και συστήνουν νέες συνέχειες μεταξύ τους, συγκροτώντας νέα αντικείμενα, σώματα, λογισμούς» (Παρμενίδης, Ατζάμπου & Καραδήμα, 2015: 444).

Η εφαρμογή ιεραρχιών στις περιγραφικές διαστάσεις των αδόμητων χώρων αποτελεί μια εμπρόθετη επιβολή συγκεκριμένης δομής στα δεδομένα, ορίζοντας ρητά και ποσοτικοποιημένα κριτήρια ομοιότητας μεταξύ των εξεταζόμενων χώρων. Από την ισότιμη, οριζόντια και αυτοοργανωνόμενη ανάδυση της «φυσικής» δομής που διακρίνεται στα δεδομένα περνάμε στην εξωτερική εφαρμογή κριτηρίων και την ιεράρχηση. Η κατανεμημένη δικτυακή δομή ιεραρχείται σε δενδροειδείς δομές που εκφράζουν εναλλακτικές ερμηνείες της οργάνωσης των δεδομένων. Η μετάβαση από τη δικτυακή στη δενδροειδή δομή πραγματοποιείται με τον ορισμό ενός σημείου αναφοράς, ενός σημείου οράσεως[148] βάσει του οποίου αναδιατάσσονται τα δεδομένα[149]. Η ιεράρχηση αυτή είναι μια εκ των υστέρων εφαρμοζόμενη διαδικασία, η οποία δεν θα μπορούσε να οριστεί χωρίς να έχει προηγηθεί ο διαχωρισμός του δείγματος σε τύπους βάσει της ισότιμης συμμετοχής όλων των ιδιοτήτων. Μόνο μέσω της μη ιεραρχικής ανάδυσης της δομής των συστάδων, βάσει αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς ως προς όλες τις ιδιότητες ισότιμα, καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός κριτηρίων

[147] Σύμφωνα με τον Leibniz, η υφή της ύλης (texture) σχετίζεται με την έννοια του ορίου, της οριακής συμπεριφοράς της ύλης. Η υφή ενός σώματος ορίζεται ως το σύνολο των εσωτερικών χαρακτηριστικών του, το εύρος της μεταβολής (variation) τους και ο συσχετισμός με τα όριά τους. Έτσι, «ο τρόπος με τον οποίο πτυχώνεται η ύλη αποτελεί την υφή της» (Deleuze, 2005: 63).

[148] Για τον Leibniz το αντικείμενο είναι πολλαπλό, είναι μια σειρά μορφών ή απόψεων που υπόκεινται σε ένα νόμο συνέχειας. Το σημείο όρασης είναι η συνθήκη υπό την οποία το πολλαπλό αντικείμενο (objectile) αποκαλύπτεται ως σειρά παραλλαγών.

[149] Το πολλαπλό αντικείμενο [objectile] θεωρείται ως σειρά παραλλαγών. Κάθε νέα διάταξη των δεδομένων αποτελεί την πραγματοποίηση μιας νέα παραλλαγής από τη σειρά που συνιστά το πολλαπλό αντικείμενο. Η επιλογή των πραγματοποιούμενων μορφών από την απειρία των παραλλαγών γίνεται μέσω της επιλογής μίας περιοχής της σειράς, μιας οπτικής πάνω στην πραγματικότητα των παραλλαγών, ή αλλιώς ενός πλαισίου (frame) μέσα από το οποίο απομονώνεται η οπτική αυτή. Ως παράδειγμα του πολλαπλού αντικειμένου ο Deleuze, (2005: 29) αναφέρει τις κωνικές τομές. Για τον ορισμό των κωνικών τομών το σημείο όρασης είναι η κορυφή του κώνου. Ως objectile ορίζεται ο «περίπου κύκλος», δηλαδή οι κωνικές τομές, η ευθεία και το σημείο, ως παραλλαγές ανάλογα με την κλίση του επιπέδου τομής. Το objectile εκφράζεται κατά κάποιο τρόπο ως ξεδίπλωμα του αντικειμένου.

ομοιότητας που να μπορούν να εφαρμοστούν εκ των υστέρων για την περιγραφή των τύπων[150], βάσει συστάδων ιεραρχημένων ιδιοτήτων.

Με τον τόπο αυτό τα δεδομένα μεταφράζονται από μια αναλογική σε μια ονομαστική κλίμακα[151] (Jain & Dubes, 1988) και το γενόσημο, το άτυπο, το μη οριστό αποκτά όνομα, γίνεται περιγράψιμο και μετρήσιμο σε μια σχετική μονάδα μέτρησης.

[150] Σύμφωνα με τον Arnheim (1976: 97) «η αντίληψη προϋποθέτει το σχηματισμό μιας έννοιας του αντικειμένου προς κατηγοριοποίηση».

[151] Σύμφωνα με τους Jain και Dubes (1988: 12), η αναλογική είναι ποσοτική κλίμακα ενώ η ονομαστική είναι ποιοτική κλίμακα. Στην αναλογική κλίμακα, όπου η ερμηνεία των τιμών εξαρτάται από τη μονάδα μέτρησης και από τον ορισμό ενός απόλυτου μηδενός, η σχέση μεταξύ αριθμητικών τιμών έχει νόημα. Στην ονομαστική κλίμακα οι αριθμητικές τιμές χρησιμοποιούνται ως ονόματα και δεν έχουν άμεση ποσοτική σημασία. Αναφορικά με τους τύπους κλιμάκων βλ. και κεφ. 2.2.4. Κλίμακες δεδομένων.

Χ. Τα μεθοδολογικά στάδια και η δομή του κειμένου

Η διαδικασία περιγραφής, συγκριτικής ανάλυσης και κατηγοριοποίησης των εξεταζόμενων άτυπων χωρικών σχηματισμών μπορεί να προσεγγιστεί ως μια πορεία διαρκούς μεταγραφής μεταξύ χώρων διαφορετικού πλήθους διαστάσεων. Το πέρασμα από το ένα στάδιο στο επόμενο χαρακτηρίζεται από διαδοχικές μεταβολές του πλήθους των διαστάσεων του χώρου αναπαράστασης των δεδομένων.

Χ.i. Επιλογή χαρακτηριστικών: Καταγραφή και ποσοτικοποίηση ιδιοτήτων

Αρχικά, αφαιρώντας διαδοχικά από μία διάσταση, η τρισδιάστατη χωρική δομή ανάγεται στη δισδιάστατη αναπαράστασή της σε κάτοψη και στη συνέχεια στη μονοδιάστατη ποσοτικοποίηση μετρικών, γεωμετρικών και τοπολογικών χαρακτηριστικών.

Η διαδικασία αυτή έγκειται στη μέτρηση ν διαστάσεων, κάθε μία από τις οποίες αντιπροσωπεύει μία περιγραφική διάσταση.

Χ.ii. Πολυδιάστατη αναπαράσταση

Τα μεγέθη αυτά στη συνέχεια συγκροτούν τις διαστάσεις ενός πολυδιάστατου χώρου ιδιοτήτων στον οποίο η χωρική δομή περιγράφεται και αναπαρίσταται βάσει πολλαπλών διαστάσεών της. Κάθε χωρική μονάδα αναπαρίσταται ως πολυδιάστατο διάνυσμα, με κάθε μια από τις διαστάσεις του να αντιστοιχεί σε μια ιδιότητα του υπό ανάλυση χώρου. Η κατανομή των διανυσμάτων στον ν-διάστατο χώρο αποδίδει τους μεταξύ τους συσχετισμούς ως προς όλες τις ιδιότητες ταυτόχρονα. Με αυτό τον τρόπο αντιμετωπίζεται το ζήτημα της πολλαπλότητας, της ετερογένειας και της μη-περιγραψιμότητας και οι υπό μελέτη χώροι γίνονται συγκρίσιμοι στα πλαίσια ενός ανοιχτού συστήματος συσχετισμών.

Οι χωρικές μονάδες αναπαρίστανται σε χώρο ν διαστάσεων, όπου ν το πλήθος των ιδιοτήτων που μετρήθηκαν στο προηγούμενο στάδιο.

Χ.iii. Μείωση διαστάσεων

Προκειμένου ο πολυδιάστατος χώρος ιδιοτήτων να γίνει άμεσα αντιληπτός, πραγματοποιείται η χαρτογράφησή του σε χώρο λιγότερων διαστάσεων, μέσα από μια διαδικασία μείωσης των διαστάσεων με τη χρήση αλγοριθμικών μεθόδων. Η χαρτογράφηση αυτή διατηρεί τις μετρικές και τοπολογικές σχέσεις μεταξύ των πολυδιάστατων διανυσμάτων, επιτρέποντας την ανάγνωση βαθμών ομοιότητας και διαφοράς μεταξύ χωρικών μονάδων.

Οι συσχετισμοί μεταξύ των πολυδιάστατων δεδομένων οπτικοποιούνται σε δύο ή τρεις διαστάσεις.

Χ.iv. Συσταδοποίηση και εξαγωγή τυπολογίας

Οι αφηρημένοι βαθμοί ομοιότητας και διαφοράς μεταξύ των δεδομένων με την κατάλληλη επεξεργασία επιτρέπουν την ταυτοποίηση διακριτών τύπων, μέσα από μια διαδικασία ανάλυσης συστάδων.

Η συσταδοποίηση πραγματοποιείται σε γράφους δύο διαστάσεων.

X.v. Ιεραρχία: Διαβάθμιση ιδιοτήτων και ανακατανομή συσχετισμών

Οι διακριτές συστάδες, που αντιστοιχούν σους ζητούμενους χωρικούς τύπους, περιγράφονται μέσω της εισαγωγής ιεραρχήσεων των αρχικών περιγραφικών διαστάσεων, με την εφαρμογή διαφορετικών βαρών σε κάθε ιδιότητα. Οι ιεραρχίες εφαρμόζονται στον πολυδιάστατο χώρο, παραμορφώνοντας τις διαστάσεις του ανισομερώς.

Η εισαγωγή ασύμμετρων εντάσεων έχει ως αποτέλεσμα την αναδιάταξη των συσχετισμών εντός και μεταξύ των τύπων και την προβολή της νέας κατάστασης ισορροπίας σε δύο διαστάσεις.

X.vi. Η δομή του κειμένου

Στη συνέχεια ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των διαδοχικών σταδίων της μεθόδου περιγραφής, συγκριτικής ανάλυσης και κατηγοριοποίησης των εξεταζόμενων άτυπων χωρικών σχηματισμών.

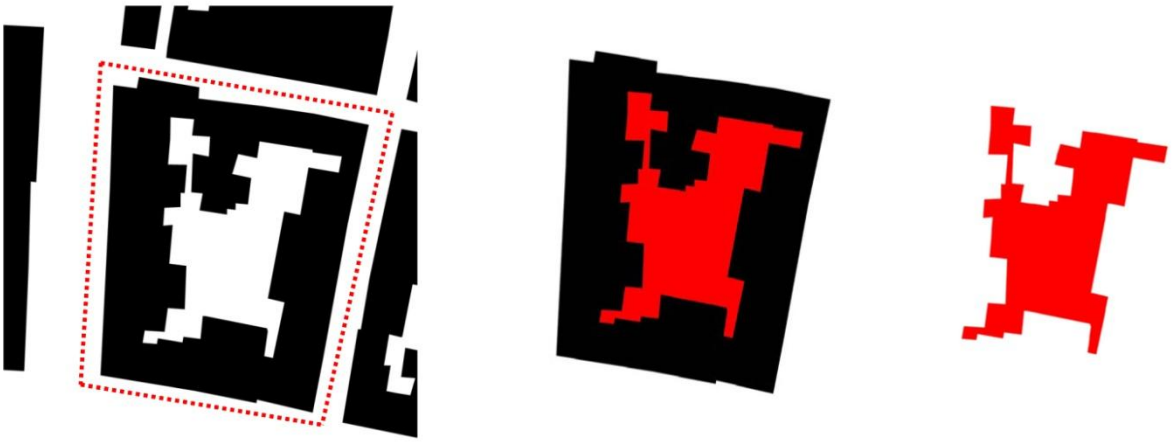
Στις φάσεις επεξεργασίας που είναι κοινές για την πιλοτική εφαρμογή και για την εφαρμογή σε αχαρακτήριστα δείγματα, η διαδικασία αναλύεται από κοινού και επισημαίνονται τα βασικά σημεία διαφοροποίησης μεταξύ των δύο εφαρμογών. Η πιλοτική εφαρμογή σταματάει στο στάδιο της χαρτογράφησης μέσω μείωσης διαστάσεων, εφόσον η εμφάνιση των υφιστάμενων κατηγοριών στο στάδιο αυτό επαρκεί για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Επομένως τα στάδια επεξεργασίας που ακολουθούν τη διαδικασία μείωσης διαστάσεων με την εφαρμογή Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών αναφέρονται αποκλειστικά στην κυρίως εφαρμογή, σε αχαρακτήριστο δείγμα.

Τέλος, παρουσιάζεται η λογική ερμηνείας και αξιολόγησης των αποτελεσμάτων μέσω της εφαρμογής ιεραρχικών δομών στα δεδομένα.

Κεφάλαιο 1

1. Τα δεδομένα:
Ορισμός της χωρικής μονάδας και της περιοχής μελέτης, χαρτογράφηση και δημιουργία της αρχικής βάσης δεδομένων

Η μελέτη εστιάζει στους αδόμητους χώρους εντός των περιγραμμάτων των οικοδομικών τετραγώνων, στους άτυπους χωρικούς σχηματισμούς που προκύπτουν ως το αρνητικό του δομημένου όγκου του τετραγώνου (βλ. III.i). Το μονιαδιαίο στοιχείο της ανάλυσης είναι το αστικό κενό, είτε ως αυτόνομη χωρική μονάδα (Εικόνα 1 - 1) είτε ως σύστημα επιμέρους μερών διατεταγμένων εντός του οικοδομικού τετραγώνου (Εικόνα 1 - 3).



Εικόνα 1 - 1.
Το αστικό κενό ως το αρνητικό του δομημένου χώρου εντός του οικοδομικού τετραγώνου

1.1. Χωρική αναπαράσταση μέσω κάτοψης

Ως χωρική αναπαράσταση βάσει της οποίας επιχειρείται η περιγραφή, σύγκριση και κατηγοριοποίηση των εν λόγω αστικών κενών επιλέχθηκε η κάτοψη.

Όπως τονίστηκε ήδη (IV.ii.1), κάθε αναπαράσταση αποτελεί μια στοχευμένη μείωση διαστάσεων, αποδίδοντας ένα περιορισμένο φάσμα ιδιοτήτων του αναπαριστάμενου αντικειμένου. Το προβολικό σχέδιο, μια πολύ κοινή χωρική αναπαράσταση, και ιδιαίτερα η κάτοψη, εστιάζει σε γεωμετρικές και τοπολογικές ιδιότητες των χωρικών διατάξεων, ενώ μπορεί να περιλαμβάνει και άλλες πληροφορίες όπως για παράδειγμα μορφολογικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, πιθανά στοιχεία σχετικά με τα υλικά, τις υφές τους και τα ενεργειακά χαρακτηριστικά τους και άλλα, αλλά δεν καλύπτει παρά ένα περιορισμένο και εξειδικευμένο μέρος των χαρακτηριστικών που συνιστούν την αντιληπτική ταυτότητα του αναπαριστάμενου χώρου[1].

Αν και το προβολικό σχέδιο παρέχει μειωμένη πληροφορία σχετικά με το χώρο που αναπαριστά, η προτεινόμενη μέθοδος εστιάζει στην κάτοψη, θεωρώντας πως περιγράφει το πρωταρχικό πεδίο

[1] «Η κάτοψη δείχνει ένα κτίριο από πάνω, όπως θα φαινόταν αν το κόβαμε λίγο ψηλότερα από την ποδιά των παραθύρων. Όπως όλα τα σχέδια διατομής, είναι λοιπόν εξόχως αφαιρετικό, αφού η θέα που παρέχει δεν προσφέρεται από κανένα πραγματικό σημείο, ανεξάρτητα από το ζήτημα της προοπτικής αλλοίωσης» (Πεπονής, 2003: 189).

διαμόρφωσης της χωρικής εμπειρίας, αφού αναπαριστά αποτελεσματικά το σύστημα διάρθρωσης ιδιωτικών και δημόσιων, κλειστών και ανοιχτών, προσβάσιμων και απροσπέλαστων χώρων ενώ αναφέρεται κυριολεκτικά στο βασικό επίπεδο κίνησης του χρήστη και βίωσης των χωρικών δομών.

Η κάτοψη εμπεριέχει πληροφορίες σχετικά με διατακτικές γεωμετρικές και τοπολογικές - συντακτικές σχέσεις μεταξύ χωρικών στοιχείων που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την οπτική αντίληψη του δομημένου περιβάλλοντος, επηρεάζοντας τη χωρική εμπειρία και καθορίζοντας τοπικές ιδιαιτερότητες που σχετίζονται με τη χωρική ταυτότητα.

«Ο Vitruvius χρησιμοποιεί την ελληνική λέξη 'ιχνογραφία' για να αναφερθεί στην κάτοψη. Παραπέμπει έτσι στην πρακτική της λειτουργία, τη χάραξη των τοίχων επί του εδάφους, πριν αρχίσει η οικοδόμηση. Η κάτοψη είναι επίσης το κατεξοχήν σχέδιο που μας επιτρέπει να κατανοήσουμε και να προγραμματίσουμε πώς διατίθενται οι ανθρώπινες δραστηριότητες στο χώρο. Ο όρος 'plan' παραπέμπει με σαφήνεια τόσο στη δεύτερη λειτουργία όσο και στην πρώτη. Τέλος, ως σχέδιο διατομής, η κάτοψη επιτρέπει να διαπιστώσουμε πιο άμεσα τις συνέπειες μιας μεταβολής πάνω στις υπόλοιπες χωρικές σχέσεις που ορίζουν το κτίριο: πώς δηλαδή η αύξηση ή η μείωση ενός μήκους ή ενός εμβαδού συνεπάγεται την αντίστοιχη μεταβολή γειτονικών μεγεθών, αναλογιών και σχέσεων, αν θεωρήσουμε ως δεδομένη τη διατήρηση του ίδιου περιβλήματος. Αυτός ο τριπλός ρόλος εξασφαλίζει στην κάτοψη μια προνομιακή θέση» (Πεπονής, 2003: 189).

Σύμφωνα με τον Le Corbusier (2004: 35) «τα στοιχεία με τα οποία αποκαλύπτεται η αρχιτεκτονική είναι ο όγκος και η επιφάνεια. Ο όγκος και η επιφάνεια καθορίζονται από την κάτοψη. Η κάτοψη είναι ο γεννήτορας».

Συγκεκριμένα στην περίπτωση των αστικών κενών, οι χώροι αυτοί γίνονται συνήθως αντιληπτοί από το επίπεδο του εδάφους και προσεγγίζονται μέσω της περιμέτρου τους, καθώς είναι συχνά περίκλειστοι και προσπελάσιμοι από μικρά ή ευρύτερα ανοίγματα μεταξύ κτιριακών όγκων. Επομένως η κάτοψη των χώρων αυτών συμπυκνώνει ένα πλήθος χαρακτηριστικών που είναι ουσιώδη για τη διαμόρφωση της αντιληπτικής εικόνας των συγκεκριμένων χώρων.

Φυσικά, η αντίληψη των χώρων αυτών και η οπτική τους διαπερατότητα εξαρτάται και από την ανάπτυξη του περιγράμματός τους καθ' ύψος. Καθώς μεταβάλλεται το επίπεδο θέασης κατά την τρίτη διάσταση, η οριζόντια τομή του χώρου μετασχηματίζεται, λόγω των διαφορετικών υψών των περιβαλλόντων κτιρίων. Ωστόσο, επειδή ενδιαφέρει κυρίως η οπτική από το επίπεδο του εδάφους, εφόσον αναφερόμαστε σε αδόμητους χώρους που βιώνονται από το επίπεδο αυτό, το περίγραμμα της κάτοψης θεωρείται ότι ενσωματώνει τα κυρίαρχα στοιχεία της δομής που καθορίζουν τη χωρική αντίληψη από την επικρατούσα θέση θέασης, που είναι το επίπεδο του εδάφους.

Εξάλλου, επιδίωξη δεν είναι τόσο η κατά το δυνατόν πληρέστερη χωρική περιγραφή, στόχος εξ ορισμού ανέφικτος λόγω της μη συνολίσιμης φύσης των χωρικών ιδιοτήτων, όσο η πρόταση μιας στρατηγικής για τη συγκρότηση ενός ανοιχτού, διαδικαστικού συστήματος ταυτόχρονων πολλαπλών, ετερογενών και μερικών περιγραφών.

Σύμφωνα με τον Πεπονή (2003: 189), «αν μπορέσουμε να διαμορφώσουμε αναπαραστατικές συμβάσεις και εργαλεία που να μας επιτρέπουν να παρουσιάσουμε πάνω στην κάτοψη την οργάνωση του χώρου ως δομή κινήσεων και θεάσεων, τότε η κάτοψη και τα υπόλοιπα σχέδια διατομής θα εξακολουθήσουν να ανταποκρίνονται στον κατεξοχήν αρχιτεκτονικό τρόπο συγκρότησης του χώρου, δηλαδή τη σύλληψη των χωρικών σχέσεων ως μέρους ενός συνόλου και τη σύλληψη του συνόλου ως μήτρας επιμέρους σχέσεων και αλληλουχιών».

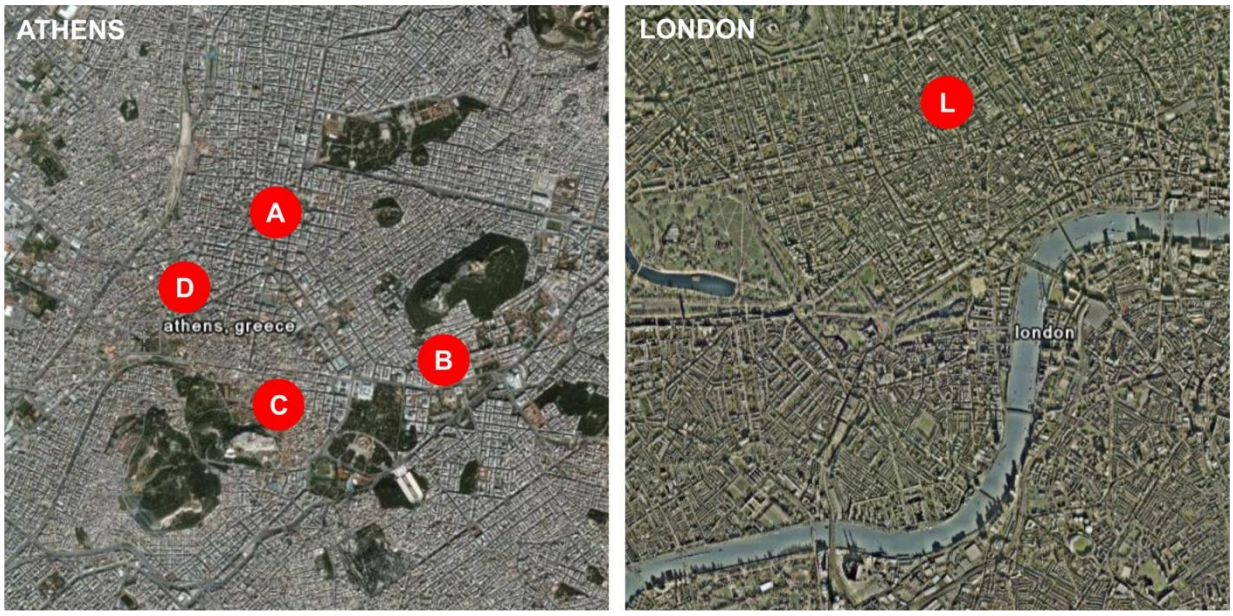
1.2. Μορφοποίηση της κάτοψης

Σύμφωνα με τον ορισμό των αστικών κενών ως συνεχών νησίδων αδόμητου χώρου σε μια αφαιρετική διάταξη κενού και πλήρους, οι κατόψεις αποδίδονται ως κλειστά περιγράμματα, ως επίπεδα σχήματα που περιγράφουν τα όρια μεταξύ δομημένου και αδόμητου χώρου ή μεταξύ αδόμητου χώρου και ρυμοτομικής γραμμής.

Η συνεκτικότητα των αναπαραστάσεων, τόσο ως προς τη γραφική απόδοση όσο και ως προς το βαθμό λεπτομέρειας, είναι καθοριστική για τη συγκρότηση ενός συνόλου συγκρίσιμων δειγμάτων.

1.3. Βάση δεδομένων της πιλοτικής εφαρμογής

Στην πιλοτική εφαρμογή η βάση δεδομένων αποτελείται από γνωστά, χαρακτηρισμένα παραδείγματα. Πρόκειται για τις κατόψεις οικοδομικών τετραγώνων που προέρχονται από τέσσερις περιοχές του κέντρου της Αθήνας και μια περιοχή του κεντρικού Λονδίνου και συγκεκριμένα από τις περιοχές Μουσείο, Κολωνάκι, Πλάκα, Μεταξουργείο και Bloomsbury (βλ. VII.i) στις οποίες έχουν αποδοθεί αντίστοιχα οι κωδικοί A, B, C, D και L (Εικόνα 1 - 2). Το συνολικό δείγμα περιλαμβάνει εικοσιπέντε οικοδομικά τετράγωνα από κάθε περιοχή, επομένως η βάση δεδομένων αποτελείται από 125 δείγματα (Εικόνα 1 - 4, Πίνακας I - 1).



Εικόνα 1 - 2.
Περιοχές μελέτης της πιλοτικής εφαρμογής

Τέσσερις περιοχές της Αθήνας (αριστερά): A Μουσείο, B Κολωνάκι, C Πλάκα, D Μεταξουργείο και μία περιοχή του Λονδίνου (δεξιά): L Bloomsbury. Κάθε περιοχή αντιστοιχεί σε μια κατηγορική ετικέτα

Για τις τέσσερις συνοικίες της Αθήνας οι κατόψεις προέρχονται από συνδυασμό αεροφωτογραφιών (Google Earth) με χάρτη σε ψηφιακή μορφή που παραχωρήθηκε από το Εργαστήριο Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών του Τομέα Πολεοδομίας και Χωροταξίας της Σχολής Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ, ο οποίος βασίζεται σε καταγραφή κτιρίων του 1997. Συμπληρωματικά, εκτός από τα περιγράμματα των κτιρίων, παραχωρήθηκαν και χάρτες με τα περιγράμματα των ιδιοκτησιών και πληροφορία αναφορικά με τα ύψη σε πλήθος ορόφων ανά ιδιοκτησία, την κάλυψη καθώς και τις χρήσεις των κτιρίων, από καταγραφή του 2003 του Εργαστηρίου Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ΕΜΠ.

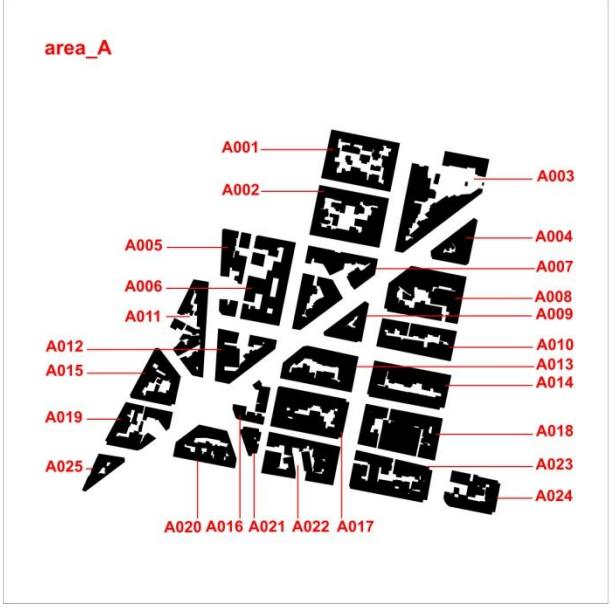
Για την περιοχή του Λονδίνου οι κατόψεις προέρχονται από συνδυασμό αεροφωτογραφιών (Google Earth) με χάρτες διαθέσιμους μέσω του συστήματος EDINA, του Κέντρου Ακαδημαϊκών Δεδομένων JISC (Joint Information System Committee) του Πανεπιστημίου του Εδιμβούργου.

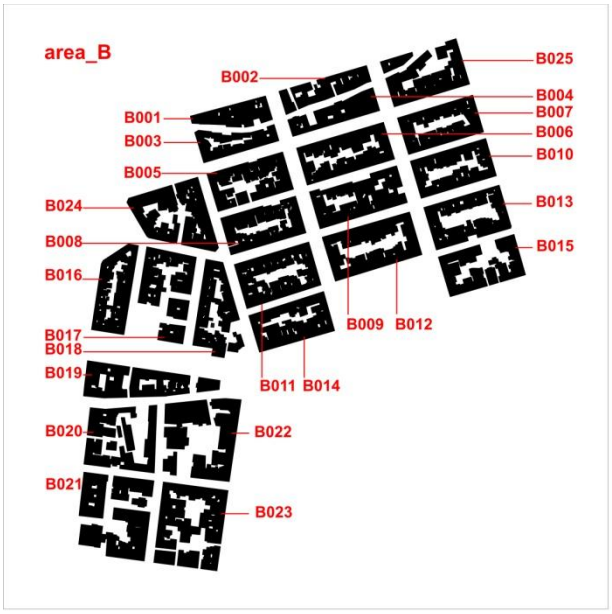
Στην εφαρμογή αυτή ως μοναδιαίο στοιχείο θεωρείται το οικοδομικό τετράγωνο στο σύνολό του, όπως αυτό οριοθετείται από τη ρυμοτομική και την οικοδομική γραμμή. Κάθε κάτοψη αντιστοιχεί σε ένα οικοδομικό τετράγωνο και αποτελείται από ένα σύνολο κλειστών σχημάτων που αντιστοιχούν στα περιγράμματα των κτισμένων όγκων και των αδόμητων χώρων (Εικόνα 1 - 3).

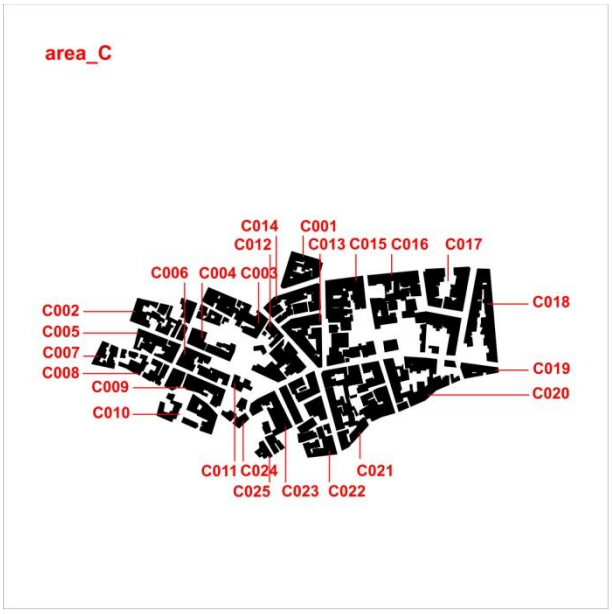
Εικόνα 1 - 3.
Το οικοδομικό τετράγωνο ως σύνολο επιμέρους δομημένων και αδόμητων χώρων.

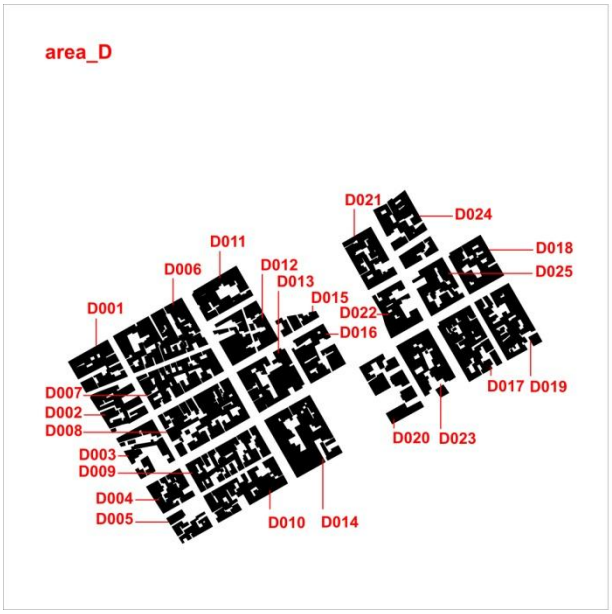
Το οικοδομικό τετράγωνο B010 αποτελείται από έναν συνεχή δομημένο χώρο και οκτώ διακριτά αστικά κενά

Κάθε οικοδομικό τετράγωνο ονομάζεται με τον κωδικό της περιοχής στην οποία ανήκει και έναν αύξοντα αριθμό από 1 ως 25 (π.χ. A18). Η αρίθμηση των οικοδομικών τετραγώνων είναι αυθαίρετη. Ο βαθμός λεπτομέρειας των χαρτών από τους οποίους εξάγονται τα δείγματα είναι της τάξης της κλίμακας 1:500.




area_B
B002
B025
B004
B001
B007
B003
B006
B010
B005
B024
B013
B008
B015
B016
B009
B012
B017
B018
B019
B011
B014
B020
B022
B021
B023


area_C
C014
C001
C012
C013
C015
C016
C017
C006
C004
C003
C018
C002
C005
C007
C019
C008
C020
C009
C010
C011
C024
C021
C025
C023
C022


area_D
D021
D024
D018
D011
D006
D012
D025
D013
D015
D001
D022
D016
D017
D019
D007
D002
D020
D023
D008
D003
D009
D004
D005
D010
D014

Εικόνα 1 - 4.

Το δείγμα: Οικοδομικά τετράγωνα από τις πέντε περιοχές μελέτης

Αριθμημένα οικοδομικά τετράγωνα (αριστερά) και αεροφωτογραφία (δεξιά - πηγή: Google Earth)

1.4. Βάση δεδομένων της κυρίως εφαρμογής

Στη δεύτερη εφαρμογή η βάση δεδομένων αποτελείται από άγνωστα, μη-χαρακτηρισμένα παραδείγματα. Πρόκειται για τις κατόψεις αδόμητων χώρων που προέρχονται από την περιοχή των Πατησίων και συγκεκριμένα από την περιοχή που περικλείεται από τις οδούς Ηπείρου-Νεοφύτου Μεταξά, Αριστοτέλους, Δεριγνύ - Παρασίου, Δομοκού- Δηλιγιάννη (σιδηροδρομικές γραμμές) (Εικόνα 1 - 5). Εντός των οικοδομικών τετραγώνων που περιέχονται μεταξύ των ορίων αυτών εντοπίστηκαν 110 αδόμητοι χώροι (Εικόνα 1 - 6, Πίνακας Ι - 2).

Εικόνα 1 - 5.

Η περιοχή μελέτης και τα οικοδομικά τετράγωνα που αποτελούν το δείγμα των Πατησίων

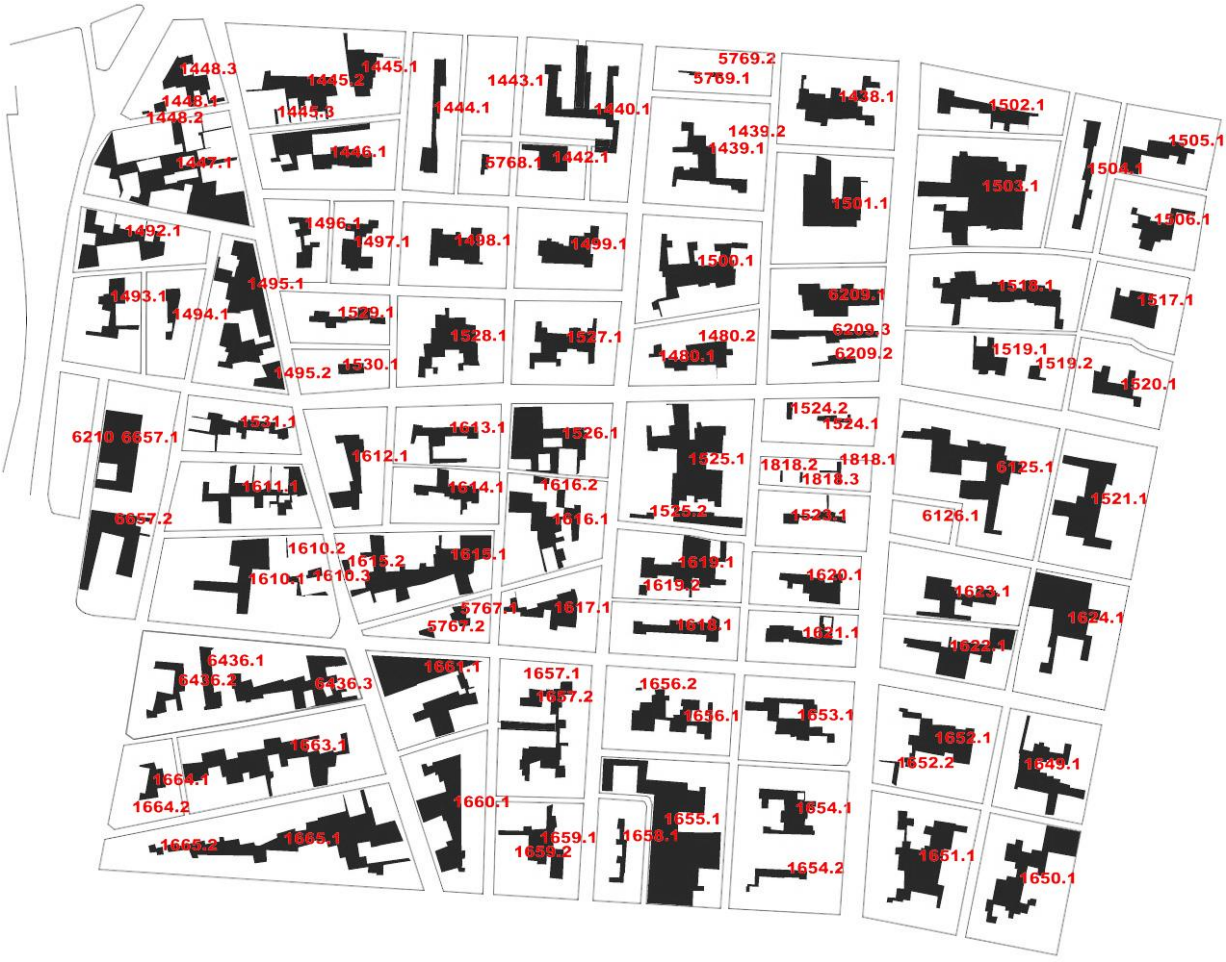
Αεροφωτογραφία (αριστερά - πηγή: Google Earth) και οικοδομικά τετράγωνα στα οποία ανήκουν τα αστικά κενά (δεξιά)

Οι κατόψεις προέρχονται από χάρτη της ΕΛΣΤΑΤ βάσει στοιχείων από την απογραφή οικοδομών και κτιρίων της 1ης Δεκεμβρίου 2000 της ΕΣΥΕ, που περιλαμβάνει τόσο τα περιγράμματα των

οικοδομικών τετραγώνων όσο και των κτιρίων. Η αρίθμηση των οικοδομικών τετραγώνων ακολουθεί την αρίθμηση που δίνεται από την ΕΛΣΤΑΤ.

Στην εφαρμογή αυτή ως μοναδιαίο στοιχείο θεωρείται το μεμονωμένο αστικό κενό, δηλαδή κάθε συνεχής νησίδα αδόμητου χώρου, ανεξάρτητα από το αν στο ίδιο οικοδομικό τετράγωνο εμφανίζονται και άλλοι αδόμητου χώροι. Επομένως κάθε κάτοψη αντιστοιχεί σε ένα κλειστό περίγραμμα.

Κάθε αδόμητος χώρος ονομάζεται με τον αριθμού του οικοδομικού τετραγώνου στο οποίο ανήκει και έναν αύξοντα αριθμό που εξαρτάται από το πλήθος των αδόμητων χώρων εντός του τετραγώνου (π.χ. 1442.1) (Εικόνα 1 - 6). Ο βαθμός λεπτομέρειας του χάρτη από τον οποίο εξάγονται τα δείγματα είναι της τάξης της κλίμακας 1:500.



Εικόνα 1 - 6.
Το δείγμα: Αριθμημένα αστικά κενά της περιοχής των Πατησίων

Κεφάλαιο 2

2. Μετρήσεις πολλαπλών ιδιοτήτων: Επιλογή και ποσοτικοποίηση χαρακτηριστικών

Το πρώτο στάδιο στη διαδικασία περιγραφής, σύγκρισης και κατηγοριοποίησης των εξεταζόμενων άτυπων χωρικών σχηματισμών που συνιστούν τη βάση δεδομένων για την κάθε εφαρμογή, έγκειται στη συγκρότηση των περιγραφικών διαστάσεων βάσει των οποίων επιχειρείται η αναπαράσταση των δειγμάτων.

Προκειμένου να αναπαρασταθεί ο χώρος μέσω πολλαπλών διαστάσεών του, το πρώτο βήμα είναι να εντοπιστούν οι διαστάσεις αυτές και να προσδιοριστεί ο τρόπος ποσοτικοποίησης και μέτρησής τους.

Σε αυτά τα πλαίσια, επιχειρείται η επιλογή, η καταγραφή και η ποσοτικοποίηση χωρικών χαρακτηριστικών που να σχετίζονται σε κάποιο βαθμό με ιδιότητες που διαισθητικά θεωρούνται ουσιαστικές για την περιγραφή των συγκεκριμένων χωρικών διατάξεων. Πρόκειται για μη ρητά περιγράψιμες αλλά αντιληπτικά αναγνωρίσιμες ποιότητες που χαρακτηρίζουν τα αστικά κενά, χωρίς να αναφέρονται άμεσα σε διακριτά μορφολογικά, τυπολογικά και τεχνικά χαρακτηριστικά. Αφηρημένες χωρικές ποιότητες που θεωρούνται αντιπροσωπευτικές των εξεταζόμενων χωρικών σχηματισμών είναι για παράδειγμα η θραυσματικότητα, η πολυπλοκότητα, η συνύπαρξη πολλαπλών κλιμάκων, η σχέση μεταξύ μερών, η αυτοομοιότητα, η κυρτότητα, η συνδεσιμότητα, η ανοιχτότητα, η συμμετρία, ο ρυθμός. Οι ποιότητες αυτές είναι συγκεκριμένες και εντοπίσιμες, αλλά μη διαλεκτικές με την έννοια ότι δεν ανάγονται σε ρητά περιγράψιμα χαρακτηριστικά. Η περιγραφή τους έγκειται στον εντοπισμό και την ποσοτικοποίηση επιμέρους χαρακτηριστικών που σχετίζονται μερικά με μία ή και περισσότερες από τις ποιότητες αυτές.

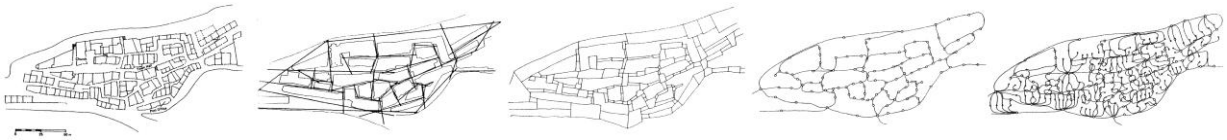
Για την ποσοτικοποίηση και τη μέτρηση ενός συνόλου ιδιοτήτων που εκφράζουν σε κάποιο βαθμό τις παραπάνω χωρικές ποιότητες δεν προτείνεται κάποια νέα μέθοδος, αλλά εφαρμόζονται υφιστάμενες τεχνικές που προέρχονται από την περιοχή της χωρικής ανάλυσης και της ανάλυσης σχημάτων.

2.1. Ανασκόπηση μεθόδων χωρικής ανάλυσης βάσει χαρακτηριστικών της κάτοψης

2.1.1. Μετρήσιμα χαρακτηριστικά κατόψεων και χωρική εμπειρία

Η σχέση μεταξύ της εμπειρίας της χωρικής ταυτότητας και μετρήσιμων χωρικών χαρακτηριστικών βρίσκεται στο κέντρο του ενδιαφέροντος διαφορετικών πεδίων της χωρικής ανάλυσης. Ιδιαίτερα εκτεταμένη έρευνα στον τομέα πραγματοποιείται από τη Space Syntax. Σύμφωνα με τις Psarra και Grajewski (2001), η περιγραφή της χωρικής εμπειρίας αποτελεί το βασικό ενδιαφέρον της Space Syntax, μιας θεωρίας και μεθόδου για τη μέτρηση χωρικών ιδιοτήτων και το συσχετισμό τους με σχηματισμούς κίνησης και την κοινωνική λειτουργία. «Οι χωρικές διατάξεις περιγράφονται ως σχηματισμοί διαπερατότητας μεταξύ «κυρτών χώρων» και «αξονικών γραμμών» (Εικόνα 2 - 1). Βασική στην κυρτή και αξονική αναπαράσταση είναι η διάταξη των ορίων και των ιδιοτήτων των σχημάτων μιας κάτοψης. Ωστόσο, πέρα από το σημείο εκκίνησης του κυρτού διαχωρισμού και την αξονική διασύνδεσης του χώρου, η Space Syntax απομακρύνεται από την περιγραφή σχημάτων, εστιάζοντας σε σχέσης διαπερατότητας των διατάξεων» (Psarra & Grajewski, 2001: 2). «Η κεντρική ιδέα της Space Syntax είναι η περιγραφή του χώρου και της κίνησης ως μιας διάστασης κοινωνικής

συμπαρουσίας» (Peponis et al, 1997: 764). Βασικός στόχος της Space Syntax είναι «να δείξει πώς η τάξη στο χώρο πηγάζει από την κοινωνική ζωή και επομένως να αναδείξει τους τρόπους με τους οποίους η κοινωνία διαπερνά ήδη τους χωρικούς σχηματισμούς που χρειάζεται να περιγραφούν και να αναλυθούν» (Hillier & Hanson, 1984: 8). Η Space Syntax έχει αναπτύξει μια σειρά από μεθόδους για την ανάλυση και την ποσοτικοποίηση διατακτικών χαρακτηριστικών σε σχέση με τη χωρική εμπειρία, οι επικρατέστερες από τις οποίες σχετίζονται με την αναπαράσταση κατόψεων μέσω αξονικών γραμμών που ορίζονται ως οι μακρύτερες γραμμές που διαπερνούν κοίλους χώρους χωρίς να τέμνουν χωρικά όρια (Hillier & Hanson, 1984, Peponis et al, 1997). «Ένας αξονικός χάρτης ορίζεται ως το ελάχιστο σύνολο ευθειών που διαπερνάει κάθε κυρτό χώρο και πραγματοποιεί όλες τις αξονικές συνδέσεις» (Hillier & Hanson, 1984: 92). Αυτές οι ευθείες σχετίζονται με τη χωρική εμπειρία αφού «αντιστοιχούν αμεσότερα στη διαίσθησή μας για το χώρο ως πεδίο κίνησης» (Peponis et al, 1997: 763) και αποδίδουν σχέσεις συνδεσιμότητας, με όρους συνεχών γραμμών ορατότητας. Η ικανότητα των αξονικών χαρτών να αναπαριστούν ταυτόχρονα τοπολογικές και γεωμετρικές ιδιότητες του χώρου συμβάλλει στην αποτελεσματικότητά τους να εκφράζουν πολλαπλές διατακτικές ποιότητες. Ο χώρος εξετάζεται μέσω των συντακτικών χαρακτηριστικών του περισσότερο παρά μέσω των ιδιοτήτων του σχήματός του.

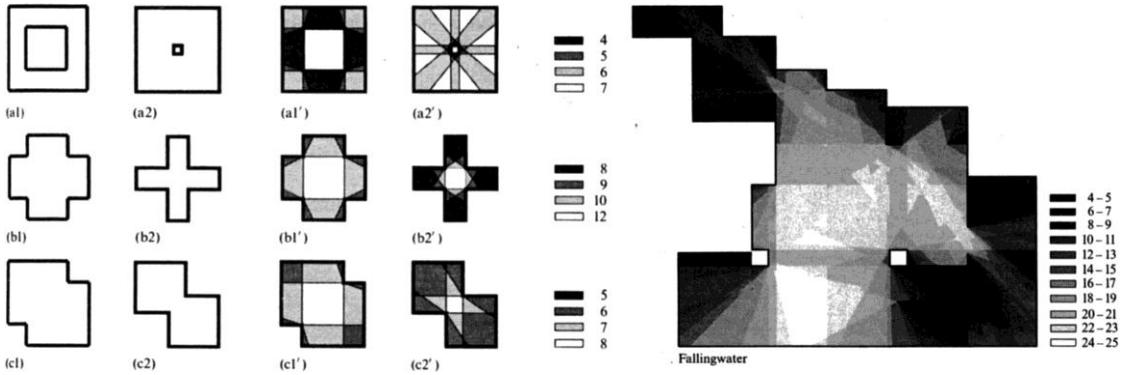


Εικόνα 2 - 1.
Διαφορετικές μέθοδοι χαρτογράφησης της Space Syntax
(Hillier & Hanson, 1984: 90, 91, 92, 100, 104)

Χάρτες της πόλης 'G' στη Γαλλία. Από τα αριστερά προς τα δεξιά: συμβατικός χάρτης, αξονικός χάρτης [axial map], κυρτός χάρτης [convex map], y-χάρτης [y-map], χάρτης διεπαφής [interface map]

Ο τρόπος κατά τον οποίο η δομή του χώρου και της κίνησης επηρεάζουν την έκθεσή μας στα στοιχεία του σχήματος έχουν διερευνηθεί μέσω μεθόδων άμεσα συσχετιζόμενων με αυτές που εφαρμόζει η Space Syntax (Peponis et al, 1997, Peponis, 1997).

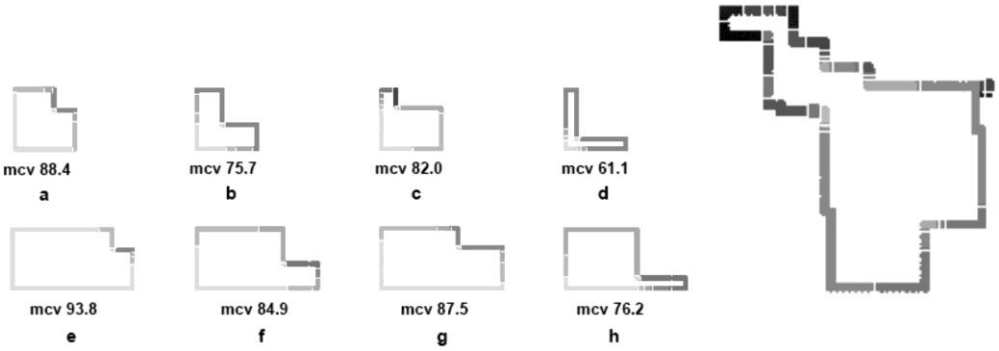
Ο Πεπονής και οι συνεργάτες του έχουν εισαγάγει μια σειρά από μεθόδους που αφορούν στην ποσοτικοποίηση κατόψεων ως προς τη σταθερότητα και μεταβολή της πληροφορίας σε σχέση με το κινούμενο υποκείμενο (Εικόνα 2 - 2). Η χωρική εμπειρία συνδέεται άμεσα με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του σχήματος «γεφυρώνοντας το κενό μεταξύ της μεταβαλλόμενης φύσης του χωρικού περιβάλλοντος και της σταθερής φύσης του σχήματός του» (Psarra & Grajewski, 2001: 2).



Εικόνα 2 - 2.
E-spaces (Peponis et al, 1997: 774, 775)

Κατόψεις σκιασμένες ανάλογα με τον αριθμό ορατών ασυνεχειών από e-spaces: Τρία ζεύγη σχηματικών κατόψεων (αριστερά) και απλοποιημένη κάτοψη του Fallingwater του Frank Lloyd Wright (δεξιά)

Συνδυάζοντας στοιχεία από τις παραπάνω προσεγγίσεις, οι Psarra και Grajewski έχουν εισαγάγει μια μέθοδο για την περιγραφή του σχήματος και της πολυπλοκότητάς του που χρησιμοποιεί τοπικές ιδιότητες (Psarra & Grajewski, 2001, Psarra, 2003). Αυτή η μέθοδος περιγράφει το χώρο μέσω των ιδιοτήτων της περιμέτρου του σχήματός του, όπως αυτό εμφανίζεται σε κάτοψη, με όρους συνδεσιμότητας. Η χωρική εμπειρία συσχετίζεται με το βαθμό και το ρυθμό μεταβολής της ορατότητας από διαδοχικές θέσεις κατά μήκος της περιμέτρου (Εικόνα 2 - 3).

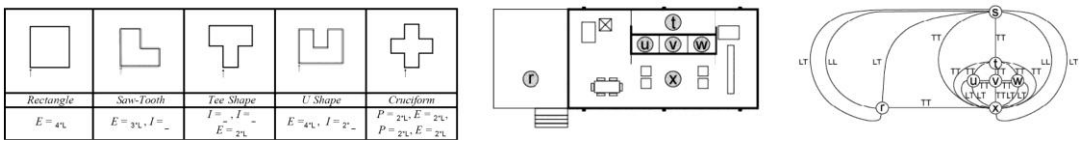


Εικόνα 2 - 3.
Τιμές συνδεσιμότητας (Psarra & Grajewski, 2001: 4, 12)

Κατόψεις σκιασμένες ανάλογα με την κατανομή της συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου και μέση συνδεσιμότητα: Σχηματικές κατόψεις (αριστερά) και απλοποιημένη κάτοψη του Fallingwater του Frank Lloyd Wright (δεξιά)

2.1.2. Μετρήσιμα χαρακτηριστικά κατόψεων και ταξινόμηση χώρων

Μια διαφορετική προσέγγιση της περιγραφής κατόψεων μέσω συντακτικών ιδιοτήτων της περιμέτρου σχημάτων έχει προταθεί από τους Gero και Park (1997, Park & Gero, 2000) και αργότερα από τους Gero και Jupp (2003, Jupp & Gero, 2003). Σύμφωνα με τους Gero και Park (1997), η μέθοδος αυτή μετατοπίζεται από αριθμητικές σε συμβολικές περιγραφές που αντιπροσωπεύουν ποιότητες περισσότερο παρά ποσότητες, περιγράφοντας «με τάξεις σχημάτων σε αντίθεση με ποσοτικές μοντελοποιήσεις που περιγράφουν μεμονωμένα σχήματα» (Gero & Park, 1997: 829). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, τα σχήματα αναπαρίστανται και αναλύονται μέσω της κωδικοποίησης των χαρακτηριστικών των αλληλοτομιών τόξων (ακμών) στις κορυφές, συνδυάζοντας σημειολογία (Gero & Park, 1997) και θεωρία γραφημάτων (Gero & Jupp, 2003). Η μέθοδος αυτή δεν δομείται σε άμεση αναφορά με τη βιωματική εμπειρία των χώρων τους οποίους αναπαριστούν τα υπό περιγραφή σχήματα αλλά μπορεί να συσχετιστεί με τη χωρική αντίληψη μέσω της αναφοράς της στη διαισθητική κατανόηση της σημειολογίας των σχημάτων. Αυτές οι ποιοτικές αναπαραστάσεις σχημάτων, που ονομάζονται Q-codes (Εικόνα 9), έχουν χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση κατόψεων βάσει του βαθμού ομοιότητας μεταξύ κωδικοποιημένων χαρακτηριστικών τους με προκαθορισμένες κατηγορίες σχημάτων (Park & Gero, 2000). Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, η ποσοτικοποίηση ποιοτικών σημειολογικών χαρακτηριστικών των σχημάτων επιτρέπει την ταξινόμηση κατόψεων χώρων στα πλαίσια ενός σχετικού συστήματος συγκρίσεων.



Εικόνα 2 - 4.
Q-codes και σημειολογικά γραφήματα (Gero & Jupp, 2003: 8, Jupp & Gero, 2003: 4)

Q-codes πρωτογενών σχημάτων (αριστερά), κάτοψη (κέντρο) και σημειολογικό γράφημα της οικίας Farnsworth (δεξιά)

Οι προσεγγίσεις αυτές προέρχονται από ποικίλες κατευθύνσεις της έρευνας του χώρου και ανταποκρίνονται σε διαφορετικά ερωτήματα σχετικά με τη χωρική ανάλυση και σύνθεση. Ωστόσο χαρακτηρίζονται από την κοινή θέση ότι η ποσοτικοποίηση χωρικών ιδιοτήτων, όπως αυτές εμφανίζονται σε προβολικές αναπαραστάσεις κατόψεων, συσχετίζονται με τη βιωματική χωρική εμπειρία και με την αντιληπτική ταξινόμηση του χωρικού χαρακτήρα. Με αυτή την έννοια, οι παραπάνω προσεγγίσεις αναφέρονται στην αντίληψη της χωρικής ταυτότητας, στο βαθμό που αυτή αντικατοπτρίζεται σε και αντιπροσωπεύεται από διατακτικά χαρακτηριστικά της κάτοψης.

Σημειώνεται ότι η μεγάλη πλειοψηφία των εφαρμογών των μεθόδων αυτών αναφέρονται είτε στην κλίμακα μεμονωμένων χώρων και κτιρίων είτε σε αστική κλίμακα. Η εξέταση της ενδιάμεσης κλίμακας του οικοδομικού τετραγώνου διερευνά, μεταξύ άλλων, και τη δυνατότητα γενίκευσης της εφαρμογής κάποιων από τις μεθόδους αυτές σε ένα συνεχές εύρος κλίμακας της χωρικής οργάνωσης.

2.2. Είδη μετρήσεων

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, δεν επιλέγεται μία μοναδική λογική ποσοτικοποιημένης χωρικής περιγραφής ως η καταλληλότερη, αλλά εφαρμόζονται κατά το δυνατό διαφορετικές προσεγγίσεις που αναφέρονται σε διαφορετικών τάξεων ιδιότητες. Σύμφωνα με τον Mandelbrot (1982: 14) «η χαλαρή έννοια της διάστασης φαίνεται να έχει πολλές μαθηματικές πλευρές που δεν είναι μόνο εννοιολογικά διακριτές αλλά ενδέχεται να οδηγούν σε διαφορετικές αριθμητικές τιμές. […]Ο Ευκλείδης περιορίζεται σε σύνολα για τα οποία όλες οι χρήσιμες διαστάσεις συμπίπτουν, κατά τρόπο που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως διαστασιολογικά συμφωνούντα σύνολα [dimensionally concordant sets]. Από την άλλη, διαφορετικές διαστάσεις συνόλων […] αποτυγχάνουν να συμπέσουν. Αυτά τα σύνολα είναι διαστασιολογικά ασύμφωνα [dimensionally discordant]».

Με το συνδυασμό ποικίλων υφιστάμενων μεθόδων μέτρησης χωρικών χαρακτηριστικών διαφορετικών κλάσεων και λογικών επιδιώκεται η οργάνωση πολυεπίπεδων χωρικών περιγραφών που να ανταποκρίνονται στην πολλαπλότητα της αντιληπτικής εικόνας των εξεταζόμενων χώρων.

Οι μετρήσεις εξάγονται από τις κατόψεις των αντίστοιχων χώρων, που συγκροτούν τη βάση δεδομένων, με την εφαρμογή μη-ερμηνευτικών, αυτοματοποιημένων αλγοριθμικών μεθόδων μέτρησης.

Αν και κάθε μέθοδος περιγράφει μερικά μόνο τις κατόψεις, η εξασφάλιση ικανού πλήθους και ποικιλίας μετρήσεων και η ταυτόχρονη θεώρησή τους στοχεύει στον εντοπισμό ενδογενών σχέσεων μεταξύ χωρικών ενοτήτων οι οποίες δεν σχετίζονται άμεσα με συγκεκριμένα μεγέθη.

2.2.1. Τάξεις ιδιοτήτων: Μετρικά, γεωμετρικά, τοπολογικά χαρακτηριστικά

Όλες οι μέθοδοι ποσοτικοποίησης χωρικών χαρακτηριστικών καταλήγουν σε αριθμητικά, μονόμετρα αποτελέσματα, ωστόσο οι διαδικασίες που ακολουθούν καταγράφουν ιδιότητες διαφορετικής τάξης. Η επιλογή των μεθόδων μέτρησης στοχεύει στην παραγωγή μετρήσεων που σχετίζονται με μετρικά, γεωμετρικά και τοπολογικά-συντακτικά χαρακτηριστικά των κατόψεων.

Ο Πεπονής (2003: 171) διακρίνει τις χωρικές σχέσεις σε τοπολογικές, προβολικές και προοπτικές. Σύμφωνα με αυτή τη διάκριση, οι τοπολογικές σχέσεις «παραπέμπουν στον τρόπο με τον οποίο τα πράγματα παρατίθενται, εμπεριέχονται, γειτνιάζουν ή συνορεύουν και τη σχέση του μέσα, του έξω και του ανάμεσα». Αντίθετα, οι προβολικές σχέσεις εκφράζουν τη «συνάντηση γραμμών και επιφανειών που σχηματίζουν γωνίες και ακμές» και αναφέρονται στον τρόπο με τον οποίο τα πράγματα εμφανίζονται, παρατίθενται ή αποκρύπτονται το ένα σε σχέση με το άλλο, ανεξάρτητα από

τις μετρικές τους ιδιότητες. Η διάκριση του μπρος και του πίσω ή του πάνω και του κάτω στηρίζεται σε προβολικές σχέσεις. […] Η προοπτική εκμεταλλεύεται τις προβολικές σχέσεις, αλλά ασχολείται και με τα μεγέθη των αποστάσεων και των γωνιών», δηλαδή συνδυάζει προβολικές με μετρικές σχέσεις.

Ακλουθώντας αυτή τη λογική, τα μετρικά χαρακτηριστικά αποδίδουν μετρικές σχέσεις των κατόψεων, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά εκφράζουν προβολικές και προοπτικές σχέσεις, ενώ τα τοπολογικά χαρακτηριστικά εστιάζουν σε τοπολογικές σχέσεις.

2.2.2. Κλίμακα ιδιοτήτων: Τοπικά και καθολικά χαρακτηριστικά

Τα μετρικά, γεωμετρικά και τοπολογικά αυτά χαρακτηριστικά διακρίνονται σε τοπικά [local] και καθολικά [global], ανάλογα με την χωρική κλίμακα στην οποία αναφέρονται ή ανάλογα τον τρόπο που αποκαλύπτονται στην αντίληψη (Πεπονής, 2003).

2.2.2.1. Χωρική κλίμακα

Ως προς τη χωρική κλίμακα, τοπικά χαρακτηριστικά αναφέρονται σε κάθε μεμονωμένο αστικό κενό ιδωμένο ως ατομική μονάδα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν όλες οι μετρήσεις που σχετίζονται με τις ιδιότητες του κάθε κενού ως αυτόνομης χωρικής δομής.

Καθολικά χαρακτηριστικά λαμβάνουν υπόψη τον συσχετισμό του εκάστοτε αστικού κενού με το ευρύτερο δίκτυο αδόμητων χώρων στο σύνολο της περιοχής ανάλυσης, αποδίδοντας ιδιότητες σε επίπεδο συστήματος.

2.2.2.2. Αντιληπτική κλίμακα

Ως προς την κλίμακα υπό την οποία τα χωρικά χαρακτηριστικά αποκαλύπτονται στην αντίληψη, τα τοπικά χαρακτηριστικά εκφράζουν μια διαχρονική σκοπιά, που σχετίζεται με την ασυνεχή και διαδοχική ανάγνωση εντοπισμένων επιμέρους ιδιοτήτων και την σύνθεσή τους σε μια συνολική εικόνα. Τα καθολικά χαρακτηριστικά αναφέρονται σε μια συγχρονική εμπειρία του χώρου, που βασίζεται στη συνέχεια και τη συνολική, ταυτόχρονη αποκάλυψη του χώρου ως ενιαίας δομής[1].

2.2.3. Τύποι δεδομένων

Διαφορετικών τάξεων χαρακτηριστικά αποδίδονται από διαφορετικών τύπων δεδομένα. Κάθε μέτρηση αντιπροσωπεύει μεγέθη που μπορούν να εκφραστούν μέσω μεταβλητών που λαμβάνουν συγκεκριμένου τύπου και εύρους τιμών. Έτσι, κάποιες μετρήσεις μπορεί να αναφέρονται στην παρουσία ή απουσία ενός χαρακτηριστικού, να αποδίδουν πλήθη στοιχείων ή να εκφράζουν το μέγεθος ή την ένταση μιας ιδιότητας μέσω διακριτών ή συνεχών αριθμητικών τιμών.

Ως προς τον τύπο των μετρήσεων, που αποτελούν τα εισερχόμενα δεδομένα για τη μέθοδο περιγραφής σύγκρισης και κατηγοριοποίησης των εξεταζόμενων χώρων, αυτός προσδιορίζεται βάσει του είδους και του εύρους τιμών που μπορούν να λάβουν. Σύμφωνα με τους Jain και Dubes (1988: 12) «ο τύπος των δεδομένων αναφέρεται στο βαθμό κβαντοποίησης [quantization] των δεδομένων. Ένα μεμονωμένο χαρακτηριστικό μπορεί να γραφεί ως δυαδικό, διακριτό ή συνεχές. Δυαδικά

[1] «Αποκαλούμε 'συγχρονική κατανόηση' ενός κτιρίου τη σύνθεση μέσα στη φαντασία μας σε ενιαίο σύνολο όλων των επιμέρους σχέσεων που το ορίζουν. Αποκαλούμε 'διαχρονική κατανόηση' την παρακολούθηση της αλληλουχίας, της εναλλαγής και της παραλλαγής των θεάσεων που ορίζονται όταν περπατάμε σε ένα κτίριο» (Πεπονής, 2003: 168).

χαρακτηριστικά μπορούν να έχουν ακριβώς δύο τιμές[2]. Ένα διακριτό χαρακτηριστικό έχει ένα πεπερασμένο, συνήθως μικρό, πλήθος πιθανών τιμών. Όλες οι μετρήσεις και οι αριθμοί που αποθηκεύονται ψηφιακά έχουν ένα πεπερασμένο πλήθος ψηφίων, οπότε κάθε χαρακτηριστικό μπορεί να θεωρηθεί ως διακριτό. Ωστόσο, σε κάποιες περιπτώσεις είναι προτιμότερο η τιμή ενός χαρακτηριστικού να θεωρείται ως ένα σημείο πάνω σε μια πραγματική καμπύλη, που μπορεί να λάβει οποιαδήποτε πραγματική τιμή εντός ενός ορισμένου εύρους. Τέτοια χαρακτηριστικά αποκαλούνται συνεχή».

Σύμφωνα με αυτή τη διάκριση, οι προκύπτουσες μετρήσεις διακρίνονται σε δυαδικά, διακριτά και συνεχή μεγέθη, ανάλογα με τον τύπο των μεταβλητών που τις εκφράζουν και τις τιμές που λαμβάνουν.

2.2.4. Κλίμακες δεδομένων

Η κλίμακα στην οποία εκφράζονται οι μετρήσεις σχετίζεται άμεσα με τον τύπο των δεδομένων που παράγονται από την καθεμία και «υποδεικνύει τη σχετική σημασία των αριθμητικών τιμών» (Jain & Dubes, 1988: 12). Σύμφωνα με τους Jain και Dubes (1988: 12) οι κλίμακες δεδομένων μπορούν να διακριθούν σε ποιοτικές, στις οποίες υπάγονται οι ονομαστικές [nominal] και οι διατακτικές [ordinal] κλίμακες και σε ποσοτικές, στις οποίες ανήκουν οι κλίμακες διαστημάτων [interval] και οι αναλογικές [ratio] κλίμακες.

Στις ποιοτικές κλίμακες οι αριθμητικές τιμές έχουν συμβατική η σχετική σημασία. Συγκεκριμένα, σε μια ονομαστική κλίμακα οι αριθμοί «χρησιμοποιούνται ως ονόματα και δεν έχουν καθαυτοί νόημα με ποσοτική σημασία» (Jain & Dubes, 1988: 12). Με αυτή την έννοια, «μια ονομαστική κλίμακα στην πραγματικότητα δεν είναι κλίμακα». Σε μια διατακτική κλίμακα[3] «οι αριθμοί έχουν νόημα μόνο σε συσχετισμό μεταξύ τους». Οι διατακτικές κλίμακες αναφέρονται σε διατεταγμένες σειρές αριθμητικών τιμών που δεν έχουν απόλυτη αξία, αλλά η αξία τους καθορίζεται από τη θέση τους στη σειρά.

Στις ποσοτικές κλίμακες οι αριθμητικές τιμές έχουν σημασία ως διακριτά στιγμιότυπα γιατί στις κλίμακες αυτές υπάρχει δεδομένο σύστημα αναφοράς. Στις κλίμακες διαστημάτων «υφίσταται μια μονάδα μέτρησης και η ερμηνεία των τιμών εξαρτάται από αυτή την μονάδα». Έτσι κάθε διακριτή τιμή ορίζεται ως προς το σύστημα μέτρησης, ανεξάρτητα από το συσχετισμό της με άλλες τιμές[4]. Σε μια αναλογική κλίμακα, εκτός από μια μονάδα μέτρησης υπάρχει και ένα απόλυτο μηδέν, με αποτέλεσμα οι αριθμητικές τιμές να έχουν μια απόλυτη σημασία[5].

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των ποιοτικών και ποσοτικών κλιμάκων τις καθιστούν κατάλληλες για την απόδοση διαφορετικών τύπων δεδομένων. Συγκεκριμένα, οι ποιοτικές κλίμακες μπορούν να αποδώσουν δυαδικά και διακριτά χαρακτηριστικά, ενώ στις ποσοτικές κλίμακες μπορούν να αποδοθούν όλοι οι τύποι δεδομένων, δηλαδή δυαδικά, διακριτά και συνεχή χαρακτηριστικά. Η δυνατότητα γενικευμένης εφαρμογής των ποσοτικών κλιμάκων συνεπάγεται ότι όλα τα χαρακτηριστικά που αποδίδονται μέσω των μετρήσεων μπορούν να αναχθούν σε αναλογική κλίμακα,

[2] Οι δυαδικές τιμές είναι του τύπου αληθές – ψευδές, ναι –όχι, 0-1 και αποτελούν τη βασική της λογικής Boole.

[3] Η διατακτική κλίμακα χαρακτηρίζεται από τους Jain και Dubes (1988: 12) ως η ασθενέστερη αριθμητική κλίμακα, χωρίς αυτό όμως να την κατατάσσει στις ποσοτικές κλίμακες. Παραμένει μια συσχετιστική, ποιοτική κλίμακα.

[4] «Η διάκριση μεταξύ αριθμών έχει νόημα σε μια κλίμακα διαστημάτων» (Jain & Dubes, 1988: 12).

[5] Σύμφωνα με τους Jain και Dubes (1988: 12) «Η ισχυρότερη κλίμακα είναι αναλογική κλίμακα», στην οποία «η σχέση μεταξύ αριθμών έχει νόημα».

επιτρέποντας την ομοιογενή και συνεκτική αναπαράστασή τους σε ένα ενιαίο σύστημα μέτρησης και γραφικής αναπαράστασης.

2.3. Μετρήσεις πολλαπλών ιδιοτήτων βάσει αλγοριθμικών τεχνικών

Στη συνέχεια αναφέρονται αναλυτικά τα χαρακτηριστικά βάσει των οποίων επιχειρείται η περιγραφή των αδόμητων χώρων και αναπτύσσονται οι μέθοδοι μέτρησής τους. Όπως αναφέρθηκε, οι μέθοδοι μέτρησης βασίζονται σε υφιστάμενες τεχνικές και αλγορίθμους. Στις περισσότερες περιπτώσεις, προκειμένου οι μέθοδοι αυτές να προσαρμοστούν και να εφαρμοστούν στα συγκεκριμένα δείγματα, συντάσσονται αλγοριθμικές ρουτίνες που βασίζονται στην περιγραφή των αντίστοιχων μεθόδων. Σε κάποιες περιπτώσεις προτείνονται παραλλαγές και επεκτάσεις των υφιστάμενων μεθόδων, ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του δείγματος. Οι αλγόριθμοι γράφονται ως επι το πλείστον στις γλώσσες προγραμματισμού Processing[6] και Visual Basic for Applications[7] εντός σχεδιαστικού λογισμικού CAD[8].

Ακολουθείται η διάκριση των ιδιοτήτων σε τοπικές και καθολικές καθώς και σε αναφερόμενες σε μετρικά, γεωμετρικά και τοπολογικά-συντακτικά χαρακτηριστικά.

Α. Τοπικά χαρακτηριστικά

- Μετρικά μεγέθη
- Γεωμετρικά μεγέθη
- Τοπολογικά-συντακτικά μεγέθη

Β. Καθολικά χαρακτηριστικά

- Τοπολογικά μεγέθη - συνδεσιμότητα

[6] Η Processing (http://processing.org/) είναι γλώσσα προγραμματισμού ανοιχτού κώδικα με δικό της περιβάλλον ανάπτυξης εφαρμογών. Πρόκειται για μια αντικειμενοστραφή γλώσσα προγραμματισμού, βασισμένη στη Java, που αναπτύχθηκε στο MIT Media Lab από τον Casey Reas και τον Ben Fry από το 2011, με βασική κατεύθυνση την παραγωγή και επεξεργασία δισδιάστατων και τρισδιάστατων γραφικών. Είναι κατάλληλη για πρωτοτυποποίηση και την ανάπτυξη δυναμικών και διαδραστικών αυτόνομων εφαρμογών.

[7] Η Visual Basic for Applications είναι μια γλώσσα προγραμματισμού της Microsoft, η οποία τρέχει εντός άλλων λογισμικών, όπως αυτά της σουίτας Microsoft Office, αλλά και εντός σχεδιαστικών λογισμικών τύπου CAD, όπως το AutoCad, το Microstation και άλλα, επιτρέποντας τη δημιουργία μακροεντολών και προσωποποιημένων αλγοριθμικών διαδικασιών που χρησιμοποιούν τα εργαλεία και τις δυνατότητες του εκάστοτε λογισμικού.

[8] Η επιλογή ανάμεσα στις γλώσσες Processing και Visual Basic for Applications γίνεται ανάλογα με τον τύπο των εισερχομένων, την αλγοριθμική διαδικασία και τον τύπο των εξερχομένων της κάθε μέτρησης. Η Processing παρέχει τη δυνατότητα ευκολότερης επεξεργασίας bitmap γραφικών (εικόνες), καθώς και παραγωγής δυναμικών γραφικών και προσομοιώσεων. Η Visual Basic for Applications διευκολύνει γεωμετρικούς μετασχηματισμούς εντός περιβάλλοντος σχεδιασμού CAD. Έτσι, για διαφορετικές μετρήσεις προτιμάται η καταλληλότερη γλώσσα. Ωστόσο, στην περίπτωση της πιλοτικής εφαρμογής, επειδή αναπτύχθηκε ως επι το πλείστον στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος MSc Adaptive Architecture and Computation (βλ. κεφ. VII.i), βασικό αντικείμενο το οποίου είναι η εκμάθηση της γλώσσας Processing, η πλειοψηφία των μετρήσεων έχουν γίνει με τη χρήση της Processing, ακόμα και όταν αυτή δεν είναι η καταλληλότερη. Στην κυρίως εφαρμογή, οι αλγόριθμοι έχουν επαναπροσαρμοστεί κατάλληλα, ανάλογα με το ποια γλώσσα θεωρήθηκε πιο πρόσφορη. Σε όσες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται άλλες γλώσσες προγραμματισμού ή έτοιμα λογισμικά, αυτό αναφέρεται ρητά.

2.4. Τοπικά χαρακτηριστικά

Τα περισσότερα από τα χωρικά χαρακτηριστικά που μετρώνται είναι τοπικά, με την έννοια ότι αναφέρονται σε ιδιότητες κάθε δείγματος αδόμητου χώρου ως μεμονωμένης μονάδας. Τα ατομικά αυτά χαρακτηριστικά διακρίνονται σε μετρικά, γεωμετρικά και τοπολογικά –συντακτικά.

2.4.1. Μετρικά μεγέθη

Μετρικές ιδιότητες αφορούν σε αριθμητικά μεγέθη άμεσα εξαγόμενα από την κάτοψη των υπό ανάλυση αδόμητων χώρων. Πρόκειται για εκτατικά, βαθμωτά μεγέθη που εκφράζονται μέσω δυαδικών, διακριτών ή συνεχών τιμών. Οι μετρήσεις αυτές στοχεύουν στην αριθμητική έκφραση χωρικών ιδιοτήτων που αναφέρονται κυρίως σε ζητήματα έκτασης και απόλυτων μεγεθών, μετρικών αναλογιών και ποσοτικών αποδόσεων της ανοιχτότητας ή κλειστότητας το κάθε κενού.

2.4.1.1. Τρόπος εξαγωγής των μετρήσεων: Προετοιμασία του δείγματος

Προκειμένου να μετρηθούν οι επιλεγμένες ιδιότητες των κατόψεων, απαιτείται πρωτίστως η συνεκτική και κατά το δυνατό ακριβέστερη σχεδιαστική αναπαράσταση των χώρων σε ψηφιακή μορφή. Είναι σημαντικό οι κατόψεις για το σύνολο του δείγματος να προέρχονται από τον ίδιο χάρτη, ούτως ώστε να υπάρχει συνοχή ως προς τον τρόπο αναπαράστασης, το εύρος παρεχόμενης πληροφορίας, το βαθμό λεπτομέρειας αλλά και τη χρονική αντιστοιχία, δεδομένου ότι μεγάλης κλίμακας καταγραφές πραγματοποιούνται με μεγάλη χρονική απόσταση μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται συχνά διαφοροποιήσεις, κυρίως ως προς τα κενά οικόπεδα και τα περιγράμματα των κτιρίων.

Μετά την επιλογή του υποβάθρου, γίνεται επαλήθευση των δεδομένων, βάσει αεροφωτογραφιών και επιτόπου καταγραφών. Στη συνέχεια απαιτείται η επιμελής σχεδίαση των περιγραμμάτων των αδόμητων χώρων, σύμφωνα με τον ορισμό τους ως συνεχόμενων νησίδων χώρου στο επίπεδο του εδάφους, που δεν αποτελούν αποτύπωμα κτιριακού όγκου.

Εφόσον η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων και οι μετρήσεις γίνονται με την εφαρμογή αυτοματοποιημένων αλγοριθμικών διαδικασιών, ο τόπος σχεδιασμού και η μορφοποίηση των περιγραμμάτων παίζουν καθοριστικό ρόλο στα εξαγόμενα αποτελέσματα. Έτσι, για παράδειγμα είναι σημαντικό να μην υπάρχουν διπλά ή αλληλεπικαλυπτόμενα περιγράμματα ή τμήματα αυτών, να μην υπάρχουν ενδιάμεσες κορυφές σε ευθύγραμμα τμήματα, τα περιγράμματα να είναι κλειστά και να αποδίδονται από ίδιου τύπου σχεδιαστικά αντικείμενα[9].

2.4.1.2. Μεγέθη

Υπάρχει μεγάλο πλήθος χαρακτηριστικών που μπορούν να αναλυθούν και αντίστοιχων μετρήσεων, απλούστερων ή συνθετότερων, που μπορούν να εφαρμοστούν στις κατόψεις των υπό ανάλυση χώρων, αλλά επιλέχθηκαν στοχευμένα μετρήσεις που αναφέρονται σε χωρικές ιδιότητες που

[9] Τα περισσότερα σχεδιαστικά προγράμματα λειτουργούν βάσει οντολογιών αντικειμένων με συγκεκριμένο ορισμό και ιδιότητες. Οι κατόψεις πρέπει να αποδίδονται από γεωμετρικές οντότητες της ίδιας κλάσης, όπως για παράδειγμα ευθύγραμμα τμήματα [lines], τεθλασμένες γραμμές [polylines], κλειστά επίπεδα σχήματα [shapes], έδρες [faces].

θεωρήθηκαν χαρακτηριστικές για το συγκεκριμένο δείγμα χώρων και σχετικές με τα αρχικά κριτήρια αξιολόγησης και τους στόχους της κάθε εφαρμογής.

Πέρα από τις διαφοροποιήσεις στις μετρήσεις και τις προσαρμογές των μεθόδων μέτρησης εξαιτίας του διαφορετικού ορισμού του μοναδιαίου στοιχείου στην πιλοτική και την πειραματική εφαρμογή, οι περισσότερες τοπικές μετρήσεις αναφέρονται στα ίδια χαρακτηριστικά και στις δύο εφαρμογές και η λογική ποσοτικοποίησής τους είναι κοινή. Ωστόσο υπάρχουν και κάποια χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται στην μία μόνο από τις δύο εφαρμογές, σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες του εκάστοτε δείγματος αλλά και την παρεχόμενη πληροφορία.

2.4.1.3. Πιλοτική εφαρμογή σε γνωστό δείγμα

Συγκεκριμένα, στην πιλοτική εφαρμογή που αναφέρεται στη διάκριση οικοδομικών τετραγώνων ανάλογα με την περιοχή από την οποία προέρχονται, επειδή ο στόχος είναι η κατηγοριοποίηση των οικοδομικών τετραγώνων βάσει της αντιληπτικής διαφοροποίησης του χαρακτήρα αστικών γειτονιών, εκτός από τα χαρακτηριστικά της φυσικής δομής του υλοποιημένου χώρου θεωρήθηκε χρήσιμη και η μελέτη μεγεθών που εκφράζουν διαφορές ως προς μια από πάνω προς τα κάτω, θεσμικά εκφρασμένη πρόθεση διαμόρφωσης και διαχείρισης του χαρακτήρα των περιοχών αυτών, μέσω της θέσπισης κανονισμών.

Οι μετρήσεις αυτές δεν αντιστοιχούν πάντα στην υλοποιημένη χωρική δομή, αλλά ανταποκρίνονται σε κάποιες γενικές προδιαγραφές και οριοθετούν ένα εύρος τιμών εντός του οποίου προβλέπεται να κυμανθούν κάποια μεγέθη, εκφράζοντας μια στρατηγική που σχετίζεται τόσο με την προβολή μιας πολιτικής βούλησης όσο και με την επικρατούσα αντίληψη σχετικά με την υφιστάμενη κατάσταση και τα περιθώρια διατήρησης ή μεταβολής της.

Επομένως στην εφαρμογή αυτή τα μεγέθη διακρίνονται σε μετρήσεις που αναφέρονται στην ισχύουσα νομοθεσία[10] και σε χαρακτηριστικά που προκύπτουν από την εφαρμογή (ή μη) των αντίστοιχων κανονισμών. Στην πρώτη περίπτωση οι μετρήσεις λαμβάνονται από στοιχεία τυπικών πολεοδομικών χαρτών που αποδίδουν την αντίστοιχη πληροφορία, ενώ στη δεύτερη εξάγονται απευθείας από ψηφιακά υπόβαθρα σε CAD που φέρουν αποκλειστικά γεωμετρική πληροφορία σχετική με τα περιγράμματα των οικοδομικών τετραγώνων και των κτιρίων.

2.4.1.3.1. Εργαλείο

Οι μετρήσεις εξάγονται είτε μέσω εποπτικής καταγραφής των δεδομένων των χαρτών, είτε με τη δημιουργία αυτοματοποιημένων ρουτινών σε γλώσσα προγραμματισμού Processing, για την εξαγωγή στοιχείων από κατόψεις σε CAD.

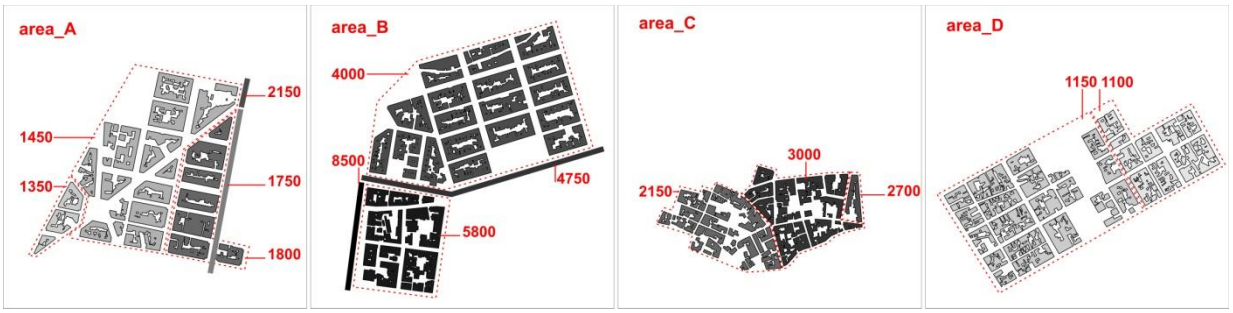
2.4.1.3.2. Εισερχόμενα

Στην περίπτωση γειτονιών της Αθήνας, τα μεγέθη που σχετίζονται με κανονισμούς προέρχονται από τους αντίστοιχους πολεοδομικούς χάρτες της Διεύθυνσης Πολεοδομίας του Δήμου Αθηναίων. Τα μεγέθη που αναφέρονται στην υφιστάμενη κατάσταση εξάγονται από χάρτες που παραχωρήθηκαν από το Εργαστήριο Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών του Τομέα Πολεοδομίας και Χωροταξίας της Σχολής Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ, οι οποίοι, εκτός από τα περιγράμματα των κτιρίων, περιλαμβάνουν

[10] Στοιχεία σχετικά με όρους δόμησης συλλέχθηκαν μόνο για το δείγμα της Αθήνας και όχι για αυτό του Λονδίνου, λόγω δυσκολίας πρόσβασης στις αντίστοιχες πηγές.

στοιχεία σχετικά με την πραγματοποιημένη κάλυψη καθώς και το ύψος των κτιρίων, δοσμένο σε πλήθος ορόφων[11].

Αρχικά καταγράφηκαν και οι αντικειμενικές αξίες (Εικόνα 2 - 5) του κάθε οικοδομικού τετραγώνου, βάσει των Πινάκων Αντικειμενικών Αξιών του Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών (Γενική Διεύθυνση Δημόσιας Περιουσίας και Εθνικών Κληροδοτημάτων, Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών και Στέγασης, Τμήμα Αντικειμενικού Προσδιορισμού Φορολογητέας Αξίας Ακινήτων). Ωστόσο το μέγεθος αυτό εξαιρέθηκε από το σύστημα συγκριτικής ανάλυσης και κατηγοριοποίησης, πρώτον γιατί δεν σχετίζεται άμεσα με χωρικά χαρακτηριστικά και δεύτερον γιατί κατά τη διαδικασία αποδείχθηκε ότι επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την κατηγοριοποίηση, παρέχοντας σαφές και μονοσήμαντο κριτήριο διάκρισης των γειτονιών.



Εικόνα 2 - 5.
Αντικειμενικές αξίες για τις τέσσερις περιοχές της Αθήνας
(βάσει των Πινάκων Αντικειμενικών Αξιών του Υπουργείο Οικονομίας και Οικονομικών)

Στην περίπτωση του Λονδίνου, οι μετρήσεις προέρχονται από χάρτες διαθέσιμους μέσω του συστήματος EDINA, του Κέντρου Ακαδημαϊκών Δεδομένων JISC (Joint Information System Committee) του Πανεπιστημίου του Εδιμβούργου.

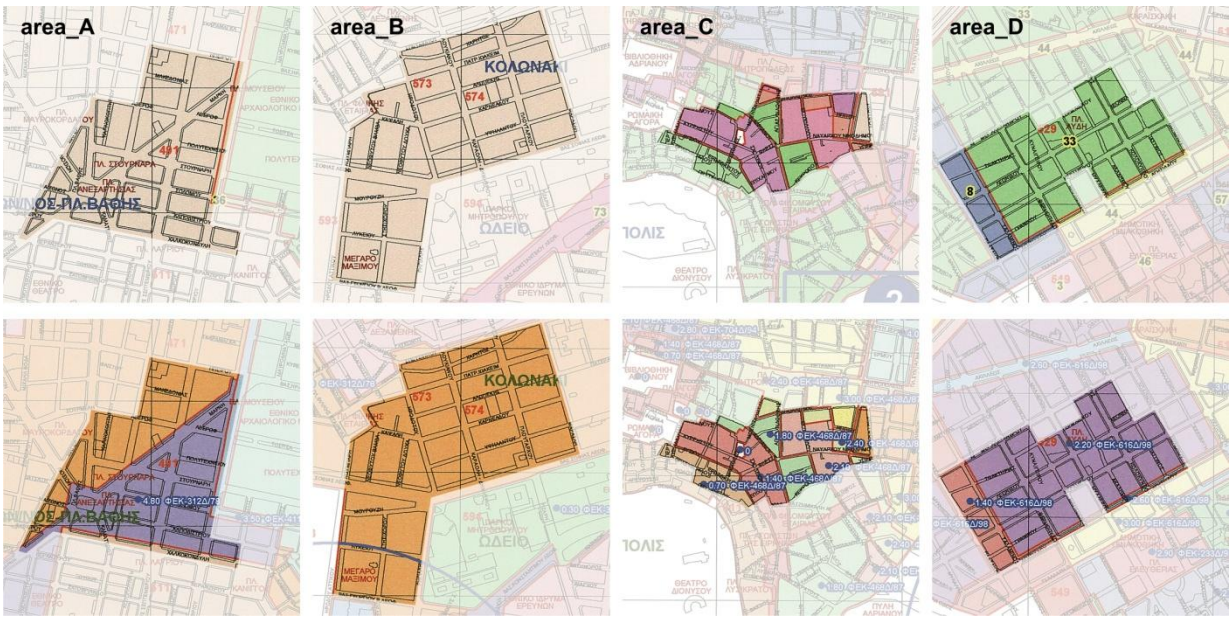
Τόσο για την Αθήνα όσο και για το Λονδίνο, οι χάρτες συσχετίστηκαν με αεροφωτογραφίες από το Google Earth της εταιρίας Google.

2.4.1.3.3. Μεγέθη που αναφέρονται σε όρους δόμησης

Στην πρώτη κατηγορία αριθμητικών μεγεθών που αναφέρονται στην ισχύουσα νομοθεσία, καταγράφονται οι παρακάτω μετρήσεις:

1. Μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος, σε μέτρα και αριθμό ορόφων
2. Συντελεστής δόμησης
3. Επιτρεπόμενη κάλυψη

[11] Βλ. παραπάνω, κεφ. 1.3.



Εικόνα 2 - 6.
Μεγέθη που αναφέρονται στους όρους δόμησης για τις τέσσερις περιοχές της Αθήνας
(Διεύθυνσης Πολεοδομίας Δήμου Αθηναίων, 2007)

Μέγιστο επιτρεπόμενο ύψος (πάνω) και συντελεστής δόμησης (κάτω)

2.4.1.3.4. Μεγέθη που αναφέρονται στην υφιστάμενη κατάσταση

Σε μια δεύτερη κατηγορία ανήκουν μετρήσεις που εκφράζουν τα παραπάνω μεγέθη όπως τελικά εφαρμόζονται και εμφανίζονται στον υφιστάμενο αστικό ιστό. Έτσι, από τους αντίστοιχους χάρτες υπολογίζονται:

1. Μεγέθη που αναφέρονται στα ύψη των κτιρίων, μόνο για το δείγμα της Αθήνας. Από τα ύψη των κτιρίων (Εικόνα 2 - 7), για κάθε οικοδομικό τετράγωνο υπολογίζεται το μέσο ύψος, ως μέσος όρος του πλήθους των ορόφων όλων των κτιρίων που βρίσκονται εντός του ορίου του (Πίνακας 2 - 1 δεξιά), καθώς και η διακύμανση [variance] των υψών αυτών, που δίνεται από το μέσο όρο των τετραγώνων της διαφοράς του ύψους κάθε κτιρίου από το μέσο όρο των υψών όλων των κτιρίων του οικοδομικού τετραγώνου.

   $\sum (X - x(i))^2 / n$ με $i = 0$ ως n

   Όπου
   X: ο μέσος όρος των υψών όλων των κτιρίων του οικοδομικού τετραγώνου
   x(i): το ύψος του κάθε κτιρίου του οικοδομικού τετραγώνου
   n: το πλήθος των κτιρίων του οικοδομικού τετραγώνου
   Το μέγεθος αυτό αποτελεί δείκτη του βαθμού μεταβολής των υψών εντός του κάθε οικοδομικού τετραγώνου.
   Επειδή όμως εμφανίζονται μεγάλες διαφορές στα ύψη ανάλογα με την περιοχή, προκειμένου η διασπορά να εκφράζει τη διακύμανση εντός του τετραγώνου ανεξάρτητα από το απόλυτο ύψος των κτιρίων, το μέγεθος αυτό στη συνέχεια κανονικοποιείται, διαιρούμενο με το μέσο όρο των υψών κάθε τετραγώνου.

2. Η πραγματοποιημένη κάλυψη[12], στο σύνολο του οικοδομικού τετραγώνου, που αντιστοιχεί στο λόγο του συνολικού εμβαδού του αποτυπώματος των κτισμένων χώρων προς το εμβαδόν του οικοδομικού τετραγώνου (Footprint) (Πίνακας 2 - 1 αριστερά).

   Επιπλέον, από τα περιγράμματα των οικοδομικών τετραγώνων μετρήθηκαν:

3. Χαρακτηριστικά που αναφέρονται σε απόλυτα μεγέθη, όπως:
   3.1. Το συνολικό εμβαδόν κάθε οικοδομικού τετραγώνου σε τετραγωνικά μέτρα (Total area)
   3.2. Η συνολική περίμετρος όλων των κενών κάθε οικοδομικού τετραγώνου σε μέτρα, που προκύπτει από το άθροισμα των περιμέτρων των κενών που ανήκουν στο τετράγωνο (Void perim).
4. Χαρακτηριστικά που αναφέρονται στο πλήθος των κενών και των κτισμένων χώρων σε κάθε οικοδομικό τετράγωνο:
   4.1. Το πλήθος των ανεξάρτητων κενών κάθε τετραγώνου (Void num).
   4.2. Το πλήθος των κτιρίων του κάθε τετραγώνου (Buildings).
   4.3. Το πλήθος των συνεχών νησίδων δομημένου χώρου σε κάθε τετράγωνο (Built num).
5. Μετρήσεις που σχετίζονται με γεωμετρικά χαρακτηριστικά του περιγράμματος:
   5.1. Μετράται το πλήθος των κορυφών του σχήματος του περιγράμματος του οικοδομικού τετραγώνου (Vertices). Το μέγεθος αυτό αποτελεί μια στοιχειώδη αριθμητική έκφραση του γεωμετρικού σχήματος της κάτοψης του οικοδομικού τετραγώνου.
6. Μετρήσεις που σχετίζονται με το βαθμό ανοιχτότητας των κενών προς το δημόσιο χώρο:
7. Καταγράφεται το ποσοστό των κενών που είναι άμεσα προσβάσιμα από την περίμετρο του τετραγώνου (Open voids%). Το μέγεθος αυτό εκφράζεται ως το ποσοστό του αριθμού των προσβάσιμων κενών προς το σύνολο των κενών και αναφέρεται στο πλήθος τους και όχι στο μέγεθός τους.

Εικόνα 2 - 7.

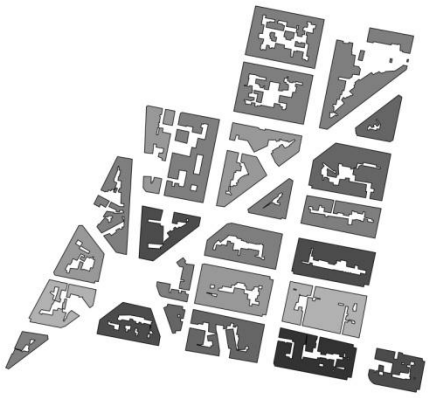
Υφιστάμενα ύψη κτιρίων για τις τέσσερις περιοχές της Αθήνας

(Εργαστήριο Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών του Τομέα Πολεοδομίας και Χωροταξίας της Σχολής Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ)

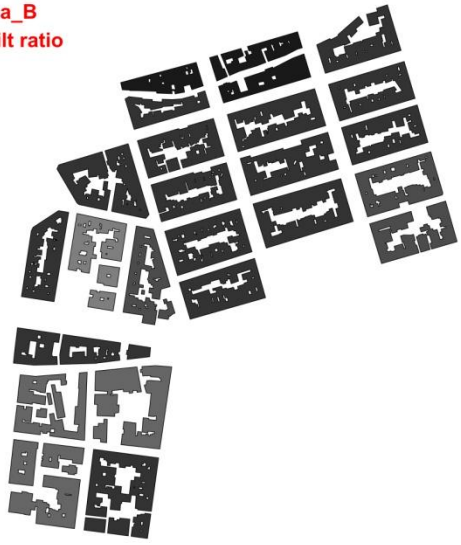
[12] Η πραγματοποιημένη κάλυψη σε πολλές περιπτώσεις διαφέρει σημαντικά από την επιτρεπόμενη κάλυψη. Αν και η μέγιστη επιτρεπόμενη κάλυψη ανέρχεται σε ποσοστό 70% υπάρχουν παραδείγματα με κάλυψη ακόμα και 100%, είτε λόγω παράνομων επεκτάσεων, είτε σε περίπτωσης κτιρίων προγενέστερων της θέσπισης του ποσοστού αυτού.

area_A
built ratio

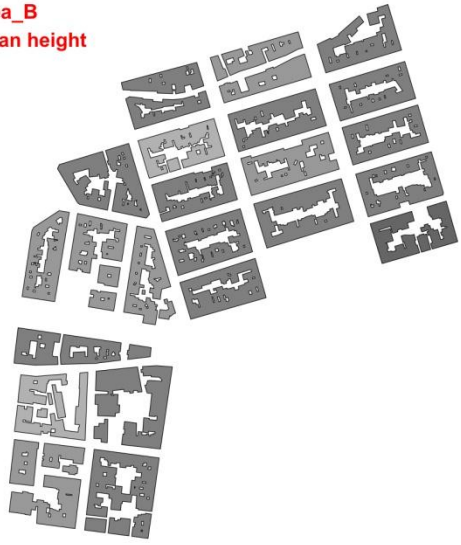
area_A
mean height



area_B
built ratio

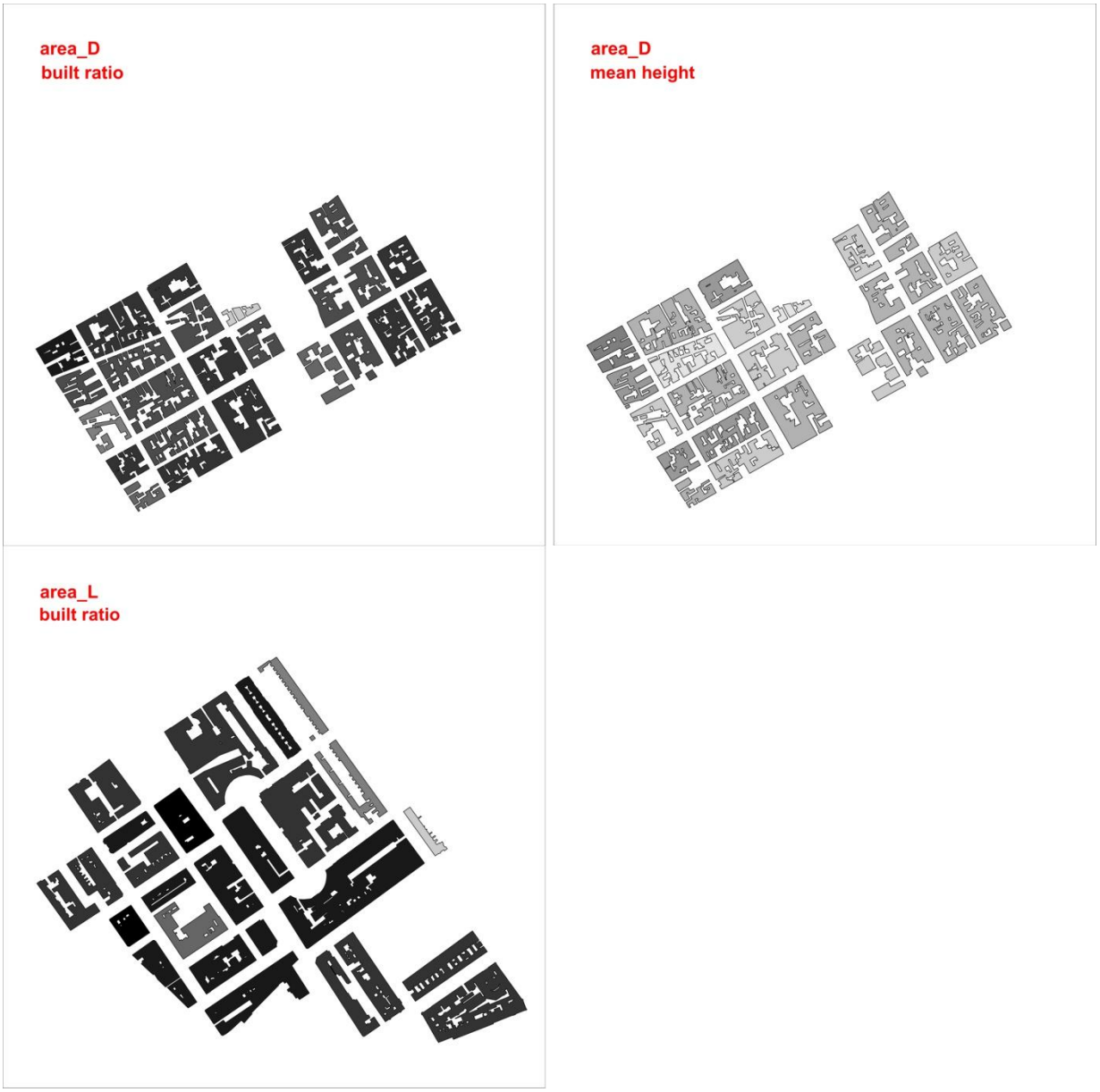


area_B
mean height



area_C
built ratio

area_C
mean height



Πίνακας 2 - 1

Μετρήσεις που αναφέρονται στην υφιστάμενη κατάσταση

Πραγματοποιημένη κάλυψη (αριστερά) και μέσο πλήθος ορόφων οικοδομικού τετραγώνου (δεξιά, μόνο για το δείγμα της Αθήνας)

2.4.1.3.5. Χρήση των μετρήσεων

Δεδομένου ότι πρόκειται για πιλοτική εφαρμογή με στόχο την επαλήθευση της εγκυρότητας της μεθόδου και τη διερεύνηση της ευαισθησίας της στη διάκριση βαθμών ομοιότητας και διαφοράς, έγιναν πολλές δοκιμές με διαφορετικά υποσύνολα των παραπάνω μετρήσεων, αλλά και με διαφορετικά υποσύνολα του δείγματος αδόμητων χώρων. Στις δοκιμές που περιλαμβάνουν το σύνολο του δείγματος, συμμετέχουν μόνο οι μετρήσεις που αναφέρονται στην υφιστάμενη κατάσταση και εξαιρούνται εκείνες που σχετίζονται με κανονισμούς ή με ύψη κτιρίων, καθώς δεν παρέχονται οι σχετικές πληροφορίες για το δείγμα του Λονδίνου.

2.4.1.4. Εφαρμογή σε άγνωστο δείγμα

Από την πιλοτική εφαρμογή και τον πειραματισμό με διαφορετικούς συνδυασμούς και υποσύνολα μετρήσεων φάνηκε ότι οι μετρήσεις που αναφέρονται σε όρους δόμησης και κανονισμούς και όχι στην υφιστάμενη κατάσταση εισάγουν μεροληψία [bias] στο σύστημα επιβάλλοντας δομές που σχετίζονται με τις προκαθορισμένες κατηγορίες που συνιστούν τα κριτήρια αξιολόγησης. Έτσι προκαλείται μια κυκλικά τροφοδοτούμενη σύγκλιση των αποτελεσμάτων με τα κριτήρια επιλογής του δείγματος και αξιολόγησης της κατηγοριοποίησης, ενώ στόχος είναι η περιγραφή της φυσικής δομής και μορφής του χώρου. Επιπλέον, στη δεύτερη εφαρμογή, στην οποία το δείγμα προέρχεται εξ ολοκλήρου από την ίδια περιοχή οι όροι δόμησης είναι ομοιογενείς, οπότε εξ ορισμού δεν έχει νόημα ο συνυπολογισμός τους. Οι παράγοντες αυτοί οδήγησαν στην απόφαση οι μετρήσεις για τη δεύτερη εφαρμογή να αναφέρονται αποκλειστικά σε υφιστάμενα χαρακτηριστικά των εξεταζόμενων αστικών κενών, όπως αυτά αποτυπώνονται στις αντίστοιχες κατόψεις.

2.4.1.4.1. Εργαλείο

Για την ποσοτικοποίηση και μέτρηση αριθμητικών χαρακτηριστικών των κατόψεων γράφτηκαν αλγόριθμοι σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic for Applications, εντός του σχεδιαστικού λογισμικού Microstation της Bentley. Τα αποτελέσματα εξάγονται σε πίνακες κειμένου, στο λογισμικό Microsoft Office Excel.

2.4.1.4.2. Εισερχόμενα. Μορφή δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε, ο υπολογισμός των τιμών των επιλεγμένων μετρικών χαρακτηριστικών των κατόψεων γίνεται βάσει της σχεδιαστικής τους αναπαράστασης εντός λογισμικού CAD. Ως υπόβαθρο χρησιμοποιείται ο χάρτης της ΕΛΣΤΑΤ από την απογραφή οικοδομών και κτιρίων της 1ης Δεκεμβρίου 2000 της ΕΣΥΕ, που περιλαμβάνει τόσο τα περιγράμματα των οικοδομικών τετραγώνων όσο και των κτιρίων.

2.4.1.4.3. Αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος τρέχει εντός του σχεδιαστικού λογισμικού, οπότε οι μετρήσεις γίνονται απ' ευθείας πάνω στο χάρτη της περιοχής.

2.4.1.4.4. Οι μετρήσεις

Συγκεκριμένα, στην εφαρμογή αυτή πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω μετρήσεις:

1. Μετρήσεις που αναφέρονται στο απόλυτο μέγεθος του οικοδομικού τετραγώνου στο οποίο ανήκει ο κάθε αδόμητος χώρος. Για τη μέτρηση αυτή, ο αλγόριθμος επιλέγει διαδοχικά τα περιγράμματα των οικοδομικών τετραγώνων, όπως δίνονται από την ΕΛΣΤΑΤ ως κλειστά σχήματα, βάσει της αρίθμησής τους και υπολογίζει:
   1.1. Τη συνολική περίμετρο του περιγράμματος του οικοδομικού τετραγώνου σε μέτρα (Otperimeter)
   1.2. Το εμβαδόν του οικοδομικού τετραγώνου σε τετραγωνικά μέτρα (Otarea)
2. Μετρήσεις που αναφέρονται στο απόλυτο μέγεθος του κάθε αδόμητου χώρου. Ομοίως, ο αλγόριθμος επιλέγει διαδοχικά τα περιγράμματα των αδόμητων χώρων, βάσει της αρίθμησής τους και υπολογίζει:
   2.1. Τη συνολική περίμετρο του αδόμητου χώρου σε μέτρα (voidPerimeter)

2.2. Το εμβαδόν του αδόμητου χώρου σε τετραγωνικά μέτρα (voidArea)

3. Μετρήσεις που σχετίζονται με το βαθμό ανοιχτότητας προς το δημόσιο χώρο. Για το σκοπό αυτό όλες οι ανοιχτές πλευρές των αδόμητων χώρων, που δεν συμπίπτουν με τμήματα περιγραμμάτων κτιρίων, σημαίνονται στο χάρτη. Βάσει αυτών, για κάθε κενό υπολογίζεται:
   3.1. Το πλήθος των ανοιχτών πλευρών (openEdges)
   3.2. Το συνολικό μήκος των ανοιχτών πλευρών σε μέτρα, που δίνεται ως το άθροισμα των μηκών όλων των ανοιχτών πλευρών (openPerimLen)
   3.3. Ο λόγος του συνολικού μήκους των ανοιχτών πλευρών προς την περίμετρο του αντίστοιχου αδόμητου χώρου (openToVoidPerim). Το μέγεθος αυτό εκφράζει το ποσοστό ανοιχτότητας της περιμέτρου.
4. Μετρήσεις που σχετίζονται με γεωμετρικά χαρακτηριστικά του περιγράμματος:
   4.1. Σημειώνεται αν ο εκάστοτε αδόμητος χώρος εμφανίζει γωνιακό άνοιγμα (corner). Η μέτρηση αυτή αποδίδει ποιοτικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη γεωμετρία και την ανοιχτότητα, αφού ένα γωνιακό άνοιγμα, αποτελούμενο από δύο ανοιχτές ακμές με κοινό άκρο, διαφέρει αντιληπτικά από δύο ανεξάρτητες ανοιχτές ακμές, αν και στις δύο περιπτώσεις το πλήθος ανοιχτών ακμών είναι το ίδιο.
   4.2. Μετράται το πλήθος των κορυφών του σχήματος του περιγράμματος (vertNum). Το μέγεθος αυτό αποτελεί μια στοιχειώδη αριθμητική έκφραση της πολυπλοκότητας και της θραυσματικότητας της κάτοψης.
5. Μετρήσεις που αναφέρονται στα κτίρια που περιβάλλουν το κάθε αστικό κενό:
   5.1. Καταγράφεται το πλήθος των κτιρίων που βρίσκονται σε επαφή με το εκάστοτε κενό (surroundBuild). Αυτά μπορεί να εφάπτονται του περιγράμματος του κενού κατά μήκος μιας ή περισσότερων ακμών ή να υλοποιούν μόνο μια κορυφή του.
   5.2. Υπολογίζεται το πλήθος των ελεύθερων κτιρίων που βρίσκονται εντός του περιγράμματος (containedBuild), με τη μορφή δομημένων νησίδων που δεν εφάπτονται στην περίμετρο.
6. Μετρήσεις που συσχετίζουν το εκάστοτε κενό με το οικοδομικό τετράγωνο στο οποίο ανήκει, με όρους μεγέθους. Έτσι, εκτός από τα απόλυτα μεγέθη, δίνεται μια ένδειξη σχετικού μεγέθους που εκφράζει τη συμβολή κάθε κενού στην αντιληπτική ανοιχτότητα του οικοδομικού τετραγώνου. Υπολογίζεται:
   6.1. Ο λόγος του εμβαδού του κενού προς το εμβαδό του οικοδομικού τετραγώνου (voidToBlockArea). Η μέτρηση αυτή αποτελεί μια τοπική ένδειξη του αντίστροφου της κάλυψης.
   6.2. Ο λόγος του συνολικού μήκους των ανοιχτών πλευρών προς την περίμετρο του οικοδομικού τετραγώνου (openPerim/Otperim). Η μέτρηση αυτή παρέχει μια αριθμητική έκφραση της ανοιχτότητας, καθώς κινούμαστε περιμετρικά του τετραγώνου.

2.4.1.4.5. Εξερχόμενα

Οι τιμές που προκύπτουν για κάθε αδόμητο χώρο από τις παραπάνω μετρήσεις εξάγονται σε μορφή κειμένου σε πίνακα στο λογισμικό Office excel.

2.4.2. Γεωμετρικά μεγέθη. Φρακταλική ή μορφοκλασματική διάσταση

2.4.2.1. Μέτρηση της φρακταλικής διάστασης: Μέθοδος και σημασία

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το βαθμό θραυσματικότητας, την πολλαπλότητα των κλιμάκων, την πολυπλοκότητα και την αυτοομοιότητα θεωρείται ότι εκφράζονται επαρκώς από τη φρακταλική ή μορφοκλασματική διάσταση (Mandelbrot, 1982) των περιγραμμάτων των κατόψεων των εξεταζόμενων χώρων. Η μέθοδος που εφαρμόζεται για τον υπολογισμό της φρακταλικής διάστασης είναι η «Αρίθμηση Κουτιών» [Box-Counting], μια γραφική μέθοδος που υπολογίζει τη διάσταση Minkowski – Bouligand, βασιζόμενη στην επαναληπτική υπέρθεση ενός κανάβου σταδιακά μειούμενης κλίμακας πάνω από την υπό μέτρηση δομή. Σε κάθε διαδοχική κλίμακα, απαριθμείται το πλήθος των κελιών του κανάβου που περιέχουν τμήματα της δομής και η φρακταλική διάσταση δίνεται από το συσχετισμό μεταξύ κλιμάκων.

2.4.2.2. Φρακταλική διάσταση: Ορισμοί και χαρακτηριστικά

Η φρακταλική διάσταση είναι ένα μέτρο της διάστασης των φρακταλικών δομών. Αποτελεί ποσοτικό δείκτη της πολυπλοκότητάς τους, εκφρασμένης μέσω του λόγου της μεταβολής της λεπτομέρειας προς τη μεταβολή της κλίμακας (Mandelbrot, 1982). Αντιπροσωπεύει το ρυθμό ανάπτυξης του μήκους μιας φρακταλικής καμπύλης μεταξύ διαδοχικών σταδίων γένεσης (Bovill, 1996), εκφράζοντας το βαθμό στον οποίο ένα φρακταλικό σύνολο πληροί το χώρο καθώς ελαττώνεται η κλίμακα παρατήρησης. Σύμφωνα με τον Bovill (1996: 27), «η φρακταλική διάσταση παρέχει ένα ποσοτικοποιήσιμο μέτρο της ανάμιξης τάξης και έκπληξης σε μια ρυθμική σύνθεση». «Οπτικά είναι η έκφραση του βαθμού αδρότητας, δηλαδή του πόση υφή έχει το αντικείμενο» (Lorenz, 2003: 25).

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί και τρόποι υπολογισμού της φρακταλικής διάστασης[13]. Ωστόσο, σύμφωνα με τον Mandelbrot (1982: 29) «η λίστα των πιθανών εναλλακτικών διαστάσεων μπορεί να μειωθεί σε δύο […]. Η παλαιότερη και περισσότερο διερευνημένη ανάγεται στον Hausdorff και χρησιμεύει για τον προσδιορισμό της φρακταλικής διάστασης. Η απλούστερη είναι η διάσταση ομοιότητας [similarity dimension]: είναι λιγότερο γενική, αλλά σε πολλές περιπτώσεις περισσότερο από επαρκής».

Η φρακταλική διάσταση αναφέρεται εξ ορισμού σε μαθηματικά φράκταλς, δηλαδή σε θεωρητικές, απείρως αυτοόμοιες δομές. Παρόλα αυτά, φυσικοί και κατασκευασμένοι σχηματισμοί που δεν αποτελούν μαθηματικά φράκταλς, όπως αρχιτεκτονικές δομές και αναπαραστάσεις αυτών, συχνά εμφανίζουν φρακταλικές ιδιότητες που μπορούν να προσεγγιστούν μέσω της εκτιμώμενης φρακταλικής τους διάστασης. Ο Mandelbrot ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τη φρακταλική διάσταση εκτός της περιοχής των καθαρών μαθηματικών, για την περιγραφή φυσικών δομών. Η τιμή της φρακταλικής διάστασης και η σχέση της με την τοπολογική (Ευκλείδεια) διάσταση (Dτ) αποτελεί γι’ αυτόν κριτήριο για το αν μια δομή είναι φρακταλικό σύνολο ή όχι, ανεξάρτητα από το αν πρόκειται για μαθηματική ή φυσική οντότητα. Συγκεκριμένα, αναφέρει ότι «η τοπολογική διάσταση Dτ είναι πάντα ακέραιος αριθμός, αλλά η φρακταλική διάσταση D δεν είναι απαραίτητα ακέραιη. Οι δύο διαστάσεις δεν χρειάζεται να συμπίπτουν, παρά μόνο ικανοποιούν την ανισότητα του Szpilrajn: D ≥ Dτ. Για όλο τον Ευκλείδη, D = Dτ». Και καταλήγει στο ότι «ένα φράκταλ είναι εξ ορισμού ένα σύνολο

[13] Ενδεικτικά, διαφορετικές εκφράσεις της φρακταλικής διάστασης αποτελούν οι: Hausdorff Dimension, Minkowski-Bouligand Dimension, Similarity Dimension, Correlation Dimension, Information Dimension, Lyapunov Dimension, Pointwise Dimension, q-Dimension (Weisstein, 2016a, Frame, Mandelbrot & Neger, 2016).

για το οποίο η διάσταση Hausdorff Besicovitch (φρακταλική διάσταση D) υπερβαίνει αυστηρά την τοπολογική διάσταση (Dτ). Κάθε σύνολο με μη-ακέραια D είναι φράκταλ. Ωστόσο, ένα φράκταλ μπορεί να έχει ακέραια D» (Mandelbrot,1982: 15).

Σύμφωνα με αυτό τον ορισμό, μια μη μαθηματική δομή θεωρείται φρακταλικό σύνολο αν έχει δεκαδική φρακταλική διάσταση, μεγαλύτερη από την τοπολογική της διάσταση, και σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και αν έχει ακέραια φρακταλική διάσταση.

2.4.2.2.1. Αυτοομοιότητα και αυτοσυνάφεια [self-similarity and self-affinity]

Η χαρακτηριστικότερη ίσως ιδιότητα των φρακταλικών συνόλων είναι η αυτοομοιότητα, δηλαδή η εμφάνιση των ίδιων δομών σε κάθε κλίμακα, επ' άπειρο. Σύμφωνα με τον Mandelbrot, «τα περισσότερα φράκταλς είναι αμετάβλητα σε ορισμένους μετασχηματισμούς κλίμακας. Αυτά αποκαλούνται κλιμακωτά [scaling]. Ένα φράκταλ που είναι αμετάβλητο υπό κανονική γεωμετρική ομοιότητα καλείται αυτοόμοιο [self-similar]» (Mandelbrot, 1982: 18). Ή αλλιώς «Όταν κάθε τμήμα ενός σχήματος είναι γεωμετρικά όμοιο με το όλο, το σχήμα […] καλείται αυτοόμοιο» (Mandelbrot, 1982: 34).

Επειδή ο όρος αυτοομοιότητα συνδέεται με την ιδιότητα, που μόνο τα θεωρητικά φράκταλ εμφανίζουν, να μην επηρεάζονται κατά τις μεταβολές κλίμακας, στην περίπτωση μη μαθηματικών φρακταλικών συνόλων είναι ακριβέστερο να χρησιμοποιείται ο όρος αυτοσυνάφεια [self-affinity] ή στατιστική αυτοομοιότητα[14] (Mandelbrot, 1967: 636).

Ωστόσο, στην πράξη οι όροι αυτοομοιότητα, αυτοσυνάφεια και κλιμάκωση [self similarity, self affinity, scaling] χρησιμοποιούνται συχνά ως συνώνυμες (Mandelbrot, 1982: 349) και αναφέρονται γενικά στην ανεξαρτησία από τη μεταβολή της κλίμακας.

2.4.2.3. Η φρακταλική διάσταση αρχιτεκτονικών δομών

2.4.2.3.1. Εφαρμογές της φρακταλικής γεωμετρίας και διάστασης στην αρχιτεκτονική ανάλυση και σύνθεση

Όπως προαναφέρθηκε, το βασικό χαρακτηριστικό των αρχιτεκτονικών δομών που μπορεί να θεωρηθεί ως φρακταλική ιδιότητα και να μελετηθεί ως τέτοια, είναι η (στατιστική) αυτοομοιότητα. Επίσης, εφόσον η φρακταλική διάσταση αναφέρεται στο συσχετισμό μεταξύ κλιμάκων και στο ρυθμό της χωρικής ανάπτυξης από τη μια κλίμακα στην άλλη, η προσεγγιστική φρακταλική διάσταση μη φρακταλικών σχηματισμών μπορεί να εκφράσει το βαθμό εμφάνισης ιδιοτήτων όπως η θραυσματικότητα, η πολυπλοκότητα, η παρουσία πολλαπλών κλιμάκων και να αποδώσει στοιχεία σχετικά με ποιοτικά στοιχεία όπως η σχέση μέρους-όλου, οι αναλογίες, ο ρυθμός.

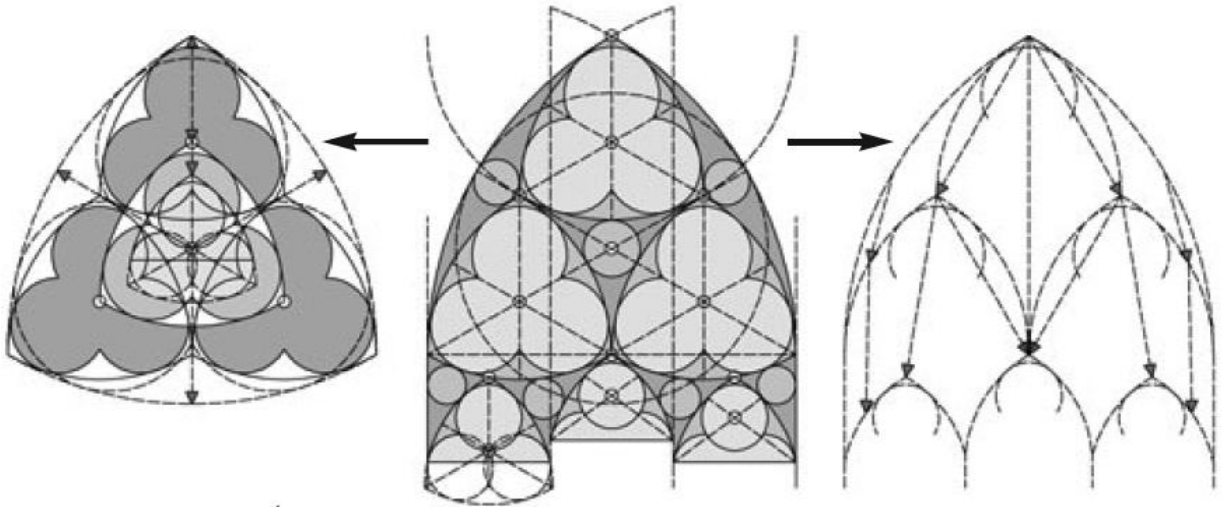
Σ' αυτό το πλαίσιο, τα φράκταλς έχουν χρησιμοποιηθεί στο πεδίο της αρχιτεκτονικής, τόσο για αναλυτικούς όσο και για συνθετικούς σκοπούς, σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες.

Ίσως είναι χρήσιμο να γίνει μια διάκριση μεταξύ περιπτώσεων εμπρόθετης εφαρμογής φρακταλικών χαρακτηριστικών και κανόνων γένεσης (Ostwald, 2001) και περιπτώσεων εκ των υστέρων ερμηνείας

[14] «Οποιαδήποτε δομή είναι αυτοόμοια αν έχει υποστεί μετασχηματισμούς κατά τους οποίους όλες οι αναλογίες της δομής έχουν μεταβληθεί κατά τον ίδιο αριθμητικό παράγοντα. […] Αν ένας μετασχηματισμός μειώνει ένα αντικείμενο ανισότροπα, τότε ο μετασχηματισμός ονομάζεται αυτοσυναφής. […] Η αυτοσυνάφεια λέγεται και στατιστική αυτοομοιότητα» (Lorenz, 2003: 10).

δομών και μορφών μέσω της ανάγνωσης σε αυτές φρακταλικών χαρακτηριστικών. Στην πρώτη κατηγορία υπάγονται έργα αρχιτεκτόνων, όπως οι Peter Eisenman, Aldo Van Eyck, Coop Himmelblau, Arata Isozaki, Asymptote και άλλοι, οι οποίοι, μετά τη συστηματική μελέτη της φρακταλικής γεωμετρίας από τον Mandelbrot στη δεκαετία του 70, χρησιμοποίησαν, περισσότερο ή λιγότερο ρητά, στοιχεία της γεωμετρίας αυτής, άλλοτε ως αναφορές με συμβολικό ή σημειολογικό χαρακτήρα και άλλοτε ως οργανωτικούς κανόνες σχεδιασμού. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και ερευνητικές προσπάθειες συστηματικής συγκρότησης σχεδιαστικών εργαλείων και μεθοδολογιών βάσει κανόνων γένεσης φρακταλικών δομών (Batty, 2007, Lorenz, 2003, Bovill, 1996, 2000).

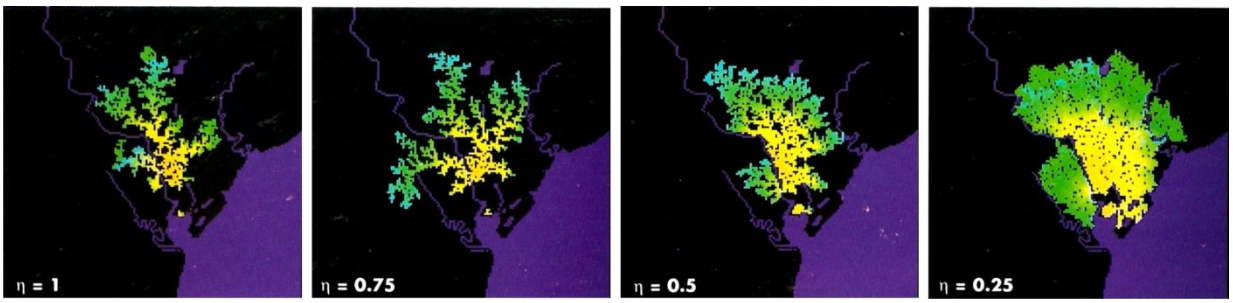
Στη δεύτερη κατηγορία έχουμε την ανάγνωση φρακταλικών χαρακτηριστικών σε κατασκευασμένες δομές που εμφανίζουν κυρίως στοιχεία αυτοομοιότητας, όπως για παράδειγμα στη γοτθική ναοδομία (Εικόνα 2 - 8), σε ινδουιστικούς ναούς και Μπαρόκ εκκλησίες, σε παραδοσιακούς οικισμούς διαφόρων πολιτισμών (σχεδιασμένους ή μη), αλλά ακόμα και σε έργα νεότερων και σύγχρονων αρχιτεκτόνων όπως ο Frank Lloyd Wright (Bovill, 1996, Lorenz, 2009, Ostwald, Vaughan & Tucker, 2008), ο Louis Sullivan (Bovill, 1996), ο Le Corbusier (Bovill, 1996, Ostwald, Vaughan & Tucker, 2008), η Eileen Gray (Ostwald, Vaughan & Chalup, 2008), ο Peter Eisenman (Ostwald & Vaughan, 2009) και άλλοι.



Εικόνα 2 - 8.
Φρακταλικά χαρακτηριστικά γοτθικής ναοδομίας (Lorenz, 2003)

Εξαιτίας ακριβώς της βασικής ιδιότητας των φρακταλικών δομών να διατρέχουν όλες τις κλίμακες, η εφαρμογή τους στην αρχιτεκτονική επεκτείνεται σε όλες τις κλίμακες σχεδιασμού.

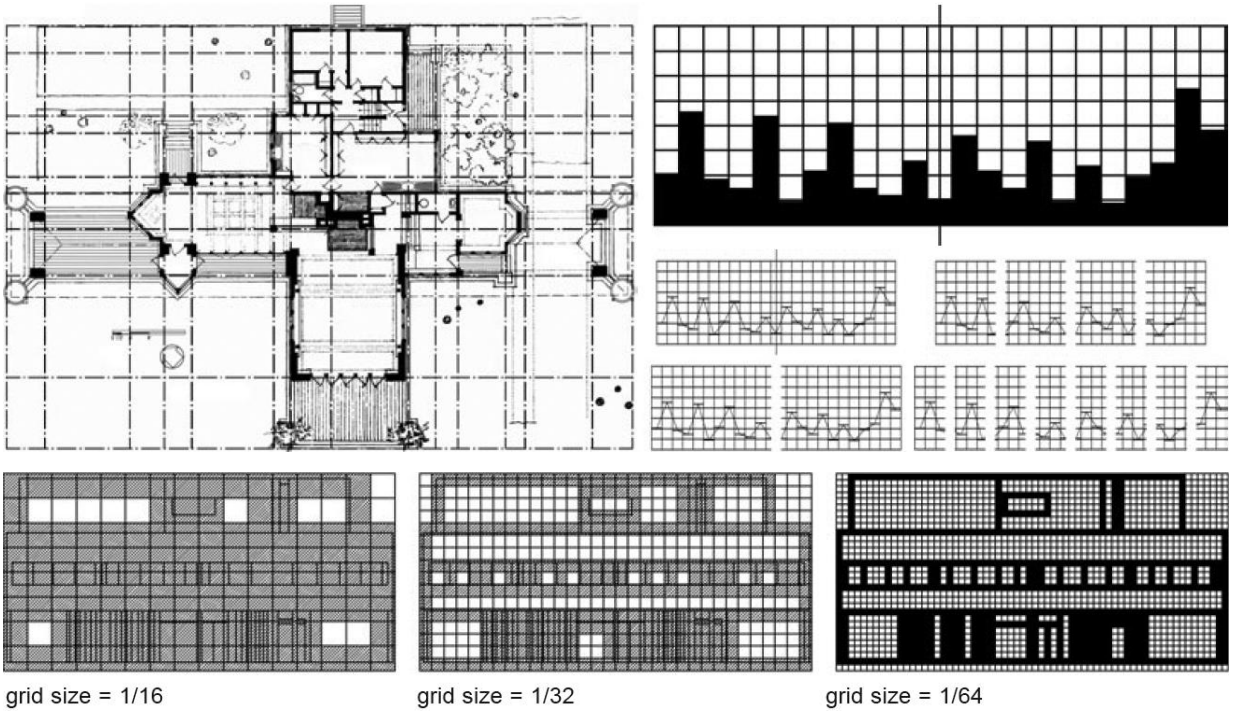
Σε αστική κλίμακα, η αναλογία της φρακταλικής αυτοομοιότητας έχει βρει εφαρμογή στην ανάλυση και προσομοίωση αστικών διατάξεων και της χωρικής τους ανάπτυξης (Εικόνα 2 - 9), καθώς «ως προς τη χωρική δομή, οι πόλεις κατανέμουν χωρικά τις υποδομές τους κατά τρόπο ώστε τα δίκτυα διανομής να πληρούν το χώρο αποτελεσματικά, διοχετεύοντας αγαθά και ανθρώπους κατά μήκος δενδριτικών δικτύων που πληρούν το χώρο κατά τον οικονομικότερο δυνατό τρόπο. Αυτά τα δίκτυα υφίστανται με την ίδια μορφή και τις ίδιες ιδιότητες πλήρωσης του χώρου σε διαφορετικές κλίμακες και διαμέσου διαφορετικών χρόνων ως προς την αστική ανάπτυξη» (Batty, 2007: 14). Η φρακταλική πόλη έχει μια δομή που εκφράζεται με την ίδια μορφολογία σε διαφορετικές κλίμακες (Batty & Longley, 1994).



Εικόνα 2 - 9.

Φρακταλική προσομοίωση της αστικής ανάπτυξης της πόλης του Cardiff (Batty & Longley, 1994)

Σε κλίμακα κτιρίου, η γεωμετρία των φράκταλς έχει χρησιμοποιηθεί τόσο ως συνθετικό εργαλείο όσο και ως αναλυτικό μέσο για την προσέγγιση ζητημάτων όπως οι αναλογίες και ο ρυθμός (Bovill, 1996, 2000). Ιδιαίτερα η φρακταλική διάσταση αρχιτεκτονικών αναπαραστάσεων έχει χρησιμοποιηθεί ως δείκτης πολυπλοκότητας κατόψεων και όψεων κτιρίων[15] (Lorenz, 2003, Bovill, 1996, 2000) (Εικόνα 2 - 10).



Εικόνα 2 - 10.

Ανάλυση κατόψεων και όψεων βάσει φρακταλικού ρυθμού και φρακταλικής διάστασης (Bovill, 1996)

Ανάλυση της κάτοψης του Willits House του Frank Lloyd Wright βάσει φρακταλικού ρυθμού (πάνω) και φρακταλική διάσταση της όψης της Villa Savoye του Le Corbusier βάσει της μεθόδου «αρίθμησης κουτιών» (κάτω)

2.4.2.4. Επιλογή της φρακταλικής διάστασης και συγκριτική αξία

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, που αναφέρεται στην περιγραφή και συγκριτική ανάλυση άτυπων χωρικών σχηματισμών βάσει φυσικών χαρακτηριστικών της μορφής και της δομής τους, η

[15] Αναφερόμενος στη μέτρηση της φρακταλικής διάστασης κατόψεων, ο Lorenz διαπιστώνει ότι «η φρακταλική διάσταση είναι ένα μετρήσιμο χαρακτηριστικό της τάξης, για χαμηλές διαστάσεις κοντά στη μονάδα, και της έκπληξης, για υψηλότερες διαστάσεις κοντά στο δύο» (Lorenz, 2003: 50). Αυτή είναι μια πολύ γενικευμένη και εμπειρική παρατήρηση, αλλά μπορεί να είναι χρήσιμη σαν ένα πρώτου επιπέδου κριτήριο για τη σύγκριση μεταξύ ενός μεγάλου πλήθους παραδειγμάτων.

φρακταλική διάσταση χρησιμοποιείται ως δείκτης πολυπλοκότητας, αυτοομοιότητας, θραυσματικότητας και συμπαρουσίας πολλαπλών κλιμάκων.

Αυτές οι ιδιότητες σχετίζονται άμεσα με τη χωρική εμπειρία, επηρεάζοντας καθοριστικά την αντίληψη της επανάληψης και της διαφοροποίησης. Σύμφωνα με τον Lorenz, «η φρακταλική γεωμετρία περιγράφει πολύπλοκες μορφές, αποκαλύπτοντας την υποκείμενη τάξη και κανονικότητα» (Lorenz, 2003: 55). Ο βαθμός και η κλίμακα της μαιανδρικής δομής των εξεταζόμενων αδόμητων χώρων επηρεάζει την οπτική διείσδυση και την αντιληπτική τους ποιότητα ως προς το οπτικό βάθος και την επαλληλία, τόσο από την εσωτερική, συγχρονική οπτική του χρήστη του ίδιου του χώρου ή των γύρω κτιρίων, όσο και από την εξωτερική και αποσπασματική οπτική του περαστικού που τους αντιλαμβάνεται μέσω ασυνεχών φυγών από το επίπεδο του δρόμου, διαμέσου διακοπών του αστικού ιστού στην περίμετρο του οικοδομικού τετραγώνου.

Έτσι, η φρακταλική διάσταση των κατόψεων των οικοδομικών τετραγώνων και των αστικών κενών, θεωρείται ότι εκφράζει με συνεκτικό τρόπο γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χώρου που δεν μπορούν να περιγραφούν εύκολα με ρητούς όρους και να αποδοθούν από μετρήσεις της Ευκλείδειας γεωμετρίας και της τοπολογίας τους.

Σύμφωνα με τον Mandelbrot (1982: 357) η φρακταλική διάσταση δεν αποτελεί τοπολογική μετρική έννοια και επομένως διαφορές στη φρακταλική διάσταση εκφράζουν διαφορές σε μια μη τοπολογική άποψη της μορφής, την οποία αποκαλεί «φρακταλική μορφή» (Mandelbrot, 1982: 17). Ο συσχετισμός όμως χαρακτηριστικών της φρακταλικής μορφής με την αριθμητική τιμή της φρακταλικής διάστασης δεν εκφράζεται με ακριβή και σαφώς περιγράψιμο τρόπο. Επιπλέον, η υπολογιζόμενη φρακταλική διάσταση ενός συγκεκριμένου συνόλου μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τη μέθοδο μέτρησης αλλά και με παράγοντες όπως η κλίμακα παρατήρησης και ο τρόπος αναπαράστασης της υπό μέτρηση δομής, με αποτέλεσμα να μην παρέχεται ένα απόλυτο μέτρο της «φρακταλικότητάς» της μέσω της φρακταλικής διάστασης. Εφόσον όμως στην συγκεκριμένη εφαρμογή εξετάζεται ένα πλήθος δομών της ίδιας τάξης (κατόψεις οικοδομικών τετραγώνων ή αδόμητων χώρων αντίστοιχα, αναπαριστάμενων με συνεκτικό τρόπο και στην ίδια κλίμακα ανάλυσης), η φρακταλική διάσταση αντιμετωπίζεται ως σχετικό μέγεθος που επιτρέπει το συγκριτικό συσχετισμό μεταξύ των αναπαριστάμενων χώρων ως προς έναν ασαφή αλλά συνεκτικά εκφρασμένο βαθμό φρακταλικότητας[16].

2.4.2.5. Εύρος τιμών της φρακταλικής διάστασης

Όπως προαναφέρθηκε, σύμφωνα με τον Mandelbrot (2004: 38), «ένα φρακταλικό σύνολο είναι ένα σύνολο του οποίου η φρακταλική (Hausdorff-Besicovitch) διάσταση αυστηρά ξεπερνά την τοπολογική διάσταση». Για τα απλά γεωμετρικά σχήματα, που δεν έχουν φρακταλικά χαρακτηριστικά, η φρακταλική διάσταση ισούται με την τοπολογική.

Στην περίπτωση των κατόψεων, όπου περιγράμματα χώρων αναπτύσσονται στο επίπεδο, η φρακταλική διάσταση είναι ένας δεκαδικός αριθμός μεταξύ της μονάδας, που είναι η Ευκλείδεια ή τοπολογική διάσταση της γραμμής, και του δύο, της Ευκλείδειας ή τοπολογικής διάστασης της επιφάνειας.

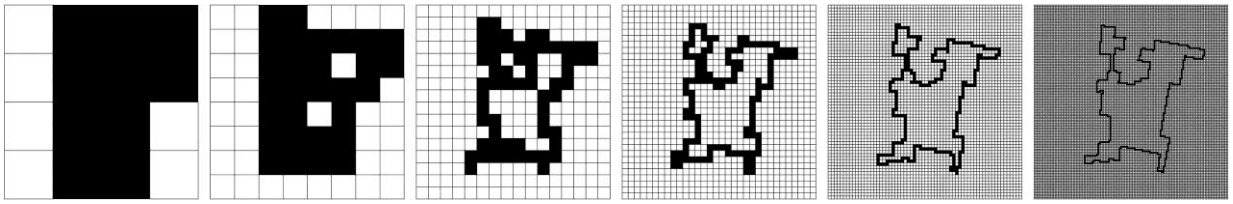
[16] Η φρακταλική διάσταση αντιμετωπίζεται ως εκφραζόμενη σε διατακτική και όχι αναλογική κλίμακα, δηλαδή οι τιμές τις έχουν νόημα σε συσχετισμός μεταξύ τους.

2.4.2.6. Μέθοδος μέτρησης της φρακταλικής διάστασης: Box-counting

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της φρακταλικής διάστασης των κατόψεων ουσιαστικά μετράει τη διάσταση Minkowski-Bouligand, γνωστή και ως «διάσταση αρίθμησης κουτιών» [box-counting dimension]. Η διάσταση αυτή είναι αντίστοιχη με τη διάσταση ομοιότητας που αναφέρει ο Mandelbrot και προσφέρεται για την περίπτωση μη μαθηματικών φρακταλικών δομών γιατί δεν απαιτεί τη μαθηματική περιγραφή του κανόνα ανάπτυξης από τη μια κλίμακα στην επόμενη. Η μεταβολή της λεπτομέρειας ως προς τη μεταβολή της κλίμακας υπολογίζεται βάσει της υποδιαίρεσης του χώρου στον οποίο αναπτύσσεται το φρακταλικό σύνολο[17] σε διαρκώς μικρότερα τμήματα και της μέτρησης των τμημάτων που καταλαμβάνονται από το φρακταλικό σύνολο σε κάθε κλίμακα υποδιαίρεσης.

Πρακτικά, η μέθοδος αυτή βασίζεται σε μια επαναληπτική διαδικασία επίθεσης ενός κανάβου διαρκώς μειούμενης κλίμακας πάνω από την υπό μέτρηση δομή. Σε κάθε διαδοχική κλίμακα, απαριθμείται το πλήθος των κελιών που περιέχουν στοιχεία της δομής και η φρακταλική διάσταση δίνεται από το συσχετισμό μεταξύ κλιμάκων (Εικόνα 2 - 11).

Επειδή η μέτρηση γίνεται ουσιαστικά μέσω ενός εξωτερικού ως προς την εξεταζόμενη δομή στοιχείου, του κανάβου, η μέθοδος αυτή παρέχει μεγάλη ελευθερία ως προς τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης δομής και μπορεί να εφαρμοστεί τόσο σε εικόνα όσο και σε διανυσματικά γραφικά. Από την άλλη πλευρά, η διαμεσολάβηση του κανάβου επιφέρει μια σειρά περιορισμών που σχετίζονται με το συνολικό μέγεθος, την κλίμακα και τη θέση του κανάβου σε σχέση με την κλίμακα και τη θέση του σχεδίου, καθώς και με τον προσδιορισμό του πλήθους των επαναλήψεων για την ολοκλήρωση της μέτρησης. Δεδομένου όμως ότι η παρούσα εφαρμογή αναφέρεται σε συγκρίσιμες χωρικές αναπαραστάσεις, ως προς τον τρόπο απεικόνισης, το εύρος μεγέθους και το βαθμό λεπτομέρειας, θεωρείται ότι η μέθοδος αυτή προσφέρεται περισσότερο από άλλες και παρέχει σε μεάλο βαθμό συνεπή και συνεκτικά αποτελέσματα[18].



Εικόνα 2 - 11.
Box-counting σε Processing

Διαδοχικά στάδια αρίθμησης κουτιών που περιλαμβάνουν τμήμα της κάτοψης: N1=10, N2=29, N3=61, N4=133, N5=271, N6=537

2.4.2.7. Περιγραφή της μεθόδου: Ο αλγόριθμος

Γενικά, η φρακταλική διάσταση εκφράζει το λόγο μεταβολής της ανάπτυξης μιας δομής στο χώρο προς τη μεταβολή της κλίμακας παρατήρησης. Η γενική της έκφραση είναι

ds = Log(N)/Log(1/s)

όπου N είναι το πλήθος των όμοιων τμημάτων που διακρίνονται σε μια κλίμακα και s ο παράγοντας μεταβολής της κλίμακας.

[17] Στην περίπτωση των κατόψεων, το φρακταλικό σύνολο αναπτύσσεται στο επίπεδο.

Σε αναλογία με αυτή τη γενική διατύπωση και επειδή το N δεν μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα στην περίπτωση μη μαθηματικών φρακταλικών συνόλων, η προτεινόμενη μέθοδος προσεγγίζει τη φρακταλική διάσταση μέσω μιας εξωτερικής μονάδας μέτρησης, του κανάβου.

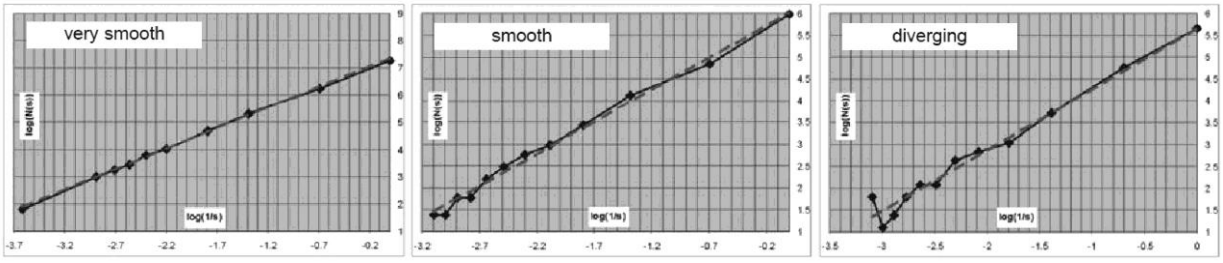
Έτσι, η μέθοδος «αρίθμησης κουτιών» υπολογίζει τη μεταβολή του πλήθους των «κουτιών», δηλαδή των κελιών ενός κανάβου που απαιτούνται για να καλυφθεί πλήρως η μετρώμενη δομή καθώς το μέγεθος των κουτιών ελαττώνεται.

Αν N(r) είναι το πλήθος των κελιών με μήκος πλευράς r που απαιτούνται για να καλυφθεί η δομή, η φρακταλική διάσταση ορίζεται ως:

$$Db = \lim_{s \to 0} (\log N(s) / \log (1/s))$$

Γραφικά, η φρακταλική διάσταση υπολογίζεται μέσω της γραφικής παράστασης της προκύπτουσας σχέσης των κελιών που περιλαμβάνουν τη δομή προς το σύνολο του κανάβου σε κάθε κλίμακα, εκφρασμένης σε ένα λογαριθμικό γράφημα. Δηλαδή ο άξονας των τετμημένων αναπαριστά το log (1/s) και ο άξονα των τεταγμένων το log (N(s)). Η κλίση της γραφικής παράστασης δίνει τη φρακταλική διάσταση της δομής.

Στην περίπτωση μαθηματικά αυτοόμοιων δομών, η κλίμακα ανάλυσης δεν έχει επίπτωση στη φρακταλική διάσταση και η παραπάνω γραφική παράσταση είναι ευθεία, οπότε η κλίση της είναι σταθερή και υπολογίζεται εύκολα. Για τις μη μαθηματικές φρακταλικές δομές όμως, συνήθως υπάρχουν διαφορές στη μετρώμενη φρακταλική διάσταση μεταξύ κλιμάκων. Έτσι, η γραφική παράσταση δεν είναι ευθεία και η ακρίβειά της εξαρτάται από το πλήθος των σημείων που λαμβάνονται, δηλαδή από το πλήθος των κλιμάκων στις οποίες εξετάζεται η φρακταλική δομή. Επειδή η γραφική παράσταση δεν είναι ευθεία, η κλίση της δεν είναι σταθερή μεταξύ κλιμάκων και η φρακταλική διάσταση αποδίδεται από την κλίση της καμπύλης παλινδρόμησης, δηλαδή της ευθείας γραμμής που προσεγγίζει βέλτιστα το σύνολο των σημείων. Η απόκλιση της καμπύλης παλινδρόμησης από την αρχική γραφική παράσταση αποτελεί μέτρο της συνεκτικότητας και της ακρίβειας της εκάστοτε μέτρησης: αν όλα τα σημεία βρίσκονται πάνω ή πολύ κοντά στη καμπύλη παλινδρόμησης, τα αποτελέσματα θεωρούνται ομαλά [smooth] ενώ όσο περισσότερο αποκλίνουν τα σημεία από την καμπύλη παλινδρόμησης, τα αποτελέσματα θεωρούνται αποκλίνοντα [diverging] και η μέτρηση αναξιόπιστη (Εικόνα 2 - 12).



Εικόνα 2 - 12.

Ομαλά και αποκλίνοντα αποτελέσματα αρίθμησης κουτιών (Lorenz, 2003: 122)

Διαφορετικοί βαθμοί σύγκλισης της γραφικής παράστασης log (1/s) προς log (N(s)) με την καμπύλη παλινδόμησης

Η απόκλιση μιας μέτρησης μπορεί να οφείλεται σε διαφορετικούς παράγοντες. Μπορεί να αποτελεί ένδειξη ότι η δομή που μετράται δεν έχει φρακταλικά χαρακτηριστικά και επομένως δεν υπάρχει

[18] Αναφορικά με τους περιορισμούς και τις αστοχίες στις μετρήσεις βλ. παρακάτω, κεφ. 2.4.2.8.

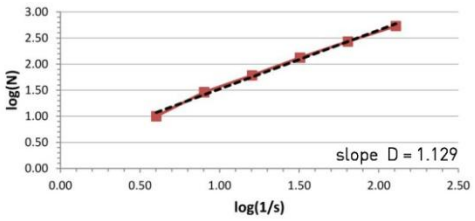
συνεκτικότητα στη μετάβαση μεταξύ κλιμάκων. Μεταβολές στη φρακταλική διάσταση από τη μια κλίμακα στην άλλη εμφανίζουν και οι πολυφρακταλικές δομές [multifractals], που είναι μεν φράκταλς αλλά αναπτύσσονται βάσει πολλαπλών κανόνων μετασχηματισμού κλίμακας. Η απόκλιση μπορεί όμως και να οφείλεται στην επιλογή ακατάλληλης κλίμακας κανάβου, δηλαδή σε πολύ μικρές ή πολύ μεγάλες υποδιαιρέσεις, ή στην αλλοίωση των αποτελεσμάτων λόγω ανεπαρκούς ποιότητας της ίδιας της αναπαράστασης της εξεταζόμενης δομής. Σύμφωνα με τον Lorenz (2003: 122), συνήθως οι μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρούνται στις μεγάλες κλίμακες ανάλυσης.

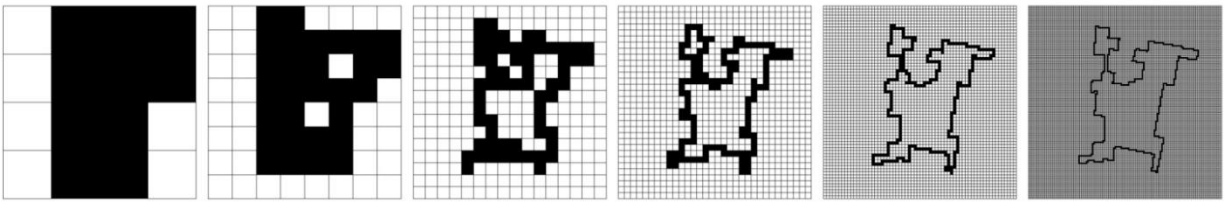
Επειδή η λογαριθμική γραφική παράσταση δεν είναι ευθεία, αλλά ουσιαστικά προσεγγίζεται μέσω διαδοχικών ευθύγραμμων τμημάτων μεταξύ των σημείων με συντεταγμένες (log (1/ε), log N(ε)) για κάθε κλίμακα μέτρησης, η συνολική φρακταλική διάσταση μπορεί εναλλακτικά να προσεγγιστεί υπολογίζοντας το μέσο όρο της κλίσης κάθε ευθύγραμμου τμήματος (Εικόνα 2 - 13). Η μέθοδος αυτή δεν είναι τόσο ακριβής και συνεπής ως προς το μαθηματικό ορισμό της φρακταλικής διάστασης, αλλά δεδομένου ότι στη συγκεκριμένη εφαρμογή η φρακταλική διάσταση αποτελεί ένα συγκριτικό μέγεθος, αν η μέθοδος αυτή εφαρμοστεί συνολικά σε όλο το πλήθος των δεδομένων, τα αποτελέσματα θα είναι συνεκτικά και συγκρίσιμα.

stage	N	log(N)	s	log(s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(si)-log(si-1)	Db
1	10	1	4	0.602			
2	29	1.462	8	0.903	0.462	0.301	1.536
3	61	1.785	16	1.204	0.323	0.301	1.073
4	133	2.124	32	1.505	0.339	0.301	1.125
5	271	2.433	64	1.806	0.309	0.301	1.027
6	537	2.730	128	2.107	0.297	0.301	0.987

Db=[log(N(i))-log(N(i-1))]/[log(s(i))-log(s(i-1))]

slope D: 1.149





Εικόνα 2 - 13.
Παράδειγμα γραφικού και προσεγγιστικού υπολογισμού φρακταλικής διάστασης

Αστικό κενό 1651: Γραφική παράσταση log (1/s) προς log (N(s)) και καμπύλη παλινδρόμησης (πάνω δεξιά). Πίνακας προσεγγιστικού υπολογισμού της φρακταλικής διάστασης (πάνω αριστερά), όπου Db: η φρακαλική διάσταση μεταξύ διαδοχικών σταδίων, N: το πλήθος των κουτιών που περιλαμβάνουν τμήμα της κάτοψης, s: το πλήθος των υποδιαιρέσεων κατά τον άξονα x, i: ο δείκτης του σταδίου. Η φρακταλική διάσταση υπολογίζεται σε 1.129 και 1.149 αντίστοιχα

2.4.2.8. Περιορισμοί στην εφαρμογή της μεθόδου και παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις

Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου μέτρησης επιφέρει κάποιους περιορισμούς και δυσκολίες που προκύπτουν κυρίως από το γεγονός ότι οι δομές που αναλύονται δεν είναι μαθηματικά φρακταλικά σύνολα καθώς επίσης και ότι το αντικείμενο που εξετάζεται δεν είναι η ίδια η χωρική δομή αλλά μια αναπαράστασή της. Και τα δύο αυτά γεγονότα σχετίζονται με ζητήματα κλίμακας και με το βαθμό λεπτομέρειας που μπορεί να ληφθεί υπόψη. Μια άλλη κατηγορία περιορισμών προκύπτει από την ίδια τη μέθοδο, καθώς η δομή αναλύεται μέσω του συσχετισμού της με ένα διακριτό και εξωτερικό προς αυτήν στοιχείο, τον κάναβο.

2.4.2.8.1. Κλίμακα ανάλυσης

Η φρακταλική διάσταση είναι εξ ορισμού ανεξάρτητη από την κλίμακα, λόγω της επ' άπειρο αυτοομοιότητας των φρακταλικών συνόλων. Έτσι, «αν αναλύσουμε τη δομή σε διαφορετικές κλίμακες, θα βρίσκουμε πάντα τα ίδια βασικά στοιχεία. Η φρακταλική διάσταση εκφράζει το συσχετισμό μεταξύ αυτών των διαφορετικών κλιμάκων» (Lorenz, 2003: 23).

Ωστόσο, αυτό ισχύει αυστηρά μόνο για τα μαθηματικά φράκταλς. Τα μη μαθηματικά φρακταλικά σύνολα είναι δυνατόν να εμφανίζουν χαρακτηριστικά αυτοομοιότητας μέχρι κάποια ελάχιστη κλίμακα ανάλυσης. Πέρα από αυτό το εύρος κλίμακας η δομή δεν εμφανίζει νέα λεπτομέρεια και ανάγεται σε ευθύγραμμα τμήματα, ενώ η φρακταλική της διάσταση μειώνεται στη μονάδα. Αυτή η ελάχιστη κλίμακα θέτει και το κατώτατο όριο πάνω από το οποίο έχει νόημα η μέτρηση της φρακταλικής διάστασης. Αυτό ισχύει για όλες τις μη μαθηματικές φρακταλικές δομές και για όλες τις μεθόδους μέτρησης. Στην περίπτωση της γραφικής μεθόδου «αρίθμησης κουτιών», αυτό το κατώτατο όριο κλίμακας μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα αφού η μετρώμενη αναπαράσταση έχει προκαθορισμένη και γνωστή κλίμακα, η οποία εκφράζει το βαθμό λεπτομέρειας που μπορεί να εμπεριέχει. Με άλλα λόγια, η κλίμακα του σχεδίου ή της εικόνας της φρακταλικής δομής καθορίζει τα όρια εντός των οποίων η μέτρηση παρέχει πληροφορία σχετικά με τη φρακταλική διάσταση του αναπαριστάμενου φυσικού αντικειμένου.

Κάτι αντίστοιχο ισχύει και για την ανώτατη κλίμακα ανάλυσης, πάνω από την οποία δεν έχει νόημα η μέτρηση της φρακταλικής διάστασης. Όταν η κλίμακα ξεπεράσει το όριο διάκρισης διαφοροποιήσεων και η δομή τείνει να εμφανίζεται ως σημείο, η φρακταλική διάσταση τείνει στο μηδέν.

Δεδομένης αυτής της ευαισθησίας στην κλίμακα, προκειμένου να επιτευχθούν συνεκτικές μετρήσεις και τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα για το σύνολο της βάσης δεδομένων, είναι σημαντικό όλες οι υπό μέτρηση δομές να αναπαρίστανται με τον ίδιο τρόπο, δηλαδή να έχουν την ίδια επεξεργασία, να είναι στην ίδια κλίμακα και να έχουν τον ίδιο βαθμό λεπτομέρειας. Στην προκειμένη περίπτωση η συνεκτική και ενιαία απόδοση των κατόψεων εξασφαλίζεται από το γεγονός ότι όλες προέρχονται από τον ίδιο χάρτη και μορφοποιούνται περαιτέρω με τον ίδιο ακριβώς τρόπο[19].

2.4.2.8.2. Μέγεθος υποδιαιρέσεων

Το εύρος της κλίμακας εντός του οποίου έχει νόημα η μέτρηση της φρακταλικής διάστασης εξαρτάται από το απόλυτο μέγεθος και το βαθμό λεπτομέρειας της αναπαράστασης και καθορίζει το συνολικό μέγεθος του κανάβου αλλά και το μέγιστο και το ελάχιστο μέγεθος των υποδιαιρέσεων, βάσει των οποίων γίνεται η μέτρηση.

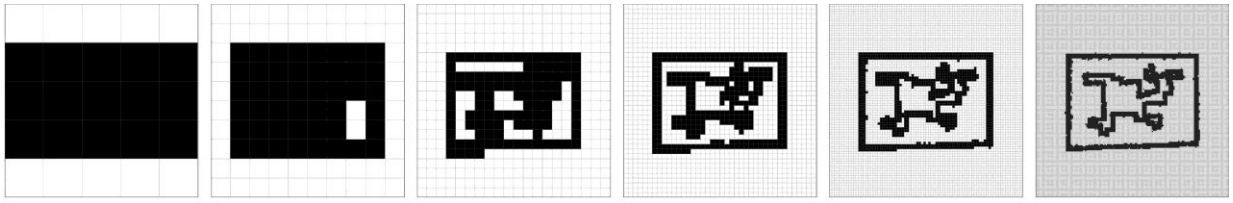
Υπάρχει δηλαδή ένα κατώτατο και ένα ανώτατο όριο μεγέθους υποδιαίρεσης εντός των οποίων οι μετρήσεις εμφανίζουν συνοχή. Το κατώτατο μέγεθος καθορίζεται από τη μικρότερη λεπτομέρεια που έχει σημασία στην εκάστοτε ανάλυση και από τα περιθώρια λάθους και ανακρίβειας που μπορεί να εμπεριέχει η αναπαράσταση. Δηλαδή πρέπει να είναι αρκετά μικρό ώστε να εξαντλείται η λεπτομέρεια αλλά και μεγαλύτερο από πιθανές σχεδιαστικές αστοχίες. Το ανώτατο μέγεθος προσδιορίζεται από το συνολικό μέγεθος της δομής, αλλά συνήθως χρησιμοποιείται το ένα τέταρτο της μεγαλύτερης διάστασης, γιατί αν καλύπτεται όλη η δομή το αποτέλεσμα της αρίθμησης θα είναι πάντα η μονάδα. Το μέγεθος των υποδιαιρέσεων μεταξύ κλιμάκων συνήθως μειώνεται κατά το ήμισυ

[19] Σχετικά με την οργάνωση της βάσης δεδομένων και τη συνεκτικότητα των αναπαραστάσεων βλ. κεφ. 1.

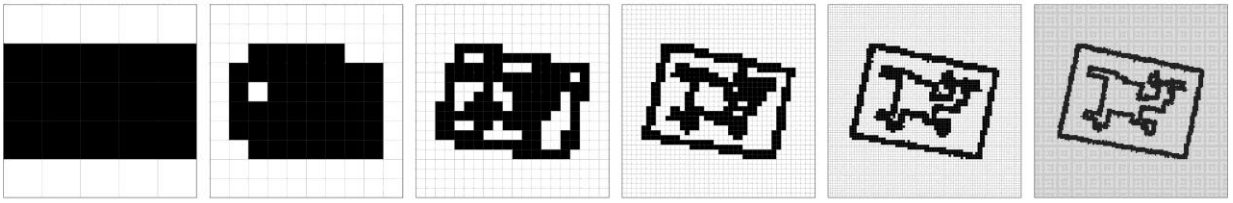
σε κάθε επανάληψη, ώστε η σχετική τους θέση ως προς το συνολικό περίγραμμα του κανάβου αλλά και της μετρώμενης δομής να παραμένει σταθερό σε όλη τη διαδικασία.

2.4.2.8.3. Σχετική θέση και προσανατολισμός

Εκτός από το μέγεθος και την ανάλυση του φρακταλικού συνόλου και το εύρος της κλίμακας των υποδιαιρέσεων του κανάβου, ένας επιπλέον παράγοντας που επηρεάζει τη μέτρηση της φρακταλικής διάστασης είναι η σχετική θέση του κανάβου ως προς το σύνολο. Το συνολικό μέγεθος του κανάβου που ορίζει το περιθώριο γύρω από τη δομή δε μεταβάλλει τη μέτρηση, ενώ η μεταβολή της σχετικής θέσης των δύο μπορεί να δώσει διαφορετικά αποτελέσματα. Προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα, το κέντρο του κανάβου τοποθετείται πάντα στο κέντρο του αντίστοιχου οικοδομικού τετραγώνου και η γωνία στροφής προσδιορίζεται από την ευθυγράμμιση του κανάβου με το Βορρά. Με τον τρόπο αυτό, διαφορές στον προσανατολισμό των υπό μέτρηση χώρων λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της φρακταλικής διάστασης, αν και η επίπτωση της μεταβολής της γωνίας είναι σχεδόν αμελητέα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για το ίδιο οικοδομικό τετράγωνο, η φρακταλική διάσταση είναι Db=1.548 για τον πραγματικό του προσανατολισμό και Db=1.558 για γωνία στροφής τέτοια ούτως ώστε ο κύριος άξονας του τετραγώνου να ευθυγραμμίζεται με τον κάναβο (Εικόνα 2 - 14).



stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	15	1.17609126	5	0.698970004			
2	46	1.66275783	10	1	0.486666573	0.301029996	1.61667136
3	109	2.0374265	20	1.301029996	0.374668666	0.301029996	1.244622369
4	344	2.53655844	40	1.602059991	0.499131945	0.301029996	1.65808043
5	1064	3.02694163	80	1.903089987	0.490383185	0.301029996	1.629017681
6	3306	3.51930285	160	2.204119983	0.492361221	0.301029996	1.635588574
							slope:D=
							1.556796083



stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	15	1.17609126	5	0.698970004			
2	43	1.63346846	10	1	0.457377197	0.301029996	1.519374159
3	120	2.07918125	20	1.301029996	0.44571279	0.301029996	1.480625841
4	339	2.5301997	40	1.602059991	0.451018452	0.301029996	1.498250868
5	992	2.99651167	80	1.903089987	0.466311974	0.301029996	1.549054847
6	3206	3.50596352	160	2.204119983	0.509451846	0.301029996	1.6923624
							slope:D=
							1.547933623

Εικόνα 2 - 14.

Επίδραση του προσανατολισμού της κάτοψης στη φρακταλική διάσταση

Μικρή διαφορά στη φρακταλική διάσταση ανάλογα με την στροφή της κάτοψης ως προς τον κάναβο. Ευθυγράμμιση των βασικών αξόνων της κάτοψης με τον κάναβο (πάνω) και πραγματικός προσανατολισμός της κάτοψης, με τον άξονα y του κανάβου ευθυγραμμισμένο με τον Βορρά (κάτω).

2.4.2.9. Προσδιορισμός παραμέτρων και τεχνικές λεπτομέρειες εφαρμογής

2.4.2.9.1. Πιλοτική εφαρμογή

Στην πρώτη εφαρμογή, που αναφέρεται στην κατηγοριοποίηση κατόψεων οικοδομικών τετραγώνων βάσει της περιοχής στην οποία ανήκουν, η χωρική μονάδα είναι το οικοδομικό τετράγωνο. Κάθε οικοδομικό τετράγωνο μπορεί να συμπεριλαμβάνει περισσότερους από έναν διακριτούς αδόμητους χώρους και επομένως η κάτοψή του να αποτελείται από πολλαπλά περιγράμματα.

Οι περισσότερες μέθοδοι υπολογισμού της φρακταλικής διάστασης εφαρμόζονται σε μεμονωμένες καμπύλες και όχι σε σύνθετους σχηματισμούς, αποτελούμενους από διακριτά φρακταλικά σύνολα. Θα μπορούσε ίσως να υπολογιστεί η φρακταλική διάσταση κάθε περιγράμματος της κάτοψης χωριστά, αλλά ο εκ των υστέρων συνδυασμός τους σε μία συνολική τιμή για το σύνολο του τετραγώνου θα ήταν προβληματικός.

Ωστόσο, η μέθοδος «αρίθμησης κουτιών», υποστηρίζοντας τη μέτρηση της φρακταλικής διάστασης εικόνων και όχι αποκλειστικά μεμονωμένων φρακταλικών καμπυλών, επιτρέπει τη μέτρηση σύνθετων σχηματισμών που αποτελούνται από πλήθος ασύνδετων φρακταλικών δομών. Έτσι, στη συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι δυνατή η μέτρηση του συνόλου της κάτοψης του οικοδομικού τετραγώνου και όχι κάθε περιγράμματος μεμονωμένα.

Εργαλείο

Για τις ανάγκες της εφαρμογής, για τον υπολογισμό της φρακταλικής διάστασης γράφτηκε αλγόριθμος σε γλώσσα προγραμματισμού Processing, βάσει της περιγραφής της μεθόδου «αρίθμησης κουτιών». Οι πίνακες των αποτελεσμάτων και οι τελικοί υπολογισμοί έγιναν σε Office excel.

Εισερχόμενα. Μορφή δεδομένων

Ο υπολογισμός της φρακταλικής διάστασης των οικοδομικών τετραγώνων γίνεται βάσει της ψηφιακής εικόνας της κάτοψης κάθε τετραγώνου χωριστά.

Το συνολικό μέγεθος, η ανάλυση και ο τρόπος επεξεργασίας της εικόνας είναι προκαθορισμένα, προκειμένου να εξασφαλίζεται συνοχή στη μορφοποίηση των δεδομένων και επομένως και των αποτελεσμάτων.

Αλγόριθμος

Για κάθε οικοδομικό τετράγωνο, η εικόνα της κάτοψης σε αρχείο μορφής .jpeg εισάγεται στην Processing και εμφανίζεται στο παράθυρο της εφαρμογής. Η εικόνα είναι ασπρόμαυρη: με μαύρο αποδίδονται όλα τα γραφικά στοιχεία της κάτοψης, ενώ οτιδήποτε δεν ανήκει στην υπό μέτρηση δομή είναι λευκό.

Όπως προαναφέρθηκε, η μέθοδος βασίζεται στην επανάληψη της ίδιας διαδικασίας σε διακριτά διαδοχικά στάδια. Το πλήθος των επαναλήψεων, δηλαδή τα στάδια ή οι διαδοχικές κλίμακες ανάλυσης, είναι προκαθορισμένο και σταθερό για όλες μετρήσεις (εδώ είναι έξι). Επίσης προκαθορισμένο είναι το πλήθος των υποδιαιρέσεων του κανάβου για κάθε στάδιο.

Σε κάθε επανάληψη, η εικόνα υποδιαιρείται βάσει του κανάβου που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο στάδιο. Ο αλγόριθμος διατρέχει διαδοχικά όλα τα κελιά και ελέγχει την τιμή του χρώματος για κάθε εικονοστοιχείο [pixel] του κελιού. Αν σε κάποιο κελί εντοπισθεί εικονοστοιχείο που δεν είναι λευκό (δηλαδή η τιμή του χρώματος δεν είναι 255), θεωρείται ότι το εικονοστοιχείο αυτό αποτελεί τμήμα του σχεδίου, το συγκεκριμένο κελί προσμετράται σε αυτά που περιέχουν τμήμα της εικόνας και ο

αλγόριθμος προχωράει κατ' ευθείαν στον έλεγχο του επόμενου κελιού. Έτσι, όταν ολοκληρωθεί ο έλεγχος όλων των κελιών του κανάβου, έχει υπολογιστεί το συνολικό πλήθος των κελιών που περιλαμβάνουν τμήμα της δομής (Ni) για τη δεδομένη κλίμακα (i).

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις κλίμακες ανάλυσης.

Εξερχόμενα

Από την εφαρμογή αυτή, για κάθε οικοδομικό τετράγωνο εξάγεται και αποθηκεύεται σε αρχείο κειμένου (.txt) λίστα με το συνολικό πλήθος των κελιών του κανάβου σε κάθε κλίμακα ανάλυσης καθώς και το πλήθος των κελιών που εμπεριέχουν τμήμα της εικονιζόμενης δομής, στην αντίστοιχη κλίμακα.

Για λόγους αναπαραστατικής σαφήνειας, αλλά και για να είναι δυνατός ο άμεσος εποπτικός έλεγχος των αποτελεσμάτων, σε κάθε στάδιο εξάγεται και μια εικόνα, στην οποία τα κελιά που περιέχουν τμήμα της δομής αποδίδονται μαύρα και τα υπόλοιπα λευκά (Εικόνα 2 - 15 πάνω). Στη συνέχεια, για κάθε οικοδομικό τετράγωνο, η αντίστοιχη λίστα εισάγεται σε κατάλληλα προετοιμασμένο πίνακα στο λογισμικό Office excel, όπου πραγματοποιούνται και οι τελικοί υπολογισμοί της συνολικής φρακταλικής διάστασης του αντίστοιχου τετραγώνου (Εικόνα 2 - 15 κάτω).

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, η φρακταλική διάσταση δεν υπολογίζεται βάσει της καμπύλης παλινδρόμησης, αλλά ως ο μέσος όρος της κλίσης των επιμέρους ευθύγραμμων τμημάτων της λογαριθμικής γραφικής παράστασης, που αντιστοιχεί στη φρακταλική διάσταση μεταξύ διαδοχικών κλιμάκων.

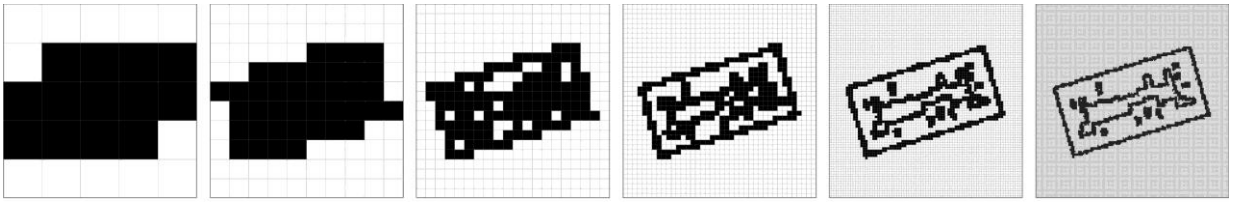
Ο υπολογισμός της κλίσης μεταξύ δύο διαδοχικών κλιμάκων δίνεται από τη σχέση:

Db=[log(Ni)-log(Ni-1)]/[log(1/si)-log(1/si-1)]

όπου Ni είναι το πλήθος των κελιών στην κλίμακα (στάδιο) i που περιλαμβάνουν τμήμα της δομής και

1/si είναι το συνολικό πλήθος των κελιών στα οποία υποδιαιρείται κάθε πλευρά του κανάβου στην κλίμακα (στάδιο) i.

Οπότε η συνολική φρακταλική διάσταση υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των τιμών Db μεταξύ όλων των κλιμάκων (Εικόνα 2 - 15).



stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	13	1.11394335	5	0.69897			
2	40	1.60205999	10	1	0.488116639	0.301029996	1.621488377
3	115	2.06069784	20	1.30103	0.458637849	0.301029996	1.523561956
4	313	2.49554434	40	1.60205999	0.434846497	0.301029996	1.444528796
5	905	2.95664858	80	1.90308999	0.461104242	0.301029996	1.531755135
6	2627	3.41946007	160	2.20411998	0.462811494	0.301029996	1.537426503
							slope:D=
							1.531752153

Εικόνα 2 - 15.

Παράδειγμα μέτρησης της φρακταλικής διάστασης στην πιλοτική εφαρμογή

Οικοδομικό τετράγωνο Β010: Διαδοχικά στάδια υπολογισμού του πλήθους των κουτιών που περιλαμβάνουν τμήμα της εικόνας της κάτοψης (πάνω) και πίνακας εξαγωγής του πλήθους των κουτιών ανα στάδιο και υπολογιμού της φρακταλικής διάστασης ως μέσου όρου των Db μεταξύ διαδοχικών κλιμάκων (κάτω)

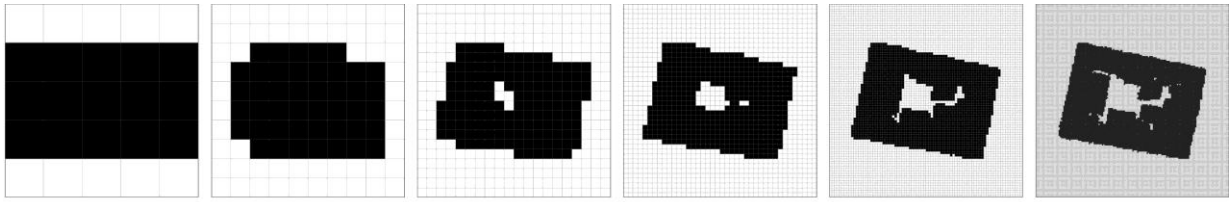
Παράγοντες που επηρεάζουν τη μέτρηση

Α. Εισερχόμενα σε μορφή εικόνας (γραφικά bitmap)

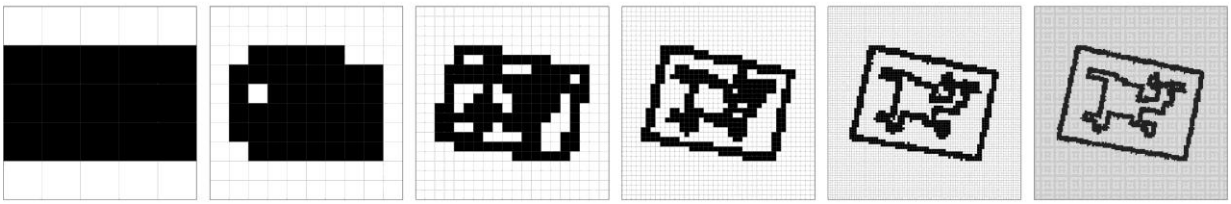
Το γεγονός ότι οι μετρήσεις εφαρμόζονται σε εικόνα της κάτοψης και όχι απ' ευθείας στη γεωμετρία της, αν και επιτρέπει τη συνολική μέτρηση της φρακταλικής διάστασης ολόκληρου του τετραγώνου, επιφέρει κάποιους περιορισμούς που σχετίζονται τόσο με την ίδια την αναπαράσταση όσο και με τον τρόπο επεξεργασίας της από τον αλγόριθμο. Συγκεκριμένα, πρέπει να ληφθούν υπόψη ζητήματα που σχετίζονται με την ανάλυση της εικόνας, τον τρόπο μορφοποίησης των χαρακτηριστικών της δομής, όπως το πάχος της γραμμής, αλλά και τη σαφήνεια και ακρίβεια ως προς την ταυτότητα του κάθε εικονοστοιχείου και τον τρόπο που αυτή αναγνωρίζεται από τον αλγόριθμο.

Β. Κλίμακα ανάλυσης και μορφοποίηση των χαρακτηριστικών της κάτοψης

Η ευαισθησία της μεθόδου αυτής στους μετασχηματισμούς της κλίμακας και στον προσδιορισμό του εύρους μεγέθους εντός του οποίου έχει νόημα να εφαρμόζεται, έχει ως συνέπεια ότι επηρεάζεται σημαντικά από την ποιότητα και τον τρόπο απόδοσης των αναπαριστάμενων χαρακτηριστικών του φυσικού αντικειμένου που μετράται. Ιδιαίτερα όταν πρόκειται για εικόνα, οπότε η μέτρηση βασίζεται αποκλειστικά στο χρώμα του κάθε εικονοστοιχείου και όχι στη γεωμετρία της δομής, διαφορετικά πάχη γραμμών, τρόποι πλήρωσης περιγραμμάτων και φόντου καθώς και τοποθετήσεις ως προς τον κάναβο, ενδέχεται να οδηγήσουν σε διαφορετικά αποτελέσματα. Έτσι, για το ίδιο αντικείμενο μπορεί να προκύψουν διαφορετικές μετρήσεις της φρακταλικής διάστασης, ανάλογα με την αναπαράστασή του. Για παράδειγμα, για την κάτοψη του ίδιου οικοδομικού τετραγώνου λαμβάνουμε τιμή φρακταλικής διάστασης Db=1.548 αν λάβουμε υπόψη μόνο τα περιγράμματα των ορίων μεταξύ δομημένου και αδόμητου χώρου και Db=1.802 για σκιαγραφημένη απόδοση της τομής του δομημένου χώρου (Εικόνα 2 - 16).



stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	15	1.17609126	5	0.698970004			
2	44	1.64345268	10	1	0.467361417	0.301029996	1.552541023
3	150	2.17609126	20	1.301029996	0.532638583	0.301029996	1.769387072
4	546	2.73719264	40	1.602059991	0.561101384	0.301029996	1.86393845
5	2023	3.30599588	80	1.903089987	0.56880324	0.301029996	1.889523464
6	7732	3.88829185	160	2.204119983	0.582295963	0.301029996	1.934345318
							slope:D=
							1.801947065



stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	15	1.17609126	5	0.698970004			
2	43	1.63346846	10	1	0.457377197	0.301029996	1.519374159
3	120	2.07918125	20	1.301029996	0.44571279	0.301029996	1.480625841
4	339	2.5301997	40	1.602059991	0.451018452	0.301029996	1.498250868
5	992	2.99651167	80	1.903089987	0.466311974	0.301029996	1.549054847
6	3206	3.50596352	160	2.204119983	0.509451846	0.301029996	1.6923624
							slope:D=
							1.547933623

Εικόνα 2 - 16.

Επίδραση διαφορετικών μορφοποιήσεων της γραφικής απόδοσης της κάτοψης στη φρακταλική διάσταση

Σκιαγραφημένη αόδοση του δομημένου χώρου (πάνω) και απόδοση της κάτοψης μόνο με περιγράμματα (κάτω)

Προκειμένου να υπάρχει συνοχή στις μετρήσεις για όλα τα δεδομένα, επιδιώχθηκε όλες οι κατόψεις να είναι στην ίδια κλίμακα, ανεξάρτητα από το σχετικό τους μέγεθος. Για καθεμία από τις δύο πόλεις, οι κατόψεις των οικοδομικών τετραγώνων εξάγονται από τον ίδιο χάρτη προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνέπεια ως προς το βαθμό λεπτομέρειας, δεδομένου ότι διαφορετικοί χάρτες της ίδιας κλίμακας ενδέχεται να διαφέρουν ως προς τον τρόπο απόδοσης της λεπτομέρειας. Δυστυχώς δεν ήταν εφικτό να χρησιμοποιηθεί ο ίδιος χάρτης και για την Αθήνα και το Λονδίνο, αλλά η χρήση χαρτών της ίδιας κλίμακας (1:500) και η κοινή επεξεργασία των κατόψεων τουλάχιστον συνέβαλε στην ελαχιστοποίηση των διαφοροποιήσεων ως προς το συνολικό εύρος των τιμών.

Επιπλέον, όλες οι κατόψεις αποδίδονται με το ίδιο πάχος γραμμής και μετατράπηκαν σε εικόνες της ίδιας ανάλυσης. Επειδή τα μεγέθη των κατόψεων διαφέρουν σημαντικά, επιλέχθηκαν δύο μεγέθη κάδρου, 800*800 και 1280*1280 εικονοστοιχείων αντίστοιχα, χωρίς να μεταβάλλεται η κλίμακα των σχεδίων.

Γ. Μέγεθος υποδιαιρέσεων

«Γενικά, πολύ μικρά μεγέθη υποδιαιρέσεων μπορεί να συντελέσουν στο ότι κάθε διαφοροποίηση που οφείλεται στην επεξεργασία της εικόνας λαμβάνεται υπόψη. Κατά συνέπεια, το πάχος μιας γραμμής της εικόνας θα πρέπει να αποτελεί το απόλυτο κατώτατο όριο μεγέθους κελιού». Αν η γραμμή είναι παχύτερη από το μικρότερο κελί, «η διάσταση αυτής της γραμμής στη μικρότερη κλίμακα ανάλυσης προσεγγίζει το δύο, παρόλο που η γραμμή είναι μονοδιάστατη στην Ευκλείδεια γεωμετρία. Αυτό το γεγονός καθώς και το ότι κάτω από αυτή την κλίμακα δεν παρέχεται περαιτέρω λεπτομέρεια, είναι οι λόγοι για τους οποίους το μικρότερο μέγεθος κελιού πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το πάχος των γραμμών» (Lorenz, 2003: 63).

Τα μεγέθη των υποδιαιρέσεων που επιλέχθηκαν για τη συγκεκριμένη εφαρμογή προκύπτουν από τις παραπάνω παρατηρήσεις και από το προεπιλεγμένο μέγεθος των εικόνων. Δεδομένου ότι αναφερόμαστε σε εικόνες, τα μεγέθη των υποδιαιρέσεων είναι ακέραιοι αριθμοί, αφού αντιστοιχούν σε πλήθος εικονοστοιχείων. «Εφόσον η σχετική θέση των κελιών και το μέγεθός τους δεν αλλάζει, το πλήθος των κελιών δεν έχει σημασία, δηλαδή η «λευκή» περιοχή γύρω από την εικόνα μπορεί να είναι μικρή ή μεγάλη και τα αποτελέσματα να παραμένουν ίδια» (Lorenz, 2003: 119) (βλ. και Εικόνα 2 - 18). Με άλλα λόγια, εφόσον όλες οι κατόψεις έχουν την ίδια κλίμακα και ανάλυση, είναι τα μεγέθη και όχι το πλήθος των κελιών που επηρεάζουν τα αποτελέσματα.

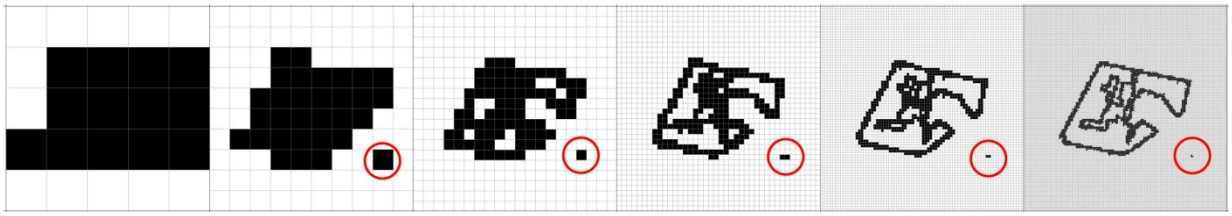
Σύμφωνα με αυτούς τους περιορισμούς, το πλαίσιο του κανάβου υποδιαιρέθηκε διαδοχικά σε κελιά με πλευρά μήκους 160, 80, 40, 20, 10 και 5 εικονοστοιχείων. Αυτά τα μεγέθη καθορίζουν το πλήθος των κελιών σε κάθε περίπτωση. Για τις μικρότερες κατόψεις, που αναπαρίστανται σε εικόνες μεγέθους 800*800 εικονοστοιχείων, το πλήθος των υποδιαιρέσεων στις διαδοχικές επαναλήψεις είναι 5, 10, 20, 40, 80 και 160, ενώ για τις μεγάλες κατόψεις που αποδίδονται σε 1280*1280 εικονοστοιχεία το πλήθος των κελιών είναι 8, 16, 32, 64, 128 και 256. Σε όλες τις περιπτώσεις ο κάναβος υποδιαιρείται κατά το ήμισυ σε κάθε επανάληψη.

Δ. Αλγοριθμική ανάγνωση χρώματος

Όπως αναφέρθηκε στην περιγραφή του αλγορίθμου, η μορφή της κάτοψης γίνεται αντιληπτή αποκλειστικά μέσω της τιμής χρώματος του κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας. Προκειμένου να επιτευχθούν ακριβείς και συγκρίσιμες μετρήσεις είναι πολύ σημαντικό οι εικόνες των κατόψεων να είναι ευκρινείς, αυστηρά ασπρόμαυρες και τα χαρακτηριστικά του σχεδίου να αποδίδονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο σε όλες. Παρόλα αυτά, μπορεί να υπάρχουν αστοχίες ή αποκλίσεις που οφείλονται τόσο στον τρόπο επεξεργασίας της ψηφιακής εικόνας, όσο και στους αλγοριθμικούς κανόνες αναγνώρισης της ταυτότητας των εικονοστοιχείων.

Παρόλο που οι εικόνες ετοιμάστηκαν με μεγάλη επιμέλεια, υπήρξαν περιπτώσεις όπου σημεία του φόντου θεωρήθηκαν από τον αλγόριθμο λανθασμένα ως τμήματα της κάτοψης με αποτέλεσμα να συμπεριληφθούν στις μετρήσεις (Εικόνα 2 - 17). Παρόλα αυτά, λόγω του πλήθους των δειγμάτων και της σπανιότητας εμφάνισης τέτοιων σφαλμάτων, θεωρήθηκε ότι τα αποτελέσματα δεν παραποιήθηκαν σημαντικά.

Εκτός όμως από τέτοιου τύπου αστοχίες, ανάλογα με τους εσωτερικούς αλγορίθμους λειτουργίας των προγραμμάτων επεξεργασίας ψηφιακής εικόνας, συχνά σε πολύ μικρή κλίμακα περιοχές γύρω από το περίγραμμα μπορεί να εμφανίζονται γκρίζες. Αυτό μπορεί να επιφέρει διαφορετικά αποτελέσματα στη μέτρηση της φρακταλικής διάστασης, ανάλογα με τον ορισμό των κανόνων αναγνώρισης των χρωμάτων ως ανήκοντα ή όχι στη δομή. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ο αλγόριθμος διακρίνει τα εικονοστοιχεία σε λευκά και μη-λευκά. Εναλλακτικά θα μπορούσε να τα διακρίνει σε μαύρα και μη-μαύρα ή σε γκρίζα από το λευκό μέχρι κάποια προκαθορισμένη οριακή τιμή και γκρίζα από την τιμή αυτή ως το μαύρο. Κάθε μια από αυτές τις επιλογές θα κατέληγε σε ελαφρά διαφορετικές τιμές της φρακταλικής διάστασης, αλλά εφόσον ο ίδιος κανόνας ισχύει για ολόκληρο το δείγμα, οι μετρήσεις μπορούν να θεωρηθούν συνεκτικές και συγκρίσιμες.



Εικόνα 2 - 17.
Επίδραση ανάγνωσης χρώματος στη φρακταλική διάσταση

Οικοδομικό τετράγωνο Α019: Ένα μαύρο εικονοστοιχείο του φόντου αναγνωρίζεται λανθασμένα ως τμήμα της κάτοψης

2.4.2.9.2. Εφαρμογή σε μη χαρακτηρισμένο δείγμα

Στη δεύτερη εφαρμογή, που αναφέρεται σε αδόμητους χώρους της περιοχής των Πατησίων, η χωρική μονάδα της ανάλυσης είναι το μεμονωμένο αστικό κενό. Η κάτοψη κάθε κενού αποτελείται από ένα συνεχές περίγραμμα, οπότε η μέτρηση της φρακταλικής διάστασης μπορεί να πραγματοποιηθεί απευθείας στη διανυσματική γεωμετρία της χωρίς να απαιτείται η μετατροπή της σε εικόνα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μεγαλύτερη ακρίβεια και αποφεύγονται οι περιορισμοί που σχετίζονται με τη μορφοποίηση της εικόνας και την αλγοριθμική επεξεργασία της.

Εργαλείο

Για τον υπολογισμό της φρακταλικής διάστασης των κατόψεων συντάχθηκε αλγόριθμος σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic for Applications, εντός του σχεδιαστικού λογισμικού Microstation.

Εισερχόμενα. Μορφή δεδομένων

Ο υπολογισμός της φρακταλικής διάστασης των κατόψεων γίνεται βάσει της σχεδιαστικής τους αναπαράστασης εντός σχεδιαστικού λογισμικού, εφαρμόζεται δηλαδή σε διανυσματικά γραφικά. Οι μετρήσεις βασίζονται στον έλεγχο της σχέσης των κελιών του κανάβου απευθείας με τη διανυσματικά ορισμένη γεωμετρία της κάτοψης και όχι με την εικόνα της. Σε αντιδιαστολή με την εφαρμογή σε εικόνα, όπου το ελάχιστο στοιχείο κλίμακας είναι το εικονοστοιχείο, στην περίπτωση

των διανυσματικών γραφικών το ζήτημα της κλίμακας και της ανάλυσης ανάγεται στο βαθμό λεπτομέρειας της κάτοψης, δηλαδή στην κλίμακα και την επεξεργασία του χάρτη[20].

Αλγόριθμος

Ο αλγόριθμος τρέχει εντός του σχεδιαστικού λογισμικού, οπότε οι μετρήσεις γίνονται απ' ευθείας πάνω στο χάρτη της περιοχής. Και σε αυτή την περίπτωση το πλήθος των σταδίων ή οι διαδοχικές κλίμακες ανάλυσης είναι έξι. Επίσης προκαθορισμένο είναι το πλήθος των υποδιαιρέσεων του κανάβου για κάθε στάδιο.

Για κάθε περίγραμμα αδόμητου χώρου, ανάλογα με το μέγεθος του οικοδομικού τετραγώνου στο οποίο ανήκει, επιλέγεται το κατάλληλο μέγεθος πλαισίου του συνολικού κανάβου, το οποίο παραμένει σταθερό σε όλα τα στάδια μέτρησης. Το κέντρο του πλαισίου τοποθετείται στο κέντρο του περιγράμματος του αντίστοιχου οικοδομικού τετραγώνου.

Σε κάθε κλίμακα ανάλυσης, το πλαίσιο υποδιαιρείται στο πλήθος τον κελιών που έχει οριστεί για το αντίστοιχο στάδιο. Ο αλγόριθμος διατρέχει διαδοχικά όλα τα κελιά και ελέγχει για το καθένα αν περιλαμβάνει τμήμα της κάτοψης. Δεδομένου ότι πρόκειται για γεωμετρία που αποδίδεται με διανυσματικά γραφικά, είναι δυνατό να υπολογιστούν γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ στοιχείων, όπως αν δύο περιγράμματα τέμνονται ή αν κάποιο σημείο βρίσκεται εντός, επί ή εκτός κάποιου περιγράμματος. Προκειμένου να προσδιοριστεί αν το εκάστοτε κελί, που αποδίδεται γεωμετρικά ως κλειστό περίγραμμα, περιλαμβάνει ή όχι τμήμα του περιγράμματος της κάτοψης, ελέγχεται η γεωμετρική σχέση των δύο περιγραμμάτων. Αν μια τουλάχιστον κορυφή του περιγράμματος της κάτοψης βρίσκεται μέσα στο κελί ή αν τα δύο περιγράμματα τέμνονται σε τουλάχιστον ένα σημείο, σημαίνει ότι το περίγραμμα του χώρου βρίσκεται ολόκληρο στο εσωτερικό του κελιού ή τέμνεται από το περίγραμμά του. Σε αυτή την περίπτωση το συγκεκριμένο κελί προσμετράται σε αυτά που περιλαμβάνουν τμήμα της δομής (N(i)) και ο αλγόριθμος προχωράει στον έλεγχο του επόμενου κελιού. Όταν ελεγχθούν όλα τα κελιά του κανάβου, έχει υπολογιστεί το πλήθος των κελιών που περιλαμβάνουν τμήμα της κάτοψης N(i) για το συγκεκριμένο στάδιο (i). Το πλήθος των υποδιαιρέσεων σε κάθε κλίμακα (1/s(i)) είναι γνωστό εκ των προτέρων.

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις κλίμακες ανάλυσης. Σημειώνεται ότι για λόγους οικονομίας υπολογισμών, σε κάθε στάδιο μετά το πρώτο ελέγχονται μόνο τα κελιά εκείνα που αποτελούν υποδιαιρέσεις κελιών της ακριβώς προηγούμενης κλίμακας που περιείχαν τμήμα της κάτοψης. Αυτό προϋποθέτει ότι κάθε κλίμακα προκύπτει από νέα υποδιαίρεση των κελιών της προηγούμενης, το οποίο εξασφαλίζεται από την υποδιαίρεση του κανάβου κατά το ήμισυ σε κάθε επανάληψη.

Μετά την ολοκλήρωση όλων των επαναλήψεων, μπορεί να υπολογιστεί η λογαριθμική γραφική παράσταση log/log των δύο μεγεθών, με τον άξονα τετμημένων να αναπαριστά το log(1/s) και τον άξονα τεταγμένων το log(N). Η συνολική φρακταλική διάσταση δίνεται από την κλίση της καμπύλης παλινδρόμησης που προσεγγίζει βέλτιστα τη λογαριθμική γραφική παράσταση και υπολογίζεται βάσει της εξίσωσης[21]:

$$b = (n\,(\Sigma xy) - (\Sigma x)\,(\Sigma y)) \,/\, (n\,(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2)$$

[20] Υπενθυμίζεται ότι ως υπόβαθρο για τον προσδιορισμό των περιγραμμάτων των αστικών κενών χρησιμοποιήθηκε χάρτης της ΕΛΣΤΑΤ από την απογραφή οικοδομών και κτιρίων της 1ης Δεκεμβρίου 2000 της ΕΣΥΕ, που περιλαμβάνει τόσο τα περιγράμματα των οικοδομικών τετραγώνων όσο και των κτιρίων.

[21] Η εξίσωση βασίζεται στην αναφερόμενη από τον Karperien (2013)

όπου

b η κλίση της καμπύλης παλινδρόμησης (φρακταλική διάσταση)

n το πλήθος των επαναλήψεων (κλίμακες)

x ο δεκαδικός λογάριθμος των υποδιαιρέσεων log(1/s)

y ο δεκαδικός λογάριθμος των υποδιαιρέσεων που περιλαμβάνουν τμήμα της κάτοψης log(N)

Εξερχόμενα

Η σύνταξη αλγορίθμου εντός του σχεδιαστικού λογισμικού υποστηρίζει όχι μόνο τον έλεγχο γεωμετρικών σχέσεων, αλλά και την εκτέλεση όλων των υπολογισμών εντός της ίδιας εφαρμογής χωρίς να απαιτείται περαιτέρω μετατροπή και μορφοποίηση των δεδομένων.

Από την εφαρμογή αυτή, για κάθε αστικό κενό εξάγεται η φρακταλική του διάσταση και αποθηκεύεται αυτόματα, βάσει της αριθμητικής ταυτότητας του κάθε χώρου[22], στον πίνακα μετρήσεων που έχει προετοιμαστεί κατάλληλα στο λογισμικό Office excel.

Όπως και στην προηγούμενη εφαρμογή, για λόγους οπτικής επιβεβαίωσης των αποτελεσμάτων, εκτός από τις αριθμητικές τιμές της φρακταλική διάστασης και τις ενδιάμεσες τιμές από τις οποίες αυτή υπολογίζεται, εξάγονται σε μορφή σχεδίου (.dgn) και τα γεωμετρικά αποτελέσματα για το κάθε στάδιο ανάλυσης, δηλαδή ο αντίστοιχος κάναβος με πλήρη τα κελιά που περιέχουν τμήμα της δομής και κενά τα υπόλοιπα.

Παράγοντες που επηρεάζουν τη μέτρηση

Το γεγονός ότι οι μετρήσεις γίνονται βάσει της γεωμετρίας της κάτοψης και όχι της εικόνας της μειώνει την πιθανότητα εμφάνισης σφαλμάτων και ανακριβειών που σχετίζονται με τον τρόπο απεικόνισης. Η χρήση του ίδιου σχεδίου για την εξαγωγή όλων των κατόψεων εξασφαλίζει κοινό βαθμό λεπτομέρειας και τρόπο απόδοσης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Και στην περίπτωση των διανυσματικών γραφικών όμως, η προετοιμασία των κατόψεων πρέπει να γίνει με επιμέλεια, ώστε τα περιγράμματα να είναι κλειστά και χωρίς αλληλεπικαλύψεις.

Α. Μέγεθος πλαισίου και υποδιαιρέσεων, σχετική θέση κανάβου και κάτοψης

Επειδή τα συνολικά μεγέθη των αδόμητων χώρων ποικίλλουν σημαντικά, επιλέχθηκαν τέσσερα διαφορετικά μεγέθη για το συνολικό πλαίσιο του κανάβου. Εφόσον, όπως έχει ήδη αναφερθεί, το μέγεθος του «περιθωρίου» γύρω από την κάτοψη δεν επηρεάζει την τιμή της φρακταλικής διάστασης, θα μπορούσε να χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις το μεγαλύτερο από τα τέσσερα πλαίσια χωρίς να αλλοιώνονται τα αποτελέσματα, αλλά αυτό θα πολλαπλασίαζε το πλήθος των υπολογισμών, οπότε προτιμήθηκε να επιλέγεται κάθε φορά το μικρότερο πλαίσιο που καλύπτει ολόκληρη την κάτοψη.

Αυτό που επηρεάζει τη μέτρηση της φρακταλικής διάστασης δεν είναι το μέγεθος του συνολικού πλαισίου, αλλά το μέγεθος των κελιών σε κάθε στάδιο. Επομένως, για τα διαφορετικά μεγέθη πλαισίου, πρέπει να διατηρείται σταθερό το μέγεθος και όχι το πλήθος των υποδιαιρέσεων, γεγονός που καθορίζει ότι οι διαστάσεις του πλαισίου πρέπει να είναι πάντα ακέραια πολλαπλάσια της διάστασης του μεγαλύτερου κελιού, δηλαδή του κελιού του πρώτου σταδίου.

[22] Η αριθμητική ταυτότητα κάθε αστικού κενού προκύπτει από την αρίθμηση του οικοδομικού τετραγώνου στο οποίο βρίσκεται, σύμφωνα με την αρίθμηση της ΕΛΣΤΑΤ, και τον αύξοντα αριθμό του κενού στο οικοδομικό τετράγωνο, για παράδειγμα 1651.1.

Εκτός από το μέγεθος των κελιών, ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά αποτελέσματα είναι η σχετική θέση των κελιών ως προς την κάτοψη. Επομένως, για όλα τα διαφορετικά μεγέθη πλαισίου πρέπει να εξασφαλιστεί ότι όποιο και να επιλεγεί, οι υποδιαιρέσεις θα πέφτουν πάντα στις ίδεις θέσεις ως προς τη γεωμετρία του σχεδίου.

Σύμφωνα με τους παραπάνω περιορισμούς, πρώτα προσδιορίζονται τα μεγέθη των κελιών για κάθε κλίμακα. Για να γίνει αυτό πρέπει να οριστεί η μέγιστη και η ελάχιστη κλίμακα ανάλυσης, που, όπως έχει αναφερθεί, σχετίζονται με το συνολικό μέγεθος της κάτοψης και το βαθμό λεπτομέρειας, αντίστοιχα. Η μέγιστη κλίμακα πρέπει να είναι μικρότερη από το συνολικό μέγεθος των κατόψεων και η ελάχιστη πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη μικρότερη λεπτομέρεια του σχεδίου. Αν και οι υπό μέτρηση κατόψεις διαφέρουν πολύ ως προς τις συνολικές τους διαστάσεις, έχουν μια κοινή τάξη μεγέθους που επιτρέπει τον προσδιορισμό ενός κοινού εύρους κλίμακας ανάλυσης.

Έτσι, ως μέγιστη κλίμακα καθορίστηκε κελί πλευράς 20μ. και ως ελάχιστη κελί πλευράς 0.625μ. Το πλήθος των σταδίων είναι έξι και σε κάθε στάδιο ο κάναβος υποδιαιρείται κατά το ήμισυ, οπότε προκύπτουν τα παρακάτω μεγέθη κελιών:

20, 10, 5, 2.5, 1.25, 0.625 μ.

Προκειμένου να διατηρείται σταθερή η σχετική θέση των κελιών ως προς την κάτοψη, ανεξάρτητα από το επιλεγόμενο μέγεθος πλαισίου, το πλαίσιο πάντα τοποθετείται με το κέντρο του να συμπίπτει με το κέντρο της κάτοψης του αντίστοιχου οικοδομικού τετραγώνου, οπότε για διαφορετικά πλαίσια μεταβάλλεται μόνο το εύρος του περιθωρίου. Εφόσον οριστεί το πλαίσιο, η σχετική θέση κελιών και κάτοψης εξαρτάται και από το αν το πλήθος των υποδιαιρέσεων στο πρώτο στάδιο ανάλυσης είναι άρτιο ή περιττό. Επομένως, για όλα τα μεγέθη πλαισίου πρέπει να ακολουθηθεί η ίδια επιλογή, ανάμεσα σε άρτιες ή περιττές υποδιαιρέσεις. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της κάτοψης του αδόμητου χώρου 1505.1, για τα ίδια μεγέθη κελιών ανά κλίμακα, προκύπτει διαφορετικό αποτέλεσμα για άρτιο και περιττό πλήθος υποδιαιρέσεων, ανεξάρτητα από το συνολικό τους πλήθος. Έτσι, για 3 ή 5 αρχικές υποδιαιρέσεις η φρακταλική διάσταση υπολογίζεται fd=1.093, ενώ για 4 ή 6 έχουμε fd=1.146 (Εικόνα 2 - 18).

Βάσει της παρατήρησης αυτής, των συνολικών μεγεθών των κατόψεων και των μεγεθών των κελιών που προσδιορίστηκαν παραπάνω, επιλέχθηκαν τέσσερα μεγέθη πλαισίου με τις αντίστοιχες υποδιαιρέσεις:

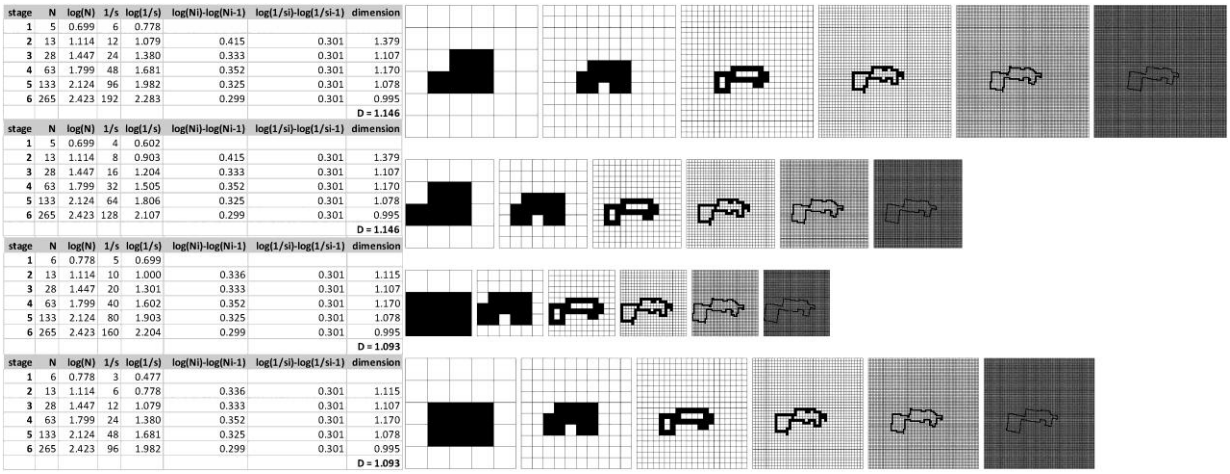
Πλευρά πλαισίου 200μ., πλήθος υποδιαιρέσεων 10, 20, 40, 80, 160, 320

Πλευρά πλαισίου 120 μ., πλήθος υποδιαιρέσεων 6, 12, 24, 48, 96, 192

Πλευρά πλαισίου 80 μ., πλήθος υποδιαιρέσεων 4, 8, 16, 32, 64, 128

Πλευρά πλαισίου 40 μ., πλήθος υποδιαιρέσεων 2, 4, 8, 16, 32, 64

Όλες οι υποδιαιρέσεις αποφασίστηκε να είναι ζυγές.



stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	5	0.699	6	0.778			
2	13	1.114	12	1.079	0.415	0.301	1.379
3	28	1.447	24	1.380	0.333	0.301	1.107
4	63	1.799	48	1.681	0.352	0.301	1.170
5	133	2.124	96	1.982	0.325	0.301	1.078
6	265	2.423	192	2.283	0.299	0.301	0.995
							D = 1.146

stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	5	0.699	4	0.602			
2	13	1.114	8	0.903	0.415	0.301	1.379
3	28	1.447	16	1.204	0.333	0.301	1.107
4	63	1.799	32	1.505	0.352	0.301	1.170
5	133	2.124	64	1.806	0.325	0.301	1.078
6	265	2.423	128	2.107	0.299	0.301	0.995
							D = 1.146

stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	6	0.778	5	0.699			
2	13	1.114	10	1.000	0.336	0.301	1.115
3	28	1.447	20	1.301	0.333	0.301	1.107
4	63	1.799	40	1.602	0.352	0.301	1.170
5	133	2.124	80	1.903	0.325	0.301	1.078
6	265	2.423	160	2.204	0.299	0.301	0.995
							D = 1.093

stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	6	0.778	3	0.477			
2	13	1.114	6	0.778	0.336	0.301	1.115
3	28	1.447	12	1.079	0.333	0.301	1.107
4	63	1.799	24	1.380	0.352	0.301	1.170
5	133	2.124	48	1.681	0.325	0.301	1.078
6	265	2.423	96	1.982	0.299	0.301	0.995
							D = 1.093

Εικόνα 2 - 18.
Επίδραση πλήθους κελιών κανάβου στη φρακταλική διάσταση

Αστικό κενό 1505.1: Φρακταλική διάσταση για διαφορετικά πλήθη κελιών ίδιου μεγέθους (1/s =3 fd=1.093, 1/s =4 fd=1.146, 1/s =5 fd=1.093, 1/s =6 fd=1.146). Η φρακταλική διάσταση επηρεάζεται από τη σχετική θέση της κάτοψης στον κάναβο (άρτιο ή περιττό πλήθος) και όχι από το συνολικό μέγεθος του κανάβου (λευκό περιθώριο)

Ακραίες τιμές: Αστοχία στις μετρήσεις ή ένδειξη βαθμού διαφοροποίησης;

Παρόλο που οι μετρήσεις έγιναν με προσοχή και επιμέλεια σε όλα τα στάδια της διαδικασίας, (προετοιμασία των κατόψεων, σύνταξη του αλγορίθμου, καθορισμός των τιμών των παραμέτρων, εκτέλεση του αλγορίθμου και εξαγωγή αποτελεσμάτων), εξετάζοντας τις τελικές τιμές της φρακταλικής διάστασης διαπιστώθηκε ότι σε κάποιες περιπτώσεις εμφανίζονται τιμές μικρότερες της μονάδας (Πίνακας ΙΙ - 3).

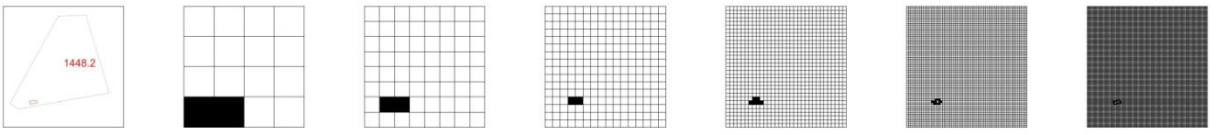
Όπως προαναφέρθηκε όμως, σύμφωνα με τον Mandelbrot (2004: 38), «ένα φρακταλικό σύνολο είναι ένα (σύνολο) του οποίου η φρακταλική (Hausdorff-Besicovitch) διάσταση αυστηρά ξεπερνά την τοπολογική διάσταση». Αυτό σημαίνει ότι για τα περιγράμματα των κατόψεων, που είναι μονοδιάστατες καμπύλες που αναπτύσσονται στο επίπεδο, η φρακταλική διάσταση θα έπρεπε να είναι πάντα μεταξύ της μονάδας και του δύο, που είναι η τοπολογική διάσταση της γραμμής και του επιπέδου αντίστοιχα. Φρακταλική διάσταση μικρότερη της μονάδας θα εμφάνιζαν σύνολα με τοπολογική διάσταση ίση με το μηδέν, δηλαδή σημεία.

Η φαινομενική αυτή αστοχία στη μέτρηση της φρακταλικής διάστασης μπορεί να οφείλεται σε διαφορετικούς παράγοντες. Θα μπορούσε να υποτεθεί ότι στις περιπτώσεις των κατόψεων όπου η φρακταλική διάσταση είναι μικρότερη της μονάδας, ίσως δεν αντιστοιχούν φρακταλικά χαρακτηριστικά. Αν ισχύει αυτή η υπόθεση, μπορεί η μη-συνεκτικότητα στη μετάβαση μεταξύ κλιμάκων να προκαλεί μεγάλη απόκλιση της λογαριθμικής γραφικής παράστασης από την καμπύλη παλινδρόμησης και επομένως η κλίση της τελευταίας να μην αντιπροσωπεύει τη φρακταλική διάσταση της αντίστοιχης κάτοψης. Επίσης ενδέχεται η απόκλιση αυτή να οφείλεται σε πολυφρακταλικά χαρακτηριστικά. Μπορεί όμως και να οφείλεται απλά σε ακατάλληλη κλίμακα κανάβου ανάλυσης.

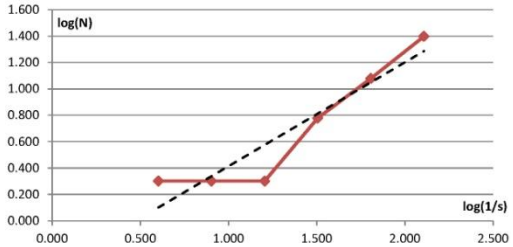
Παρατηρώντας τις κατόψεις των χώρων που εμφανίζονται να έχουν φρακταλική διάσταση μικρότερη της μονάδας (Εικόνα 2 - 19,Πίνακας ΙΙ - 3), διαπιστώνεται ότι πρόκειται ως επί το πλείστον για πολύ μικρά και πολύ κυρτά αστικά κενά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα στα πρώτα στάδια της μέτρησης που αντιστοιχούν στις μεγαλύτερες κλίμακες ανάλυσης, οι κατόψεις να είναι τόσο μικρότερες από τα κελιά που να εμφανίζονται ως σημεία, ή να καταλαμβάνουν το ίδιο πλήθος κελιών για περισσότερες της μίας διαδοχικές κλίμακες (δηλαδή Ni = Ni-1), οπότε για τις κλίμακες αυτές log(Ni)-log(Ni-1)] = 0 (Εικόνα 2 - 19 κάτω αριστερά, στάδια 1-2, 2-3).

Από τους αναλυτικούς πίνακες και τις γραφικές παραστάσεις που αντιστοιχούν στις μετρήσεις των κατόψεων αυτών, φαίνεται ότι σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις εμφανίζεται μεγάλη απόκλιση από την καμπύλη παλινδρόμησης (Εικόνα 2 - 19 κάτω δεξιά, Πίνακας ΙΙ - 3), κυρίως στα πρώτα στάδια, οπότε συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχει συνοχή στον τρόπο μετάβασης από τη μια κλίμακα στην άλλη. Πολλές φορές μάλιστα η φρακταλική διάσταση μεταξύ των πρώτων δύο σταδίων είναι μηδέν[23] ή πολύ κοντά στο μηδέν, την τοπολογική διάσταση του σημείου. Αυτό επιβεβαιώνει την υπόθεση ότι η κλίμακα των πρώτων σταδίων είναι υπερβολικά μεγάλη για τις συγκεκριμένες κατόψεις, οπότε οι μετρήσεις δεν εκφράζουν επαρκώς τη φρακταλική διάσταση των αντίστοιχων χώρων.

Προκειμένου να λάβουμε πιο αντιπροσωπευτικές τιμές θα μπορούσαμε να αγνοήσουμε το πρώτο στάδιο ή να ξανακάνουμε τις μετρήσεις με μικρότερη κλίμακα υποδιαιρέσεων. Αυτό μπορεί να έδινε ακριβέστερες τιμές για κάθε μεμονωμένη κάτοψη, αλλά στα πλαίσια της συγκεκριμένης εφαρμογής αυτό που έχει σημασία δεν είναι τόσο η απόλυτη τιμή της φρακταλικής διάστασης κάθε χώρου μεμονωμένα, αλλά η κατανομή και ο συσχετισμός μεταξύ των τιμών όλων των κατόψεων. Η φρακταλική διάσταση εδώ έχει σχετικό και συγκριτικό χαρακτήρα, οπότε η συνεκτικότητα των μετρήσεων έγκειται περισσότερο στη συνεκτικότητα της διαδικασίας μέτρησης και όχι τόσο στο αριθμητικό αποτέλεσμα. Με άλλα λόγια, μπορεί οι «παράλογες» τιμές, που είναι μικρότερες από τη μονάδα, να μην αποδίδουν με ακρίβεια τη φρακταλική διάσταση της κάτοψης, αλλά είναι αντιπροσωπευτικές της σχέσης της με το σύνολο των κατόψεων. Οι εξαιρετικά χαμηλές τιμές της φρακταλική διάστασης αντικατοπτρίζουν το γεγονός ότι οι συγκεκριμένες κατόψεις αποτελούν ακραίες περιπτώσεις του δείγματος και ως προς άλλα χαρακτηριστικά, όπως το μέγεθος και η κυρτότητα.



stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	2	0.301	4	0.602			
2	2	0.301	8	0.903	0.000	0.301	0.000
3	2	0.301	16	1.204	0.000	0.301	0.000
4	6	0.778	32	1.505	0.477	0.301	1.585
5	12	1.079	64	1.806	0.301	0.301	1.000
6	25	1.398	128	2.107	0.319	0.301	1.059
							average: 0.729
							slope: Db = 0.787



Εικόνα 2 - 19.
Παράδειγμα χώρου με φρακταλική διάσταση μικρότερη της μονάδας

Κενό 1448.2: Κάτοψη του αστικού κενού εντός του οικοδομικού τετραγώνου στο οποίο ανήκει και διαδοχικά στάδια της γραφικής διαδικασίας μέτρησης (πάνω), πίνακας υπολογισμού της φρακταλικής διάστασης όπου σημειώνεται τόσο το προσεγγιστικό αποτέλεσμα [average] όσο και η κλίση της καμπύλης παλινδρόμησης [slope] (κάτω αριστερά), διάγραμμα log/log και γραμμή παλινδρόμησης (κάτω δεξιά).

Αναλυτικότερα, παρατηρώντας τις τιμές που αντιστοιχούν στις συγκεκριμένες κατόψεις και ως προς τις υπόλοιπες μετρήσεις (Εικόνα 2 - 20), και συγκρίνοντάς τις με το σύνολο του δείγματος, βλέπουμε ότι, με εξαίρεση το χώρο 1654.2, οι υπόλοιποι είναι χώροι με πολύ μικρό εμβαδό (voidArea, μέσος

[23] Δηλαδή στα δύο πρώτα στάδια η δομή καταλαμβάνει το ίδιο πλήθος κελιών (N2 = N1). Το πλήθος αυτό εξαρτάται συνήθως από τη σχετική θέση της κάτοψης ως προς τις υποδιαιρέσεις του κανάβου. Για παράδειγμα, αν η κάτοψη είναι πολύ μικρότερη του μεγέθους του κελιού του σταδίου 1, αλλά τυχαίνει να βρίσκεται πάνω σε υποδιαίρεση, θα καταλαμβάνει 2 κελιά. Αν στο στάδιο 2 τα κελιά εξακολουθούν να είναι μεγαλύτερη της κάτοψης, αυτή θα καταλαμβάνει πιθανότατα πάλι 2 κελιά, καθώς η θέση της υποδιαίρεσης διατηρείται (π.χ. στην Εικόνα 2 - 19 για το αστικό κενό 1448.2 είναι N1 = N2 = N3 με αποτέλεσμα η φρακταλική διάσταση μεταξύ των σταδίων 1-2 και 2-3 να είναι μηδέν).

όρος 33τ.μ. σε συνολικό μέσο όρο 574τ.μ. και μέγιστο 2717.6τ.μ.) και περίμετρο (voidPerim, μέσος όρος 27μ. σε συνολικό μέσο όρο 165.7μ. και μέγιστο 556.5 μ.) και με απλή γεωμετρία, όπως φαίνεται από το μικρό πλήθος κορυφών (vertNum). Επιπλέον, είναι χώροι πολύ κυρτοί, με λίγες εσοχές και αρκετή συμμετρία, όπως φαίνεται από τις πολύ υψηλές τιμές μέσης συνδεσιμότητας (mcv, μέσος όρος 93.5 σε συνολικό μέσο όρο 50 και μέγιστο 100) και εμφανίζουν χαμηλό ρυθμό μεταβολής της συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου τους, όπως φαίνεται από τις γενικά χαμηλές τιμές της κατακόρυφης και της οριζόντιας τυπικής απόκλισης της συνδεσιμότητας (v-value, h-value). Οι περισσότεροι μάλιστα (11 από τους 17) είναι εντελώς κυρτοί (mcv 100, v-value και h-value 0). Είναι χαρακτηριστικό ότι κάποιοι από τους χώρους αυτούς εμφανίζουν ακραίες τιμές στα παραπάνω μεγέθη, ως προς το σύνολο του δείγματος. Έτσι, η κάτοψη του χώρου 1656.2 εμφανίζει τις απόλυτες ελάχιστες τιμές μεγέθους (εμβαδό και περίμετρος), πλήθους ακμών και μεταβολής της συνδεσιμότητας (κατακόρυφη και οριζόντια απόκλιση 0) ενώ έχει και τη μέγιστη δυνατή τιμή μέσης συνδεσιμότητας (100%).

Αντίθετα, ο χώρος 1654.2 εμφανίζει τα ακριβώς αντίθετα χαρακτηριστικά: έχει σχετικά μεγάλο μέγεθος (εμβαδό 188 τ.μ. και περίμετρο 105 μ.), σχήμα με πολλές κορυφές (17), μέση συνδεσιμότητα κοντά στη μέση τιμή του συνόλου του δείγματος (46.9 με μέση τιμή συνόλου 50), ενώ έχει τη μέγιστη τιμή του συνόλου στην κατακόρυφη τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας (21.62). Η τιμή αυτή της κατακόρυφης τυπικής απόκλισης φανερώνει ότι υπάρχει μεγάλη ανισοκατανομή της συνδεσιμότητας από σημείο σε σημείο της περιμέτρου. Θεωρητικά, υψηλές τιμές στην τυπική απόκλιση της συνδεσιμότητας, θα μπορούσαν να συνυπάρχουν με υψηλή φρακταλική διάσταση, αλλά στη συγκεκριμένη περίπτωση φαίνεται ότι η μεταβολή της συνδεσιμότητας δεν εμφανίζει κανονικότητα ως προς τη μεταβολή της κλίμακας του χώρου. Παρατηρώντας την κάτοψη, βλέπουμε ότι αποτελείται από αρκετά κυρτούς χώρους κανονικού σχήματος (σχεδόν ορθογώνια παραλληλόγραμμα, οι οποίοι όμως αρθρώνονται μεταξύ τους με τρόπο που σχηματίζουν ενώσεις πολύ χαμηλής συνδεσιμότητας. Χοντρικά, κάθε κυρτό τμήμα συνδέεται στο ένα άκρο του με έναν άλλο κυρτό τμήμα μικρότερης κλίμακας, σε στροφή 90 μοιρών. Έτσι προκαλούνται απότομες μεταβολές στη συνδεσιμότητα, ενώ η μέση συνδεσιμότητα παραμένει κοντά στο 50% και το συνολικό σχήμα εμφανίζει μια σχεδόν γραμμική διαδοχή κλιμάκων χωρίς ιδιαίτερα φρακταλικά χαρακτηριστικά.

Άλλοι χώροι που εμφανίζουν ακραίες τιμές είναι ο 1524.1 με κατακόρυφη τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας 20.03, πολύ κοντά στη μέγιστη τιμή 21.62 του χώρου 1654.2. Πράγματι, εξετάζοντας το σχήμα της κάτοψης, διακρίνουμε παρόμοια χαρακτηριστικά διάταξης με αυτά που περιγράφηκαν για το χώρο 1654.2, με κυρτά τμήματα που συνδέονται σε σειρά, με μειούμενη κλίμακα και στροφή 90 μοιρών. Επίσης, η κάτοψη 5768.1 εμφανίζει τη μέγιστη τιμή οριζόντιας τυπικής απόκλισης συνδεσιμότητας για ολόκληρο το σύνολο των κατόψεων (32.29) και αρκετά υψηλή μέση συνδεσιμότητα (88.98). Το χαρακτηριστικό που φαίνεται να της δίνει τόσο μεγάλη οριζόντια τυπική απόκλιση είναι ο υψηλός ρυθμός μεταβολής της συνδεσιμότητας, που προκαλείται από το σχηματισμό μικρών εσοχών με μικρή συνδεσιμότητα σε μια κατά τα άλλα αρκετά κυρτή και διασυνδεδεμένη περίμετρο. Τέλος, η κάτοψη 1530.1 αν και είναι αρκετά μεγαλύτερη σε εμβαδό από τις υπόλοιπες (100.8 τ.μ. σε ένα μέσο όρο δείγματος 33.2 τ.μ.), έχει τιμές συνδεσιμότητας πολύ κοντά στις μέσες τιμές του δείγματος. Αν και λόγω μεγέθους φαίνεται να διαφέρει από τις υπόλοιπες κατόψεις με αντίστοιχη φρακταλική διάσταση, ουσιαστικά έχει πολύ παρόμοια χαρακτηριστικά που απλά εμφανίζονται μεγεθυμένα.

Από την ανάλυση των χαρακτηριστικών των κατόψεων που εμφανίζουν ασυνήθιστα χαμηλή φρακταλική διάσταση, βλέπουμε ότι ο συσχετισμός μεταξύ μεγεθών δεν είναι μονοσήμαντος. Αυτό γίνεται εμφανές και από τον πίνακα συσχέτισης (Πίνακας IV - 3) των μεγεθών ανα ζεύγη. Το μόνο μέγεθος που φαίνεται να συσχετίζεται σε κάποιο βαθμό με τη φρακταλική διάσταση είναι η μέση

συνδεσιμότητα (βαθμός συσχετισμού -0.6), δηλαδή μεγάλη κυρτότητα σχετίζεται συχνά με μικρή φρακταλική διάσταση. Όλα τα άλλα μεγέθη δεν συνδέονται με σταθερό τρόπο με τη φρακταλική διάσταση (απόλυτος βαθμός συσχετισμού μικρότερος του 0.5). Για παράδειγμα, όπως φάνηκε και παραπάνω, υψηλή κατακόρυφη ή οριζόντια τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας μπορεί να συνυπάρχει εξίσου με ψηλή και χαμηλή φρακταλική διάσταση.

Η απουσία σταθερού συσχετισμού οφείλεται στο γεγονός ότι η φρακταλική διάσταση δεν είναι τοπολογικό μέγεθος. Σύμφωνα με τον Mandelbrot, «τα περισσότερα προβλήματα πραγματικού ενδιαφέροντος συνδυάζουν φρακταλικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά με αυξανόμενα εκλεπτυσμένο τρόπο (και) η συνύπαρξη της φρακταλικής και της τοπολογικής διάστασης είναι θέμα αναγκαιότητας» (Mandelbrot, 1982: 17, 38).

void number	fd	voidArea	voidPerimeter	vertNum	mcv	v-value	h-value
1818.3	0.711	11.066	16.383	6.000	100.000	0.000	0.000
1615.2	0.771	36.674	26.529	5.000	100.000	0.000	0.000
5769.1	0.787	24.602	32.897	9.000	80.392	17.538	12.984
1448.2	0.787	8.302	13.111	5.000	100.000	0.000	0.000
1818.2	0.796	10.720	17.304	5.000	100.000	0.000	0.000
5768.1	0.852	49.693	34.287	7.000	88.971	12.227	32.286
1530.1	0.874	100.824	44.639	9.000	94.466	8.682	12.749
1656.2	0.881	6.434	11.068	5.000	100.000	0.000	0.000
1524.2	0.896	36.902	27.867	6.000	100.000	0.000	0.000
1619.2	0.907	31.515	22.586	5.000	100.000	0.000	0.000
5769.2	0.908	23.139	21.061	5.000	100.000	0.000	0.000
1524.1	0.910	70.986	53.864	12.000	70.940	20.035	16.426
1665.2	0.912	39.017	30.324	9.000	75.824	11.578	4.905
1610.2	0.918	9.694	26.257	5.000	100.000	0.000	0.000
1448.1	0.921	41.180	25.897	5.000	100.000	0.000	0.000
1657.1	0.932	17.377	21.281	5.000	100.000	0.000	0.000
1654.2	0.988	187.915	105.041	17.000	46.936	21.623	13.555
1480.1	0.999	46.235	31.969	7.000	79.167	16.646	16.047
total min	0.711	6.434	11.068	5.000	9.936	0.000	0.000
total max	1.261	2717.630	556.477	77.000	100.000	21.623	32.286
total mean	1.077	574.046	165.695	26.227	49.976	11.434	7.622
sample min	0.711	6.434	11.068	5.000	46.936	0.000	0.000
sample max	0.999	187.915	105.041	17.000	100.000	21.623	32.286
sample mean	0.875	41.793	31.243	7.056	90.928	6.018	6.053
excluding 1654.2	0.868	33.198	26.901	6.471	93.515	5.100	5.612

Εικόνα 2 - 20.

Χώροι με φρακταλική διάσταση μικρότερη της μονάδας: Παρατήρηση μετρήσεων ως προς άλλα χαρακτηριστικά

Μετρήσεις ιδιοτήτων στις οποίες οι εμφανίζονται ακραίες ή παρόμοιες τιμές (πάνω), ακραίες και μέσες τιμές στις ιδιότητες υατλες για το σύνολο του δείγματος (κέντρο), ακραίες και μέσες τιμές στις ιδιότητες υατλες για τους χώρους με φρακταλική διάσταση μικρότερη της μονάδας (κάτω). Με μπλε χρώμα σημειώνονται οι ελάχιστες και με κόκκινο οι μέγιστες τιμές για το σύνολο του δείγματος, ενώ με πορτοκαλί οι μέγιστες τιμές για τους χώρους με φρακταλική διάσταση μικρότερη της μονάδας

2.4.2.9.3. Γενικές παρατηρήσεις και σύγκριση των δύο εφαρμογών

Εκτός από την εμφάνιση απροσδόκητων τιμών, μικρότερων από το κατώτατο αναμενόμενο όριο της τοπολογικής διάστασης της γραμμής, παρατηρούμε ότι η φρακταλική διάσταση είναι σχετικά χαμηλή για ολόκληρο το δείγμα κατόψεων από την περιοχή των Πατησίων. Συγκεκριμένα, το εύρος των τιμών

κυμαίνεται από 0.71 μέχρι 1.26, με το μέσο όρο να βρίσκεται μόλις λίγο πάνω από τη μονάδα, στο 1.077 και τυπική απόκλιση 0.106. Το 80% των κατόψεων κυμαίνονται μεταξύ 1.00 και 1.20.

Αντίθετα, στην περίπτωση της συγκριτικής ανάλυσης των οικοδομικών τετραγώνων από διαφορετικές γειτονιές για την πιλοτική εφαρμογή, η φρακταλική διάσταση των κατόψεων εμφανίζεται αρκετά μεγαλύτερη, με ελάχιστη τιμή 1.236 και μέγιστη 1.674. Η ελάχιστη τιμή εδώ είναι ελάχιστα μικρότερη από τη μέγιστη της προαναφερθείσας εφαρμογής.

Η διαφοροποίηση αυτή στο εύρος των τιμών της φρακταλικής διάστασης οφείλεται πιθανότατα σε δύο παράγοντες.

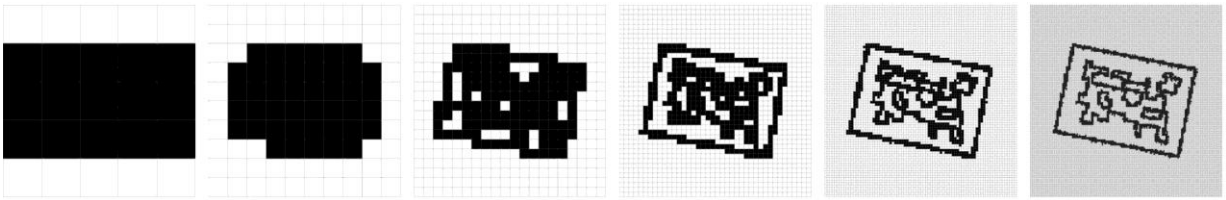
Πρώτον, στην ίδια τη γεωμετρία των κατόψεων. Στην περίπτωση των γειτονιών υπολογίζεται η φρακταλική διάσταση ολόκληρου του οικοδομικού τετραγώνου, η κάτοψη του οποίου, όπως προαναφέρθηκε, περιλαμβάνει συνήθως πολλαπλά περιγράμματα, με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται στο επίπεδο «γεμίζοντάς το» περισσότερο από ότι τα μεμονωμένα περιγράμματα που μετρώνται στην περίπτωση των αδόμητων χώρων των Πατησίων. Έτσι, είναι αναμενόμενο η φρακταλική διάσταση ολόκληρου του οικοδομικού τετραγώνου να είναι πλησιέστερη στην τοπολογική διάσταση του επιπέδου σε σχέση με του μεμονωμένου περιγράμματος που προσεγγίζει περισσότερο τη γραμμή.

Ο δεύτερος παράγοντας που συμβάλλει στη σημαντική διαφορά των τιμών της φρακταλικής διάστασης μεταξύ των δύο εφαρμογών, είναι ο ίδιος ο τρόπος μέτρησης. Παρόλο που και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος, αυτή της αρίθμησης κουτιών, με αντίστοιχους κανόνες ως προς τον προσδιορισμό των κλιμάκων ανάλυσης, αλλά και του συνολικού μεγέθους, της σχετικής θέσης και του προσανατολισμού του κανάβου, αναφέρθηκαν ήδη δύο σημαντικές διαφορές: η μορφή με την οποία εισάγονται οι κατόψεις, που στην πρώτη εφαρμογή είναι εικόνες ενώ στη δεύτερη διανυσματική γεωμετρία, και ο τρόπος υπολογισμού της κλίσης της λογαριθμικής γραφικής παράστασης.

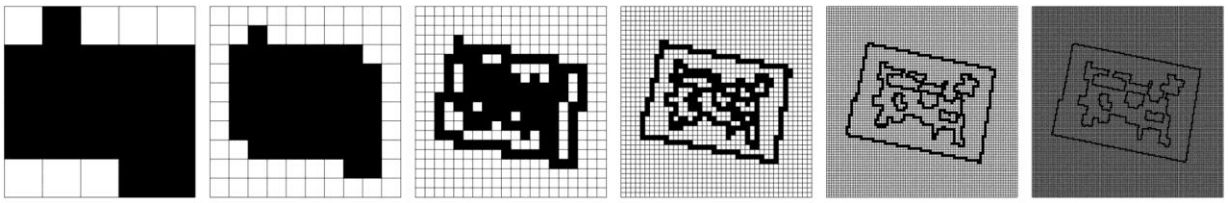
Οι διαφορές που προκύπτουν από τον υπολογισμό της κλίσης είτε ως μέσου όρου των επιμέρους κλίσεων είτε μέσω της καμπύλης παλινδρόμησης είναι σχεδόν αμελητέες (της τάξης του 0.05 κατά το μέγιστο), κυρίως όταν η γραφική παράσταση είναι ομαλή (βλ. παραπάνω Εικόνα 2 - 13).

Η μορφοποίηση της αναπαράστασης φαίνεται να παίζει πολύ σημαντικότερο ρόλο στον υπολογισμό της τιμής της φρακταλικής διάστασης. Στην περίπτωση της εικόνας, υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν τη μέτρηση, όπως το πάχος και η ευκρίνεια του περιγράμματος, η ανάλυση της εικόνας, ο τρόπος αλγοριθμικής ανάγνωσης του χρώματος. Έτσι υπάρχει πάντα μια ασάφεια ως προς το τι ανήκει στη δομή και τι στο φόντο της. Αντίθετα, στα διανυσματικά γραφικά, που είναι ανεξάρτητα ανάλυσης σε εικονοστοιχεία, έχουμε μεγάλη ακρίβεια υπολογισμού των γεωμετρικών σχέσεων μεταξύ κάτοψης και κανάβου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, κυρίως όσο μειώνεται η κλίμακα του κανάβου, να διαφοροποιείται το πλήθος των κελιών που προσμετρούνται ως περιέχοντα δομή στην περίπτωση της εικόνας και της διανυσματικής γεωμετρίας, με την εικόνα να εμφανίζει αυξανόμενο «θόρυβο» και επομένως αυξανόμενο πλήθος κελιών. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του οικοδομικού τετραγώνου Α001, για το ίδιο συνολικό πλαίσιο, το ίδιο πλήθος κελιών και κλιμάκων και την ίδια σχετική θέση και προσανατολισμό, λαμβάνουμε μέτρηση 1.53 για κάτοψη σε μορφή εικόνας και 1.21 για διανυσματική κάτοψη. Από τους αναλυτικούς πίνακες των μετρήσεων παρατηρούμε ότι στην περίπτωση της εικόνας, όσο μικραίνει η κλίμακα, τόσο αυξάνεται το πλήθος των προσμετρούμενων κελιών σε σύγκριση με τη διανυσματική κάτοψη, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η εκτιμώμενη φρακταλική διάσταση (Εικόνα 2 - 21).

Οι διαφοροποιήσεις αυτές, δείχνουν για άλλη μια φορά ότι η φρακταλική διάσταση δεν μπορεί να μετρηθεί με απόλυτο τρόπο ούτε να ερμηνευτεί μονοσήμαντα. Εφόσον όμως ο τρόπος υπολογισμού της είναι συνεπής για ολόκληρο το εξεταζόμενο δείγμα, τα αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν συνεκτικά και συνεπή, στα πλαίσια μιας συγκριτικής ανάλυσης.



stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	15	1.176	5	0.699			
2	43	1.633	10	1.000	0.457	0.301	1.519
3	132	2.121	20	1.301	0.487	0.301	1.618
4	364	2.561	40	1.602	0.441	0.301	1.463
5	1022	3.009	80	1.903	0.448	0.301	1.489
6	3027	3.481	160	2.204	0.472	0.301	1.566
							D = 1.531



stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	18	1.255	5	0.699			
2	49	1.690	10	1.000	0.435	0.301	1.445
3	127	2.104	20	1.301	0.414	0.301	1.374
4	285	2.455	40	1.602	0.351	0.301	1.166
5	600	2.778	80	1.903	0.323	0.301	1.074
6	1212	3.084	160	2.204	0.305	0.301	1.014
							D = 1.215

Εικόνα 2 - 21.

Υπολογισμός φρακταλικής διάστασης βάσει εικόνας (bitmap) και διανυσματικής γεωμετρίας (vector)

Οικοδομικό τετράγωνο Α001: Φρακταλική βάσει εικόνας της κάτοψης (πάνω) και διανυσματικής γεωμετρίας της κάτοψης (κάτω). Όσο μειώνεται η κλίμακα τα διανυσματικά γραφικά παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια, καθώς είναι ανεξάρτητα κλίμακας ανάλυσης

2.4.3. Τοπολογικά – Συντακτικά μεγέθη

2.4.3.1. Τοπολογικές σχέσεις

Οι τοπολογικές ιδιότητες της κάτοψης αναφέρονται σε μετρήσεις που παραμένουν αμετάβλητες σε τοπολογικές παραμορφώσεις, όπως είναι η ισότροπη ή ανισότροπη μεταβολή κλίμακας, η στρέψη, ο αντικατοπτρισμός, η πτύχωση. Οι ιδιότητες αυτές εκφράζουν σχέσεις μεταξύ μερών της κάτοψης και με αυτή την έννοια σχετίζονται σε κάποιο βαθμό με τη γεωμετρική διάταξη των σχημάτων αλλά είναι ανεξάρτητες από τα μετρικά χαρακτηριστικά τους. Οι τοπολογικές σχέσεις «παραπέμπουν στον τρόπο με τον οποίο τα πράγματα παρατίθενται, εμπεριέχονται, γειτνιάζουν ή συνορεύουν και τη σχέση του μέσα, του έξω και του ανάμεσα» (Πεπονής, 2003: 171). Με αυτή την έννοια οι τοπολογικές σχέσεις είναι διατακτικές και αναφέρονται στον τρόπο σύνταξης της χωρικής διάταξης.

2.4.3.2. Συντακτικές σχέσεις

Σύμφωνα με τους Hillier και Hanson «η διάταξη προκύπτει από συντακτικές αρχές. […] Τα συντακτικά είναι συνδυαστικές δομές οι οποίες, ξεκινώντας από ιδέες που μπορεί να είναι μαθηματικές, ξεδιπλώνονται σε οικογένειες τύπων σχηματισμών που παρέχουν στον κατασκευασμένο κόσμο του διακριτού συστήματος την εσωτερική του τάξη ως 'γνωρίσιμα' [knowables], και στον εγκέφαλο τα μέσα για να ανακτά περιγραφές από αυτά. Το συντακτικό είναι τα ατελή μαθηματικά του κατασκευασμένου» (Hillier & Hanson, 1984:48). «Οι συντακτικές αναπαραστάσεις είναι θεωρητικές περιγραφές, με την έννοια ότι, όπως και τα κτίρια, είναι χωρικές μορφές με λειτουργικές συνέπειες. Οι συντακτικές θεωρίες είναι αρχιτεκτονικές όχι μόνο με την έννοια ότι αναφέρονται στην αρχιτεκτονική, αλλά και με την έννοια ότι είναι εκφρασμένες στη γλώσσα της αρχιτεκτονικής» (Hillier, 1993: 22).

Οι συντακτικές σχέσεις είναι «σχέσεις που αφορούν την από κοινού διάθεση των πραγμάτων στο χώρο ή τη σύνδεση διαφοροποιημένων θέσεων στο χώρο […]. Αποτελούν τον αφαιρετικό σκελετό της μορφής» (Πεπονής, 2003: 188) εκφράζοντας «αφηρημένους γονότυπους χωρικών πραγματικοτήτων» (Hillier & Hanson, 1984: 198).

Με την έννοια αυτή, η περιγραφή της χωρική σύνταξης έγκειται κυρίως στην απόδοση συσχετιστικών, τοπολογικών χαρακτηριστικών του χώρου.

2.4.3.3. Κυρτότητα μέσω συνδεσιμότητας της περιμέτρου

Για τη μέτρηση τοπολογικών και συντακτικών χαρακτηριστικών, όπως η χωρική συνδεσιμότητα και η κυρτότητα, εφαρμόζεται μια μέθοδος για την περιγραφή συντακτικών ιδιοτήτων της περιμέτρου σχημάτων. Αυτή η μέθοδος, που έχει προταθεί και αναπτυχθεί από τους Psarra και Grajewski (2001, Psarra, 2003) παρέχει ένα συνδυασμό τοπικών και συνολικών, διαδοχικών και συγχρονικών προσεγγίσεων της οπτικής εμπειρίας, ποσοτικοποιώντας την κυρτότητα σχημάτων με όρους κατανομής συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου.

Η μέτρηση της συνδεσιμότητας της περιμέτρου σχημάτων εστιάζει σε συντακτικές ιδιότητες των κατόψεων. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται τόσο από τη γεωμετρία όσο και από την τοπολογία των αντίστοιχων διατάξεων, αλλά αυτό που μετράται είναι ουσιαστικά η σχέση μεταξύ τμημάτων των κατόψεων, σε τοπικό και συνολικό επίπεδο. Με αυτή την έννοια, η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται ως κατά κύριο λόγο τοπολογική.

Σύμφωνα με την περιγραφή της μεθόδου, η περίμετρος του κάθε σχήματος, που αποτελεί το περίγραμμα μιας κάτοψης, υποδιαιρείται σε τμήματα ίσου μήκους. Από τις υποδιαιρέσεις εξάγεται ένας πλήρης γράφος, όπου όλα τα σημεία της περιμέτρου συνδέονται με όλα. Στη συνέχεια, για κάθε σημείο υπολογίζεται το πλήθος των συνδέσεων που βρίσκονται εξ ολοκλήρου εντός του περιγράμματος, χωρίς να το τέμνουν. Από τη γραφική αναπαράσταση του πλήθους αυτού ως προς τις διαδοχικές θέσεις της περιμέτρου εξάγεται μια σειρά μετρήσεων, που αντιστοιχούν σε τοπικές-διαχρονικές και καθολικές-συγχρονικές ιδιότητες του σχήματος, με όρους σταθερότητας και μεταβολής, ρυθμού και επανάληψης (Psarra & Grajewski, 2001, Psarra, 2003).

2.4.3.4. Επισκόπηση μεθόδων μέτρησης τοπολογικών – συντακτικών ιδιοτήτων με όρους συνδεσιμότητας

Βασική ιδιότητα που εκφράζει με πολλαπλούς τρόπους τοπολογικές και συντακτικές ιδιότητες, είναι η χωρική συνδεσιμότητα.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τη μέτρηση της χωρικής συνδεσιμότητας που βασίζονται ως επί το πλείστον σε οπτικές ιδιότητες του χώρου. Αυτές μπορεί να εκφράζουν ή και να συνδυάζουν συγχρονικές (καθολικές) και διαχρονικές (τοπικές) προσεγγίσεις της συνδεσιμότητας και να ακολουθούν αντίστοιχα από τα άνω προς τα κάτω [top-down] ή από τα κάτω προς τα άνω [bottom-up] λογικές προσέγγισης και μέτρησής της.

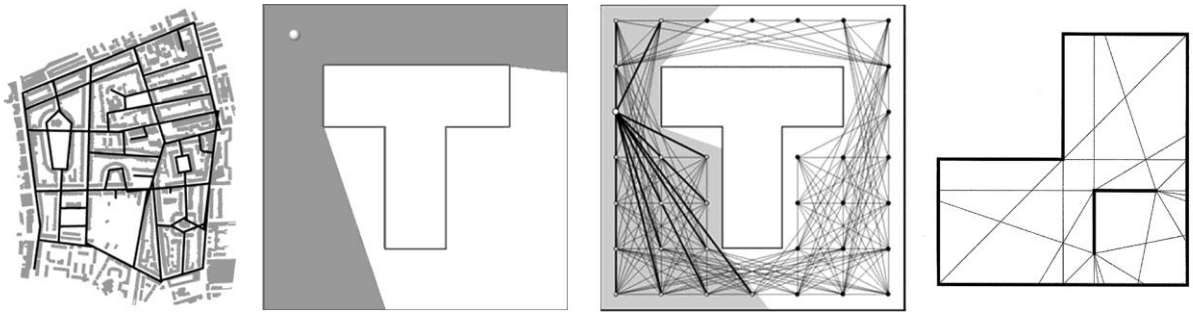
Οι πιο διαδεδομένες μετρήσεις συνδεσιμότητας βασίζονται στους αξονικούς χάρτες [axial maps], όπως ορίστηκαν και χρησιμοποιούνται από τη Space Syntax[24] (Εικόνα 2 - 1, Εικόνα 2 - 22 αριστερά). «Ένας αξονικός χάρτης ορίζεται ως το ελάχιστο σύνολο ευθειών που διαπερνάει κάθε κυρτό χώρο και πραγματοποιεί όλες τις αξονικές συνδέσεις» (Hillier & Hanson, 1984: 92). Η χωρική αναπαράσταση και ανάλυση με τη χρήση αξονικών χαρτών χρησιμοποιείται για την οπτικοποίηση και την ποσοτικοποίηση σχέσεων συνδεσιμότητας σε συνεχείς χώρους, με όρους ανεμπόδιστων οπτικών φυγών. Οι αξονικοί χάρτες εκφράζουν σχηματισμούς οπτικών συνδέσεων εντός του χώρου, μέσω της αναπαράστασης συνεχών γραμμών όρασης μεταξύ κορυφών των περιγραμμάτων της κάτοψης των αντίστοιχων χώρων.

Εκτός από τους αξονικούς χάρτες, η Space Syntax χρησιμοποιεί επίσης isovists και γράφους ορατότητας [visibility graphs] (Εικόνα 2 - 22 κέντρο) για τη διερεύνηση χωρικών ιδιοτήτων που σχετίζονται με την οπτική αντίληψη της συνδεσιμότητας. Οι isovists, όπως περιγράφονται από τον Benedict, ορίζονται ως πολυγωνικά σχήματα ορατά από ένα σημείο εποπτείας του χώρου (Benedict, 1979). «Ο Benedikt υπολόγισε τις ιδιότητες σημειακών isovists σε έναν κάναβο θέσεων εντός του ανοιχτού χώρου μιας διάταξης και στη συνέχεια τις παρενέβαλε για να παραχθούν ‘πεδία’ [isovist fields]. Επίσης ανέπτυξε την αναπαράσταη ενός χάρτη ορίων ενός πεδίου isovist για να περιγράψει τη μεταβολή των διαφορετικών παραμέτρων των isovists στο περιβάλλον» (Turner & Penn, 1999). Σύμφωνα με τον ορισμό τους, οι isovists βασίζονται στη διακριτικοποίηση του χώρου βάσει κανάβου και αναφέρονται σε τοπική πληροφορία, καθώς τα σχηματιζόμενα πεδία οι σχετικές μετρήσεις «ορίζονται τοπικά και είναι ανεξάρτητες από την κατάσταση των πεδίων σε άλλες τοποθεσίες» (Turner & Penn, 1999). Η ανάλυση μέσω isovists αποτέλεσε τη βάση για πλήθος άλλων μεθόδων, όπως μέθοδοι που βασίζονται στον υπολογισμό του βαθμού και της κατανομής της παρεχόμενης σε κάθε σημείο του χώρου οπτικής πληροφορίας, συσχετίζοντας την οπτική πληροφορία με χωρικά στοιχεία όπως γωνίες, ακμές και επιφάνειες (Peponis et al, 1997) (Εικόνα 2 - 22, δεξιά), ή μέθοδοι για

[24] Βλ. και παραπάνω, κεφάλαιο 2.1.1.

την καθολική ενσωμάτωνση των isovists προκείμένου να εκφράσουν συσχετισμούς μεταξύ επιμέρους πεδίων, βάσει της ανάλυσης των μεταξύ τους συνδέσεων (Turner & Penn, 1999).

Σε άμεση σχέση με την προσέγγιση του χώρου μέσω isovists, οι γράφοι ορατότητας αναπαριστούν τις συνεχείς γραμμές όρασης μεταξύ σημείων ενός κανάβου που τοποθετείται πάνω στην κάτοψη του αντίστοιχου χώρου, αποδίδοντας μια συγχρονική άποψη της οπτικής αντίληψης από διαφορετικές θέσεις.



Εικόνα 2 - 22.
Διαφορετικές χαρτογραφήσεις της χωρικής συνδεσιμότητας

Από αριστερά προς τα δεξιά: Αξονικός χάρτης του Barnsbury (Hillier & Handson, 1984: 125), isovist και γράφος ορατότητας (Turner et al, 2001: 104, 108), e-partitions (Peponis, 1997: 34.6)

Οι παραπάνω μέθοδοι συνδυάζουν σε διαφορετικούς βαθμούς διαχρονικές και συγχρονικές αποδόσεις της συνδεσιμότητας, καθώς «η χωρική αναγνωσιμότητα όπως ορίζεται από την έρευνα της Space Syntax βασίζεται στη σχέση μεταξύ τοπικών και καθολικών διατακτικών ιδιοτήτων. Αυτές εκφράζουν το πόσο απλή ή πολύπλοκή είναι μια διάταξη από μια συγκεκριμένη θέση και ποια είναι η εμπειρία σε ένα τοπικό επίπεδο σε αναφορά με τη συνολική κλίμακα» (Psarra & Grajewski, 2001: 16).

Στις βασικές αυτές και πολύ διαδεδομένες προσεγγίσεις έχουν βασιστεί πλήθος παραλλαγών, επεκτάσεων και ερμηνειών που παρέχουν διαφορετικές αναγνώσεις συγχρονικών και διαχρονικών εκφράσεων της συνδεσιμότητας ως βασικού χαρακτηριστικού της χωρικής διάταξης που καθορίζει τη χωρική αντίληψη και εμπειρία.

Η μέθοδος που επιλέχθηκε για τη συγκεκριμένη εφαρμογή βασίζεται στη μέτρηση τοπικών χαρακτηριστικών του περιγράμματος σχημάτων και η περιγραφή του σχήματος εστιάζει στις συντακτικές ιδιότητες της περιμέτρου (Psarra & Grajewski, 2001, Psarra, 2003). Οι τοπικές αυτές ιδιότητες αναφέρονται στο πλήθος των συνδέσεων από κάθε θέση της περιμέτρου σε κάθε άλλη, εκφράζοντας έτσι την κυρτότητα του σχήματος. «Μετρώντας τοπικές ιδιότητες σχημάτων, εκφρασμένες ως μια δομή συνδέσεων συνδεσιμότητας, αρχίζουμε να κατανοούμε πώς συμπεριφέρονται απλές διατάξεις. Επιπλέον, αν θεωρήσουμε τα σχήματα ως περιέχοντα χώρο, είναι ενδιαφέρον να γνωρίζουμε πώς τοπικές ιδιότητες της διάρθρωσης της περιμέτρου σχετίζονται με τη χωρική εμπειρία ως διαδοχική διαδικασία» (Psarra & Grajewski, 2001: 2).

Καθώς κινούμαστε «προσλαμβάνουμε πληροφορία και η εμπειρία αλλάζει ανάλογα με τη θέση μας στο χώρο. Ωστόσο, αυτό που βλέπουμε σαν ένα πλήθος διαδοχικών οπτικών πεδίων έχει μια συγχρονική φύση προσφέροντας ένα σταθερό πλαίσιο στη μεταβαλλόμενη χωρική εμπειρία. Αυτό το πλαίσιο συσχετίζει χωρικά στιγμιότυπα σε μορφικές δομές εκτός της δεδομένης χωρικής περιοχής» (Psarra & Grajewski, 2001: 1).

Όλες οι διαδοχικά προσλαμβανόμενες παραλλαγές σχηματίζουν μια δομή που συσχετίζεται με το σχήμα του χώρου όπως αυτό εκφράζεται σε κάτοψη. «Για τον Frankl η σύνθεση των αποσπασματικών

εικόνων που προσλαμβάνονται από διαφορετικά χωρικά σημεία οδηγεί στην άντληση μιας μοναδικής εικόνας, του νοητικού πλαισίου του σχήματος ενός κτιρίου» (Psarra & Grajewski, 2001: 1).

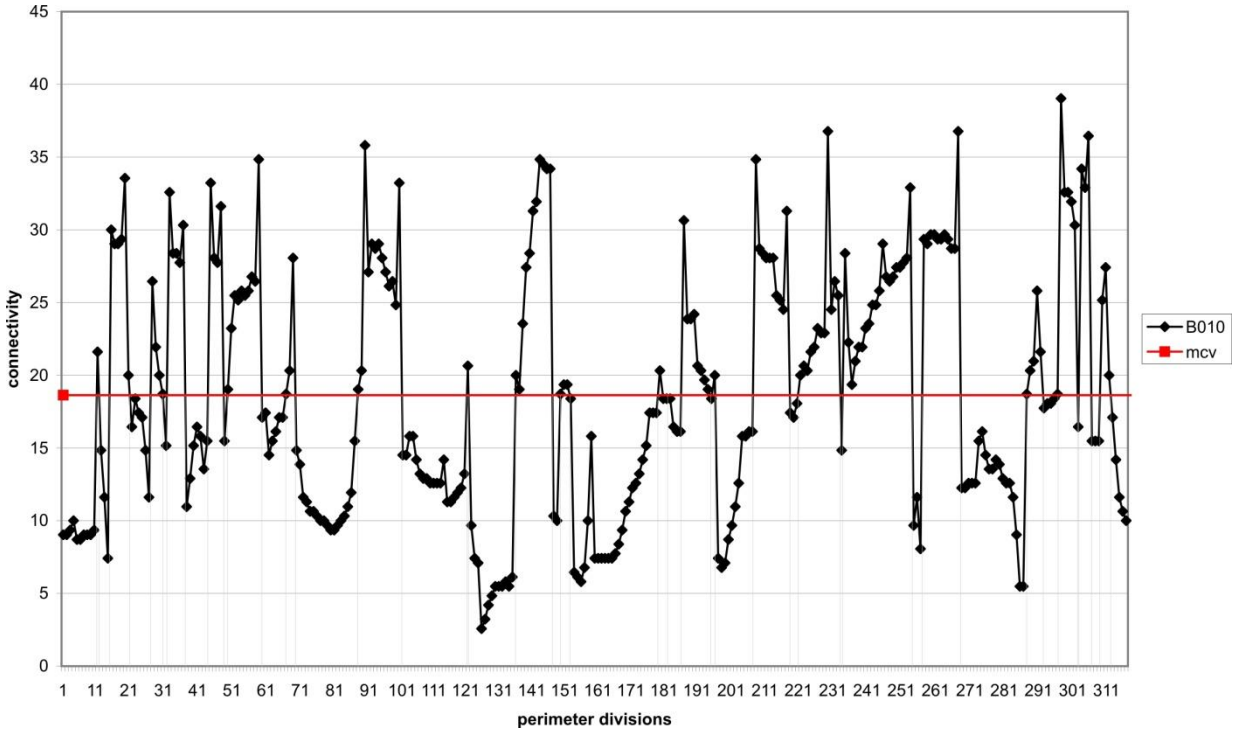
2.4.3.5. Επιλογή μεθόδου

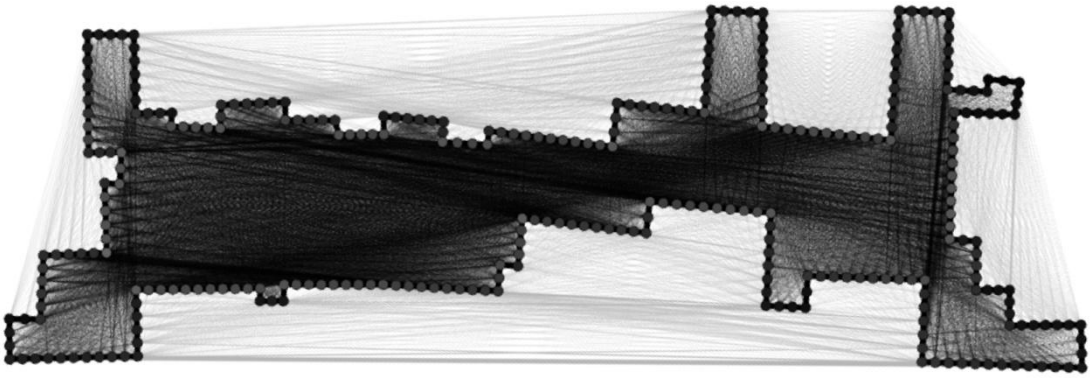
Η ανάλυση εστιάζει στους αδόμητους χώρους εντός των ορίων των οικοδομικών τετραγώνων, τόσο στην περίπτωση των γνωστών δειγμάτων από διαφορετικές περιοχές, όσο και στην περίπτωση των μη αναγνωρισμένων και μη κατηγοριοποιημένων μεμονωμένων αστικών κενών. Λόγω της περιορισμένης οπτικής διαπερατότητας των χώρων αυτών, που οφείλεται στη θέση τους εντός των οικοδομικών τετραγώνων, στο συχνά περίκλειστο χαρακτήρα τους και στην πολύπλοκη και θραυσματική μορφή τους, σπάνια προσφέρονται σε μια συνολική εποπτεία. Η πρόσληψη των χωρικών ποιοτήτων σχετίζεται άμεσα με τη σταδιακή και αποσπασματική τους αποκάλυψη στην οπτική αντίληψη του κινούμενου υποκειμένου.

Όπως αναφέρθηκε, υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την ποσοτικοποίηση και ανάλυση χωρικών ιδιοτήτων που βασίζονται στην υπόθεση ότι η προσλαμβανόμενη οπτική πληροφορία και η χωρική εμπειρία μεταβάλλονται ανάλογα με τη θέση του παρατηρητή στο χώρο (Psarra & Grajewski, 2001). Κάποιες από τις μεθόδους αυτές εστιάζουν στη διαδοχική αυτή φύση της χωρικής εμπειρίας ενώ άλλες συνδυάζουν διακριτά οπτικά στιγμιότυπα σε μια συγχρονική οπτική.

Η μέθοδος που εφαρμόζεται στην παρούσα εφαρμογή έχει στοιχεία και των δύο κατευθύνσεων, παρέχοντας ένα συνδυασμό τοπικών και συνολικών, διαδοχικών και συγχρονικών προσεγγίσεων της χωρικής εμπειρίας και βασίζεται στην περιγραφή συντακτικών ιδιοτήτων της περιμέτρου σχημάτων, ποσοτικοποιώντας την κυρτότητά τους με όρους κατανομής της συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου (Εικόνα 2 - 23, Εικόνα 2 - 31, Πίνακας ΙΙΙ - 1, Πίνακας ΙΙΙ - 2).

Προσεγγίζοντας τα χαρακτηριστικά του σχήματος μέσω της περιμέτρου του, η μέθοδος αυτή θεωρήθηκε ιδιαίτερα κατάλληλη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, αφού οι αδόμητοι χώροι των οικοδομικών τετραγώνων γίνονται αρχικά, και κάποιες φορές και αποκλειστικά, αντιληπτοί δια της περιμέτρου τους, είτε μέσω ακμών τους που αποτελούν ανοίγματα προς το δημόσιο χώρο, είτε από τα παράθυρα των κτιρίων που τους περιβάλλουν και τους οριοθετούν.





plan	mcv	mhv	v-value	h-value
void 0	18.63085	2.272727	8.318265	2.021439
voids 1-8	100	0	0	0
total B010	39.60428	0.873291	6.174178	1.5004

Εικόνα 2 - 23.
Μετρήσεις συνδεσιμότητας σε Processing

Παράδειγμα μετρήσεων του οικοδομικού τετραγώνου B010. Υπολογισμός συνδέσεων εντός του περιγράμματος (κέντρο), γράφημα των τοπικών ιδιοτήτων για τον κεντρικό αδόμητο χώρο B010.0 (πάνω) και συνολικές μετρήσεις για το σύνολο των αδόμητων χώρων του οικοδομικού τετραγώνου (κάτω)

2.4.3.6. Περιγραφή της μεθόδου. Ο αλγόριθμος

Σύμφωνα με τους Psarra και Grajewski, αυτή η μέθοδος διερευνά τρόπους σύγκρισης σχημάτων με διαφορετική γεωμετρία χωρίς να βασίζεται σε καθιερωμένες έννοιες γεωμετρικής τάξης, αλλά στη μέτρηση τοπικών χαρακτηριστικών τους, ποσοτικοποιώντας την κυρτότητά τους ως προς την κατανομή συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου. Έτσι, «απλές διατάξεις περιγράφονται μέσω της μέτρησης βαθμών σταθερότητας και διαφοροποίησης, ενεργώντας στο επίπεδο ενός συνόλου σημείων της περιμέτρου αλλά και διαδοχικών τμημάτων της» (Psarra & Grajewski, 2001: 1).

Στην προσέγγιση αυτή, η αντιληπτική εμπειρία του χώρου συσχετίζεται με τη συνδεσιμότητα της κάτοψης, η οποία με τη σειρά της αποτελεί έκφραση του πόσο κυρτό ή κοίλο είναι το σχήμα της κάτοψης.

2.4.3.6.1. Κυρτότητα

Ο γεωμετρικός ορισμός της κυρτότητας ενός κλειστού σχήματος είναι ότι καμία εφαπτομένη της περιμέτρου δεν διαπερνά το περίγραμμα του σχήματος (Hillier & Hanson, 1984: 97). Αλλιώς, ένα κλειστό σχήμα είναι κυρτό όταν όλες οι εσωτερικές του γωνίες είναι μικρότερες από 180 μοίρες ή όταν οποιοδήποτε ευθύγραμμο τμήμα με άκρα δύο μη γειτονικές κορυφές του βρίσκονται στο εσωτερικό του σχήματος.

Αυτό σημαίνει ότι σε ένα κυρτό σχήμα, οποιαδήποτε σημεία της περιμέτρου του συνδέονται με ευθύγραμμα τμήματα που βρίσκονται εξ ολοκλήρου εντός του σχήματος, χωρίς να τέμνουν τα όριά του και προφανώς χωρίς να βρίσκονται εκτός τους.

2.4.3.6.2. Η κυρτότητα μέσω της συνδεσιμότητας

Βάσει του ορισμού της κυρτότητας, για ένα οποιοδήποτε επίπεδο κλειστό σχήμα, οι συνδέσεις μεταξύ σημείων της περιμέτρου του που βρίσκονται εξολοκλήρου στο εσωτερικό του αποτελούν δείκτη της κυρτότητάς του.

Προκειμένου να υπολογιστεί η συνδεσιμότητα σύμφωνα με τη μέθοδο των Psarra και Grajewski, η περίμετρος του εκάστοτε σχήματος υποδιαιρείται σε τμήματα ίσου μήκους. Από τις υποδιαιρέσεις αυτές εξάγεται ένας πλήρης γράφος, όπου όλα τα σημεία που υποδιαιρούν την περίμετρο συνδέονται μεταξύ τους ανά ζεύγη. Για ένα πλήθος n υποδιαιρέσεων, το πλήθος των συνδέσεων είναι n * (n-1) / 2. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τον ορισμό της κυρτότητας, υπολογίζεται το πλήθος των συνδέσεων που βρίσκονται εξολοκλήρου εντός του σχήματος, χωρίς να τέμνουν την περίμετρο[25]. Από την αναλογία των δύο αυτών μεγεθών εξάγεται μια σειρά μετρήσεων που εκφράζουν διαφορετικά ποιοτικά χαρακτηριστικά σχετιζόμενα με τη συνδεσιμότητα, την κυρτότητα, τη συμμετρία και το ρυθμό.

2.4.3.6.3. Μετρήσεις: Συνολικές ή συγχρονικές ιδιότητες

«Κάθε θέση επί της περιμέτρου έχει μια μέση τιμή συνδεσιμότητας που ορίζεται ως το ποσοστό των θέσεων με τις οποίες συνδέεται χωρίς να διαπερνά όρια και χωρίς να ξεφεύγει έξω από το σχήμα» (Psarra & Grajewski, 2001: 3). Για κάθε υποδιαίρεση, ο λόγος των συνδέσεών της που βρίσκονται πλήρως εντός της περιμέτρου προς το σύνολο των συνδέσεων εκφράζει τη μέση συνδεσιμότητα για την αντίστοιχη θέση της περιμέτρου του σχήματος.

Μέση συνδεσιμότητα [Mean connectivity value (mcv)]

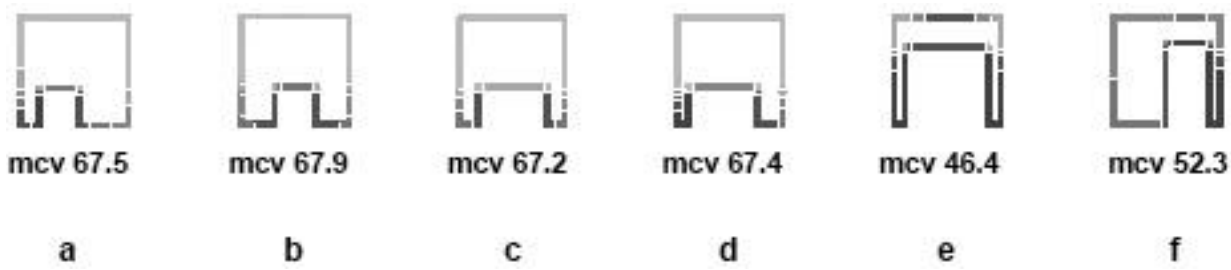
Ο μέσος όρος συνδεσιμότητας για όλες τις υποδιαιρέσεις της περιμέτρου αποτελεί τη μέση συνδεσιμότητα [mean connectivity value (mcv)] για το σύνολο του σχήματος.

Αυτή η τιμή αποτελεί μέτρο της καθολικής κυρτότητας του σχήματος ιδωμένου συγχρονικά, με υψηλότερες τιμές να αντιστοιχούν σε πιο κυρτά σχήματα, που αποτελούνται κατά κύριο λόγο από περιοχές που εκτείνονται σε δύο βασικούς άξονες.

Δοκιμές με μετασχηματισμούς απλών σχημάτων έχουν δείξει ότι μεταβολές στις μετρικές αναλογίες και τη συμμετρία των σχημάτων είναι καθοριστικές για τις διατακτικές τους ιδιότητες και έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην τιμή της συνδεσιμότητας. Επίσης παρατηρήθηκε ότι εμφανίζεται άνοδος των τιμών συνδεσιμότητας από συμμετρικές προς ασύμμετρες διατάξεις (Psarra & Grajewski, 2001: 4, 5) (Εικόνα 2 - 24).

Αυτές οι πειραματικές παρατηρήσεις υποστηρίζουν την υπόθεση ότι η μέση συνδεσιμότητα είναι ένα μέτρο που εκφράζει συνολικά διατακτικά χαρακτηριστικά του σχήματος που συνδέονται με το βαθμό απόκρυψης και με το συσχετισμό των μερών με το όλο, αναφορικά με τη συμμετρία και την κανονικότητα.

[25] Στην συγκεκριμένη περίπτωση, όπου ο υπολογισμός βασίζεται στον πλήρη γράφο, ως συνδέσεις που βρίσκονται εντός του σχήματος λαμβάνονται και όσες βρίσκονται επί του περιγράμματος, δηλαδή συνδέσεις μεταξύ διαδοχικών κορυφών της κάτοψης ή υποδιαιρέσεων της ίδιας ακμής.



Εικόνα 2 - 24.
Κατανομή συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου και μέση συνδεσιμότητα για διαφορετικούς βαθμούς απόκρυψης και συμμετρίας (Psarra & Grajewski, 2001: 4)

2.4.3.6.4. Μετρήσεις: Τοπικές ή διαχρονικές ιδιότητες

Η μέτρηση της τιμής της μέσης συνδεσιμότητας για κάθε θέση της περιμέτρου επιτρέπει την παρατήρηση της συμπεριφοράς του σχήματος ως προς τη σταθερότητα και τη μεταβολή σε τοπική κλίμακα, σαρώνοντας την περίμετρο διαχρονικά. Η γραφική παράσταση των τιμών αυτών παρέχει μια εικόνα της μεταβολής της συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου και μια βάση για την περαιτέρω ποσοτικοποίηση τυπικών σχηματισμών πληροφορίας σχετικά με τη σταθερότητα και τη μεταβολή. Αυτοί οι σχηματισμοί μελετώνται τόσο ως προς το σύνολο της περιμέτρου όσο και ως προς τη διαδοχή των υποδιαιρέσεων κατά μήκος της.

Στη γραφική παράσταση, ο άξονας των τετμημένων αντιστοιχεί στο πλήθος των υποδιαιρέσεων και επομένως εκφράζει έμμεσα το μήκος της περιμέτρου, ενώ ο άξονας των τεταγμένων αντιστοιχεί στην τιμή της συνδεσιμότητας για κάθε υποδιαίρεση. Από το διάγραμμα αυτό υπολογίζονται δύο επιπλέον τιμές, οι v-value (vertical value) και h-value (horizontal value), που εκφράζουν τη μεταβολή κατά τους δύο άξονες και αντιστοιχούν στην κατακόρυφη και την οριζόντια τυπική απόκλιση. Η τυπική απόκλιση [standard deviation ή root mean square (RMS) deviation] εκφράζει το μέσο όρο μεταβολής ενός συνόλου τιμών από τη μέση τιμή του συνόλου αυτού και υπολογίζεται ως η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής του τετραγώνου της διαφοράς κάθε τιμής από τη μέση τιμή (Weisstein, 2016b).

$$sN = \sqrt{(1/N * \sum(xi-X)^2} \text{ για } i=0 \text{ ως } N$$

Όπου:
sN η τυπική απόκλιση
N το πλήθος των τιμών
xi η τιμή στη θέση i
X ο μέσος όρος όλων των τιμών

v-value: Κατακόρυφη τυπική απόκλιση

Ο βαθμός διαφοροποίησης των τιμών συνδεσιμότητας, που αναπαρίστανται στον άξονα των τεταγμένων, υπολογίζεται ως η τυπική απόκλιση όλων των τιμών συνδεσιμότητας από τη μέση συνδεσιμότητα:

$$V = \sqrt{(1/n * \Sigma (ci/n - mcv)2)} \text{ για } i=0 \text{ ως } N$$

Όπου:
V η κατακόρυφη τυπική απόκλιση
n το πλήθος των συνδέσεων
ci το πλήθος των συνδέσεων για την υποδιαίρεση i που βρίσκονται εντός του σχήματος

mcv η μέση συνδεσιμότητα του συνόλου του σχήματος
N το πλήθος των υποδιαιρέσεων της περιμέτρου

Η τυπική απόκλιση κατά τον άξονα των τεταγμένων, ή κατακόρυφη τυπική απόκλιση, που ορίζεται ως v-value, εκφράζει το βαθμό διαφοροποίησης μεταξύ τμημάτων της περιμέτρου σε σχέση με το σύνολο της περιμέτρου. «Καθώς τα επίπεδα απόκρυψης, που προκαλούνται από κυρτές γωνίες (γωνίες ανάκλασης) ισχυροποιούνται, τα σχήματα απομακρύνονται από αδιαφοροποίητες διατάξεις - και προκαλείται αύξηση της τιμής v-value. Ωστόσο, περαιτέρω αύξηση της απόκρυψης δημιουργεί ένα μεγάλο πλήθος θέσεων με πολύ χαμηλότερες και ισοκατανεμημένες τιμές συνδεσιμότητας - προκαλώντας μείωση της τιμής v-value» (Psarra & Grajewski, 2001: 8).

Από τη μέτρηση της κατακόρυφης τυπικής απόκλισης σε απλά σχήματα και μετασχηματισμούς αυτών, φαίνεται ότι υψηλές τιμές αντιστοιχούν σε υψηλό βαθμό διασποράς ή διαφοροποίησης μεταξύ σημείων της περιμέτρου, που προέρχονται από το συνδυασμό κυρτών και κοίλων σχημάτων διαφορετικών μεγεθών σε ασύμμετρες διατάξεις.

Αντίθετα, χαμηλές τιμές δείχνουν σταθερότητα της συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου. «Χαμηλή v-value είναι αποτέλεσμα απόκρυψης και γεωμετρικής συμμετρίας σε μια διάταξη και εκφράζει το βαθμό στον οποίο υπάρχει επανάληψη στο σχηματισμό της οπτικής πληροφορίας» (Psarra & Grajewski, 2001: 5). Η χαμηλή τιμή μπορεί να οφείλεται είτε σε απλά, συμμετρικά κυρτά σχήματα με σταθερά υψηλή συνδεσιμότητα σε όλη την περίμετρο ή σε πολύ «μαιανδρικά» σχήματα με ισοκατανεμημένη χαμηλή συνδεσιμότητα. Σε κάθε περίπτωση, χαμηλές τιμές εκφράζουν ομοιομορφία ως προς την κατανομή της συνδεσιμότητας για το σύνολο της περιμέτρου, είτε πρόκειται για υψηλή είτε για χαμηλή συνδεσιμότητα.

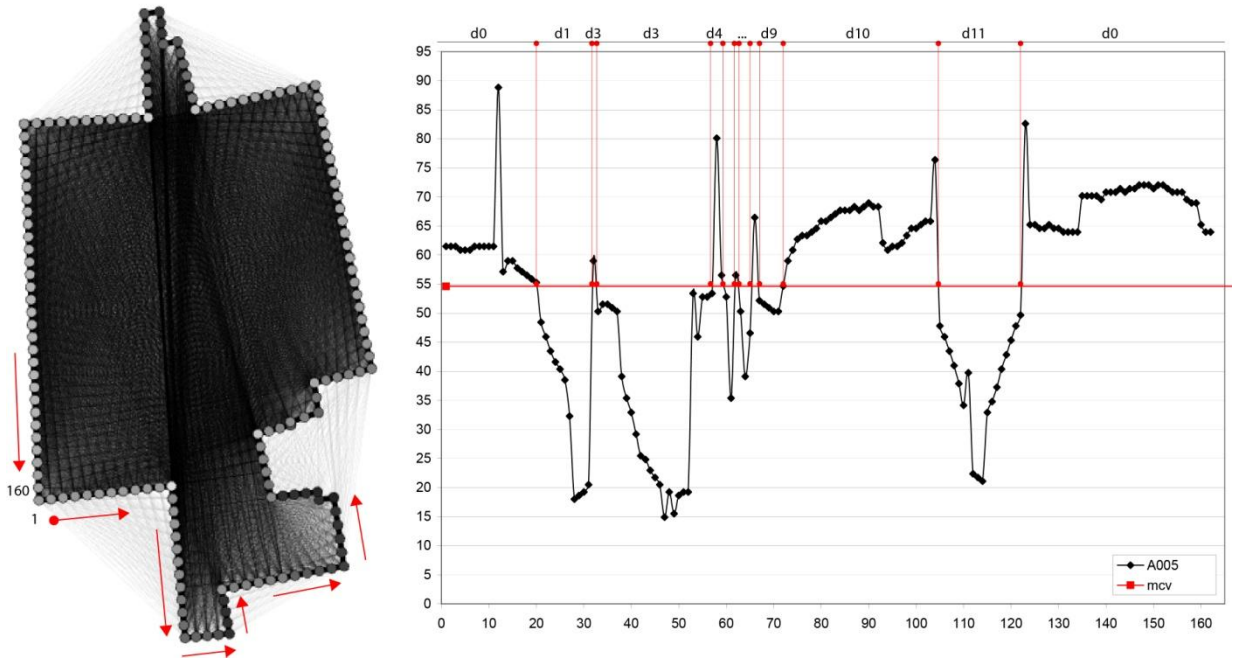
h-value: Οριζόντια τυπική απόκλιση

Αντίστοιχα, η τυπική απόκλιση κατά τον άξονα των τετμημένων, η οριζόντια τυπική απόκλιση, αποκαλείται h-value και αντικατοπτρίζει το βαθμό διαφοροποίησης στο ρυθμό μεταβολής της συνδεσιμότητας μεταξύ διαδοχικών σημείων της περιμέτρου. Υπολογίζεται ως η τυπική απόκλιση όλων των αποστάσεων μεταξύ διαδοχικών σημείων που έχουν τιμή συνδεσιμότητας ίση με τη μέση συνδεσιμότητα του συνόλου του σχήματος. Τα σημεία αυτά εντοπίζονται γραφικά ως τα σημεία τομής της γραφικής παράστασης με την οριζόντια γραμμή που αναπαριστά τη μέση συνδεσιμότητα (Εικόνα 2 - 25 δεξιά). Προκειμένου να αντιμετωπισθεί το ζήτημα των μετρικών αποστάσεων του μήκους της περιμέτρου, κανονικοποιούνται οι αποστάσεις λαμβάνοντας ως μονάδα μέτρησης το πλήθος των υποδιαιρέσεων και όχι το πραγματικό μήκος τους (Εικόνα 2 - 25).

Όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ των αποστάσεων των θέσεων μέσης συνδεσιμότητας, τόσο σταθερότερος είναι ο ρυθμός μεταβολής μεταξύ διαδοχικών θέσεων με συνδεσιμότητα υψηλότερη και χαμηλότερη από τη μέση τιμή, για το σύνολο της περιμέτρου. Αντίθετα, μεγάλες τιμές απόκλισης φανερώνουν διακυμάνσεις στο ρυθμό μεταβολής της συνδεσιμότητας.

Έτσι, υψηλές τιμές σημαίνουν διαφοροποιημένους ρυθμούς μεταβολής της συνδεσιμότητας, χαρακτηρίζοντας ανισότροπα, ασύμμετρα σχήματα.

Αντίθετα, χαμηλές τιμές αντιστοιχούν σε σταθερό ρυθμό μεταβολής που μπορεί να οφείλεται είτε σε συμμετρικά, ρυθμικά σχήματα ή σε έντονα διασπασμένα περιγράμματα όπου οι αποστάσεις μεταξύ σημείων υψηλής και χαμηλής συνδεσιμότητας είναι μικρές και παρόμοιας κλίμακας.



Εικόνα 2 - 25.
Υπολογισμός h-value

Κενό A005: Υποδιαίρεση της περιμέτρου και διαδοχική σάρωση των υποδιαιρέσεων (αριστερά), διάγραμμα συνδεσιμότητας (δεξιά) και υπολογισμός των αποστάσεων d0, d1, …, d11 μεταξύ σημείων με συνδεσιμότητα ίση με τη μέση

2.4.3.7. Εύρος τιμών και ερμηνεία μετρήσεων

Συνοπτικά, σύμφωνα με τα παραπάνω, «η κατακόρυφη τυπική απόκλιση (v-value), εκφράζει το βαθμό διαφοροποίησης μεταξύ θέσεων μιας περιμέτρου για το σύνολο της περιμέτρου. Η οριζόντια τυπική απόκλιση (h-value), αναφέρεται στη διαφοροποίηση στο ρυθμό της μεταβολής των τιμών συνδεσιμότητας μεταξύ διαδοχικών τμημάτων της περιμέτρου. Αν θεωρήσουμε τα σχήματα ως περιέχοντα χώρο ο οποίος δεν υποδιαιρείται από εσωτερικά χωρίσματα, αυτές οι μετρήσεις εκφράζουν τις μεταβολές που γίνονται σταδιακά αντιληπτές καθώς ένας παρατηρητής κινείται κατά μήκος της περιφέρειας» (Psarra & Grajewski, 2001: 8). Αντιστοιχούν δηλαδή σε τοπικά χαρακτηριστικά του σχήματος που αποκαλύπτονται διαχρονικά στην οπτική αντίληψη.

Οι τρεις μετρήσεις (mcv, v-value και h-value), που προτείνονται από τους Psarra και Grajewski, «μπορούν να αποδώσουν τρία χαρακτηριστικά των σχημάτων. Η τιμή της μέσης συνδεσιμότητας εκφράζει το βαθμό απόκρυψης ή ασυνέχειας σε μια διάταξη. Όσο υψηλότερη είναι η τιμή της, τόσο μικρότερη είναι η απόκρυψη. Η κατακόρυφη τυπική απόκλιση (v-value) εκφράζει την ισορροπία μεταξύ των μερών και του συνόλου. Υψηλές τιμές αντιστοιχούν σε μια διάταξη στην οποία ένα κυρίαρχο σχήμα βρίσκεται σε ισορροπία με δευτερεύοντα σχήματα συνδεδεμένα με αυτό. Τέλος, η οριζόντια τυπική απόκλιση (h-value) αντιπροσωπεύει το βαθμό επανάληψης ή ρυθμικότητας που χαρακτηρίζει τη γραμμική διαδοχή κατά μήκος των ακμών. Όσο υψηλότερη είναι η h-value τόσο λιγότερο επαναληπτικός είναι ένας τυπικός σχηματισμός» (Psarra & Grajewski, 2001: 13).

Γενικά «υψηλοί βαθμοί μαιανδρικότητας και συμμετρίας οδηγούν σε σταθερότητα και στους δύο άξονες (χαμηλές τιμές v-value και h-value), ενσωματώνοντας λιγότερη ποικιλία και περισσότερη επανάληψη» (Psarra & Grajewski, 2001: 8).

2.4.3.7.1. Αντίκτυπος της συμμετρίας και της μετρικής κλίμακας στις διατάξεις σχημάτων

Όπως προαναφέρθηκε, η εφαρμογή των παραπάνω μετρήσεων σε απλά σχήματα και μετασχηματισμούς αυτών και η σύγκριση μεταξύ τους ως προς τις σχέσεις συνδεσιμότητας και τους αντίστοιχους βαθμούς διαφοροποίησης και σταθερότητας δείχνουν ότι «γεωμετρικά και μετρικά χαρακτηριστικά επηρεάζουν την κατανομή αυτών των ιδιοτήτων» (Psarra & Grajewski, 2001: 9).

«Καθώς επηρεάζουμε τις μετρικές σχέσεις μεταξύ ενός κυρίαρχου σχήματος και μιας οικογένειας δευτερευόντων σχημάτων, ή καθώς μεταβάλλουμε το βαθμό συμμετρίας και ασυμμετρίας τους, μπορούμε να μετρήσουμε αλλαγές στο βαθμό ποικιλίας και επανάληψης στο επίπεδο της συνολικής διάταξης και σε τοπικό επίπεδο ιδιοτήτων» (Psarra & Grajewski, 2001: 11).

Η εμφάνιση υψηλότερων τιμών τυπικής απόκλισης, τόσο κατά τον οριζόντιο όσο και κατά τον κατακόρυφο άξονα, σε απλές ασύμμετρες διατάξεις σε σύγκριση με παρόμοιες συμμετρικές διατάξεις, συνηγορεί με τη γενική διαπίστωση ότι «η ασυμμετρία εισάγει μεγαλύτερο βαθμό ποικιλίας σε μια διάταξη» (Psarra & Grajewski, 2001: 9).

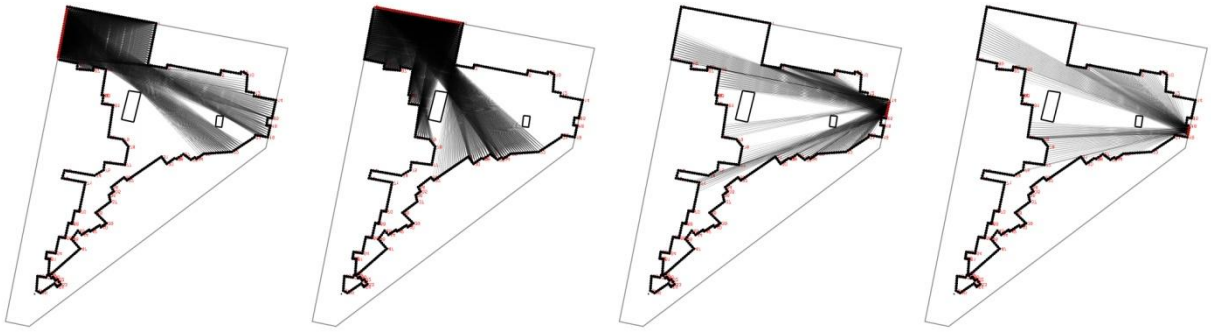
Επίσης, απλές διατάξεις που αποτελούνται από το συνδυασμό σχημάτων διαφορετικών μεγεθών εμφανίζουν μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις στην κατανομή της συνδεσιμότητας από διατάξεις αντίστοιχης συνθετότητας αλλά αποτελούμενες από ισότιμα ως προς το μέγεθός τους τμήματα. Δηλαδή, ο βαθμός ποικιλίας δείχνει να συσχετίζεται και με την συμπαρουσία πολλών κλιμάκων.

Σύμφωνα με αυτές τις παρατηρήσεις, στην περίπτωση απλών γεωμετρικών διατάξεων, οι μετρήσεις της συνδεσιμότητας είναι συνεκτικές και δείχνουν να συμβαδίζουν με τη διαισθητική σύνδεση της ποικιλίας με την ασυμμετρία και την πολλαπλότητα των κλιμάκων. Όταν ωστόσο αναφερόμαστε σε πολύπλοκα σχήματα, όπως είναι συνήθως οι κατόψεις πραγματικών χώρων, δεν είναι πάντα τόσο άμεσος ο συσχετισμός των τιμών αυτών με συγκεκριμένες και σαφώς περιγράψιμες ιδιότητες των διατάξεων. Παρόλα αυτά, η συγκριτική χρήση των μετρήσεων για ένα σύνολο κατόψεων διατηρείται, αφού παρέχουν τη δυνατότητα μέτρησης βαθμών διαφοροποίησης και σταθερότητας με τρόπο συνεκτικό.

2.4.3.8. Επέκταση της μεθόδου: Οπτική διαπερατότητα από το δρόμο

Η περιγραφόμενη μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί από τους Psarra και Grajewski στην ανάλυση συνεχών χώρων στους οποίους όλες οι ακμές της περιμέτρου θεωρούνται ισότιμες ως προς τη συνεισφορά τους στην οπτική αντίληψη του χώρου. Το περίγραμμα λειτουργεί αφαιρετικά ως ομοιότροπο κέλυφος, που αποκρύπτει τμήματα του χώρου ή επιτρέπει την οπτική διείσδυση συγχρονικά και διαδοχικά, σε μια λογική περίκλειστου χώρου που βιώνεται από το εσωτερικό του. Τα χαρακτηριστικά του σχήματος της περιμέτρου καθορίζουν τη χωρική εμπειρία βάσει της ιδιότητάς της να περικλείει τόσο το χώρο όσο και τον παρατηρητή. Ωστόσο, στην περίπτωση των αστικών κενών, εκτός από την οπτική εμπειρία του χώρου από το εσωτερικό του, ενδιαφέρει ιδιαίτερα ο αντιληπτικός του χαρακτήρας από το εξωτερικό του, δηλαδή από το δημόσιο χώρο του δρόμου. Στην περίπτωση αυτή, και πάλι ο χώρος προσεγγίζεται μέσω της περιμέτρου του, αλλά μετατοπίζοντας το υποκείμενο από το εσωτερικό στο εξωτερικό του σχήματος, η περίμετρος αποκτά μέσα και έξω και οι ιδιότητες των ακμών της διαφοροποιούνται. Έτσι, όλες οι ακμές δεν είναι ισότροπες, ούτε ισότιμες ως προς την επίδρασή τους στην οπτική αντίληψη. Άλλες υλοποιούνται ως οπτικά αδιαπέραστες επιφάνειες κτιρίων, άλλες ως οπτικά εμπόδια διαφορετικής διαπερατότητας και άλλες αποτελούν ανοίγματα προς το δημόσιο χώρο και το βλέμμα. Είναι προφανές ότι τμήματα της περιμέτρου που ανοίγονται στο δρόμο αποτελούν πλεονεκτικά σημεία θέασης των χώρων αυτών. Για το λόγο αυτό, θεωρήθηκε χρήσιμο, εκτός από τις μετρήσεις συνδεσιμότητας του χώρου ως προς το εσωτερικό του

και την απόδοση της κυρτότητας του συνόλου του περιγράμματός του, να επιχειρηθεί η απόδοση της οπτικής διαπερατότητας, με όρους συνδεσιμότητας, για τις ακμές εκείνες που αναπαριστούν ανοίγματα προς το εξωτερικό του οικοδομικού τετραγώνου. Έτσι, η μέθοδος μέτρησης της συνδεσιμότητας εφαρμόστηκε μόνο για τις συγκεκριμένες ακμές, ή τμήματα ακμών και υπολογίστηκε η μέση συνδεσιμότητα κάθε κάτοψης, ως ο μέσος όρος της συνδεσιμότητας των ανοιχτών ακμών, αποδίδοντας τη συνολική ορατότητα του χώρου από το εξωτερικό του (Εικόνα 2 - 26, Εικόνα 2 - 30, Πίνακας ΙΙΙ - 3).



Εικόνα 2 - 26.
Οπτική διαπερατότητα από το δρόμο

Οικοδομικό τετράγωνο Α003: Συνολική μέση συνδεσιμότητα 18.348, μέση συνδεσιμότητα ανοιχτών πλευρών 19.124

2.4.3.9. Πειραματική εφαρμογή επιπλέον μέτρησης: Μέση οριζόντια μεταβολή [Mean horizontal value (mhv)]

Στην πιλοτική εφαρμογή, εκτός από τη μέση τιμή συνδεσιμότητας, την κατακόρυφη και την οριζόντια τυπική απόκλιση, η χρήση των οποίων προτείνεται από τους Psarra και Grajewski, εξετάστηκε πειραματικά η εισαγωγή άλλης μιας μέτρησης, αυτής της μέσης απόστασης μεταξύ διαδοχικών σημείων με τιμή συνδεσιμότητας ίση με τη μέση συνδεσιμότητα του συνόλου του σχήματος. Η μέση αυτή διαφοροποίηση κατά τον άξονα των τετμημένων (mhv) είναι το ανάλογο της συνολικής μέσης συνδεσιμότητας για τον άξονα των τετμημένων και εκφράζει το ρυθμό διαφοροποίησης της συνδεσιμότητας για το σύνολο της περιμέτρου. Αν η οριζόντια τυπική απόκλιση αντιπροσωπεύει το ρυθμό μεταβολής της συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου, η μέση διαφοροποίηση κατά τον άξονα τον τετμημένων αντιστοιχεί στο βήμα των μεταβολών αυτών.

Υψηλή μέση τιμή απόστασης αντιστοιχεί σε χαμηλό βαθμό διαφοροποίησης και παρατηρείται σε σχήματα που χαρακτηρίζονται από ήπιες μεταβολές ή μεγάλα τμήματα περιμέτρου με σταθερή συνδεσιμότητα.

Χαμηλή τιμή εκφράζει υψηλό ρυθμό μεταβολής που οφείλεται σε συχνές και μεγάλες διαφοροποιήσεις στη συνδεσιμότητα.

Στην κυρίως εφαρμογή η μέτρηση αυτή δεν εφαρμόστηκε, καθώς από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων της πιλοτικής εφαρμογής φάνηκε ότι δεν προσέφερε ουσιαστική νέα πληροφορία, πέρα από αυτή που εκφράζουν οι τρεις μετρήσεις συνδεσιμότητας που προτείνουν οι Psarra και Grajewski (2001).

2.4.3.10. Περιορισμοί στην εφαρμογή της μεθόδου και παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις

2.4.3.10.1. Θεωρητική και προσεγγιστική υποδιαίρεση περιμέτρου

Όπως αναφέρθηκε στην περιγραφή της μεθόδου, προκειμένου να υπολογιστεί η συνδεσιμότητα, η περίμετρος του σχήματος, δηλαδή το περίγραμμα κάτοψης, υποδιαιρείται σε τμήματα θεωρητικά ίσου μήκους. Στις περισσότερες εφαρμογές ωστόσο, οι υποδιαιρέσεις δεν έχουν ακριβώς ίσο μήκος, αλλά εμφανίζουν διακυμάνσεις από ακμή σε ακμή. Αυτό συμβαίνει γιατί τα διαφορετικά μήκη ακμών θα μπορούσαν να υποδιαιρεθούν σε ακριβώς ίσα τμήματα μόνο από τον ελάχιστο κοινό διαιρέτη των μηκών τους (ή υποδιαιρέσεις αυτού). Προκειμένου όμως να έχουμε ένα συγκρίσιμο και ελεγχόμενο «βήμα» υποδιαίρεσης ή κλίμακα ανάλυσης για όλες τις κατόψεις, ορίζεται ένα επιθυμητό μήκος υποδιαίρεσης και ο αλγόριθμος υπολογίζει την πλησιέστερη εφικτή υποδιαίρεση για κάθε ακμή.

2.4.3.10.2. Συνδέσεις συνευθειακές με τις ακμές

Στην περίπτωση συνδέσεων μεταξύ σημείων που ανήκουν στην ίδια ακμή, θεωρείται ότι αυτές βρίσκονται εντός του σχήματος και επομένως προσμετρώνται στη συνδεσιμότητα. Αντιληπτικά, οι υλοποιημένες ακμές προσλαμβάνονται ως συνεχή χωρικά στοιχεία και παρόλο που τα υλικά όρια επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη χωρική εμπειρία, δε μεταβάλλουν την ορατότητα εντός του χώρου με όρους απόκρυψης και μεταβολής της οπτικής συνδεσιμότητας.

Η θεώρηση αυτή των συνδέσεων μεταξύ σημείων επί της ίδιας ακμής ως «κυρτών γραμμών» υπαγορεύεται από τον ίδιο τον ορισμό της μεθόδου, σύμφωνα με τον οποίο προκύπτει ότι ένα απολύτως κυρτό σχήμα έχει μέση συνδεσιμότητα 100%, ποσοστό που θα ήταν αδύνατο να επιτευχθεί αν δεν προσμετρούνταν οι συνδέσεις που αποτελούν τμήματα ακμών. Εναλλακτικά, θα μπορούσαν οι συνδέσεις αυτές να αγνοούνται πλήρως[26], αλλά αυτό θα ήταν δυσκολότερο υπολογιστικά, αφού θα προϋπέθετε σε κάθε περίπτωση των υπολογισμό του πλήθους τους, προκειμένου να αφαιρεθεί από το συνολικό πλήθος των συνδέσεων, επί του οποίου υπολογίζεται ο βαθμός συνδεσιμότητας της κάθε θέσης.

2.4.3.10.3. Εφαρμογή σε σύνθετα σχήματα

Η περιγραφόμενη μέθοδος χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την ανάλυση απλών σχημάτων χωρίς ασυνέχειες, όπως κενά ή εσωτερικά υπο-σχήματα και οι μετρήσεις αναφέρονται σε μια μεμονωμένη συνεχή περίμετρο (Psarra & Grajewski, 2001). Στην πρώτη εφαρμογή της μεθόδου για μέτρηση κατόψεων κτιρίων από τους Psarra και Grajewski, οι χώροι που αναλύονται είναι εσωτερικοί χώροι που τα περιγράμματά τους ορίζονται από κτιριακά κελύφη, θεωρούμενα ως συνεχή και ομοιότροπα όρια με τον εξωτερικό χώρο, ενώ οι εσωτερικές υποδιαιρέσεις δε λαμβάνονται υπόψη προκειμένου να απλοποιηθεί το πρόβλημα. Στη συνέχεια, αναλύθηκαν και πιο πολύπλοκα σχήματα, με περιορισμένες ασυνέχειες που αναπαριστούν χωρικές υποδιαιρέσεις, αλλά συνδυασμοί διακριτών σχημάτων δεν έχουν δοκιμαστεί (Εικόνα 2 - 27). Σύμφωνα με την Psarra, «σε πιο πολύπλοκα σχήματα η ποσοτικοποίηση αυτών των εννοιών δεν έχει αντιμετωπισθεί επαρκώς» (Psarra, 2003: 1).

[26] Στην περίπτωση αυτή η συνδεσιμότητα δε θα υπολογιζόταν βάσει του πλήρους γράφου για το σύνολο των υποδιαιρέσεων, αλλά θα έπρεπε να υπολογιστεί ένας γράφος που να μην συνδέει υποδιαιρέσεις και κορυφές της ίδιας ακμής.

Στην περίπτωση των κατόψεων των οικοδομικών τετραγώνων και των αδόμητων χώρων τους, κάθε τετράγωνο μπορεί να αποτελείται από περισσότερα από ένα σχήματα, τα οποία σε πολλές περιπτώσεις περιέχουν επιπλέον σχήματα εντός της περιμέτρου τους. Προκειμένου να συμπεριληφθούν αυτές οι ιδιαιτερότητες των σχημάτων, η περιγραφόμενη μέθοδος έπρεπε να προσαρμοστεί και να επεκταθεί.

Εικόνα 2 - 27.
Μετρήσεις συνδεσιμότητας κατόψεων με συνεχές περίγραμμα, χωρίς εσωτερικές υποδιαιρέσεις και ασυνέχειες (Psarra, 2003: 10)

Η πρώτη διαφοροποίηση από τις υφιστάμενες εφαρμογές αναφέρεται στη δυνατότητα εξαγωγής μιας συνολικής σειράς μετρήσεων για χώρους που αποτελούνται από επιμέρους αυτόνομα κυρτά περιγράμματα. Στην πιλοτική εφαρμογή που αναφέρεται στην ταυτοποίηση ολόκληρων οικοδομικών τετραγώνων από διαφορετικές γειτονιές, οι κατόψεις αποτελούνται κατά κανόνα από πολλαπλά περιγράμματα που αναπαριστούν διαφορετικά αδόμητα τμήματα εντός του τετραγώνου. Το πρόβλημα της συνδυαστικής μέτρησης πολλαπλών σχημάτων αντιμετωπίσθηκε με την επεξεργασία κάθε σχήματος χωριστά και τον υπολογισμό της συμμετοχής του στις συνολικές μετρήσεις βάσει της σχέσης του μήκους της περιμέτρου του με το συνολικό μήκος των περιγραμμάτων της κάτοψης. Αυτή η μέθοδος καταλήγει σε μια μοναδική τελική τιμή για το σύνολο του οικοδομικού τετραγώνου και επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ τετραγώνων με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

Η δεύτερη διαφοροποίηση αφορά χώρους το περίγραμμα των οποίων εσωκλείει άλλα περιγράμματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις σύνθετων σχημάτων, που εμφανίζεται και στις δύο εφαρμογές, η περίμετρος της κάτοψης ενός αδόμητου χώρου εμπεριέχει δευτερεύοντα σχήματα ελεύθερων κτιριακών όγκων. Τα περιγράμματα των εσωτερικών νησίδων θεωρούνται ως οπτικά εμπόδια που αποκρύπτουν τμήματα της περιμέτρου από διαφορετικές θέσεις και όσες συνδέσεις τα τέμνουν δεν υπολογίζονται στη συνδεσιμότητα (Εικόνα 2 - 28). Στην περίπτωση αυτή τα σχήματα διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στα περιέχοντα, των οποίων υπολογίζεται η συνδεσιμότητα, και τα περιεχόμενα, που λειτουργούν μόνο ως οπτικά εμπόδια.

Εικόνα 2 - 28.
Συνδεσιμότητα περιμέτρου με εσωτερικά εμπόδια

Παράδειγμα μετρήσεων για το οικοδομικό τετράγωνο Α001

Σημειώνεται ότι η εφαρμογή αυτής της μεθόδου σε πολύπλοκες διατάξεις «οδηγεί σε χαμηλές τιμές τόσο για τη συνδεσιμότητα όσο και για τις δύο μετρήσεις της μεταβολής της (v-value και h-value). Σε αυτές τις περιπτώσεις συνολικές μετρήσεις συνδεσιμότητας θα φαίνονταν περισσότερο κατάλληλες» (Psarra & Grajewski, 2001: 14). Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε, η εφαρμογή των μετρήσεων αυτών σε ένα σύνολο κατόψεων μπορεί να αποκαλύψει σχηματισμούς συσχετισμών μεταξύ χώρων ως προς το βαθμό διαφοροποίησης και σταθερότητας, ανεξάρτητα από τη δυνατότητα ή μη άμεσου συσχετισμού των μεμονωμένων τιμών με συγκεκριμένες και σαφώς περιγράψιμες ιδιότητες των αντίστοιχων διατάξεων.

2.4.3.11. Προσδιορισμός παραμέτρων και τεχνικές λεπτομέρειες εφαρμογής

2.4.3.11.1. Πιλοτική εφαρμογή

Στην πρώτη εφαρμογή, που αναφέρεται στην κατηγοριοποίηση κατόψεων οικοδομικών τετραγώνων βάσει της περιοχής στην οποία ανήκουν, η χωρική μονάδα είναι το οικοδομικό τετράγωνο. Κάθε οικοδομικό τετράγωνο μπορεί να συμπεριλαμβάνει περισσότερους από έναν διακριτούς ακάλυπτους χώρους και επομένως η κάτοψή του να αποτελείται από πολλαπλά περιγράμματα.

Όπως αναφέρθηκε, η μέθοδος μέτρησης της κυρτότητας μέσω της κατανομής της συνδεσιμότητας που εφαρμόζεται, έχει χρησιμοποιηθεί μόνο για μεμονωμένα και απλά περιγράμματα. Προκειμένου να μπορέσει να προκύψει μια συνολική σειρά μετρήσεων για ολόκληρη την κάτοψη κάθε οικοδομικού τετραγώνου, έγιναν οι μετρήσεις για κάθε περίγραμμα αδόμητου χώρου που ανήκει στο ίδιο τετράγωνο χωριστά και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι συνολικές τιμές βάσει ποσόστωσης που προκύπτει από τη σχέση του μήκους της περιμέτρου κάθε περιγράμματος προς το συνολικό μήκος όλων των περιγραμμάτων που περιλαμβάνει η κάτοψη. Το μήκος της περιμέτρου κάθε περιγράμματος ορίζεται βάσει του πλήθους των υποδιαιρέσεων, το μήκος των οποίων διατηρείται (κατά προσέγγιση) σταθερό για όλες τις μετρήσεις του δείγματος.

Εργαλείο

Για τις ανάγκες της εφαρμογής, για τον υπολογισμό των τιμών συνδεσιμότητας γράφτηκε αλγόριθμος σε γλώσσα προγραμματισμού Processing, βάσει της περιγραφής της μεθόδου από τους Psarra και Grajewski (2001). Οι πίνακες των αποτελεσμάτων και οι τελικοί υπολογισμοί έγιναν σε Office excel.

Εισερχόμενα. Μορφή δεδομένων

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν οι κατόψεις σε CAD, σε χωριστό αρχείο μορφής dxf για κάθε αδόμητο χώρο. Δεδομένου ότι η Processing δεν διαβάζει απευθείας αρχεία CAD, επιλέχθηκε η μορφή dxf γιατί πρόκειται ουσιαστικά για ένα σχετικά απλό αρχείο κειμένου που περιέχει τα στοιχεία της γεωμετρίας και άλλων ιδιοτήτων του σχεδίου (layers με τα χαρακτηριστικά τους και άλλα) με τη μορφή κειμένου. Έτσι ήταν δυνατή η εισαγωγή των κατόψεων στην Processing με τη σύνταξη ενός αλγορίθμου που διαβάζει το κείμενο αυτό και με την κατάλληλη επεξεργασία του εξάγει τα απαραίτητα στοιχεία γεωμετρίας και ιδιοτήτων προκειμένου να αναπαραχθεί η κάτοψη εντός της εφαρμογής με τρόπο που να είναι διαχειρίσιμη[27].

Αλγόριθμος

Για κάθε μοναδιαίο αδόμητο χώρο, η κάτοψη εισάγεται στην Processing με τον τρόπο που περιγράφηκε και εμφανίζεται στο παράθυρο της εφαρμογής. Τα απαραίτητα στοιχεία για την κάθε κάτοψη, που αναζητά ο αλγόριθμος στο αντίστοιχο αρχείο, είναι οι κορυφές των περιγραμμάτων, με τη μορφή συντεταγμένων, οι ακμές τους, που δίνονται ως συνδέσεις μεταξύ ζευγών σημείων, καθώς και τα ονόματα των σχεδιαστικών layers για κάθε σχήμα, προκειμένου να διακρίνονται τα περιγράμματα των αδόμητων χώρων από εκείνα των πιθανών περιεχόμενων κτιρίων. Για κάθε αδόμητο χώρο το περίγραμμα που αναλύεται είναι πάντα ένα, ενώ το πλήθος των περιεχόμενων κτιρίων, αν υπάρχουν, μπορεί να ποικίλλει.

Αφού εισαχθεί η κάτοψη, το πρώτο βήμα για την ανάλυση είναι η υποδιαίρεση του περιγράμματος σε ίσα τμήματα. Όπως προαναφέρθηκε, λόγω των διαφορετικών μηκών των ακμών, οι πραγματικές υποδιαιρέσεις δεν είναι ακριβώς ίσες, αλλά κατά το δυνατόν πλησιέστερες μεταξύ τους. Αφού οριστεί το μήκος της επιθυμητής θεωρητικής υποδιαίρεσης, που εξαρτάται από το ελάχιστο μήκος πλευράς στο σύνολο του δείγματος, (εδώ επιλέγεται μήκος 1μ.), υπολογίζεται το μήκος κάθε ακμής και προσδιορίζεται το πλήθος των υποδιαιρέσεων, στρογγυλοποιώντας στον πλησιέστερο ακέραιο αριθμό το λόγο του μήκους της πλευράς προς το μήκος της επιθυμητής υποδιαίρεσης. Στη συνέχεια κάθε ακμή υποδιαιρείται σε ίσα τμήματα βάσει του πλήθους που μόλις υπολογίστηκε. Αν η ακμή είναι μικρότερη από την υποδιαίρεση, δεν υποδιαιρείται περαιτέρω. Με τον τρόπο αυτό κάθε ακμή υποδιαιρείται σε ίσα τμήματα, αλλά μεταξύ των ακμών οι υποδιαιρέσεις κατά κανόνα διαφέρουν ελάχιστα ως προς το μήκος τους.

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία ενός πλήρους γράφου, όπου όλα τα σημεία των υποδιαιρέσεων συνδέονται μεταξύ τους ανά ζεύγη. Όπως αναφέρθηκε στην περιγραφή της μεθόδου, όλες οι μετρήσεις βασίζονται στον υπολογισμό του πλήθους των συνδέσεων από κάθε σημείο οι οποίες βρίσκονται εξ ολοκλήρου εντός του σχήματος και στο συσχετισμό του πλήθους αυτού με το συνολικό πλήθος των συνδέσεων του γράφου. Το συνολικό πλήθος των συνδέσεων για μια περίμετρο που υποδιαιρείται από n σημεία είναι n * (n - 1) / 2. Ο απευθείας εντοπισμός όμως των συνδέσεων

[27] Σημειώνεται ότι στην Processing δεν υπάρχει σύμβαση μετρικής κλίμακας και το μοναδιαίο στοιχείο μήκους είναι τι εικονοστοιχείο. Για λόγους συνεκτικότητας της εφαρμογής και ευκρίνειας της οπτικοποίησης, το ένα μέτρο πραγματικού μήκους, όπως καταγράφεται στην κάτοψη σε CAD, αντιστοιχείται σε 10 εικονοστοιχεία στο παράθυρο γραφικών της Processing.

εκείνων που βρίσκονται εντός του σχήματος δεν είναι απλός αλγοριθμικά. Αντίθετα, είναι ευκολότερο να βρεθεί ποιες συνδέσεις δεν πληρούν αυτή τη συνθήκη και αφαιρούμενες από το σύνολο των συνδέσεων να δώσουν το ζητούμενο μέγεθος. Οι συνδέσεις που δεν βρίσκονται εξ ολοκλήρου εντός του σχήματος μπορεί είτε να τέμνουν την περίμετρο σε ένα ή περισσότερα σημεία ή να βρίσκονται εξ ολοκλήρου εκτός του σχήματος (εξαιρουμένων των άκρων τους που βρίσκονται προφανώς επί της περιμέτρου).

Για κάθε υποδιαίρεση της περιμέτρου, ο αλγόριθμος διατρέχει διαδοχικά όλες τις συνδέσεις και πρώτα ελέγχει αν τέμνουν την περίμετρο ή, σε περίπτωση που υπάρχουν κτίρια εντός του αδόμητου χώρου, αν τέμνουν κάποιο από τα περιγράμματά τους. Κατά τον έλεγχο αυτόν, για κάθε σύνδεση διατρέχονται όλες οι ακμές της περιμέτρου και υπολογίζεται αν τα δύο ευθύγραμμα τμήματα τέμνονται. Στη συνέχεια το ίδιο γίνεται για κάθε ακμή των περιγραμμάτων των περιεχόμενων κτιρίων. Ο υπολογισμός της αλληλοτομίας γίνεται βάσει των παρακάτω εξισώσεων:

Για δύο ευθύγραμμα τμήματα με άκρα τα σημεία με συντεταγμένες [(x1, y1), (x2, y2)] και [(x3, y3), (x4, y4)] αντίστοιχα, υπολογίζουμε τα ua και ub

ua=(((x4-x3)*(y1-y3))-((y4-y3)*(x1-x3)))/(((y4-y3)*(x2-x1))-((x4-x3)*(y2-y1)))
ub=(((x2-x1)*(y1-y3))-((y2-y1)*(x1-x3)))/(((y4-y3)*(x2-x1))-((x4-x3)*(y2-y1)))

αν τα ua και ub είναι μεταξύ μηδέν και ένα, τα δύο ευθύγραμμα τμήματα τέμνονται.

Αν βρεθεί αλληλοτομία, η συγκεκριμένη σύνδεση απαριθμείται ως τέμνουσα και ο αλγόριθμος περνάει κατευθείαν στην επόμενη. Αν δε βρεθεί αλληλοτομία με καμία ακμή του περιγράμματος ή των κτιρίων, ελέγχεται αν η συγκεκριμένη σύνδεση βρίσκεται εκτός του σχήματος. Εφόσον γνωρίζουμε ότι η σύνδεση βρίσκεται εξ ολοκλήρου είτε εντός είτε εκτός του σχήματος, αρκεί να προσδιοριστεί για ένα μόνο σημείο του ευθύγραμμου τμήματος (εκτός των άκρων του) αν βρίσκεται εντός ή εκτός της περιμέτρου. Για λόγους ευκολίας και συνοχής επιλέγεται να ελεγχθεί το μέσο του ευθύγραμμου τμήματος.

Η θέση ενός σημείου σε σχέση με ένα επίπεδο σχήμα, ως προς το αν βρίσκεται εντός ή εκτός του, μπορεί εξαχθεί από τον υπολογισμό του πλήθους των τομών της περιμέτρου του σχήματος από μια προβολή του σημείου πάνω στο σχήμα. Πρακτικά, λαμβάνεται μια ημιευθεία με αρχή το δεδομένο σημείο και άπειρο μήκος και υπολογίζεται το πλήθος των σημείων τομής της με το σχήμα. Αν το πλήθος αυτό είναι ζυγό, το σημείο βρίσκεται εκτός της περιμέτρου. Αντίθετα, αν είναι μονό, το σημείο είναι εντός του σχήματος. Επειδή όμως δεν γνωρίζουμε τη σχετική θέση του σημείου και του περιγράμματος, ελέγχονται και οι τέσσερις πιθανές κατευθύνσεις που ορίζονται από το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Δηλαδή ο έλεγχος αλληλοτομίας γίνεται για ημιευθείες με αρχή το μέσο της εκάστοτε σύνδεσης και κατεύθυνση χ, -χ, ψ και –ψ.

Με τον τρόπο αυτό, αφού ελεγχθούν όλες οι συνδέσεις, έχουν απαριθμηθεί για κάθε υποδιαίρεση όλες όσες τέμνουν το σχήμα ή τα περιεχόμενα κτίρια ή βρίσκονται εξ ολοκλήρου εκτός του περιγράμματος. Αφαιρώντας το πλήθος τους από το συνολικό πλήθος των συνδέσεων από κάθε υποδιαίρεση, που για n υποδιαιρέσεις είναι n - 1, έχουμε το πλήθος των συνδέσεων που βρίσκονται εξ ολοκλήρου εντός του σχήματος, για κάθε υποδιαίρεση. Το ποσοστό του πλήθους αυτού προς το σύνολο των συνδέσεων δίνει τη μέση συνδεσιμότητα κάθε τμήματος της περιμέτρου και ο μέσος όρος των τιμών μέσης συνδεσιμότητας εκφράζει τη μέση συνδεσιμότητα για το σύνολο του σχήματος.

mc(i)= ((n -1) – Cint(i) – Cout(i)) / (n * (n - 1) / 2)

και

mcv= 1/n * Σ mc(i)

όπου mc(i) η μέση συνδεσιμότητα του κόμβου i

n το πλήθος των υποδιαιρέσεων

Cint(i) το πλήθος των συνδέσεων του κόμβου i που τέμνουν την περίμετρο

Cout(i)) το πλήθος των συνδέσεων του κόμβου i που είναι έξω από την περίμετρο

mcv η μέση συνδεσιμότητα του συνόλου του σχήματος.

Έχοντας υπολογίσει τη μέση συνδεσιμότητα κάθε κόμβου και τη μέση συνδεσιμότητα για το σύνολο της κάτοψης, υπολογίζονται όλα τα σημεία που έχουν τιμή ίση με τη μέση συνδεσιμότητα, προκειμένου να μπορεί να υπολογιστεί η οριζόντια τυπική απόκλιση. Για να γίνει αυτό, ο αλγόριθμος διατρέχει διαδοχικά όλους τους κόμβους και ελέγχει αν οι τιμές της συνδεσιμότητάς τους βρίσκονται εκατέρωθεν της συνολικής μέσης συνδεσιμότητας. Αν αυτό ισχύει, σημαίνει ότι μεταξύ των δύο κόμβων υπάρχει σημείο με τιμή ίση με τη μέση συνδεσιμότητα (h-point). Η θέση του σημείου αυτού υπολογίζεται βάσει της αναλογίας τριγώνων από τη σχέση (Εικόνα 2 - 29):

h_point[j] =i+((mcv[i] - mean)/(mcv[i] - mcv [i +1]))

όπου

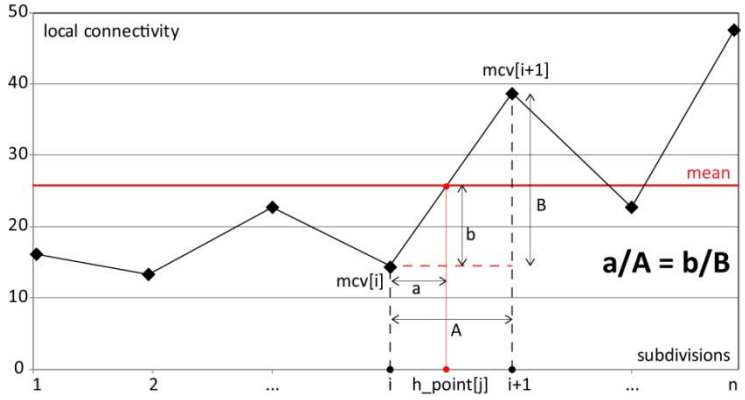
mcv[i] η μέση συνδεσιμότητα του κόμβου i

mcv[i+1] η μέση συνδεσιμότητα του κόμβου i +1

mean η συνολική μέση συνδεσιμότητα

Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών κόμβων (i, i +1) ισούται με τη μονάδα, αφού ως μονάδα μέτρησης μήκους λαμβάνεται η υποδιαίρεση.

Όταν ελεγχθούν όλα τα ζεύγη κόμβων, έχουν υπολογιστεί οι θέσεις όλων των σημείων που έχουν μέση συνδεσιμότητα ίση με τη συνολική.



Εικόνα 2 - 29.
Υπολογισμός θέσης σημείου με συνδεσιμότητα ίση με τη μέση συνδεσιμότητα

a = h_point[j] – i, A = 1, b = |mcv[i] – mean|, B = |mcv[i] – mcv[i+1]|

Εξερχόμενα

Από την εφαρμογή αυτή, για κάθε περίγραμμα αδόμητου χώρου εξάγονται και αποθηκεύονται σε αρχείο κειμένου (.txt) μια σειρά μετρήσεων που περιλαμβάνουν μια λίστα με το πλήθος των συνδέσεων που βρίσκονται πλήρως εντός του σχήματος και δεν τέμνουν περιγράμματα κτιρίων για κάθε κόμβο και μια λίστα με τη θέση όλων των σημείων που έχουν συνδεσιμότητα ίση με τη μέση συνδεσιμότητα.

Για λόγους αναπαραστατικής σαφήνειας, αλλά και για να είναι δυνατός ο άμεσος εποπτικός έλεγχος των αποτελεσμάτων, για κάθε περίγραμμα εξάγεται και μια εικόνα, στην οποία εμφανίζεται η αντίστοιχη κάτοψη μαζί με τις συνδέσεις βάσει των οποίων υπολογίζεται η συνδεσιμότητα.

Στη συνέχεια, για κάθε κάτοψη, η αντίστοιχες λίστες τιμών εισάγονται σε κατάλληλα μορφοποιημένο πίνακα στο λογισμικό Office excel, όπου πραγματοποιούνται οι τελικοί αριθμητικοί υπολογισμοί και γίνεται η γραφική παράσταση των τιμών συνδεσιμότητας. Συγκεκριμένα, στο excel υπολογίζεται η συνολική μέση συνδεσιμότητα ως μέσος όρος των τιμών της λίστας της συνδεσιμότητας κάθε κόμβου, η τυπική απόκλιση των τιμών αυτών από τη συνολική μέση συνδεσιμότητα (v-value), καθώς και η τυπική απόκλιση των αποστάσεων μεταξύ διαδοχικών σημείων με τιμή συνδεσιμότητας ίσης με τη μέση (h-value). Οι αποστάσεις αυτές δίνονται από τη διαφορά μεταξύ διαδοχικών τιμών της λίστας των θέσεων των σημείων. Ο μέσος όρος των αποστάσεων αυτών δίνει και την τιμή της μέσης οριζόντιας διαφοροποίησης του ρυθμού (mhv).

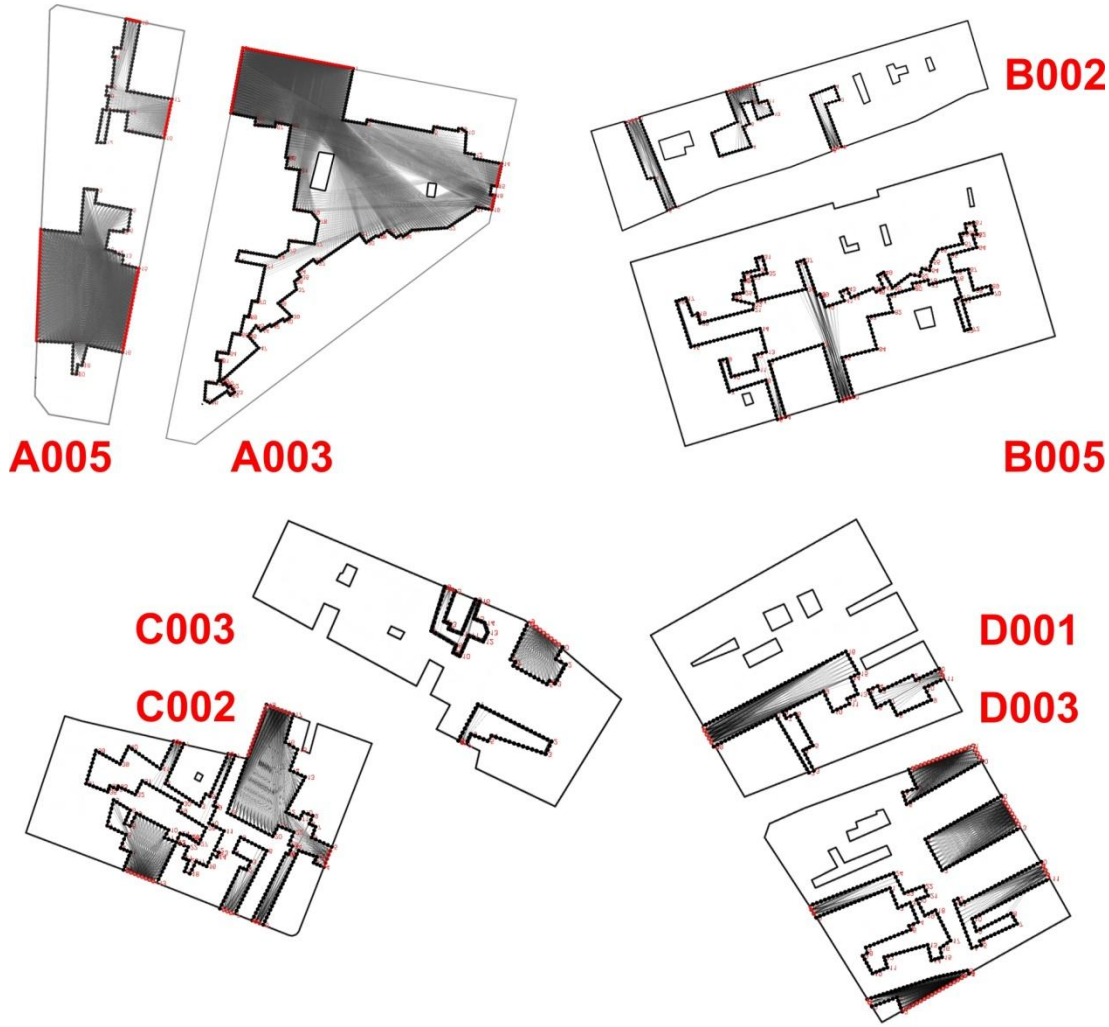
Στις περιπτώσεις όπου στο ίδιο οικοδομικό τετράγωνο υπάρχουν περισσότεροι του ενός αδόμητοι χώροι, οι συνολικές τιμές υπολογίζονται ως εξής:

Ως συνολικό πλήθος υποδιαιρέσεων θεωρείται το άθροισμα των υποδιαιρέσεων όλων των περιγραμμάτων που ανήκουν στο συγκεκριμένο οικοδομικό τετράγωνο και οι τιμές προκύπτουν ως συνδυασμός των τιμών όλων των περιγραμμάτων, υπολογισμένων ποσοστιαία ανάλογα με το πλήθος των υποδιαιρέσεων καθενός ως προς το συνολικό πλήθος υποδιαιρέσεων. Έτσι προκύπτει μια σειρά συνολικών μετρήσεων (mcv, v-value, h-value, mhv) για κάθε οικοδομικό τετράγωνο.

Οπτική διαπερατότητα από το δρόμο

Με ανάλογο τρόπο υπολογίζεται για κάθε οικοδομικό τετράγωνο και η συνολική οπτική διαπερατότητα του χώρου από το εξωτερικό του, ως η μέση τιμή της συνδεσιμότητας των ακμών που αναπαριστούν ανοίγματα στην περίμετρο του τετραγώνου (Εικόνα 2 - 30). Χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος αλγόριθμος, ελαφρά παραλλαγμένος ώστε να μην αναλύει το σύνολο της περιμέτρου αλλά μόνο τις ακμές εκείνες που είχαν σημανθεί ως ανοικτές. Στην περίπτωση τετραγώνων που περιλαμβάνουν περισσότερους από έναν αδόμητους χώρους, η συνολική διαπερατότητα υπολογίζεται πάλι ως «ζυγισμένος» μέσος όρος των επιμέρους τιμών, βάσει της ποσοστιαίας συμμετοχής του κάθε μεμονωμένου περιγράμματος στο συνολικό μήκος όλων των περιγραμμάτων του τετραγώνου.

Στη μέτρηση αυτή υπολογίστηκε μόνο η μέση τιμή συνδεσιμότητας ενώ η κατακόρυφη και οριζόντια τυπική απόκλιση θεωρήθηκε ότι δεν είναι αντιπροσωπευτικά μεγέθη, αφού οι μετρήσεις αναφέρονται σε μεμονωμένες ακμές και όχι σε μια διαδοχική ακολουθία πλευρών που σχηματίζουν μια συνεχή περίμετρο, οπότε η σύγκριση μεταξύ διαδοχικών θέσεων δεν μπορεί να εκφράσει επαρκώς χαρακτηριστικά του σχήματος.



Εικόνα 2 - 30.
Παραδείγματα υπολογισμού συνδεσιμότητας με όρους οπτικής διαπερατότητας από το δρόμο

2.4.3.11.2. Εφαρμογή σε αχαρακτήριστο δείγμα

Στη δεύτερη εφαρμογή, που αναφέρεται στα αστικά κενά της περιοχής των Πατησίων, η χωρική μονάδα της ανάλυσης είναι το μεμονωμένο αστικό κενό. Η κάτοψη κάθε κενού αποτελείται από ένα συνεχές περίγραμμα, που ενδέχεται να περιλαμβάνει εσωτερικές «νησίδες» περιγραμμάτων κτιρίων. Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν περιεχόμενα κτίρια, οι μετρήσεις γίνονται με τον τρόπο που περιγράφεται από τους Psarra και Grajewski. Στις περιπτώσεις που εμφανίζονται εσωτερικές κατατμήσεις και ασυνέχειες λόγω της παρουσίας κτιρίων, όπως και στην πιλοτική εφαρμογή, η μέθοδος προσαρμόζεται κατάλληλα ώστε τα περιγράμματα αυτά να υπολογίζονται ως οπτικά εμπόδια, που διακόπτουν τις γραμμές θέασης.

Εργαλείο

Για τον υπολογισμό των τιμών συνδεσιμότητας των κατόψεων για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, γράφτηκε αλγόριθμος σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic for Applications, εντός σχεδιαστικού λογισμικού CAD. Τα αποτελέσματα εξάγονται σε Office excel, όπου γίνονται και οι γραφικές παραστάσεις των τιμών για κάθε χώρο.

Εισερχόμενα. Μορφή δεδομένων

Η επεξεργασία των κατόψεων και όλοι οι υπολογισμοί γίνονται πάνω στον ψηφιακό χάρτη της περιοχής, σε αρχείο CAD. Ο αλγόριθμος τρέχει εντός του σχεδιαστικού λογισμικού, οπότε όλη η διαδικασία πραγματοποιείται εντός της ίδιας εφαρμογής. Τα περιγράμματα των αδόμητων χώρων διαχωρίζονται από εκείνα των κτιρίων βάσει του ονόματος του σχεδιαστικού layer στο οποίο ανήκουν.

Αλγόριθμος

Οι βασικές λειτουργίες του αλγορίθμου είναι ίδιες με της πιλοτικής εφαρμογής, με κάποιες απλοποιήσεις και προσαρμογές λόγω των ευκολιών που παρέχει η απευθείας επεξεργασία γεωμετρικών αντικειμένων εντός του σχεδιαστικού λογισμικού. Συνοπτικά, τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

Για κάθε περίγραμμα αδόμητου χώρου ελέγχεται πρώτα αν περιέχει περιγράμματα κτιρίων. Για να γίνει αυτό, για κάθε περίγραμμα κτιρίου ελέγχεται αν κάποια από τις κορυφές του βρίσκεται εντός του περιγράμματος του αντίστοιχου κενού. Έτσι, για κάθε κάτοψη αποθηκεύονται τα περιεχόμενα κτίρια.

Στη συνέχεια γίνεται η υποδιαίρεση του περιγράμματος. Πρώτα καθορίζεται το επιθυμητό μήκος υποδιαίρεσης, το οποίο στη συγκεκριμένη εφαρμογή ορίζεται στα 2 μέτρα, μήκος που αντιστοιχεί περίπου στην τάξη μεγέθους της μικρότερης ακμής του δείγματος.

Το συνεχές περίγραμμα χωρίζεται στις ακμές του, που ορίζονται ως τα ευθύγραμμα τμήματα μεταξύ διαδοχικών κορυφών.

Για κάθε ακμή, αν το μήκος της είναι μικρότερο από την επιθυμητή υποδιαίρεση, δεν υποδιαιρείται περαιτέρω. Αλλιώς υπολογίζεται το πλήθος των υποδιαιρέσεων στρογγυλοποιώντας το λόγο μήκους ακμής προς μήκος επιθυμητής υποδιαίρεσης. Υπολογίζεται το πραγματικό μήκος των υποδιαιρέσεων ως το μήκος ακμής προς το πλήθος υποδιαιρέσεων και τοποθετούνται σημεία σε σταθερές αποστάσεις, ξεκινώντας από την κορυφή που θεωρείται ως αρχή της ακμής και τοποθετώντας την τελευταία υποδιαίρεση στην κορυφή που αποτελεί το πέρας της ακμής[28].

Όπως αναφέρθηκε και στην πιλοτική εφαρμογή, δεν επιτυγχάνεται ακριβώς ίσο μήκος υποδιαιρέσεων μεταξύ διαφορετικών ακμών, αλλά οι αποκλίσεις είναι μικρότερες από το μήκος της επιθυμητής υποδιαίρεσης και θεωρούνται αμελητέες. Επίσης εξασφαλίζεται πάντα η ύπαρξη σημείου στις κορυφές, που είναι τα πιο σημαντικά στοιχεία του σχήματος ως προς τις μεταβολές της συνδεσιμότητας

Γνωρίζοντας το συνολικό πλήθος n των υποδιαιρέσεων, υπολογίζεται το σύνολο των πιθανών συνδέσεων, που είναι n * (n − 1) / 2.

Στη συνέχεια πρέπει να προσδιοριστεί ποιες από τις συνδέσεις αυτές βρίσκονται πλήρως μέσα στο περίγραμμα και ποιες όχι, δηλαδή είτε το τέμνουν είτε βρίσκονται εξ ολοκλήρου εκτός αυτού.

Ο αλγόριθμος διατρέχει διαδοχικά όλες τις συνδέσεις και για κάθε μια ελέγχεται πρώτα αν τέμνει το περίγραμμα του εξεταζόμενου αστικού κενού. Αν το τέμνει δεν θα προσμετρηθεί.

Αν δεν το τέμνει:

[28] Στην κορυφή που αποτελεί αρχή της εκάστοτε υποδιαιρούμενης ακμής δεν τοποθετείται σημείο, για να μην προκύπτουν αλληλεπικαλυπτόμενα σημεία, λόγω της συνέχειας του σχήματος όπου η αρχή μιας ακμής είναι το πέρας της προηγούμενης.

Αν το κενό περιλαμβάνει κτίριο, ελέγχεται αν η σύνδεση τέμνει το περίγραμμά του. Αν το τέμνει, δεν θα προσμετρηθεί.

Αν δεν το τέμνει ή δεν υπάρχει περιεχόμενο κτίριο, η σύνδεση είναι εξ ολοκλήρου εντός ή εκτός της κάτοψης. Προκειμένου να διαπιστωθεί ποια από τις δύο συνθήκες ισχύει, αρκεί να προσδιοριστεί αν το μέσο της σύνδεσης βρίσκεται εντός του περιγράμματος. Αν ναι είναι ολόκληρη εντός, αν όχι είναι εκτός.

Έτσι έχει υπολογίσει πόσες και ποιες συνδέσεις βρίσκονται εξ ολοκλήρου εντός της κάτοψης, χωρίς να διακόπτονται από κτίρια. Για κάθε τέτοια σύνδεση, αυξάνεται κατά μία μονάδα ο βαθμός συνδεσιμότητας και των δύο κόμβων που βρίσκονται στα δύο άκρα της σύνδεσης.

Όταν ολοκληρωθεί ο έλεγχος όλων των συνδέσεων, έχει καταμετρηθεί η συνδεσιμότητα κάθε υποδιαίρεσης.

Η συνολική μέση συνδεσιμότητα υπολογίζεται εύκολα ως το ποσοστό των εσωτερικών συνεχών συνδέσεων επί του συνόλου των συνδέσεων. Αν το ποσοστό αυτό είναι 100%, το περίγραμμα είναι εντελώς κυρτό και η κατακόρυφη και οριζόντια τυπική απόκλιση θα είναι εξ ορισμού μηδέν. Στις περιπτώσεις που η τιμή της συνολικής μέσης συνδεσιμότητας δεν είναι 100, υπολογίζονται οι τιμές της κατακόρυφης και οριζόντιας τυπικής απόκλισης (v-value και h-value).

Η κατακόρυφη τυπική απόκλιση (v-value) υπολογίζεται ως η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων των διαφορών της μέσης συνδεσιμότητας κάθε σημείου από τη συνολική μέση συνδεσιμότητα.

$$\text{v-value} = \sqrt{(\Sigma(V(i) / n - mcv)^2 / n)} \text{ με } i=0 \text{ ως } n$$

όπου
V(i) η συνδεσιμότητα του κόμβου (i)
n το πλήθος των κόμβων
mcv η μέση συνδεσιμότητα του περιγράμματος

Η οριζόντια τυπική απόκλιση (h-value) υπολογίζεται ως η τετραγωνική ρίζα της μέσης τιμής των τετραγώνων των διαφορών της μέσης απόστασης μεταξύ διαδοχικών σημείων του γραφήματος με τιμή mcv από τη συνολική μέση απόσταση μεταξύ των σημείων αυτών.

Προκειμένου να προσδιοριστεί η θέση των σημείων που έχουν συνδεσιμότητα ίση με την τιμή της μέσης συνδεσιμότητας, ελέγχονται όλα τα διαδοχικά σημεία που οι τιμές τους είναι εκατέρωθεν της μέσης συνδεσιμότητας και βάσει της ομοιότητας τριγώνων υπολογίζεται η θέση των σημείων τομής της οριζοντίου y=mcv με το γράφημα. Μετά από αυτό το βήμα μπορεί να υπολογιστεί η κανονικοποιημένη απόσταση κάθε σημείου επί της y=mcv, καθώς και οι αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών σημείων. Η h-value δίνεται από τη σχέση:

$$\text{h-value} = \sqrt{(\Sigma(d(i, i+1) / m - D)^2 / m)}$$

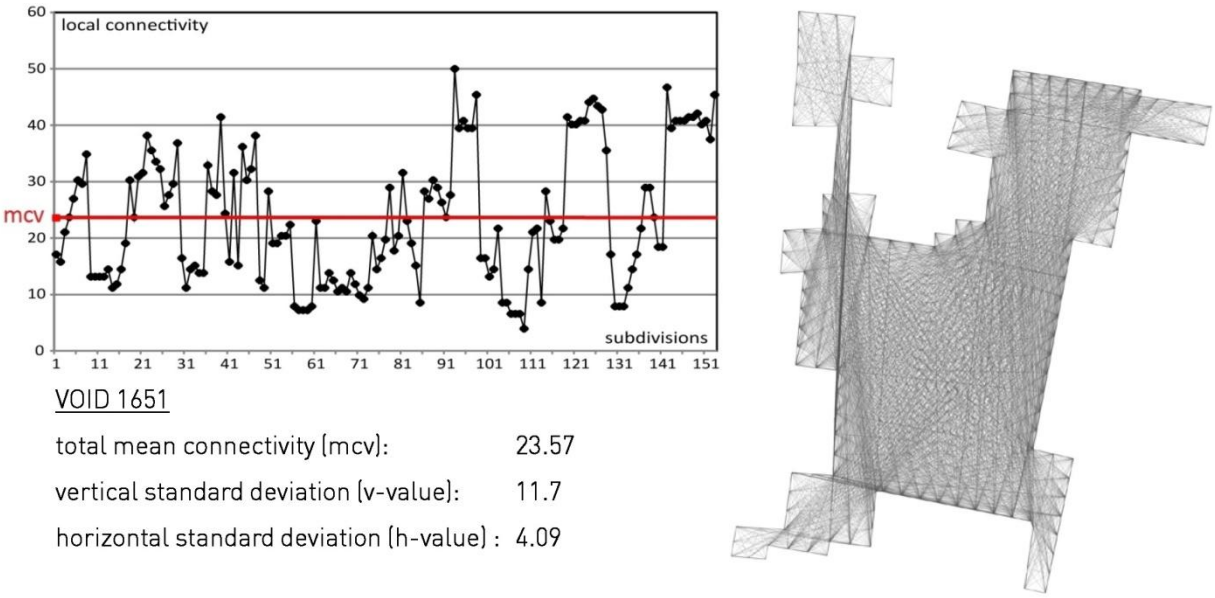
όπου
d(i, i+1) η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων με τιμή mcv
m το πλήθος των σημείων με τιμή mcv
D η μέση απόσταση όλων των σημείων με τιμή mcv

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλες τις κατόψεις.

Έχοντας υπολογίσει τις τιμές συνδεσιμότητας, αυτές εξάγονται απευθείας στη λίστα των μετρήσεων σε excel, βάσει του αριθμού του ακαλύπτου[29].

Επίσης, η λίστα συνδεσιμότητας για όλους τους κόμβους εξάγεται σε ειδικά μορφοποιημένους πίνακες excel όπου γίνεται αυτόματα η γραφική παράσταση για κάθε περίγραμμα και αναγράφονται οι αντίστοιχες τιμές.

Τέλος, για λόγους οπτικοποίησης και δυνατότητας εκ των υστέρων ελέγχου των αποτελεσμάτων, για κάθε κενό παράγεται και ένα σχέδιο CAD που περιλαμβάνει το περίγραμμα του χώρου με τις υποδιαιρέσεις του και τις συνδέσεις.

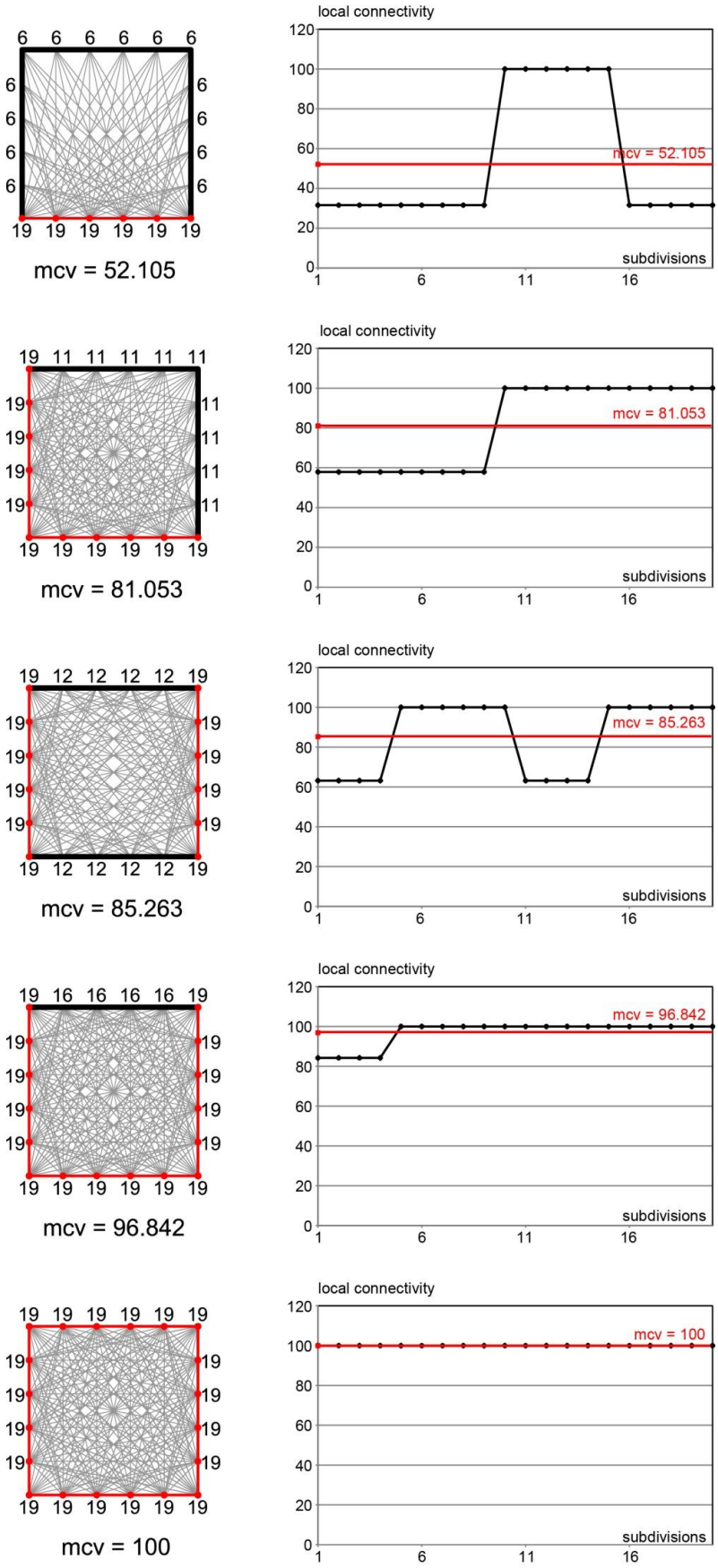


Εικόνα 2 - 31.
Παράδειγμα μετήσεων συνδεσιμότητας για το αστικό κενό 1651

Οπτική διαπερατότητα από το δρόμο

Με ανάλογο τρόπο υπολογίζονται για κάθε αδόμητο χώρο και οι τιμές που αναφέρονται στην οπτική διαπερατότητα από το εξωτερικό του, βάσει της συνδεσιμότητας των ακμών που αναπαριστούν ανοίγματα στην περίμετρο του οικοδομικού τετραγώνου όπου ανήκει η αντίστοιχη κάτοψη (Πίνακας III - 3). Χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος αλγόριθμος, ελαφρά παραλλαγμένος ώστε να μην αναλύει τις συνδέσεις από το σύνολο της περιμέτρου αλλά μόνο από και προς τις ακμές εκείνες που είχαν σημανθεί ως ανοικτές. Η συνολική μέση συνδεσιμότητα υπολογίζεται ως το ποσοστό του πλήθους των γραμμών συνδεσιμότητας των υποδιαιρέσεων των ανοικτών ακμών ως προς το σύνολο των συνδέσεων όλης της περιμέτρου. Με αυτόν τον τρόπο υπολογισμού της μέσης συνδεσιμότητας, ένα πλήρως κυρτό σχήμα θα έχει συνδεσιμότητα 100% μόνο αν όλες του οι πλευρές είναι ανοικτές. Η ύπαρξη αδιαπέραστων ακμών μειώνει τη συνδεσιμότητα. Για παράδειγμα, μια τετράγωνη κάτοψη με μία πλευρά ανοιχτή και τρεις κλειστές, έχει συνδεσιμότητα λίγο πάνω από το 50% αν και είναι ορατός όλος ο χώρος από την ανοικτή ακμή, αλλά μη ορατός από τις άλλες τρεις πλευρές (Εικόνα 2 - 32).

[29] Η αριθμητική κωδικοποίηση βασίζεται στην αρίθμηση του οικοδομικού τετραγώνου σύμφωνα με το σύστημα της ΕΛΣΤΑΤ και ακολουθεί ο αύξων αριθμός κενού στο οικοδομικό τετράγωνο, πχ 1651.1



Εικόνα 2 - 32.

Επεξήγηση υπολογισμού οπτικής διαπερατότητας από το δρόμο σε μια απλή διάταξη τετραγωνικής κάτοψης

Διαφορετικές τιμές συνδεσιμότητας με όρους οπτικής διαπερατότητας από το δρόμο ανάλογα με το πλήθος και τη θέση των ανοιχτών πλευρών (με κόκκινο)

Σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή, εδώ υπολογίζεται και η τυπική απόκλιση κατά τους δύο άξονες, γιατί θεωρήθηκε ότι, εφόσον έχουμε μεμονωμένα συνεχή περιγράμματα, η διαδοχή των τοπικών τιμών συνδεσιμότητας είναι ενδεικτικές του ρυθμού εμφάνισης στοιχείων του χώρου από το εξωτερικό, αλλά και αντίστροφα, του ρυθμού αποκάλυψης ανοιγμάτων από το εσωτερικό. Αυτό συμβαίνει γιατί οι συνδέσεις είναι αμφίδρομες, οπότε σημεία ακμών που δεν αντιστοιχούν σε ανοίγματα ενδέχεται να έχουν συνδεσιμότητα μεγαλύτερη του μηδενός, αν «βλέπουν» ανεμπόδιστα ανοιχτές ακμές (Πίνακας III - 3).

Ερμηνεία μετρήσεων συνδεσιμότητας και σχέση μεταξύ τους

Παρατηρώντας τη διακύμανση και την κατανομή των τιμών για τις διαφορετικές μετρήσεις συνδεσιμότητας σε σύγκριση μεταξύ τους και με την οπτική εντύπωση των σχημάτων των αντίστοιχων αστικών κενών (Πίνακας I - 2, Πίνακας III - 2, Πίνακας III - 3, Πίνακας IV - 1), επιχειρείται να διαπιστωθεί με μεγαλύτερη σαφήνεια ποια χαρακτηριστικά αποτυπώνονται στις μετρήσεις αυτές, ενώ παράλληλα διερευνώνται συσχετισμοί μεταξύ των ίδιων των μετρήσεων.

Η ανάλυση αυτή γίνεται μόνο για το δείγμα της περιοχής των Πατησίων, καθώς, σε αντίθεση με την πιλοτική εφαρμογή όπου κάθε μέτρηση αναφέρεται στο σύνολο των χώρων που συναποτελούν το οικοδομικό τετράγωνο, οι μετρήσεις αντιπροσωπεύουν μεμονωμένα αστικά κενά, με αποτέλεσμα να υπάρχει αμεσότερη αντιστοιχία ανάμεσα στην κάθε μέτρηση και το οπτικά εξεταζόμενο σχήμα από το οποίο παράγεται.

Οι τιμές της συνολικής μέσης συνδεσιμότητας κυμαίνονται από 100%, για εντελώς κυρτούς χώρους, μέχρι την ελάχιστη τιμή των 9.9%. Αν και η μέση τιμή για το σύνολο του δείγματος είναι 50.22%, το 63% του δείγματος έχει συνδεσιμότητα μικρότερη από 50%, ενώ το 45% του δείγματος έχει συνδεσιμότητα μεταξύ 20 και 40.

Οι χαμηλότερες τιμές συνολικής μέσης συνδεσιμότητας εμφανίζονται σε αρκετά μεγάλους αδόμητους χώρους (για παράδειγμα 1447.1, 1611.1, 1657.2, 1663.1, 1665.1), με μεγάλη και πολύ διασπασμένη περίμετρο. Η διάσπαση αυτή της περιμέτρου σχηματίζει πολλές κυρτές γωνίες, εσοχές και προεξοχές που λειτουργούν ως οπτικά εμπόδια, ενώ συχνά υπάρχου και ελεύθερα κτίρια εντός της περιμέτρου. Οι τιμές αυτές συνδυάζονται με χαμηλές τιμές κατακόρυφης αλλά και οριζόντιας τυπικής απόκλισης (το 1447.1 συγκεντρώνει τις χαμηλότερες μη μηδενικές τιμές mcv και v-value).

Αντίθετα, οι εντελώς κυρτοί χώροι, με συνδεσιμότητα 100% είναι ως επί το πλείστον μικροί χώροι με απλά, συνήθως τετράπλευρα περιγράμματα.

Υψηλές τιμές κατακόρυφης τυπικής απόκλισης (μέγιστη τιμή 21.62) αντιστοιχούν γενικά σε χώρους με συνδεσιμότητα κοντά στη μέση τιμή ή μεγαλύτερη, συνδυασμός που προκύπτει από περιγράμματα που μπορούν να αναλυθούν σε λίγα και απλά επιμέρους σχήματα (1654.2, 1494.1, 6436.1, 1524.1) .

Αντίστοιχα, υψηλές τιμές οριζόντιας τυπικής απόκλισης (μέγιστη τιμή 32.29) ανήκουν σε χώρους υψηλής μέσης συνδεσιμότητας, που χαρακτηρίζονται από απλά κυρτά περιγράμματα με μεμονωμένες αποτμήσεις που προκαλούν απότομη αλλά τοπική μεταβολή της συνδεσιμότητας.

Αναφορικά με τη διαπερατότητα από το δρόμο, είναι προφανές ότι τις χαμηλότερες μη μηδενικές τιμές συνδεσιμότητας έχουν μεγάλοι χώροι με πολύ στενά και λιγοστά ανοίγματα προς το δρόμο, ανεξάρτητα από τα επιμέρους χαρακτηριστικά που καθορίζουν την οριζόντια και κατακόρυφη τυπική απόκλιση (1500.1, 1657.2, 1506.1, 1518.1). Έτσι, χαμηλή συνδεσιμότητα μπορεί να συνδυάζεται τόσο με χαμηλές όσο και με υψηλές τιμές τυπικής απόκλισης. Αντίθετα, υψηλή μέση συνδεσιμότητα (μέγιστο 85.71 για το κενό 1448.2) εμφανίζουν κατά κανόνα οι εντελώς ή σχεδόν κυρτοί χώροι (mcv

κοντά στο 100) που έχουν και μία ή περισσότερες ακμές ανοιχτές προς το δρόμο. Οι χώροι αυτοί εμφανίζουν και τις υψηλότερες τιμές κατακόρυφης τυπικής απόκλισης (μέγιστο 31.56), αφού κάποιες ακμές έχουν σίγουρα μηδενική συνδεσιμότητα, οπότε η τυπική απόκλιση μεγαλώνει όσο μεγαλώνει η μέγιστη συνδεσιμότητα της αντίστοιχης περιμέτρου.

2.5. Καθολικά χαρακτηριστικά

Η πολλαπλή περιγραφή των υπό ανάλυση χώρων δεν εξαντλείται στην κλίμακα του μεμονωμένου αστικού κενού ως μονάδας, αλλά αναφέρεται και στην πολλαπλότητα των διασυνδέσεων εντός του συστήματος του αστικού δικτύου στο οποίο ανήκει.

Έτσι, εκτός από τα μετρικά, γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά του κάθε εξεταζόμενου χώρου ως αυτόνομης μονάδας, λαμβάνονται υπόψη και καθολικά χαρακτηριστικά, που αποδίδουν μεγαλύτερης κλίμακας ιδιότητες της κάθε μονάδας, σε επίπεδο συστήματος.

2.5.1. Ανάλυση σε επίπεδο δικτύου. Συνδεσιμότητα και κεντρικότητα

Στην πιλοτική εφαρμογή, όπου κάθε μία από τις περιοχές που αντιπροσωπεύονται στο δείγμα αποτελεί ένα ξεχωριστό απόσπασμα του αστικού ιστού, θεωρήθηκε ότι καθολικές μετρήσεις δεν θα ήταν συγκρίσιμες και πιθανά να ενίσχυαν εξωγενώς τη διάκριση στις προκαθορισμένες κατηγορίες.

Αντίθετα, στην κυρίως πειραματική εφαρμογή της περιοχής των Πατησίων, όπου ολόκληρο το δείγμα προέρχεται από ένα συνεκτικό και συνεχές τμήμα αστικού ιστού, οι καθολικές μετρήσεις αναφέρονται στο ίδιο πεδίο αναφοράς με αποτέλεσμα να είναι συγκρίσιμες. Έτσι, εκτός από τα μεγέθη που αναφέρονται στις ιδιότητες του κάθε μεμονωμένου κενού ως αυτόνομης χωρικής δομής, θεωρήθηκε απαραίτητο να ληφθεί υπόψη και ο συσχετισμός του με το ευρύτερο δίκτυο αδόμητων χώρων της περιοχής μελέτης. Οι ιδιότητες που εξετάζονται είναι η προσβασιμότητα και η ανοιχτότητα των αστικών κενών με όρους συνδεσιμότητας και κεντρικότητας.

Σε αυτή την μεγαλύτερης κλίμακας προσέγγιση, η κάθε μεμονωμένη χωρική μονάδα ορίζεται ως κόμβος ενός δικτύου, που αποτελείται από το σύνολο των αδόμητων χώρων και τις μεταξύ τους συνδέσεις. Στο δίκτυο αυτό δεν παίζουν όλοι οι αδόμητοι χώροι τον ίδιο ρόλο ούτε έχουν όλες οι συνδέσεις την ίδια βαρύτητα ως προς τη συμβολή τους στη διασύνδεση του συστήματος. Προκειμένου οριστεί το σύστημα των αδόμητων χώρων και να αναπαρασταθεί ως δίκτυο, εντοπίζονται οι διακριτοί αδόμητοι χώροι που το συνιστούν και ιεραρχούνται σε τάξεις πιθανών διασυνδεόμενων χωρικών τύπων. Στη συνέχεια προσδιορίζονται όλες οι συνδέσεις του συστήματος και αξιολογούνται βάσει της τάξης των διασυνδεόμενων χωρικών μονάδων. Έτσι δημιουργείται ένας διαβαθμισμένος γράφος που αναπαριστά το σύνολο του δικτύου αδόμητων χώρων, όπου το βάρος της κάθε σύνδεσης αντιστοιχεί στο βαθμό συμβολής της στη διασύνδεση του δικτύου. Από το γράφο αυτό, μπορούν να εξαχθούν μια σειρά μετρήσεων που αναφέρονται σε κάθε κόμβο χωριστά ή και στο σύνολο του δικτύου. Καθώς η ανάλυση εστιάζει στην προσβασιμότητα και την ανοιχτότητα του κάθε αστικού κενού, επιλέγεται ο υπολογισμός του βαθμού διασύνδεσης του κάθε κενού στο σύνολο της επιλεγμένης περιοχής, με όρους διαβαθμισμένης συνδεσιμότητας, καθώς και της σχετικής θέσης του κάθε κενού, βάσει της μέτρησης του βαθμού κεντρικότητας που κατέχει στο δίκτυο. Η απεικόνιση των βαθμών συνδεσιμότητας και κεντρικότητας σε χάρτη με χρωματική κωδικοποίηση δίνει μια άμεση εποπτεία τόσο της προσβασιμότητας κάθε κενού χωριστά όσο και της κατανομής της συνδεσιμότητας στο σύνολο του δικτύου (Εικόνα 2 - 35 μέχρι και Εικόνα 2 - 40).

2.5.2. Το δίκτυο των αδόμητων χώρων

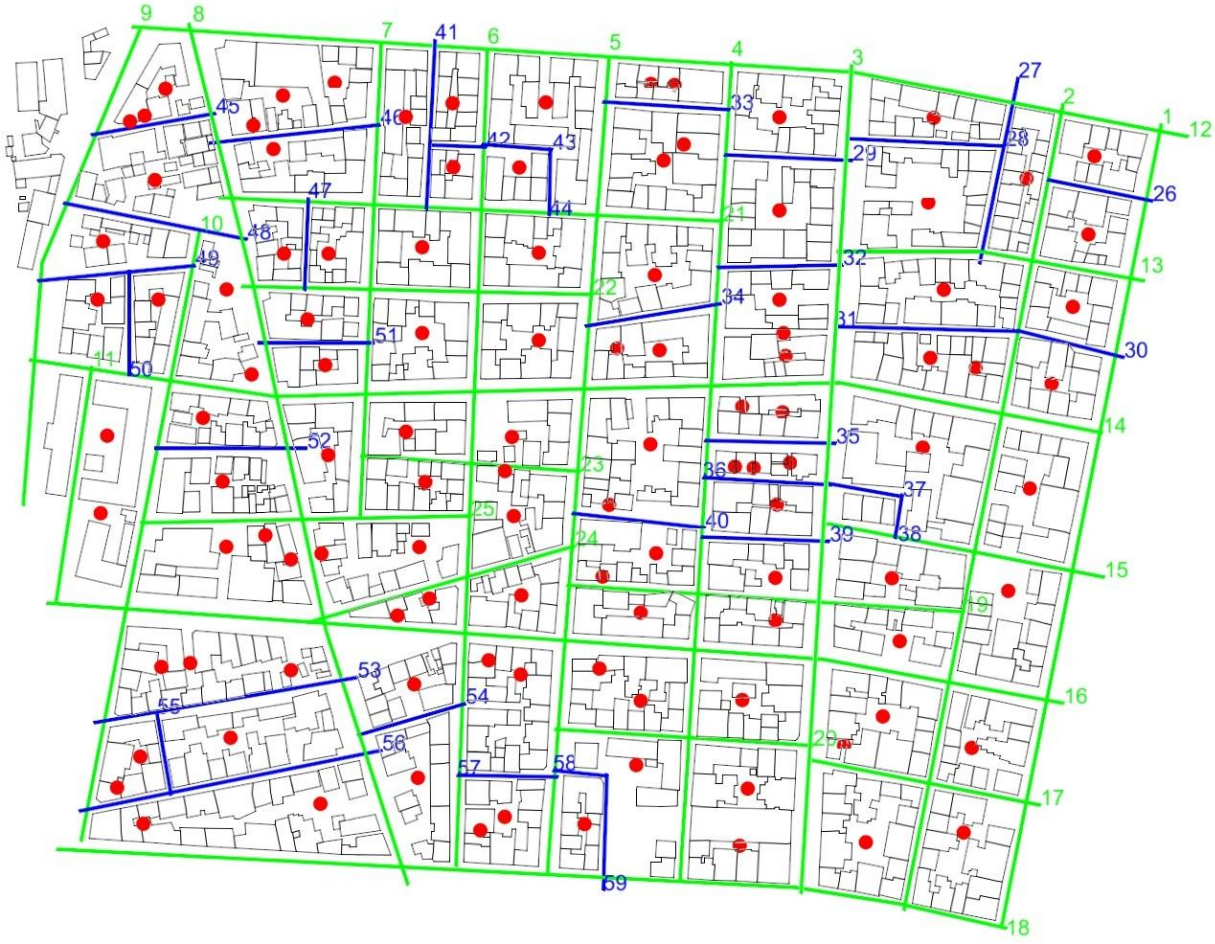
2.5.2.1. Κατηγοριοποίηση των διασυνδεόμενων αδόμητων χώρων

Προκειμένου να αναπαρασταθεί το δίκτυο των αδόμητων χώρων της περιοχής ανάλυσης ως γράφος για να καταστεί δυνατή η μέτρηση ιδιοτήτων των κόμβων και των συνδέσεών του, αρχικά επιχειρείται η διάκριση των διασυνδεόμενων αδόμητων χώρων σε κατηγορίες με διαφορετικές ποιότητες, ώστε να είναι δυνατή η αξιολόγηση της κάθε σύνδεσης. Στους χώρους αυτούς εντάσσεται ολόκληρο το δίκτυο κενών χώρων του αστικού ιστού, συμπεριλαμβανομένων των δρόμων. Έτσι, στην περιοχή των Πατησίων, εντοπίζονται τρεις βασικοί τύποι ή ιεραρχικές τάξεις αδόμητων χώρων[30], με διαφορετικά χαρακτηριστικά χωρικής ανάπτυξης, γεωμετρίας και χρήσης. Οι τύποι αυτοί είναι οι εξής (Εικόνα 2 - 33):

1. Οι οδικοί άξονες. Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται οι δρόμοι κυκλοφορίας οχημάτων, αλλά και τυχόν πεζοδρομημένα τμήματα του οδικού δικτύου. Είναι κοινόχρηστοι χώροι δημόσιας χρήσης και ιδιοκτησίας και αποτελούν το βασικότερο και μεγαλύτερης εμβέλειας μέσο διασύνδεσης του αστικού ιστού, εξυπηρετώντας τη χωρική επικοινωνία σε όλες τις κλίμακες.
2. Οι αστικοί θύλακες. Ορίζονται ως τμήματα του οδικού δικτύου, συχνά αδιέξοδα, με μικρό πλάτος και πολύ περιορισμένο μήκος, από ένα μέχρι δύο οικοδομικά τετράγωνα.
   Συνήθως πρόκειται για δημόσιους χώρους, που προέρχονται πιθανότατα από τις παραδοσιακές δουλείες διόδου του παλαιότερου οικιστικού ιστού. Προέκυψαν δηλαδή ως δίοδοι που δεσμεύονται από τις όμορες ιδιοκτησίες προκειμένου να εξασφαλιστεί πρόσβαση σε «τυφλά» οικόπεδα από τον κοινόχρηστο δρόμο και στη συνέχεια ενσωματώθηκαν στο αστικό οδικό δίκτυο[31].
   Αν και έχουν απευθείας πρόσβαση σε δρόμους κυκλοφορίας οχημάτων, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους, όπως το μικρό πλάτος και μήκος, το γεγονός ότι πρόκειται ως επι το πλείστον για αδιέξοδα, καθώς και η συχνή πεζοδρόμησή τους, καθιστά τους θύλακες αυτούς χώρους περιορισμένης διασύνδεσης με το υπόλοιπο δίκτυο, με εξαιρετικά χαμηλή εως μηδαμινή κυκλοφορία οχημάτων και χαρακτήρα τοπικό και σχεδόν ιδιωτικό. Χρησιμοποιούνται κυρίως σαν άτυπες κοινόχρηστες αυλές των γύρω πολυκατοικιών, ως χώροι στάθμευσης ή κάποιες φορές αποκλειστικά για την πρόσβαση στις ιδιοκτησίες που τους περιβάλλουν.
   Ο τύπος των αστικών θυλάκων είναι πολύ διαδεδομένος στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης και αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του.
3. Τα αστικά κενά. Πρόκειται για τους αδόμητους χώρους εντός των οικοδομικών τετραγώνων που αποτελούν το αντικείμενο μελέτης της έρευνας, όπως ορίστηκαν στην εισαγωγή (III.i) και στο κεφάλαιο 1 που αναφέρεται στην οργάνωση της βάσης δεδομένων, και των οποίων τη συνδεσιμότητα επιχειρούμε να ποσοτικοποιήσουμε.

[30] Η διάκριση αυτή έγινε στα πλαίσια του ερευνητικού «Διερεύνηση Στρατηγικών για τη Δικτύωση των Αστικών Παρεμβάσεων στο Μητροπολιτικό Κέντρο της Αθήνας» και συγκεκριμένα στα πλαίσια της δράσης που περιγράφεται από τις Γαλάτουλα, Λάσκαρη και Longuepee, «Τα κενά οικόπεδα, οι ακάλυπτοι χώροι και οι δρόμοι: Κατευθύνσεις σχεδιασμού για έναν δημόσιο χώρο που θα απευθύνεται στην πολυπολιτισμικότητα της σύγχρονης κοινωνίας με διατυπώσεις προγραμμάτων που θα ευνοούν τον γενόσημο σχεδιασμό» (Παρμενίδης, 2013β: 91-102).

[31] Για το χαρακτήρα και τον τρόπο σχηματισμού των αστικών θυλάκων βλ. Παρμενίδης (2013α: 62).



Εικόνα 2 - 33.

Οι τρεις βασικοί τύποι ή ιεραρχικές τάξεις αδόμητων χώρων στην περιοχή των Πατησίων

Οδικοί άξονες (πράσινο), θύλακες (μπλε), αστικά κενά (κόκκινο)

2.5.2.2. Ιεράρχηση των διασυνδεόμενων αδόμητων χώρων

Διαισθητικά είναι προφανές ότι ένα αστικό κενό δεν είναι εξίσου προσβάσιμο αν συνδέεται άμεσα με έναν κεντρικό οδικό άξονα ή με ένα στενό αδιέξοδο. Ένας τρόπος να διαβαθμιστεί η συνδεσιμότητα ανάλογα με τη «σημασία» των διασυνδεόμενων χώρων θα ήταν αυτοί να ιεραρχηθούν βάσει του συνολικού πλήθους των συνδέσεών τους και στη συνέχεια η ιεράρχηση αυτή να χρησιμοποιηθεί ως συντελεστής για την αξιολόγηση κάθε σύνδεσης των αστικών κενών. Με τον τρόπο αυτό, μεγάλοι οδικοί άξονες, με πολλές διασταυρώσεις θα είχαν μεγαλύτερο συντελεστή από μικρότερους ή από τους σχεδόν αποκομμένους αστικούς θύλακες. Ωστόσο, αυτή η αντιμετώπιση παραβλέπει ποιοτικά χαρακτηριστικά που θεωρούνται κρίσιμα στη συγκεκριμένη εφαρμογή, αφού για παράδειγμα η σύνδεση ενός αστικού κενού με έναν διαμπερή θύλακα ή με ένα άλλο αστικό κενό με δύο προσβάσεις θα έπαιρνε την ίδια τιμή βάσει συνδεσιμότητας. Επιπλέον, κυρίως στην περίπτωση δρόμων που διασχίζουν τα όρια της περιοχής μελέτης, θα προέκυπτε μικρότερη συνδεσιμότητα για κεντρικούς άξονες που μόνο τμηματικά διέρχονται από την περιοχή σε σχέση με τοπικές οδούς που όμως διασχίζουν την περιοχή κατά μεγαλύτερο τμήμα της και επομένως έχουν περισσότερες συνδέσεις εντός των ορίων. Για τους λόγους αυτούς θεωρήθηκε πιο κατάλληλος ο καθορισμός της ισχύος βάσει της διακριτής ιεράρχησης των χωρικών τύπων που εντοπίστηκαν.

Οι τρείς κατηγορίες αδόμητων χώρων χρησιμοποιούνται για να καθοριστεί η ισχύς της κάθε σύνδεσης, με την απόδοση ενός «συντελεστή ισχύος» σε κάθε κατηγορία. Έτσι, η συνδεσιμότητα του

κάθε κενού δεν εξαρτάται μόνο από το πλήθος των αδόμητων χώρων στους οποίους έχει άμεση πρόσβαση, αλλά και από τον τύπο τους.

Με αυτή τη λογική, οι τρεις κατηγορίες ιεραρχήθηκαν βάσει της εμβέλειας της προσφερόμενης προσβασιμότητας, της χωρικής κλίμακας και του φόρτου ή έντασης χρήσης των αντίστοιχων χώρων. Έτσι, η κατηγορία (1) των οδικών αξόνων θεωρήθηκε ως ο ισχυρότερος συνδετικός χωρικός τύπος, ενώ η κατηγορία (3) των αστικών κενών ως ο ασθενέστερος. Ενδιάμεσες διαβαθμίσεις εντός των κατηγοριών (για παράδειγμα υπερτοπικός ή τοπικός οδικός άξονας) δεν λήφθηκαν υπόψη.

2.5.3. Απόδοση συνδεσιμότητας με όρους διαβαθμισμένου βαθμού [weighted degree]

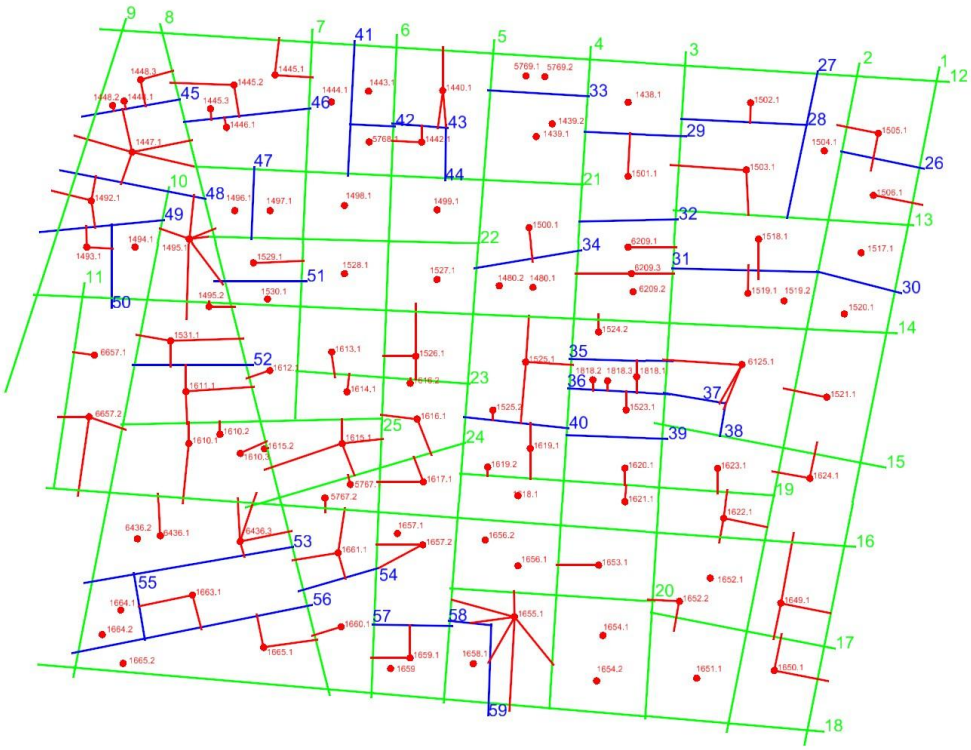
Στη θεωρία των γράφων, μια από τις βασικότερες τοπολογικές ιδιότητες ενός δικτύου είναι η συνδεσιμότητα των κόμβων του, η οποία εκφράζει το πόσο διασυνδεδεμένος είναι ο κάθε κόμβος στο σύνολο του δικτύου.

Υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις και μέθοδοι μέτρησης της συνδεσιμότητας στη θεωρία γράφων και στη χωρική ανάλυση. Εδώ ως μέτρο συνδεσιμότητας του κάθε αστικού κενού χρησιμοποιείται ο διαβαθμισμένος βαθμός [weighted degree]. «Βαθμός [degree] ή αξία [valency] της κορυφής v λέγεται το πλήθος των ακμών που ένα από τα άκρα τους είναι η κορυφή v» (Μωϋσιάδης, 2002: 244). Ο διαβαθμισμένος βαθμός, εκτός από το πλήθος των ακμών με τις οποίες συνδέεται ένας κόμβος, συνυπολογίζει και το βάρος της κάθε ακμής, που εκφράζει την ισχύ της κάθε σύνδεσης.

Στο γράφο των αδόμητων χώρων, ο διαβαθμισμένος βαθμός του κάθε αστικού κενού αποτελεί μια ποσοτικοποιημένη έκφραση της ανοιχτότητας και της προσβασιμότητάς του και εξαρτάται από το πλήθος των αδόμητων χώρων από τους οποίους το εκάστοτε αστικό κενό είναι άμεσα προσβάσιμο, αλλά και από το χαρακτήρα, την ποιότητα ή τη σημασία των διασυνδεδεμένων χώρων στην προσβασιμότητα του συνόλου του δικτύου. Πρόκειται δηλαδή για ένα μέγεθος που έχει τόσο ποσοτικά, όσο και ποιοτικά χαρακτηριστικά.

2.5.3.1. Μεθοδολογία

Προκειμένου να προσδιοριστεί η συνδεσιμότητα του κάθε κενού με όρους διαβαθμισμένου βαθμού, το πρώτο βήμα είναι να οριστούν οι αδόμητοι χώροι του δικτύου ως διακριτές και μονοσήμαντα ορισμένες χωρικές ενότητες, να αποδοθούν σε μία από τις τρεις ιεραρχικές τάξεις (δρόμοι, θύλακες, κενά) και να καταγραφούν οι μεταξύ τους συνδέσεις. Πάνω στο χάρτη της περιοχής μελέτης σχεδιάστηκε μία γραμμή κατά μήκος κάθε δρόμου και κάθε θύλακα, κατά τον άξονά τους, καθώς και ένα ευθύγραμμο τμήμα από το κέντρο του κάθε αστικού κενού προς κάθε αδόμητο χώρο από τον οποίο είναι άμεσα προσβάσιμο (Εικόνα 2 - 34). Έτσι προέκυψε ένας χάρτης συνδεσιμότητας, ένα πρώτο γράφημα, όπου κάθε διακριτό χωρικό στοιχείο αναπαρίσταται από μια γραμμή. Οι γραμμές κατηγοριοποιούνται στις τρεις τάξεις, βάσει του τύπου του χώρου στον οποίο αντιστοιχούν και στην καθεμία αποδίδεται μια μοναδική αριθμητική ταυτότητα. Οι δρόμοι και οι θύλακες αριθμούνται με ακέραιους αριθμούς (1-25 για τους δρόμους και 26-59 για τους θύλακες), ενώ τα κενά διατηρούν την αρίθμησή τους βάσει του αριθμού του οικοδομικού τετραγώνου στο οποίο ανήκουν και του αύξοντα αριθμού τους στο τετράγωνο. Οι αλληλοτομίες των γραμμών αντιστοιχούν στις συνδέσεις μεταξύ των χωρικών ενοτήτων που αναπαριστούν. Έτσι, στο γράφημα αυτό, κάθε σημειακός κόμβος αντιστοιχεί σε μία σύνδεση μεταξύ χωρικών ενοτήτων και κάθε γραμμική σύνδεση σε μία χωρική ενότητα.



Εικόνα 2 - 34.
Χάρτης συνδεσιμότητας όλων των αδόμητων χώρων

Οδικοί άξονες (πράσινο), θύλακες (μπλε), αστικά κενά (κόκκινο)

Στη συνέχεια, για την ανάγνωση του πρώτου αυτού γραφήματος, γράφτηκε κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic for Applications. Ο αλγόριθμος διατρέχει όλα τα στοιχεία του γραφήματος (γραμμές) και για το καθένα εντοπίζει με ποια τέμνεται. Σε κάθε σύνδεση αντιστοιχίζεται ένα βάρος [weight] που αποτελεί το συντελεστή σημασίας της σύνδεσης, βάσει του τύπου στον οποίο ανήκουν οι δύο διασυνδεόμενοι χώροι. Για τον υπολογισμό του βάρους κάθε σύνδεσης, αποδίδεται στους τρείς χωρικούς τύπους διαφορετικός συντελεστής σημασίας συνδεσιμότητας (συντελεστής 3 για τους δρόμους, 2 για τους θύλακες και 1 για τα κενά) και το τελικό βάρος της σύνδεσης υπολογίζεται ως το γινόμενο των συντελεστών των δύο άκρων της, προκειμένου για κάθε πιθανό συνδυασμό τύπων ανά ζεύγη να προκύπτει διαφορετική τιμή βάρους[32] (Πίνακας 2 - 2).

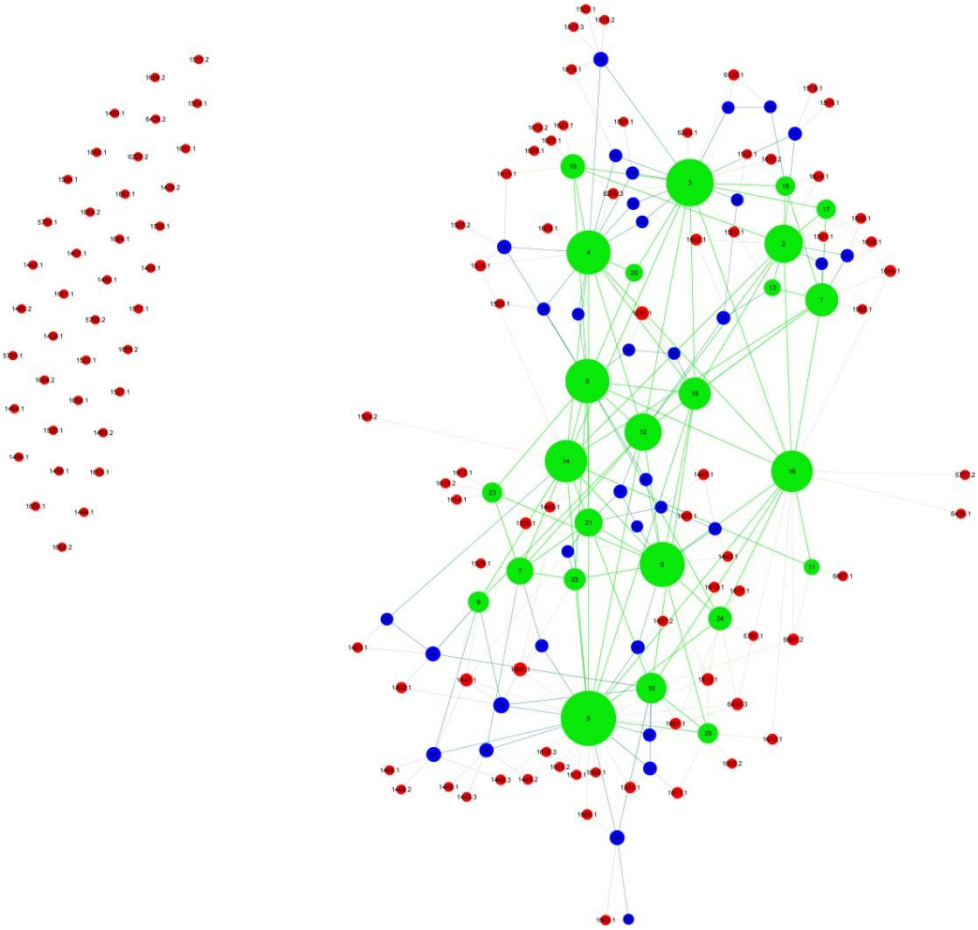
	(1) κενό	(2) θύλακας	(3) δρόμος
(1) κενό	1	2	3
(2) θύλακας	2	4	6
(3) δρόμος	3	6	9

Πίνακας 2 - 2
Ανάθεση βάρους σε κάθε σύνδεση ανάλογα με τον τύπο των διασυνδεόμενων χώρων

Τα ζεύγη των τεμνόμενων στοιχείων, ο τύπος στον οποίο ανήκουν καθώς και το βάρος κάθε σύνδεσης εξάγονται σε πίνακα σε λογισμικό Office excel.

[32] Το οποίο δεν θα ίσχυε αν ο υπολογισμός του βάρους της σύνδεσης γινόταν για παράδειγμα βάσει αθροίσματος, όπου π.χ. η σύνδεση μεταξύ δύο θυλάκων θα είχε το ίδιο βάρος με μια σύνδεση αστικού κενού με δρόμο (4).

Βάσει των στοιχείων αυτών μπορεί να δημιουργηθεί ένα νέο γράφημα, που αποτελεί ένα διαβαθμισμένο edge-to-vertex dual[33] γράφημα του αρχικού γραφήματος, στο οποίο οι διακριτοί αδόμητοι χώροι αποτελούν τους κόμβους και οι μεταξύ τους χωρικές συνδέσεις τις ακμές, στις οποίες ανατίθεται και το αντίστοιχο βάρος (Εικόνα 2 - 35).



Εικόνα 2 - 35.
Γράφος συνδεσιμότητας όλων των αδόμητων χώρων

Οδικοί άξονες (πράσινο), θύλακες (μπλε), αστικά κενά (κόκκινο). Το μέγεθος των κόμβων είναι ανάλογο της συνδεσιμότητάς τους και το πάχος των συνδέσεων είναι ανάλογο του βάρους τους

Το γράφημα αυτό είναι παρόμοιο με κάποιους από τους χάρτες που χρησιμοποιούνται στη Space Syntax, προσαρμοσμένους στις ιδιαιτερότητες της συγκεκριμένη εφαρμογής. Εμφανίζει κοινά χαρακτηριστικά με τους y-maps, interface maps και permeability maps, όπως περιγράφονται από τους Hillier και Hanson (1984: 100-104), με βασικότερη τη διαφορά ότι εδώ κάθε κόμβος του δικτύου αναπαριστά μια διακριτή μονάδα αδόμητου χώρου, όπως αυτές ορίστηκαν βάσει της ιεράρχησης σε τρεις κατηγορίες και όχι τις γεωμετρικά κυρτές υποδιαιρέσεις του αδόμητου χώρου [convex spaces], όπως ορίζονται από τους Hillier και Hanson. Συγκεκριμένα, οι y-maps, interface maps και permeability maps είναι γραφήματα που έχουν ως βάση το convex map, όπου το σύνολο του αδόμητου χώρου (που ορίζεται κατά περίπτωση ως ο δημόσιος, δημόσιος και κοινόχρηστος, ή δημόσιος, κοινόχρηστος και ιδιωτικός αδόμητος χώρος) θεωρείται ως συνεχές και αδιαφοροποίητο και υποδιαιρείται στις μέγιστου εμβαδού κυρτές περιοχές, σχηματίζοντας έτσι αλληλουχίες κυρτών πολυγώνων. Ο y-map

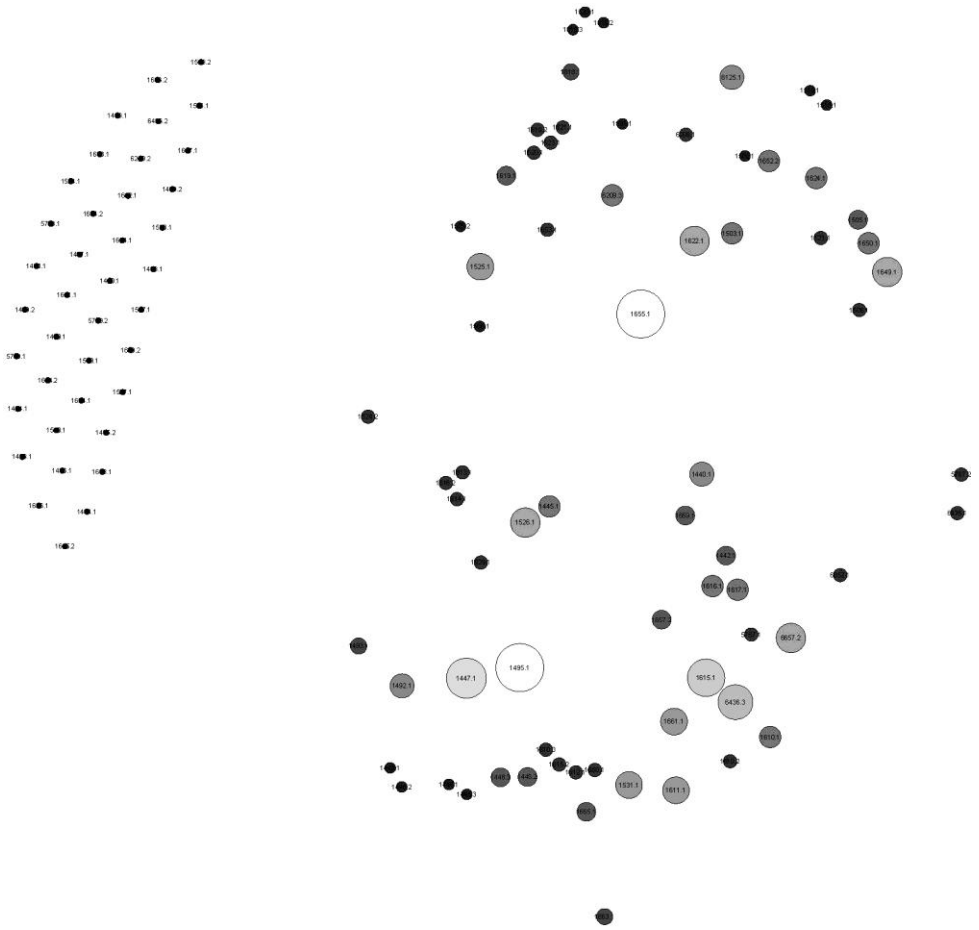
[33] Ο edge-to-vertex dual γράφος ενός άλλου γράφου είναι ένας γράφος που αναπαριστά τις γειτνιάσεις μεταξύ ακμών. Ουσιαστικά προκύπτει αν οι κόμβοι του αρχικού γράφου μεταγραφούν σε ακμές και οι ακμές σε κόμβους. Οι δύο γράφοι αποτελούν διαφορετικές αναπαραστάσεις της ίδιας δικτυακής δομής.

προκύπτει αν σε κάθε πολύγωνο αντιστοιχηθεί ένας κόμβος και οι συνδέσεις ενώνουν τους κόμβους που αναπαριστούν γειτονικά μεταξύ τους πολύγωνα. Από τον y-map προκύπτει ο interface map, αν προστεθεί ένας κόμβος για κάθε κτίριο και συνδεθεί με τους κόμβους των πολυγώνων με τα οποία γειτνιάζει και στα οποία έχει άμεση πρόσβαση. Ο permeability map αποτελεί μια περαιτέρω εξειδίκευση του interface map, αν προστεθούν επιπλέον κόμβοι για τους πιθανούς ενδιάμεσους χώρους πρόσβασης από τα κτίρια στα πολύγωνα του αδόμητου χώρου, ενώ οι συνδέσεις γίνονται και πάλι βάσει γειτνίασης και άμεσης προσβασιμότητας.

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή ακολουθείται μια παρόμοια λογική, με τη διαφορά ότι η χωρική μονάδα/κόμβος δεν ορίζεται από το γεωμετρικά ορισμένο και ποιοτικά αδιαφοροποίητο κυρτό πολύγωνο, αλλά από τη διάκριση αντιληπτικά συνεχών χωρικών ενοτήτων και αντί για τη διάκριση πολυγώνων, ενδιάμεσων μεταβατικών χώρων και κτιρίων έχουμε τις τρεις τάξεις αδόμητων χώρων (δρόμος, θύλακας, αστικό κενό).

Για την οπτικοποίηση και την ανάλυση του νέου αυτού γράφου, που αναπαριστά το δίκτυο των αδόμητων χώρων, χρησιμοποιείται το λογισμικό ανοιχτού κώδικα Gephi. Οι πίνακες που εξάγονται από την ανάλυση του χάρτη στο προηγούμενο στάδιο είναι κατάλληλα μορφοποιημένοι ώστε να εισαχθούν απευθείας στο λογισμικό ανάλυσης γράφων. Το λογισμικό αυτό παρέχει τη δυνατότητα πολλαπλών επιλογών ως προς την οπτικοποίηση του γράφου, αλλά και ως προς την ανάλυσή του και την εξαγωγή μετρήσεων. Στην προκειμένη περίπτωση, βασικός στόχος είναι ο υπολογισμός της διαβαθμισμένης συνδεσιμότητας για τους αδόμητους χώρους τύπου 3 (αστικά κενά). Προκειμένου να υπολογιστεί το μέγεθος αυτό, υπολογίζεται η συνδεσιμότητα για το σύνολο των κόμβων του δικτύου, βάσει του πλήθους και του βάρους των συνδέσεων σε κάθε κόμβο. Η διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα ενός κόμβου υπολογίζεται ως το άθροισμα των βαρών όλων των συνδέσεών του. Προφανώς, οι περίκλειστοι ακάλυπτοι χώροι στο εσωτερικό των οικοδομικών τετραγώνων που δε συνδέονται άμεσα με άλλους αδόμητους χώρους, παρά μόνο μέσω των κτιρίων που τους περιβάλλουν, αποτελούν μη συνδεδεμένους κόμβους του δικτύου και έχουν μηδενική τιμή συνδεσιμότητας (Εικόνα 2 - 35, Εικόνα 2 - 36).

Στη συνέχεια, για λόγους αναγνωσιμότητας, τα εξαγόμενα αποτελέσματα φιλτράρονται, ώστε να εμφανίζονται μόνο οι χώροι τύπου 3 και οι τιμές εξάγονται σε πίνακες (Εικόνα 2 - 36).



Εικόνα 2 - 36.

Γράφος διαβαθμισμένης συνδεσιμότητας των αστικών κενών

Το μέγεθος των κόμβων και η χρωματική διαβάθμιση είναι ανάλογα της συνδεσιμότητάς τους. Το λευκό αντιστοιχεί σε μεγάλη διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα και το μαύρο σε μικρή

Τέλος οι πίνακες αυτοί εισάγονται και πάλι σε σχεδιαστικό λογισμικό CAD, μέσω αλγορίθμου γραμμένου σε Visual Basic for Applications, και οι τιμές μεταφράζονται σε χρωματική διαβάθμιση. Η απεικόνιση των βαθμών συνδεσιμότητας σε χάρτη με χρωματική κωδικοποίηση δίνει μια άμεση εποπτεία τόσο της προσβασιμότητας κάθε κενού χωριστά όσο και της κατανομής της συνδεσιμότητας στο σύνολο του δικτύου (Εικόνα 2 - 37).

Εικόνα 2 - 37.
Χάρτης διαβαθμισμένης συνδεσιμότητας των αστικών κενών

Το λευκό αντιστοιχεί σε μεγάλη διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα και το μαύρο σε μικρή

2.5.3.2. Άλλες μετρήσεις

Εκτός από τη διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα, που εκφράζει την προσβασιμότητα κάθε κενού από χώρους με τους οποίους συνδέεται άμεσα, από το γράφο συνδεσιμότητας μπορεί να εξαχθεί ένα πλήθος μετρήσεων, που σχετίζονται περισσότερο ή λιγότερο με τα ζητούμενα της εφαρμογής. Από αυτές, ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η Ενδιάμεση Κεντρικότητα [Betweenness Centrality], η Κεντρικότητα Εγγύτητας [Closeness Centrality] και η Εκκεντρικότητα [Eccentricity].

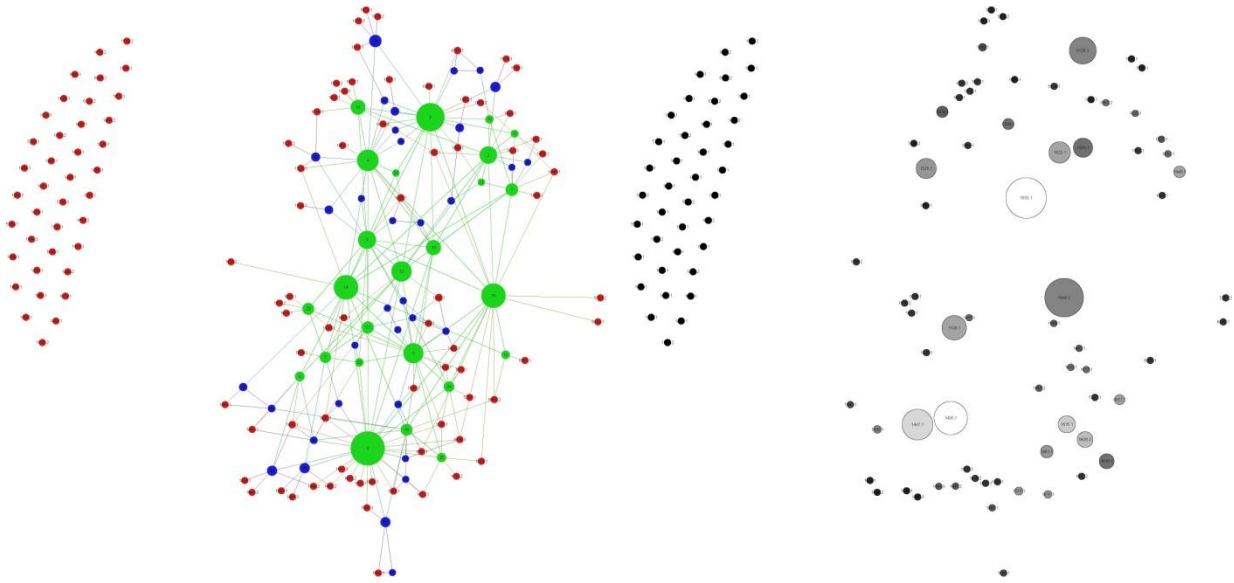
2.5.3.2.1. Ενδιάμεση Κεντρικότητα [Betweenness Centrality]

Η Ενδιάμεση Κεντρικότητα εκφράζει τη σημασία κάθε κόμβου στη συνδεσιμότητα του συνόλου του δικτύου με όρους συνεκτικότητας, ανάλογα με το βαθμό κατά τον οποίο ο συγκεκριμένος κόμβος συμβάλλει στη διασύνδεση άλλων στοιχείων μεταξύ τους, λειτουργώντας ως ενδιάμεσος κόμβος. Ουσιαστικά αναφέρεται στο πλήθος των συντομότερων μονοπατιών[34] [shortest path] μεταξύ όλων των κόμβων του δικτύου που διέρχονται μέσω του συγκεκριμένου κόμβου. Για να μετρηθεί υπολογίζονται οι συντομότερες διαδρομές μεταξύ όλων των πιθανών ζευγών κόμβων, για το σύνολο του δικτύου, και για κάθε κόμβο αθροίζεται το πλήθος των διαδρομών που τον διασχίζουν. Στη συνέχεια το μέγεθος αυτό συνήθως κανονικοποιείται, διαιρούμενο με το πλήθος των ζευγών κόμβων.

Επομένως, οι κόμβοι με υψηλό βαθμό ενδιάμεσης κεντρικότητας είναι αυτοί που διαπερνώνται συχνότερα σε μια τυχαία διαδρομή. Αυτοί παίζουν σημαντικό ρόλο στη συνεκτικότητα του δικτύου και η αποκοπή τους από αυτό θα μπορούσε να έχει ως αποτέλεσμα τη διάσπαση του δικτύου σε

[34] «Μία ακολουθία διαδοχικών κορυφών μαζί με τις ακμές που τις συνδέουν, δηλαδή μία ακολουθία της μορφής v1{v1,v2}v2{v2,v3}v3{v3,v4}...{vn-1,vn}vn, λέγεται περίπατος ή άλυσσος (walk ή chain). […] Ένας περίπατος του οποίου όλες οι κορυφές (άρα και οι ακμές) είναι διαφορετικές, λέγεται μονοπάτι (path)» (Μωϋσιάδης, 2002: 242).

επιμέρους ασύνδετα μεταξύ τους δίκτυα. Αντίθετα, κόμβοι με χαμηλή ενδιάμεση κεντρικότητα δεν επηρεάζουν τη συνοχή του δικτύου και συχνά είναι κόμβοι με μικρή συνδεσιμότητα. Τόσο οι μη συνδεδεμένοι κόμβοι όσο και οι τερματικοί κόμβοι / φύλλα [leaves], έχουν μηδενική τιμή ενδιάμεσης κεντρικότητας.

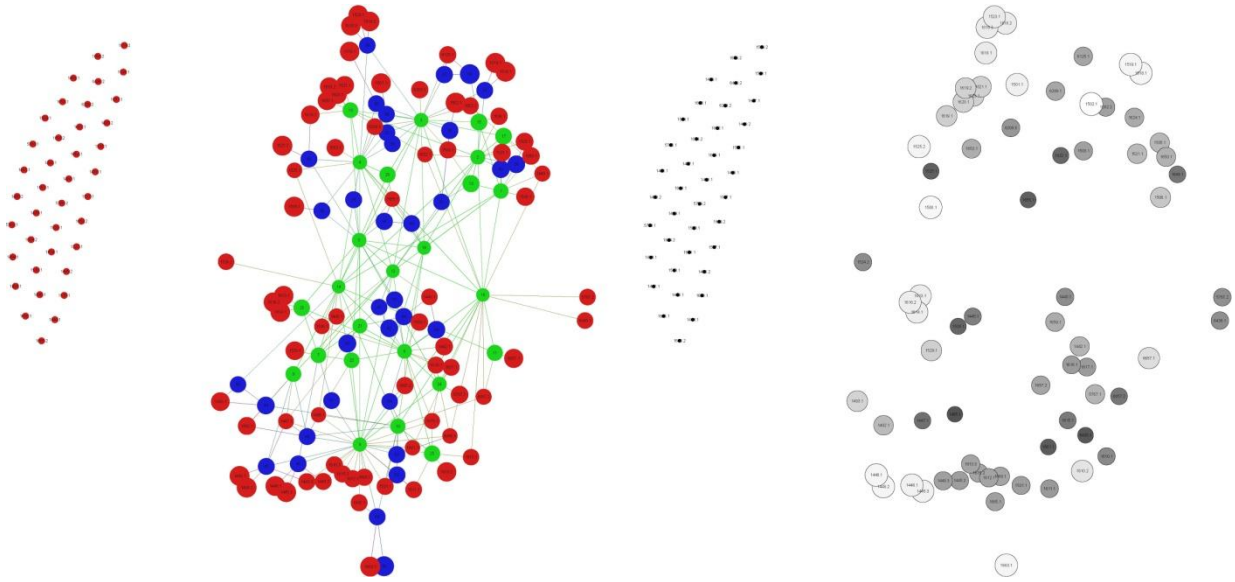


Εικόνα 2 - 38.
Ενδιάμεση Κεντρικότητα

Για ολόκληρο το δίκτυο (αριστερά) και μόνο για τα αστκά κενά (δεξιά)

2.5.3.2.2. Κεντρικότητα Εγγύτητας [Closeness Centrality]

Η Κεντρικότητα Εγγύτητας αποτελεί δείκτη του πόσο κοντά βρίσκεται ένας κόμβος σε όλους τους κόμβους δικτύου, με όρους συνολικής γεωδαιτικής απόστασης από έναν κόμβο προς όλους τους άλλους κόμβους του δικτύου και εκφράζει το πόσο σύντομη είναι η διαδοχική πρόσβαση σε όλους του κόμβους του δικτύου από το συγκεκριμένο κόμβο. Η γεωδαιτική απόσταση μεταξύ δύο κόμβων ορίζεται ως το πλήθος των ακμών της συντομότερης διαδρομής που τους συνδέει.

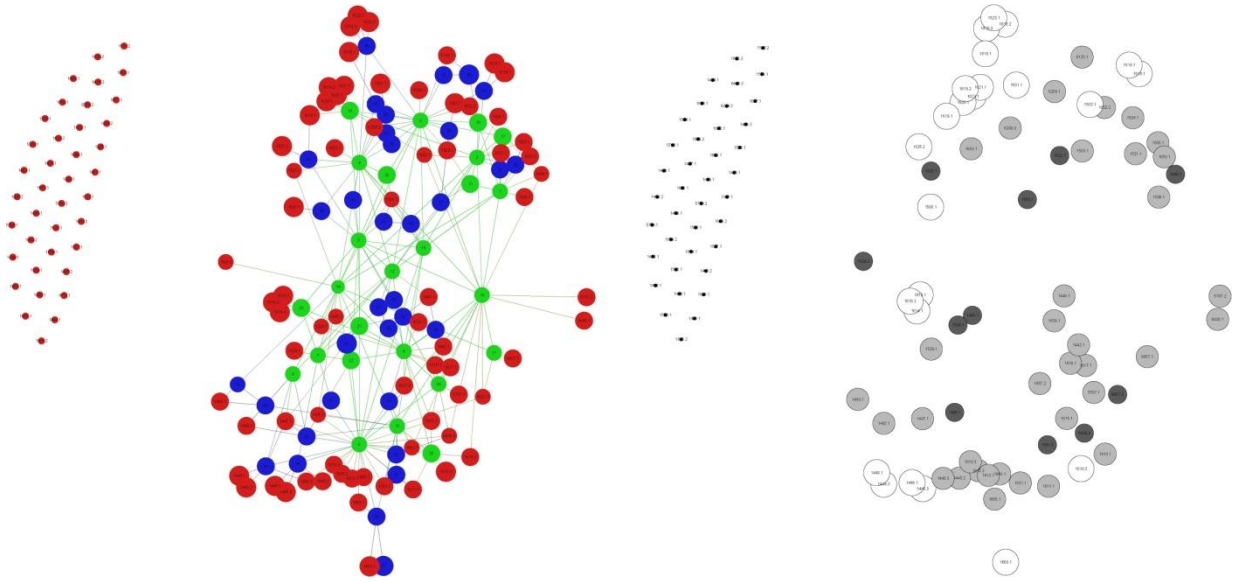


Εικόνα 2 - 39.
Κεντρικότητα Εγγύτητας

Για ολόκληρο το δίκτυο (αριστερά) και μόνο για τα αστκά κενά (δεξιά)

2.5.3.2.3. Εκκεντρικότητα [Eccentricity]

Η Εκκεντρικότητα ενός κόμβου εκφράζει πόσο απέχει ένας κόμβος από τον πιο απομακρυσμένο ως προς αυτόν κόμβο και υπολογίζεται ως η μέγιστη γεωδαιτική απόσταση ανάμεσα στο συγκεκριμένο κόμβο και κάθε άλλο κόμβο του δικτύου. Υψηλή τιμή εκκεντρικότητας σημαίνει ότι ο πιο απομακρυσμένος κόμβος του δικτύου βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση.



Εικόνα 2 - 40.
Εκκεντρικότητα

Για ολόκληρο το δίκτυο (αριστερά) και μόνο για τα αστικά κενά (δεξιά)

2.5.3.3. Εφαρμογή

Εργαλείο

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής, για τον υπολογισμό της των συνδέσεων και των βαρών τους γράφτηκε αλγόριθμος σε γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic for Applications. Για την οπτικοποίηση και την ανάλυση των εξερχομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ανοιχτού κώδικα για την ανάλυση γράφων και δικτύων Gephi. Οι πίνακες των αποτελεσμάτων εξήχθηκαν σε πίνακες Office excel.

Εισερχόμενα. Μορφή δεδομένων

Ο υπολογισμός της συνδεσιμότητας και της κεντρικότητας των αδόμητων χώρων γίνεται βάσει του ψηφιακού χάρτη της περιοχής μελέτης, πάνω στον οποίο σχεδιάστηκε το αρχικό διάγραμμα συνδεσιμότητας.

Εξερχόμενα

Από το λογισμικό ανάλυσης γράφων Gephi, εξήχθηκαν πίνακες με τις τιμές της διαβαθμισμένης συνδεσιμότητας, της ενδιάμεσης κεντρικότητας, της κεντρικότητας εγγύτητας και της εκκεντρικότητας του κάθε αδόμητου χώρου, σε πίνακες Office excel. Επίσης, για λόγους οπτικοποίησης και ελέγχου των αποτελεσμάτων εξήχθηκαν εικόνες των διαφορετικών σταδίων ανάλυσης των γραφημάτων.

2.5.3.4. Επιλογή μετρήσεων

Από τους ορισμούς των παραπάνω μετρήσεων είναι φανερό ότι, αν και όλες σχετίζονται με διαφορετικό τρόπο με τη διασύνδεση και την προσβασιμότητα των κόμβων, αναφέρονται σε διαφορετικές κλίμακες θεώρησης της συνδεσιμότητας αυτής. Ο διαβαθμισμένος βαθμός είναι μια πιο τοπική έκφραση της συνδεσιμότητας, αφού αναφέρεται στις άμεσες συνδέσεις του κάθε κόμβου, ενώ οι μετρήσεις κεντρικότητας αναφέρονται στο σύνολο του δικτύου, εκφράζοντας μια καθολική προσέγγιση της συνδεσιμότητας. Έτσι ο διαβαθμισμένος βαθμός δεν εξαρτάται από την έκταση του τμήματος του δικτύου που εξετάζεται κάθε φορά, σε αντίθεση με τις μετρήσεις κεντρικότητας για τις οποίες διαφορετικής έκτασης τμήματα ενός ενιαίου δικτύου θα παρήγαγαν διαφορετικά αποτελέσματα. Στην παρούσα εφαρμογή, το δίκτυο που εξετάζεται αποτελεί μια αυθαίρετη απότμηση του συνολικού δικτύου του αστικού ιστού. Τα όρια τομής του δικτύου δεν σχετίζονται με πραγματικά οριακά χαρακτηριστικά του (εκτός από το όριο των σιδηροδρομικών γραμμών), αλλά προκύπτουν από το συμβατικό καθορισμό των ορίων της περιοχής που εσωκλείει τα εξεταζόμενα οικοδομικά τετράγωνα. Η ταύτιση των ορίων του δικτύου με αυτά της περιοχής μελέτης έχει ως αποτέλεσμα οι κόμβοι που βρίσκονται κοντά στα όρια να εμφανίζονται συνολικά λιγότερο διασυνδεμένοι από αυτούς που βρίσκονται στο κέντρο της περιοχής μελέτης, χωρίς αυτό να ανταποκρίνεται στην πραγματική κατάσταση. Αυτή η παραμόρφωση και η εξάρτηση των τιμών της κεντρικότητας από την κλίμακα θεώρησης του δικτύου, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι μια τοπική και συγκρίσιμη έκφραση της συνδεσιμότητας κρίνεται επαρκής για την απόδοση της ανοιχτότητας και της προσβασιμότητας των μεμονωμένων αστικών κενών σε επίπεδο δικτύου, οδήγησε στην απόφαση οι μετρήσεις κεντρικότητας να μην συμπεριληφθούν στις περιγραφικές διαστάσεις βάσει των οποίων επιχειρείται η συγκριτική ανάλυση των αστικών κενών.

2.6. Αποτελέσματα μετρήσεων

Μετά την ολοκλήρωση των μετρήσεων και προκειμένου να επιβεβαιωθεί η καταλληλότητα, η ακρίβεια και η εγκυρότητα των μεθόδων μέτρησης ως προς το βαθμό απόδοσης των στοχευόμενων χαρακτηριστικών αλλά και ως προς τη συνεκτικότητα των αποτελεσμάτων, εξετάζονται οι εξαγόμενες τιμές τόσο βάσει στατιστικών μεθόδων όσο και βάσει της διασταύρωσής τους με την οπτική εντύπωση των αντίστοιχων χαρακτηριστικών αλλά και με διαθέσιμη εξωτερική πληροφορία σχετικά με το συγκριμένο δείγμα χώρων.

2.6.1. Κλίμακες ανάλυσης

Για το σκοπό αυτό τα αποτελέσματα των μετρήσεων εξετάζονται τόσο ως προς βασικά στατιστικά μεγέθη για κάθε μέτρηση χωριστά, όπως οι ακραίες και μέσες τιμές, η συνολική διακύμανση και το εύρος, προκειμένου να διερευνηθεί η κατανομή των τιμών της κάθε μέτρησης, όσο και ως προς τη συσχέτιση μεταξύ ζευγών μετρήσεων, προκειμένου να εντοπισθεί η πιθανή εμφάνιση επαναλαμβανόμενων συσχετισμών μεταξύ μετρήσεων.

2.6.1.1. Μεμονωμένες μετρήσεις

Ως προς την κάθε περιγραφική διάσταση, πέρα από τη μελέτη των γενικών κατανομών, εντοπίζονται χώροι με ακραίες τιμές, είτε υψηλές είτε χαμηλές και διερευνάται αν πρόκειται για τυχαίες ανωμαλίες ή για έκτοπα ως προς το σύνολο του δείγματος. Ο εντοπισμός ακραίων τιμών συνεισφέρει και στην εποπτική επιβεβαίωση του τι μετράει κάθε μέθοδος, αφού ακραίες τιμές αναμένεται να αντιστοιχούν στην έντονη εμφάνιση του αντίστοιχου χαρακτηριστικού. Πιθανή σύγκλιση πολλαπλών ακραίων τιμών στον ίδιο χώρο αποκαλύπτει έκτοπα, που διαφοροποιούνται έντονα από το σύνολο του δείγματος.

2.6.1.2. Ζεύγη μετρήσεων

Στη συνέχεια οι μετρήσεις συνδυάζονται ανά ζεύγη και συγκρίνονται μεταξύ τους, μέσω της γραφικής τους παράστασης σε γραφήματα διασποράς [scatter graphs].

Σε επίπεδο μεμονωμένων χώρων, τα γραφήματα διασποράς διευκολύνουν την αναζήτηση εκτόπων, ενώ ως προς το συνολικό δείγμα αποκαλύπτουν το βαθμό συσχέτισης μεταξύ των δύο αντιπαρατιθέμενων μετρήσεων. Υψηλή συσχέτιση, θετική ή αρνητική, μπορεί να σημαίνει είτε ότι οι δύο μετρήσεις μετρούν παρόμοια χαρακτηριστικά είτε ότι μετρούν χαρακτηριστικά που τείνουν να συνεμφανίζονται.

2.6.2. Πιλοτική εφαρμογή

Στην περίπτωση της πιλοτικής εφαρμογής, η αξιολόγηση των μετρήσεων υποστηρίζεται και από την ύπαρξη προκαθορισμένων κατηγορικών ετικετών, οι οποίες αντιστοιχίζουν κάθε οικοδομικό τετράγωνο στην περιοχή από την οποία προέρχεται. Έτσι εκτός από τη μελέτη των τιμών για μεμονωμένους χώρους και για το σύνολο του δείγματος, η εμφάνιση των ετικετών επιτρέπει και τη διερεύνηση διαφορετικών τάσεων και συσχετισμών εντός κάθε περιοχής, αλλά και τη σύγκριση των κατανομών μεταξύ περιοχών.

Έτσι, για τη διερεύνηση πιθανών συσχετισμών μεταξύ κατόψεων, περιοχών ή ακόμα και των δύο πόλεων, αλλά και για την επιβεβαίωση της καταλληλότητας και της εγκυρότητας των μεθόδων

μέτρησης, το δείγμα εξετάζεται τόσο στο επίπεδο των μεμονωμένων οικοδομικών τετραγώνων όσο και σε επίπεδο περιοχής, μέσω της ανάλυσης σχηματισμών συσχετισμών βάσει των αποτελεσμάτων της κάθε μέτρησης χωριστά, αλλά και των συσχετίσεων μεταξύ ζευγών μετρήσεων.

Ως προς μεμονωμένα δείγματα, εκτός από την αναζήτηση εκτόπων, οικοδομικά τετράγωνα που εμφανίζουν οπτικές ομοιότητες συγκρίνονται μεταξύ τους προκειμένου να διαπιστωθεί αν η ομοιότητάς τους εκφράζεται και στις μετρήσεις.

Σε επίπεδο περιοχής, διερευνάται η κατανομή και η συσχέτιση μεταξύ μετρήσεων, αναζητώντας γενικές τάσεις εντός της κάθε περιοχής καθώς και παρόμοιες ή διαφορετικές τάσεις μεταξύ περιοχών. Μελετάται το εύρος, η διακύμανση, η μέση και οι ακραίες τιμές της κάθε μέτρησης σε κάθε περιοχή, ενώ οι γενικές τάσεις και η σύγκριση μεταξύ περιοχών βασίζονται στις κλίσεις των γραμμών παλινδρόμησης [regression lines] που περιγράφουν βέλτιστα τα υποσύνολα σημείων της κάθε περιοχής στα διαγράμματα διασποράς ζευγών μετρήσεων.

Η απόδοση των τιμών στις διαφορετικές μετρήσεις σε χάρτη, βάσει χρωματικής διαβάθμισης, διευκολύνει τη διερεύνηση της χωρικής κατανομής διαφορετικών χαρακτηριστικών και τον εντοπισμό πιθανών συσχετισμών.

2.6.2.1. Μεμονωμένες μετρήσεις

2.6.2.1.1. Κλίμακα μονάδας

Ακραίες τιμές και εντοπισμός εκτόπων

Κοιτώντας τις ακραίες τιμές σε κάθε μέτρηση, παρατηρούνται κάποιες αντιστοιχίες μεταξύ μεγεθών. Τα παρατηρούμενα μεγέθη δεν συσχετίζονται με σταθερό τρόπο, καθώς σε κάποιες περιπτώσεις συγκεκριμένα μεγέθη μπορεί να συμβαδίζουν ενώ σε άλλες να εμφανίζουν αντίθετες τάσεις, αλλά οι ακραίες τιμές τείνουν να συνεμφανίζονται στις ίδιες κατόψεις[35] (Πίνακας 2 - 3, Πίνακας I - 1, Πίνακας IV - 1).

Περιοχή Α: Μουσείο

Στην περιοχή Α (Μουσείο), τα οικοδομικά τετράγωνα Α016 και Α021 έχουν φρακταλική διάσταση που προσεγγίζει την ελάχιστη τιμή για την περιοχή, εκφράζοντας χαμηλή αυτοομοιότητα και θραυσματικότητα. Αποτελούνται από μεγάλα τμήματα δομημένου και κενού χώρου, κατανεμημένα χωρίς εμφανή ρυθμό. Τα χαρακτηριστικά αυτά αποδίδονται και στις τιμές της συνδεσιμότητας, με το τετράγωνο Α021 να είναι εντελώς κυρτό (mcv=100, v-value=0, h-value=0) και το Α016 να εμφανίζει τις μέγιστες v-value και μέσης μεταβολής συνδεσιμότητας (mhv) στην περιοχή, καθώς και σχετικά υψηλές τιμές μέσης συνδεσιμότητας (mcv) και h-value. Η πολύ υψηλή v-value αντιστοιχεί στην ασύμμετρη, μη ρυθμική κατανομή υποπεριοχών της κάτοψης, ενώ η μέγιστη mhv εκφράζει σταθερότητα στο ρυθμό μεταβολής της συνδεσιμότητας και χαμηλή θραυσματικότητα, ιδιότητες που αποδίδονται και από τη χαμηλή φρακταλική διάσταση.

Τα τετράγωνα Α001, Α012 και Α015 έχουν τις μέγιστες τιμές φρακταλικής διάστασης στην περιοχή, με το Α001 να είναι έντονα διασπασμένο, χαρακτηριστικό που αντικατοπτρίζεται και στην ελάχιστη τιμή μέσης συνδεσιμότητας, ενώ τα Α012 και Α015 εμφανίζουν υψηλή αυτοομοιότητα με όρους παρουσίας πολλαπλών κλιμάκων μαιανδρικών δομών. Στην περίπτωση του Α001 η θραυσματικότητα

[35] Οι παρατηρήσεις σχετικά με τις τιμές στις διάφορες μετρήσεις μπορούν να διασταυρωθούν με τους πίνακες, στους οποίους καταγράφονται όλες οι μετρήσεις για το σύνολο του δείγματος.

επικρατείκαι στον κατακόρυφο άξονα, καθώς πρόκειται για το τετράγωνο με τη μεγαλύτερη καθ' ύψος μεταβολή.

Το τετράγωνο A004 έχει τη μέγιστη κάλυψη σε συνδυασμό με το ελάχιστο συνολικό εμβαδόν και περίμετρο ανοιχτού χώρου, ενώ το A003, το τετράγωνο με τη μέγιστη συνολική επιφάνεια και περίμετρο αδόμητων χώρων εμφανίζεται ως σαφές έκτοπο και στη φασματική ανάλυση.

Περιοχή B: Κολωνάκι

Στην περιοχή B (Κολωνάκι), τα τετράγωνα B001 και B004 συνδυάζουν τις χαμηλότερες τιμές φρακταλικής διάστασης και v-value με τις μέγιστες τιμές μέσης συνδεσιμότητας (mcv). Οι τιμές αυτές οφείλονται στη διάσπαρτη διάτρηση εκτεταμένων δομημένων τμημάτων από μικρούς και κυρτούς κενούς χώρους φωταγωγών. Η υψηλή mcv παράγεται από το συνδυασμό των επιμέρους αυτών κυρτών χώρων, ενώ οι χαμηλή φρακταλική διάσταση και κατακόρυφη απόκλιση δείχνει σταθερότητα και έλλειψη ρυθμού στην κάτοψη. Το B001 συνδυάζει τα χαρακτηριστικά αυτά με το υψηλότερο ποσοστό κάλυψης και την ελάχιστη συνολική επιφάνεια, ενώ το B004 εμφανίζει την ελάχιστη περίμετρο αδόμητου χώρου στην περιοχή.

Το B017 έχει τη μέγιστη φρακταλική διάσταση, σε συνδυασμό με την ελάχιστη κάλυψη, εκφράζοντας τη διάσπαση του δομημένου τμήματος στο συγκεκριμένο τετράγωνο. Το B010, το οποίο επίσης έχει πολύ υψηλή φρακταλική διάσταση, εμφανίζει τις ελάχιστες τιμές h-value και mhv, εξαιτίας του υψηλού βαθμού ισοκατανεμημένων ανωμαλιών του περιγράμματος.

Περιοχή C: Πλάκα

Τα C001, C011 και C024 είναι τα οικοδομικά τετράγωνα με τη μικρότερη φρακταλική διάσταση στην περιοχή C (Πλάκα). Από αυτά, τα C011 και C024 είναι διατάξεις μεμονωμένων κτιρίων εντός ενός ενιαίου αδόμητου χώρου, που σχηματίζουν ασύμμετρες, έντονα διαφοροποιημένες κατόψεις με αποτέλεσμα την εμφάνιση υψηλών τιμών v- και h-value. Το C011 συνδυάζει τις μέγιστες τιμές v- και h- value με την ελάχιστη κάλυψη. Το C001 εμφανίζει το μέγιστο μέσο ύψος κτιρίων, καθώς βρίσκεται στο όριο του ιστορικού ιστού. Η μέγιστη φρακταλική διάσταση ανήκει στα C012 και C025, δύο πολύ διαφορετικές μεταξύ τους διατάξεις. Το C012 είναι μια διασπασμένη διάταξη με πολλές διαφορετικές κλίμακες εσοχών και εξοχών, που αποδίδουν διαφορετικά επίπεδα αυτοομοιότητας, και ελάχιστο μέσο ύψος κτιρίων. Το C025 εκφράζεται ως ένα ενιαίο αυτοόμοιο περίγραμμα δομημένου χώρου που ορίζει κυρτές και έντονα διαφοροποιούμενες περιοχές, σε συνδυασμό με την ελάχιστη συνολική επιφάνεια. Αυτές οι ιδιότητες αντικατοπτρίζονται και στις υψηλές τιμές mc v, v- και h- values και τη μέγιστη τιμή mhv, που προκαλούνται από υψηλή και σταθερά κατανεμημένη κυρτότητα. Ο συνδυασμός υψηλής h-value και mhv δείχνει ότι συχνές μεταβολές ορατότητας δεν είναι υποχρεωτικά μεγάλες ή ξαφνικές.

Το C019 είναι ένα ακόμα ακραίο παράδειγμα στην περιοχή, εμφανίζοντας εντελώς κυρτό αδόμητο χώρο, με την ελάχιστη περίμετρο, σε συνδυασμό με τη μέγιστη κάλυψη. Η μικρή επιφάνεια του τετραγώνου προφανώς δεν επιτρέπει παρά τη δημιουργία μικρών ανοιγμάτων κανονικού ορθογωνικού σχήματος.

Τα C016 και C021, έκτοπα στη φασματική ανάλυση, χαρακτηρίζονται από μέγιστο πλήθος ανοιγμάτων, μέγιστη συνολική επιφάνεια για το C016 και μέγιστη συνολική περίμετρο ανοιγμάτων για το C021.

Περιοχή D: Μεταξουργείο

Στην περιοχή D (Μεταξουργείο), το τετράγωνο με τις χαμηλότερες συνολικά μετρήσεις είναι το D015, μια σειριακή διάταξη κτιρίων κατά μήκος της μιας πλευράς πλατείας. Η απλότητα της διάταξης σε

συνδυασμό με την παρουσία της πλατείας οδηγεί στην ελάχιστη τιμή φρακταλικής διάστασης για την περιοχή, περιμέτρου περίκλειστων αδόμητων χώρων, κάλυψης και μέσου ύψους.

Στο άλλο άκρο, τα D006, D007 και D008 σχηματίζουν μια ομάδα οικοδομικών τετραγώνων, χωρικά συγκεντρωμένων, που χαρακτηρίζονται από υψηλή φρακταλική διάσταση εξαιτίας του πολύπλοκου αυτοόμοιου περιγράμματός τους. παρόλο που τα τετράγωνα αυτά εμφανίζονται διασπασμένα, η διάσπαση αυτή παράγεται από ένα ενιαίο και σχετικά απλό περίγραμμα μαιανδρικής μορφής. Το D007 έχει τις μέγιστες τιμές v- και h-value, εξαιτίας της έντονης διαφοροποίησής του, σε συνδυασμό με την ελάχιστη καθ' ύψος διακύμανση. Το D006 έχει τη μέγιστη συνολική επιφάνεια και πλήθος επιμέρους αδόμητων τμημάτων, ενώ το D008, έντονα διαφοροποιούμενο και στη φασματική ανάλυση, έχει το μέγιστο μήκος συνολική περιμέτρου αδόμητων χώρων.

Περιοχή L: Bloomsbury

Στο δείγμα από την περιοχή L του Λονδίνου, τα τετράγωνα L007 και L017 χαρακτηρίζονται από συμπαγείς δομημένες περιοχές με μικρά κυρτά ανοίγματα. Εμφανίζουν πολύ χαμηλή φρακταλική διάσταση σε συνδυασμό με υψηλή μέση συνδεσιμότητα (mcv) ως αποτέλεσμα της συσσώρευσης επιμέρους κυρτών ανοιγμάτων ασύμμετρα κατανεμημένων εντός ενιαίων συμπαγών περιοχών. Το L010, αν και είναι παρόμοιο με τα L007 και L017, εμφανίζοντας τις μέγιστες τιμές mcv, v-value, και κάλυψης καθώς και την ελάχιστη τιμή συνολικής περιμέτρου αδόμητων χώρων, έχει υψηλότερη φρακταλική διάσταση, πιθανά λόγω μιας πιο επαναλαμβανόμενης και ρυθμικής κατανομής των κενών.

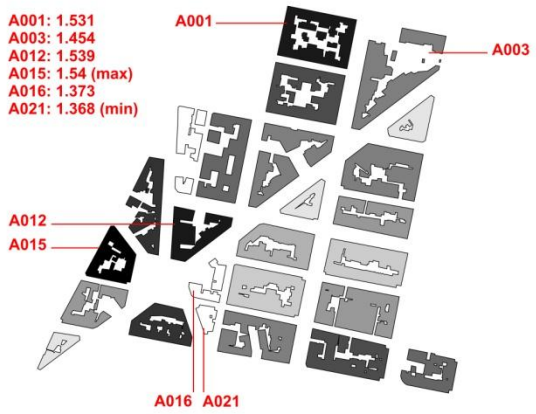
Το L011 έχει την ελάχιστη μέση συνδεσιμότητα, τις μέγιστες τιμές v- και h-value και υψηλή φρακταλική διάσταη, ως αποτέλεσμα των μεγάλων διαστάσεων του κεντρικού κενού του. Το L025, έκτοπο της φασματικής ανάλυσης, έχει τη μέγιστη φρακταλική διάσταση και συνολική περίμετρο αδόμητων χώρων, αντικατοπτρίζοντας υψηλή θραυσματικότητα που οφείλεται σε πλήθος ποικιλόμορφων ανοιγμάτων. Άλλο ένα τετράγωνο που διαφοροποιείται στη φασματική ανάλυση, το L019, συνδυάζει τη μέγιστη συνολική επιφάνεια και το μέγιστο πλήθος επιμέρους αδόμητων χώρων.

Από την εξέταση του συγκεκριμένου δείγματος και την εξαγωγή των παραπάνω διαπιστώσεων ως προς την εμφάνιση ακραίων τιμών, παρατηρείται ότι κάποιες μετρήσεις τείνουν να συσχετίζονται μεταξύ τους εντονότερα από ότι άλλα. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η φρακταλική διάσταση σχετίζεται με τις μετρήσεις συνδεσιμότητας, γεγονός αναμενόμενο δεδομένου ότι και οι δύο τύποι μετρήσεων εκφράζουν διαφοροποίηση, επανάληψη και πολυπλοκότητα. Ωστόσο, ο συσχετισμός τους ποικίλλει και εμφανίζονται διαφορετικοί συνδυασμοί μέγιστων και ελάχιστων τιμών (Πίνακας 2 - 3).

Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις, οι γεωμετρικές και τοπολογικές μετρήσεις συσχετίζονται και με μετρικά μεγέθη, όπως η συνολική επιφάνεια, η κάλυψη καθώς και το πλήθος και η περίμετρος των επιμέρους αδόμητων χώρων (Πίνακας 2 - 1, Πίνακας 2 - 3, Πίνακας I - 1). Έτσι εμφανίζονται συχνά συνδυασμοί χαμηλής φρακταλικής διάστασης με υψηλή συνδεσιμότητα, μεγάλη κάλυψη και μικρή επιφάνεια και περίμετρο κενών. Η επαναλαμβανόμενη συνεμφάνιση των χαρακτηριστικών αυτών ενδέχεται να οφείλεται σε περιορισμούς που επιβάλλουν μικρά μεγέθη οικοπέδων και να μην αποκαλύπτουν ενδογενείς σχέσεις αιτιότητας μεταξύ των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, καθώς χώροι περιορισμένης έκτασης επιτρέπουν μόνο λιγοστά και σχετικά μικρά ανοίγματα προκειμένου να μεγιστοποιείται ο εκμεταλλεύσιμος δομημένος χώρος.

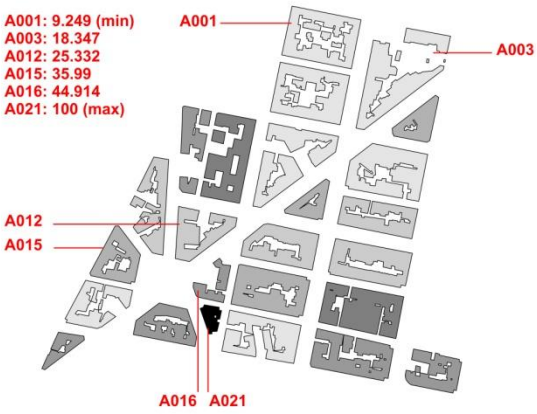
area_A
fractal dimension

A001: 1.531
A003: 1.454
A012: 1.539
A015: 1.54 (max)
A016: 1.373
A021: 1.368 (min)

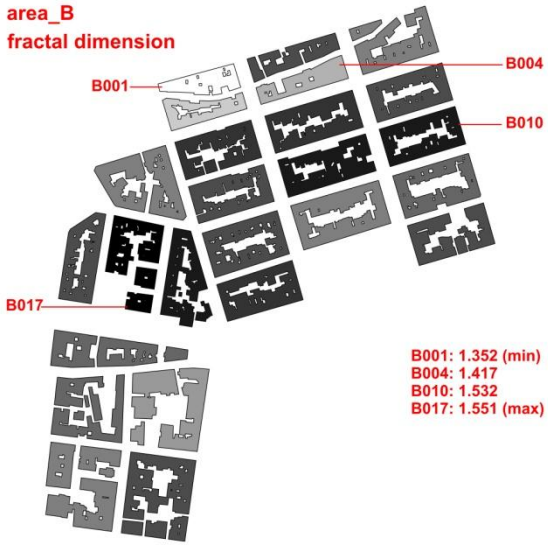


area_A
mean connectivity

A001: 9.249 (min)
A003: 18.347
A012: 25.332
A015: 35.99
A016: 44.914
A021: 100 (max)

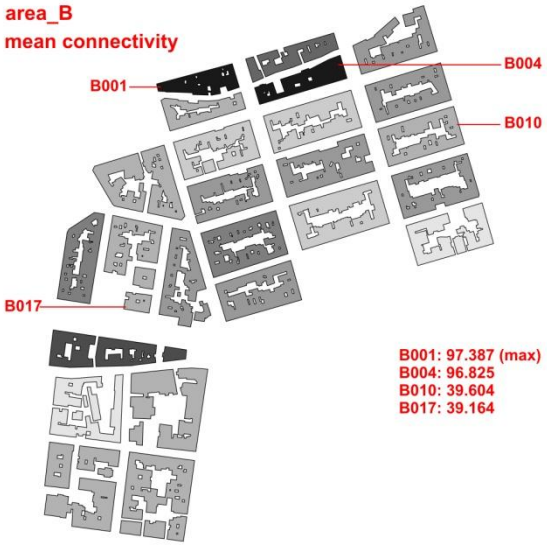


area_B
fractal dimension



B001: 1.352 (min)
B004: 1.417
B010: 1.532
B017: 1.551 (max)

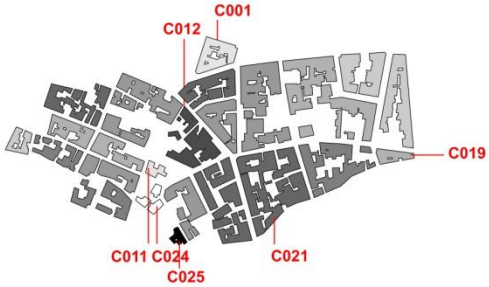
area_B
mean connectivity



B001: 97.387 (max)
B004: 96.825
B010: 39.604
B017: 39.164

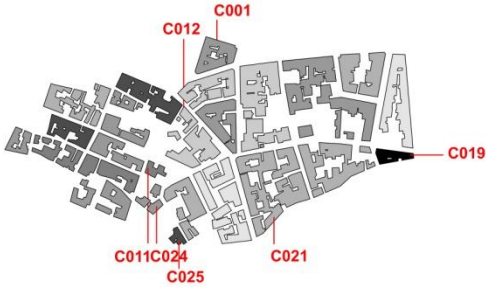
area_C
fractal dimension

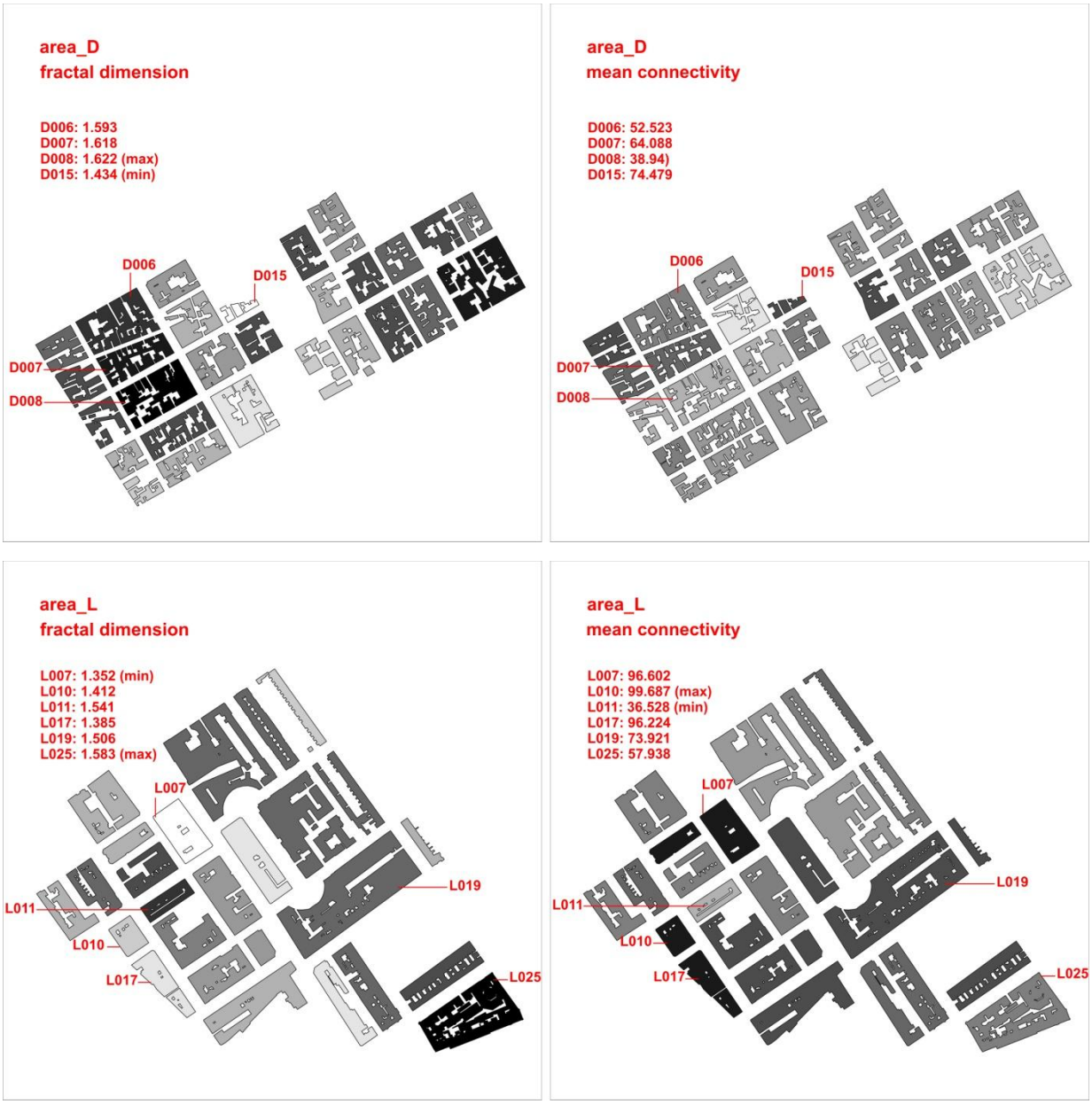
C001:1.41
C011: 1.386
C012: 1.583
C019: 1.463
C021: 1.575
C024: 1.348 (min)
C025: 1.674 (max)



area_C
mean connectivity

C001:47.835
C011: 54.089
C012: 26.68
C019: 100 (max)
C021: 32.868
C024: 40.588
C025: 70.96





Πίνακας 2 - 3

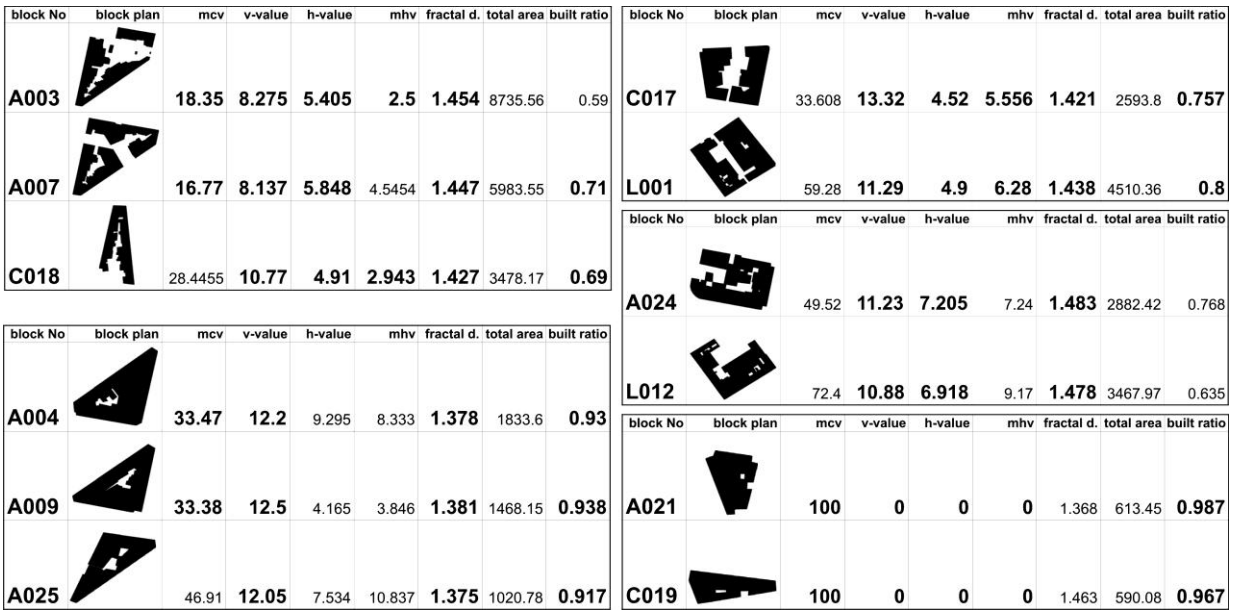
Κατανομή φρακταλικής διάστασης και μέσης συνδεσιμότητας

Ακραίες τιμές φρακταλικής διάστασης και μέσης συνδεσιμότητας συχνά εμφανίζονται στα ίδια τετράγωνα (αριθμημένα)

Αντιστοιχία τιμών σε οικοδομικά τετράγωνα με οπτικές ομοιότητες

Η συνέπεια στη συνεμφάνιση χαρακτηριστικών επιβεβαιώνεται και μέσω της σύγκρισης των τιμών σε κατόψεις που εμφανίζουν οπτικές ομοιότητες (Εικόνα 2 - 41).

Μια σειρά συγκρίσεων δείχνει ότι παρόμοιες κατόψεις εμφανίζουν παρόμοιες τιμές σε πλήθος χαρακτηριστικών, υποστηρίζοντας την συνέπεια των μεθόδων μέτρησης.



block No	block plan	mcv	v-value	h-value	mhv	fractal d.	total area	built ratio
A003		18.35	8.275	5.405	2.5	1.454	8735.56	0.59
A007		16.77	8.137	5.848	4.5454	1.447	5983.55	0.71
C018		28.4455	10.77	4.91	2.943	1.427	3478.17	0.69

block No	block plan	mcv	v-value	h-value	mhv	fractal d.	total area	built ratio
A004		33.47	12.2	9.295	8.333	1.378	1833.6	0.93
A009		33.38	12.5	4.165	3.846	1.381	1468.15	0.938
A025		46.91	12.05	7.534	10.837	1.375	1020.78	0.917

block No	block plan	mcv	v-value	h-value	mhv	fractal d.	total area	built ratio
C017		33.608	13.32	4.52	5.556	1.421	2593.8	0.757
L001		59.28	11.29	4.9	6.28	1.438	4510.36	0.8

block No	block plan	mcv	v-value	h-value	mhv	fractal d.	total area	built ratio
A024		49.52	11.23	7.205	7.24	1.483	2882.42	0.768
L012		72.4	10.88	6.918	9.17	1.478	3467.97	0.635

block No	block plan	mcv	v-value	h-value	mhv	fractal d.	total area	built ratio
A021		100	0	0	0	1.368	613.45	0.987
C019		100	0	0	0	1.463	590.08	0.967

Εικόνα 2 - 41.

Σύγκριση μετρήσεων κατόψεων με οπτικές ομοιότητες

Παρατηρούνται παρόμοιες τιμές σε διάφορες μετρήσεις (τονισμένες τιμές)

2.6.2.1.2. Κλίμακα περιοχής

Για κάθε μέτρηση συγκρίνονται οι τιμές που εμφανίζονται στις διαφορετικές περιοχές. Για κάθε περιοχή οι τιμές κάθε μέτρησης διατάσσονται σε αύξουσα σειρά, αποδίδονται γραφικά και συγκρίνεται το συνολικό τους εύρος μεταξύ περιοχών. Για όλες τις μετρήσεις τα εύρη αυτά αλληλεπικαλύπτονται σε μεγάλο βαθμό, δείχνοντας ότι η διάκριση μεταξύ περιοχών δεν συνδέεται άμεσα με καμία μεμονωμένη μέτρηση. Ωστόσο, διαφορές στην κατανομή και το εύρος των τιμών αναδεικνύουν κάποια γενικά χαρακτηριστικά.

Α. Φρακταλική διάσταση

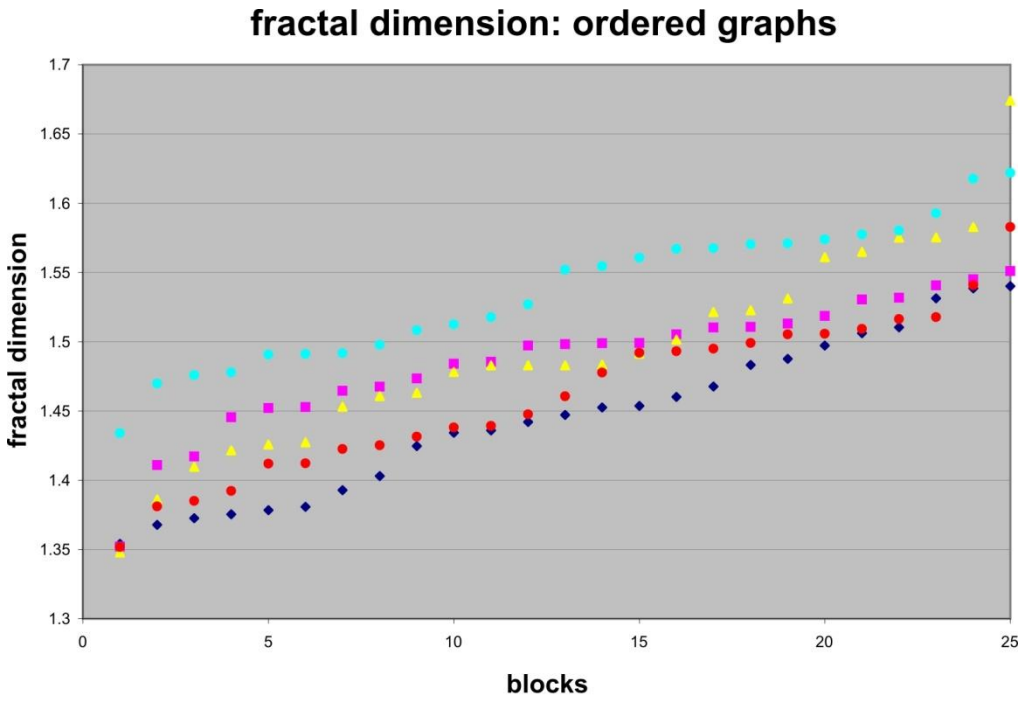
Ως προς τη φρακταλική διάσταση, αν και τα εύρη των τιμών κάθε περιοχής αλληλεπικαλύπτονται, τα διατεταγμένα γραφήματα που δείχνουν την κατατομή των τιμών ανά μέτρηση και ανα περιοχή φανερώνουν κάποιες συνολικές διαφοροποιήσεις (Εικόνα 2 - 42).

Η συνολική κατανομή της φρακταλικής διάστασης εντός κάθε περιοχής είναι ομαλή, με μοναδική εξαίρεση την απότομη αύξηση κοντά στο άνω όριο των τιμών της περιοχής C (Πλάκα). Η γενική αυτή κατανομή συμφωνεί και με τη κατάταξη των περιοχών βάσει των μέσω τιμών, σύμφωνα με την οποία η περιοχή A έχει τη χαμηλότερη μέση τιμή (mean fd = 1.45), ακολουθούμενη από τις περιοχές B και C (1.49), ενώ η D έχει την υψηλότερη μέση φρακταλική διάσταση (1.54). το δείγμα του Λονδίνου τοποθετείται μεταξύ των περιοχών A και B με μέση τιμή φρακταλικής διάστασης 1.46.

Οι διαφορές αυτές μπορεί να είναι πολύ μικρές για το διαχωρισμό μεταξύ περιοχών, ωστόσο η συνολική κατάταξη συμβαδίζει με τη διαισθητική οπτική εντύπωση που δίνουν οι χάρτες των περιοχών αναφορικά με τη θραυσματικότητα, την πολυπλοκότητα, την επανάληψη και την πολλαπλότητα της κλίμακας των αντίστοιχων κατόψεων. Από την εποπτική παρατήρηση των χαρτών αυτών η περιοχή A δείχνει να αντιπροσωπεύεται κυρίως από απλές διατάξεις και να ενσωματώνει λιγότερη ποικιλομορφία από ότι οι υπόλοιπες περιοχές. Στο άλλο άκρο, η περιοχή D είναι η περιοχή με τα πιο θραυσματικά και πολύπλοκα οικοδομικά τετράγωνα, με διατάξεις που είναι συχνά μη αναγνώσιμες από τον περαστικό.

Ως προς τις ακραίες τιμές, όλες οι περιοχές έχουν πολύ κοντινά ελάχιστα (1.35 για τις περιοχές A, B, C, L και 1.43 για την περιοχή D), καθιστώντας την τιμή αυτή καθολικό κάτω όριο για το σύνολο του δείγματος. Οι μέγιστες τιμές ωστόσο διαφέρουν αισθητά, με τις νεότερες περιοχές A και B να εμφανίζουν τα χαμηλότερα μέγιστα (1.54 και 1.55 αντίστοιχα), ενώ οι παλαιότερες περιοχές C και D εμφανίζουν τα υψηλότερα μέγιστα (1.67 και 1.62) και το Λονδίνο τοποθετείται ανάμεσά τους με μέγιστη τιμή 1.58.

Η σχετικά χαμηλότερη γενική κατάταξη των νεότερων περιοχών πιθανά να σχετίζεται με τη μεγαλύτερη κανονικότητα που προκύπτει από τον σχετικά κανονικό κάναβο του αστικού ιστού, που παράγει κανονικότερα περιγράμματα οικοδομικών τετραγώνων, αλλά και από την εφαρμογή συγκεκριμένων όρων δόμησης, σε αντίθεση με τις παλιότερες περιοχές, όπου ο αστικός ιστός είναι πιο ακανόνιστος και οργανικός, οδηγώντας σε ποικιλία σχημάτων οικοδομικών τετραγώνων (Steadman, 1998), ενώ και η συνύπαρξη κτιρίων από διαφορετικές ιστορικές φάσεις συμβάλλει σε μεγαλύτερη ποικιλομορφία εντός των οικοδομικών τετραγώνων. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι η περιοχή της Πλάκας (C) εμφανίζει όχι μόνο τη μέγιστη τιμή φρακταλικής διάστασης αλλά και το μεγαλύτερο εύρος μεταβολής.



	A	B	C	D	L
min	1.354	1.352	1.348	1.434	1.352
max	1.54	1.551	1.674	1.622	1.583
mean	1.44548	1.48628	1.49224	1.53616	1.46136
variance	0.003122	0.002079	0.004993	0.002356	0.003085
range	0.186	0.199	0.326	0.188	0.231

Εικόνα 2 - 42.
Φρακταλική διάσταση: Διατεταγμένο γράφημα και βασικά στατιστικά μεγέθη για κάθε περιοχή

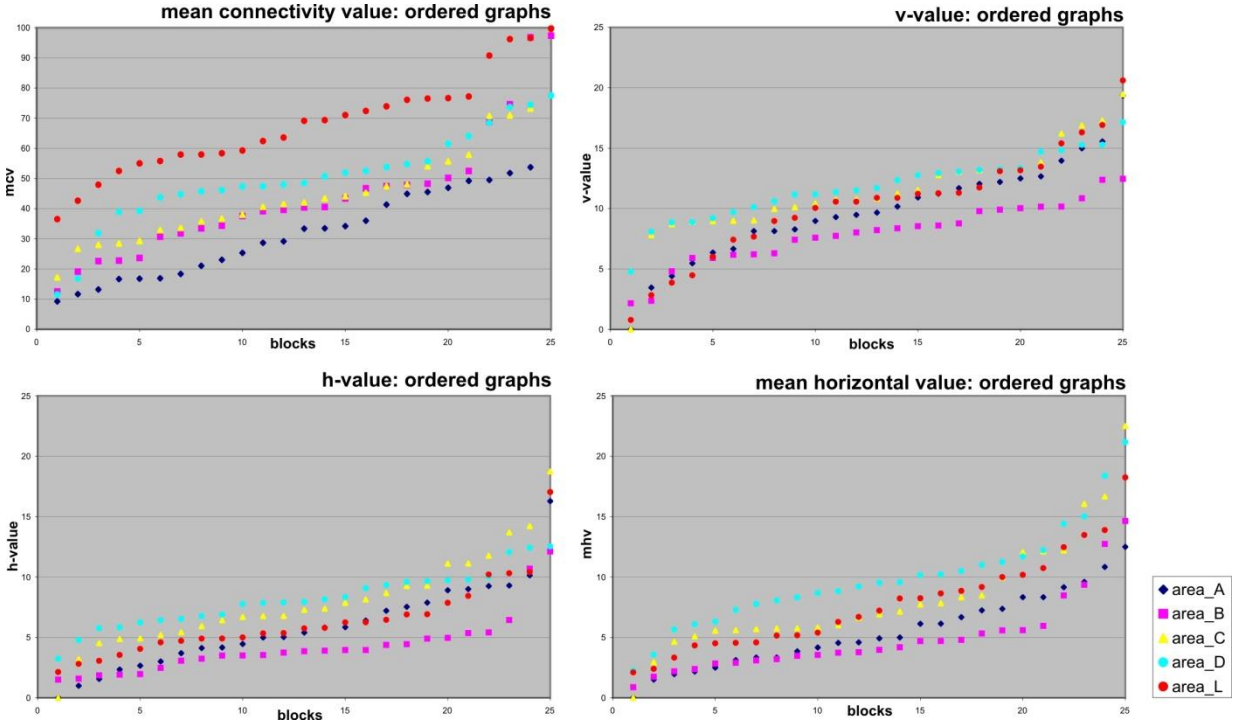
Β. Συνδεσιμότητα

Τα διατεταγμένα γραφήματα των τιμών συνολικής μέσης συνδεσιμότητας (mcv) παρουσιάζουν ακριβώς την ίδια γενική κατάταξη με αυτά της φρακταλικής διάταξης, όσον αφορά στις περιοχές της Αθήνας, με μια απότομη αύξηση κοντά στις μέγιστες τιμές για τις περιοχές B και C (Εικόνα 2 - 43 πάνω αριστερά). Το δείγμα από το Λονδίνο ωστόσο εμφανίζει συνολικά υψηλότερη συνδεσιμότητα συγκριτικά με όλες τις περιοχές της Αθήνας, εκφράζοντας μεγαλύτερη κανονικότητα των σχημάτων

των επιμέρους αδόμητων χώρων η οποία πιθανά να οφείλεται εν μέρει στην εφαρμογή συνολικών στρατηγικών αστικού σχεδιασμού και δόμησης.

Οι υπόλοιπες τρεις τιμές συνδεσιμότητας (mhv, v-value και h-value) παράγουν μια διαφορετική κατάταξη, με την περιοχή B να εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές, ενώ ακολουθούν οι περιοχές A, C και τέλος D, με το Λονδίνο να κυμαίνεται μεταξύ A και C (Εικόνα 2 - 43 πάνω δεξιά, κάτω). Η κατάταξη αυτή πιθανά να συνδέεται με υψηλότερους βαθμούς διαφοροποίησης (υψηλές τιμές v- και h-value) σε συνδυασμό με ομαλές μεταβάσεις στην ορατότητα (υψηλές mhv) για τις παλαιότερες περιοχές της Αθήνας, σε αντίθεση με πιο επαναληπτικές και κανονικές διατάξεις στις νεότερες περιοχές.

Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις αυτές, μπορεί να υποτεθεί ότι η φρακταλική διάσταση και η μέση συνδεσιμότητα συγκλίνουν προς την κατάταξη των διαφορετικών περιοχών με όρους συνολικής πολυπλοκότητας και θραυσματικότητας, ενώ οι υπόλοιπες μετρήσεις συνδεσιμότητας τείνουν να διακρίνουν τις περιοχές βάσει της τοπικής διαφοροποίησης και του ρυθμού.



Εικόνα 2 - 43.

Συνδεσιμότητα: Διατεταγμένα γραφήματα των τιμών συνδεσιμότητας για κάθε περιοχή

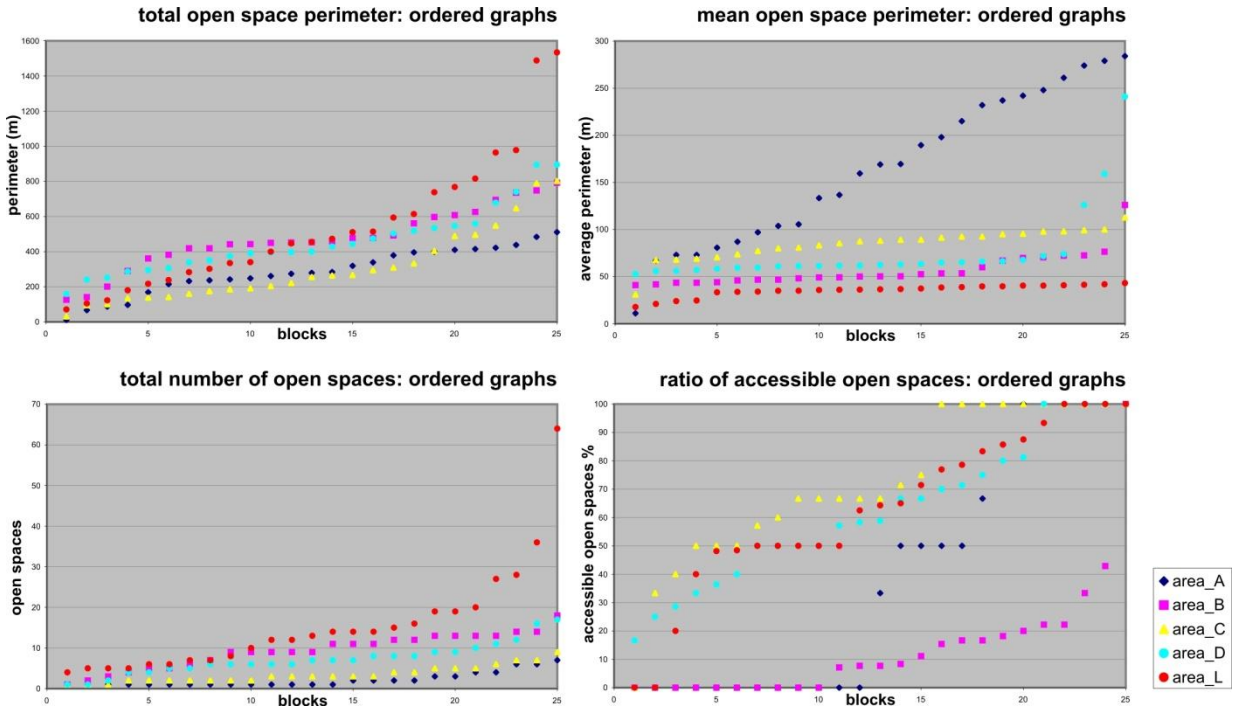
Γ. Μετρικά χαρακτηριστικά αδόμητων χώρων

Η παρατήρηση των μέσω τιμών των μεγεθών που αναφέρονται στα χαρακτηριστικά των αδόμητων τμημάτων των οικοδομικών τετραγώνων (Εικόνα 2 - 44, Εικόνα 2 - 45) δείχνει ότι στην Αθήνα, ενώ οι παλαιότερες περιοχές έχουν γενικά μικρότερο πλήθος ανοιγμάτων, εμφανίζουν μεγαλύτερη ανοιχτότητα προς το δημόσιο χώρο, εξαιτίας της παρουσίας αυλών με άμεση πρόσβαση από το δρόμο. Αντίθετα, στις νεότερες περιοχές παρατηρείται μεγάλο πλήθος περίκλειστων κενών, που λειτουργούν κυρίως ως φωταγωγοί. Έτσι, το πλήθος και η συνολική περίμετρος των αδόμητων χώρων εμφανίζουν χαμηλές τιμές στην περιοχή A, την οποία ακολουθεί η περιοχή C. Υψηλότερες τιμές χαρακτηρίζουν τις περιοχές D και B.

Η περιοχή του Λονδίνου έχει αισθητά υψηλότερες τιμές και στις δύο ιδιότητες, πιθανά λόγω της παρουσίας των πολυάριθμων και χαρακτηριστικών cours anglaises. Μεγάλα κενά αντιστοιχούν συνήθως σε κενά οικόπεδα και όχι σε αυλές, ενώ πολλά μικρού μεγέθους κενά ισοκατανέμονται σε εσωτερικές αυλές και cours anglaises, ανοιχτές προς το δρόμο.

Ωστόσο, η κατάταξη αυτή δεν εκφράζει αναγκαστικά την ανοιχτότητα των τετραγώνων της κάθε περιοχής, αφού οι μέσες τιμές του ποσοστού των προσβάσιμων από το δρόμο αδόμητων χώρων δείχνει σαφή υπεροχή των παλιότερων έναντι των νεότερων περιοχών, με την περιοχή του Λονδίνου να προσεγγίζει την περιοχή D.

Οι διαφορές αυτές εκφράζουν διαφορετικούς ρόλους του ανοιχτού χώρου, σε διαφορετικές περιοχές και εποχές και συγκεκριμένα το πέρασμα από το ρόλο του ως χώρου συνεύρεσης σε κτιριακή υποδομή.



Εικόνα 2 - 44.

Ιδιότητες αδόμητων χώρων: Διατεταγμένα γραφήματα μετρήσεων που αφορούν στα αδόμητα τμήματα των οικοδομικών τετραγώνων για κάθε περιοχή

Εικόνα 2 - 45.

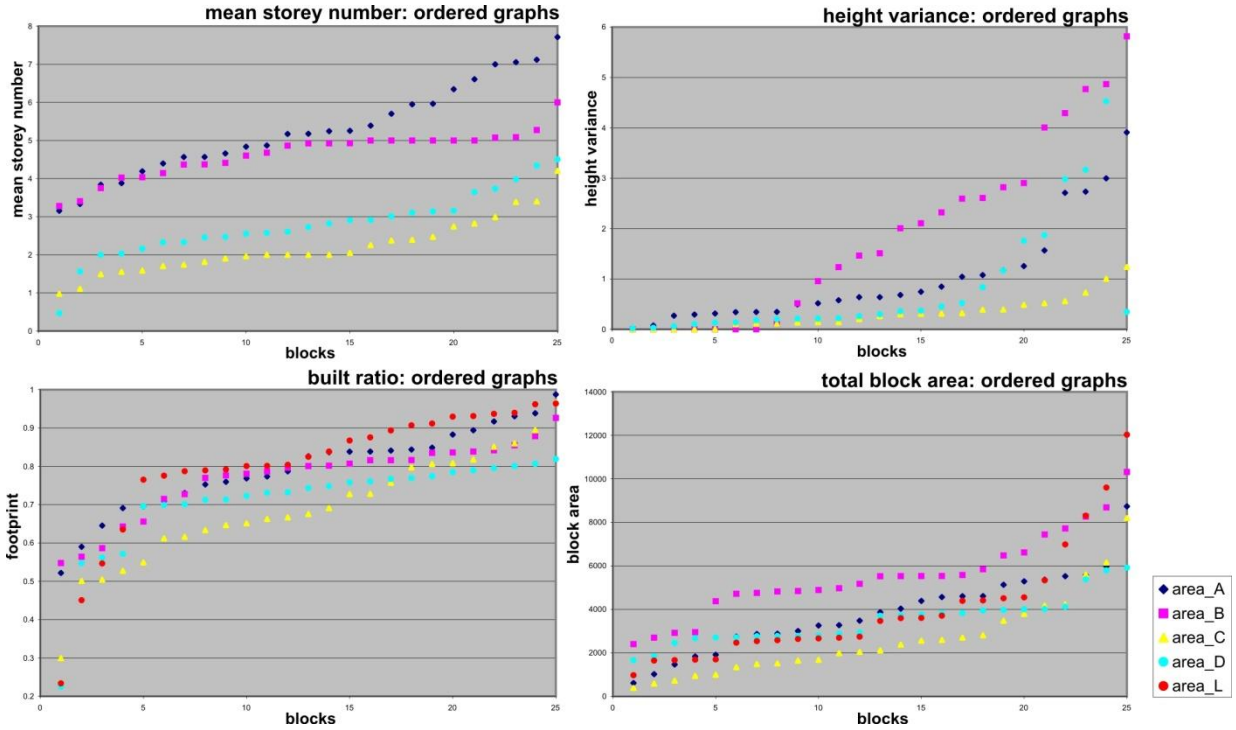
Ιδιότητες αδόμητων χώρων: Χαρακτηριστικοί αδόμητοι χώροι

Περιοχή A: κεντρικός ακάλυπτος, περιοχή B: το μπαλκόνι είναι ο μόνος ορατός από το δημόσιο χώρο υπαίθριος χώρος, περιοχή C: αυλές ανοιχτές προς το δρόμο, περιοχή D: περιστασιακά ορατές αυλές, περιοχή L: χαρακτηριστική cours anglaise

Δ. Μετρικά χαρακτηριστικά οικοδομικών τετραγώνων

Η εξέταση των υψών των κτιρίων και της συνολικής κάλυψης (Εικόνα 2 - 46) συμφωνεί με την προφανή διαφορά πυκνότητας και ύψους δόμησης μεταξύ παλιότερων και νεότερων περιοχών, με χαμηλότερες τιμές στο ιστορικό κέντρο της Αθήνας και ψηλότερες για την περιοχή Α. Σημειώνεται ότι στις περιοχές Α και Β η κάλυψη συχνά υπερβαίνει την επιτρεπόμενη, κυρίως σε περιπτώσεις κτιρίων προ της αναθεώρησης του ΓΟΚ του ’73 που ελάττωσε την επιτρεπόμενη κάλυψη. Επίσης η περιοχή του Λονδίνου έχει μεγάλη κάλυψη, ίση με εκείνη της περιοχής Α.

Η περιοχή C εμφανίζει τη μεγαλύτερη διακύμανση στην επιφάνεια των οικοδομικών τετραγώνων, λόγω της ακανονιστίας του σχήματός τους που προκύπτει από την μορφή του οδικού δικτύου στο ιστορικό κέντρο, ενώ η περιοχή Β έχει τα μεγαλύτερα και η D τα πιο κανονικά οικοδομικά τετράγωνα. Το Λονδίνο έρχεται δεύτερο ως προς τη συνολική επιφάνεια και κανονικότητα των σχημάτων. Παρατηρείται επίσης ότι στις περιοχές D και L τα μεγέθη των τετραγώνων δεν είναι ισοκατανεμημένα εντός του συνολικού εύρους, αλλά εμφανίζονται ομάδες παρόμοιων μεγεθών, που αντιστοιχούν σε κοινές διαστάσεις του κανάβου των δρόμων.



Εικόνα 2 - 46.

Ιδιότητες δομημένων χώρων: Διατεταγμένα γραφήματα μετρικών ιδιοτήτων των δομημένων χώρων των οικοδομικών τετραγώνων

Οι παρατηρήσεις αυτές φανερώνουν ότι, παρόλο που καμία μεμονωμένη μέτρηση δεν επαρκεί για τη διαφοροποίηση και το διαχωρισμό μεταξύ περιοχών ή οικοδομικών τετραγώνων, η σχετική κατανομή των τιμών δείχνει να αποδίδει ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής, οι οποίες μπορούν να συσχετιστούν με μη χωρικές ιδιότητες, όπως το ιστορικό βάθος, οι όροι κατοίκησης και οι πολιτικές χωρικής επέμβασης.

2.6.2.2. Ζεύγη μετρήσεων

Μετρήσεις που εκφράζουν διαφορετικών τάξεων χαρακτηριστικά (μετρικά, γεωμετρικά, τοπολογικά) συγκρίνονται ανα ζεύγη προκειμένου να διερευνηθούν οι μεταξύ τους συσχετισμοί και η εμφάνιση συμπληρωματικών ιδιοτήτων. Επιπλέον, συγκρίνονται και μετρήσεις που στο προηγούμενο επίπεδο

ανάλυσης φάνηκαν να συσχετίζονται ισχυρά. Τα ζεύγη μετρήσεων αναπαρίστανται γραφικά σε κοινά γραφήματα διασποράς [scatter graphs], με τη μία μέτρηση να αντιστοιχεί στον άξονα των τετμημένων και την άλλη στον άξονα των τεταγμένων[36]Πίνακας I - 1. Στην οπτικοποίηση αυτή φαίνεται η συσχέτιση [correlation] μεταξύ των δύο μεγεθών για το σύνολο του δείγματος αλλά και για κάθε περιοχή χωριστά. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η συνολική συσχέτιση δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή, ενώ τα σημεία που αντιστοιχούν σε δείγματα από διαφορετικές περιοχές αναμειγνύονται σε βαθμό που να μην είναι δυνατή να διάκριση ομαδοποιήσεων. Ωστόσο, παρατηρώντας τις κλίσεις των γραμμών παλινδρόμησης [regression lines] που αποδίδουν βέλτιστα την κατανομή των σημείων για κάθε περιοχή χωριστά, επισημαίνονται διαφορές στις συσχετίζεις μεταξύ των υποσυνόλων.

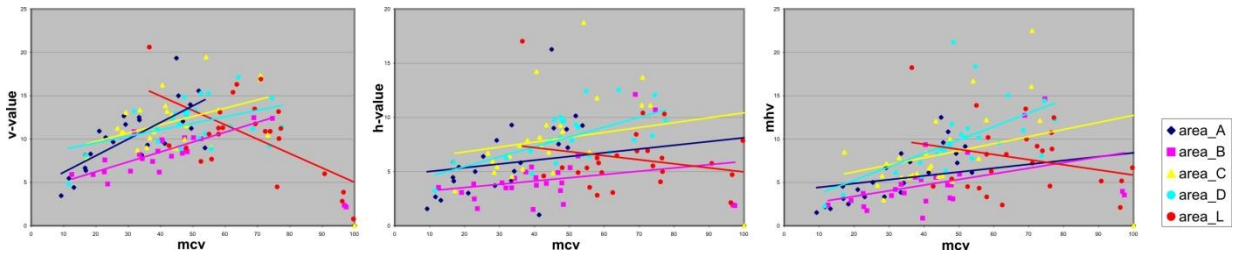
2.6.2.2.1. Κλίμακα μονάδας

Ως προς μεμονωμένα οικοδομικά τετράγωνα, τα γραφήματα διασποράς ζευγών ιδιοτήτων μπορούν να επιβεβαιώσουν περιπτώσεις εκτόπων, που έχουν ήδη εντοπιστεί στο προηγούμενο επίπεδο ανάλυσης, βάσει της εμφάνισης ακραίων τιμών σε πολλαπλές μετρήσεις (Πίνακας 2 - 3,Πίνακας I - 1, Πίνακας IV - 1).

2.6.2.2.2. Κλίμακα περιοχής

Α. Γράφοι συνδεσιμότητας

Όπως παρατηρήθηκε μέσω των διατεταγμένων γραφημάτων, η συνολική μέση συνδεσιμότητα mcv εμφανίζει παρόμοια κατανομή με τη φρακταλική διάσταση αλλά διαφορετική από ότι οι υπόλοιπες μετρήσεις συνδεσιμότητας mhv, v- και h-value. Αναπαριστώντας γραφικά τη μέση συνδεσιμότητα mcv προς τις τιμές των v-value, h-value και mhv (Εικόνα 2 - 47) εμφανίζεται επαναλαμβανόμενα ο σχηματισμός θετικής συσχέτισης των τιμών για όλες τις περιοχές της Αθήνας και αρνητικής συσχέτισης για το Λονδίνο, επιδεικνύοντας αντίθετες τάσεις για τις δύο πόλεις, σε καθολική κλίμακα. Έτσι, για τις περιοχές της Αθήνας η μέση συνδεσιμότητα αυξάνεται παράλληλα με τις υπόλοιπες τιμές, ενώ στο Λονδίνο υψηλότερες τιμές συνδεσιμότητας αντιστοιχούν σε χαμηλότερες τιμές για τις v-, h- and mh- values. Επομένως, στην Αθήνα υπάρχει μια γενική τάση, καθώς οι αδόμητοι χώροι των οικοδομικών τετραγώνων γίνονται πιο κυρτοί, η συνδεσιμότητά τους να μεταβάλλεται ομαλά και να εμφανίζουν μεγαλύτερη διαφοροποίηση, με τη συχνή ενσωμάτωση δευτερευόντων κενών διαφορετικών διαστάσεων και σχημάτων. Στο Λονδίνο, καθώς τα κενά γίνονται πιο κυρτά, τείνουν να εξομοιώνονται μεταξύ τους και να γίνονται πιο κανονικά.



Εικόνα 2 - 47.

Γραφήματα διασποράς τιμών συνδεσιμότητας προς συνολική μέση συνδεσιμότητα

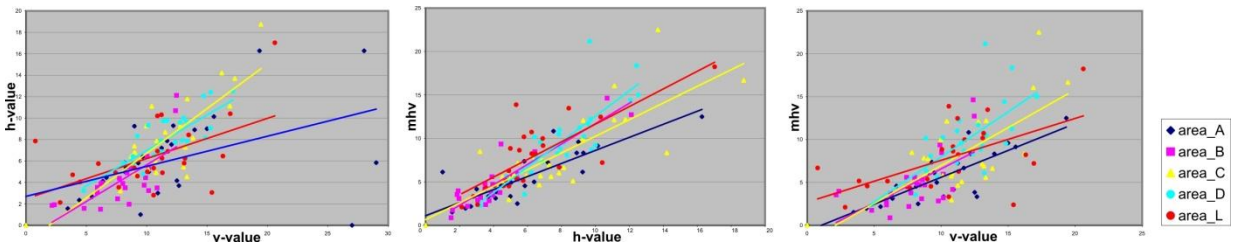
Παρατηρούνται αντίθετες κλίσεις στις καμύλες παλινδρόμησης μεταξύ Αθήνας και Λονδίνου

[36] Οι παρατηρήσεις σχετικά με τις συσχετίσεις των μετρήσεων ανα ζεύγη μπορούν να διασταυρωθούν με τους πίνακες, στους οποίους αναπαρίστανται σε γραφήματα διασποράς όλα τα ζεύγη μετρήσεων (Πίνακας IV - 4) και αναγράφεται η τιμή της μεταξύ τους συσχέτισης για το σύνολο του δείγματος (Πίνακας IV - 2).

Αυτή η ουσιαστική διαφορά ενδέχεται να αντανακλά διαφορετικές κυρίαρχες διαδικασίες σχηματοποίησης των δύο πόλεων[37].

Παρόλο που οι περιοχές της Αθήνας εμφανίζουν παρόμοια συσχέτιση ως προς τις συγκεκριμένες μετρήσεις, παρατηρώντας κάθε περιοχή μεμονωμένα εμφανίζονται διαφοροποιήσεις που σχετίζονται με το βαθμό συσχέτισης ανάλογα με τοπικές ιδιαιτερότητες. Η βασική συστάδα σημείων της περιοχής Α κατανέμεται κατά μήκος μιας απότομης γραμμής παλινδρόμησης, η οποία υποδεικνύει εντονότερες διαφοροποιήσεις στους συνδυασμούς σχημάτων και μεγεθών καθώς οι αδόμητοι χώροι γίνονται πιο κυρτοί. Στην περιοχή Β υπάρχει ακόμα θετική συσχέτιση, αλλά καθώς αυξάνεται η μέση συνδεσιμότητα, ελαφρά χαμηλότερες τιμές v-value εκφράζουν τη σταθεροποιητική δράση που προκύπτει από τη συγκέντρωση μικρότερων κανονικών κενών στα οικοδομικά τετράγωνα. Οι περιοχές C και D εμφανίζουν υψηλότερες τιμές v-value, σχεδόν ανεξάρτητα από τις μεταβολές της συνδεσιμότητας (σχεδόν οριζόντια γραμμή παλινδρόμησης), αποκαλύπτοντας μεγαλύτερη διαφοροποίηση σε όλες τιε κλίμακες πολυπλοκότητας και μεγέθους.

Οι τιμές των mhv, v- και h-value εμφανίζουν σχετικά μεγάλη συσχέτιση σε όλες τις περιπτώσεις (Εικόνα 2 - 47), δείχνοντας ότι και στις τέσσερις περιοχές έντονα διαφοροποιημένοι αδόμητοι χώροι παρουσιάζουν μη ρυθμικές, ήπιες μεταβολές συνδεσιμότητας. Συγκεκριμένα, η συνολική συσχέτιση μεταξύ v-value και h-value είναι 0.76, μεταξύ mhv και v-value 0.7 και μεταξύ mhv και h-value 0.82 (Πίνακας IV - 2). Η υψηλή αυτή συσχέτιση μπορεί να υποδεικνύει ότι οι τρεις εξεταζόμενες μετρήσεις πιθανά να αλληλεπικαλύπτονται, αναφερόμενες σε παρόμοιες ιδιότητες, και να μην προσφέρουν όλες νέα ουσιαστική νέα πληροφορία.



Εικόνα 2 - 48.
Γραφήματα διασποράς τιμών συνδεσιμότητας ανα ζεύγη

Συσχέτιση μεταξύ h- value, v- value και mhv

Β. Γεωμετρικές και τοπολογικές μετρήσεις:

Γραφήματα φρακταλικής διάστασης και συνδεσιμότητας

Τα διατεταγμένα γραφήματα αποκάλυψαν παρόμοιες συνολικές κατανομές της φρακταλικής διάστασης και της συνολικής μέσης συνδεσιμότητας. Ωστόσο, αναπαριστώντας γραφικά τα δύο αυτά μεγέθη μαζί, παρατηρείται ότι εμφανίζουν ελαφρώς αντίθετες τάσεις ανάπτυξης (Εικόνα 2 - 49 πάνω αριστερά). Στις περισσότερες περιπτώσεις, υψηλή φρακταλική διάσταση αντιστοιχεί σε χαμηλή μέση συνδεσιμότητα και αντίστροφα, καθώς και οι δύο ποσότητες εκφράζουν θραυσματικότητα αλλά με

[37] Στην Αθήνα, η αστική δόμηση ενεργοποιείται τοπικά και χαρακτηρίζεται από διαδικασίες από τα κάτω προς τα άνω. Τα οικοδομικά τετράγωνα δεν σχεδιάζονται συνολικά αλλά είναι το αποτέλεσμα ανεξάρτητων, ασυντόνιστων τοπικών δράσεων. Οι ανοιχτοί χώροι προκύπτουν από τη συνένωση υπολειμματικών χώρων και τα σχήματα που παράγονται είναι ποικίλα και ανισοκατανεμημένα. Αντίθετα στο Λονδίνο, η ισοκατανομή παρόμοιων αδόμητων χώρων είναι συχνά αποτέλεσμα καθολικών διαδικασιών σχεδιασμού. Πολλά οικοδομικά τετράγωνα έχουν σχεδιαστεί και υλοποιηθεί συνολικά, εμφανίζοντας συνεκτικές διατάξεις.

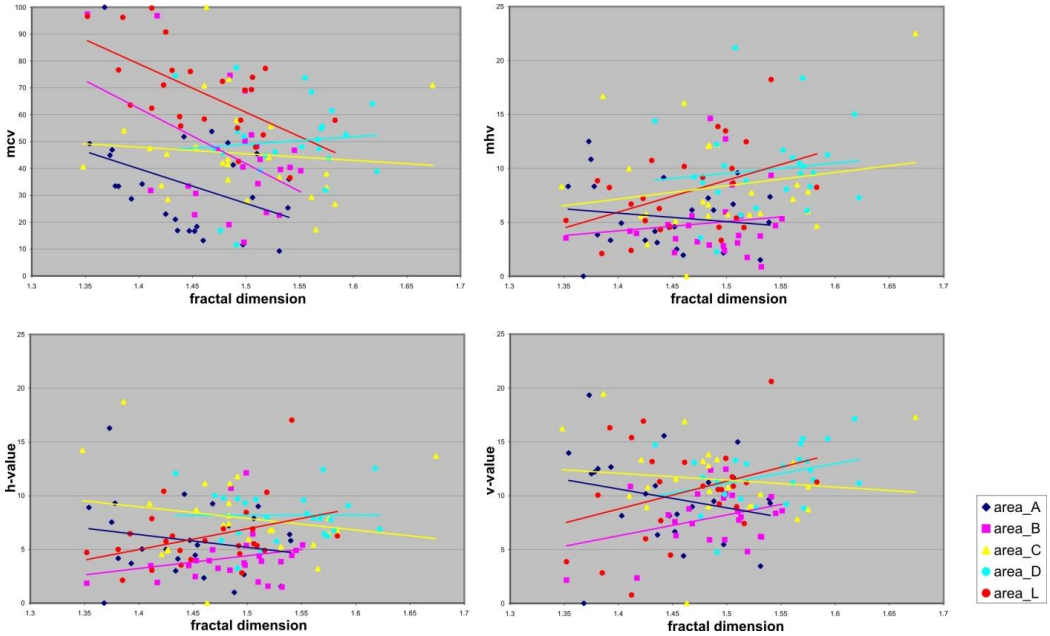
αντιστρόφως ανάλογο τρόπο[38]. Η μόνη εξαίρεση είναι η περίπτωση της περιοχής D, όπου μικρή άνοδος της φρακταλικής διάστασης αντιστοιχεί σε πιο κυρτούς χώρους. Αυτό μπορεί να οφείλεται σε ιδιαίτερα τοπικά διατακτικά χαρακτηριστικά τετραγώνων που εμφανίζουν ενιαία αλλά ακανόνιστα περιγράμματα. Τα περιγράμματα αυτά εμφανίζουν υψηλή αυτοομοιότητα αλλά ταυτόχρονα περιβάλλουν κυρτούς αδόμητους χώρους, παράγοντας το συσχετισμό αυτό μεταξύ των δύο μεγεθών.

Οι γραφικές παραστάσεις της φρακταλικής διάστασης προς τις τιμές των v-, h- και mh- values αντίστοιχα έδειξαν κάποιες παρεκκλίσεις (Εικόνα 2 - 49 πάνω δεξιά, κάτω, Πίνακας IV - 2), που αντανακλούν τοπικές ιδιαιτερότητες αναφορικά με τη σχέση μεταξύ ρυθμού, κλίμακας και τοπολογικών σχέσεων μεταξύ δευτερευόντων σχημάτων. Στις περισσότερες περιοχές εμφανίζονται παρόμοιες γενικές τάσεις και στα τρία γραφήματα, με εξαίρεση την περιοχή C που αλλάζει συμπεριφορά ως προς τις τιμές της mhv.

Οι περιοχές B, D και L παρουσιάζουν αναλογική κατανομή κατά τους δύο άξονες, με θετική συσχέτιση μεταξύ φρακταλικής διάστασης και v-, h- and mh- values. Αυτό σημαίνει ότι σε αυτές τις περιοχές, η αυτοομοιότητα σχετίζεται με τη διαφοροποίηση με όρους ρυθμού, κλίμακας και τοπολογικών συσχετισμών μεταξύ υποπεριοχών των κατόψεων.

Η περιοχή A εμφανίζει σταθερά αντίθετη τάση (αρνητική κλίση γραμμής παλινδρόμησης), με την αυτοομοιότητα να συσχετίζεται με έντονες αλλά κανονικά επαναλαμβανόμενες ανωμαλίες των περιγραμμάτων.

Η περιοχή C αντιστρέφει τη συσχέτισή της από θετική μεταξύ φρακταλικής διάστασης και μέσης συνδεσιμότητας σε αρνητική για τα υπόλοιπα γραφήματα, δείχνοντας ότι διαταραχές του περιγράμματος μπορούν να προκαλούν συχνές αλλά μικρές μεταβολές της ορατότητας χωρίς να ξεπερνούν τη μέση συνδεσιμότητα και επομένως χωρίς να μειώνουν την τιμή της mhv αναλογικά προς τις υπόλοιπες μετρήσεις συνδεσιμότητας.



Εικόνα 2 - 49.

Γραφήματα διασποράς τιμών συνδεσιμότητας προς φρακταλική διάσταση

[38] Μεγάλη θραυσματικότητα αποδίδεται από υψηλή φρακταλική διάσταση και μικρή συνολική μέση συνδεσιμότητα. Αντίστροφα, χαμηλή φρακταλική διάσταση και υψηλή συνολική μέση συνδεσιμότητα αντιστοιχούν σε χώρους με απλά, κυρτά περιγράμματα.

Γ. Γεωμετρικές και μετρικές μετρήσεις:

Γραφήματα φρακταλικής διάστασης και κανονικοποιημένης απόκλισης [variance] υψών

Η σχέση μεταξύ της διαφοροποίησης στο οριζόντιο και το κατακόρυφο επίπεδο διερευνάται μέσω της σύγκρισης της φρακταλικής διάστασης της κάτοψης και της διασποράς του ύψους των κτιρίων (Εικόνα 2 - 50 αριστερά). Η φρακταλική διάσταση εκφράζει διακυμάνσεις του περιγράμματος της κάτοψης, ενώ η διασπορά των υψών αντικατοπτρίζει μεταβολές της κορυφογραμμής των κτιρίων. Αναπαριστώντας γραφικά τα δυο αυτά μεγέθη, εμφανίζονται σχέσεις που σχετίζονται κυρίως με τα ποσοστά χαμηλών, παλαιότερων κατασκευών εντός περιοχών υψηλότερης δόμησης. Οι παρατηρήσεις αυτές αφορούν μόνο στο δείγμα της Αθήνας, καθώς για το Λονδίνο δεν ήταν διαθέσιμη πληροφορία υψών των κτιρίων.

Η περιοχή Α εμφανίζει συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών, εκφράζοντας διατάξεις με ανάλογες διαφοροποιήσεις κατά το οριζόντιο και το κατακόρυφο επίπεδο.

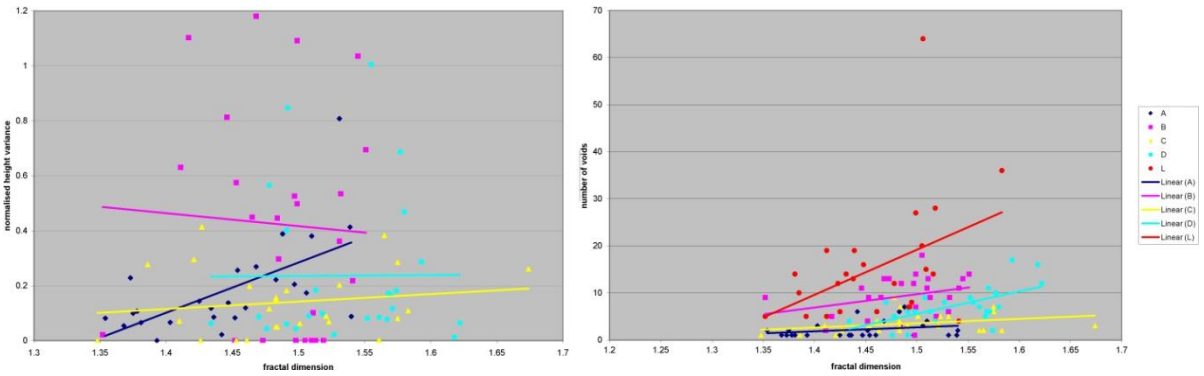
Στα γραφήματα των περιοχών C και D, οι γραμμές παλινδρόμησης είναι σχεδόν παράλληλες με τον άξονα τετμημένων, δείχνοντας ανεξαρτησία μεταξύ των δύο μεγεθών, καθώς στις παλιότερες περιοχές τα γενικά χαμηλά ύψη έχουν ως συνέπεια σταθερά χαμηλή διακύμανση υψών, ενώ αντίθετα η μεγάλη ποικιλία διατάξεων σε κάτοψη παράγει μεγάλο εύρος τιμών φρακταλικής διάστασης.

Η περιοχή Β εμφανίζει μια μικρή αρνητική συσχέτιση εντός πολύ διεσπαρμένων αποτελεσμάτων. Η μεγάλη διασπορά κατά τον άξονα της απόκλισης των υψών μπορεί να αντιστοιχεί στην συμπαρουσία στην περιοχή πολύ ομοιογενών ως προς τα ύψη τετραγώνων, αποτελούμενων από σύγχρονα κτίρια του ίδιου ύψους, και ετερογενών τετραγώνων που συνδυάζουν κτίρια από διαφορετικές εποχές και με διαφορετικά ύψη. Η αρνητική συσχέτιση μπορεί να σχετίζεται με το γεγονός ότι οικοδομικά τετράγωνα που αποτελούνται αποκλειστικά από νεότερες κατασκευές έχουν υψηλή φρακταλική διάσταση εξαιτίας της ακανονιστίας των ακαλύπτων τους και ταυτόχρονα σχεδόν μηδενική διακύμανση υψών λόγω της ομοιογένειας του πλήθους των ορόφων.

Γραφήματα φρακταλικής διάστασης και πλήθους και περιμέτρου αδόμητων χώρων

Από τους πίνακες συσχέτισης (Πίνακας IV - 2), παρατηρείται ότι το πλήθος και η συνολική περίμετρος των αδόμητων χώρων εμφανίζουν καλή συσχέτιση (c=0.72), δείχνοντας ότι μεγαλύτερες περίμετροι οφείλονται συνήθως στη συνύπαρξη εντός του ίδιου τετραγώνου μεγαλύτερου πλήθους μεσαίου μεγέθους ανοιγμάτων και όχι σε μεμονωμένα ανοίγματα μεγάλου μεγέθους. Η σχέση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής στο δείγμα του Λονδίνου, πιθανότατα εξαιτίας του πλήθους των «cours anglaises».

Από τη γραφική παράσταση του πλήθους των αδόμητων χώρων προς τη φρακταλική διάσταση (Εικόνα 2 - 50 δεξιά) παρατηρείται μια αναμενόμενη μικρή συσχέτιση, όπως συμβαόνει και με την περίμετρο των αδόμητων χώρων, καθώς όλα αυτά τα μεγέθη αναφέρονται σε κάποιο βαθμό στη θραυσματικότητα. Η συσχέτιση αυτή είναι σαφέστερη στην περίπτωση του Λονδίνου, με τη φρακταλική διάσταση να αυξάνεται καθώς αυξάνεται η διάτρηση του δομημένου όγκου. Στην Αθήνα ωστόσο, το φαινόμενο αυτό είναι ασθενέστερο, καθώς η φρακταλική διάσταση δείχνει να σχετίζεται περισσότερο με την αυτοομοιότητα μεμονωμένων περιγραμμάτων παρά με τη διάσπαση του όγκου από μικρά διάσπαρτα κενά.



Εικόνα 2 - 50.

Γραφήματα διασποράς μετρικών ιδιοτήτων προς φρακταλική διάσταση

Κανονικοποιημένη απόκλιση υψών (αριστερά) και πλήθος κενών (δεξιά) προς φρακταλική διάσταση

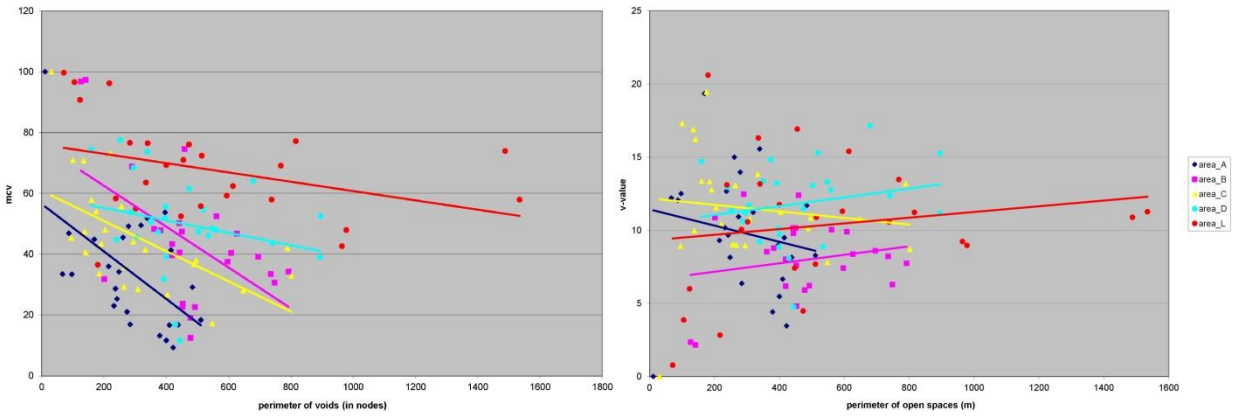
Δ. Μετρικές και τοπολογικές μετρήσεις:

Γραφήματα πλήθους και περιμέτρου αδόμητων χώρων και τιμών συνδεσιμότητας

Τα γραφήματα που αναπαριστούν τη σχέση μεταξύ του πλήθους και της περιμέτρου των αδόμητων χώρων έναντι των τιμών συνδεσιμότητας mcv, mhv, v- και h- values εμφανίζουν μια συνολική τριγωνική κατανομή (Εικόνα 2 - 51, Πίνακας IV - 2, Πίνακας IV - 4). Αυτό δείχνει ότι σε περιπτώσεις οικοδομικών τετραγώνων με λιγότερους αδόμητους χώρους, και επομένως και μικρότερη συνολική περίμετρο αδόμητων χώρων, το εύρος της μεταβολής των τιμών συνδεσιμότητας είναι μεγαλύτερο. Καθώς περισσότεροι αδόμητοι χώροι συγκεντρώνονται στο ίδιο τετράγωνο, οι τιμές συνδεσιμότητας συγκλίνουν προς τη μέση τιμή. Θα μπορούσε να υποτεθεί ότι, ως γενική τάση, μεγαλύτερα πλήθη και περίμετροι ανοιγμάτων έχουν σταθεροποιητικό αποτέλεσμα στην ορατότητα και το ρυθμό μεταβολής της τόσο σε καθολική όσο και σε τοπική κλίμακα.

Μεταξύ των περιοχών της Αθήνας, διαφορετικές τάσεις εκφράζουν και πάλι τοπικά χαρακτηριστικά, όπως συνδεδεμένες αυλές στις παλιότερες περιοχές σε αντιδιαστολή με περίκλειστους φωταγωγούς στις νεότερες περιοχές.

Στα περισσότερα γραφήματα, τα σημεία που ανήκουν στην περιοχή του Λονδίνου είναι διεσπαρμένα και συνήθως σχηματίζουν και τα όρια των συνολικών τριγωνικών κατανομών. Η κατανομή αυτή δείχνει μεγάλη διακύμανση στο βαθμό διαφοροποίησης και κανονικότητας σε τετράγωνα με λίγα ανοίγματα, σε αντίθεση με πιο ισοκατανεμημένες διαφοροποιήσεις στις περιπτώσεις τετραγώνων με πολλά ανοίγματα.



Εικόνα 2 - 51.

Γραφήματα διασποράς περιμέτρου αδόμητων χώρων προς τιμές συνδεσιμότητας

Συνολική μέση συνδεσιμότητα (αριστερά) και v-value (δεξιά) προς περίμετρο αδόμητων χώρων

Αυτές και άλλες παρόμοιες παρατηρήσεις, που εξάγονται από τις διάφορες μετρήσεις και τη συσχετιστική τους σύγκριση, δείχνουν ότι ο συνδυασμός διαφορετικών μετρήσεων σε ζεύγη δεν επαρκεί για τη διάκριση μεταξύ περιοχών ή για την περιγραφή του ιδιαίτερου χαρακτήρα τους, αλλά επιτρέπουν τη μελέτη γενικών τάσεων που εκφράζουν συγκεκριμένες σχέσεις μεταξύ χωρικών χαρακτηριστικών.

Η αδυναμία διάκρισης μεταξύ των προκαθορισμένων κατηγοριών δείχνει ότι δεν είναι δυνατή η κατηγοριοποίηση άγνωστων παραδειγμάτων μόνο βάσει των μετρήσεων. Οι διαφορετικές τάσεις στις κατανομές και τις συσχετίσεις των μεγεθών είναι συγκριτικές και αναφέρονται στο συγκεκριμένο δείγμα χώρων, χωρίς να υπάρχει τρόπος ασφαλούς γενίκευσης των αποτελεσμάτων. Επομένως οι όποιες παρατηρήσεις έχουν νόημα εντός τους συγκεκριμένου πλαισίου και για το συγκεκριμένο σύνολο δεδομένων και οποιαδήποτε γενίκευση μπορεί να βασιστεί μόνο στην υπόθεση καθολικότητας των χωρικών ιδιοτήτων (Steadman, 1998).

Ωστόσο, αυτό που μπορεί να εξαχθεί από την ανάλυση των αποτελεσμάτων σε συνδυασμό με τις κατηγορικές ετικέτες και τη συνδρομή εξωτερικής γνώσης σχετικά με τις εξεταζόμενες περιοχές και τον τρόπο ανάπτυξής τους, είναι η επιβεβαίωση της αποτελεσματικότητας και της συνεκτικότητας των μετρήσεων, καθώς και της ύπαρξης διαφορετικών βαθμών συσχέτισης μεταξύ ιδιοτήτων.

Εφόσον διαπιστώνεται βάσει του γνωστού δείγματος της πιλοτικής εφαρμογής ότι οι μετρήσεις αποδίδουν επαρκώς τις στοχευόμενες ιδιότητες, οι μέθοδοι μέτρησης μπορούν να εφαρμοστούν με σχετική ασφάλεια και σε άγνωστο, μη χαρακτηρισμένο δείγμα.

Επίσης, ο έλεγχος των μετρήσεων επιτρέπει το πέρασμα στο επόμενο βήμα, που είναι η χρήση τους για τη δημιουργία ενός πολυδιάστατου συστήματος αναπαράστασης, όπου κάθε μέτρηση αποτελεί και μια διακριτή περιγραφική διάσταση.

2.6.3. Κυρίως εφαρμογή

Στην εφαρμογή των μετρήσεων στο αχαρακτήριστο δείγμα της περιοχής των Πατησίων δεν παρέχονται προκαθορισμένες κατηγορίες, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή μια αντίστοιχη ανάλυση των μετρήσεων βάσει της αναγνώρισης και σύγκρισης γενικών τάσεων μεταξύ υποσυνόλων. Αυτό που μπορεί να εξεταστεί ωστόσο είναι οι κατανομές των τιμών εντός κάθε μεμονωμένης μέτρησης, με όρους ακραίων τιμών, εύρους και διακύμανσης, καθώς και ο εντοπισμός πιθανών εκτόπων βάσει των τιμών αυτών. Επίσης μπορεί να αναζητηθεί η εμφάνιση συσχετισμών μεταξύ ζευγών μετρήσεων για το σύνολο του δείγματος, βάσει της γραφικής παράστασής τους ανά ζεύγη σε γράφους διασποράς και του υπολογισμού της μεταξύ τους συσχέτισης.

2.6.3.1. Μεμονωμένες μετρήσεις

2.6.3.1.1. Κατανομή τιμών

Οι τιμές σε κάθε μέτρηση για το σύνολο του δείγματος καθώς και απλά στατιστικά μεγέθη που αποδίδουν τις ακραίες και μέσες τιμές καθώς και την τυπική απόκλιση κάθε μέτρησης για το σύνολο το δείγματος καταγράφονται σε πίνακες (Πίνακας I - 2, Πίνακας IV - 1).

2.6.3.1.2. Ακραίες τιμές και εντοπισμός εκτόπων

Από τον εντοπισμό των ακραίων τιμών σε κάθε μέτρηση, διαπιστώνεται ότι ορισμένα αστικά κενά εμφανίζουν ακραίες τιμές, ή τιμές που προσεγγίζουν τα άκρα, σε περισσότερες από μία μετρήσεις, με

αποτέλεσμα να αποτελούν πιθανά έκτοπα του δείγματος. Οι χώροι που διαφοροποιούνται εντονότερα από το μέσο όρο του δείγματος, ως προς το πλήθος των διαστάσεων στις οποίες εμφανίζουν ασυνήθιστες τιμές μπορούν να αποκαλύψουν συσχετισμούς μεταξύ χαρακτηριστικών.

Συγκεκριμένα, το αστικό κενό **1447.1** συνδυάζει τη μέγιστη τιμή περιμέτρου για το σύνολο του δείγματος (max void perimeter = 556.477), καθώς και τη δεύτερη μεγαλύτερη τιμή λόγου ανοιχτής περιμέτρου προς την περίμετρο του οικοδομικού τετραγώνου (openPerim/Otperim), συνολικής επιφάνειας (void area), ποσοστού αδόμητης προς συνολική επιφάνεια οικοδομικού τετραγώνου (void to block area), αθροιστικής περιμέτρου ανοιχτών πλευρών (open perim length), πλήθους περιβαλλόντων κτιρίων και κορυφών περιγράμματος, (surrounding buildings, vert num) και διαβαθμισμένης συνδεσιμότητας (weighted degree) με την ελάχιστη τιμή μέσης και κατακόρυφης τυπικής απόκλισης συνδεσιμότητας (min mcv = 9.936, min v- value = 4.735) και τη δεύτερη μικρότερη τιμή οριζόντιας τυπικής απόκλισης συνδεσιμότητας ανοιχτών πλευρών (open edge h-v). Πρόκειται για ένα αστικό κενό μεγάλου απόλυτου μεγέθους, πολύ ανοιχτό προς το δημόσιο χώρο, αλλά και με πολύ διασπασμένο συνολικό σχήμα.

Το αστικό κενό **1448.2** εμφανίζει τη μέγιστη μέση συνδεσιμότητα ανοιχτών πλευρών (max open mcv= 85.714), ενώ έχει τη δεύτερη μικρότερη τιμή συνολικής επιφάνειας και περιμέτρου (void area, void perimeter), καθώς και το δεύτερο μικρότερο πλήθος περιβαλλόντων κτιρίων και κορυφών περιγράμματος (surrounding buildings, vert number). Ένα από τα μικρότερου μεγέθους αστικά κενά, που λόγω μεγέθους δεν έχει τα περιθώρια μεγάλη διάσπασης του σχήματος, με αποτέλεσμα να είναι πολύ κυρτό.

Το **1495.2,** έχοντας το μέγιστο ποσοστό ανοιχτής περιμέτρου (max open to void perim = 0.545) και τη δεύτερη μέγιστη τιμή μέσης συνδεσιμότητας ανοιχτών πλευρών (open mcv), είναι ένα πολύ ανοιχτό και ορατό από το δρόμο αστικό κενό.

Το **1500.1** εμφανίζει τις ελάχιστες τιμές του δείγματος ως προς το ποσοστό ανοιχτής περιμέτρου (min open to void perim = 0.003), τη μέση και την κατακόρυφη τυπική απόκλιση συνδεσιμότητα ανοιχτών πλευρών (min open mcv = 0.124, min open v-v =0.638), τη δεύτερη ελάχιστη τιμή μήκους ανοιχτών πλευρών (open perim length = 0.914) και τη δεύτερη μέγιστη τιμή οριζόντιας τυπικής απόκλισης συνδεσιμότητα ανοιχτών πλευρών (open hv= 37.715). Πρόκειται για ένα αστικό κενό μεγάλων διαστάσεων, που καταλαμβάνει το κέντρο του οικοδομικού τετραγώνου στο οποίο ανήκει. Είναι σχεδόν περίκλειστο, με ένα πολύ στενό άνοιγμα προς το δρόμο. Η αναλογία του μεγέθους του με το πολύ μικρό εύρος του ανοίγματος προκαλούν τις ακραίες αυτές τιμές.

Το **1610.2,** ένα από τα μικρότερα κενά, έχει τις ελάχιστες τιμές λόγου ανοιχτής περιμέτρου και επιφάνειας προς την περίμετρο και την επιφάνεια του οικοδομικού τετραγωνου (min open perim to ot perim = 0.002, void to block area = 0.002) και μήκους ανοιχτής περιμέτρου (min open perim length = 0.573), καθώς και τη δεύτερη μικρότερη τιμή εμβαδού (void area) και πλήθους περιβαλλόντων κτιρίων και κορυφών περιγράμματος (surrounding buildings, vert number). Επίσης είναι τελείως κυρτό (mcv=100, v-v=0, h-v=0).

Το **1655.1** εμφανίζει μέγιστες τιμές λόγου ανοιχτής περιμέτρου στο οικοδομικό τετράγωνο (max open perim to ot perim= 0.551), εμβαδού (max void area= 2717.628), λόγου εμβαδού κενού στο τετράγωνο (max void to block area= 0.564), μήκους ανοιχτής περιμέτρου (max open perim length = 183.224) και διαβαθμισμένης συνδεσιμότητας (max weighted degree=16), καθώς και τη δεύτερη μέγιστη τιμή πλήθους ανοιχτών πλευρών (open edges) και ποσοστού ανοιχτής περιμέτρου (open to void perim). Πρόκειται για το μεγαλύτερο και ανοιχτότερο κενό του δείγματος σε απόλυτα μεγέθη αλλά και αναλογικά με το οικοδομικό τετράγωνο στο οποίο ανήκει.

Το **1656.2** είναι το μικρότερο, εντελώς περίκλειστο κενό του δείγματος. έχει την ελάχιστη επιφάνεια και περίμετρο (min void area= 6.434, min void perimeter= 11.068) και το δεύτερο μικρότερο λόγο επιφάνειας προς το οικοδομικό τετράγωνο στο οποίο ανήκει (void to block area).

Το **1665.1** έχει τα περισσότερα περιβάλλοντα κτίρια (max surrounding buildings = 20) και πλήθος κορυφών περιμέτρου, (max vert number=77) τη δεύτερη μεγαλύτερη περίμετρο (void perimeter) και την ελάχιστη οριζόντια τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας (min h-value = 2.439). Είναι ένα από τα κενά με την πιο αναπτυγμένη περίμετρο. Η ανάπτυξη αυτή οφείλεται σε πολλές ανακατανεμημένες ανωμαλίες της περιμέτρου που έχουν ως αποτέλεσμα την ισοκατανομή της μεταβολής της συνδεσιμότητας κατά μήκος της περιμέτρου.

Το **6657.1** εμφανίζει τη μέγιστη οριζόντια τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας ανοιχτών πλευρών (max open edge hv = 40.948), τη δεύτερη υψηλότερη οριζόντια τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας (h-value) και το ελάχιστο πλήθος περιβαλλόντων κτιρίων και κορυφών περιγράμματος (min surrounding buildings = 1, min vert number=5). Πρόκειται για ένα πολύ ιδιαίτερο κενό, που περιβάλλεται από ένα μοναδικό κτίριο σχήματος Π, με τη μία μεγάλη πλευρά του ανοιχτή στο δρόμο και με ένα μικρό ελεύθερο κτίριο τοποθετημένο έκκεντρα επί αυτής της πλευράς. Η έκκεντρη αυτή τοποθέτηση προκαλεί τη μεγάλη ανισοκατανομή του ρυθμού μεταβολής συνδεσιμότητας, ενώ κατά τα άλλα πρόκειται για ένα κενό πολύ απλού συνολικού σχήματος.

2.6.3.2. Ζεύγη μετρήσεων: Συσχετιζόμενα μεγέθη

Από τα γραφήματα διασποράς όλων των ζευγών μεγεθών (Πίνακας IV - 5), αλλά και από τον πίνακα συσχετίσεων (Πίνακας IV - 3), φαίνεται ποιες ιδιότητες τείνουν να συσχετίζονται εντονότερα μεταξύ τους και ποιες είναι ασυσχέτιστες. Επισημαίνονται οι μετρήσεις εκείνες που εμφανίζουν ισχυρή συσχέτιση, είτε αρνητική είτε θετική, με απόλυτη τιμή μεγαλύτερη του 0.75. Τα ζεύγη αναφέρονται κατά φθίνοντα βαθμό συσχέτισης (Πίνακας 2 - 4).

Variable	by Variable	Correlation
openPerimLen	openPerim/Otperim	0.975
vertNum	voidPerimeter	0.925
voidPerimeter	voidArea	0.911
vertNum	surroundBuild	0.903
voidToBlockArea	voidArea	0.888
Weighted Degree	openEdges	0.866
surroundBuild	voidPerimeter	0.852
voidPerimeter	voidToBlockArea	0.835
openEdge_vv	openEdge_mcv	0.834
corner	openPerim/Otperim	0.813
openEdge_mcv	openToVoidPerim	0.804
Weighted Degree	openPerimLen	0.791
corner	openPerimLen	0.775
Weighted Degree	openPerim/Otperim	0.774
vertNum	voidArea	0.773
mcv	surroundBuild	-0.790
mcv	voidPerimeter	-0.831
mcv	vertNum	-0.845

Πίνακας 2 - 4

Συσχετιζόμενα μεγέθη

Ζεύγη μεγεθών με συσχέτιση μεγαλύτερη του 0.75 ή μικρότερη του -0.75

0.975: Μήκος ανοιχτής περιμέτρου και μήκος ανοιχτής περιμέτρου προς την περίμετρο του οικοδομικού τετραγώνου (open perimeter length - open perimeter/OT perimeter)

Τη μέγιστη συσχέτιση εμφανίζει το συνολικό μήκος των ανοιχτών πλευρών με το λόγο της ανοιχτής περιμέτρου προς την περίμετρο του οικοδομικού τετραγώνου στο οποίο βρίσκεται το κενό. Η μεγάλη αυτή συσχέτιση είναι αναμενόμενη, γιατί οι δύο μετρήσεις αναφέρονται στην ίδια ιδιότητα, την ανοιχτής περίμετρο του αστικού κενού, μετρημένη σε απόλυτο μήκος και αναλογικά με το σύνολο του οικοδομικού τετραγώνου.

0.925: Πλήθος κορυφών περιγράμματος και μήκος περιμέτρου (vert number - void perimeter)

Η συσχέτιση αυτή εκφράζει το γεγονός ότι περίμετροι με πολλές κορυφές είναι συνήθως και μεγάλου μήκους. Από τη μία, μεγάλα μήκη επιτρέπουν τη διάσπαση σε πολλά μικρότερα τμήματα, ενώ μικρά μήκη δεν διασπώνται πέρα από ένα λογικό μέγεθος υποδιαίρεσης. Από την άλλη, μεγαλύτερη διάσπαση των ακμών του σχήματος σε επιμέρους ακμές αυξάνει το συνολικό μήκος της περιμέτρου.

0.911: Περίμετρος και εμβαδόν αστικού κενού (void perimeter - void area)

Τα μεγέθη αυτά τείνουν να συμβαδίζουν, καθώς συνήθως μεγάλου απόλυτου μεγέθους αστικά κενά έχουν μεγάλη επιφάνεια και μεγάλη περίμετρο.

0.903: Πλήθος κορυφών περιγράμματος και πλήθος περιβαλλόντων κτιρίων (vert num - surroumd buildings)

Μεγάλο πλήθος περιβαλλόντων κτιρίων συσχετίζεται με μεγάλο πλήθος κορυφών γιατί συνήθως τα μέτωπα των κτιρίων προς τους ακαλύπτους δεν είναι ευθυγραμμισμένα, αλλά δημιουργούν εσοχές και εξοχές, προσθέτοντας κορυφές στο συνολικό περίγραμμα.

0.888: Εμβαδόν κενού προς εμβαδόν τετραγώνου και εμβαδόν κενού (void to block area - void area)

Προφανώς οι δύο μετρήσεις εκφράζουν το ίδιο μέγεθος, την επιφάνεια αστικού κενού, απόλυτα και ποσοστιαία ως προς το σύνολο του οικοδομικού τετραγώνου

0.866: Δδιαβαθμισμένη συνδεσιμότητα και πλήθος ανοιγμάτων (Weighted degree - open edges)

Συνήθως κάθε ανοιχτή πλευρά αντιστοιχεί και σε μία σύνδεση με το δημόσιο χώρο. Η συσχέτιση των δύο μεγεθών δεν είναι απόλυτη γιατί κάθε σύνδεση μπορεί να έχει άλλο βάρος, ανάλογα με την κλάση του χώρου στον οποίο ανοίγεται το αστικό κενό

0.852: Πλήθος περιβαλλόντων κτιρίων και περίμετρος αστικού κενού (surround buildings - void perimeter)

Μεγαλύτερης περιμέτρου αστικά κενά συνήθως περιβάλλονται και από περισσότερα κτίρια, δεδομένου ότι το εύρος μεγέθους των κτιρίων είναι σχετικά σταθερό στην περιοχή.

0.835: Περίμετρος αστικού κενού και εμβαδόν κενού προς εμβαδόν τετραγώνου (void perimeter - void to block area)

Και οι δύο μετρήσεις αναφέρονται στο συνολικό μέγεθος του αστικού κενού, με όρους μήκους περιμέτρου ή ποσοστού εμβαδού ακαλύπτου στο σύνολο του οικοδομικού τετραγώνου.

0.834: Κατακόρυφη τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας ανοιχτών πλευρών και μέση συνδεσιμότητα ανοιχτών πλευρών (open edge vv - open edge mcv)

Κυρτά σχήματα με μεγάλα ενιαία ανοίγματα και απλό περίγραμμα χωρίς πολλές ανωμαλίες έχει μεγάλη ορατότητα από τα ανοίγματα και άρα μεγάλη μέση συνδεσιμότητα ανοιχτών πλευρών, ενώ η συνδεσιμότητα κατά μήκος της περιμέτρου εμφανίζει μεγάλες διαφοροποιήσεις και άρα μεγάλη τυπική απόκλιση, καθώς ανοιχτές ακμές με μεγάλη συνδεσιμότητα διαδέχονται ακμές κτιρίων με μηδενική ορατότητα.

0.813: Γωνιακό άνοιγμα και μήκος ανοιχτών πλευρών προς περίμετρο τετραγώνου (corner - open perimeter/OT perimeter)

Τα γωνιακά ανοίγματα προκύπτουν συνήθως από την ύπαρξη κενού οικοπέδου σε γωνία του οικοδομικού τετραγώνου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά το ποσοστό του αδόμητου χώρου συνολικά.

0.804: Μέση συνδεσιμότητα ανοιχτών πλευρών και ποσοστό ανοιχτής περιμέτρου αστικού κενού (open edge mcv - open to void perimeter)

Άμεσα σχετιζόμενα μεγέθη, καθώς μεγάλα ανοίγματα της περιμέτρου επιτρέπουν μεγαλύτερη οπτική διείσδυση και επομένως αντιστοιχούν σε υψηλότερες τιμές συνδεσιμότητας ως προς τα ανοίγματα.

0.791: Διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα και μήκος ανοιχτών πλευρών (Weighted degree - open perimeter length)

Η διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα σε επίπεδο δικτύου σχετίζεται άμεσα με το πλήθος των ανοιγμάτων της περιμέτρου προς το δημόσιο χώρο και κατ' επέκταση εμφανίζει μια αναλογία και ως προς το συνολικό αθροιστικό μήκος των ανοιγμάτων αυτών.

0.775: Γωνιακό άνοιγμα και μήκος ανοιχτών πλευρών (corner - open perimeter length)

Όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση συσχέτισης γωνιακού ανοίγματος με το μήκος των ανοιχτών πλευρών προς περίμετρο του τετραγώνου, τα γωνιακά ανοίγματα προκύπτουν συνήθως από την ύπαρξη κενού οικοπέδου σε γωνία του οικοδομικού τετραγώνου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το ποσοστό του αδόμητου χώρου συνολικά, τόσο ως απόλυτο μέγεθος όσο και αναλογικά ως προς το σύνολο του οικοδομικού τετραγώνου.

0.774: Διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα και μήκος ανοιχτών πλευρών προς περίμετρο τετραγώνου (Weighted degree - open perimeter/OT perimeter)

Όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση συσχέτισης της διαβαθμισμένης συνδεσιμότητας με το μήκος των ανοιχτών πλευρών, η διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα συνδέεται άμεσα με το πλήθος των ανοιγμάτων της περιμέτρου προς το δημόσιο χώρο, εμφανίζοντας αναλογία και με την ανοιχτότητα της περιμέτρου με όρους ποσοστού επί της συνολικής περιμέτρου του αστικού κενού.

0.773: Πλήθος κορυφών περιγράμματος και εμβαδόν αστικού κενού (vert number - void area)

Μεγαλύτερα κενά προκύπτουν συνήθως από τη συνένωση επιμέρους κενών, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν διασπασμένο περίγραμμα με πολλές κορυφές.

-0.790: Συνολική μέση συνδεσιμότητα και πλήθος περιβαλλόντων κτιρίων (mcv - surround buildings)

Μεγάλο πλήθος περιβαλλόντων κτιρίων συνήθως αντιστοιχεί σε διασπασμένο περίγραμμα, με πολλές εσοχές και εξοχές, μειώνοντας την κυρτότητα του σχήματος και τη συνολική του συνδεσιμότητα.

-0.831: Συνολική μέση συνδεσιμότητα και περίμετρος αστικού κενού (mcv - void perimeter)

Μεγάλα αστικά κενά συνήθως προκύπτουν από τη συνένωση πολλών μικρότερων με αποτέλεσμα το συνολικό σχήμα να εμφανίζεται διασπασμένο, με πολλές ανωμαλίες στην περίμετρο και κατ' επέκταση με χαμηλή συνολική συνδεσιμότητα. Μικρά κενά είναι πιθανότερο να έχουν συνολικά κυρτό σχήμα.

-0.845: Συνολική μέση συνδεσιμότητα και πλήθος κορυφών περιγράμματος (mcv - vert num)

Τα μεγέθη αυτά εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση, γιατί μεγάλη μέση συνδεσιμότητα αντιστοιχεί σε κυρτά σχήματα με απλό περίγραμμα και λίγες ανωμαλίες στο περίγραμμα, ενώ μεγάλο πλήθος κορυφών εκφράζει μάλλον πιο διασπασμένα περιγράμματα, με πολλές εσοχές και εξοχές.

Χαρακτηριστικό είναι και το γεγονός ότι η συνολική μέση συνδεσιμότητα (mcv) εμφανίζει αρνητική συσχέτιση σχεδόν με όλες τις άλλες μετρήσεις, εκτός από λίγες εξαιρέσεις. Γενικά, εμφανίζει εντονότερη αρνητική συσχέτιση με μετρήσεις που εκφράζουν άμεσα ή έμμεσα θραυσματικότητα. Έτσι, συσχετίζεται αρνητικά με τη φρακταλική διάσταση (-0.6071), αλλά και με μετρήσεις που εκφράζουν άμεσα ή έμμεσα μέγεθος (void area, void perimeter, void to block area, vert number, surround buildings), καθώς κατά κανόνα μεγαλύτερα αστικά κενά προκύπτουν από τη συνένωση περισσότερων επιμέρους αδόμητων χώρων, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν πιο διασπασμένο, ακανόνιστο συνολικό σχήμα.

Επίσης παρατηρείται ότι η συνολική μέση συνδεσιμότητα συσχετίζεται θετικά αν και σε πολύ μικρό βαθμό, μόνο με άλλες μετρήσεις συνδεσιμότητας (h value, open edge mcv, open edge vv), που εκφράζουν είτε υψηλή διασύνδεση από τις ανοιχτές πλευρές (open edge mcv, open edge vv), είτε την συνύπαρξη κυρίαρχων κυρτών σχημάτων με δευτερεύοντα σχήματα –προεξοχές (h value), ενώ συσχετίζεται οριακά και με το ποσοστό ανοιχτού μήκους επί της συνολικής περιμέτρου του κενού (open to void perimeter), η οποία αποδίδεται σε περιπτώσεις μικρών, πολύ ανοιχτών και πολύ κυρτών κενών που εμφανίζονται ως εσοχές στην περίμετρο των οικοδομικών τετραγώνων.

Με τις υπόλοιπες μετρήσεις δεν εμφανίζει κάποια αξιόλογη συσχέτιση.

Ασυσχέτιστα μεγέθη

Κάποιες μετρήσεις εμφανίζονται σχεδόν πλήρως ασυσχέτιστες με όλες τις υπόλοιπες, δηλαδή δεν έχουν ούτε θετική ούτε αρνητική συσχέτιση μεταξύ τους (Πίνακας IV - 3). Αυτό σημαίνει οτι δεν εμφανίζουν κάποιο κοινό σχηματισμό κατανομής τιμών και ότι η κάθε ιδιότητα εμφανίζεται με τρόπο μη εξαρτημένο από τις υπόλοιπες.

Οι πιο ασυσχέτιστες συνολικά μετρήσεις είναι το πλήθος των ελεύθερα διατεταγμένων κτιρίων εντός των αστικών κενών (contained buildings), η οριζόντια και κατακόρυφη τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας (v- value και h- value), η οριζόντια τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας ανοιχτών πλευρών (open edge h- value), καθώς και η φρακταλική διάσταση (fd), η οποία εμφανίζει ασθενή αρνητική συσχέτιση -0.6071 μόνο με τη συνολική μέση συνδεσιμότητα (mcv), καθώς η μία μέτρηση εκφράζει θραυσματικότητα και η άλλη κυρτότητα.

2.6.3.2.1. Ερμηνεία συσχέτισης

Υψηλή συσχέτιση δύο μεγεθών, θετική ή αρνητική, μπορεί να σημαίνει ότι δύο ιδιότητες τείνουν να συνεμφανίζονται επαναλαμβανόμενα, είτε τυχαία είτε λόγω κάποιου βαθύτερου σχήματος αιτιότητας που τις συνδέει. Μπορεί όμως και να σημαίνει οτι τα δύο μεγέθη μετρούν ουσιαστικά την ίδια ιδιότητα, από άλλη οπτική.

Από την άλλη, η μη συσχέτιση μετρήσεων μπορεί να σημαίνει τυχαιότητα στην κατανομή των τιμών τους και επομένως χαμηλή περιγραφική ισχύ της αντίστοιχης ιδιότητας, αλλά μπορεί να ερμηνευθεί και ως αποτέλεσμα ριζικής διαφοράς ως προς το τι μετράει το κάθε μέγεθος. Έτσι, ασυσχέτιστες μετρήσεις μπορεί να αντιστοιχούν σε διαφορετικές ιδιότητες, παρέχοντας μια ευρύτερη ποικιλία περιγραφικών διαστάσεων.

Με αυτή τη λογική, η ανάλυση των μετρήσεων ανα ζεύγη ως προς τη συσχέτισή τους δίνει μια εικόνα για την ποικιλία και τη συνεκτικότητα των μετρήσεων, καθώς και για την γενική κατανομή του

συνόλου του δείγματος ως προς τις επιλεγμένες μετρήσεις, αλλά δεν παρέχει σαφή και μονοσήμαντα συμπεράσματα ως προς την περιγραφική ισχύ της κάθε μέτρησης, ούτε ως προς τη δυνατότητα αναγνώρισης επαναλαμβανόμενα εμφανιζόμενων σχηματισμών συσχετισμών μεταξύ των εξεταζόμενων αστικών κενών.

Η σύγκριση ανα ζεύγη λειτουργεί σε μια στιβαδωμένη λογική, όπου όλα τα μεγέθη αντιπαραβάλλονται και συσχετίζονται με όλα αλλά διαδοχικά, με αποτέλεσμα να μην μπορεί ποτέ να διασυνδεθεί το σύνολο των συσχετισμών μεταξύ μετρήσεων. Προκειμένου να αποκαλυφθούν πιθανοί σχηματισμοί συσχετισμών μεταξύ αστικών κενών πρέπει να βρεθεί τρόπος ταυτόχρονης γραφικής παράστασης όλων των μετρήσεων ταυτόχρονα, σε μια ενιαία πολυδιάστατη αναπαραστατική δομή.

Κεφάλαιο 3

3. Πολυδιάστατη αναπαράσταση

Μετά την επιλογή των ιδιοτήτων και την ολοκλήρωση των αντίστοιχων μετρήσεων για το σύνολο των δειγμάτων, οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για την πολυδιάστατη περιγραφή της κάθε χωρικής μονάδας. Προκειμένου οι εξεταζόμενοι χώροι να γίνουν συγκρίσιμοι ως προς όλες τις μετρήσεις ταυτόχρονα, δομείται ένας πολυδιάστατος χώρος αναπαράστασης, οριζόμενος από ένα σύστημα αξόνων, όπου κάθε χαρακτηριστικό αντιστοιχεί σε έναν άξονα αντιπροσωπεύοντας μία διακριτή διάσταση. Σε αυτό το χώρο κάθε χωρική ενότητα αναπαρίσταται ως μοναδικά ορισμένο σημείο με τόσες συντεταγμένες όσες και οι διαστάσεις του χώρου αναπαράστασης. Η συγκέντρωση ή διασπορά των πολυδιάστατων σημείων αντιστοιχεί στο βαθμό συσχετισμού των αναπαριστάμενων χώρων μεταξύ τους ως προς όλα τα χαρακτηριστικά ταυτόχρονα.

3.1. Πολλαπλότητα μετρήσεων

Κάθε μια από τις μεθόδους που περιγράφηκαν παράγει μετρήσεις που εκφράζουν διαφορετικές ιδιότητες των αντίστοιχων χωρικών διατάξεων. Αν και τα τελικά εξαγόμενα όλων των μεθόδων αποδίδονται μέσω βαθμωτών αριθμητικών μεγεθών, παράγονται από διαδικασίες που εστιάζουν, κατά περίπτωση, σε μετρικές, γεωμετρικές και τοπολογικές ιδιότητες των υπό ανάλυση κατόψεων, με αποτέλεσμα να αποδίδουν αντίστοιχης τάξης χαρακτηριστικά.

Κάθε μεμονωμένη μέτρηση παρέχει μια αυτόνομη ερμηνεία, μια εξαιρετικά περιορισμένη, στοχευμένη και μερική περιγραφή των αντίστοιχων χώρων, που δεν επαρκεί για τη συγκριτική τους ανάλυση. Από τη μελέτη των κατανομών και του εύρους τιμών για την κάθε μέτρηση χωριστά και για συνδυασμούς τους ανα ζεύγη, δεν προκύπτει κάποιος επαναλαμβανόμενα εμφανιζόμενος σχηματισμός σχέσεων που θα μπορούσε να οδηγήσει στον εντοπισμό και ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενων ή διαφοροποιούμενων χώρων.

Ωστόσο, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι αν και κάθε μία διάσταση του αντικειμένου δεν μπορεί να το περιγράψει, όσο περισσότερες και διαφορετικές μεταξύ τους μετρηθούν και συνδυαστούν σε ένα σύστημα ταυτόχρονης και συνδυαστικής θεώρησής τους, τόσο πιο πολύ η αναπαράσταση θα προσομοιάζει του αντικειμένου, καθώς θα παρουσιάζει μια κατ' αναλογία πολλαπλότητα.

Η πολλαπλότητα της περιγραφής δεν έγκειται αποκλειστικά στο πλήθος και την ποικιλία των ιδιοτήτων, αλλά προϋποθέτει την ταυτόχρονη θεώρηση όλων των παρεχόμενων περιγραφών, με όρους συστήματος, καθώς οι αντιληπτικές ποιότητες της κάθε χωρικής ενότητας δεν ανάγονται στο σύνολο των χαρακτηριστικών ένα προς ένα, αλλά αναδύονται από το σύστημα των μεταξύ τους συσχετισμών και δυναμικών αλληλεπιδράσεων που δεν μπορούν να αναπτυχθούν παρά μόνο εντός ενός ενιαίου συστήματος.

Με αυτή τη λογική, η πολλαπλότητα του χώρου προσεγγίζεται μέσα από έναν ετερογενή συνδυασμό ασυνεχών και διακριτών μερικών περιγραφών, κάθε μια από τις οποίες θεωρείται ως ξεχωριστή περιγραφική διάσταση. Κάθε περιγραφική διάσταση μπορεί να εκφράζει άλλης τάξης ιδιότητες αλλά και άλλες προσεγγίσεις της έννοιας της διάστασης[1], με αποτέλεσμα το σύνολο των διαστάσεων να

[1] Σύμφωνα με τον Mandelbrot (1982: 14) «η χαλαρή έννοια της διάστασης φαίνεται να έχει πολλές μαθηματικές πλευρές που δεν είναι μόνο εννοιολογικά διακριτές αλλά ενδέχεται να οδηγούν σε διαφορετικές αριθμητικές τιμές. […]Ο

μην είναι ομοιογενές και άμεσα συγκρίσιμο, αλλά ενδέχεται να είναι διαστασιολογικά ασύμφωνο [dimensionally discordant] (Mandelbrot, 1982: 14).

Ο τρόπος με τον οποίο οι διαφορετικές αυτές διαστάσεις γίνονται συγκρίσιμες και συνδυάζονται για να συνδιαμορφώσουν ισότιμα μια ενιαία πολλαπλή περιγραφή του αντικειμένου δεν είναι δεδομένος.

Όπως αναφέρθηκε, η ανεξάρτητη εξέταση κάθε περιγραφής ξεχωριστά και ο εκ των υστέρων συνδυασμός των συμπερασμάτων ή ακόμα και η ταυτόχρονη αλλά παραθετική θεώρησή τους σε μια λογική πολλαπλών διακριτών επιπέδων σε αλληλεπίθεση (layers), δεν υποστηρίζουν την επιδιωκόμενη σύνθεση των περιγραφών σε μια πολύπλευρη και ενιαία αναπαράσταση.

Αντίθετα, το ζήτημα της ταυτόχρονης θεώρησης πολλαπλών ιδιοτήτων σε ένα ενιαίο σύστημα απαιτεί την οργάνωση μιας πολυδιάστατης δομής που να μπορεί να συμπεριλάβει και να διαχειριστεί την πολλαπλότητα, την ετερογένεια και την μη-περιγραψιμότητα των ίδιων των χώρων που αναλύονται, σε μια διαδικαστική λογική.

3.2. Αναπαράσταση πολυδιάστατων δεδομένων σε τρεις διαστάσεις

Έτσι, προκειμένου να αναπαρασταθούν όλες οι μετρήσεις ταυτόχρονα, ορίζεται ένας μαθηματικός χώρος στον οποίο κάθε ιδιότητα αντιστοιχίζεται σε μια διακριτή διάσταση, που αντιπροσωπεύεται από έναν διαβαθμισμένο άξονα επί του οποίου οι αριθμητικές τιμές αποδίδονται γραφικά. Όταν το πλήθος των διαστάσεων είναι μέχρι τρεις, όσες δηλαδή και οι χωρικές διαστάσεις που γίνονται εμπειρικά αντιληπτές, η ταυτόχρονη γραφική αναπαράστασή τους είναι πολύ απλή και εύληπτη, καθώς μπορεί να αποδοθεί σε ένα τρισορθογώνιο καρτεσιανό σύστημα αξόνων, με κάθε αναπαριστάμενη μονάδα να αντιστοιχεί σε ένα σημείο στον τρισδιάστατο χώρο. Όσο όμως αυξάνεται το πλήθος των διαστάσεων των δεδομένων, και επομένως και των συντεταγμένων των σημείων που τα αναπαριστούν, η οπτικοποίηση αλλά και η αντιληπτική πρόσληψη του συστήματος δυσχεραίνεται. Μία μέθοδος για να ξεπεραστεί η δυσκολία αυτή είναι να χρησιμοποιηθούν μη αριθμητικοί αλλά γραφικοί τρόποι για την αναπαράσταση των επιπλέον των τριών διαστάσεων, όπως για παράδειγμα η χρωματική κωδικοποίηση ή η χρήση διαφορετικών μεγεθών ή και σχημάτων των γραφικών στοιχείων που αναπαριστούν το κάθε σημείο. Σε αυτή την περίπτωση όμως, τα γραφικά μέσα σύντομα εξαντλούνται. Επιπρόσθετα, οι μη χωρικά εκφρασμένες[2] αναπαραστάσεις καθίστανται δύσκολα συγκρίσιμες, όντας ετερογενείς και συχνά μη διαισθητικές. Σύμφωνα και με τον Jolliffe (2002: 107) σε κάποιες περιπτώσεις «μπορεί να είναι χρήσιμες μέθοδοι για την εμφάνιση πολλών μεταβλητών ταυτόχρονα σε δύο διαστάσεις . […] Ωστόσο παραμένουν περιορισμοί στο πλήθος των διαστάσεων που μπορούν αποτελεσματικά να εμφανιστούν ταυτόχρονα». Σύμφωνα με τον Mandelbrot (1982: 14) «όπως αναφέρει ο Willian of Occam για τις οντότητες, οι διαστάσεις δεν πρέπει να πολλαπλασιάζονται πέρα του αναγκαίου[3], αλλά μια πολλαπλότητα διαστάσεων είναι απολύτως αναπόφευκτη».

Ευκλείδης περιορίζεται σε σύνολα για τα οποία όλες οι χρήσιμες διαστάσεις συμπίπτουν, κατά τρόπο που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως διαστασιολογικά συμφωνούντα σύνολα [dimensionally concordant sets]. Από την άλλη, οι διαφορετικές διαστάσεις των συνόλων στις οποίες το κυρίως σώμα αυτής διατριβής είναι αφιερωμένο αποτυγχάνουν να συμπέσουν. Αυτά τα σύνολα είναι διαστασιολογικά ασύμφωνα [dimensionally discordant]».

[2] Δηλαδή οι διαστάσεις που δεν εκφράζονται από αριθμητικές συντεταγμένες αλλά αποδίδονται βάσει άλλης γραφικής κωδικοποίησης.

[3] Ο Mandelbrot αναφέρεται στην αρχή που είναι γνωστή ως Occam's razor, σύμφωνα με την οποία «οι οντότητες δεν πρέπει να πολλαπλασιάζονται πέρα του αναγκαίου» (Russel & Norvig, 2010: 758). Άλλη διαδεδομένη διατύπωση της αρχής αυτής

3.3. Πολυδιάστατη αναπαράσταση: Πολυδιάστατα διανύσματα και χώρος ιδιοτήτων

Για τους λόγους αυτούς επιδιώκεται η δόμηση ενός συνεκτικού συστήματος όπου όλες οι ιδιότητες αποδίδονται από ομοιογενή μεγέθη και αναπαραστατικά μέσα, σε μια ενιαία και ισομορφική δομή. Έτσι, επιλέγεται η αναπαράσταση σε ένα πολυδιάστατο χώρο, που περιγράφεται μέσω ενός συστήματος πολλαπλών αξόνων συντεταγμένων. Κάθε διάσταση του χώρου αυτού αντιπροσωπεύεται από έναν άξονα συντεταγμένων που αντιστοιχεί σε κάθε ένα από τα επιλεγμένα μετρήσιμα χωρικά μεγέθη και κάθε τιμή εκφράζεται μονοσήμαντα ως αριθμητική συντεταγμένη στον αντίστοιχο άξονα. Έτσι, ν μεταβλητές που εκφράζουν ιδιότητες μπορούν να αναπαρασταθούν ταυτόχρονα σε ένα ν-διάστατο χώρο, που ορίζεται από ν άξονες συντεταγμένων. Ο πολυδιάστατος αναπαραστατικός χώρος που προκύπτει είναι συνεχής και μαθηματικά απόλυτα ορισμένος, αν και δεν μπορεί να οπτικοποιηθεί άμεσα.

Στη λογική αυτή, κάθε χωρική μονάδα αντιπροσωπεύεται από ένα πολυδιάστατο διάνυσμα[4], οι διαστάσεις του οποίου αντιστοιχούν ένα προς ένα στα χαρακτηριστικά που μετρώνται. Κάθε πολυδιάστατο διάνυσμα μπορεί να αποδοθεί ως μια λίστα ιδιοτήτων[5], ενώ όλα τα διανύσματα που αντιστοιχούν στο σύνολο του δείγματος των χωρικών μονάδων μπορούν να καταγραφούν σε έναν πίνακα ιδιοτήτων[6], όπου κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε μια χωρική μονάδα εκφρασμένη ως διάνυσμα και κάθε στήλη σε μια ιδιότητα. Ο χώρος αυτός, κάθε διάσταση του οποίου εκφράζει και από μία ιδιότητα των δεδομένων, αποκαλείται χώρος ιδιοτήτων [feature space].

Σύμφωνα με τον Μάρκο (2006: 172), η ιδέα της αντιστοίχησης κάθε μεταβλητής με μία διάσταση συνιστά μια αποτελεσματική γεωμετρική προσέγγιση για την οπτικοποίηση πολυδιάστατων δεδομένων (Jacoby, 1998). Τα πρωτογενή δεδομένα αποθηκεύονται συνήθως σε πίνακες συμπτώσεων. Στη μία πλευρά του πίνακα (γραμμές) τοποθετούνται τα αντικείμενα – παρατηρήσεις, ενώ στην άλλη (στήλες) τοποθετούνται οι μεταβλητές. Τα αντικείμενα – παρατηρήσεις προβάλλονται

είναι ότι «ο κόσμος είναι απλός. Μεταξύ διαφόρων εναλλακτικών μοντέλων για την αναπαράσταση μίας κατάστασης του κόσμου, αυτό που κάνει τις λιγότερες υποθέσεις είναι πιθανότατα το ορθότερο.»

[4] Ένα διάνυσμα είναι ένα προσανατολισμένο ευθύγραμμο τμήμα, που έχει συγκεκριμένο μήκος, διεύθυνση, φορά και σημείο εφαρμογής. Σε ένα δισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων, αν θεωρήσουμε ότι το σημείο εφαρμογής είναι πάντα η αρχή των αξόνων, δηλαδή το σημείο με συντεταγμένες (0, 0), οποιοδήποτε διάνυσμα ορίζεται μονοσήμαντα από τις συντεταγμένες του πέρατός του (x, y). Αντίστοιχα, σε ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων, ένα διάνυσμα ορίζεται μονοσήμαντα από τις συντεταγμένες του πέρατός του (x, y, z). Γενικεύοντας, σε ένα n-διάστατο σύστημα συντεταγμένων, ένα διάνυσμα ορίζεται μονοσήμαντα από τις συντεταγμένες του πέρατός του (x, y, z,…, n).

[5] Μια λίστα είναι γενικά μια απαρίθμηση διακριτών στοιχείων, μια ακολουθία. Στον προγραμματισμό, η λίστα είναι μια δομή για την αποθήκευση δεδομένων, ένα δοχείο για την καταχώρηση πεπερασμένου πλήθους τιμών μεταβλητών σε συγκεκριμένη σειρά. Χαρακτηριστικά μιας λίστας είναι ο τύπος των στοιχείων που μπορεί να δεχτεί, καθώς και το πλήθος τους. Κάθε στοιχείο αποθηκεύεται σε μία θέση της λίστας και το πλήθος των θέσεων, που αντιστοιχεί στο πλήθος των στοιχείων που μπορεί να αποθηκεύσει, ονομάζεται μήκος ή μέγεθος της λίστας.

Αν σε κάθε θέση μιας λίστας αντιστοιχεί μια μεταβλητή που εκφράζει μία ιδιότητα ενός αντικειμένου, τότε μιλάμε για μια λίστα ιδιοτήτων. Μια λίστα ιδιοτήτων παρέχει έναν τρόπο δομημένης αποθήκευσης των τιμών πεπερασμένων ιδιοτήτων ενός αντικειμένου, αλλά και αναπαράστασής του μέσω των ιδιοτήτων αυτών.

Έτσι, σύμφωνα με τον ορισμό του διανύσματος, ένα διάνυσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίστα για την αποθήκευση συντεταγμένων και αντίστροφα, μια λίστα μπορεί να αναπαρασταθεί ως διάνυσμα, σε τόσες διαστάσεις όσο το πλήθος των στοιχείων της (μήκος λίστας).

[6] Για ένα δείγμα μ μεταβλητών (ιδιοτήτων) για ν παρατηρήσεις (χώρους) φτιάχνεται ένας πίνακας μ*ν, στον οποίο οι γραμμές αντιστοιχούν στις παρατηρήσεις και οι στήλες στις μεταβλητές. Τα στοιχεία του πίνακα είναι οι τιμές που παίρνει κάθε μεταβλητή για κάθε παρατήρηση. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, ο πίνακας ιδιοτήτων είναι μια λίστα των λιστών ιδιοτήτων των υπό ανάλυση χώρων.

ως σημεία ή διανύσματα στον πολυδιάστατο χώρο που ορίζουν οι μεταβλητές (διαστάσεις) (Jacoby, 1998, Young, Faldowski & McFarlane, 1993). Ο χώρος αυτός αποτελεί τη «βάση» πάνω στην οποία πραγματοποιείται η οπτικοποίηση. Μια ένα-προς-ένα αντιστοιχία συνδέει τα αριθμητικά στοιχεία του πίνακα με τα γεωμετρικά στοιχεία του χώρου: ένα σημείο για κάθε παρατήρηση και ένας ορθογώνιος άξονας για κάθε μεταβλητή. Με την παραπάνω προσέγγιση, δεν επιτυγχάνεται μόνο η απεικόνιση των προφανών αντιπαραθέσεων, τάσεων ή ομοιοτήτων, αλλά και η αποκάλυψη λανθανουσών δομών των δεδομένων (Tufte, 1983, Wilkinson, 1999).

Σύμφωνα με τους ορισμούς αυτούς, στη γραφική αναπαράσταση των ποσοτήτων που εξάγονται από τις μετρήσεις σε έναν πολυδιάστατο χώρο ιδιοτήτων, κάθε χωρική μονάδα αναπαρίσταται ως ένα μοναδικά ορισμένο πολυδιάστατο σημείο.

Αυτό που προκύπτει από τη γραφική αναπαράσταση όλων των ποσοτήτων για όλες τις χωρικές μονάδες είναι ένα πολυδιάστατο νέφος σημείων. Η κατανομή των σημείων που αντιστοιχούν στις εξεταζόμενες χωρικές μονάδες αποτελεί ένδειξη, μέσω της συγκέντρωσης ή διασποράς τους, του σχετικού βαθμού συσχετισμού τους ως προς όλα τα ποσοτικοποιημένα χαρακτηριστικά ταυτόχρονα. Οι περιοχές συνέχειας και οι τομές που εμφανίζονται στον καρτεσιανό χώρο αναπαράστασης των ποσοτικοποιημένων χωρικών ιδιοτήτων αποκαλύπτουν βαθμούς εγγύτητας και διαφοράς μεταξύ διακριτών χωρικών ενοτήτων.

Η ενιαία ποσοτικοποίηση και η μη ιεραρχική οργάνωση ενός πλήθους ανόμοιων και ασύνδετων χωρικών ιδιοτήτων επιτρέπει την ταυτόχρονη θεώρηση και ενσωμάτωση χαρακτηριστικών διαφορετικών τάξεων εντός του ίδιου συστήματος. Έτσι αντιμετωπίζεται το ζήτημα της πολλαπλότητας, της ετερογένειας και της μη-περιγραψιμότητας των υπό ανάλυση χωρικών μονάδων, καθιστώντας τις συγκρίσιμες στα πλαίσια ενός ανοιχτού συστήματος ποσοτικοποιημένων συσχετισμών.

3.3.1. Ευκλείδεια απόσταση ως μέτρο διαφοράς

Στο πολυδιάστατο νέφος σημείων που προκύπτει από τη απόδοση των δειγμάτων ως πολυδιάστατων διανυσμάτων, οι συσχετισμοί μεταξύ των αναπαριστάμενων χωρικών μονάδων εκφράζονται με όρους απόστασης μεταξύ των αντίστοιχων σημείων. Χωρικές μονάδες που εμφανίζουν παρόμοιες τιμές σε όλες τις ιδιότητες αναπαρίστανται από σημεία που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, ενώ χωρικές μονάδες με σημαντικά διαφορετικές τιμές ιδιοτήτων αναπαρίστανται απομακρυσμένες μεταξύ τους κατά τους άξονες των ιδιοτήτων ως προς τις οποίες διαφέρουν. Επομένως η Ευκλείδεια απόσταση[7] μεταξύ σημείων στον πολυδιάστατο χώρο αποτελεί μέτρο διαφοροποίησης, παρέχοντας μια μονάδα μέτρησης του βαθμού ομοιότητας και διαφοράς μεταξύ των εξεταζόμενων χωρικών μονάδων.

3.3.2. Αναπαράσταση του πολυδιάστατου χώρου ιδιοτήτων

Ο πολυδιάστατος χώρος αναπαράστασης των διανυσμάτων ιδιοτήτων που αντιπροσωπεύουν τις εξεταζόμενες χωρικές μονάδες είναι απόλυτα ορισμένος και περιγράψιμος με μαθηματικούς όρους, αλλά δεν είναι άμεσα οπτικοποιήσιμος με γραφικούς όρους. Ο μόνος άμεσα προσφερόμενος τρόπος συνολικής αναπαράστασης όλων των πολυδιάστατων διανυσμάτων ταυτόχρονα είναι μέσω του

[7] Για δύο n-διάστατα διανύσματα με συντεταγμένες (x1, y1, z1,…, n1) και (x2, y2, z2,…, n2) η Ευκλείδεια απόστασή τους d είναι: $d = \sqrt{((x2-x1)^2+(y2-y1)^2+(z2-z1)^2+….+(n2-n1)^2)}$.

πίνακα ιδιοτήτων. Η αριθμητική αυτή όμως παράθεση τιμών δεν επιτρέπει την εποπτική κατανόηση της κατανομής των τιμών και όλων των μεταξύ τους συσχετισμών και δεν υποστηρίζει την ανάγνωση δομών εντός των πολυδιάστατων δεδομένων.

Η αδυναμία άμεσης και αποδοτικής αναπαράστασής του στις τρεις χωρικές διαστάσεις δυσχεραίνει την αντιληπτική πρόσληψη της δομής του και τον καθιστά μη διαχειρίσιμο και διαισθητικά μη κατανοητό. Σύμφωνα με τον Arheim (1976: 303), πέρα από το όριο της τρίτης διάστασης του αντιληπτικού και φυσικού χώρου, «οι γεωμετρικοί υπολογισμοί, όπως όλοι οι πολυδιάστατοι υπολογισμοί, πρέπει να περιοριστούν σε μια θραυσματική αναπαράσταση, εάν αυτή υφίσταται. Αυτό πιθανότατα σημαίνει ότι πρέπει να περιοριστούν στην τμηματική κατανόηση αντί για την πραγματική κατανόηση του όλου».

Κεφάλαιο 4

4. Μείωση διαστάσεων

Ο πολυδιάστατος χώρος αναπαράστασης που προκύπτει από τη γραφική αναπαράσταση των πολυδιάστατων διανυσμάτων που αντιπροσωπεύουν τις χωρικές ενότητες είναι μαθηματικά ορισμένος, αλλά η άμεση απόδοσή του σε μια κατανοητή και ευανάγνωστη οπτικοποίηση δεν είναι προφανής ούτε δεδομένη.

Παρόλο που η ίδια η επιλογή της αναπαράστασης των χωρικών μονάδων μέσω ενός περιορισμένου υποσυνόλου συγκεκριμένων ποσοτικοποιήσιμων ιδιοτήτων τους αποτελεί μια προκαταρκτική διαδικασία σημαντικής μείωσης διαστάσεων και αφαίρεσης πληροφορίας, το πλήθος των διαστάσεων που έχουμε να διαχειριστούμε εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερο από αυτό που μπορεί να γίνει εμπειρικά αντιληπτό και να αναπαρασταθεί με αναγνώσιμο τρόπο. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με την εφαρμογή μεθόδων για τη μείωση του πλήθους των διαστάσεων του αναπαραστατικού χώρου. Οι μέθοδοι αυτές είναι ουσιαστικά αλγοριθμικές διαδικασίες προβολής του πολυδιάστατου χώρου ιδιοτήτων σε χώρο λιγότερων διαστάσεων, συνήθως δύο ή τριών, κατά τρόπο ώστε να διατηρούνται τα ουσιώδη χαρακτηριστικά του αρχικού πολυδιάστατου χώρου.

Υποστηρίζεται ότι η χαρτογράφηση του πολυδιάστατου αυτού χώρου σε χώρο λιγότερων διαστάσεων, κατά τρόπο ώστε να διατηρούνται οι μετρικές και τοπολογικές σχέσεις μεταξύ των αρχικών πολυδιάστατων διανυσμάτων, μπορεί να αποκαλύψει τυπικούς σχηματισμούς συσχετισμών (patterns) που αναφέρονται στο βαθμό ομοιότητας και διαφοράς μεταξύ των αναπαριστάμενων χώρων. Σύμφωνα με τον Hanna (2011), «η χρήση πολυδιάστατων δεδομένων έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στην αποκάλυψη τύπων στα τεχνήματα σε διαφορετικά επίπεδα κλίμακας».

Η σχετική θέση κάθε χωρικής ενότητας στα πλαίσια της προκύπτουσας δομής εξαρτάται από ένα σύνολο εγγενών συσχετισμών που δεν μπορούν να διαχωριστούν εκ των υστέρων και να μελετηθούν ως ξεχωριστές συνιστώσες. Οι εγγενείς αυτές χωρικές σχέσεις δεν διατυπώνονται μέσω συγκεκριμένων περιγράψιμων χαρακτηριστικών αλλά εκφράζονται ως βαθμοί εγγύτητας μέσω της συνοχής ή διασποράς των σημείων. Το σύστημα αυτό των αφηρημένων συσχετισμών δεν αποκαλύπτει άμεσα στοιχεία σχετικά με τη φύση ή τα αίτια των διαφορετικών βαθμών σύγκλισης και απόκλισης μεταξύ των αρχικών δεδομένων.

4.1. Οπτικοποίηση δεδομένων

4.1.1. Η σημασία της οπτικοποίησης δεδομένων για την κατανόηση της δομής τους

Το πολυδιάστατο νέφος σημείων που προκύπτει από τη γεωμετρική απόδοση των πολυδιάστατων διανυσμάτων ιδιοτήτων αποτελεί μια χωρική έκφραση των σχέσεων ομοιότητας και διαφοράς μεταξύ των αναπαριστάμενων χώρων. Αν και η γεωμετρική αυτή δομή προκύπτει αποκλειστικά από τον πίνακα που περιλαμβάνει τις πολυδιάστατες συντεταγμένες των διανυσμάτων ιδιοτήτων, είναι εξαιρετικά δύσκολη η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη δομή των δεδομένων βάσει μόνο του ίδιου του πίνακα ιδιοτήτων. Προκειμένου να καταστεί δυνατή η ανάγνωση και η ανάλυση της δομής των δεδομένων είναι απαραίτητη η οπτική απόδοσή τους με κάποιον τρόπο που να υποστηρίζει την αντιληπτική κατανόησή τους. Η γραφική αναπαράσταση δεδομένων, που έχει ως στόχο την εποπτική

περιγραφή των δεδομένων, ονομάζεται γενικά οπτικοποίηση δεδομένων και αποτελεί το απαραίτητο εργαλείο για την «αποκάλυψη των φανερών, αλλά και των κρυμμένων σχέσεων και δομών των δεδομένων» (Μάρκος, 2006: 169). Κατά τον Tukey (1977, 1980) «η οπτικοποίηση είναι μια διαδικασία μέσω της οποίας αποκαλύπτονται, ή καλύτερα αναδεικνύονται, όσα έχουν να πουν τα δεδομένα».

Σύμφωνα με τον Μάρκο (2006: 170-173) «στο πλαίσιο της Στατιστικής, σκοπός της οπτικοποίησης δεν είναι η ρεαλιστική αναπαράσταση, αλλά ο μετασχηματισμός αφηρημένων σχέσεων σε ερμηνεύσιμες εικόνες (Buja, Cook & Swayne, 1996). Ειδικότερα, οι μέθοδοι οπτικοποίησης μπορούν να εφαρμοστούν αποτελεσματικά στα περισσότερα στάδια μιας στατιστικής ανάλυσης -από την προεργασία των δεδομένων μέχρι την παρουσίαση των αποτελεσμάτων- και να συμβάλουν καθοριστικά στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Η πιο συνηθισμένη προσέγγιση για τη διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ μεταβλητών είναι η γεωμετρική τους αναπαράσταση σε χώρο δύο διαστάσεων (Jacoby, 1998). Στην περίπτωση αυτή, η οπτικοποίηση ισοδυναμεί με την κωδικοποίηση μη χωρικής πληροφορίας με τη χρήση χωρικών στοιχείων».

Για τον Friendly (2000), η οπτικοποίηση δεδομένων αποτελεί ια προσέγγιση στη στατιστική ανάλυση που επικεντρώνεται στη διαισθητική γραφική αναπαράσταση. Η λέξη «διαισθητική» σημαίνει ότι στόχος της οπτικοποίησης είναι η αποκάλυψη σχέσεων και δομών των δεδομένων που δεν γίνονται εύκολα αντιληπτές και δεν αφομοιώνονται με άλλα μέσα.

4.1.2. Οπτικοποίηση πολυδιάστατων δεδομένων: Ανάγκη μείωσης διαστάσεων

Στην περίπτωση όμως που τα δεδομένα είναι πολυδιάστατα είναι εξαιρετικά δύσκολη η γραφική απόδοσή τους κατά τρόπο ώστε να είναι αναγνώσιμα χωρίς όμως να χάνεται σημαντικό μέρος της πληροφορίας. Η δυσκολία που προκαλεί η αδυναμία αναπαράστασης πολλών διαστάσεων με μέσα που είναι από τη φύση τους δισδιάστατα (Jacoby, 1998) εκφράζεται με τον όρο «κατάρα των πολλών διαστάσεων» [dimensionality curse] (Friedman, 1987, Fox, 1997, Bellman, 1961, Bishop, 2006) και καθιστά απαραίτητη την εξεύρεση τρόπων για τη μείωση των διαστάσεων σε ένα διαχειρίσιμο πλήθος.

4.2. Μείωση Διαστάσεων

Ο όρος μείωση διαστάσεων αναφέρεται γενικά σε μια διαδικασία με την οποία ελαττώνεται το πλήθος των διαστάσεων του χώρου αναπαράστασης πολυδιάστατων δεδομένων. Κατά κανόνα βασίζεται στην εφαρμογή μεθόδων προβολής του πολυδιάστατου χώρου σε χώρο λιγότερων διαστάσεων, συνήθως δύο ή τριών[1]. Στην περίπτωση πολυδιάστατων δεδομένων που αναπαρίστανται ως διανύσματα ιδιοτήτων καταγεγραμμένα σε πίνακα, η μείωση διαστάσεων είναι «ένα γραφικό εργαλείο για την ταυτόχρονη απεικόνιση των γραμμών και των στηλών ενός πίνακα δεδομένων της μορφής αντικείμενα*μεταβλητές, σε κοινό χώρο δύο, συνήθως, διαστάσεων» (Μάρκος, 2006: 174).

Για ένα πολυδιάστατο νέφος σημείων, που αναπαριστούν τα πολυδιάστατα διανύσματα ιδιοτήτων, «η βασική ιδέα είναι να προβληθούν ταυτόχρονα τα νέφη των σημείων σε ένα χώρο λιγότερων διαστάσεων (συνήθως δύο ή τριών), έτσι ώστε η νέα, βέλτιστη απεικόνιση να διατηρεί όσο το δυνατό

[1] Ένα απλό παράδειγμα μείωσης διαστάσεων είναι το προβολικό σχέδιο, όπου η τρισδιάστατη γεωμετρία προβάλλεται σε δύο διαστάσεις. Για παράδειγμα η κάτοψη είναι μια δισδιάστατη προβολή μιας οριζόντιας τομής του τρισδιάστατου χώρου.

περισσότερη από την αρχική πληροφορία» (Benzecri, 1992, σύμφωνα με αναφορά του Μάρκου, 2006). «Παρόλο που με τη μείωση των διαστάσεων των δεδομένων χάνεται ένα μέσος της αρχικής πληροφορίας, επιτυγχάνεται με αυτήν η απεικόνιση των προφίλ (σημείων) σε ένα χώρο με λιγότερες διαστάσεις και μάλιστα με βέλτιστο τρόπο, η οποία διαφορετικά δεν θα ήταν εφικτή» (Μάρκος, 2006: 22). Κάποια απώλεια πληροφορίας κατά τη διαδικασία αυτή είναι αναπόφευκτη και στόχος δεν είναι μόνο η ελαχιστοποίηση της απώλειας, αλλά κυρίως η διατήρηση της πληροφορίας εκείνης που είναι ουσιαστική για τον εκάστοτε σκοπό της μείωσης διαστάσεων.

4.2.1. Μέθοδοι μείωσης διαστάσεων

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία προσφερόμενων μεθόδων μείωσης διαστάσεων και οπτικοποίησης πολυδιάστατων δεδομένων, που προέρχονται κυρίως από τις περιοχές της Στατιστικής Ανάλυσης και της Τεχνητής Νοημοσύνης [Artificial Intelligence].

4.2.1.1. Στατιστική Ανάλυση

Όσον αφορά στις στατιστικές μεθόδους, οι διαφορές μεταξύ τους αφορούν στις λεπτομέρειες της μετάβασης από τις πολλές στις δύο διαστάσεις. Σύμφωνα με τον Μάρκο (2006), μπορούμε να διακρίνουμε τις ακόλουθες κατηγορίες ή οικογένειες μεθόδων.

4.2.1.1.1. Παραδοσιακές Μέθοδοι Οπτικοποίησης

Στην οικογένεια αυτή ανήκουν μέθοδοι οπτικοποίησης που έχουν ως στόχο την κατασκευή ενός φυσικού μοντέλου του πολυδιάστατου χώρου, ώστε να είναι εφικτή η ερμηνεία των αποστάσεων μεταξύ των παρατηρήσεων, χωρίς όμως να πραγματοποιούν ουσιαστικά μείωση διαστάσεων. Στις μεθόδους αυτές περιλαμβάνονται το ραβδόγραμμα, το ιστόγραμμα, το διάγραμμα διασποράς και οι ποικίλες παραλλαγές του (Jacoby, 1998). Αυτές οι μέθοδοι είναι κατάλληλες για τον εντοπισμό του είδους και του βαθμού συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών, αλλά μπορεί να οδηγήσουν σε λανθασμένα συμπεράσματα, αν χρησιμοποιηθούν στην περίπτωση πολλών μεταβλητών (Wegman & Carr, 1993). Αυτό συμβαίνει διότι εκ κατασκευής δεν λαμβάνουν υπόψη τους την πολυδιάστατη φύση των δεδομένων.

4.2.1.1.2. Μέθοδοι Μείωσης του Αριθμού των διαστάσεων

Οι μέθοδοι της οικογένειας αυτής στοχεύουν στη μείωση του αριθμού των αρχικών διαστάσεων και την αναπαράσταση των επικρατέστερων τάσεων, ομοιοτήτων και αντιπαραθέσεων σε βέλτιστο χώρο δύο ή τριών διαστάσεων. Συνεπώς, κατά την οπτικοποίηση χάνεται ένα μέρος της αρχικής πληροφορίας του εξεταζόμενου φαινομένου. Στην οικογένεια αυτή ανήκουν το Biplot, η Παραγοντική Ανάλυση Αντιστοιχιών, η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, η Πολυδιάστατη Κλιμάκωση και άλλες μέθοδοι (Gabriel, 1971, Kruskal & Wish, 1978, Jacoby, 1998).

4.2.1.1.3. Μέθοδοι Προβολών

Οι μέθοδοι προβολών εφαρμόζουν γεωμετρικούς μετασχηματισμούς στα δεδομένα με στόχο την γραφική τους αναπαράσταση χωρίς την παραμικρή απώλεια πληροφορίας. Οι μέθοδοι της οικογένειας αυτής δε χρησιμοποιούνται συχνά στην πράξη, ωστόσο, είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο τα αντικείμενα-παρατηρήσεις διαφοροποιούνται από μεταβλητή σε μεταβλητή. Στις πιο αντιπροσωπευτικές μεθόδους της οικογένειας αυτής ανήκουν οι

Παράλληλοι Άξονες Συντεταγμένων (ΠΑΣ) (Inselberg, 1985, Wegman, 1990), οι Καμπύλες Andrews (Andrews, 1972) και η Διερεύνηση Προβολών (Friedman, 1987).

4.2.1.1.4. Εικονογραφήματα

Τα εικονογραφήματα στοχεύουν στην αναπαράσταση της μεταβλητότητας που ενυπάρχει στα δεδομένα με τη χρήση συμβόλων (Jacoby, 1998). Ειδικότερα, σε κάθε προφίλ παρατήρησης αποδίδεται ένα σύμβολο, ενώ τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του συμβόλου χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των μεταβλητών. Τα σύμβολα τοποθετούνται σε κοινό γράφημα, έτσι ώστε να είναι εφικτός ο άμεσος εντοπισμός των ομοιοτήτων και των διαφορών μεταξύ γειτονικών παρατηρήσεων. Τα εικονογραφήματα είναι αποτελεσματικά για την προκαταρκτική εξέταση της δομής των πολυδιάστατων δεδομένων, αλλά μπορούν εύκολα να οδηγήσουν σε λανθασμένη συμπερασματολογία (Jacoby, 1998). Οι πιο αντιπροσωπευτικές μέθοδοι της οικογένειας αυτής είναι τα Πρόσωπα του Chernoff (Chernoff, 1973, Flury & Riedwyl, 1981), τα διαγράμματα Αστέρων (Fienberg 1979, Chambers et al, 1983), τα διαγράμματα Ιστογραμμάτων (Freni-Titulauer & Louv, 1984), τα Πολυγωνικά διαγράμματα (Chambers et al, 1983) και τα Κάστρα & Δέντρα (Hartigan & Kleiner, 1981).

4.2.1.1.5. Ορθογώνια διαγράμματα

Τα ορθογώνια διαγράμματα αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την οπτικοποίηση της δομής πινάκων συμπτώσεων (Friendly, 1992). Συγκεκριμένα, στις περισσότερες περιπτώσεις, αναπαριστούν τις αποκλίσεις ανάμεσα στις παρατηρούμενες και τις αναμενόμενες συχνότητες των κελιών ενός πίνακα, κάτω από την υπόθεση ανεξαρτησίας των μεταβλητών (Bertin, 1983, Friendly, 1994, Hartigan & Kleiner, 1981). Με άλλα λόγια, παρέχουν μια γραφική απεικόνιση του βαθμού συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών του πίνακα συμπτώσεων. Η πιο αντιπροσωπευτική μέθοδος της οικογένειας αυτής είναι το Μωσαϊκό διάγραμμα [Mosaic Plot] (Hartigan & Kleiner, 1981, Friendly, 1994).

4.2.1.2. Τεχνητή Νοημοσύνη

Οι μέθοδοι μείωσης διαστάσεων που προέρχονται από την περιοχή της Τεχνητής Νοημοσύνης εφαρμόζονται κυρίως στην Μηχανική Μάθηση [Machine Learning] και την Αναγνώριση Προτύπων [Pattern Recognition]και διακρίνονται σε πρώτο επίπεδο σε επιβλεπόμενες και ανεπίβλεπτες.

Στις επιβλεπόμενες μεθόδους, οι συσχετισμοί γίνονται βάσει της σταδιακής προσαρμογής του συστήματος σε ένα δείγμα γνωστών δεδομένων που χρησιμοποιούνται ως πρότυπα για τη σύγκριση των εισερχομένων, ως υπόδειγμα για την εκμάθηση των κριτηρίων διάκρισης [training set]. Προϋποθέτουν δηλαδή τον καθορισμό προαποφασισμένων κριτηρίων ή τουλάχιστον την ύπαρξη προδιαγεγραμμένων τύπων, οι οποίοι αντιπροσωπεύονται από τα δείγματα του συνόλου εκμάθησης και στους οποίους θα κατανεμηθούν τα μη χαρακτηρισμένα δείγματα.

Στις ανεπίβλεπτες μεθόδους δεν γίνεται εκπαίδευση του συστήματος βάσει δείγματος, αλλά η χαρτογράφηση πραγματοποιείται μέσω της απευθείας σύγκρισης όλων των στοιχείων του δείγματος κατά τρόπο ώστε να τονίζονται και να αναδεικνύονται διαφορετικοί συσχετισμοί, ανάλογα με τη μέθοδο, όπως για παράδειγμα η μέγιστη διασπορά ή η μέγιστη ομαδοποίηση στο σύνολο του δείγματος. Έτσι, τα κριτήρια δεν προδιαγράφονται παρά μόνο ως γενική πρόθεση διάκρισης και κατανομής και η κάθε ιδιότητα αποκτά σχετική βαρύτητα και ιεραρχείται ανάλογα με την εσωτερική λογική της εκάστοτε μεθόδου. Η χαρτογράφηση εξαρτάται από το συγκεκριμένο κάθε φορά σύνολο

εισερχόμενων δεδομένων και οι τυχόν ομαδοποιήσεις δεν είναι εκ των προτέρων περιγεγραμμένες, ούτε ως προς τα χαρακτηριστικά ούτε ως προς το πλήθος.

4.2.2. Επιλογή μεθόδου μείωσης διαστάσεων

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται τόσο από τον τύπο των δεδομένων όσο και από την πρόθεση της χαρτογράφησης και είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς «η επιλογή μιας μεθόδου είναι μια προκαταβολική κίνηση προς κάποιο συγκεκριμένο σύνολο λύσεων» (Cilliers, 1998: 23).

Στην περίπτωση των γενόσημων χώρων, δεν υπάρχει ούτε πρότυπο που να λειτουργεί ως αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ούτε σαφή και περιγράψιμα κριτήρια σύγκρισης. Επομένως, «δεν είναι δυνατή η χρήση εκ των προτέρων κεκτημένης γνώσης πεδίου επειδή συχνά δεν είναι γνωστό ποιες περιοχές του πεδίου είναι σχετικές και σημαντικές. […] Η δομή (του προβλήματος) δεν μπορεί να εκφραστεί, επειδή δεν μπορεί να καταστεί ρητή με συμβολικούς όρους» (Cilliers, 1998: 21-22).

Πρόκειται για κάτι ανάλογο με αυτό που περιγράφεται από τους Rittel και Weber (1973) ως «wicked problems», όπου δεν υφίσταται σαφής διατύπωση του προβλήματος και «κάθε προσδιορισμός του προβλήματος είναι ένας προσδιορισμός της κατεύθυνσης στην οποία θεωρείται μια αντιμετώπιση», με αποτέλεσμα να μην υπάρχει τρόπος εκ των προτέρων ορισμού των καταλληλότερων χαρακτηριστικών προς ποσοτικοποίηση και των κριτηρίων κατηγοριοποίησης.

Ακόμα και στην πιλοτική εφαρμογή που αναφέρεται στη δυνατότητα διάκρισης μεταξύ οικοδομικών τετραγώνων από διαφορετικές αστικές περιοχές, όπου οι κατηγορίες είναι δεδομένες, δεν υπάρχει κατεξοχήν υπόδειγμα χαρακτηριστικού τετραγώνου για κάθε περιοχή και κυρίως οι κατηγορίες δεν αποτελούν στην ουσία προκαθορισμένους τύπους υπαγωγής του δείγματος, αλλά μέσο εκ των υστέρων ελέγχου και επαλήθευσης των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης.

Σύμφωνα με την υπόθεση ότι η ταυτότητα του αντικειμένου αναδύεται από τον αλληλοσυσχετισμό μεταξύ των πολλαπλών διαστάσεών του, προκειμένου να αναπαρασταθούν τα αναδυόμενα αυτά χαρακτηριστικά επιχειρείται μια μη-ερμηνευτική, μη-συμβολική προσέγγιση ικανή να διαχειρίζεται τη μη ιεραρχική δομή των διακριτών διαστάσεων και την ασάφεια των συσχετισμών εντός του συστήματος.

Δεδομένων των χαρακτηριστικών αυτών, επιλέχθηκε η εφαρμογή ανεπίβλεπτων μεθόδων μείωσης διαστάσεων του πολυδιάστατου χώρου αναπαράστασης.

4.2.2.1. Πιλοτική εφαρμογή

Στην πιλοτική εφαρμογή, όπου τα δείγματα είναι χαρακτηρισμένα, δηλαδή είναι γνωστό εκ των προτέρων σε ποια γειτονιά ανήκουν, χρησιμοποιείται μία μόνο μέθοδος μείωσης διαστάσεων, και συγκεκριμένα η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis), που υπάγεται στις Στατιστικές Μεθόδους Μείωσης του Αριθμού των διαστάσεων, και τα αποτελέσματα αξιολογούνται ως προς τη σύγκλισή τους με τις ήδη γνωστές κατηγορίες.

4.2.2.2. Κυρίως εφαρμογή

Αντίθετα, στη δεύτερη εφαρμογή, όπου δεν υπάρχουν προδιαγεγραμμένες κατηγορίες και επομένως ούτε κριτήρια αξιολόγησης, θεωρήθηκε σκόπιμο να δοκιμαστούν περισσότερες της μίας μέθοδοι μείωσης διαστάσεων, προκειμένου τα αποτελέσματα να διασταυρωθούν, να συγκριθούν μεταξύ τους

και να συνδυαστούν, καθώς «όταν έχουμε να κάνουμε με πολύπλοκα φαινόμενα, καμία μεμονωμένη μέθοδος δεν θα αποκαλύψει ολόκληρη την αλήθεια» (Cilliers, 1998: 23).

Έτσι, για την εφαρμογή αυτή, επιλέγονται τρεις διαφορετικές αλγοριθμικές μέθοδοι για τη χαρτογράφηση και την οπτικοποίηση πολυδιάστατων δεδομένων και συγκρίνονται μεταξύ τους. Πρόκειται για εφαρμογές Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών [Principal Component Analysis], Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων, και συγκεκριμένα δικτύων Kohonen, και τέλος Προσομοίωσης Φυσικής σε σύστημα Σωματιδίων-Ελατηρίων [Particle-Spring System].

Δεδομένου ότι οι χώροι που αναλύονται δεν είναι χαρακτηρισμένοι, επιλέγονται μη-επιβλεπόμενες μέθοδοι. Αν και οι τρεις μέθοδοι εκφράζουν διαφορετικές προσεγγίσεις, καθώς προέρχονται από το χώρο της στατιστικής ανάλυσης, της τεχνητής νοημοσύνης και της υπολογιστικής προσομοίωσης φυσικής αντίστοιχα, παρέχουν τη δυνατότητα διατήρησης και ανάδειξης κρυμμένων δομών πληροφορίας εντός των δεδομένων, παράγοντας κατανοητές και χρήσιμες οπτικοποιήσεις του συστήματος συσχετισμών εντός του αρχικού πολυδιάστατου συνόλου δεδομένων.

4.3. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών [Principal Component Analysis (PCA)]

Η μέθοδος που εφαρμόζεται τόσο στην πιλοτική όσο και στην κυρίως εφαρμογή για τη μείωση διαστάσεων και την οπτικοποίηση του πολυδιάστατου χώρου ιδιοτήτων, στον οποίο κάθε χωρική ενότητα αντιστοιχεί σε ένα μοναδικά καθορισμένο σημείο, είναι η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών [Principal Component Analysis].

Η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, είναι μια μέθοδος πολυπαραγοντικής ανάλυσης, δηλαδή μια τεχνική για την ταυτόχρονη ανάλυση πολλαπλών μεταβλητών, κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχεί σε μια διακριτή διάσταση. Πρόκειται για μια μαθηματική μέθοδο που προέρχεται από την περιοχή της Στατιστικής Ανάλυσης και εφαρμόζεται κυρίως ως τεχνική διερευνητικής ανάλυσης δεδομένων, χρήσιμη και για την παραγωγή μοντέλων πρόβλεψης.

Σύμφωνα με τον Jolliffe (2002: 1) «η κεντρική ιδέα της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών είναι να μειώσει τις διαστάσεις ενός συνόλου δεδομένων εντός του οποίου υπάρχει μεγάλο πλήθος συσχετισμένων μεταβλητών, διατηρώντας το μέγιστο βαθμό μεταβολής [variation] που υπάρχει στο σύνολο δεδομένων. Αυτή η μείωση επιτυγχάνεται μέσω του μετασχηματισμού σε ένα νέο σύνολο μεταβλητών, των Κύριων Συνιστωσών [Principal Components], οι οποίες είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους και ταξινομημένες σε φθίνουσα σειρά μεγέθους, ώστε οι πρώτες λίγες να διατηρούν το μεγαλύτερο μέρος της μεταβολής που υπάρχει σε όλες τις αρχικές μεταβλητές».

«Η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών παρέχει ένα μοντέλο της μεταβολής εντός ενός συνόλου μεταβλητών με όρους ενός μικρότερου πλήθους ανεξάρτητων γραμμικών συνδυασμών (Κύριες Συνιστώσες) αυτών των μεταβλητών» (SAS Institute Inc., 2015: 83).

Αυτές οι νέες μεταβλητές είναι τεχνητές και εξ ολοκλήρου υπολογιστικές. Αποδίδουν το μεγαλύτερο μέρος της μεταβολής των αρχικών μεταβλητών χωρίς να αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες, διακριτές διαστάσεις του αρχικού πολυδιάστατου χώρου. Σύμφωνα με τον Hanna (2006: 8), οι διαστάσεις του παραγόμενου χώρου ιδιοτήτων έχουν νόημα μόνο από στατιστική άποψη, και όχι με την έννοια ότι μπορούν εύκολα να περιγραφούν.

Το πλήθος των Κυρίων Συνιστωσών που εξάγονται από κάθε ανάλυση είναι ίσο με το πλήθος των αρχικών μεταβλητών. Επειδή όμως ταξινομούνται ανάλογα με το βαθμό της διακύμανσης που αποδίδουν, οι πρώτες κατά σειρά διατηρούν το μέγιστο βαθμό της συνολικής διακύμανσης, με αποτέλεσμα ένα μικρό υποσύνολό τους να επαρκεί για την ικανοποιητική έκφραση των συσχετισμών μεταξύ των πολυδιάστατων δεδομένων σε λιγότερες διαστάσεις[2].

Έτσι, η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών είναι χρήσιμη για την διερεύνηση της κατανομής σημείων ως προς πολλαπλές συσχετισμένες μεταβλητές, αναδεικνύοντας τις επικρατέστερες κατευθύνσεις των πολυδιάστατων δεδομένων. Η μέθοδος αυτή μειώνει το πλήθος των διαστάσεων των δεδομένων και επιτρέπει την οπτικοποίηση πολυπαραγοντικών δεδομένων ανάγοντάς τα σε γραφικά αναπαριστάμενες διαστάσεις. «Οι Κύριες Συνιστώσες προσφέρουν έναν τρόπο εικονοποίησης της δομής των δεδομένων με τον πληρέστερο τρόπο χρησιμοποιώντας τις ελάχιστες δυνατές μεταβλητές» (SAS Institute Inc., 2015: 83).

[2] «Η χρήση m Κυρίων Συνιστωσών αντί για p μεταβλητές μειώνει σημαντικά τις διαστάσεις του προβλήματος όταν m << p, αλλά συνήθως οι τιμές όλων των p μεταβλητών απαιτούνται προκειμένου να υπολογιστούν οι Κύριες Συνιστώσες, δεδομένου ότι κάθε Κύρια Συνιστώσα πιθανότατα θα είναι συνάρτηση όλων των p μεταβλητών» (Jolliffe, 2002: 111).

Οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ των σημείων που αναπαριστούν τα δεδομένων στο χώρο μειωμένων διαστάσεων αποτελούν ένα μέτρο ομοιότητας και διαφοράς, αποδίδοντας εντάσεις συσχετισμών μάλλον παρά συγκρίσεις ρητά προσδιορισμένων χωρικών χαρακτηριστικών.

4.3.1. Αλγεβρικοί και γεωμετρικοί ορισμοί και χαρακτηριστικά

4.3.1.1. Αλγεβρική προσέγγιση

Στόχος της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών είναι να μειώσει το πλήθος των διαστάσεων ενός συνόλου δεδομένων, εξάγοντας ένα μικρό πλήθος ανεξάρτητων γραμμικών συνδυασμών, των Κυρίων Συνιστωσών, ενός συνόλου μετρημένων μεταβλητών που να αποδίδουν το μέγιστο δυνατό της μεταβολής των αρχικών μεταβλητών (SAS Institute Inc., 2015).

Ουσιαστικά, η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών είναι μια «ανεπίβλεπτη προσέγγιση για τη εύρεση των «κατάλληλων» χαρακτηριστικών από τα δεδομένα. [...] Προβάλλει ν-διάστατα δεδομένα σε έναν υποχώρο λιγότερων διαστάσεων κατά τρόπο που είναι βέλτιστος ως προς το σφάλμα αθροίσματος τετραγώνων [sum-squared error]» (Duda et al, 2001: 568).

Η μέθοδος αυτή αξιολογεί σε ποιες διαστάσεις το σύνολο των δεδομένων είναι πιθανό να διαφοροποιείται περισσότερο. Αυτές οι διαστάσεις, οι Κύριες Συνιστώσες, αντιστοιχούν στα ιδιοδιανύσματα [eigenvectors] με τις υψηλότερες ιδιοτιμές [eigenvalues][3] και χρησιμοποιούνται για την προβολή των δεδομένων σε χώρο λίγων διαστάσεων (Duda et al, 2001, Hanna, 2007c, 2006), συνήθως δύο ή τριών ώστε να είναι δυνατή η άμεση οπτικοποίηση του συστήματος.

Σύμφωνα με τους O'Rourke και Hatcher (2013: 7), μια Κύρια Συνιστώσα ορίζεται ως ένας γραμμικός συνδυασμός βέλτιστα διαβαθμισμένων παρατηρούμενων μεταβλητών. Ο όρος «γραμμικός συνδυασμός» αναφέρεται στο γεγονός ότι η βαθμολογία μιας συνιστώσας δημιουργείται από το άθροισμα της βαθμολογίας επί των παρατηρούμενων μεταβλητών που αναλύονται. Το «βέλτιστα διαβαθμισμένων» αναφέρεται στο γεγονός ότι οι παρατηρούμενες μεταβλητές διαβαθμίζονται με τρόπο ώστε οι προκύπτουσες συνιστώσες να αποδίδουν ένα μέγιστο βαθμό της διακύμανσης [variance] εντός του συνόλου δεδομένων.

Από τις ιδιότητες αυτές, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι Κύριες Συνιστώσες είναι μεταξύ τους ασυσχέτιστες (Jolliffe, 2002: 1) ή αλλιώς ορθόγωνες, προκύπτουν κάποια βασικά χαρακτηριστικά της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (O'Rourke & Hatcher, 2013: 7-8).

Συγκεκριμένα, η πρώτη Συνιστώσα που εξάγεται σε μια Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών αποδίδει ένα μέγιστο βαθμό της συνολικής διακύμανσης εντός των παρατηρούμενων μεταβλητών. Κάτω από τυπικές συνθήκες, αυτό σημαίνει ότι η πρώτη Κύρια Συνιστώσα συσχετίζεται με τουλάχιστον κάποιες από τις παρατηρούμενες μεταβλητές. Μπορεί να συσχετίζεται και με πολλές.

Η δεύτερη εξαγόμενη Συνιστώσα έχει δύο βασικά χαρακτηριστικά. Πρώτον, αποδίδει ένα μέγιστο μέρος της συνολικής διακύμανσης εντός του συνόλου των δεδομένων, το οποίο δεν αποδόθηκε από την πρώτη Κύρια Συνιστώσα. Και πάλι κάτω από τυπικές συνθήκες, αυτό σημαίνει ότι η δεύτερη Κύρια Συνιστώσα συσχετίζεται με κάποιες από τις παρατηρούμενες μεταβλητές οι οποίες δεν εμφάνιζαν ισχυρή συσχέτιση με την πρώτη Κύρια Συνιστώσα. Το δεύτερο χαρακτηριστικό της

[3] Οι ιδιοτιμές αυτές είναι ένα σύνολο βέλτιστων βαρών, με την έννοια ότι «για ένα σύνολο δεδομένων, κανένα άλλο σύνολο βαρών δεν θα μπορούσε να παράξει ένα σύνολο συνιστωσών που να είναι πιο αποδοτικές ως προς την έκφραση της διακύμανσης εντός των παρατηρούμενων μεταβλητών» (O'Rourke & Hatcher, 2013: 7).

δεύτερης Συνιστώσας είναι ότι είναι ασυσχέτιστη με την πρώτη. Αν δηλαδή υπολογίζαμε τη συσχέτιση μεταξύ των Κυρίων Συνιστωσών 1 και 2, το αποτέλεσμα θα ήταν μηδέν.

Οι υπόλοιπες Συνιστώσες που εξάγονται από την ανάλυση εμφανίζουν τα ίδια δύο χαρακτηριστικά, δηλαδή κάθε Κύρια Συνιστώσα αποδίδει ένα μέγιστο τμήμα της διακύμανσης εντός των παρατηρούμενων μεταβλητών το οποίο δεν αποδόθηκε από τις προηγούμενες Συνιστώσες, και είναι ασυσχέτιστη με όλες τις προηγούμενες Συνιστώσες. Μια Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών εξελίσσεται κατά αυτόν τον τρόπο, με κάθε νέα Συνιστώσα να αποδίδει διαδοχικά μικρότερο ποσοστό διακύμανσης. Όταν η ανάλυση ολοκληρωθεί, οι εξαγόμενες Συνιστώσες, που σε πλήθος είναι τόσες όσες και οι παρατηρούμενες μεταβλητές, εμφανίζουν ποικίλους βαθμούς συσχέτισης και τις παρατηρούμενες μεταβλητές, αλλά είναι πλήρως ασυσχέτιστες μεταξύ τους.

Σύμφωνα με αυτά τα χαρακτηριστικά, «αν ένα σύνολο p (> 2) μεταβλητών εμφανίζει ουσιαστική συσχέτιση μεταξύ τους, τότε οι πρώτες λίγες Κύριες Συνιστώσες θα αποδίδουν το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης εντός των αρχικών μεταβλητών. Αντίθετα, οι τελευταίες λίγες Κύριες Συνιστώσες εντοπίζουν κατευθύνσεις στις οποίες υπάρχει πολύ μικρή διακύμανση, δηλαδή εντοπίζουν σχεδόν σταθερές γραμμικές σχέσεις μεταξύ των αρχικών μεταβλητών» (Jolliffe, 2002: 3).

Έτσι, πραγματοποιώντας τη γραφική αναπαράσταση όλων των μετρήσεων και προβάλλοντάς τις πάνω στις πρώτες λίγες, συνήθως δύο ή τρεις κύριες συνιστώσες, προκύπτει μια νέα, δισδιάστατη ή τρισδιάστατη κατανομή σημείων, που διατηρεί στο μέγιστο βαθμό τη δομή των συσχετισμών μεταξύ των αρχικών πολυδιάστατων δεδομένων, με όρους διακύμανσης.

4.3.1.2. Γεωμετρική προσέγγιση

Οι παραπάνω ορισμοί της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών αναφέρονται στη λογική εφαρμογής της μεθόδου και εκφράζουν τις αλγεβρικές της ιδιότητες.

Μια γεωμετρική προσέγγιση της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών εστιάζει περισσότερο σε βασικές χωρικές ιδιότητες της μεθόδου.

Έτσι, στα πλαίσια μιας γεωμετρικής προσέγγισης, η διαδικασία με την οποία προσδιορίζονται οι Κύριες Συνιστώσες μπορεί να γίνει αντιληπτή γεωμετρικά «αν φανταστούμε τα σημεία των δεδομένων x1, x2, ..., xv να σχηματίζουν ένα ν-διάστατο υπερελλειψοειδές νέφος. Τότε τα ιδιοδιανύσματα του πίνακα διασποράς [scatter matrix] είναι οι βασικοί άξονες του υπερελλειψοειδούς. Η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών μειώνει το πλήθος των διαστάσεων του χώρου ιδιοτήτων επικεντρώνοντας την προσοχή σε αυτές τις κατευθύνσεις κατά τις οποίες η διασπορά του νέφους είναι μεγαλύτερη» (Duda et al, 2001: 117).

Σε αυτή τη γεωμετρική περιγραφή παραπέμπει και ο Jolliffe, δίνοντας έμφαση στην ορθογωνικότητα[4] των Κυρίων Συνιστωσών. Συγκεκριμένα, αναφέρει ότι «αν θεωρήσουμε μια οικογένεια p-διάστατων ελλειψοειδών, οι Κύριες Συνιστώσες ορίζουν τους κύριους άξονες των ελλειψοειδών αυτών. […] Ο πρώτος (μεγαλύτερος) κύριος άξονας ορίζει τότε την κατεύθυνση κατά την οποία η στατιστική διακύμανση είναι η μέγιστη. […] Ο δεύτερος κύριος άξονας μεγιστοποιεί τη στατιστική διακύμανση, όντας ταυτόχρονα ορθογώνιος ως προς τον πρώτο, κι ούτω καθεξής για τους υπόλοιπους άξονες» (Jolliffe, 2002: 18).

[4] Δύο ορθόγωνα διανύσματα, δηλαδή κάθετα μεταξύ τους, είναι ασυσχέτιστα.

Άλλοι γεωμετρικοί ορισμοί αναφέρονται στην ιδιότητα ελαχιστοποίησης της απόστασης των μετασχηματισμένων μεταβλητών από τον πολυδιάστατο χώρο που καταλαμβάνουν οι αρχικές μεταβλητές και αντίστροφα, των αρχικών μεταβλητών από τον υποχώρο όπου προβάλλονται.

Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, οι Flury και Riedwyl (1988: Section 10.6) ερμηνεύουν την Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών ως την επιτυχή εύρεση ορθογώνιων μεταξύ τους κατευθύνσεων για τις οποίες η απόσταση Mahalanobis[5] από το σύνολο δεδομένων προς μια υπερσφαίρα που περικλείει όλα τα δεδομένα ελαχιστοποιείται.

Μια πρώιμη περιγραφή αυτής της διαδικασίας δίνεται από τον Pearson (1901), χωρίς όμως να αναφέρεται ακόμα στον όρο Κύριες Συνιστώσες. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Jolliffe (2002: 36), «για ένα σύνολο σημείων σε χώρο p διαστάσεων, ο Pearson βρήκε τη 'γραμμή βέλτιστης προσέγγισης' [best-fitting line] και το 'υπερεπίπεδο βέλτιστης προσέγγισης' [best-fitting hyperplane], ώστε να ελαχιστοποιείται το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των σημείων από τη γραμμή ή το υπερεπίπεδο. Η γραμμή βέλτιστης προσέγγισης προσδιορίζει την πρώτη Κύρια Συνιστώσα, αν και ο Pearson δεν χρησιμοποιεί αυτό τον όρο, ενώ η διεύθυνση της τελευταίας Κύριας Συνιστώσας είναι κάθετη στο υπερεπίπεδο βέλτιστης προσέγγισης.»

Με την προσέγγιση αυτή του Pearson (1901), συμφωνεί και ο γεωμετρικός ορισμός της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών, σύμφωνα με τον οποίο οι Κύριες Συνιστώσες ενός δείγματος δεδομένων ορίζονται ως «οι γραμμικές συναρτήσεις (προβολές) των x1, x2, …, xn που ορίζουν διαδοχικά υποχώρους 1, 2, …, q, …, (p − 1) διαστάσεων για τις οποίες το άθροισμα των τετραγώνων των κάθετων μεταξύ τους αποστάσεων των x1, x2, …, xn από τον εκάστοτε υποχώρο ελαχιστοποιείται» Jolliffe (2002: 36). Αυτός ο ορισμός παρέχει μια ακόμα ερμηνεία των Κύριων Συνιστωσών ως εκφραστών της μέγιστης δυνατής διακύμανσης μεταξύ των δεδομένων, εντός ενός χώρου λιγότερων διαστάσεων.

Βασική γεωμετρική ιδιότητα της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, είναι ότι «το αναμενόμενο τετράγωνο της Ευκλείδειας απόστασης, σε έναν q-διάστατο υποχώρο, μεταξύ δύο διανυσμάτων p τυχαίων μεταβλητών με την ίδια κατανομή, μεγιστοποιείται αν ο υποχώρος ορίζεται από τις πρώτες q κύριες συνιστώσες» (Jolliffe, 2002: 19). Η πρόταση αυτή υποστηρίζει, και από τη γεωμετρική σκοπιά, την υπόθεση ότι αν προβάλουμε τις αρχικές πολυδιάστατες μεταβλητές σε υποχώρο που ορίζεται από τις πρώτες q Κύριες Συνιστώσες, επιτυγχάνεται μείωση διαστάσεων και ταυτόχρονα η μέγιστη δυνατή διάκριση μεταξύ των δεδομένων. Η απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων στον πολυδιάστατο χώρο αποτελεί μέτρο της γενικευμένης διακύμανσης.

Επομένως, η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών επιτρέπει τον αλγεβρικό ή γεωμετρικό ορισμό ενός χώρου, λιγότερων διαστάσεων από το χώρο των αρχικών μεταβλητών, του οποίου οι διαστάσεις, οι Κύριες Συνιστώσες, είναι ορθόγωνες μεταξύ τους και αποδίδουν τη μέγιστη διάκριση μεταξύ των προβαλλόμενων μεταβλητών, με όρους διακύμανσης.

[5] Η απόσταση Mahalanobis μεταξύ δύο παρατηρήσεων (πολυδιάστατων διανυσμάτων) xi και xj είναι:

$\delta^2 = (xj - xi)^T \Sigma^{-1} (xj - xi)$, όπου Σ ο πίνακας συνδιασποράς (Joliffe, 2002: 92, Bishop, 2006: 80). Η απόσταση Mahalanobis «χρησιμοποιείται συχνά ως εναλλακτική της Ευκλείδειας απόστασης $d^2 = (xj - xi)^T (xj - xi)$» (Joliffe, 2002: 92) και ισούται με αυτήν όταν ο πίνακας συνδιασποράς είναι ο μοναδιαίος πίνακας [identity matrix] (Bishop, 2006: 80).

4.3.2. Ιστορία

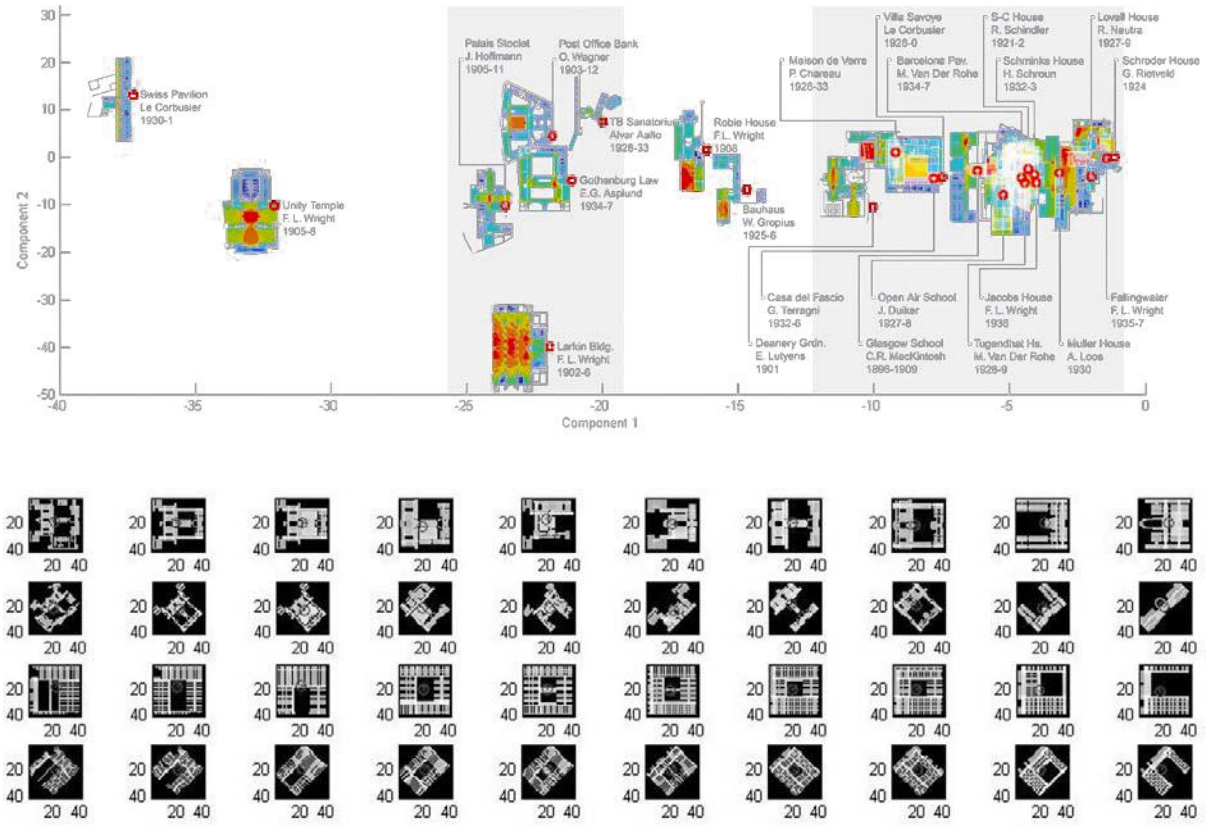
Κατά τον Jolliffe (2002: 1), η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών είναι πιθανότατα η παλαιότερη και περισσότερο γνωστή από τις τεχνικές πολυπαραγοντικής ανάλυσης. Αρχικά εισήχθη από τον Pearson (1901), αλλά αναπτύχθηκε ανεξάρτητα από τον Hotelling (1933). Αν και πρόκειται για μια αρκετά παλιά μέθοδο, η χρήση της παρέμεινε εξαιρετικά περιορισμένη μέχρι την έλευση και τη διάδοση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, γεγονός που ισχύει και για τις περισσότερες πολυπαραγοντικές μεθόδους. Τα τελευταία χρόνια αποτελεί μια εξαιρετικά διαδεδομένη μέθοδο, που έχει ενσωματωθεί στα περισσότερα λογισμικά στατιστικής ανάλυσης.

4.3.3. Εφαρμογές

Η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών βρίσκει εφαρμογή σε μεγάλο εύρος επιστημονικών και παραγωγικών πεδίων. Ενδεικτικά, ο Jolliffe (2002: 9) αναφέρει εφαρμογές στην αγροτική παραγωγή, τη βιολογία, τη χημεία, την κλιματολογία, τη δημογραφία, την οικολογία, την οικονομία, τη διατροφική έρευνα, τη γενετική, τη γεωλογία, τη μετεωρολογία, την ωκεανογραφία, την ψυχολογία και τον ποιοτικό έλεγχο και επισημαίνει ότι αυτά αποτελούν ενδεικτικά μόνο παραδείγματα.

4.3.3.1. Αρχιτεκτονικές εφαρμογές

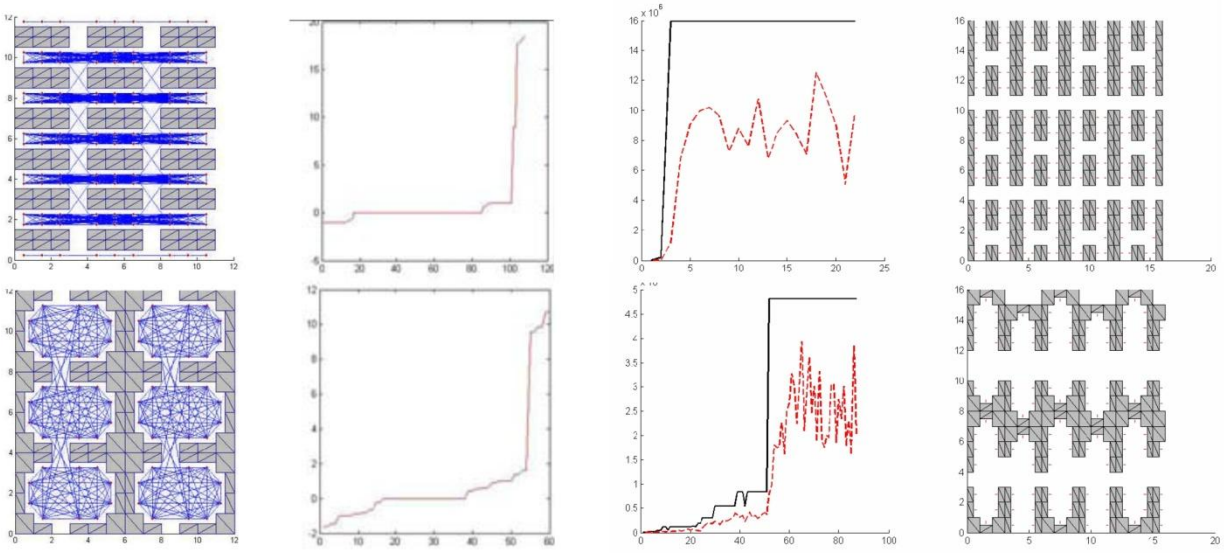
Στην περιοχή της χωρικής ανάλυσης και του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού, η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών έχει χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εφαρμογές για την ταξινόμηση χώρων, αλλά κάποιες φορές και ως υποστηρικτικό στάδιο στο σχεδιασμό. Για παράδειγμα, ο Hanna την έχει εφαρμόσει τόσο σε αναλυτικό όσο και σε συνθετικό-γενεσιουργό πλαίσιο με σκοπό την κατηγοριοποίηση (Hanna, 2012, 2009, 2007a, 2007b, 2007c, 2006) (Εικόνα 4 - 1) αλλά και την παραγωγή κατόψεων (Hanna, 2007a, 2007b) (Εικόνα 4 - 2). Ο Hanna έχει αναπτύξει μια μέθοδο στην οποία χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον μετρήσεις προερχόμενες από «αξονικούς χάρτες» και «χάρτες ορίων» (Hillier & Hanson, 1984) για την αναπαράσταση και τη σύγκριση υφιστάμενων ή γενεσιουργά παραγόμενων κατόψεων σε πολυδιάστατο χώρο. Βαθμοί ομοιότητας και διαφορετικότητας μετρώνται μέσω της σύγκρισης των πολυδιάστατων φασματικών γραφημάτων αξονικών χαρτών [axial graph spectra] που αντιστοιχούν στις υπό μελέτη κατόψεις. Για τη μείωση του πλήθους των διαστάσεων των φασματικών γραφημάτων εφαρμόζεται η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών. Η μέθοδος κατηγοριοποίησης αξονικών φασματικών γραφημάτων με τη χρήση Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών έχει χρησιμοποιηθεί για την περιγραφή διαφορετικών αρχιτεκτονικών στυλ μέσω του ορισμού αρχετύπων στο χώρο ιδιοτήτων (Hanna, 2007c, 2006), καθώς και για την κατηγοριοποίηση διαφορετικών διατάξεων επίπλων (Hanna, 2007a, 2007b), κατόψεων διαφορετικών τύπων κτιρίων (Hanna, 2007c), αλλά και ολόκληρων πόλεων (Hanna, 2009).



Εικόνα 4 - 1.

Κατηγοριοποίηση κατόψεων κτιρίων βάσει Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών των Φασμάτων Αξονικών Χαρτών των κατόψεων (Hanna, 2007c: 10 - 11)

Παραδείγματα κατόψεων αποδιδόμενων στο χώρο ιδιοτήτων [feature space] (πάνω) και κατηγοριοποίηση κτιριακών τύπων (κάτω): Οι δύο πάνω γραμμές αντιστοιχούν σε κατόψεις μουσείων, ενώ οι δύο κάτω γραμμές σε κατόψεις γραφείων



Εικόνα 4 - 2.

Φάσματα Αξονικών Χαρτών (Hanna, 2007a: 6, 2007b: 216)

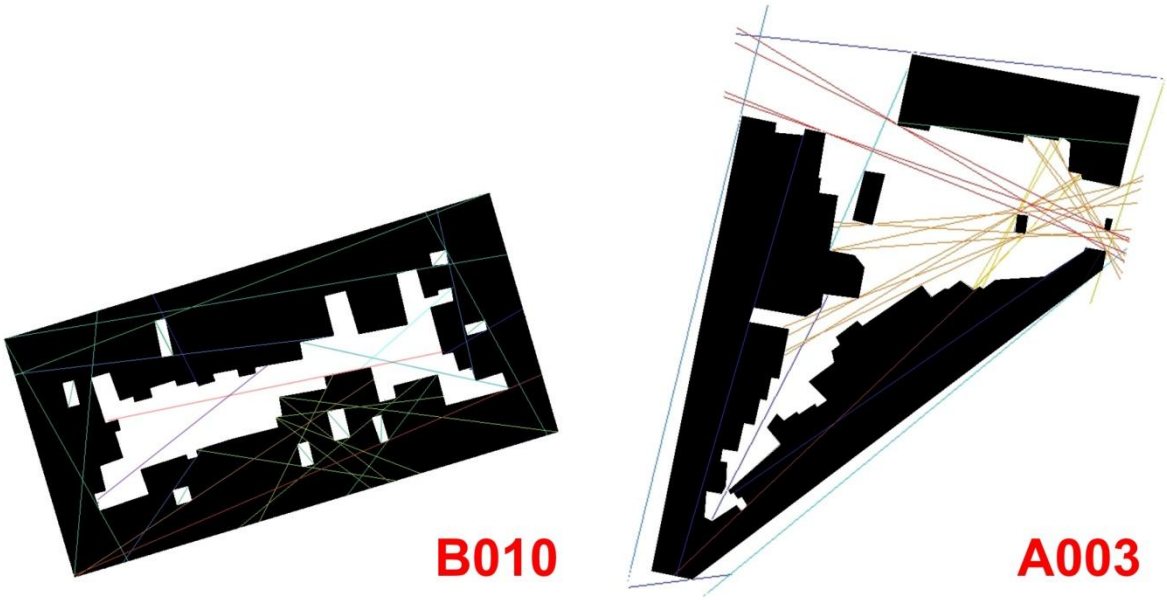
Αξονικοί χάρτες για διαφορετικές διατάξεις γραφείων και τα αντίστοιχα φάσματα (αριστερά), νέες διατάξεις με παρόμοια φάσματα, παραγόμενες από γενετικό αλγόριθμο (δεξιά)

Η μέθοδος αυτή, έχοντας αποδειχθεί ότι επιτρέπει την αυτόματη αναπαράσταση κατόψεων εντός ενός ενιαίου και ομοιότροπου χώρου ιδιοτήτων κατά τρόπο ώστε νε επισημαίνονται βαθμοί διαφοράς χωρίς να απαιτείται ρητή περιγραφή των συγκρινόμενων χαρακτηριστικών, εφαρμόστηκε

δοκιμαστικά και στα πλαίσια της πιλοτικής εφαρμογής ως ανεξάρτητη διερευνητική κατεύθυνση, αλλά η δυσκολία ενσωμάτωσης των αποτελεσμάτων στη συνολική μεθοδολογία δεν υποστήριξε την ένταξή της στην τελική εφαρμογή.

4.3.3.2. Εφαρμογή Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών σε Φάσματα Αξονικών Γράφων

Στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά μετρήσεις από αξονικούς χάρτες των οικοδομικών τετραγώνων (Εικόνα 4 - 3). Από τους αξονικούς χάρτες εξάγονται τα φασματικά τους γραφήματα [graph spectra], που είναι ουσιαστικά διατεταγμένα σύνολα ιδιοτιμών των πινάκων συνδεσιμότητας των αντίστοιχων αξονικών χαρτών. Σύμφωνα με τον Hanna, «έχει αποδειχθεί ότι τα φάσματα διαφόρων γράφων αποτελούν αποτελεσματική χωρική αναπαράσταση, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση ομοιότητας καθολικής και τοπικής χωρικής δομής» (Hanna, 2007a: 12).



Εικόνα 4 - 3.
Αξονικοί χάρτες δύο δειγμάτων

Ελαττωμένοι αξονικοί χάρτες για τα αδόμητα και τα δομημένα τμήματα του οικοδομικού τετραγώνου, συμπεριλαμβανόμενης και μιας περιμετρικής ζώνης ανοιχτού χώρου γύρω από τα προσβάσιμα οικοδομικά τετράγωνα

Η εφαρμογή της μεθόδου βασίζεται σε αλγόριθμο που συντάχθηκε και προσαρμόστηκε κατάλληλα από τον Sean Hanna, σε γλώσσα προγραμματισμού Matlab. Οι αξονικοί χάρτες παράγονται και εξάγονται από το λογισμικό χωρικής ανάλυσης Depthmap της Space Syntax.

4.3.3.2.1. Περιγραφή μεθόδου

Για όλους τους επιμέρους χώρους που αποτελούν κάθε οικοδομικό τετράγωνο, κτισμένους και αδόμητους, παράγονται αξονικοί χάρτες, με τη χρήση του λογισμικού χωρικής ανάλυσης Depthmap της Space Syntax. Στους χώρους αυτούς συμπεριλαμβάνεται και μια ζώνη αδόμητου χώρου περιμετρικά του οικοδομικού τετραγώνου (η ζώνη μεταξύ ρυμοτομικής και οικοδομικής γραμμής) προκειμένου να αποτυπωθούν διαφορές μεταξύ περίκλειστων και ανοιχτών προς το δρόμο αδόμητων χώρων εντός των τετραγώνων (Εικόνα 4 - 3). Αρχικά δημιουργούνται πλήρεις αξονικοί χάρτες [all-line maps], οι οποίοι περιλαμβάνουν όλες τις γραμμές που διατρέχουν τον ανοιχτό χώρο της κάτοψης, συνδέοντας δύο εσωτερικές (κυρτές) γωνίες, μια εσωτερική (κυρτή) και μια εξωτερική

(κοίλη) γωνία κατά τρόπο ώστε η γραμμή να μπορεί να επεκταθεί πέρα από την εξωτερική γωνία, ή δύο εξωτερικές (κοίλες) γωνίες κατά τρόπο ώστε η γραμμή να μπορεί να επεκταθεί στο χώρο πέρα και από τις δύο γωνίες (Turner, 2004). Στη συνέχεια οι πλήρεις χάρτες ανάγονται σε ελαττωμένους αξονικούς χάρτες [fewest line maps (subsets)], διατηρώντας το ελάχιστο πλήθος γραμμών που ολοκληρώνουν όλους τους τοπολογικούς βρόχους και αποδίδουν πλήρως την αξονική δομή όλου του συστήματος (Turner, 2004). Για κάθε μειωμένο αξονικό χάρτη παράγεται ένας πίνακας συνδεσιμότητας, ο οποίος αποδίδει τις αλληλοτομίες μεταξύ όλων των ζευγών γραμμών του χάρτη. Με τον τρόπο αυτό, οι αξονικοί χάρτες μεταγράφονται σε γράφους (Hillier & Hanson, 1984: 93) και αυτοί σε πίνακες συνδεσιμότητας. Σύμφωνα με τον Hanna «για κάθε γράφο με ένα σύνολο κόμβων V και ένα σύνολο ακμών E, ο απλουστερος τρόπος αναπαράσταης του γράφου με μορφή πίνακα είναι με τη χρήση του γράφου γειτνίασης [adjacency matrix] A, ενός πίνακα διαστάσεων |V| × |V| στον οποίο A(i,j) =1 αν (i,j) Є E ή 0 σε κάθε άλλη περίπτωση[6]» (Hanna, 2007a: 4).

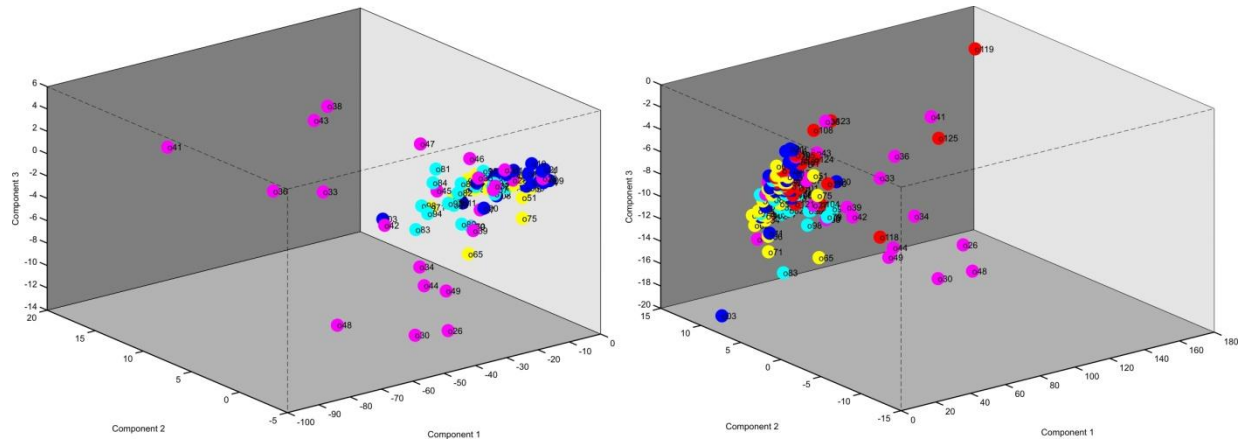
Οι πίνακες που αντιστοιχούν σε διαφορικά τμήματα του ίδιου οικοδομικού τετραγώνου συνδυάζονται σε έναν ενιαίο πίνακα, που αποδίδει τη συνδεσιμότητα στο σύνολο του τετραγώνου. Αυτοί οι πίνακες χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή του φάσματος, ή διατεταγμένου συνόλου ιδιοτιμών, των γράφων που αντιπροσωπεύουν το εκάστοτε οικοδομικό τετράγωνο. «Αυτό το φάσμα είναι χρήσιμο ως αναπαράσταση του γράφου επειδή είναι αμετάβλητο υπό οποιουσδήποτε μετασχηματισμούς του αρχικού πίνακα, και επομένως πανομοιότυπο για όλους τους ισομορφικούς γράφους» (Hanna, 2007a: 4).

Κατ' αυτόν τον τρόπο παράγεται ένα πολυδιάστατο διάνυσμα, που επιτρέπει την αναπαράσταση του κάθε οικοδομικού τετραγώνου ως μοναδικό σημείο στον πολυδιάστατο χώρο με κάθε τιμή του φάσματος να αποδίδεται σε άλλον άξονα.

Σύμφωνα με τον Hanna (2007a), τα φάσματα των αξονικών γράφων αποδίδουν τόσο τοπικούς όσο και καθολικούς τυπικούς σχηματισμούς [patterns] χωρικών διατάξεων, αφού τοπικές μεταβολές διατακτικών σχηματισμών επηρεάζουν τόσο τις τιμές του φάσματος όσο και την κατανομή τους. Επιπλέον, τα φάσματα διαφόρων γράφων «συνιστούν ένα αξιόπιστο μέτρο κατόψεων, με την έννοια ότι παρόμοιες κατόψεις έχουν φασματικά διανύσματα που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους εντός ενός πολυδιάστατου χώρου, ενώ διαφορετικές κατόψεις είναι πιο απομακρυσμένες» (Hanna, 2007a: 12).

Μετά τον υπολογισμό των φασμάτων για όλα τα οικοδομικά τετράγωνα, εφαρμόζεται σε αυτά Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, η οποία μειώνει τις διαστάσεις τους και υποδεικνύει τις διαστάσεις κατά τις οποίες το σύνολο του δείγματος διαφέρει περισσότερο. Αναπαριστώντας γραφικά τα φάσματα ως προς τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες, οι σχετικές αποστάσεις των σημείων στον μειωμένων διαστάσεων χώρο ιδιοτήτων αποτελούν έναν δείκτη ομοιότητας και διαφοράς μεταξύ των οικοδομικών τετραγώνων.

[6] Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, οι γραμμές του αξονικού χάρτη θεωρείται ότι τέμνουν τον εαυτό τους, ή ότι οι κόμβοι του αξονικού γράφου συνδέονται με τον εαυτό τους, αφού σύμφωνα με τον Hanna (2007a), η υπόθεση κόμβων μη συνδεόμενων με τον εαυτό τους, που θα σήμαινε ότι η διαγώνιος του πίνακα γειτνίασης θα είχε μηδενικά στοιχεία *diag(A)* = 0, θα αφαιρούσε δια παντός κόμβους που δεν συνδέονται με άλλους κόμβους του διαγράμματος.



Εικόνα 4 - 4.

Γραφική αναπαράσταση των Φασμάτων Αξονικών Χαρτών του δείγματος ως προς τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες

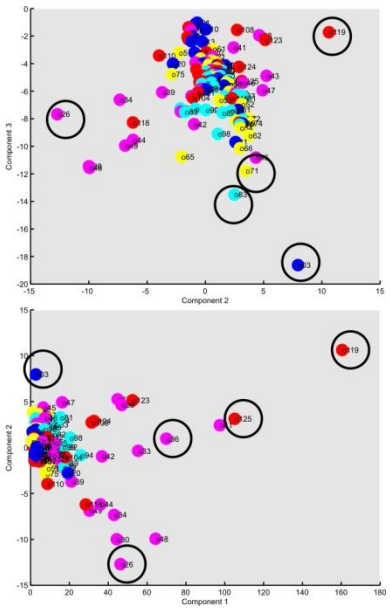
Δείγμα από την Αθήνα (αριστερά) και πλήρες δείγμα, από την Αθήνα και το Λονδίνο (δεξιά)

4.3.3.2.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών σε Φάσματα Αξονικών Γράφων

Η κατηγοριοποίηση μέσω Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών των αξονικών φασματικών γραφημάτων των οικοδομικών τετραγώνων δείχνει να διακρίνει ως ισχυρά διαφοροποιούμενες κατόψεις με μεγάλη επιφάνεια, περίμετρο και πλήθος αδόμητων χώρων (Εικόνα 4 - 5). Επίσης, παρατηρείται υψηλή συσχέτιση, θετική ή αρνητική, μεταξύ των Κυρίων Συνιστωσών των φασματικών γράφων με το πλήθος των κτισμένων και αδόμητων τμημάτων των τετραγώνων[7] (Εικόνα 4 - 6). Οι μετρήσεις αυτές είναι μετρικές, αναφερόμενες περισσότερο στο μέγεθος και τη γεωμετρία του χώρου παρά σε τοπολογικές σχέσεις. Η παρατηρούμενη συσχέτισή τους με τις Κύριες Συνιστώσες των φασματικών γράφων μπορεί να σχετίζεται απλά με το γεγονός ότι κατόψεις μεγαλύτερου μεγέθους, περιλαμβάνοντας μεγαλύτερο πλήθος διακριτών στοιχείων, είναι πιθανό να εμφανίζουν μεγαλύτερη ποικιλομορφία διατάξεων από κατόψεις μικρότερου μεγέθους (Steadman, 1998), εμφανίζοντας έτσι μεγαλύτερο εύρος διαφοροποίησης, ή μπορεί να σημαίνει ότι τα φάσματα των αξονικών γράφων επηρεάζονται περισσότερο από καθολικής κλίμακας μετρικούς μετασχηματισμούς από ότι από τοπικές τοπολογικές σχέσεις.

[7] Η φασματική ανάλυση έγινε χωριστά για τις τέσσερις περιοχές της Αθήνας και για το σύνολο του δείγματος. Και στις δύο περιπτώσεις, η πρώτη Κύρια Συνιστώσα εμφανίζει έντονη αρνητική συσχέτιση με το πλήθος των περίκλειστων κενών (-0.847 και -0.9 για την Αθήνα και το σύνολο του δείγματος αντίστοιχα) και με το συνολικό πλήθος των αδόμητων χώρων ανά τετράγωνο (-0.714 και -0.779 αντίστοιχα). Η δεύτερη Κύρια Συνιστώσα στο δείγμα της Αθήνας καθώς και η τρίτη Κύρια Συνιστώσα για το σύνολο του δείγματος συσχετίζονται με αντίθετο τρόπο με το πλήθος των δομημένων χώρων ανά τετράγωνο (0.62 και -0.667 αντίστοιχα).

point No	block No	block plan	mcv	v-value	h-value	mhv	fractal d.	total area	buildings	built No.	void per.	void No.	open%
03	A003		18.347	8.27	5.41	2.5	1.454	8736	18	5	511	1	100
26	B001		97.39	2.157	1.856	3.546	1.352	2403	13	1	141	9	2.222
36	B011		52.49	10.032	6.4364	8.47	1.505	5578.9	15	1	561	18	0
71	C021		32.867	6.42	7.82	8.7	1.575	6153.5	27	5	802	7	57.143
83	D008		38.94	6.889	7.275	11.159	1.622	5794	48	10	894	12	58.333
119	L019		73.92	5.523	8.64	10.884	1.506	12029	75	1	1488	64	48.438
125	L025		57.938	6.253	8.245	11.264	1.583	6984.12	24	1	1534	36	50



Εικόνα 4 - 5.

Φασματική ανάλυση και μετρικά χαρακτηριστικά

Έκτοπα που εμφανίζονται στην Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών επί των Φασμάτων Αξονικών Χαρτών (κυκλωμένα, δεξιά) εμφανίζουν επαναλαμβανόμενα ακραίες τιμές μετρικών χαρακτηριστικών (αριστερά)

Η μέθοδος αυτή, αν και παρέχει ένα μέτρο σύγκρισης των οικοδομικών τετραγώνων, δεν ενσωματώθηκε στη συνολική μεθοδολογία για την περιγραφή και κατηγοριοποίηση άτυπων χωρικών σχηματισμών, καθώς από τη μία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μία από τις μετρήσεις και από την άλλη η εξαγωγή συμπερασμάτων αποκλειστικά από αξονικούς γράφους δε συμβάλλει ιδιαίτερα στην πολλαπλότητα της περιγραφικής λογικής. Ωστόσο εφαρμόστηκε διερευνητικά και χρησιμοποιήθηκε για τη διασταύρωση των αποτελεσμάτων της κυρίως μεθόδου. Έτσι, παρατηρώντας τις κατανομές σημείων που προκύπτουν από τη φασματική ανάλυση και την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών επί των πολυδιάστατων διανυσμάτων ιδιοτήτων, παρατηρούνται κοινοί σχηματισμοί και διαχωρισμοί έντονα διαφοροποιούμενων δειγμάτων, που εμφανίζονται ως έκτοπα και στις δύο κατανομές (Εικόνα 4 - 7).

Athens

Correlations

	spectrum 1	spectrum 2	spectrum 3
mcv	-0,1266	-0,3078	0,0482
mhv	0,0419	-0,0529	-0,0736
v-value	0,1128	0,0613	0,0668
h-value	0,1385	0,0529	-0,0682
void perimeter	-0,3736	0,5321	-0,2771
void number	-0,7174	0,1603	-0,0435
fractal dimension	-0,1490	0,3370	-0,1713
total area	-0,3528	0,4046	-0,2099
footprint	-0,1794	-0,4929	0,0884
buildings	-0,1420	0,3739	-0,2557
builtNo	0,0975	0,6232	-0,3930
open voidNo	0,1200	0,3238	-0,1638
isolated voidNo	-0,8472	-0,0081	0,0447
contour vertices	0,0669	0,3319	-0,0995
mean height	-0,2002	-0,2864	0,1360
norm. height variance	-0,1810	0,0732	0,0080
land value	-0,4767	-0,0092	-0,0701
floor area factor	-0,2405	-0,2407	0,1351

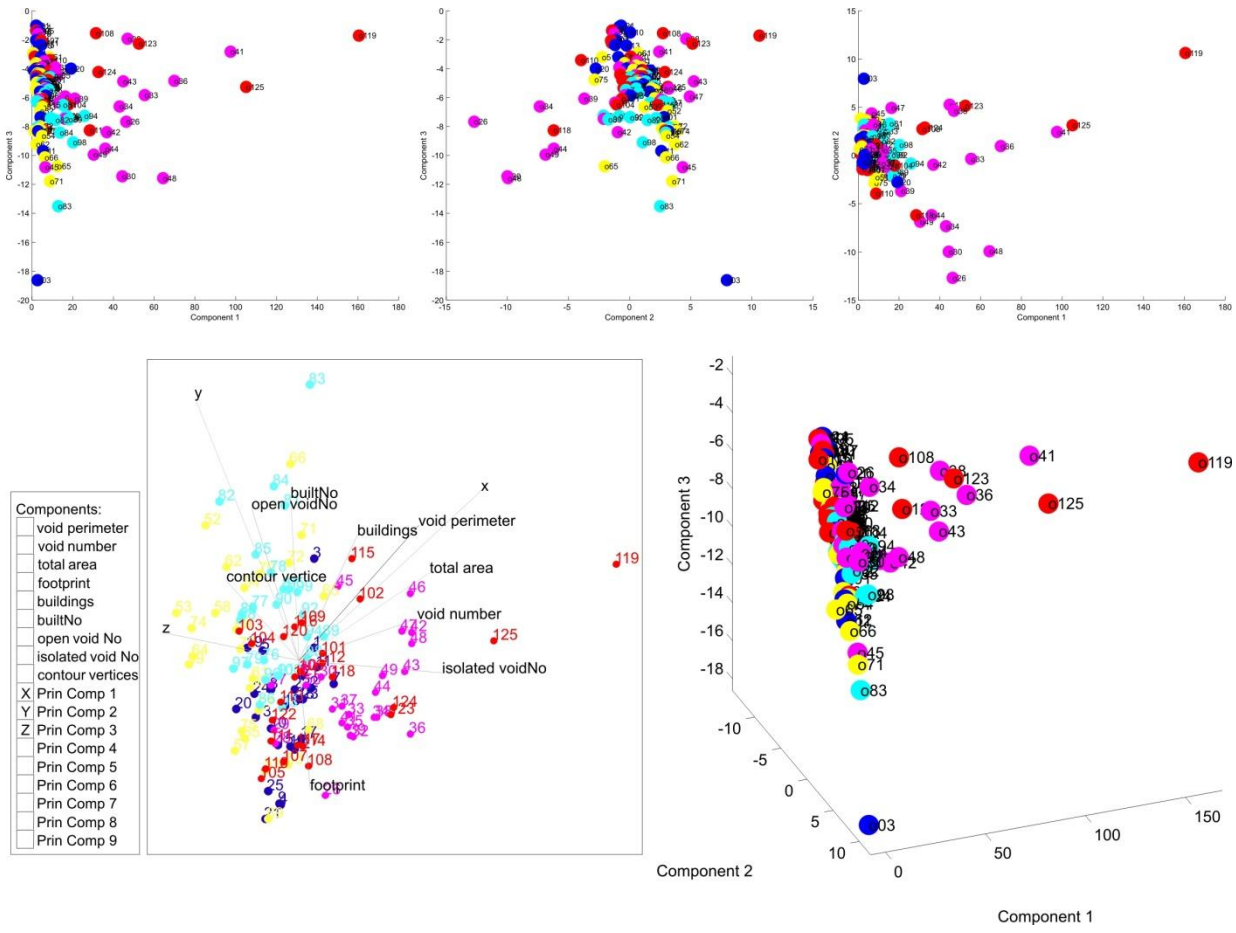
Athens+London

Correlations

	spectrum 1	spectrum 2	spectrum 3
mcv	-0,1405	-0,2306	0,2872
mhv	-0,0457	-0,0074	0,0388
v-value	0,0462	0,1659	0,0523
h-value	0,0828	0,0607	-0,0218
void perimeter	-0,5809	0,3116	-0,3585
void number	-0,7794	0,1614	0,0375
fractal dimension	-0,2001	0,1686	-0,3607
total area	-0,4572	0,2060	-0,3976
footprint	-0,1741	-0,3425	0,2945
buildings	-0,3851	0,1889	-0,2523
builtNo	0,1228	0,3057	-0,6674
open voidNo	0,0829	0,2288	-0,3518
isolated voidNo	-0,9011	-0,0082	0,0361
contour vertices	0,0640	0,2012	-0,2449

Εικόνα 4 - 6.

Συσχετίσεις των τριών πρώτων Κυρίων Συνιστωσώντης φασματικής ανάλυσης με όλες τις μετρήσεις



Εικόνα 4 - 7.

Ομοιότητες φασματικής ανάλυσης με την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών μετρικών χαρακτηριστικών

Προβολή των Φασματικών Γράφων στις δύο (πάνω) και στις τρεις (κάτω δεξιά) πρώτες Κύριες Συνιστώσες και προβολή των μετρικώνχαρακτηριστικών στις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες (κάτω αριστερά)

4.3.4. Υπολογισμός Κυρίων Συνιστωσών

Διαφορετικοί ορισμοί της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών υποδεικνύουν και αντίστοιχα διαφορετικές προσεγγίσεις του τρόπου υπολογισμού τους. Ωστόσο όλες βασίζονται σε κάποιους κοινούς βασικούς μετασχηματισμούς.

Σύμφωνα με μια γενική προσέγγιση, οι Κύριες Συνιστώσες «δίνονται από μια ορθογώνια γραμμική μετατροπή ενός συνόλου μεταβλητών ώστε να βελτιστοποιείται κάποιο συγκεκριμένο αλγεβρικό κριτήριο. Στην πραγματικότητα, οι Κύριες Συνιστώσες βελτιστοποιούν περισσότερα του ενός διαφορετικά αλγεβρικά κριτήρια» (Jolliffe, 2002: 10).

Ανεξάρτητα από ποιον ορισμό χρησιμοποιούμε, τελικά «ο υπολογισμός των Κυρίων Συνιστωσών ανάγεται στον υπολογισμό των ιδιοτιμών [eigenvalues] και ιδιοδιανυσμάτων [eigenvectors] ενός θετικού-ημιορισμένου πίνακα [positive-semidefinite matrix]» (Jolliffe, 2002: 409). Ο πίνακας αυτός μπορεί να είναι ο πίνακας συνδιασποράς [covariance matrix] ή ο πίνακας συσχέτισης [correlation matrix] των αρχικών μεταβλητών.

4.3.5. Περιγραφή του αλγορίθμου

Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η διαδικασία υπολογισμού των Κυρίων Συνιστωσών μπορεί να συνοψιστεί σε μια σειρά βασικών βημάτων (SAS Institute Inc., 2015).

Καταρχήν είναι δεδομένο ότι για ν αρχικές μεταβλητές προκύπτουν ισάριθμες (ν) Κύριες Συνιστώσες.

Η πρώτη Κύρια Συνιστώσα υπολογίζεται ως ο γραμμικός συνδυασμός των κανονικοποιημένων αρχικών μεταβλητών που εμφανίζει τη μέγιστη δυνατή διασπορά.

Κάθε ακόλουθη Κύρια Συνιστώσα προκύπτει από το γραμμικό συνδυασμό των μεταβλητών που εμφανίζει τη μέγιστη δυνατή διασπορά όντας ασυσχέτιστος με όλες τις προηγουμένως ορισμένες Κύριες Συνιστώσες.

Σε αυτή τη διαδοχική λογική, κάθε Κύρια Συνιστώσα υπολογίζεται λαμβάνοντας ένα γραμμικό συνδυασμό ενός ιδιοδιανύσματος του πίνακα συσχέτισης [correlation matrix] ή συνδιασποράς [covariance matrix] με μια μεταβλητή. Οι ιδιοτιμές αναπαριστούν τη διακύμανση της κάθε συνιστώσας.

Επομένως, ο υπολογισμός των Κυρίων Συνιστωσών περιλαμβάνει δύο βασικά βήματα. Πρώτα επιλέγεται αν θα χρησιμοποιηθεί η συσχέτιση ή η συνδιασπορά των αρχικών μεταβλητών και συντάσσεται ο αντίστοιχος πίνακας. Στη συνέχεια, υπολογίζονται τα ιδιοδιανύσματα και οι ιδιοτιμές του πίνακα αυτού και εξάγονται οι Κύριες Συνιστώσες.

4.3.5.1. Βήμα 1. Υπολογισμός του πίνακα συσχέτισης ή συνδιασποράς

Η συνδιασπορά και η συσχέτιση είναι δύο άμεσα συνδεόμενα μεγέθη που εκφράζουν τον τρόπο μεταβολής μεταξύ δύο μεταβλητών, η κάθε μια από τις οποίες παίρνει ένα πλήθος τιμών. Για τον υπολογισμό της συσχέτισης πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η συνδιασπορά. Πιο συγκεκριμένα, τα μεγέθη αυτά, καθώς και οι αντίστοιχοι πίνακες ορίζονται και υπολογίζονται ως εξής:

4.3.5.1.1. Συνδιασπορά [Covariance]

Η συνδιασπορά μεταξύ δύο μεταβλητών x και y εκφράζει τον τρόπο που μεταβάλλεται η μία ως προς την άλλη και δίνεται από τη σχέση:

$$\mathrm{cov}(x, y) \text{ ή } \sigma(x, y) = 1/n \sum_{i=1 \rightarrow n} (x[i] - \bar{x})(y[i] - \bar{y})$$

όπου:
n το πλήθος των τιμών των δύο μεταβλητών
$\bar{x}$ η μέση τιμή της μεταβλητής x
$\bar{y}$ η μέση τιμή της μεταβλητής y

4.3.5.1.2. Συσχέτιση [Correlation]

Υπάρχουν πολλά μεγέθη που αναφέρονται στη συσχέτιση μεταξύ μεταβλητών, αλλά με τον όρο συσχέτιση εννοούμε συνήθως στο Συντελεστή Συσχέτισης Pearson [Pearson correlation coefficient] (O'Rourke & Hatcher, 2013: 55). Αυτός προκύπτει από τη διαίρεση της συνδιασποράς των δύο μεταβλητών με το γινόμενο των τυπικών αποκλίσεών τους.

Η συσχέτιση δύο μεταβλητών x και y δίνεται από τη σχέση

$$\mathrm{corr}(x, y) \text{ ή } \rho(x, y) = \mathrm{cov}(x,y)/(\sigma(x) * \sigma(y))$$

όπου:
cov(x,y) η συνδιασπορά των δύο μεταβλητών
σ(x) και σ(y) η τυπική απόκλιση των x και y αντίστοιχα

4.3.5.1.3. Πίνακας συνδισποράς [covariance matrix]

Ο πίνακας συνδισποράς [Covariance matrix] ενός διανύσματος n μεταβλητών X= [x1, x2, ….xn] είναι ένας πίνακας n*n, του οποίου το στοιχείο στη θέση (i, j) είναι η συνδιασπορά μεταξύ του στοιχείου στη θέση (i) και του στοιχείου στη θέση (j) του X όταν i ≠ j και η διασπορά του στοιχείου στη θέση j του X όταν i = j (Jolliffe, 2002: 4).

Ο πίνακας συνδιασποράς Σ = cov(x[i], x[j]) είναι συμμετρικός, επειδή η συνδιασπορά του i με το j είναι ίση με τη συνδιασπορά του j με το i και τα στοιχεία της διαγωνίου αντιστοιχούν στη διασπορά των μεταβλητών. Κάθε πίνακας συνδιασποράς είναι θετικός- ημιορισμένος.

Στην περίπτωση που έχουμε n παρατηρήσεις (χώρους) επί m μεταβλητών (μετρήσεις), ο πίνακας συνδιασποράς είναι ένας πίνακας διαστάσεων m*m με στοιχείο στη θέση (j, k) το:

$$q[j, k] = 1/n \sum_{i=1 \rightarrow n} (x[i, j] - \bar{x}[j])(x[i, k] - \bar{x}[k])$$

4.3.5.1.4. Πίνακας συσχέτισης [correlation matrix]

Αντίστοιχα με τον πίνακα συνδιασποράς, ο πίνακας συσχέτισης [Correlation matrix] ενός διανύσματος n μεταβλητών X= [x1, x2, ….xn] είναι ένας πίνακας n*n, του οποίου το στοιχείο στη θέση (i, j) είναι η συσχέτιση μεταξύ του στοιχείου στη θέση (i) και του στοιχείου στη θέση (j) του X όταν i ≠ j και η μονάδα όταν i = j, αφού η συσχέτιση στοιχείου με τον εαυτό του είναι πάντα ίση με τη μονάδα.

Ο πίνακας συσχέτισης είναι ουσιαστικά ο πίνακας συνδιασποράς των κανονικοποιημένων μεταβλητών $x[i]/\sigma(x[i])$ για $i=1 \rightarrow n$, όπου $\sigma(x[i])$ η τυπική απόκλιση του x[i].

Ο πίνακας συσχέτισης corr(x[i], x[j]) είναι συμμετρικός, αφού η συσχέτιση του i με το j είναι ίση με αυτή του j με το i. Τα στοιχεία της διαγωνίου είναι πάντα ίσα με τη μονάδα, ενώ τα υπόλοιπα κυμαίνονται μεταξύ -1 και 1. Τέλος, κάθε πίνακας συνδιασποράς είναι θετικός- ημιορισμένος.

Στην περίπτωση που έχουμε n παρατηρήσεις (χώρους) επί m μεταβλητών (μετρήσεις), ο πίνακας συνδιασποράς είναι ένας πίνακας διαστάσεων m*m με στοιχείο στη θέση (j, k) το:

$$q[j, k] / (\sigma(x[j]) * \sigma(x[k])$$

4.3.5.1.5. Σχέση πίνακα συνδιασποράς και πίνακα συσχέτισης

Ο πίνακας συνδιασποράς και ο πίνακας συσχέτισης σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους και μάλιστα ο δεύτερος μπορεί να εξαχθεί από τον πρώτο. Η διαφορά τους έγκειται στον τρόπο μετασχηματισμού των δεδομένων. Συγκεκριμένα, για το σχηματισμό του πίνακα συνδιασποράς από κάθε μεταβλητή αφαιρείται η μέση τιμή της, ενώ στον πίνακα συσχέτισης κάθε μεταβλητή κανονικοποιείται, αφαιρώντας τη μέση τιμή της και διαιρώντας με την τυπική απόκλιση.

Στις εφαρμογές της παρούσας ανάλυσης, για τον υπολογισμό των Κυρίων Συνιστωσών χρησιμοποιείται ο πίνακας συσχέτισης. Οι λόγοι επιλογής του αναφέρονται παρακάτω, στο 4.3.6.2.

4.3.5.2. Βήμα 2. Υπολογισμός ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων

Το δεύτερο βήμα της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών έγκειται στον υπολογισμό των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων του πίνακα που επιλέχθηκε και υπολογίστηκε στο προηγούμενο στάδιο. Σύμφωνα με τον Jolliffe (2002), υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί αλγόριθμοι για την επίλυση ενός τέτοιου

ιδιοπροβλήματος [eigenproblem]. Η εξαγωγή των Κυρίων Συνιστωσών από τα ιδιοδιανύσματα και τις ιδιοτιμές περιγράφεται ως εξής (Jolliffe, 2002: 4-6):

Αν Σ είναι ο πίνακας συνδιασποράς ή συσχέτισης ενός διανύσματος μεταβλητών x, αποδεικνύεται ότι για την πρώτη, δεύτερη, τρίτη,…, p Κύρια Συνιστώσα, τα διανύσματα συντελεστών [vectors of coefficients] α[1], α[2], α[3], …, α[p] είναι τα ιδιοδιανύσματα του Σ που αντιστοιχούν στις λ[1], λ[2], λ[3], …, λ[p] ιδιοτιμές, που είναι η πρώτη, δεύτερη, τρίτη κατά σειρά μεγέθους, …, και τέλος η μικρότερη ιδιοτιμή αντίστοιχα.

Συγκεκριμένα, «για k=1,2,…,p η k Κύρια Συνιστώσα δίνεται από τη σχέση z[k]=α'[k]x όπου α[k] είναι ένα ιδιοδιάνυσμα του Σ που αντιστοιχεί στην k μεγαλύτερη ιδιοτιμή λ[κ]. Επιπλέον, αν το α[k] έχει μοναδιαίο μήκος, δηλαδή α'[k] α[k]=1, τότε var(z[k]) = var(α'[k]x) = λ[k], όπου var(z[k]) η διακύμανση της k Κύριας Συνιστώσας z[k]» (Jolliffe, 2002: 4).

Σύμφωνα με τον Jolliffe (2002: 6), «αυτή η εξαγωγή των συντελεστών και διακυμάνσεων των Κυρίων Συνιστωσών ως ιδιοδιανυσμάτων και ιδιοτιμών ενός πίνακα συνδιασποράς ή συσχέτισης είναι αρκετά διαδεδομένη».

Αναφορικά με την πιθανή σύγχυση μεταξύ των διανυσμάτων συντελεστών και των Κυρίων Συνιστωσών, ο Jolliffe (2002: 6) αναφέρει ότι «προτιμάται να χρησιμοποιείται ο όρος Κύριες Συνιστώσες για τις εξαγόμενες μεταβλητές α'[k]x και να αναφερόμαστε στο α[κ] ως το διάνυσμα συντελεστών για την Κύρια Συνιστώσα k».

4.3.5.3. Σχέση των Κυρίων Συνιστωσών με τις αρχικές μεταβλητές

Οι Κύριες Συνιστώσες που υπολογίζονται κατά αυτόν τον τρόπο σχετίζονται άμεσα με τις αρχικές μεταβλητές x, καθώς προκύπτουν από το μετασχηματισμό τους.

«Έστω z το διάνυσμα του οποίου το στοιχείο στη θέση k είναι το z[k], δηλαδή η k Κύρια Συνιστώσα, όπου k=1,2,…,p. Τότε Z=A'x, όπου A είναι ο ορθογώνιος πίνακας του οποίου η στήλη στη θέση k, α[k], είναι το k ιδιοδιάνυσμα του Σ. Επομένως, οι Κύριες Συνιστώσες ορίζονται από έναν ορθογώνιο γραμμικό μετασχηματισμό του x» (Jolliffe, 2002: 11).

4.3.5.4. Επιλογή υποσυνόλου Κυρίων Συνιστωσών για την προβολή των δεδομένων

Αφού υπολογιστούν οι Κύριες Συνιστώσες, επιλέγονται εκείνες που θα χρησιμοποιηθούν για τη σύσταση ενός χώρου λιγότερων διαστάσεων από τις αρχικές, όπου γίνεται και η προβολή των δεδομένων. Ο προσδιορισμός του πλήθους των Κυρίων Συνιστωσών που διατηρούνται πραγματοποιείται βάσει μιας σειράς κριτηρίων που σχετίζονται με το βαθμό απόδοσης της συνολικής διακύμανσης από τις Κύριες Συνιστώσες.

4.3.6. Περιορισμοί στην εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών και παράγοντες που επηρεάζουν τις μετρήσεις

4.3.6.1. Επιλογή πίνακα συσχέτισης ή συνδιασποράς

Όπως αναφέρθηκε, οι Κύριες Συνιστώσες μπορούν να υπολογιστούν βάσει είτε του πίνακα συσχέτισης είτε του πίνακα συνδιασποράς των πολυδιάστατων διανυσμάτων.

Εκτός από τις δύο αυτές εναλλακτικές, ο Jolliffe (2002: 21) προτείνει και μια τρίτη επιλογή, που βασίζεται σε διαφορετική κανονικοποίηση κάθε μεταβλητής, μέσω του προσδιορισμού ενός

συντελεστή σημασίας, ή βάρους, για την κάθε μία. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται οι συνδιασπορές των x[j]/w[j], όπου τα βάρη w[j] επιλέγονται ώστε να εκφράζουν μια εκ των προτέρων εκτίμηση της σχετικής σημασίας των μεταβλητών.

Στην προκειμένη περίπτωση όμως, δεν υπάρχει τρόπος να γνωρίζουμε εκ των προτέρων ποιες διαστάσεις είναι περισσότερο σημαντικές, εφόσον δεν παρέχονται προαποφασισμένα κριτήρια. Για το λόγο αυτό η συγκεκριμένη επιλογή δεν κρίνεται εφαρμόσιμη.

Σύμφωνα με τους ορισμούς των πινάκων συνδιασποράς και συσχέτισης, η βασική διαφορά τους είναι ότι στην περίπτωση του πίνακα συσχέτισης, οι μεταβλητές είναι κανονικοποιημένες. Η κανονικοποίηση προκύπτει από τη διαίρεση κάθε μεταβλητής με τη διακύμανσή της, όπως εκφράζεται από την τυπική απόκλιση των τιμών της. Ο πίνακας συνδιασποράς για τις κανονικοποιημένες μεταβλητές είναι ουσιαστικά ο πίνακας συσχέτισης των αρχικών μεταβλητών.

Παρόλο που οι πίνακες συνδιασποράς και συσχέτισης σχετίζονται άμεσα μεταξύ τους, και μάλιστα ο δεύτερος μπορεί να προκύψει από τον πρώτο, τα ιδιοδιανύσματα και οι ιδιοτιμές του πίνακα συσχέτισης δεν έχουν απλή σχέση με τα αντίστοιχα του πίνακα συνδιασποράς, αφού ο μετασχηματισμός από τον ένα πίνακα στον άλλο δεν είναι ορθογώνιος (Jolliffe, 2002: 21). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι Κύριες Συνιστώσες που προκύπτουν από τους δύο πίνακες να μην είναι ισοδύναμες. Έτσι, δεν παρέχουν απαραίτητα άμεσα συγκρίσιμη πληροφορία, ούτε εξάγονται άμεσα οι μεν από τις δε.

Επομένως η επιλογή ενός από τους δύο πίνακες για τον υπολογισμό των Κυρίων Συνιστωσών είναι καθοριστικής σημασίας και εξαρτάται από τα δεδομένα του εκάστοτε προβλήματος και κυρίως από τη φύση των μεταβλητών, τον τύπο και το εύρος των τιμών τους, καθώς και τα χαρακτηριστικά των μεταξύ τους συσχετισμών.

4.3.6.2. Επιλογή του πίνακα συσχέτισης

Στην περίπτωση των ιδιοτήτων των χωρικών μονάδων της παρούσας εφαρμογής, καθοριστικό είναι το γεγονός ότι ποσοτικοποιούνται ετερογενή χωρικά χαρακτηριστικά, οπότε οι μετρήσεις αντιστοιχούν σε μεγέθη διαφορετικών τάξεων, που μετρώνται σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Επίσης παρατηρείται μεγάλη διαφοροποίηση ως προς την τάξη μεγέθους και τα εύρη τιμών μεταξύ των διαφορετικών χαρακτηριστικών. Εξαιτίας της έντονης αυτής ετερογένειας των μεταβλητών, θεωρείται απαραίτητο, προκειμένου να γίνουν συγκρίσιμες, να υποβληθούν σε κάποιου τύπου κανονικοποίηση, να αναχθούν δηλαδή σε ένα κοινό εύρος αδιάστατων πλέον τιμών. Η κανονικοποίηση μπορεί να γίνει με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Μια προσέγγιση θα ήταν να κανονικοποιηθούν οι μεταβλητές και στη συνέχεια να υπολογιστεί ο πίνακας συνδιασποράς ή συσχέτισης. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η συσχέτιση είναι εξ ορισμού κανονικοποιημένο μέγεθος και ο πίνακας συσχέτισης των αρχικών μεταβλητών αντιστοιχεί στον πίνακα συνδιασποράς των κανονικοποιημένων μεταβλητών. Επομένως, επιλέγοντας την εξαγωγή των Κυρίων Συνιστωσών από τον πίνακα συσχέτισης, περιορίζεται η υπολογιστική διαδικασία κατά ένα βήμα. Αυτό αποτελεί ένα πρώτο κριτήριο επιλογής του πίνακα συσχέτισης έναντι του πίνακα συνδιασποράς.

Με το ζήτημα της κανονικοποίησης των μεταβλητών σχετίζεται και η ευαισθησία των Κυρίων Συνιστωσών που προέρχονται από πίνακες συνδιασποράς στην κλίμακα, σε αντίθεση με τις Κύριες Συνιστώσες πινάκων συσχέτισης. Σύμφωνα με τον Jolliffe (2002: 22), «ένα σημαντικό επιχείρημα για τη χρήση του πίνακα συσχέτισης, έναντι του πίνακα συνδιασποράς, για τον προσδιορισμό των Κυρίων Συνιστωσών είναι ότι τα αποτελέσματα των αναλύσεων τυχαίων μεταβλητών είναι πιο άμεσα συγκρίσιμα από ότι για αναλύσεις που βασίζονται σε πίνακες συνδιασποράς. Το μεγάλο μειονέκτημα

των Κυρίων Συνιστωσών από πίνακες συνδιασποράς είναι η ευαισθησία των Κύριων Συνιστωσών στις μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται για κάθε στοιχείο του χ. Αν υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των διασπορών των στοιχείων του χ, τότε οι μεταβλητές εκείνες με τις μεγαλύτερες διασπορές θα τείνουν να επικρατούν στις πρώτες Κύριες Συνιστώσες. Αυτό μπορεί να είναι θεμιτό αν όλα τα στοιχεία του χ μετρώνται στην ίδια μονάδα […]. Στην πραγματικότητα, συχνά συμβαίνει διαφορετικά στοιχεία του χ να είναι εντελώς διαφορετικοί τύποι μετρήσεων. […] Σε αυτή την περίπτωση, η δομή των Κύριων Συνιστωσών θα εξαρτάται από την επιλογή των μονάδων μέτρησης».

Αν η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών γίνει βάσει του πίνακα συνδιασποράς «με όλες τις μεταβλητές μετρημένες στις ίδεις μονάδες μέτρησης, είναι σαφές ότι τα βάρη των ΚΣ είναι αδιάστατα και οι ίδιες οι ΚΣ έχουν τις ίδιες μονάδες με τις αρχικές μεταβλητές. […] Τα πράγματα είναι διαφορετικά όταν η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών γίνεται βάσει του πίνακα συσχέτισης, αφού οι κανονικοποιημένες μεταβλητές που αποτελούν τα εισερχόμενα της ανάλυσης είναι οι ίδιες αδιάστατες» (Jolliffe, 2002: 272).

Επομένως, στην περίπτωση χρήσης του πίνακα συσχέτισης, οι κανονικοποιημένες μεταβλητές είναι πλέον αδιάστατες και μπορούν κάλλιστα να συνδυαστούν για την εξαγωγή των Κύριων Συνιστωσών (Legendre & Legendre, 1983: 129).

Γενικά, ο Jolliffe (2002: 23-24) θεωρεί ακατάλληλη τη χρήση του πίνακα συνδιασποράς στην περίπτωση που οι μετρήσεις είναι διαφορετικών τύπων και σημειώνει ότι επιπλέον δεν παρέχει σημαντική πληροφορία στην περίπτωση που οι μεταβλητές εμφανίζουν μεταξύ τους πολύ διαφορετικές διασπορές.

Επίσης, η χρήση του πίνακα συνδιασποράς προτιμάται έναντι του πίνακα συσχέτισης σε περιπτώσεις όπου στόχος είναι ο στατιστικός λογισμός [statistical inference] (Jolliffe, 2002: 24). Ωστόσο, όταν οι Κύριες Συνιστώσες χρησιμοποιούνται ως περιγραφικό εργαλείο, τα πλεονεκτήματα του πίνακα συνδιασποράς δεν αξιοποιούνται, οπότε η χρήση του πίνακα συσχέτισης κρίνεται καταλληλότερη.

Τέλος, στην περίπτωση εξαγωγής των κυρίων συνιστωσών από τον πίνακα συνδιασποράς, αυτές δεν διαφέρουν σημαντικά από τις αρχικές μεταβλητές, διατεταγμένες σε φθίνουσα τάξη μεγέθους, με αποτέλεσμα να μην συμβάλλουν σημαντικά στην αποκάλυψη δομών και συσχετισμών που δεν είναι άμεσα ορατές από την παρατήρηση των αρχικών μετρήσεων. Συγκεκριμένα, για τον πίνακα συνδιασποράς «οι πρώτες Κύριες Συνιστώσες συνήθως περιέχουν λίγη πληροφορία πέρα από το σχετικό μέγεθος των διακυμάνσεων, πληροφορία που είναι διαθέσιμη και χωρίς την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών» (Jolliffe, 2002: 42).

Σύμφωνα με τους παραπάνω περιορισμούς και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων του συγκεκριμένου προβλήματος, θεωρήθηκε καταλληλότερος ο υπολογισμός των Κυρίων Συνιστωσών βάσει του πίνακα συσχέτισης των πολυδιάστατων διανυσμάτων ιδιοτήτων.

4.3.6.3. Πόσες και ποιες Κύριες Συνιστώσες απαιτούνται

4.3.6.3.1. Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων ως προς τις πρώτες Κύριες Συνιστώσες

Ο βασικότερος στόχος της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών είναι η μείωση των διαστάσεων των αρχικών δεδομένων και η αναπαράστασή τους σε χώρο λιγότερων διαστάσεων, κατά τρόπο ώστε να διατηρείται η δομή των μεταξύ τους συσχετισμών. Εφόσον υπολογιστούν οι Κύριες Συνιστώσες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κάποιες από αυτές για την προβολή των αρχικών πολυδιάστατων δεδομένων. Συνήθως επιλέγονται οι πρώτες Κύριες Συνιστώσες, που αντιστοιχούν στα ιδιοδιανύσματα με τις μεγαλύτερες ιδιοτιμές και επομένως αποδίδουν κατά φθίνουσα σειρά τη

μεγαλύτερη δυνατή διακύμανση των δεδομένων, εξασφαλίζοντας την καλύτερη διάκριση μεταξύ τους στο νέο αναπαραστατικό χώρο που ορίζεται από τις επιλεγμένες Κύριες Συνιστώσες.

Γενικά, «αν ένα σύνολο δεδομένων {x1, x2, …, xn} έχει p μεταβλητές, τότε οι παρατηρήσεις μπορούν να αναπαρασταθούν γραφικά ως σημεία στον p-διάστατο χώρο. Αν επιθυμούμε να αναπαραστήσουμε γραφικά τα δεδομένα σε έναν «βέλτιστης προσέγγισης» q-διάστατο υποχώρο (q < p), όπου «βέλτιστης προσέγγισης» ορίζεται μέσω της ελαχιστοποίησης του αθροίσματος των τετραγώνων των κάθετων αποστάσεων των x1, x2, …, xn από τον υποχώρο, τότε ο κατάλληλος υποχώρος ορίζεται από τις πρώτες q Κύριες Συνιστώσες. […] Αν τα δεδομένα βρίσκονται κοντά σε έναν q-διάστατο υποχώρο, τότε η περισσότερη από τη διακύμανση εντός των δεδομένων θα αποδίδεται από τις πρώτες q Κύριες Συνιστώσες και μια γραφική παράσταση των παρατηρήσεων ως προς αυτές τις Κύριες Συνιστώσες θα δίνει μια ρεαλιστική εικόνα της εμφάνισης των δεδομένων, εκτός εάν σημαντικές απόψεις της δομής των δεδομένων συγκεντρώνονται στην κατεύθυνση Κυρίων Συνιστωσών χαμηλής διασποράς» (Jolliffe, 2002: 80).

4.3.6.3.2. Πόσες Κύριες Συνιστώσες ενδείκνυται να διατηρηθούν

Ένα βασικό ερώτημα είναι πόσες από τις Κύριες Συνιστώσες πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να αποδοθεί επαρκώς το εύρος διακύμανσης και επομένως οι συσχετισμοί μεταξύ των αρχικών δεδομένων. Όπως αναφέρθηκε, το πλήθος των Κυρίων Συνιστωσών είναι ίσο με το πλήθος των αρχικών διαστάσεων, οπότε η χρήση όλων των Κυρίων Συνιστωσών δεν θα συνέβαλλε στη μείωση των διαστάσεων και στην διευκόλυνση της οπτικοποίησης των δεδομένων. Το πλήθος των διαστάσεων που μπορούν να οπτικοποιηθούν με σαφήνεια σε δισδιάστατο αναπαραστατικό χώρο είναι το πολύ τρεις. Ωστόσο είναι πιθανό οι τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες να μην αποδίδουν επαρκώς το φάσμα των διακυμάνσεων και να υπάρχει απώλεια πληροφορίας. Συγκεκριμένα, «αν τα δεδομένα δεν διατάσσονται κοντά σε κάποιον δισδιάστατο (ή τρισδιάστατο) υποχώρο, τότε δεν υπάρχει δισδιάστατη (ή τρισδιάστατη) γραφική παράσταση των δεδομένων που να παρέχει μια επαρκή αναπαράσταση» (Jolliffe, 2002: 80).

Κριτήρια επιλογής ενός υποσυνόλου Κυρίων Συνιστωσών

Το πλήθος των Κυρίων Συνιστωσών που απαιτούνται για την επαρκή απόδοση των δεδομένων δεν είναι πάντα εύκολα προσδιορίσιμο και δεν υπάρχει κάποιος ασφαλής κανόνας υπολογισμού του. Ωστόσο, παρέχονται μια σειρά από κριτήρια που εξασφαλίζουν τη διατήρηση του μεγαλύτερου εύρους της διακύμανσης.

1. Κριτήριο μεγέθους ιδιοτιμής ή κριτήριο Kaiser

Το πρώτο κριτήριο σχετίζεται με το μέγεθος των ιδιοτιμών των Κυρίων Συνιστωσών, που αποτελεί δείκτη της διακύμανσης του κάθε ιδιοδιανύσματος. Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, που αναφέρεται και ως «κανόνας του Kaiser» (Kaiser, 1960), όταν αναφερόμαστε σε Κύριες Συνιστώσες που προκύπτουν από πίνακα συσχέτισης, αρκεί να διατηρηθούν οι Κύριες Συνιστώσες που έχουν διακύμανση, ή ιδιοτιμή, μεγαλύτερη της μονάδας, εφόσον «οποιαδήποτε Κύρια Συνιστώσα με διακύμανση μικρότερη της μονάδας εμπεριέχει λιγότερη πληροφορία από ότι μια από τις αρχικές μεταβλητές και δεν αξίζει να διατηρηθεί» (Joliffe, 2002: 114).

Σύμφωνα με τους O'Rourke και Hatcher (2013: 22), η λογική πίσω από αυτή την προσέγγιση βασίζεται στο γεγονός ότι όταν αναφερόμαστε σε κανονικοποιημένες μεταβλητές, πράγμα που ισχύει πάντα για τον πίνακα συσχέτισης, κάθε μεταβλητή συνεισφέρει κατά μία μονάδα στη συνολική διακύμανση του συνόλου των δεδομένων. Οποιαδήποτε Κύρια Συνιστώσα εμφανίζει ιδιοτιμή μεγαλύτερη της μονάδας, αποδίδει μεγαλύτερο ποσό διακύμανσης από ότι μια μεμονωμένη

μεταβλητή και κατ' επέκταση αξίζει να διατηρηθεί. Από την άλλη, μια Κύρια Συνιστώσα με ιδιοτιμή μικρότερη της μονάδας αποδίδει μικρότερο βαθμό διακύμανσης από οποιαδήποτε μεμονωμένη μεταβλητή. Δεδομένου ότι ο βασικός στόχος της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών είναι να ελαττώσει το πλήθος των παρατηρούμενων μεταβλητών αντικαθιστώντας τις από ένα μικρότερο πλήθος συνιστωσών, διατηρώντας όμως το μέγιστο βαθμό διακύμανσης, είναι σαφές ότι αυτό δεν μπορεί να επιτευχθεί αν διατηρούνται συνιστώσες που αποδίδουν μικρότερο βαθμό διακύμανσης από ότι οι αρχικές μεταβλητές. Για το λόγο αυτό οι Κύριες Συνιστώσες με ιδιοτιμή μικρότερη της μονάδας θεωρούνται ασήμαντες και δεν λαμβάνονται υπόψη.

Επιπλέον, «αν το σύνολο των δεδομένων περιέχει ομάδες μεταβλητών που εμφανίζουν υψηλές συσχετίσεις εντός της ομάδας, αλλά χαμηλές μεταξύ ομάδων, τότε υπάρχει μία Κύρια Συνιστώσα που σχετίζεται με κάθε ομάδα της οποίας η διακύμανση είναι μεγαλύτερη της μονάδας, ενώ κάθε άλλη Κύρια Συνιστώσα που σχετίζεται με αυτή την ομάδα έχει διακύμανση μικρότερη της μονάδας. Έτσι, ο κανόνας γενικά διατηρεί μία, και μόνο μία, Κύρια Συνιστώσα που σχετίζεται με κάθε τέτοια ομάδα μεταβλητών» (Joliffe, 2002: 114).

Με τον τρόπο αυτό, ακολουθώντας το κριτήριο μεγέθους της ιδιοτιμής κάθε Κύριας Συνιστώσας, εξασφαλίζεται τόσο η διατήρηση του μέγιστου ποσοστού διακύμανσης, όσο και η απόδοση όλων των μεταβλητών που δεν αλληλεπικαλύπτονται μεταξύ τους ως προς την πληροφορία που παρέχουν.

2. Ποσοστό αποδιδόμενης διακύμανσης

Άλλο ένα κριτήριο για το πόσες Κύριες Συνιστώσες απαιτούνται για την ικανοποιητική απόδοση της δομής των συσχετισμών στον αρχικό πολυδιάστατο χώρο, είναι το μέρος της συνολικής διακύμανσης που αποδίδεται από κάθε Κύρια Συνιστώσα, ή το αθροιστικό ποσοστό διακύμανσης για όλες τις διατηρούμενες Κύριες Συνιστώσες.

Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο (O'Rourke & Hatcher, 2013: 25), διατηρούνται εκείνες οι Κύριες Συνιστώσες που συμβάλλουν στη διακύμανση πάνω από κάποιο προαποφασισμένο ποσοστό της αρχικής συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Για τον προσδιορισμό του ορίου αυτού, είτε τίθεται ένα ελάχιστο ποσοστό διακύμανσης που πρέπει να αποδίδεται από κάθε Κύρια Συνιστώσα χωριστά προκειμένου να διατηρηθεί, για παράδειγμα ένα 5-10%, είτε το επιθυμητό ποσοστό αναφέρεται στην αθροιστική διακύμανση επί του συνόλου, οπότε το απαιτούμενο πλήθος Κυρίων Συνιστωσών είναι το ελάχιστο πλήθος για το οποίο το άθροισμα των ποσοστών διακύμανσης καλύπτει το επιλεγμένο όριο, το οποίο μπορεί να είναι της τάξης του 70-80%. Προφανώς, για μια δεδομένη ακολουθία Κυρίων Συνιστωσών, το πλήθος αυτό ελαχιστοποιείται όταν οι Κύριες Συνιστώσες επιλέγονται κατά σειρά, αφού η αρίθμησή τους αντιστοιχεί στο μέγεθος της αντίστοιχης ιδιοτιμή. Αν και η επιλογή του ορίου εμπεριέχει ένα βαθμό αυθαιρεσίας (Kim & Mueller, 1978b), η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει την επίτευξη του ενός από τους δύο βασικούς στόχους της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, που είναι η απόδοση του μεγαλύτερου τμήματος της αρχικής διακύμανσης εντός των δεδομένων.

3. Γραφικές μέθοδοι αναπαράστασης αποδιδόμενης διακύμανσης

Εκτός από τα παραπάνω ποσοτικά κριτήρια, υπάρχουν και κάποιες γραφικές μέθοδοι προσδιορισμού του πλήθους των Κυρίων Συνιστωσών που αξίζει να διατηρηθούν, αλλά σύμφωνα με τον Jolliffe (2002: 115-116) είναι «πολύ υποκειμενικές».

Η πιο διαδεδομένη μάλλον από αυτές είναι το επονομαζόμενο και scree test (O'Rourke & Hatcher, 2013: 23, Cattell, 1966), όπου σε μια γραφική αναπαράσταση των ιδιοτιμών προς τις αντίστοιχες Κύριες Συνιστώσες, αναζητούνται οπτικά οι ασυνέχειες. Οι Κύριες Συνιστώσες που διατηρούνται είναι εκείνες που βρίσκονται πριν από την τελευταία πιθανή ασυνέχεια, πριν δηλαδή οι ιδιοτιμές αρχίσουν να φθίνουν σημαντικά. Η λογική του κριτηρίου αυτού είναι ότι από κάποια Κύρια Συνιστώσα και

πέρα οι ιδιοτιμές φθίνουν απότομα και συνήθως συγκλίνουν σε κάποιες πολύ χαμηλές τιμές. Η μέθοδος αυτή μπορεί να αποδειχθεί αποτελεσματική σε περιπτώσεις όπου το δείγμα των δεδομένων είναι μεγάλο (πάνω από 200 παρατηρήσεις) και όπου οι περισσότερες από τις αρχικές μεταβλητές συσχετίζονται ισχυρά με κάποιες από τις Κύριες Συνιστώσες (Stevens, 1986). Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι σαφές ποια είναι η επικρατέστερη ασυνέχεια, αφού μπορεί να εμφανίζονται πολλές ασυνέχειες ή και να μην εντοπίζεται εμφανής τομή.

Δεδομένου ότι ο κανόνας αυτός είναι πολύ εμπειρικός και επειδή στην παρούσα εφαρμογή δεν είναι γνωστό εκ των προτέρων αν οι μεταβλητές μπορούν να ομαδοποιηθούν, ενώ το δείγμα είναι μικρότερο από 200 διανύσματα, θεωρήθηκε ότι δεν αποτελεί ασφαλές κριτήριο και δεν λήφθηκε υπόψη.

4. Κριτήριο ερμηνευσιμότητας

Το κριτήριο αυτό έχει να κάνει με τη δυνατότητα ερμηνείας των διατηρούμενων Κυρίων Συνιστωσών σε αναφορά με προκαθορισμένες υποθέσεις ως προς τη φύση, τη δομή και τους συσχετισμούς των δεδομένων. Εδώ ουσιαστικά ελέγχεται αν οι μεταβλητές που συνεισφέρουν περισσότερο σε καθεμία από τις διατηρούμενες Κύριες Συνιστώσες εκφράζουν μεταξύ τους παρόμοιες έννοιες και αντίστροφα, αν οι μεταβλητές που συνεισφέρουν περισσότερο σε διαφορετικές Κύριες Συνιστώσες εκφράζουν διαφορετικές έννοιες. Αυτό σημαίνει ότι το κριτήριο ερμηνευσιμότητας μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε περιπτώσεις όπου υπάρχει εκ των προτέρων γνώση των κατηγοριών και των συσχετισμών. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή ωστόσο, αυτά αποτελούν ζητούμενα της ανάλυσης και όχι δεδομένα, οπότε το κριτήριο ερμηνευσιμότητας δεν είναι εφαρμόσιμο.

5. Πλήθος μεταβλητών ανά Συνιστώσα

Το τελευταίο, πιο άτυπο ίσως κριτήριο, σχετίζεται με το πλήθος των μεταβλητών που συνεισφέρουν περισσότερο στον καθορισμό του διανύσματος της κάθε Κύριας Συνιστώσας. Γενικά, είναι επιθυμητό να υπάρχουν τουλάχιστον τρεις μεταβλητές που να φορτίζουν την κάθε διατηρούμενη Κύρια Συνιστώσα, και μάλιστα με φόρτιση συντελεστή [factor loading] μεγαλύτερη του 0.4 για κάθε μεταβλητή (O'Rourke & Hatcher, 2013). Για την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών επί πίνακα συσχετίσεων, η κάθε φόρτιση προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του κάθε ιδιοδιανύσματος με την τετραγωνική ρίζα της αντίστοιχης ιδιοτιμής.

Το κριτήριο αυτό εξασφαλίζει ότι δεν θα διατηρηθούν κατευθύνσεις που είναι σχεδόν ισότιμες με μία μεμονωμένη αρχική μεταβλητή και αυξάνει τις πιθανότητες να αντιπροσωπεύονται επαρκώς όλες οι μεταβλητές, μειώνοντας όμως πιθανές αλληλεπικαλύψεις.

4.3.6.3.3. Ποιες Κύριες Συνιστώσες ενδείκνυται να διατηρηθούν

Τα παραπάνω κριτήρια αναφέρονται στον προσδιορισμό του πλήθους m των Κυρίων Συνιστωσών που πρέπει να διατηρηθούν προκειμένου να αποδοθεί στο μέγιστο η διακύμανση μεταξύ των αρχικών δεδομένων, οπότε εξ ορισμού η επιλογή ξεκινά από την πρώτη Κύρια Συνιστώσα και προχωράει διαδοχικά στη δεύτερη, τρίτη, …, m Κύρια Συνιστώσα. Δηλαδή επιλέγεται πάντα ένα υποσύνολο που περιλαμβάνει τις πρώτες Κύριες Συνιστώσες.

Οι τελευταίες Κύριες Συνιστώσες

Γενικά, «αν οι ν παρατηρήσεις προβληθούν σε έναν q-διάστατο υποχώρο, τότε το άθροισμα των τετραγώνων των Ευκλείδειων αποστάσεων μεταξύ όλων των ζευγών των παρατηρήσεων στον υποχώρο αυτό μεγιστοποιείται όταν ο υποχώρος ορίζεται από τις πρώτες q Κύριες Συνιστώσες και ελαχιστοποιείται όταν ορίζεται από τις τελευταίες q Κύριες Συνιστώσες» (Jolliffe, 2002: 34).

Ωστόσο, λόγω του τρόπου υπολογισμού των Κυρίων Συνιστωσών, μπορεί κάποιοι συσχετισμοί μεταξύ των δεδομένων να μην μπορούν να αποδοθούν από τις πρώτες, αλλά να εκφράζονται από τις τελευταίες Κύριες Συνιστώσες.

«Οι τελευταίες Κύριες Συνιστώσες δεν είναι απλά αδόμητα υπολείμματα μετά την εξαγωγή των σημαντικών Κυρίων Συνιστωσών. Επειδή αυτές οι τελευταίες Κύριες Συνιστώσες έχουν την ελάχιστη δυνατή διακύμανση είναι χρήσιμες αυτές καθαυτές. Μπορούν να συμβάλουν στον εντοπισμό απρόσμενων, σχεδόν σταθερών γραμμικών σχέσεων μεταξύ των στοιχείων του X» (Jolliffe, 2002: 13). Τυχόν Κύριες Συνιστώσες με μηδενική διακύμανση μπορούν να αποκαλύψουν μη προφανείς σχέσεις σταθερότητας. Αντίστοιχα, Κύριες Συνιστώσες με πολύ μικρή διακύμανση επισημαίνουν σχεδόν σταθερές γραμμικές σχέσεις. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι τελευταίες Κύριες Συνιστώσες ενδέχεται να μπορούν να υποδείξουν διαστάσεις που συσχετίζονται στενά μεταξύ τους.

Ο στενός αυτός συσχετισμός μπορεί να σημαίνει ότι οι αντίστοιχες διαστάσεις μετρούν κάτι παρόμοιο, οπότε υπάρχει πλεονασμός και αλληλεπικάλυψη στις μετρήσεις, ή ότι οι ίδεις οι ιδιότητες που μετρούν τείνουν να συνυπάρχουν με συγκεκριμένο τρόπο, σε επαναλαμβανόμενα εμφανιζόμενους συνδυασμούς.

Επίσης, «υποστηρίζεται ότι οι Κύριες Συνιστώσες, ειδικά οι τελευταίες, μπορεί να είναι χρήσιμες για τον εντοπισμό εκτόπων [outliers] σε μια βάση δεδομένων» (Jolliffe, 2002: xii)**.**

Σύμφωνα με τις ιδιότητες των Κυρίων Συνιστωσών, συνάγεται ότι μελετώντας τόσο τις πρώτες, όσο και τις τελευταίες Κύριες Συνιστώσες είναι δυνατό να αποκαλυφθούν συσχετισμοί που δεν ήταν εμφανείς από την παρατήρηση των αρχικών δεδομένων. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως, είναι πιθανό ειδικοί συσχετισμοί μεταξύ δεδομένων να μην μπορούν να αποδοθούν από τις Κύριες Συνιστώσες. Σύμφωνα με τον Jolliffe (2002: 80) «πρέπει να σημειωθεί ότι το εύρος των δομών που μπορούν να αποκαλυφθούν από τη γραφική αναπαράσταση Κυρίων Συνιστωσών περιορίζεται από το γεγονός ότι οι Κύριες Συνιστώσες είναι ασυσχέτιστες. Έτσι, κάποιου τύπου ομαδοποιήσεις ή τυπικοί σχηματισμοί εκτόπων ή μη γραμμικές σχέσεις μεταξύ Κυρίων Συνιστωσών, μπορεί να είναι ορατοί, αλλά γραμμικοί συσχετισμοί μεταξύ Κυρίων Συνιστωσών είναι αδύνατοι».

4.3.6.3.4. Εντοπισμός εκτόπων [outliers]

Σημαντικό ζήτημα στις περισσότερες μεθόδους στατιστικής ανάλυσης είναι αυτό των εκτόπων, δηλαδή παρατηρήσεων ή ατόμων που διαφέρουν σημαντικά από το μέσο όρο του συνόλου του δείγματος. Τέτοια στοιχεία είναι δυνατό, μέσω των ακραίων χαρακτηριστικών τους, να επηρεάσουν σημαντικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης, μετατοπίζοντας μια σειρά μεγεθών, όπως οι ακραίες και μέσες τιμές, η διακύμανση, η συσχέτιση και άλλα. Ένα μοναδικό έκτοπο μπορεί να είναι υπεύθυνο για την μετατόπιση ολόκληρου του πίνακα συσχέτισης, προκαλώντας τεχνητά υψηλές συσχετίσεις μεταξύ όλων των υπόλοιπων στοιχείων, λόγω της διαφορετικότητάς του σε σχέση με αυτά. Επιπλέον, τα έκτοπα συχνά έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον και αξίζει να εντοπιστούν και μελετηθούν ξεχωριστά λόγω της διαφορετικότητάς τους από το μέσο όρο του δείγματος. Ωστόσο ο εντοπισμός τους δεν είναι πάντα απλή διαδικασία.

«Ένα μεγάλο πρόβλημα στον εντοπισμό πολυπαραγοντικών εκτόπων είναι ότι μια παρατήρηση που δεν είναι ακραία σε καμία από τις αρχικές μεταβλητές μπορεί παρ' όλα αυτά να είναι έκτοπο, επειδή δεν συμμορφώνεται με τη δομή των συσχετίσεων των υπόλοιπων δεδομένων. Είναι αδύνατο να εντοπιστούν τέτοια έκτοπα παρατηρώντας απλά τις αρχικές μεταβλητές μία προς μία.»[…] Έτσι, «για μεγάλο πλήθος (μεταβλητών) p πρέπει να λάβουμε υπόψη την πιθανότητα να εμφανίζονται έκτοπα σε άλλες κατευθύνσεις από αυτές που είναι εντοπίσιμες από απλές γραφικές παραστάσεις ζευγών

αρχικών μεταβλητών. Τα έκτοπα μπορεί να είναι διαφόρων τύπων, γεγονός που περιπλέκει την αναζήτηση κατευθύνσεων στις οποίες μπορεί να εμφανίζονται. Ωστόσο, υποστηρίζεται η αναζήτησή τους στις κατευθύνσεις που ορίζονται είτε από τις πρώτες είτε από τις τελευταίες Κύριες Συνιστώσες. Οι πρώτες και οι τελευταίες Κύριες Συνιστώσες εντοπίζουν διαφορετικού τύπου έκτοπα, και γενικά οι τελευταίες είναι πιθανότερο να παρέχουν πρόσθετη πληροφορία που δεν είναι διαθέσιμη σε γραφικές παραστάσεις των αρχικών μεταβλητών» (Jolliffe, 2002: 233-234).

Για την ταυτοποίηση πιθανών εκτόπων, ο Jolliffe (2002: 235) προτείνει τη μελέτη διαγραμμάτων διασποράς ζευγών των πρώτων και των τελευταίων Κυρίων Συνιστωσών.

4.3.6.3.5. Ελάχιστο Μέγεθος δείγματος

Ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών είναι το πλήθος των δειγμάτων που συνιστούν τον αναλυόμενο πληθυσμό ή τη βάση δεδομένων, που στην προκειμένη περίπτωση αντιστοιχεί στο πλήθος των εξεταζόμενων χωρικών μονάδων.

Η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών είναι μια διαδικασία που λειτουργεί όταν εφαρμόζεται σε μεγάλα δείγματα. Αν και δεν υπάρχει τρόπος ασφαλούς υπολογισμού του απαιτούμενου μεγέθους του δείγματος, στην πράξη επικρατεί ο εμπειρικός κανόνας ότι, προκειμένου τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα, το ελάχιστο πλήθος δεδομένων θα πρέπει να είναι γύρω στα 100 δείγματα ή 5 φορές το πλήθος των μεταβλητών που αναλύονται (O'Rourke & Hatcher, 2013: 13).

4.3.7. Επιλογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών

Ο Jolliffe αναφέρει ότι υπάρχουν πολλές μέθοδοι πολυπαραγοντικής ανάλυσης για τη μείωση διαστάσεων και η επιλογή της καταλληλότερης εξαρτάται τόσο από τον τύπο των δεδομένων[8] όσο και από το την πρόθεση της ανάλυσης, αφού «διαφορετικές τεχνικές εγγενώς υποθέτουν ότι διαφορετικοί τύποι δομών ή μοντέλων ενδιαφέρουν για τα δεδομένα» (Jolliffe, 2002: 107).

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, που αναφέρεται στη συγκριτική ανάλυση και κατηγοριοποίηση οικοδομικών τετραγώνων και των αδόμητων χώρων εντός τους, βάσει της πολυδιάστατης αναπαράστασης φυσικών χαρακτηριστικών της μορφής και της δομής τους, ενυπάρχει μια σειρά περιορισμών που καθιστούν τη μέθοδο της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών κατάλληλη. Συγκεκριμένα, αναζητείται μια μέθοδος, που να υποστηρίζει την οπτικοποίηση πολυδιάστατων δεδομένων χωρίς να προϋποθέτει εκ των προτέρων γνώση της δομής ή των αιτίων των συσχετισμών μεταξύ των δεδομένων αυτών. Λόγω του άτυπου και γενόσημου χαρακτήρα των εξεταζόμενων χωρικών σχηματισμών, δεν μπορούν να προκαθοριστούν κριτήρια αξιολόγησης και κατηγοριοποίησης ούτε να οριστούν προαποφασισμένοι τύποι στους οποίους θα κατανεμηθούν οι χώροι αυτοί. Για τους λόγους αυτούς, απαιτείται η χρήση μιας ανεπίβλεπτης μεθόδου, όπου η τυπολογία προκύπτει αποκλειστικά από ενδογενείς και μη χαρακτηρισμένους συσχετισμούς και όχι από τη σύγκριση με κάποια σαφώς ορισμένα πρότυπα. Οι συσχετισμοί αυτοί δεν αντιστοιχούν σε κάποια αρχική διατύπωση αιτιακής δομής και δεν υπάρχει απαίτηση σαφούς ερμηνείας της εξαγόμενης τυπολογίας σε αναφορά με συγκεκριμένες ιδιότητες. Αυτό σχετίζεται με το γεγονός οτι δεν υπάρχει τρόπος εκ των προτέρων ιεράρχησης των επιμέρους μεταβλητών ή διαστάσεων βάσει των οποίων επιχειρείται η περιγραφή. Όλες οι ιδιότητες θεωρούνται αρχικά ισότιμες και η διαβάθμισή τους θα προκύψει από την κατανομή

[8] Συγκεκριμένα για την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, αναφέρει ότι «προορίζεται για «τυπικούς» πίνακες δεδομένων n παρατηρήσεων ως προς q μεταβλητές» (Jolliffe, 2002: 107).

των τιμών που μετρώνται για κάθε χώρο, σε κάθε μεταβλητή. Ένας ακόμα περιορισμός έγκειται στον τύπο των μετρήσεων: πρόκειται για ετερογενείς και ασύνδετες μεταξύ τους μετρήσεις, στις οποίες αντιστοιχούν διαφορετικές μονάδες μέτρησης αλλά και εύρη τιμών με μεγάλες αποκλίσεις.

Οι περιορισμοί αυτοί οδήγησαν στην επιλογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, οι ιδιότητες της οποίας επιτρέπουν τη διαχείριση της πολλαπλότητας, της ασάφειας, της μη-περιγραψιμότητας και της μη-ιεραρχικής δομής πολυδιάστατων δεδομένων, χωρίς να απαιτείται οποιαδήποτε πληροφορία πέρα από αυτή που ενυπάρχει στην ίδια τη δομή των δεδομένων.

Οι ιδιότητες της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών που καθιστούν διαχειρίσιμους όλους αυτούς τους περιορισμούς αναφέρονται αναλυτικότερα στη συνέχεια.

4.3.7.1. Μείωση διαστάσεων με μέγιστη διάκριση

Πρωταρχικό στόχο στο στάδιο αυτό της μελέτης αποτελεί η μείωση των διαστάσεων των χωρικών δεδομένων, ούτως ώστε να είναι δυνατή η αναπαράστασή τους σε μια άμεσα αντιληπτή οπτικοποίηση, που να διατηρεί όμως και να αναδεικνύει στο μέγιστο τη δομή των συσχετισμών μεταξύ των αρχικών πολυδιάστατων δεδομένων.

Διατυπώνοντας τις παραπάνω επιδιώξεις, γίνεται αντιληπτό ότι η εφαρμογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών αποτελεί απολύτως κατάλληλη επιλογή, αφού οι ίδιες αυτές απαιτήσεις αποτελούν και καταστατικές ιδιότητες της μεθόδου.

Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τον Jolliffe (2002: 78), «ο βασικότερος σκοπός της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών είναι να μειώσει τις διαστάσεις ενός συνόλου δεδομένων. […]. Αν υπάρχει μια καλή αναπαράσταση των δεδομένων σε ένα μικρό πλήθος διαστάσεων, τότε η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών θα την βρει, αφού οι πρώτες q Κύριες Συνιστώσες δίνουν τον 'βέλτιστης προσέγγισης' q-διάστατο υποχώρο. Έτσι, αν αναπαραστήσουμε γραφικά τις τιμές για κάθε παρατήρηση για τις πρώτες δύο Κύριες Συνιστώσες, λαμβάνουμε τη βέλτιστη δυνατή δισδιάστατη γραφική αναπαράσταση των δεδομένων» ή αντίστοιχα, για τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες, λαμβάνουμε τη βέλτιστη δυνατή τρισδιάστατη αναπαράσταση.

4.3.7.2. Εξερεύνηση κρυμμένων δομών και όχι επαλήθευση προκαθορισμένων υποθέσεων

Η επιχειρούμενη περιγραφή άτυπων χωρικών σχηματισμών μέσω πολλαπλών διαστάσεών τους δεν προϋποθέτει τον απαραίτητο ή μονοσήμαντο συσχετισμό μεταξύ των ιδιοτήτων του κάθε χώρου ή των χώρων μεταξύ τους. Κάθε μέτρηση λειτουργεί ως ανεξάρτητη περιγραφική διάσταση με στόχο την ανάδυση σχηματισμών συσχετισμών, μέσω του ισότιμου συνδυασμού όλων των ιδιοτήτων που μετρώνται. Δεν προτείνεται κάποια αρχική υπόθεση αναφορικά με τη σημασία ή τις αιτίες πιθανών εμφανίσεων συνδυασμών συγκεκριμένων μετρήσεων και των αντίστοιχων τιμών. Αντίθετα, υποστηρίζεται ότι η δομή των συσχετισμών μεταξύ των πολυδιάστατων δεδομένων είναι δυνατό να γίνει εμφανής κατά τη διαδικασία της ανάλυσης, ενώ η ερμηνεία τους θα απαιτούσε την εφαρμογή εξωτερικών κριτηρίων.

Η προτεινόμενη μέθοδος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε περιπτώσεις αναζήτησης δομών που δεν είναι εμφανείς από την παρατήρηση των αρχικών δεδομένων, όπου δεν απαιτείται αλλά ούτε παρέχεται σαφής ερμηνεία των δομών αυτών και των αιτίων τους. Συγκεκριμένα, «[…] η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών δεν υποστηρίζει υποθέσεις σχετικά με κάποιο υποκείμενο αιτιακό μοντέλο. Είναι απλά μια διαδικασία μείωσης μεταβλητών που (τυπικά) οδηγεί σε ένα σχετικά μικρό πλήθος μεταβλητών που αποδίδουν το μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης ενός συνόλου παρατηρούμενων

μεταβλητών» **(**O'Rourke & Hatcher, 2013: 10). Σύμφωνα με τον Jolliffe (2002: 55), χρησιμοποιείται συνήθως για την εξερεύνηση των δεδομένων περισσότερο παρά για την επιβεβαίωση προκαθορισμένων υποθέσεων.

Έτσι, η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών είναι ιδιαιτέρως χρήσιμη όταν επιδιώκεται μια διαδικασία μείωσης διαστάσεων που δεν προβαίνει σε υποθέσεις σχετικά με μια υποκείμενη αιτιακή δομή, υπεύθυνη για τη συνδιασπορά των δεδομένων **(**O'Rourke & Hatcher, 2013: 55).

Σε περιπτώσεις που είναι δυνατή η διατύπωση μιας τέτοιας υπόθεσης, είναι πολύ πιθανό άλλες μέθοδοι ανάλυσης να είναι καταλληλότερες, όπως για παράδειγμα η διερευνητική ανάλυση παραγόντων [exploratory factor analysis].

4.3.7.3. Ανεπίβλεπτη ανάλυση της δομής των δεδομένων

Η ιδιότητα αυτή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών να υποστηρίζει την ανεπίβλεπτη ανάδυση συσχετισμών μεταξύ των δεδομένων, που συνήθως δεν είναι άμεσα ορατοί από την παρατήρηση των ίδιων των δεδομένων, θεωρείται ιδιαιτέρως κρίσιμη καθώς, όπως προαναφέρθηκε, δεν υπάρχουν προκαθορισμένοι τύποι που να περιγράφονται από συγκεκριμένα και σαφή χαρακτηριστικά ή συνδυασμούς ιδιοτήτων, οι οποίοι θα αποτελούσαν και το στόχο της κατηγοριοποίησης. Ακόμα και στην πιλοτική εφαρμογή, όπου οι χώροι είναι χαρακτηρισμένοι ανάλογα με τη γεωγραφική τους θέση και όπου θα μπορούσε να υποστηριχθεί ότι οι κατηγορίες είναι προκαθορισμένες, συμπίπτοντας με τις διακριτές γειτονιές από τις οποίες προέρχονται τα δείγματα, οι κατηγορίες αυτές λειτουργούν ως μέσο εκ των υστέρων ελέγχου της μεθόδου και όχι ως στόχος της ταξινόμησης. Ουσιαστικά ο χαρακτηρισμός των δεδομένων με κατηγορικές ετικέτες έχει ως στόχο να ελεγχθεί αν και σε ποιο βαθμό η μεθοδολογία περιγραφής και συγκριτικής ανάλυσης βάσει πολλαπλών μη ιεραρχημένων ιδιοτήτων της φυσικής μορφής και δομής των χώρων συγκλίνει με την πραγματική χωρική κατανομή τους. Οι κατηγορίες δεν συμμετέχουν καθόλου στη διαδικασία της ανάλυσης, αλλά χρησιμοποιούνται εκ των υστέρων για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων. Με αυτή την έννοια, οι προκαθορισμένες κατηγορίες αποτελούν το κριτήριο επιτυχίας ή αστοχίας της εξεταζόμενης μεθόδου και όχι πρότυπο εκπαίδευσης.

4.3.7.4. Ανεξαρτησία από τάξη και κλίμακα μετρήσεων

Μια σειρά περιορισμών που πρέπει να ληφθούν υπόψη στην επιλογή της μεθόδου μείωσης διαστάσεων σχετίζεται με τις ίδιες τις μετρήσεις. Όπως αναφέρθηκε, επιδιώκεται η μέτρηση ιδιοτήτων διαφορετικών τάξεων ή τύπων (μετρικές, γεωμετρικές, τοπολογικές), που εκφράζουν διαφορετικές χωρικές ποιότητες. Οι μετρήσεις αυτές είναι ετερογενείς και ασύνδετες μεταξύ τους, ωστόσο πρέπει να εισαχθούν ισοβαρώς σε ένα ενιαίο σύστημα. Εκτός από το γεγονός ότι αναφέρονται σε διαφορετικές ιδιότητες, αποδίδονται από μεγέθη που μετρώνται σε διαφορετικές κλίμακες και μη συγκρίσιμες μονάδες μέτρησης. Επιπλέον, εκφράζονται από μεταβλητές που παίρνουν διαφορετικούς τύπους αλλά και εύρη τιμών[9]. Έτσι, κάποιες μετρήσεις μπορεί να παίρνουν αδιάστατες δυαδικές τιμές αληθούς - ψευδούς (1 - 0, όπως για παράδειγμα η ύπαρξη ή όχι γωνιακού ανοίγματος), να αναφέρονται σε διακριτά μεγέθη, όπως πλήθη στοιχείων (όπως το πλήθος των παραβαλλόντων ή περιεχόμενων κτιρίων) ή ποσοστά (όπως το ποσοστό του μήκους ανοιγμάτων προς τη συνολική περίμετρο), ή να παίρνουν διακριτές ή συνεχείς δεκαδικές ή ακέραιες τιμές που

[9] Σχετικά με τις τάξεις και την κλίμακα των ιδιοτήτων, καθώς και τους τύπους και τις κλίμακες των δεδομένων βλ. και κεφ. 2.2.

διαφέρουν πολύ ως προς το μέγεθος και το εύρος τους (για παράδειγμα η φρακταλική διάσταση είναι δεκαδικός αριθμός μεταξύ 1 και 2, ενώ το συνολικό εμβαδόν μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ εκατοντάδων ή χιλιάδων τετραγωνικών μέτρων, σε ένα συνεχές εύρος τιμών). Αντίστοιχα, μπορεί να εκφράζονται σε ονομαστικές ή διατακτικές ποιοτικές κλίμακες ή και σε ποσοτικές κλίμακες διαστημάτων ή αναλογικές κλίμακες.

Η ετερογένεια αυτή, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι όλες οι μετρήσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη ισότιμα, ανεξάρτητα από το σχετικό μέγεθος των τιμών τους, οδηγεί στην ανάγκη κανονικοποίησής τους, αναγωγής τους δηλαδή σε ένα κοινό και αδιάστατο εύρος τιμών.

Η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, παράγοντας αδιάστατα διανύσματα προβολής (Κύριες Συνιστώσες), επιτρέπει την ενσωμάτωση ετερογενών μεγεθών στο ίδιο σύστημα. Η ισότιμη, μη ιεραρχική αντιμετώπιση των διαφορετικών μεγεθών γίνεται εφικτή με τον υπολογισμό των Κυρίων Συνιστωσών βάσει του πίνακα συσχέτισης των μετρήσεων, όπου οι μετρήσεις είναι ήδη κανονικοποιημένες. Σύμφωνα με τον Jolliffe (2002: 24), «θα μπορούσε κανείς να υποστηρίξει ότι η κανονικοποίηση των στοιχείων του χ προκειμένου να εξαχθούν οι συσχετίσεις είναι ισοδύναμη με μια τυχαία επιλογή μονάδων μέτρησης. Αυτό το επιχείρημα της τυχαιότητας μπορεί να εφαρμοστεί γενικότερα στη χρήση πινάκων συσχέτισης, αλλά όταν τα στοιχεία του χ είναι μετρήσεις διαφορετικών τύπων, η επιλογή κοινής μονάδας μέτρησης που σχετίζεται με πίνακα συνδιασποράς είναι ακόμα πιο τυχαία, οπότε και πάλι προτιμάται η χρήση του πίνακα συσχέτισης». Επομένως, η επιλογή εφαρμογής της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών στον πίνακα συσχέτισης, από τη μια επιτρέπει την ενσωμάτωση μεταβλητών που αντιστοιχούν σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης και από την άλλη, κανονικοποιώντας τις τιμές, άρει το πρόβλημα των πιθανών αποκλίσεων στα εύρη των τιμών που μπορεί να παίρνουν οι μεταβλητές αυτές. Έτσι, η εξαγωγή Κυρίων Συνιστωσών από πίνακα συσχέτισης αποτελεί μια μέθοδο ανεξάρτητη κλίμακας. «Η κανονικοποίηση των μεταβλητών μπορεί να θεωρηθεί ως μια απόπειρα άρσης του προβλήματος της εξάρτησης των Κυρίων Συνιστωσών από ζητήματα κλίμακας» (Jolliffe, 2002: 24), εφόσον οι Κύριες Συνιστώσες που προκύπτουν από τον πίνακα συσχέτισης «δεν εξαρτώνται από τις απόλυτες τιμές των συσχετίσεων, αλλά από την αναλογία μεταξύ τους» (Jolliffe 2002: 25)[10]. Η ιδιότητα αυτή σημαίνει ότι όχι μόνο ετερογενείς μετρήσεις γίνονται συγκρίσιμες σε ένα ενιαίο σύστημα, αλλά και ότι τυχόν σημαντικές αποκλίσεις στο εύρος τιμών μεταξύ τους, λόγω της διαφορετικής φύσης τους, δεν συμβάλλουν στην υπερίσχυση κάποιων μετρήσεων έναντι άλλων, με αποτέλεσμα όλες οι μετρήσεις να παραμένουν ισότιμες και να μην αξιολογούνται ιεραρχικά βάσει των τιμών που λαμβάνουν.

4.3.7.5. Πολλαπλότητα και ασάφεια των ερμηνειών των Κυρίων Συνιστωσών

Η διαδικασία ερμηνείας των Κυρίων Συνιστωσών αποδίδεται συχνά με τον όρο πραγματοποίηση [reification] (Jolliffe 2002: 269).

4.3.7.5.1. Ερμηνεία: Σχέση Κυρίων Συνιστωσών με αρχικές παραμέτρους

Το γεγονός ότι οι Κύριες Συνιστώσες που προκύπτουν μ' αυτόν τον τρόπο είναι αδιάστατες και ότι κάθε μια έχει υποστεί διαφορετική κανονικοποίηση συντελεστών, συνεπάγεται ότι δεν μπορούν άμεσα να συγκριθούν μεταξύ τους ή να ερμηνευθούν, αφού δεν υπάρχει σαφής και μονοσήμαντος συσχετισμός τους με συγκεκριμένες από τις αρχικές μεταβλητές.

[10] Σημειώνεται ότι «οι συνδιασπορές, αντίθετα με τις συσχετίσεις, και επομένως και οι αντίστοιχες κύριες συνιστώσες, δεν είναι ανεξάρτητες από την κλίμακα» (Jolliffe 2002: 26).

Γενικότερα, «όταν η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών αντικαθιστά ένα μεγάλο σύνολο μεταβλητών με ένα πολύ μικρότερο σύνολο, το μικρότερο σύνολο αποτελείται από νέες μεταβλητές (τις Κύριες Συνιστώσες) και δεν είναι ένα υποσύνολο των αρχικών μεταβλητών. […]Η δόμηση των Κυρίων Συνιστωσών ως γραμμικών συνδυασμών όλων των μετρημένων μεταβλητών σημαίνει ότι η ερμηνεία τους δεν είναι πάντα εύκολη, (αφού) δεν υπάρχει λόγος, a priori, μια μαθηματικά επαγόμενη γραμμική συνάρτηση των αρχικών μεταβλητών (αυτό που είναι δηλαδή οι Κύριες Συνιστώσες) να έχει μια απλή ερμηνεία» (Jolliffe, 2002: xi, 269, 64).

Λόγω της ασάφειας του τι μετρούν οι Κύριες Συνιστώσες και της δυσκολίας άμεσης και ρητής ερμηνείας τους, ο Jolliffe συνιστά να αποφεύγουμε την υπερερμηνεία των Κυρίων Συνιστωσών και τονίζει ότι «η ερμηνεία των Κύριων Συνιστωσών είναι συχνά λιγότερο προφανής από όσο γίνεται αντιληπτό. Απλουστευτικές ερμηνείες μπορεί να είναι παραπλανητικές» (Jolliffe, 2002: 67).

Αν και οι Κύριες Συνιστώσες είναι καθαρά υπολογιστικές διαστάσεις και δεν αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες, μεμονωμένες αρχικές μεταβλητές, με αποτέλεσμα να μην παρέχονται άμεσες και απλές ερμηνείες συσχετισμού μεταξύ τους, ωστόσο εμφανίζουν διαφορετικούς βαθμούς σύγκλισης ή απόκλισης σε σχέση με αυτές. Έτσι, οι αρχικές μεταβλητές μπορεί να συμμετέχουν περισσότερο ή λιγότερο στον προσδιορισμό της διεύθυνσης των Κύριων Συνιστωσών. Ανάλογα με το βαθμό σύγκλισης κάθε Κύριας Συνιστώσας με κάθε μια από τις αρχικές διαστάσεις, μπορεί να εξαχθεί κάποιου τύπου ερμηνεία των Κυρίων Συνιστωσών, με όρους μεγαλύτερης ή μικρότερης συσχέτισής τους με τις αρχικές διαστάσεις[11], δίνοντας μια εικόνα του τι μετράει κάθε συνιστώσα. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ερμηνεία αυτή είναι ασαφής και ανοιχτή, αναφερόμενη σε κατηγορίες ποιοτικών ιδιοτήτων που σχετίζονται με περισσότερες από μία αρχικές μεταβλητές[12].

Όταν μια μεταβλητή συνεισφέρει σημαντικά στην κατεύθυνση μιας Κύριας Συνιστώσας, δηλαδή τα διανύσματά τους συγκλίνουν, η μεταβλητή αυτή λέγεται ότι φορτίζει [loads] τη Συνιστώσα (O'Rourke & Hatcher, 2013: 12), ενώ το πόσο συνεισφέρει κάθε μεταβλητή σε κάθε Κύρια Συνιστώσα αποδίδεται από τη φόρτιση συντελεστή [factor loading]. Έτσι, προκειμένου να προσδιοριστεί τι μετράει η κάθε Κύρια Συνιστώσα, αναζητούμε τις μεταβλητές εκείνες που συμβάλλουν περισσότερο στην εκάστοτε Κύρια Συνιστώσα, εμφανίζοντας υψηλή φόρτιση συντελεστή ως προς αυτή. Ο προσδιορισμός της τιμής της φόρτισης συντελεστή, πάνω από την οποία θεωρείται ότι μια μεταβλητή συμμετέχει σημαντικά στη διαμόρφωση μιας Κύριας Συνιστώσας, δεν είναι δεδομένη και ο Stevens (1986) αναφέρεται σε μια σειρά ζητημάτων που εμπλέκονται στον ορισμό της. Ωστόσο, σε απλές περιπτώσεις ορθόγωνων Κυρίων Συνιστωσών, θεωρείται γενικά αποδεκτό ως ελάχιστο όριο να τίθεται η τιμή 0.4. (O'Rourke & Hatcher, 2013: 28-29).

Βάσει του κριτηρίου αυτού, θεωρούμε ότι κάθε συνιστώσα μετράει περισσότερο τα χαρακτηριστικά εκείνα που αντιστοιχούν στις μεταβλητές με φόρτιση συντελεστή μεγαλύτερη του 0.4, ενώ σχετίζεται λιγότερο ή και σχεδόν καθόλου τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά.

Αυτό φυσικά δεν παρέχει μια συγκεκριμένη και σαφή ερμηνεία των νέων διαστάσεων του χώρου αναπαράστασης, αλλά ένα σχετικό μέτρο βαθμού απόδοσης ασαφών ποιοτήτων. Μία μεταβλητή μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στη διαμόρφωση περισσοτέρων της μίας Κυρίων Συνιστωσών και αντίστροφα, σε μια Κύρια Συνιστώσα συνήθως συμμετέχουν πολλαπλές μεταβλητές. Για την ακρίβεια, σε κάθε Κύρια Συνιστώσα συμμετέχουν όλες οι μεταβλητές, αλλά σε διαφορετικό βαθμό.

[11] Για τη συσχέτιση των Κυρίων Συνιστωσών με τις αρχικές μεταβλητές βλ. και O'Rourke και Hatcher (2013: 28).

[12] Για παράδειγμα, μια Κύρια Συνιστώσα μπορεί να τείνει να αποδίδει γενικά στοιχεία μεγέθους, ενώ μια άλλη βαθμούς ανοιχτότητας.

Έτσι κάθε Κύρια Συνιστώσα δεν εκφράζει σαφείς ομάδες μεταβλητών, αλλά συνδυασμούς όλων των μεταβλητών σε διαφορετικούς βαθμούς. Αν οι μεταβλητές εκείνες που υπερισχύουν στον καθορισμό μιας Κύριας Συνιστώσας εμφανίζουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά και δείχνουν να μετρούν παρόμοιες ιδιότητες, τότε μπορεί να υποτεθεί με σχετική ασφάλεια ότι η συγκεκριμένη Κύρια Συνιστώσα αντιστοιχεί περισσότερο σε αυτού του τύπου τις ιδιότητες.

4.3.7.5.2. Ερμηνεία: Μέγεθος και σχήμα

Σύμφωνα με τα παραπάνω, σε κάθε Κύρια Συνιστώσα μπορεί να συμβάλλουν εντονότερα περισσότερες από μία μεταβλητές, ενώ κάθε μεταβλητή συμβάλλει σε διαφορετικό βαθμό στον καθορισμό όλων των Κυρίων Συνιστωσών. Έτσι, η ερμηνεία των Κυρίων Συνιστωσών μπορεί να μην αναφέρεται ρητά σε συγκεκριμένες από τις αρχικές διαστάσεις, αλλά σε ασαφείς ποιότητες που αποδίδονται από συνδυασμούς μετρήσεων και από τη διαφορετική συμμετοχή τους στη διαμόρφωση της κάθε Κύριας Συνιστώσας. Τέτοιες ασαφείς ποιότητες, που δεν εκφράζονται από καμία από τις αρχικές μεταβλητές μεμονωμένα, μπορεί να αναφέρονται για παράδειγμα σε στοιχεία συνολικού μεγέθους και σχήματος.

Σε πολλές εφαρμογές της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών που αναφέρονται σε μεταβλητές σχετιζόμενες με μετρικά χαρακτηριστικά φυσικών μορφών, όπως για παράδειγμα ανατομικές μετρήσεις για διάφορα φυτικά και ζωικά είδη, έχει παρατηρηθεί ότι «οι συντελεστές της πρώτης Κύριας Συνιστώσας έχουν όλοι το ίδιο πρόσημο και αποτελεί ένα μέτρο 'μεγέθους'. Ο περιορισμός ορθογωνικότητας της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών απαιτεί τότε οι επόμενες Κύριες Συνιστώσες να είναι αντιπαραβολές μεταξύ μεταβλητών ή μετρήσεων του 'σχήματος'[13]» (Jolliffe, 2002: 344). Σύμφωνα με τον Jolliffe, η ιδέα χρήσης της πρώτης Κύριας Συνιστώσας ως μέτρο μεγέθους, ανάγεται το αργότερο στον Jolicoeur (1963). Ο Sprent (1972) παρέχει μια επισκόπηση πρώιμης έρευνας στην περιοχή αυτή από μια μαθηματική, στατιστική οπτική και οι Blackith και Reyment (1971: Chapter 12) παρέχουν αναφορές σε ένα εύρος πρώιμων παραδειγμάτων.

Ο Somers (1989) υποστηρίζει ότι η πρώτη Κύρια Συνιστώσα περιέχει ένα μείγμα πληροφορίας μεγέθους και σχήματος. Εφόσον σε κάθε Κύρια Συνιστώσα συμμετέχουν σε διαφορετικό βαθμό όλες οι μεταβλητές, δεν μπορεί να υπάρχει σαφής και απόλυτος διαχωρισμός μεταξύ διαστάσεων που αποδίδουν το μέγεθος και άλλων που αποδίδουν το σχήμα, αλλά είναι δυνατό να διακριθούν διαφορετικοί βαθμοί απόδοσης ασαφών ιδιοτήτων ή χαρακτηριστικών διαφορετικών τάξεων. Η διάκριση μεγέθους και σχήματος δεν αποτελεί απόλυτη ερμηνεία, αλλά μια ανάγνωση γενικών τάσεων ομαδοποίησης μεταβλητών ως προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις.

Στην περίπτωση περιγραφής χωρικών σχηματισμών, όπου οι μετρήσεις αναφέρονται σε φυσικά χαρακτηριστικά της μορφής και της δομής των χώρων, οι όροι μέγεθος και σχήμα αποκτούν κυριολεκτικό νόημα.

Η διάκριση αυτή φαίνεται να ισχύει και στην περίπτωση της κύριας εφαρμογής, όπου η πρώτη Κύρια Συνιστώσα εμφανίζεται να αποδίδει σε μεγάλο βαθμό μια γενική κατανομή μεγέθους, τόσο ως προς τη συνολική επιφάνεια όσο και ως προς την περίμετρο των αδόμητων χώρων. Παρατηρώντας τη

[13] Σύμφωνα με τον Jolliffe, (2002: 56, 344), «η πρώτη Κύρια Συνιστώσα σχεδόν πάντα έχει θετικούς συντελεστές για όλες τις μεταβλητές και απλά αντικατοπτρίζει το συνολικό 'μέγεθος' των ατόμων. Επόμενες Κύριες Συνιστώσες συνήθως αντιπαραθέτουν κάποιες από τις μετρήσεις με άλλες, και συχνά μπορούν να ερμηνευθούν ως σχετιζόμενες με το 'σχήμα' και χαρακτηριστικά του που είναι σημαντικά για το εκάστοτε είδος. […] Σε περιπτώσεις όπου όλες οι μετρώμενες μεταβλητές θεωρούνται ίσης σημασίας, φαίνεται εύλογο ότι το 'μέγεθος' θα έπρεπε να είναι μια ζυγισμένη μέση τιμή των μεταβλητών με όλα τα βάρη ίσα. Αυτό είναι γνωστό ως ισομετρικό μέγεθος. Ενώ η πρώτη Κύρια Συνιστώσα μπορεί να έχει περίπου ίσα βάρη (συντελεστές), η ποικιλία του δείγματος εξασφαλίζει ότι δεν θα είναι ποτέ ακριβώς ίσα.»

γραφική αναπαράσταση της προβολής των πολυδιάστατων διανυσμάτων στο χώρο που ορίζουν οι δύο πρώτες Κύριες Συνιστώσες, παρατηρείται μια τάση των μεγαλύτερων χώρων να εμφανίζονται στα δεξιά τεταρτημόρια του γραφήματος και των μικρότερων στα αριστερά (Εικόνα 4 - 16).

4.3.7.6. Μη ιεραρχική αντιπροσώπευση όλων των μεταβλητών και συνυπολογισμός πλεοναζουσών μετρήσεων

Κάθε Κύρια Συνιστώσα μπορεί να σχετίζεται εντονότερα με κάποιο υποσύνολο των αρχικών μεταβλητών, εκφράζοντας έτσι σε μεγαλύτερο βαθμό τις ιδιότητες που αντιστοιχούν στο υποσύνολο αυτό. Είναι φανερό ότι όσο περισσότερο οι Κύριες Συνιστώσες ή κάποιες από αυτές τείνουν να ταυτίζονται με μεμονωμένες αρχικές διαστάσεις, τόσο μειώνεται η νέα πληροφορία που παρέχει η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών. Οι λόγοι που μπορεί να οδηγήσουν σε μια τέτοια ταύτιση, ή έντονη σύγκλιση, είναι διάφοροι.

Για παράδειγμα, στην περίπτωση εξαγωγής των Κύριων Συνιστωσών από πίνακα συνδιασποράς, αν μία ή περισσότερες από τις διασπορές του πίνακα είναι πολύ μεγαλύτερες από τις υπόλοιπες, «συχνά θα υπάρχει μια Κύρια Συνιστώσα που θα σχετίζεται με κάθε μια από τις μεταβλητές που παρουσιάζουν τις μεγάλες αυτές διακυμάνσεις και θα είναι σχεδόν αδιαχώριστη από την αντίστοιχη μεταβλητή» (Jolliffe, 2002: 56). Η μεγάλη ομοιότητα μιας Κύριας Συνιστώσας με μία εκ των αρχικών μεταβλητών μπορεί να εμφανιστεί και στην περίπτωση που οι Κύριες Συνιστώσες εξάγονται από πίνακα συσχέτισης, αν «η αντίστοιχη μεταβλητή είναι σχεδόν ασυσχέτιστη με όλες τις άλλες μεταβλητές» (Jolliffe, 2002: 56).

Αν μεταξύ των αρχικών μεταβλητών εμφανίζονται σαφείς ομάδες που συσχετίζονται ισχυρά μεταξύ τους αλλά εμφανίζουν χαμηλή συσχέτιση με τις υπόλοιπες μεταβλητές, θα υπάρχει τουλάχιστον μία Κύρια Συνιστώσα με μεγάλη διακύμανση που θα σχετίζεται με την κάθε μία από αυτές τις ομάδες και θα αποτελεί δείκτη του μεγέθους της ομάδας. Επομένως, αν υπάρχουν σαφώς καθορισμένες ομάδες αρχικών μεταβλητών, κάθε μια από αυτές θα αντιπροσωπεύεται από μια Κύρια Συνιστώσα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα από τη μια να εκπροσωπούνται όλες οι αρχικές διαστάσεις και από την άλλη να εκπροσωπούνται ισότιμα, αφού σε κάθε ομάδα ισχυρά συσχετιζόμενων και πιθανά αλληλεπικαλυπτόμενων μετρήσεων αντιστοιχεί μια Κύρια Συνιστώσα με μεγάλη διακύμανση, εξισορροπώντας την πιθανή παρουσία πλεοναζουσών μετρήσεων στα αρχικά δεδομένα.

Στην περίπτωση που μία από τις αρχικές μεταβλητές είναι σχεδόν ανεξάρτητη από όλες τις άλλες, αλλά αρκετές από τις υπόλοιπες μεταβλητές μετράνε ουσιαστικά παρεμφερείς ιδιότητες, οπότε υπάρχουν μάλλον πλεονάζουσες μετρήσεις ως προς τις ιδιότητες αυτές, η χρήση άλλων αλγοριθμικών μεθόδων που βασίζονται στην Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των πολυδιάστατων δεδομένων θα έδιναν περισσότερο βάρος στην ιδιότητα εκείνη που εκφράζεται από πολλαπλές μεταβλητές από ότι στην ιδιότητα που περιγράφεται από την ‘ανεξάρτητη’ μεταβλητή. Με την εφαρμογή όμως της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών η ανισοβαρής απόδοση των μεταβλητών αίρεται. «Αν είναι επιθυμητό να δοθεί ίσο βάρος σε κάθε ιδιότητα τότε αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον υπολογισμό των Κυρίων Συνιστωσών και με την απόδοση στη συνέχεια ίσου βάρους σε κάθε μια από τις πρώτες m Κύριες Συνιστώσες» (Jolliffe, 2001: 211).

Ουσιαστικά, η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών συμπτύσσει τις έντονα συσχετιζόμενες μεταβλητές, αφαιρώντας την πλεονάζουσα και αλληλεπικαλυπτόμενη πληροφορία που ενδέχεται να ενυπάρχει στη βάση δεδομένων.

4.3.7.7. Επιλογή μεθόδου: Ανακεφαλαίωση ιδιοτήτων

Ανακεφαλαιώνοντας, η επιλογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, απαντά ταυτόχρονα σε μια σειρά απαιτήσεων και περιορισμών που τίθενται στα πλαίσια της παρούσας ανάλυσης.

Συγκεκριμένα, είναι μια μέθοδος που:

- Επιτρέπει την οπτικοποίηση πολυδιάστατων δεδομένων κατά τρόπο που να μεγιστοποιείται η διασπορά τους και επομένως η εποπτική σαφήνεια των μεταξύ τους σχετικών θέσεων.
- Αποκαλύπτει συσχετισμούς μεταξύ των δεδομένων που είναι αδύνατο να εξαχθούν από τις αρχικές μεταβλητές.
- Επιτρέπει την κοινή θεώρηση μετρήσεων διαφορετικών τύπων, καθιστώντας τις συγκρίσιμες σε ένα ενιαίο σύστημα.
- Δεν επηρεάζεται από ζητήματα τάξης μετρήσεων, κλίμακας και μονάδων μέτρησης.
- Υποστηρίζει την πολλαπλότητα, την ετερογένεια και τη μη ιεραρχική δομή των δεδομένων, καθώς και την έλλειψη κριτηρίων αξιολόγησης.
- Αφαιρεί τυχόν αλληλεπικάλυψη και πλεόνασμα μετρήσεων ώστε όλες οι ιδιότητες να αντιπροσωπεύονται ισότιμα στην τελική κατανομή.
- Παράγει έναν αφηρημένο χάρτη συσχετισμών, βάσει βαθμών εγγύτητας και διαφοράς μεταξύ των εισερχομένων δεδομένων ως προς όλες τις μεταβλητές ταυτόχρονα και ισότιμα.
- Δεν εξαρτά μονοσήμαντα τις συσχετίσεις από συγκεκριμένες αρχικές μεταβλητές ή περιγράψιμα και σαφή υποσύνολά τους.

Σύμφωνα με τις ιδιότητες αυτές, η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών δείχνει κατάλληλη για την επεξεργασία και την οπτικοποίηση των πολυδιάστατων διανυσμάτων ιδιοτήτων που αναπαριστούν τους εξεταζόμενους άτυπους χωρικούς σχηματισμούς.

Με την εφαρμογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών τα μεγέθη που προκύπτουν από τις μετρήσεις συνδυάζονται σε μια πολυδιάστατη δομή όπου κάθε χωρική ενότητα αναπαρίσταται ως μοναδικά ορισμένο σημείο. Η σχετική θέση κάθε ενότητας στα πλαίσια της δομής αυτής αποκαλύπτει το συσχετισμό της με το σύνολο των υπόλοιπων ενοτήτων ως προς όλες τις μετρήσεις ταυτόχρονα.

Αν και στον πολυδιάστατο χώρο κάθε χωρική ενότητα αντιπροσωπεύεται από ένα μοναδικά ορισμένο σημείο ανεξάρτητα από τα άλλα διανύσματα, η θέση της στον μειωμένο τρισδιάστατο χώρο εξαρτάται από τη σύνθεση του συνόλου του δείγματος. Έτσι, η προκύπτουσα δομή είναι σε μεγάλο βαθμό σχετική και αυτοαναφορική. Η αλλαγή του δείγματος θα είχε ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της συνολικής δομής και επομένως και των συσχετισμών μεταξύ των σημείων. Επομένως, η ανάλυση των Κύριων Συνιστωσών μπορεί να αποκαλύψει αφηρημένους συσχετισμούς στα πλαίσια ενός συγκεκριμένου κάθε φορά συνόλου μοναδικοτήτων και η ερμηνεία και αξιολόγησή τους απαιτεί συγκεκριμένη γνώση του πεδίου εφαρμογής

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μείωση του πλήθους των διαστάσεων του χώρου αναπαράστασης διατηρώντας τα πιο χαρακτηριστικά γνωρίσματα της βάσης δεδομένων. Σύμφωνα με τον Hanna, «οι διαστάσεις αυτού του νέου χώρου ιδιοτήτων είναι αυστηρά υπολογιστικές και έχουν νόημα μόνο με μια στατιστική έννοια και όχι με την έννοια ότι μπορούν εύκολα να περιγραφούν» (Hanna, 2007c: 10, 2006: 8).

Παρ’ όλα αυτά, οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ των σημείων των δεδομένων, όπως αυτά προβάλλονται στο μειωμένο χώρο ιδιοτήτων, αποτελούν έναν δείκτη ομοιότητας και διαφοροποίησης. Εντονότερα αλληλοσυσχετιζόμενοι χώροι τείνουν να ομαδοποιούνται ενώ διαφοροποιημένοι χώροι εμφανίζονται σε απόσταση μεταξύ τους. Έτσι, η μέθοδος αυτή

προσφέρεται προκειμένου να αναδειχθούν εντάσεις σχέσεων περισσότερο παρά για να συγκριθούν συγκεκριμένα χωρικά χαρακτηριστικά καθαυτά.

4.3.8. Εφαρμογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών

Εργαλείο

Για την πραγματοποίηση της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό στατιστικής ανάλυσης JMP της εταιρείας SAS. Συμπληρωματικά, για την οπτικοποίηση και περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων γράφτηκε αλγόριθμος σε γλώσσα προγραμματισμού Processing.

Εισερχόμενα. Μορφή δεδομένων

Ο υπολογισμός των Κυρίων Συνιστωσών πραγματοποιείται βάσει των μετρήσεων των ιδιοτήτων που έγιναν στο προηγούμενο στάδιο της ανάλυσης. Οι τιμές που προκύπτουν από τις μετρήσεις (λίστες ιδιοτήτων για κάθε χώρο) οργανώνονται σε πίνακες της μορφής (αντικείμενα * μεταβλητές), όπου οι γραμμές αντιστοιχούν στους αδόμητους χώρους (αντικείμενα) και οι στήλες στις ιδιότητες (μεταβλητές). Έτσι, για κάθε εφαρμογή σχηματίζεται ένας πίνακας, που περιλαμβάνει όλες τις τιμές για τις ιδιότητες όλων των δειγμάτων χώρων. Ο πίνακας αυτός μορφοποιείται στο λογισμικό Office excel και εισάγεται απευθείας στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης.

Αλγόριθμος

Ο πίνακας ιδιοτήτων για κάθε εφαρμογή εισάγεται στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης, μορφοποιείται κατάλληλα (τοποθετούνται ετικέτες στις γραμμές και τις στήλες και προσδιορίζεται το πεδίο που θα αναλυθεί) και επιλέγεται η εφαρμογή Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών επί του πίνακα συσχέτισης των τιμών του εισερχόμενου πίνακα. Αφού υπολογιστεί ο πίνακας συσχέτισης, εξάγονται οι ιδιοτιμές και τα ιδιοδιανύσματά του και ταξινομούνται σε φθίνουσα σειρά μεγέθους. Αυτό αποτελεί και το βασικό στάδιο της διαδικασίας. Στη συνέχεια παρέχονται μια σειρά επιλογών για τον τρόπο οπτικοποίησης και περαιτέρω επεξεργασίας των αποτελεσμάτων.

Εξερχόμενα

Τα διανύσματα των Κύριων Συνιστωσών εξάγονται από τον ιδιοδανυσματικό γραμμικό συνδυασμό των μεταβλητών και τα αποτελέσματα δείχνουν πώς οι Κύριες Συνιστώσες απορροφούν τη διακύμανση εντός των δεδομένων. Το βασικό εξαγόμενο είναι οι Κύριες Συνιστώσες, δηλαδή τα ιδιοδιανύσματα και οι ιδιοτιμές τους σε σειρά μεγέθους, καθώς και το ποσοστό επί της συνολικής διακύμανσης που αποδίδει κάθε Κύρια Συνιστώσα. Βάσει αυτών, προσδιορίζεται το πλήθος των Κυρίων Συνιστωσών που θα χρησιμοποιηθούν για την προβολή των δεδομένων σε χώρο λιγότερων διαστάσεων. Και στις δύο εφαρμογές, επιλέγεται η διατήρηση των τριών πρώτων Κυρίων Συνιστωσών και γίνεται η γραφική αναπαράσταση των δεδομένων, προβαλλόμενων ως σημεία σε τρεις διαστάσεις. Οι συντεταγμένες των σημείων στο νέο χώρο αναπαράστασης εξάγονται σε πίνακες, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την οπτικοποίηση και την περαιτέρω επεξεργασία των αποτελεσμάτων στα επόμενα στάδια της ανάλυσης. Συγκεκριμένα, στην εφαρμογή που αφορά στην περιοχή των Πατησίων, οι πίνακες συντεταγμένων των δεδομένων στο νέο υποχώρο τριών διαστάσεων εισάγονται στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού Processing προκειμένου να οπτικοποιηθεί η θέση τους με τη χρήση τρισδιάστατων διανυσματικών γραφικών. Στην οπτικοποίηση αυτή, οι αποστάσεις μεταξύ των τρισδιάστατων πλέον διανυσμάτων εκφράζουν τη μέγιστη διασπορά των δεδομένων, με αποτέλεσμα τη διάκριση των σημείων και κατ' επέκταση τη μέγιστη εποπτική σαφήνεια, προκειμένου στη συνέχεια να αξιολογηθούν οι συσχετισμοί μεταξύ των δεδομένων βάσει των σχετικών θέσεών τους και αποστάσεων στον τρισδιάστατο αναπαραστατικό χώρο.

Εκτός από τις ιδιοτιμές, τα διδιοδιανύσματα και την τρισδιάστατη προβολή του πολυδιάστατου νέφους σημείων, υπάρχει η δυνατότητα εξαγωγής και άλλων μεγεθών που συνεισφέρουν στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, εξάγονται πίνακες με τις φορτίσεις συντελεστών [factor loadings], που εκφράζουν ποσοτικά τη σχέση των Κυρίων Συνιστωσών με τις αρχικές μεταβλητές (διαστάσεις). Στους πίνακες αυτούς (factor pattern matrix) οι γραμμές αντιπροσωπεύουν τις αρχικές μεταβλητές και οι στήλες τις Κύριες Συνιστώσες. Στην περίπτωση ορθόγωνων, ασυσχέτιστων Κυρίων Συνιστωσών, οι φορτίσεις συντελεστών ισοδυναμούν με τις διμεταβλητές συσχετίσεις [bivariate correlations] μεταξύ των μεταβλητών και των συνιστωσών. Όσο η τιμή του συσχετισμού πλησιάζει τη μονάδα, τόσο ισχυρότερη είναι η σχέση ανάμεσα στο συγκεκριμένο ζεύγος συνιστώσας- μεταβλητής.

Επιπλέον, το λογισμικό JMP παρέχει τη δυνατότητα εφαρμογής Biplot, που έχει ως εξερχόμενο μια δισδιάστατη γραφική παράσταση, στην οποία εμφανίζονται ταυτόχρονα οι δύο Κύριες Συνιστώσες, οι προβολές των δεδομένων και τα διανύσματα των μεταβλητών.

4.3.8.1. Συνδυασμός Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών με Biplot

Στη γραφική παράσταση των δεδομένων ως προς τις δύο ή τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες αποδίδονται σε ικανοποιητικό βαθμό οι συσχετισμοί τόσο μεταξύ των δεδομένων, ως πολυδιάστατων σημείων, όσο και των δεδομένων με τις Κύριες Συνιστώσες που ορίζουν το νέο χώρο αναπαράστασης και στις οποίες προβάλλονται. Προκειμένου όμως να οπτικοποιηθούν και να μελετηθούν οι σχέσεις των αρχικών μεταβλητών (μετρήσεων) με τις προκύπτουσες Κύριες Συνιστώσες, καθώς και των μεταβλητών μεταξύ τους αλλά και με τα προβαλλόμενα δεδομένα, χρησιμοποιείται συμπληρωματικά μια μέθοδος που σχετίζεται άμεσα με την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, με την οποία μπορεί να συνδυαστεί σε ένα κοινό διάγραμμα. Η μέθοδος αυτή είναι το Biplot (διγράφημα ή διάγραμμα σύμπτωσης δύο μεταβλητών), ένα γραφικό εργαλείο για την ταυτόχρονη απεικόνιση των γραμμών και των στηλών ενός πίνακα δεδομένων της μορφής αντικείμενα × μεταβλητές, σε κοινό χώρο δύο, συνήθως, διαστάσεων (Gabriel, 1971). Το Biplot (Μάρκος, 2006: 174-175) διευκολύνει τον προσδιορισμό της εσωτερικής δομής των δεδομένων και συμβάλλει, μέσω της οπτικοποίησης, στην ανάδειξη των μεταξύ τους σχέσεων (Jacoby, 1998). Το πρόθεμα «Bi» αφορά στη δυνατότητα ταυτόχρονης αναπαράστασης αντικείμενων και μεταβλητών στο ίδιο διάγραμμα και όχι στον αριθμό των διαστάσεων. Έτσι, τα Biplots μπορούν να γενικευτούν σε περισσότερες από δύο διαστάσεις (Gower, 1990).

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές της μεθόδου αυτής, με κοινό στοιχειό ότι «όλες παρέχουν μια ταυτόχρονη οπτικοποίηση n παρατηρήσεων και p μεταβλητών στο ίδιο δισδιάστατο διάγραμμα» (Jolliffe, 2002: 79). Μία από τις παραλλαγές «είναι πανομοιότυπη με μια γραφική αναπαράσταση ως προς τις δύο πρώτες Κύριες Συνιστώσες, αλλά το Biplot ταυτόχρονα παρέχει γραφική πληροφορία σχετικά με τις σχέσεις μεταξύ μεταβλητών. Οι σχετικές θέσεις των μεταβλητών και των παρατηρήσεων, που αναπαρίστανται στο ίδιο διάγραμμα, μπορούν επίσης να ερμηνευθούν» (Jolliffe, 2002: 79).

Έτσι, τα Biplots «παρέχουν γραφικές παραστάσεις n παρατηρήσεων, αλλά ταυτόχρονα δίνουν και γραφικές παραστάσεις των σχετικών θέσεων των p μεταβλητών σε δύο διαστάσεις. Επιπλέον, αλληλεπιθέτοντας τους δύο τύπους παραστάσεων (Biplot και Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών) παρέχεται πρόσθετη πληροφορία σχετικά με συσχετισμούς μεταξύ μεταβλητών και παρατηρήσεων που δεν είναι διαθέσιμη σε καμία από τις δύο μεμονωμένες γραφικές παραστάσεις» (Jolliffe, 2002: 90).

Στις παρούσες εφαρμογές το Biplot χρησιμοποιείται υποστηρικτικά, κυρίως προκειμένου να διερευνηθούν οι σχέσεις των αρχικών μεταβλητών με τις Κύριες Συνιστώσες[14]. Στο διάγραμμα που προκύπτει, οι δύο Κύριες Συνιστώσες αντιστοιχούν στον άξονα τετμημένων και τεταγμένων αντίστοιχα, ενώ κάθε μια από τις αρχικές μεταβλητές, ή διαστάσεις, αναπαρίσταται ως ένα διάνυσμα (ή άξονας) με αρχή την αρχή των δύο βασικών αξόνων (πρώτη και δεύτερη Κύρια Συνιστώσα). Στο Biplot, (Μάρκος, 2006: 174-175) οι μεταβλητές απεικονίζονται ως διανύσματα και τα αντικείμενα ως σημεία έτσι ώστε η τιμή, για παράδειγμα, του αντικειμένου i στη μεταβλητή j να μπορεί να προσεγγιστεί από το εσωτερικό γινόμενο των συντεταγμένων του σημείου που αναπαριστά το αντικείμενο i και του διανύσματος θέσης του σημείου που αντιστοιχεί στη μεταβλητή j (Jacoby, 1998, Gower, 2004). Αυτό σημαίνει σχηματικά ότι οι γωνίες που σχηματίζει ο κάθε άξονας με τους βασικούς άξονες, αλλά και η φορά τους, εκφράζουν το βαθμό σύγκλισης ή απόκλισης κάθε μιας από τις αρχικές διαστάσεις σε σχέση με τις δύο πρώτες Κύριες Συνιστώσες. Έτσι είναι δυνατό να συμπεράνουμε με ποιες από τις αρχικές διστάσεις «μοιάζει» περισσότερο η καθεμία από τις δύο πρώτες Κύριες Συνιστώσες ή αλλιώς ως προς ποιες διαστάσεις τα δεδομένα διαφοροποιούνται περισσότερο στο σύνολό τους και επομένως ποιες διαστάσεις συμβάλλουν περισσότερο στη διασπορά των δεδομένων. Επίσης μπορούμε να διακρίνουμε συσχετισμούς μεταξύ των ίδιων των μεταβλητών. Μεταβλητές των οποίων τα διανύσματα είναι σχεδόν συνευθειακά εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση, ενώ αν τα διανύσματά τους είναι σχεδόν αντίρροπα, εμφανίζουν υψηλή αρνητική συσχέτιση. Κάθετα μεταξύ τους διανύσματα αντιστοιχούν σε ασυσχέτιστες μεταβλητές. Τα μήκη των διανυσμάτων διατηρούν μια αναλογία ως προς τις τιμές των μεταβλητών για κάθε παρατήρηση σε κάθε άξονα, έτσι ώστε «προβάλλοντας ορθά μια παρατήρηση (σημείο) σε έναν άξονα να λαμβάνουμε άμεσα μια «πρόγνωση» της τιμής της αντίστοιχης μεταβλητής για την επιλεγμένη παρατήρηση» (Jolliffe, 2002: 97).

[14] Σύμφωνα με τον Μάρκο (2006: 177), το μεγαλύτερο ίσως πλεονέκτημα του Biplot είναι η ευκολία ερμηνείας του, η οποία στηρίζεται στις παρακάτω ιδιότητες (Jacoby, 1998, Gabriel, 1971, 2002):

Ο βαθμός γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών προκύπτει από την εξέταση του συνημίτονου της γωνίας που σχηματίζουν τα αντίστοιχα διανύσματα θέσης. Αν η γωνία μεταξύ δύο διανυσμάτων είναι οξεία (< 90°), οι αντίστοιχες μεταβλητές συσχετίζονται θετικά. Αν η γωνία είναι αμβλεία (> 90°), οι μεταβλητές συσχετίζονται αρνητικά. Τέλος, αν η γωνία μεταξύ δύο διανυσμάτων είναι ορθή (90°), οι μεταβλητές είναι γραμμικά ανεξάρτητες.

Οι αποστάσεις μεταξύ των αντικειμένων στους παραγοντικούς άξονες καθορίζουν το βαθμό ομοιότητας των αντίστοιχων προφίλ. Για παράδειγμα, δύο αντικείμενα – σημεία με παρόμοιες συντεταγμένες σε όλους τους άξονες, δηλαδή με παρόμοιο προφίλ, θα βρίσκονται κοντά μεταξύ τους στο χώρο προβολής. Αντίθετα, δύο αντικείμενα - σημεία με σημαντικά διαφορετικά προφίλ, θα απέχουν μεταξύ τους σημαντικά.

Τα διανύσματα θέσης (μεταβλητές) είναι προσανατολισμένα προς τα αντικείμενα για τα οποία έχουν τις μεγαλύτερες τιμές. Για τη σύνδεση ενός αντικειμένου i με μια μεταβλητή j, φέρνουμε την ορθογώνια προβολή του σημείου i στην ευθεία που είναι συγγραμμική με το διάνυσμα θέσης της μεταβλητής j. Αν η τιμή ij x του i αντικειμένου στη μεταβλητή j είναι θετική, τότε η προβολή του σημείου i θα βρίσκεται επάνω στο διάνυσμα θέσης της j. Αν η τιμή ij x είναι αρνητική, τότε η προβολή του σημείου i θα βρίσκεται στην προέκταση του διανύσματος θέσης της j και, μάλιστα, προς την αντίθετη κατεύθυνση από αυτή που βρίσκεται το σημείο που αντιστοιχεί στη μεταβλητή j. Τέλος, όσο πιο μακριά από την αρχή των αξόνων βρίσκεται η ορθογώνια προβολή ενός σημείου, τόσο πιο ακραία (υψηλή) είναι η τιμή του στην αντίστοιχη μεταβλητή - διάνυσμα.

4.3.9. Παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα

4.3.9.1. Επιλογή πίνακα συσχέτισης

Βασικός παράγοντας που επηρεάζει τα αποτελέσματα είναι η επιλογή μεταξύ του πίνακα συσχέτισης ή συνδιασποράς των δεδομένων. Η επιλογή αυτή σχετίζεται άμεσα με άλλους δύο καθοριστικούς παράγοντες, που είναι ο τύπος και το εύρος τιμών των μεταβλητών καθώς και η μέθοδος κανονικοποίησής τους. Και στις δύο εφαρμογές επιλέχτηκε ο υπολογισμός των Κυρίων Συνιστωσών από τον πίνακα συσχέτισης, για λόγους που αναφέρθηκαν στο κεφ. 4.3.6.2.

4.3.9.2. Επιλογή πλήθους Κυρίων Συνιστωσών

Αφού υπολογιστούν όλες οι Κύριες Συνιστώσες, που είναι ισάριθμες με τις αρχικές μεταβλητές, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η επιδιωκόμενη μείωση διαστάσεων, επιλέγεται ένα υποσύνολο των πρώτων Κυρίων Συνιστωσών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την προβολή των πολυδιάστατων δεδομένων σε χώρο λιγότερων διαστάσεων. Το πλήθος των διατηρούμενων Κυρίων Συνιστωσών είναι καθοριστικό για την επαρκή απόδοση της πληροφορίας που ενυπάρχει στα αρχικά δεδομένα. Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε στο κεφ. 4.3.6.3.2, δεν υπάρχει ασφαλής τρόπος ακριβούς προσδιορισμού του πλήθους των Κυρίων Συνιστωσών που πρέπει να διατηρηθούν προκειμένου να αναδειχθούν οι συσχετισμοί μεταξύ των δεδομένων. Για να γίνει αυτό εφαρμόζονται τα κριτήρια που σχετίζονται με το εύρος της διακύμανσης, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνεται υπόψη και ο περιορισμός του αναπαραστατικού χώρου σε τρεις διαστάσεις, πέρα των οποίων δυσχεραίνεται σημαντικά η οπτικοποίηση. Βάσει αυτών των κριτηρίων και περιορισμών, και στις δύο εφαρμογές επιλέγεται η προβολή των δεδομένων σε χώρο που ορίζεται από τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες. Συγκεκριμένα, από την εφαρμογή των κριτηρίων (κεφ. 4.3.6.3.2) προκύπτουν τα εξής:

4.3.9.3. Μέγεθος ιδιοτιμής

Το πρώτο κριτήριο αναφέρεται στο μέγεθος της ιδιοτιμής των Κυρίων Συνιστωσών, το οποίο συνίσταται να είναι μεγαλύτερο της μονάδας, σύμφωνα με τον «κανόνα του Kaiser». Και στις δύο εφαρμογές, ιδιοτιμή μεγαλύτερη από τη μονάδα έχουν οι πρώτες τέσσερις Συνιστώσες (Πίνακας 4 - 1, στήλη 2 [eigenvalue]). Συγκεκριμένα, στην πιλοτική εφαρμογή, που αναφέρεται στη διάκριση μεταξύ περιοχών, οι τέσσερις πρώτες Κύριες Συνιστώσες έχουν ιδιοτιμή 4.03, 3.80, 2.31 και 1.22 αντίστοιχα στην περίπτωση ανάλυσης των οικοδομικών τετραγώνων που προέρχονται μόνο από περιοχές της Αθήνας (η πέμπτη Κύρια Συνιστώσα έχει οριακά τιμή 1.00) και 3.72, 3.08, 2.29 και 1.08 στην περίπτωση όπου συμπεριλαμβάνονται και οικοδομικά τετράγωνα από το Λονδίνο. Στην κυρίως εφαρμογή, που αναφέρεται στους αδόμητους χώρους της περιοχής των Πατησίων, οι ιδιοτιμές για τις τέσσερις πρώτες Κύριες Συνιστώσες είναι αντίστοιχα 7.80, 4.38, 1.89 και 1.12. Επομένως, σύμφωνα με τον «κανόνα του Kaiser» σε όλες τις περιπτώσεις θα έπρεπε να διατηρηθεί και η τέταρτη Κύρια Συνιστώσα προκειμένου να αποδοθεί επαρκώς η απόκλιση των αρχικών, πολυδιάστατων δεδομένων. Ωστόσο, η τέταρτη Συνιστώσα και στις δύο εφαρμογές έχει τιμή οριακά μεγαλύτερη της μονάδας (1.22 ή 1.08 και 1.12 αντίστοιχα) και αρκετά χαμηλότερη από την τρίτη Συνιστώσα (2.31 ή 2.29 και 1.89 αντίστοιχα), οπότε, ζυγιζόμενη έναντι της δυσκολίας αναπαράστασης που θα επέφερε η εισαγωγή μιας τέταρτης διάστασης και εφόσον καλύπτεται το επόμενο κριτήριο της αθροιστικής διακύμανσης για τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες, θεωρήθηκε προτιμότερο να γίνει μια υποχώρηση ως προς τον κανόνα του Kaiser και να διατηρηθούν μόνο οι τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες.

Eigenvalues

Number	Eigenvalue	Percent	Cum Percent
1	4.0288	25.180	25.180
2	3.8018	23.761	48.941
3	2.3198	14.499	63.440
4	1.2227	7.642	71.082
5	1.0043	6.277	77.359
6	0.9241	5.776	83.135
7	0.7645	4.778	87.912
8	0.5815	3.634	91.547
9	0.3917	2.448	93.995
10	0.2927	1.829	95.824
11	0.2385	1.491	97.315
12	0.1664	1.040	98.355
13	0.1149	0.718	99.073
14	0.0963	0.602	99.675
15	0.0412	0.258	99.933
16	0.0108	0.067	100.000

Eigenvalues

Number	Eigenvalue	Percent	Cum Percent
1	3.7246	26.604	26.604
2	3.0765	21.975	48.579
3	2.2879	16.342	64.921
4	1.0810	7.721	72.642
5	0.9369	6.692	79.335
6	0.7923	5.659	84.994
7	0.5822	4.158	89.153
8	0.4876	3.483	92.636
9	0.3502	2.502	95.137
10	0.2248	1.606	96.743
11	0.1711	1.222	97.965
12	0.1333	0.952	98.917
13	0.1081	0.772	99.689
14	0.0435	0.311	100.000

Eigenvalues

Number	Eigenvalue	Percent	Cum Percent
1	7.7968	41.036	41.036
2	4.3815	23.060	64.096
3	1.8936	9.966	74.063
4	1.1173	5.880	79.943
5	0.9055	4.766	84.709
6	0.7365	3.876	88.585
7	0.5369	2.826	91.411
8	0.3768	1.983	93.394
9	0.3105	1.634	95.029
10	0.2358	1.241	96.270
11	0.1682	0.885	97.155
12	0.1291	0.680	97.835
13	0.1199	0.631	98.466
14	0.1047	0.551	99.017
15	0.0880	0.463	99.480
16	0.0552	0.291	99.771
17	0.0205	0.108	99.879
18	0.0150	0.079	99.958
19	0.0081	0.042	100.000

Πίνακας 4 - 1
Ιδιοτιμές

Πιλοτική εφαρμογή: Αθήνα (αριστερά), πιλοτική εφαρμογή: Αθήνα και Λονδίνο (κέντρο), κυρίως εφαρμογή: Πατήσια (δεξιά)

4.3.9.4. Αποδιδόμενο ποσοστό διακύμανσης

Γενικά, το προτεινόμενο ποσοστό διακύμανσης που πρέπει να καλύπτεται από τις διατηρούμενες Κύριες Συνιστώσες κυμαίνεται γύρω στο 10% για κάθε Συνιστώσα ξεχωριστά και μεταξύ 70% και 90% αθροιστικά, για όλες τις διατηρούμενες Κύριες Συνιστώσες.

Στην πιλοτική εφαρμογή (Πίνακας 4 - 1, αριστερά και κέντρο, στήλες 3 [percent], 4 και 5 [cum. Percent]), τα ποσοστά διακύμανσης για τις τέσσερις πρώτες Κύριες Συνιστώσες είναι 25.2%, 23.8%, 14.4% και 7.6% αντίστοιχα για την περίπτωση της Αθήνας και 26.6%, 22%, 16.3% και 7.7% όταν συμπεριλαμβάνεται και το Λονδίνο. Αν και το συνιστώμενο αθροιστικό ποσοστό δεν καλύπτεται από τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες (63.4% και 64.9 αντίστοιχα), για κάθε μεμονωμένη Κύρια Συνιστώσα το κριτήριο του ελάχιστου ποσοστού 10% ισχύει για τις τρεις πρώτες και όχι για την τέταρτη. Επομένως κρίνεται ότι οριακά καλύπτεται η απαιτούμενη διακύμανση από τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες.

Στην περίπτωση της κυρίως εφαρμογής (Πίνακας 4 - 1, δεξιά, στήλες 3 [percent], 4 και 5 [cum. Percent]), οι τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες αποδίδουν αθροιστικά 74.1% (> 70%), με την πρώτη να καλύπτει το 41%, τη δεύτερη το 23.1% και την τρίτη το 9.97%. Μεμονωμένα, κάθε μια από αυτές αποδίδει τουλάχιστον 10%, ενώ η τέταρτη Κύρια Συνιστώσα συνεισφέρει αρκετά λιγότερο (περίπου 5%). Επομένως στην εφαρμογή αυτή οι τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες καλύπτουν και τα δύο κριτήρια απόδοσης διακύμανσης.

Το γεγονός ότι τα ποσοστά αυτά δεν είναι ιδιαίτερα υψηλά, δείχνει ότι δεν υπάρχουν σαφώς κυρίαρχες κατευθύνσεις διασποράς και επομένως όλες οι μετρήσεις συνδιαμορφώνουν τους συσχετισμούς μάλλον ισότιμα. Άρα επιβεβαιώνεται και η αρχική υπόθεση ότι οι διαστάσεις δεν δομούνται ιεραρχικά και ότι δεν υπάρχει σαφής τρόπος ορισμού προκαθορισμένων κριτηρίων αξιολόγησης.

4.3.9.5. Πλήθος μεταβλητών ανά Συνιστώσα

Από τον πίνακα με τις φορτίσεις συντελεστών [factor pattern matrix ή loading matrix] (Πίνακας 4 - 2) μπορεί να εξαχθεί πόσες μεταβλητές συνεισφέρουν σημαντικά στον καθορισμό της κατεύθυνσης της κάθε Κύριας Συνιστώσας. Όπως αναφέρθηκε, τα αποτελέσματα θεωρούνται περισσότερο ερμηνεύσιμα ως προς το βαθμό συσχετισμού μεταξύ των μεταβλητών και των Κυρίων Συνιστωσών όταν σε κάθε διατηρούμενη Κύρια Συνιστώσα συμβάλλουν τουλάχιστον τρεις μεταβλητές με φόρτιση συντελεστή [factor loading] μεγαλύτερη του 0.4.

Στην πιλοτική εφαρμογή, στην περίπτωση της Αθήνας, για την πρώτη Κύρια Συνιστώσα υπάρχουν επτά μεταβλητές με φόρτιση μεγαλύτερη του 0.4. Για τη δεύτερη Κύρια Συνιστώσα εμφανίζονται τρεις μεταβλητές με φόρτιση μεγαλύτερη του 0.4 και άλλες τέσσερις με αρνητική φόρτιση μικρότερη του -0.4, ενώ για την τρίτη Κύρια Συνιστώσα φορτίζουν σημαντικά τέσσερις μεταβλητές θετικά και μία αρνητικά. Στην περίπτωση όπου συνυπολογίζεται και η περιοχή του Λονδίνου, για τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες οι σημαντικές φορτίσεις διαμορφώνονται αντίστοιχα σε επτά, τέσσερις και τέσσερις θετικές και μία αρνητική.

Στην κυρίως εφαρμογή, την πρώτη Κύρια Συνιστώσα φορτίζουν με τιμή πάνω από 0.4 δώδεκα μεταβλητές, ενώ μία εμφανίζει αρνητική φόρτιση με τιμή μικρότερη του -0.4. Για τη δεύτερη Κύρια Συνιστώσα επτά μεταβλητές έχουν φόρτιση μεγαλύτερη του 0.4 και τρεις κάτω από -0.4, ενώ για την τρίτη Κύρια Συνιστώσα οι φορτίσεις που ξεπερνούν το 0.4 είναι δύο.

Επομένως, σε όλες τις εφαρμογές κάθε μία από τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες φορτίζεται από περισσότερες των τριών μεταβλητών με τιμή μεγαλύτερη του 0.4, με εξαίρεση την τρίτη Κύρια Συνιστώσα της κυρίως εφαρμογής, γεγονός που σημαίνει ότι δεν διατηρούνται κατευθύνσεις που είναι σχεδόν ταυτόσημες με κάποια μεμονωμένη αρχική μεταβλητή, ενώ ταυτόχρονα όλες οι μεταβλητές αντιπροσωπεύονται επαρκώς, εξαλείφοντας ταυτόχρονα πιθανές αλληλεπικαλύψεις.

Από τους πίνακες φορτίσεων (Πίνακας 4 - 2, Πίνακας 4 - 3, Πίνακας 4 - 4, Πίνακας 4 - 5) και των δύο εφαρμογών παρατηρούμε επίσης ότι καμία Κύρια Συνιστώσα δεν καθορίζεται από μία μόνο μεταβλητή[15] και αντίστροφα, ελάχιστες μεταβλητές φορτίζουν σχεδόν αποκλειστικά μία μόνο Κύρια Συνιστώσα. Οι παρατηρήσεις αυτές δείχνουν ότι τα δεδομένα δεν εμφανίζουν «απλή δομή» [simple structure][16] που να επιτρέπει την άμεση αντιστοίχιση μεταβλητών σε Κύριες Συνιστώσες και επομένως τη ρητή ερμηνεία των Κυρίων Συνιστωσών.

Loading Matrix

	Prin1	Prin2	Prin3
mcv	-0.02206	0.36948	0.69349
mhv	0.32555	0.77831	0.34728
v-value	0.24688	0.76505	0.10619
h-value	0.22918	0.85647	0.13477
void perimeter	0.85787	-0.42036	-0.12753
void number	0.71275	-0.25482	0.58450
fractal dimension	0.69771	0.03486	-0.01553
total area	0.50258	-0.68151	-0.14552
footprint	-0.32480	-0.35112	0.51740
buildings	0.78634	-0.18529	-0.02666
builtNo	0.51870	-0.04426	-0.63463
open voidNo	0.70079	0.38694	0.06229
isolated voidNo	0.38697	-0.48828	0.60204
contour vertices	0.20687	0.15289	-0.34841
mean height	-0.34767	-0.62281	0.30257
norm. heightvariance	0.16768	-0.27265	0.24306

Loading Matrix

	Prin1	Prin2	Prin3
mcv	-0.02592	0.15369	0.75148
mhv	0.09805	0.85399	0.32847
v-value	0.04914	0.84562	0.04202
h-value	-0.04900	0.90612	0.12926
void perimeter	0.92379	-0.08255	-0.12574
void number	0.80171	-0.04499	0.48046
fractal dimension	0.55057	0.29734	-0.27128
total area	0.72120	-0.39125	-0.21035
footprint	-0.05344	-0.39254	0.55638
buildings	0.79655	0.01206	0.03597
builtNo	0.27272	0.07708	-0.75300
open voidNo	0.42533	0.55075	-0.20716
isolated voidNo	0.69799	-0.21346	0.49367
contour vertices	0.10166	0.16736	-0.26040

Loading Matrix

	Prin1	Prin2	Prin3
openPerim/Otperim	0.80018	0.46408	0.21918
voidArea	0.89284	-0.13017	-0.05714
voidToBlockArea	0.90222	-0.12006	0.07172
voidPerimeter	0.90672	-0.29853	-0.16777
openEdges	0.81618	0.28432	-0.06693
openPerimLen	0.81282	0.43631	0.19727
openToVoidPerim	0.34226	0.85136	0.11248
corner	0.69044	0.40617	0.20828
containedBuild	0.41915	0.12996	0.06320
surroundBuild	0.69875	-0.55571	-0.23822
vertNum	0.77475	-0.47710	-0.28889
mcv	-0.75178	0.52680	-0.00300
v-value	0.06506	-0.40110	0.80705
h-value	-0.05227	0.00458	0.91018
fd	0.46385	-0.33802	0.17385
openEdge mcv	-0.15867	0.87011	-0.15288
openEdge w	0.02629	0.88823	-0.11741
openEdge hv	0.23613	0.33553	-0.12543
Weighted Degree	0.81822	0.34642	-0.04959

Πίνακας 4 - 2

Φόρτιση Συντελεστών για τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες

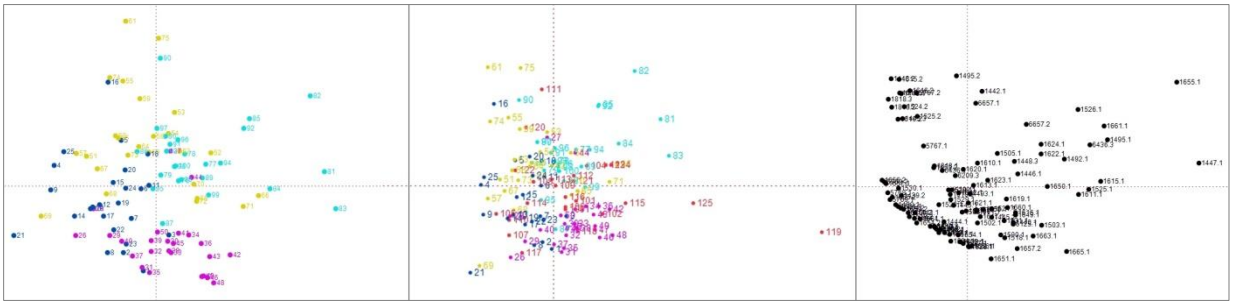
Πιλοτική εφαρμογή: Αθήνα (αριστερά), πιλοτική εφαρμογή: Αθήνα και Λονδίνο (κέντρο), κυρίως εφαρμογή: Πατήσια (δεξιά)

[15] Αν για μια Κύρια Συνιστώσα υπήρχε μόνο μία μεταβλητή με φόρτιση συντελεστή μεγαλύτερη του 0.4 και σχεδόν μηδενική στις υπόλοιπες Συνιστώσες, η μεταβλητή αυτή θα χαρακτήριζε σε μεγάλο βαθμό την αντίστοιχη Κύρια Συνιστώσα.

[16] Σύμφωνα με τους O'Rourke και Hatcher (2013: 27) «απλή δομή» σημαίνει ότι η κατανομή έχει δύο χαρακτηριστικά. Πρώτον, οι περισσότερες μεταβλητές έχουν σχετικά υψηλές φορτίσεις συντελεστών μόνο σε μία συνιστώσα και σχεδόν μηδενική φόρτιση στις υπόλοιπες συνιστώσες και δεύτερον, οι περισσότερες συνιστώσες έχουν σχετικά υψηλές φορτίσεις συντελεστών για κάποιες μεταβλητές και σχεδόν μηδενικές φορτίσεις για τις υπόλοιπες μεταβλητές.

4.3.9.6. Ελάχιστο μέγεθος δείγματος

Ένας παράγοντας που επηρεάζει την αποτελεσματικότητα της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών είναι το μέγεθος του δείγματος και το πλήθος των μετρούμενων μεταβλητών ανά δείγμα. Γενικά η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών λειτουργεί καλύτερα με μεγάλα δείγματα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το ελάχιστο πλήθος δεδομένων θα πρέπει να είναι γύρω στα 100 δείγματα ή τουλάχιστον 5 φορές το πλήθος των μεταβλητών που αναλύονται[17]. Η πιλοτική εφαρμογή έχει 100 δείγματα με 16 μεταβλητές στην περίπτωση της Αθήνας και 125 δείγματα με 14 μεταβλητές όταν συνυπολογίζεται και το Λονδίνο. Η κυρίως εφαρμογή βασίζεται σε 110 δείγματα με 19 μεταβλητές. Σε όλες τις περιπτώσεις δηλαδή το δείγμα αποτελείται από τουλάχιστον 100 στοιχεία (Εικόνα 4 - 8) και είναι πάντα μεγαλύτερο από το πενταπλάσιο του πλήθους των μεταβλητών (5*16=80 < 100, 5*14=70 < 125 και 5*19=95 < 110), επομένως και τα δύο κριτήρια μεγέθους καλύπτονται επαρκώς.



Εικόνα 4 - 8.
Προβολή δεδομένων στις δύο πρώτες Κύριες Συνιστώσες

Πιλοτική εφαρμογή: Αθήνα (αριστερά), πιλοτική εφαρμογή: Αθήνα και Λονδίνο (κέντρο), κυρίως εφαρμογή: Πατήσια (δεξιά)

4.3.9.7. Σύσταση δείγματος

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των στοιχείων που συνιστούν το δείγμα. Ενώ στον αρχικό πολυδιάστατο χώρο ιδιοτήτων κάθε στοιχείο-χωρική μονάδα αναπαρίσταται ως ένα μοναδικά ορισμένο σημείο, ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα στοιχεία του δείγματος, στο νέο χώρο μειωμένων διαστάσεων η θέση του εξαρτάται από το συσχετισμό του με όλα τα υπόλοιπα στοιχεία και επομένως από τη σύσταση του δείγματος. Η πρόσθεση, αφαίρεση ή αντικατάσταση στοιχείων ενδέχεται να μεταβάλει σημαντικά την κατεύθυνση των Κυρίων Συνιστωσών και τη συνολική μορφή της προβολής του νέφους σημείων στο νέο υποχώρο λιγότερων διαστάσεων. Επομένως, η δομή που προκύπτει είναι σχετική και αυτοαναφορική και χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο σύνολο στοιχείων που απαρτίζουν κάθε φορά το δείγμα.

4.3.10. Περιγραφή εφαρμογών και αποτελέσματα

4.3.10.1. Πιλοτική εφαρμογή

Στην πιλοτική εφαρμογή, που αφορά στην κατηγοριοποίηση οικοδομικών τετραγώνων ανάλογα με την περιοχή στην οποία ανήκουν, η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών αποτελεί και το τελικό στάδιο από το οποίο εξάγονται οι ομαδοποιήσεις. Η διάκριση ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενων χώρων επιχειρείται

[17] Σχετικά με το ελάχιστο μέγεθος του δείγματος βλ. κεφ. 4.3.6.3.5.

βάσει του εποπτικά αξιολογούμενου βαθμού συγκέντρωσής τους στη γραφική παράσταση που προκύπτει από την προβολή των πολυδιάστατων δεδομένων στις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες.

Το δείγμα της εφαρμογής αποτελείται από 25 οικοδομικά τετράγωνα για κάθε μία από τέσσερις περιοχές της Αθήνας (Μουσείο, Κολωνάκι, Πλάκα, Μεταξουργείο) και από 25 τετράγωνα από την περιοχή Bloomsbury στο κεντρικό Λονδίνο. Επειδή όμως για το δείγμα από την Αθήνα υπήρξε η δυνατότητα μέτρησης περισσότερων μεταβλητών από ότι για το Λονδίνο, αλλά και για να ελεγχθεί η εγκυρότητα και η ευαισθησία της μεθόδου σε διαφορετικούς βαθμούς ομοιότητας και διαφοράς, θεωρήθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθούν δύο ξεχωριστές αναλύσεις, μία μόνο για την Αθήνα, με 16 μεταβλητές, και μία για το σύνολο του δείγματος, με 14 μεταβλητές. Επίσης, στα πλαίσια του πειραματισμού, δοκιμάζονται και άλλες παραλλαγές, με διαφορετικά υποσύνολα του δείγματος και διαφορετικά πλήθη διαστάσεων. Έτσι, εκτός από τις συνολικές αναλύσεις, ελέγχονται οι περιοχές ανά ζεύγη, ενώ γίνονται και δοκιμές εναλλακτικών προβολών σε δύο και τρεις διαστάσεις.

Η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών πραγματοποιείται χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι κατηγορικές ετικέτες που αντιστοιχούν στις διαφορετικές περιοχές. Αυτές χρησιμοποιούνται εκ των υστέρων ως κριτήριο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων. Έτσι, μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης, οι ετικέτες εμφανίζονται στα εξαγόμενα νέφη σημείων μέσω χρωματικής κωδικοποίησης, ούτως ώστε να ελεγχθεί οπτικά αν σημεία που αναπαριστούν οικοδομικά τετράγωνα των ίδιων περιοχών εμφανίζονται να ομαδοποιούνται. Η χρωματική διαφοροποίηση των δειγμάτων από κάθε περιοχή, εκτός από τη συνολική σύγκλιση ή όχι των ομαδοποιήσεων με τις ετικέτες, επιτρέπει και την παρατήρηση συσχετισμών και την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την αντιστοιχία χαρακτηριστικών μεμονωμένων δειγμάτων με τη σχετική θέση τους στην κατανομή, επιτρέποντας την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και σε μικρότερη κλίμακα.

4.3.10.1.1. Αποτελέσματα

Δείγμα από την Αθήνα

Από τη γραφική παράσταση των 16 μετρήσεων για τις τέσσερις περιοχές της Αθήνας, προβαλλόμενων επί των τριών πρώτων Κύριων Συνιστωσών, παρατηρείται μια σαφής τάση διάκρισης μεταξύ περιοχών (Εικόνα 4 - 9, πάνω αριστερά). Εκτός από μερικές εξαιρέσεις, υπάρχει διαχωρισμός μεταξύ των παλαιότερων και νεότερων περιοχών, με τις παλαιότερες (Πλάκα και Μεταξουργείο) να καταλαμβάνουν το πάνω δεξί ήμισυ του γραφήματος και τις νεότερες (Μουσείο και Κολωνάκι) να συγκεντρώνονται κυρίως στο κάτω αριστερό ήμισυ. Αν και τα σημεία που αντιστοιχούν στις παλαιότερες περιοχές εμφανίζονται διάσπαρτα στο ένα ήμισυ της γραφικής παράστασης, οι περιοχές του Μουσείου και του Κολωνακίου σχηματίζουν δύο αρκετά σαφείς συγκεντρώσεις στον υπόλοιπο χώρο της γραφικής παράστασης, οι οποίες μάλιστα διαχωρίζονται μεταξύ τους από άξονα σχεδόν κάθετο στον άξονα διαχωρισμού παλαιών και νέων περιοχών.

Σημεία που εκ πρώτης όψεως φαίνεται να έχουν κατηγοριοποιηθεί λανθασμένα παρατηρείται ότι αντιστοιχούν ως επί το πλείστον σε οικοδομικά τετράγωνα που βρίσκονται στα γεωγραφικά όρια των αντίστοιχων περιοχών (Εικόνα 4 - 9, πάνω δεξιά, κάτω). Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των δειγμάτων της περιοχής της Πλάκας που εμφανίζονται να συσχετίζονται στενά με την περιοχή του Μουσείου (τετράγωνα C001, C007, C017, C018 και C019), παρατηρήθηκε ότι αφενός βρίσκονται πάνω στα όρια της επιλεγμένης περιοχής και αφετέρου, εκτός του C007, αντιστοιχούν σε οικοδομικά τετράγωνα με νεότερα κτίσματα, που ακολουθούν τους οικοδομικούς κανονισμούς που ισχύουν στις νεότερες περιοχές (Εικόνα 4 - 9, πάνω δεξιά). Το γεγονός αυτό μπορεί να σημαίνει ότι η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών εντόπισε και ομαδοποίησε σωστά τετράγωνα που ενώ γεωγραφικά ανήκουν σε μια δεδομένη περιοχή, μοιάζουν περισσότερο με τετράγωνα μιας άλλης περιοχής.

Δείγματα της περιοχής του Κολωνακίου που εντάσσονται σε συστάδες άλλων περιοχών (τα B001, B003, B004 και B019 έχουν προσχωρήσει στη συστάδα του Μουσείου, ενώ το B002 έχει υπερπηδήσει το όριο μεταξύ νεότερων και παλαιότερων περιοχών) επίσης τοποθετούνται στα όρια της περιοχής και μάλιστα πρόσκεινται στους μόνους ακανόνιστους οδικούς άξονες του ιστού της περιοχής (οδοί Χάριτος και Μουρούζη).

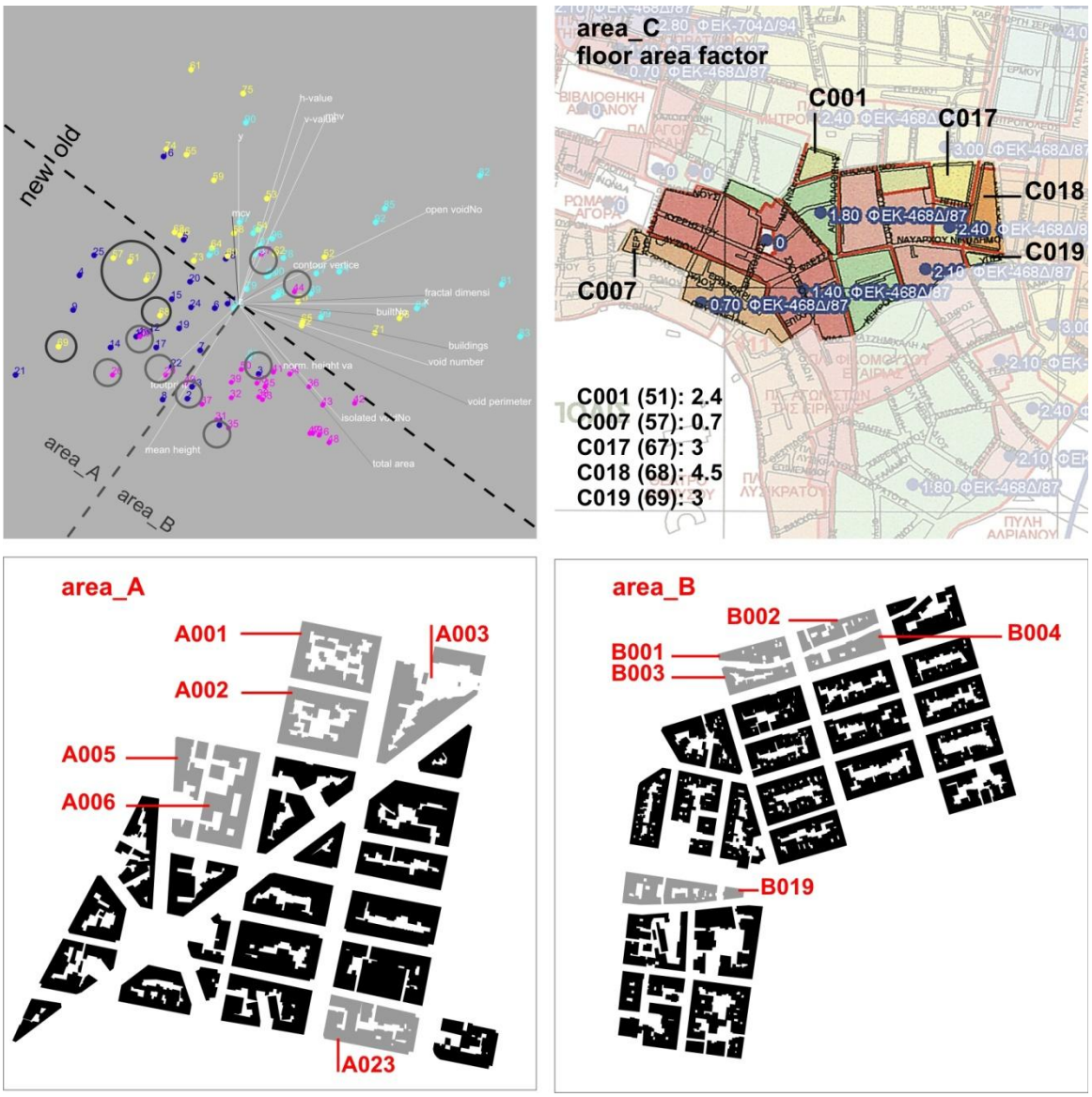
Τέλος, τα δείγματα A001, A002 και A003 της περιοχής του Μουσείου που ομαδοποιούνται με τη συστάδα του Κολωνακίου, επίσης βρίσκονται στα όρια της περιοχής και μάλιστα είναι γειτονικά μεταξύ τους.

Loading Matrix

	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6	Prin7	Prin8	Prin9	Prin10	Prin11	Prin12	Prin13	Prin14	Prin15	Prin16
mcv	-0.02206	0.36948	0.69349	-0.24545	-0.30355	0.17444	-0.28380	0.20326	0.07423	0.20481	0.08809	-0.01926	0.13693	0.04522	-0.03032	0.00895
mhv	0.32555	0.77831	0.34728	0.10702	0.07101	-0.10511	0.07530	-0.09823	0.18124	-0.03294	0.22558	-0.00429	-0.05209	-0.19288	-0.00479	0.00175
v-value	0.24688	0.76505	0.10619	0.35964	0.25465	-0.11383	0.21105	-0.00990	-0.00211	-0.04027	-0.21015	0.01869	0.21086	-0.00625	-0.00455	0.00534
h-value	0.22918	0.85647	0.13477	0.31447	0.03984	-0.05807	0.07702	0.07665	0.10483	-0.02622	0.07841	-0.01164	-0.12851	0.21330	0.00799	-0.00888
void perimeter	0.85787	-0.42036	-0.12753	0.11633	0.09543	-0.10673	0.00547	0.02050	-0.01410	0.05069	0.02618	0.06919	-0.01972	0.01564	-0.16609	0.01252
void number	0.71275	-0.25482	0.58450	0.09473	0.05872	0.11875	-0.15180	0.05187	-0.04505	0.01687	-0.14016	0.03542	-0.05120	-0.03937	0.01735	-0.07392
fractal dimension	0.69771	0.03486	-0.01553	-0.30423	0.00943	0.15158	0.14595	-0.58277	0.01874	0.16953	0.01770	-0.02372	0.03006	0.06040	0.02620	-0.00032
total area	0.50258	-0.68151	-0.14552	0.34894	0.12194	-0.08077	-0.02276	0.09891	-0.04987	0.03336	0.26405	0.11931	0.11625	0.03308	0.07845	-0.00283
footprint	-0.32480	-0.35112	0.51740	-0.49196	0.29528	-0.05779	0.22990	0.02125	0.23264	-0.15661	0.00048	0.19078	0.01515	0.04854	-0.00477	0.00005
buildings	0.78634	-0.18529	-0.02666	-0.39121	0.05390	-0.19476	0.06831	0.16800	0.01149	-0.21201	0.05247	-0.26100	0.05638	0.02485	0.00851	-0.00548
builtNo	0.51870	-0.04426	-0.63463	-0.02725	-0.24703	-0.07922	-0.15076	0.10500	0.44582	0.06074	-0.13367	0.05135	-0.00033	-0.01868	0.03375	0.00162
open voidNo	0.70079	0.38694	0.06229	-0.34671	-0.04538	-0.19610	0.16435	0.24385	-0.24421	0.13172	-0.07991	0.11299	-0.08409	-0.03001	0.05360	0.03315
isolated voidNo	0.38697	-0.48828	0.60204	0.30116	0.11471	0.21083	-0.24043	-0.08019	0.06447	-0.10907	-0.09982	-0.05066	-0.05630	0.00112	0.03535	0.06192
contour vertices	0.20687	0.15289	-0.34841	-0.05454	0.27112	0.79089	0.23444	0.22815	0.03257	0.01891	0.03351	-0.01727	-0.00658	-0.02313	-0.00423	0.00149
mean height	-0.34767	-0.62281	0.30257	0.18879	0.16218	-0.18673	0.39057	0.11977	0.13918	0.30540	-0.03249	-0.14462	-0.03407	-0.01254	0.00711	0.00043
norm. heightvariance	0.16768	-0.27265	0.24306	0.20152	-0.73963	0.14316	0.45860	-0.00833	-0.00927	-0.13632	-0.00337	0.03157	0.01423	-0.00441	-0.00629	0.00042

Πίνακας 4 - 3

Φόρτιση Συντελεστών για όλες τις Κύριες Συνιστώσες του δείγματος από την Αθήνα



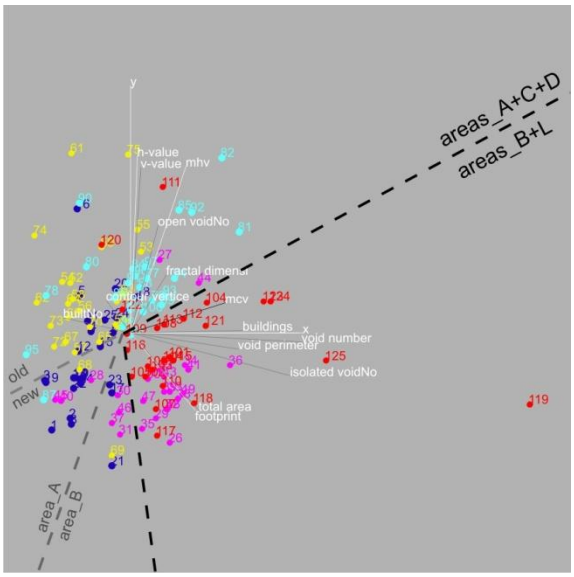
Εικόνα 4 - 9.
Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το δείγμα από την Αθήνα

Διάκριση μεταξύ περιοχών (πάνω αριστερά) και μεμονωμένες εξαιρέσεις (κυκλωμένα και αριθμημένα οικοδομικά τετράγωνα)

Δείγμα από την Αθήνα και το Λονδίνο

Με την εισαγωγή στο σύστημα των δεδομένων που αντιπροσωπεύουν την επιλεγμένη περιοχή του Λονδίνου, οι αλληλοσυσχετισμοί μεταβάλλονται, με αποτέλεσμα τη συνολική ανακατανομή των σημείων (Εικόνα 4 - 10), χωρίς ωστόσο να μεταβάλλονται σημαντικά οι ιδιοτιμές των Κυρίων Συνιστωσών (Εικόνα 4 - 11, κάτω). Επαναϋπολογίζοντας τις Κύριες Συνιστώσες και προβάλλοντας τα δεδομένα στις τρεις πρώτες από αυτές, η ανακατανομή των σημείων οδήγησε στο σχηματισμό δύο σύνθετων συμπλεγμάτων με μερική αλληλεπικάλυψη. Η μία ομάδα περιλαμβάνει τις περιοχές του Μουσείου, της Πλάκας και του Μεταξουργείου, ενώ η δεύτερη αποτελείται κυρίως από το Κολωνάκι και το Λονδίνο. Η εισαγωγή του δείγματος από το Λονδίνο ενδυνάμωσε ταυτόχρονα τη διαφοροποίηση του Κολωνακίου αλλά και τις εσωτερικές ελκτικές δυνάμεις μεταξύ των υπόλοιπων περιοχών της Αθήνας, υπογραμμίζοντας τη σχετικότητα των συσχετισμών. Η νέα κατανομή υποδεικνύει ότι, από τη μία, διαφορές μεταξύ Μουσείου, Πλάκας και Μεταξουργείου είναι

ασθενέστερες από τη συνολική διαφοροποίησή τους από το Λονδίνο και από την άλλη, ομοιότητες μεταξύ του Κολωνακίου και του Λονδίνου δείχνουν ισχυρότερες από ομοιότητες εντός της Αθήνας[18].



Εικόνα 4 - 10.

Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το δείγμα από την Αθήνα και το Λονδίνο

Διάκριση μεταξύ περιοχών

Από τον πίνακα φορτίσεων συντελεστών (Πίνακας 4 - 2) και τα διανύσματα των επιμέρους μεταβλητών στο γράφημα επί των τριών πρώτων Κύριων Συνιστωσών (Εικόνα 4 - 9 πάνω αριστερά, Εικόνα 4 - 10, Εικόνα 4 - 11), φαίνεται ότι για το δείγμα που αντιπροσωπεύει τις τέσσερις περιοχές της Αθήνας, η πρώτη Κύρια Συνιστώσα συσχετίζεται ισχυρότερα με γεωμετρικά και μετρικά μεγέθη, και συγκεκριμένα με τη μορφοκλασματική διάσταση, το πλήθος των κτιρίων ανα τετράγωνο, την περίμετρο και το πλήθος των αδόμητων τμημάτων, καθώς και το πλήθος των προσβάσιμων αδόμητων χώρων, ενώ η δεύτερη και τρίτη Κύρια Συνιστώσα σχετίζονται περισσότερο με συντακτικά μεγέθη συνδεσιμότητας. Συγκεκριμένα, τη δεύτερη Κύρια Συνιστώσα φορτίζουν περισσότερο η συνολική μέση οριζόντια τυπική απόκλιση (mhv), καθώς και η κατακόρυφη και οριζόντια τυπική απόκλιση (v- και h – values), ενώ την τρίτη Κύρια Συνιστώσα φορτίζει κυρίως η συνολική μέση συνδεσιμότητα (mcv).

[18] Αν και η ερμηνεία των Κυρίων Συνιστωσών δεν είναι μονοσήμαντη και προφανής, με τη χρήση εξωτερικής γνώσης σχετικά με τις εξεταζόμενες περιοχές, θα μπορούσε ίσως κανείς να υποθέσει ότι ο σχηματισμός δύο ομάδων είναι πιθανό να σχετίζεται με τις διαφορετικές διαδικασίες που συνέβαλαν στη διαμόρφωση των αντίστοιχων περιοχών. Βέβαια, οι διαδικασίες αυτές είναι χαρακτηριστικές των ιδιαίτερων συνθηκών που χαρακτηρίζουν κάθε τόπο, αλλά ίσως θα μπορούσαν να διακριθούν πολύ γενικά στην επικράτηση κυρίως καθολικών ή τοπικών δράσεων. Βάσει αυτής της διάκρισης, η ομάδα που αποτελείται από τα οικοδομικά τετράγωνα των περιοχών Μουσείου, Πλάκας και Μεταξουργείου θα μπορούσα να αντιστοιχηθεί σε μια τοπική λογική μορφοποίησης, ενώ η ομάδα που συμπεριλαμβάνει το Κολωνάκι και το Bloomsbury θα μπορούσε να συσχετιστεί με πιο συνολικές δυνάμεις.

Πράγματι, η επιλεγμένη περιοχή του Κολωνακίου έχει χαρακτηριστικά σχεδιασμένης δόμησης, όπου επικρατούν πολυκατοικίες καλής κατασκευής, που τηρούν σε μεγάλο βαθμό τους όρους δόμησης, σε συνδυασμό με κάποια νεοκλασικά κτίσματα. Στην περιοχή του Bloomsbury παρατηρείται ομοιομορφία στο δομημένο περιβάλλον που οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον συνολικό και εκ των άνω οργανωμένο σχεδιασμό και δόμηση.

Αντίθετα, οι άλλες τρεις περιοχές της Αθήνας εξελίχθηκαν κυρίως κάτω από τη επενέργεια μερικών, τοπικών δράσεων και πρωτοβουλιών, με την ιδιωτική πρωτοβουλία μικρής κλίμακας να επικρατεί διαχρονικά.

Loading Matrix

	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6	Prin7	Prin8	Prin9	Prin10	Prin11	Prin12	Prin13	Prin14
mcv	-0.02592	0.15369	0.75148	0.30362	-0.02542	-0.47175	-0.20704	0.04520	0.12840	-0.01023	0.12826	0.09327	0.09128	0.02522
mhv	0.09805	0.85399	0.32847	-0.01945	-0.07419	0.16826	-0.02398	0.21454	0.04645	-0.08711	0.11509	0.00006	-0.22207	0.00970
v-value	0.04914	0.84562	0.04202	-0.32379	0.09145	0.11634	0.21077	-0.11390	-0.12323	0.19687	0.06717	0.17868	0.07840	0.00873
h-value	-0.04900	0.90612	0.12926	-0.18125	0.02695	-0.00150	0.04366	0.20194	0.06284	-0.10819	-0.09954	-0.17599	0.16370	-0.01557
void perimeter	0.92379	-0.08255	-0.12574	-0.16511	-0.01407	-0.05229	0.01067	-0.10640	0.06605	0.12426	0.14635	-0.16897	0.00634	0.11205
void number	0.80171	-0.04499	0.48046	-0.10359	0.14277	-0.16970	-0.04919	-0.07308	-0.09516	0.13515	-0.00856	-0.08277	-0.04886	-0.14172
fractal dimension	0.55057	0.29734	-0.27128	0.28311	-0.09212	0.44129	-0.46980	-0.12751	-0.03325	-0.04620	0.05721	0.02988	0.07917	-0.02936
total area	0.72120	-0.39125	-0.21035	-0.27052	-0.02049	0.07639	0.21064	0.11966	0.30653	-0.15375	0.10058	0.10549	0.04982	-0.05565
footprint	-0.05344	-0.39254	0.55638	0.42357	-0.07707	0.44566	0.24086	0.23531	0.03991	0.17196	0.02497	-0.03768	0.05426	-0.00066
buildings	0.79655	0.01206	0.03597	0.31233	-0.05863	-0.10533	0.27304	0.03731	-0.36248	-0.20637	0.00380	0.02905	0.02490	0.02418
builtNo	0.27272	0.07708	-0.75300	0.10082	-0.13257	-0.24620	-0.12303	0.46139	-0.06206	0.17477	-0.01245	0.04007	-0.00098	-0.01176
open voidNo	0.42533	0.55075	-0.20716	0.44176	-0.27885	-0.11703	0.19705	-0.22862	0.24436	0.06602	-0.16916	0.02008	-0.04520	-0.00381
isolated voidNo	0.69799	-0.21346	0.49367	-0.26269	0.10786	0.10837	-0.19167	0.12563	0.02267	0.00697	-0.25040	0.10007	-0.01945	0.07060
contour vertices	0.10166	0.16736	-0.26040	0.32880	0.88083	0.00774	0.03928	0.02937	0.08323	-0.00543	-0.00081	0.00460	-0.01743	0.01144

Πίνακας 4 - 4

Φόρτιση Συντελεστών για όλες τις Κύριες Συνιστώσες του δείγματος από την Αθήνα και το Λονδίνο

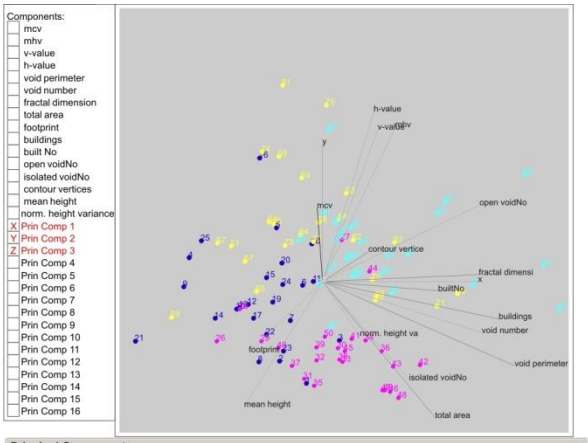
Με την εισαγωγή του δείγματος από το Λονδίνο στο σύστημα, οι Κύριες Συνιστώσες μεταβάλλονται ελάχιστα. Η πρώτη Κύρια Συνιστώσα εμφανίζει και πάλι μεγαλύτερη συσχέτιση με μετρικά μεγέθη που αναφέρονται στο πλήθος των κτιρίων και των αδόμητων τμημάτων καθώς και με τη συνολική περίμετρο των αδόμητων τμημάτων, ενώ οι επόμενες δύο Συνιστώσες παραμένουν συσχετισμένες με μεγέθη συνδεσιμότητας, κατά τον ίδιο τρόπο όπως και στην προηγούμενη περίπτωση.

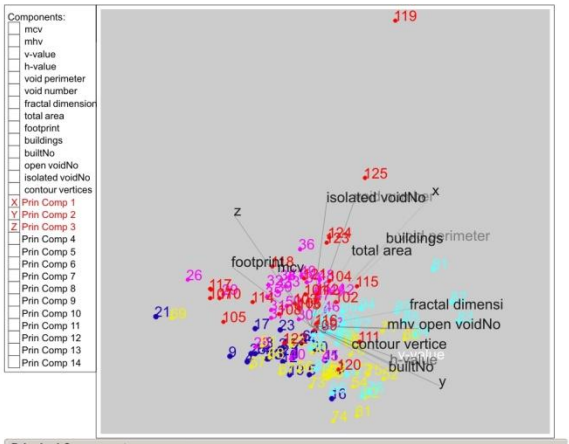
Και στις δύο περιπτώσεις, η πρώτη Κύρια Συνιστώσα αποδίδει μια γενική εντύπωση συνολικού μεγέθους, ενώ οι επόμενες δύο συσχετίζονται με τοπικά συντακτικά χαρακτηριστικά του σχήματος[19].

Αν και οι Κύριες Συνιστώσες δεν διαφέρουν σημαντικά, η διαφορετική θέση των βασικών συγκεντρώσεων στα δύο γραφήματα εκφράζει διαφορές στη σημασία των επιμέρους μεταβλητών στις δύο περιπτώσεις. Στην περίπτωση όπου συμπεριλαμβάνονται και οι δύο πόλεις, το γεγονός ότι οι δύο βασικές συστάδες διαχωρίζονται κυρίως κατά μήκος του άξονα τετμημένων υποδεικνύει την υπερίσχυση της πρώτης Κύριας Συνιστώσας στο διαχωρισμό αυτό. Στην περίπτωση της Αθήνας, αν και οι ίδιες μεταβλητές επικρατούν στη συνολική διαφοροποίηση του δείγματος, ο διαχωρισμός των δύο βασικών κατηγοριών γίνεται κυρίως κατά τον άξονα τεταγμένων (η διαχωριστική γραμμή είναι σε μικρή γωνία από την οριζόντιο) καθώς και το κενό μεταξύ της ομάδας του Κολωνακίου από την υπερ-ομάδα Πλάκα-Μεταξουργείο, συνηγορούν υπέρ της υπερίσχυσης της δεύτερης Κύριας Συνιστώσας στη διάκριση μεταξύ των περιοχών.

Η διαφορές αυτές ίσως να υποδεικνύουν ότι διαφοροποιήσεις περιοχών εντός της Αθήνας οφείλονται περισσότερο σε τοπικές τοπολογικές παραλλαγές, ενώ διαφοροποιήσεις μεταξύ των δύο πόλεων αποδίδονται ως επί το πλείστον σε συνολικά μετρικά χαρακτηριστικά των χωρικών διατάξεων.

[19] Βλ. κεφ. 4.3.7.5.2 Ερμηνεία: Μέγεθος και σχήμα.





Principal Components

Eigenvalue	4,0288	3,8018	2,3198	1,2227	1,0043	0,9241	0,7645	0,5815	0,3917
Percent	25,1800	23,7611	14,4988	7,6418	6,2771	5,7757	4,7779	3,6345	2,4484
Cum Percent	25,1800	48,9412	63,4400	71,0818	77,3588	83,1346	87,9124	91,5469	93,9953
Eigenvectors									
mcv	-0,01099	0,18950	**0,45532**	-0,22197	-0,30290	0,18146	-0,32459	0,26655	0,11859
mhv	0,16219	**0,39917**	0,22801	0,09678	0,07086	-0,10934	0,08612	-0,12882	0,28957
v-value	0,12300	**0,39237**	0,06972	0,32524	0,25410	-0,11841	0,24138	-0,01298	-0,00338
h-value	0,11418	**0,43926**	0,08848	0,28439	0,03976	-0,06040	0,08809	0,10052	0,16749
void perimeter	**0,42740**	-0,21559	-0,08373	0,10520	0,09522	-0,11103	0,00626	0,02689	-0,02252
void number	**0,35510**	-0,13069	0,38376	0,08567	0,05859	0,12353	-0,17362	0,06801	-0,07197
fractal dimension	**0,34761**	0,01788	-0,01020	-0,27513	0,00941	0,15768	0,16692	-0,76422	0,02994
total area	0,25039	-0,34953	-0,09554	0,31556	0,12168	-0,08402	-0,02603	0,12970	-0,07968
footprint	-0,16182	-0,18008	0,33970	-0,44491	0,29465	-0,06011	0,26294	0,02787	0,37169
buildings	**0,39176**	-0,09503	-0,01751	-0,35380	0,05379	-0,20259	0,07813	0,22031	0,01835
builtNo	0,25842	-0,02270	-0,41667	-0,02464	-0,24650	-0,08241	-0,17243	0,13769	0,71230
open voidNo	**0,34914**	0,19845	0,04090	-0,31355	-0,04528	-0,20399	0,18798	0,31977	-0,39018
isolated voidNo	0,19279	-0,25042	0,39527	0,27236	0,11446	0,21932	-0,27499	-0,10516	0,10301
contour vertices	0,10307	0,07841	-0,22875	-0,04932	0,27054	0,82272	0,26813	0,29919	0,05203
mean height	-0,17321	-0,31942	0,19866	0,17073	0,16183	-0,19425	0,44670	0,15706	0,22237
norm. height variance	0,08354	-0,13983	0,15958	0,18224	-0,73803	0,14892	0,52451	-0,01093	-0,01481

Principal Components

Eigenvalue	3,7246	3,0765	2,2879	1,0810	0,9369	0,7923	0,5822	0,4876	0,3502
Percent	26,6044	21,9747	16,3419	7,7212	6,6924	5,6595	4,1585	3,4830	2,5018
Cum Percent	26,6044	48,5791	64,9211	72,6423	79,3346	84,9941	89,1526	92,6356	95,1374
Eigenvectors									
mcv	-0,01343	0,08762	**0,49682**	0,29203	-0,02626	-0,52998	-0,27134	0,06473	0,21695
mhv	0,05081	**0,48689**	0,21716	-0,01871	-0,07664	0,18903	-0,03143	0,30723	0,07849
v-value	0,02546	**0,48212**	0,02778	-0,31143	0,09448	0,13070	0,27624	-0,16311	-0,20822
h-value	-0,02539	**0,51661**	0,08546	-0,17433	0,02784	-0,00169	0,05722	0,28919	0,10618
void perimeter	**0,47866**	-0,04706	-0,08313	-0,15880	-0,01453	-0,05874	0,01398	-0,15237	0,11160
void number	**0,41541**	-0,02565	0,31765	-0,09963	0,14749	-0,19065	-0,06447	-0,10465	-0,16080
fractal dimension	0,28528	0,16952	-0,17935	0,27230	-0,09517	0,49576	-0,61571	-0,18260	-0,05619
total area	0,37369	-0,22306	-0,13907	-0,26019	-0,02117	0,08582	0,27607	0,17136	0,51794
footprint	-0,02769	-0,22380	0,36784	0,40739	-0,07963	0,50067	0,31566	0,33698	0,06744
buildings	**0,41274**	0,00688	0,02378	0,30040	-0,06057	-0,11833	0,35784	0,05343	-0,61249
builtNo	0,14131	0,04395	-0,49783	0,09697	-0,13696	-0,27659	-0,16124	0,66074	-0,10486
open voidNo	0,22039	0,31400	-0,13696	0,42490	-0,28809	-0,13148	0,25825	-0,32739	0,41290
isolated voidNo	0,36166	-0,12170	0,32638	-0,25266	0,11143	0,12175	-0,25120	0,17991	0,03831
contour vertices	0,05267	0,09542	-0,17216	0,31624	0,90999	0,00869	0,05148	0,04206	0,14063

Εικόνα 4 - 11.

Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το σύνολο του δείγματος

Δείγμα από την Αθήνα (αριστερά) και δείγμα από την Αθήνα και το Λονδίνο (δεξιά). Κατανομή σημείων και αξόνων ιδιοτήτων (πάνω), ιδιοτιμές και ιδιοδιανύσματα ανά ιδιότητα (κάτω)

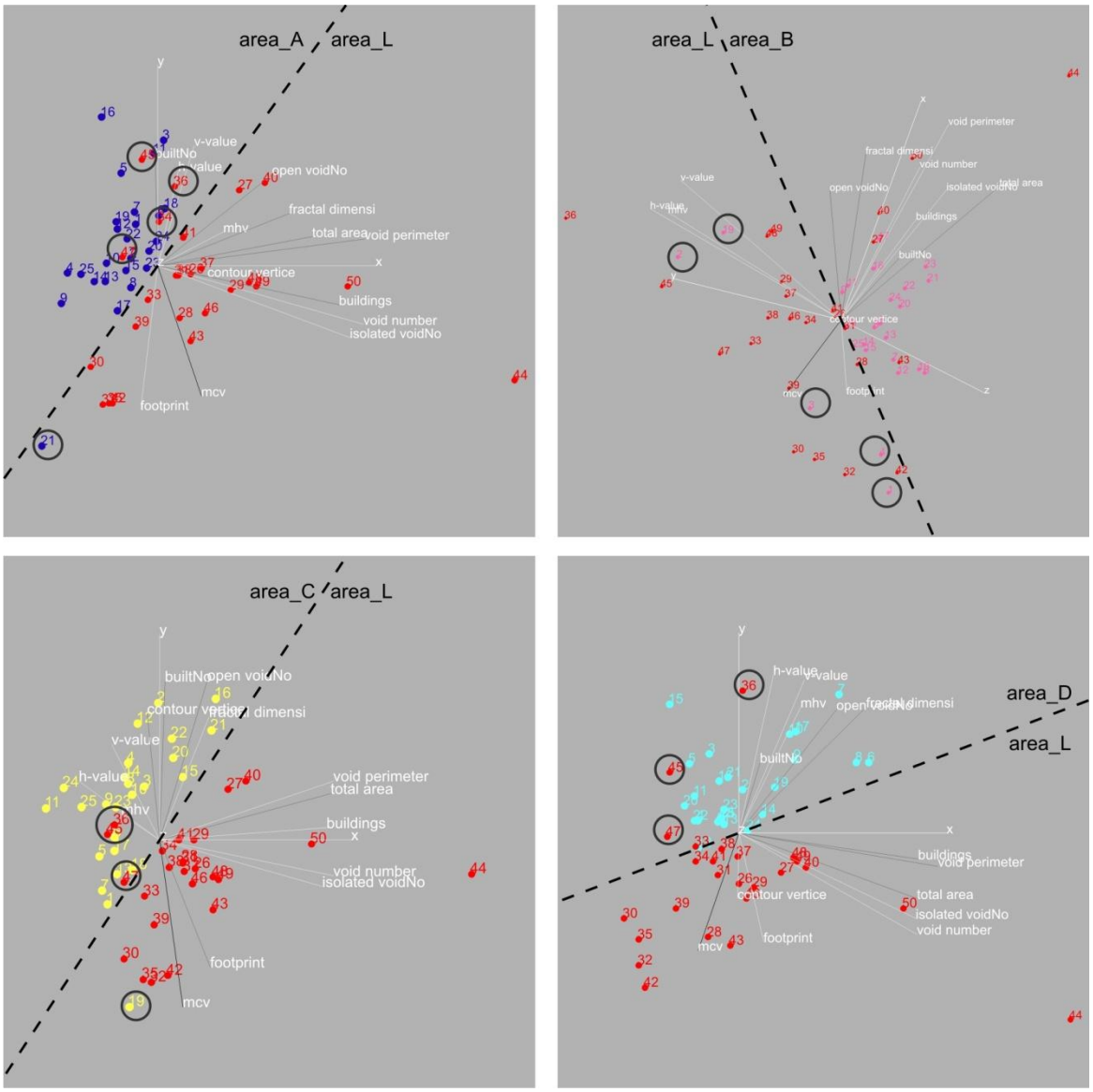
Επιμέρους συγκρίσεις υποσυνόλων του δείγματος

Εξαιτίας της μεταβολής των αποδιδόμενων συσχετισμών μεταξύ τετραγώνων, ανάλογα με τη σύσταση του δείγματος, αλλά και λόγω της αριθμητικά άνισης αντιπροσώπευσης των δύο πόλεων στο δείγμα, θεωρήθηκε σκόπιμο να διερευνηθεί και η σχέση της περιοχής του Λονδίνου με κάθε μία από τις περιοχές της Αθήνας ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα των επιμέρους αυτών αναλύσεων συγκλίνουν με την ανάλυση του συνόλου του δείγματος ως προς την παρατήρηση ότι η περιοχή του Κολωνακίου είναι αυτή που διαφέρει λιγότερο από το Bloomsbury σε σχέση με τις υπόλοιπες αθηναϊκές συνοικίες. Ενώ σε όλα τα γραφήματα υπάρχει σχετικά καλή διάκριση των τετραγώνων του Λονδίνου από αυτά της εκάστοτε περιοχής της Αθήνας, στην περίπτωση του Κολωνακίου η ανάμειξη είναι μεγαλύτερη (Εικόνα 4 - 12, πάνω δεξιά). Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι για τις υπόλοιπες τρεις περιοχές της Αθήνας, τα τετράγωνα του Λονδίνου που ομαδοποιούνται με εκείνα της Αθήνας είναι πάντα τα ίδια (L011, L020 και L022) (Εικόνα 4 - 12, πάνω αριστερά, κάτω), ενώ στην περίπτωση του Κολωνακίου τα ίδια αυτά τετράγωνα είναι ταξινομημένα στη συστάδα σημείων του Λονδίνου. Η επαναλαμβανόμενη λανθασμένη απόδοση των συγκεκριμένων τετραγώνων του Λονδίνου φανερώνει ότι, για το συγκεκριμένο δείγμα και τις συγκεκριμένες μετρήσεις, τα τετράγωνα αυτά διαφέρουν περισσότερο από τα υπόλοιπα της περιοχής τους από ότι από τα δείγματα των τριών περιοχών της Αθήνας. Επίσης, παρατηρώντας τη διεύθυνση της γραμμής που διαχωρίζει τις δύο συστάδες και στα τέσσερα γραφήματα, βλέπουμε ότι στις περιπτώσεις Μουσείο - Λονδίνο και Πλάκα – Λονδίνο η κλίση είναι σχεδόν ίδια, ενώ πολύ κοντά βρίσκεται και η κλίση στην περίπτωση Μεταξουργείο – Λονδίνο. Στο γράφημα Κολωνάκι - Λονδίνο όμως η κλίση της ευθείας είναι ανάποδη και μάλιστα σχεδόν κάθετη στις άλλες τρεις, παρέχοντας μια ακόμα ένδειξη της διαφορετικότητας του συγκεκριμένου ζεύγους από τα υπόλοιπα και υπογραμμίζοντας ότι αυτό ως προς το οποίο διαφέρουν τα τρία δείγματα της Αθήνας από το δείγμα του Λονδίνου, αν και δεν μπορεί να περιγραφεί με σαφήνεια, είναι άλλο από αυτό, το εξίσου ασαφές, ως προς το οποίο διαφέρει το δείγμα του Κολωνακίου από το δείγμα του Λονδίνου.

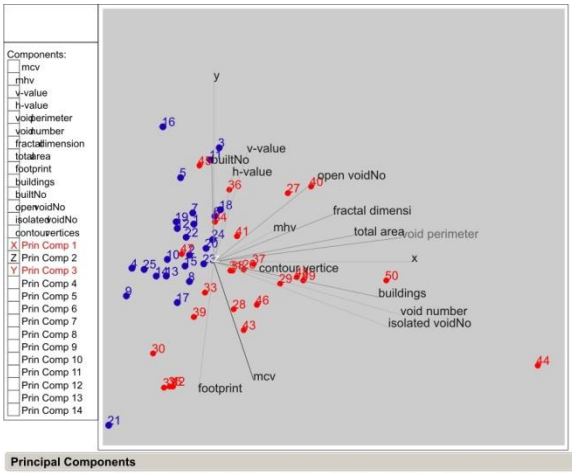
Στο γράφημα Κολωνάκι-Λονδίνο, τα τετράγωνα B001, B002, B003, B004 και B019 κατηγοριοποιούνται λανθασμένα, όπως ακριβώς και στη συνολική ανάλυση, επιβεβαιώνοντας την έντονη διαφοροποίησή τους από το υπόλοιπο δείγμα της περιοχής τους (Εικόνα 4 - 9, Εικόνα 4 - 12 πάνω δεξιά).

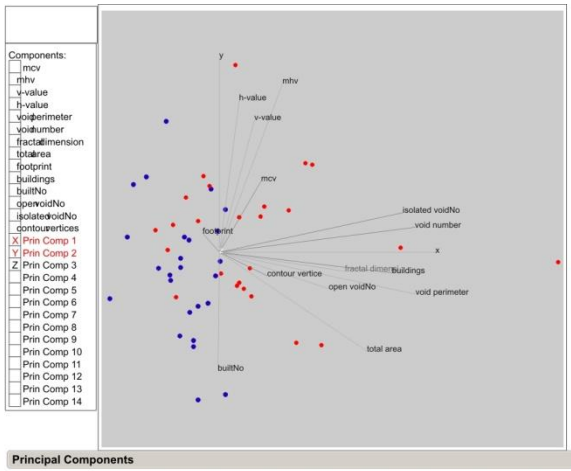
Στην περίπτωση Μουσείο-Λονδίνο, η διάκριση είναι μεγαλύτερη όταν η προβολή γίνεται επί των Κυρίων Συνιστωσών 1 και 3, αντί για 1 και 2 (Εικόνα 4 - 13), δείχνοντας ότι οι ιδιότητες στις οποίες εμφανίζεται η μεγαλύτερη διακύμανση για το σύνολο του δείγματος δεν είναι οι σημαντικότερες για τη διάκριση μεταξύ των περιοχών. Σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις, η μέγιστη διακύμανση και η μέγιστη διάκριση συμβαδίζουν, αντικατοπτρίζοντας την υπερίσχυση των δυνάμεων συνοχής εντός των επιμέρους περιοχών.

Τέλος, τα τετράγωνα A021 και C019, που εμφανίζουν ακραίες τιμές για κάποιες μετρήσεις, εμφανίζονται σε μεγάλη απόσταση από τη συστάδα της περιοχής στην οποία ανήκουν. Πρόκειται για περιπτώσεις εκτόπων που μπορούν να εντοπιστούν από την παρατήρηση των τιμών των αρχικών μεταβλητών.



Εικόνα 4 - 12.
Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το δείγμα από το Λονδίνο και κάθε ένα από τα δείγματα της Αθήνας





Principal Components

Eigenvalue	4,2075	2,7118	2,1857	1,0870	0,9929	0,7658	0,6247	0,5389	0,3408
Percent	30,0536	19,3702	15,6120	7,7643	7,0923	5,4702	4,4618	3,8493	2,4340
Cum Percent	30,0536	49,4239	65,0359	72,8002	79,8924	85,3626	89,8244	93,6737	96,1077
Eigenvectors									
mcv	0,09397	0,22262	-0,41493	-0,45163	0,26787	0,13683	-0,03284	0,45151	0,04439
mhv	0,14218	0,52124	0,11207	0,15073	-0,12490	0,20044	0,08129	0,16182	0,02165
v-value	0,07976	0,40897	**0,38974**	-0,01602	0,08368	-0,00935	-0,04383	-0,45094	0,02634
h-value	0,04429	0,47162	0,30557	-0,00113	-0,07919	0,14378	0,26880	0,21035	0,01147
void perimeter	**0,43976**	-0,12762	0,08680	-0,10853	-0,03483	-0,20008	-0,17792	-0,01966	0,27006
void number	**0,43714**	0,07788	-0,18533	-0,14781	0,08913	-0,17325	0,06143	-0,06485	0,15081
fractal dimension	0,28039	-0,05656	0,16970	0,51213	-0,13135	-0,29989	-0,29126	0,51667	-0,23317
total area	0,33017	-0,30419	0,09705	0,04675	-0,27218	0,30360	0,11588	-0,23764	0,22384
footprint	-0,03604	0,06064	-0,46032	0,32457	-0,42443	0,50488	-0,05300	-0,03319	0,00644
buildings	0,38651	-0,06284	-0,12407	-0,02215	0,13151	0,06254	0,33270	-0,19463	-0,79514
builtNo	-0,00333	-0,36172	**0,34973**	-0,13162	-0,05757	0,17904	0,57429	0,38338	0,11441
open voidNo	0,24487	-0,11119	0,29405	-0,30246	0,04826	0,51939	-0,54937	0,08509	-0,13630
isolated voidNo	**0,41006**	0,12228	-0,22952	0,03522	-0,16408	-0,15434	0,18713	-0,02883	0,27375
contour vertices	0,10822	-0,07214	-0,03420	0,50900	0,75424	0,28936	0,06569	-0,01766	0,24019

Principal Components

Eigenvalue	4,2075	2,7118	2,1857	1,0870	0,9929	0,7658	0,6247	0,5389	0,3408
Percent	30,0536	19,3702	15,6120	7,7643	7,0923	5,4702	4,4618	3,8493	2,4340
Cum Percent	30,0536	49,4239	65,0359	72,8002	79,8924	85,3626	89,8244	93,6737	96,1077
Eigenvectors									
mcv	0,09397	0,22262	-0,41493	-0,45163	0,26787	0,13683	-0,03284	0,45151	0,04439
mhv	0,14218	**0,52124**	0,11207	0,15073	-0,12490	0,20044	0,08129	0,16182	0,02165
v-value	0,07976	**0,40897**	0,38974	-0,01602	0,08368	-0,00935	-0,04383	-0,45094	0,02634
h-value	0,04429	**0,47162**	0,30557	-0,00113	-0,07919	0,14378	0,26880	0,21035	0,01147
void perimeter	**0,43976**	-0,12762	0,08680	-0,10853	-0,03483	-0,20008	-0,17792	-0,01966	0,27006
void number	**0,43714**	0,07788	-0,18533	-0,14781	0,08913	-0,17325	0,06143	-0,06485	0,15081
fractal dimension	0,28039	-0,05656	0,16970	0,51213	-0,13135	-0,29989	-0,29126	0,51667	-0,23317
total area	0,33017	-0,30419	0,09705	0,04675	-0,27218	0,30360	0,11588	-0,23764	0,22384
footprint	-0,03604	0,06064	-0,46032	0,32457	-0,42443	0,50488	-0,05300	-0,03319	0,00644
buildings	0,38651	-0,06284	-0,12407	-0,02215	0,13151	0,06254	0,33270	-0,19463	-0,79514
builtNo	-0,00333	-0,36172	0,34973	-0,13162	-0,05757	0,17904	0,57429	0,38338	0,11441
open voidNo	0,24487	-0,11119	0,29405	-0,30246	0,04826	0,51939	-0,54937	0,08509	-0,13630
isolated voidNo	**0,41006**	0,12228	-0,22952	0,03522	-0,16408	-0,15434	0,18713	-0,02883	0,27375
contour vertices	0,10822	-0,07214	-0,03420	0,50900	0,75424	0,28936	0,06569	-0,01766	0,24019

Εικόνα 4 - 13.

Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το δείγμα από το Λονδίνο και το δείγμα από το Μουσείο

Προβολή στην πρώτη και τρίτη Κύρια Συνιστώσα (αριστερά) και στην πρώτη και δεύτερη Κύρια Συνιστώσα (δεξιά)

4.3.10.1.2. Συμπεράσματα

Βάσει αυτών των παρατηρήσεων, θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε ότι, έχοντας εξασφαλίσει επαρκή όγκο και ποικιλία πληροφορίας σχετικά με μετρήσιμα χωρικά χαρακτηριστικά, είναι δυνατό να διακριθούν χωρικές ενότητες βάσει βαθμών ομοιότητας και διαφοράς. Οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ των σημείων που αναπαριστούν τα οικοδομικά τετράγωνα στο χώρο που ορίζεται από τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες εκφράζει το βαθμό διαφοροποίησης, με περισσότερο όμοιους μεταξύ τους χώρους να πλησιάζουν και έντονα διαφοροποιημένους να απομακρύνονται.

Στην περίπτωση του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη αυτή πειραματική εφαρμογή, η τελική ταξινόμηση συμφωνεί σε μεγάλο βαθμό με την πραγματική χωρική και ιστορική τοποθέτηση των εξεταζόμενων οικοδομικών τετραγώνων. Η αναπαράσταση αυτή όλων των μεγεθών ως προς τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες δείχνει μια τάση των τετραγώνων της ίδιας περιοχής να ομαδοποιούνται, καθώς και κάποιες διαρκώς εμφανιζόμενες συνάφειες μεταξύ συγκεκριμένων τετραγώνων διαφορετικών περιοχών.

Επίσης, επισημάνθηκε ήδη η σύγκλιση των αποτελεσμάτων μεταξύ της εφαρμογής αυτής και της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών σε φάσματα αξονικών γράφων[20], τουλάχιστον ως προς τον εντοπισμό έντονα διαφοροποιούμενων οικοδομικών τετραγώνων.

Η επιτυχής επανασύνθεση του δείγματος στην εφαρμογή αυτή αποδεικνύει ότι η ποσοτικοποίηση ενός συνόλου χωρικών χαρακτηριστικών διαφορετικών τάξεων και η ταυτόχρονη θεώρησή τους μέσω της συγκρότησης μιας δομής σε πολυδιάστατο χώρο με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή μπορεί να οδηγήσει στην αποκάλυψη εγγενών συσχετισμών μεταξύ χώρων χωρίς να απαιτείται ή να παράγεται γνώση σχετικά με τη φύση και την ερμηνεία των συσχετισμών αυτών. Από τα

[20] Βλ. κεφ. 4.3.3.2.

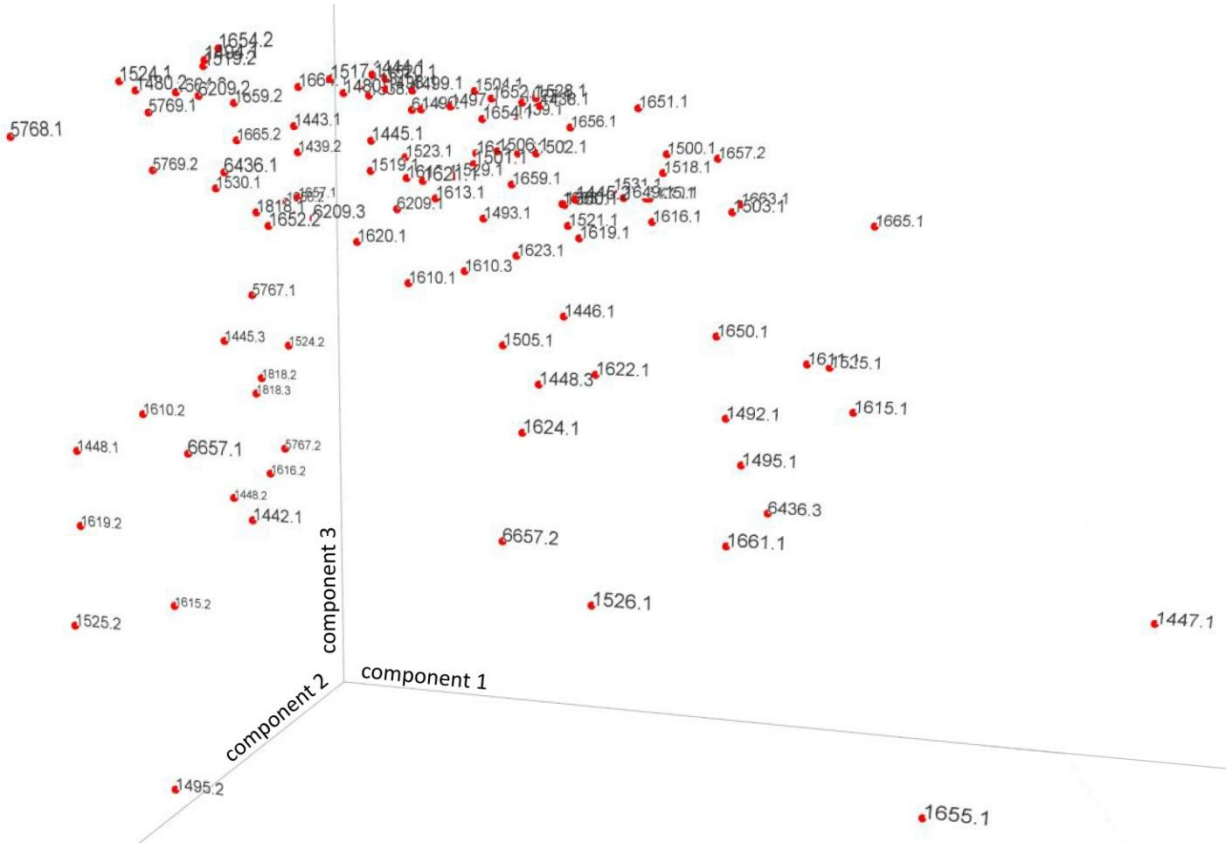
αποτελέσματα της ταξινόμησης φαίνεται επίσης πόσο σημαντικό ρόλο παίζει το πλήθος και η ποικιλία των μεθόδων μέτρησης ως προς την τάξη των χαρακτηριστικών που ποσοτικοποιούν.

Έτσι, βάσει των αποτελεσμάτων της πιλοτικής εφαρμογής, η προτεινόμενη μέθοδος κρίνεται ότι μπορεί να εφαρμοστεί και στην περίπτωση αχαρακτήριστων, μη κατηγοριοποιημένων δειγμάτων με ανάλογα αποτελέσματα ως προς τη δυνατότητα ανάδειξης σχηματισμών συσχετισμών με όρους αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς.

4.3.10.2. Κυρίως εφαρμογή

Στην κυρίως εφαρμογή, το δείγμα αποτελείται από 110 αστικά κενά επί 19 μεταβλητών. Σε αντίθεση με την προηγούμενη εφαρμογή, όπου η κατηγορία στην οποία ανήκει κάθε χώρος είναι γνωστή (γεωγραφική θέση) και τα αποτελέσματα της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών μπορούν να επιβεβαιωθούν βάσει της συγκέντρωσης ή διασποράς χώρων της ίδιας περιοχής, εδώ τα δείγματα δεν είναι χαρακτηρισμένα, οπότε δεν παρέχεται κριτήριο για την άμεση αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Από την προβολή των δεδομένων στις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες παρατηρούνται ανισοκατανομές που σχηματίζουν συγκεντρώσεις και περιοχές ασυνέχειας στο εξαγόμενο τρισδιάστατο νέφος σημείων, χωρίς όμως να εμφανίζεται κάποια σαφής, οπτικά αναγνωρίσιμη ομαδοποίηση (Εικόνα 4 - 14).



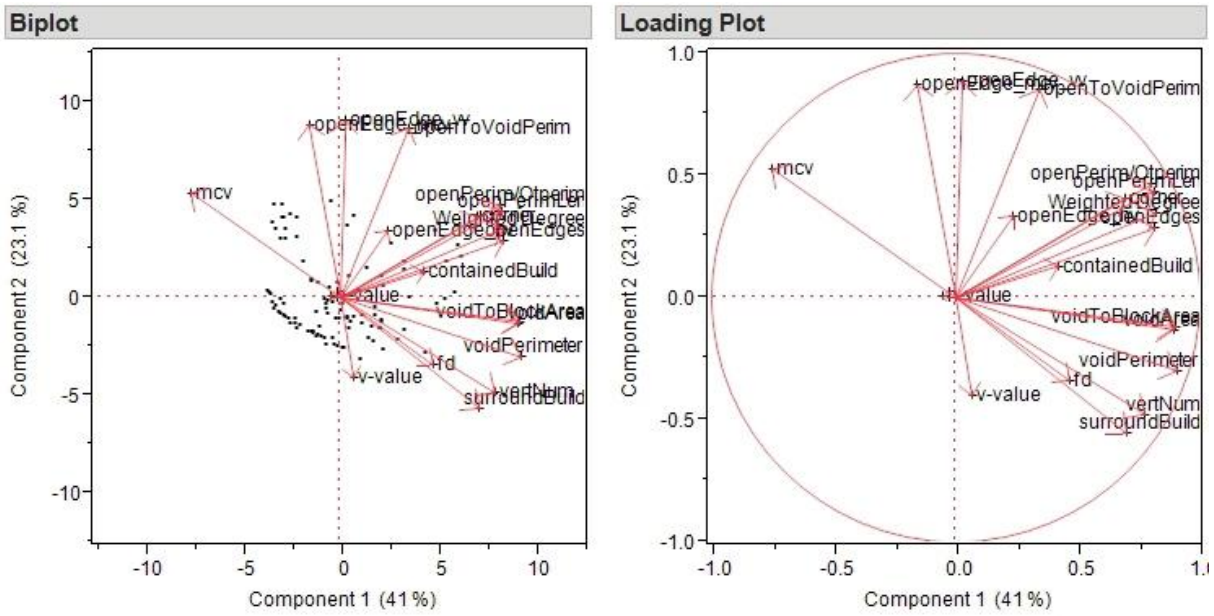
Εικόνα 4 - 14.
Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών για το δείγμα από τα Πατήσια

Προβολή στις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες

Αν και δεν είναι εφικτή η άμεση αξιολόγηση της ίδιας της κατανομής σημείων ως προς τη διάκρισή τους σε ομάδες, αυτό που μπορεί να μελετηθεί αναλυτικότερα προκειμένου να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι οι διαφορετικοί βαθμοί συσχέτισης κάθε

Κύριας Συνιστώσας με τις αρχικές μεταβλητές και η κατανομή των βαθμολογιών κάθε δείγματος σε κάθε Συνιστώσα.

Από τον πίνακα φορτίσεων συντελεστών (Πίνακας 4 - 2, δεξιά, Πίνακας 4 - 5), αλλά και από το Biplot και το γράφημα φορτίσεων (Εικόνα 4 - 15) μπορεί να προκύψει με ποιες από τις αρχικές μεταβλητές συσχετίζεται εντονότερα κάθε Κύρια Συνιστώσα, ενώ από τον πίνακα βαθμολογίας του κάθε δείγματος για κάθε Συνιστώσα μπορούν να εξαχθούν γραφήματα που οπτικοποιούν τη συσχέτιση αυτή στο σύνολο του δείγματος (Πίνακας 4 - 6).



Εικόνα 4 - 15.

Σχέση Κυρίων Συνιστωσών με τις αρχικές μεταβλητές

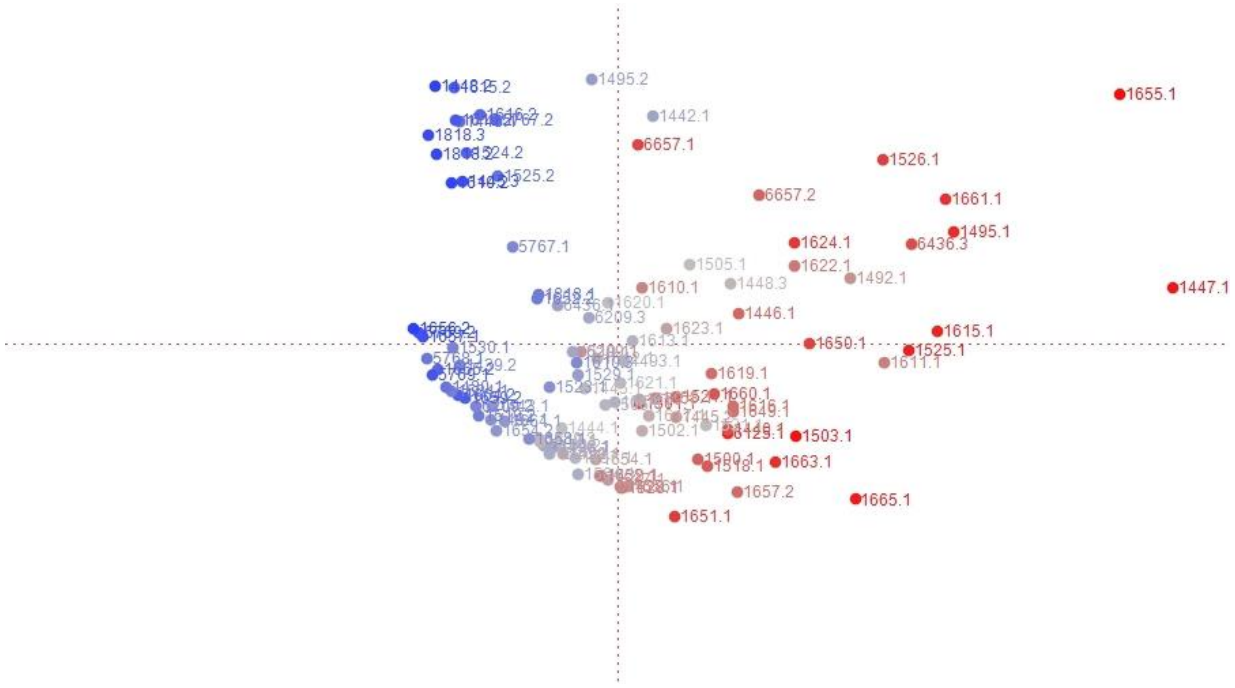
Συνδυασμός Bilpot με Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (αριστερά) και γράφημα φορτίσεων (δεξιά)

4.3.10.2.1. Πρώτη Κύρια Συνιστώσα και μέγεθος

Ο πίνακας φορτίσεων συντελεστών δείχνει ότι η πρώτη Κύρια Συνιστώσα εμφανίζει υψηλή φόρτιση (μεγαλύτερη του 0.4) από δώδεκα μεταβλητές και έντονα αρνητική φόρτιση από μία μεταβλητή.

Οι υψηλότερες φορτίσεις (> 0.8) που παρουσιάζονται αντιστοιχούν σε μεγέθη που αναφέρονται μάλλον σε μια γενική περιγραφή συνολικού μεγέθους, επιβεβαιώνοντας την υπόθεση περί συσχετισμού της πρώτης Κύριας Συνιστώσας με το μέγεθος (4.3.7.5.2, Εικόνα 4 - 16), αλλά και δευτερευόντως της ανοιχτότητας. Συγκεκριμένα (Πίνακας 4 - 6), η Συνιστώσα αυτή εμφανίζει συντελεστή 0.907 με τη συνολική περίμετρο, 0.902 με το λόγο του εμβαδού του κενού προς το εμβαδόν τετραγώνου, 0.893 με το συνολικό εμβαδόν, 0.818 με τη διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα, 0.816 με το πλήθος των ανοιγμάτων, 0.813 με το συνολικό μήκος των ανοιχτών πλευρών, 0.800 με το λόγο ανοιχτής περιμέτρου προς την περίμετρο του τετραγώνου, ενώ εμφανίζει και σχετικά υψηλή αρνητική συσχέτιση με τη συνολική μέση συνδεσιμότητα (-0.752).

Ο συνδυασμός αυτών των τριών πρώτων, περισσότερο συσχετιζόμενων ιδιοτήτων αποδίδει το μέγεθος, ενώ οι επόμενες τέσσερις μεταβλητές σχετίζονται με το βαθμό συνολικής ανοιχτότητας και διασύνδεσης του εκάστοτε αστικού κενού.



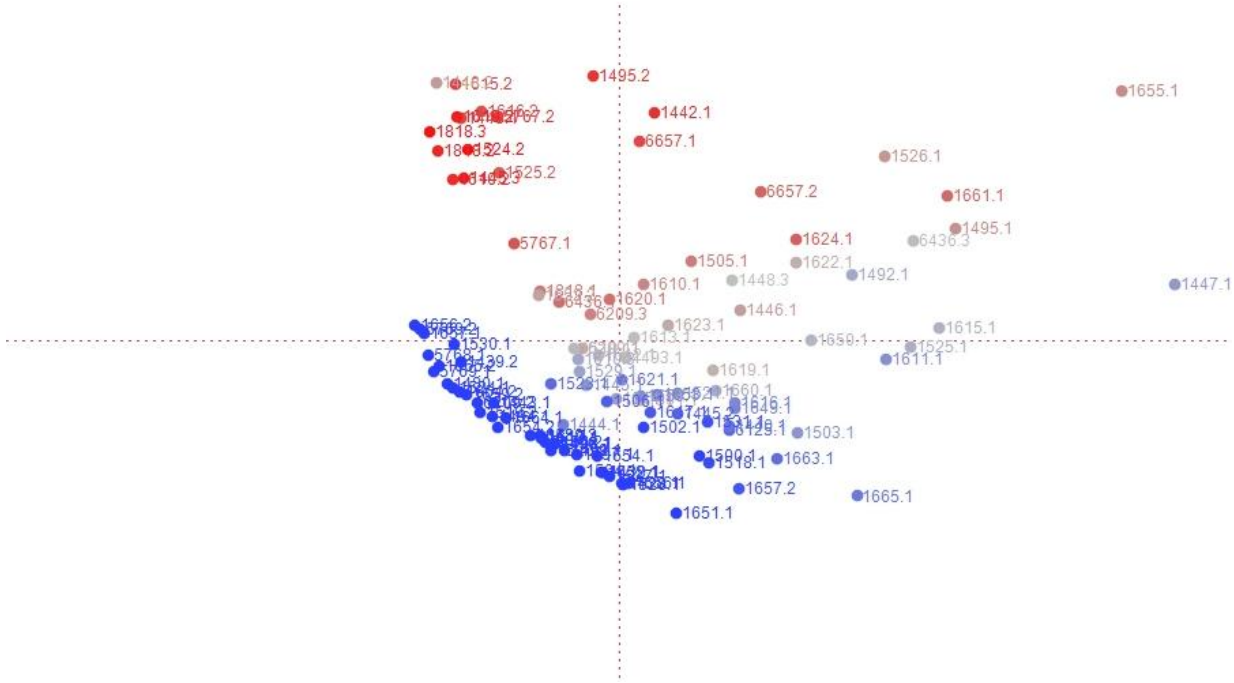
Εικόνα 4 - 16.
Πρώτη Κύρια Συνιστώσα και μέγεθος

Προβολή των δεδομένων στις δύο πρώτες Κύριες Συνιστώσες και χρωματική απόδοση μεγέθους με όρους εμβαδού των αστικών κενών. Παρατηρείται έντονος διαχωρισμός κατά την πρώτη Κύρια Συνιστώσα, με συγκέντρωση των μεγαλύτερων χώρων (κόκκινο) στο δεξί και των μικρότερων χώρων (μπλε) στο αριστερο ημιεπίπεδο

4.3.10.2.2. Δεύτερη Κύρια Συνιστώσα και ανοιχτότητα

Η δεύτερη Κύρια Συνιστώσα εμφανίζει αρκετά υψηλές φορτίσεις συντελεστών (>0.4) για επτά μεταβλητές και υψηλή αρνητική φόρτιση για άλλες τρεις μεταβλητές. Οι μεταβλητές με τις μεγαλύτερες φορτίσεις (>0.8) εκφράζουν την ανοιχτότητα, αλλά αυτή τη φορά με όρους συνδεσιμότητας σε μια πιο τοπική κλίμακα. Συγκεκριμένα, έχει συντελεστή 0.888 ως προς την κατακόρυφη τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας από τις ανοιχτές πλευρές (Εικόνα 4 - 17) και 0.870 ως προς τη μέση συνδεσιμότητα από τις ανοιχτές πλευρές, ενώ συσχετίζεται έντονα (0.851) και με το ποσοστό της ανοιχτής περιμέτρου του κάθε κενού (Πίνακας 4 - 6).

Η ανοιχτότητα που εκφράζει η δεύτερη Κύρια Συνιστώσα αναφέρεται στη μεταβολή της συνδεσιμότητας στο τοπικό επίπεδο του μεμονωμένου αστικού κενού, με έμφαση στις τοπολογικές ιδιότητες της περιμέτρου, ενώ η πρώτη Κύρια Συνιστώσα εκφράζει περισσότερο την ανοιχτότητα σε καθολικό επίπεδο, σε αναφορά με το σύνολο του οικοδομικού τετραγώνου και το σύνολο του αστικού ιστού, με όρους περισσότερο γεωμετρικής έκφρασης.



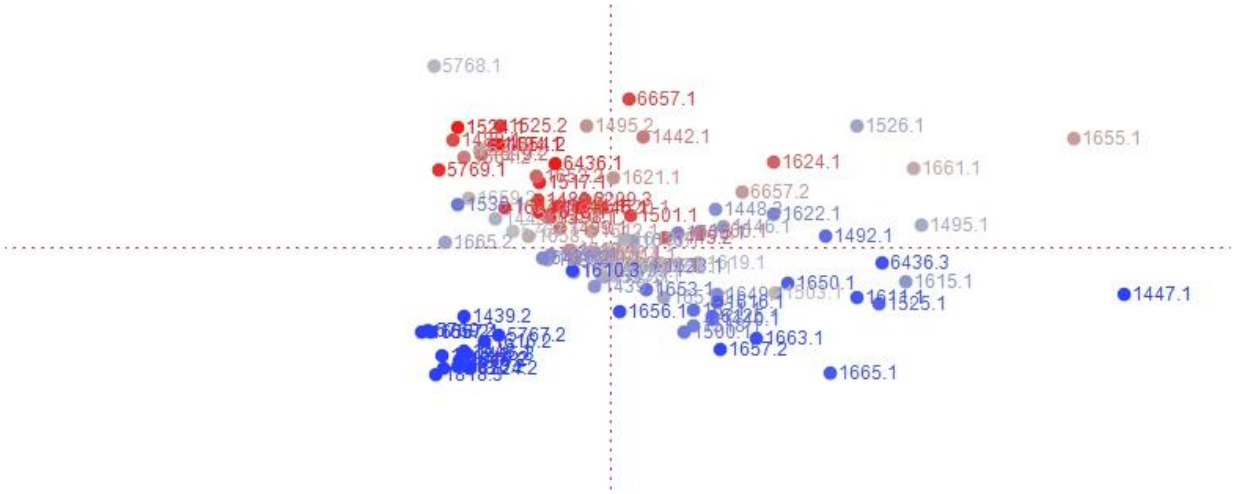
Εικόνα 4 - 17.
Δεύτερη Κύρια Συνιστώσα και ανοιχτότητα

Προβολή των δεδομένων στις δύο πρώτες Κύριες Συνιστώσες και χρωματική απόδοση ανοιχτότητας με όρους κατακόρυφης τυπικής απόκλισης συνδεσιμότητας από τις ανοιχτές πλευρές. Παρατηρείται έντονος διαχωρισμός κατά τη δεύτερη Κύρια Συνιστώσα, με συγκέντρωση των υψηλότερων τιμών (κόκκινο) στο άνω και των μικρότερων (μπλε) στο κάτω ημιεπίπεδο

4.3.10.2.3. Τρίτη Κύρια Συνιστώσα και συνδεσιμότητα

Τέλος, η τρίτη Κύρια Συνιστώσα εμφανίζει τις υψηλότερες φορτίσεις συντελεστών (>0.4) για δύο μεγέθη, την κατακόρυφη (Εικόνα 4 - 18) και την οριζόντια τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας, 0.807 και 0.910 αντίστοιχα (Πίνακας 4 - 6), τα οποία σχετίζονται με τοπικά συντακτικά χαρακτηριστικά που εκφράζουν το ρυθμό μεταβολής της συνδεσιμότητας της περιμέτρου σε μια διαχρονική προσέγγιση του σχήματος ως διαδοχικά αποκαλυπτόμενων τοποθεσιών[21].

[21] Βλ. κεφ. 2.4.3.7.



Εικόνα 4 - 18.

Τρίτη Κύρια Συνιστώσα και συνδεσιμότητα

Προβολή των δεδομένων στην πρώτη και την τρίτη Κύρια Συνιστώσα και χρωματική απόδοση συνδεσιμότητας με όρους κατακόρυφης τυπικής απόκλισης συνδεσιμότητας. Παρατηρείται έντονος διαχωρισμός κατά τη τρίτη Κύρια Συνιστώσα (άξονας y), με συγκέντρωση των υψηλότερων τιμών (κόκκινο) στο άνω και των μικρότερων (μπλε) στο κάτω ημιεπίπεδο

Στα γραφήματα διασποράς (Πίνακας 4 - 6) φαίνεται η κατανομή όλων των δεδομένων ως προς κάθε μια από τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες (άξονας τετμημένων) και κάθε μια από τις μεταβλητές (άξονας τεταγμένων) που φορτίζουν περισσότερο κάθε Συνιστώσα αντίστοιχα.

Στις συσχετίσεις αυτές συνηγορεί και το Biplot (Εικόνα 4 - 15), στο οποίο φαίνεται ο βαθμός σύγκλισης των πρώτων Κυρίων Συνιστωσών να δύο με κάθε μία από τις μεταβλητές, με όρους γωνίας μεταξύ των διανυσμάτων τους αλλά και μήκους των διανυσμάτων των μεταβλητών.

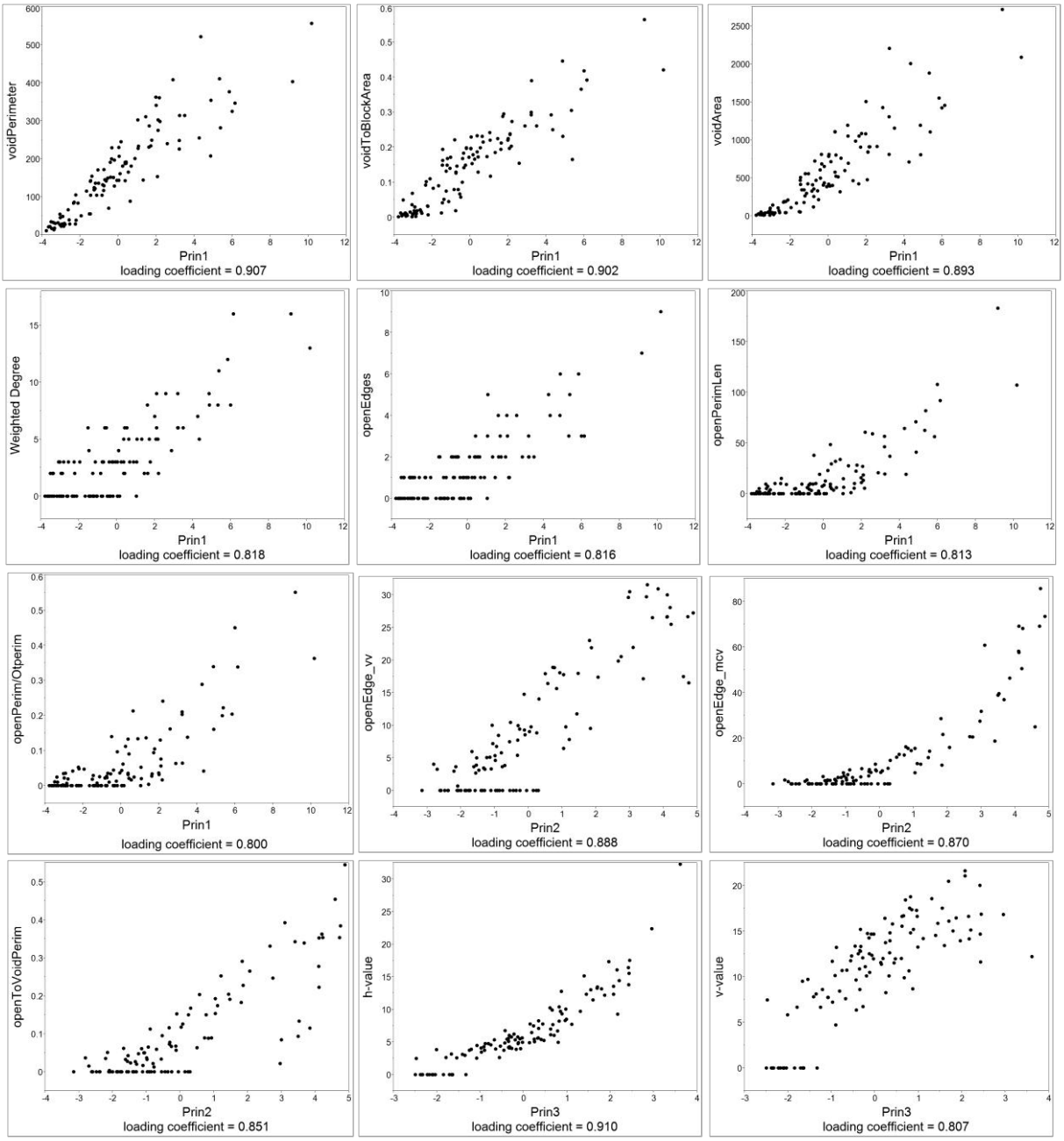
Οι παρατηρήσεις αυτές έχουν να κάνουν με την ερμηνεία των Κυρίων Συνιστωσών και τα χαρακτηριστικά του δείγματος, αλλά ο επιδιωκόμενος διαχωρισμός των σημείων σε διακριτές ομάδες απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία και διασταύρωση με άλλες μεθόδους μείωσης διαστάσεων.

Loading Matrix

	Prin1	Prin2	Prin3	Prin4	Prin5	Prin6	Prin7	Prin8	Prin9	Prin10	Prin11	Prin12	Prin13	Prin14	Prin15	Prin16	Prin17	Prin18	Prin19
openPerim/Otperim	0.80018	0.46408	0.21918	-0.10470	-0.08819	-0.06526	-0.11050	-0.16968	-0.05932	-0.00997	-0.06521	0.08890	0.08314	-0.04887	-0.01508	0.05363	0.01742	-0.00628	-0.06150
voidArea	0.89284	-0.13017	-0.05714	0.02449	-0.08428	-0.25356	0.15168	-0.04780	-0.15759	0.05546	0.14874	-0.04714	-0.15207	0.02097	-0.01226	-0.08206	-0.04245	0.01015	-0.02696
voidToBlockArea	0.90222	-0.12006	0.07172	0.03170	-0.10192	-0.20214	0.07110	-0.16535	-0.06908	-0.08998	0.01004	-0.11838	0.14939	0.16497	-0.06328	0.02078	0.01753	0.00115	0.02314
voidPerimeter	0.90672	-0.29853	-0.16777	0.04325	-0.03887	-0.08173	0.12064	0.04376	-0.00893	0.07542	-0.00823	0.00479	-0.09649	-0.07657	-0.01755	0.01075	0.10588	-0.03524	0.01266
openEdges	0.81618	0.28432	-0.06693	-0.10119	0.16040	0.10738	-0.15855	0.36054	-0.02491	-0.00375	0.02098	0.11546	-0.01135	0.09953	-0.14637	-0.00161	-0.00536	0.00231	0.00009
openPerimLen	0.81282	0.43631	0.19727	-0.12113	-0.07430	-0.09353	-0.10325	-0.12871	-0.14286	0.01439	-0.02974	0.13307	-0.02784	-0.08997	0.03207	0.00781	-0.01770	0.04383	0.04977
openToVoidPerim	0.34226	0.85136	0.11248	0.02654	-0.23380	0.10842	0.21411	0.00248	0.02578	-0.02772	-0.10031	0.05565	-0.03875	0.07074	0.06184	-0.02500	-0.03345	-0.07505	0.01121
corner	0.69044	0.40617	0.20828	-0.20313	-0.09593	0.11854	-0.24727	-0.12846	0.38745	-0.00826	0.09886	-0.07757	-0.07841	0.01229	-0.00536	-0.01945	0.00651	0.00653	0.00314
containedBuild	0.41915	0.12996	0.06320	-0.52863	0.59788	0.24929	0.29503	-0.06927	-0.03853	-0.08273	0.04182	-0.02984	0.01649	-0.02305	0.02747	-0.00215	0.00232	-0.00043	-0.00060
surroundBuild	0.69875	-0.55571	-0.23822	0.03597	-0.05635	-0.05522	0.13472	0.07041	0.18931	0.07789	0.10625	0.14352	0.17059	-0.00800	0.09464	-0.05986	-0.00697	0.00357	-0.00113
vertNum	0.77475	-0.47710	-0.28889	0.02809	-0.04444	-0.02239	0.16310	0.05078	0.12991	0.03379	-0.05422	-0.03925	-0.04391	-0.04302	-0.01891	0.16188	-0.05818	0.00321	0.00127
mcv	-0.75178	0.52680	-0.00300	-0.16842	-0.01371	-0.11186	-0.02129	-0.01815	-0.07153	0.16641	0.25408	0.04175	0.00746	0.05799	0.03520	0.10520	0.01022	-0.02189	0.00614
v-value	0.06506	-0.40110	0.80705	0.23686	-0.03685	-0.05268	0.05600	0.14229	0.00659	-0.27867	0.12321	0.04286	-0.03204	-0.02483	0.04190	0.04186	0.00597	-0.00511	-0.00126
h-value	-0.05227	0.00458	0.91018	0.02665	0.13460	-0.13829	0.15720	0.09223	0.07454	0.28401	-0.08569	-0.04382	0.02960	0.00131	-0.03212	-0.01191	-0.00368	0.00956	0.00089
fd	0.46385	-0.33802	0.17385	0.33223	-0.15290	0.67799	-0.00051	-0.09881	-0.13310	0.11836	0.06855	-0.01125	0.01012	0.01813	-0.00487	0.01056	0.00109	0.00768	-0.00083
openEdge_mcv	-0.15867	0.87011	-0.15288	0.09054	-0.22110	0.06447	0.31811	0.11593	0.05801	-0.03761	-0.02067	-0.00566	-0.02666	0.05937	0.04317	0.01941	0.03869	0.07170	-0.01172
openEdge_vv	0.02629	0.88823	-0.11741	0.32820	0.01389	-0.00545	0.11164	0.04128	0.02076	-0.03235	0.10865	-0.07777	0.10439	-0.17494	-0.11277	-0.02180	-0.01544	-0.01270	0.00736
openEdge_hv	0.23613	0.33553	-0.12543	0.66417	0.56656	-0.10068	-0.05456	-0.15119	0.07403	0.01491	-0.01392	0.05956	-0.04955	0.06628	0.03613	0.01521	0.00303	0.00227	-0.00097
Weighted Degree	0.81822	0.34642	-0.04959	0.04296	0.08894	-0.01500	-0.25019	0.25348	-0.11667	0.03229	-0.01833	-0.16284	0.04697	-0.01956	0.16446	0.00859	-0.00092	-0.00275	-0.00274

Πίνακας 4 - 5

Φόρτιση Συντελεστών για όλες τις Κύριες Συνιστώσες του δείγματος των Πατησίων



Πίνακας 4 - 6

Διαγράμματα Διασποράς μετρήσεων με μεγάλη Φόρτιση Συντελεστών (>0.8) για μία από τις τρεις πρώτες Κύριες Συνιστώσες, προς την αντίστοιχη Συνιστώσα

4.4. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα: Μείωση διαστάσεων με τη χρήση Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων Kohonen

Για την πιλοτική εφαρμογή, η αξιολόγηση της σύγκλισης των αποτελεσμάτων της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών με τις κατηγορικές ετικέτες του δείγματος αποτελεί και την ολοκλήρωσή της, με την επιβεβαίωση δυνατότητας διαχωρισμού των οικοδομικών τετραγώνων βάσει αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς.

Στην κυρίως εφαρμογή όμως, όπου τα δείγματα δεν είναι χαρακτηρισμένα, και επομένως δεν παρέχεται άμεσα κριτήριο αξιολόγησης των αποτελεσμάτων της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, θεωρήθηκε σκόπιμο να εφαρμοστούν συμπληρωματικά διαφορετικές μέθοδοι μείωσης διαστάσεων, ώστε η αξιολόγηση να προκύψει από τη σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων των διαφορετικών μεθόδων.

Η δεύτερη μέθοδος μείωσης διαστάσεων που επιλέγεται για τη συγκριτική ανάλυση του δείγματος των αστικών κενών της περιοχής των Πατησίων, είναι μια εφαρμογή Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων [Artificial Neural Networks (ANN)], και συγκεκριμένα ενός δισδιάστατου δικτύου Kohonen, ή Αυτοοργανωνόμενου Χάρτη [Self Organising Map (SOM)]. Στην εφαρμογή αυτή, οι μετρήσεις που αντιπροσωπεύουν κάθε χωρική ενότητα, δηλαδή οι λίστες ιδιοτήτων κάθε αστικού κενού, χρησιμοποιούνται ως πολυδιάστατα διανύσματα που τροφοδοτούνται ως εισερχόμενα δεδομένα στο νευρωνικό δίκτυο, το οποίο τα οργανώνει σταδιακά στο δισδιάστατο χώρο που καταλαμβάνει βάσει μιας αυτοοργανωνόμενης συσχετιστικής λογικής. Το νευρωνικό δίκτυο παράγει μια εσωτερική αναπαράσταση της δομής των δεδομένων με μια λογική που αντλεί αφαιρετικά αναλογίες από τον τρόπο χαρτογράφησης των πολυδιάστατων αισθητηριακών ερεθισμάτων στον εγκεφαλικό φλοιό. Στην τελική χαρτογράφηση, τα πολυδιάστατα διανύσματα εμφανίζονται ως δισδιάστατα σημεία, κατανεμημένα στον κάναβο του δικτύου, ανάλογα με το βαθμό ομοιότητας ή διαφοράς τους σε όλες τις αρχικές διαστάσεις. Έτσι, παράγεται μια δισδιάστατη κατανομή σημείων, οι αποστάσεις μεταξύ των οποίων αντικατοπτρίζει τους συσχετισμούς τους στον αρχικό πολυδιάστατο χώρο.

4.4.1. Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα [Artificial Neural Networks (ANN)]

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα [Artificial Neural Networks], που ανήκουν στην περιοχή της Τεχνητής Νοημοσύνης, αποτελούν υπολογιστικά συστήματα που μοντελοποιούν αφαιρετικά και προσομοιώνουν τον τρόπο που διαχειρίζονται την πληροφορία τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα και πιο συγκεκριμένα οι νευρώνες του εγκεφάλου. Αποτελούν εφαρμογές παράλληλου λογισμού. Βάσει της αναλογίας τους με το νευρωνικό δίκτυο του εγκεφάλου, τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα αποτελούνται από νευρώνες που συνδέονται μεταξύ τους με συνάψεις, μέσω των οποίων μεταβιβάζονται μηνύματα. Ένα νευρωνικό δίκτυο τυπικά αυτοοργανώνεται μέσω κόμβων που διεγείρονται όταν δέχονται κάποιο ερέθισμα, επηρεάζοντας τους τοπολογικούς τους γείτονες μέσω συνάψεων (Harding, 2008).

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα διακρίνονται γενικά σε επιβλεπόμενα και ανεπίβλεπτα, ανάλογα με το αν απαιτούν εξωτερική εκπαίδευση, μέσω της παρουσίασης σε αυτά ενός συνόλου εκπαίδευσης [training set], δηλαδή ενός πλήθους επιλεγμένων υποδειγμάτων του επιθυμητού συσχετισμού εισερχομένων με εξερχόμενα, ή αν βασίζονται στην αυτοοργανωνόμενη δημιουργία εσωτερικών αναπαραστάσεων με αποκλειστική παρεχόμενη πληροφορία αυτή που ενυπάρχει στα εισερχόμενα δεδομένα.

Τα πρώτα μοντέλα τεχνητών νευρώνων παρουσιάστηκαν το 1943 από τους Warren McCulloch και Walter Pitts (Rojas, 1996: 4), των οποίων και φέρουν τα ονόματα.

4.4.1.1. Το βιολογικό ανάλογο

Η κεντρική ιδέα πίσω από την ανάπτυξη των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων είναι η μοντελοποίηση του τρόπου επεξεργασίας της πληροφορίας στον εγκέφαλο. Για τον σχεδιασμό αφαιρετικών μοντέλων Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων, ικανών να προσομοιωθούν και να αναλυθούν, είναι βασικό να επισημανθούν οι βασικές ιδιότητες των βιολογικών νευρωνικών δικτύων που σχετίζονται με τον τρόπο επεξεργασίας της πληροφορίας στον εγκεφαλικό φλοιό[22] (Rojas, 1996: 4) και να εξεταστεί ο τρόπος με τον οποίο αυτές μπορούν να ερμηνευτούν και να εφαρμοστούν σε τεχνητά υπολογιστικά συστήματα.

4.4.1.1.1. Δομή

Μονάδα

Ως προς τη δομή τους, τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα αποτελούνται ουσιαστικά από χωρικά προσδιορισμένες στοιχειώδεις υπολογιστικές μονάδες και τις μεταξύ τους διασυνδέσεις, αντλώντας αναλογίες από τη δομή και τη διασύνδεση των νευρώνων στα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα. Τα βασικά δομικά στοιχεία των βιολογικών νευρώνων[23] που μοντελοποιούνται στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα είναι οι δενδρίτες, οι συνάψεις, το κυτταρικό σώμα και ο άξονας. Η γενική αρχή ως προς τη διαχείριση της πληροφορίας έγκειται στον τρόπο λειτουργίας των νευρώνων, οι οποίοι «δέχονται σήματα και παράγουν μια απόκριση» (Rojas, 1996: 10) . Στη διαδικασία αυτή, η βασική υπολογιστική μονάδα είναι το σώμα του κυττάρου, ενώ «η πληροφορία αποθηκεύεται στα σημεία επαφής μεταξύ διαφορετικών νευρώνων, τις αποκαλούμενες συνάψεις[24]» (Rojas, 1996: 9).

Οι δίαυλοι μετάδοσης της εισερχόμενης πληροφορίας ονομάζονται δενδρίτες[25]. «Οι δενδρίτες δέχονται σήματα στην περιοχή επαφής τους με άλλα κύτταρα, στις συνάψεις […] (ενώ) τα εξερχόμενα σήματα μεταβιβάζονται από τον άξονα[26]» (Rojas, 1996:10-11).

Βάσει αυτής της δομής, κάθε νευρώνας λειτουργεί σαν ένα υπολογιστικό σύστημα εισόδου, επεξεργασίας και εξόδου πληροφορίας. Κατά αναλογία, οι τεχνητοί υπολογιστικοί νευρώνες «έχουν διαύλους εισόδου, ένα κυτταρικό σώμα και έναν δίαυλο εξόδου. Οι συνάψεις προσομοιώνονται από σημεία επαφής μεταξύ του κυτταρικού σώματος και των συνδέσεων εισόδου ή εξόδου» (Rojas, 1996: 11).

[22] Φλοιός [cortex] είναι το «επιφανειακό σύστημα από στρώματα νευρώνων που καλύπτει τα εγκεφαλικά ημισφαίρια» (Maturana & Varela, 1992: 261).

[23] Νευρώνας ή νευρικό κύτταρο [neuron] είναι το «τυπικό κύτταρο του νευρικού συστήματος που διαθέτει ένα νευράξονα και δενδρίτες και συγκροτεί το νευρικό σύστημα ως δίκτυο αλληλεπιδρώντων κυττάρων» (Maturana & Varela, 1992: 259).

[24] Σύναψη [synapsis] ονομάζεται το «σημείο στενής επαφής ανάμεσα σε δύο νευρώνες, συνήθως ανάμεσα σ' ένα νευράξονα και τους δενδρίτες ή το κυτταρικό σώμα ενός άλλου νευρώνα, αλλά επίσης ανάμεσα σε νευραξονικές απολήξεις ή ανάμεσα σε δενδρίτες» (Maturana & Varela, 1992: 260). «Η σύναψη είναι το σημείο όπου παράγονται οιαμοιβαίες επιρροές ανάμεσα σ' ένα νευρώνα και το κύτταρο με το οποίο είναι συνδεδεμένος» (Maturana & Varela, 1992: 169).

[25] Οι δενδρίτες [dendrites] είναι «πρωτοπλασματικές προεκτάσεις των νευρώνων που ποικίλλουν σε αριθμό και σχήμα» (Maturana & Varela, 1992: 258).

[26] Νευράξονας ή άξονας [axon] ονομάζεται η «πρωτοπλασματική προέκταση του νευρώνα που έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη νευρική ώση» (Maturana & Varela, 1992: 259).

Δίκτυο

Η δομική αναλογία δεν περιορίζεται στη στοιχειώδη υπολογιστική μονάδα, το νευρώνα, αλλά αφορά στη συνολική οργάνωση του δικτύου. Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα αποτελούνται από πλήθος στοιχειωδών νευρωνικών μονάδων, που διασυνδέονται και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους δυναμικά, σε αντιστοιχία με τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα στα οποία «βασική προϋπόθεση για την ανάδυση πολύπλοκης συμπεριφοράς και συνείδησης φαίνεται να είναι η μαζική και ιεραρχική δικτύωση του εγκεφάλου» (Horgan, 1994).

4.4.1.1.2. Ροή πληροφορίας

Στο μαζικά διασυνδεδεμένο αυτό δίκτυο, «οι νευρώνες μεταβιβάζουν πληροφορία μέσω 'δυναμικών δράσης'. Η επεξεργασία αυτής της πληροφορίας έγκειται σε ένα συνδυασμό ηλεκτρικών και χημικών διαδικασιών, που ρυθμίζονται ως επί το πλείστον στη διεπαφή μεταξύ των νευρώνων, δηλαδή στις συνάψεις» (Rojas, 1996: 18). Επομένως η μεταβίβαση πληροφορίας γίνεται τόσο μέσω ηλεκτρικών διαταραχών όσο χημικών σημάτων[27] και «η αλληλεπίδραση μεταξύ ηλεκτρικής διαβίβασης πληροφορίας εντός του κυττάρου και χημικής διαβίβασης μεταξύ κυττάρων αποτελεί τη βάση της νευρωνικής επεξεργασίας της πληροφορίας» (Rojas, 1996: 19).

Οι πολύπλοκες φυσικο-χημικές διεργασίες αυτορυθμίζονται τοπικά και εξασφαλίζουν τη ροή σημάτων εντός του συνόλου του δικτύου, με εξάπλωση της πληροφορίας από τους ενεργοποιημένους νευρώνες προς τους τοπολογικούς τους γείτονες. Η φορά μεταβίβασης της πληροφορίας καθορίζεται από τον τρόπο σύνδεσης των νευρώνων, δηλαδή από τις συνάψεις. Μέσω των συνάψεων, «σήματα ρέουν από το ένα κύτταρο στο άλλο με έναν απόλυτα καθορισμένο τρόπο. Αυτό στα μοντέλα τεχνητών νευρωνικών δικτύων εκφράζεται ενσωματώνοντας τα υπολογιστικά στοιχεία σε ένα κατευθυνόμενο γράφημα» (Rojas, 1996: 18-19). Η ύπαρξη προκαθορισμένης φοράς στη μετάδοση της πληροφορίας υποδεικνύει ότι η διάταξη των νευρώνων συστήνει ένα ιεραρχικό σύστημα.

4.4.1.1.3. Υπολογιστική ικανότητα

Ψηφιακή-δυαδική λογική

Καθοριστικής σημασίας για τη μετάδοση της πληροφορίας είναι, εκτός από τη φορά ροής της εντός του δικτύου, και η ένταση του διαβιβαζόμενου σήματος. Σχηματικά, κάθε κύτταρο έχει ένα εσωτερικό όριο που καθορίζει την ελάχιστη ποσότητα πληροφορίας που απαιτείται προκειμένου να ενεργοποιηθεί. Αν η συνολική πληροφορία που δέχεται ανα πάσα στιγμή το κύτταρο υπερβαίνει το όριό του, τότε αυτό διεγείρεται και εκπέμπει ένα νέο σήμα. Η ποσότητα πληροφορίας που εισρέει σε ένα κύτταρο δεν εξαρτάται μόνο από το πλήθος των συνάψεων που το τροφορδοτούν ταυτόχρονα, αλλά και από τη συναπτική απόδοση της κάθε σύναψης που καθορίζει την ισχύ του σήματος που αυτή μεταβιβάζει.

Σύμφωνα με τον Rojas (1996: 20) κάθε σήμα είναι μεν ένα δυαδικό γεγονός, με την έννοια ότι ο κύτταρο είτε ενεργοποιείται είτε όχι, «αλλά το πλήθος των ιονικών διαύλων που ενεργοποιούνται από το σήμα διαφέρει από σύναψη σε σύναψη. Είναι δυνατό μια μοναδική σύναψη να ωθήσει ένα

[27] Σύμφωνα με τους Maturana & Varela (1992: 168), «οι νευρώνες αλληλεπιδρούν όχι μόνο μέσω ηλεκτρικών μεταβολών, αλλά και μέσω διαρκούς μεταφοράς χημικών ουσιών στο εσωτερικό των νευραξόνων». Η μεταβίβαση πληροφορίας γίνεται μέσω των νευροδιαβιβαστών [neurotransmitters], «ουσιών που εκκρίνονται στις συναπτικές απολήξεις και προκαλούν ηλεκτρικές μεταβολές στο νευρώνα δέκτη» (Maturana & Varela, 1992: 259).

κύτταρο να 'πυροδοτήσει' ένα δυναμικό δράσης, αλλά άλλες συνάψεις μπορούν να το επιτύχουν αυτό μόνο με την ταυτόχρονη ενεργοποίηση του κυττάρου»[28].

Η πολύπλοκη αυτή διαδικασία μετάδοσης της πληροφορίας έχει τελικά ως αποτέλεσμα ο εκάστοτε νευρώνας είτε να διεγείρεται είτε να παραμένει ανενεργός. Έτσι, μακροσκοπικά η νευρωνική λειτουργία ακολουθεί μια δυαδική λογική, συγκρίσιμη και συμβατή με τη λειτουργία των ψηφιακών υπολογιστικών συστημάτων[29], και επομένως ικανή να προσομοιωθεί από τεχνητά υπολογιστικά συστήματα.

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα ως υπολογιστικά συστήματα

Στα μοντέλα αυτά, το βιολογικό ανάλογο λειτουργεί σε ένα αφαιρετικό επίπεδο, παρέχοντας ένα πρότυπο δομικής και λειτουργικής οργάνωσης του συστήματος. Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα δεν αποτελούν μια προσπάθεια πλήρους προσομοίωσης βιολογικών συστημάτων, αλλά μια επιλεκτική μοντελοποίηση βασικών αρχών που έχουν εντοπιστεί στα συστήματα αυτά και που σχετίζονται με τις δυνατότητες πολύπλοκων ιεραρχικών δικτύων, αποτελούμενων από απλές υπολογιστικές μονάδες, να επεξεργάζονται πληροφορία[30].

Στα συμβατικά υπολογιστικά συστήματα απαιτείται ένα ελάχιστο σύνολο μηχανικών οδηγιών προκειμένου να εφαρμοστούν οι υπολογιστικές λειτουργίες[31]. Αντίθετα, «στην περίπτωση των Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων, οι πρωτογενείς λειτουργίες - συναρτήσεις εντοπίζονται στους κόμβους του δικτύου και οι συνθετικοί κανόνες εμπεριέχονται εγγενώς στο σχηματισμό των διασυνδέσεων των κόμβων, στη συγχρονία ή ασυγχρονία της μετάδοσης της πληροφορίας και στην παρουσία ή όχι κύκλων» (Rojas, 1996: 23).

Σύμφωνα με αυτή τη λογική, κάθε νευρώνας μπορεί να προσεγγιστεί ως μια πρωτογενής συνάρτηση[32] και κατ' επέκταση «τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καθολικοί προσεγγιστές συναρτήσεων, δηλαδή ως υπολογιστικά μοντέλα ικανά να προσεγγίζουν ένα δεδομένο σύνολο συναρτήσεων» (Rojas, 1996: 26).

[28] «Κάθε σύναψη i (1<i<n) μπορεί να συσχετιστεί με ένα αριθμητικό βάρος wi. Αν όλες οι συνάψεις ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα, η πληροφορία που θα διαβιβαστεί είναι w1 + w2 + · · · + wn. Αν αυτή η τιμή είναι μεγαλύτερη από το όριο του κυττάρου, το κύτταρο θα εκπέμψει έναν παλμό» (Rojas, 1996: 20).

[29] «Αφού παραχθεί ένα σήμα, ακολουθεί ένα νέο. Κάθε νευρωνικό σήμα είναι ένα 'όλα ή τίποτα' αυτό-εξαπλούμενο ανατροφοδοτούμενο γεγονός αφού κάθε σήμα έχει την ίδια κυματομορφή και εύρος. Σε αυτό το επίπεδο μπορούμε να μιλάμε με ασφάλεια περί ψηφιακής μετάδοσης πληροφορίας» (Rojas, 1996: 17).

[30] Βάσει της ικανότητάς ους να επεξεργάζονται πληροφορία με μια δυαδική λογική, τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα «μπορούν να θεωρηθούν ως απλά μια άλλη προσέγγιση του προβλήματος της υπολογιστικής [computation]» (Rojas, 1996: 5).

[31] «Η κύρια διαφορά μεταξύ νευρωνικών δικτύων και συμβατικών υπολογιστικών συστημάτων είναι η μαζική παραλληλία και η πλεονασματικότητα τις οποίες εκμεταλλεύονται προκειμένου να αντιμετωπίσουν την αναξιοπιστία των μεμονωμένων υπολογιστικών μονάδων. Επιπλέον, τα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα είναι αυτοοργανωνόμενα συστήματα και κάθε μεμονωμένος νευρώνας είναι μια εύθραυστη αυτοοργανωνόμενη δομή ικανή να επεξεργάζεται πληροφορία με πολλούς διαφορετικούς τρόπους» (Rojas, 1996: 4).

[32] «Αν θεωρήσουμε κάθε κόμβο ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου ως μια πρωτογενή συνάρτηση ικανή να μετασχηματίζει τα εισερχόμενά της σε ένα σαφώς καθορισμένο εξερχόμενο, τότε τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα δεν είναι παρά δίκτυα πρωτογενών συναρτήσεων. Διαφορετικά μοντέλα τεχνητών νευρωνικών δικτύων διαφέρουν κυρίως ως προς τις παραδοχές σχετικά με τις χρησιμοποιούμενες πρωτογενείς συναρτήσεις, το σχηματισμό των διασυνδέσεων και το χρονικό συντονισμό της διαβίβασης της πληροφορίας» (Rojas, 1996: 26).

4.4.1.1.4. Προσεγγιστική λογική

Στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, η συνάρτηση μετατροπής των εισερχομένων σε εξερχόμενα δεν έγκειται στη ρητή διατύπωση της ίδιας της συνάρτησης, όπως θα συνέβαινε σε ένα συμβατικό υπολογιστικό σύστημα, αλλά στην προσέγγιση του αποτελέσματος[33].

Βάσει της ιδιότητάς τους να λειτουργούν ως προσεγγιστές συναρτήσεων, χωρίς να απαιτείται η ρητή διατύπωση κανόνων, «τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα συχνά χρησιμοποιούνται ως 'μαύρα κουτιά': ένα συγκεκριμένο εισερχόμενο αναμένεται να παράξει ένα επιθυμητό εξερχόμενο, αλλά ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό από το δίκτυο επαφίεται σε μια αυτό-οργανώμενη διαδικασία. […] (Έτσι,) ένα νευρωνικό δίκτυο συμπεριφέρεται σαν μια 'μηχανή χαρτογράφησης', ικανή να μοντελοποιεί μια συνάρτηση $F : R^n \rightarrow R^m$», αντιστοιχώντας ένα n-διάστατο πραγματικό εισερχόμενο (x1, x2, …, xn) σε ένα m-διάστατο πραγματικό εξερχόμενο (y1, y2, …, ym)» (Rojas, 1996: 29-30), με έναν προσεγγιστικό, αυτοοργανωνόμενο τρόπο.

4.4.1.1.5. Μάθηση

Η αυτοοργανωνόμενη διαδικασία προσέγγισης συναρτήσεων είναι ουσιαστικά μια διαδικασία μάθησης, κατά την οποία το δίκτυο σταδιακά μαθαίνει να αντιστοιχεί συγκεκριμένα εισερχόμενα σε επιθυμητά εξερχόμενα. Βασικός παράγοντας, που εξασφαλίζει την προσαρμογή του συστήματος στα εισερχόμενα μηνύματα και υποστηρίζει τη μάθηση, είναι η «συναπτική απόδοση», που στα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα ρυθμίζει τη ροή της πληροφορίας σε κάθε σύναψη.

Η «συναπτική απόδοση» δεν είναι προκαθορισμένη και σταθερή για κάθε σύναψη, αλλά μπορεί να μεταβάλλεται σταδιακά ενισχύοντας ή υποβαθμίζοντας την ισχύ των σημάτων. Σχηματικά, οι συναπτικές αποδόσεις αυτορυθμίζονται στην κατεύθυνση της ενίσχυσης συχνά επανεμφανιζόμενων συνδυασμών σημάτων και της εξασθένισης μεμονωμένων ή τυχαίων σημάτων.

Στα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα «η συναπτική απόδοση μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ιδιότητα των συνδέσεων του δικτύου. Τα δίκτυα των νευρώνων συνδέονται μέσω ακμών με διαφορετικές αποδόσεις μεταβίβασης. Η πληροφορία που ρέει διαμέσου των ακμών πολλαπλασιάζεται με μια σταθερά που αντικατοπτρίζει την απόδοσή τους» (Rojas, 1996: 21). Η σταθερά αυτή συνήθως ονομάζεται «βάρος» της ακμής. Η διαδικασία προσδιορισμού και δυναμικής προσαρμογής των βαρών αποτελεί τη βάση της λειτουργίας μάθησης του συστήματος και συνήθως πραγματοποιείται με τη χρήση κάποιου αριθμητικού αλγόριθμου, δηλαδή «όχι μέσω ρητού προγραμματισμού αλλά μέσω μιας αυτόματης προσαρμοστικής μεθόδου» (Rojas, 1996: 5).

Πλαστικότητα και δομική κλειστότητα

Η ικανότητα αυτόματης προσαρμογής του συστήματος σε νέα δεδομένα, η οποία εξασφαλίζει τη δυνατότητα μάθησης, βασίζεται σε δύο πολύ σημαντικές ιδιότητες των φυσικών νευρωνικών δικτύων, την πλαστικότητα και τη δομική κλειστότητα (Maturana & Varela, 1992). Οι ιδιότητες αυτές αναφέροντα στην ικανότητα των νευρωνικών δικτύων να αυτορυθμίζονται μεταβάλλοντας τη δομή τους. Η δομή του δικτύου δεν είναι πλήρως προδιαγεγραμμένη, ούτε σταθερή, προκειμένου να μπορεί να εξελίσσεται και να επεξεργάζεται νέα ερεθίσματα. Έτσι, εκτός από τη μαζική δικτύωση, βασικό χαρακτηριστικό των βιολογικών νευρωνικών δικτύων και προϋπόθεση για την αποτελεσματική λειτουργία τους είναι η μεταβλητότητα, η προσαρμοστικότητα και η δυνατότητα

[33] Η προσέγγιση μιας συνάρτησης έγκειται στην «αναπαραγωγή μιας δεδομένης συνάρτησης $F : R \rightarrow R$ είτε επακριβώς είτε προσεγγιστικά μέσω της αξιολόγησης ενός δεδομένου συνόλου πρωτογενών συναρτήσεων» (Rojas, 1996: 25).

τοπολογικής αναδιάταξης[34]. Η αδιάκοπη αυτή δομική μεταβολή του συστήματος αποδίδεται από τους Maturana και Varela (1992) με τον όρο πλαστικότητα.

Τα νευρωνικά δίκτυα οργανώνονται κατά τρόπο ώστε «οποιεσδήποτε και αν είναι οι μεταβολές τους, να προξενούν άλλες μεταβολές στο εσωτερικό τους.[…] Λειτουργούν σαν κλειστά δίκτυα μεταβολών των σχέσεων δραστηριότητας που αναπτύσσονται ανάμεσα στα συστατικά τους» (Maturana & Varela, 1992: 178) και με αυτή την έννοια χαρακτηρίζονται από λειτουργική κλειστότητα.

Έτσι, το σύστημα λειτουργεί ως μονάδα με λειτουργική κλειστότητα, η κατάσταση της οποίας «καθορίζεται από τις εσωτερικές της σχέσεις, πάνω στις οποίες ενεργούν οι αλληλεπιδράσεις ρυθμίζοντας απλά τη δυναμική της δομής της. […] Για τη λειτουργία του συστήματος δεν υπάρχει ούτε 'μέσα' ούτε 'έξω', παρά μονάχα διατήρηση των ιδιαίτερων συσχετίσεων που βρίσκονται σε συνεχή μεταβολή» (Maturana & Varela, 1992: 183).

Η εσωτερική δομική αναδιοργάνωση του δικτύου το καθιστά ικανό να αποκρίνεται σε εξωτερικές μεταβολές μέσω της δομικής σύζευξης[35] του οργανισμού με το περιβάλλον του[36]. Έτσι, μέσω της διαρκούς δομικής αναδιοργάνωσης το σύστημα «μαθαίνει» να αναγνωρίζει και προσαρμόζεται σε μεταβαλλόμενες συνθήκες. Οι Maturana και Varela (1992: 186) προσεγγίζουν τη μάθηση ως «έκφραση της δομικής σύζευξης που διατηρεί πάντοτε μια κατάσταση συμβατότητας ανάμεσα στη λειτουργία του οργανισμού και το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται».

Αλγόριθμοι εκπαίδευσης

Στα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, η μάθηση ως αυτόματη και αυτορυθμιζόμενη διαδικασία δομικής μεταβολής ακολουθεί μια σειρά αλγοριθμικών μετασχηματισμών που βασίζονται σε κάποιον αλγόριθμο εκπαίδευσης [training algorithm] ή αλγόριθμο μάθησης [learning algorithm][37]. Γενικά, «ένας αλγόριθμος εκπαίδευσης είναι μια προσαρμοστική μέθοδος με την οποία ένα δίκτυο υπολογιστικών μονάδων αυτό-οργανώνεται για την επίτευξη της επιθυμητής συμπεριφοράς.[…] Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης πρέπει να προσαρμόζει τις παραμέτρους του δικτύου σύμφωνα με προηγούμενη εμπειρία μέχρι να βρεθεί μια λύση, εφόσον υφίσταται» (Rojas, 1996: 77-78).

Σύμφωνα με τον Cilliers (1998: 142), ο αλγόριθμος μάθησης «δεν γνωρίζει απολύτως τίποτα σχετικά με τη δομή του συγκεκριμένου προβλήματος. […] Λειτουργεί σε τόσο χαμηλό επίπεδο που δεν έχει αυτόνομο περιεχόμενο, και του αποδίδεται περιεχόμενο μόνο εντός ενδεχόμενων συγκεκριμένων εφαρμογών. Ομοίως, η περιγραφή της πολυπλοκότητας που παρέχεται δεν είναι γενική, αλλά χαμηλού επιπέδου».

[34] Σύμφωνα με τον Kohonen, οι βιολογικοί εγκεφαλικοί χάρτες δεν είναι απόλυτα προκαθορισμένοι γενετικά. «Τουλάχιστον οι μικρές δομές και κλίμακες χαρακτηριστικών αποδείχθηκε ότι εξαρτώνται από αισθητηριακές εμπειρίες και άλλα συμβάντα. […] Η τοπογραφική τους τάξη είναι επίσης επακόλουθο των εισερχόμενων δεδομένων» (Kohonen, 2013: 52).

[35] Η δομική σύζευξη εκφράζεται από μια «ιστορία σύμφωνων αμοιβαίων δομικών μεταβολών. […] Κάνουμε λόγο για δομική σύζευξη όποτε υπάρχει μια ιστορία αναδρομικών αλληλεπιδράσεων που οδηγούν στη δομική συναρμογή δύο ή περισσότερων συστημάτων» (Maturana & Varela, 1992: 99).

[36] «Οι νευρώνες, ο οργανισμός μέσα στον οποίο βρίσκονται και το περιβάλλον που αλληλεπιδρά με τον οργανισμό λειτουργούν ως αμοιβαίοι επιλογείς των αντίστοιχων δομικών μεταβολών και είναι μεταξύ τους δομικά συζευγμένοι» (Maturana & Varela, 1992: 184).

[37] «Τα νευρωνικά δίκτυα αποκαλούνται μη –αλγοριθμικά ως προς τον τρόπο που επιλύουν προβλήματα, ωστόσο το δίκτυο εκπαιδεύεται με έναν αλγόριθμο μάθησης [learning algorithm]» (Cilliers, 1998: 142).

Επιβλεπόμενη και ανεπίβλεπτη μάθηση

Οι αλγόριθμοι εκπαίδευσης μπορούν να διακριθούν σε υπαγόμενους σε επιβλεπόμενες και ανεπίβλεπτες μεθόδους, ανάλογα με το αν παρουσιάζεται ή όχι στο δίκτυο ένα σύνολο προτύπων εκπαίδευσης.

α. Επιβλεπόμενη μάθηση

Στους επιβλεπόμενους αλγόριθμους μάθησης η εκπαίδευση βασίζεται στην παρουσίαση στο δίκτυο ενός επιλεγμένου συνόλου παραδειγμάτων επιθυμητής συσχέτισης εισερχόμενων δεδομένων με εξερχόμενα. Το δίκτυο τροφοδοτείται δηλαδή με κάποια εισερχόμενα, συνοδευόμενα από τη σωστή απάντηση και βάσει μιας διαδικασίας σταδιακής διόρθωσης, το σύστημα αυτορυθμίζεται ώστε να αναπαράγει την επιθυμητή απάντηση.

Πιο συγκεκριμένα, «ο αλγόριθμος εκμάθησης είναι ένας κλειστός βρόχος παρουσίασης παραδειγμάτων και διόρθωσης των παραμέτρων του δικτύου. […] Η επιβλεπόμενη μάθηση υποδηλώνει μια μέθοδο στην οποία συλλέγονται κάποια εισερχόμενα διανύσματα και παρουσιάζονται στο δίκτυο. Το εξερχόμενο που υπολογίζεται από το δίκτυο παρακολουθείται και μετράται η απόκλισή του από το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Τα βάρη διορθώνονται ανάλογα με το μέγεθος του σφάλματος κατά τρόπο που καθορίζεται από τον αλγόριθμο εκπαίδευσης. Αυτού του τύπου η μάθηση λέγεται και μάθηση με δάσκαλο, αφού μια διαδικασία ελέγχου γνωρίζει τη σωστή απάντηση για το σύνολο των επιλεγμένων εισερχόμενων διανυσμάτων» (Rojas, 1996: 77).

Σχηματικά, στις μεθόδους αυτές, ο αλγόριθμος κατασκευάζει μια συνάρτηση που χαρτογραφεί δεδομένες εισόδους σε γνωστές, επιθυμητές εξόδους (σύνολο εκπαίδευσης), με απώτερο στόχο τη γενίκευση της συνάρτησης αυτής και για εισόδους με άγνωστη έξοδο (σύνολο ελέγχου).

Επιβλεπόμενοι αλγόριθμοι: Ενίσχυση ή διόρθωση σφάλματος

Οι επιβλεπόμενοι αλγόριθμοι μπορούν να διακριθούν περαιτέρω σε υποκατηγορίες, ανάλογα με το αν εφαρμόζουν ενίσχυση ή διόρθωση σφάλματος. Η διαφορά των δύο προσεγγίσεων έγκειται στον τρόπο αναγνώρισης του σφάλματος και προσαρμογής των βαρών[38].

Δυνατότητα γενίκευσης

Για την εφαρμογή μεθόδων επιβλεπόμενης μάθησης, είναι απαραίτητη η εξασφάλιση ενός συνόλου προκαθορισμένων παραδειγμάτων συσχετισμού εισερχομένων με εξερχόμενα, ενώ ένας δεύτερος περιορισμός σχετίζεται με το ζήτημα της δυνατότητας γενίκευσης των μεθόδων αυτών. Ο στόχος της εκπαίδευσης δεν είναι μόνο η όσο το δυνατό καλύτερη εκμάθηση του συνόλου εκπαίδευσης ώστε να αναπαράγεται η σωστή απάντηση κάθε φορά που παρουσιάζεται στο δίκτυο ένα από τα στοιχεία του δείγματος, αλλά κυρίως η χρήση του συνόλου εκπαίδευσης για την ανάπτυξη της ικανότητας αναγνώρισης άγνωστων παραδειγμάτων. Πρέπει δηλαδή το δίκτυο να εξάγει από τα γνωστά παραδείγματα μια λογική συσχετισμού μεταξύ εισερχομένων και εξερχομένων και να μπορεί να τη γενικεύσει εφαρμόζοντάς τη σε νέα εισερχόμενα[39]. «Ωστόσο, καλή ικανότητα γενίκευσης και

[38] «Η μάθηση με ενίσχυση χρησιμοποιείται όταν μετά από κάθε παρουσίαση ενός προτύπου εισερχομένων – εξερχομένων γνωρίζουμε μόνο αν το δίκτυο παράγει το επιθυμητό αποτέλεσμα ή όχι. Τα βάρη προσαρμόζονται βάσει αυτής της πληροφορίας (δηλαδή της δυαδικής τιμής αλήθειας-ψεύδους σύμφωνα με τη λογική Boole) ώστε μόνο το εισερχόμενο διάνυσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διόρθωση των βαρών. Στη μάθηση με διόρθωση σφάλματος, το μέγεθος του σφάλματος, μαζί με το εισερχόμενο διάνυσμα, καθορίζουν το μέγεθος των διορθώσεων των βαρών και συχνά επιδιώκουμε να απαλείφουμε το σφάλμα σε ένα μοναδικό διορθωτικό βήμα» (Rojas, 1996: 78-79).

[39] «Από τη μια μεριά περιμένουμε το δίκτυο να χαρτογραφήσει τα γνωστά εισερχόμενα όσο το δυνατόν ακριβέστερα στα γνωστά εξερχόμενα. Αλλά από την άλλη, το δίκτυο πρέπει να είναι ικανό να γενικεύει, δηλαδή άγνωστα εισερχόμενα να

ελάχιστη αναπαραγωγή σφάλματος των εκμαθημένων ζευγών εισερχομένων-εξερχομέων μπορεί να είναι αντικρουόμενοι στόχοι» (Rojas, 1996: 229).

β. Ανεπίβλεπτη μάθηση

Αντίθετα με την επιβλεπόμενη μάθηση, στην ανεπίβλεπτη μάθηση δεν απαιτείται η ύπαρξη προκαθορισμένης αντιστοιχίας παραδειγμάτων εισερχομένων και εξερχομένων, αλλά ο αλγόριθμος κατασκευάζει ένα μοντέλο για το σύνολο εισερχομένων χωρίς να γνωρίζει εκ των προτέρων τα επιθυμητά εξερχόμενα. Η διαδικασία αυτή προσεγγίζει περισσότερο τη μάθηση στα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα, τα οποία «δεν 'παίρνουν πληροφορίες' από το περιβάλλον, όπως συχνά λέγεται, αλλά, αντίθετα, γεννούν έναν κόσμο καθορίζοντας ποιες από τις διατάξεις του περιβάλλοντος είναι διαταραχές και ποιες μεταβολές προκαλούν στον οργανισμό» (Maturana & Varela, 1992: 183). Δημιουργούν δηλαδή μια εσωτερική αναπαράσταση της εξωτερικής μεταβολής, μετασχηματίζοντας της εσωτερική τους δομή. Η διαδικασία μάθησης βασίζεται αποκλειστικά σε τοπική πληροφορία, καθώς οι δομικές μεταβολές «λαμβάνουν χώρα όχι στις διασυνδέσεις που ενώνουν ομάδες νευρώνων, αλλά στα τοπικά χαρακτηριστικά αυτών των διασυνδέσεων. Πραγματοποιούνται, δηλαδή, στο επίπεδο των τελικών διακλαδώσεων και των συνάψεων» (Maturana & Varela, 1992: 181).

Δεδομένου ότι δεν παρέχεται σύνολο εκπαίδευσης, «δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα αριθμητικό μέτρο του μεγέθους του σφάλματος […]Εφόσον δεν υπάρχει 'δάσκαλος', το δίκτυο πρέπει να οργανώσει τον εαυτό του προκειμένου να συσχετίσει εισερχόμενα σε εξερχόμενα» (Rojas, 1996: 391).

Έτσι, «οι παράμετροι του δικτύου καθορίζονται ως αποτέλεσμα μιας αυτό-οργανωνόμενης διαδικασίας. […]Το δίκτυο από μόνο του αποφασίζει ποιο εξερχόμενο είναι το καλύτερο για ένα συγκεκριμένο εισερχόμενο και αναδιοργανώνεται ανάλογα» (Rojas, 1996: 101).

Για το λόγο αυτό, οι ανεπίβλεπτοι αλγόριθμοι αναφέρονται και ως αυτό-οργανώμενοι [self-organized]. Βασίζονται σε τοπική πληροφορία καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας εκπαίδευσης και οργανώνουν τα δεδομένα ανακαλύπτοντας σημαντικές συλλογικές ιδιότητες.

Αυτό σημαίνει ότι η ανεπίβλεπτη μάθηση είναι εξαιρετικά χρήσιμη όταν για ένα δεδομένο εισερχόμενο, το ακριβές αριθμητικό εξερχόμενο που θα έπρεπε να παράγει το δίκτυο είναι άγνωστο[40].

Ανεπίβλεπτοι αλγόριθμοι: Ενισχυτική και ανταγωνιστική μάθηση

Οι ανεπίβλεπτοι αλγόριθμοι εκπαίδευσης μπορούν να διακριθούν σε αλγορίθμους ενισχυτικής και ανταγωνιστικής μάθησης. Η βασική διαφορά μεταξύ των δύο προσεγγίσεων αφορά στον τρόπο αναπροσαρμογής των βαρών του δικτύου και στη στρατηγική αντιπροσώπευσης των εισερχομένων στο δίκτυο [41]. Στην ανταγωνιστική μάθηση, κάθε εισερχόμενο αντιπροσωπεύεται αποκλειστικά από

συγκρίνονται με τα γνωστά και το εξερχόμενο που παράγεται να είναι κάποιου είδους παρεμβολής των εκμαθημένων τιμών» (Rojas, 1996: 229).

[40] «Στην μη επιβλεπόμενη μάθηση οι διορθώσεις των βαρών του δικτύου δεν εκτελούνται από έναν εξωτερικό παράγοντα, γιατί συχνά δεν γνωρίζουμε καν τι απάντηση θα έπρεπε να αναμένουμε από το δίκτυο» (Rojas, 1996: 101).

[41] Στην ενισχυτική μάθηση «κάθε εισερχόμενο παράγει μια ενίσχυση των βαρών του δικτύου με τρόπο ώστε να ευνοεί την αναπαραγωγή του επιθυμητού αποτελέσματος. […] Στην ανταγωνιστική μάθηση, τα στοιχεία του δικτύου ανταγωνίζονται μεταξύ τους για το 'δικαίωμα' να παρέχουν αποκλειστικά το εξερχόμενο που συσχετίζεται με ένα εισερχόμενο διάνυσμα. Μόνο ένα στοιχείο επιτρέπεται να απαντήσει το ερώτημα και αυτό το στοιχείο ταυτόχρονα αποτρέπει όλους τους άλλους ανταγωνιστές» (Rojas, 1996: 101).

έναν τεχνητό νευρώνα και τα βάρη προσαρμόζονται ανάλογα με το βαθμό διασύνδεσης του νευρώνα αυτού με τους τοπολογικούς του γείτονες.

Ενισχυτική μάθηση

Ένας από τους πιο διαδεδομένους ανεπίβλεπτους ενισχυτικούς αλγορίθμους εκπαίδευσης για τεχνητά νευρωνικά δίκτυα είναι η «μάθηση Hebbian»[42], στην οποία «η αποδοτικότητα των συνάψεων αυξάνεται κάθε φορά που τα δύο κύτταρα που συνδέονται μέσω της συγκεκριμένης σύναψης διεγείρονται ταυτόχρονα και μειώνεται όταν οι καταστάσεις διέγερσης των δύο κυττάρων είναι ασυσχέτιστες. […] Δύο νευρώνες που είναι ταυτόχρονα ενεργοί αναπτύσσουν ένα βαθμό διάδρασης υψηλότερο από εκείνους τους νευρώνες των οποίων η δραστηριότητα είναι ασυσχέτιστη» (Rojas, 1996: 316). Με αυτόν τον τρόπο τα ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενα κύτταρα ενισχύουν επιπλέον τις συνδέσεις τους, ενώ τα ασυσχέτιστα σταδιακά τις χάνουν.

Συνοπτικά, «η μάθηση Hebbian είναι ένας τοπικός, διαδραστικός και χρονο-εξαρτημένος μηχανισμός» (Rojas, 1996: 335), που επιτρέπει τη προσαρμογή του συστήματος στο χώρο της εισερχόμενης πληροφορίας, υποστηρίζοντας τη σταδιακή αναγνώριση επαναλαμβανόμενων σχηματισμών σημάτων.

Ανταγωνιστική μάθηση

Αντίθετα, στην ανταγωνιστική μάθηση μόνο μία υπολογιστική μονάδα μπορεί να αντιπροσωπεύει κάθε εισερχόμενο. «Η απόφαση διέγερσης ή μη μιας μονάδας απαιτεί επομένως συνολική πληροφορία σχετικά με την κατάσταση κάθε μονάδας. Η μονάδα που διεγείρεται στέλνει σήμα ότι το συγκεκριμένο εισερχόμενο είναι στοιχείο της συστάδας διανυσμάτων που αντιπροσωπεύει» (Rojas, 1996: 104).

Σύμφωνα με τον Kohonen (2013), στα αποκαλούμενα ανταγωνιστικά εκπαιδευόμενα νευρωνικά δίκτυα παρουσιάζεται ανάδυση κυττάρων που είναι ευαίσθητα σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Η συμπεριφορά αυτή προκύπτει από αυτοοργάνωση καθοδηγούμενη από τα εισερχόμενα. «Σε ένα υποσύνολο κυττάρων, η προσαρμογή των ισχυρότερα ενεργοποιούμενων κυττάρων στο παρουσιαζόμενο εισερχόμενο σήμα τα κάνει να συντονίζονται με συγκεκριμένα εισερχόμενα χαρακτηριστικά ή συνδυασμούς αυτών» (Kohonen, 2013: 52).

4.4.2. Είδη Τεχνητών Νευρωνικών Δικτύων και επιλογή μεθόδου

Πέρα από τη βασική διάκριση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων σε επιβλεπόμενα και ανεπίβλεπτα, υπάρχουν και επιμέρους διαφοροποιήσεις που αφορούν τόσο στον αλγόριθμο εκπαίδευσης όσο και στην ίδια την αρχιτεκτονική του δικτύου. Οι δομικές και λειτουργικές αυτές διαφοροποιήσεις συνιστούν ουσιαστικά διαφορετικά μοντέλα νευρωνικών δικτύων. Για παράδειγμα, ως προς την αρχιτεκτονική τους, τα νευρωνικά δίκτυα μπορεί να περιλαμβάνουν ένα ή περισσότερα διαδοχικά επίπεδα [layers] νευρώνων, ενώ οι συνδέσεις μπορεί να σχηματίζουν βρόχους ή όχι. Συνήθως τα πολυεπίπεδα δίκτυα δεν περιλαμβάνουν βρόχους και η πληροφορία διαβιβάζεται από κάθε επίπεδο στο επόμενο, ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις όλα τα στοιχεία ενός επιπέδου συνδέονται με όλα τα στοιχεία του επόμενου επιπέδου.

[42] Η μάθηση Hebbian [Hebbian learning] ονομάστηκε έτσι από τον ψυχολόγο Donald Hebb (1949) που εισήγαγε τη μέθοδο το 1949. Ο αλγόριθμος αυτός βρίσκει εφαρμογή στα συσχετιστικά δίκτυα [associative networks] (Rojas, 1996: 316).

Συνοπτικά, σύμφωνα με τον Kohonen (1990) «οι αρχιτεκτονικές δικτύων και οι επεξεργασίες σημάτων που χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση νευρικών συστημάτων μπορούν χοντρικά να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες, κάθε μια από τις οποίες βασίζεται σε διαφορετική φιλοσοφία.

Τα εμπροσθοτροφοδοτούμενα ή δίκτυα μεταδράσεως [feedforward networks] (Rumelhart, Hinton & Williams, 1986) μετατρέπουν σύνολα εισερχομένων σημάτων σε σύνολα εξερχομένων σημάτων. Η επιθυμητή μετατροπή καθορίζεται συνήθως από εξωτερικές, επιβλεπόμενες προσαρμογές των παραμέτρων του συστήματος.

Στα δίκτυα ανατροφοδότηαης ή ανάδρασης [feedback networks] (Hopfield, 1982) η εισερχόμενη πληροφορία καθορίζει την αρχική κατάσταση δραστηριότητας ενός συστήματος ανάδρασης, και μετά από μεταβάσεις μεταξύ καταστάσεων η ασυμπτωτική τελική κατάσταση ταυτοποιείται ως το αποτέλεσμα των υπολογισμών.

Στην τρίτη κατηγορία, γειτονικά κύτταρα ενός νευρωνικού δικτύου ανταγωνίζονται στις δραστηριότητές τους μέσω αμοιβαίων πλευρικών διαδράσεων και εξελίσσονται προσαρμοστικά σε συγκεκριμένους ανιχνευτές διαφορετικών τυπικών σχηματισμών σημάτων. Σε αυτή την κατηγορία η μάθηση λέγεται ανταγωνιστική, ανεπίβλεπτη ή αυτό-οργανωνόμενη» (Kohonen, 1990: 1464).

Η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου για την προσέγγιση του εκάστοτε προβλήματος εξαρτάται κυρίως από το στόχο της εφαρμογής και από τον τύπο και τα χαρακτηριστικά των εισερχόμενων δεδομένων.

Στην παρούσα εφαρμογή, ο τελικός στόχος της χρήσης τεχνητών νευρωνικών δικτύων είναι η μείωση των διαστάσεων και η ομαδοποίηση των δεδομένων σε υποσύνολα, χωρίς όμως να είναι γνωστά εκ των προτέρων ο χαρακτήρας, η δομή ή το πλήθος των υποσυνόλων που εμπεριέχονται στο σύνολο των εισερχομένων.

Όταν το ζητούμενο είναι ο διαχωρισμός των δεδομένων σε υποσύνολα, η απλούστερη προσέγγιση είναι η εφαρμογή του μοντέλου του «Perceptron» που είναι και το πρώτο νευρωνικό δίκτυο που παράχθηκε εμπορικά (Rojas, 1996: 98). Πρόκειται για ένα απλό εμπροσθοτροφοδοτούμενο [feed-forward] νευρωνικό δίκτυο που λειτουργεί ως γραμμικός ταξινομητής [linear classifier]. Γενικά, «ένα μοναδικό perceptron διαχωρίζει το χώρο των εισερχομένων σε δύο ασύνδετους ημι-χώρους» (Rojas, 1996: 101), βάσει γραμμικού διαχωρισμού[43]. Με το συνδυασμό περισσότερων από ένα τέτοιων δικτύων μπορεί να επιτευχθεί διαχωρισμός των δεδομένων σε περισσότερα υποσύνολα, αρκεί αυτά να διαχωρίζονται γραμμικά ανα δύο (Rojas, 1996: 98).

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή όμως δε είναι γνωστό αν τα δεδομένα είναι γραμμικά διαχωρίσιμα, ούτε ποιο είναι το πλήθος των πιθανών ομάδων. Επομένως το μοντέλο του «Perceptron» δεν προσφέρεται.

Επιπλέον, δεν υπάρχει τρόπος προκαθορισμού του επιθυμητού αποτελέσματος, οπότε είναι αδύνατος ο εκ των προτέρων προσδιορισμός σωστών ζευγών εισερχομένων-εξερχομένων, τα οποία θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως πρότυπα για την εκπαίδευση ενός επιβλεπόμενου δικτύου. Σύμφωνα με αυτό τον βασικό περιορισμό, η επιλογή ανεπίβλεπτης μάθησης είναι μονόδρομος.

Στην περιοχή της ανεπίβλεπτης μάθησης υπάρχει ένα πλήθος μοντέλων στα οποία κάθε μονάδα του δικτύου εξειδικεύεται σε μια υποπεριοχή του χώρου εισερχομένων, με αποτέλεσμα στο τέλος της διαδικασίας εκμάθησης κάθε νευρώνας να αντιπροσωπεύει ένα υποσύνολο ισχυρά

[43] Για παράδειγμα, στην περίπτωση δισδιάστατων δεδομένων, ένα Perceptron χωρίζει το επίπεδο δε δύο ημιεπίπεδα μέσω της σταδιακής προσαρμογής της κλίσης μιας ευθείας γραμμής.

αλληλοσυσχετιζόμενων εισερχομένων. Σ' αυτές τις περιπτώσεις «n-διάστατα δεδομένα επεξεργάζονται από ακριβώς το ίδιο πλήθος υπολογιστικών μονάδων όσο το πλήθος των συστάδων που πρόκειται να ταυτοποιηθούν» (Rojas, 1996: 103). Αυτό όμως απαιτεί το πλήθος των διαφορετικών συστάδων στις οποίες μπορούν να διαιρεθούν τα εισερχόμενα να είναι γνωστό εκ των προτέρων, γεγονός που δεν ισχύει στη συγκεκριμένη περίπτωση. Σύμφωνα με τον Rojas (1996: 103) «αν το πλήθος και η κατανομή των συστάδων είναι άγνωστα δεν μπορούμε να ορίσουμε εκ των προτέρων το πλήθος των υπολογιστικών μονάδων και των αντιπροσωπευτικών διανυσμάτων βαρών. Αυτό είναι το γνωστό πρόβλημα των συστάδων [clustering problem] που προκύπτει όταν θέλουμε να κατηγοριοποιήσουμε πολυδιάστατα σύνολα δεδομένων των οποίων η βαθειά δομή είναι άγνωστη.»

Σύμφωνα με τους παραπάνω περιορισμούς, το καταλληλότερο μοντέλο τεχνητού νευρωνικού δικτύου για τη συγκεκριμένη εφαρμογή θα ήταν ένα ανεπίβλεπτο, αυτοοργανωνόμενο μοντέλο, που να χαρτογραφεί πολυδιάστατα δεδομένα χωρίς να προαπαιτείται ο προσδιορισμός του χαρακτήρα ή του πλήθους των εξερχόμενων υποομάδων.

4.4.3. Νευρωνικά Δίκτυα Kohonen ή Αυτοοργανωνόμενοι Χάρτες [Self Organising Maps (SOM)]

Το πιο διαδεδομένο μοντέλο αυτοοργανωνόμενων δικτύων είναι χάρτης διατηρούμενης τοπολογίας [topology-preserving map] που προτείνει ο Teuvo Kohonen (1984, 1982a).

Γύρω στο 1981-82 ο Teuvo Kohonen εισήγαγε μια μέθοδο αυτόματης ανάλυσης δεδομένων, μέσω μη-γραμμικής προβολικής χαρτογράφησης (Kohonen, 2013: 52), στην οποία τα εισερχόμενα καθίστανται χωρικά και συνολικά οργανωμένα (Kohonen, 2001, 1990, 1982a, 1982b).

Τα αποκαλούμενα και δίκτυα Kohonen ή Αυτοργανωνόμενοι Χάρτες [Self-Organizing Maps (SOM)] είναι μη επιβλεπόμενα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα που χαρτογραφούν πολυδιάστατα δεδομένα σε δύο συνήθως διαστάσεις, με έναν αυτοοργανωνόμενο τρόπο (Kohonen, 1995). Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης αποδίδονται γραφικά επί του δικτύου παρέχοντας μια άμεση και εγγενή οπτικοποίηση, στην οποία η συσταδοποίηση του χώρου των εισερχομένων καθώς και οι μετρικές και τοπολογικές σχέσεις μεταξύ των στοιχείων των δεδομένων είναι εμφανείς (Kohonen et al, 2004: 114).

Έχει αποδειχθεί οτι ο Αυτοοργανωνόμενος Χάρτης επιλύει δύσκολα πολυδιάστατα και μη-γραμμικά προβλήματα, ενώ σύμφωνα με τον Kohonen (1995) «είναι ένα από τα πιο ρεαλιστικά μοντέλα της βιολογικής εγκεφαλικής λειτουργίας». Η λειτουργία τους βασίζεται στον τρόπο οργάνωσης των βιολογικών εγκεφαλικών χαρτών, από όπου προέρχεται και ο χαρακτηρισμός του συγκεκριμένου μοντέλου νευρωνικού δικτύου ως χάρτη[44].

Βάσει της αναλογίας με τον τρόπο χωρικής οργάνωσης των εγκεφαλικών χαρτών, «ο Αυτό-οργανωνόμενος Χάρτης, μεταξύ των προτεινόμενων αρχιτεκτονικών και αλγορίθμων για τεχνητά νευρωνικά δίκτυα, έχει την ειδική ιδιότητα της αποτελεσματικής δημιουργίας χωρικά οργανωμένων 'εσωτερικών αναπαραστάσεων' διαφόρων χαρακτηριστικών εισερχόμενων σημάτων και των αφαιρέσεών τους» (Kohonen 1990: 1464).

[44] Σύμφωνα με τον Kohonen (1990: 1465) «κυρίως στα ανώτερα θηλαστικά, οι εγκεφαλικοί φλοιοί φαίνεται να περιλαμβάνουν διαφόρων ειδών 'χάρτες', κατά τρόπο ώστε μια συγκεκριμένη θέση της νευρωνικής απόκρισης στο χάρτη συχνά να αντιστοιχεί άμεσα σε μια συγκεκριμένη λειτουργία και ποιότητα αισθητηριακού σήματος. […] Κάποιοι (εγκεφαλικοί) χάρτες αναπαριστούν αφηρημένες ποιότητες αισθητηριακών και άλλων εμπειριών», ενώ «φαίνεται ότι οι εσωτερικές αναπαραστάσεις της πληροφορίας στον εγκέφαλο είναι γενικά χωρικά οργανωμένες».

Βασικό χαρακτηριστικό των εγκεφαλικών χαρτών, και κατ' αναλογία και των δικτύων Kohonen, είναι η ικανότητα διαχείρισης πολυδιάστατων αισθητηριακών ερεθισμάτων (ή αριθμητικών εισερχομένων) και η επεξεργασία τους και απόδοση της δομής τους σε λιγότερες διαστάσεις, τόσες όσες και οι χωρικές διαστάσεις του δικτύου των νευρώνων που δέχονται τα ερεθίσματα[45]. Με άλλα λόγια, τα πολυδιάστατα εισερχόμενα προβάλλονται στις δισδιάστατες νευρωνικές δομές». Η προβολή αυτή, τόσο στα βιολογικά νευρωνικά δίκτυα όσο και στο μοντέλο του Kohonen, επιτυγχάνεται ουσιαστικά μέσω μιας διαδικασίας οργάνωσης ενός πλήθους πολυδιάστατων δεδομένων μέσω της σύγκρισης των διαφορών τους με έναν συσχετιστικό, αυτοοργανωνόμενο τρόπο. Αυτό πραγματοποιείται με τη σταδιακή προσαρμογή των συναπτικών διανυσμάτων των νευρώνων που αποτελούν το χάρτη στο χώρο των εισερχομένων δεδομένων.

Ουσιατικά, οι Αυτοοργανωνόμενοι Χάρτες ακολουθούν μια «επαναληπτική, αναδρομική και αυτοαναφορική διαφοροποιητική διαδικασία μάθησης» (Derix, 2006: 140). Οι τεχνητοί αυτοί χάρτες μπορούν να σχηματιστούν προσαρμοστικά και εντελώς αυτόματα, ενώ «το σημαντικότερο χαρακτηριστικό τους είναι οι αυτοοργανωνόμενες ιδιότητες που προκύπτουν από έναν πολύ απλό κανόνα προσαρμογής» (Rojas, 1996: 412).

Ο ίδιος ο Kohonen, περιγράφοντας τον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου που προτείνει, αναφέρει ότι «ο Αυτό-οργανωνόμενος Χάρτης […] είναι ένα νευρωνικό δίκτυο με μορφή «φύλλου» [sheet-like] τα κύτταρα του οποίου εξειδικεύονται στο συντονισμό με διάφορους τυπικούς σχηματισμούς εισερχόμενων σημάτων ή με τάξεις τυπικών σχηματισμών μέσω μιας μη-επιβλεπόμενης διαδικασίας εκμάθησης. Στην βασική εκδοχή τους, μόνο ένα κύτταρο ή τοπική ομάδα κυττάρων δίνει κάθε φορά ενεργή απόκριση στο εκάστοτε εισερχόμενο. Οι θέσεις των αποκρίσεων τείνουν να διατάσσονται οργανωμένα σαν να δημιουργούταν πάνω από το δίκτυο κάποιο νοηματικό σύστημα συντεταγμένων για διαφορετικά εισερχόμενα χαρακτηριστικά. Η χωρική θέση ή οι συντεταγμένες ενός κυττάρου στο δίκτυο αντιστοιχεί τότε σε μια συγκεκριμένη περιοχή των τυπικών σχηματισμών των εισερχομένων σημάτων. Κάθε κύτταρο ή τοπική ομάδα κυττάρων δρα σαν ένας ξεχωριστός αποκωδικοποιητής για το ίδιο σήμα. Είναι λοιπόν η παρουσία ή απουσία μιας ενεργής απόκρισης σε αυτή τη θέση, και όχι τόσο η ακριβής μετατροπή σημάτων από εισερχόμενα σε εξερχόμενα ή το μέγεθος της απόκρισης, που παρέχει μια ερμηνεία της εισερχόμενης πληροφορίας» (Kohonen, 1990: 1464). Πιο συγκεκριμένα, «ο Αυτό-οργανωνόμενος Χάρτης αναπαριστά μια κατανομή εισερχόμενων δεδομένων στοιχείων χρησιμοποιώντας ένα πεπερασμένο σύνολο μοντέλων[46] . Στον Αυτό-οργανωνόμενο Χάρτη, αυτά τα μοντέλα συσχετίζονται αυτόματα με τους κόμβους ενός κανονικού (συνήθως δισδιάστατου) κανάβου με έναν συστηματικό τρόπο έτσι ώστε τα μοντέλα που είναι περισσότερο όμοια μεταξύ τους να συσχετίζονται αυτόματα με κόμβους που βρίσκονται πλησιέστερα στον κάναβο, ενώ λιγότερο όμοια μεταξύ τους μοντέλα τοποθετούνται αντιστοίχως πιο απομακρυσμένα μεταξύ τους στον κάναβο. Αυτή η οργάνωση, ένα είδος διαγράμματος ομοιότητας των μοντέλων, επιτρέπει την απόκτηση μιας διαισθητικής αντίληψης [insight] των τοπογραφικών συσχετισμών δεδομένων, ιδιαίτερα πολυδιάστατων δεδομένων στοιχείων» (Kohonen, 2013: 52).

Στην περίπτωση των άτυπων αστικών κενών, η χρήση Αυτοοργανωνόμενων Χαρτών θεωρήθηκε ιδιαιτέρως κατάλληλη, καθώς, σύμφωνα με τον Derix (2006: 140-143), «προσφέρουν τη δυνατότητα διερεύνησης συσχετισμών μεταξύ ιδιοτήτων αντικειμένων που καταλήγουν σε γενικές κατηγορίες

[45] Σύμφωνα με τον Rojas (1996: 392), «είναι γνωστό στη νευροβιολογία ότι πολλές δομές του εγκεφάλου έχουν γραμμική ή επίπεδη τοπολογία, δηλαδή εκτείνονται σε μία ή δύο διαστάσεις. Η αισθητηριακή εμπειρία, από την άλλη, είναι πολυδιάστατη. […] Η ερώτηση είναι: πώς οι επίπεδες δομές του εγκεφάλου καταφέρνουν να επεξεργάζονται τέτοια πολυδιάστατα σήματα; Ή αλλιώς: πώς προβάλλεται το πολυδιάστατο εισερχόμενο στις δισδιάστατες νευρωνικές δομές;»

[46] Ο Kohonen με τον όρο μοντέλα αναφέρεται στα συναπτικά διανύσματα των νευρώνων.

διακρίσεων» και η παρουσίαση επανεμφανιζόμενων γενικών τυπικών σχηματισμών «θα υποδείκνυε όχι μόνο διαφορές στη διάταξη χαρακτηριστικών αλλά συσχετισμούς μεταξύ χώρων που μοιράζονται κοινές ασαφείς ποιότητες».

Επιπλέον, σύμφωνα με τον Ireland (2006: 300) «η εγγενής δυναμική των Αυτοοργανωνόμενων Χαρτών αναδεικνύει τυχόν κρυμμένες τυπικές δομές σχέσεων εντός μιας οργάνωσης, οι οποίες μπορεί να μην είναι ορατές σε διαγραμματική μορφή».

4.4.3.1. Ομαδοποίηση σε μη προκαθορισμένες κατηγορίες

Η βασικότερη ιδιότητα του μοντέλου Kohonen που τον καθιστά κατάλληλο για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, είναι η ικανότητά του να ομαδοποιεί πολυδιάστατα δεδομένα βάσει αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς με έναν αυτοοργανωνόμενο τρόπο, χωρίς να απαιτείται εκ των προτέρων γνώση των κατηγοριών στις οποίες διακρίνονται τα δεδομένα.

«Στη διαδικασία επίλυσης ενός πολύπλοκου προβλήματος με τη χρήση δικτύου, δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει μια ρητά διατυπωμένη θεωρία σχετικά με τη δομή του προβλήματος. […] Εφόσον ένα νευρωνικό δίκτυο κωδικοποιεί εγγενώς τις σχέσεις μεταξύ μεγάλου πλήθους παραγόντων με έναν μη-γραμμικό,κατανεμημένο τρόπο, η ανάγκη μιας πλήρους και ρητής θεωρίας καταρρέει» (Cilliers, 1998: 69). Ο αυτοοργανωνόμενος χάρτης έχει την ιδιότητα να κωδικοποιεί ταυτόχρονα πολλαπλές διαστάσεις πληροφορίας χωρίς η κωδικοποίηση αυτή να προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιου μοντέλου της δομής των δεδομένων και των αναμενόμενων αποτελεσμάτων.

Σύμφωνα με τον Kohonen (1990: 1474), έχει αποδειχθεί ότι «ο αυτοοργανωνόμενος χάρτης είναι ικανός να εξάγει αφηρημένη πληροφορία από πολυδιάστατα πρωτογενή σήματα και να την αναπαριστά ως θέση σε ένα, για παράδειγμα, δισδιάστατο δίκτυο».

Πρόκειται για ένα χωρικό μοντέλο, όπου οι κατηγορίες προσδιορίζονται ασαφώς, με όρους χωρικής εγγύτητας. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί έμμεσα ως αναγνωριστής προτύπων [pattern classifier], με τη διαφορά ότι τα όρια μεταξύ των κατηγοριών παραμένουν ασαφή. Η τελική χαρτογράφηση λειτουργεί σαν χωρική οπτικοποίηση κατανομής εντάσεων συσχετισμών, χωρίς όμως να υποδεικνύει διακριτά οριοθετημένες περιοχές και κατηγορίες[47]. Πρόκειται δηλαδή για ένα διαβαθμισμένο χάρτη αφηρημένης ομοιότητας που δεν χρησιμοποιεί ρητά μοντέλα συσχετισμών. «Αντί να βασίζεται σε έννοιες ή ομάδες εννοιών, λειτουργεί βάσει ενός συστήματος συσχετισμών σε ένα υπο-εννοιολογικό επίπεδο στο οποίο δεν μπορεί να αποδοθεί, ή μάλλον, δεν χρειάζεται να αποδοθεί μια σημασιολογική ερμηνεία» (Cilliers, 1998: 71).

[47] «Αν ο αυτοοργανωνόμενος χάρτης πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως αναγνωριστής προτύπων όπου τα κύτταρα ή οι αποκρίσεις τους ομαδοποιούνται σε υποσύνολα, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μια διακριτή κατηγορία προτύπων [pattern], τότε το πρόβλημα τίθεται ως διαδικασία λήψης αποφάσεων […].

Ο αρχικός χάρτης […] προορίζεται κυρίως για την προσέγγιση τιμών εισερχόμενων σημάτων, ή της συνάρτησης πυκνότητας πιθανοτήτων τους, μέσω κβαντισμένων διανυσμάτων «κλειδιών»[codebook] που εντοπίζονται στο χώρο των εισερχομένων να ελαχιστοποιούν μια συνάρτηση κβαντισμένου λάθους. Από την άλλη, αν τα σύνολα εισερχομένων πρόκειται να κατηγοριοποιηθούν σε ένα πεπερασμένο πλήθος κατηγοριών, τότε κάποια διανύσματα- κλειδιά συνήθως αντιπροσωπεύουν κάθε κατηγορία και η ταυτότητά τους εντός της κατηγορίας δεν έχει πια σημασία. Στην ουσία, μόνο αποφάσεις που αφορούν στα όρια μεταξύ κατηγοριών έχουν σημασία. Είναι δυνατό να οριστούν αποτελεσματικές τιμές για τα διανύσματα-κλειδιά κατά τρόπο που να ορίζουν απευθείας σχεδόν βέλτιστα όρια μεταξύ των κατηγοριών» Kohonen (1990: 1470).

4.4.3.2. Βαθμοί ομοιότητας βάσει συσχετισμών με πλαίσιο αναφοράς

Η ικανότητα του συγκεκριμένου μοντέλου να αναγνωρίζει βαθμούς ομοιότητας, ακόμα και μεταξύ δεδομένων για τα οποία το μέτρο της ομοιότητας δεν είναι σαφές ή άμεσα ποσοτικοποιήσιμο[48], έγκειται σε μεγάλο βαθμό στο συσχετιστικό τρόπο μάθησης που βασίζεται στην αξιολόγηση κάθε δεδομένου σε σχέση με τη δομή του συνόλου των δεδομένων. Τα κριτήρια ομοιότητας διαμορφώνονται συσχετιστικά, λαμβάνοντας υπόψη τη συν-παρουσία ιδιοτήτων στο σύνολο του δείγματος, το οποίο αποτελεί το πλαίσιο αναφοράς και νοηματοδότησης του κάθε στοιχείου του δικτύου[49]. Κάθε εισερχόμενο δεν ενσωματώνει κάποια αυτόνομη πληροφοριακή ή σημασιολογική αξία[50], αλλά αποκτά σχετική σημασία εντός του συνόλου των συσχετισμών του με το πλαίσιο αναφοράς του, του οποίου το δίκτυο παράγει μια εσωτερική αναπαράσταση[51]. Επομένως, η ταυτόχρονη κωδικοποίηση και ενσωμάτωση του περιβάλλοντος είναι αυτή που εξασφαλίζει τη συσχετιστική απόδοση σημασιών στα εισερχόμενα.

Σύμφωνα με τον Cilliers (1998: 72), δεν υπάρχει περιορισμός στον όγκο πληροφορίας που μπορεί να τροφοδοτηθεί σε ένα δίκτυο, οπότε «μπορεί κανείς να περιλάβει όσο επιθυμεί από το πλαίσιο αναφοράς. Επιπλέον, εφόσον η πληροφορία είναι κατανεμημένη, δεν απαιτείται ρητή διάκριση μεταξύ των 'εννοιών' και του πλαισίου. Κωδικοποιούνται από κοινού και το πλαίσιο είναι ήδη μέρος της αναπαράστασης».

Έτσι, ακόμα και αν οι συσχετισμοί μεταξύ στοιχείων δεν προκύπτουν σαφώς από άμεσα εκφραζόμενες ιδιότητές τους, η παρουσίαση των δεδομένων μαζί με ικανό τμήμα του πλαισίου αναφοράς τους εξασφαλίζει τη δυνατότητα τοπολογικής αυτοοργάνωσής τους και χαρτογράφησής

[48] Σαν παράδειγμα αυτής της συσχετιστικής διαδικασίας αναφέρεται από τον Kohonen (1990: 1474) το παράδειγμα επεξεργασίας γλωσσικών αναπαραστάσεων, όπου τα συμβολικά δεδομένα δεν παρέχουν κάποιο ρητό μέτρο απόστασης.

[49] Ως προς τη δυνατότητα αναπαράστασης της **«**λογικής ομοιότητας» ζευγών στοιχείων και της τοπογραφικής χαρτογράφησης των στοιχεία αυτών, ο Kohonen υποστηρίζει ότι «η απάντηση έγκειται στο γεγονός ότι το σύμβολο, κατά τη διαδικασία εκμάθησης, είναι παρόν στο πλαίσιο αναφοράς, δηλαδή σε συνδυασμό με τις κωδικοποιήσεις ενός συνόλου άλλων συντρεχόντων στοιχείων. Στη γλωσσική αναπαράσταση πλαίσιο μπορεί να είναι οι παρακείμενες λέξεις. Η ομοιότητα μεταξύ στοιχείων θα αντικατοπτριζόταν τότε μέσω της ομοιότητας των πλαισίων. Για διατεταγμένα σύνολα αυθαίρετων κωδικοποιήσεων, αμετάβλητη ομοιότητα μπορεί να εκφραστεί, για παράδειγμα, ως προς το πλήθος των στοιχείων που έχουν κοινά. Από την άλλη, μπορεί να είναι προφανές ότι το νόημα μιας συμβολικής κωδικοποίησης μπορεί να εξαχθεί από τις υποθετικές πιθανότητες συν-εμφάνισής της με άλλες κωδικοποιήσεις, ανεξάρτητα από τον τύπο της κωδικοποίησης.

Ωστόσο, στη διαδικασία εκμάθησης, οι κυριολεκτικές κωδικοποιήσεις των συμβόλων πρέπει επίσης να απομνημονευθούν. Έστω ότι το διάνυσμα xs αναπαριστά τη συμβολική έκφραση ενός στοιχείου και xc η αναπαράσταση του πλαισίου του. Το απλούστερο νευρωνικό μοντέλο τότε υποθέτει ότι τα xs και xc συνδέονται με την ίδια νευρωνική μονάδα, δηλαδή το αναπαραστατικό διάνυσμα x του στοιχείου σχηματίζεται ως αλληλουχία των xs και xc:

$$\boldsymbol{x} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{x}_s \\ \boldsymbol{x}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{x}_s \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \boldsymbol{x}_c \end{bmatrix}$$

με άλλα λόγια, το σύμβολο και το πλαίσιο σχηματίζουν ένα διανυσματικό άθροισμα δύο ορθόγωνων συνιστωσών» (Kohonen, 1990: 1477).

[50] «Σε μια πραγματικά κατανεμημένη αναπαράσταση, το περιεχόμενο του κάθε βάρους είναι το αποτέλεσμα μιας τόσο διεσπαρμένης διαδικασίας που δεν μπορεί να συνιστά τίποτα το συγκριμένο. […] Η κατανεμημένη αναπαράσταση δεν παρέχει μια σταθερή αναπαράσταση ανεξάρτητη του πλαισίου αναφοράς» Cilliers (1998: 71- 72).

[51] «Όταν χρησιμοποιείται ένα αυτοοργανωνόμενο δίκτυο, ένα εισερχόμενο διάνυσμα παρουσιάζεται σε κάθε βήμα. Αυτά τα διανύσματα αποτελούν το 'περιβάλλον' του δικτύου. Κάθε νέο εισερχόμενο προκαλεί την προσαρμογή των παραμέτρων. Με τον έλεγχο αυτών των μετατροπών το δίκτυο μπορεί να δομεί κάποιου είδους εσωτερικής αναπαράστασης του περιβάλλοντος**»** (Rojas, 1996: 391-392).

τους βάσει αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς[52]. Βάσει αυτής της εσωτερικής συσχετιστικής λογικής, ο «μονοεπίπεδος χάρτης έχει αποδεδειγμένα την ικανότητα να δημιουργεί ιεραρχικές υπερ-μετρικές αναπαραστάσεις δομημένων κατανομών δεδομένων**»** (Kohonen, 1990: 1477).

4.4.3.3. Χωρική οργάνωση και αναπαράσταση

Ο κατανεμημένος, συσχετιστικός τρόπος οργάνωσης του αυτοοργανωνόμενου χάρτη, που βασίζεται στην τοπολογική αναδιάταξη της δομής του, έχει ως αποτέλεσμα η αναγνώριση αφηρημένων βαθμών ομοιότητας να ενσωματώνεται στους ίδιους τους κόμβους του δικτύου και να αποδίδεται χωρικά. Με τον τρόπο αυτό, η παραγόμενη εσωτερική αναπαράσταση οπτικοποιείται άμεσα επί του ίδιου του δικτύου, ως χωρικά προσδιορισμένης δομής κόμβων και διασυνδέσεων.

Μία βασική διαφορά μεταξύ του αυτοοργανωνόμενου χάρτη και άλλων προσεγγίσεων νευρωνικών δικτύων είναι ότι οι περισσότερες προσεγγίσεις «δίνουν έμφαση στο ζήτημα της κατανεμημένης επεξεργασίας και θεωρούν τη χωρική οργάνωση των μονάδων επεξεργασίας ως δευτερεύουσα. Η αρχή του χάρτη, από την άλλη, είναι κατά κάποιο τρόπο συμπληρωματική αυτής της ιδέας. Δίνεται έμφαση στην ενδογενή δυνατότητα της συγκεκριμένης αυτό-οργανούμενης διαδικασίας για δημιουργία μιας εντοπισμένης, δομημένης διάταξης αναπαραστάσεων εντός της βασικής μονάδας του δικτύου» (Kohonen, 1990: 1476).

Πρόκειται για ένα συνδυασμό διαδικασιών τοπικής και καθολικής κλίμακας, καθώς πραγματοποιείται εντοπισμένη επεξεργασία και αναπαράσταση της πληροφορίας, βάσει όμως μιας συνολικής, συσχετιστικής θεώρησης του πλαισίου αναφοράς, σε ένα κατανεμημένο και μαζικά διασυνδεδεμένο σύστημα τοπικών και χωρικά προσδιορισμένων μονάδων. Ενώ «οι μαζικές διασυνδέσεις που υπόκεινται κάθε νευρωνικής διαδικασίας οπωσδήποτε εκτείνονται σε όλο το δίκτυο, […] (οι επιπτώσεις τους) μπορεί να είναι εστιασμένες σε τοπικές περιοχές» (Kohonen, 1990: 1477). Οι υπολογισμοί εκτελούνται τοπικά, σε κάθε κόμβο, και το αποτέλεσμά τους επίσης αναπαρίσταται τοπικά, αλλά καθορίζεται από την συνολική δομή του συστήματος. «Στην πραγματικότητα δεν θα έπρεπε να μιλάμε για τον εντοπισμό μιας ‘συνάρτησης’: μόνο η απάντηση είναι τοπικοποιημένη (localized)» (Kohonen, 1990: 1476).

Επακόλουθο της παραγωγής χωρικά οργανωμένων αποτελεσμάτων είναι η ταυτόχρονη και άμεση οπτικοποίησή τους. Η αναπαράσταση δεν προκύπτει ως μια εκ των υστέρων γραφική απόδοση αριθμητικών αποτελεσμάτων, αλλά είναι ενδογενής της ίδιας της διαδικασίας παραγωγής του χάρτη. Η σταδιακά παραγόμενη εσωτερική αναπαράσταση της δομής των δεδομένων οπτικοποιείται άμεσα μέσω της χωρικής αναδιοργάνωσης του δικτύου.

«Σε αντίθεση με τα περισσότερα βιολογικής έμπνευσης μοντέλα χαρτών, η τοπογραφική τάξη στους Αυτοογρανωνόμενους Χάρτες μπορεί πάντα να υλοποιείται καθολικά σε όλη την έκταση του χάρτη.

[52] «Στα κατώτερα αντιληπτικά επίπεδα, η τοπικότητα-εντοπισμός των αποκρίσεων σε τοπογραφικά οργανωμένους χάρτες έχει ήδη αποδειχθεί και είναι γνωστό ότι τέτοιοι χάρτες δεν χρειάζεται να προκαθορίζονται λεπτομερώς, αλλά αντί αυτού μπορούν να οργανώνουν τον εαυτό τους βάσει των στατιστικών των εισερχόμενων σημάτων.[…] Στα ανώτερα επίπεδα αναπαράστασης, οι συσχετισμοί μεταξύ στοιχείων φαίνεται να βασίζονται σε πιο αδιόρατους ρόλους στον τρόπο που εμφανίζονται και δεν προκύπτουν τόσο σαφώς από τις άμεσες ενδογενείς ιδιότητές τους. Παρόλα αυτά, έχει επίσης αποδειχθεί πρόσφατα ότι ακόμα και με μια απλή υπόθεση μοντελοποίησης σημασιολογικών ρόλων, θα επέλθει τοπολογική αυτοοργάνωση σημασιολογικών δεδομένων. Για να περιγραφεί ο ρόλος ενός στοιχείου αρκεί τα εισερχόμενα δεδομένα μα παρουσιάζονται μαζί με ικανό τμήμα του πλαισίου. Αυτό τότε ελέγχει τη διαδικασία προσαρμογής» (Kohonen, 1990: 1477).

Η χωρική τάξη στην εμφάνιση των αποτελεσμάτων διευκολύνει μια βολική και γρήγορη οπτική εποπτεία των σχέσεων ομοιότητας μεταξύ των εισερχόμενων δεδομένων καθώς και την τάση τους να δημιουργούν συγκεντρώσεις και εξυπηρετεί την επαλήθευση και τον έλεγχο εγκυρότητας δειγμάτων δεδομένων. Επιπλέον, με κατάλληλη βαθμονόμηση [calibration] των μοντέλων, η ομαδοποίηση και κατηγοριοποίηση των δεδομένων γίνεται ρητή. […] Το βασικό πλεονέκτημα του Αυτοογρανωνόμενου Χάρτη έγκειται στην οπτικοποίηση του χώρου δεδομένων, στην οποία η δομή των συγκεντρώσεων οφείλει να εμφανιστεί» (Kohonen, 2013: 54-56).

Η άμεση οπτικοποίηση της δομής του δικτύου δεν αφορά μόνο στην τελική κατάσταση ισορροπίας, αλλά χαρακτηρίζει όλη τη διαδικασία μάθησης. Καθ' όλη τη διαδικασία προσαρμογής της δομής του δικτύου, παρέχεται μια διαρκής, δυναμικά ανανεωνόμενη αναπαράσταση της πορείας της χαρτογράφησης για το σύνολο του δικτύου, η οποία επιτρέπει την παρατήρηση των μεταβολών των συσχετισμών κάθε νευρώνα με το περιβάλλον του σε όλα τα στάδια της διαδικασίας[53].

4.4.4. Εφαρμογές του Αυτοοργανωνόμενου Χάρτη

Σύμφωνα με τον Kohonen (1995), ο Αυτοοργανωνόμενος Χάρτης και οι παραλλαγές του είναι ο πιο διαδεδομένος αλγόριθμος τεχνητών νευρωνικών δικτύων, στην κατηγορία της ανεπίβλεπτης μάθησης.

«Ο χωρικός διαχωρισμός διαφορετικών αποκρίσεων και η οργάνωσή τους σε τοπολογικά αλληλοσυσχετιζόμενα υποσύνολα έχει ως αποτέλεσμα έναν υψηλό βαθμό αποτελεσματικότητας σε τυπικές λειτουργίες νευρωνικών δικτύων» (Kohonen, 1990: 1464).

Έτσι, πολλοί τομείς της έρευνας έχουν υιοθετήσει τον Αυτοοργανωνόμενο Χάρτη ως καθιερωμένο αναλυτικό εργαλείο[54].

[53] «Εφόσον σε αυτά τα δίκτυα τα στάδια της μάθησης και της 'παραγωγής' μπορούν να αλληλεπικαλύπτονται, η αναπαράσταση μπορεί να ανανεώνεται διαρκώς» (Rojas, 1996: 392).

[54] Σύμφωνα με τον Kohonen (2013, 1990: 1476), μέχρι το τέλος του 2005 είχαν καταγραφεί 7768 επιστημονικές δημοσιεύσεις εφαρμογών του Αυτοοργανωνόμενου Χάρτη.

Η ακόλουθη σύντομη λίστα δίνει τις βασικές περιοχές εφαρμογών:

1. Στατιστικές μέθοδοι

   Διερευνητική ανάλυση δεδομένων [exploratory data analysis]

   Στατιστική ανάλυση και οργάνωση κειμένων

   Στατιστική αναγνώριση προτύπων και κυρίως αναγνώριση ομιλίας

   Συμπίεση δεδομένων

   Υπολογιστική όραση

   Αναγνώριση προτύπων [pattern recognition] και συσταδοποίηση [clustering].

2. Βιομηχανικές αναλύσεις, έλεγχος και επικοινωνίες (Kohonen et al,1996):

   Προβλήματα βελτιστοποίησης

   Έλεγχος ρομποτικών βραχιόνων και άλλες εφαρμογές ρομποτικής

   Έλεγχος βιομηχανικών διαδικασιών, κυρίως διαδικασίες διάχυσης στην παραγωγή υποστρωμάτων ημιαγωγών

   Αυτόματη σύνθεση ψηφιακών συστημάτων

   Προσαρμοστικές συσκευές τηλεπικοινωνιών

3. Βιοϊατρικές αναλύσεις και εφαρμογές

4. Οικονομικές εφαρμογές (Deboeck & Kohonen, 1998)

4.4.4.1. Αρχιτεκτονικές εφαρμογές

Στο πεδίο της Αρχιτεκτονικής, οι αυτοογρανωνόμενοι Χάρτες έχουν εφαρμοστεί τόσο στην περιοχή της χωρικής ανάλυσης όσο και στο σχεδιασμό, σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες. Βασικά χαρακτηριστικά τους, που τους καθιστούν ιδιαίτερα κατάλληλους για χωρικές εφαρμογές, είναι η δυνατότητα εισαγωγής και ισότιμης, μη ιεραρχικής επεξεργασίας μεγάλου πλήθους ετερογενών παραμέτρων εντός του ίδιου συστήματος, καθώς και η συσχετιστική λογική τους, που επιτρέπει την θεώρηση των δεδομένων εντός του πλαισίου αναφοράς τους.

4.4.4.1.1. Ανάλυση

Στη χωρική ανάλυση, η χρήση Αυτοοργανωνόμενων Χαρτών έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη χαρτογράφηση πολυδιάστατων χωρικών δεδομένων σε ένα εύρος εφαρμογών.

Για παράδειγμα, ένας τέτοιος χάρτης χρησιμοποιήθηκε από τους Benoudjit, Derix και Coates (2004) προκειμένου να παραχθεί μια ταξινόμηση χώρων βάσει αντιληπτικών κριτηρίων. Θεωρώντας ότι ο αυτοοργανωνόμενος συσχετιστικός τρόπος αναγνώρισης γεωμετρικών χαρακτηριστικών του χώρου σύμφωνα με τη λογική των δικτύων Kohonen εμφανίζει αναλογίες με την αντιληπτική διαδικασία παραγωγής αφαιρετικών νοητικών εικόνων του αντίστοιχου χώρου, οι Benoudjit, Derix και Coates χρησιμοποιούν τρισδιάστατους αυτοοργανωνόμενους χάρτες που μαθαίνουν να προσεγγίζουν τη γεωμετρία τρισδιάστατων μοντέλων χώρων. Στη συνέχεια χρησιμοποιούν τις συντεταγμένες των κόμβων των χαρτών που προκύπτουν από τη διαδικασία αυτή ως εισερχόμενα σε ένα δισδιάστατο χάρτη, προκειμένου να κατηγοριοποιήσουν τους αντίστοιχους χώρους ως προς τη γεωμετρική τους ομοιότητα. Υποστηρίζουν ότι οι συσχετισμοί που αποτυπώνονται σε αυτή τη χαρτογράφηση αντιστοιχούν στην ανθρώπινη αντίληψη της ομοιότητας μεταξύ των αρχικών χώρων, βάσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους.

Σε μια άλλη αναλυτική εφαρμογή, οι Langley, Derix και Coates (2007) επεκτείνουν τη λειτουργικότητα του μοντέλου του Kohonen και αναπτύσσουν ένα Αυξανόμενο Νευρωνικό Δίκτυο [Growing Neural Network (GNN)] με στόχο να χαρτογραφεί δυναμικά μεταβαλλόμενα εισερχόμενα. Χρησιμοποιούν το νευρωνικό αυτό δίκτυο για να χαρτογραφήσουν τους τοπολογικούς συσχετισμούς των ροών εντός «αστικών επικρατειών» [urban territories] που ορίζονται από τις λειτουργίες και τη χρήση κατά μήκος ενός κεντρικού δρόμου του Λονδίνου, καθώς μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Με τον τρόπο αυτό χαρτογραφείται η μεταβολή των ενεργών χώρων κατά μήκος του δρόμου και εμφανίζονται συσσωματώσεις αλληλοσυσχετιζόμενων δράσεων.

4.4.4.1.2. Σύνθεση

Οι Harding και Derix (2011) εφαρμόζουν Αυτοοργανωνόμενους Χάρτες για την κατηγοριοποίηση χωρικών διατάξεων που παράγονται από έναν αλγόριθμο νευρωνικού αερίου [Neural Gas]. Η εφαρμογή αυτή έχει ως τελικό στόχο την οργάνωση ενός προσαρμοστικού εκθεσιακού χώρου κατά τρόπο ώστε να μπορούν να φιλοξενηθούν διαφορετικές περιοδικές θεματικές εκθέσεις με μικρές μετατροπές της εσωτερικής διαρρύθμισης. Η διαδικασία σχεδιασμού περιλαμβάνει διακριτά στάδια, στα οποία χρησιμοποιούνται κατάλληλα νευρωνικά δίκτυα και άλλες αλγοριθμικές διαδικασίες. Στο

Επιπρόσθετα, μπορεί κανείς να αναφέρει μερικές εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η σκιαγράφηση της παραβατικής συμπεριφοράς, η κατηγοριοποίηση γαλαξιών (Naim, Ratnatunga, & Griffiths, 1997), η κατηγοριοποίηση ιδιοκτησιών γης, η κατηγοριοποίηση θαλάσσιου πάγου με ραντάρ, εφαρμογή εξειδικευμένης γνώσης σε εννοιολογικούς τομείς και άλλες εφαρμογές.

πρώτο στάδιο, ένα δίκτυο Kohonen χρησιμοποιείται για την ομαδοποίηση των εκθεμάτων της κάθε έκθεσης, που είναι προαποφασισμένα, βάσει της ομοιότητάς τους. Ο χάρτης που προκύπτει χρησιμοποιείται για την οργάνωση μιας διαγραμματικής κάτοψης της έκθεσης, σε μορφή γράφου. Στη συνέχεια, ένα δεύτερο νευρωνικό δίκτυο (αλγόριθμος νευρωνικού αερίου) αναζητά παρόμοιες διατάξεις εκθέσεων, που θα μπορούσαν να εξυπηρετηθούν διαδοχικά από την ίδια χωρική διαρρύθμιση. Από αυτές επιλέγεται προς υλοποίηση εκείνη που προσεγγίζει καλύτερα το μέσο όρο όλων των παρόμοιων γράφων. Τέλος, όλοι οι επιλεγμένοι γράφοι, που αντιστοιχούν σε εκθέσεις που συνυπάρχουν ταυτόχρονα, διατάσσονται στον εκθεσιακό χώρο με τη βοήθεια ενός αλγορίθμου προσομοίωσης δυνάμεων άπωσης.

Έτσι οργανώνεται η συνολική κάτοψη του εκθεσιακού χώρου και συστήνεται ένα χρονοδιάγραμμα συνύπαρξης και εναλλαγής εκθέσεων κατά τρόπο ώστε να απατούνται οι ελάχιστες προσαρμογές στη διαρρύθμιση.

Σε άλλες εφαρμογές, οι αυτοοργανωνόμενοι χάρτες έχουν χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια σχεδιαστικών στρατηγικών πολυστοχικής βελτιστοποίησης για την ομαδοποίηση των λύσεων που προκύπτουν από κάποια εξελικτική πολυπαραγοντική διαδικασία. Για παράδειγμα οι Obayashi και Sasaki (2003) χρησιμοποιούν δίκτυα Kohonen για την εξισορρόπηση σχεδιαστικών παραμέτρων στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού φτερών υπερηχητικών αεροπλάνων, ενώ οι Koenig, Standfest και Schmitt (2014) εφαρμόζουν μια αντίστοιχη μέθοδο για την ομαδοποίηση παρόμοιων επιλύσεων διατάξεων σε πολεοδομική κλίμακα. Και στα δύο παραδείγματα, ως εισερχόμενα χρησιμοποιούνται οι αποδόσεις της κάθε λύσης ως προς πολλαπλά κριτήρια αξιολόγησης. Με τον τρόπο αυτό, οι λύσεις ομαδοποιούνται ως προς την ανταπόκρισή τους σε όλα τα κριτήρια ταυτόχρονα και ο χρήστης του συστήματος έχει τη δυνατότητα να καθοδηγήσει την εξελικτική διαδικασία ιεραρχώντας τα κριτήρια. Οι συσσωματώσεις αναφέρονται σε διαφορετικές σχεδιαστικές παραμέτρους, υποδεικνύοντας το ρόλο της κάθε παραμέτρου στη μορφοποίηση των λύσεων.

Σε μια πιο συνθετική κατεύθυνση, οι Derix και Thum (2000) χρησιμοποιούν τον αυτοοργανωνόμενο χάρτη ως αφαιρετικό μοντέλο για την προσομοίωση και κατανόηση της χωρικής οργάνωσης ως δυναμικής διαδικασίας διαρκούς δομικής σύζευξης ομοιοστατικών συστημάτων με το περιβάλλον τους. Εστιάζουν στη δυνατότητα διαρκούς επανανοηματοδότησης του χώρου βάσει των ανθρώπινων δράσεων και αλληλεπιδράσεων, οπότε ως περιβάλλον ή πλαίσιο αναφοράς της χωρικής δομής θεωρείται η ανθρώπινη δραστηριότητα εν γένει. Πρόκειται για μια πρώιμη και μάλλον θεωρητική προσέγγιση που υποδεικνύει τη δυνατότητα χρήσης των Αυτοοργανωνόμενων Χαρτών στη συνθετική διαδικασία, μέσω της κωδικοποίησης και εισαγωγής στη διαδικασία της τοπολογικής χαρτογράφησης στοιχείων του δυναμικά μεταβαλλόμενου πλαισίου, βάσει του οποίου ορίζεται το σχεδιαστικό πρόβλημα.

Η εφαρμογή αυτή στη συνέχεια εξελίχθηκε σε ένα αλγοριθμικό σύστημα, με κεντρικό κορμό τη λειτουργία του αυτοοργανωνόμενου χάρτη, για την παραγωγή νέων μορφών βάσει της τρισδιάστατης χαρτογράφησης τρισδιάστατων μοντέλων αστικών περιοχών (Coates et al, 2001).

Μια σειρά αλγορίθμων ορίζουν δυναμικά μορφές βάσει της εσωτερικής συσχετιστικής αντίληψης του τρισδιάστατου περιβάλλοντος από έναν τρισδιάστατο αυτοοργανωνόμενο χάρτη.

Το περιβάλλον του νευρωνικού δικτύου συνίσταται σε ένα αφαιρετικό τρισδιάστατο μοντέλο μιας αστικής περιοχής. Το νευρωνικό δίκτυο διαβάζει ως εισερχόμενα τις κορυφές των γεωμετρικών στερεών, χωρίς να γνωρίζει τί γεωμετρικά στοιχεία αναπαριστούν και χαρτογραφεί τους συσχετισμούς τους παράγοντας νέους χώρους.

Αυτό που προκύπτει είναι η παραγωγή νέων μορφών, όχι απαραίτητα άμεσα αναγώγιμων σε αρχιτεκτονικές μορφές, βάσει της αντίληψης του υφιστάμενου περιβάλλοντος, και συγκεκριμένα της γεωμετρικής μορφής του δομημένου περιβάλλοντος.

4.4.5. Αρχές λειτουργίας του Αυτοοργανωνόμενου Χάρτη

Η διαδικασία με την οποία ο Αυτοοργανωνόμενος Χάρτης παράγει χωρικά οργανωμένες εσωτερικές αναπαραστάσεις ενός συνόλου πολυδιάστατων δεδομένων συνίσταται στη σταδιακή προσαρμογή των συναπτικών διανυσμάτων (μοντέλων) των νευρώνων στο χώρο των εισερχομένων. Η προσαρμογή αυτή πραγματοποιείται σε κύκλους. Τα εισερχόμενα διανύσματα συνδέονται παράλληλα με όλους τους νευρώνες του δικτύου και σε κάθε κύκλο, βάσει της λογικής της ανταγωνιστικής μάθησης, προκαλείται εντοπισμένη νευρωνική δραστηριότητα στην περιοχή του κανάβου όπου βρίσκεται ο κόμβος που προσεγγίζει περισσότερο το εισερχόμενο που τροφοδοτείται στο δίκτυο και ο οποίος αποκαλείται νικητής (Εικόνα 4 - 19).

4.4.5.1. Κριτήριο επιλογής νικητή

Προκειμένου να εντοπισθεί ο νικητής του κάθε κύκλου, πρέπει να προσδιοριστεί κάποιο πρότυπο μέτρο εγγύτητας μεταξύ του εισερχόμενου διανύσματος και των συναπτικών διανυσμάτων των νευρώνων. Σύμφωνα με τον Kohonen (1990: 1465) το απλούστερο αναλυτικό μέτρο για το την επιλογή του νικητή, δηλαδή για το «ταίριασμα» του εκάστοτε εισερχομένου με τα συναπτικά διανύσματα των νευρώνων «είναι μάλλον το εσωτερικό τους γινόμενο. Αν ωστόσο, ο αυτοοργανωνόμενος αλγόριθμος χρησιμοποιείται για τυπικούς σχηματισμούς σημάτων που σχετίζονται με μετρικούς διανυσματικούς χώρους, ένα καλύτερο και πιο εύχρηστο κριτήριο καταλληλότητας μπορεί να εφαρμοστεί, βάσει των Ευκλείδειων αποστάσεων μεταξύ x (εισερχομένου) και mi (συναπτικού διανύσματος). Η ελάχιστη απόσταση καθορίζει το νικητή».

Παρ' όλα αυτά, «αν οι διαστάσεις είναι πολλές και τα εισερχόμενα διανύσματα έχουν κανονικοποιηθεί σε κοινό μήκος, η διαφορά μεταξύ Αυτοοργανωνόμενων Χαρτών βασιζόμενων σε Ευκλείδειες αποστάσεις και εσωτερικά γινόμενα είναι αμελητέες» (Kohonen, 2013: 54).

Στις περισσότερες εφαρμογές, ως μέτρο απόστασης χρησιμοποιείται η Ευκλείδεια απόσταση.

4.4.5.2. Μάθηση μέσω σταδιακής προσαρμογής

Στόχος της διαδικασίας χαρτογράφησης είναι κάθε μονάδα να μάθει να εξειδικεύεται σε διαφορετικές περιοχές του χώρου εισερχομένων. Όταν ένα εισερχόμενο από μια τέτοια περιοχή τροφοδοτείται στο δίκτυο, η αντίστοιχη μονάδα πρέπει να υπολογίσει τη μέγιστη διέγερση (Rojas, 1996: 395).

Αυτό πραγματοποιείται σταδιακά, μέσω μιας αναδρομικής διαδικασίας όπου «κάθε εισερχόμενο στοιχείο δεδομένων επιλέγει το μοντέλο που του ταιριάζει καλύτερα, και αυτό το μοντέλο, όπως και ένα υποσύνολο των χωρικών του γειτόνων στον κάναβο, τροποποιούνται για να ταιριάξουν καλύτερα. […] «Η τροποποίηση επικεντρώνεται σε έναν επιλεγμένο κόμβο που περιλαμβάνει το μοντέλο που νίκησε. Από την άλλη, εφόσον μια ολόκληρη χωρική γειτονιά του κανάβου γύρω από το νικητή τροποποιείται επίσης, ο βαθμός τοπικής οργάνωσης των μοντέλων αυτής της γειτονιάς αυξάνεται, λόγω μιας δράσης εξομάλυνσης. Τα διαδοχικά, διαφορετικά εισερχόμενα προκαλούν διορθώσεις σε διαφορετικά υποσύνολα μοντέλων. Οι τοπικές δράσεις οργάνωσης [ordering actions] σταδιακά διαδίδονται στον κάναβο» (Kohonen 2013: 53).

Καθώς προχωράει η διαδικασία μάθησης, «τα διαφορετικά διανύσματα αναφοράς (μοντέλα ή συναπτικά διανύσματα) τείνουν να εξειδικευτούν στο «συντονισμό» με διαφορετικές περιοχές του χώρου εισερχομένων» και «τα mi(t) (συναπτικό διανύσμα του κόμβου i τη στιγμή t) στη διαδικασία της ανταγωνιστικής μάθησης, εξελίσσονται σε ένα σύνολο ανιχνευτών χαρακτηριστικών» (Kohonen, 1990: 1465-1466).

Σ' αυτή την ιδιότητα τοπικής εξειδίκευσης των δικτύων Kohonen αποδίδει ο Rojas (1996: 391) το χαρακτηρισμό τους ως χάρτες, λέγοντας ότι μια οργανωτική παράθεση στην οποία ο χώρος των εισερχομένων κατηγοριοποιείται σε υποπεριοχές ονομάζεται διάγραμμα [chart] ή χάρτης [map] του χώρου εισερχομένων.

Με τον τρόπο αυτό, προκύπτει τελικά μια χαρτογράφηση, όπου τα δεδομένα που βρίσκονται πλησιέστερα μεταξύ τους στον πολυδιάστατο χώρο εισερχομένων αντιστοιχούνται σε τοπολογικά γειτονικές μονάδες του δικτύου.

4.4.6. Γενική περιγραφή του αλγορίθμου

Αν και υπάρχει πλήθος παραλλαγών στην εφαρμογή του αλγορίθμου που προτείνει ο Kohonen, οι βασικές αρχές λειτουργίας του και τα βήματα της διαδικασίας δεν διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ παραλλαγών.

Σε κάθε περίπτωση, ο χάρτης αποτελείται από έναν κάναβο τεχνητών νευρώνων. Καταρχήν επιλέγεται η μορφή του κανάβου και οι διαστάσεις, δηλαδή το πλήθος m των νευρώνων που αποτελούν τις υπολογιστικές μονάδες και η διάταξή τους στον κάναβο.

Συνοπτικά, η χαρτογράφηση ακολουθεί μια στοχαστική προσεγγιστική μέθοδο (Kohonen 2013) που πραγματοποιείται σε κύκλους και μπορεί να αναλυθεί σε επιμέρους στάδια.

4.4.6.1. Αρχικοποίηση

Το πρώτο στάδιο είναι η αρχικοποίηση του συστήματος, κατά την οποία κάθε νευρώνας συσχετίζεται με ένα συνήθως αρχικά τυχαίο συναπτικό διάνυσμα ή διάνυσμα βαρών, το οποί έχει το ίδιο μέγεθος, δηλαδή το ίδιου πλήθους διαστάσεων με τα εισερχόμενα n-διάστατα δεδομένα x. Αν m είναι το πλήθος των νευρώνων, έχουμε m n-διάστατα συναπτικά διανύσματα wi, όπου i είναι ο χωρικός δείκτης του κόμβου στον κάναβο με τον οποίο συσχετίζεται το wi και παίρνει τιμές από 1 ως m.

Επίσης κατά την αρχικοποίηση ορίζονται οι αρχικές τιμές και οι συναρτήσεις μεταβολής των παραμέτρων του δικτύου. Επιλέγεται μια αρχική τιμή για την ακτίνα r της γειτονιάς, μια συνάρτηση γειτονιάς h(t) καθώς και μια αρχική τιμή του συντελεστή εκμάθησης a(0) και μια συνάρτηση α(t) που ορίζει τη μεταβολή του. Η συνάρτηση α(t) συνήθως ενσωματώνεται στη συνάρτηση γειτονιάς.

Μετά την αρχικοποίηση του δικτύου ξεκινάει η κυρίως διαδικασία της χαρτογράφησης. Η χαρτογράφηση γίνεται μέσω μιας επαναληπτικής διαδικασίας που πραγματοποιείται σε κύκλους, μέχρι το αποτέλεσμα να σταθεροποιηθεί.

4.4.6.2. Βήματα του αλγορίθμου

- Σε κάθε κύκλο ή χρονική στιγμή t, κάθε ένα από τα εισερχόμενα δεδομένα x συγκρίνεται με όλα τα συναπτικά διανύσματα των νευρώνων. Ο νευρώνας εκείνος του οποίου το συναπτικό διάνυσμα wi(t) είναι το πλησιέστερο στο συγκεκριμένο εισερχόμενο διάνυσμα x θεωρείται ότι εμφανίζει τη μέγιστη διέγερση και αποκαλείται νικητής του κύκλου. Αν c είναι ο δείκτης του νικητή στον κάναβο,

τότε το συναπτικό του διάνυσμα wc(t) είναι εκείνο που έχει την μικρότερη Ευκλείδεια απόσταση από το x, δηλαδή

$$c = \text{argmin}[||x - mi(t)||, i]$$

- Ο νικητής c και οι χωρικοί του γείτονες στον κάναβο, δηλαδή οι κόμβοι που βρίσκονται εντός της γειτονιάς με κέντρο τον κόμβο c και ακτίνα r(t), προσαρμόζουν τα συναπτικά διανύσματά τους, ώστε να προσεγγίσουν περισσότερο το εισερχόμενο διάνυσμα. Τα συναπτικά διανύσματα ανανεώνονται βάσει της συνάρτησης γειτονιάς και του κανόνα ανανέωσης

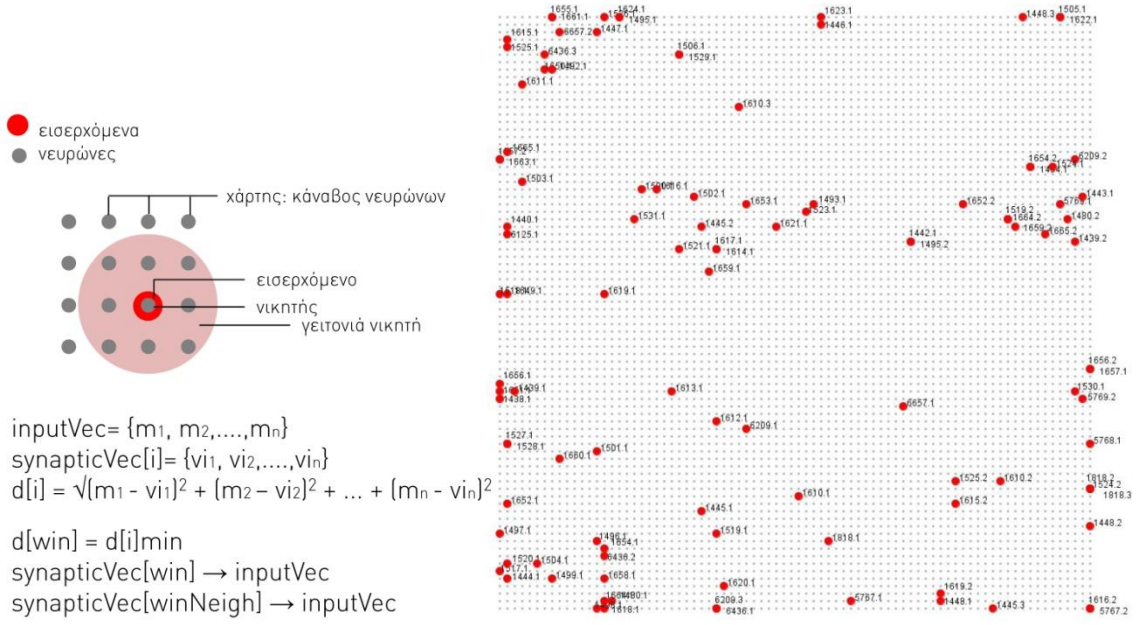
$$wi(t+1) = wi(t) + hci(t)[x - wi(t)] \text{ για } i = 1, \ldots, m$$

Ο ρυθμός τροποποίησης των διανυσμάτων των βαρών σε διαφορετικούς κόμβους εξαρτάται από τη μαθηματική μορφή της συνάρτησης γειτονιάς hci(t).

- Οι παράμετροι του δικτύου (ακτίνα γειτονιάς, συντελεστής προσαρμογής βαρών νικητή και γειτόνων) προσαρμόζονται κατάλληλα, σύμφωνα με τις αντίστοιχες συναρτήσεις και ανάλογα με το πλήθος των κύκλων που έχουν παρέλθει.

  Μετά την ανανέωση των παραμέτρων, ο αλγόριθμος επιστρέφει στο πρώτο βήμα, με επιλογή νέου εισερχόμενου διανύσματος ή, αν έχει επιτευχθεί το μέγιστο πλήθος επαναλήψεων ή αξιολογηθεί ότι το σύστημα έχει σταθεροποιηθεί επαρκώς, η διαδικασία τερματίζεται.

  Έτσι, σε κάθε κύκλο τα συναπτικά διανύσματα προσαρμόζονται σταδιακά στα εισερχόμενα, σύμφωνα με την Ευκλείδεια απόστασή τους από αυτά, και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το αποτέλεσμα να σταθεροποιηθεί και τα εισερχόμενα να χαρτογραφηθούν πάνω στο δισδιάστατο νευρωνικό χάρτη (Εικόνα 4 - 19).



Εικόνα 4 - 19.

Σχηματική λειτουργία του Αυτοοργανωνόμενου Χάρτη

Ο χάρτης αποτελείται από έναν κάναβο νευρώνων (γκρι), σε κάθε έναν από τους οποίους αντιστοιχεί ένα συναπτικό διάνυσμα (synapticVec[i]). Το εκάστοτε εισερχόμενο διάνυσμα (inputVec, κόκκινο) συγκρίνεται με όλα τα συναπτικά διανύσματα και ο νικητής είναι ο νευρώνας του οποίου το συναπτικό διάνυσμα απέχει λιγότερο από το εισερχόμενο (d[win]=d[i]min). Το συνοπτικό διάνυσμα του νικητή (synapticVec[win]) καθώς και εκείνα των νευρώνων που βρίσκονται εντός της γειτονιάς του νικητή (synapticVec[winNeigh]) προσαρμόζονται ώστε να προσεγγίζουν περισσότερο το εισρχόμενο διάνυσμα. Συνολική εικόνα του χάρτη (δεξιά) με τα εισερχόμενα χαρτογραφημένα επί του κανάβου των νευρώνων.

4.4.6.3. Προσαρμογή των παραμέτρων σύμφωνα με το πρόγραμμα δράσης

Σύμφωνα με την τιμή της συνάρτησης γειτονιάς, την ακτίνα γειτονιάς και τον κανόνα ανανέωσης των βαρών, οι μετατροπές των διανυσμάτων βαρών τα έλκουν στην κατεύθυνση του εκάστοτε εισερχόμενου x. Επαναλαμβάνοντας αυτή την απλή διαδικασία, αναμένεται η επίτευξη μιας σχετικά ομοιόμορφης κατανομής διανυσμάτων βαρών στο χώρο των εισερχομένων (δεδομένου ότι και τα εισερχόμενα έχουν επιλεγεί ομοιόμορφα). Η ακτίνα της γειτονιάς μειώνεται σύμφωνα με μια προαποφασισμένη λογική, που αποκαλείται πρόγραμμα δράσης [schedule]. Το αποτέλεσμα είναι ότι κάθε φορά που μια μονάδα ανανεώνεται, γειτονικές μονάδες ανανεώνονται επίσης. Αν το διάνυσμα βαρών μιας μονάδας έλκεται προς μια περιοχή του χώρου εισερχομένων, οι γείτονες έλκονται επίσης, αλλά σε μικρότερο βαθμό. Κατά τη διαδικασία εκμάθησης τόσο το μέγεθος της γειτονιάς όσο και η τιμή της συνάρτησης γειτονιάς φθίνουν σταδιακά, έτσι ώστε η επιρροή κάθε μονάδας στους γείτονές της να μειώνεται. Η σταθερά εκμάθησης ελέγχει το μέγεθος της ανανέωσης των βαρών και επίσης μειώνεται σταδιακά. Στο τέλος, η ακτίνα της γειτονιάς έχει μειωθεί τόσο ώστε να τείνει στο μηδέν και η σταθερά εκμάθησης έχει φτάσει επίσης σε πολύ χαμηλή τιμή. Το αποτέλεσμα του επιλεγμένου προγράμματος δράσης είναι ότι προκαλούνται μεγαλύτερες διορθώσεις στην αρχή της εκπαίδευσης από ότι στο τέλος (Rojas, 1996: 396-397).

4.4.7. Περιορισμοί στην εφαρμογή της μεθόδου και παράγοντες που επηρεάζουν τα αποτελέσματα

Σύμφωνα με την περιγραφή του αλγορίθμου, η διαδικασία σχηματισμού μιας εσωτερικής αναπαράστασης της δομής των δεδομένων από το δίκτυο έγκειται κυρίως στην επιλογή του τρόπου προσαρμογής των τιμών των παραμέτρων του συστήματος. Επομένως, τόσο οι αρχικές τιμές όσο και οι συναρτήσεις που ορίζουν τον τρόπο μεταβολής τους είναι καθοριστικές για την τελική χαρτογράφηση. Σημαντικοί παράγοντες είναι επίσης η μορφή του δικτύου, δηλαδή η διάσταση και η διάταξη του κανάβου, η αρχικοποίηση των συναπτικών διανυσμάτων, η μορφοποίηση των εισερχομένων, καθώς και το πλήθος των βημάτων, μετά το πέρας των οποίων θεωρείται ότι το σύστημα συγκλίνει σε μια σχεδόν σταθερή κατάσταση. Δεδομένου του εύρους των πεδίων εφαρμογής των αυτοοργανωνόμενων χαρτών και της ποικιλίας των τύπων δεδομένων που μπορούν να διαχειριστούν, δεν υπάρχουν ρητοί κανόνες για τον βέλτιστο προσδιορισμό όλων αυτών των παραμέτρων εκ των προτέρων. Η αποτελεσματικότητα της κάθε εφαρμογής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πραγματοποίηση δοκιμών, την εμπειρική παρατήρηση της συμπεριφοράς του δικτύου και την ανάλογη προσαρμογή των παραμέτρων. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιοι εμπειρικοί κανόνες και υποδείξεις, που έχουν προκύψει από το πλήθος των πραγματοποιημένων εφαρμογών και που μπορούν να λειτουργήσουν σαν βασικές κατευθύνσεις, τουλάχιστον στην αρχική φάση του στησίματος του δικτύου, προκειμένου να στηθεί το υπόβαθρο επί του οποίου πραγματοποιούνται οι επιμέρους δοκιμές, ρυθμίσεις και προσαρμογές.

4.4.7.1. Μορφή του αυτοοργανωνόμενου χάρτη

Εξαιτίας του τρόπου λειτουργίας του μοντέλου του Kohonen, σύμφωνα με τον οποίο ουσιαστικά το ίδιο το νευρωνικό δίκτυο ενσωματώνει την αναπαράσταση της διαδικασίας μάθησης και των αποτελεσμάτων, η μορφή της χαρτογράφησης εξαρτάται και από τη μορφή του δικτύου. Οι βασικότερες παράμετροι που καθορίζουν τη μορφή του δικτύου είναι το πλήθος των διαστάσεων στις οποίες αυτό αναπτύσσεται καθώς και η διάταξη των νευρώνων, δηλαδή η μορφή του κανάβου,

που με τη σειρά της καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και την τοπολογία της γειτονιάς, ανεξάρτητα από το γεωμετρικό μέγεθός της[55].

4.4.7.1.1. Διάσταση του δικτύου

Ανεξάρτητα από το πλήθος των διαστάσεων του χώρου των εισερχομένων, τα δίκτυα Kohonen μπορεί να εκτείνονται τα ίδια σε μία, δύο, τρεις ή και περισσότερες διαστάσεις. Η επιλογή του πλήθους των διαστάσεων του δικτύου εξαρτάται για κάθε εφαρμογή τόσο από τις διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά των χαρτογραφούμενων δεδομένων όσο και από το στόχο της χαρτογράφησης.

Είναι αναμενόμενο ότι όσο πλησιέστερο είναι το πλήθος των διαστάσεων του δικτύου σε εκείνο του χώρου εισερχομένων, τόσο αμεσότερη είναι η αντιστοίχηση εισερχομένων σε κόμβους και επομένως τόσο ευκολότερη και αποτελεσματικότερη είναι και η χαρτογράφηση. Έτσι, στην ακραία περίπτωση όπου το πλήθος των διαστάσεων του δικτύου είναι το ίδιο με αυτό του χώρου εισερχομένων, ο Rojas (1996: 398) υποστηρίζει ότι η διαδικασία εκμάθησης κατά κανόνα οδηγεί σε πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Ωστόσο, η πρακτική αυτή εμφανίζει δύο σημαντικά μειονεκτήματα. Από τη μία, δεν είναι πάντα σαφές σε πόσες διαστάσεις αναπτύσσονται τα εισερχόμενα. Από την άλλη, στις περισσότερες εφαρμογές των αυτοοργανωνόμενων χαρτών μία από τις βασικότερες επιδιώξεις είναι η μείωση των διαστάσεων του χώρου των εισερχομένων και η χαρτογράφησή τους σε χώρο τόσων διαστάσεων όσων επιτρέπουν την εποπτική κατανόηση του αποτελέσματος. Έτσι, ο προσδιορισμός του βέλτιστου πλήθους διαστάσεων για το δίκτυο δεν είναι δεδομένος.

Ως προς το ζήτημα των διαστάσεων του χώρου εισερχομένων, ο Rojas (1996: 399) αναφέρει ότι «συνήθως, όταν επιλέγεται ένα εμπειρικό σύνολο δεδομένων, δεν γνωρίζουμε την πραγματική του διάσταση. Ακόμα και αν τα εισερχόμενα διανύσματα είναι n διαστάσεων, είναι πιθανό τα δεδομένα να συγκεντρώνονται σε ένα πολύπτυχο [manifold] λιγότερων διαστάσεων. Γενικά δεν είναι προφανές πόσες διαστάσεις πρέπει να έχει το δίκτυο που θα χρησιμοποιηθεί για ένα σύνολο δεδομένων». Σε κάποιες εφαρμογές συνιστάται ο υπολογισμός της αποτελεσματικής διάστασης [effective dimension] των δεδομένων προκειμένου να προσδιοριστεί η βέλτιστη διάσταση του δικτύου[56].

Ωστόσο, όσο μειώνεται το πλήθος των διαστάσεων του δικτύου, τόσο αξιοποιείται η εγγενής συσχετιστική ικανότητά του αυτοοργάνωσης και παραγωγής εσωτερικών αναπαραστάσεων. Δεδομένου ότι τα δίκτυα Kohonen οργανώνονται σε κάναβο με προκαθορισμένη τοπολογία, «το ζήτημα της μάθησης έγκειται στην εύρεση τρόπου για την κατανομή αυτού του κανάβου στο χώρο των εισερχομένων» (Rojas, 1996: 400-401). Έτσι, όταν χρησιμοποιείται ένα δίκτυο λίγων διαστάσεων για τη χαρτογράφηση ενός χώρου περισσότερων διαστάσεων, «το δίκτυο πρέπει να αναδιπλωθεί προκειμένου να γεμίσει το διαθέσιμο χώρο» (Rojas, 1996: 399).

[55] Η γεωμετρία του κανάβου, προσδιορίζοντας τον τρόπο που διατάσσονται οι νευρώνες στο χώρο, καθορίζει το πλήθος των άμεσων γειτόνων που έχει κάθε νευρώνας. Για παράδειγμα, όπως αναφέρεται και παρακάτω, σε έναν δισδιάστατο ορθογωνικό κάναβο, κάθε κόμβος έχει οκτώ άμεσους γείτονες, ενώ σε έναν δισδιάστατο εξαγωνικό κάναβο κάθε κόμβος έχει έξι άμεσους γείτονες.

[56] «Η διάσταση των δεδομένων μπορεί να υπολογιστεί πειραματικά μετρώντας τη διακύμανση του πλήθους των σημείων του συνόλου δεδομένων που βρίσκονται πλησιέστερα σε κάποιο άλλο σημείο του συνόλου δεδομένων από ότι ένα δεδομένο ε, όταν το ε μειώνεται ή αυξάνεται σταδιακά. […] Συνήθως, ο τρόπος υπολογισμού είναι μέσω της γραφική παράστασης του $\log(N(\varepsilon))$ προς $\log(\varepsilon)$. Η κλίση της καμπύλης παλινδρόμησης καθώς το ε τείνει στο μηδέν είναι η μορφοκλασματική διάσταση του συνόλου δεδομένων. […] Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι αν το δίκτυο Kohonen προσεγγίζει τη μορφοκλασματική διάσταση των δεδομένων, το σφάλμα παρεμβολής είναι μικρότερο από ότι για δίκτυα

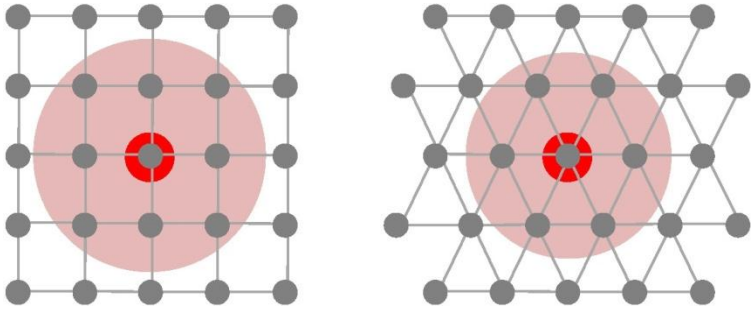
Στην παρούσα εφαρμογή, επειδή εκτός από την προσέγγιση των δεδομένων, το δίκτυο χρησιμοποιείται κυρίως ως μέσο μείωσης διαστάσεων και αναπαράστασης των δεδομένων, δεν αναζητείται η πραγματική διάσταση του χώρου εισερχομένων, αλλά επιλέγεται ένα δίκτυο νευρώνων που εκτείνονται σε δύο διαστάσεις. Εξάλλου, σύμφωνα με τον Kohonen (2013: 55) «η δισδιάστατη οργάνωση των μοντέλων είναι συνήθως αποτελεσματική για την προσέγγιση σχέσεων ομοιότητας πολυδιάστατων στοιχείων δεδομένων».

4.4.7.1.2. Μορφή του κανάβου

Εκτός από το πλήθος των διαστάσεων του δικτύου, η μορφή του εξαρτάται και από τη γεωμετρική διάταξη του κανάβου των νευρώνων η οποία καθορίζει και την τοπολογία των συνδέσεών τους[57].

Κανονικές διατάξεις - συστοιχίες

Οι περισσότερες εφαρμογές αυτοοργανωνόμενων χαρτών βασίζονται σε κανονικές, δισδιάστατες συστοιχίες κόμβων, όπου εφαρμόζονται ορθογωνικές ή εξαγωνικές διατάξεις. Η επιλογή ορθογωνικής ή εξαγωνικής διάταξης επηρεάζει τη μορφή της γειτονιάς, καθώς στην πρώτη περίπτωση κάθε κόμβος έχει οκτώ άμεσους γείτονες, ενώ στη δεύτερη έξι (Εικόνα 4 - 20).



Εικόνα 4 - 20.
Μορφή κανάβου: Ορθογωνική και εξαγωνική διάταξη

Στην ορθογωνική διάταξη (αριστερά) κάθε κόμβος έχει οκτώ άμεσους γείτονες και στην εξαγωνική διάταξη (δεξιά) κάθε κόμβος έχει έξι άμεσους γείτονες

Επίπεδες και Κυκλικές διατάξεις - αναδίπλωση

Η τοπολογία της γειτονιάς επηρεάζεται και από τον προσδιορισμό των συνθηκών στα όρια του κανάβου. Αν τα όρια του κανάβου θεωρηθούν και ως όρια του δικτύου, οι κόμβοι που βρίσκονται σε άμεση επαφή με αυτά έχουν λιγότερους άμεσους γείτονες από εκείνους που βρίσκονται προς το κέντρο του κανάβου, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται ανισοτροπία στη συνδεσιμότητα των νευρώνων (Εικόνα 4 - 21 αριστερά). Η συνθήκη αυτή μπορεί να αναιρεθεί αν θεωρηθεί ότι το δίκτυο αναδιπλώνεται κατά τρόπο ώστε τα όρια του κανάβου να ταυτίζονται ανα δύο[58], οπότε εξασφαλίζεται συνέχεια των συνδέσεων και όλοι οι κόμβοι έχουν το ίδιο πλήθος γειτόνων (Εικόνα 4 -

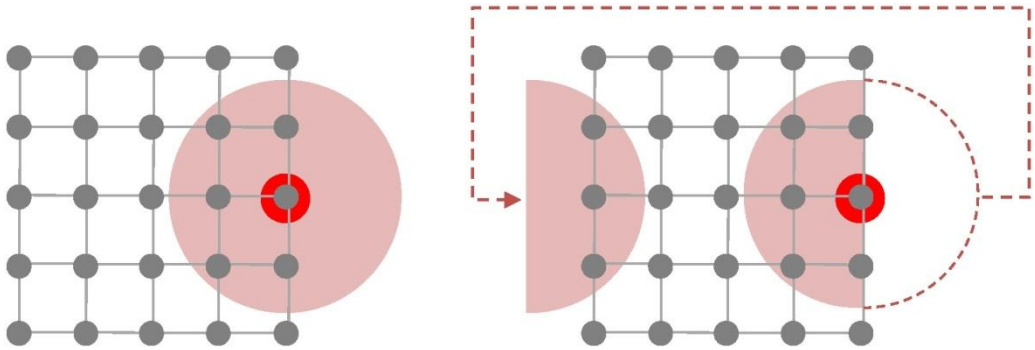
άλλων διαστάσεων. Αυτό μπορεί να ερμηνευθεί ότι οι μονάδες του δικτύου χρησιμοποιούνται βέλτιστα για την προσέγγιση του χώρου εισερχομένων» (Rojas, 1996: 407-408).

[57] «Τα δίκτυα Kohonen είναι διατάξεις υπολογιστικών κόμβων σε μονοδιάστατα, δισδιάστατα ή πολυδιάστατα πλέγματα, όπου οι μονάδες έχουν πλευρικές συνδέσεις με ένα πλήθος γειτόνων, το οποίο εξαρτάται από τη διάταξη του δικτύου» (Rojas, 1996: 394-395).

[58] Στην περίπτωση αναδίπλωσης δισδιάστατου χάρτη, θεωρείται ότι το επάνω όριο ταυτίζεται με το κάτω και το δεξί με το αριστερό. Πρόκειται για μια υπολογιστική και όχι γεωμετρική αναδίπλωση που εφαρμόζεται κατά κόρον σε συστήματα διακριτών μερών που βασίζονται σε κάναβο, όπως για παράδειγμα τα κυτταρικά αυτόματα. Η πρακτική αυτή ονομάζεται wrapping.

21 δεξιά). Στην περίπτωση αυτή αναφερόμαστε σε κυκλικές διατάξεις, που έχουν μορφή τόρου ή σφαίρας.

Σύμφωνα με τον Kohonen (2013) τα κοινά, επίπεδα μοντέλα αυτοοργανωνόμενων χαρτών, λόγω ακριβώς της ανισοτροπίας των συνδέσεων, ενδέχεται να εμφανίζουν το «χαρακτηριστικό φαινόμενο ορίων», εξαιτίας του οποίου οι αποστάσεις των γειτονικών μοντέλων δεν είναι τόσο κανονικές κοντά στα όρια όσο στο κέντρο του χάρτη. Αντίθετα, «στους κυκλικούς χάρτες δεν υπάρχουν ασυνέχειες εξαιτίας των ορίων του δικτύου. Ωστόσο, ακόμα και σε κυκλικά δίκτυα μπορεί κανείς να παρατηρήσει ακανονιστίες στις αποστάσεις των μοντέλων, αν κάποια μοντέλα βρίσκονται κοντά σε ακραία σημεία της κατανομής των εισερχομένων. Σε αυτή την περίπτωση, οι ακανονιστίες οφείλονται στα άκρα της κατανομής των δεδομένων και όχι τόσο στα όρια του δικτύου» (Kohonen, 2013: 55-56).



Εικόνα 4 - 21.
Μορφή κανάβου: Επίπεδη και κυκλική διάταξη

Στην επίπεδη διάταξη (αριστερά) οι ακραίοι κόμβοι έχουν λιγότερους γείτονες ενώ στην κυκλική διάταξη (δεξιά) όλοι οι κόμβοι έχουν το ίδιο πλήθος γειτόνων

4.4.7.1.3. Μέγεθος του κανάβου: Πλήθος κόμβων και έκταση του κανάβου

Το μέγεθος του χάρτη εξαρτάται από το πλήθος των νευρώνων και από την κατανομή τους κατά τους άξονες του χώρου που καταλαμβάνει ο κάναβος.

Πλήθος κόμβων

Δεδομένου ότι οι κόμβοι αποτελούν τις υπολογιστικές μονάδες του συστήματος, ο προσδιορισμός του πλήθους τους είναι πρωταρχικής σημασίας. Επίσης, εφόσον ο τελικός χάρτης ταυτίζεται με το δίκτυο, το πλήθος των κόμβων καθορίζει και την ανάλυση του χάρτη, δηλαδή το βαθμό λεπτομέρειας που μπορεί να αποδώσει. Σε πολλές εφαρμογές όπου επιδιώκεται μια γενική ομαδοποίηση μεγάλου όγκου δεδομένων μπορεί να μην απαιτείται υψηλή ανάλυση και να είναι αποδεκτό ένας κόμβος να αντιπροσωπεύει πολλά εισερχόμενα, ακόμα και μια ολόκληρη ομάδα ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενων εισερχομένων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο αυτοοργανωνόμενος χάρτης χρησιμοποιείται ως «μέθοδος κβαντισμού [quantizing method] και έχει μειωμένη ανάλυση για την ανάδειξη της δομής των ομάδων που εντοπίζονται στα δεδομένα. Μερικές φορές τα δεδομένα μπορεί να περιλαμβάνουν λίγες μόνο ομάδες, οπότε μια χαμηλή ανάλυση είναι αρκετή. Ωστόσο, αν υπάρχουν ενδείξεις ότι μπορεί να υπάρχουν ενδιαφέρουσες μικροδομές στα δεδομένα, τότε απαιτείται μεγαλύτερη συστοιχία για να επιτευχθεί η απαραίτητη ανάλυση» (Kohonen, 2013: 56).

Αν είναι ζητούμενο να μπορούν να αντιστοιχηθούν και να εντοπιστούν στον τελικό χάρτη όλα τα εισερχόμενα δεδομένα ένα προς ένα, χωρίς να αλληλεπικαλύπτονται, είναι σαφές ότι το πλήθος των νευρώνων πρέπει να είναι τουλάχιστον όσο το πλήθος των εισερχομένων ώστε να υπάρχει δυνατότητα κάθε κόμβος να αντιπροσωπεύει κατά το μέγιστο ένα δείγμα.

Επομένως ο προσδιορισμός του πλήθους των κόμβων εξαρτάται από το είδος και τον όγκο των δεδομένων, από το στόχο της χαρτογράφησης αλλά και από την υπολογιστική ισχύ που παρέχεται.

Σύμφωνα με τον Kohonen (2013: 56) «τυπικές συστοιχίες Αυτοοργανωνόμενων Χαρτών κυμαίνονται από μερικές δεκάδες σε μερικές εκατοντάδες κόμβους και η αναλογία της οριζόντιας και κατακόρυφης διάστασης της συστοιχίας ακολουθεί χοντρικά την αναλογία μεταξύ των δύο πρώτων Κυρίων Συνιστωσών των δεδομένων αντίστοιχα. Δεν είναι δυνατό να εκτιμηθούν οι ακριβείς διαστάσεις της συστοιχίας εκ των προτέρων. Καθορίζεται μέσω δοκιμών αφού αξιολογηθεί η ποιότητα της πρώτης εκτίμησης».

Πρακτικά, ο Kohonen (2013: 56) συστήνει να εφαρμόζεται «η μέγιστη συστοιχία που μπορεί κανείς να υπολογίσει», δεδομένου ότι τόσο η ανάλυση της τελικής οπτικοποίησης όσο και η απαιτούμενη υπολογιστική ισχύς καθώς και ο χρόνος εκμάθησης είναι μεγέθη ανάλογα του πλήθους των κόμβων του δικτύου.

4.4.7.1.4. Προσανατολισμός και συμμετρία

Ο αυτοοργανωνόμενος χάρτης είναι ένα μοντέλο τοπολογικής οργάνωσης. Αποδίδει την τοπολογική δομή των συσχετισμών μεταξύ των πολυδιάστατων δεδομένων ανεξάρτητα από γεωμετρικούς κανόνες. Ως αποτέλεσμα, ο παραγόμενος χάρτης δεν έχει προκαθορισμένο προσανατολισμό και μπορεί να εμφανίζει ελευθέρους μετασχηματισμούς ως προς τους κανόνες συμμετρίας χωρίς να μεταβάλλεται η ίδια η τοπολογική δομή του[59].

Έτσι, διαφορετικές χαρτογραφήσεις του ίδιου χώρου δεδομένων από το ίδιο δίκτυο ενδέχεται να διαφέρουν ως προς την τελική διάταξη των εισερχομένων στον κάναβο και να εμφανίζουν μεταξύ τους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς, όπως μετατοπίσεις και στροφές ή αναδιατάξεις ως προς σημεία ή άξονες συμμετρίας, αλλά οι τοπολογικοί συσχετισμοί παραμένουν ίδιοι, αποκαλύπτοντας τυπικές δομές εντός των δεδομένων.

4.4.7.2. Αρχικά δεδομένα

4.4.7.2.1. Δομή των αρχικών δεδομένων

Εκτός από τις αρχικές παραμέτρους και τις ρυθμίσεις του δικτύου, καθοριστικό ρόλο στην επιτυχή χαρτογράφηση παίζει και η ίδια η φύση και η δομή των εισερχόμενων δεδομένων.

Η τοπολογική οργάνωση του χάρτη αποδίδει τη δομή του πολυδιάστατου χώρου δεδομένων, με όρους αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς. Αν και η αντιληπτική σημασία της ομοιότητας είναι πολύ ασαφής[60], σύμφωνα με τον Kohonen (2013: 54) «η κατάσταση είναι πολύ σαφέστερη αν έχουμε να κάνουμε με συγκεκριμένα αντικείμενα στην επιστήμη ή την τεχνολογία, αφού μπορούμε τότε να βασίσουμε τον ορισμό της διαφοράς στη βάση μαθηματικών εννοιών, όπως το μέτρο της απόστασης μεταξύ διανυσμάτων ιδιοτήτων. Τα στατιστικά μεγέθη συνήθως εκφράζονται και ως πραγματικά διανύσματα, αποτελούμενα από αριθμητικά αποτελέσματα ή άλλους στατιστικούς δείκτες».

[59] Ο χάρτης «μπορεί να υλοποιείται κατά τη διαδικασία με οποιαδήποτε κατοπτρική ή συμμετρική αναστροφή, που εξαρτάται κυρίως από τις αρχικές τιμές των mi(0)» (Kohonen 1990: 1468).

[60] Βλ. και κεφ. 4.4.3.2.

Όταν όμως αναφερόμαστε σε φυσικά αντικείμενα, η αναγωγή τους σε διανύσματα χαρακτηριστικών, εκφρασμένων ποσοτικά, δεν είναι δεδομένη. Τόσο η επιλογή των χαρακτηριστικών όσο και η ποσοτικοποίησή τους είναι καθοριστικές για την περαιτέρω ανάλυση. Σύμφωνα με τον Kohonen (2013: 55) «η επιλογή ενός χαρακτηριστικού συνόλου ιδιοτήτων και η αυτόματη εξαγωγή τους από τις πρωταρχικές παρατηρήσεις –αντικείμενα συχνά πρέπει να βασίζεται σε ευρετικούς κανόνες» και η κατηγοριοποίησή τους «πρέπει να βασίζεται στην εξαγωγή και κατηγοριοποίηση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων τους που πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο αμετάβλητες.»

Με τον όρο αμετάβλητες ιδιότητες, ο Kohonen δεν εννοεί μόνο ότι το αντικείμενο πρέπει να θεωρηθεί στιγμιαία ως σταθερό και περιγράψιμο, αλλά και οτι οι ιδιότητες αυτές πρέπει να είναι κατά το δυνατό κοινά εμφανιζόμενες στο σύνολο των αντικειμένων που μελετώνται και να μην εμφανίζουν τυχαίους μετασχηματισμούς από το ένα αντικείμενο στο άλλο[61].

Επίσης, όσο καλύτερη κατανομή παρουσιάζουν τα εισερχόμενα στον πολυδιάστατο χώρο δεδομένων, τόσο πιθανότερο είναι να επιτευχθεί μια ικανοποιητική χαρτογράφηση[62].

4.4.7.2.2. Κανονικοποίηση εισερχομένων

Ακόμα και στην περίπτωση απόδοσης αμετάβλητων ιδιοτήτων, η απευθείας σύγκριση φυσικών αντικειμένων ως πολυδιάστατων διανυσμάτων μπορεί να μην είναι άμεσα εφαρμόσιμη, τόσο λόγω της φυσικής διακύμανσης και ασυμβατότητας των δομικών στοιχείων τους, όσο και επειδή η κατανομή των εισερχομένων δεν είναι πάντα βέλτιστη. Έτσι, «το πρώτο πρόβλημα στην απόπειρα σύγκρισης τέτοιων διανυσμάτων είναι συνήθως η διαφορετική διαβάθμιση των στοιχείων τους. Για μετρική σύγκριση, μια απλή λύση είναι η κανονικοποίηση των κλιμάκων ώστε είτε η διακύμανση των μεταβλητών στις διάφορες διαστάσεις είτε τα ελάχιστα και τα μέγιστα, αντίστοιχα, να εξισώνονται» (Kohonen, 2013: 54).

Η κανονικοποίηση των δεδομένων είναι μια αρκετά κοινή πρακτική σε πολλές μεθόδους συγκριτικής ανάλυσης και στοχεύει στην αναγωγή τους σε συγκρίσιμες ποσότητες, χωρίς να επηρεάζονται οι σχέσεις μεταξύ των τιμών της ίδιας ιδιότητας στα διαφορετικά δείγματα του συνόλου δεδομένων[63].

4.4.7.3. Αρχικοποίηση συναπτικών διανυσμάτων

Δεδομένου ότι η λειτουργία του αυτοοργανωνόμενου χάρτη βασίζεται στη σταδιακή προσαρμογή των συναπτικών διανυσμάτων των νευρώνων στο χώρο των εισερχομένων, προκύπτει το ζήτημα του προσδιορισμού των αρχικών συναπτικών διανυσμάτων του δικτύου. Λόγω της σταδιακής

[61] Για παράδειγμα, «μια εικόνα, συχνά δοσμένη ως σύνολο pixels ή άλλων δομικών στοιχείων, συνήθως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως έχει σαν εισερχόμενο διάνυσμα. Η φυσική διακύμανση των εικόνων, όπως μετατοπίσεις, περιστροφές, διαφορές μεγεθών κλπ όπως και διαφοροποιήσεις λόγω διαφορετικών συνθηκών φωτισμού είναι συνήθως τόσο ευρεία που μια άμεση σύγκριση των αντικειμένων βάσει της εμφάνισής τους δεν έχει νόημα.»[…] «αν μπορεί κανείς να περιγράψει τα εισερχόμενα αντικείμενα μέσω ενός περιορισμένου συνόλου αμετάβλητων χαρακτηριστικών, το πλήθος των διαστάσεων των εισερχόμενων αναπαραστάσεων και ο υπολογιστικός φόρτος περιορίζονται δραστικά» (Kohonen, 2013: 55).

[62] «Το κεντρικό αποτέλεσμα στην αυτοοργάνωση είναι ότι αν τα εισερχόμενα σήματα έχουν μια καλά ορισμένη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας [probability density function], τότε τα διανύσματα βαρών των κυττάρων προσπαθούν να την μιμηθούν, όσο πολύπλοκη και αν είναι η μορφή της. Είναι πιθανό να εκτελεσθεί ένα είδος αριθμητικής ταξονομίας επί αυτού του μοντέλου. Επειδή δεν υπάρχουν περιορισμοί στο σημασιολογικό περιεχόμενο των εισερχόμενων σημάτων, μπορούν να θεωρηθούν ως αυθαίρετες ιδιότητες, με διακριτές ή συνεχείς τιμές» Kohonen (1990: 1469).

[63] «Η κανονικοποίηση δεν είναι απαραίτητη κατ' αρχήν, αλλά ενδέχεται να βελτιώσει την αριθμητική ακρίβεια επειδή τα προκύπτοντα διανύσματα αναφοράς τείνουν τότε να έχουν το ίδιο δυναμικό εύρος» (Kohonen, 1990 1470).

προσαρμογής τους, που πραγματοποιείται σε μεγάλο πλήθος κύκλων, έχει αποδειχθεί ότι η αρχικές τιμές και η κατανομή των συναπτικών διανυσμάτων δεν επηρεάζει ουσιαστικά την απόδοση του συστήματος. Διαφορετικές αρχικές τιμές και κατανομές ενδέχεται να οδηγήσουν σε οπτικά διαφορετικά αποτελέσματα, αλλά οι διαφορές τους σχετίζονται με γεωμετρικούς μετασχηματισμούς και όχι με τοπολογικούς συσχετισμούς[64]. Επομένως, ανεξάρτητα από τα αρχικά συναπτικά διανύσματα, οι χάρτες που προκύπτουν είναι ισότιμοι και τοπολογικά όμοιοι.

Αυτό που μπορεί να επηρεάσει όμως την απόδοση του δικτύου είναι ο βαθμός ομοιογένειας των αρχικών συναπτικών διανυσμάτων. Αν δηλαδή όλα τα συναπτικά διανύσματα είναι αρχικά ίδια, η σύγκριση καθενός από αυτά με τα εισερχόμενα θα έχει το ίδιο αποτέλεσμα και έτσι δεν θα μπορέσει να επιτευχθεί η εξειδίκευση των νευρώνων σε συγκεκριμένα εισερχόμενα. Επομένως, η διαδικασία μπορεί να ξεκινήσει με την επιλογή αυθαίρετων, ακόμα και τυχαίων αρχικών τιμών για τη σύσταση των συναπτικών διανυσμάτων, με μόνο περιορισμό να είναι διαφορετικές μεταξύ τους (Kohonen**,** 1990: 1468).

Πιο συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί από τον Kohonen (2001) ότι οι αρχικές τιμές μπορούν να επιλεγούν ως τυχαία διανύσματα, αλλά ταχύτερη οργάνωση και σύγκλιση επιτυγχάνεται αν οι αρχικές τιμές επιλεγούν ως μια κανονική, δισδιάστατη ακολουθία διανυσμάτων που λαμβάνονται κατά μήκος ενός υπερ-επιπέδου εκτεινόμενου ανάμεσα στις δύο μεγαλύτερες Κύριες Συνιστώσες του x. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται γραμμική αρχικοποίηση (Kohonen, 2013: 57) και συνιστάται κυρίως αν τα εισερχόμενα διανύσματα είναι Ευκλείδεια. Αντίθετα, για γενικές μετρήσεις απόστασης [general distance measures], όπως είναι αυτές των ιδιοτήτων των αδόμητων χώρων, ο Kohonen συνιστά τυχαία αρχικοποίηση[65], καθώς η βελτιστοποίηση της αρχικοποίησης για γενικές μετρήσεις είναι εξαιρετικά δυσχερής (Kohonen, 2013: 57).

4.4.7.4. Προσαρμογή βασικών παραμέτρων

4.4.7.4.1. Γειτονιά

Μετά την αρχικοποίηση των συναπτικών διανυσμάτων όλων των κόμβων του δικτύου ξεκινάει η διαδικασία σταδιακής προσαρμογής τους στο χώρο των εισερχομένων.

Από πλήθος πειραματικών προσομοιώσεων έχει επαληθευτεί ότι τα δύο βασικότερα στοιχεία που συμβάλλουν στην επιθυμητή αυτοοργάνωση των χαρτών είναι πρώτον η χωρική συγκέντρωση της δραστηριότητας του δικτύου στο κύτταρο (ή τη γειτονιά του) που εμφανίζει το βέλτιστο συντονισμό με το εκάστοτε εισερχόμενο και δεύτερον η περαιτέρω ευαισθητοποίηση ή συντονισμός του βέλτιστα συνταιριαζόμενου κυττάρου και των τοπολογικών του γειτόνων στο παρουσιαζόμενο εισερχόμενο (Kohonen, 1990: 1466).

«Στο σχηματισμό οργανωμένα διατεταγμένων χαρτών είναι κρίσιμο τα κύτταρα που εκτελούν τη μάθηση να μην επηρεάζονται μεμονωμένα, αλλά ως τοπολογικά συσχετιζόμενα υποσύνολα, σε κάθε ένα από τα οποία εφαρμόζεται μια παρόμοια διόρθωση. Κατά τη διαδικασία, τέτοια επιλεγμένα υποσύνολα θα περιλαμβάνουν διαφορετικά κύτταρα. Έτσι οι διορθώσεις σε κάθε κύτταρο θα τείνουν

[64] Βλ. παραπάνω κεφ. 4.4.7.1.4. Προσανατολισμός και συμμετρία.

[65] Η αρχικοποίηση των μοντέλων ως τυχαίων διανυσμάτων χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την επίδειξη της ικανότητας των SOM να οργανώνονται διατεταγμένα, ξεκινώντας από μια τυχαία αρχική κατάσταση, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις εισερχομένων, αφού η βελτιστοποίηση της αρχικοποίησης βελτιώνει μόνο την ταχύτητα της διαδικασίας σύγκλισης του δικτύου, χωρίς να επηρεάζει ποιοτικά τα αποτελέσματα.

να εξομαλύνονται σε βάθος χρόνου. Ένα ακόμα πιο ενδιαφέρον αποτέλεσμα αυτού του τύπου χωρικά συσχετιστικής μάθησης είναι ότι τα διανύσματα βαρών τείνουν να λαμβάνουν τιμές που είναι διατεταγμένες κατά μήκος των αξόνων του δικτύου» (Kohonen, 1990: 1465).

Τα τοπολογικά συσχετιζόμενα υποσύνολα ορίζονται μέσω της ενίσχυσης των πλευρικών διαδράσεων, ορίζοντας «ένα σύνολο γειτονιάς Nc γύρω από ένα κύτταρο c. Σε κάθε βήμα της διαδικασίας μάθησης, όλα τα κύτταρα εντός της Nc ανανεώνονται, ενώ τα κύτταρα εκτός Nc μένουν ανέπαφα. Αυτή η γειτονιά επικεντρώνεται γύρω από το κύτταρο που ταιριάζει καλύτερα με το εισερχόμενο x:

||x-wc|| = min{||x-wi||} (Kohonen, 1990: 1465)

Η διάταξη των υπολογιστικών μονάδων σε κάναβο επιτρέπει τον εύκολο εντοπισμό των άμεσων γειτόνων μιας μονάδας. Έτσι, σε κάθε κύκλο μένει να προσδιοριστεί το μέγεθος, δηλαδή η ακτίνα της γειτονιάς εντός της οποίας εντοπίζεται η νευρωνική δραστηριότητα, καθώς και ο κανόνας σύμφωνα με τον οποίο πραγματοποιείται η ανανέωση των συναπτικών διανυσμάτων ανάλογα με τη θέση του κάθε κόμβου στη γειτονιά.

Ακτίνα γειτονιάς

ο προσδιορισμός του μεγέθους της γειτονιάς σε κάθε βήμα του αλγορίθμου παίζει σημαντικό ρόλο στη σταδιακή σύγκλιση του συστήματος. Για το λόγο αυτό, «απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή της Nc = Nc(t)» (Kohonen, 1990: 1469). Το εύρος ή η ακτίνα της γειτονιάς Nc συνήθως εξαρτάται από το χρόνο, ο οποίος εκφράζεται μέσω των κύκλων της διαδικασίας. Προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητική συνολική οργάνωση, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι πλεονεκτεί η επιλογή μιας πολύ ευρείας ακτίνας γειτονιάς Nc στην αρχή και η μονοτονική μείωσή της συναρτήσει του χρόνου.

Αν η γειτονιά είναι πολύ μικρή από την αρχή, ο χάρτης κινδυνεύει να μην οργανωθεί καθολικά. Αντίθετα, ενδέχεται να εμφανιστούν διαφόρων ειδών τμηματοποιήσεις του χάρτη, μορφής μωσαϊκού, μεταξύ των οποίων η κατεύθυνση της οργάνωσης μεταβάλλεται ασυνεχώς. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να αποφευχθεί με την έναρξη με σχετικά μεγάλη ακτίνα γειτονιάς και τη μείωσή της με την πάροδο του χρόνου. Η αρχική ακτίνα μπορεί να είναι ακόμα και μεγαλύτερη από τη μισή διάμετρο του δικτύου, ενώ στο τέλος της διαδικασίας μπορεί να έχει μειωθεί μέχρι τη μονάδα, περιλαμβάνοντας μόνο τους άμεσους γείτονες του νικητή[66].

Σύμφωνα με τη στρατηγική αυτή, μια ευρεία αρχική ακτίνα γειτονιάς Nc, αντιστοιχώντας σε μια αδρή χωρική ανάλυση κατά τη διαδικασία μάθησης, πρώτα εισάγει μια αδρή συνολική οργάνωση στις τιμές των συναπτικών διανυσμάτων wi, μετά την οποία η μείωση της ακτίνας Nc βελτιώνει τη χωρική ανάλυση του χάρτη. Η κεκτημένη συνολική οργάνωση όμως δεν καταστρέφεται στη συνέχεια. Είναι δυνατό να τερματιστεί η διαδικασία με Nc={c}, που σημαίνει ότι τελικά ανανεώνεται μόνο η καταλληλότερη μονάδα (ο νικητής), οπότε η διαδικασία έχει αναχθεί σε απλή ανταγωνιστική μάθηση. Προηγουμένως όμως η «τοπολογική οργάνωση» του χάρτη έχει ήδη σχηματιστεί.

Συνάρτηση γειτονιάς

Ο βαθμός διέγερσης και προσαρμογής των διανυσμάτων συνήθως δεν είναι ομοιογενής σε όλη την έκταση της γειτονιάς. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο νικητής, ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο της

[66] «Κατά τα πρώτα περίπου 1000 βήματα, όταν εκτελείται η ουσιαστική οργάνωση, και το α= α(t) είναι αρκετά μεγάλο, η ακτίνα μπορεί να μειωθεί γραμμικά μέχρι, για παράδειγμα, μια μονάδα. Κατά τη φάση της μικρο-προσαρμογής, η ακτίνα μπορεί να περιλαμβάνει ακόμα τους πλησιέστερους γείτονες του κυττάρου c» (Kohonen, 1990: 1469).

γειτονιάς, εμφανίζει τη μεγαλύτερη διέγερση και η δραστηριότητα φθίνει προς την περίμετρο της γειτονιάς, όπου και μηδενίζεται. Εκτός της γειτονιάς συνήθως δεν εμφανίζεται νευρωνική δραστηριότητα, αν και σε κάποιες περιπτώσεις εφαρμόζεται αρνητική προσαρμογή [inhibition] λίγο έξω από την περίμετρο της γειτονιάς, ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία εξειδίκευσης των κόμβων.

Ο τρόπος ανανέωσης των συναπτικών διανυσμάτων των κόμβων ανάλογα με τη θέση τους στη γειτονιά καθορίζεται από μια συνάρτηση, η οποία ονομάζεται «συνάρτηση γειτονιάς» hci(t).

Για παράδειγμα, μια απλή συνάρτηση γειτονιάς στη μάθηση Kohonen είναι αυτή στην οποία ισχύει hci(t) = 1 για το νικητή, hci(t) = α εντός της ακτίνας γειτονιάς Nc(t) γύρω από το νικητή και hci(t) = 0 σε κάθε άλλη περίπτωση. Δηλαδή

hci(t)=
{
1 αν i = c
α αν i ≦ c ± Nc(t)
0 αν i > c ± Nc(t)
}
Όπου 0 < α <1

Ο στόχος μιας τέτοιας προσέγγισης μάθησης είναι ότι οι γειτονικές μονάδες μαθαίνουν να αντιδρούν σε ισχυρά συσχετιζόμενα σήματα. Σύμφωνα με τον Kohonen (2013: 56), η συνάρτηση γειτονιάς παίζει τον πιο καθοριστικό ρόλο στην αυτοοργάνωση.

4.4.7.4.2. Κέρδος προσαρμογής

Στη διαδικασία της μάθησης δεν μεταβάλλεται μόνο το πλήθος των κόμβων που επηρεάζονται, το οποίο καθορίζεται από την ακτίνα της γειτονιάς, αλλά και ο βαθμός προσαρμογής των γειτόνων του νικητή στα εισερχόμενα, σύμφωνα με τη συνάρτηση γειτονιάς.

Το κέρδος προσαρμογής είναι το μέγεθος εκείνο που καθορίζει το βαθμό προσαρμογής των συναπτικών διανυσμάτων στα εισερχόμενα διανύσματα. Το κέρδος προσαρμογής μεταβάλλεται και αυτό συναρτήσει του χρόνου, αλλά σε κάθε δεδομένο βήμα εκτέλεσης του αλγορίθμου μπορεί να έχει διαφορετική αριθμητική τιμή για τους κόμβους που βρίσκονται εντός της γειτονιάς του νικητή. Συνήθως η τιμή αυτή εκφράζεται ως συνάρτηση της απόστασης του κάθε κόμβου από το νικητή. Έτσι, οι κόμβοι που βρίσκονται πλησιέστερα στο νικητή έχουν μεγαλύτερο συντελεστή προσαρμογής, με αποτέλεσμα να συσχετίζονται σταδιακά ισχυρότερα με το νικητή και με την περιοχή των εισερχομένων που αυτός αντιπροσωπεύει. Όσο απομακρυνόμαστε από το νικητή, ο συντελεστής μειώνεται, ενώ για τους κόμβους που βρίσκονται εκτός της γειτονιάς, τα βάρη δεν ανανεώνονται.

Πέρα από τη διακύμανση της τιμής του συντελεστή αυτού ανάλογα με τη θέση κάθε κόμβου, το κέρδος προσαρμογής φθίνει με την πάροδο του χρόνου. Η μεταβολή αυτή εξασφαλίζει την πραγματοποίηση μεγάλων διορθωτικών βημάτων κατά τα αρχικά στάδια της μάθησης και την επίτευξη μιας γενικής οργάνωσης του δικτύου, ενώ όσο προχωράει η διαδικασία απαιτούνται μικρότερες προσαρμογές για την επίτευξη μιας σχετικά σταθερής κατάστασης.

Συχνά η συνάρτηση μεταβολής του συντελεστή προσαρμογής των βαρών ενσωματώνεται στη συνάρτηση γειτονιάς. Σύμφωνα με τον Kohonen (2013: 56), μια κοινά εφαρμοζόμενη επιλογή για τη συνάρτηση γειτονιάς hci(t), που ενσωματώνει και το κέρδος προσαρμογής, είναι:

$hci(t) = \alpha(t) \exp[-sqdist(c, i)/2\sigma^2(t)]$,
όπου

α(t) είναι μια μονότονη (για παράδειγμα υπερβολοειδής, εκθετική ή γραμμική) φθίνουσα βαθμωτή συνάρτηση του t, και 0 < α(t) < 1

sqdist(c, i) είναι το τετράγωνο της γεωμετρικής απόστασης μεταξύ των κόμβων c και i στον κάναβο και

σ(t) είναι μια άλλη μονότονη φθίνουσα συνάρτηση του t, αντίστοιχα.

Ο Rojas (1996: 404-405) αναφέρει οτι «η συνάρτηση γειτονιάς παράγει συγκέντρωση μονάδων γύρω από το κέντρο της κατανομής. Ο ακριβής σχηματισμός εξαρτάται από τη συνάρτηση και την ακτίνα της γειτονιάς. Ισχυρή ζεύξη [coupling] των μονάδων του κανάβου τις έλκει προς το κέντρο. Επομένως η σωστή στρατηγική μάθησης είναι η έναρξη της εκπαίδευσης με ισχυρή ζεύξη, η οποία μειώνεται σταδιακά κατά την εξέλιξη της μάθησης. Στην περίπτωση δισδιάστατων δικτύων, αυτή η στρατηγική συγκεντρώνει το δίκτυο προς το κέντρο. Ωστόσο, η περιφέρεια της κατανομής έλκει το δίκτυο, το ξεδιπλώνει και συνεισφέρει στη επίτευξη σύγκλισης. Ένας τρόπος ενίσχυσης αυτής της διαδικασίας είναι η έναρξη του δικτύου με μικρά βάρη».

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι, σύμφωνα με τον Kohonen, για τουλάχιστον τις πρώτες 1000 επαναλήψεις, το α(t) θα έπρεπε να αρχίζει με μια τιμή κοντά στη μονάδα και μετά να μειώνεται μονοτονικά. Ένας ακριβής κανόνας δεν είναι σημαντικός: η συνάρτηση μεταβολής του α(t) μπορεί να είναι γραμμική, εκθετική, ή αντιστρόφως ανάλογη του t. Για παράδειγμα α(t) = 0.9 (1 - t/1000) μπορεί να είναι μια καλή επιλογή. Η διάταξη των wi λαμβάνει χώρα κατά την αρχική αυτή περίοδο, ενώ τα επόμενα βήματα χρειάζονται μόνο για τη μικροπροσαρμογή του χάρτη. Μετά τη διατακτική φάση το α πρέπει να πάρει μικρές τιμές, (για παράδειγμα της τάξης του 0.1 και λιγότερο) για αρκετά βήματα. Δεν έχει μεγάλη σημασία αν το α μειώνεται γραμμικά ή εκθετικά ούτε κατά την τελική φάση (Kohonen, 1990: 1469).

Επίσης, η πραγματική μαθηματική μορφή της μονότονης φθίνουσας συνάρτησης σ(t) δεν είναι κρίσιμη, εφόσον η τιμή της είναι αρκετά υψηλή στην αρχή της διαδικασίας, για παράδειγμα της τάξης της μισής διαμέτρου του κανάβου, ενώ στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά σε ένα κλάσμα της διαμέτρου σε περίπου 1000 βήματα. Η τελική τιμή του σ δεν πρέπει να φτάσει το μηδέν, γιατί τότε η διαδικασία θα έχανε την διατακτική ισχύ της. Θα πρέπει να παραμείνει, χοντρικά, πάνω από το ήμισυ του βήματος του κανάβου. Σε πολύ εκτεταμένους κανάβους, η τελική τιμή του σ μπορεί να είναι της τάξης του πέντε τοις εκατό της μικρότερης πλευράς του κανάβου.

4.4.7.4.3. Κανόνας ανανέωσης

Έχοντας ορίσει τον τρόπο μείωσης της ακτίνας γειτονιάς Nc(t), καθώς και τη μαθηματική έκφραση της συνάρτησης κέρδους προσαρμογής α(t) και της συνάρτησης γειτονιάς hci(t) που την περιλαμβάνει, η διαδικασία ανανέωσης των συναπτικών βαρών των νευρώνων σε διακριτά χρονικά βήματα, μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

wi(t +1) = wi(t) + hci(t)[x− wi(t)] αν i E Nc(t), για i = 1, . . .,m.
wi(t+1) = {wi(t) } αν i E Nc(t), για i = 1, . . .,m.

Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό, τα συναπτικά διανύσματα των κόμβων που βρίσκονται εντός της γειτονιάς του νικητή ανανεώνονται, προσαρμοζόμενα κατάλληλα στο εκάστοτε εισερχόμενο διάνυσμα, ενώ τα συναπτικά διανύσματα των κόμβων που βρίσκονται εκτός της γειτονιάς του νικητή παραμένουν τα ίδια με τον προηγούμενο κύκλο της διαδικασίας.

4.4.7.5. Πλήθος βημάτων

Η τελευταία παράμετρος που πρέπει να εκτιμηθεί είναι το πλήθος των βημάτων, μετά το πέρας των οποίων τερματίζεται η διαδικασία μάθησης και θεωρείται ότι το δίκτυο έχει φτάσει σε μια σχετικά σταθερή κατάσταση, η οποία αποτελεί και τον τελικό χάρτη του χώρου εισερχομένων[67].

Το πλήθος των βημάτων μπορεί να είναι προαποφασισμένο, ανάλογα με τον εκτιμώμενο χρόνο υπολογισμού και την παρεχόμενη υπολογιστική ισχύ, ή να προσδιοριστεί ως συνάρτηση διαφόρων παραμέτρων. Στην περίπτωση επιλογής προκαθορισμένου πλήθους βημάτων, «ένας εμπειρικός κανόνας είναι ότι, για ικανοποιητική στατιστική ακρίβεια, το πλήθος των βημάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον 500 φορές το πλήθος των μονάδων του δικτύου. Από την άλλη, το πλήθος των διαστάσεων των εισερχόμενων στοιχείων δεν έχει επίπτωση στο πλήθος των βημάτων» (Kohonen, 1990 1469). Αν δεν επιλεγεί προκαθορισμένο πλήθος βημάτων, μπορεί για παράδειγμα να δοθεί η οδηγία να τερματίσει ο αλγόριθμος όταν η ακτίνα της γειτονιάς έχει μειωθεί τόσο ώστε να περιλαμβάνει μόνο το νικητή ή τους πρωτοβάθμιους γείτονές του, ή να εκφραστεί ως συνάρτηση του κέρδους προσαρμογής, ορίζοντας πάλι μια τιμή κάτω από την οποία θεωρείται ότι το σύστημα έχει συγκλίνει.

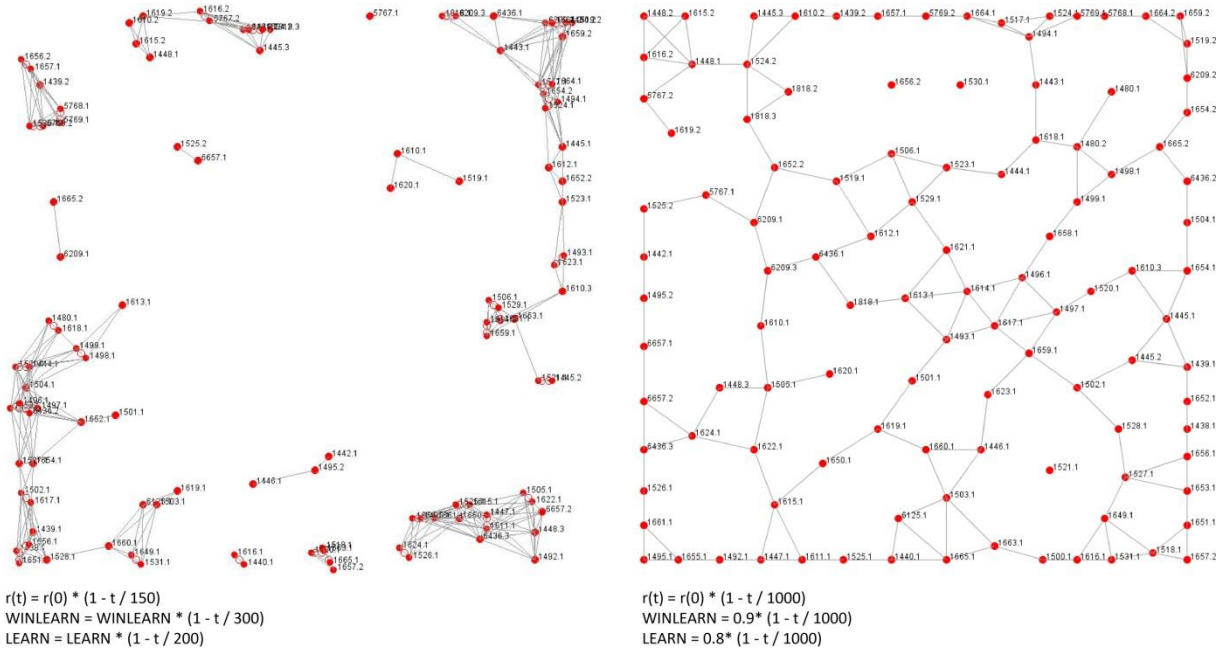
4.4.8. Εφαρμογή: Ο αλγόριθμος

4.4.8.1. Παράμετροι του αλγορίθμου

Για τη χαρτογράφηση των πολυδιάστατων διανυσμάτων ιδιοτήτων των αδόμητων χώρων εφαρμόζεται ένας δισδιάστατος αυτοοργανωνόμενος χάρτης που ακολουθεί την περιγραφή του αλγορίθμου Kohonen. Η σύνταξη του αλγορίθμου έγινε σε γλώσσα προγραμματισμού Processing. Οι συναρτήσεις και οι παράμετροι του δικτύου ρυθμίστηκαν και προσαρμόστηκαν μετά από δοκιμές (Εικόνα 4 - 22), βάσει των γενικών υποδείξεων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Ο αλγόριθμος βασίστηκε σε παράδειγμα αυτοοργανωνόμενου χάρτη σε Processing, που παραχωρήθηκε από τον John Harding. Το παράδειγμα αυτό είχε ως στόχο την κατανομή γεωμετρικών σχημάτων και συγκεκριμένα ελλείψεων με διαφορετικά μεγέθη και αναλογίες αξόνων και βασίζεται σε παράδειγμα γραμμένο σε Visual Basic for Applications από τον Christian Derix.

[67] Σύμφωνα με τον Kohonen (1990: 1469), «εφόσον η μάθηση είναι μια στοχαστική διαδικασία, η τελική στατιστική ακρίβεια της χαρτογράφησης εξαρτάται από το πλήθος των βημάτων, που πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος. Δεν υπάρχει τρόπος να παρακαμφθεί αυτή η απαίτηση».



Εικόνα 4 - 22.

Ρύθμιση παραμέτρων και συναρτήσεων προσαρμογής του χάρτη

Παράδειγμα διαφορετικών ρυθμίσεων του χάρτη. Αριστερά παρατηρείται πρόωρη σύγκλιση και μη ικανοποιητική κατανομή καθώς η ακτίνα γειτονιάς και οι συντελεστές κέρδους προσαρμογής μειώνονται απότομα. Δεξιά παρατηρείται καλή κατανομή και σταθερότητα, καθώς οι παράμετροι προσαρμόζονται σταδιακά.

4.4.8.2. Εισερχόμενα δεδομένα

4.4.8.2.1. Εισαγωγή των δεδομένων

Τα δεδομένα εισάγονται σε μορφή πινάκων καταρτισμένων στο λογισμικό Office Excel, όπου κάθε γραμμή συνιστά ένα διάνυσμα, ενώ οι στήλες αντιστοιχούν στις ιδιότητες. Ο αλγόριθμος διαβάζει τα δεδομένα και αποθηκεύει κάθε εισερχόμενο διάνυσμα σε μια ξεχωριστή λίστα αριθμητικών τιμών.

4.4.8.2.2. Κανονικοποίηση των δεδομένων

Δεδομένης της ετερογένειας των ιδιοτήτων που ποσοτικοποιούνται, τόσο οι τιμές όσο και το εύρος τους εμφανίζουν πολύ μεγάλες αριθμητικές διαφοροποιήσεις. Για το λόγο αυτό και προκειμένου να μην υπερισχύσουν τα μεγέθη εκείνα των οποίων οι τιμές και οι διακυμάνσεις είναι μεγαλύτερες, θεωρήθηκε σκόπιμο τα εισερχόμενα διανύσματα να κανονικοποιηθούν πριν παρουσιαστούν στο νευρωνικό δίκτυο. Για το σκοπό αυτό συντάχθηκε μια αλγοριθμική διαδικασία που για κάθε μέτρηση διατρέχει όλα τα διανύσματα και εντοπίζει τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή που εμφανίζει η συγκεκριμένη ιδιότητα για το σύνολο των αδόμητων χώρων. Βάσει αυτών των ακραίων τιμών, όλες οι τιμές της σχετικής ιδιότητας ανάγονται σε εύρος τιμών από 0 ως 1. Αφού ο αλγόριθμος επαναλάβει την ίδια διαδικασία για όλες τις ιδιότητες, τα εισερχόμενα δεδομένα παίρνουν τη μορφή διανυσμάτων, στα οποία οι τιμές των συντεταγμένων σε όλες τις διαστάσεις κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. Τα κανονικοποιημένα αυτά διανύσματα αντικαθιστούν τα αρχικά εισερχόμενα και είναι έτοιμα για επεξεργασία από τον αλγόριθμο του νευρωνικού δικτύου.

4.4.8.3. Το Νευρωνικό Δίκτυο

4.4.8.3.1. Μορφή του κανάβου

Διάσταση του δικτύου

Επειδή πρωταρχικός στόχος της χαρτογράφησης είναι η ανάδειξη της εσωτερικής δομής συσχετισμών μεταξύ των δεδομένων μέσω μιας εύληπτης και εμπειρικά αξιολογήσιμης οπτικοποίησης, η μείωση των διαστάσεων έχει κεντρική σημασία. Για το λόγο αυτό επιλέγεται μια διάταξη δικτύου που εκτείνεται σε δύο διαστάσεις.

Πλήθος και διάταξη των νευρώνων

Ο προσδιορισμός του πλήθους των νευρώνων εξαρτάται τόσο από το πλήθος των εισερχομένων όσο και από την επιδιωκόμενη ανάλυση του χάρτη. Σύμφωνα με τον Kohonen, δεν είναι δυνατό να εκτιμηθεί εκ των προτέρων το επαρκές πλήθος των νευρώνων[68]. Αν υπάρχει κάποια ένδειξη του πλήθους των ομάδων που αναμένεται να προκύψουν, το πλήθος των νευρώνων αρκεί να είναι όσο και το πλήθος των ομάδων, αφού κάθε νευρώνας θα εξειδικευτεί στην αντιπροσώπευση μίας ομάδας. Στην παρούσα εφαρμογή όμως, όπου το πλήθος των ομάδων είναι άγνωστο, θεωρήθηκε σκόπιμο να υπάρχει τουλάχιστον ένας νευρώνας για κάθε εισερχόμενο, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα κάθε κόμβος να αντιπροσωπεύει κατά το μέγιστο ένα δείγμα. Προκειμένου να περιοριστεί η πιθανότητα αλληλεπικάλυψης δεδομένων, καθώς δεν υπάρχει εξασφάλιση ότι ο ίδιος κόμβος δεν θα συσχετιστεί με περισσότερα από ένα παρόμοια εισερχόμενα, αλλά και για να ενισχυθεί η πιθανότητα διαχωρισμού μεταξύ ομάδων για λόγους οπτικής ευκρίνειας, αποφασίστηκε το πλήθος των νευρώνων να είναι αρκετά μεγαλύτερο από το πλήθος των εισερχομένων. Εξάλλου, ο Kohonen (2013: 56) πρακτικά συστήνει να εφαρμόζεται «η μέγιστη συστοιχία που μπορεί κανείς να υπολογίσει». Έτσι, μετά από δοκιμές, για ένα πλήθος 110 εισερχόμενων διανυσμάτων επιλέχθηκε μια διάταξη δικτύου που αποτελείται από 6400 νευρώνες, διατεταγμένους σε κανονικό τετραγωνικό κάναβο. Επομένως, πρόκειται για ένα δισδιάστατο δίκτυο διαστάσεων 80*80 νευρώνων. Ως μονάδα μέτρησης απόστασης ορίζεται το μέγεθος ενός κελιού του κανάβου.

4.4.8.4. Αρχικοποίηση

4.4.8.4.1. Αρχικοποίηση συναπτικών διανυσμάτων

Στην αρχή της διαδικασίας, πριν παρουσιαστούν τα εισερχόμενα δεδομένα στο δίκτυο, σε κάθε νευρώνα αντιστοιχείται ένα τυχαίο αρχικό συναπτικό διάνυσμα, που έχει το ίδιο μήκος, δηλαδή το ίδιο πλήθος διαστάσεων με τα εισερχόμενα διανύσματα. Το μήκος αυτό στην παρούσα εφαρμογή είναι 19, όσες και οι μετρήσεις για κάθε δείγμα. Επειδή οι τιμές των εισερχομένων έχουν κανονικοποιηθεί σε εύρος από 0 ως 1, τα συναπτικά διανύσματα αρχικοπούνται και αυτά με όλα τους τα βάρη να έχουν μια τυχαία τιμή μεταξύ 0 και 1.

4.4.8.4.2. Αρχικοποίηση ακτίνας γειτονιάς

Αρχικά η ακτίνα της γειτονιάς πρέπει να είναι μεγάλη για να εξασφαλιστεί η συνέχεια του χάρτη. Σύμφωνα με τον Kohonen (1990: 1469), η αρχική γειτονιά μπορεί να είναι και μεγαλύτερη από το δίκτυο. Σύμφωνα με αυτή την εκτίμηση, η αρχική ακτίνα της γειτονιάς ορίζεται όσο το ήμισυ της

[68] Βλ. κεφ. 4.4.7.1.3 Μέγεθος του κανάβου: Πλήθος κόμβων και έκταση του κανάβου.

διαγωνίου του χάρτη, ούτως ώστε να καλύπτει ολόκληρο το δίκτυο. Έτσι η γειτονιά έχει αρχικό μέγεθος όσο ο περιγεγραμμένος κύκλος του χάρτη.

4.4.8.4.3. Αρχικοποίηση συντελεστών κέρδους προσαρμογής

Σύμφωνα με τον Kohonen (2013: 56), ο συντελεστής κέρδους προσαρμογής παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1 και φθίνει συναρτήσει του χρόνου. Επομένως η αρχική τιμή πρέπει να είναι κοντά στη μονάδα. Επιλέχθηκε να ισχύει διαφορετικός συντελεστής για το νικητή και για τους γείτονές του, προκειμένου η προσαρμογή του νικητή να είναι μεγαλύτερη από αυτή των γειτόνων. Έτσι ορίστηκε ο συντελεστής WINLEARN (ac) για το νικητή, με αρχική τιμή 0.95 και ο συντελεστής LEARN (an) για τους γείτονες, με αρχική τιμή 0.85.

4.4.8.4.4. Διαδοχική εμφάνιση εισερχομένων

Η σειρά επιλογής των εισερχομένων για την παρουσίασή τους στο δίκτυο μπορεί να είναι τυχαία, αρκεί να εξασφαλίζεται ότι θα παρουσιαστούν όλα σε κάθε επανάληψη της διαδικασίας. Εδώ τα εισερχόμενα επιλέγονται με τη σειρά, σύμφωνα με τη θέση τους στον αρχικό πίνακα ιδιοτήτων.

4.4.8.5. Βήματα

Για κάθε εισερχόμενο διάνυσμα που παρουσιάζεται στο δίκτυο, ο αλγόριθμος διατρέχει όλους τους νευρώνες του δικτύου και υπολογίζει την Ευκλείδεια απόσταση[69] του αντίστοιχου συναπτικού διανύσματος από το επιλεγμένο εισερχόμενο διάνυσμα. Ο νευρώνας για τον οποίο η απόσταση αυτή ελαχιστοποιείται είναι ο νικητής του κύκλου και ο δείκτης του στον κάναβο αποθηκεύεται για περαιτέρω αναφορά.

4.4.8.6. Ορισμός γειτονιάς

Όπως αναφέρθηκε, η ακτίνα της γειτονιάς είναι αρχικά μεγάλη ούτως ώστε να καλύπτει ολόκληρο το δίκτυο και μειώνεται διαδοχικά σε κάθε κύκλο. Η συνάρτηση που καθορίζει το ρυθμό μεταβολής της ακτίνας είναι:

r(t) = r(0) *(1 - t / 1000)

Πρόκειται δηλαδή για μια απλή γραμμική φθίνουσα συνάρτηση.

4.4.8.7. Εύρεση γειτόνων

Έχοντας βρει το νικητή του γύρου και έχοντας υπολογίσει την ακτίνα της γειτονιάς για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ο αλγόριθμος εντοπίζει τους γείτονες του νικητή. Διατρέχει όλους τους νευρώνες του δικτύου και υπολογίζει τη γεωμετρική τους απόσταση από το νικητή στον κάναβο. Αν η απόσταση αυτή είναι μικρότερη ή ίση της εκάστοτε ακτίνας γειτονιάς, το νευρώνας θεωρείται γείτονας και ο δείκτης του αποθηκεύεται.

[69] «Η Ευκλείδεια απόσταση, με κανονικοποίηση, έχει ήδη εφαρμοστεί στις περισσότερες πρακτικές μελέτες, αφού ο Αυτοοργανωνόμενος Χάρτης είναι ικανός να εμφανίζει ακόμα και πολύπλοκους αλληλοσυσχετισμούς των μεταβλητών βάσει αυτής» (Kohonen, 2013: 54).

4.4.8.8. Προσαρμογή διανυσμάτων (εκμάθηση): Ορισμός της συνάρτησης εκμάθησης

Ο βαθμός προσαρμογής στο εισερχόμενο διάνυσμα είναι διαφορετικός για το νικητή και για τους γείτονές του έτσι ώστε ο νικητής να προσεγγίζει περισσότερο το εκάστοτε εισερχόμενο από ότι οι γείτονές του. Δηλαδή εφαρμόζεται διαφορετική συνάρτηση γειτονιάς ανάλογα με το αν πρόκειται για το νικητή ή για γειτονικό κόμβο. Οι κόμβοι που βρίσκονται εκτός της γειτονιάς δεν μεταβάλλονται, δηλαδή δεν εφαρμόζεται αναχαιτιστική δράση αρνητικής προσαρμογής [inhibition].

Η διαδικασία ανανέωσης, σε διακριτά χρονικά βήματα, μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

$wi(t+1) = \{wi(t) + \alpha c(t)[x-wi(t)]\}$ αν i =c
$wi(t+1) = \{wi(t) + \alpha n(t)[x-wi(t)]\}$ αν i E Nc(t)
$wi(t+1) = \{wi(t)\}$ αν i Ε Nc(t)

όπου αc(t) και αn(t) είναι αντίστοιχα τα βαθμωτά μέγεθη κέρδους προσαρμογής για το νικητή και για τους γείτονες, με $0 < \alpha c(t) < 1$, $0 < \alpha n(t) < 1$ και μείωσή τους συναρτήσει του χρόνου.

Ο Kohonen (1990: 1469) προτείνει ενδεικτικά μια συνάρτηση της μορφής
$\alpha(t) = 0.9 (1 - t/1000)$

4.4.8.8.1. Για το νικητή

Ο αλγόριθμος υπολογίζει τη διαφορά του συναπτικού διανύσματος του νικητή από το εισερχόμενο διάνυσμα, το πολλαπλασιάζει με το συντελεστή εκμάθησης WINLEARN του νικητή και το προσθέτει στο προηγούμενο συναπτικό διάνυσμα.

Έτσι, ο κανόνας ανανέωσης του νικητή ακολουθεί τη συνάρτηση:

$wi(t+1) = wi(t) + WINLEARN(t) *[x- wi(t)]$

Μετά από δοκιμές με διαφορετικές συναρτήσεις και τιμές παραμέτρων, ορίστηκε ο συντελεστής κέρδους προσαρμογής για το νικητή να μειώνεται γραμμικά με το χρόνο, σύμφωνα με τη συνάρτηση:

$WINLEARN(t)= 0.9 *(1 - t / 1000)$

Δηλαδή ακολουθείται η προτεινόμενη από τον Kohonen συνάρτηση

$\alpha c(t) = 0.9 *(1 - t / 1000)$

4.4.8.8.2. Για το γείτονα

Για τους κόμβους που βρίσκονται εντός της εκάστοτε ακτίνας γειτονιάς του νικητή, η προσαρμογή εκτελείται ανάλογα με την απόσταση του κάθε γείτονα από το νικητή, ούτως ώστε όσο πλησιέστερα βρίσκεται ένας κόμβος στο νικητή, τόσο περισσότερο να προσεγγίζει το εισερχόμενο διάνυσμα που αυτός αντιπροσωπεύει.

Ο αλγόριθμος υπολογίζει τη διαφορά του συναπτικού διανύσματος του εκάστοτε νευρώνα από το εισερχόμενο, το πολλαπλασιάζει με το συντελεστή εκμάθησης LEARN διαιρεμένο με την απόσταση από το νικητή και το προσθέτει στο προηγούμενο συναπτικό διάνυσμα.

Έτσι, ο κανόνας ανανέωσης του γείτονα i του νικητή c ακολουθεί τη συνάρτηση:

$wi(t+1) = wi(t) + [LEARN(t)/dist(i,c)] *[x- wi(t)]$

όπου dist(i,c) η γεωμετρική απόσταση του γείτονα από το νικητή στον κάναβο. Δηλαδή η προσαρμογή των γειτόνων είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασής τους από το νικητή. Όσο απομακρυνόμαστε από το νικητή, ο βαθμός προσαρμογής φθίνει γραμμικά.

Ο συντελεστής κέρδους προσαρμογής για τους γείτονες μειώνεται γραμμικά με το χρόνο, σύμφωνα με τη συνάρτηση:

LEARN(t)= 0.8* (1 - t / 1000)

Η μεταβολή του συντελεστή κέρδους των γειτόνων είναι λίγο μικρότερη από αυτού του νικητή, ώστε πάντα ο νικητής να προσαρμόζεται σε μεγαλύτερο βαθμό στο αντίστοιχο εισερχόμενο από ότι οι γείτονές του. Με τον τρόπο αυτό η εντονότερη προσαρμογή εφαρμόζεται στο νικητή, ενώ όσοι κόμβοι βρίσκονται εντός της εκάστοτε γειτονιάς προσαρμόζονται ανάλογα με την εγγύτητά τους σ' αυτόν.

4.4.8.9. Ολοκλήρωση κύκλου και αξιολόγηση κατάστασης

Όταν η διαδικασία προσαρμογής των συναπτικών διανυσμάτων ολοκληρωθεί για όλα τα εισερχόμενα διανύσματα και ενημερωθούν οι τιμές των παραμέτρων (μέγεθος γειτονιάς, συντελεστές κέρδους προσαρμογής) σύμφωνα με τις αντίστοιχες συναρτήσεις, κλείνει ο εκάστοτε κύκλος (t). Αν στο τέλος του κύκλου θεωρηθεί ότι το σύστημα έχει πετύχει ικανοποιητική σύγκλιση, η διαδικασία τερματίζεται. Αλλιώς ο αλγόριθμος περνάει στον επόμενο κύκλο (t+1) και η διαδικασία ξεκινάει από την αρχή, με την εκ νέου διαδοχική παρουσίαση όλων των εισερχομένων στο δίκτυο.

4.4.8.9.1. Κριτήρια τερματισμού

Το δίκτυο θεωρείται ότι συγκλίνει όταν έρθει σε μια σχεδόν σταθερή κατάσταση ισορροπίας, στην οποία δεν παρατηρούνται περαιτέρω μεταβολές. Στο συγκεκριμένο σύστημα εφαρμόζονται δύο κριτήρια σύγκλισης και η διαδικασία τερματίζει όταν επιτευχθεί το ένα από τα δύο.

Το πρώτο κριτήριο αναφέρεται στη δυνατότητα συνέχισης της προσαρμογής των συναπτικών διανυσμάτων στα εισερχόμενα. Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, η διαδικασία τερματίζεται όταν ο συντελεστής κέρδους προσαρμογής του νικητή γίνει τόσο μικρός ώστε περαιτέρω προσαρμογές να επέφεραν αμελητέες μεταβολές στην κατανομή των εισερχομένων στο δίκτυο. Η ελάχιστη τιμή του συντελεστή κέρδους προσαρμογής του νικητή πέρα από την οποία το σύστημα θεωρείται ότι έχει φτάσει σε σημείο ισορροπίας ορίστηκε να είναι WINLEARN = 0.005, τιμή κατά πολύ μικρότερη από το όριο του 0.1 που προτείνει ο Kohonen.

Το δεύτερο κριτήριο σχετίζεται με την ακτίνα της γειτονιάς του νικητή. Όταν η ακτίνα γειτονιάς μειωθεί τόσο ώστε να περιλαμβάνει μόνο τον ίδιο το νικητή και τους άμεσους γείτονές του, κάθε περαιτέρω προσαρμογή είναι ελάχιστη και ουσιαστικά δεν επηρεάζει τη χαρτογράφηση. Έτσι, ορίζεται η ελάχιστη τιμή της ακτίνας γειτονιάς να είναι η μονάδα.

Άλλο κριτήριο θα μπορούσε να είναι ένα μέγιστο πλήθος κύκλων, αλλά δεν είναι τόσο ασφαλές όσο το κριτήριο ελαχιστοποίησης του συντελεστή κέρδους προσαρμογής, ή το μέγεθος της γειτονιάς, γιατί ενδέχεται μετά το πέρας των προκαθορισμένων κύκλων το σύστημα να μεταβάλλεται ακόμα σημαντικά.

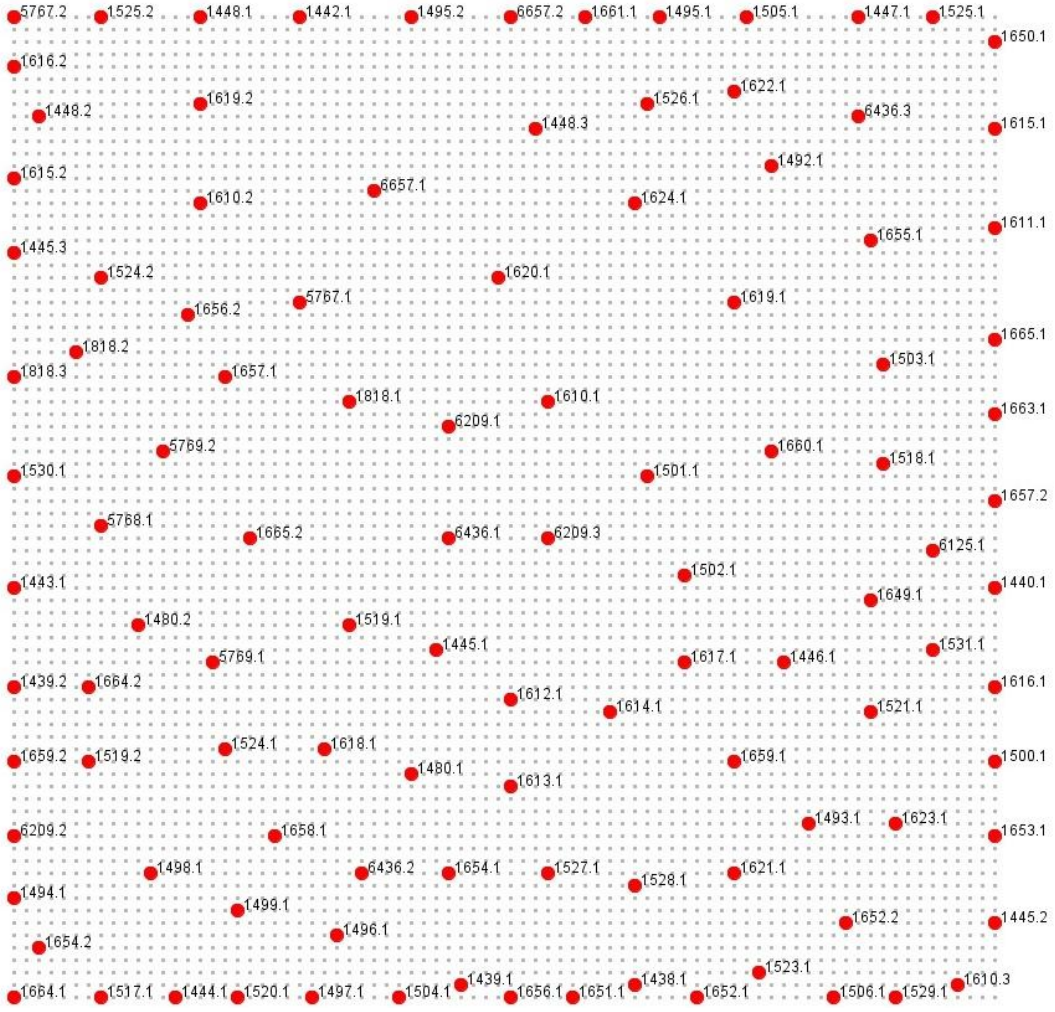
Επομένως το σύστημα τερματίζει τη λειτουργία του όταν ισχύσει μία από τις δύο συνθήκες
WINLEARN $\leqq$ 0.005 ή r(t)<1.

Με τις συγκεκριμένες ρυθμίσεις (Εικόνα 4 - 22 δεξιά), παρατηρείται οτι πρώτα φτάνει την οριακή τιμή η ακτίνα γειτονιάς. Έτσι, σε μια τυπική δοκιμή, το σύστημα συγκλίνει μετά από περίπου 1000 κύκλους και οι τιμές που έχουν πάρει οι παράμετροι είναι:

t = 983
r(t)= 0.962 < 1
ac(t) = 0.0153 << 0.1
an(t) = 0.0136 << 0.1

4.4.8.9.2. Οπτικοποίηση διαδικασίας και τελικού αποτελέσματος

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του αυτοοργανωνόμενου χάρτη είναι ότι οργανώνει τα δεδομένα χωρικά, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η άμεση οπτικοποίηση τόσο της τελικής χαρτογράφησης όσο και των διακριτών σταδίων της διαδικασίας μάθησης. Οι νευρώνες αναπαρίστανται ως σημεία στον κάναβο του δικτύου. Σε κάθε κύκλο, τα εισερχόμενα διανύσματα οπτικοποιούνται ως σημεία, ή οποιουδήποτε τύπου γραφικά αντικείμενα, επί του κανάβου, στις θέσεις των νευρώνων που τα αντιπροσωπεύουν καλύτερα. Δηλαδή κάθε εισερχόμενο αντιστοιχίζεται στη θέση στο νικητή του στον κάναβο. Με τον τρόπο αυτό οπτικοποιείται η χωρική κατανομή των εισερχομένων σε κάθε κύκλο και φυσικά και στο τέλος της διαδικασίας χαρτογράφησης. Εδώ κάθε εισερχόμενο εμφανίζεται ως σημείο, μαζί με τον κωδικό του αντίστοιχου αδόμητου χώρου σε μορφή κειμένου (Εικόνα 4 - 23).



Εικόνα 4 - 23.
Οπτικοποίηση του χάρτη

4.4.8.9.3. Βελτίωση ευκρίνειας

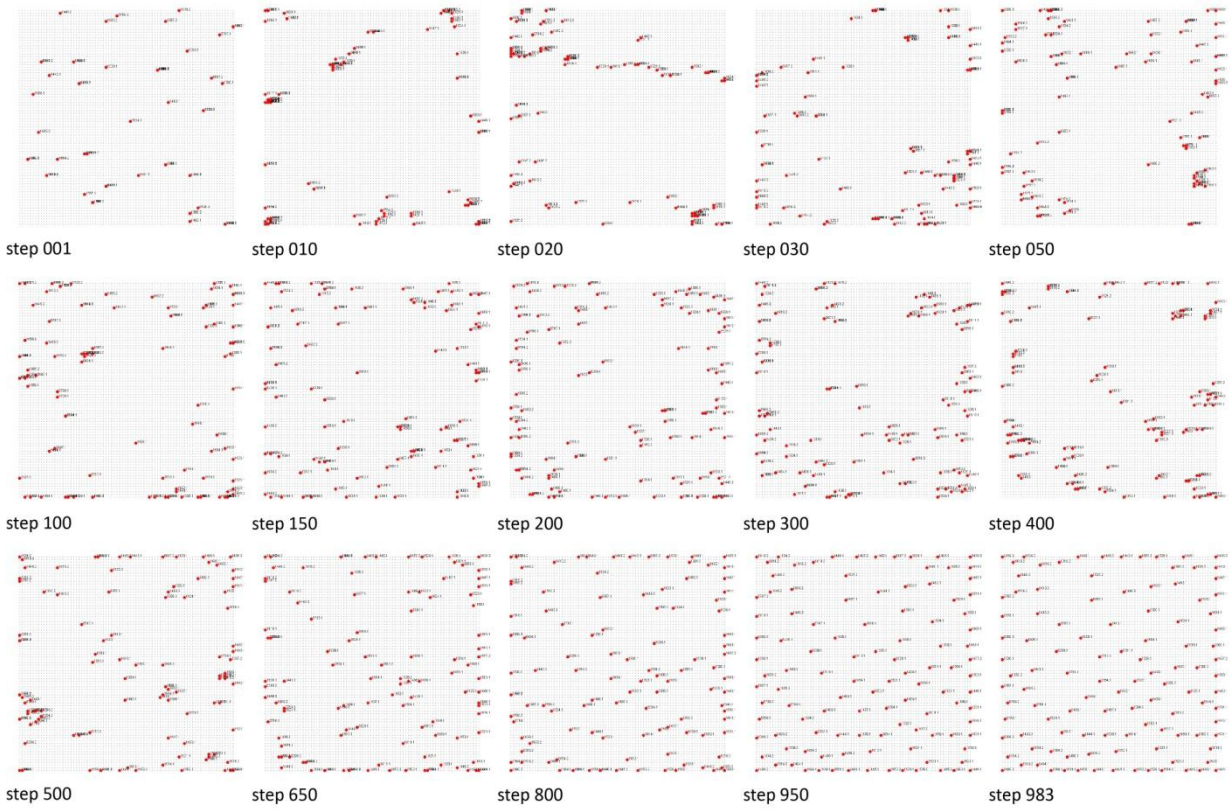
Όταν ολοκληρωθεί η χαρτογράφηση από το νευρωνικό δίκτυο, κάποιες φορές παρατηρούνται περιοχές με μεγάλη πυκνότητα δεδομένων, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η ανάγνωση του χάρτη. Για τη βελτίωση της ευκρίνειας της οπτικοποίησης, εφαρμόζεται επί της κατανομής των σημείων στον τελικό χάρτη ένας αλγόριθμος που εντοπίζει τα αλληλεπικαλυπτόμενα σημεία ή σύμβολα και τα απομακρύνει μεταξύ τους ισομερώς, σαν να πρόκειται για απωθούμενα σωματίδια. Η μετατόπιση αυτή είναι πάντα μικρότερη από ένα βήμα του κανάβου, για να μην αλλοιώνεται η σχετική θέση των σημείων όπως υπολογίστηκε από το νευρωνικό δίκτυο (Εικόνα 4 - 22 αριστερά). Επίσης, ο σχεδιασμός συνδέσεων μεταξύ εισερχομένων που χαρτογραφούνται κοντά μεταξύ τους καθιστά ευκρινέστερους τους συσχετισμούς βάσει εγγύτητας (Εικόνα 4 - 25).

4.4.8.10. Αποτελέσματα

Η ακριβής μορφή της τελικής χαρτογράφησης επηρεάζεται από όλες τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Δεδομένου όμως ότι δεν είναι δεδομένες εκ των προτέρων οι πιθανές ομαδοποιήσεις ούτε ως προς το πλήθος ούτε ως προς τη σύστασή τους, δεν είναι εύκολο να αξιολογηθεί ο παραγόμενος χάρτης ως προς την αποτελεσματικότητα της απόδοσης της αρχικής δομής των εισερχόμενων δεδομένων. Μπορούν όμως να αξιολογηθούν επιμέρους ζητήματα που σχετίζονται με την αποδοτικότητα της λειτουργίας του νευρωνικού δικτύου.

4.4.8.10.1. Αξιολόγηση διαδικασίας μάθησης

Ως προς τη διαδικασία μάθησης, μπορεί να αξιολογηθεί ο ρυθμός προσαρμογής των συναπτικών διανυσμάτων στο χώρο των εισερχομένων, βάσει της παρατήρησης της συμπεριφοράς του δικτύου κατά τα ενδιάμεσα βήματα. Παρακολουθώντας την κατανομή και τη μετατόπιση των εισερχομένων επί του δικτύου κατά τα διαδοχικά στάδια της διαδικασίας, επιβεβαιώνεται οπτικά ότι με τη σταδιακή μείωση των τιμών των παραμέτρων σύμφωνα με τις αντίστοιχες συναρτήσεις, στην αρχή πραγματοποιούνται μεγάλες αναπροσαρμογές με έντονα άλματα των σημείων που αναπαριστούν τα χαρτογραφούμενα δεδομένα, ενώ όσο προχωράει η διαδικασία μάθησης οι προσαρμογές γίνονται σταδιακά μικρότερες και πιο τοπικές (Εικόνα 4 - 24). Βάσει αυτής της συμπεριφοράς, μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο χάρτης λειτουργεί ικανοποιητικά, επιτυγχάνοντας τόσο καθολική όσο και τοπική οργάνωση. Στην τελική χαρτογράφηση παρατηρείται αρκετά κανονική κατανομή των εισερχομένων, χωρίς να εμφανίζεται το φαινόμενο της υπερσυγκέντρωσης δεδομένων στο κέντρο, γεγονός που υποδεικνύει ότι το δίκτυο ξεδιπλώνεται επαρκώς στο χώρο των εισερχομένων (Εικόνα 4 - 24 κάτω δεξιά).



Εικόνα 4 - 24.
Διαδοχικά στάδια της διαδικασίας χαρτογράφησης

Αρχικά παρατηρούνται μεγάλες μετατοπίσεις ενώ όσο προχωράει η διαδικασία μάθησης οι προσαρμογές γίνονται μικρότερες και πιο τοπικές

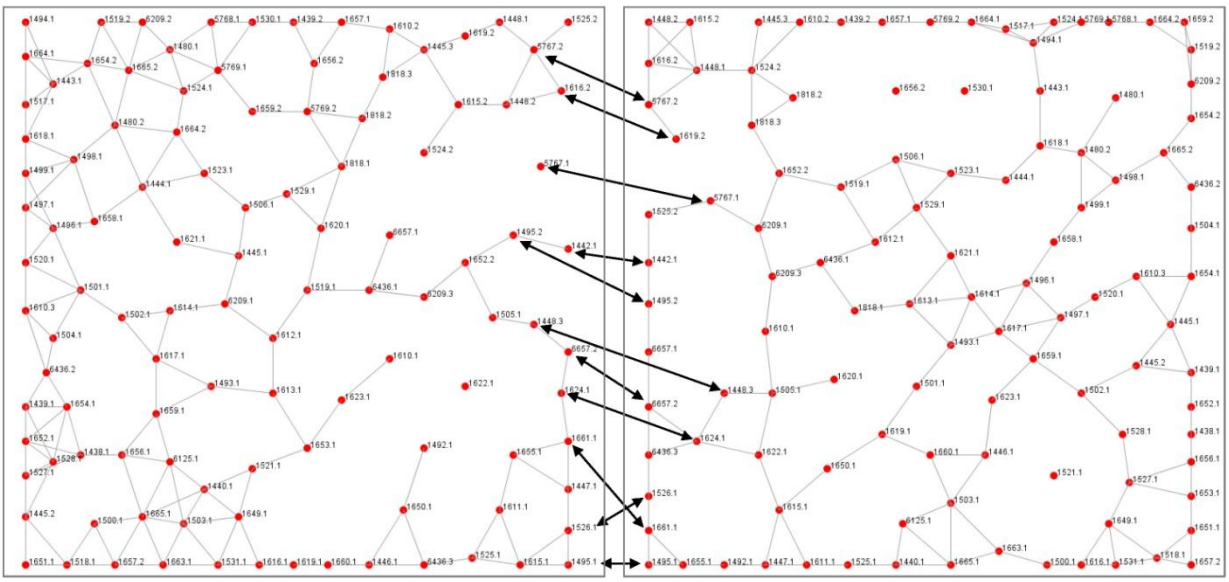
4.4.8.10.2. Αξιολόγηση σύγκλισης

Ένα πρόβλημα που προκύπτει συχνά στους αυτοοργανωνόμενους χάρτες είναι ότι δεν είναι πάντα εξασφαλισμένη η σύγκλιση του συστήματος. Είτε λόγω της δομής των δεδομένων είτε λόγω των χαρακτηριστικών και των ρυθμίσεων του ίδιου του νευρωνικού δικτύου, υπάρχει πιθανότητα να μην μπορεί να επιτευχθεί μια σχετικά σταθερή τελική κατάσταση. Η διαδικασία συνεχίζει για άγνωστο χρόνο χωρίς να καταλήγει σε ισορροπία. Στην εφαρμογή που εξετάζουμε, φαίνεται να υπάρχει ικανοποιητική σύγκλιση, καθώς πριν τερματίσει η διαδικασία, για μεγάλο πλήθος κύκλων, οι προσαρμογές είναι ελάχιστες, σχεδόν μηδενικές (Εικόνα 4 - 24 κάτω γραμμή, βήματα 800-983). Έτσι ο χάρτης έχει ήδη πάρει την τελική του μορφή πολύ πριν τερματιστεί η διαδικασία βάσει της ελαχιστοποίησης της τιμής της ακτίνας γειτονιάς ή του συντελεστή κέρδους προσαρμογής.

4.4.8.10.3. Αξιολόγηση συνεκτικότητας αποτελεσμάτων

Ένα άλλο στοιχείο που μπορεί να αξιολογηθεί είναι η συνεκτικότητα των αποτελεσμάτων, δηλαδή η συνέπεια του συστήματος στην απόδοση των συσχετισμών των εισερχόμενων δεδομένων για διαφορετικές επαναλήψεις της διαδικασίας χαρτογράφησης. Το δίκτυο και τα εισερχόμενα είναι πάντα τα ίδια, αλλά κάθε φορά που αρχικοποιείται το σύστημα τα συναπτικά διανύσματα τυχαιοποιούνται. Αποτέλεσμα της διαφορετικής κατανομής βαρών κατά την εκκίνηση, αλλά και της αυτοοργανωνόμενης λογικής της διαδικασίας, είναι οι τελικοί χάρτες που προκύπτουν από κάθε επανάληψη να μην είναι πανομοιότυποι. Ωστόσο, αν και συνήθως παράγονται διαφορετικές συνολικές διατάξεις των εισερχομένων, εμφανίζονται επαναλαμβανόμενες δομές. Οι τοπολογικοί

συσχετισμοί μεταξύ σημείων διατηρούνται σταθεροί, αλλά μπορεί να έχουν άλλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (Εικόνα 4 - 25). Τα αποτελέσματα διαφορετικών επαναλήψεων δείχνουν μια συνέπεια ως προς την απόδοση συσχετισμών, οδηγώντας στην υπόθεση ότι το δίκτυο παράγει μια αρκετά σταθερή εσωτερική αναπαράσταση της δομής των δεδομένων.



Εικόνα 4 - 25.
Συνεκτικότητα αποτελεσμάτων

Δύο διαφορετικές χαρτογραφήσεις εμφανίζουν κοινές ομαδοποιήσεις. Γεωμετρικοί μετασχηματισμοί, όπως συμμετρίες, δεν επηρεάζουν τις τοπολογικές σχέσεις. Τα βέλη υποδεικνύουν ενδεικτικά κατοπτρικές διατάξεις στο ένα όριο των δύο χαρτογραφήσεων. Οι συνδέσεις δημιουργούνται εκ των υστέρων βάσει εγγύτητας για λόγους ευκρίνειας των συσχετισμών.

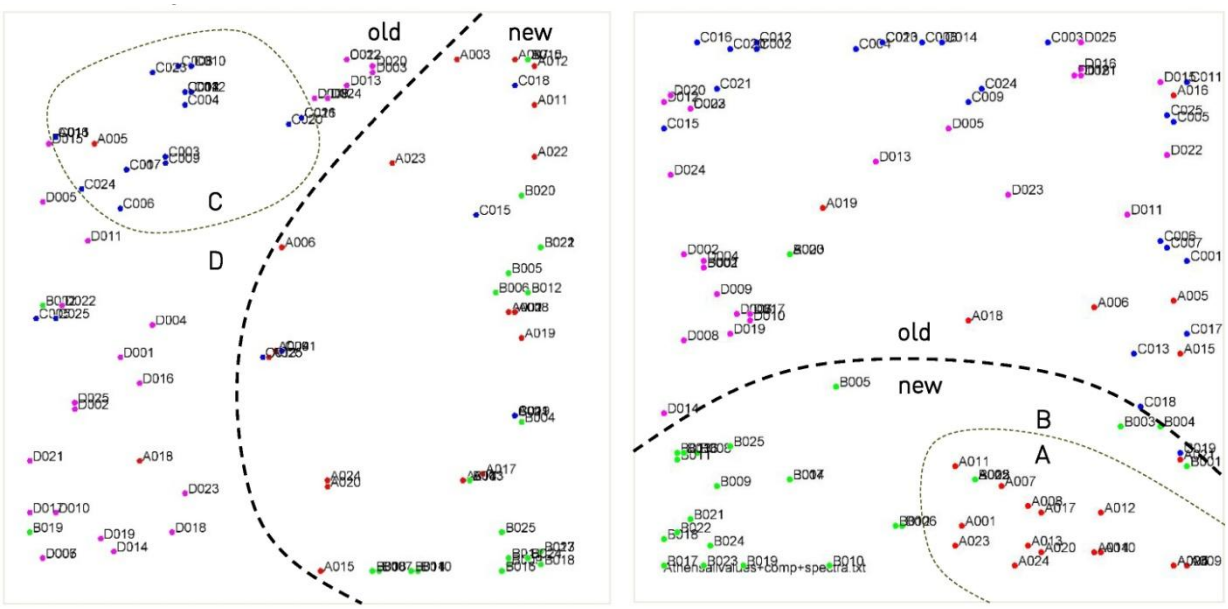
4.4.8.10.4. Αξιολόγηση λειτουργίας βάσει γνωστού παραδείγματος

Προκειμένου να επιβεβαιωθεί η καλή λειτουργία του δικτύου, έγιναν κάποιες δοκιμές χρησιμοποιώντας διαφορετικά δεδομένα, και συγκεκριμένα τμήμα των δεδομένων της πιλοτικής εφαρμογής, που ανήκουν σε γνωστές κατηγορίες. Έτσι, ως εισερχόμενα χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά τα διανύσματα ιδιοτήτων των οικοδομικών τετραγώνων των τεσσάρων περιοχών της Αθήνας. Τα αποτελέσματα ήταν πολύ κοντά σε εκείνα της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών για το ίδιο δείγμα, όπου παρατηρήθηκε διαχωρισμός των παλαιότερων (Πλάκα, Μεταξουργείο) από τις νεώτερες περιοχές (Μουσείο, Κολωνάκι) και αρκετά σαφής διαχωρισμός μεταξύ των δύο νεώτερων περιοχών (Εικόνα 4 - 11). Στους χάρτες που προκύπτουν από το νευρωνικό δίκτυο εμφανίζεται αντίστοιχη κατανομή, με τα οικοδομικά τετράγωνα από την Πλάκα και το Μεταξουργείο να καταλαμβάνουν περίπου τη μισή επιφάνεια του κανάβου, ενώ τα τετράγωνα από το Μουσείο και το Κολωνάκι καταλαμβάνουν την άλλη μισή και επιπλέον διαχωρίζονται αρκετά καλά μεταξύ τους. Σε αυτούς τους χάρτες γίνεται εμφανής η επανάληψη παρόμοιων κατανομών, με διαφορετική όμως γεωμετρική έκφραση σε κάθε χαρτογράφηση (Εικόνα 4 - 26).

Το γεγονός ότι το νευρωνικό δίκτυο είχε τα επιθυμητά αποτελέσματα για το γνωστό δείγμα εισερχομένων δεν σημαίνει απαραίτητα ότι λειτουργεί εξίσου ικανοποιητικά για το μη χαρακτηρισμένο δείγμα της περιοχής των Πατησίων, αφού διαφορετικές δομές δεδομένων μπορεί να γίνονται αντιληπτές με διαφορετικό τρόπο από το δίκτυο. Ωστόσο, τα δύο σύνολα δεδομένων έχουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά που αυξάνουν την πιθανότητα παρόμοιας απόδοσης του δικτύου και για τα δύο: έχουν το ίδιο μέγεθος, δηλαδή σχεδόν το ίδιο πλήθος στοιχείων (100 και 110 αντίστοιχα), οπότε απαιτείται το ίδιο πλήθος νευρώνων για τη χαρτογράφησή τους. Επίσης έχουν παρόμοιο

περιεχόμενο, αφού αποτελούνται από διανύσματα ποσοτικοποιημένων χωρικών ιδιοτήτων, πολλές από τις οποίες είναι κοινές για τα δύο σύνολα και το ίδιο εύρος τιμών, καθώς και στις δύο περιπτώσεις τα εισερχόμενα κανονικοποιούνται σε εύρος τιμών από μηδέν ως ένα.

Επομένως, η καλή απόδοση του νευρωνικού δικτύου για το γνωστό δείγμα αποτελεί ένδειξη ότι είναι πιθανό να λειτουργεί ικανοποιητικά και για το μη χαρακτηρισμένο δείγμα, εφόσον διατηρούνται το ίδιο πλήθος νευρώνων, η ίδια διάταξη και οι ίδιες παράμετροι και συναρτήσεις.



Εικόνα 4 - 26.
Χαρτογράφηση γνωστού δείγματος πιλοτικής εφαρμογής

Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης είναι παρόμοια με αυτά της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών. Διαφορετικές χαρτογραφήσεις δείχνουν παρόμοιες κατανομές με διαφορετική γεωμετρική αλλά παρόμοια τοπολογική διάταξη

4.5. Συστήματα Σωματιδίων - Ελατηρίων: Μείωση διαστάσεων με τη χρήση Προσομοίωσης Συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων

Η τρίτη μέθοδος που επιλέγεται για μείωση διαστάσεων των πολυδιάστατων δεδομένων, στα πλαίσια της συγκριτικής ανάλυσης των αστικών κενών της περιοχής των Πατησίων, είναι μια Προσομοίωση Συστήματος Σωματιδίων – Ελατηρίων [Particle – Springs].

Αν και δεν πρόκειται για καθαυτό μέθοδο μείωσης διαστάσεων, επιτρέποντας τη δυναμική χωρική έκφραση συσχετισμών μεταξύ πλήθους στοιχείων μέσω της προσομοίωσης φυσικών δυνάμεων έλξης και άπωσης, προσφέρεται για την οπτικοποίηση των σχέσεων μεταξύ πολυδιάστατων διανυσμάτων και υποστηρίζει την κατανόηση συσχετισμών εντός πολύπλοκων δομών δεδομένων.

Στην περίπτωση των πολυδιάστατων διανυσμάτων ιδιοτήτων αδόμητων χώρων, εφαρμόζεται μια προσομοίωση συστήματος Σωματιδίων – Ελατηρίων για την οπτικοποίηση των συσχετισμών μεταξύ χώρων σε όλες τις διαστάσεις, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις μετρήσεις ταυτόχρονα, μέσω της αντιμετώπισής τους ως συνιστώσες φυσικών δυνάμεων.

Στο σύστημα αυτό, κάθε αδόμητος χώρος αναπαρίσταται ως σωματίδιο θέσης - μάζας. Όλα τα σωματίδια συνδέονται ανά ζεύγη μέσω εικονικών ελατηρίων, το ιδανικό μήκος των οποίων είναι ανάλογο της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των πολυδιάστατων διανυσμάτων ιδιοτήτων των αντίστοιχων συνδεόμενων σωματιδίων. Η απόσταση αυτή εκφράζεται ως η κανονικοποιημένη διαφορά των τιμών των μεταβλητών τους σε όλες τις διαστάσεις.

Η αρχική θέση των σωματιδίων αντιστοιχεί στη γεωγραφική θέση των αδόμητων χώρων, που αυτά αντιπροσωπεύουν, στο χάρτη της περιοχής. Καθώς εξελίσσεται η προσομοίωση, υπό την επίδραση των τάσεων των ελατηρίων, που τείνουν να επιτύχουν το ιδανικό τους μήκος, τα σωματίδια μετακινούνται σταδιακά και το σύστημα έρχεται σε μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας, όπου η σχετική θέση των σωματιδίων εξαρτάται από τη συνισταμένη των μεταξύ τους ασκούμενων δυνάμεων και εκφράζει τους συσχετισμούς μεταξύ των αναπαριστάμενων χώρων ως προς όλες τις διαστάσεις τους.

4.5.1. Προσομοίωση Συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων [Particle - Springs System simulation]

Τα συστήματα σωματιδίων, όρος που εισήγαγε ο William T. Reeves το 1983, και ως επέκτασή τους και τα συστήματα σωματιδίων-ελατηρίων, αποτελούν εφαρμογή προσομοίωσης Φυσικής.

Μια τυπική προσομοίωση συστήματος Σωματιδίων βασίζεται σε αλγόριθμους προσομοίωσης Νευτώνειας Φυσικής σημειακών μαζών. Οι αλγόριθμοι αυτοί βασίζονται στην επίλυση διαφορικών εξισώσεων με χρήση τεχνικών προγραμματισμού που εφαρμόζονται στη γενικότερη κατηγορία συστημάτων αυτόνομων πρακτόρων.

4.5.1.1. Προσομοίωση Φυσικής ή μοντελοποίηση βασιζόμενη στη Φυσική [Physics-Based Modeling]

Η προσομοίωση Φυσικής αναφέρεται στην κατασκευή υπολογιστικών συστημάτων που μοντελοποιούν νόμους της Φυσικής. Συνήθως εφαρμόζονται για την προσομοίωση δυναμικών φυσικών φαινομένων ή για τη μοντελοποίηση της συμπεριφοράς φυσικών σωμάτων υπό διάφορες

συνθήκες και χρησιμοποιούνται για την ανάλυση, την οπτικοποίηση και την κατανόηση των αντίστοιχων φυσικών συστημάτων αλλά και ως εργαλείο πρόβλεψης.

«Γενικά, η μοντελοποίηση που βασίζεται στη Φυσική περιγράφει την κατασκευή δυναμικών μοντέλων κινούμενων αντικειμένων και τον υπολογισμό των κινήσεών τους μέσω προσομοίωσης Φυσικής. Η μοντελοποίηση που βασίζεται στη Φυσική υποθέτει ότι οι κινήσεις των σωμάτων κυβερνώνται από τους νόμους της Φυσικής, οδηγώντας σε οπτικά ρεαλιστικές κινούμενες αναπαραστάσεις» (Fleischmann & Menges, 2012: 566).

Ο βαθμός επιστημονικής ακρίβειας και πιστότητας απόδοσης των φυσικών νόμων εξαρτάται, εκτός από τις υπολογιστικές δυνατότητες, και από το στόχο και το πλαίσιο αναφοράς της εκάστοτε εφαρμογής. Όταν στόχος δεν είναι η ακριβής προσομοίωση υπαρκτών συστημάτων, η ενσωμάτωση νόμων της Φυσικής μπορεί να είναι εξαιρετικά αφαιρετική και επιλεκτική ή και να εφαρμόζονται τεχνητοί, μη ρεαλιστικοί κανόνες συμπεριφοράς. Εφαρμογές αυτής της κατηγορίας έχουν συμβάλει σημαντικά στην ανάπτυξη τρισδιάστατων γραφικών για την αναπαράσταση δυναμικών ή ασαφών αντικειμένων και φαινομένων, όπως εκρήξεις, φωτιά, σύννεφα, κινήσεις υγρών, υφασμάτων και μαλλιών, για την απόδοση της κίνησης και της συμπεριφοράς σμηνών τεχνητών οντοτήτων αλλά και για τη δημιουργία μη πραγματικών, συνθετικών κόσμων.

4.5.1.2. Αυτοοργανωνόμενα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων

Μια σημαντική κατηγορία προσομοιώσεων Φυσικής, στην οποία ανήκουν και τα συστήματα σωματιδίων, είναι τα αυτοοργανωνόμενα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων ή συστήματα αυτόνομων πρακτόρων[70].

«Τα συστήματα πολλαπλών πρακτόρων είναι υπολογιστικά μοντέλα για τη προσομοίωση των δράσεων και των αλληλεπιδράσεων αυτόνομων πρακτόρων, όπου το ενδιαφέρον εντοπίζεται στον προσδιορισμό του αντίκτυπου που έχουν στο συνολικό σύστημα. Τα συστήματα αυτά βασίζονται σε απλούς κανόνες στους οποίους υπακούουν από κοινού τα επιμέρους συστατικά τους (πράκτορες) και οι οποίοι καθορίζουν την αυτοοργάνωσή όλου του συστήματος» (Kanellos & Hanna, 2008).

4.5.1.3. Συστήματα Σωματιδίων - Ελατηρίων

Τα συστήματα σωματιδίων-ελατηρίων, ως εφαρμογές συστημάτων πολλαπλών πρακτόρων, βασίζονται στην εφαρμογή απλών συμπεριφορικών κανόνων τοπικά, σε ένα πλήθος στοιχειωδών μονάδων. Η αλληλεπίδραση μεταξύ των μονάδων οδηγεί στην αυτοοργάνωση του συστήματος και στην ανάδυση της συνολικής συμπεριφοράς, που προσομοιάζει τη συμπεριφορά φυσικών συστημάτων.

Ένα σύστημα σωματιδίων-ελατηρίων είναι μια συλλογή από διακριτές σημειακές μάζες (σωματίδια) στον τρισδιάστατο χώρο (Reeves, 1983: 360) και συμπεριφορικά ανάλογα ελατηρίων, που συνδέουν σωματίδια και επιτρέπουν τη μεταξύ τους αλληλεπίδραση ανά ζεύγη (Kanellos & Hanna, 2008).

[70] Κάθε πράκτορας [agent] λειτουργεί ως αυτόματο πεπερασμένων καταστάσεων, λειτουργώντας βάσει ενός συνόλου απλών κανόνων, κοινών για όλους τους πράκτορες (ή ομάδες ομοειδών πρακτόρων). Ένα αυτόματο πεπερασμένων καταστάσεων είναι «μια αφηρημένη κατασκευή ικανή να λαμβάνει διαφορετικές καταστάσεις που μεταβάλλονται ανάλογα με το λαμβανόμενο εισερχόμενο. Το αυτόματο επίσης παράγει ένα εξερχόμενο ανάλογα με τη στιγμιαία κατάστασή του. […]Τα πεπερασμένα αυτόματα μπορούν να λάβουν ένα πεπερασμένο σύνολο πιθανών καταστάσεων και να αντιδρούν σε ένα πεπερασμένο σύνολο εισερχόμενων σημάτων» (Rojas,1996: 43).

Τα σωματίδια είναι αντικείμενα που έχουν μάζα, θέση και ταχύτητα και αντιδρούν σε δυνάμεις που τους ασκούνται, αλλά δεν έχουν χωρική υπόσταση (Witkin, 1994).

Σε ένα σύστημα σωματιδίων-ελατηρίων, τα σωματίδια συνδέονται μεταξύ τους ανά δύο με γραμμικά ελαστικά ελατήρια. Τα ελατήρια είναι συνδέσεις χωρίς μάζα (Kass, 1994) μεταξύ δύο σωματιδίων στα οποία ασκούν μια δύναμη που προκύπτει από την μετατόπιση του ελατηρίου από το ιδανικό του μήκος. Σε κάθε ελατήριο ανατίθεται μια σταθερή αξονική ακαμψία, ένα αρχικό μήκος και ένας συντελεστής απόσβεσης (Kilian, 2005).

Οι δεσμοί ελατηρίων ασκούν δυνάμεις στα σωματίδια που συνδέουν, οι οποίες αναπτύσσονται συναρτήσει της θλιπτικής ή εφελκυστικής παραμόρφωσης των ελατηρίων από ένα ιδανικό μήκος. Σύμφωνα με τον ορισμό αυτό, το σύστημα αποκτά χαρακτηριστικά αυτοοργάνωσης, αφού ανά πάσα στιγμή τείνει να εξουδετερώσει τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις, οδηγώντας σταδιακά τα σωματίδια σε γεωμετρικές θέσεις, όπου δεν παραβιάζονται τα μήκη των ελατηρίων (Kanellos & Hanna, 2008).

Ένα σύστημα σωματιδίων - ελατηρίων συνήθως δε βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας κατά την εκκίνηση της προσομοίωσης, αλλά παρατηρείται κίνηση καθώς τα σωματίδια και τα ελατήρια αναζητούν τη θέση ισορροπίας τους. Όταν όλες οι δυνάμεις του συστήματος εξισορροπηθούν, το σύστημα σταθεροποιείται σε μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας (Kilian, 2005).

4.5.1.3.1. Προσδιορισμός ατομικών ιδιοτήτων

Σύμφωνα με τον Reeves (1983: 375), «τα συστήματα σωματιδίων είναι διαδικαστικές στοχαστικές αναπαραστάσεις ελεγχόμενες από διάφορες καθολικές παραμέτρους». Οι κινήσεις και μεταβολές των σωματιδίων μπορούν να εξαρτώνται από την επίλυση ενός συστήματος επιμέρους διαφορικών εξισώσεων, ή οι ιδιότητες των σωματιδίων μπορούν να αποδίδονται βάσει στατιστικής μηχανικής (Reeves, 1983: 361).

Κατά την εκκίνηση του συστήματος, για κάθε σωματίδιο καθορίζονται τιμές για μια σειρά ατομικών ιδιοτήτων, όπως η αρχική θέση, η αρχική ταχύτητα, το αρχικό μέγεθος και άλλες. Το πλήθος των πιθανών παραμέτρων ελέγχου ιδιοτήτων καθώς και οι παραλλαγές αυτών είναι τεράστιο (Reeves, 1983: 363), και ο προσδιορισμός τους εξαρτάται από το στόχο της κάθε εφαρμογής.

4.5.1.3.2. Δυνάμεις: Συναρτήσεις ενέργειας

Οι δυνάμεις που μπορεί να δρουν σε ένα τυπικό σύστημα σωματιδίων-ελατηρίων διακρίνονται γενικά σε εξωτερικές δυνάμεις, όπως η βαρύτητα και η τριβή, που ασκούνται στα σωματίδια από εξωτερικούς παράγοντες, στις δυνάμεις των ελατηρίων, που ασκούνται σε ζεύγη συνδεόμενων σωματιδίων λόγω της τάσης που αναπτύσσεται στο ελατήριο που τα συνδέει, και σε δυνάμεις έλξης και άπωσης που μπορεί να αναπτύσσονται μεταξύ σωματιδίων.

Οι εξωτερικές δυνάμεις, τις οποίες ο Witkin (1994) χαρακτηρίζει ως μοναδιαίες ή μονομελείς δυνάμεις [unary forces], γιατί ασκούνται ομοιοτρόπως σε κάθε μονάδα του συστήματος, αποτελούν αφαιρετικές προσομοιώσεις Νευτώνειων δυνάμεων, με συνηθέστερη αυτή της βαρύτητας f=m*g, όπου m η μάζα του κάθε σωματιδίου, που μπορεί να θεωρηθεί ίδια για όλα τα σωματίδια, και g η επιτάχυνση της βαρύτητας, η φορά και το μέτρο της οποίας προσδιορίζονται σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες κάθε εφαρμογής. Τα ελατήρια δεν δέχονται εξωτερικές δυνάμεις γιατί έχουν μηδενική μάζα.

Οι δυνάμεις των ελατηρίων, που ανήκουν στις ν-μελείς δυνάμεις [n-ary forces] (Witkin, 1994), αφού ασκούνται σε προκαθορισμένα υποσύνολα στοιχείων του συστήματος, αποτελούν προσομοιώσεις

των δυνάμεων που αναπτύσσονται σε πραγματικά ελατήρια και ακολουθούν το νόμο του Hooke f=k*x όπου x η γραμμική παραμόρφωση του ελατηρίου και k μια σταθερά που χαρακτηρίζει το ελατήριο και εκφράζει την ακαμψία του. Σύμφωνα με την αρχή αυτή, η δύναμη που ασκεί ένα ελατήριο στα σωματίδια που συνδέει είναι ανάλογη της παραμόρφωσής του, δηλαδή της διαφοράς του μήκους του από το ιδανικό του μήκος, η διεύθυνσή της είναι αυτή του άξονα του ελατηρίου και η φορά της, που είναι αντίθετη για κάθε σωματίδιο του ζεύγους, εξαρτάται από το αν το ελατήριο βρίσκεται σε εφελκυσμό ή σε θλίψη.

Οι δυνάμεις μεταξύ σωματιδίων, ή δυνάμεις χωρικής διάδρασης [forces of spatial interaction] (Witkin, 1994), αναφέρονται σε δυνάμεις έλξης και άπωσης που αναπτύσσονται μεταξύ σωματιδίων προκειμένου να αποφεύγεται η σύγκρουση ή η υπερβολική διασπορά τους. Οι δυνάμεις αυτές προσομοιώνουν ηλεκτροστατικές δυνάμεις Coulomb που αναπτύσσονται μεταξύ όμοια ή αντίθετα φορτισμένων σωματιδίων και είναι αντιστρόφως ανάλογες του τετραγώνου της απόστασής τους:

$F=ke*|q1*q2|/r^2$ όπου ke η σταθερά Coulomb, q1 και q2 τα φορτία των δύο σωματιδίων και r η μεταξύ τους απόσταση.

Τα μεγέθη και οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των δυνάμεων ονομάζονται νόμοι δυνάμεων [force laws] (Witkin, 1994). Σύμφωνα με τον Witkin (1994), οι νόμοι αυτοί δεν είναι νόμοι της Φυσικής, αλλά αποτελούν τμήμα της περιγραφής του συστήματος που μοντελοποιείται και συχνά αναπαριστούν ιδεατά τη συμπεριφορά πραγματικών υλικών ή φυσικών δομών. Επομένως, οι νόμοι δυνάμεων είναι αντικείμενο σχεδιασμού και διατυπώνονται κατά τρόπο ώστε να δημιουργούν τις συνθήκες εμφάνισης των επιθυμητών ιδιοτήτων και διατάξεων στο σύστημα. Συχνά η τελική συνθήκη εκφράζεται μέσω συναρτήσεων η τιμή των οποίων τείνει στο μηδέν όταν το σύστημα φτάνει στην επιθυμητή κατάσταση. Αυτού του τύπου οι συναρτήσεις αποκαλούνται συμπεριφορικές συναρτήσεις [behavior function] (Witkin, 1994).

Σύμφωνα με τον Reeves (1983) χαρακτηριστικό ενός συστήματος σωματιδίων είναι ότι η συνολική του μορφή δεν προσδιορίζεται μέσω σαφούς περιγραφής ορίων αλλά «ως ασαφής και μεταβαλλόμενος όγκος που ορίζεται από νέφη σωματιδίων. Ένα σύστημα σωματιδίων δεν είναι στατική οντότητα, αφού τα σωματίδια από τα οποία αποτελείται αλλάζουν θέση με το χρόνο. Ένα αντικείμενο που αναπαρίσταται από ένα σύστημα σωματιδίων δεν είναι ντετερμινιστικό, αφού το σχήμα και η μορφή του δεν είναι απόλυτα προσδιορισμένα. Αντίθετα, χρησιμοποιούνται στοχαστικές μέθοδοι για τη δημιουργία και τη μεταβολή της εμφάνισης του αντικειμένου» (Reeves, 1983: 359-360).

4.5.2. Εφαρμογές

Τα συστήματα σωματιδίων έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην περιοχή των ψηφιακών γραφικών για λόγους οπτικοποίησης και κυρίως για την προσομοίωση πολύπλοκων και ασαφών ογκομετρικών φυσικών φαινομένων, όπως η φωτιά, ο καπνός, εκρήξεις, υγρά, νέφη και άλλα δυναμικά φαινόμενα που δεν περιγράφονται από συμπαγείς όγκους ή επιφάνειες. Από τις πρώτες προσπάθειες προγραμματιστικού ορισμού συστημάτων σωματιδίων από τον Reeves (1983), παρατηρείται μεγάλη εξέλιξη στον τομέα, τόσο στην εφαρμογή στον τομέα της οπτικοποίησης όσο και στην περιοχή της υπολογιστικής βελτιστοποίησης (Kanellos & Hanna, 2008).

Η εισαγωγή προσομοιούμενων ελατηρίων που συνδέουν σωματίδια μεταξύ τους έχει διευρύνει ακόμα περισσότερο το φάσμα των εφαρμογών, επιτρέποντας τη μοντελοποίηση της φυσικής συμπεριφοράς και στερεών σωμάτων, όπως τα υφάσματα (Baraff & Witkin, 1998) και τα μαλλιά (Selle

et al, 2008), αλλά και της αλληλεπίδρασης μεταξύ στερεών σωμάτων, επιτρέποντας την προσομοίωση κρούσεων και δυναμικών παραμορφώσεων.

Εκτός από τα ψηφιακά γραφικά, τα συστήματα σωματιδίων - ελατηρίων έχουν βρει εφαρμογή στο σχεδιασμό, προσφέροντας λύσεις σε διαφορετικές περιοχές και προσεγγίσεις του σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, συστήματα σωματιδίων - ελατηρίων χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς διαφόρων συστημάτων, όπως για παράδειγμα στην προσομοίωση της συμπεριφοράς γραμμικών δοκών σε κάμψη (Adriaenssens, 2005).

Επίσης, έχουν εφαρμοστεί ως αριθμητικές μέθοδοι για την επίλυση γεωμετρικών σχεδιαστικών προβλημάτων, όπως η πυκνή διάταξη δίσκων [dense disk packing] στο επίπεδο (Lubachevsky, 1991, Graham & Lubachevsky, 1996) ή σφαιρών στον τρισδιάστατο χώρο (Gensane, 2004), η δυναμική χαλάρωση πλεγμάτων [mesh relaxation](Williams, 2001) και η βελτιστοποίηση κατάτμησης επιφανειών [tessellation optimization](Shimada, 1995).

Τα τελευταία χρόνια πληθαίνουν οι εφαρμογές που χρησιμοποιούν συστήματα σωματιδίων – ελατηρίων στα πλαίσια της συνθετικής διαδικασίας, για την αναζήτηση σχεδιαστικών μορφών με ένα δυναμικό, διαισθητικό και διαδραστικό τρόπο (Kilian & Ochsendorf, 2005, Fleischmann & Menges, 2012). Σύμφωνα με τους Kilian και Ochsendorf (2005), τα συστήματα σωματιδίων – ελατηρίων παρέχουν μια ισχυρή νέα μέθοδο δομικής αναζήτησης της μορφής σε ένα σχεδιαστικό πλαίσιο, που δεν περιορίζεται στην την ανάλυση ή τη βελτιστοποίηση υφιστάμενων μορφών, αλλά επιτρέπει την εύρεση δομικής μορφής σε πραγματικό χρόνο.

Μεταξύ άλλων εφαρμογών, η δυναμική προσομοίωση συστημάτων σωματιδίων έχει αποδειχθεί ως μια από τις καταλληλότερες μεθόδους στη νανοτεχνολογία, παρέχοντας τη δυνατότητα αποτελεσματικής περιγραφής και επεξεργασίας της ύλης σε νανο-κλίμακα (σε μοριακό και ατομικό επίπεδο) μέσω αφαιρετικών αναπαραστάσεων που ενσωματώνουν εξειδικευμένες συνθήκες, όπως ατομικές ιδιότητες των σωματιδίων, περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, νόμους διάδρασης, καθορισμό αρχικών συνθηκών και άλλες (Kanellos & Hanna, 2008).

4.5.2.1. Εφαρμογή στη σχεδίαση γράφων [Force-directed graph drawing]

Η προσομοίωση Συστήματος Σωματιδίων – Ελατηρίων χρησιμοποιείται και ως μέθοδος σχεδίασης γράφων, και κυρίως για τον υπολογισμό της διάταξης απλών μη- διατεταγμένων γράφων[71] [undirected graphs]. «Λόγω της φύσης του συστήματος σωματιδίων-ελατηρίων, που βασίζεται σε σημειακά στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους, μπορεί αδιαμεσολάβητα να αντιστοιχηθεί σε γράφο. Η δυναμική διαχείριση των γεωμετρικών θέσεων των σωματιδίων και των τοπολογικών συνδέσεων μέσω ελατηρίων που επιτυγχάνεται, το καθιστά κατάλληλο εργαλείο για τη διαχείριση της γεωμετρίας και τοπολογίας γράφων» (Kanellos & Hanna, 2008).

«Το πρόβλημα που είναι γνωστό ως σχεδίαση γράφου [graph drawing], είναι αυτό της μετατροπής ενός γράφου σε μια οπτική αναπαράστασή του, που αποδίδεται σχεδιαστικά» (Tunkelang, 1999: 3).

Η χρήση συστημάτων σωματιδίων-ελατηρίων για τη γραφική διάταξη γράφων, εντάσσει τα συστήματα αυτά στην κατηγορία των κατευθυνόμενων-από-δυνάμεις αλγορίθμων σχεδίασης [force-directed drawing algorithms]. Επίσης γνωστοί ως ενσωματωτές ελατηρίων [spring embedders], «αυτοί

[71] Ο άμεσος συσχετισμός των συστημάτων σωματιδίων-ελατηρίων με τους γράφους γίνεται προφανής αν αναφερθούμε στον ορισμό του γράφου, σύμφωνα με τον οποίο «ένας γράφος είναι μια συλλογή οντοτήτων και των συσχετισμών τους. Αναφερόμαστε στις οντότητες ως κόμβους (ή κορυφές)του γράφου και στους συσχετισμούς τους ως ακμές (ή συνδέσεις)» (Tunkelang, 1999: 9).

οι αλγόριθμοι υπολογίζουν τη διάταξη ενός γράφου χρησιμοποιώντας μόνο πληροφορία που εμπεριέχεται εντός της δομής του ίδιου του γράφου, αντί να βασίζονται σε εξειδικευμένη γνώση πεδίου [domain-specific knowledge]. Γράφοι που σχεδιάζονται με αυτούς τους αλγόριθμους τείνουν να είναι αισθητικά ικανοποιητικοί, εμφανίζουν συμμετρίες και τείνουν να παράγουν διατάξεις χωρίς διασταυρώσεις για επίπεδους γράφους» (Kobourov, 2013: 383).

«Οι κατευθυνόμενοι-από-δυνάμεις αλγορίθμοι συνήθως εκφράζουν το πρόβλημα της σχεδίασης ως πρόβλημα αριθμητικής βελτιστοποίησης χωρίς περιορισμούς [unconstrained numerical optimization]. Βασίζονται σε ένα μοντέλο Φυσικής, με βασικό αισθητικό κριτήριο η εγγύτητα στο σχέδιο να αντιστοιχεί στην εγγύτητα εντός του γράφου» (Tunkelang, 1999: 22).

Σύμφωνα με τον Tunkelang (1999: 3), οι περισσότεροι αλγόριθμοι μοντελοποιούν το σχεδιασμό γράφου με μια φυσική αναλογία, αναπαριστώντας ένα γράφο ως ένα σύστημα ελατηρίων και άλλων φυσικών στοιχείων και προσομοιώνοντας τη χαλάρωση [relaxation] αυτού του φυσικού συστήματος. Η επίλυση του προβλήματος του σχεδιασμού γράφου εμπεριέχει τόσο την επιλογή του φυσικού μοντέλου όσο και την εφαρμογή αριθμητικής βελτιστοποίησης για την προσομοίωση του φυσικού συστήματος.

Στην προσέγγιση μέσω αλγορίθμων σχεδίασης κατευθυνόμενων-από-δυνάμεις η επιλογή των χαρακτηριστικών του φυσικού συστήματος εκφράζει σχεδιαστικές προθέσεις ως προς την απόδοση του γράφου με όρους νόμων δυνάμεων[72].

Οι πρώτες εφαρμογές υπολογισμού δυνάμεων ελατηρίων για τη σχεδίαση γράφων αποδίδονται στον Tutte, το 1963. Ο αλγόριθμος σχεδίασης γράφων του Tutte (1963) βασίζεται σε βαρυκεντρικές αναπαραστάσεις, όπου η δύναμη που ασκείται σε μια σύνδεση είναι ανάλογη της απόστασης μεταξύ των συνδεόμενων κόμβων και τα ελατήρια έχουν μηδενικό ιδανικό μήκος, ενώ δεν εφαρμόζονται ρητά απωθητικές δυνάμεις μεταξύ κόμβων.

Αργότερα, ο Eades (1984) αλλά και οι Fruchterman και Reingold (1991) ανέπτυξαν αλγορίθμους που βασίζονται σε δυνάμεις ελατηρίων, παρόμοιες με αυτές του νόμου του Hooke. Στα μοντέλα αυτά, οι ακμές λειτουργούν σαν ελατήρια που δρουν επί των άκρων τους με έναν λογαριθμικό νόμο φόρτισης και οι κόμβοι ως σημειακά ηλεκτρικά φορτία που αλληλεπιδρούν με έναν νόμο φόρτισης αντίστροφου τετραγώνου. Έτσι, εκτός των δυνάμεων των ελατηρίων, εφαρμόζονται απωθητικές δυνάμεις μεταξύ όλων των κόμβων ώστε να διατηρείται μια ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους, αλλά και ελκτικές δυνάμεις μεταξύ γειτονικών κόμβων ώστε να παραμένουν γειτονικοί και στη γραφική απόδοση (Kobourov, 2013).

Σε μια παρόμοια προσέγγιση, ο αλγόριθμος των Kamada και Kawai (1989) χρησιμοποιεί δυνάμεις ελατηρίων ανάλογες των θεωρητικών αποστάσεων μεταξύ ζευγών κόμβων στο γράφο, που καθορίζονται από τα μήκη των βραχύτερων διαδρομών μεταξύ τους. Ιδανικά, οι γεωμετρικές αποστάσεις μεταξύ των σχεδιαζόμενων κόμβων είναι ανάλογες με τις μεταξύ τους βραχύτερες διαδρομές. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτή η συνθήκη, εφαρμόζεται ένα σύστημα ελατηρίων, με ελατήρια μεταξύ όλων των ζευγών κόμβων και όχι μόνο μεταξύ των άμεσα συνδεόμενων στον αρχικό γράφο, που τείνει να μειώνει τη διαφορά μεταξύ της γεωμετρικής και της θεωρητικής απόστασης ζευγών κόμβων. Για κάθε ζεύγος κόμβων, οι Kamada και Kawai ορίζουν το ιδανικό μήκος του ελατηρίου ως ανάλογο της βραχύτερης διαδρομής που συνδέει τους δύο κόμβους στο γράφο και τη

[72] «Η προσέγγιση μέσω αλγορίθμων σχεδίασης κατευθυνόμενων-από-δυνάμεις εκφράζει τις αισθητικές προτιμήσεις σχεδιαστικής απόδοσης ως νόμους δυνάμεων που καθορίζουν την αρνητική κλίση μιας πεπλεγμένης συνάρτησης [implicit objective function]» (Tunkelang, 1999: 21).

σκληρότητα του ελατηρίου αντιστρόφως ανάλογη του ιδανικού μήκους (Tunkelang, 1999). Η επιθυμητή διάταξη έγκειται μόνο στις τάσεις των ελατηρίων, χωρίς να εφαρμόζονται άλλες απωθητικές ή ελκτικές δυνάμεις μεταξύ κόμβων.

Σε όλες αυτές τις προσεγγίσεις, σύμφωνα με τον Kobourov (2013: 383), «οι κατευθυνόμενες από δυνάμεις μέθοδοι ορίζουν μια αντικειμενική συνάρτηση [objective function] η οποία ανάγει κάθε διάταξη γράφου σε έναν πραγματικό αριθμό (R+) που αντιπροσωπεύει την ενέργεια της διάταξης. Αυτή η συνάρτηση ορίζεται κατά τρόπο ώστε χαμηλή ενέργεια να αντιστοιχεί σε διατάξεις όπου γειτονικοί κόμβοι βρίσκονται κοντά σε κάποια προκαθορισμένη απόσταση μεταξύ τους και μη-γειτονικοί κόμβοι είναι απομακρυσμένοι. Μια διάταξη για ένα γράφο υπολογίζεται καθορίζοντας ένα (συχνά τοπικό) ελάχιστο αυτής της συνάρτησης».

Σύμφωνα με τον Tunkelang (1999) οι κατευθυνόμενες από δυνάμεις προσεγγίσεις χρησιμοποιούν μια φυσική αναλογία για τη μοντελοποίηση του προβλήματος σχεδίασης γράφων. Μοντελοποιούν το σχέδιο ως ένα σύστημα δυνάμεων που ενεργούν στους κόμβους και στοχεύουν στην εύρεση μιας διάταξης όπου η καθαρή δύναμη που ασκείται σε κάθε κόμβο να είναι μηδενική. Ισοδύναμα, συσχετίζουν μια δυναμική ενέργεια με το σχέδιο και αναζητούν μια διάταξη για την οποία αυτή η ενέργεια είναι τοπικά ελάχιστη.

«Μια κατευθυνόμενη από δυνάμεις προσέγγιση αποτελείται από δύο στοιχεία. Το πρώτο είναι το μοντέλο της δύναμης ή της ενέργειας που ποσοτικοποιεί την ποιότητα ενός σχεδίου. Το δεύτερο είναι ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης για τον υπολογισμό ενός σχεδίου που είναι τοπικά βέλτιστο ως προς το μοντέλο αυτό» (Tunkelang, 1999: 23).

Η επιλογή των δυνάμεων που μοντελοποιούνται εξαρτάται από τις ιδιαιτερότητες της κάθε εφαρμογής. Ενώ η προσομοίωση τάσεων ελατηρίων είναι η συνηθέστερη, είναι δυνατό να μοντελοποιούνται και άλλες δυνάμεις, όπως ηλεκτροστατικές ελκτικές και απωθητικές δυνάμεις μεταξύ κόμβων ή και ακμών, βαρυτικές δυνάμεις που έλκουν όλο το σύστημα προς κάποια περιοχή του χώρου σχεδίασης, μαγνητικά πεδία που επηρεάζουν την κατανομήτωνκόμβων. Οι προσομοιώσεις των δυνάμεων αυτών αποτελούν αφαιρετικά μοντέλα συμπεριφοράς και δεν είναι απαραίτητο να ακολουθούν πραγματικούς φυσικούς νόμους. Για παράδειγμα, συχνά οι τάσεις των εικονικών ελατηρίων ακολουθούν λογαριθμικές και όχι γραμμικές συναρτήσεις, όπως συμβαίνει στα φυσικά ελατήρια, ή η βαρύτητα μοντελοποιείται απλά ως μια καθολική ελκτική δύναμη, αλλά η ισχύς της, η διεύθυνση και η φορά της μπορεί να καθορίζονται σύμφωνα με την επιθυμητή συμπεριφορά του συστήματος.

Η εφαρμογή αλγορίθμων κατευθυνόμενων-από-δυνάμεις για τη σχεδίαση προκαθορισμένων γράφων έχει συνήθως ως στόχο την επίτευξη μιας διάταξης του γράφου στο χώρο η οποία να τον καθιστά οπτικά ευανάγνωστο. Σύμφωνα με Eades (1984), τέτοιες διατάξεις είναι αισθητικά ικανοποιητικές και βασικό κριτήριο είναι να μην υπάρχουν διασταυρούμενες ακμές, τα μήκη όλων των ακμών να είναι κατά προσέγγιση ίσα και η διάταξη να εμφανίζεται κατά το δυνατό συμμετρική. Στην ίδια κατεύθυνση, οι Fruchterman και Reingold ενσωμάτωσαν στον αλγόριθμό τους του 1991 το επιπλέον κριτήριο της ισοκατανομής των κόμβων στο χώρο που καταλαμβάνει ο σχεδιαζόμενος γράφος (Kobourov, 2013: 385).

4.5.2.1.1. Προσδιορισμός νόμων δυνάμεων και παραμέτρων του μοντέλου

Προκειμένου να αποδοθεί ένας δεδομένος γράφος βάσει μιας κατευθυνόμενης-από-δυνάμεις προσέγγισης, το πρώτο βήμα είναι ο ορισμός των νόμων δυνάμεων που ποσοτικοποιούν σχεδιαστικά κριτήρια[73]. Όπως προαναφέρθηκε, η επιλογή των δυνάμεων εξαρτάται από το επιδιωκόμενο σχεδιαστικό αποτέλεσμα και από τη φύση και το πλήθος των δεδομένων. Συχνά, ο ακριβής προσδιορισμός του φυσικού μοντέλου και η ρύθμιση των παραμέτρων του πραγματοποιούνται εμπειρικά, μέσω διαδοχικών δοκιμών επί του συγκεκριμένου γράφου.

Πέρα από τις ιδιαιτερότητες και τις συγκεκριμένες προδιαγραφές του κάθε αλγορίθμου, επικρατεί ένα γενικά εφαρμοζόμενο μοντέλο μείωσης της συνολικής δυναμικής ενέργειας του συστήματος. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, οι κατευθυνόμενες-από-δυνάμεις μέθοδοι σχεδίασης γράφων χρησιμοποιούν μια αναλογία ελατηρίων για την αναπαράσταση των συνδέσεων, με τις θέσεις των κόμβων να βελτιώνονται σταδιακά μέχρι η συνολική ενέργεια του συστήματος, εκφρασμένη ως άθροισμα των τάσεων των ελατηρίων, να ελαχιστοποιηθεί.

Στις περισσότερες εφαρμογές, οι κατευθυνόμενοι από δυνάμεις αλγόριθμοι δεν εφαρμόζουν επιτάχυνση στις δυνάμεις και δεν υπάρχει κινητική ενέργεια ή ορμή στο φυσικό μοντέλο. Αντίθετα, σε κάθε επανάληψη μειώνεται η δυναμική ενέργεια του συστήματος. Ως αποτέλεσμα, το σύστημα μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση πρώτης τάξης διαφορικών εξισώσεων (Tunkelang, 1999: 23).

4.5.2.1.2. Επαναληπτική διαδικασία: Βήματα του αλγορίθμου

Όλες οι προσεγγίσεις αλγορίθμων κατευθυνόμενων από δυνάμεις είναι επαναληπτικές και λειτουργούν σε διακριτά υπολογιστικά βήματα.

Σε κάθε βήμα στη διαδικασία βελτίωσης των θέσεων των κόμβων υπολογίζεται η συνισταμένη όλων των δυνάμεων που ασκούνται σε έναν κόμβο και ο κόμβος μετακινείται ανάλογα προς τη δύναμη αυτή. Στο επόμενο βήμα, όλες οι δυνάμεις ξαναϋπολογίζονται και εκτελείται μια νέα μετακίνηση. «Για να αποφευχθεί η ταλάντωση, είναι σύνηθες στην αρχή να εκτελούνται κινήσεις που αντιστοιχούν σε μεγάλο ποσοστό της συνισταμένης δύναμης και στη συνέχεια να εκτελούνται όλο και μικρότερα βήματα για να επιτευχθεί σύγκλιση στο σημείο ελαχιστοποίησης των δυνάμεων» (Ward, Grinstein & Keim, 2010: 278).

4.5.2.1.3. Υπολογιστική πολυπλοκότητα

Ως αποτέλεσμα της επαναληπτική φύσης των αλγορίθμων αυτών, προκύπτει το ζήτημα της υπολογιστικής πολυπλοκότητας κάθε βήματος καθώς και του προσδιορισμού του πλήθους των βημάτων που απαιτούνται για την επίτευξη σύγκλισης σε μια τοπικά βέλτιστη διάταξη.

Α. Πλήθος στοιχείων

Η υπολογιστική πολυπλοκότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πλήθος των στοιχείων που αποτελούν το σύστημα, αφού για ένα δεδομένο μοντέλο προσομοίωσης φυσικών δυνάμεων οι υπολογισμοί που πρέπει να γίνουν σε κάθε χρονικό βήμα καθορίζονται από το πλήθος των

[73] Σύμφωνα με τον Tunkelang (1999: 56), «το πρόβλημα της σχεδίασης γράφων βάσει κατευθυνόμενων-από-δυνάμεις μεθόδων μπορεί να αναλυθεί σε τρία επιμέρους υπο-ζητήματα. Το πρώτο είναι ο ορισμός των νόμων δυνάμεων που ποσοτικοποιούν σχεδιαστικά κριτήρια. Το δεύτερο σχετίζεται με τον υπολογισμό των δυνάμεων κατά τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται η αρνητική κλίση μιας πεπλεγμένης αντικειμενικής συνάρτησης. Το τρίτο αναφέρεται στην εκτέλεση αριθμητικής βελτιστοποίησης προκειμένου να βρεθούν τοπικά ελάχιστα ως προς την προκαθορισμένη αντικειμενική συνάρτηση».

αλληλεπιδρώντων στοιχείων. Για ένα σύστημα με n σωματίδια που συνδέονται όλα μεταξύ τους με ελατήρια, υπάρχουν n*(n-1)/2 ελατήρια και σε κάθε κόμβο ασκούνται δυνάμεις από (n-1) ελατήρια που πρέπει να συνυπολογιστούν.

Επίσης, όσο αυξάνεται το μέγεθος του συστήματος και η πολυπλοκότητα των αλληλεπιδράσεων, μειώνεται η πιθανότητα ύπαρξης μιας ιδανικής διάταξης μηδενικής ενέργειας. Το σύστημα μπορεί να έρθει τελικά σε μια κατάσταση ισορροπίας, όπου όλες οι δυνάμεις αλληλοεξουδετερώνονται, αλλά δεν είναι μηδενικές.

Σύμφωνα με τον Kobourov (2013: 384) «η χρησιμότητα της βασικής κατευθυνόμενης-από-δυνάμεις προσέγγισης περιορίζεται σε μικρούς γράφους και τα αποτελέσματα είναι φτωχά για γράφους με περισσότερους από μερικές εκατοντάδες κόμβους. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους οι συμβατικοί κατευθυνόμενοι-από-δυνάμεις αλγόριθμοι δεν αποδίδουν ικανοποιητικά για μεγάλους γράφους. Ένα από τα βασικά εμπόδια είναι το γεγονός ότι το φυσικό μοντέλο τυπικά έχει πολλά τοπικά ελάχιστα».

Β. Πλήθος βημάτων

Το πλήθος των βημάτων που απαιτούνται για να φτάσει το σύστημα στην επιθυμητή κατάσταση ισορροπίας, ή έστω σε μια σχετικά σταθερή κατάσταση, δεν είναι δεδομένο ούτε εύκολα προσδιορίσιμο, καθώς μια βέλτιστη τελική διάταξη που θα μηδένιζε εντελώς τη δυναμική ενέργεια του συστήματος είναι σχεδόν αδύνατο να βρεθεί στις περισσότερες περιπτώσεις. Όσο αυξάνεται το πλήθος των στοιχείων και η πολυπλοκότητα του μοντέλου, τόσο η επίτευξη απόλυτης ισορροπίας δυσχεραίνεται. Για το λόγο αυτό, οι περισσότεροι αλγόριθμοι εφαρμόζουν ένα προκαθορισμένο πλήθος επαναλήψεων που θεωρείται αρκετό για τη σύγκλιση του συστήματος σε μια σχετικά σταθερή κατάσταση χαμηλής ενέργειας. Εναλλακτικά, μπορεί να οριστεί ένα ελάχιστο όριο ενέργειας ή μεταβολής κάτω από το οποίο θεωρείται ότι η διάταξη δεν βελτιώνεται περαιτέρω.

4.5.3. Εφαρμογή: Ο αλγόριθμος

Στην περίπτωση των πολυδιάστατων διανυσμάτων ιδιοτήτων των αδόμητων χώρων, μια προσομοίωση συστήματος σωματιδίων – ελατηρίων χρησιμοποιείται ως αριθμητική μέθοδος μείωσης διαστάσεων. Η εφαρμογή μπορεί να ενταχθεί δευτερευόντως και στην κατηγορία των κατευθυνόμενων-από-δυνάμεις αλγορίθμων σχεδίασης γράφων, με την έννοια ότι το τελικό αποτέλεσμα της προσομοίωσης είναι ένας δισδιάστατος γράφος στον οποίο οι αποστάσεις μεταξύ των κόμβων είναι ανάλογες των Ευκλείδειων αποστάσεων των αντίστοιχων διανυσμάτων ιδιοτήτων στον πολυδιάστατο χώρο. Ωστόσο διαφέρει ουσιαστικά από τις τυπικές εφαρμογές τέτοιων αλγορίθμων ως προς το γεγονός ότι δεν διατάσσει έναν προκαθορισμένο γράφο με δεδομένες συνδέσεις, αλλά ο γράφος υπολογίζεται και παράγεται δυναμικά βάσει της προσομοίωσης. Ο υπολογισμός του γράφου γίνεται σε πολυδιάστατο χώρο, ενώ η οπτικοποίησή του πραγματοποιείται σε δύο διαστάσεις. Αρχικά όλοι οι κόμβοι συνδέονται με όλους, ανά ζεύγη, με εικονικά ελατήρια και οι δυνάμεις που τους ασκούνται εκφράζουν τις αποστάσεις τους στον πολυδιάστατο χώρο ιδιοτήτων, με αποτέλεσμα η κατάσταση ισορροπίας του συστήματος, που αναπαρίσταται σε δισδιάστατο χώρο, να αποτελεί οπτικοποίηση της δομής του πολυδιάστατου συστήματος συσχετισμών μεταξύ των δεδομένων. Έτσι επιτυγχάνεται έμμεσα η μείωση διαστάσεων και η δημιουργία ενός γράφου που οπτικοποιεί με σαφήνεια το συσχετισμό των δεδομένων ως προς όλες τις διαστάσεις ταυτόχρονα.

Ο αλγορίθμος συντάχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Processing και για την προσομοίωση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο προσομοίωσης φυσικής VerletPhysics σε δύο διαστάσεις (VerletPhysics2D), της βιβλιοθήκης toxiclibs[74] για Processing.

4.5.3.1. Εισερχόμενα δεδομένα

Εισαγωγή δεδομένων

Τα δεδομένα εισάγονται σε μορφή πινάκων καταρτισμένων στο λογισμικό Office Excel, όπου κάθε γραμμή συνιστά και ένα πολυδιάστατο διάνυσμα, ενώ οι στήλες αντιστοιχούν στις ιδιότητες. Ο αλγόριθμος διαβάζει τα δεδομένα και αποθηκεύει κάθε εισερχόμενο διάνυσμα σε μια ξεχωριστή λίστα αριθμητικών τιμών. Εκτός από τις μετρήσεις, στον πίνακα έχουν προστεθεί σε ξεχωριστές στήλες και οι συντεταγμένες του κάθε αδόμητου χώρου στο χάρτη της περιοχής, που χρησιμοποιούνται για την αρχική τοποθέτηση των σωματιδίων στο επίπεδο.

Κανονικοποίηση δεδομένων

Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους, το πρώτο βήμα επεξεργασίας των εισερχόμενων διανυσμάτων είναι η κανονικοποίησή τους. Δεδομένης της ετερογένειας των ιδιοτήτων που ποσοτικοποιούνται, τόσο οι τιμές όσο και το εύρος τους εμφανίζουν πολύ μεγάλες αριθμητικές διαφοροποιήσεις. Προκειμένου όλα τα μεγέθη να συμμετάσχουν ισότιμα στον καθορισμό των δυνάμεων και να μην υπερισχύσουν τα μεγέθη εκείνα των οποίων οι τιμές και οι διακυμάνσεις είναι μεγαλύτερες, θεωρήθηκε σκόπιμο τα εισερχόμενα διανύσματα να κανονικοποιηθούν και οι συνιστώσες τους να αναχθούν σε ένα κοινό εύρος τιμών. Για το σκοπό αυτό συντάχθηκε μια αλγοριθμική διαδικασία που για κάθε μέτρηση διατρέχει όλα τα διανύσματα και εντοπίζει τη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή που εμφανίζει η εκάστοτε ιδιότητα για το σύνολο των αδόμητων χώρων. Βάσει αυτών των ακραίων τιμών, όλες οι τιμές της συγκεκριμένης ιδιότητας ανάγονται σε εύρος τιμών από 0 ως 1. Αφού ο αλγόριθμος επαναλάβει την ίδια διαδικασία για όλες τις ιδιότητες, τα εισερχόμενα δεδομένα παίρνουν τη μορφή διανυσμάτων, στα οποία οι τιμές των συντεταγμένων σε όλες τις διαστάσεις, δηλαδή τα μήκη των συνιστωσών τους, κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1.

Τα κανονικοποιημένα αυτά διανύσματα χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τον υπολογισμό των δυνάμεων που ασκούνται στα σωματίδια.

4.5.3.2. Αρχικοποίηση. Εκκίνηση του συστήματος Σωματιδίων – Ελατηρίων

4.5.3.2.1. Περιβάλλον: Προσομοίωση φυσικών νόμων

Για την προσομοίωση χρησιμοποιείται η προγραμματιστική κλάση VerletPhysics[75] της βιβλιοθήκης toxi.physics2d που επιτρέπει την άσκηση δυνάμεων και την ανάθεση συμπεριφοράς στα σωματίδια. Η κλάση VerletPhysics εφαρμόζει την ενσωμάτωση Verlet [Verlet integration], μια αριθμητική μέθοδο που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό νευτώνειων εξισώσεων κίνησης (Verlet, 1967). Είναι μια μέθοδος που παρέχει αριθμητική σταθερότητα, συνέχεια και αναστρεψιμότητα.

[74] http://toxiclibs.org/

[75] http://toxiclibs.org/docs/verletphysics/

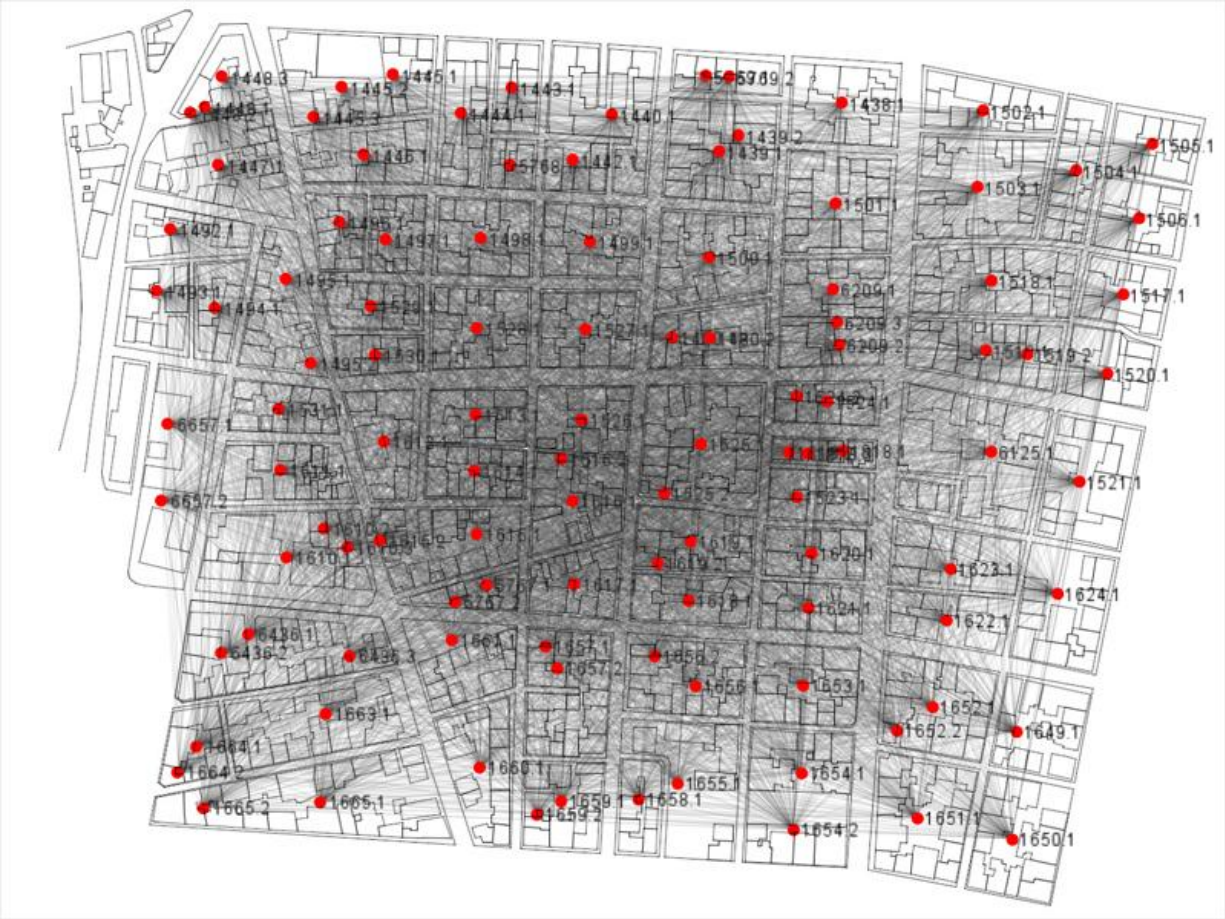
4.5.3.2.2. Πλήθος στοιχείων

Εφόσον κάθε αδόμητος χώρος αντιπροσωπεύεται από ένα σωματίδιο, το πλήθος των σωματιδίων του συστήματος είναι ίσο με το μέγεθος του δείγματος, δηλαδή 110. Το πλήθος αυτό είναι αρκετά μικρό ώστε να είναι διαχειρίσιμο από τον αλγόριθμο και να μπορεί να παράξει ικανοποιητικά αποτελέσματα, αφού σύμφωνα με τον Kobourov (2013: 384) η κατευθυνόμενη-από-δυνάμεις προσέγγιση είναι αποτελεσματική σε μικρούς γράφους που έχουν όχι περισσότερους από μερικές εκατοντάδες κόμβους.

Δεδομένου ότι όλα τα n=110 σωματίδια συνδέονται ανα ζεύγη με ελατήρια, το σύστημα περιλαμβάνει n*(n-1)/2 = 5995 ελατήρια και κάθε σωματίδιο δέχεται δύναμη από n-1=109 ελατήρια.

4.5.3.2.3. Αρχικοποίηση Σωματιδίων

Για κάθε ένα από τα εισερχόμενα διανύσματα δημιουργείται ένα σωματίδιο, που κατά την εκκίνηση της προσομοίωσης τοποθετείται στο χώρο της αναπαράστασης σύμφωνα με τη γεωγραφική θέση του αδόμητου χώρου που αντιπροσωπεύει στο χάρτη της περιοχής (Εικόνα 4 - 27). Όπως προαναφέρθηκε, τα σωματίδια είναι σημειακές μάζες, με θέση και ταχύτητα αλλά χωρίς χωρική υπόσταση. Όλα τα σωματίδια του συστήματος αρχικοποιούνται με μηδενική ταχύτητα και έχουν όλα την ίδια μάζα, ίση με τη μονάδα.



Εικόνα 4 - 27.
Αρχικοποίηση του συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων

Τα σωματίδια αρχικοποιούνται στη γεωγραφική τους θέση στο χάρτη και συνδέονται ανά ζεύγη με ελατήρια

Ακριβέστερα, δημιουργείται μια υπολογιστική κλάση που αντιπροσωπεύει τους αδόμητους χώρους. Κάθε στιγμιότυπο της κλάσης αυτής, που αντιπροσωπεύει έναν συγκεκριμένο αδόμητο χώρο, έχει ως

βασικό στοιχείο ένα σωματίδιο τύπου VerletParticle2D με τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν (μάζα, θέση, ταχύτητα), αλλά ενσωματώνει και επιπλέον χαρακτηριστικά, όπως ο κωδικός και το πολυδιάστατο διάνυσμα ιδιοτήτων του αντίστοιχου αδόμητου χώρου (Εικόνα 4 - 28). Στη συνέχεια, για λόγους απλοποίησης, τα στιγμιότυπα της κλάσης αυτής αποκαλούνται σωματίδια.

4.5.3.2.4. Αρχικοποίηση Ελατηρίων

Αφού δημιουργηθούν όλα τα σωματίδια και τους αποδοθούν οι ατομικές τους ιδιότητες, μεταξύ κάθε ζεύγους σωματιδίων δημιουργείται ένα ελατήριο τύπου VerletSpring2D. Όλα τα ελατήρια έχουν την ίδια σταθερά σκληρότητας (σταθερά Hooke) ή ισχύ [strength], στην οποία αποδίδεται χαμηλή τιμή (μετά από δοκιμές ορίστηκε k = 0.001), ώστε τα ελατήρια να είναι πολύ ελαστικά και να μπορούν να εκτείνονται σε όλο το εύρος του παραθύρου της προσομοίωσης, αφήνοντας στα σωματίδια μεγάλο εύρος κίνησης. Το ιδανικό μήκος του κάθε ελατηρίου, που ορίζει το μήκος του σε κατάσταση μηδενικής τάσης, ορίζεται ανάλογο της απόστασης των κανονικοποιημένων πολυδιάστατων διανυσμάτων που αντιστοιχούν στα σωματίδια που συνδέει. Για τον προσδιορισμό της απόστασης αυτής έχει γραφτεί συνάρτηση που υπολογίζει την Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ ζευγών διανυσμάτων σε πολυδιάστατο χώρο, σύμφωνα με τη σχέση:

$d = \sqrt{((x[i][1]-x[j][1])^2 + (x[i][2]-x[j][2])^2 + \ldots + (x[i][n]-x[j][n])^2)}$
ή $d=\sqrt{\sum(x[i][m]-x[j][m])^2}$ για m=1 ως n

όπου d η ζητούμενη πολυδιάστατη Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των κανονικοποιημένων διανυσμάτων ιδιοτήτων των σωματιδίων i και j, x[i][m] η τιμή της ιδιότητας του σωματιδίου i στη διάσταση m και x[j][m] η τιμή της ιδιότητας του σωματιδίου j στην ίδια διάσταση m (Εικόνα 4 - 28 αριστερά).

Επομένως, το ιδανικό μήκος του κάθε ελατηρίου δίνεται από τη σχέση:

restLength = α * d, όπου α μια σταθερά, κοινή για όλα τα ελατήρια

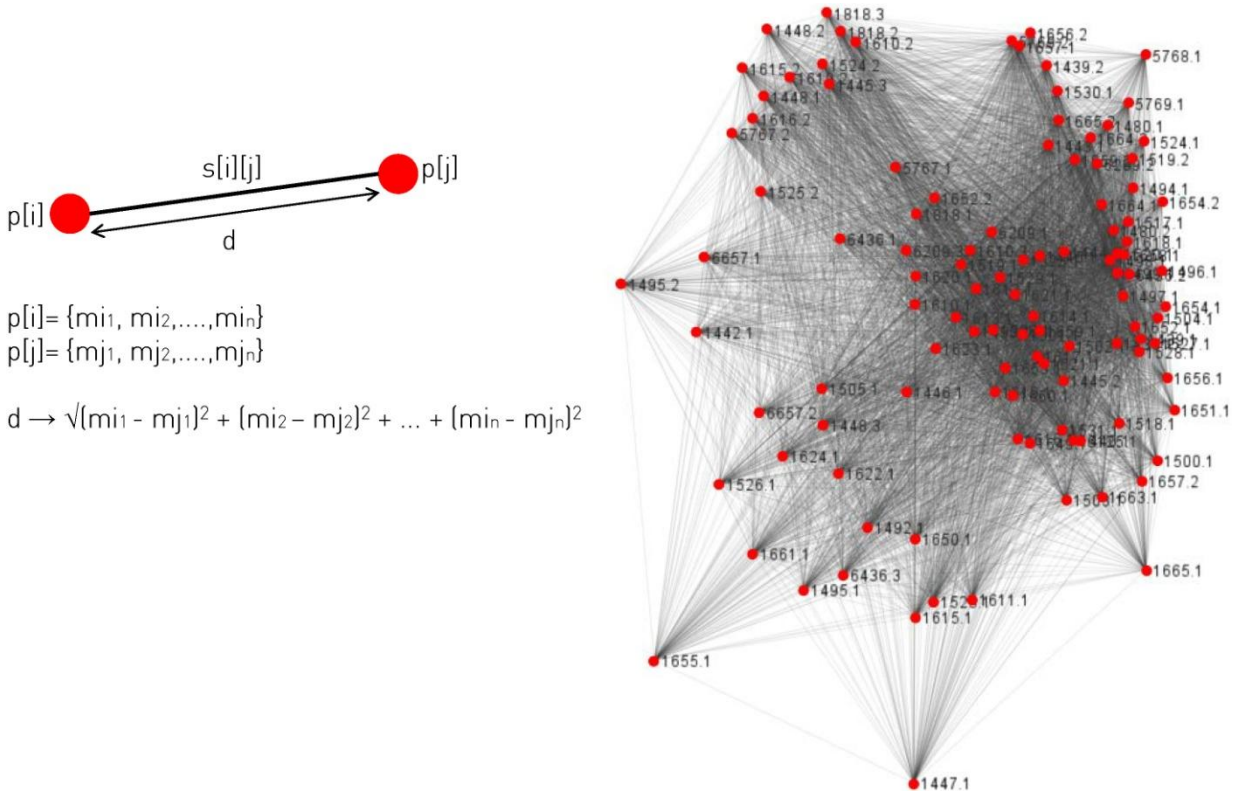
Η δύναμη που ασκεί κάθε ελατήριο στα σωματίδια που συνδέει σύμφωνα με το νόμο του Hooke είναι ανάλογη της παραμόρφωσής του, δηλαδή της μετατόπισής του από το ιδανικό του μήκος. Ο νόμος του Hooke f=k*x γράφεται και:

f(t)=k*|restLength-length(t)|

όπου f(t) η τάση του ελατηρίου τη χρονική στιγμή t, k η σταθερά του ελατηρίου, restLength το ιδανικό του μήκος και length(t) το πραγματικό του μήκος τη χρονική στιγμή t.

Καθορίζοντας το ιδανικό μήκος των ελατηρίων κατ' αυτόν τον τρόπο, τα σωματίδια των οποίων τα διανύσματα διαφέρουν λιγότερο τείνουν να έρθουν πλησιέστερα μεταξύ τους, ενώ εκείνα των οποίων τα διανύσματα διαφέρουν περισσότερο τείνουν να παραμένουν απομακρυσμένα[76].

[76] Κατά την εκκίνηση του συστήματος, εφόσον οι θέσεις των σωματιδίων προσδιορίζονται από τη γεωγραφική θέση των αδόμητων χώρων που αντιπροσωπεύουν στο χάρτη της περιοχής, τα ελατήρια είναι παραμορφωμένα. Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, τα ελατήρια τείνουν να επιτύχουν το ιδανικό τους μήκος, το οποίο εξαρτάται από την απόσταση των διανυσμάτων ιδιοτήτων των αδόμητων χώρων, το οποίο δεν σχετίζεται με τη γεωγραφική τους θέση.



Εικόνα 4 - 28.
Σχηματική λειτουργία και τελική κατάσταση του συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων

Υπολογισμός πολυδιάστατης Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ ζεύγους σωματιδίων που συνδέονται με ελατήριο (αριστερά) και κατάσταση ισορροπίας του συστήματος (δεξιά)

4.5.3.3. Δυνάμεις

Η κλάση VerletPhysics2D επιτρέπει την άσκηση δυνάμεων και την ανάθεση συμπεριφοράς στα σωματίδια. Επειδή κύριος στόχος της εφαρμογής είναι η μείωση διατάσεων και η απόδοση των αποστάσεων των διανυσμάτων ιδιοτήτων στον πολυδιάστατο χώρο, επιλέχθηκε να εφαρμοστούν αποκλειστικά δυνάμεις που προκαλούνται από την παραμόρφωση των ελατηρίων, ούτως ώστε η τελική διάταξη να προκύπτει από την κατανομή των ιδανικών μηκών τους. Έτσι επιλέγεται μηδενική βαρύτητα και μηδενική τριβή. Επίσης, δεν εφαρμόζονται ηλεκτροστατικές ελκτικές ή απωθητικές δυνάμεις μεταξύ των σωματιδίων.

Η επιλογή σύνδεσης όλων των σωματιδίων με ελατήρια ανά ζεύγη και η εφαρμογή δυνάμεων που προέρχονται αποκλειστικά από τα ελατήρια είναι κοντά στη λογική του αλγορίθμου των Kamada και Kawai. Η βασική διαφορά είναι ότι στον αλγόριθμο Kamada – Kawai δίνεται ένας υφιστάμενος γράφος, με προκαθορισμένες συνδέσεις και τα ιδανικά μήκη των ελατηρίων καθορίζονται ανάλογα με τη θεωρητική απόσταση μεταξύ των αντίστοιχων κόμβων στο γράφο, που προκύπτει από τον υπολογισμό της βραχύτερης διαδρομής από τον ένα κόμβο στον άλλο. Αντίθετα, στην παρούσα εφαρμογή, ο γράφος δεν είναι δεδομένος, αλλά αποτελεί ζητούμενο της διαδικασίας. Η προσομοίωση δεν χρησιμοποιείται μόνο ως μέσο αναπαράστασης αλλά κυρίως ως μέθοδος δημιουργίας του γράφου. Οι συνδέσεις είναι αρχικά άγνωστες, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατος ο υπολογισμός βραχύτερων διαδρομών μεταξύ κόμβων. Τα ιδανικά μήκη των ελατηρίων καθορίζονται βάσει της απόστασης των κόμβων στον πολυδιάστατο χώρο των αρχικών δεδομένων.

4.5.3.4. Βήματα

Η προσομοίωση τρέχει σε διαδοχικά βήματα. Σε κάθε βήμα, υπολογίζεται η συνισταμένη όλων των δυνάμεων που ασκούνται σε κάθε σωματίδιο και το σωματίδιο μετατοπίζεται ανάλογα. Τοβήμα ολοκληρώνεται με τη μετακίνηση όλων των σωματιδίων. Στο επόμενο βήμα ξαναϋπολογίζονται όλες οι δυνάμεις βάσει των νέων θέσεων των σωματιδίων και πραγματοποιείται μια νέα μετατόπιση του κάθε σωματιδίου διαδοχικά. Κάθε νέα μετατόπιση τείνει να μειώνει τη συνολική ενέργεια του συστήματος, ή το άθροισμα των τάσεων των ελατηρίων, με αποτέλεσμα μετά από πλήθος επαναλήψεων το σύστημα να φτάνει σε μια κατάσταση ισορροπίας, όπου η ενέργεια έχει ελαχιστοποιηθεί και οι περαιτέρω μετακινήσεις είναι σχεδόν μηδενικές.

Δεδομένου ότι όλα τα σωματίδια συνδέονται με όλα τα υπόλοιπα μέσω ελατηρίων με διαφορετικά ιδανικά μήκη, η κίνηση κάθε σωματιδίου εξαρτάται από τη συνολική διάταξη όλου του συστήματος. Με τον τρόπο αυτό, η απόδοση των συσχετισμών των πολυδιάστατων διανυσμάτων δεν περιορίζεται σε ζεύγη σημείων, αλλά αφορά ολόκληρο το σύστημα με αποτέλεσμα τα πιο παρόμοια σωματίδια σταδιακά να ομαδοποιούνται μεταξύ τους (Εικόνα 4 - 28 δεξιά).

Στην ενσωμάτωση Verlet ο υπολογισμός των δυνάμεων βασίζεται στις θέσεις των σωματιδίων ανα πάσα στιγμή και πραγματοποιείται σε επιμέρους υπολογιστικά βήματα. Σε κάθε χρονικό βήμα μπορεί να περιλαμβάνεται προκαθορισμένο πλήθος βημάτων επίλυσης περιορισμών. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή πραγματοποιούνται 50 επιλύσεις ανά χρονικό βήμα[77].

4.5.3.5. Συνθήκη τερματισμού

Ιδανικά, όταν το σύστημα ισορροπήσει, θα πρέπει η ενέργειά του να είναι μηδενική και όλα τα ελατήρια να έχουν λάβει το ιδανικό τους μήκος. Λόγω όμως του πλήθους των στοιχείων και της πολυπλοκότητας των διασυνδέσεων, αυτό είναι σχεδόν αδύνατο. Έτσι, η τελική κατάσταση εκφράζεται από μια διάταξη μη μηδενικής δυναμικής ενέργειας, στην οποία όλες οι δυνάμεις αλληλοεξουδετερώνονται.

4.5.3.6. Αποτελέσματα

Δοκιμές με διαφορετικές τιμές στις παραμέτρους του συστήματος οδήγησαν σε τοπολογικά όμοια αποτελέσματα, με μικρές γεωμετρικές διαφοροποιήσεις. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι η μεταβολή του συντελεστή σκληρότητας των ελατηρίων καθώς και της σταθεράς αναλογίας ιδανικού μήκους προς πολυδιάστατη απόσταση, είχε ως αποτέλεσμα τη μεταβολή μόνο της κλίμακας του γράφου και όχι της δομής του. Μεταβάλλοντας τις τιμές αυτές ο γράφος εμφανίζεται πανομοιότυπος, αλλά σε μεγέθυνση ή σμίκρυνση, ανάλογα με τη μεταβολή των τιμών. Για παράδειγμα, όσο μεγαλώνει η ελαστικότητα των ελατηρίων (δηλαδή μικραίνει η σταθερά σκληρότητας) τόσο ο γράφος εξαπλώνεται στο επίπεδο, διατηρώντας όμως τη σχετική θέση των κόμβων και τα σχετικά μήκη των συνδέσεων. Το ίδιο συμβαίνει αν αυξηθεί η σταθερά συσχετισμού του ιδανικού μήκους με την πολυδιάστατη απόσταση των σωματιδίων.

[77] Επομένως το θεωρητικό βήμα του αλγορίθμου, κατά το οποίο υπολογίζονται οι δυνάμεις και πραγματοποιούνται οι μετακινήσεις όλων των κόμβων, δεν συμπίπτει με το χρονικό βήμα και το υπολογιστικό βήμα.

4.5.3.7. Εξερχόμενα

Δεδομένου ότι κυρίαρχη επιδίωξη της προσομοίωσης είναι η μείωση διαστάσεων, το βασικό εξερχόμενο είναι η θέση των σωματιδίων στη δισδιάστατο κόσμο του μοντέλου. Έτσι, εξάγονται σε πίνακες οι συντεταγμένες (x,y) του κάθε σωματιδίου, μαζί με τον κωδικό του αδόμητου χώρου στον οποίο αντιστοιχεί το σωματίδιο. Με τον τρόπο αυτό αποθηκεύεται η προκύπτουσα δισδιάστατη κατανομή σημείων, οι σχετικές θέσεις των οποίων εκφράζουν την απόσταση των αντίστοιχων διανυσμάτων στον πολυδιάστατο χώρο.

4.5.3.7.1. Προετοιμασία επόμενου σταδίου

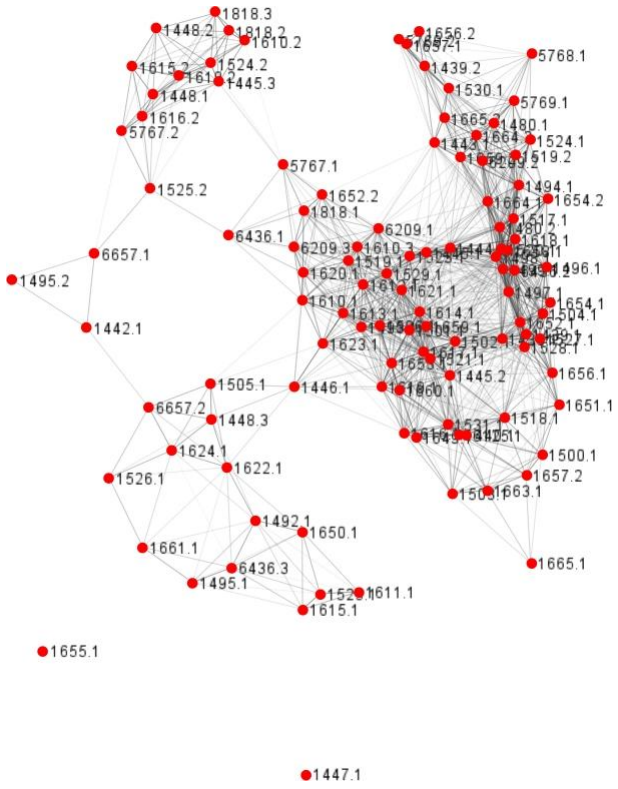
Το δισδιάστατο νέφος σημείων είναι και το τελικό ζητούμενο της παρούσας φάσης.

Στα πλαίσια όμως της προσομοίωσης πραγματοποιείται ένα επιπλέον βήμα, που αντιστοιχεί στην επόμενη φάση της διαδικασίας. Εξαιτίας της άμεσης εφαρμογής συστημάτων σωματιδίων – ελατηρίων ως αλγορίθμων σχεδίασης γράφων κατευθυνόμενων από δυνάμεις, η προσομοίωση προσαρμόζεται κατάλληλα ούτως ώστε ταυτόχρονα με τη μείωση διαστάσεων να παράγει έναν γράφο εγγύτητας[78] της δισδιάστατης κατανομής, που είναι απαραίτητος στο επόμενο στάδιο.

Δημιουργία συνδέσεων βάσει απόστασης

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η προσομοίωση χρησιμοποιείται πρώτον για μείωση διαστάσεων, με τη μεταγραφή των πολυδιάστατων αποστάσεων μεταξύ διανυσμάτων ιδιοτήτων σε ιδανικά μήκη ελατηρίων που συνδέουν τα σωματίδια που αντιπροσωπεύουν τα αντίστοιχα διανύσματα, και δευτερευόντως για τη δημιουργία ενός δισδιάστατου γράφου, στον οποίο οι αποστάσεις μεταξύ των κόμβων εκφράζουν τις πολυδιάστατες αυτές αποστάσεις και οι ακμές συνδέουν τους ισχυρότερα αλληλοσυσχετιζόμενους κόμβους. Στην προσομοίωση όλοι οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους ανα ζεύγη με εικονικά ελατήρια (Εικόνα 4 - 28 δεξιά), αλλά δεν ισχύει το ίδιο για τις ακμές του γράφου, δηλαδή κάθε ελατήριο δεν αποτελεί απαραίτητα ακμή (Εικόνα 4 - 29). Οι ακμές δημιουργούνται δυναμικά καθ' όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, ανάλογα με την απόσταση μεταξύ κόμβων. Ορίζεται ένα μέγιστο όριο απόστασης, πέραν του οποίου οι κόμβοι θεωρούνται ασύνδετοι, ενώ όσοι κόμβοι βρίσκονται πλησιέστερα μεταξύ τους από το όριο αυτό, συνδέονται με μια ακμή. Καθώς οι κόμβοι μετακινούνται υπό την επίδραση των τάσεων των ελατηρίων, νέες ακμές δημιουργούνται ενώ άλλες καταργούνται, ανάλογα με την απόσταση μεταξύ κόμβων σε κάθε χρονική στιγμή. Σε κάθε ακμή θεωρείται ότι ανατίθεται ένα βάρος αντιστρόφως ανάλογο του μήκους της. Για λόγους οπτικοποίησης, οι ακμές αναπαρίστανται με διαφορετική ένταση ανάλογα με το βάρος τους, με τις βραχύτερες να εμφανίζονται εντονότερες από ότι οι μακρύτερες. Με την απεικόνιση αυτή παρέχεται η δυνατότητα παρακολούθησης της μεταβολής των συσχετισμών κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης. Όταν μετά από μεγάλο πλήθος βημάτων το σύστημα έρθει σε ισορροπία και δεν παρατηρείται περαιτέρω μετατόπιση των κόμβων, θεωρείται ότι έχει επιτευχθεί η τελική διάταξη του γράφου και οι συνδέσεις στην κατάσταση αυτή αποτελούν και τις οριστικές ακμές του γράφου, με τα αντίστοιχα βάρη τους (Εικόνα 4 - 29).

[78] Για τον ορισμό και την περιγραφή του γράφου εγγύτητας βλ. κεφ. 5.4.1.4.



Εικόνα 4 - 29.

Παραγόμενος γράφος: Δημιουργία συνδέσεων βάσει απόστασης

Όλα τα σωματίδια ενώνονται ανά ζεύγη με αόρατα ελατήρια, τα οποία καθορίζουν την τελική κατάσταση ισορροπίας. Οπτικοποιούνται μόνο οι συνδέσεις εκείνες που είναι βραχύτερες από το προκαθορισμένο όριο απόστασης, ενώ η διαφάνεια των συνδέσεων αντιστοιχεί στο βάρος τους, που είναι αντιστρόφως ανάλογο του μήκους τους.

Δεδομένου ότι η οπτικοποίηση του γράφου δεν είναι ο κύριος στόχος της προσομοίωσης, δεν υπάρχει απαίτηση βελτιστοποίησης της διάταξης ως προς την επιπεδότητά της, επομένως δεν αποκλειεται η εμφάνιση διασταυρώσεων στις ακμές.

Η δομή του γράφου που προκύπτει εξάγεται σε μορφή πινάκων. Συγκεκριμένα εξάγονται λίστες με όλα τα σωματίδια, τις συνδέσεις τους, καθώς και τα βάρη των συνδέσεων. Οι πίνακες αυτοί θα χρησιμοποιηθούν στην επόμενη φάση για την ανάλυση του γράφου εγγύτητας.

Επιπλέον, για λόγους οπτικοποίησης, δημιουργήθηκε και μια παραλλαγή του αλγορίθμου, όπου εκτός από τα ελατήρια μεταξύ όλων των ζευγών κόμβων, κάθε σωματίδιο συνδέεται μέσω ενός επιπλεόν ελατηρίου με τη γεωγραφική του θέση στο χάρτη της περιοχής, με αποτέλεσμα να περιορίζεται η κινητικότητά του σε μια εμβέλεια γύρω από την αρχική του θέση (Εικόνα 4 - 30). Η προσομοίωση αυτή οπτικοποιεί την τοπικότητα ή διατοπικότητα των εντάσεων των συσχετισμών, ενώ αποδίδει και μια φορά στην τάση των σωματιδίων να συγκλίνουν ή να αποκλίνουν μεταξύ τους.

Εικόνα 4 - 30.

Οπτικοποίηση στο χάρτη της περιοχής

Τα σωματίδια, εκτός από τις μεταξύ τους συνδέσεις, συνδέονται με ένα επιπλέον ελατήριο με τη γεωγραφική τους θέση στο χάρτη

Κεφάλαιο 5

5. Συσταδοποίηση: Κατηγοριοποίηση και εξαγωγή χωρικών τύπων

Με την εφαρμογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, των Νευρωνικών Δικτύων Kohonen και της προσομοίωσης συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων, επιτυγχάνεται η μείωση του πλήθους των διαστάσεων του αναπαραστατικού χώρου, χωρίς να χαθεί η δομή των συσχετισμών που εμφανίζονται στον αρχικό πολυδιάστατο χώρο.

Και οι τρεις μέθοδοι που εφαρμόστηκαν για μείωση διαστάσεων καταλήγουν σε δισδιάστατες ή τρισδιάστατες κατανομές σημείων χωρίς ρητές συνδέσεις μεταξύ τους, δηλαδή σε νέφη σημείων, όπου ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενοι αδόμητοι χώροι αναπαρίστανται από σημεία που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, ενώ χώροι που διαφέρουν σημαντικά εμφανίζονται απομακρυσμένοι. Με αυτή την έννοια, η απόσταση αποδίδει αφηρημένους βαθμούς διαφοροποίησης. Παρόλο που αυτή η γραφική απόδοση παρέχει μια γενική οπτικοποίηση συγκλίσεων και αποκλίσεων ως προς όλες τις μετρήσεις ταυτόχρονα και είναι δυνατό να διακριθούν συγκεντρώσεις σημείων και περιοχές ασυνέχειας, δεν παρατηρείται η εμφάνιση σαφώς ορισμένων υποσυνόλων και διακριτών ομάδων που θα επέτρεπαν την άμεση κατηγοριοποίηση των αδόμητων χώρων σε αντίστοιχους χωρικούς τύπους.

Προκειμένου να αποκαλυφθούν διακριτές συστάδες, πρέπει να γίνει ορατή η δομή των συσχετισμών μεταξύ των σημείων, περνώντας από την κατανομή ασύνδετων σημείων στη δικτυακή δομή. Το πρώτο βήμα προς αυτό το στόχο έγκειται στη δημιουργία ενός πλήρους γράφου για κάθε μια από τις τρεις κατανομές, συνδέοντας όλα τα σημεία κάθε νέφους μεταξύ τους ανα ζεύγη. Σε κάθε σύνδεση ανατίθεται ένα βάρος ή βαθμός ανάλογα με το μήκος της. Έτσι, σημεία που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους συνδέονται με ισχυρές συνδέσεις, ενώ όσο πιο απομακρυσμένα είναι, τόσο ασθενέστερες είναι και οι συνδέσεις τους. Ορίζεται ένα όριο απόστασης βάσει του οποίου οι ασθενέστερες συνδέσεις, που αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες του ορίου αποστάσεις, θεωρούνται αμελητέες.

Το δεύτερο βήμα αποτελεί την καθεαυτό εξαγωγή συστάδων από τους παραγόμενους διαβαθμισμένους γράφους μέσω της ανάλυσής τους και του υπολογισμού της δομοστοιχείωσής τους [modularity]. Κάθε συστάδα που προκύπτει από την ανάλυση θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει έναν διακριτό γενόσημο χωρικό τύπο.

5.1. Ανάλυση Συστάδων [Cluster Analysis]

5.1.1. Το πρόβλημα της συσταδοποίησης

Προκειμένου να εξαχθούν διακριτές κατηγορίες χώρων από την αναπαράστασή τους ως δισδιάστατο ή τρισδιάστατο νέφος σημείων, που προκύπτει από τη διαδικασία μείωσης διαστάσεων, πρέπει να αναλυθεί η δομή των συσχετισμών μεταξύ των σημείων, βάσει κάποιου κριτηρίου εγγύτητας ή βαθμού ομοιότητας.

«Οι κλάσεις, ή εννοιολογικά νοηματοδοτούμενες ομάδες αντικειμένων που μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον τρόπο που αναλύουμε και περιγράφουμε τον κόσμο. Πράγματι, οι άνθρωποι έχουν την ικανότητα διαχωρισμού αντικειμένων σε ομάδες

(συσταδοποίηση) και ανάθεσης συγκεκριμένων αντικειμένων σε αυτές τις ομάδες (κατηγοριοποίηση)» (Tan et al, 2005: 487).

Η αντιληπτική ή υπολογιστική ανάλυση της δομής ενός συνόλου δεδομένων προκειμένου να αποκαλυφθεί η ύπαρξη (ή μη) υποομάδων ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενων στοιχείων αναφέρεται και ως πρόβλημα της συσταδοποίησης[1]. Η συσταδοποίηση είναι μια ειδική περίπτωση κατηγοριοποίησης (Kendall, 1966) και σύμφωνα με τον Hartigan (1975), αναφέρεται στη διαδικασία της οργάνωσης αντικειμένων σε ομάδες των οποίων τα μέλη είναι κατά κάποιον τρόπο παρόμοια.

Ένας αλγόριθμος συσταδοποίησης είναι «ένας αλγόριθμος με τον οποίο αντικείμενα ομαδοποιούνται σε κλάσεις, έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η ομοιότητα εντός της κλάσης και να ελαχιστοποιείται η ομοιότητα μεταξύ κλάσεων» (Han & Kamber, 2000).

5.1.2. Ορισμός της συστάδας

Οι υποενότητες ή κλάσεις που εντοπίζονται εντός ενός συνόλου δεδομένων ονομάζονται συστάδες [clusters], ομάδες, συσσωματώσεις ή κοινότητες. Κατά τους Jain & Dubes (1988: 1), «μια συστάδα αποτελείται από ένα πλήθος παρόμοιων αντικειμένων που συλλέγονται ή ομαδοποιούνται μαζί».

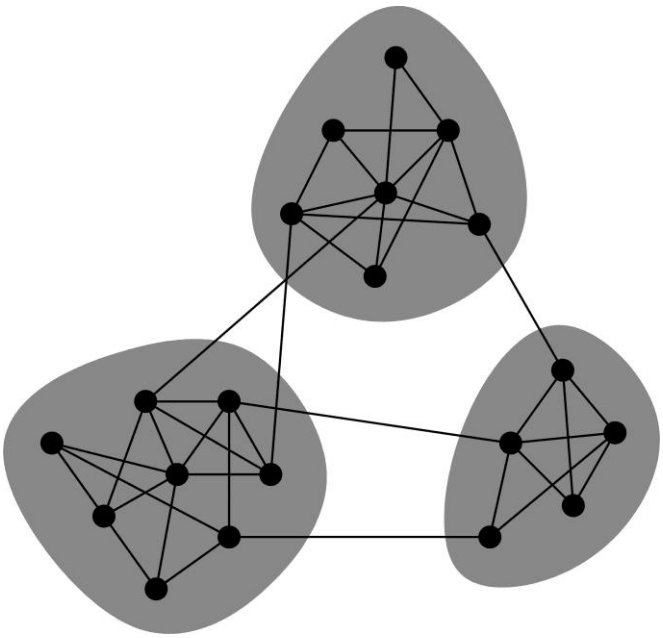
Μια συστάδα ορίζεται γενικά ως ένα σύνολο οντοτήτων που είναι παρόμοιες μεταξύ τους, ενώ διαφέρουν από εκείνες που ανήκουν σε διαφορετικές συστάδες (Everitt, 1974, Everitt & Hothorn, 2011, Han at al, 2012), δηλαδή ως ένα υποσύνολο στοιχείων ενός συνόλου που συσχετίζονται μεταξύ τους εντονότερα από ότι συσχετίζονται με τα υπόλοιπα στοιχεία του συνόλου, ως προς κάποιο χαρακτηριστικό.

Στην ειδική περίπτωση που τα αντικείμενα προς κατηγοριοποίηση αναπαρίστανται ως σημεία σε κάποιο χώρο μετρήσεων, ο Everitt (1974) περιγράφει μια συστάδα ως «μια συγκέντρωση σημείων στο χώρο ελέγχου τέτοια ώστε η απόσταση μεταξύ οποιωνδήποτε δύο σημείων εντός της συστάδας να είναι μικρότερη από την απόσταση μεταξύ οποιουδήποτε σημείου εντός της συστάδας και οποιουδήποτε σημείου εκτός αυτής.» Σύμφωνα με αυτό το γεωμετρικό ορισμό, «οι συστάδες μπορούν να περιγραφούν ως συνδεδεμένες περιοχές ενός πολυδιάστατου χώρου που περιέχει μια σχετικά υψηλή πυκνότητα σημείων, διαχωριζόμενες από άλλες τέτοιες περιοχές από μια περιοχή που περιλαμβάνει σχετικά χαμηλή πυκνότητα σημείων» (Everitt, 1974).

Αντίστοιχα, ο Bishop (2006: 424) αναφέρει ότι «διαισθητικά, αντιλαμβανόμαστε μια συστάδα ως μια ομάδα σημείων δεδομένων οι μεταξύ αποστάσεις των οποίων είναι μικρές συγκρινόμενες με τις αποστάσεις τους από σημεία εκτός της συστάδας».

Στην περίπτωση που τα αντικείμενα προς κατηγοριοποίηση αναπαρίστανται ως σημεία και επιπλέον οι συσχετισμοί μεταξύ τους εκφράζονται ως συνδέσεις μεταξύ των αντίστοιχων σημείων, οι συστάδες μπορούν να περιγραφούν ως «πυκνά συνδεδεμένες ομάδες κόμβων με αραιές συνδέσεις μεταξύ ομάδων» (Newman, 2006: 8577), ή με όρους θεωρίας γράφων, κάθε συστάδα αποτελεί έναν «υπο-γράφο που δεν μπορεί να διαιρεθεί» (Newman, 2006: 8580) (Εικόνα 5 - 1).

[1] «Η ανάπτυξη της μεθοδολογίας συσταδοποίησης είναι πραγματικά διεπιστημονική. Ερευνητές από σχεδόν όλες τις περιοχές της επιστήμης που συλλέγουν δεδομένα, όπως ταξινόμοι, ψυχολόγοι, βιολόγοι, στατιστικοί, κοινωνικοί επιστήμονες και μηχανικοί, έχουν συμβάλει σ' αυτή» (Jain & Dubes, 1988: 4).



Εικόνα 5 - 1.
Συσταδοποίηση γράφου (Newman, 2006: 8577)

Οι συστάδες αναγνωρίζονται ως πυκνά συνδεδεμένες ομάδες κόμβων, με αραιές συνδέσεις μεταξύ τους

5.1.3. Η Ανάλυση Συστάδων ως ανεπίβλεπτη κατηγοριοποίηση

Μια συλλογή συστάδων ονομάζεται συσταδοποίηση (Tan at al, 2005: 491) . Η αναζήτηση διακριτών συστάδων για το διαχωρισμό ενός συνόλου δεδομένων σε υποσύνολα, δηλαδή για τη συσταδοποίησή του, πραγματοποιείται μέσω της Ανάλυσης Συστάδων [Cluster Analysis][2].

«Η Ανάλυση Συστάδων είναι η μελέτη αλγορίθμων και μεθόδων για ομαδοποίηση, ή κατηγοριοποίηση, αντικειμένων. Ένα αντικείμενο περιγράφεται είτε από ένα σύνολο μετρήσεων είτε από σχέσεις μεταξύ του αντικειμένου και άλλων αντικειμένων» (Jain & Dubes, 1988).

Για ένα σύνολο ποσοτικά εκφρασμένων δεδομένων, το πρόβλημα της συσταδοποίησης διατυπώνεται πολύ γενικά ως εξής: (Jain & Dubes, 1988: 90) «δεδομένων n αντικειμένων σε έναν d-διάστατο μετρικό χώρο, να καθοριστεί ένας διαχωρισμός των αντικειμένων σε k ομάδες, ή συστάδες, κατά τρόπο ώστε τα αντικείμενα εντός μιας συστάδας να είναι περισσότερο όμοια μεταξύ τους από οτι με αντικείμενα από άλλες συστάδες. Η τιμή του k μπορεί να είναι προκαθορισμένη ή όχι». Προκειμένου να μπορεί να πραγματοποιηθεί ο ζητούμενος διαχωρισμός, απαιτείται ο καθορισμός ενός κριτηρίου συσταδοποίησης.

Γενικά, ο διαχωρισμός ενός συνόλου δεδομένων σε υποσύνολα, βάσει κάποιου κριτηρίου ομοιότητας, αποτελεί μια διαδικασία κατηγοριοποίησης [classification]. Με αυτή την έννοια και η Ανάλυση Συστάδων είναι μια μορφή κατηγοριοποίησης, με ειδικά χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με τους Tan at al (2005: 490-491) «η Ανάλυση Συστάδων μπορεί να θεωρηθεί σαν μια μορφή κατηγοριοποίησης ως προς το ότι ονομάζει αντικείμενα με ετικέτες κλάσεων (συστάδων). Ωστόσο, εξάγει τις ετικέτες αυτές μόνο από τα δεδομένα». Οι αλγόριθμοι συσταδοποίησης λειτουργούν κατά τρόπο ώστε να βρίσκουν τη δομή εντός των δεδομένων» (Jain & Dubes, 1988: 1).

[2] Ο I.J. Good (1977) προτείνει το όνομα βοτρυολογία για τον κλάδο της Ανάλυσης Συστάδων, από την ελληνική λέξη βότρυς (Jain & Dubes, 1988: 4).

Δηλαδή, «η Ανάλυση Συστάδων ομαδοποιεί αντικείμενα δεδομένων βάσει μόνο της πληροφορίας που βρίσκεται εντός των δεδομένων που περιγράφει τα αντικείμενα και τις μεταξύ τους σχέσεις (Tan et al, 2005: 490). «Οργανώνει δεδομένα αποσπώντας υποκείμενες δομές είτε ως ομαδοποίηση μονάδων είτε ως ιεραρχία ομάδων, […] (χωρίς να) χρησιμοποιεί ετικέτες κατηγοριών που χαρακτηρίζουν αντικείμενα με προκαθορισμένες ιδιότητες αναγνώρισης. […] Είναι ένα εργαλείο για την εξερεύνηση της δομής δεδομένων που δεν απαιτεί τις παραδοχές που είναι κοινές στις περισσότερες στατιστικές μεθόδους» (Jain & Dubes, 1988: XIII, 1).

«Παρέχει μια αφαίρεση από μεμονωμένα αντικείμενα προς τις συστάδες στις οποίες ανήκουν» (Tan et al, 2005: 488) και «η ταυτοποίηση αυτών των κοινοτήτων είναι κρίσιμης σημασίας γιατί ενδέχεται να συμβάλουν στην αποκάλυψη εκ των προτέρων άγνωστων λειτουργικών μονάδων» (Blondel et al, 2008: 1002).

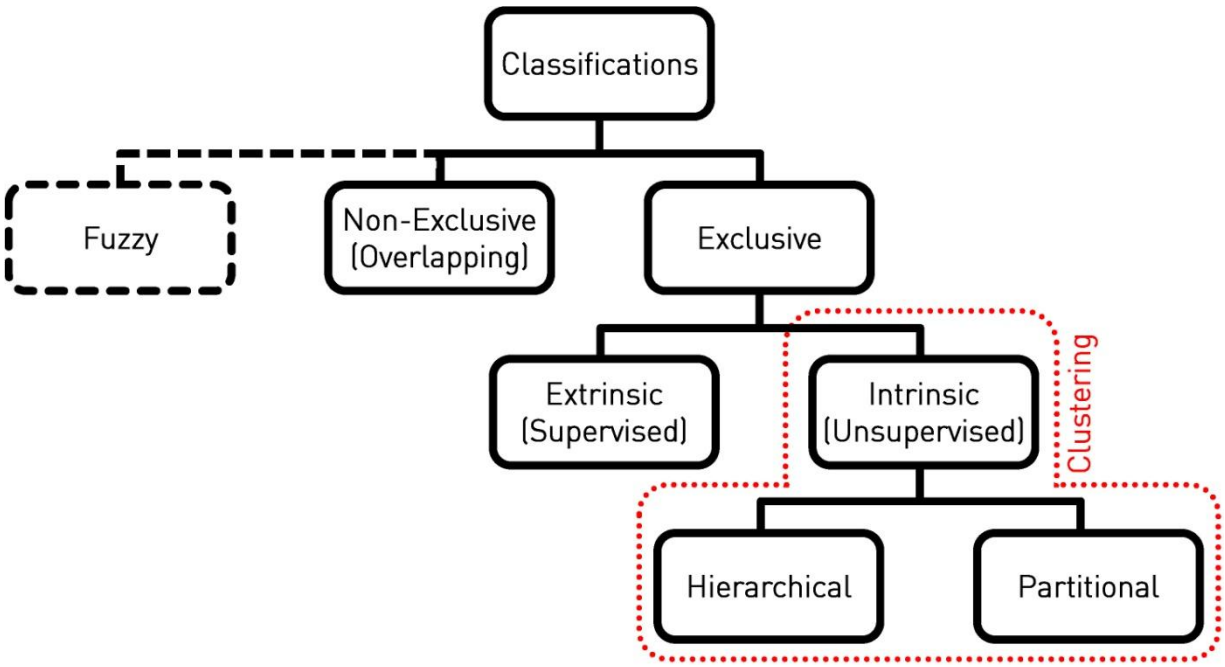
Στόχος της Ανάλυσης Συστάδων είναι να διαχωρίσει τα δεδομένα κατά τρόπο ώστε «αντικείμενα εντός μιας ομάδας να είναι παρόμοια (ή συσχετιζόμενα) μεταξύ τους και διαφορετικά από (ή ασυσχέτιστα με) τα αντικείμενα άλλων ομάδων. Όσο μεγαλύτερη η ομοιότητα (ή ομοιογένεια) εντός μιας ομάδας και όσο μεγαλύτερη η διαφορά μεταξύ ομάδων, τόσο καλύτερη και πιο διακριτή είναι η συσταδοποίηση» (Tan et al, 2005: 490). Η Ανάλυση Συστάδων, δηλαδή, επιδιώκει την εύρεση μιας «κατάλληλης και έγκυρης οργάνωσης των δεδομένων και όχι τη διατύπωση κανόνων για τη διάκριση μελλοντικών δεδομένων σε κατηγορίες» (Jain & Dubes, 1988: 1).

Αντίθετα, στόχος της κατηγοριοποίησης είναι νέα, μη-χαρακτηρισμένα αντικείμενα να αποκτούν μια ετικέτα κλάσης βάσει ενός μοντέλου που αναπτύχθηκε από αντικείμενα με γνωστές ετικέτες κλάσης. Η κατηγοριοποίηση είναι δηλαδή εν γένει μια επιβλεπόμενη διαδικασία.

Σε αντιδιαστολή με την επιβλεπόμενη κατηγοριοποίηση, η Ανάλυση Συστάδων χαρακτηρίζεται ως ανεπίβλεπτη κατηγοριοποίηση (Tan et al, 2005: 490-491, Jain & Dubes, 1988: XIII).

5.2. Λογικές κατηγοριοποίησης

Εκτός από τη δομική αυτή διαφορά μεταξύ επιβλεπόμενης και ανεπίβλεπτης κατηγοριοποίησης, η Ανάλυση Συστάδων δεν διαχωρίζεται πάντα με σαφήνεια από άλλες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη διαίρεση αντικειμένων δεδομένων σε ομάδες, ενώ και η ίδια ενσωματώνει διαφορετικές τεχνικές και αλγοριθμικές διαδικασίες. Στην πράξη υπάρχουν πολλές λογικές και μέθοδοι κατηγοριοποίησης δεδομένων, ή ακριβέστερα πολλά διαφορετικά προβλήματα κατηγοριοποίησης, ανάλογα με τον τύπο και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων αλλά και με την πρόθεση και τα προσδοκώμενα αποτελέσματα της εκάστοτε ανάλυσης. Οι Lance και Williams (1967) διακρίνουν διαφορετικούς τύπους προβλημάτων κατηγοριοποίησης ή και συσταδοποίησης και προτείνουν ένα δενδροειδές διάγραμμα που σχηματοποιεί την οργάνωσή τους σε συσχετιζόμενα «γένη προβλημάτων κατηγοριοποίησης» (Jain & Dubes, 1988: 56) (Εικόνα 5 - 2).



Εικόνα 5 - 2.
Δέντρο τύπων κατηγοριοποίησης

Το διάγραμμα αποτελεί παραλλαγή εκείνου των Jain και Dubes (1988: 56), το οποίο βασίζεται στο σχήμα των Lance και Williams (1967). Το πρωτότυπο διάγραμμα περιλαμβάνει τους τύπους που αποδίδονται με συνεχή γραμμή πλαισίου.

5.2.1. Αποκλειστική, μη αποκλειστική και ασαφής κατηγοριοποίηση

Σύμφωνα με το σχήμα των Lance και Williams (1967), σε ένα πρώτο επίπεδο, τα προβλήματα κατηγοριοποίησης διακρίνονται ανάλογα με το βαθμό συμμετοχής των αντικειμένων σε υποομάδες. Έτσι η κατηγοριοποίηση μπορεί να είναι αποκλειστική [exclusive] ή μη αποκλειστική/ αλληλεπικαλυπτόμενη [non-exclusive/overlapping]. Κατά τον Kumar (Tan et al, 2005: 492), εκτός από την αποκλειστική και τη μη αποκλειστική, διακρίνεται και η ασαφής [fuzzy] κατηγοριοποίηση (Εικόνα 5 - 2).

Μια αποκλειστική κατηγοριοποίηση είναι ένας πλήρης διαχωρισμός ενός συνόλου αντικειμένων. Κάθε αντικείμενο ανατίθεται σε ένα ακριβώς υποσύνολο, ή συστάδα.

Σε μια μη αποκλειστική ή αλληλεπικαλυπτόμενη κατηγοριοποίηση ένα αντικείμενο μπορεί να ανήκει ταυτόχρονα σε περισσότερες της μίας κλάσεις / συστάδες. Σύμφωνα με τον Kumar (Tan et al, 2005), η μη-αποκλειστική κατηγοριοποίηση μπορεί να εφαρμοστεί και όταν ένα αντικείμενο βρίσκεται μεταξύ δύο συστάδων, οπότε μπορεί να ανήκει σε οποιαδήποτε από τις δύο ή και στις δύο (Tan et al, 2005: 492).

Η ασαφής κατηγοριοποίηση μπορεί να θεωρηθεί ως ένας τύπος μη αποκλειστικής κατηγοριοποίησης στην οποία σε ένα αντικείμενο ανατίθεται ένας βαθμός συμμετοχής σε κάθε συστάδα. Σε μια ασαφή συσταδοποίηση κάθε αντικείμενο ανήκει σε όλες τις συστάδες με ένα βάρος συμμετοχής στην καθεμία μεταξύ 0 και1. Δηλαδή οι συστάδες αντιμετωπίζονται ως ασαφή σύνολα. Το άθροισμα των βαρών για κάθε αντικείμενο ισούται με τη μονάδα. Η βασική διαφορά με τη μη αποκλειστική συσταδοποίηση είναι ότι «η ασαφής συσταδοποίηση δεν υποθέτει ότι κάθε αντικείμενο μπορεί να ανήκει ταυτόχρονα σε πολλές συστάδες, αλλά στοχεύει στην αποφυγή της τυχαιότητας όταν ένα αντικείμενο βρίσκεται κοντά σε πολλές συστάδες» (Tan et al, 2005: 491). Πρακτικά, μια ασαφής πιθανολογική συσταδοποίηση μπορεί να μετατραπεί σε αποκλειστική με την ανάθεση κάθε αντικειμένου στη συστάδα για την οποία έχει το μέγιστο βάρος συμμετοχής.

5.2.2. Ενδογενής και εξωγενής κατηγοριοποίηση

Σε ένα δεύτερο επίπεδο, οι Lance και Williams (1967) διακρίνουν την αποκλειστική κατηγοριοποίηση σε ενδογενή ή ανεπίβλεπτη [intrinsic / unsupervised] και εξωγενή ή επιβλεπόμενη [extrinsic / supervised], ανάλογα με τη φύση των κριτηρίων εγγύτητας που παρέχονται για τη αξιολόγηση της ομοιότητας μεταξύ αντικειμένων.

Μια ενδογενής κατηγοριοποίηση χρησιμοποιεί μόνο τα ίδια τα δεδομένα[3] για να εφαρμόσει την κατηγοριοποίηση. Αποκαλείται και ανεπίβλεπτη μάθηση στην περιοχή της αναγνώρισης προτύπων γιατί δεν χρησιμοποιούνται κατηγορικές ετικέτες για τον εκ των προτέρων διαχωρισμό των αντικειμένων.

Η εξωγενής κατηγοριοποίηση χρησιμοποιεί κατηγορικές ετικέτες στα αντικείμενα, σε συνδυασμό με πληροφορία που παρέχουν τα ίδια τα δεδομένα. Το πρόβλημα ανάγεται στον ορισμό διαχωριστικών επιφανειών μεταξύ αντικειμένων ανάλογα με την κατηγορία.

Με άλλα λόγια, ένας εξωγενής ταξινομητής βασίζεται σε δάσκαλο, ενώ ένας ενδογενής ταξινομητής έχει στη διάθεσή του μόνο τα δεδομένα.

Ο τύπος της αποκλειστικής ενδογενούς κατηγοριοποίησης είναι ουσιαστικά η Ανάλυση Συστάδων (Εικόνα 5 - 2 με κόκκινο).

5.2.3. Ιεραρχική και διαχωριστική κατηγοριοποίηση

Σε ένα τρίτο και τελευταίο επίπεδο, οι Lance και Williams (1967) διακρίνουν ουσιαστικά τα δύο βασικά είδη Ανάλυσης Συστάδων. Έτσι, η αποκλειστική, ενδογενής κατηγοριοποίηση διακρίνεται σε ιεραρχική [hierarchical] και διαχωριστική [partitional] βάσει του τύπου της δομής που επιβάλλεται στα δεδομένα.

Μια ιεραρχική κατηγοριοποίηση είναι μια ένθετη [nested] διαδοχή διαχωρισμών, όπου κάθε δεδομένο θεωρείται αρχικά ως μία ατομική συστάδα και σε κάθε βήμα οι πλησιέστερες συστάδες συνενώνονται μεταξύ τους σε νέες, μεγαλύτερες συστάδες. Η διαδικασία αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως οργάνωση από τα κάτω προς τα πάνω.

Με αυτόν τον τρόπο, οι ιεραρχικές μέθοδοι οργανώνουν τα δεδομένα σε μια ενθυλακωμένη διαδοχή ομάδων. Αυτή η ένθεση αναπαρίσταται γραφικά μέσω ενός δενδροειδούς διαγράμματος που αποκαλείται δενδρόγραμμα, το οποίο εμφανίζει τους συσχετισμούς μεταξύ συστάδων και υποσυστάδων και τη σειρά με την οποία οι συστάδες συνενώνονται[4] ή διαιρούνται[5]. Σε περιπτώσεις δισδιάστατων δεδομένων, μια ιεραρχική συσταδοποίηση μπορεί να αναπαρασταθεί και με τη βοήθεια ένθετων διαγραμμάτων συστάδων (Tan et al, 2005: 515).

Για να εξαχθούν συστάδες από μια δενδροειδή δομή πρέπει να προσδιοριστεί ένα όριο τιμής ομοιότητας, ώστε να μπορεί να τεμαχιστεί το δενδρόγραμμα. Διαφορετικοί ιεραρχικοί αλγόριθμοι διαφέρουν ως προς τον ορισμό του μέτρου ομοιότητας μεταξύ ενός αντικειμένου και μιας συστάδας ή μεταξύ δύο συστάδων (Jain & Dubes, 1988: 141-142).

[3] Για παράδειγμα βλ. κεφ. 5.4.1.3, Πίνακας εγγύτητας.

[4] Βλ. κεφ. 5.3.1., συσσωρευτική προσέγγιση.

[5] Βλ. κεφ. 5.3.1., διαιρετική προσέγγιση.

Μια διαχωριστική κατηγοριοποίηση είναι ένας μοναδικός, μη-ένθετος [unnested] διαχωρισμός, όπου για ένα δεδομένο συνήθως πλήθος συστάδων αναζητείται ο βέλτιστος διαχωρισμός του συνόλου των δεδομένων, σε μια από τα πάνω προς τα κάτω λογική οργάνωσης. Έτσι, μια διαχωριστική συσταδοποίηση πραγματοποιεί μια διαίρεση των αντικειμένων σε μη αλληλεπικαλυπτόμενα υποσύνολα (συστάδες) κατά τρόπο ώστε κάθε αντικείμενο να ανήκει σε ακριβώς ένα υποσύνολο.

Οι διαχωριστικοί αλγόριθμοι αναζητούν το διαχωρισμό που ελαχιστοποιεί τη διασπορά εντός της συστάδας ή μεγιστοποιεί τη διασπορά μεταξύ συστάδων. Προκειμένου να επιτευχθεί μια συνολικά βέλτιστη λύση πρέπει να εξετασθούν όλοι οι πιθανοί διαχωρισμοί, κάτι που είναι υπολογιστικά αδύνατο. Για το λόγο αυτό εφαρμόζονται διάφορες ευρετικές μέθοδοι για τον περιορισμό της αναζήτησης, αλλά δεν υπάρχει εγγύηση βελτιστοποίησης (Jain & Dubes, 1988: 141-142).

Ο Newman (2006: 8577) αναφέρει επιπλέον ότι στις διαχωριστικές μεθόδους συνήθως «είναι γνωστό το πλήθος και το μέγεθος των ομάδων στις οποίες το δίκτυο πρόκειται να διαιρεθεί. Ο στόχος είναι συνήθως να βρεθεί ο βέλτιστος διαχωρισμός ανεξάρτητα από το αν υφίσταται ή όχι ένας καλός διαχωρισμός».

Αντίθετα, οι μέθοδοι ιεραρχικής συσταδοποίησης δεν απαιτούν προκαθορισμένο πλήθος συστάδων. Ξεκινούν θεωρώντας κάθε δεδομένο ως μία συστάδα και προχωρούν συνενώνοντας σε κάθε βήμα τις πλησιέστερες συστάδες σε νέες, μεγαλύτερες συστάδες. «Συνήθως υποθέτουν ότι το δίκτυο διαιρείται από τη φύση του σε υποομάδες και το ζητούμενο είναι η εύρεση αυτών των ομάδων. Το πλήθος και το μέγεθος των ομάδων καθορίζονται από το ίδιο το δίκτυο. Επίσης, οι μέθοδοι αυτές, δέχονται ρητά την πιθανότητα να μην υπάρχει κατάλληλος διαχωρισμός του δικτύου, αποτέλεσμα που επίσης παρέχει χρήσιμη πληροφορία για την τοπολογία του δικτύου» (Newman, 2006: 8577).

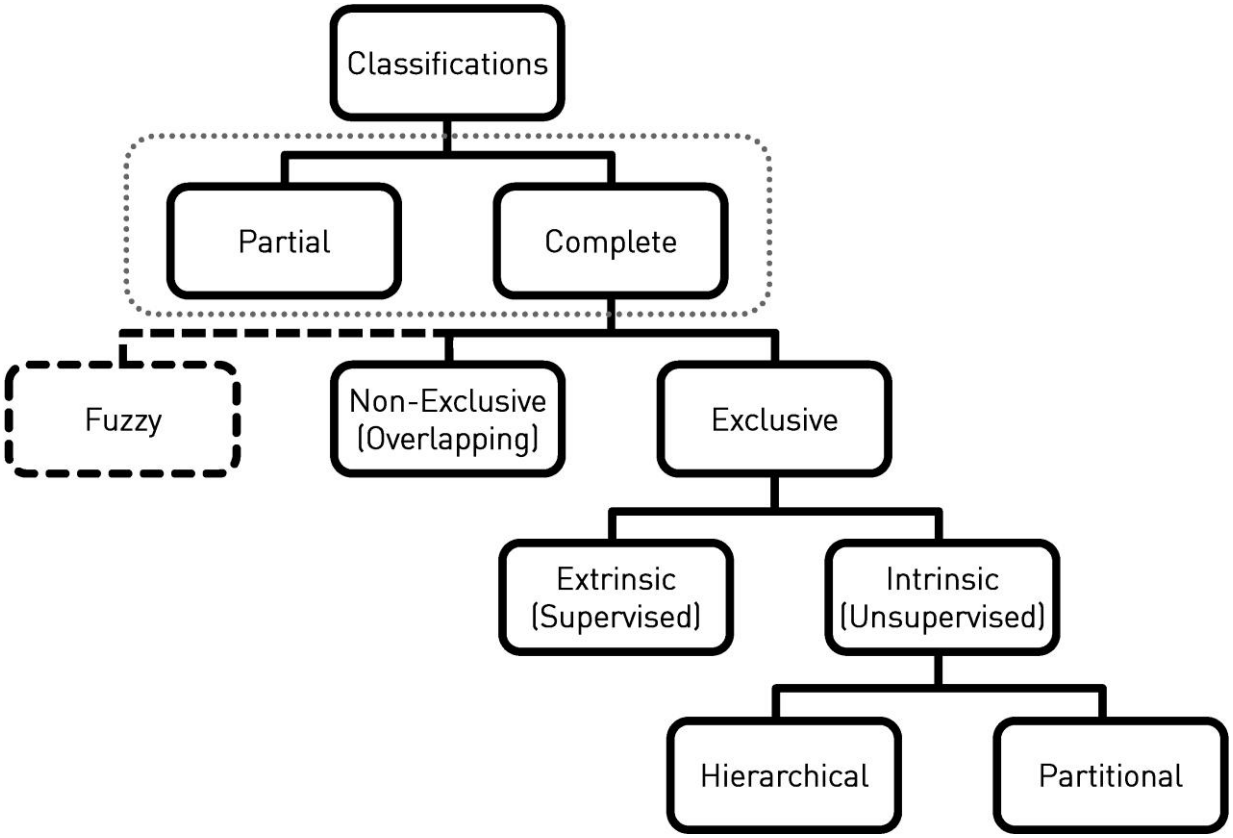
Παρά τις διαφορές αυτές, η διάκριση ιεραρχικών και διαχωριστικών συσταδοποιήσεων δεν είναι στεγανή. Μια διαχωριστική συσταδοποίηση αν επιτρέπει οι συστάδες να έχουν υποσυστάδες, σχηματίζοντας ένα σύνολο ένθετων συστάδων οργανωμένων σε δενδροειδή δομή, μπορεί να θεωρηθεί και ως ιεραρχική συσταδοποίηση.

Επομένως, μια ιεραρχική συσταδοποίηση μπορεί να θεωρηθεί ως μια σειρά διαχωριστικών συσταδοποιήσεων και μια διαχωριστική συσταδοποίηση μπορεί να προκύψει λαμβάνοντας οποιοδήποτε μέλος αυτής της σειράς, δηλαδή κόβοντας το δέντρο σε κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο (Tan et al, 2005: 491).

5.2.4. Πλήρης και μερική κατηγοριοποίηση

Εκτός από τις παραπάνω κατηγορίες που αναφέρονται από τους Lance και Williams (1967) και αναλύονται από τους Jain and Dubes, ο Kumar (Tan et al, 2005: 493) αναφέρει άλλη μια διάκριση, ανάμεσα στην πλήρη [complete] και τη μερική [partial] συσταδοποίηση, που θα μπορούσε μάλλον να τοποθετηθεί στην κορυφή του δέντρου των λογικών κατηγοριοποίησης (Εικόνα 5 - 3).

Μια πλήρης συσταδοποίηση αναθέτει κάθε αντικείμενο σε μια συστάδα, ενώ μια μερική όχι απαραίτητα. Σε μια μερική συσταδοποίηση ένα αντικείμενο μπορεί να μην ανήκει σε κάποια σαφώς σχηματισμένη ομάδα καθώς συχνά κάποια στοιχεία δεδομένων αντιπροσωπεύουν θόρυβο, έκτοπα, ή «μη-ενδιαφέρον φόντο».



Εικόνα 5 - 3.
Διευρυμένο δέντρο τύπων κατηγοριοποίησης

5.3. Συσταδοποίηση: Αποκλειστική, ενδογενής κατηγοριοποίηση

Όπως αναφέρθηκε, η Ανάλυση Συστάδων αναφέρεται στην αποκλειστική, ενδογενή κατηγοριοποίηση και μπορεί να είναι ιεραρχική ή διαχωριστική (Εικόνα 5 - 2 με κόκκινο).

5.3.1. Αλγόριθμοι Ανάλυσης Συστάδων

Στην ανάλυση συστάδων, ανεξάρτητα από το αν πρόκειται για ιεραρχική ή διαχωριστική προσέγγιση, μπορούν να εφαρμοστούν διάφοροι τύποι αλγορίθμων εντοπισμού κοινοτήτων. Σύμφωνα με τους Blondel et al (2008), οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να διακριθούν σε διαιρετικούς αλγορίθμους [divisive algorithms], που εντοπίζουν συνδέσεις μεταξύ κοινοτήτων και τις αφαιρούν από το δίκτυο (Girvan & Newman, 2002, Newman & Girvan, 2004, Radicchi et al, 2004), σε συσσωρευτικούς αλγορίθμους [agglomerative algorithms], που συνενώνουν διαδοχικά παρόμοιους κόμβους ή κοινότητες (Pons & Latapy, 2006), καθώς και σε μεθόδους βελτιστοποίησης που βασίζονται στη μεγιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης (Clauset, Newman & Moore, 2004, Wu & Huberman, 2004, Newman, 2006).

Πιο συγκεκριμένα, μια συσσωρευτική [agglomerative] κατηγοριοποίηση τοποθετεί αρχικά κάθε αντικείμενο σε μια ξεχωριστή, ατομική συστάδα και σταδιακά συνενώνει αυτές τις ατομικές συστάδες σε όλο και μεγαλύτερες μέχρι όλα τα αντικείμενα να βρίσκονται στην ίδια συστάδα (Jain & Dubes, 1988). Η διαδικασία της συνένωσης των πλησιέστερων ζευγών συστάδων σε κάθε βήμα απαιτεί τον ορισμό μιας έννοιας εγγύτητας συστάδων (Tan et al, 2005: 515).

Αντίθετα, μια διαιρετική [divisive] κατηγοριοποίηση αντιστρέφει τη διαδικασία τοποθετώντας αρχικά όλα τα αντικείμενα στην ίδια συστάδα και υποδιαιρώντας την σε μικρότερα υποσύνολα. Δηλαδή

ξεκινάει από μία συστάδα που περιλαμβάνει όλο το σύνολο δεδομένων και σε κάθε βήμα διαιρεί μια συστάδα μέχρι να μείνουν μόνο ατομικές συστάδες μεμονωμένων σημείων. Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να οριστεί τρόπος επιλογής της συστάδας που θα διαιρεθεί και εφαρμογής της διαίρεσης (Tan et al, 2005: 515).

Η διάκριση της συσσωρευτικής από τη διαιρετική λογική συσταδοποίησης αντιστοιχεί σε διαφορετικές διαδικασίες αναζήτησης σχέσεων ομοιότητας και όχι σε διαφορετικούς τύπους κατηγοριοποίησης[6].

Εκτός από τη διάκριση των αλγορίθμων συσταδοποίησης σε συσσωρευτικούς και διαιρετικούς, οι Jain & Dubes (1988) σημειώνουν κάποιες επιμέρους διαφοροποιήσεις που αναφέρονται στη δομή και τον τρόπο λειτουργίας των αλγορίθμων. Έτσι διακρίνουν τις αλγοριθμικές διαδικασίες σύμφωνα με τον τρόπο υπολογιστικής διαχείρισης των δεδομένων σε σειριακές ή ταυτόχρονες [serial / simultaneous], όπου οι σειριακές διαδικασίες χειρίζονται τα αντικείμενα διαδοχικά ένα προς ένα, ενώ οι ταυτόχρονες διαχειρίζονται ολόκληρο το σύνολο των δεδομένων ταυτόχρονα.

Ανάλογα με τον τρόπο ανάλυσης των χαρακτηριστικών των αντικειμένων, διακρίνουν μονοθετικές και πολυθετικές διαδικασίες. Ένας μονοθετικός αλγόριθμος χρησιμοποιεί τα χαρακτηριστικά ένα ένα, ενώ μια πολυθετική διαδικασία χρησιμοποιεί όλα τα χαρακτηριστικά ταυτόχρονα.

Τέλος, ανάλογα με τη μαθηματική τους έκφραση, διακρίνουν διαδικασίες που χρησιμοποιούν τη θεωρία γράφων και άλλες που βασίζονται στην άλγεβρα πινάκων. Σύμφωνα με αυτή τη διάκριση, κάποιοι αλγόριθμοι συσταδοποίησης εκφράζονται με όρους θεωρίας γράφων ενώ άλλοι αποτελούν αλγεβρικές κατασκευές.

5.3.2. Τύποι συστάδων

Εκτός από τα διαφορετικά γένη προβλημάτων κατηγοριοποίησης υπάρχουν και πολλαπλοί ορισμοί της έννοιας της συστάδας, που ουσιαστικά περιγράφουν διαφορετικούς τύπους συστάδων.

Ανάλογα με τη φύση των δεδομένων και την πρόθεση της συσταδοποίησης, προσδιορίζεται τόσο το είδος του προβλήματος κατηγοριοποίησης όσο και ο τύπος των συστάδων που αναζητούνται εντός των δεδομένων και επιλέγεται η κατάλληλη μέθοδος ανάλυσης. Κάθε μέθοδος συσταδοποίησης εφαρμόζει διαφορετική λογική αναζήτησης συσχετισμών μεταξύ αντικειμένων και αναγνώρισης συστάδων, εξειδικεύοντας κάθε φορά την ερμηνεία του ορισμού της συστάδας στις προδιαγραφές του συγκεκριμένου προβλήματος και της στρατηγικής που υιοθετείται για την επίλυσή του. Σύμφωνα με τον Kumar «ο ορισμός μιας συστάδας είναι ανακριβής και ο βέλτιστος ορισμός εξαρτάται από τη φύση των δεδομένων και τα επιθυμητά αποτελέσματα. […]Η συσταδοποίηση στοχεύει στον εντοπισμό χρήσιμων ομάδων αντικειμένων, όπου η χρησιμότητα ορίζεται από τους στόχους της ανάλυσης δεδομένων. Διαφορετικές σημασίες της έννοιας της συστάδας μπορεί να είναι χρήσιμες στην πράξη» (Tan et al, 2005: 490-493).

Ως διαφορετικούς ορισμούς της συστάδας, που περιγράφουν τύπους συστάδων και υπαγορεύουν αντίστοιχες αλγοριθμικές διαδικασίες ανάλυσης, ο Kumar αναφέρει τους ακόλουθους (Tan et al, 2005: 488):

[6] Οι Dubes και Jain (1976) τονίζουν τη διάκριση μεταξύ μεθόδων συσταδοποίησης και αλγορίθμων συσταδοποίησης. Μια μέθοδος συσταδοποίησης καθορίζει τη γενική στρατηγική για την ομαδοποίηση των δεδομένων σε συστάδες, όπως για παράδειγμα η ελαχιστοποίηση του τετραγωνικού σφάλματος. Ένας αλγόριθμος συσταδοποίησης είναι ένα πρόγραμμα που εφαρμόζει μια στρατηγική και ενσωματώνει διαφορετικές ευρετικές μεθόδους.

5.3.2.1. Καλά διαχωρισμένες [well-separated]

Μια καλά διαχωρισμένη συστάδα είναι ένα σύνολο αντικειμένων όπου κάθε αντικείμενο βρίσκεται πλησιέστερα σε (είναι πιο όμοιο με) κάθε άλλο αντικείμενο εντός της συστάδας από ότι σε οποιοδήποτε αντικείμενο εκτός αυτής. Κάποιες φορές ορίζεται ένα όριο που καθορίζει ότι όλα τα αντικείμενα της συστάδας πρέπει να είναι επαρκώς κοντά ή όμοια μεταξύ τους. Αυτός ο ιδανικός ορισμός της συστάδας ικανοποιείται μόνο όταν τα δεδομένα περιλαμβάνουν φυσικές συστάδες που είναι επαρκώς απομακρυσμένες μεταξύ τους.

5.3.2.2. Βασιζόμενες σε πρωτότυπα [prototype-based] ή βασιζόμενες σε κέντρα [center-based]

«Κάποιες τεχνικές συσταδοποίησης χαρακτηρίζουν κάθε συστάδα βάσει ενός πρωτοτύπου, δηλαδή ενός αντικειμένου που είναι αντιπροσωπευτικό των υπόλοιπων αντικειμένων της συστάδας».

Μια τέτοια συστάδα είναι ένα σύνολο αντικειμένων όπου κάθε αντικείμενο βρίσκεται πλησιέστερα στο (είναι πιο όμοιο με το) πρωτότυπο που ορίζει τη συστάδα από ότι σε οποιοδήποτε πρωτότυπο άλλης συστάδας. Για δεδομένα με συνεχείς τιμές ιδιοτήτων, το πρωτότυπο μιας συστάδας είναι συχνά το κεντροειδές της ή γενικά το πιο αντιπροσωπευτικό σημείο της. Για πολλούς τύπους δεδομένων, ως πρωτότυπο θεωρείται το πιο κεντρικό σημείο οπότε και οι αντίστοιχες συστάδες αναφέρονται ως συστάδες βασιζόμενες σε κέντρα [center-based clusters].

5.3.2.3. Βασιζόμενες σε γράφους [graph-based]

Αν τα δεδομένα αναπαρίστανται σε μορφή γράφου, όπου οι κόμβοι είναι αντικείμενα και οι ακμές συνδέσεις μεταξύ αντικειμένων, τότε μια συστάδα μπορεί να οριστεί ως ένα συνδεδεμένο στοιχείο, δηλαδή μια ομάδα αντικειμένων που συνδέονται μεταξύ τους αλλά δεν έχουν συνδέσεις με τα αντικείμενα εκτός της ομάδας. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα συστάδων βασιζόμενων σε γράφους είναι οι συστάδες γειτνίασης, όπου δύο αντικείμενα συνδέονται μόνο αν βρίσκονται εντός συγκεκριμένης απόστασης μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει ότι κάθε αντικείμενο εντός της συστάδας βρίσκεται πλησιέστερα σε κάποιο αντικείμενο της συστάδας από ότι σε οποιοδήποτε αντικείμενο άλλης συστάδας. Αυτός ο ορισμός είναι χρήσιμος όταν οι συστάδες είναι ακανόνιστες ή διαπλεκόμενες, «αλλά υπάρχει ο κίνδυνος μια μικρή γέφυρα σημείων θορύβου να οδηγήσει στη συνένωση δύο συστάδων» (Tan et al, 2005: 488).

5.3.2.4. Βασιζόμενες σε πυκνότητα [density-based]

Μια συστάδα είναι μια πυκνή περιοχή αντικειμένων που περιβάλλεται από μια περιοχή χαμηλής πυκνότητας. Ο ορισμός αυτός εφαρμόζεται συχνά όταν οι συστάδες είναι ακανόνιστες ή διαπλεκόμενες και όταν παρατηρείται ύπαρξη θορύβου στα δεδομένα.

5.3.2.5. Κοινών ιδιοτήτων [shared-property]: Εννοιολογικές συστάδες

Γενικότερα, μια συστάδα μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο αντικειμένων που μοιράζονται κάποια κοινή ιδιότητα. Αυτός ο ορισμός συμπεριλαμβάνει όλους τους προηγούμενους, αλλά περιλαμβάνει και άλλους τύπους συστάδων, η αλγοριθμική αναγνώριση των οποίων που μπορεί να απαιτεί τη διατύπωση ενός πολύ συγκεκριμένου ορισμού της έννοιας της συστάδας.

Η διαδικασία εντοπισμού τέτοιων εξεζητημένων συστάδων ονομάζεται εννοιολογική συσταδοποίηση και αγγίζει την περιοχή της αναγνώρισης προτύπων [pattern recognition].

5.4. Εφαρμογή: Διαδικασία συσταδοποίησης

5.4.1. Βήμα 1. Από το νέφος σημείων στο γράφο εγγύτητας

5.4.1.1. Κριτήρια συσταδοποίησης

Από τον γενικό, διαισθητικό και κάπως αυτοαναφορικό ορισμό της συστάδας από τον Everitt (1974) ως «ένα σύνολο οντοτήτων που είναι παρόμοιες, ενώ οντότητες από διαφορετικές συστάδες δεν είναι παρόμοιες» και από τις πολλαπλές ερμηνείες και εξειδικεύσεις αυτού του ορισμού, γίνεται εμφανές ότι «ενώ είναι εύκολο να δοθεί ένας λειτουργικός [functional] ορισμός μιας συστάδας, είναι πολύ δύσκολο να δοθεί ένας επιχειρησιακός [operational] ορισμός μιας συστάδας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα αντικείμενα μπορούν να ομαδοποιηθούν σε συστάδες με διαφορετική πρόθεση» (Jain & Dubes, 1988: 2).

Ο ορισμός της συστάδας επαναπροσδιορίζεται ανάλογα με το πώς προσεγγίζεται σε κάθε περίπτωση η έννοια της ομοιότητας μεταξύ αντικειμένων και με το πώς διατυπώνεται κάποιο αντικειμενικό κριτήριο μέτρησής της. Επομένως, «το κρίσιμο ζήτημα στην αναγνώριση συστάδων εντός δεδομένων είναι ο καθορισμός του τι είναι εγγύτητα και πώς μετράται. Όπως είναι αναμενόμενο, η έννοια της εγγύτητας εξαρτάται από το πρόβλημα» (Jain & Dubes, 1988: 2).

Έτσι, «η ανάλυση συστάδων είναι η διαδικασία κατηγοριοποίησης αντικειμένων σε υποσύνολα που έχουν νόημα στα πλαίσια ενός συγκεκριμένου προβλήματος» (Jain & Dubes, 1988: 55) και «οι μέθοδοι συσταδοποίησης απαιτούν την κατάρτιση ενός δείκτη εγγύτητας, ή ομοιότητας, ή συσχετισμού μεταξύ ζευγών στοιχείων» (Jain & Dubes, 1988: 11). Επομένως το πρώτο βήμα προς τον εντοπισμό διακριτών χωρικών τύπων από την αναπαράσταση των αστικών κενών ως νέφη σημείων είναι η θέσπιση ενός κριτηρίου ομοιότητας και ενός μετρήσιμου δείκτη εγγύτητας.

5.4.1.1.1. Καθολικά και τοπικά κριτήρια ομοιότητας

Τα κριτήρια διακρίνονται σε καθολικά και τοπικά (Jain & Dubes, 1988: 90). Ένα καθολικό κριτήριο ορίζει για κάθε συστάδα ένα πρωτότυπο που την αντιπροσωπεύει και αναθέτει τα αντικείμενα στη συστάδα με της οποίας το πρωτότυπο μοιάζουν περισσότερο. Ένα τοπικό κριτήριο σχηματίζει συστάδες χρησιμοποιώντας τοπικές δομές των δεδομένων.

5.4.1.2. Επιλογή κριτηρίου: Το τοπικό κριτήριο της Ευκλείδειας απόστασης

Στην περίπτωση των δεδομένων που αντιπροσωπεύουν τους υπό μελέτη αδόμητους χώρους, είναι προφανές ότι δεν παρέχονται προκαθορισμένα και άμεσα διατυπώσιμα εξωτερικά κριτήρια ομοιότητας, ούτε κάποια γενική έστω περιγραφή των αναμενόμενων κλάσεων. Η έλλειψη ετικετών και προαποφασισμένων κατηγοριών δεν επιτρέπουν την υπόδειξη κάποιων από τα αντικείμενα του συνόλου ως χαρακτηριστικών δειγμάτων ή πρωτοτύπων κάποιας κλάσης, σε σύγκριση με τα οποία να μπορούσαν να κατηγοριοποιηθούν και τα υπόλοιπα αντικείμενα. Το γεγονός αυτό αποκλείει την εφαρμογή καθολικών κριτηρίων συσταδοποίησης και επιβάλλει τη διατύπωση ενός τοπικού κριτηρίου, που θα βασίζεται αποκλειστικά στη δομή των συσχετισμών των δεδομένων, όπως αυτές

εκφράζονται στη γεωμετρική και τοπολογική απόδοσή τους στα νέφη σημείων που προκύπτουν από τα προηγούμενα στάδια ανάλυσης και επεξεργασίας.

Όπως αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο (4), η διαδικασία μείωσης των διαστάσεων του αναπαραστατικού χώρου των δεδομένων έγινε κατά τρόπο ώστε οι παραγόμενες δισδιάστατες ή τρισδιάστατες κατανομές σημείων να διατηρούν στο μέγιστο δυνατό βαθμό τους συσχετισμούς μεταξύ των αρχικών πολυδιάστατων δεδομένων, με αποτέλεσμα τα ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενα αντικείμενα να εμφανίζονται κοντά μεταξύ τους, ενώ πιο ασυσχέτιστα να εμφανίζονται απομακρυσμένα. Αυτό σημαίνει πως η χωρική απόσταση μεταξύ σημείων στο χώρο αναπαράστασης μειωμένων διαστάσεων ανταποκρίνεται στους ενδογενείς συσχετισμούς των αντικειμένων στον πολυδιάστατο χώρο και παρέχει άμεσα το κριτήριο ομοιότητας για τη συσταδοποίηση. Επιπλέον ισχύει η προϋπόθεση που διατυπώνουν οι Jain & Dubes (1988: 92) σχετικά με τη δυνατότητα χρήσης της Ευκλείδειας απόστασης ως κριτήριο, ότι τα διανύσματα ιδιοτήτων πρέπει να έχουν συνεχείς τιμές ώστε τα δεδομένα να μπορούν να θεωρηθούν ενσωματωμένα σε έναν μετρικό χώρο.

Βάσει των χαρακτηριστικών αυτών, ως τοπικό κριτήριο συσταδοποίησης ορίζεται η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ ζευγών σημείων στην κατανομή που έχει προκύψει από τις μεθόδους μείωσης διαστάσεων.

5.4.1.3. Ποσοτικοποίηση του κριτηρίου: Πίνακας εγγύτητας

Έχοντας προσδιορίσει το κριτήριο συσταδοποίησης και την ποσοτική του έκφραση, απομένει η εφαρμογή του στην αξιολόγηση της δομής των δεδομένων.

Σε ένα πρώτο στάδιο εξετάζεται η σχέση μεταξύ κάθε ζεύγους σημείων για το σύνολο των δεδομένων και της αποδίδεται ένας βαθμός εγγύτητας, σύμφωνα με το κριτήριο συσταδοποίησης. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την κατάρτιση ενός πίνακα εγγύτητας, που εκφράζει συγκεντρωτικά τους βαθμούς εγγύτητας μεταξύ όλων των αντικειμένων του συνόλου δεδομένων[7].

«Ένας πίνακας εγγύτητας [d(i, j)] συγκεντρώνει τους δείκτες εγγύτητας όλων των ζευγών αντικειμένων σε έναν πίνακα στον οποίο κάθε στήλη και γραμμή αναπαριστά ένα στοιχείο δεδομένων. Οι τιμές στη διαγώνιο του πίνακα αγνοούνται, καθώς όλα τα στοιχεία έχουν τον ίδιο δείκτη εγγύτητας προς τον εαυτό τους. Επίσης υποθέτουμε ότι όλοι οι πίνακες εγγύτητας είναι συμμετρικοί, έτσι ώστε όλα τα ζεύγη αντικειμένων να έχουν τον ίδιο δείκτη εγγύτητας, ανεξάρτητα από τη σειρά καταχώρισής τους στον πίνακα» (Jain & Dubes, 1988: 11).

5.4.1.4. Κατασκευή συνδέσεων: Γράφος εγγύτητας

Ο πίνακας εγγύτητας, δίνοντας το βαθμό συσχετισμού μεταξύ ασύνδετων μέχρι στιγμής σημείων, επιτρέπει την κατασκευή συνδέσεων με κριτήριο ακριβώς το βαθμό συσχέτισης μεταξύ των σημείων. Ουσιαστικά αποτελεί την αμεσότερη μη-γραφική απόδοση ενός γράφου, παρέχοντας όλη την απαραίτητη πληροφορία για τους κόμβους και τις μεταξύ τους συνδέσεις. Επομένως, ο πίνακας εγγύτητας μπορεί να μεταγραφεί άμεσα σε γράφο, όπου κάθε γραμμή ή στήλη αποτελεί κόμβο και

[7] «Μια συσταδοποίηση είναι ένας τύπος κατηγοριοποίησης που επιβάλλεται σε ένα πεπερασμένο σύνολο αντικειμένων. Η σχέση μεταξύ αντικειμένων αναπαρίσταται σε έναν πίνακα εγγύτητας στον οποίο γραμμές και στήλες αντιστοιχούν σε αντικείμενα. Αν τα αντικείμενα χαρακτηρίζονται ως σημεία σε έναν d-διάστατο μετρικό χώρο, οι εγγύτητες μπορούν να είναι αποστάσεις μεταξύ ζευγών σημείων, όπως η Ευκλείδεια απόσταση. Εκτός και αν έχει οριστεί ένα μέτρο απόστασης, ή εγγύτητας, με νόημα μεταξύ ζευγών σημείων, δεν είναι δυνατή η ανάλυση συστάδων. Ο πίνακας εγγύτητας είναι το μοναδικό εισερχόμενο σε έναν αλγόριθμο συσταδοποίησης» (Jain & Dubes, 1988: 55).

κάθε ζεύγος κόμβων συνδέεται με μια ακμή μήκους ανάλογου με τον αντίστοιχο δείκτη εγγύτητας. Ο γράφος αυτός και ο πίνακας εγγύτητας είναι ταυτόσημοι, αποτελώντας δύο διαφορετικές αναπαραστάσεις της ίδιας δομής.

Στην παρούσα περίπτωση των αδόμητων χώρων, όπου οι δείκτες εγγύτητας ορίζονται βάσει των αποστάσεων μεταξύ σημείων στις κατανομές που προκύπτουν από τη μείωση διαστάσεων, δεν είναι απαραίτητη η ρητή εξαγωγή των δεικτών εγγύτητας με τη μορφή πίνακα, αφού ενώνοντας όλα τη σημεία ανα ζεύγη το αποτέλεσμα είναι η γραφική μορφή του πίνακα εγγύτητας.

Ουσιαστικά, τα νέφη σημείων που παράχθηκαν στην προηγούμενη φάση δίνουν άμεσα τον πίνακα εγγύτητας και τη μεταγραφή του στον αντίστοιχο γράφο.

Από τον πίνακα εγγύτητας, ή τη γραφική αναπαράστασή του, παράγεται ένας γράφος ορίων [threshold graph], δηλαδή ένας μη κατευθυνόμενος, μη διαβαθμισμένος γράφος, χωρίς βρόχους και χωρίς πολλαπλές ακμές όπου κάθε κόμβος αναπαριστά ένα αντικείμενο. Ένας γράφος ορίων G(u) ορίζεται για κάθε επίπεδο ανομοιότητας u δημιουργώντας μια ακμή (i, j) μεταξύ των κόμβων i και j αν τα αντίστοιχα αντικείμενα i και j είναι λιγότερο ανόμοια από u (Jain & Dubes, 1988: 60).

(i, j) € G(u) αν και μόνο αν d(i, j) ≤ u

Με τον τρόπο αυτό τα αντικείμενα i και j συνδέονται αν η απόστασή τους είναι μικρότερη του ορίου υ. Προφανώς d(i, i) = 0 για κάθε i, δηλαδή η διαγώνιος του πίνακα έχει πάντα τιμή 0. Έτσι ο G(u)ορίζει μια δυαδική σχέση για κάθε πραγματικό αριθμό υ που είναι κατοπτρική και συμμετρική.

Τέλος, από το γράφο ορίων μπορεί να εξαχθεί ένας γράφος εγγύτητας. Ένας γράφος εγγύτητας είναι ένας γράφος ορίων στον οποίο κάθε ακμή είναι διαβαθμισμένη ανάλογα με την εγγύτητα των κόμβων που συνδέει (Jain & Dubes, 1988: 66). Η εξαγωγή των διαβαθμίσεων από τους δείκτες εγγύτητας εξαρτάται από τη σημασία του κάθε δείκτη, αφού «ένας δείκτης εγγύτητας εκφράζει είτε ομοιότητα είτε διαφορά» (Jain & Dubes, 1988: 11). Συγκεκριμένα, η Ευκλείδεια απόσταση είναι δείκτης διαφοράς, αφού όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση μεταξύ δύο σημείων, τόσο περισσότερο διαφέρουν τα στοιχεία που αυτά αντιπροσωπεύουν. Έτσι, στην περίπτωση που ο δείκτης εγγύτητας είναι η Ευκλείδεια απόσταση, το βάρος που ανατίθεται σε κάθε ακμή του γράφου εγγύτητας είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης[8].

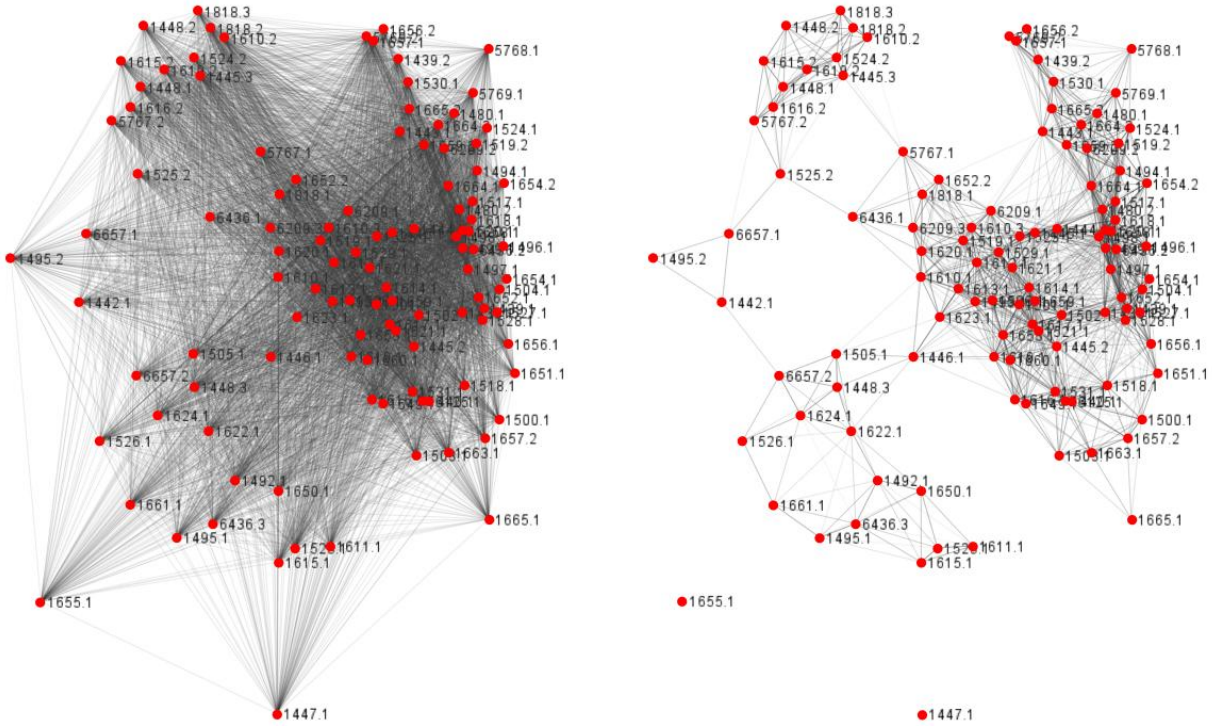
Εναλλακτικά, ο γράφος εγγύτητας μπορεί να εξαχθεί κατευθείαν από τον πίνακα εγγύτητας ή τον αντίστοιχο μη διαβαθμισμένο πλήρη γράφο, χωρίς να παρεμβληθεί το στάδιο του γράφου ορίων[9] (Εικόνα 5 - 4).

Ο γράφος εγγύτητας που παράγεται με αυτόν τον τρόπο, ή εναλλακτικά ο πίνακας εγγύτητας, είναι το μοναδικό εισερχόμενο που απαιτείται για την Ανάλυση Συστάδων, βάσει μιας αποκλειστικής, μη επιβλεπόμενης διαδικασίας κατηγοριοποίησης. Επομένως το πρώτο βήμα στη συσταδοποίηση είναι

[8] «Σε έναν συμμετρικό n*n πίνακα εγγύτητας D=[d(i, j)] οι αποστάσεις εκφράζουν ανομοιότητα, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της απόστασης τόσο ανόμοια είναι τα αντίστοιχα αντικείμενα. Αν d(1,2) > d(1,3) τα αντικείμενα 1 κι 3 μοιάζουν περισσότερο μεταξύ τους από ότι τα αντικείμενα 1 και 2» (Jain & Dubes, 1988: 60).

[9] Συνοπτικά, «δημιουργείται ένας γράφος οι κόμβοι του οποίου αναπαριστούν τα δεδομένα προς συσταδοποίηση και οι ακμές του οποίου αναπαριστούν σχέσεις μεταξύ των κόμβων. Στην απλούστερη περίπτωση, κάθε κόμβος συνδέεται με τους υπόλοιπους n-1 κόμβους, δηλαδή πρόκειται για έναν πλήρη γράφο. Τα βάρη των συνδέσεων είναι οι αποστάσεις μεταξύ ζευγών κόμβων. Για τη συσταδοποίηση, αυτό που έχει σημασία είναι οι σχετικές θέσεις των σημείων. Ζεύγη σημείων της ίδιας συστάδας θα πρέπει να βρίσκονται πλησιέστερα από ζεύγη που ανήκουν σε διαφορετικές συστάδες» (Jain & Dubes, 1988: 120).

η αναγνώριση και αξιολόγηση των συσχετισμών μεταξύ σημείων που καταλήγει στην κατάρτιση ενός γράφου εγγύτητας.



Εικόνα 5 - 4.
Γράφος εγγύτητας από πλήρη γράφο

Πλήρης γράφος (αριστερά) και γράφος εγγύτητας (δεξιά) για το σύστημα Σωματιδίων – Ελατηρίων (κεφ.4.5)

5.4.1.5. Εφαρμογή: Στάδια βήματος 1

5.4.1.5.1. Εισερχόμενα: Καταγραφή θέσης σημείων σε χώρο μειωμένων διαστάσεων

Για να υπολογιστούν οι γράφοι εγγύτητας στους οποίους θα εφαρμοστεί η Ανάλυση Συστάδων για τις τρεις κατανομές σημείων που έχουν παραχθεί από την εφαρμογή των τριών διαφορετικών μεθόδων μείωσης διαστάσεων (Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα Kohonen και προσομοίωση Φυσικών Δυνάμεων σε Σύστημα Σωματιδίων - Ελατηρίων), πρέπει πρώτα να καταχωρηθούν με τρόπο συνεκτικό και συστηματικό οι θέσεις και από αυτές οι σχετικές αποστάσεις μεταξύ των ασύνδετων ακόμα σημείων.

5.4.1.5.2. Διαδικασία δημιουργίας γράφων εγγύτητας από νέφη σημείων

Προκειμένου να υπάρχει κοινή αντιμετώπιση, τα νέφη σημείων εισάγονται ως σύνολα διανυσματικά ορισμένων σημείων στο περιβάλλον ανάπτυξης Processing όπου πραγματοποιείται και η περαιτέρω επεξεργασία τους προκειμένου να σχηματισθεί και να εξαχθεί ο γράφος εγγύτητας που αντιστοιχεί σε κάθε μέθοδο.

Σημειώνεται ότι οι θέσεις των σημείων ορίζονται σε κάθε περίπτωση βάσει κάποιου συστήματος συντεταγμένων, με δεδομένη αρχή, προσανατολισμό και μονάδα μέτρησης. Επειδή αυτό που ενδιαφέρει είναι σχετική θέση μεταξύ των σημείων και όχι η απόλυτη εξάρτησή τους από κάποιο μετρικό σύστημα αναφοράς, το σύστημα αξόνων μπορεί να μετασχηματίζεται ελεύθερα (μετατόπιση, περιστροφή, αλλαγή κλίμακας) χωρίς να επηρεάζεται η δομή των δεδομένων. Εδώ η Ευκλείδεια

απόσταση λειτουργεί συγκριτικά, ως σχετικός βαθμός εγγύτητας και όχι ως απόλυτη απόσταση, οπότε επιτρέπεται η μετατροπή της εκάστοτε μονάδας μέτρησης στη γραφική μονάδα της Processing που είναι το εικονοστοιχείο [pixel]. Η μετατροπή αυτή αποτελεί κάποιου είδους κανονικοποίηση, δηλαδή αναγωγή σε μια ενιαία κλίμακα.

Επιπλέον, Λόγω των διαφορετικών λογισμικών αλλά και των διαφορετικών αλγοριθμικών λογικών που χρησιμοποιήθηκαν στις τρεις μεθόδους, η διαδικασία δημιουργίας ενός γράφου εγγύτητας από κάθε τελική χαρτογράφηση διαφέρει ελαφρά.

Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, που πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό στατιστικής ανάλυσης JMP, από την τελική τρισδιάστατη κατανομή εξάγονται οι συντεταγμένες των σημείων σε μορφή πίνακα και έτσι τα σημεία εισάγονται στην Processing. Εκεί γίνεται η περαιτέρω επεξεργασία για την παραγωγή του γράφου εγγύτητας. Η μονάδα μέτρησης μπορεί να μετασχηματιστεί ελεύθερα, καθώς οι άξονες των Κυρίων Συνιστωσών, στους οποίους προβάλλονται τα δεδομένα δεν ακολουθούν κάποιο ρητά περιγράψιμο μετρικό σύστημα[10].

Στην εφαρμογή του Τεχνητού Νευρωνικού Δικτύου, που έχει πραγματοποιηθεί και εκτελείται σε Processing, οι θέσεις των σημείων και οι μεταξύ τους αποστάσεις στην τελική χαρτογράφηση είναι δεδομένες και ήδη καταχωρημένες στο πρόγραμμα, οπότε ο γράφος εγγύτητας μπορεί να παραχθεί άμεσα εντός της ίδιας εφαρμογής χωρίς να απαιτείται κάποιο ενδιάμεσο μεταβατικό βήμα.

Αντίστοιχα και η προσομοίωση Συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων πραγματοποιείται σε Processing, οπότε δεν απαιτείται μετατροπή των δεδομένων για τον υπολογισμό του γράφου εγγύτητας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μάλιστα[11] ο γράφος εγγύτητας παράγεται δυναμικά κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης και παγιώνεται όταν το σύστημα τελικά έρθει σε κατάσταση ισορροπίας. Με τον τρόπο αυτό, το στάδιο της μείωσης διαστάσεων και αυτό της δημιουργίας του γράφου εγγύτητας ενσωματώνονται στην ίδια αλγοριθμική διαδικασία και πραγματοποιούνται ταυτόχρονα.

Για κάθε μια από τις τρεις κατανομές σημείων, όταν αποδοθούν με τους τρόπους που προαναφέρθηκαν ως διανυσματικά ορισμένα δισδιάστατα ή τρισδιάστατα σημεία εντός του προγραμματιστικού περιβάλλοντος Processing, συντάσσεται μια κατάλληλα προσαρμοσμένη αλγοριθμική διαδικασία που διατρέχει όλα τα σημεία της αντίστοιχης κατανομής και τα συνδέει ανά ζεύγη, παράγοντας από αυτά έναν πλήρη γράφο. Δηλαδή για n σημεία παράγεται ένας γράφος με n κόμβους και n*(n-1)/2 συνδέσεις, που αποτελεί ουσιαστικά τη γραφική αναπαράσταση του πίνακα εγγύτητας.

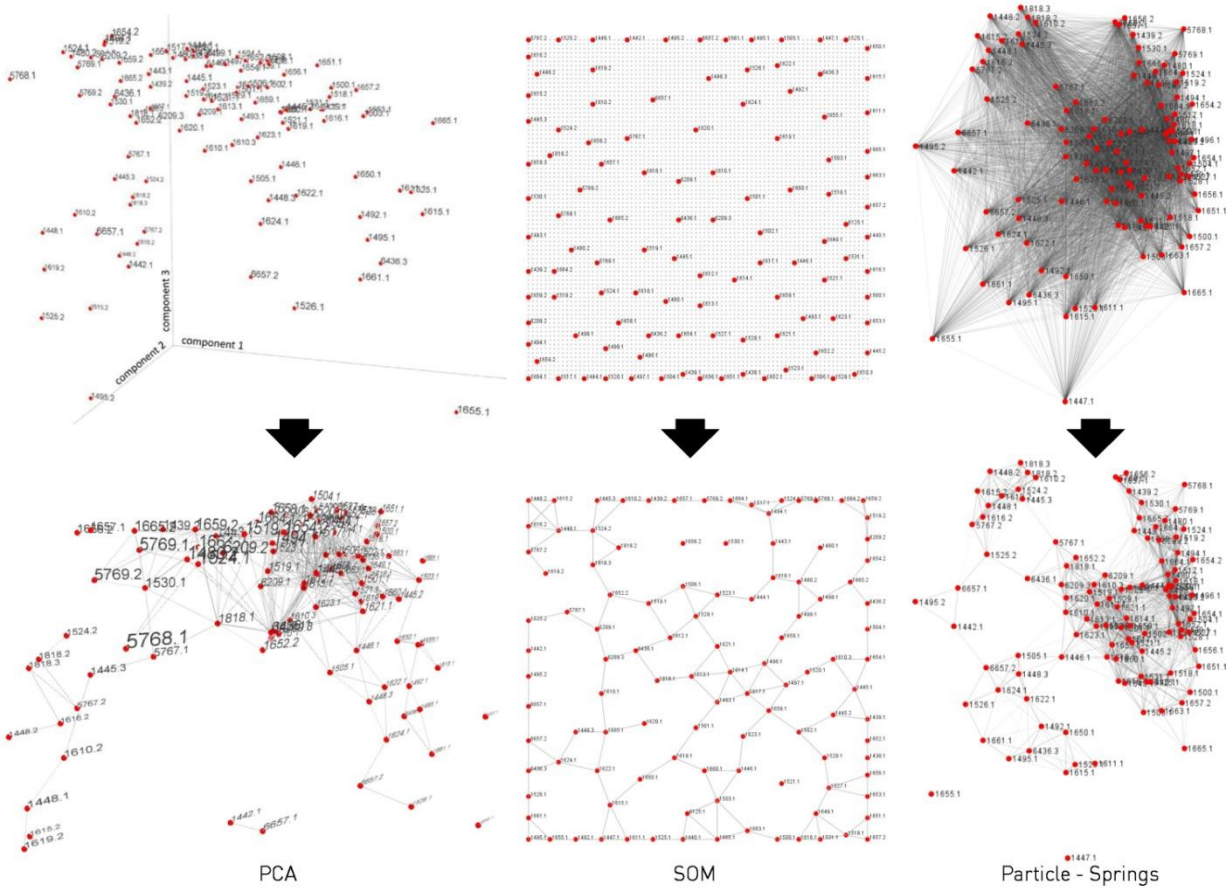
Στη συνέχεια ο αλγόριθμος διατρέχει όλες τις συνδέσεις και υπολογίζει τα μήκη τους, που αντιστοιχούν στις αποστάσεις μεταξύ όλων των ζευγών σημείων, και τις εξάγει σε μορφή πίνακα, του πίνακα εγγύτητας της κάθε κατανομής. Το βήμα αυτό είναι προαιρετικό και εφαρμόζεται μόνο για λόγους διασταύρωσης και επιβεβαίωσης των αποτελεσμάτων, καθώς ο πίνακας εγγύτητας αποτελεί μια μεταγραφή του πλήρους γράφου σε μορφή συντεταγμένων αριθμητικών καταχωρήσεων.

Από τον πλήρη γράφο παράγεται ένας γράφος ορίων, μέσω του καθορισμού ενός ορίου απόστασης, ή μήκους ακμής, πέρα από το οποίο οι συνδέσεις θεωρούνται πολύ ασθενείς και δεν λαμβάνονται υπόψη.

[10] Βλ. κεφ. 4.3. Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών.

[11] Σχετικά με την ταυτόχρονη δημιουργία γράφου εγγύτητας εντός της προσομοίωσης Συστήματος Σωματιδίων – Ελατηρίων βλ. κεφ. 4.5.3.7.1.

Τέλος, από τον γράφο ορίων παράγεται ένας γράφος εγγύτητας, αναθέτοντας σε κάθε ακμή του γράφου ορίων ένα βάρος αντιστρόφως ανάλογο του μήκους της. Έτσι προκύπτει ένας διαβαθμισμένος γράφος στον οποίο σημεία που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους συνδέονται με ισχυρές συνδέσεις, ενώ όσο πιο απομακρυσμένα είναι, τόσο ασθενέστερες είναι και οι συνδέσεις τους (Εικόνα 5 - 5).



Εικόνα 5 - 5.
Γράφοι εγγύτητας από νέφη σημείων

Δημιουργία γράφων εγγύτητας (κάτω) από νέφη σημείων (πάνω) για τις τρεις μεθόδους μείωσης διαστάσεων

5.4.1.5.3. Εξερχόμενα

Από κάθε γράφο εγγύτητας εξάγεται ένας νέος πίνακας που συγκεντρώνει τους νέους, διαβαθμισμένους δείκτες εγγύτητας μεταξύ όλων των ζευγών σημείων. Κάθε γραμμή και κάθε στήλη αναπαριστά ένα σημείο – κόμβο του γράφου και για κάθε συνδεόμενο ζεύγος αναγράφεται στο αντίστοιχο κελί το βάρος της ακμής που συνδέει το ζεύγος. Ο πίνακας αυτός αποτελεί και το μοναδικό απαραίτητο δεδομένο για την Ανάλυση Συστάδων.

5.4.2. Βήμα 2. Ανάλυση Συστάδων μέσω βελτιστοποίησης της δομοστοιχείωσης

5.4.2.1. Αλγόριθμοι βασιζόμενοι στη θεωρία γράφων

Έχοντας ως δεδομένο το γράφο εγγύτητας, όπου τα αντικείμενα αντιμετωπίζονται ως σημεία στο χώρο και οι αποστάσεις μεταξύ όλων των ζευγών αντικειμένων είναι δεδομένες και τέτοιες ώστε «ζεύγη σημείων της ίδιας συστάδας να πρέπει να βρίσκονται πλησιέστερα από ζεύγη που ανήκουν σε

διαφορετικές συστάδες» (Jain & Dubes, 1988: 120), μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα κάποια μέθοδος συσταδοποίησης βασιζόμενη στη θεωρία γράφων.

Για τις μεθόδους αυτές «το πρόβλημα της αναγνώρισης κοινοτήτων απαιτεί το διαχωρισμό του δικτύου σε κοινότητες πυκνά συνδεόμενων κόμβων, με τους κόμβους που ανήκουν σε διαφορετικές κοινότητες να είναι μόνο αραιά συνδεδεμένοι» (Blondel et al, 2008: 1002).

Σύμφωνα με τον Newman (2006: 8577), πολλά δίκτυα «διαιρούνται φυσικά σε κοινότητες ή τμήματα. Το πρόβλημα του εντοπισμού και χαρακτηρισμού της δομής κοινοτήτων είναι ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στη μελέτη των δικτυακών συστημάτων».

Πρέπει επομένως να βρεθεί τρόπος για την ανάκτηση πληροφορίας σχετικά με τη δομή του δικτύου, μέσω της «αποσύνθεσής του σε υποενότητες ή κοινότητες, οι οποίες είναι σύνολα ισχυρά αλληλοσυνδεδεμένων κόμβων» (Fortunato & Castellano, 2007: 2).

Οι διαφορετικές μέθοδοι συσταδοποίησης ακολουθούν διαφορετικές προσεγγίσεις στο διαχωρισμό του γράφου εγγύτητας. Γενικά, οι μέθοδοι συσταδοποίησης αποσυνθέτουν τους γράφους σε συνδεδεμένα τμήματα εντοπίζοντας και διαγράφοντας μη-συνεκτικές ακμές. Κάθε τμήμα αντιπροσωπεύει μια συστάδα. Τα κριτήρια μη-συνεκτικότητας μιας ακμής διαφέρουν από μέθοδο σε μέθοδο. Κάποιες μέθοδοι αναζητούν τις μη-συνεκτικές ακμές και τις διαγράφουν, άλλες επιλέγουν τις πιο συνεκτικές ακμές και διαγράφουν τις υπόλοιπες, ενώ άλλες εφαρμόζουν μεθόδους μεγιστοποίησης της συνεκτικότητας βάσει κάποιας αντικειμενικής συνάρτησης.

Στην πρώτη περίπτωση ανήκει για παράδειγμα ο αλγόριθμος του Zahn (1971), στον οποίο «μια ακμή είναι μη-συνεκτική αν το βάρος της είναι σημαντικά μεγαλύτερο από τη μέση τιμή των βαρών των κοντινών ακμών. Έτσι οι μη-συνεκτικές ακμές συσχετίζονται με τη διάκριση μεταξύ συστάδων. Ο αριθμός των τυπικών αποκλίσεων κατά τις οποίες το βάρος μιας ακμής διαφέρει από το μέσο όρο των βαρών των κοντινών της ακμών και ο λόγος του βάρους της προς το μέσο όρο των κοντινών βαρών είναι δύο τρόποι εντοπισμού μη-συνεκτικών ακμών».

Στη δεύτερη περίπτωση εντάσσονται μέθοδοι που μετασχηματίζουν τους γράφους εγγύτητας σε γράφους άλλης μορφής όπως είναι τα δέντρα ελάχιστης διακλάδωσης [minimum spanning trees - MST], οι γράφοι σχετικής γειτονιάς [relative neighbourhood graphs RNG], οι γράφοι Gabriel [GG], ή εφαρμόζουν αλγορίθμους όπως το Delaunay Triangulation [DT]. Αυτοί οι γράφοι επιλέγουν ένα υποσύνολο των n*(n-1)/2 ακμών του πλήρους γράφου για την απόδοση της δομής ή της ενδογενούς διάκρισης μεταξύ συστάδων. Οι ακμές σε αυτούς τους γράφους αντιστοιχούν ως επί το πλείστον σε μικρές αποστάσεις μεταξύ σημείων. Οι γράφοι βασίζονται αποκλειστικά στην διάταξη των μηκών των ακμών.

5.4.2.2. Εφαρμογή: Στάδια Βήματος 2

Στην τρίτη περίπτωση, ο διαχωρισμός σε συστάδες βασίζεται στη μεγιστοποίηση μιας αντικειμενικής συνάρτησης που ποσοτικοποιεί τη συνεκτικότητα.

Σύμφωνα με τον Newman (2006: 8577), «μια προσέγγιση υψηλής αποτελεσματικότητας είναι η βελτιστοποίηση της ποιοτικής συνάρτησης, γνωστής ως δομοστοιχείωση [modularity], για τις πιθανές διαιρέσεις ενός δικτύου» και υποστηρίζει ότι «η πραγματική δομή κοινοτήτων ενός δικτύου αντιστοιχεί σε μια στατιστικά μη αναμενόμενη κατανομή ακμών, η οποία μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με τη χρήση μιας μέτρησης, γνωστής ως δομοστοιχείωση» (Newman & Girvan 2004).

Η αναγνώριση κοινοτήτων μέσω της μεγιστοποίησης της δομοστοιχείωσης μπορεί να αποκαλύψει στοιχεία για τη δομή ενός δικτύου που δεν είναι εμφανή εκ των προτέρων, γιατί οι επιμέρους

κοινότητες μπορεί να έχουν διαφορετικές ιδιότητες, όπως συνδεσιμότητα, κεντρικότητα και άλλες, σε σχέση με το συνολικό δίκτυο.

5.4.2.2.1. Δομοστοιχείωση γράφου [graph modularity]

Η δομοστοιχείωση αποτελεί μέτρο της δομής δικτύων ή γράφων που αναφέρεται στην ισχύ του διαχωρισμού τους σε υποενότητες. Δίκτυα με υψηλή δομοστοιχείωση έχουν πυκνές συνδέσεις μεταξύ των κόμβων της ίδιας ενότητας και αραιές συνδέσεις μεταξύ κόμβων διαφορετικών ενοτήτων. Βάσει αυτής της ιδιότητας, η δομοστοιχείωση χρησιμοποιείται συχνά όχι μόνο για την αξιολόγηση μιας δεδομένης συσταδοποίησης, αλλά και για τον ίδιο τον εντοπισμό της δομής κοινοτήτων σε δίκτυα, παρέχοντας ένα κριτήριο επιλογής μεταξύ εναλλακτικών συσταδοποιήσεων.

Αναλυτικότερα, η δομοστοιχείωση είναι, «εκφρασμένη ως πολλαπλασιαστική σταθερά, το πλήθος των ακμών που βρίσκονται εντός ομάδων μείον το αναμενόμενο πλήθος σε ένα ισοδύναμο δίκτυο με τυχαία τοποθετημένες ακμές. Η δομοστοιχείωση μπορεί να είναι θετική ή αρνητική, με τις θετικές τιμές να υποδεικνύουν την πιθανότητα παρουσίας δομής κοινοτήτων. Έτσι μπορεί κανείς να αναζητά δομή κοινοτήτων μέσω διαχωρισμών ενός δικτύου με θετικές και κατά προτίμηση υψηλές τιμές δομοστοιχείωσης» (Newman, 2006: 8578, 2004b).

Η δομοστοιχείωση ενός διαχωρισμού είναι μια αριθμητική τιμή μεταξύ -1 και 1 που μετράει την πυκνότητα συνδέσεων εντός των κοινοτήτων συγκρινόμενη με τις συνδέσεις μεταξύ κοινοτήτων (Blondel et al, 2008, Girvan & Newman, 2002, Newman, 2006). Στην περίπτωση διαβαθμισμένων γράφων, ορίζεται ως εξής (Newman, 2004a):

$$Q = 1/2m \sum_{i,j} [A_{ij} – k_i k_j/2m] \delta(c_i, c_j),$$

Όπου A_{ij} το βάρος της ακμής μεταξύ των κόμβων i και j,

$k_i = \sum_j A_{ij}$ το άθροισμα των βαρών των ακμών που συνδέονται με τον κόμβο i,

c_i η κοινότητα στην οποία έχει ανατεθεί ο κόμβος i,

η συνάρτηση $\delta(u, v)$ είναι 1 αν u = v και 0 σε κάθε άλλη περίπτωση και

$m = 1/2 \sum_{ij} A_{ij}$.

Ο συμμετρικός πίνακας

$B_{ij} = A_{ij} – k_i k_j/2m$

ονομάζεται πίνακας δομοστοιχείωσης (Newman, 2006). Το άθροισμα των στοιχείων κάθε γραμμής και κάθε στήλης είναι μηδέν (σαν πίνακας Laplace).

5.4.2.2.2. Αλγόριθμοι μεγιστοποίησης δομοστοιχείωσης

Η δομοστοιχείωση χρησιμοποιείται ως μέτρο της ποιότητας του διαχωρισμού που παράγεται από αλγορίθμους συσταδοποίησης, αλλά κατ' επέκταση και στα πλαίσια της ίδιας της διαδικασίας ανάλυσης συστάδων, «ως αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης» (Newman, 2004b).

Όσο υψηλότερη είναι η τιμή της δομοστοιχείωσης ενός διαχωρισμού, τόσο καλύτερος είναι ο διαχωρισμός. Επομένως, αλγόριθμοι που βασίζονται στη βελτιστοποίηση της δομοστοιχείωση στοχεύουν στη μεγιστοποίησή της. Ο στόχος αυτός επιδιώκεται με πολλούς τρόπους και σε

συνδυασμό με γνωστές μεθόδους βελτιστοποίησης, όπως η μέθοδος της προσομοιούμενης ανόπτησης [simulated annealing] (Guimera & Amaral, 2005, Danon et al, 2005), οι greedy algorithms (Newman, 2004b), η extremal optimization (Duch & Arenas, 2005), οι φασματικές ιδιότητες του δικτύου [spectral properties of the network] (Newman, 2006).

5.4.2.2.3. Ο αλγόριθμος: Η μέθοδος Louvain

Σε αυτή την κατηγορία αλγορίθμων, που στοχεύουν στη βελτιστοποίηση της δομοστοιχείωσης ανήκει και ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται για τη συσταδοποίηση των διαβαθμισμένων γράφων εγγύτητας που εξάγονται από το πρώτο βήμα της διαδικασίας. Ο αλγόριθμος αυτός, αποκαλούμενος και αλγόριθμος Louvain, έχει συνταχθεί από τους Blondel, Guillaume, Lambiotte και Lefebvre (2008) και είναι ο αλγόριθμος που εφαρμόζεται στο ελεύθερο λογισμικό οπτικοποίησης και ανάλυσης γράφων Gephi για τη διάκριση κοινοτήτων[12].

Σύμφωνα με την περιγραφή που δίνει η ομάδα ανάπτυξής του, πρόκειται για έναν αλγόριθμο που «βρίσκει διαχωρισμούς με υψηλή δομοστοιχείωση και ξεδιπλώνει μια πλήρη ιεραρχική δομή κοινοτήτων, δίνοντας πρόσβαση σε διαφορετικές κλίμακες εντοπισμού κοινοτήτων» (Blondel et al, 2008: 1004).

Ο αλγόριθμος Louvain ακολουθεί μια διαδικασία που διακρίνεται σε δύο φάσεις, οι οποίες επαναλαμβάνονται διαδοχικά (Εικόνα 5 - 6).

Στην πρώτη φάση, για έναν διαβαθμισμένο γράφο με N κόμβους, αρχικά ανατίθεται μια κοινότητα σε κάθε κόμβο, δηλαδή κάθε κόμβος θεωρείται ότι αποτελεί και μια ξεχωριστή κοινότητα. Στη συνέχεια, για κάθε κόμβο i θεωρούνται όλοι οι γειτονικοί του κόμβοι j και υπολογίζεται η δομοστοιχείωση που θα προέκυπτε με την αφαίρεση του κόμβου i από την κοινότητά του και την τοποθέτησή του στην κοινότητα του κόμβου j. Ο κόμβος i τοποθετείται τελικά στην κοινότητα για την οποία μεγιστοποιείται το κέρδος, αν αυτό είναι θετικό. Αν δεν υπάρχει θετικό κέρδος, ο κόμβος παραμένει στην αρχική του κοινότητα. Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται επαναληπτικά και διαδοχικά για όλους τους κόμβους μέχρι να μην επέρχεται περαιτέρω βελτίωση της δομοστοιχείωσης και έτσι ολοκληρώνεται η πρώτη φάση. Αυτή η πρώτη φάση τερματίζεται όταν έχει επιτευχθεί τοπική μεγιστοποίηση της δομοστοιχείωσης, δηλαδή όταν καμία μεμονωμένη μετακίνηση δεν βελτιώνει τη δομοστοιχείωση. Πρακτικά, αυτό που υπολογίζεται στην πρώτη φάση είναι η μεταβολή της δομοστοιχείωσης με την αφαίρεση του κόμβου i από την κοινότητά του και τη μετακίνησή του σε μια γειτονική κοινότητα. Κατά τη διαδικασία αυτή κάθε κόμβος ενδέχεται να εξεταστεί πολλές φορές.

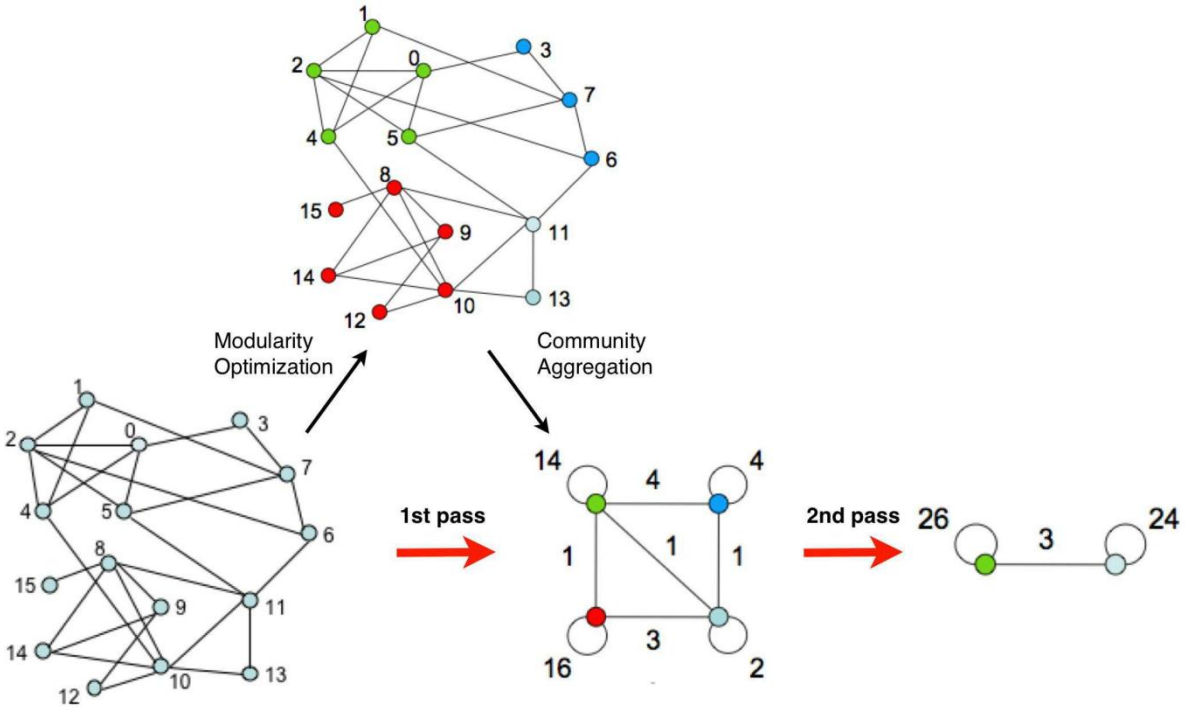
Το αποτέλεσμα του αλγορίθμου επηρεάζεται από τη σειρά θεώρησης των κόμβων, αλλά όχι τόσο ως προς τη δομοστοιχείωση όσο ως προς το χρόνο υπολογισμού.

Η δεύτερη φάση του αλγορίθμου συνίσταται στη δημιουργία ενός νέου γράφου, του οποίου οι κόμβοι είναι οι κοινότητες που εντοπίστηκαν στην πρώτη φάση. Τα βάρη των συνδέσεων μεταξύ των νέων κόμβων δίνονται από το άθροισμα των βαρών των συνδέσεων μεταξύ των κόμβων των αντίστοιχων δύο κοινοτήτων (Arenas et al, 2007). Σύνδεσμοι μεταξύ των κόμβων της ίδιας κοινότητας οδηγούν σε βρόχους για την κοινότητα αυτή. Όταν ολοκληρωθεί αυτή η δεύτερη φάση, επαναλαμβάνεται η πρώτη φάση του αλγορίθμου στον νέο διαβαθμισμένο γράφο και επαναλαμβάνεται όλη η διαδικασία, μέχρι να μην υπάρχουν άλλες μεταβολές που να αυξάνουν τη δομοστοιχείωση.

[12] Μια μέθοδο παρόμοια με τον αλγόριθμο Louvain και τον αλγόριθμο Kernighan–Lin algorithm (1970) προτείνει και ο Newman (2006) και μάλιστα τη συνδυάζει με φασματική [spectral] ανάλυση.

Το εξερχόμενο του αλγορίθμου είναι πολλαπλοί διαχωρισμοί. Ο διαχωρισμός που παράγεται στο πρώτο βήμα τυπικά αποτελείται από μεγάλο πλήθος κοινοτήτων μικρού μεγέθους. Σε απόμενα στάδια, εντοπίζονται όλο και μεγαλύτερες κοινότητες, εξαιτίας του συσσωρευτικού μηχανισμού. Η διαδικασία αυτή οδηγεί στην ιεραρχική αποδόμηση του δικτύου.

Ο αλγόριθμος έχει αναφορά στην αυτοομοιότητα των πολύπλοκων δικτύων (Song, Havlin & Makse, 2005) και εμπεριέχει την έννοια της ιεραρχίας, καθώς κατά τη διαδικασία δομούνται κοινότητες κοινοτήτων. Το βάθος της ιεραρχίας καθορίζεται από το πλήθος των κύκλων του αλγορίθμου και γενικά είναι μικρό.



Εικόνα 5 - 6.
Διάγραμμα των φάσεων λειτουργίας του αλγορίθμου Louvain (Blondel et al, 2008: 1003)

5.4.2.2.4. Επιλογή και πλεονεκτήματα της μεθόδου Louvain

Η εφαρμογή του αλγόριθμου Louvain θεωρείται κατάλληλη για τη συγκεκριμένη εφαρμογή κυρίως λόγω του γεγονότος ότι πρόκειται για μια ανεπίβλεπτη μέθοδο συσταδοποίησης, που εφαρμόζεται άμεσα σε ήδη σχηματισμένους γράφους για την ανάλυση των οποίων βασίζεται μόνο στο εσωτερικό, ποσοτικοποιήσιμο κριτήριο της δομοστοιχείωσης χωρίς να προϋποθέτει εξωτερικά κριτήρια, προκαθορισμένες ιδέες ή εξειδικευμένη γνώση σχετικά με τα δεδομένα που αναλύονται. Το πλήθος, το μέγεθος και η σύσταση των κοινοτήτων προκύπτουν από την ανάλυση της ίδιας της δομής του δικτύου χωρίς να προκαθορίζεται κάποιο επιθυμητό πλήθος ή όριο μεγέθους κοινοτήτων.

Σύμφωνα με τους Blondel et al (2008), η ιεραρχική δομή του αλγορίθμου και η εκκίνησή του από κοινότητες ενός κόμβου, τον καθιστά ικανό να αναγνωρίζει μικρές κοινότητες, σε αντίθεση με πολλούς άλλους αντίστοιχους αλγορίθμους. Με τη σταδιακή συνένωση κοινοτήτων, ο αλγόριθμος παρέχει μια ιεραρχική αποδόμηση του γράφου σε διαφορετικά επίπεδα οργάνωσης και στον τελικό γράφο είναι προσβάσιμα τα αποτελέσματα όλων των ενδιάμεσων συνενώσεων. Οι ενδιάμεσοι διαχωρισμοί αντιστοιχούν σε τοπικά μέγιστα δομοστοιχείωσης, με την έννοια ότι δεν υπάρχει περαιτέρω αύξηση της δομοστοιχείωσης με τη μετακίνηση μιας μεμονωμένης οντότητας από μια

κοινότητα σε μια άλλη. Έτσι, τα ενδιάμεσα στάδια διαχωρισμού μπορεί να είναι χρήσιμα, ανάλογα με την κλίμακα θεώρησης του δικτύου.

Αν και πρόκειται για μια προσεγγιστική μέθοδο που δεν εξασφαλίζει απόλυτα την επίτευξη καθολικά μέγιστης δομοστοιχείωσης, έχει αποδειχθεί πειραματικά (Blondel et al, 2008) ότι ο αλγόριθμος παρέχει ακρίβεια και μια αποδόμηση σε κοινότητες με δομοστοιχείωση που προσεγγίζει τη βέλτιστη.

Ως προς τις απαιτήσεις σε υπολογιστική λογική, ισχύ και χρόνο, τα βήματα του αλγορίθμου Louvain είναι διαισθητικά και εύκολα εφαρμόσιμα, ενώ ο απαιτούμενος υπολογιστικός χρόνος είναι μικρός σε σχέση με άλλους αλγορίθμους και μάλιστα μειώνεται δραστικά σε κάθε κύκλο (Blondel et al, 2008).

5.4.2.2.5. Εφαρμογή του αλγορίθμου

Η καθαυτό Ανάλυση Συστάδων πραγματοποιείται με τη χρήση του ελεύθερου λογισμικού οπτικοποίησης και ανάλυσης γράφων Gephi, που παρέχει ένα εύρος εργαλείων για την εισαγωγή, γραφική απόδοση, μορφοποίηση και ανάλυση γράφων.

Εισερχόμενα

Οι γράφοι εγγύτητας που σχηματίστηκαν στην προηγούμενη φάση και που αντιστοιχούν στα αποτελέσματα των τριών μεθόδων μείωσης διαστάσεων, εξάγονται από την Processing, όπου έχουν παραχθεί, και εισάγονται στο λογισμικό Gephi για περαιτέρω ανάλυση και για την τελική εξαγωγή των συστάδων. Προκειμένου οι γράφοι να περαστούν από το ένα λογισμικό στο άλλο πρέπει να μετατραπούν σε πίνακες συνδεσιμότητας. Για το σκοπό αυτό συντάσσεται σχετική αλγοριθμική διαδικασία σε γλώσσα προγραμματισμού Processing που μετράει, μορφοποιεί κατάλληλα και εξάγει τα χαρακτηριστικά των γράφων εγγύτητας σε μορφή πινάκων αναγνωρίσιμων από το λογισμικό Gephi.

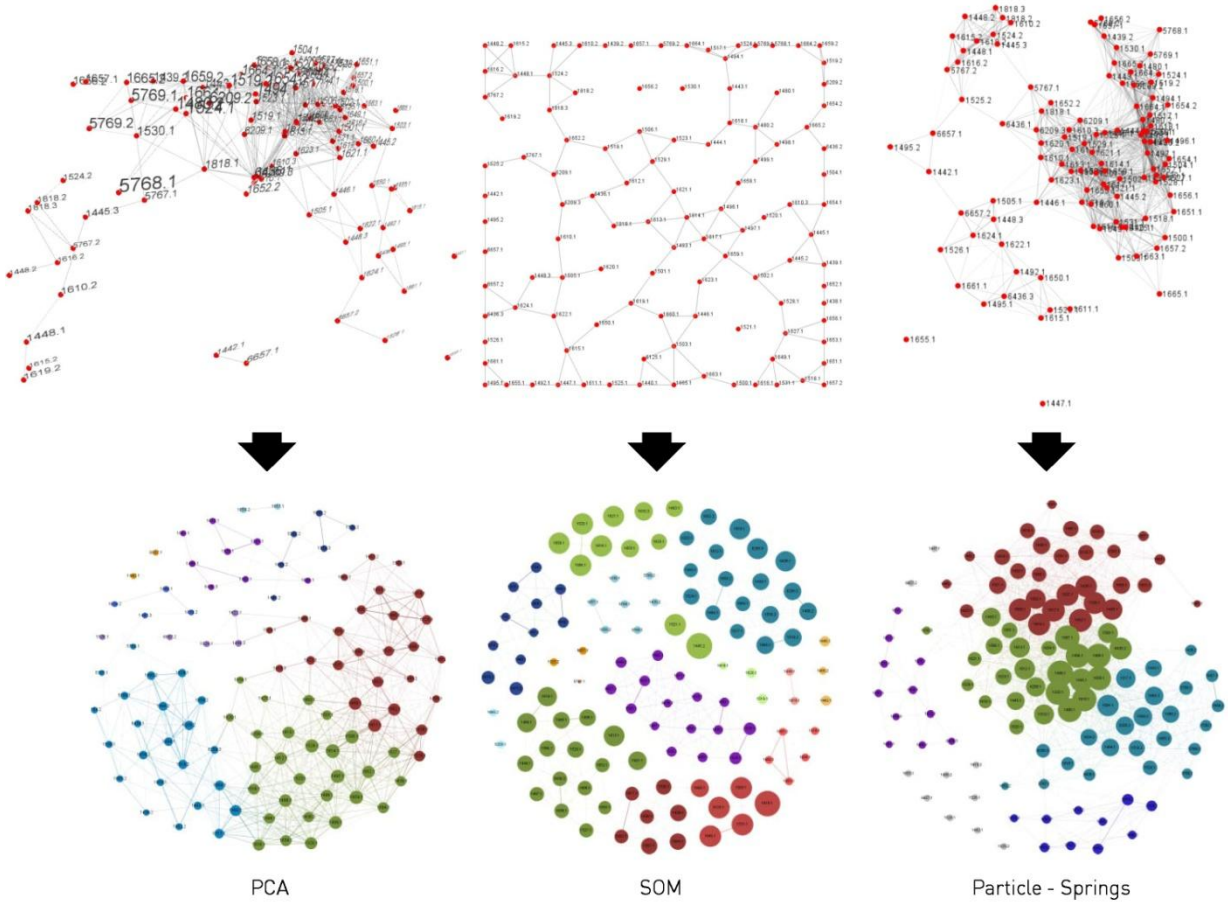
Επεξεργασία

Τα δεδομένα των πινάκων εισάγονται στο λογισμικό Gephi και για κάθε μια από τις τρεις περιπτώσεις οπτικοποιείται ο αντίστοιχος γράφος εγγύτητας και μορφοποιείται κατάλληλα με τη χρήση των εργαλείων του λογισμικού προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η αναγνωσιμότητα της δομής του.

Στη συνέχεια εφαρμόζεται ο αλγόριθμος Louvain, που είναι ενσωματωμένος στη λειτουργία διάκρισης κοινοτήτων και υπολογισμού της δομοστοιχείωσης του παραγόμενου διαχωρισμού (Εικόνα 5 - 7).

Εξερχόμενα

Τα στοιχεία που εξάγονται από την εφαρμογή του αλγορίθμου είναι ο διαχωρισμός του γράφου σε συστάδες, βάσει της μεγιστοποίησης της δομοστοιχείωσης.



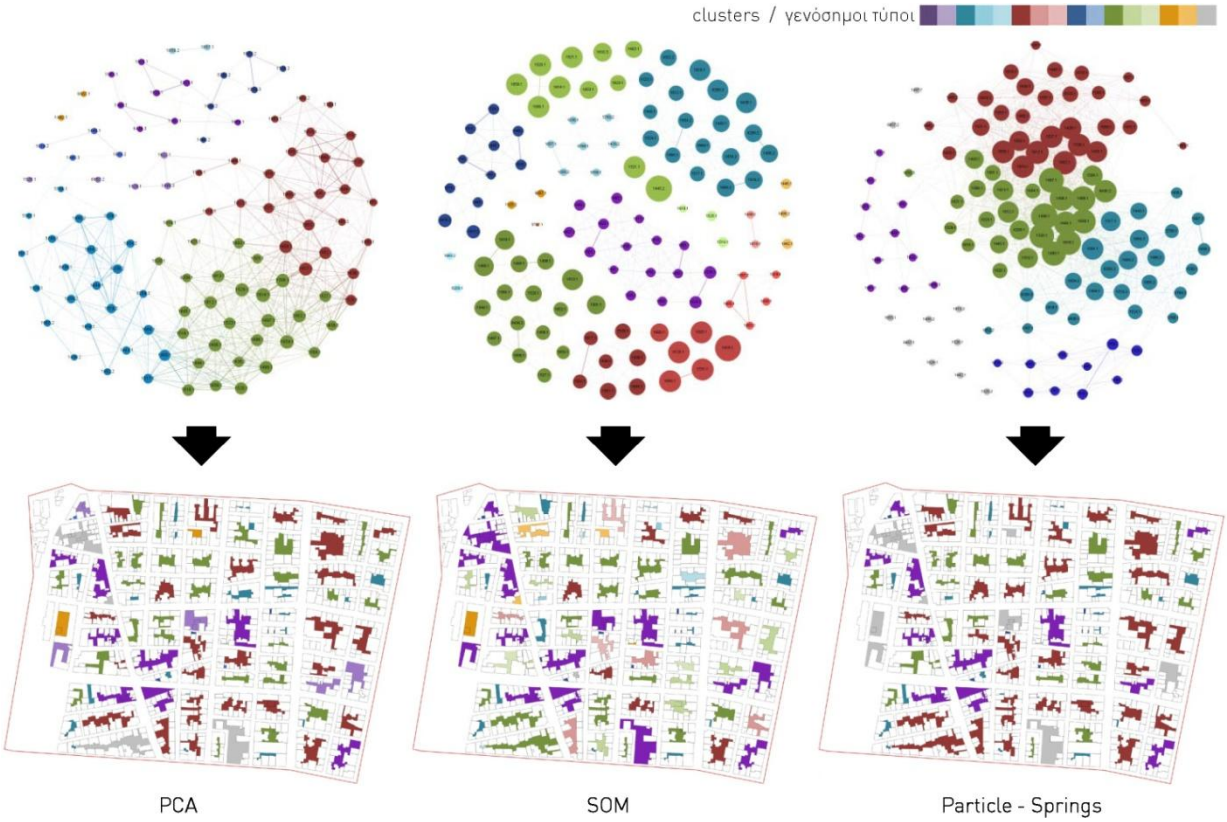
Εικόνα 5 - 7.
Ανάλυση Συστάδων

Υπολογισμός δομοστοιχείωσης και συσταδοποίηση (κάτω) των γράφων εγγύτητας (πάνω) για τις τρεις μεθόδους μείωσης διαστάσεων

Από τον παραγόμενο διαχωρισμό, παρέχεται πληροφορία σχετικά με τη συνολική δομοστοιχείωση του διαχωρισμού, αλλά και με το πλήθος και το μέγεθος των συστάδων ως προς το πλήθος των κόμβων που περιλαμβάνει καθεμία, καθώς και αναλυτικά στοιχεία για το ποιος κόμβος ανήκει σε ποια συστάδα. Επίσης παρέχονται διαφορετικές δυνατότητες οπτικοποίησης και μορφοποίησης των αποτελεσμάτων, σε μορφή γράφου, πίνακα, ή άλλων στατιστικών διαγραμμάτων όπως είναι τα pie-charts (Εικόνα 5 - 7 κάτω, Εικόνα 5 - 9, Εικόνα 5 - 10).

Ο διαχωρισμός των γράφων εγγύτητας σε διακριτές συστάδες αποτελεί και το τελικό στάδιο της κατηγοριοποίησης των αδόμητων χώρων σε τύπους. Κάθε συστάδα θεωρείται ότι αποτελεί και έναν τύπο.

Τέλος, για κάθε συσταδοποίηση, οι αντίστοιχοι τύποι αποτυπώνονται στο χάρτη της περιοχής, αντιστοιχίζοντας κάθε συστάδα με διαφορετικό χρώμα (Εικόνα 5 - 8). Η τελική μεταφορά και χρωματική κωδικοποίηση των γενόσημων χωρικών τύπων σε χάρτη γίνεται μέσω της γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic for Applications (VBA), εντός σχεδιαστικού λογισμικού CAD. Η οπτικοποίηση αυτή, που δείχνει την κατανομή των εξαγόμενων τύπων στο χώρο για κάθε μια από τις τρεις μεθόδους υποστηρίζει την εποπτική εξέταση των αποτελεσμάτων και σε συνδυασμό με την ανάλυση των αριθμητικών δεδομένων των αποτελεσμάτων μπορούν να εξαχθούν κάποια πρώτα συμπεράσματα σχετικά με τη συσταδοποίηση.



Εικόνα 5 - 8.
Κατανομή των χωρικών τύπων στο χάρτη της περιοχής

Χρωματική κωδικοποίηση των αστικών κενών στο χάρτη (κάτω) ανάλογα με τη συστάδα στην οποία ανήκουν (πάνω) για τις τρεις μεθόδους μείωσης διαστάσεων

5.4.2.3. Αποτελέσματα

5.4.2.3.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Οι Jain & Dubes (1988: 75), υπογραμμίζουν την αναγκαιότητα αξιολόγησης των αποτελεσμάτων μιας Ανάλυσης Συστάδων και τονίζουν οτι «οι μέθοδοι συσταδοποίησης δημιουργούν συστάδες στα δεδομένα ακόμα καιόταν δεν υπάρχουν φυσικές συστάδες, οπότε οι ιεραρχίες και οι συσταδοποιήσεις πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή».

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μιας συσταδοποίησης μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικά κριτήρια[13], ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων, την παρεχόμενη πληροφορία σχετικά με αναμενόμενες δομές και τη φύση της συσταδοποίησης.

Συγκεκριμένα, οι Jain & Dubes, (1988: 161) διακρίνουν τα κριτήρια σε εξωτερικά, εσωτερικά και σχετικά.

Σύμφωνα με τη διάκριση αυτή, εξωτερικά κριτήρια μετρούν την απόδοση συγκρίνοντας τη συσταδοποιημένη δομή με εκ των προτέρων παρεχόμενη πληροφορία αναφορικά με τα δεδομένα. Για παράδειγμα, ένα εξωτερικό κριτήριο μετράει το βαθμό αντιστοιχίας μεταξύ του πλήθους των συστάδων και των κατηγορικών ετικετών που έχουν ανατεθεί στα δεδομένα εκ των προτέρων. Ένα

[13] «Ένα κριτήριο εκφράζει την στρατηγική με την οποία μια συσταδοποιημένη δομή θα αξιολογηθεί ως προς την εγκυρότητά της» (Jain & Dubes, 1988: 161).

εξωτερικό κριτήριο μπορεί επίσης να μετρήσει το βαθμό στον οποίο τα δεδομένα επιβεβαιώνουν προκαθορισμένες ιδέες, χωρίς να έχει πραγματοποιηθεί ανάλυση συστάδων.

Εσωτερικά κριτήρια αξιολογούν το συνταίριασμα μεταξύ της δομής και των δεδομένων, χρησιμοποιώντας μόνο τα ίδια τα δεδομένα. Για παράδειγμα, ένα εσωτερικό κριτήριο θα μετρούσε το βαθμό στον οποίο ένας διαχωρισμός, που προκύπτει από κάποιον αλγόριθμο συσταδοποίησης, δικαιολογείται από τον πίνακα εγγύτητας.

Σχετικά κριτήρια αποφασίζουν ποια είναι η καταλληλότερη μεταξύ διαφορετικών δομών, ούτως ώστε να είναι με κάποια έννοια σταθερότερη ή πιο συμβατή με τα δεδομένα.

5.4.2.3.2. Εξωτερικά κριτήρια

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή είναι προφανές ότι δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα εξωτερικά κριτήρια, αφού δεν παρέχεται σαφής προκαθορισμένη γνώση για τη δομή των δεδομένων ή ορισμένες εκ των προτέρων ετικέτες κατηγοριών. Εξάλλου, η ανάπτυξη της συγκεκριμένου μεθόδου περιγραφής και ομαδοποίησης των υπό ανάλυση χώρων υπαγορεύτηκε ακριβώς από τη διαπίστωση ότι η ασαφής και μη περιγράψιμη φύση τους αποκλείει την εκ των προτέρων επιλογή κριτηρίων και κατηγορικών ετικετών.

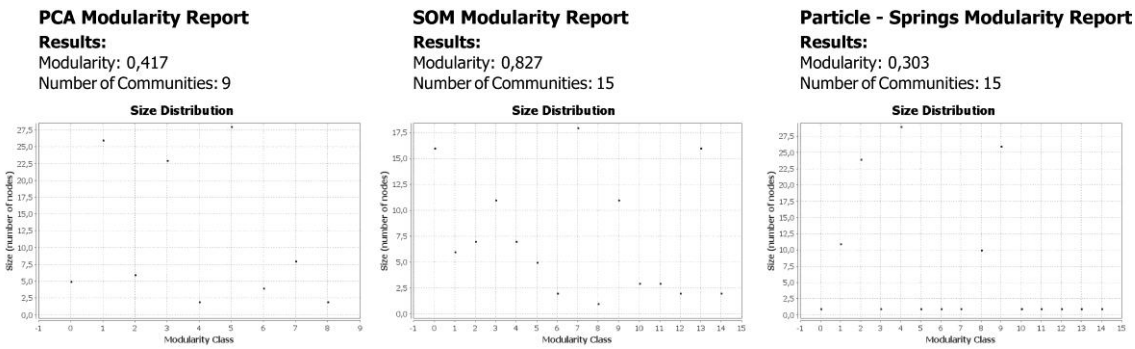
5.4.2.3.3. Εσωτερικά κριτήρια: Ποιότητα συσταδοποίησης βάσει δομοστοιχείωσης

Καθεμία από τις τρεις συσταδοποιήσεις που προκύπτουν από τις διαφορετικές μεθόδους μείωσης διαστάσεων μπορεί να αξιολογηθεί μεμονωμένα ως προς την εγκυρότητά της βάσει εσωτερικών κριτηρίων, που βασίζονται αποκλειστικά σε πληροφορία που ενυπάρχει στα δεδομένα.

Η δομοστοιχείωση, εκτός από αντικειμενική συνάρτηση βελτιστοποίησης, αποτελεί μέτρο της ποιότητας μιας συσταδοποίησης, εκφράζοντας την ισχύ του διαχωρισμού σε υποενότητες. Επομένως, η μέτρηση της συνολικής δομοστοιχείωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εσωτερικό κριτήριο για την αξιολόγηση της κάθε συσταδοποίησης.

Η ομάδα ανάπτυξης του λογισμικού Gephi σημειώνει ότι η μέτρηση της δομοστοιχείωσης έχει νόημα μόνο εφόσον η συνολική δομοστοιχείωση για το σύνολο του γράφου είναι μεγαλύτερη του 0.4. Αν η συνολική δομοστοιχείωση είναι χαμηλότερη «αυτό υποδεικνύει ότι ο γράφος δεν έχει μια σαφή και ισχυρή δομή κοινοτήτων», δηλαδή η πυκνότητα των συνδέσεων στο σύνολο του γράφου δεν εμφανίζει έντονη ετερογένεια. Ακόμα όμως και όταν η συνολική δομοστοιχείωση είναι χαμηλή, ο υπολογισμός και η οπτικοποίησή της αποκαλύπτουν έστω και μικρές διαφοροποιήσεις στη δομή του δικτύου.

Από τον υπολογισμό της δομοστοιχείωσης της τελικής συσταδοποίησης, ο αλγόριθμος Louvain δίνει τιμή συνολικής δομοστοιχείωσης 0.827 για το Νευρωνικό Δίκτυο, 0.417 για την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών και μόλις 0.303 για το σύστημα Σωματιδίων – Ελατηρίων (Εικόνα 5 - 9).



Εικόνα 5 - 9.
Πίνακες δομοστοιχείωσης

Συνολική δομοστοιχείωση, πλήθος και μέγεθος συστάδων για τις τρεις μεθόδους μείωσης διαστάσεων

5.4.2.3.4. Σχετικά κριτήρια

Σχετικά κριτήρια αναφέρονται στη σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τις τρεις διαφορετικές μεθόδους μείωσης διαστάσεων. Εξάλλου η δυνατότητα συγκριτικής αξιολόγησης ήταν και ένας από τους πρωταρχικούς στόχους της εφαρμογής διαφορετικών μεθόδων μείωσης διαστάσεων.

Δεδομένου ότι η δομοστοιχείωση αποτελεί μέτρο αξιολόγησης μιας συσταδοποίησης, είναι προφανές ότι η τιμή της μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα και ως σχετικό κριτήριο για τη σύγκριση μεταξύ των τριών διαχωρισμών.

Βάσει αποκλειστικά του κριτηρίου της δομοστοιχείωσης και σύμφωνα με τις τιμές που προαναφέρθηκαν, η ποιότητα του διαχωρισμού μπορεί να θεωρηθεί ως πολύ ικανοποιητική στην περίπτωση του Νευρωνικού δικτύου και ως αρκετά χαμηλή στην περίπτωση του συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων, ενώ η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών τοποθετείται κάπου ενδιάμεσα, λίγο πάνω από την τιμή του 0.4 που προτείνεται ως όριο κάτω από το οποίο η δομή των κοινοτήτων ίσως να μην είναι πολύ σαφής.

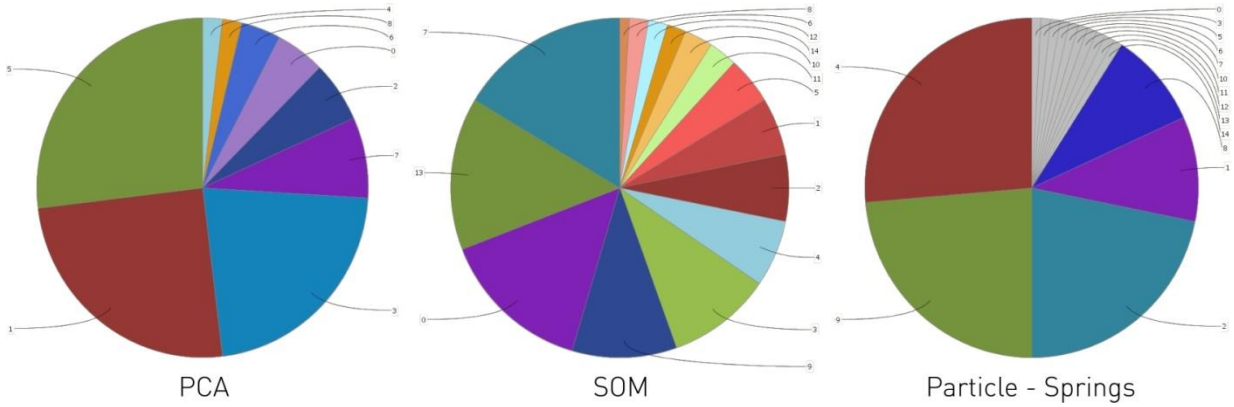
Η κατάταξη που γίνεται βάσει της δομοστοιχείωσης αφορά αποκλειστικά στην ισχύ του διαχωρισμού του εκάστοτε γράφου σε συστάδες, με όρους ετερογένειας των συνδέσεων στο σύνολό τους, χωρίς να εξετάζεται η σύσταση των συστάδων αυτών. Επομένως, το κριτήριο αυτό ίσως να μην είναι επαρκές για την επιλογή μίας μόνο από τις τρεις συσταδοποιήσεις.

Για μια συνολικότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων ως προς τη δομή και το περιεχόμενο των συστάδων, μπορεί να εφαρμοστεί συμπληρωματικά ένα επιπλέον σχετικό κριτήριο, που να βασίζεται στη σύγκριση των διαχωρισμών ως προς το πλήθος και τα μεγέθη των συστάδων καθώς και στην εξέταση της κατανομής των στοιχείων στις συστάδες.

Η παρατήρηση των αποτελεσμάτων της συσταδοποίησης που προκύπτει για κάθε μία από τις τρεις κατανομές σημείων, σε μια πρώτη προσέγγιση αποκαλύπτει κάποιες εμφανείς διαφορές ως προς τα πλήθη και τα μεγέθη των συστάδων (Εικόνα 5 - 9, Εικόνα 5 - 10).

Συγκεκριμένα, οι γράφοι που παράγονται από το Νευρωνικό Δίκτυο και το σύστημα Σωματιδίων - Ελατηρίων περιέχουν το ίδιο πλήθος συστάδων, από 15 ο καθένας. Ωστόσο στην περίπτωση του Νευρωνκού Δικτύου παρατηρείται κανονικότερη κατανομή ως προς τα μεγέθη των συστάδων, ενώ στην περίπτωση του συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων εμφανίζονται λίγες πολυμελείς συστάδες (5) και ένα πλήθος μεμονωμένων σημείων που σχηματίζουν το καθένα μια ξεχωριστή ατομική συστάδα. Ο γράφος που εξάγεται από την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών περιέχει μικρότερο συνολικό

πλήθος συστάδων (9), με ανισοκατανομή μεγεθών. Εμφανίζεται ένας μικρός αριθμός μεγάλων συστάδων (3) με πολλά μέλη σε συνδυασμό με πολυάριθμες μικρές ομάδες και κάποια μεμονωμένα σημεία. Αν τα μεμονωμένα αυτά σημεία, που αντιστοιχούν σε μη συνδεδεμένους κόμβους του δικτύου, θεωρηθούν ως ατομικές συστάδες, τότε το πλήθος των συστάδων και για την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών είναι 15, δηλαδή ίσο με των άλλων δύο μεθόδων.



Εικόνα 5 - 10.

Διαγράμματα κατανομής των στοιχείων σε συστάδες (pie charts)

Πλήθος και μέγεθος συστάδων για τις τρεις μεθόδους μείωσης διαστάσεων

Οι διαφορές αυτές αφορούν σε μια μακροσκοπική θεώρηση των συστάδων, ως προς τα πλήθη και τα μεγέθη. Ωστόσο, μια λεπτομερέστερη παρατήρηση του περιεχομένου των συστάδων με όρους κατανομής συγκεκριμένων κόμβων σε αυτές δείχνει ότι, παρά τις διαφορές, οι τρεις συσταδοποιήσεις φαίνονται να συγκλίνουν σημαντικά, εμφανίζοντας επαναλαμβανόμενα συστάδες σχηματιζόμενες από τους ίδιους συνδυασμούς αδόμητων χώρων. Επιπλέον, τα περισσότερα μεμονωμένα σημεία αντιστοιχούν στους ίδιους χώρους για όλες τις μεθόδους. Η ποιοτική σύσταση δηλαδή των ομάδων είναι παρόμοια. Οι περισσότερες αποκλίσεις φαίνεται να οφείλονται στα διαφορετικά μεγέθη των συστάδων, αφού πολυπληθείς ομάδες που προκύπτουν από μια μέθοδο αντιστοιχούν σε συνενώσεις μικρότερων ομάδων από άλλη μέθοδο (Εικόνα 5 - 12). Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός ότι κάποιες ολιγομελείς ομάδες της μιας συσταδοποίησης αποτελούν υποσύνολα μιας πολυπληθέστερης ομάδας σε άλλη συσταδοποίηση. Αυτό ίσως να σημαίνει ότι για ενδιάμεσα στάδια συνένωσης του αλγορίθμου ή για διαφορετικά όρια στη δημιουργία του γράφου εγγύτητας πιθανά οι τελικές συσταδοποιήσεις να ήταν ακόμα πιο κοντινές μεταξύ τους.

Ελέγχοντας για κάθε αδόμητο χώρο με ποιους ομαδοποιείται σε κάθε περίπτωση, παρατηρείται ότι το 44% των κόμβων (48 στους 110) ομαδοποιούνται με τους ίδιους γείτονες και στις τρεις συσταδοποιήσεις, ενώ μόνο το 6% (7 στους 110) τοποθετούνται σε συστάδες διαφορετική σύνθεσης σε κάθε μια από τις τρεις συσταδοποιήσεις (Εικόνα 5 - 11).

block	PCA	SOM	P - S
1444.1	5	13	9
1496.1	5	13	9
1497.1	5	13	9
1498.1	5	13	9
1499.1	5	13	9
1501.1	5	13	9
1504.1	5	13	9
1520.1	5	13	9
1613.1	5	13	9
1618.1	5	13	9
1654.1	5	13	9
1658.1	5	13	9
6436.2	5	13	9
1480.1	3	13	9
1445.1	5	7	9
1523.1	5	7	9
1612.1	5	7	9
6209.1	5	12	9
1610.1	5	11	9
1519.1	5	11	9
1620.1	5	11	9
1529.1	5	3	9
1506.1	5	3	9
1621.1	5	3	9
1493.1	5	3	9
1610.3	1	3	9
1614.1	5	3	4

block	PCA	SOM	P - S
1652.1	5	13	4
1527.1	5	13	4
1439.1	5	2	4
1438.1	1	2	4
1502.1	1	2	4
1528.1	1	2	4
1617.1	1	2	4
1651.1	1	2	4
1656.1	1	2	4
1445.2	1	3	4
1521.1	1	3	4
1623.1	1	3	4
1653.1	1	3	4
1659.1	1	3	4
1446.1	1	10	4
1503.1	1	1	4
1531.1	1	1	4
1619.1	1	1	4
1649.1	1	1	4
1660.1	1	1	4
6125.1	1	1	4
1657.2	1	5	4
1518.1	1	5	4
1500.1	1	5	4
1663.1	1	5	4
1665.1		5	4
1440.1	1	6	4
1616.1	1	6	4

block	PCA	SOM	P - S
1505.1	1	0	1
1492.1	7	0	1
1495.1	7	0	1
1525.1	7	0	1
1611.1	7	0	1
1615.1	7	0	1
1650.1	7	0	1
6436.3	7	0	1
1661.1	7	0	1
1448.3	0	0	1
1622.1	0	0	1
6657.2	0	0	14
1624.1	0	0	0
1526.1	0	0	5
1447.1		0	11
1655.1		0	3
1615.2		9	7
1448.2	2	9	8
1524.2	2	9	8
1616.2	2	9	8
1818.2	2	9	8
1818.3	2	9	8
5767.2	2	9	8
1619.2	6	9	8
1610.2	6	9	8
1445.3	6	9	8
1448.1	6	9	8

block	PCA	SOM	P - S
1443.1	3	7	2
1480.2	3	7	2
1494.1	3	7	2
1517.1	3	7	2
1519.2	3	7	2
1524.1	3	7	2
1652.2	3	7	2
1654.2	3	7	2
1659.2	3	7	2
1664.1	3	7	2
1664.2	3	7	2
6209.2	3	7	2
6209.3	3	7	2
6436.1	3	7	2
1818.1	3	7	2
5767.1	3	8	2
1665.2	3	12	2
1439.2	3	4	2
1530.1	3	4	2
5768.1	3	4	2
5769.1	3	4	2
5769.2	3	4	2
1656.2	4	4	2
1657.1	4	4	2
1495.2		10	10
1442.1	8	10	6
1525.2		14	12
6657.1	8	14	13

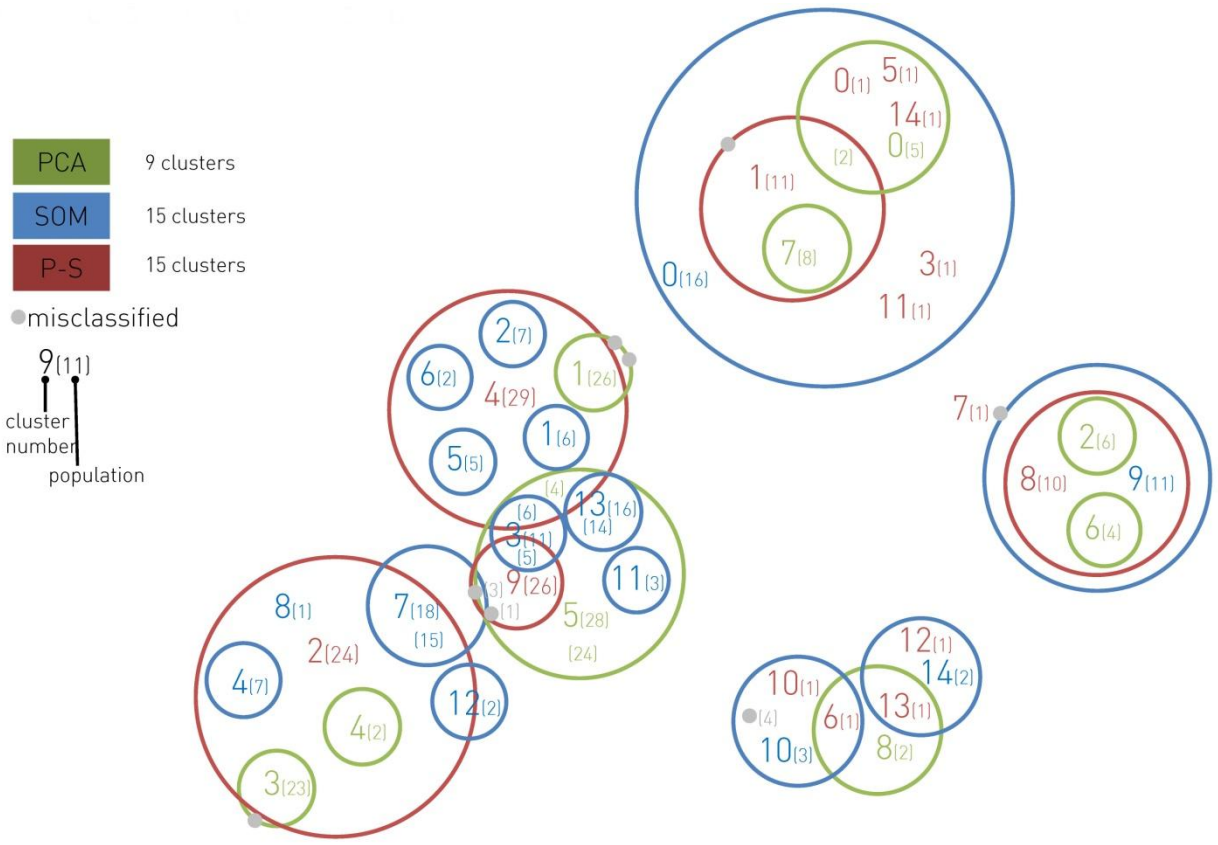
Εικόνα 5 - 11.
Πίνακες κατανομής των στοιχείων σε συστάδες

Αντιστοιχία συστάδων για τις τρεις μεθόδους μείωσης διαστάσεων. Το 44% των στοιχείων εμφανίζει κοινή κατηγοριοποίηση σε όλες τις μεθόδους ενώ μόνο το 6% κατηγοριοποιείται διαφορετικά σε κάθε μέθοδο.

Συνοψίζοντας την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων βάσει σχετικών κριτηρίων, σημειώνεται ότι αν και η τιμή της δομοστοιχείωσης εμφανίζει μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των τριών συσταδοποιήσεων, η αναλυτική εξέταση της κατανομής των στοιχείων σε συστάδες δείχνει ισχυρή σύγκλιση των αποτελεσμάτων.

Επισημαίνεται ότι η διαφορά στην δομοστοιχείωση δεν σημαίνει απαραίτητα ότι η μια μέθοδος μείωσης διαστάσεων υπερτερεί των άλλων εν γένει ως προς τη δυνατότητα κατηγοριοποίησης των αδόμητων χώρων, αλλά ότι παρέχει σαφέστερη διάκριση μεταξύ υποενοτήτων ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενων χώρων. Η παρατήρηση αυτή, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι ίδιοι συσχετισμοί εμφανίζονται, με διαφορετική ίσως ένταση, σε όλες τις περιπτώσεις υποδεικνύουν ότι ίσως δεν έχει τόσο νόημα η επιλογή μίας συσταδοποίησης εκ των τριών, όσο ο συνδυασμός τους. Εξάλλου, δεδομένου ότι πρόθεση είναι η αναγνώριση γενικών και ανοιχτών χωρικών τύπων και όχι στεγανών και παγιωμένων διακριτών τάξεων, οι τρεις διαφορετικές ομαδοποιήσεις θεωρούνται ισότιμες και εξίσου έγκυρες. Σύμφωνα με τον Boyd (1999a: 172), «υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί, (κατά προσέγγιση) εξίσου σημαντικοί μεθοδολογικά τρόποι διαχωρισμού ειδών (εδώ τύπων), κάθε ένας από τους οποίους αντιστοιχεί σε έναν διαφορετικό έγκυρο τρόπο κατανόησης τάξεων σε επίπεδο ειδών». Διαφορετικές ομαδοποιήσεις μπορούν να υποστηρίξουν εναλλακτικές κατανομές των χώρων σε τύπους, προσφέροντας ένα εύρος δυνατοτήτων εντός μιας ενιαίας περιγραφικής στρατηγικής.

Η εξαγωγή παρόμοιων αποτελεσμάτων από τις διαφορετικές μεθόδους χαρτογράφησης των πολυδιάστατων δεδομένων υποδεικνύει ότι είναι πολύ πιθανό η εμφανιζόμενη συσταδοποιημένη δομή να ενυπάρχει στα αρχικά δεδομένα και να μην τους επιβάλλεται εκ των υστέρων από τη διαδικασία ανάλυσης συστάδων. Η σύγκλιση των αποτελεσμάτων, δηλαδή, ενισχύει την υπόθεση ότι η συσταδοποίηση οδήγησε στην εμφάνιση φυσικών συστάδων εντός των δεδομένων.



Εικόνα 5 - 12.
Αντιστοιχία συστάδων διαφορετικής κλίμακας

Πολυπληθείς συστάδες που προκύπτουν από μία μέθοδο μείωσης διαστάσεων συχνά συμπίπτουν με συνενώσεις μικρότερων συστάδων που προκύπτουν από άλλη μέθοδο

5.4.3. Τελική συσταδοποίηση. Συνδυασμός αποτελεσμάτων

Λόγω της μικρής απόκλισης των αποτελεσμάτων των τριών μεθόδων, καθίσταται εφικτός ο συνδυασμός τους σε μία συνολική συσταδοποίηση, που αποτελεί και την προτεινόμενη τυπολογία που εξάγεται από αυτή τη φάση της ανάλυσης. Προκειμένου να συνδυαστούν οι τρεις συσταδοποιήσεις, κάθε κόμβος ανατίθεται στην ομάδα στην οποία συμμετέχει στην πλειοψηφία των μεθόδων. Σύμφωνα με τα ποσοστά σύμπτωσης που προαναφέρθηκαν, το 44% των κόμβων ανήκουν στην ίδια συστάδα για όλες τις μεθόδους, εμφανίζοντας απόλυτη σύμπτωση, ενώ το 50% συμφωνεί σε δύο από τις τρεις μεθόδους, οπότε ο εκάστοτε κόμβος ανατίθεται στη συστάδα στην οποία εμφανίζεται δύο φορές. Το πρόβλημα ουσιαστικά εντοπίζεται στο 6% των κόμβων που δεν ανήκουν στην ίδια ομάδα σε καμία μέθοδο. Οι κόμβοι αυτοί ανατίθενται σε μια από τις τρεις ομάδες στις οποίες έχουν κατηγοριοποιηθεί, ανάλογα με το ποια διασπά λιγότερο τη συνολική συσταδοποίηση. Έτσι προκύπτει μια συνδυαστική ομαδοποίηση που περιλαμβάνει οκτώ συστάδες, οι οποίες και αντιπροσωπεύουν τους προτεινόμενους χωρικούς τύπους (Εικόνα 5 - 13, Εικόνα 5 - 14). Σημειώνεται ότι ο τελευταίος τύπος δεν αντιστοιχεί σε μια φυσική και συνεκτική συστάδα, αλλά περιλαμβάνει όλες τις ατομικές συστάδες, δηλαδή τα αστικά κενά που αποτελούν έναν τύπο από μόνα τους και που συχνά εμφανίζονται ως έκτοπα στις κατανομές σημείων[14].

[14] Σημειώνεται ότι τα τρία από τα τέσσερα μέλη της συστάδας αυτής (1447.1, 1495.2, 1651.1) έχουν ήδη εντοπιστεί ως έκτοπα στην ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων (βλ. κεφ. 2.6.3.1.2), ενώ δύο αστικά κενά (1665.1 και 6657.1) που έχουν επίσης ξεχωρίσει από το σύνολο του δείγματος βάσει της ανάλυσης των μετρήσεων χαρακτηρίστηκαν ως

block	PCA	SOM	P - S	final
1444.1	5	13	9	1
1496.1	5	13	9	1
1497.1	5	13	9	1
1498.1	5	13	9	1
1499.1	5	13	9	1
1501.1	5	13	9	1
1504.1	5	13	9	1
1520.1	5	13	9	1
1613.1	5	13	9	1
1618.1	5	13	9	1
1654.1	5	13	9	1
1658.1	5	13	9	1
6436.2	5	13	9	1
1480.1	3	13	9	1
1445.1	5	7	9	1
1523.1	5	7	9	1
1612.1	5	7	9	1
6209.1	5	12	9	1
1610.1	5	11	9	1
1519.1	5	11	9	1
1620.1	5	11	9	1
1529.1	5	3	9	1
1506.1	5	3	9	1
1621.1	5	3	9	1
1493.1	5	3	9	1
1610.3	1	3	9	1
1614.1	5	3	4	1

block	PCA	SOM	P - S	
1652.1	5	13	4	1
1527.1	5	13	4	1
1439.1	5	2	4	2
1438.1	1	2	4	2
1502.1	1	2	4	2
1528.1	1	2	4	2
1617.1	1	2	4	2
1651.1	1	2	4	2
1656.1	1	2	4	2
1445.2	1	3	4	2
1521.1	1	3	4	2
1623.1	1	3	4	2
1653.1	1	3	4	2
1659.1	1	3	4	2
1446.1	1	10	4	2
1503.1	1	1	4	2
1531.1	1	1	4	2
1619.1	1	1	4	2
1649.1	1	1	4	2
1660.1	1	1	4	2
6125.1	1	1	4	2
1657.2	1	5	4	2
1518.1	1	5	4	2
1500.1	1	5	4	2
1663.1	1	5	4	2
1665.1		5	4	2
1440.1	1	6	4	2
1616.1	1	6	4	2

block	PCA	SOM	P - S	
1505.1	1	0	1	3
1492.1	7	0	1	3
1495.1	7	0	1	3
1525.1	7	0	1	3
1611.1	7	0	1	3
1615.1	7	0	1	3
1650.1	7	0	1	3
6436.3	7	0	1	3
1661.1	7	0	1	3
1448.3	0	0	1	3
1622.1	0	0	1	3
6657.2	0	0	14	3
1624.1	0	0	0	3
1526.1	0	0	5	3
1447.1		0	11	8
1655.1		0	3	8
1615.2	2	9	7	4
1448.2	2	9	8	4
1524.2	2	9	8	4
1616.2	2	9	8	4
1818.2	2	9	8	4
1818.3	2	9	8	4
5767.2	2	9	8	4
1619.2	6	9	8	4
1610.2	6	9	8	4
1445.3	6	9	8	4
1448.1	6	9	8	4

block	PCA	SOM	P - S	
1443.1	3	7	2	5
1480.2	3	7	2	5
1494.1	3	7	2	5
1517.1	3	7	2	5
1519.2	3	7	2	5
1524.1	3	7	2	5
1652.2	3	7	2	5
1654.2	3	7	2	5
1659.2	3	7	2	5
1664.1	3	7	2	5
1664.2	3	7	2	5
6209.2	3	7	2	5
6209.3	3	7	2	5
6436.1	3	7	2	5
1818.1	3	7	2	5
5767.1	3	8	2	5
1665.2	3	12	2	5
1439.2	3	4	2	5
1530.1	3	4	2	5
5768.1	3	4	2	5
5769.1	3	4	2	5
5769.2	3	4	2	5
1656.2	4	4	2	6
1657.1	4	4	2	6
1495.2		10	10	8
1442.1	8	10	6	7
1525.2		14	12	8
6657.1	8	14	13	7

Εικόνα 5 - 13.

Πίνακες κατανομής των στοιχείων σε συστάδες και συνδυασμός τους στην τελική συσταδοποίηση

Εικόνα 5 - 14.

Κατανομή των τελικών χωρικών τύπων στο χάρτη της περιοχής

Χρωματική κωδικοποίηση των αστικών κενών στο χάρτη ανάλογα με τη συστάδα στην οποία ανήκουν, σύμφωνα με τα συνδυαστικά αποτελέσματα των τριών μεθόδων μείωσης διαστάσεων

έκτοπα μόνο στη συσταδοποίηση που προέρχεται από την Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών και την προσομοίωση Σωματιδίων - Ελατηρίων αντίστοιχα, αλλά στη συνέχεια υπάχθηκαν σε άλλες συστάδες.

5.4.4. Ερμηνεία συσταδοποίησης βάσει εσωτερικών κριτηρίων

5.4.4.1. Συσχέτιση συστάδων με μετρήσεις

Η αξιολόγηση της τυπολογίας και η ενδεχόμενη ερμηνεία της απαιτεί εκ νέου προσδιορισμό κατάλληλων κριτηρίων.

Τα εσωτερικά και σχετικά κριτήρια που εφαρμόστηκαν για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των τριών συσταδοποιήσεων είναι χρήσιμα για τη συγκριτική τους αντιπαραβολή και την εξέταση του βαθμού σύγκλισης ή απόκλισής τους. Επέτρεψαν την παρατήρηση επαναλαμβανόμενων τυπικών πεδίων σχέσεων μεταξύ συγκεκριμένων συνδυασμών στοιχείων οδηγώντας στην υπόθεση ότι είναι πολύ πιθανό οι εμφανιζόμενες δομές να αντιπροσωπεύουν «φυσικές» δομές στα αρχικά δεδομένα και κατέστησαν δυνατή τη συγχώνευση των αποτελεσμάτων σε μία συνολική κατηγοριοποίηση. Ωστόσο, τα κριτήρια αυτά αναφέρονται στην ποιότητα του διαχωρισμού του συνόλου σε ομάδες και δεν προσφέρονται άμεσα για την αξιολόγηση του περιεχομένου των ομάδων και την ερμηνεία της προκύπτουσας τυπολογίας. Για την περιγραφή των τύπων, ένα πρώτο βήμα είναι η αναζήτηση του συσχετισμού τους με τις συγκεκριμένες χωρικές ιδιότητες που μετρήθηκαν και βάσει των οποίων πρόεκυψε η ομαδοποίηση. Επιχειρείται δηλαδή η περιγραφή των τύπων μέσω των αρχικών ιδιοτήτων από τις οποίες προκύπτουν. Πρόκειται για εσωτερικό κριτήριο, που βασίζεται αποκλειστικά σε πληροφορία που ενυπάρχει στα δεδομένα και δεν απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία ή ερμηνεία της πληροφορίας αυτής.

5.4.4.1.1. Κατανομή μετρήσεων στις συστάδες

Έχει ήδη υπογραμμιστεί σε προηγούμενα στάδια της ανάλυσης ότι δεν είναι δυνατός ο διαχωρισμός των αδόμητων χώρων σε τύπους βάσει μεμονωμένων χαρακτηριστικών, τόσο λόγω της μερικότητας μιας τέτοιας κατηγοριοποίησης όσο και λόγω της συνέχειας του εύρους τιμών στις μετρήσεις[15].

Ωστόσο, η αντίστροφη λογική ελέγχου μιας συγκεκριμένης, ήδη υπάρχουσας ομαδοποίησης ως προς τις μεμονωμένες μετρήσεις θα μπορούσε να συνεισφέρει στην αξιολόγηση του δεδομένου διαχωρισμού βάσει ενός πρωταρχικού εσωτερικού κριτηρίου. Δηλαδή, έχοντας ήδη καταλήξει σε μια κατηγοριοποίηση βάσει της μεθοδολογίας που έχει αναπτυχθεί για την ταυτόχρονη και ισότιμη θεώρηση όλων των μετρήσεων, εξετάζεται αν και σε ποιο βαθμό η κατηγοριοποίηση αυτή, αν και δεν εκπορεύεται, πιθανά συμβαδίζει με μεμονωμένες μετρήσεις ή συνδυασμούς αυτών, ή πώς κατανέμονται οι τιμές ανά ιδιότητα σε κάθε κλάση.

Εξετάζοντας την κατανομή των τιμών στις συστάδες για κάθε μέτρηση χωριστά δεν παρατηρείται σύμπτωση των συστάδων με απόλυτα διαχωρισμένα εύρη τιμών, αλλά αντίθετα υπάρχει αρκετά μεγάλη αλληλεπικάλυψη μεταξύ συστάδων στη μεγαλύτερη έκταση του εύρους των τιμών. Ωστόσο κάποιες από τις μετρήσεις δείχνουν να συμμετέχουν περισσότερο από άλλες στη διαμόρφωση των συστάδων ενώ κάποιες συστάδες εμφανίζουν επαναλαμβανόμενους συνδυασμούς χαρακτηριστικών που εκφράζονται ως σταθερά υποσύνολα ιδιοτήτων με παρόμοιες τιμές.

Στην ανάλυση αυτή, λαμβάνεται ως δεδομένος ο διαχωρισμός σε συστάδες που προκύπτει από τον συνδυασμό των τριών συσταδοποιήσεων και ελέγχεται το εύρος των τιμών σε κάθε συστάδα, για κάθε ιδιότητα. Κάθε συστάδα κωδικοποιείται χρωματικά και τα μέλη της διατάσσονται κατά αύξουσα σειρά σύμφωνα με την τιμή που έχουν στην εκάστοτε μέτρηση. Με αυτόν τον τρόπο οπτικοποίησης

[15] Βλ. και κεφ. 2.6 Αποτελέσματα μετρήσεων.

είναι εύκολο να διαπιστωθεί αν υπάρχει διαχωρισμός ή αλληλεπικάλυψη μεταξύ συστάδων για κάθε μεμονωμένη μέτρηση και επομένως πόσο έχει επηρεάσει η συγκεκριμένη μέτρηση τη συσταδοποίηση.

5.4.4.1.2. Παρατηρήσεις

Συγκεκριμένα, από τις κατανομές σε κάθε μέτρηση παρατηρούνται τα εξής (Πίνακας 5 - 1):

Εμβαδόν αδόμητου χώρου [void area]

Ως προς το εμβαδόν του κάθε αδόμητου χώρου, αν και εμφανίζεται αρκετά μεγάλο εύρος αλληλεπικάλυψης μεταξύ συστάδων, έχει ενδιαφέρον το γεγονός ότι οι ακραίες τιμές χαρακτηρίζουν μερικές μόνο από τις συστάδες. Οι τύποι 4 και 6 περιλαμβάνουν τα κενά με τη μικρότερη επιφάνεια με τρόπο διαχωριστικό (8-42 τ.μ.), ενώ εμβαδόν πάνω από 1000 τ.μ. έχουν μόνο στοιχεία των συστάδων 2, 3 και 8, με εξαίρεση ένα στοιχείο από τη συστάδα 1 και ένα από τη συστάδα 7. Επίσης η συστάδα 5 εμφανίζει ελάχιστη αλληλεπικάλυψη με τις 2, 3, 7 και 8 και μεγάλη αλληλεπικάλυψη μόνο με τη συστάδα 1.

Εμβαδόν αδόμητου χώρου προς εμβαδόν οικοδομικού τετραγώνου [void area/block area]

Παρόμοια είναι και η κατανομή τιμών για το λόγο του εμβαδού κάθε κενού προς το εμβαδόν του αντίστοιχου οικοδομικού τετραγώνου, που εκφράζει το αντίστροφο της κάλυψης. Τα στοιχεία των συστάδων 4 και 6 είναι τα μικρότερα σε σχέση με τα τετράγωνα στα οποία ανήκουν, ενώ οι συστάδες 2, 3, 7 και κάποια από τα μεμονωμένα στοιχεία του τύπου 8 καταλαμβάνουν μεγάλο ποσοστό του τετραγώνου τους. Οι συστάδες 1 και 5 αλληλεπικαλύπτονται σχεδόν πλήρως σε ένα χαμηλό και ενδιάμεσο εύρος τιμών, μεταξύ 0.01 και 0.2.

Περίμετρος αδόμητου χώρου [void perimeter]

Ως προς την περίμετρο του κάθε κενού, αν και εμφανίζεται πάλι παρόμοια γενική κατάταξη, υπάρχει απόλυτος διαχωρισμός μεταξύ των συστάδων 2 και 3, που μαζί με κάποια κενά της 8 έχουν μεγάλο ανάπτυγμα περιμέτρου, από τις 4, 5, 6 και 7 που έχουν σαφώς μικρότερες περιμέτρους.

Πλήθος ανοιγμάτων [number of open edges]

Το πλήθος των ανοιγμάτων κάθε αδόμητου χώρου προς το δημόσιο χώρο δεν είναι απόλυτα διαχωριστικό αλλά δείχνει να παίζει σημαντικό ρόλο. Η ομάδα 3 είναι αυτή με τα περισσότερα ανοίγματα και δεν έχει κανένα περίκλειστο μέλος. Οι 4 και 6 εμφανίζουν τη μεγαλύτερη συνοχή, η μεν 4 με όλα τα μέλη της να έχουν ακριβώς μία ανοιχτή πλευρά και η 6 με μόνο περίκλειστα μέλη. Η 5 περιλαμβάνει το μεγαλύτερο πλήθος περίκλειστων χώρων ενώ και η 1 έχει περίκλειστα κενά ή με μία έως δύο ανοιχτές πλευρές.

Μήκος ανοιγμάτων [length of open perimeter]

Το συνολικό μήκος των ανοιχτών τμημάτων της περιμέτρου κατατάσσει τις συστάδες 3,7 και 8 με υψηλές τιμές απόλυτα διαχωρισμένες από τις 4, 5 και 6, ενώ εμφανίζουν πολύ μικρή αλληλεπικάλυψη με τις συστάδες 1 και 2, με ένα και τρία αλληλεπικαλυπτόμενα στοιχεία αντίστοιχα.

Μήκος ανοιγμάτων προς περίμετρο αδόμητου χώρου [open perimeter/void perimeter]

Λίγο διαφορετική είναι η κατανομή των λόγων ανοιχτής περιμέτρου προς τη συνολική περίμετρο κάθε κενού. Οι τιμές των 1, 2, 5 και 6 είναι αρκετά μικρότερες από αυτές των 3, 4, 7 και 8. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πολλά αλληλεπικαλυπτόμενα στοιχεία, υπάρχει διαχωρισμός στα άκρα του εύρους τιμών. Έτσι, όσα κενά έχουν τιμή μικρότερη του 0.21 ανήκουν στις συστάδες 1,2, 5και 6, όσα

βρίσκονται μεταξύ 0.21 και 0.4 είναι από τις συστάδες 3, 4, 7 και 8, ενώ πάνω από 0.5 είναι μόνο ένα έκτοπο της ομάδας 8.

Μήκος ανοιγμάτων προς περίμετρο οικοδομικού τετραγώνου [open perimeter/block perimeter]

Ο λόγος ανοιχτής περιμέτρου του κενού προς τη συνολική περίμετρο του οικοδομικού τετραγώνου, δίνει τα μέλη των συστάδων 3, 7 και κάποια της 8 ως πολύ πιο ανοιχτά από υπόλοιπα, με απόλυτα ψηλότερες τιμές από όλα τα υπόλοιπα με εξαίρεση δύο στοιχεία της συστάδας 2.

Γωνιακό άνοιγμα [corner opening]

Η ύπαρξη γωνιακού ανοίγματος είναι χαρακτηριστική όλων των μελών της συστάδας 3. Εκτός αυτών, γωνία εμφανίζει μόνο ένα στοιχείο της ομάδας 7 και κάποια μεμονωμένα κενά του 8. Όλα τα άλλα κενά δεν έχουν γωνιακό άνοιγμα.

Πλήθος περιεχόμενων ελεύθερων κτιρίων [contained buildings]

Η παρουσία ασύνδετων κτιριακών όγκων εντός των κενών δεν είναι συχνή και δεν δείχνει να συσχετίζεται άμεσα με τη συσταδοποίηση ως μεμονωμένη μέτρηση (ωστόσο ενδέχεται να συσχετίζεται έμμεσα, καθώς επηρεάζει άλλες μετρήσεις, όπως η συνδεσιμότητα της περιμέτρου και η φρακταλική διάσταση). Μόνο κάποια στοιχεία της ομάδας 3 και ένα έκτοπο της 8 έχουν πάνω από ένα περιεχόμενο κτίριο.

Πλήθος περιβαλλόντων κτιρίων [surrounding buildings]

Αναφορικά με το πλήθος των κτιρίων που περιβάλλουν κάθε κενό, όπως είναι αναμενόμενο ακολουθεί παρόμοια κατανομή αυτή του μήκους της περιμέτρου του κενού

Πλήθος κορυφών [number of vertices]

Το πλήθος των κορυφών του περιγράμματος εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις. Οι συστάδες 4 και 6 περιλαμβάνουν μόνο τετράπλευρα και πεντάπλευρα, ενώ η 2 έχει απόλυτα μεγαλύτερο πλήθος κορυφών από τις 4, 5, 6.

Φρακταλική διάσταση [fractal dimension]

Η φρακταλική διάσταση δεν συσχετίζεται σαφώς με το διαχωρισμό. Παρατηρείται ότι η συστάδα 5 παρουσιάζει το μεγαλύτερο εύρος φρακταλικής διάστασης, ενώ τιμή κάτω από τη μονάδα έχουν μέλη των συστάδων 4, 5, 6 και 8 που έχουν και τα απλούστερα σχήματα από πλευράς πλήθους κορυφών.

Ως προς τη συνδεσιμότητα της περιμέτρου παρατηρούνται τα εξής:

Μέση συνδεσιμότητα [mcv]

Η συνολική μέση συνδεσιμότητα (mcv) δίνει ως απόλυτα κυρτά όλα τα στοιχεία των συστάδων 4 και 6. Αντίθετα, οι 1, 2, 3 και 7 δεν έχουν κανένα απόλυτα κυρτό μέλος. Επίσης οι συστάδες 5 και 7 απόλυτα πιο κυρτές από τις 2 και 3, χωρίς αλληλεπικάλυψη τιμών.

Κατακόρυφη τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας [v-value]

Η Κατακόρυφη τυπική απόκλιση εμφανίζεται ασυσχέτιστη, αφού εκτός από τα απολύτως κυρτά όλα τα άλλα κενά έχουν αλληλεπικαλυπτόμενες τιμές.

Οριζόντια τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας [h-value]

Αντίθετα, η Οριζόντια τυπική απόκλιση δίνει τη συστάδα 7 με απόλυτα υψηλότερες τιμές σε σχέση με τη 2 και με μικρή αλληλεπικάλυψη με τις 1, 3 και 5.

Μέση συνδεσιμότητα από ανοίγματα [mcv from open edges]

Η μέση συνδεσιμότητα από την οπτική των ανοιγμάτων είναι απόλυτα ψηλότερη για τις συστάδες 4, 2 και 8 σε σχέση με τις υπόλοιπες, με εξαίρεση ένα μέλος της 5.

Κατακόρυφη τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας από ανοίγματα [v-value from open edges]

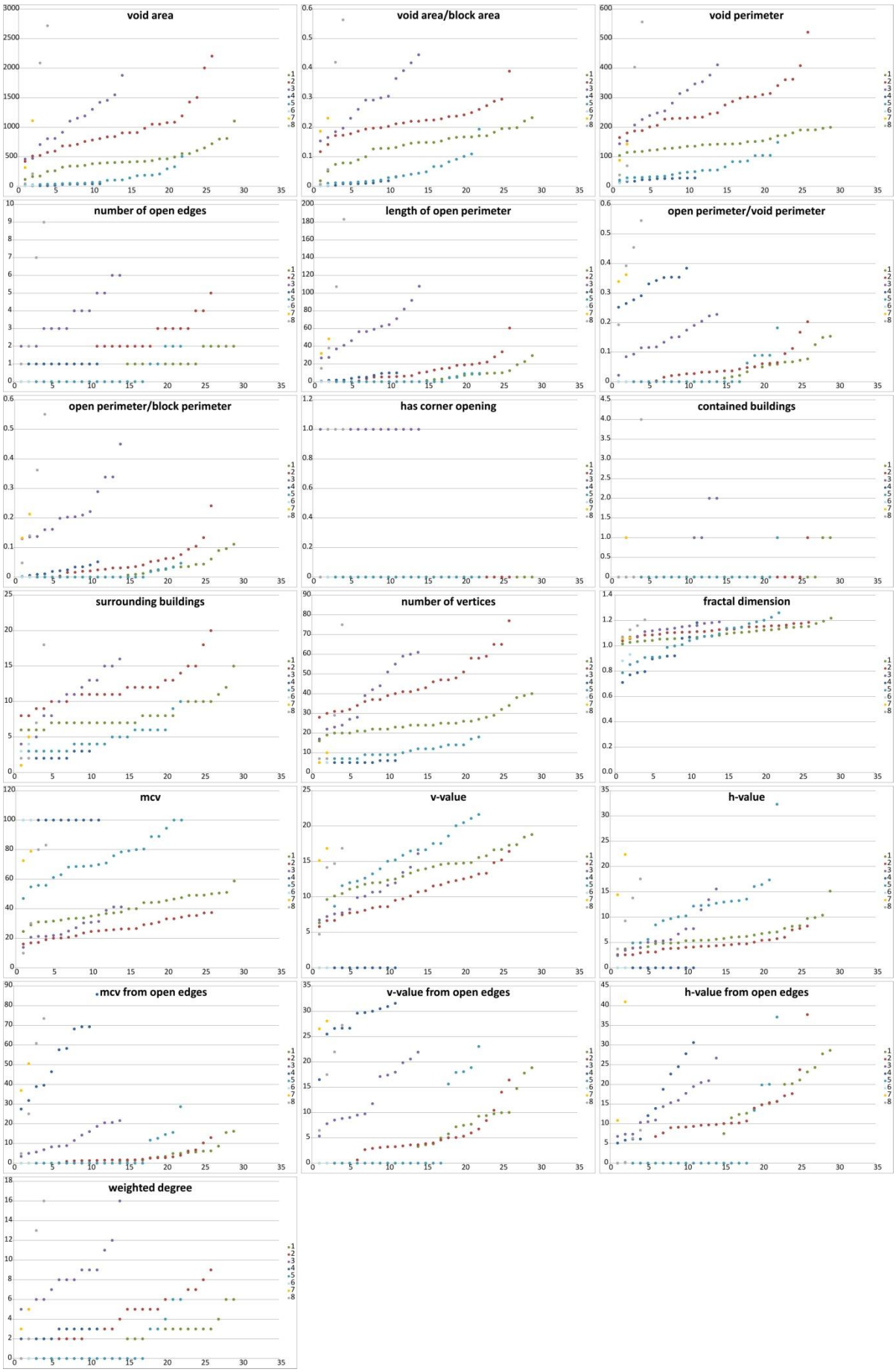
Η Κατακόρυφη τυπική απόκλιση από την οπτική των ανοιγμάτων είναι απόλυτα ψηλότερη για τις συστάδες 7 και 4, εκτός από ένα στοιχείο της 4 που ανήκει σε χαμηλότερο εύρος τιμών. Επίσης η συστάδα 3 δεν έχει μέλη στο κατώτερο εύρος τιμών.

Οριζόντια τυπική απόκλιση συνδεσιμότητας από ανοίγματα [h-value from open edges]

Η Οριζόντια τυπική απόκλιση από την οπτική των ανοιγμάτων εμφανίζεται με κοινό εύρος τιμών σε όλες τις συστάδες και δεν δείχνει να συσχετίζεται με το διαχωρισμό.

Διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα [weighted degree]

Η καθολική διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα, συνδέεται σε κάποιο βαθμό με το πλήθος των ανοιγμάτων, αλλά δεν συσχετίζεται απόλυτα. Παρατηρείται ότι η ομάδα 3 είναι η πιο διασυνδεδεμένη, με όλα της τα μέλη να εμφανίζουν συνδεσιμότητα πάνω από 5, ενώ εμφανίζει και τη μέγιστη τιμή του δείγματος (16). Έχει μεγάλο εύρος διαβάθμισης και διαχωρίζεται απόλυτα από την ομάδα 4, η οποία έχει τιμή συνδεσιμότητας 2 ή 3 για όλα τα μέλη της και από την ομάδα 6 που αποτελείται αποκλειστικά από ασύνδετους χώρους. Μεγάλος εύρος διαβάθμισης εμφανίζει και η ομάδα 2. Οι ομάδες 1 και 5 έχουν πολλά ασύνδετα μέλη. Η ομάδα δεν διαχωρίζεται ενώ δύο από τα έκτοπα της 8εμφανίζουν πολύ υψηλές τιμές, 13 και 16 αντίστοιχα.



Πίνακας 5 - 1

Διατεταγμένα διαγράμματα κατανομής των τιμών των μετρήσεων ανά συστάδα

5.5. Γενόσημοι χωρικοί τύποι

Από τις παρατηρήσεις αυτές προκύπτει ότι συνολικά οι τιμές εμφανίζονται συνεχείς και αλληλεπικαλυπτόμενες στο σύνολο του δείγματος, ενώ ως προς τις περισσότερες μετρήσεις υπάρχει μεγάλη διακύμανση εντός του κάθε τύπου. Παρόλα αυτά, κάποιες μετρήσεις δείχνουν να επηρεάζουν περισσότερο τη συσταδοποίηση από ότι άλλες, είτε ως προς το συνολικό διαχωρισμό του δείγματος σε υποομάδες είτε ως προς την οριοθέτηση συγκεκριμένων ομάδων. Αν και όλα τα δείγματα περιγράφονται ως προς όλες τις ιδιότητες ισότιμα, κάποιες ιδιότητες έχουν μεγαλύτερη σημασία στον προσδιορισμό κάποιων τύπων. Ωστόσο οι τάσεις αυτές δεν είναι τόσο ισχυρές ώστε να μπορούν να διαχωρίσουν και να ταυτοποιήσουν τους τύπους. Τελικά καθίσταται σαφές ότι καμία μεμονωμένη μέτρηση δεν συσχετίζεται σε καθοριστικό βαθμό με το συνολικό διαχωρισμό σε συστάδες αλλά ούτε με την οριοθέτηση και την περιγραφή μεμονωμένων συστάδων. Επομένως, οι μετρήσεις βάσει των οποίων επιχειρείται η περιγραφή και συσταδοποίηση των αδόμητων χώρων, ως μεμονωμένες ιδιότητες δεν παρέχουν επαρκείς όρους για τη λεκτική περιγραφή των τύπων. Οι εξαγόμενοι τύποι, αν και απολύτως ορισμένοι ως προς τα μέλη τους, αφού κάθε χώρος έχει ανατεθεί σε μία ομάδα με τρόπο αποκλειστικό, παραμένουν εξίσου ασαφείς και μη περιγράψιμοι με τους άτυπους χωρικούς σχηματισμούς που τους αποτελούν.

Η δυσκολία ακριβούς λεκτικής απόδοσης αντιληπτικών ιδιοτήτων της χωρικής δομής των μεμονωμένων δειγμάτων, που αναφέρεται σε μη-διαλεκτικές [non-discursive] (Hillier, 1996) χωρικές ιδιότητες, σχετιζόμενες με γενόσημα χαρακτηριστικά, κληροδοτείται και στην προκύπτουσα τυπολογία. Έτσι, οι εξαγόμενοι τύποι χαρακτηρίζονται ως γενόσημοι[16], με την έννοια ότι δεν αποτελούν παγιωμένες ή σαφείς κατηγορίες, άμεσα συνδεδεμένες με συγκεκριμένες και περιγράψιμες χωρικές ιδιότητες όπως μορφολογικά, τυπολογικά ή κατασκευαστικά -τεχνικά χαρακτηριστικά, αλλά ούτε μπορούν να αναχθούν ευθέως σε μεμονωμένα χαρακτηριστικά από αυτά που μετρήθηκαν. Αντίθετα, εμφανίζονται ως ασαφείς και πολλαπλά ερμηνεύσιμες ομαδοποιήσεις, βάσει αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς. όλων των υπό μελέτη χώρων μεταξύ τους, ως προς όλα τα χαρακτηριστικά ταυτόχρονα. Έτσι, δεν μπορούν να περιγραφούν ρητά με τους όρους βάσει των οποίων προκύπτουν. «Η κλάση των πολλαπλών (multiples) που συνδέονται με το γεγονός δεν θα καθοριστούν από καμία από τις ιδιότητες οι οποίες μπορούν να διατυπωθούν στη γλώσσα της κατάστασης» (Badiou, 2007: 338).

Το μόνο που γνωρίζουμε είναι ότι όλοι οι τύποι εμφανίζουν ταυτόχρονα όλες τις ιδιότητες βάσει των οποίων περιγράφονται, σε διαφορετικούς βαθμούς και εύρη τιμών. Με αυτή την έννοια κάθε τύπος είναι γενόσημος, γιατί αποτελεί μέρος «που ομαδοποιεί όλους τους όρους που συνδέονται θετικά με το όνομα του γεγονότος (Badiou, 2007: 338). Ωστόσο, «το γεγονός ότι η διαδικασία είναι γενόσημη επιφέρει τη μη ταύτιση του μέρους με οτιδήποτε κατηγοριοποιημένο από έναν εγκυκλοπαιδικό καθορισμό. Επομένως, αυτό το μέρος δεν μπορεί να ονομαστεί αποκλειστικά βάσει των πόρων της γλώσσας της κατάστασης» (Badiou, 2007: 338).

Ο κάθε τύπος δεν επιτρέπει την άμεση αναγνώριση κάποιων σαφών και περιγράψιμων χαρακτηριστικών που να μοιράζονται από κοινού και αποκλειστικά όλα τα μέλη του και βάσει των οποίων να μπορεί να διακριθεί με όρους αναγκαίων και ικανών συνθηκών. Επομένως οι τύποι δεν

[16] Ο όρος γενόσημος χρησιμοποιείται με το περιεχόμενο που του αποδίδει ο Badiou (2007: 338), σύμφωνα με τον οποίο «το γενόσημο είναι το είναι-πολλαπλό μιας αλήθειας [the generic is the being-multiple of a truth]». Βλ. και κεφ. III.i.2. Το αστικό κενό ως γενόσημος χώρος.

είναι σαφώς διακριτοί[17], αφού η πράξη της διάκρισης προϋποθέτει από «ένα παρουσιαζόμενο ή νοητό πολλαπλό να κατέχει αυτή ή την άλλη ιδιότητα» (Badiou, 2007: 328). Ως μη διακριτοί, οι τύποι «απλά κατέχουν τις 'ιδιότητες' κάθε μέρους». Το μη διακριτό μέρος «δικαίως δηλώνεται ως γενόσημο, γιατί αν κάποιος επιθυμεί να το αξιολογήσει, το μόνο που μπορεί να πει είναι ότι τα στοιχεία του είναι. Το μέρος ανήκει σε ένα ανώτερο γένος, το γένος του είναι της κατάστασης – αφού εντός μιας κατάστασης το 'είναι' και το 'είναι λογιζόμενο ως ένα-στην κατάσταση' είναι ένα και τι αυτό» (Badiou, 2007: 338).

Ελλείψει εντοπίσιμων ιδιοτήτων που να χαρακτηρίζουν κάθε τύπο, ο διαχωρισμός που προκύπτει από τη διαδικασία συσταδοποίησης δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ακόμα ως κατηγοριοποίηση, εφόσον κατηγοριοποίηση είναι η «ομαδοποίηση, και υπόδειξη βάσει της κοινής τους ιδιότητας, των πολλαπλών εκείνων που διακρίνω ως έχοντα ένα κατονομαζόμενο κοινό χαρακτηριστικό» (Badiou, 2007: 328).

Προκειμένου η ομαδοποίηση να γίνει κατηγοριοποίηση και οι γενόσημοι χωρικοί τύποι να καταστούν διαχειρίσιμοι, πρέπει να πραγματοποιηθεί το πέρασμα από την παράσταση στην αναπαράσταση[18], να αναζητηθούν οι κατάλληλοι περιγραφικοί όροι, οι οποίοι δεν μπορούν να διατυπωθούν «στη γλώσσα της κατάστασης». Επομένως οι χωρικοί τύποι πρέπει να ερμηνευθούν, να αποκτήσουν ονόματα και να χάσουν το γενόσημο χαρακτήρα τους, αφού «κάθε ονομάσιμο μέρος, που η γνώση έχει διακρίνει και κατηγοριοποιήσει, αναφέρεται όχι στο ίδιο το είναι-σε-κατάσταση αλλά σε αυτό που η γλώσσα σμιλεύει εκεί ως αναγνωρίσιμες ιδιαιτερότητες» (Badiou, 2007: 339).

5.6. Οι χωρικοί τύποι ως μάγματα

Η αδυναμία άμεσης αναγωγής των γενόσημων χωρικών τύπων στους όρους περιγραφής τους και αναγνώρισης ιδιοτήτων που να τους χαρακτηρίζουν δεν υποστηρίζει τη διατύπωση ικανών και αναγκαίων συνθηκών διαχωρισμού και υπαγωγής σε αυτούς. Οι εξαγόμενοι τύποι, αν και οριοθετημένοι ως προς τα μέλη τους, διατηρούν μια ακαθοριστία, μια ασάφεια και μια μη-ολοκληρωσιμότητα που επιτρέπει την αφορά σε αυτούς ως μάγματα, σύμφωνα με την έννοια που αποδίδει στον όρο ο Καστοριάδης.

Σύμφωνα με τον Καστοριάδη, «μάγμα είναι αυτό από το οποίο μπορούμε να εξαγάγουμε (ή: μέσα στο οποίο μπορούμε να κατασκευάσουμε) συνολιστικές οργανώσεις απροσδιόριστου αριθμού, αλλά που δεν μπορεί ποτέ να ανασυγκροτηθεί (ιδεατά) με συνολιστική (πεπερασμένη ή άπειρη) σύνθεση αυτών των οργανώσεων» (Καστοριάδης, 1981: 479, 1995: 309).

Ο Καστοριάδης χρησιμοποιεί την έννοια του μάγματος για να αναφερθεί στη μη καθορισμένη πολλαπλότητα, στην αμφισημία, στο μη συνολίσιμο. Αν και τα μάγματα αντιτίθενται σε μια συνολιστική – ταυτιστική λογική σύμφωνα με την οποία «ότι είναι είναι καθορισμένο», ελλείψει κατάλληλου λεξιλογίου επιχειρείται ο ορισμός τους με τη χρήση όρων της επικρατούσας

[17] «Εφόσον αυτό το μέρος δεν έχει μια συγκεκριμένη εκφραστική ιδιότητα, όλο του το είναι έγκειται στο εξής: είναι ένα μέρος, και αποτελείται από πολλαπλά αποτελεσματικά παρουσιαζόμενα εντός της κατάστασης. Ένα μη διακριτό περιέχειν δεν έχει άλλη 'ιδιότητα' από το ότι αναφέρεται στο ανήκειν. Αυτό το μέρος είναι ανώνυμα αυτό το οποίο δεν έχει άλλο σημάδι εκτός του ότι προκύπτει από την παράσταση, εκτός του ότι συντίθεται από όρους που δεν έχουν τίποτα κοινό που θα μπορούσε να επισημανθεί, εκτός του ότι ανήκει σε αυτή την κατάσταση. Το οποίο είναι το είναι του. Αλλά ως προς αυτή την 'ιδιότητα' – το είναι: απλά, είναι σαφές ότι την μοιράζονται όλοι οι όροι της κατάστασης και ότι συνυπάρχει με κάθε μέρος που ομαδοποιεί όρους» (Badiou, 2007: 338).

[18] «Η διάκριση αφορά στη σύνδεση μεταξύ γλώσσας και παρουσιαζόμενων ή παρουσιάσιμων αληθειών. Προσανατολίζεται προς την παράσταση. Η κατηγοριοποίηση αφορά στη σύνδεση μεταξύ της γλώσσας και των μερών μιας κατάστασης, των πολλαπλών πολλαπλών. Προσανατολίζεται προς την αναπαράσταση» (Badiou, 2007: 328).

συνολιστικής- ταυτιστικής λογικής και συγκεκριμένα με την αντιδιαστολή του μάγματος στην έννοια του συνόλου[19].

Το σύνολο είναι μια απολύτως καθορισμένη μαθηματική οντότητα. Σύμφωνα με τον Cantor, θεμελιωτή της θεωρίας συνόλων, «ένα σύνολο είναι μια συλλογή σε ένα όλον ορισμένων και καλώς διακεκριμένων αντικειμένων της εποπτείας ή της σκέψης μας. Τα αντικείμενα αυτά ονομάζονται στοιχεία του συνόλου» (Cantor, 1895: 481, σύμφωνα με αναφορά του Καστοριάδη, 1995: 302).

Ή αλλιώς «ένα σύνολο είναι σχηματισμένο από στοιχεία ικανά να κατέχουν ορισμένες ιδιότητες και να έχουν μεταξύ τους, ή με στοιχεία άλλων συνόλων, ορισμένες σχέσεις» (Bourbaki, 1977, E.R. 1, σύμφωνα με αναφορά του Καστοριάδη, 1995: 303).

Κάθε σύνολο ορίζεται ως πολλαπλότητα, ωστόσο κάθε πολλαπλότητα δεν ορίζεται υποχρεωτικά ως σύνολο. Υπάρχουν πολλαπλότητες μη διαχωρίσιμες, μη αναλυτές, που δεν ανάγονται σε διακριτά, περιγράψιμα και αριθμήσιμα στοιχεία και που δεν περιγράφονται με τους όρους της θεωρίας συνόλων. Ο ίδιος ο Cantor αναγνωρίζει την ύπαρξη μη-συνολίσιμων πολλαπλοτήτων, λέγοντας ότι «κάθε πολλαπλότητα είτε είναι μια σαθρή πολλαπλότητα, είτε είναι ένα σύνολο» (Cantor, 1962: 444, σύμφωνα με αναφορά του Καστοριάδη, 1995: 299). Μια σαθρή πολλαπλότητα είναι κάθε αδιευκρίνιστη για τον Cantor πολλαπλότητα που δεν μπορεί να περιγραφεί ως σύνολο, και επομένως δεν μπορεί να περιγραφεί καθόλου, γιατί δεν παρέχονται οι κατάλληλοι όροι. Σ' αυτή τη σαθρή, μη συνολίσιμη πολλαπλότητα αναφέρεται ο όρος του μάγματος. Αυτό που τη διαχωρίζει από τα καθορισμένα σύνολα είναι η ακαθοριστία της[20].

Αντίστοιχα, η ακαθοριστία και η μη-συνολισιμότητα που χαρακτηρίζει τους γενόσημους χωρικούς τύπους, τους εντάσσει στις σαθρές πολλαπλότητες και επιτρέπει την προσέγγισή τους ως μάγματα.

5.6.1. Ιδιότητες των μαγμάτων

Συγκεκριμένα, ο Καστοριάδης αποδίδει στα μάγματα κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες, οι οποίες ισχύουν σε μια γενική μορφή και για τους γενόσημους χωρικούς τύπους, ως μη-συνολίσιμες πολλαπλότητες.

Σύμφωνα με τον Καστοριάδη (1995: 309) ένα μάγμα ορίζεται από τις ακόλουθες ιδιότητες:

Μ1: Αν Μ είναι ένα μάγμα, μπορούμε να επισημάνουμε μέσα στο Μ σύνολα σε απεριόριστο αριθμό.

Μ2: Αν Μ είναι ένα μάγμα, μπορούμε να επισημάνουμε μέσα στο Μ μάγματα άλλα από το Μ.

Μ3: Αν Μ είναι ένα μάγμα, δεν υπάρχει μερισμός του Μ σε μάγματα.

Μ4: Αν Μ είναι ένα μάγμα, κάθε ανάλυση του Μ σε σύνολα αφήνει ως υπόλειμμα ένα μάγμα.

Μ5: Ό,τι δεν είναι μάγμα είναι σύνολο ή είναι τίποτε.

[19] «Θα χρησιμοποιήσουμε τη γλώσσα και, σ' ένα ορισμένο βαθμό, τους πόρους της συνολιστικής-ταυτιστική λογικής, για να ορίσουμε, να φωτίσουμε και να δικαιολογήσουμε την θέση κάποιου πράγματος που ξεπερνά και μάλιστα παραβιάζει τη συνολιστική – ταυτιστική λογική. Χρησιμοποιώντας τα σύνολα, θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε τα μάγματα. Και, ιδεατά, ξεκινώντας από τα μάγματα, θα πρέπει να προσπαθήσουμε να περιγράψουμε τα σύνολα ως 'βυθισμένα μέσα' στα μάγματα» (Καστοριάδης, 1995: 309).

[20] «Όσον αφορά τα μάγματα, η σημαντική αντίθεση δεν είναι πεπερασμένο/άπειρο, [ούτε διακριτό-ψηφιακό / συνεχές] αλλά καθορισμένο / ακαθόριστο» (Καστοριάδης, 1995: 301-302).

Η ιδιότητα Μ1 συσχετίζει το μάγμα με κάτι το γνωστό και καθορισμένο, ώστε να αρχίσει να γίνεται κατανοητό[21]. Έτσι, σε ένα πρώτο επίπεδο αναγνωρίζει εντός του μάγματος πλήθος συνολιστικών οργανώσεων. Ο κάθε τύπος χαρακτηρίζεται καλύτερα από ένα ή κάποια πεπερασμένου πλήθους σύνολα ιδιοτήτων επίσης πεπερασμένου πλήθους. Ωστόσο σε κάθε τύπο συμμετέχουν όλες οι ιδιότητες, οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν σε πολυάριθμα υποσύνολα, κυρίως αν ο πληθυσμός των συνόλων αυτών δεν είναι δεδομένος, ενώ είναι προφανές ότι διακρίνονται και άλλες, αναδυόμενες ή όχι, ιδιότητες πλην των αρχικών μετρήσεων, οι οποίες αυξάνουν το πλήθος των συνόλων που μπορούν να επισημανθούν εντός του τύπου.

Η ιδιότητα Μ2 εκφράζει την απεριόριστη δυνητικότητα, την ανεξαντλητότητα, η οποία δεν είναι μόνο ποσοτική ως προς το πλήθος των στοιχείων και των πιθανών συνδυασμών τους. «Δεν εμπλέκεται εδώ η πληθικότητα, ο ‘αριθμός των αντικειμένων’ που μπορεί να ‘περιέχει’ ένα μάγμα […], αλλά η ανεξαντλητότητα των τρόπων του είναι (και των τύπων οργάνωσης) που μπορούμε να ανακαλύψουμε εδώ» (Καστοριάδης, 1995: 309). «Τα μάγματα ξεπερνούν τα σύνολα όχι από την άποψη του ‘πλούτου της πληθικότητας’ […], αλλά από την άποψη της ‘φύσης της σύστασής τους’» (Καστοριάδης, 1995: 312).

Αντίστοιχα, ο κάθε τύπος δεν είναι μοναδικά ορισμένος, παγιωμένος και κλειστός, αλλά ανοιχτός σε πολλαπλές περιγραφές και εναλλάξιμος. Ως προς το σύνολο των αδόμητων χώρων υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί διαχωρισμοί, εξίσου έγκυροι μεταξύ τους, ενώ και εντός κάθε τύπου είναι δυνατή η παρατήρηση επιμέρους συσταδοποιήσεων ιδιοτήτων. Επίσης, ανάλογα με το σύνολο των ιδιοτήτων που επιλέγονται είναι η δυνατή η αναδιάταξη του δείγματος σε νέα υποσύνολα, που υπόκεινται σε διαφορετικές οργανωτικές δομές κάθε φορά. Διαφορετικά κριτήρια επιβάλλουν άλλους τύπους οργάνωσης στα δεδομένα, επιτρέποντας την ανεξάντλητη αναδιάταξη των συσχετισμών και των διαχωρισμών σε νέες διαφορετικές οργανώσεις.

Η ιδιότητα Μ3 είναι σύμφωνα με τον Καστοριάδη η πιο αποφασιστική ιδιότητα, καθώς «εκφράζει την αδυνατότητα να εφαρμοστεί εδώ το σχήμα/τελεστής του χωρισμού – και, κυρίως, η μη σημαντικότητά του σ’ αυτό το πεδίο» (Καστοριάδης, 1995: 311). Σύμφωνα με την ιδιότητα αυτή τα μάγματα είναι αδιαχώριστα, δεν μπορούν να αναλυθούν σε διακεκριμένες και καλώς ορισμένα στοιχεία. «Οι ‘τομές’ των υπο-μαγμάτων δεν είναι σχεδόν ποτέ κενές».

Έτσι και οι τύποι δεν μπορούν να αναλυθούν στα συστατικά τους, δεν ανάγονται στους όρους από τους οποίους συστήνονται. Ο ορισμός τους βάσει κοινών ιδιοτήτων είναι περιγραφικός και εκ των υστέρων διατυπώσιμος, χωρίς αναλυτική ισχύ και χωρίς τη σημασία απόδοσης αναγκαίων και ικανών συνθηκών υπαγωγής ενός στοιχείου στον εκάστοτε τύπο. Εντός του κάθε τύπου μπορούν να διακριθούν άλλοι τύποι (Μ2), αλλά χωρίς να συνεπάγεται ότι αυτοί οι τύποι συναποτελούν αποκλειστικά και μονοσήμαντα τον τύπο εντός του οποίου διακρίνονται. Οι τύποι αποτελούνται από μέρη αλλά δεν ανάγονται εξαντλητικά σε αυτά[22].

Η ιδιότητα Μ4 συνεπάγεται ότι αν κάτι μπορεί να αναλυθεί με τρόπο εξαντλητικό σε σύνολα, τότε πρόκειται για σύνολα και όχι για μάγμα. Σε κάθε τύπο διακρίνονται σύνολα (Μ1), αλλά τα σύνολα

[21] «Για να μπορώ να μιλάω για το Μ, πρέπει να μπορώ, στην αρχή, να επισημάνω το Μ «ως τέτοιο» ασαφώς –και η επισήμανση μέσα στο Μ μιας ‘ακολουθίας’ ορισμένων συνόλων μου επιτρέπει να καταστήσω προοδευτικά λιγότερο ‘ασαφή’ την ταύτιση του Μ» (Καστοριάδης, 1995: 309).

[22] Ο Garfinkel (1987: 202-203) αναφερόμενος στα πολύπλοκα συστήματα και στην αδυναμία αναγωγής τους στα συστατικά τους στοιχεία υποστηρίζει ότι «παρότι μπορεί να είναι κατά κάποιον τρόπο αλήθεια ότι τα συστήματα ‘είναι μόνο’ συλλογές των στοιχείων τους, αυτό δεν συνεπάγεται ότι μπορούμε να εξηγήσουμε τη συμπεριφορά του συστήματος κατ’ αναφορά στα μέρη του, μαζί με μια θεωρία για τις συνδέσεις τους. [...] Πρέπει να καταφύγουμε σε ολιστικές έννοιες που αναφέρονται στη συμπεριφορά του συστήματος ως όλου».

αυτά δεν αποτελούν τον τύπο με τρόπο εξαντλητικό (Μ3), ο τύπος δεν μπορεί να αναλυθεί στα υποσύνολα από τα οποία αποτελείται. Η ιδιότητα αυτή της μη αναλυσιμότητας αμφισβητεί τη χωρισιμότητα των στοιχειωδών φαινομένων (Καστοριάδης, 1995: 315) και είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των πολύπλοκων συστημάτων και της διάκρισής τους από συστήματα που είναι απλά περίπλοκα[23] (Cilliers, 1998). Τα περίπλοκα συστήματα, όπως και τα σύνολα, μπορούν να περιγραφούν πλήρως μέσω της ανάλυσής τους στα συστατικά τους στοιχεία, όσο πολλά και αν είναι αυτά, ενώ τα πολύπλοκα συστήματα, όπως και τα μάγματα, δεν μπορούν να γίνουν κατανοητά μέσω της ανάλυσης των συστατικών τους και οποιαδήποτε απόπειρα ανάλυσης προκαλεί διαταραχές στο σύστημα[24].

Η ιδιότητα Μ5 δηλώνει την καθολικότητα της ιδέας του μάγματος. Κάθε πολλαπλότητα που δεν είναι σύνολο είναι μάγμα, άρα σύμφωνα με το Cantor, το μάγμα είναι η σαθρή πολλαπλότητα. Σύμφωνα με τον Καστοριάδη, «ονομάζουμε μαγματικό κάθε τρόπο του είναι / τρόπο οργάνωσης μη συνολιστικό- ταυτιστικό τον οποίο συναντάμε ή μπορούμε να σκεφτούμε» (Καστοριάδης, 1995: 311).

Οι τύποι, εφόσον περιγράφονται ως πολλαπλότητες ή πολυειδίες[25] μη αναλυτές, μη αναγώγιμες στους όρους σύστασής τους και ανοιχτές σε εναλλακτικές οργανώσεις, δεν είναι σύνολα, άρα είναι μάγματα.

Η φαινομενικά απόλυτη και καθαρή αυτή διάκριση των πολλαπλοτήτων σε σύνολα και μάγματα είναι στην πραγματικότητα σχετικής ισχύος και η απόδοση του ενός ή του άλλου όρου δεν είναι αποκλειστική και αιώνια. Κάτι που θεωρείται ως μάγμα υπό μια οπτική μπορεί να αναχθεί σε σύνολο υπό μια άλλη λογική και αντίστροφα[26].

5.6.2. Εκ των υστέρων περιγραφή

Ο Καστοριάδης αναφέρει ότι οι ιδιότητες Μ1-Μ4 που αποδίδει στα μάγματα είναι περιγραφικές, εποπτικές ιδιότητες. Όπως οι χωρικοί τύποι, όλα τα μάγματα είναι περιγράψιμα μόνο εκ των υστέρων γιατί εκφράζονται μέσω μη οριστών όρων «οι οποίοι δεν αποκτούν το περιεχόμενό τους παρά μόνον

[23] Ο Cilliers (1998) κάνει μια διάκριση μεταξύ πολύπλοκων και περίπλοκων συστημάτων, σύμφωνα με την οποία περίπλοκα [complicated] είναι συστήματα που έχουν μεγάλο πλήθος στοιχείων και εκτελούν εξεζητημένες διαδικασίες, αλλά κατά τρόπο που μπορεί να αναλυθεί επακριβώς και να περιγραφεί πλήρως (όπως για παράδειγμα ένας μηχανισμός με πολλά μέρη, μια χιονονιφάδα, το σύνολο Mandelbrot), ενώ πολύπλοκα [complex] είναι συστήματα που αποτελούνται από τόσο δαιδαλώδη σύνολα μη-γραμμικών σχέσεων και ανατροφοδοτούμενων βρόχων που μόνο κάποια χαρακτηριστικά τους μπορούν να αναλυθούν κάθε φορά. Επιπλέον, αυτές οι αναλύσεις πάντα προκαλούν διαταραχές

Αν ένα σύστημα, παρά το γεγονός ότι μπορεί να αποτελείται από τεράστιο αριθμό στοιχείων, μπορεί να περιγραφεί πλήρως ως προς τα μοναδιαία συστατικά του στοιχεία, είναι απλά περίπλοκο. Αντίθετα, σε ένα πολύπλοκο σύστημα, η διάδραση μεταξύ των συστατικών του συστήματος, και η διάδραση μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντός του, είναι τέτοιας φύσης που το σύστημα ως σύνολο δεν μπορεί να γίνει πλήρως κατανοητό μέσω της ανάλυσης των συστατικών του. Επιπλέον, αυτοί οι συσχετισμοί δεν είναι παγιωμένοι, αλλά μετατοπίζονται και αλλάζουν, συχνά ως αποτέλεσμα αυτό-οργάνωσης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε καινοτόμα χαρακτηριστικά, τα οποία συνήθως αναφέρονται ως αναδυόμενες ιδιότητες.

[24] «Ένα πολύπλοκο σύστημα δεν αποτελείται απλώς από το άθροισμα των μερών του, αλλά και από τις πολύπλοκες σχέσεις μεταξύ αυτών των μερών. 'Τεμαχίζοντας' ένα σύστημα, η αναλυτική μέθοδος καταστρέφει αυτό που επιδιώκει να κατανοήσει» (Cilliers 1998: 2).

[25] Ορίζουμε μια πολυειδία (πολυειδές, Πλάτων) με:

D1: αν μέσα στο D μπορούμε να επισημάνουμε μια οικογένεια συνόλων όχι κενών, το D ονομάζεται πολυειδία.

D2: έστω N η ένωση των συνόλων που επισημαίνονται μέσα στο D. Αν D-N = κενό σύνολο, το D είναι σύνολο. Αν D-N ≠ κενό σύνολο, το D είναι μάγμα (Καστοριάδης, 1995: 312).

[26] «Η διάκριση (μεταξύ συνόλων και μαγμάτων) περιλαμβάνει μια «'εμπειρική', 'ιστορική' ή 'ενδεχομενική' διάσταση: Δεν μπορούμε να πούμε εκ των προτέρων αν ένα πεδίο D, το οποίο για πολύ καιρό εμφανίστηκε ως μη συνολίσιμο, δεν θα συνολιστεί στη συνέχεια (Καστοριάδης, 1995: 313).

στη συνέχεια, μέσω της πραγματικής χρησιμοποίησής τους» (Καστοριάδης, 1995: 303). Για τον ορισμό τους απαιτούνται όροι που μπορούν να έχουν μόνο εκ των υστέρων περιγραφή.

Σύμφωνα με τον Καστοριάδη, αντίθετα με τη συνολιστική – ταυτιστική λογική «υπάρχουν σημασίες που δεν μπορούν να κατασκευαστούν από κλάσεις, ιδιότητες και σχέσεις» (Καστοριάδης, 1995: 319). Ωστόσο, ελλείψει κατάλληλων όρων, αναγκαστικά περιγράφονται μέσω των όρων μιας λογικής στην οποία δεν ανήκουν[27].

Οι μη οριστές, ακαθόριστες αυτές σημασίες δεν μπορούν παρά να προσεγγιστούν σταδιακά και εκ των υστέρων μέσω της εφαρμογής και επέκτασης της σημασίας προϋπαρχόντων, καθορισμένων όρων.

Ωστόσο «ο μη-καθορισμός αυτού-που-είναι δεν είναι απλή 'ακαθοριστία' με τη στερητική και τελικά τετριμμένη έννοια. Είναι δημιουργία, δηλαδή ανάδυση άλλων καθορισμών, νέων νόμων, νέων πεδίων νομιμότητας. Η 'ακαθοριστία' […] έχει το εξής ακριβές νόημα: Καμία κατάσταση του είναι δεν είναι τέτοια που να καθιστά αδύνατη την ανάδυση καθορισμών άλλων από τους ήδη υπάρχοντες» (Καστοριάδης, 1995: 324).

Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση της ακαθοριστίας, οι γενόσημοι χωρικοί τύποι είναι δυνατό να γίνουν περιγράψιμοι και διαχειρίσιμοι με τη χρήση υφιστάμενων όρων και παρεχόμενων καθορισμών. Οι κατάλληλοι όροι θα προκύψουν βάσει μιας εκ των υστέρων περιγραφικής λογικής η οποία αναπόφευκτα αναφέρεται στο πλαίσιο εντός του οποίου επιχειρείται ο καθορισμός και εφαρμόζει τους όρους που παρέχονται από αυτό. Σύμφωνα με τον Badiou (2007: 290) «μια νέα ονοματοθεσία παίρνει τον ρόλο ενός νέου πολλαπλού, αλλά αυτός ο νεωτερισμός είναι σχετικός, καθώς το πολλαπλό που αξιολογείται με αυτόν τον τρόπο είναι πάντα κατασκευάσιμο στη βάση αυτών που έχουν αναγνωρισθεί».

[27] «[…] Είναι αδύνατο να μιλούμε, σ' οποιοδήποτε πλαίσιο, δίχως να χρησιμοποιούμε τους συνολιστικούς-ταυτιστικούς τελεστές (και παραδείγματος χάρη, τους τελεστές κλάση, σχέση ιδιότητα). Εξ ου: το συνολιστικό 'μέρος' είναι 'παντού πυκνό' στη φυσική γλώσσα». […] Οι πυρηνικές ή κεντρικές κοινωνικές φαντασιακές σημασίες «συνεπάγονται σταθερά τις συνολιστικές- ταυτιστικές τελέσεις αλλά δεν εξαντλούνται σ' αυτές. 'Ενοργανώνονται' πάντα σε κλάσεις, σχέσεις και ιδιότητες – αλλά δεν είναι κατασκευασμένες από αυτές. […] Η φαντασιακή θέσμιση της κοινωνίας ισοδυναμεί με την συγκρότηση 'αυθαίρετων' οπτικών γωνιών με βάση τις οποίες εγκαθιδρύονται 'ισοδυναμίες' και 'σχέσεις'» (Καστοριάδης, 1995: 319-321).

Κεφάλαιο 6

6. Εισαγωγή ιεραρχίας βάσει της εμπρόθετης απόδοσης βαρών

Στο προηγούμενο στάδιο επιχειρήθηκε η κατηγοριοποίηση ενός συνόλου άτυπων αδόμητων χώρων βάσει της ισότιμης, αδιαβάθμητης και μη ιεραρχικής, ταυτόχρονης θεώρησης όλων των ιδιοτήτων που είχαν επιλεγεί για την περιγραφή τους. Οι παραγόμενοι τύποι, που αναφέρονται ως γενόσημοι χωρικοί τύποι ή μάγματα, εμφανίζουν πολλαπλές ταυτότητες και ανοιχτότητα σε πολλαπλές ερμηνείες. Σύμφωνα με τον Badiou (2007: 328) «σαν γενικός κανόνας, το πολλαπλό (και τα υπο-πολλαπλά του) τίθενται υπό πλήθος καθοριστικών παραγόντων». Αν και η αρχική επιλογή χαρακτηριστικών βάσει της οποίας πραγματοποιείται η κατηγοριοποίηση βασίζεται σε κριτήρια που αφορούν στον αντιληπτικό χαρακτήρα της φυσικής μορφής και δομής των αδόμητων χώρων, οι εξαγόμενοι τύποι δεν εκφράζουν ρητά αυτά τα κριτήρια ένα προς ένα.

Η σχετική θέση κάθε χωρικής ενότητας χαρτογραφημένης σε δομές μειωμένων διαστάσεων εξαρτάται από ένα σύνολο ενδογενών συσχετισμών που δεν μπορούν να διακριθούν εκ των υστέρων και να εξεταστούν ως χωριστές συνιστώσες (Hanna, 2007b). Αυτοί οι συσχετισμοί δεν εκφράζονται μέσω συγκεκριμένων και περιγράψιμων χαρακτηριστικών, αλλά ως διαβαθμίσεις εγγύτητας που προκύπτουν από τη συνοχή ή τη διασπορά σημείων.

Επομένως, η τυπολογία που προκύπτει από την Ανάλυση Συστάδων, αν και απολύτως συγκεκριμένη, αφού κάθε χώρος ανατίθεται σε μία ομάδα με τρόπο αποκλειστικό, εμφανίζεται καταρχήν εξίσου ασαφής και μη περιγράψιμη με τους άτυπους χωρικούς σχηματισμούς που ομαδοποιεί. Η αρχική αναζήτηση όρων για την περιγραφή μεμονωμένων γενόσημων χώρων μεταφράζεται τώρα σε μια αναζήτηση όρων για την περιγραφή γενόσημων χωρικών τύπων.

Η μετάβαση αυτή από μία κλίμακα θεώρησης του μελετώμενου αντικειμένου σε μία άλλη, μεγαλύτερη κλίμακα, παρέχοντας μια πιο αφαιρετική και «χαμηλής ανάλυσης», πιο γενικευμένη προσέγγιση υψηλότερης ταξινομικής ιεραρχίας, μέσω του ορισμού διακριτών κλάσεων αντί μοναδικών ατομικοτήτων, μπορεί να συμβάλει στο χαρακτηρισμό και την περιγραφή των υπό ανάλυση χώρων, όχι πια βάσει ατομικών, αλλά κοινών ιδιοτήτων.

Το δεδομένο ότι κάποιοι χώροι ανήκουν στην ίδια κλάση μεταξύ τους και σε διαφορετική από ότι άλλοι αποτελεί μια βάση αναζήτησης του ως προς τι μοιάζουν. Έτσι η ομαδοποίηση οδηγεί από την ανάγκη περιγραφής μεμονωμένων, εξατομικευμένων στοιχείων στην αναζήτηση της περιγραφής οικογενειών αντικειμένων, μέσω μιας επαγωγικής διαδικασίας γενίκευσης.

Προκειμένου οι χωρικοί τύποι να περιγραφούν και να γίνουν γλωσσικά διαχειρίσιμοι, επιχειρείται η εκ των υστέρων αξιολόγησή τους. Στο προηγούμενο στάδιο, σε ένα πρώτο επίπεδο αξιολόγησης της συσταδοποίησης και λεκτικής περιγραφής των εξαγόμενων τύπων, εφαρμόστηκαν ως εσωτερικά κριτήρια τα ίδια τα κριτήρια που καθοδήγησαν την κατηγοριοποίηση, δηλαδή οι μετρήσεις.

Από τη μελέτη των τιμών και των κατανομών τους ανά ιδιότητα και ανά συστάδα παρατηρήθηκε ότι, όπως ήταν αναμενόμενο, καμία μεμονωμένη μέτρηση δεν επαρκεί για να περιγράψει τους τύπους. Οι τιμές των μετρούμενων χαρακτηριστικών εμφανίζονται διάσπαρτες εντός ενός συνεχούς εύρους για κάθε ιδιότητα, για όλους τους τύπους και παρόλο που σε κάποιες μετρήσεις μπορούν να διακριθούν γενικές τάσεις εντός κάποιων συστάδων, δεν παρατηρείται ισχυρή συσχέτιση του διαχωρισμού με καμία από τις μετρήσεις.

Ενώ δεν προκύπτει διαχωρισμός απευθείας από τις τιμές, η περαιτέρω ανάλυσή τους σε συνδυασμό με την εποπτική μελέτη των συστάδων, οδηγεί στην παρατήρηση ότι κάθε τύπος δείχνει να μην συσχετίζεται ισότιμα με όλες τις μετρήσεις, αλλά αντίθετα να χαρακτηρίζεται εντονότερα από κάποιες από αυτές. Οι ιδιότητες που αντιστοιχούν σε αυτές τις μετρήσεις συμβάλλουν περισσότερο στη διαμόρφωση του συγκεκριμένου τύπου και επομένως είναι πιο συναφείς και ισχυρότερα συσχετιζόμενες με τη δομή του, άρα και καταλληλότερες για την περιγραφή του. Έτσι, διαφορετικά υποσύνολα ιδιοτήτων περιγράφουν καλύτερα συγκεκριμένους τύπους.

Η προσέγγιση των τύπων μέσω του εντοπισμού υποσυνόλων χαρακτηριστικών υποδηλώνει ποικίλους βαθμούς συμβολής των διαφορετικών ιδιοτήτων στη συγκρότηση της κάθε κλάσης. Παρά το γεγονός ότι η κατηγοριοποίηση βασίζεται στην ισότιμη θεώρηση όλων των ιδιοτήτων ταυτόχρονα, η εκ των υστέρων εξέταση των αποτελεσμάτων υποδεικνύει την αυτοοργάνωση ιεραρχικών δομών και ασύμμετρων δυνάμεων έλξης και άπωσης εντός των δεδομένων.

Η μελέτη αυτών των ενδογενών δυνάμεων στη διαμόρφωση των ομάδων επιχειρείται μέσω της εφαρμογής εξωτερικών ιεραρχιών και της παρατήρησης των μεταβολών που αυτές επιφέρουν στην οργάνωση των αλληλοσυσχετισμών μεταξύ των δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, προτείνεται η σύσταση ενός παραμετρικού μοντέλου του συστήματος των αδόμητων χώρων στο οποίο οι ιδιότητες ιεραρχούνται δυναμικά, μέσω της επιλεκτικής μεταβολής της ισχύος της κάθε μέτρησης. Εφαρμόζοντας διαφορετικά βάρη στα κριτήρια συσταδοποίησης πραγματοποιείται μια εμπρόθετη εισαγωγή της υποκειμενικής οπτικής και της έννοιας του σημείου οράσεως.

Η εμφάνιση κοινών συνόλων χαρακτηριστικών στα μέλη των επιμέρους κλάσεων οδηγεί στην απόπειρα περιγραφής των τύπων μέσω Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων [Homeostatic Property Clusters (HPC)] (Boyd, 2000, 1999a, 1999b, 1991).

6.1. Περιγραφή των τύπων βάσει της αναγνώρισης κοινών υποσυνόλων χαρακτηριστικών

Από τη συστηματική παρατήρηση των τιμών της κάθε ιδιότητας σε κάθε τύπο έγινε σαφές ότι, αν και κάποιες μετρήσεις φαίνεται να επηρεάζουν περισσότερο τη συσταδοποίηση από ότι άλλες, καμία μεμονωμένη μέτρηση δεν συσχετίζεται σε καθοριστικό βαθμό με το διαχωρισμό σε συστάδες. Ο εντοπισμός όμως της ύπαρξης διαφοροποιήσεων ως προς το βαθμό στον οποίο ποικίλες μετρήσεις συμβάλλουν στη διαμόρφωση διακριτών χαρακτηριστικών εντός κάποιων τύπων και η καταγραφή των ιδιαιτεροτήτων αυτών, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι από τη μία κάποιες ιδιότητες δείχνουν να συσχετίζονται μεταξύ τους, εμφανιζόμενες επαναλαμβανόμενα από κοινού, και από την άλλη κάθε τύπος φαίνεται να συσχετίζεται εντονότερα με κάποιες μόνο από τις μετρήσεις. Επομένως, ο εντοπισμός συγκεκριμένων υποσυνόλων συνεμφανιζόμενων μετρήσεων σε συγκεκριμένους τύπους θα μπορούσε να συνεισφέρει στην αποτελεσματικότερη περιγραφή του αντίστοιχου τύπου.

Για τον εντοπισμό τέτοιων συνόλων, χρησιμοποιείται η ανάλυση της κατανομής των τιμών των μετρήσεων στις συστάδες (Πίνακας 5 - 1), υποστηριζόμενη από τη γραφική απόδοση των εξαγόμενων τύπων στο χάρτη της περιοχής (Εικόνα 5 - 14) και την οπτικής εξέτασή τους.

Η εποπτική αξιολόγηση των συστάδων ενδεχομένως να υστερεί σε ακρίβεια και αντικειμενικότητα των στατιστικών ή άλλων αριθμητικών μεθόδων αλλά παραμένει πολύτιμη λόγω της μοναδικής συνδυαστικής ικανότητας και πολυπλοκότητας της οπτικής αντίληψης. Ο συνδυασμός αριθμητικής ανάλυσης και εποπτικής παρατήρησης των τύπων ίσως επιτρέψει τη μερική έστω γλωσσική περιγραφή τους βάσει συγκεκριμένων συνδυασμών ιδιοτήτων που συνιστούν αντιληπτές ποιότητες.

Βάσει της συνδυαστικής αυτής ανάλυσης, προκύπτει μια πρωτογενής προσέγγιση των τύπων μέσω κοινών ιδιοτήτων.

- Συστάδα 1 (Πράσινο): Περιλαμβάνει σχετικά περίκλειστο κενά, ως επί το πλείστον χωρίς καθόλου ή με λίγα (1-2) και περιορισμένου εύρους ανοίγματα προς το δημόσιο χώρο. Τα περιγράμματά τους είναι διασπασμένα τοπικά, με πολυάριθμες αλλά σχετικά μικρού βάθους εσοχές και εξοχές και σχετικά κυρτό συνολικό σχήμα.
- Συστάδα 2 (Κόκκινο): Η συστάδα αυτή μοιάζει αρκετά με την 1. Και αυτή περιλαμβάνει σχετικά περίκλειστα κενά, κάποια χωρίς καθόλου ή ως επί το πλείστον με λίγα και κυρίως περιορισμένου εύρους ανοίγματα προς το δημόσιο χώρο. Τα περιγράμματά τους είναι πολύ διασπασμένα, με πολυάριθμες και συχνά μεγάλου βάθους εσοχές που σχηματίζουν επιμήκεις αποφύσεις από το κυρίως σώμα. Συχνά σχηματίζονται επιμέρους θύλακες που συνδέονται μεταξύ τους με στενά επιμήκη τμήματα και το συνολικό σχήμα έχει χαμηλή συνδεσιμότητα. Τα περισσότερα κενά της συστάδας αυτής είναι ευμεγέθη ως προς το εμβαδόν και κυρίως ως προς το ανάπτυγμα της περιμέτρου.
- Συστάδα 3 (Μωβ): Η συστάδα αυτή είναι η πιο ανοιχτή, με μεγάλο πλήθος και συνολικό μήκος ανοιγμάτων προς το δημόσιο χώρο. Όλα της τα στοιχεία έχουν γωνιακό άνοιγμα και κανένα δεν είναι απόλυτα περίκλειστο (όλα έχουν 2-6 ανοιχτές πλευρές). Μαζί με τις συστάδες 7 και 8 εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές ανοιχτής περιμέτρου προς περίμετρο οικοδομικού τετραγώνου, με εύρος τιμών από 0.135 ως 0.45, που την κατατάσσει απόλυτα ψηλότερα από τις συστάδες 1,2,4,5 και 6 με μοναδική εξαίρεση ένα στοιχείο της συστάδας 2 με τιμή 0.24. Επίσης μαζί με τις συστάδες 7 και 8 έχει τις υψηλότερες τιμές ανοιχτής περιμέτρου κενού, απόλυτα ψηλότερες από τις τιμές των συστάδων 5 και 6 (η ελάχιστη τιμή της συστάδας 3 είναι 27.45 ενώ η μέγιστη της 5 είναι 19.11 και της 6 μηδέν) και πολύ μικρή αλληλεπικάλυψη με τις συστάδες 1 και 2. Συγκεκριμένα, δύο στοιχεία της συστάδας 4 βρίσκονται εντός του εύρους της 3, με τιμές 28.28 και 30.00 αντίστοιχα, καθώς και δύο στοιχεία της συστάδας 1 και τρία της 2. Η συστάδα 3 έχει και μεγάλο εμβαδόν κενών.
- Συστάδα 4 (Μπλε σκούρο): Η συστάδα αυτή είναι αρκετά διακριτή, καθώς περιλαμβάνει ουσιαστικά εσοχές στην περίμετρο των οικοδομικών τετραγώνων και όχι εσωτερικούς ακαλύπτους. Τα κενά της συστάδας αυτής έχουν μικρό μέγεθος και συγκεκριμένα είναι τα μικρότερα σε περίμετρο και εμβαδόν, μαζί με αυτά της συστάδας 6. Έχουν πάντα μία ακριβώς πλευρά εντελώς ανοιχτή προς το δημόσιο χώρο και σχήμα απλό, τετράπλευρο ή πεντάπλευρο και εντελώς κυρτό. Αν και λόγω του μικρού τους μεγέθους έχουν μικρό απόλυτο μήκος ανοίγματος, το ποσοστό της περιμέτρου τους που είναι ανοιχτό είναι από τα μεγαλύτερα, ενώ πολύ υψηλή είναι και η συνδεσιμότητά τους ως προς τα ανοίγματα. Πρόκειται δηλαδή για μικρά και συνολικά πολύ ανοιχτά και ορατά κενά.
- Συστάδα 5 (Μπλε ανοιχτό): Η συστάδα αυτή περιλαμβάνει ως επί το πλείστον επιμήκη κενά, αρκετά κυρτά και με λίγα και σχετικά μεγάλα σπασίματα, συνήθως πλατιά και αβαθή. Κάποια έχουν συνολικά σχήμα Γ ή Τ. Είναι αρκετά περίκλειστα, είτε εντελώς είτε με λίγα (μέχρι 2) και στενά ανοίγματα. Ως προς το μέγεθος είναι σχετικά μικρά, όλα μικρότερα από τα μέλη των συστάδων 2 και 3, με εξαίρεση το μικρότερο της συστάδας 2 και τα δύο μικρότερα της 3, που είναι μικρότερα από το μεγαλύτερο μόνο της 5.
- Συστάδα 6 (Γαλάζιο): Πρόκειται για δύο μόνο πολύ μικρά εσωτερικά τετράπλευρα κενά, πιθανότατα φωταγωγούς. Η συστάδα αυτή έχει σχεδόν πανομοιότυπα χαρακτηριστικά με την 4 με τη βασική διαφορά ότι στην 6 τα κενά είναι εντελώς περίκλειστα.
- Συστάδα 7 (Κίτρινο): Η συστάδα αυτή περιλαμβάνει δύο μόνο κενά που είναι σχετικά μεγάλου μεγέθους, με μεγάλο ενιαίο άνοιγμα προς το δρόμο και πολύ κυρτά. Ουσιαστικά πρόκειται για τον

κενό χώρο οικοδομικών τετραγώνων όπου ο κτισμένος όγκος έχει σχήμα πεπλατυσμένου Π σε κάτοψη, δηλαδή με το άνοιγμα στη μια μεγάλη πλευρά του τετραγώνου.

- Συστάδα 8 (Γκρι): Όπως αναφέρθηκε (κεφ. 5.4.3) η συστάδα 8 δεν είναι φυσική συστάδα, αλλά αποτελείται από τη συνένωση, για πρακτικούς λόγους, των μεμονωμένων ατομικών συστάδων. Τα μέλη της είναι κυρίως έκτοπα ή γενικότερα κενά που δεν εντάσσονται σε καμία από τις υπόλοιπες συστάδες. Με αυτή την έννοια δεν έχει νόημα να αναζητηθούν κοινά χαρακτηριστικά μεταξύ τους. Δύο είναι μεγάλου μεγέθους και πολύ ανοιχτά και διασπασμένα, με ανοιχτές γωνίες και πολλές ανοιχτές πλευρές. Πρόκειται για τον υπολειπόμενο χώρο σε τετράγωνα που περιλαμβάνουν ασυνεχείς κτιριακούς όγκους. Τα άλλα δύο βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά των τετραγώνων και έχουν μικρότερο μέγεθος. Σημειώνεται ότι τα τρία από τα τέσσερα μέλη της συστάδας αυτής (1447.1, 1495.2, 1655.1) είχαν εντοπιστεί ήδη ως έκτοπα από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων[1].

Η εξέταση των τιμών της κάθε ιδιότητας σε κάθε συστάδα και ο εντοπισμός αλληλοσυσχετιζόμενων συνόλων ιδιοτήτων με συγκεκριμένες τιμές, σε συνδυασμό με τη γραφική απόδοση των εξαγόμενων τύπων στο χάρτη της περιοχής και την οπτική εξέτασή τους, δίνουν μια αίσθηση συμφωνίας μεταξύ της κατηγοριοποίησης και της αντιληπτικής εντύπωσης των αντίστοιχων αδόμητων χώρων, με όρους ομοιότητας και διαφοράς. Αυτή η διαισθητική επιβεβαίωση μπορεί να αποδοθεί στην αναγνώριση αφηρημένων χωρικών ποιοτήτων εντός κάθε τύπου, όπως για παράδειγμα η ανοιχτότητα, η εσωστρέφεια, η συνδεσιμότητα, η προσβασιμότητα, η κυρτότητα, η θραυσματικότητα, η αυτό-ομοιότητα, η ομοιογένεια, η συμμετρία και η κλίμακα. Αυτές οι ποιοτικές αντιληπτικές ιδιότητες σχετίζονται φυσικά με τις έννοιες που διαμόρφωσαν τα κριτήρια επιλογής του συγκεκριμένου συνόλου αρχικών τύπων χαρακτηριστικών και μεθόδων μέτρησής τους, αλλά δεν προέρχονται μονοσήμαντα και αποκλειστικά από κάποιο μεμονωμένο στοιχείο. Κατά συνέπεια, οι διαφορετικοί τύποι δεν αντιστοιχούν ρητά σε συγκεκριμένα μορφολογικά, τυπολογικά ή τεχνικά χωρικά χαρακτηριστικά, ούτε μπορούν να αντιστοιχηθούν άμεσα σε κάποια μεμονωμένη μέτρηση.

6.2. Οι χωρικοί τύποι ως Ομοιοστατικές Συστάδες Ιδιοτήτων

Αν και όλα τα στοιχεία του δείγματος αναλύονται και ομαδοποιούνται βάσει ενός προεπιλεγμένου συνόλου κοινών χαρακτηριστικών, κάθε ομάδα που προκύπτει από τη διαδικασία συσταδοποίησης χαρακτηρίζεται εντονότερα από ένα διαφορετικό υποσύνολο του συνόλου των χαρακτηριστικών αυτών. Τα υποσύνολα ποικίλλουν τόσο ως προς το είδος όσο και ως προς το πλήθος των ιδιοτήτων που περιλαμβάνουν.

Η εμφάνιση κοινών συνόλων χαρακτηριστικών στα μέλη των επιμέρους κλάσεων και ο εντοπισμός συνδυασμών ιδιοτήτων σε αντιληπτικές ποιότητες που σχετίζονται με τις αρχικές έννοιες οδηγεί στην απόπειρα περιγραφής των συστάδων αδόμητων χώρων μέσω συστάδων κοινών χαρακτηριστικών, ή σύμφωνα με τον ορισμό των φυσικών ειδών από τον Boyd (2000, 1999a, 1999b, 1991), μέσω «Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων».

6.2.1. Ορισμός ειδών Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων

Σε αντίθεση με την κοινά αποδεκτή αντίληψη των ειδών, που σύμφωνα με την παράδοση της ουσιοκρατίας και του εμπειρισμού ορίζονται από ονομαστικές ουσίες (Boyd, 1999a) ή άλλες καθαρά

[1] Βλ. κεφ. 2.6.3.1.2 και υποσημείωση 5.14.

συμβατικές προδιαγραφές συνθηκών μέλους, οι οποίες εκφράζονται ρητά και αποτελούν αναγκαίες και ικανές συνθήκες υπαγωγής στο είδος, ή νατουραλιστικές αντιλήψεις που προβάλλουν παραδείγματα εκ των υστέρων ορισμών φυσικών ειδών που επίσης όμως προσδιορίζουν αναγκαίες και ικανές συνθήκες υπαγωγής (βάσει πραγματικών σε αντίθεση με τις ονομαστικές ουσίες), ο Boyd εισηγείται τον ορισμό των ειδών ως Ομοιοστατικές Συστάδες Ιδιοτήτων[2] [Homeostatic Property Clusters (HPC)].

Βάσει της θεωρίας των Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων, ο Boyd ορίζει τα είδη βάσει ιδιοτήτων που συνήθως συσταδοποιούνται, δηλαδή εμφανίζονται μαζί, εξαιτίας σχέσεων αιτιότητας μεταξύ τους (Schauer, 2012). Τα είδη που ορίζονται κατά αυτόν τον τρόπο τα ονομάζει Είδη Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων[Homeostatic Property Cluster (HPC) Kinds] (Boyd, 2000, 1999a, 1999b, 1991). Συγκεκριμένα, ο Boyd ορίζει ως Είδη Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων «μια κλάση φυσικών ειδών[3] [kinds], ιδιοτήτων και σχέσεων οι ορισμοί των οποίων παρέχονται όχι από κάποιο σύνολο αναγκαίων και ικανών συνθηκών, αλλά από μια «ομοιοστατικά» διατηρούμενη συσταδοποίηση αυτών των ιδιοτήτων ή σχέσεων» (Boyd, 1999a: 141). Σύμφωνα με αυτή τη προσέγγιση «τα είδη ορίζονται […] από […] κοινές ιδιότητες και από τους μηχανισμούς (συμπεριλαμβανομένων τόσο 'εξωτερικών' μηχανισμών όσο και γενετικές διαβιβάσεις) που διατηρούν την ομοιοστασία τους» (Boyd, 1999b: 81).

Η θεωρία των Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων υποθέτει δηλαδή ότι τα φυσικά είδη είναι ομάδες οντοτήτων που μοιράζονται σχετικά σταθερές ομοιότητες, περιέχουν ομοιοστατικούς αιτιακούς μηχανισμούς που είναι υπεύθυνοι για τις ομοιότητες αυτές και δεν απαιτεί τα είδη να ορίζονται από παραδοσιακές ουσιαστικές ιδιότητες (Ereshefsky, 2010).

Επομένως, τα είδη είναι ομάδες οντοτήτων που φέρουν «ποικίλους βαθμούς αιτιακά υποστηριζόμενης ομοιότητας» (Boyd, 1999a: 144), δηλαδή έχουν σημαντικά όμοιες ιδιότητες ως αποτέλεσμα κοινών αιτιών. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν ιδιότητες οι οποίες «συσταδοποιούνται μαζί σε φυσικές οντότητες» (Reydon, 2009: 6), διατηρούμενες από κάποιον αιτιακό μηχανισμό.

Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, τα είδη δεν μπορούν να οριστούν από καθαρά συμβατικές εκ των προτέρων υφιστάμενες «ονομαστικές ουσίες» [a priori 'nominal essences'], αλλά από εκ των υστέρων αναγνωρίσιμες πραγματικές ουσίες [a posteriori real essences], σχετιζόμενες με γεγονότα αναφερόμενα σε δομές αιτιότητας στον κόσμο (Boyd, 1999a: 146).

[2] Σε αντιδιαστολή με τους καθιερωμένους ορισμούς των ειδών στη βιολογία, ο Boyd(1999a: 145) εισάγει τον όρο των ειδών Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων για να αναφερθεί σε οικογένειες πραγμάτων που, μεταξύ άλλων:

«Δεν ορίζονται από αναγκαίες και ικανές συνθήκες, προσδιοριζόμενες με όρους ενδογενών ιδιοτήτων των μελών τους». Αντίθετα, χαρακτηρίζονται από την συν-παρουσία κοινών συστάδων ιδιοτήτων, αναγνωρίσιμων στα μέλη εκ των υστέρων. Οι ίδιες οι ιδιότητες μπορεί υπό μια έννοια να είναι ενδογενείς στα μέλη, αλλά εντοπίζονται ως περιγράψιμα χαρακτηριστικά, αναγνωρίζονται ως συστάδες και ταυτοποιούνται ως καθοριστικές ιδιότητες του είδους μόνο εκ των υστέρων.

«Δεν είναι καθολικά αλλά περιορίζονται σε συγκεκριμένες ιστορικές περιόδους και συνθήκες». Οι τύποι είναι σχετικοί και συγκυριακοί, είναι νοητικές κατασκευές και επομένως προϊόντα ιστορικά και ιδεολογικά προσδιορισμένων και εμπρόθετων ερμηνευτικών διεργασιών.

«Δεν υπόκεινται σε καθολικούς κανόνες χωρίς εξαιρέσεις». Δεν ορίζονται βάσει νόμων αλλά βάσει περιγραφικών αναφορών στις καθοριστικές τους ιδιότητες, ανεξάρτητα από το πού οφείλεται η εμφάνισή τους.

«Αυτό που συνδέει τα μέλη τους είναι περισσότερο οι ιστορικοί αλληλοσυσχετισμοί τους παρά οι αμετάβλητες κοινές τους ιδιότητες». Οι αναγνωριζόμενες σε κάθε συγκυρία σημαντικές ή χαρακτηριστικές κοινές ιδιότητες αποτελούν χωρο-χρονικά προσδιορισμένες ερμηνείες και προβολές του εκάστοτε πολιτισμικού και ιδεολογικού πλαισίου.

[3] Ο όρος είδος χρησιμοποιείται για την απόδοση τόσο του όρου kind όσο και του όρου species και για το λόγο αυτό, όπου κρίνεται απαραίτητο, αναφέρεται και ο αγγλικός όρος.

Οι καθοριστικές, πραγματικές ουσίες των ειδών δεν είναι αναγκαίες, ικανές, ενδογενείς, αμετάβλητες, ανιστορικές. Αντίθετα, «τα φυσικά είδη είναι πάντα, με μια σημαντική έννοια, κοινωνικές κατασκευές και σχετικά με την πρακτική. Συχνά δεν είναι αιώνια. Οι καθοριστικές τους ιδιότητες συχνά δεν είναι ούτε ενδογενείς ούτε αμετάβλητες, ούτε είναι απαραίτητο να καθορίζουν αναγκαίες και ικανές συνθήκες ορισμού. Δεν χρειάζεται να εμφανίζονται εντός απαρέγκλιτων ή αιώνιων νόμων. Οι μέθοδοι με τις οποίες μαθαίνουμε για αυτά είναι ιστορικά τοποθετημένες, κοινωνικά και πολιτικά δομημένες και μη-θεμελιακές» (Boyd, 2000: 54).

Τέλος, η θεωρία των Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων επιτρέπει εξωτερικές σχέσεις να παίζουν σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση ομοιότητας μεταξύ των μελών ενός είδους. Σε αντίθεση με την «ουσιοκρατική υπόθεση ότι η ουσία ενός είδους είναι μια εσωτερική ή ενδογενής ιδιότητα ενός μέλους του είδους, όπως η ατομική δομή ενός χημικού στοιχείου, η θεωρία των Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων είναι πιο περιεκτική γιατί αναγνωρίζει ότι τόσο οι εσωτερικές ιδιότητες των οργανισμών όσο και οι εξωτερικές σχέσεις τους είναι σημαντικές αιτίες των ομοιοτήτων εντός του είδους» (Ereshefsky, 2010).

6.2.2. Χαρακτηριστικά των χωρικών τύπων ως Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων

Αν και ο Boyd εισάγει τον όρο αναφερόμενος καταρχήν σε φυσικά είδη και στη δυνατότητα ορισμού τους στα πλαίσια της επιστήμης της βιολογίας, η προσέγγιση των φυσικών ειδών ως ειδών ομοιοστατικών συστάδων ιδιοτήτων μπορεί να εφαρμοστεί και στον ορισμό και την περιγραφή κατασκευασμένων ειδών, ή ειδών τεχνητών οντοτήτων ή αντικειμένων.

Λαμβάνοντας υπόψη την απόπειρα περιγραφής των χωρικών τύπων, που προκύπτουν από τη διαδικασία ανάλυσης συστάδων, μέσω κοινών υποσυνόλων χαρακτηριστικών, φαίνεται ότι η θεωρία του Boyd θα μπορούσε να παρέχει τους όρους για την προσέγγισή τους μέσω Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων.

Συγκεκριμένα, τα χαρακτηριστικά που αναφέρει ο Boyd (1999a: 143) ως συνθήκες για τον ορισμό ενός είδους ως είδους Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων[4], στην περίπτωση των χωρικών τύπων μπορούν να επαναδιατυπωθούν ως εξής:

[4] Σύμφωνα με τον Boyd (1999a: 143-144), τα βασικά χαρακτηριστικά ενός είδους Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων είναι τα εξής:

1. «Υπάρχει μια οικογένεια (F) ιδιοτήτων που ενδεχόμενα ή συμπτωματικά [contingently] συσταδοποιούνται στη φύση με την έννοια ότι συν-εμφανίζονται σε πληθώρα περιπτώσεων».
2. «Η συν-εμφάνισή τους είναι, τουλάχιστον τυπικά, το αποτέλεσμα αυτού που περιγράφεται μεταφορικά (ή κυριολεκτικά) ως κάποιου είδους ομοιοστασία. Είτε η παρουσία κάποιων από τις ιδιότητες της (F) τείνει (υπό κατάλληλες συνθήκες) να ευνοεί την παρουσία των υπολοίπων, ή υπάρχει κάποιος υποκείμενος μηχανισμός ή διαδικασία που τείνει να διατηρεί την παρουσία των ιδιοτήτων στην (F), ή και τα δύο».
3. «Η ομοιοστατική συσταδοποίηση των ιδιοτήτων στην (F) είναι αιτιολογικά σημαντική: (θεωρητικά ή πρακτικά) σημαντικά αποτελέσματα παράγονται από μια συνδυασμένη εμφάνιση (πολλών εκ) των ιδιοτήτων στην (F) μαζί με (κάποιους ή όλους) τους υποκείμενους μηχανισμούς».
4. «Υπάρχει ένας όρος είδους [kind term] t που εφαρμόζεται σε πράγματα στα οποία εμφανίζεται η ομοιοστατική συσταδοποίηση των περισσοτέρων εκ των ιδιοτήτων στην F».
5. «Το t δεν έχει αναλυτικό ορισμό. Αντίθετα, όλη ή τμήμα της ομοιοστατικής συστάδας F, μαζί με κάποιους ή όλους τους μηχανισμούς που υπόκεινται αυτής παρέχουν το φυσικό ορισμό του t. Το ερώτημα του ποιες ιδιότητες και μηχανισμοί ανήκουν στον ορισμό του t είναι ένα εκ των υστέρων ερώτημα - συχνά ένα δύσκολο θεωρητικό ερώτημα».

6.2.2.1. Χαρακτηριστικό 1: Ενδεχόμενη συμπτωματική συσταδοποίηση ιδιοτήτων

Κάθε τύπος χαρακτηρίζεται από μια οικογένεια ιδιοτήτων, ένα υποσύνολο των μετρούμενων χαρακτηριστικών, που συν-εμφανίζονται σε όλα ή στην πλειοψηφία των μελών του τύπου. Η συσταδοποίηση των ιδιοτήτων παρατηρείται μόνο μετά το διαχωρισμό του συνόλου του δείγματος σε ομάδες, ως αποτέλεσμα του διαχωρισμού. Δηλαδή είναι συμπτωματική, με την έννοια του συμπτώματος ως ορατού αποτελέσματος του οποίου οι αιτίες δεν είναι απαραίτητο να αποκαλύπτονται άμεσα. Οι αιτίες συν-εμφάνισης των ιδιοτήτων αυτών δεν μπορούν να εξαχθούν από την ίδια την περιγραφή του τύπου, οπότε η συσταδοποίηση των ιδιοτήτων εμφανίζεται ως εκ των υστέρων σύμπτωμα[5].

Στην περίπτωση των χωρικών τύπων είναι χαρακτηριστική η αδυναμία τόσο σαφούς εκ των προτέρων περιγραφής τους, όσο και εκ των υστέρων αναγνώρισης δομών αιτιότητας πίσω από την ομαδοποίηση. Η περιγραφή τους καθίσταται δυνατή μόνο εκ των υστέρων, βάσει κοινών ιδιοτήτων που εμφανίζονται εντός των ήδη διαχωρισμένων τύπων, χωρίς όμως να εξασφαλίζεται η δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων αναφορικά με σχέσεις αιτιότητας που να εξηγούν την συμπαρουσία των συγκεκριμένων ιδιοτήτων ή την εμφάνισή τους μία προς μία. Ο ορισμός των τύπων βασίζεται

6. «Ατελής ομοιοστασία είναι νομολογικά δυνατή ή υφιστάμενη: κάποιο πράγμα μπορεί να εμφανίζει κάποιες αλλά όχι όλες τις ιδιότητες στην F, κάποιοι αλλά όχι όλοι οι σχετικοί υποκείμενοι μηχανισμοί ενδέχεται να είναι παρόντες».

7. «Σε τέτοιες περιπτώσεις, η σχετική σημασία των διαφόρων ιδιοτήτων στην F και των διαφόρων μηχανισμών στον προσδιορισμό του εάν το πράγμα μπορεί να χαρακτηριστεί από το t – εάν μπορεί να προσδιοριστεί γενικά – είναι ένα εκ των υστέρων θεωρητικό ζήτημα περισσότερο παρά ένα εκ των προτέρων εννοιολογικό ζήτημα».

8. «Επιπλέον, θα υπάρχουν πολλές περιπτώσεις εκτατικής απροσδιοριστίας [extensional indeterminacy], οι οποίες δεν επιλύονται ακόμα και δεδομένων όλων των σχετικών γεγονότων και όλων των πραγματικών θεωριών. Θα υπάρχουν πράγματα που εμφανίζουν κάποιες αλλά όχι όλες τις ιδιότητες της F (και / ή στα οποία θα λειτουργούν κάποιοι αλλά όχι όλοι οι σχετικοί ομοιοστατικοί μηχανισμοί) κατά τρόπο που να μην υπάρχουν λογικές θεωρήσεις που να υπαγορεύουν αν μπορούν ή όχι να χαρακτηριστούν ως t, υποθέτοντας ότι πρέπει να παρθεί μια διχοτομική απόφαση».

9. «Η αιτιακή σημασία της ομοιοστατικής συστάδας ιδιοτήτων F, μαζί με τους σχετικούς υποκείμενους ομοιοστατικούς μηχανισμούς, είναι τέτοια που το είδος ή η ιδιότητα που σημαίνεται ως t είναι φυσικό είδος».

10. «Καμία εκλέπτυνση χρήσης που αντικαθιστά το t με έναν όρο σημαντικά λιγότερο εκτατικά ασαφή δεν διατηρεί τη φυσικότητα του είδους στο οποίο αναφέρεται. Κάθε τέτοια εκλέπτυνση θα απαιτούσε είτε την αντιμετώπιση ως σημαντικών διακρίσεων που δεν σχετίζονται με αιτιακές εξηγήσεις ή με επαγωγή, είτε την αγνόηση ομοιοτήτων που είναι σημαντικές με αυτούς ακριβώς τους όρους».

11. «Η ομοιοστατική συστάδα ιδιοτήτων που χρησιμεύει στον ορισμό του t δεν είναι εκτατικά εξατομικευμένη. Απεναντίας, η συστάδα ιδιοτήτων είναι εξατομικευμένη ως (τύπος ή ένδειξη) ιστορικό αντικείμενο ή διαδικασία: κάποιες μεταβολές στο χρόνο (ή στο χώρο) στη συστάδα ιδιοτήτων ή στους υποκείμενους ομοιοστατικούς μηχανισμούς διατηρούν την ταυτότητα της καθοριστικής συστάδας. Ως επακόλουθο, οι ιδιότητες που καθορίζουν τις συνθήκες χαρακτηρισμού ως t μπορεί να ποικίλλουν στο χρόνο (ή το χώρο), ενώ το t εξακολουθεί να έχει τον ίδιο ορισμό. Η ιστορικότητα των συνθηκών εξατομίκευσης για τη συστάδα καθοριστικών ιδιοτήτων αντικατοπτρίζει την επεξηγητική ή επαγωγική σημασία (για τους σχετικούς κλάδους θεωρητικής ή πρακτικής αναζήτησης) της ιστορικής εξέλιξης της συστάδας ιδιοτήτων και των αιτιακών παραγόντων που την παράγουν, και θεωρήσεις επεξηγηματικής ή επαγωγικής σημασίας καθορίζουν τις κατάλληλες προδιαγραφές εξατομίκευσης για την ίδια τη συστάδα ιδιοτήτων. Η ιστορικότητα των συνθηκών εξατομίκευσης για τη συστάδα ιδιοτήτων είναι ουσιώδης για τη φυσικότητα του είδους στο οποίο αναφέρεται το t».

[5] Σύμφωνα με τον Meillasoux (2008: 39, 41) «η ενδεχομενικότητα [contingency] εκφράζει το γεγονός ότι οι φυσικοί νόμοι παραμένουν αδιάφοροι στο εάν ένα γεγονός συμβαίνει ή όχι- επιτρέπουν σε μια οντότητα να αναδυθεί, να υπάρξει ή να χαθεί. Αλλά η γεγονότητα [facticity], σε αντιδιαστολή, αναφέρεται σε εκείνες τις δομικές σταθερές [invariants] που υποτίθεται οτι κυβερνούν τον κόσμο – σταθερές […]των οποίων η λειτουργία σε κάθε περίπτωση είναι να παρέχουν την ελάχιστη οργάνωση της αναπαράστασης: αρχή αιτιότητας, μορφές αντίληψης, λογικούς νόμους κ.λ.π. .[….] Αν η ενδεχομενικότητα συνίσταται στην γνώση ότι τα πράγματα θα μπορούσαν να είναι αλλιώς, η γεγονότητα συνίσταται στην άγνοια του γιατί η συσχετιστική δομή πρέπει να είναι ως είναι. […] Η γεγονότητα είναι η 'μη-λογική' [un-reason] (η απουσία λογικής) του δεδομένου καθώς και των σταθερών του».

αποκλειστικά στην παρατήρηση της επαναλαμβανόμενης συνύπαρξης συγκεκριμένων ιδιοτήτων (με συγκεκριμένο εύρος τιμών) σε όλα ή σχεδόν όλα τα μέλη μιας ομάδας, διαφορετικών τουλάχιστον εν μέρει από αυτές που χαρακτηρίζουν άλλες ομάδες. Δεν είναι απαραίτητα σαφές αν η συμπαρουσία των ιδιοτήτων αυτών οφείλεται σε κάποια υποκείμενη αιτία, αλλά μόνο ότι χαρακτηρίζει τη συγκεκριμένη ομάδα με τη μορφή συμπτώματος.

Βάσει όμως της «θεωρία της διευθέτησης» [accommodation thesis][6], σύμφωνα με την οποία πρέπει να υπάρχει διευθέτηση μεταξύ εννοιολογικών και ταξινομητικών πρακτικών και αιτιακών δομών, ακόμα και αν δεν είναι προφανής και ρητά περιγράψιμη η σχέση μεταξύ αιτιακής δομής και συστάδας ιδιοτήτων που περιγράφουν το είδος, αυτή υπάρχει και δρα καθοριστικά στον προσδιορισμό γενικεύσιμων παρατηρήσεων[7]. Σύμφωνα με τον Boyd η διευθέτηση μεταξύ εννοιολογικών και ταξινομητικών πρακτικών και αιτιακών δομών είναι απαραίτητη για επιτυχή επαγωγή και επεξήγηση.

6.2.2.2. Χαρακτηριστικό 2: Ομοιοστασία

Η συν-εμφάνιση ιδιοτήτων εκφράζει κάποιου τύπου ομοιοστασία[8]. Κάποιες ιδιότητες σχετίζονται μεταξύ τους από τη φύση τους, οπότε η παρουσία τους ευνοεί την παρουσία και άλλων σχετιζόμενων ιδιοτήτων με τις οποίες συσταδοποιούνται, ενώ είναι δυνατό κάποιες ιδιότητες να προκύπτουν ως αποτελέσματα αιτίων ή διαδικασιών που σχετίζονται με τις συνθήκες σχηματοποίησης και μετασχηματισμού των αδόμητων χώρων[9].

Στην περίπτωση περιγραφής ειδών οντοτήτων ή τύπων αντικειμένων βάσει κοινών ιδιοτήτων που τείνουν να συν-εμφανίζονται, ο όρος ομοιοστασία αναφέρεται στην τάση προς διατήρηση σταθερότητας στην εμφάνιση κοινών ιδιοτήτων με τρόπο δυναμικό και αυτορυθμιζόμενο, ρυθμιζόμενο δηλαδή από την εσωτερική δυναμική των αλληλοσυσχετισμών μεταξύ των μερών του συστήματος.

Οι ομοιοστατικές συστάδες ιδιοτήτων είναι σύνολα ιδιοτήτων που τείνουν να συν-εμφανίζονται σταθερά λόγω υποκείμενων αιτιακών μηχανισμών. Αποτέλεσμα της δυναμικής αλληλεξάρτησης μεταξύ ιδιοτήτων είναι η εμφάνιση σχετικά σταθερών αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την συνύπαρξη των ιδιοτήτων αυτών και που εκφράζονται ως δευτερογενείς ιδιότητες ή σύνθετα χαρακτηριστικά. Οι αιτιακοί ομοιοστατικοί μηχανισμοί που διατηρούν αυτή τη δυναμική τάση

[6] Σύμφωνα με τη θεωρία της διευθέτησης, η φυσικότητα των φυσικών ειδών συνίσταται σε μια διευθέτηση μεταξύ των σχετικών εννοιολογικών και ταξινομητικών πρακτικών και ανεξάρτητα υφιστάμενων δομών αιτιότητας (Boyd, 2000: 55, 1999a: 160). Η θεωρία της διευθέτησης συνεπάγεται ότι αιτιακοί μηχανισμοί οδηγούν τους επιστήμονες στην διευθέτηση των κατηγοριών τους σε συστάδες για την επίτευξη επιτυχέστερων επαγωγών (Schauer, 2012).

[7] Η σχέση αυτή είναι κατά κάποιο τρόπο ανάλογη με τη σχέση γονότυπου- φαινότυπου στους ζωντανούς οργανισμούς, η περιγραφή των οποίων γίνεται βάσει του φαινότυπου ο οποίος είναι αποτέλεσμα, σύμπτωμα του γονότυπου. Το είδος ορίζεται μέσω της περιγραφής των αποτελεσμάτων των αιτιών και όχι των ίδιων των αιτιών που μπορεί να μην αποκαλύπτονται ρητά.

[8] Ο όρος ομοιοστασία, αν και αναφέρεται καταρχήν σε ζωντανούς οργανισμούς, έχει επεκταθεί και στην αναφορά σε διεργασίες που χαρακτηρίζουν φυσικά αλλά και τεχνητά συστήματα. Η ομοιοστασία είναι η τάση των ζωντανών οργανισμών να διατηρούν μια σχετικά σταθερή εσωτερική κατάσταση, μέσω μεταβολικών διεργασιών αυτό-ρύθμισης, παρά τις τυχόν μεταβολές στο περιβάλλον τους. Κατ' επέκταση, ο όρος χρησιμοποιείται για την περιγραφή της ικανότητας φυσικών συστημάτων, όπως τα οικοσυστήματα, ή τεχνητών συστημάτων, όπως τα συστήματα ελέγχου, να διατηρούν μια σχετικά σταθερή κατάσταση δυναμικής ισορροπίας στο εσωτερικό τους, που αντιστέκεται ή και αντισταθμίζει τις μεταβολές του περιβάλλοντος.

[9] Ακόμα και όταν οι χώροι συνεχίζουν να μετασχηματίζονται, οι διαδικασίες μετασχηματισμού τους τείνουν να συντηρούν την παρουσία σχετικών ιδιοτήτων σε ένα ομοιοστατικά διατηρούμενο σύστημα αιτίας και αποτελέσματος ή μηχανισμού μετασχηματισμού και χωρικής δομής.

συσταδοποίησης ιδιοτήτων μπορεί να είναι άμεσοι συσχετισμοί μεταξύ ιδιοτήτων ή και βαθύτεροι, πιο έμμεσοι μηχανισμοί που να μην αποκαλύπτονται ρητά μέσω των αποτελεσμάτων τους. Σε κάθε περίπτωση, η συσταδοποίηση συγκεκριμένων ιδιοτήτων έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση διατηρούμενων, εμμενών χαρακτηριστικών που τείνουν να επανεμφανίζονται συνολικά (patterns).

Στην περίπτωση των τύπων αδόμητων χώρων, δεν υπάρχει αποκλειστική συσταδοποίηση των ιδιοτήτων, ούτε εμφανίζονται διακριτά εύρη τιμών για κάθε ιδιότητα ανά ομάδα. Οι ίδιες ιδιότητες μπορεί να χαρακτηρίζουν διαφορετικές ομάδες, συμμετέχοντας σε άλλους συνδυασμούς μεταξύ τους ή εμφανίζοντας άλλα εύρη τιμών σε διαφορετικές συσταδοποιήσεις ιδιοτήτων. Επομένως, οι τύποι προκύπτουν από έναν σχετικό και δυναμικό διαχωρισμό των ιδιοτήτων σε πιθανά αλληλεπικαλυπτόμενες συστάδες και ο τύπος (το είδος) παραμένει (ασαφώς) οριοθετημένος και περιγράψιμος όσο διατηρείται η δυναμική ισορροπία εντός της συστάδας ιδιοτήτων, δηλαδή όσο διατηρείται η ομοιοστασία του συστήματος.

Μια επιπλέον λειτουργία της ομοιοστασίας είναι ότι επιτρέπει τη στατιστική ή πιθανολογική περιγραφή των μελών ενός τύπου ή είδους[10]. Για την θεωρία των Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων οι ομοιότητες μεταξύ των μελών ενός είδους πρέπει να είναι αρκετά σταθερές ώστε να επιτρέπουν μη-τυχαίες προβλέψεις σχετικά με διάφορες ιδιότητες ενός είδους (Ereshefsky, 2010). Αν ένα είδος οριστεί βάσει μιας συστάδας ιδιοτήτων, για κάθε μέλος του μπορούν να εξαχθούν πιθανολογικά συμπεράσματα σχετικά με την εμφάνιση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η εμφάνιση των ιδιοτήτων της συστάδας αποτελούν αναγκαίες και ικανές συνθήκες ένταξης μιας μονάδας στον τύπο. Με τον τρόπο αυτό ομοιοστασία παρέχει ένα στατιστικό κριτήριο συμμετοχής στον εκάστοτε τύπο.

6.2.2.3. Χαρακτηριστικό 3: Σχέση ιδιοτήτων με υποκείμενους μηχανισμούς

Η συνδυασμένη εμφάνιση συγκεκριμένων συστάδων ιδιοτήτων, πιθανά μαζί με κάποιους από τους υποκείμενους μηχανισμούς που σχετίζονται με αυτές, μπορεί να σημαίνει ότι υπάρχει μια όχι μόνο συγκυριακή σχέση ανάμεσα στις ιδιότητες μεταξύ τους αλλά και με τις αιτιακές δομές που τείνουν να συνυπάρχουν με αυτές. Η περιγραφή του τύπου μέσω ομοιοστατικών συστάδων ιδιοτήτων δεν αποκαλύπτει άμεσα τις υποκείμενες αιτιακές δομές αλλά σχετίζεται ουσιαστικά με αυτές.

Εφόσον οι υποκείμενες δομές αιτιότητας που διατηρούν την ομοιοστασία των συστάδων ιδιοτήτων βάσει των οποίων ορίζονται οι τύποι δεν αποκαλύπτονται ρητά, παρά μόνο έμμεσα, μέσω των αποτελεσμάτων τους, δεν εκφράζονται με τη μορφή νόμων ή αναγκαίων και ικανών συνθηκών για να υπαχθεί ή όχι ένα αντικείμενο στον εκάστοτε τύπο. Οι τύποι περιγράφονται βάσει παρατηρούμενων διατηρούμενων κανονικοτήτων, ή επαναλαμβανόμενα εμφανιζόμενων σχηματισμών ή τυπικών δομών σχέσεων [patterns] που δεν γενικεύονται στο βαθμό που να συμβάλλουν στη διατύπωση νόμων[11].

[10] Η «προγνωστική» ομοιοστασία είναι μια προνοητική απόκριση σε μια ενδεχόμενη κατάσταση που τείνει να ανατρέψει την ομοιοστασία ενός συστήματος. Οι ομοιοστατικοί μηχανισμοί ενός συστήματος πρέπει να είναι τόσο ισχυροί ώστε να παρέχουν σταθερότητα σε πιθανές διαταραχές.

[11] Για τη διατύπωση νόμων είναι απαραίτητη η «διευθέτηση εννοιολογικών και επαγωγικών δομών σε σχετικές αιτιακές δομές». Σε πολλές περιπτώσεις όμως και κυρίως στις «ασαφείς επιστήμες», το πλήθος των αιτιακά σχετικών μεταβλητών που έχουν κάποιο αντίκτυπο στο φαινόμενο που μελετάται είναι υπερβολικά μεγάλο για να ενταχθεί σε διατυπώσιμες γενικεύσεις» (Boyd, 1999a: 152). Επομένως δεν είναι δυνατή η διατύπωση νόμων ή αναγκαίων και ικανών συνθηκών για την κατάταξη των αδόμητων χώρων σε τύπους.

Η κατηγοριοποίηση βασίζεται σε πολλαπλά διακριτά πρότυπα [patterns] που μπορεί να είναι μόνο κατά προσέγγιση και όχι απόλυτα σταθερά, που δεν είναι απαρέγκλιτα και που προκύπτουν από ατελή συσταδοποίηση των σχετικών ιδιοτήτων, χωρίς να αποκαλύπτονται οι αιτιακά σχετικοί παράγοντες[12] .

Έτσι, η αναγνώριση χαρακτηριστικών δομών δεν σημαίνει ότι αυτές εκφράζουν κάποιο νόμο, κάποια αιτιακή σχέση που να προκαλεί την επανάληψη της εμφάνισης της δομής. Πρόκειται για εκ των υστέρων περιγραφές που δεν μπορούν να εξηγηθούν άμεσα βάσει αιτιακών δομών και να γενικευτούν. Οι τύποι έχουν ισχύ για το συγκεκριμένο δείγμα γιατί βασίζονται σε συσχετισμούς που εκφράζονται μέσω σχετικών ιδιοτήτων[13].

6.2.2.4. Χαρακτηριστικό 4: Όρος είδους

Αδόμητοι χώροι στους οποίους εμφανίζεται ομοιοστατική συσταδοποίηση των περισσοτέρων εκ των ιδιοτήτων της οικογένειας που χαρακτηρίζουν έναν τύπο θεωρείται ότι έχουν κάτι κοινό και τους εφαρμόζεται ένας κοινός όρος, ένας όρος είδους[14]. Ο Boyd (1999a: 143) υποστηρίζει ότι η σχέση μεταξύ του είδους και του όρου αναφοράς είναι καταστατική, χωρίς να αποτελεί αναγκαιότητα και επομένως δεν καθορίζεται με όρους αναγκαίων και ικανών συνθηκών.

6.2.2.5. Χαρακτηριστικό 5: Αδυναμία αναλυτικού ορισμού όρου είδους

Ο κοινός όρος ή όρος είδους που εφαρμόζεται σε όλα τα μέλη ενός τύπου δεν έχει αναλυτικό ορισμό. Αντίθετα, είτε είναι αυθαίρετος[15], είτε είναι περιφραστικός και επεξηγηματικός και ορίζεται από όλη ή τμήμα της ομοιοστατικής συστάδας ιδιοτήτων που χαρακτηρίζει τον τύπο, μαζί με κάποιους ή όλους τους μηχανισμούς που υπόκεινται της συστάδας ιδιοτήτων. Εφόσον τα μέλη του τύπου ορίζονται από την εκ των υστέρων αναγνώριση σε αυτά συστάδων ιδιοτήτων και η περιγραφή τους έγκειται στην περιγραφή των ιδιοτήτων αυτών, το ερώτημα του ποιες ιδιότητες και μηχανισμοί ανήκουν στον ορισμό του όρου που εφαρμόζεται από κοινού σε όλα τα μέλη του τύπου είναι ένα εκ των υστέρων ερώτημα.

Σύμφωνα με τον Boyd (1999a), υπάρχουν δύο εξίσου έγκυρες σημασίες του ορισμού κατηγοριών στην επιστήμη, οι προγραμματικοί και οι επεξηγηματικοί ορισμοί.

[12] Στις ασαφείς επιστήμες τα φυσικά είδη δεν χρειάζεται (δεν γίνεται) να ορίζονται από αναγκαίες και ικανές συνθήκες συμμετοχής. […] ένα είδος ορίζεται από ένα κατάλληλο υποσύνολο αιτιακά σχετικών παραγόντων και πρέπει να συμμετέχει μόνο προσεγγιστικά σε (κατά προσέγγιση) σταθερά πρότυπα. Δεν υπάρχει δυνατότητα να υπάρξουν απόλυτα καθορισμένες αναγκαίες και ικανές συνθήκες που να παρέχουν τον επεξηγηματικό ορισμό του. Αντίθετα, οι επεξηγηματικοί ορισμοί τέτοιων ειδών αντικατοπτρίζουν την ατελή συσταδοποίηση σχετικών ιδιοτήτων που εξασφαλίζουν τη συμβολή αναφοράς σε αυτές στην διευθέτηση (σύμφωνα με τις απαιτήσεις της θεωρίας της διευθέτησης) (Boyd, 1999a: 153).

[13] Οι επεξηγηματικοί ορισμοί ειδών στις ασαφείς επιστήμες των πολύπλοκων φαινομένων συχνά εμπλέκουν σχετικές (σε αντιδιαστολή με ενδογενείς) ιδιότητες (Boyd, 1999: 153).

[14] Σε αντιδιαστολή με την τάση αντιμετώπισης τυχόν αστοχιών των επιστημονικών εννοιών ορισμού των ειδών μέσω της υιοθέτησης όλο και ακριβέστερων ονομαστικών ορισμών και της επιδίωξης απόλυτης γλωσσικής ακρίβειας στη διατύπωση αναγκαίων και ικανών συνθηκών υπαγωγής, ο Boyd υποστηρίζει την ασάφεια στους όρους υπαγωγής, την πολλαπλότητα των περιγραφών και τον ορισμό βάσει σχέσεων εξ αναφοράς. Αναφέρεται στη μερική υποδήλωση [partial denotation] (Field, 1973) και στην υποδηλωτική εκλέπτυνση [denotational refinement] (Field, 1973), μέσα ακριβούς αναφοράς.

[15] Παράδειγμα αυθαίρετου ορισμού του κοινού όρου είναι μια χρωματική ή αριθμητική κωδικοποίηση ή ένα συμβατικό όνομα του τύπου.

Σε έναν προγραμματικό ορισμό [programmatic definition], ένα φυσικό είδος ορίζεται από έναν ρόλο αιτιότητας που καθορίζεται βάσει του επαγωγικού (ή επεξηγηματικού) ρόλου τον οποίο παίζει η χρήση του όρου του φυσικού είδους στην ικανοποίηση των απαιτήσεων διευθέτησης ενός Πίνακα Επιστημονικού Πεδίου [disciplinary matrix][16]. Σε έναν επεξηγηματικό ορισμό [explanatory definition], ένα φυσικό είδος ορίζεται από μια αναφορά στις ιδιότητες που μοιράζονται από κοινού τα μέλη του εξαιτίας των οποίων η αναφορά στο είδος παίζει τον ρόλο που απαιτείται από τον προγραμματικό του ορισμό[17] (Boyd, 2000: 58, 1999a: 149).

Σύμφωνα με η διάκριση αυτή, η περιγραφή των τύπων αδόμητων χώρων βάσει της εκ των υστέρων αναγνώρισης κοινών συνόλων ιδιοτήτων αποτελεί έναν κατ' εξοχήν επεξηγηματικό ορισμό. Πρόκειται για μια εκ των υστέρων, ερμηνευτική πρακτική αναζήτησης και εντοπισμού στους ήδη οριοθετημένους από την Ανάλυση Συστάδων χωρικούς τύπους κοινών ιδιοτήτων, η συν-εμφάνιση των οποίων είναι αποτέλεσμα των υποκείμενων δομών αιτιότητας που διατηρούν την ομοιοστασία των συστάδων κοινών ιδιοτήτων, χωρίς όμως να αποκαλύπτονται ρητά οι ίδιοι οι ομοιοστατικοί μηχανισμοί.

Από την άλλη, ένας προγραμματικός ορισμός θα απαιτούσε τη διατύπωση ιεραρχιών και σύνθετων ιδιοτήτων υψηλότερου επιπέδου από τις κοινά εμφανιζόμενες ιδιότητες βάσει των οποίων έχει γίνει και η αρχική περιγραφή όλου του δείγματος που υφίσταται κατηγοριοποίηση. Η περαιτέρω εξέταση των συσταδοποιούμενων ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν κάθε τύπο και η προσπάθεια σύνθεσής τους σε ανώτερες χωρικές ποιότητες θα μπορούσαν να αποτελέσουν τη βάση για έναν προγραμματικό ορισμό.

Η διάκριση των ορισμών σε προγραμματικούς και επεξηγηματικούς δεν συνεπάγεται αντίθεση μεταξύ τους, αλλά ούτε απαραίτητα συμπληρωματικότητα. Αποτελούν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις, δύο εναλλακτικές αλλά συσχετιζόμενες περιγραφές[18]. Ο Boyd (1999a: 150) υποστηρίζει ότι «ενώ υπάρχει μια σημαντική διαφορά μεταξύ των στόχων των δύο ειδών ορισμών, υπάρχει κάτι σαν συνεχές μεταξύ των πιο αφηρημένα διατυπωμένων προγραμματικών ορισμών ενός φυσικού είδους και των επεξηγηματικών ορισμών του. […] Προγραμματικές διατυπώσεις ορισμών ειδών με

[16] Για τον ορισμό του πεδίου αναφοράς, εντός του οποίου ορίζονται οι κατηγορίες και ελέγχεται η εγκυρότητα και η χρησιμότητά τους, ο Boyd χρησιμοποιεί τον όρο Πίνακες Επιστημονικών Πεδίων [Disciplinary Matrices]. Ένας Πίνακας Επιστημονικού Πεδίου είναι μια οικογένεια επαγωγικών και επεξηγηματικών στόχων και πρακτικών, μαζί με εννοιολογικούς πόρους και λεξιλόγιο εντός των οποίων εφαρμόζονται (Boyd, 2000: 57, 1999a: 148).

Κάθε πίνακας αναφέρεται σε συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο και περιλαμβάνει το σύνολο των όρων, του λεξιλογίου, των ορισμών, των προτάσεων, των παραδοχών και γενικά της δομής και του περιεχομένου του συγκεκριμένου πεδίου.

Οι Πίνακες Επιστημονικών Πεδίων ορίζουν «καταστάσεις επαγωγικών πρακτικών σε σχέση με τις οποίες επιτυγχάνεται η διευθέτηση» Πιο συγκεκριμένα, «ως απαιτήσεις διευθέτησης ενός disciplinary matrix, Μ, κατανοούμε την απαίτηση 'ταιριάσματος' ή διευθέτησης μεταξύ των εννοιολογικών και ταξινομητικών πόρων του Μ, και των σχετικών αιτιακών δομών που θα απαιτούνταν προκειμένου να επιτευχθούν οι χαρακτηριστικοί επαγωγικοί, επεξηγηματικοί - περιγραφικοί (ή πρακτικοί) στόχοι του Μ» (Boyd, 1999a: 148).

[17] Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα προγραμματικού ορισμού, ο Boyd αναφέρει τον προσδιορισμό ενός χημικού στοιχείου βάσει της θέσης του στον περιοδικό πίνακα των στοιχείων. Ως χαρακτηριστικό παράδειγμα επεξηγηματικού ορισμού, αναφέρει τον προσδιορισμό ενός χημικού στοιχείου βάσει του ατομικού του αριθμού και της ατομικής του δομής.

[18] «Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι οι προγραμματικοί ορισμοί των φυσικών ειδών που αναφέρονται εντός ενός Πίνακα Επιστημονικού Πεδίου χαρακτηρίζουν εκείνες τις απαιτήσεις διευθέτησης πρακτικών εντός του Πίνακα οι οποίες μπορούν να ικανοποιηθούν, και επομένως αντιπροσωπεύουν εκείνες από τις προθέσεις οι οποίες, σύμφωνα με τη θεωρία της διευθέτησης, είναι κεντρικές στην αποκατάσταση της αναφοράς. Μπορούμε τότε […] να πούμε ότι ο επεξηγηματικός ορισμός (και επομένως η έκταση) οποιουδήποτε φυσικού είδους παρέχεται σε αναφορά με την οικογένεια ιδιοτήτων που μοιράζονται τα μέλη του οι οποίες εξασφαλίζουν τους επαγωγικούς/επεξηγηματικούς ρόλους που υποδεικνύονται από τους πραγματικούς προγραμματικούς ορισμούς σε αναφορά με το σχετικό Πίνακα Επιστημονικού Πεδίου» (Boyd, 2000: 59, 1999a: 149).

όρους επεξηγηματικών ρόλων δεν είναι γενικά ανταγωνιστικές προς επεξηγηματικούς ορισμούς με όρους κοινών παραγόντων και σχέσεων»[19].

6.2.2.6. Χαρακτηριστικό 6: Ατελής ομοιοστασία

Ατελής ομοιοστασία είναι νομολογικά δυνατή ή υφιστάμενη. Κάποιο μέλος ενός τύπου μπορεί να εμφανίζει κάποιες αλλά όχι όλες τις ιδιότητες της αντίστοιχης συστάδας ιδιοτήτων. Επίσης, κάποιοι αλλά όχι όλοι οι σχετικοί υποκείμενοι μηχανισμοί ενδέχεται να είναι παρόντες. Δεν υπάρχουν αναγκαίες και ικανές συνθήκες που να εξασφαλίζουν την αδιαμφισβήτητη κατάταξη ενός χώρου σε ένα συγκεκριμένο τύπο. Μια συστάδα ιδιοτήτων χαρακτηρίζει έναν τύπο, αλλά με τρόπο ασαφή και ανοιχτό και όχι σε απόλυτη και ακριβή αντιστοιχία.

Ο ορισμός των τύπων μέσω συστάδων ιδιοτήτων δεν είναι αποκλειστικός και μονοσήμαντος, αλλά πιθανολογικός και ακριβής με μια στατιστική έννοια. Ως αποτέλεσμα και οι όροι υπαγωγής ενός αντικειμένου σε έναν τύπο επιτρέπουν την ασάφεια και τη στατιστική απόκλιση και δεν μπορούν να εκφραστούν ως αναγκαίες και ικανές συνθήκες[20]. Κάθε μέλος ενός τύπου εμφανίζει κάποιες από τις ιδιότητες της συστάδας, αλλά όχι με τρόπο απόλυτο και αποκλειστικό. Ο Boyd (1999a: 165) δίνει έμφαση στην «ομοιοστατική ενότητα ιδιοτήτων που μοιράζονται (ατελώς) από κοινού όλα ή σχεδόν όλα τα μέλη του σχετικού είδους».

6.2.2.7. Χαρακτηριστικό 7: Εκ των υστέρων αξιολόγηση ιδιοτήτων

Η σχετική σημασία των διαφόρων ιδιοτήτων της συστάδας στην περιγραφή μιας ομάδας και στον προσδιορισμό του εάν ένα αντικείμενο μπορεί να χαρακτηριστεί από τον κοινό όρο της ομάδας – ή εάν μπορεί να προσδιοριστεί γενικά – είναι ένα εκ των υστέρων θεωρητικό ζήτημα περισσότερο παρά ένα εκ των προτέρων εννοιολογικό ζήτημα. Στην περίπτωση των αδόμητων χώρων δεν υπάρχει τρόπος προσδιορισμού εκ των προτέρων του ποιες ιδιότητες συμβάλλουν περισσότερο στη συσταδοποίηση και επομένως και στην περιγραφή των τύπων. Τόσο ο εντοπισμός συστάδων ιδιοτήτων που συν-εμφανίζονται όσο και η σχετική τους βαρύτητα στο διαχωρισμό των τύπων είναι ζητήματα που μπορούν να προσεγγιστούν μόνο εκ των υστέρων, αφού έχει προηγηθεί η συσταδοποίηση και η διάκριση των χώρων σε επιμέρους τύπους. Πρόκειται για διαδικασίες εκ των υστέρων ανάλυσης και αναγνώρισης κοινών ιδιοτήτων και πεδίων τιμών σε ήδη διαχωρισμένες ομάδες και η σχετική βαρύτητα κάθε ιδιότητας είναι διαφορετική για κάθε τύπο. Ο προσδιορισμός

[19] «Ακόμα και όταν προτεινόμενοι προγραμματικοί και επεξηγηματικοί ορισμοί για ένα φυσικό είδος είναι αρκετά διαφορετικοί μεταξύ τους, δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει ασυμβατότητα μεταξύ τους. Εφόσον αναγνωριστεί το 'συνεχές' βλέπουμε ότι το ίδιο ισχύει για δύο αρκετά διαφορετικούς προγραμματικούς ορισμούς του ίδιου είδους, υπό την προϋπόθεση ότι τοποθετούνται σε διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης. Ταυτόχρονα, επειδή οι προγραμματικοί ορισμοί είναι εκ των υστέρων απαιτήσεις – δηλώσεις σχετικά με τη σχέση μεταξύ του αιτιακού δυναμικού των πραγμάτων και των απαιτήσεων διευθέτησης πινάκων επιστημονικών πεδίων, είναι πιθανό να εμφανιστούν μη-προφανείς συγκρούσεις μεταξύ προγραμματικών και επεξηγηματικών ορισμών του ίδιου είδους ή μεταξύ προγραμματικών ορισμών ενός είδους που αναφέρονται σε διαφορετικά επίπεδα αφαίρεσης» (Boyd, 1999a: 150).

[20] «Σε περιπτώσεις ατελούς ομοιοστασίας, όπου κάποιες από τις ιδιότητες της συστάδας απουσιάζουν, ή κάποιοι από τους μηχανισμούς είναι ανενεργοί, ενδέχεται μερικές φορές να μην υπάρχουν θεωρητικές οι μεθοδολογικές θεωρήσεις που να αναθέτουν το αντικείμενο υπό κατηγοριοποίηση καθοριστικά στο είδος ή στο συμπληρωματικό του, με αποτέλεσμα ο ορισμός του είδους ομοιοστατικής συστάδας ιδιοτήτων να αποτυγχάνει να παρέχει αναγκαίες και ικανές συνθήκες για υπαγωγή στο είδος. Τόσο η μορφή της συστάδας ιδιοτήτων τέτοιων ορισμών όσο και η σχετική απροσδιοριστία υπαγορεύονται από τη θεμελιώδη επιστημονική εργασία διευθέτησης επαγωγικών δομών εντός του σχετικού πίνακα επιστημονικού πεδίου σε σχετικές δομές αιτιότητας. Η απροσδιοριστία στην έκταση αυτών των φυσικών ορισμών δεν θα μπορούσε να αντιμετωπισθεί χωρίς να κατασταθούν οι ορισμοί αυτοί αφύσικοι με την έννοια που υπαγορεύεται από τη θεωρία της διευθέτησης» (Boyd, 2000: 67).

της σχετικής σημασίας των διαφόρων ιδιοτήτων της συστάδας για την περιγραφή του κάθε τύπου αποτελεί το βασικό αντικείμενο της παρούσας φάσης της ανάλυσης και προσδιορίζεται πειραματικά μέσω εμπρόθετων και συστηματοποιημένων μεταβολών στη διαβάθμιση των βαρών κάθε ιδιότητας**.**

6.2.2.8. Χαρακτηριστικό 8: Εκτατική απροσδιοριστία

Υπάρχουν περιπτώσεις που δεν μπορούν να ενταχθούν σε κάποιον από τους τύπους (έκτοπα) ή άλλες που περιγράφονται εξίσου από διαφορετικές ομοιοστατικές συστάδες ιδιοτήτων και για τις οποίες είναι εξαιρετικά δύσκολο να ληφθεί μια διχοτομική απόφαση. Σύμφωνα με τον Boyd, θα υπάρχουν πολλές περιπτώσεις εκτατικής απροσδιοριστίας[21] για τις οποίες δεν υπάρχουν λογικές θεωρήσεις που να υπαγορεύουν αν μπορούν ή όχι να χαρακτηριστούν ως μέλη μιας ή άλλης ομάδας αν πρέπει να παρθεί μια διχοτομική απόφαση. Σε αυτές τις περιπτώσεις ασάφειας όπου δύο ή περισσότερα εναλλακτικά σχήματα κατηγοριοποίησης εκφράζουν εξίσου αιτιακές δομές σχετικές με την διευθέτηση, τα άτομα είτε παραμένουν αταξινόμητα, θεωρούμενα ως ατομικοί τύποι, είτε λαμβάνεται μια απόφαση απόδοσης ετικέτας στις περιπτώσεις που η αλγοριθμική λογική της μεθόδου συσταδοποίησης δίνει έστω και οριακό προβάδισμα σε μία από τις επιλογές[22].

Η εκτατική απροσδιοριστία, δηλαδή η ασάφεια των ορίων του είδους ή του τύπου είναι επακόλουθο της περιγραφής μέσω κοινών ιδιοτήτων οι οποίες δεν συνιστούν αναγκαίες και ικανές συνθήκες κατηγοριοποίησης των οντοτήτων ή των αντικειμένων. Ο Boyd αναφέρει σαφώς ότι χαρακτηριστικό των ειδών ομοιοστατικών συστάδων ιδιοτήτων «είναι ότι υπάρχει πάντα κάποια απροσδιοριστία ή 'ασάφεια' στις προεκτάσεις τους» (Boyd, 1999a: 141). Η ασάφεια εκδηλώνεται τόσο στον ίδιο τον ορισμό του τύπου, ο οποίος περιγράφει κοινές ιδιότητες με τρόπο μη εξαντλητικό και υποστηρίζει την ατελή ομοιοστασία[23], όσο και ως προς την έκτασή του, τον προσδιορισμό δηλαδή του εάν ένα αντικείμενο μπορεί να υπαχθεί στον τύπο ή όχι. Η ασάφεια και η ατελής ομοιοστασία είναι δυνατό να επιτρέπουν μερική αλληλεπικάλυψη μεταξύ τύπων ως προς υπο-συστάδες ιδιοτήτων. Στην περίπτωση των χωρικών τύπων, κάποιοι τύποι εμφανίζουν κοινές υπο-συστάδες ιδιοτήτων μεταξύ τους, οι οποίες όμως συσταδοποιούνται σε μεγαλύτερες ομάδες διαφορετικής σύστασης ή με διαφορετικά εύρη τιμών για κάθε τύπο.

6.2.2.9. Χαρακτηριστικό 9: Ο όρος είδους ως φυσικό είδος

Η ομοιοστατική συστάδα ιδιοτήτων, μαζί με τους σχετικούς υποκείμενους ομοιοστατικούς μηχανισμούς, αποτελούν περιγραφή του τύπου ως είδους. Όπως στα πολύπλοκα συστήματα, φυσικά

[21] Σύμφωνα με τον Boyd πρέπει να φανταστούμε έναν πίνακα που να περιλαμβάνει όλες τις ιδιότητες των οργανισμών, συμπεριλαμβανομένων της γενετικής και της οικολογίας. Συστάδες οργανισμών θα ήταν συγκριτικά σταθερές σε αυτόν τον πίνακα. Σε τέτοιες περιοχές συστάδων βρίσκονται ασαφώς οριοθετημένα είδη εξαρτώμενα από «ομοιοστατικά συσχετιζόμενα μορφολογικά, φυσιολογικά και συμπεριφοριακά χαρακτηριστικά» (Boyd, 1991: 142). Ωστόσο, δεν είναι απαραίτητο να αλληλεπικαλύπτονται όλα τα χαρακτηριστικά και το σημαντικό είναι ότι η ασάφεια των ορίων αυτών των ειδών «δεν τους αφαιρεί από τη σταθερότητά τους» (Kendler et al, 2011: 1147, Schauer, 2012).

«Ακόμα και μετά τον εντοπισμό όλων των μελών ενός είδους, των ιδιοτήτων τους και των ομοιοστατικών μηχανισμών τους, δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός της έκτασης του είδους, αφού οι ιδιότητες και οι μηχανισμοί μπορεί να μεταβάλλονται στο χρόνο. Αυτό καθιστά τη χάραξη ορίων μεταξύ ειδών εννοιολογικά αδύνατη. [..] Η απροσδιοριστία της έκτασης είναι απαραίτητο στοιχείο των ειδών Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων, εκφράζοντας την εν ενεργεία τάξη πραγμάτων στη φύση, που είναι «ασαφή γύρω από τα άκρα» (Boyd, 1991: 141, Schauer, 2012).

[22] «Ένα μέτρο του βαθμού στον οποίο σχήματα κατηγοριοποίησης συμβάλλουν στην διευθέτηση – ένα μέτρο της αληθείας τους- δίνεται από το εύρος των εναλλακτικών σχημάτων η επιλογή μεταξύ των οποίων θα ήταν αυθαίρετη» (Boyd, 1999a: 176).

[23] Σχετικά με την ατελή ομοιοστασία βλ. κεφ. 6.2.2.6.

και τεχνητά, το συνολικό σύστημα δεν έχει συνοπτικότερο ορισμό από την περιγραφή των ιδιοτήτων του. Η εκ των υστέρων περιφραστική περιγραφή του τύπου μέσω των ιδιοτήτων του αποτελεί πληροφορία που δεν συμπιέζεται περαιτέρω[24].

Τμήματα της ομοιοστατικής συστάδας ιδιοτήτων, ή υπο-συστάδες της, αποτελούν επεξηγηματικούς ορισμούς επιμέρους χωρικών ποιοτήτων που χαρακτηρίζουν τον τύπο. Άρα υπάρχουν συστάδες ιδιοτήτων διαφορετικών κλιμάκων και επιπέδων ενθυλάκωσης που ορίζουν σε ένα πρώτο επίπεδο ασαφείς χωρικές ποιότητες και σε ένα δεύτερο επίπεδο, συστάδες αυτών των χωρικών ποιοτήτων χαρακτηρίζουν τον τύπο. Κάθε χωρική ποιότητα είναι και αυτή ομοιοστατική συστάδα χαρακτηριστικών και επομένως «το είδος ή η ιδιότητα που σημαίνεται ως t είναι φυσικό είδος» (Boyd, 1999a: 144).

6.2.2.10. Χαρακτηριστικό 10: Μη συμπιέσιμος περιγραφικός ορισμός

Το παραπάνω (9) έχει ως επακόλουθο ότι δεν υπάρχει συντομότερος ορισμός του κοινού όρου που εφαρμόζεται σε όλα τα μέλη του τύπου από την περιγραφή της ομοιοστατικής συστάδας ιδιοτήτων που τον χαρακτηρίζουν. Επομένως, δεν υπάρχει όρος λιγότερο «εκτατικά ασαφής» από τον περιγραφικό ορισμό του τύπου που να τον προσδιορίζει ικανοποιητικά. Σύμφωνα με το Boyd, «ίσως τα πράγματα να είναι στην πραγματικότητα μια ακαταστασία για την οποία δεν υπάρχει απλός χαρακτηρισμός» (Boyd, 1999a: 182).

Αντίθετα «υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί, (κατά προσέγγιση) εξίσου σημαντικοί μεθοδολογικά τρόποι διαχωρισμού ειδών, κάθε ένας από τους οποίους αντιστοιχεί σε έναν διαφορετικό έγκυρο τρόπο κατανόησης τάξεων σε επίπεδο ειδών» (Boyd, 1999a: 172). Ως αποτέλεσμα των διαφορετικών λογικών διαχωρισμού, πολλαπλοί περιγραφικοί και προγραμματικοί ορισμοί μπορεί να είναι εξίσου «εκτατικά ασαφείς» αλλά και εξίσου έγκυροι ως προς την απόδοση ομοιοτήτων που είναι σημαντικές με όρους αιτιακών εξηγήσεων και επαγωγής.

Ανεξάρτητα αν αναφέρονται σε προγραμματικούς ή επεξηγηματικούς ορισμούς, τα σχήματα κατηγοριοποίησης βασίζονται σε γενικεύσεις που προκύπτουν από διαφορετικές επαγωγικές και επεξηγηματικές πρακτικές. Είναι προφανές ότι για κάθε σύνολο δεδομένων υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τρόποι κατηγοριοποίησης και διαχωρισμού τους σε υποσύνολα[25]. Ανάλογα με το πλαίσιο αναφοράς και τις προθέσεις της κάθε προσέγγισης, τα δεδομένα είναι ανοιχτά σε πολλαπλές αναγνώσεις, στην προβολή διαφορετικών ιδιοτήτων και στην αναγνώριση διαφορετικών συσταδοποιήσεων των ιδιοτήτων αυτών, βάσει διαφορετικών επαγωγικών και επεξηγηματικών πρακτικών[26]. Ωστόσο το πιθανότερο είναι να μην είναι όλες οι γενικεύσεις εξίσου έγκυρες[27].

[24] Ο Claude Shannon χρησιμοποίησε την έννοια της εντροπίας για τη μέτρηση του περιεχομένου ενός μηνύματος σε πληροφορία. Ένα μήνυμα με πολλή πληροφορία έχει μη προβλέψιμη δομή και επομένως υψηλή εντροπία. «μη-συμπιέσιμο» μήνυμα αυτό που έχει ίδιο μέγεθος με το Minimal program που μπορεί να αναπαράξει το μήνυμα. «η πολυπλοκότητα μιας σειράς είναι ίση με το μέγεθος του ελάχιστου προγράμματος που είναι απαραίτητο για την παραγωγή της σειράς (Chaitin, 1975: 49, Cilliers, 1998: 8-9)

[25] «Δεν υπάρχουν θεόσταλτοι, μοναδικοί τρόποι ταξινόμησης των αμέτρητων και διαφορετικών προϊόντων της εξελικτικής διαδικασίας. Υπάρχουν πολλοί εύλογοι και έγκυροι τρόποι να γίνει αυτό, και ο καλύτερος τρόπος εξαρτάται τόσο στο στόχο της ταξινόμησης όσο και στις ιδιαιτερότητες των υπό μελέτη οργανισμών» (Dupre, 1993: 57).

[26] «Η πολλαπλότητα των ταξινομήσεων φυσικών ειδών στην κοινή γλώσσα είναι αναμενόμενη επειδή η κοινή λογική στοχεύει στη συλλογή πληροφορίας για τον κόσμο και όχι στην επίτευξη μιας ενιαίας εικόνας για αυτόν» (Boyd, 1999a: 160).

[27] Για παράδειγμα, δεν θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε ότι όλοι οι πιθανοί διαχωρισμοί ενός συνόλου σε υποσύνολα αποτελούν ισότιμες κατηγοριοποιήσεις των μελών του.

Ο Boyd διακρίνει τις γενικεύσεις σε προβλητέες [projectible] και μη- προβλητέες [unprojectible]. Οι προβλητέες γενικεύσεις είναι εκείνες που σχετίζονται με δομές αιτιότητας και που σύμφωνα με το Boyd είναι και οι μόνες έγκυρες.

Είναι δυνατό πλήθος ερμηνειών, αναλύσεων και γενικεύσεων να επαληθεύονται από τα δεδομένα, αλλά κάποιες μόνο συμπτωματικά[28]. Σύμφωνα με τον ορισμό των προβλητέων γενικεύσεων, για να είναι έγκυρες πρέπει όχι μόνο να επιβεβαιώνονται από τα δεδομένα αλλά και να σχετίζονται με αιτιακές δομές των φαινομένων υπό ανάλυση. Επομένως το ζητούμενο είναι η αναγνώριση αιτιακά υποστηριζόμενων συσταδοποιήσεων, βάσει κατηγοριών και γενικεύσεων που να μπορούν να προβληθούν. Οι υποκείμενες αιτίες δεν αποκαλύπτονται απαραίτητα με τρόπο άμεσο και ρητό αλλά εμφανίζονται έμμεσα, μέσα από τις συνέπειές τους[29].

Σύμφωνα με τον Quine (1969) η θεωρία των φυσικών ειδών αναφέρεται στο πώς σχήματα κατηγοριοποίησης συμβάλλουν στη διατύπωση και αναγνώριση προβλητέων υποθέσεων.

6.2.2.11. Χαρακτηριστικό 11: Μη εκτατικά εξατομικευμένη ομοιοστατική συστάδα ιδιοτήτων

Η ομοιοστατική συστάδα ιδιοτήτων που χρησιμεύει στον ορισμό του κοινού όρου που εφαρμόζεται σε όλα τα μέλη ενός τύπου δεν είναι εκτατικά εξατομικευμένη[30]. Ο εντοπισμός συγκεκριμένων ιδιοτήτων που συν-εμφανίζονται και η περιγραφή του τύπου βάσει αυτών είναι χρονικά και χωρικά προσδιορισμένη και απολύτως εμπρόθετη απόφαση, επομένως «η συστάδα ιδιοτήτων είναι εξατομικευμένη ως ιστορικό αντικείμενο ή διαδικασία» (Boyd, 1999a: 144).

Σύμφωνα με τον Kitcher (1984) η πραγματικότητα των ειδών έγκειται σε μια αντιστοιχία ανάμεσα στις ταξινομητικές πρακτικές και την αντικειμενική δομή της φύσης. Έτσι, «διαφορετικές προσεγγίσεις διαχωρισμού ειδών αντιστοιχούν σε χαρακτηριστικά της αντικειμενικής δομής της φύσης, η οποία υπάρχει ανεξάρτητα από την ανθρώπινη σκέψη αν και διαφορετικοί αντικειμενικοί στόχοι που αντιστοιχούν σε διαφορετικά ερευνητικά πλαίσια ενδέχεται να απαιτούν διαχωρισμούς σε αναφορά με διαφορετικές αντικειμενικές δομές» (Boyd, 1999a: 170). Σύμφωνα με αυτή την οπτική, διαφορετικοί τρόποι διαχωρισμού ειδών μπορεί να αντιστοιχούν σε διαφορετικές αντικειμενικές δομές και έτσι να ορίζουν κατηγορίες ειδών που να είναι εξίσου αληθινές[31].

Στην περίπτωση των άτυπων χωρικών σχηματισμών, ως αντικειμενικές δομές μπορούν να κατανοηθούν για παράδειγμα η μορφή και η δομή του χώρου, που εκφράζονται μέσω αντικειμενικών οργανώσεων της ύλης. Ο τρόπος που περιγράφονται όμως οι αντικειμενικές αυτές δομές, οι ιδιότητες που αναγνωρίζονται σε αυτές και ο τρόπος γλωσσικής απόδοσης ή μέτρησης τους δεν είναι τμήμα

[28] Σύμφωνα με τον Boyd (1999a: 147) μπορεί κανείς να προβεί σε απεριόριστο πλήθος μη-προβλητέων γενικεύσεων που να επαληθεύονται από όλα τα διαθέσιμα δεδομένα, αλλά που να είναι βαθειά λανθασμένες. Η διάκριση μιας έγκυρης γενίκευσης επαφίεται σε επαγωγικές πρακτικές που επιτρέπουν την αναγνώριση μιας γενίκευσης σχετιζόμενης με τις αιτιακές δομές των μελετώμενων φαινομένων.

[29] «Μπορούμε να αναγνωρίσουμε τέτοιες γενικεύσεις μόνο στο βαθμό που μπορούμε να αναγνωρίσουμε γενικεύσεις που είναι (και θα είναι) διατηρούμενες από σχετικές αιτιακές δομές. […] Ίσως αυτό που κάνει αληθείς τους προκατόχους αληθινών στιγμιοτύπων να είναι συμπτωματικά αποτελέσματα αιτιών της τάξης πραγμάτων που περιγράφεται από τις συνέπειες» (Boyd, 1999a: 147).

[30] Ο κοινός όρος που εφαρμόζεται σε όλα τα μέλη ενός τύπου μπορεί να έχει τον ίδιο ορισμό καθώς οι ιδιότητες της συστάδας και οι υποκείμενοι ομοιοστατικοί μηχανισμοί ενδέχεται να μεταβάλλονται και να μετασχηματίζονται στο χρόνο και το χώρο.

[31] Για τον Boyd «η σχετική αντικειμενική δομή είναι αιτιακή δομή και η σχετική αντιστοιχία είναι ζήτημα της ικανοποίησης απαιτήσεων διευθέτησης» (Boyd, 1999:174).

των αντικειμενικών δομών αλλά έκφραση αντικειμενικών στόχων. Τα χαρακτηριστικά που αποδίδονται στα αντικείμενα είναι αποτέλεσμα εμπρόθετων αναγνώσεων και ερμηνειών, και με αυτή την έννοια είναι κατασκευές και όχι αντικειμενικές δομές.

Ακόμα και αν δεχτούμε τη δυνατότητα αναγνώρισης ενδογενών ιδιοτήτων, ανεξάρτητων από την ανθρώπινη διαμεσολάβηση, η οργάνωση των αντικειμένων σε ομάδες βάσει των ιδιοτήτων αυτών είναι μια δευτερογενής ερμηνευτική πράξη που απαιτεί την αξιολόγηση των ιδιοτήτων και τον ορισμό κάποιου τρόπου μέτρησης του βαθμού ομοιότητας ή διαφοράς μεταξύ αντικειμένων. Ακόμα και αν οι αιτιακές δομές του κόσμου είναι ανεξάρτητες από τις ανθρώπινες πρακτικές, τα είδη είναι κοινωνικά κατασκευάσματα[32]**.** Σύμφωνα με τη θεωρία της διευθέτησης, τα (φυσικά) είδη είναι χαρακτηριστικά των ανθρώπινων επαγωγικών αρχιτεκτονικών, κατασκευάσματα περισσότερο παρά Πλατωνικές οντότητες (Boyd, 1999: 162).

Οι αντικειμενικές δομές μπορεί να είναι αιτιακές δομές[33], αλλά εφόσον ο διαχωρισμός δεν πραγματοποιείται βάσει των ίδιων των αντικειμενικών δομών, αλλά βάσει των περιγραφών τους, οι αιτιακές δομές δεν είναι απαραίτητο να εμφανίζονται με σαφήνεια ως αιτίες του εκάστοτε διαχωρισμού, αλλά ενυπάρχουν σ' αυτόν έμμεσα μέσω των αποτελεσμάτων τους.

Τόσο οι ίδιες οι ιδιότητες που αναγνωρίζονται στα αντικείμενα, βάσει των οποίων κατηγοριοποιούνται, όσο και οι ομαδοποιήσεις τους σε σύνολα για τον ορισμό διακριτών κατηγοριών, εξαρτώνται από το πλαίσιο αναφοράς και τις προθέσεις της εκάστοτε διαδικασίας κατηγοριοποίησης. Ακόμα και για ένα δεδομένο σύνολο ιδιοτήτων, η αξιολόγηση και η συσταδοποίησή τους δεν είναι μονοσήμαντη και αποκλειστική, αλλά είναι δυνατή μια πληθώρα διαφορετικών διαχωρισμών, που μπορεί να είναι εξίσου έγκυροι και ενδεχομένως χρήσιμοι[34]. Έτσι, ανάλογα με την πρόσθεση του κάθε διαχωρισμού «οι ομάδες των οργανισμών που ανατίθενται στα είδη μπορεί να διαφέρει» (Boyd, 1999: 169). Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση οι τύποι είναι εξ' ορισμού κατασκευές πολλαπλά οριζόμενες.

Ωστόσο οι όροι και τα είδη είναι κατάλληλα για επαγωγή και περιγραφή εντός κάποιων πλαισίων και όχι εντός κάποιων άλλων (Boyd, 1999a: 148). Αυτό σημαίνει από τη μία δεν είναι όλοι οι διαχωρισμοί έγκυροι και από την άλλη ότι οι προβλητέες γενικεύσεις δεν είναι καθολικές, αλλά μπορούν να προβληθούν εντός συγκεκριμένων ιστορικο-πολιτισμικών πλαισίων. Το εκάστοτε πλαίσιο αναφοράς είναι σχετικό με το επιστημονικό πεδίο [discipline relative] εντός του οποίου επιχειρείται η γενίκευση.

Οι ορισμοί είναι σχετικοί, διατυπώνονται και ισχύουν εντός συγκεκριμένου Πίνακα Επιστημονικού Πεδίου και η εγκυρότητα ή η χρησιμότητά τους κρίνεται ως προς τη συνέπειά τους ως προς το πλαίσιο αναφοράς τους, δηλαδή ως προς τους κοινούς πόρους του σχετικού Πίνακα Επιστημονικού Πεδίου[35]. Οι υποθέσεις κρίνονται ως προβλητέες μόνο εάν είναι ικανοποιητικές υπό το φως των

[32] «Τα άτομα είναι αληθινές οντότητες, με την έννοια ότι υπάρχουν ανεξάρτητα από τον άνθρωπο, αλλά οι ανώτερες τάξεις στις οποίες ομαδοποιούνται είναι ανθρώπινες νοητικές κατασκευές που αντικατοπτρίζουν γεγονότα σχετικά με την ιστορία της ζωής και είναι μη-πραγματικές ή τυχαίες ή συμβατικές» (Boyd, 1999a:173).

[33] «Οι αντικειμενικές δομές που υπάρχουν ανεξάρτητα από την ανθρώπινη πρακτική είναι αιτιακές δομές» (Boyd, 1999a: 170).

[34] «Μια πληθώρα σχημάτων κατηγοριοποίησης επιπέδου είδους συμβάλλει σημαντικά στην επίτευξη (διαφορετικών πλευρών) της διευθέτησης επαγωγικών πρακτικών της βιολογίας σε σχετικές αιτιακές δομές» (Boyd, 1999a:170-171).

[35] Οι επαγωγικές πρακτικές εντός ενός Πίνακα Επιστημονικού Πεδίου επιβεβαιώνονται από την ουσιαστική σύλληψη του πίνακα. Οι Ουσιαστικές συλλήψεις είναι Εννοιολογικές οντότητες, αναπαραστάσεις φαινομένων που παρατάσσουν τους εννοιολογικούς πόρους του πίνακα. «Η ουσιαστική σύλληψη ενός πίνακα επιστημονικού πεδίου είναι η αναπαράσταση εντός του πίνακα της αιτιακής γνώσης που υποθετικά έχει επιτευχθεί εντός του» (Boyd,1999a: 176).

καθιερωμένων θεωριών υποβάθρου, αφού οι θεωρίες αφενός προσδιορίζουν το πλαίσιο των όρων εντός του οποίου είναι δυνατή η διατύπωση υποθέσεων που μπορούν να προβληθούν και αφετέρου ορίζουν τα κριτήρια για το αν μια υπόθεση που έχει διατυπωθεί εντός του σχετικού λεξιλογίου μπορεί να προβληθεί (Boyd, 2000: 60).

Από τη θεωρία της διευθέτησης συνεπάγεται οτι η φυσικότητα των φυσικών ειδών εξαρτάται από την επαγωγική αρχιτεκτονική στην οποία είναι ενσωματωμένες αναπαραστάσεις του είδους (Boyd, 2000: 57). Η επαγωγική αρχιτεκτονική παρέχεται από τον σχετικό Πίνακα Επιστημονικού Πεδίου ενώ απαραίτητη προϋπόθεση για τη διαχείριση των αναπαραστάσεων είναι η ύπαρξη κατάλληλου λεξιλογίου, το οποίο επίσης παρέχεται από τον Πίνακα Επιστημονικού Πεδίου[36].

6.3. Εφαρμογή: Απόδοση βαρών

6.3.1. Επεξηγηματικός ορισμός: Εντοπισμός χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του κάθε τύπου

Σύμφωνα με τη θεωρία των ειδών Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων, η περιγραφή των τύπων αδόμητων χώρων μέσω σταθερά επανεμφανιζόμενων συστάδων κοινών ιδιοτήτων, με όρους αρχικών μετρήσεων και εύρους τιμών, αποτελεί το φυσικό επεξηγηματικό ορισμό τους. Ο περιφραστικός, εκτατικά ασυμπίεστος αυτός ορισμός μπορεί να αποδοθεί μόνο εκ των υστέρων, αφότου δηλαδή έχει πραγματοποιηθεί ο διαχωρισμός των τύπων μέσω της διαδικασίας Ανάλυσης Συστάδων και η διατύπωσή του έγκειται στην αναγνώριση σε κάθε τύπο κοινών ιδιοτήτων των μελών του, οι οποίες αποτελούν και τις συνθήκες υπαγωγής στον τύπο[37]. Επομένως οι επεξηγηματικοί ορισμοί των τύπων αποτελούν εμμέσως έκφραση των κριτηρίων υπαγωγής σε αυτούς, τα οποία όμως εκφράζονται ως πιθανολογικές προϋποθέσεις και όχι ως απόλυτα εφαρμόσιμες αναγκαίες και ικανές συνθήκες.

Αρχικά όλοι οι τύποι περιγράφονται βάσει του ίδιου συνόλου ιδιοτήτων, δηλαδή του συνόλου των αρχικών μετρήσεων. Μέσα από μια αλληλουχία αλγοριθμικών επεξεργασιών που στοχεύουν στην αναγνώριση και ανάδειξη βαθμών ομοιότητας και διαφοράς μεταξύ όλων των μελών του δείγματος ως προς όλες τις ιδιότητες ταυτόχρονα και στον επακόλουθο διαχωρισμό τους σε οικογένειες βάσει αυτών ακριβώς των βαθμών ομοιότητας και διαφοράς, προκύπτει ότι οι ιδιότητες δεν εμφανίζονται

«Αυτό που αναγνωρίζουμε ως φυσικό είδος είναι μια πολυχρηστική κατηγορία, η αναφορά στην οποία διευκολύνει την ικανοποίηση πληθώρας απαιτήσεων διευθέτησης εντός ενός πίνακα επιστημονικού πεδίου» (Boyd, 1999a: 157) και το κριτήριο εγκυρότητας ενός διαχωρισμού είναι ακριβώς ο βαθμός επιτυχίας της διευθέτησης αυτής. Τυχόν μη – εγκυρότητα «δε σχετίζεται με το γεγονός ότι είναι αποτελέσματα της ανθρώπινης νόησης και πρακτικής. Αν είναι αναληθής, θα είναι ζήτημα αποτυχίας να συμβάλει αποτελεσματικά στη διευθέτηση» (Boyd,1999a: 176).

[36] «Προκειμένου να πλαισιώσουμε γενικεύσεις που μπορούν να προβληθούν απαιτείται ένα λεξιλόγιο, το οποίο το ίδιο να είναι προσαρμοσμένο σε σχετικές αιτιακές δομές» (Boyd,1999a: 148). Σύμφωνα με τον Boyd, «τα φυσικά είδη είναι οντολογικά εξαρτημένα από γλωσσικές πρακτικές» (Boyd, 2000: 59). «Ένα φυσικό είδος είναι απλά μια εφαρμογή στη γλώσσα και σε εννοιολογική, πειραματική και επαγωγική πρακτική ενός τρόπου ικανοποίησης των απαιτήσεων διευθέτησης ενός Πίνακα Επιστημονικού Πεδίου. Τα φυσικά είδη είναι χαρακτηριστικά όχι του κόσμου έξω από την πρακτική, αλλά των τρόπων με τους οποίους η πρακτική εμπλέκεται με τον υπόλοιπο κόσμο» (Boyd, 1999a:174).

«Η φυσικότητα ενός είδους είναι ζήτημα συμβολής που η αναφορά σε αυτό έχει στην ικανοποίηση απαιτήσεων διευθέτησης ενός Πίνακα Επιστημονικού Πεδίου, στο πλαίσιο ενός συστήματος συνθετικών γλωσσικών πόρων για την αναπαράσταση φαινομένων» (Boyd, 1999a: 158).

[37] «Οι επεξηγηματικοί ορισμοί ενός είδους που αναφέρονται σε έναν Πίνακα Επιστημονικού Πεδίου πρέπει να γίνουν κατανοητοί με όρους ιδιοτήτων που απαιτούνται από τα μέλη του για την ικανοποίηση των απαιτήσεων διευθέτησης του εν λόγω Πίνακα. Τα φυσικά είδη αντλούν τους επεξηγηματικούς ορισμούς τους (και επομένως τι συνθήκες υπαγωγής σε αυτά) από τους τρόπους με τους οποίους επιτυγχάνεται η διευθέτηση» (Boyd, 2000: 72).

ισότιμα σε όλους τους τύπους, αλλά είναι ιεραρχικά δομημένες. Κάθε τύπος χαρακτηρίζεται εντονότερα από άλλα υποσύνολα ιδιοτήτων με αποτέλεσμα ο καθένας να έχει άλλον επεξηγηματικό ορισμό.

Επειδή όμως όλοι οι τύποι εμφανίζουν όλα τα χαρακτηριστικά και επιπλέον τα εύρη τιμών τους δεν είναι διακριτά μεταξύ τους, ο εντοπισμός των ιδιοτήτων εκείνων που συνιστούν βέλτιστα υποσύνολα για τον κάθε επεξηγηματικό ορισμό δεν είναι προφανής. Αν και από την ανάλυση των τιμών ανά ιδιότητα και ανά τύπο διακρίνονται κάποιες γενικές τάσεις και υπερισχύοντα χαρακτηριστικά, οι δυνατοί διαχωρισμοί και ιεραρχήσεις των σημαντικών για κάθε τύπο ιδιοτήτων είναι πολυάριθμοι και πιθανότατα σε κάποιες περιπτώσεις εξίσου έγκυροι. Εξάλλου η πολλαπλότητα και η απροσδιοριστία στην επιλογή του βέλτιστου επεξηγηματικού ορισμού αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό των οικογενειών που ορίζονται ως είδη Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων. Σύμφωνα με το Boyd, «ο φυσικός επεξηγηματικός ορισμός ενός είδους ομοιοστατικών συστάδων ιδιοτήτων παρέχεται από τα μέλη μιας συστάδας με συχνά συν-εμφανιζόμενες ιδιότητες και από τους (ομοιοστατικούς) μηχανισμούς που επιφέρουν την συν-εμφάνισή τους. Είναι ένα εκ των υστέρων θεωρητικό ερώτημα ποιες από αυτές τις ιδιότητες και ποιοι από τους ομοιοστατικούς μηχανισμούς μετράνε, και σε ποιο βαθμό μετράνε, στον προσδιορισμό του επεξηγηματικού ορισμού (και επομένως στις συνθήκες υπαγωγής) του είδους» (Boyd, 2000: 67).

6.3.2. Ανάγκη ιεράρχησης ιδιοτήτων

Προκειμένου να προσδιοριστεί ποιες είναι εκείνες οι ιδιότητες που συνεισφέρουν περισσότερο στην περιγραφή του κάθε τύπου και ποιος είναι ο βαθμός συνεισφοράς τους, πρέπει να γίνει δυνατή η εμπρόθετη και συστηματική ιεράρχηση των ιδιοτήτων μέσω του δυναμικού ελέγχου της μεταβολής της ισχύος της κάθε μέτρησης στο διαχωρισμό. Αποδίδοντας διαφορετική ιεραρχική ισχύ σε συνδυασμούς ιδιοτήτων ο κάθε τύπος περιγράφεται με περισσότερη ή λιγότερη σαφήνεια, με όρους εσωτερικής συνοχής των σημείων των μελών του μεταξύ τους αλλά και διαχωρισμού από τους υπόλοιπους τύπους.

Η διαδικασία ιεράρχησης των ιδιοτήτων είναι μια εκ των υστέρων διαχείριση των συσχετισμών μεταξύ των ήδη κατηγοριοποιημένων χώρων. Κάθε χώρος έχει ήδη αποκτήσει μια κατηγορική ετικέτα και αναζητούνται οι ιεραρχικοί συσχετισμοί που ενισχύουν την υπαγωγή κάθε μέλους στη συγκεκριμένη ετικέτα.

Κάθε διαφορετική ιεράρχηση των ιδιοτήτων εκφράζει διαφορετικά σχήματα και δυναμικά μεταβαλλόμενους σχηματισμούς κοινωνικών, πολιτισμικών και ιδεολογικών τάσεων που χαρακτηρίζουν και ταυτοποιούν κάθε μοναδικό πλαίσιο εντός του οποίου διατυπώνεται η ανάγκη περιγραφής του τύπου.

Μεταβάλλοντας την ισχύ κάθε ιδιότητας, ουσιαστικά μεταβάλλεται η σχετική βαρύτητα των κριτηρίων ομαδοποίησης των χώρων. Κάθε διαφορετικός συνδυασμός βαρών των ιδιοτήτων εκφράζει μια εμπρόθετη ιεράρχηση των κριτηρίων, μια μετατόπιση της κατάστασης δυναμικής ισορροπίας του συστήματος. Η μετατόπιση αυτή ορίζει ένα σημείο οράσεως εντός του συστήματος, αλλάζει την οπτική γωνία και αποκαλύπτει διαφορετικούς σχηματισμούς αλληλοσυσχετισμών [patterns]. Ο ορισμός συγκεκριμένου κάθε φορά σημείου οράσεως ιεραρχεί το σύστημα και πραγματοποιεί τη μετάβαση από τη δικτυακή, μη-ιεραρχική στη δενδροειδή δομή, εκφράζοντας μια εμπρόθετη οργάνωση των υφιστάμενων αλληλοσυσχετισμών και επιβάλλοντας μια οργάνωση στα δεδομένα. Κάθε τύπος ορίζεται από άλλη συστάδα ομοιοστατικών ιδιοτήτων, από άλλο σχηματισμό αλληλοσυσχετισμών, οπότε η περιγραφή του απαιτεί μια νέα οργάνωση των δεδομένων σε μια

ξεχωριστή δενδροειδή δομή, καθώς «οι ομοιοστατικοί μηχανισμοί που είναι σημαντικοί για τη συνοχή ενός είδους διαφέρουν από είδος σε είδος» (Boyd, 1999a: 170).

6.3.3. Πολλαπλά κριτήρια

Η εφαρμογή πολλαπλών συνδυασμών κριτηρίων στοχεύει στον εντοπισμό ενός μαθηματικού ορισμού των συστάδων, βάσει της ακριβούς διαβάθμισης των ιδιοτήτων τους, που να εκφράζει κατά το δυνατό βέλτιστα τον επεξηγηματικό ορισμό τους. Σύμφωνα με τους Jain και Dubes (1988: 90-91), μια σημαντική δυσκολία στην επιλογή ενός βέλτιστου ή έστω ικανοποιητικού συνδυασμού διαβαθμισμένων κριτηρίων έγκειται στην «επιλογή κριτηρίου κατηγοριοποίησης που να εκφράζει τη διαισθητική αντίληψη της συστάδας με μαθηματικούς όρους. Τα κριτήρια εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις παραμέτρους του εκάστοτε προβλήματος και πρέπει να είναι αρκετά απλά, για υπολογιστικούς λόγους, αλλά και αρκετά πολύπλοκα ώστε να αντικατοπτρίζουν διαφορετικές δομές δεδομένων. […] Δεν υπάρχει κάποιο μοναδικό βέλτιστο κριτήριο για το διαχωρισμό επειδή δεν υπάρχει ακριβής και λειτουργικός ορισμός της συστάδας. Οι συστάδες μπορεί να είναι τυχαίου σχήματος και μεγέθους σε έναν πολυδιάστατο χώρο δεδομένων. Κάθε κριτήριο επιβάλλει μια δομή στα δεδομένα και αν τα δεδομένα τύχει να συμβιβάζονται με τις απαιτήσεις ενός συγκεκριμένου κριτηρίου, τότε ανακτώνται οι πραγματικές συστάδες». Στην περίπτωση των επεξηγηματικών ορισμών των αδόμητων χώρων ο προσδιορισμός του κατάλληλου συνόλου κριτηρίων είναι πολυπαραγοντικός, καθώς από τη μία δεν υπάρχει ακριβής και λειτουργικός ορισμός της συστάδας, αλλά πολλαπλοί περιγραφικοί, επεξηγηματικοί ορισμοί, και από την άλλη κάθε συστάδα έχει διαφορετικό επεξηγηματικό ορισμό και χαρακτηρίζεται από διαφορετικές συστάδες ομοιοστατικών ιδιοτήτων, με αποτέλεσμα να απαιτούνται διαφορετικά σύνολα κριτηρίων για κάθε συστάδα. Η σύσταση των Jain και Dubes (1988: 95), σύμφωνα με την οποία «στην πράξη, συνιστάται να γίνεται ο διαχωρισμός με τη χρήση διαφορετικών συναρτήσεων κριτηρίων και να επιλέγεται η καλύτερη υπό κάποιο σχήμα αξιολόγησης ή επαλήθευσης», εδώ είναι αναγκαιότητα, καθώς ο ορισμός του κάθε τύπου απαιτεί μια εξατομικευμένη συνάρτηση κριτηρίων. Οι συναρτήσεις κριτηρίων, αν και είναι μαθηματικά ορισμένες, δεν εκφράζονται με τη μορφή νόμων που ορίζουν ικανές και αναγκαίες συνθήκες υπαγωγής στον εκάστοτε τύπο, αλλά μοντελοποιούν σχηματισμούς αλληλοσυσχετισμών [patterns]. Στη θεωρία των Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων, η έννοια του νόμου αντικαθίσταται με την αιτιακά διατηρούμενη κανονικότητα (Boyd, 2000: 59), δηλαδή με τις επαναλαμβανόμενα εμφανιζόμενες τυπικές δομές σχέσεων.

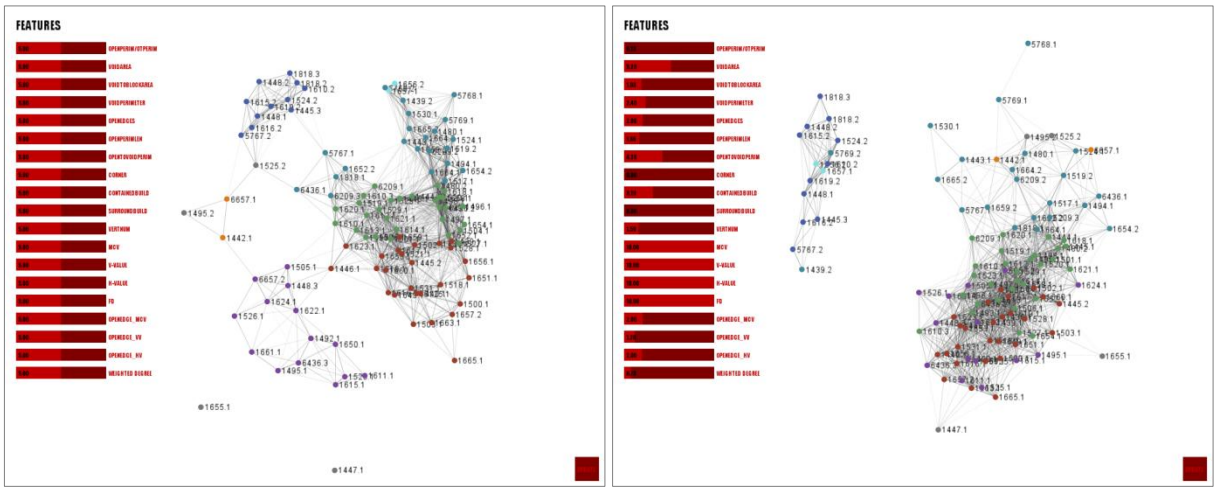
6.3.4. Εισαγωγή ιεραρχιών: Διαβάθμιση των ιδιοτήτων και ανάθεση βαρών

Προκειμένου να εντοπιστούν οι ιδιότητες εκείνες που συμβάλλουν περισσότερο στο χαρακτηρισμό κάθε τύπου και στη διατύπωση του επεξηγηματικού ορισμού του, πρέπει να καταστεί δυνατή η συστηματική εφαρμογή διαφορετικών συναρτήσεων κριτηρίων, ή ιεραρχιών των ιδιοτήτων, προκειμένου να εξεταστούν οι αλλαγές των συσχετισμών εντός και μεταξύ των τύπων που επιφέρει η άσκηση διαφορετικών πεδίων δυνάμεων στο σύστημα. Για να περιγραφούν οι τύποι και να χάσουν το γενόσημο χαρακτήρα τους πρέπει τα κριτήρια ομαδοποίησης να εκφραστούν μέσω της εμπρόθετης διαχείρισης εναλλακτικών ιεραρχιών των ιδιοτήτων βάσει των οποίων γίνεται και η αρχική περιγραφή και η συσταδοποίηση των δεδομένων.

Πρακτικά, η έκφραση της δυνατότητας μετασχηματισμού του συστήματος μέσω της διαχείρισης της σχετικής σημασίας των μετρήσεων και της οργάνωσης μεταβαλλόμενων εναλλακτικών ιεραρχικών δομών ιδιοτήτων καθώς και η άμεση οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων, απαιτεί τη σύσταση ενός παραμετρικού μοντέλου του συστήματος, στο οποίο οι αλληλοσυσχετισμοί μεταξύ αδόμητων χώρων

να εκφράζονται μέσω μεταβλητών, οι τιμές των οποίων να μπορούν να μεταβάλλονται δυναμικά από το χρήστη (Εικόνα 6 - 1).

Στο παραμετρικό αυτό μοντέλο, τα κριτήρια κατηγοριοποίησης εισάγονται στο σύστημα ως δυναμικά μεταβαλλόμενες παράμετροι, σύμφωνα με τις οποίες ανατίθενται ιεραρχίες στις αρχικές μετρήσεις. Κάθε παράμετρος καθορίζει την ισχύ της κάθε μέτρησης στη διαμόρφωση των αλληλοσυσχετισμών μεταξύ όλων των μελών του δείγματος, επιδεικνύοντας τη σχετική σημασία της αντίστοιχης χωρικής ιδιότητας στο σχηματισμό κάθε τύπου. Η ανάθεση διαφορετικών βαρών στις μετρήσεις αποκαλύπτουν τη συμβολή και τη σχετική σημασία του κάθε χαρακτηριστικού στο διαχωρισμό και κατά συνέπεια στη διατύπωση του επεξηγηματικού ορισμού κάθε τύπου. Κάθε επεξηγηματικός ορισμός εκφράζεται με όρους προθέσεων, ρητά εκφρασμένων μέσω της ιεραρχικής οργάνωσης χωρικών χαρακτηριστικών βάσει της ανάθεσης διαφορετικών βαρών στις διαφορετικές ιδιότητες. Έτσι επιδιώκεται η δυναμική οπτικοποίηση της αναδιοργάνωσης του συστήματος συσχετισμών μεταξύ των τύπων και η διατύπωση των επεξηγηματικών ορισμών τους βάσει της επιλογής διαφορετικών σχηματισμών ιεραρχικών δομών ιδιοτήτων που εκφράζονται ως εξωτερικά εφαρμοζόμενα κριτήρια.



Εικόνα 6 - 1.

Ανάθεση βαρών και ανακατανομή συσχετισμών

Ισότιμη θεώρηση όλων των μετρήσεων, από την οποία προκύπτει η συσταδοποίηση (αριστερά) και τυχαία απόδοση βαρών, με αποτέλεσμα την αναδιάταξη του συστήματος και την ανάμειξη των τύπων (δεξιά)

6.3.5. Το παραμετρικό μοντέλο

Προγραμματιστικά, το παραμετρικό αυτό μοντέλο υλοποιείται βάσει μιας προσομοίωσης Συστήματος Σωματιδίων - Ελατηρίων σε γλώσσα προγραμματισμού Processing και τεχνικά αποτελεί επέκταση του αντίστοιχου συστήματος που εφαρμόστηκε στη διαδικασία μείωσης διαστάσεων[38] .

Όπως και σε εκείνη την εφαρμογή, κάθε αδόμητος χώρος αναπαρίσταται ως σωματίδιο σημειακής μάζας και όλα τα σωματίδια συνδέονται ανά ζεύγη με εικονικά ελατήρια, το ιδανικό μήκος των οποίων εξαρτάται από την απόσταση των αντίστοιχων χώρων σε έναν (ισότροπο ή ανισότροπο) πολυδιάστατο χώρο ιδιοτήτων. Οι σημαντικότερες διαφορές μεταξύ των δύο εφαρμογών είναι οι ακόλουθες:

[38] Βλ. κεφ. 4.5 Συστήματα Σωματιδίων - Ελατηρίων

Πρώτον, ενώ στην εφαρμογή που είχε στόχο τη μείωση των διαστάσεων τα δείγματα του συνόλου δεδομένων ήταν αχαρακτήριστα, στην παρούσα εφαρμογή τα σωματίδια υπάγονται πλέον σε συγκεκριμένες και σταθερές ετικέτες που αντιστοιχούν στους τύπους στους οποίους έχουν ταξινομηθεί οι αντίστοιχοι αδόμητοι χώροι μέσω της διαδικασίας Ανάλυσης Συστάδων (Εικόνα 6 - 1 χρωματική κωδικοποίηση).

Δεύτερον, τα ιδανικά μήκη των ελατηρίων δεν καθορίζονται πλέον από όλες τις ιδιότητες ισότιμα, όπως στην προηγούμενη εφαρμογή, αλλά η ισχύς της κάθε ιδιότητας ορίζεται κατά βούληση. Για κάθε ιδιότητα ορίζεται μια νέα παράμετρος, η τιμή της οποίας καθορίζει το σχετικό βάρος που λαμβάνει η αντίστοιχη μέτρηση στον υπολογισμό του ιδανικού μήκους των ελατηρίων. Οι μεταβλητές που εκφράζουν την κάθε παράμετρο ισχύος μπορούν να λάβουν τιμή από 0 έως 10 και η τιμή αυτή λειτουργεί ως συντελεστής στον υπολογισμό των πολυδιάστατων αποστάσεων μεταξύ κάθε ζεύγους σωματιδίων και κατ' επέκταση στον προσδιορισμό του ιδανικού μήκους του αντίστοιχου ελατηρίου, το οποίο με τη σειρά του καθορίζει την κατάσταση δυναμικής ισορροπίας του συστήματος (Εικόνα 6 - 1 δεξιά). Η πολυδιάστατη απόσταση δηλαδή δεν υπολογίζεται πλέον βάσει των κανονικοποιημένων μετρήσεων ως ισότιμων Ευκλείδειων διαστάσεων, αλλά βάσει διαβαθμισμένων αξόνων, σε ένα ανισότροπο πολυδιάστατο σύστημα συντεταγμένων. Ο κάθε συντελεστής μεταβάλλει την κλίμακα του άξονα της αντίστοιχης μέτρησης και έτσι αυξάνει ή μειώνει την επιρροή της στη διαμόρφωση της τελικής κατάστασης ισορροπίας.

Αντί δηλαδή για τη συνάρτηση της Ευκλείδειας απόστασης

$d=\sqrt{\sum}(x[i][m]-x[j][m])2$ για m=1 ως n

όπου d η ζητούμενη πολυδιάστατη Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των κανονικοποιημένων διανυσμάτων ιδιοτήτων των σωματιδίων i και j, x[i][m] η τιμή της ιδιότητας του σωματιδίου i στη διάσταση m και x[j][m] η τιμή της ιδιότητας του σωματιδίου j στην ίδια διάσταση m και n το πλήθος των διαστάσεων, εφαρμόζεται η συνάρτηση

$d=\sqrt{\sum}((x[i][m]-x[j][m])* \alpha[m])2$ για m=1 ως n

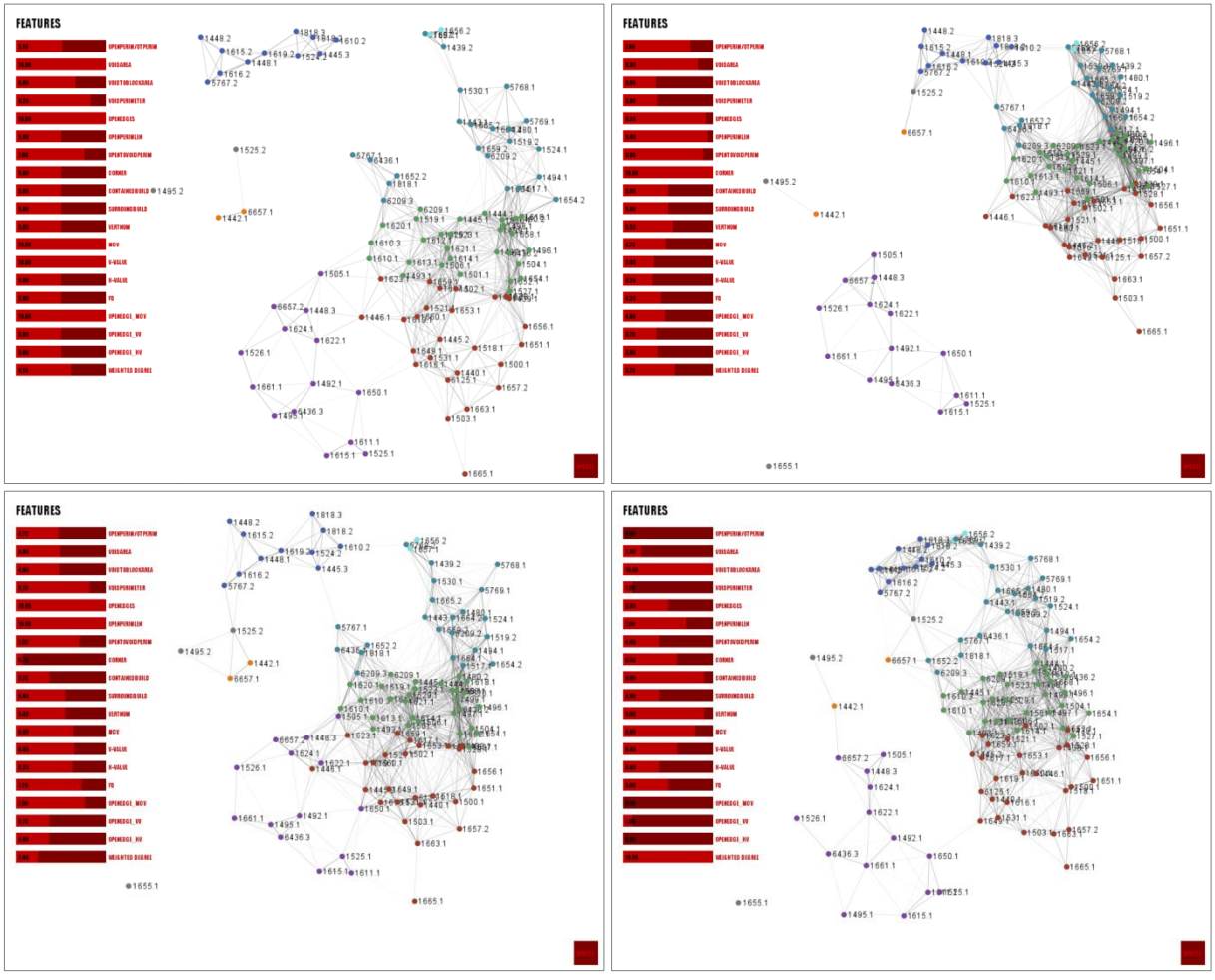
όπου α[m] ο συντελεστής ή το βάρος που αντιστοιχεί στη διάσταση m και $0 \leq \alpha[m] \leq 10$

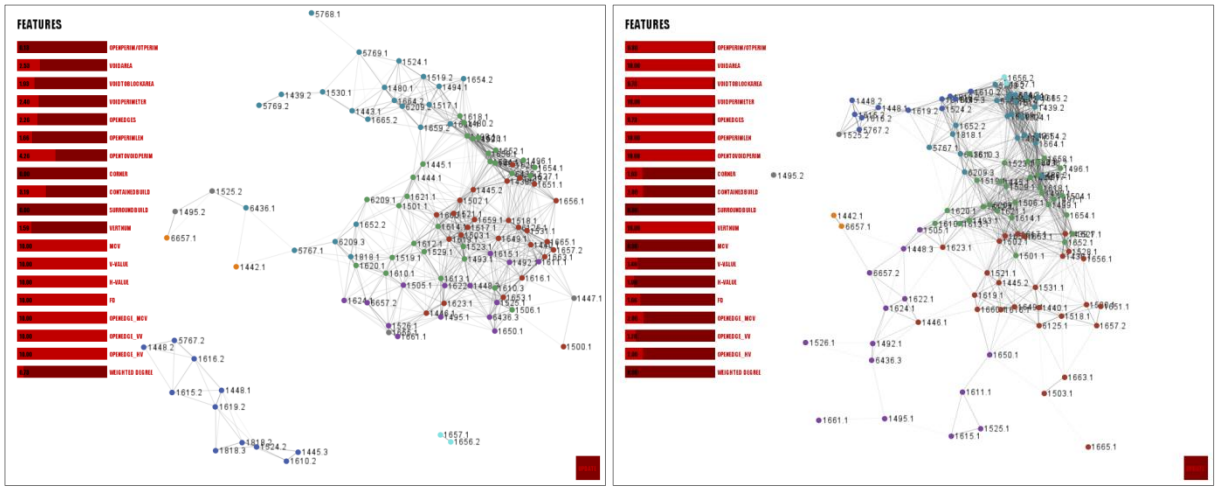
Η απόδοση τιμής στο συντελεστή α[m] πραγματοποιείται μέσω γραφικών στοιχείων διεπαφής (διαβαθμισμένες μπάρες - sliders), τόσο για τη διευκόλυνση της μεταβολής των τιμών χωρίς διακοπή της προσομοίωσης όσο και για μεγαλύτερη οπτική ευκρίνεια του εκάστοτε εφαρμοζόμενου συνδυασμού βαρών. Σε κάθε ιδιότητα αντιστοιχεί μια διαβαθμισμένη μπάρα που δίνει άμεση πρόσβαση στην τιμή της αντίστοιχης μεταβλητής (Εικόνα 6 - 1, στήλη στα αριστερά κάθε εικόνας).

Μέσω αυτής της διεπαφής, σε κάθε μέτρηση μπορεί να ανατεθεί διαφορετικό βάρος και διαφορετικοί συνδυασμοί βαρών εκφράζουν διαφορετικές συναρτήσεις κριτηρίων ή διαφορετικούς σχηματισμούς ιεραρχήσεων. Για κάθε νέο τέτοιο σχηματισμό, το σύστημα επανεκκινείται, τα ιδανικά μήκη όλων των ελατηρίων επαναϋπολογίζονται βάσει των νέων δεδομένων και το σύστημα αναζητά εκ νέου μια κατάσταση δυναμικής ισορροπίας στην οποία όλες οι τάσεις των ελατηρίων να αλληλοεξουδετερώνονται. Έτσι, για κάθε συνδυασμό κριτηρίων η κατάσταση ισορροπίας εκφράζεται μέσω μιας διαφορετικής διάταξης των σωματιδίων στο δισδιάστατο χώρο η οποία αντικατοπτρίζει τους νέους, μετασχηματισμένους συσχετισμούς μεταξύ των αδόμητων χώρων στον πολυδιάστατο χώρο ιδιοτήτων. Σε κάθε νέα διάταξη παρατηρούνται διαφορετικές συγκεντρώσεις και διαχωρισμοί σημείων, σύμφωνα με την εκάστοτε ιεραρχική δομή που έχει επιβληθεί στα δεδομένα. Έτσι, σημεία που ανήκουν στον ίδιο τύπο μπορεί να εμφανίζονται απομακρυσμένα, ενώ άλλα που ανήκουν σε διαφορετικούς τύπους να πλησιάζουν μεταξύ τους. Έχοντας ήδη κατατάξει όλα τα σωματίδια σε

τύπους, οι οποίοι για λόγους αναγνωσιμότητας κωδικοποιούνται χρωματικά, είναι δυνατή η παρατήρηση της μεταβολής των συσχετισμών εντός και μεταξύ των τύπων που προκαλείται από διαφορετικές ιεραρχήσεις των μετρήσεων. Μεταβάλλοντας με τρόπο συστηματικό τα βάρη των ιδιοτήτων και εφαρμόζοντας διαφορετικούς σχηματισμούς ιεραρχιών, γίνεται σαφές ότι κάποιοι συνδυασμοί τείνουν να σχηματοποιούν καλύτερα μεμονωμένους τύπους με όρους συνοχής των σημείων τους, ενώ ταυτόχρονα ενδέχεται να διασπείρουν άλλους. Έτσι, ενώ η ισότιμη θεώρηση όλων των μετρήσεων έχει ως αποτέλεσμα τη βέλτιστη διάκριση των τύπων ως προς το σύνολο του δείγματος (Εικόνα 6 - 1 αριστερά), διαφορετικοί συνδυασμοί βαρών βελτιστοποιούν τη διάκριση μεμονωμένων τύπων, διαταράσσοντας πιθανά το διαχωρισμό άλλων τύπων (Εικόνα 6 - 2). Αυτό υποδεικνύει ότι κάθε τύπος ορίζεται καλύτερα από άλλο ή άλλους συνδυασμούς βαρών από ότι οι υπόλοιποι τύποι του δείγματος. Κατά συνέπεια, ο συνδυασμός ή οι συνδυασμοί αυτοί αναδεικνύουν το βαθμό συμμετοχής της κάθε ιδιότητας στον χαρακτηρισμό του αντίστοιχου τύπου και επομένως οριοθετούν πιθανούς επεξηγηματικούς ορισμούς του.

Στόχος της προσομοίωσης είναι ο εντοπισμός συνδυασμών βαρών που να οριοθετούν με κατά το δυνατό μεγαλύτερη σαφήνεια κάθε τύπο και επομένως να είναι κατάλληλοι για την περιγραφή του και τη διατύπωση ενός επεξηγηματικού ορισμού του.





Εικόνα 6 - 2.

Διαφορετικοί σχηματισμοί βαρών διαχωρίζουν και περιγράφουν σαφέστερα συγκεκριμένους τύπους

Από τα αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω: διαχωρισμός των τύπων που αποδίδονται με τα χρώματα μπλε, μωβ, πράσινο, κόκκινο, κυανό, κίτρινο αντίστοιχα

6.3.6. «Μονάδα μέτρησης» τύπων Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων

Κάθε σχηματισμός βαρών ανά ιδιότητα που περιγράφει ικανοποιητικά έναν τύπο, αποτελώντας μια ποσοτικοποιημένη απόδοση της συμμετοχής κάθε μέτρησης στον ορισμό του τύπου, συνιστά μια μέτρηση της ίδιας της συστάδας που αντιπροσωπεύει τον τύπο. Από τις μετρήσεις μεμονωμένων ιδιοτήτων χώρων εξάγονται τελικά μέτρα εφαρμόσιμα σε σύνολα χώρων που επιτρέπουν τη μέτρηση συμπλεγμάτων κοινών ιδιοτήτων. Το σύνολο των βαρών ανά ιδιότητα που αντιστοιχεί σε κάθε τύπο, εκφρασμένο είτε αριθμητικά, ως συνάρτηση, είτε οπτικά, ως ραβδόγραμμα που προκύπτει από τη συστοιχία των διαβαθμισμένων μπαρών της διεπαφής ελέγχου των βαρών, αποτελεί ουσιαστικά μια «μονάδα μέτρησης» των μέχρι τώρα μη ρητά περιγράψιμων και μη μετρήσιμων χωρικών τύπων (Εικόνα 6 - 2).

6.3.7. Περιορισμοί

Ο εξαντλητικός έλεγχος όλων των πιθανών συνδυασμών βαρών προκειμένου να βρεθεί για κάθε τύπο εκείνος που τον διαχωρίζει σαφέστερα από όλους τους υπόλοιπους είναι πρακτικά αδύνατος, λόγω του πλήθους των διαφορετικών δυνατοτήτων. Καθώς ο στόχος δεν είναι μόνο η διάκριση των ιδιοτήτων σε σημαντικές και ασήμαντες σε μία δυαδική λογική, σύμφωνα με την οποία θα ήταν απαραίτητες μόνο δύο πιθανές τιμές για κάθε ιδιότητα (σημαντική – ασήμαντη, 1 – 0), αλλά και ο προσδιορισμός του σχετικού βαθμού σημασίας σε μια αναλογική, συνεχή κλίμακα, σε κάθε ιδιότητα μπορεί να δοθεί τιμή βάρους σε ένα εύρος μεταξύ 0 και 10, αυξάνοντας σημαντικά το πλήθος των δυνατών συνδυασμών. Η δυαδική λογική, αν και πιο διαχειρίσιμη, θα είχε ως αποτέλεσμα οι ιδιότητες που λαμβάνουν τιμή μηδέν να αφαιρούνται εντελώς από το σύστημα και να μην λαμβάνονται υπόψη. Στην περιγραφή των χώρων όμως συμβάλλουν όλες οι ιδιότητες έστω και ανισομερώς. Μπορεί κάθε τύπος να χαρακτηρίζεται καλύτερα από συγκεκριμένες συστάδες ιδιοτήτων, αλλά και οι υπόλοιπες συνεισφέρουν τόσο στη συνοχή του όσο και στο διαχωρισμό του από τους υπόλοιπους τύπους. Στην περίπτωση διαγραφής μίας ιδιότητας που θα θεωρούταν ασήμαντη για έναν δεδομένο τύπο, αλλά θα ήταν πιθανά σημαντική για έναν άλλο τύπο, θα υπήρχε το ενδεχόμενο ο πρώτος τύπος να διαχωρίζεται μεν καλύτερα, αλλά ο δεύτερος να διασκορπίζεται σε βαθμό που να δημιουργεί παρεμβολές στον πρώτο. Επιπλέον, οι μέχρι τώρα παρατηρήσεις δείχνουν

ότι οι ιδιότητες λειτουργούν ως περιγραφικό σύστημα στο σύνολό τους και όχι μεμονωμένα, οπότε η εξάλειψη κάποιων θα επηρέαζε πιθανά την περιγραφική ισχύ και άλλων. Εξάλλου, όλες οι ιδιότητες είναι παρούσες σε κάποιο βαθμό σε όλους τους τύπους αφού βάσει αυτών έχει γίνει η αρχική περιγραφή και ο μετέπειτα διαχωρισμός των μελών τους.

Ακόμα όμως και αν ακολουθούταν η δυαδική λογική, για πλήθος 19 ιδιοτήτων που έχουν μετρηθεί υπάρχουν 2^{19} = 524288 πιθανοί συνδυασμοί. Για ακέραιες τιμές από 0 έως 10 υπάρχουν 10^{19} συνδυασμοί. Αν λάβουμε υπόψη και δεκαδικές τιμές, προφανώς το πλήθος είναι απαγορευτικό.

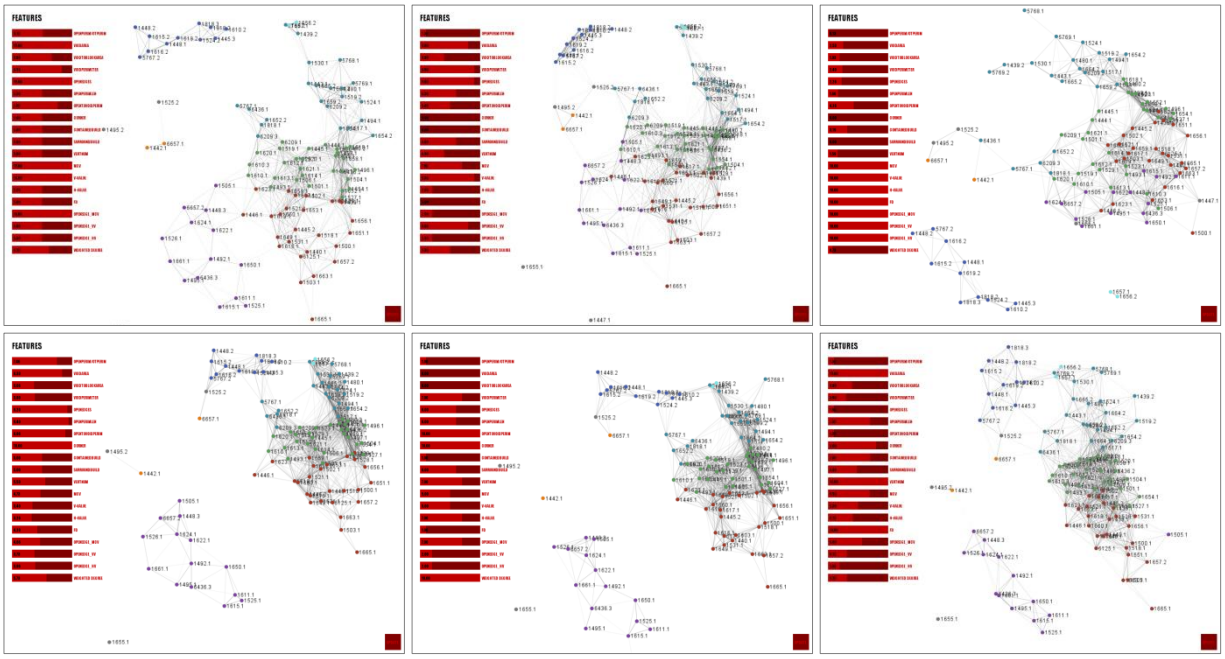
Ένας τρόπος διαχείριση αυτού του προβλήματος θα ήταν η δημιουργία ενός ευρετικού αλγορίθμου που να αναζητούσε για κάθε τύπο το βέλτιστο συνδυασμό βαρών με τρόπο στοχαστικό. Ένας τέτοιος αλγόριθμος θα μπορούσε να είναι για παράδειγμα ένας γενετικός αλγόριθμος, που για κάθε τύπο θα αναζητούσε το συνδυασμό βαρών που μεγιστοποιεί τη δομοστοιχείωση του συγκεκριμένου τύπου ή απλούστερα που ελαχιστοποιεί τις αποστάσεις εντός του τύπου και μεγιστοποιεί τις αποστάσεις μεταξύ των μελών του τύπου και των υπόλοιπων στοιχείων.

Ωστόσο, το πεδίο των δυνατών λύσεων μπορεί να περιοριστεί σημαντικά βάσει της συμβατικής αναγνώρισης κοινών συστάδων ιδιοτήτων στους τύπους, η οποία έχει ήδη πραγματοποιηθεί[39] και οδήγησε στον ορισμό τους ως τύπους Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων. Έχοντας ήδη επιχειρήσει μια πρωτογενή περιγραφή των τύπων βάσει συστάδων κοινών χαρακτηριστικών τους, όπως αυτά προκύπτουν από την αναλυτική μελέτη των τιμών ανά ιδιότητα και ανά τύπο και από την εκ των υστέρων εποπτική επιβεβαίωση των συμπερασμάτων, παρέχεται μια βάση για τη διαμόρφωση στοχευμένων εναλλακτικών σχημάτων ιεραρχικών δομών, που περιορίζουν σημαντικά την ευρετική διαδικασία. Βάσει των περιγραφών αυτών, για κάθε τύπο εφαρμόζονται συνδυασμοί βαρών που να εκφράζουν την εκάστοτε συστάδα ιδιοτήτων, αυξάνοντας την τιμή των παραμέτρων που αντιστοιχούν στις εν λόγω ιδιότητες και μειώνοντας την επιρροή των υπολοίπων. Για κάθε συνδυασμό εξετάζεται η επίδρασή του στο διαχωρισμό του συγκεκριμένου τύπου και μέσα από δοκιμές προσδιορίζεται ένας ικανοποιητικός σχηματισμός βαρών, ο οποίος και θεωρείται ότι μπορεί να αποτελέσει τη βάση ενός επεξηγηματικού ορισμού του αντίστοιχου τύπου. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για όλους τους τύπους με στόχο να προκύψει ένας τουλάχιστον συνδυασμός βαρών που να διαχωρίζει ικανοποιητικά κάθε τύπο (Εικόνα 6 - 2). Παρά το γεγονός ότι δεν αναμένεται ο συνδυασμοί να είναι απολύτως βέλτιστοι ούτε μοναδικοί, παρέχουν ωστόσο τους όρους για μια γλωσσική περιγραφή οικογενειών ασαφών αντικειμένων που ήταν και οι ίδιες ασαφείς και μη περιγράψιμες, βάσει κοινών ιδιοτήτων.

Εξάλλου η λογική των πολλαπλών εξίσου έγκυρων περιγραφών δεν υποστηρίζει την έννοια της βελτιστοποίησης. Σκοπός είναι η συγκρότηση ενός συστήματος πολλαπλών, διαδικαστικά παραγόμενων περιγραφών που προκύπτουν από την εμπρόθετη και δυναμική προβολή ενός πολυδιάστατου χώρου συσχετισμών και όχι η εύρεση της βέλτιστης αριθμητικής προσέγγισης της συνάρτησης περιγραφής του κάθε τύπου[40] (Εικόνα 6 - 3).

[39] Βλ. παραπάνω κεφ. 6.1. Περιγραφή των τύπων βάσει της αναγνώρισης κοινών υποσυνόλων χαρακτηριστικών.

[40] Ως προς την χρήση προσομοιώσεων για την κατανόηση του μοντελοποιούμενου συστήματος έναντι της εύρεσης βέλτιστων λύσεων, ο Cilliers (1998: 13) αναφέρει ότι «η βασική απαίτηση από τα μοντέλα μας μετατοπίζεται από το να πρέπει να είναι σωστά στο να είναι πλούσια σε πληροφορία. Αυτό δεν σημαίνει ότι η σχέση μεταξύ του μοντέλου και του ίδιου του συστήματος αποκτά μικρότερη σημασία, αλλά η μετατόπιση από τον έλεγχοι και την πρόβλεψη στην κατανόηση επηρεάζει την προσέγγιση της πολυπλοκότητας: η αξιολόγηση των μοντέλων με όρους απόδοσης αμφισβητείται».



Εικόνα 6 - 3.
Εναλλακτικές περιγραφές του ίδιου τύπου

Διαφορετικοί συνδυασμοί βαρών περιγράφουν τον ίδιο τύπο, διατράσσοντας τους υπόλοιπους: μπλε (πάνω) και μωβ (κάτω)

6.3.8. Υπο-συστάδες ιδιοτήτων: Χωρικές ποιότητες ως Ομοιοστατικές Συστάδες Ιδιοτήτων

Η προσπάθεια διατύπωσης επεξηγηματικών ορισμών των τύπων βάσει της επαναλαμβανόμενης συν-παρουσίας κοινών ιδιοτήτων στα μέλη τους και η διαδικασία εφαρμογής διαφορετικών σχηματισμών βαρών για την ιεράρχηση των ιδιοτήτων αυτών ως προς τη συμβολή τους σε κάθε επεξηγηματικό ορισμό, αποκαλύπτει την εμφάνιση ομάδων ισχυρά αλληλοσυνδεόμενων ιδιοτήτων. Παρόλο που η κατηγοριοποίηση βασίζεται στην ισότιμη θεώρηση όλων των ιδιοτήτων ταυτόχρονα, η εκ των υστέρων εξέταση των αποτελεσμάτων υποδεικνύει την αυτοοργάνωση ιεραρχικών δομών και ασύμμετρων δυνάμεων έλξης και άπωσης τόσο εντός των δεδομένων όσο και μεταξύ των ιδιοτήτων. Η παρουσία κάποιων ιδιοτήτων δείχνει να συνεπάγεται την ύπαρξη άλλων, με αποτέλεσμα υποσύνολα ιδιοτήτων να φαίνεται πως συνδέονται μέσω υποκείμενων ομοιοστατικών μηχανισμών, οι οποίοι προκαλούν την συσταδοποίησή τους χωρίς όμως να υποδεικνύεται ρητά η σχέση αιτιότητας που διέπει αυτή τη σχέση.

Ομοιοστατικά συσχετιζόμενες ιδιότητες, που αποτελούν τμήματα των ομοιοστατικών συστάδων ιδιοτήτων που χαρακτηρίζουν τους τύπους, ενδέχεται να συνιστούν σύνθετες ιδιότητες υψηλότερου επιπέδου. Συνδυαζόμενες, συνθέτουν ανώτερες αντιληπτικές ποιότητες που σχετίζονται με ασαφείς και μη μετρήσιμες χωρικές ποιότητες, όπως η ανοιχτότητα, η θραυσματικότητα, η πολυπλοκότητα, η συνύπαρξη πολλαπλών κλιμάκων, η αυτοομοιότητα, η κυρτότητα και η συνδεσιμότητα, δηλαδή με έννοιες βάσει των οποίων επιλέχθηκαν οι αρχικές μετρήσεις. Αυτό είναι σε κάποιο βαθμό αναμενόμενο αφού οι μετρήσεις επιλέχθηκαν έτσι ώστε να αποδίδουν κατά το δυνατό χαρακτηριστικά σχετιζόμενα με τις χωρικές αυτές ποιότητες. Ωστόσο, όπως έχει ήδη αναφερθεί δεν υπάρχει άμεση, ένα προς ένα αντιστοιχία των μετρήσεων με συγκεκριμένες χωρικές ποιότητες, αλλά κάθε ιδιότητα μπορεί να συμβάλλει στην ανάδυση περισσοτέρων από μίας από τις αναφερόμενες ποιότητες και αντίστροφα, καμία ποιότητα δεν μπορεί να περιγραφεί από μεμονωμένες ιδιότητες.

Επομένως, η εκ των υστέρων παρατήρηση της συσταδοποίησης ιδιοτήτων που επιλέχθηκαν ως σχετικές με τις αναφερόμενες χωρικές ποιότητες, επαληθεύει την καταλληλότητά τους για την απόδοση χαρακτηριστικών που συμβάλλουν στην ανάδυση των αντίστοιχων ποιοτήτων.

Οι υπο-συστάδες αυτές, περιγράφοντας δευτερογενείς σύνθετες ιδιότητες, αποτελούν διατυπώσεις επεξηγηματικών ορισμών επιμέρους χωρικών ποιοτήτων που χαρακτηρίζουν τον αντίστοιχο τύπο. Κάθε χωρική ποιότητα που περιγράφεται κατ' αυτόν τον τρόπο ορίζεται και αυτή ως Ομοιοστατική Συστάδα Ιδιοτήτων. Έτσι οι τύποι αναλύονται σε ενθυλακωμένες ομοιοστατικές συσταδοποιήσεις ιδιοτήτων που εκφράζονται μέσω διαφορετικών κλιμάκων και ιεραρχικών τάξεων συστάδων ιδιοτήτων. Σε ένα πρώτο επίπεδο σύνολα μετρήσεων συσταδοποιούνται σε ανώτερες, μη μετρήσιμες χωρικές ποιότητες και σε ένα δεύτερο επίπεδο, συστάδες αυτών των σύνθετων χωρικών ποιοτήτων χαρακτηρίζουν τον τύπο.

Με αυτόν τον τρόπο, ασαφείς, μη περιγράψιμες ή μη-άμεσα μετρήσιμες χωρικές ποιότητες γίνονται περιγράψιμες και μετρήσιμες μέσω του ορισμού τους ως συστάδες ομοιοστατικών ιδιοτήτων που οι ίδιες είναι μετρήσιμες και περιγράψιμες. Οι σύνθετες χωρικές αυτές ποιότητες, ως συστάδες ομοιοστατικών ιδιοτήτων, ενδέχεται να έχουν πολλαπλούς και εξίσου έγκυρους επεξηγηματικούς ορισμούς και επομένως κάθε μία μπορεί να περιγραφεί από διαφορετικές υπο-συστάδες του συνόλου των μετρήσεων[41].

Η περιγραφή των τύπων βάσει συστάδων σταθερά συνεμφανιζόμενων ιδιοτήτων παρέχει εναλλακτικούς επεξηγηματικούς ορισμούς τους[42]. Η αναγνώριση όμως κοινών δευτερογενών ιδιοτήτων στα μέλη των τύπων ίσως αποτελεί τη βάση για έναν προγραμματικό ορισμό[43], ο οποίος δεν βασίζεται πλέον στην αναφορά σε συστάδες κοινών ιδιοτήτων, αλλά σε κοινά και γενικεύσιμα αποτελέσματα των ιδιοτήτων αυτών.

Η δυνατότητα μεταβολής της ισχύος της κάθε μέτρησης στη διαμόρφωση των τάσεων που καθορίζουν την κατάσταση ισορροπίας του συστήματος επιτρέπει την εισαγωγή ιεραρχιών, την εφαρμογή διαφορετικών κριτηρίων ομαδοποίησης και την αλλαγή του σημείου θέασης του συνόλου των αλληλοσυσχετισμών σύμφωνα με την πρόθεση της κάθε ανάγνωσης. Επιτρέπει δηλαδή την μετακίνηση του πλαισίου εντός του οποίου επιχειρείται κάθε φορά ο ορισμός των τύπων.

Η απόδοση διαφορετικών σχηματισμών βαρών και η εφαρμογή ιεραρχιών στις ιδιότητες διευκολύνει τον εντοπισμό των συστάδων ιδιοτήτων, αλλά και το σχετικό βαθμό στον οποίο οι ιδιότητες αυτές συμβάλλουν τόσο στο συνολικό διαχωρισμό όσο και στον ορισμό του κάθε τύπου μεμονωμένα. Επιπλέον, η αναγνώριση σύνθετων χωρικών ποιοτήτων ως ομοιοστατικές συστάδες ιδιοτήτων επιτρέπει τη λεκτική περιγραφή, μέσω των επεξηγηματικών ορισμών τους, ποιοτήτων που αρχικά δεν ήταν ρητά περιγράψιμες ούτε άμεσα μετρήσιμες. Η δυνατότητα γλωσσικής περιγραφής των

[41] Για παράδειγμα, η θραυσματικότητα θα μπορούσε να περιγραφεί εν μέρει από υψηλή φρακταλική διάσταση, χαμηλή μέση συνδεσιμότητα περιμέτρου, μεγάλο πλήθος κορυφών, υψηλή h-value και υψηλή ή χαμηλή v-value, ή από οποιοδήποτε υποσύνολο αυτών των χαρακτηριστικών, αλλά όχι με τρόπο απόλυτο και αποκλειστικό. Δηλαδή μπορεί ένας χώρος να μην έχει όλα αυτά τα χαρακτηριστικά και να γίνεται αντιληπτός ως θραυσματικός ή αντίστροφα να έχει όλα αυτά τα χαρακτηριστικά, αλλά για παράδειγμα το συνολικό του σχήμα και το μέγεθός του να είναι τέτοιο που να αμβλύνει τις μικρής κλίμακας διαταραχές της περιμέτρου με αποτέλεσμα να γίνεται αντιληπτός ως ενιαίος.

[42] Ένας επεξηγηματικός ορισμός βασίζεται σε κοινές ιδιότητες οι οποίες συν-εμφανίζονται στα μέλη του είδους λόγω ομοιοστατικών μηχανισμών. Οι επεξηγηματικοί ορισμοί είναι εκ των υστέρων περιγραφές κοινών συνόλων ιδιοτήτων που συνεισφέρουν στη διαμόρφωση προγραμματικών συμπτωμάτων.

[43] Ένας προγραμματικός ορισμός βασίζεται σε παρόμοια αποτελέσματα ή συμπτώματα,- που αποτελούν δευτερογενή-γενικευμένα ή υψηλότερου επιπέδου αποτελέσματα των ιδιοτήτων στις οποίες αναφέρονται οι επεξηγηματικοί ορισμοί. Οι προγραμματικοί είναι εκ των υστέρων αιτήματα συσχετισμού μεταξύ του αιτιακού δυναμικού των πραγμάτων και της απαίτησης για διευθέτηση σε Πίνακες Επιστημονικών Πεδίων.

ποιοτήτων αυτών τις καθιστά διαχειρίσιμες και εργαλειακές, παρέχοντας τους (γλωσσικούς) όρους για να μπορέσουν να συμμετάσχουν σε προβλητέες γενικεύσεις και να αποτελέσουν γενικεύσιμες κατηγορίες.

Αντίστροφα, η διαβάθμιση των βαρών επιτρέπει την εισαγωγή εξωτερικών κριτηρίων, εκφρασμένων συναρτήσει των εσωτερικών κριτηρίων, δηλαδή των ιδιοτήτων. Μια εμπρόθετη ιεράρχηση των μετρήσεων θα οδηγούσε σε νέες ομαδοποιήσεις εντός του δείγματος, μεταβάλλοντας την τυπολογία που έχει προκύψει από την ισότιμη θεώρηση όλων των μετρήσεων.

Συμπεράσματα

Ι. Ανακεφαλαίωση της έρευνας

Η προτεινόμενη προσέγγιση για τη συγκριτική ανάλυση και κατηγοριοποίηση άτυπων χωρικών σχηματισμών βασίζεται στην υπόθεση ότι από τη μέτρηση και το συνδυασμό ενός πλήθους ιδιοτήτων της χωρικής δομής είναι δυνατό να προκύψουν σχηματισμοί αναφερόμενοι σε αφηρημένες ποιότητες, σχετιζόμενες με τη χωρική αντίληψη.

Σύμφωνα με αυτή την υπόθεση, η ταυτόχρονη θεώρηση πολλαπλών ιδιοτήτων ενός συνόλου χωρικών αναπαραστάσεων θα μπορούσε να οδηγήσει στην εμφάνιση τυπικών σχηματισμών που θα αποκάλυπταν σχέσεις μεταξύ των αναπαριστάμενων χώρων με όρους αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς.

Η σχετική θέση των χωρικών ενοτήτων χαρτογραφημένων σε δομές μειωμένων διαστάσεων εξαρτάται από ένα σύνολο ενδογενών συσχετισμών που δεν μπορούν να διακριθούν εκ των υστέρων και να εξεταστούν ως χωριστές συνιστώσες. Αυτοί οι συσχετισμοί δεν εκφράζονται μέσω συγκεκριμένων και περιγράψιμων χαρακτηριστικών, αλλά ως διαβαθμίσεις εγγύτητας που προκύπτουν από τη συνοχή ή τη διασπορά σημείων. Αυτό το σύστημα αφηρημένων συσχετισμών δεν αποκαλύπτει ρητά στοιχεία που σχετίζονται με τη φύση ή τις αιτίες των διαφορετικών βαθμών σύγκλισης ή απόκλισης μεταξύ των αρχικών δεδομένων.

Βάσει των βαθμών συγκέντρωσης ή διασποράς των σημείων, οι εξεταζόμενοι χώροι ομαδοποιούνται σε τύπους, η εκ των υστέρων εξέταση των οποίων δίνει μια αίσθηση συμφωνίας μεταξύ της κατηγοριοποίησης και της αντιληπτικής εντύπωσης των αντίστοιχων αδόμητων χώρων, με όρους ομοιότητας και διαφοράς. Αυτή η διαισθητική επιβεβαίωση μπορεί να αποδοθεί στην αναγνώριση αφηρημένων χωρικών ποιοτήτων εντός κάθε τύπου, όπως για παράδειγμα η ανοιχτότητα, η εσωστρέφεια, η συνδεσιμότητα, η προσβασιμότητα, η κυρτότητα, η θραυσματικότητα, η αυτό-ομοιότητα, η ομοιογένεια, η συμμετρία και η κλίμακα. Αυτές οι ποιοτικές αντιληπτικές ιδιότητες σχετίζονται με τις έννοιες που διαμόρφωσαν τα κριτήρια επιλογής του συγκεκριμένου συνόλου αρχικών χαρακτηριστικών και μεθόδων μέτρησής τους, αλλά δεν σχετίζονται μονοσήμαντα και αποκλειστικά με κάποια μεμονωμένη μέτρηση. Αν και η αρχική επιλογή χαρακτηριστικών βάσει της οποίας πραγματοποιείται η κατηγοριοποίηση βασίζεται σε κριτήρια που αφορούν στον αντιληπτικό χαρακτήρα της φυσικής μορφής και δομής των αδόμητων χώρων, οι εξαγόμενοι τύποι δεν εκφράζουν σαφώς αυτά τα κριτήρια ένα προς ένα. Κατά συνέπεια, οι διαφορετικοί τύποι δεν αντιστοιχούν ρητά σε συγκεκριμένα μορφολογικά, τυπολογικά ή τεχνικά χωρικά χαρακτηριστικά, ούτε μπορούν να αντιστοιχηθούν άμεσα σε κάποια μεμονωμένη μέτρηση.

Με αυτή την έννοια, οι παραγόμενοι χωρικοί τύποι, που αναφέρονται ως γενόσημοι τύποι, εμφανίζουν πολλαπλές ταυτότητες και ανοιχτότητα σε πολλαπλές ερμηνείες, με αποτέλεσμα η περιγραφή τους να απαιτεί την εκ των υστέρων αξιολόγησή τους.

Σε μια προσπάθεια περιγραφής και αξιολόγησης των γενόσημων τύπων, παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στη συμβολή της κάθε ιδιότητας στο διαχωρισμό τους. Παρά το γεγονός ότι οι τύποι προκύπτουν από την ταυτόχρονη και ισότιμη θεώρηση όλων των ιδιοτήτων, μέσα από τους πολλαπλούς αλληλοσυσχετισμούς παράγονται ασύμμετρες τάσεις και τοπικές δομικές διαφοροποιήσεις. Η εξερεύνηση του δυναμικού αυτού πεδίου μέσω της εμπρόθετης εισαγωγής ιεραρχιών στο πολυδιάστατο πεδίο συσχετισμών επιτρέπει την αναγνώριση υποομάδων ιδιοτήτων που συμβάλλουν ισχυρότερα στη συνοχή του κάθε γενόσημου τύπου και επιτρέπουν την περιγραφή

των τύπων με όρους ομοιοστατικών συστάδων ιδιοτήτων. Οι συστάδες αυτές αποτελούν αναδυόμενες δομές που δεν περιγράφονται με τους όρους του συστήματος από το οποίο παράγονται.

Οι δομές αυτές, που δεν ήταν εμφανείς εκ των προτέρων, αναδύονται από την πολλαπλότητα των περιγραφικών διαστάσεων και την ταυτόχρονη θεώρηση των συσχετισμών τους σε ένα πολυδιάστατο σύστημα αναπαράστασης και καθίστανται αναγνωρίσιμες μέσω της διαδικασίας μείωσης διαστάσεων.

II. Συμπεράσματα

Η παρούσα έρευνα αναζητά μια μεθοδολογία για τη συγκρότηση εναλλακτικών προσεγγίσεων της περιγραφής χωρικών ποιοτήτων, βάσει μιας πολλαπλής, κατανεμημένης, αποκεντρωμένης, συσχετιστικής χωρικής αναπαράστασης που φιλοδοξεί να προτείνει μια νέα κατανόηση της έκφρασης χωρικών ιδιοτήτων και συσχετισμών.

Βασικός στόχος είναι η μέτρηση χωρικών ποιοτήτων που είναι αντιληπτικά αναγνωρίσιμες και διαισθητικά διαχειρίσιμες, χωρίς να είναι ρητά περιγράψιμες και άμεσα μετρήσιμες.

Η προτεινόμενη μέθοδος βασίζεται στην πολλαπλή συγχρονική ανάγνωση χωρικών ποιοτήτων βάσει της ταυτόχρονης θεώρησης πλήθους στοιχειωδών περιγραφών και στην αναζήτηση συσχετισμών που δεν είναι εμφανείς εκ των προτέρων.

Όπως σε κάθε κατανεμημένη αναπαράσταση, το νόημα δεν παράγεται από τα μέρη του συστήματος αυτά καθαυτά, αλλά αναδύεται από τους μεταξύ τους συσχετισμούς ως μια εκ των υστέρων αναγνωρίσιμη δομή, ως ένας μακροσκοπικός σχηματισμός η αντιληπτική μορφή του οποίου εξαρτάται από τη θέση θέασης του συστήματος.

Επομένως, η περιγραφική ισχύς του συστήματος δεν έγκειται τόσο στα μέρη του, δηλαδή στα επιμέρους περιγραφικά στοιχεία –τις μετρήσεις, αλλά στην πολλαπλότητά τους και στη δυνατότητα συνολικής και ταυτόχρονης θεώρησης των συσχετισμών τους.

Αν και το σύστημα αποτελείται αποκλειστικά από τις μετρήσεις και τους μεταξύ τους συσχετισμούς η αναδυόμενη δομή δεν ανάγεται στα στοιχεία αυτά, ούτε περιγράφεται από αυτά. Η αναδυόμενη δομή δεν εντοπίζεται στην περιγραφή του συστήματος που την παράγει. Έτσι, αν και τα δομικά στοιχεία είναι μετρήσεις που αναφέρονται σε μετρικά, γεωμετρικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά της φυσικής μορφής και δομής της υλικής διάταξης του χώρου, η αναδυόμενη δομή δεν περιγράφει αποκλειστικά χωρικές εκφάνσεις της ίδιας τάξης με αυτή των μετρήσεων, αλλά «παράγει μη-γεωμετρικές αλλά μάλλον φαινομενικές εκφράσεις του χώρου» (Derix, 2006: 136). Οι αναδυόμενες δομές αποτελούν οργανωτικά σχήματα που ορίζουν το πεδίο εντός του οποίου καθίστανται αναγνωρίσιμες δυνατότητες συσχετισμών, συγκροτώντας νέα επικοινωνιακά και αντιληπτικά πεδία και παρέχοντας εναλλακτικές ερμηνείες της χωρικής αναπαράστασης.

II.i. Τα μέρη: Είδος διαστάσεων

Η προσέγγιση της προτεινόμενης περιγραφικής λογικής με όρους συστήματος, συνεπάγεται ότι το ενδιαφέρον δεν εντοπίζεται τόσο στην ίδια την επιλογή των μετρήσεων που συνιστούν τα δεδομένα, όσο στην οργάνωσή τους σε ένα πολυδιάστατο σύστημα ποσοτικοποιημένων συσχετισμών και στη διαδικασία ανάδυσης από αυτό δομών που δεν ήταν εμφανείς εκ των προτέρων.

Προφανώς η επιλογή των περιγραφικών διαστάσεων ορίζει το πλαίσιο εντός του οποίου συγκροτείται το πεδίο των δυνατών δομικών οργανώσεων, καθώς «το πολλαπλό που αξιολογείται […] είναι πάντα κατασκευάσιμο στη βάση αυτών που έχουν αναγνωρισθεί» (Badiou, 2007: 290). Οι μετρήσεις εκφράζουν το ως προς τι εξετάζεται το εκάστοτε αντικείμενο και με αυτή την έννοια καθορίζουν την ερμηνευτική πρόθεση, το στόχο της περιγραφής, αλλά και το εύρος των πιθανών αποτελεσμάτων.

Ωστόσο είναι δευτερεύουσας σημασίας και παίζουν το ρόλο του παραδείγματος εφαρμογής όσον αφορά στη συγκρότηση μιας μεθοδολογίας για την παραγωγή κατανεμημένων, πολλαπλών χωρικών αναπαραστάσεων και μετρήσεων αναδυόμενων χωρικών ποιοτήτων.

Επομένως η επιλογή των μετρήσεων είναι κρίσιμη στα πλαίσια της λειτουργίας ενός συγκεκριμένου παραδείγματος εφαρμογής, αλλά ελάσσονος σημασίας όσον αφορά στην διατύπωση μιας γενικεύσιμης μεθοδολογίας.

Στην περίπτωση των άτυπων χωρικών σχηματισμών των αστικών κενών στόχος είναι η μέτρηση μη περιγράψιμων χωρικών ποιοτήτων, που βασίζονται σε μη-διαλεκτικά, διατακτικά χαρακτηριστικά. Στα πλαίσια αυτά, επιλέχθηκαν διαστάσεις καθαρά διατακτικές, με την έννοια ότι αναφέρονται στη διάταξη του υλικού που παράγει τον χώρο, και που αποτελεί την «πρώτη ύλη» του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Τα διατακτικά αυτά χαρακτηριστικά περιορίζονται στην έκφρασή τους σε αφαιρετικά περιγράμματα κατόψεων. Πρόκειται δηλαδή για ένα πολύ εστιασμένο και μερικό φάσμα χωρικών ιδιοτήτων, που παρέχουν μια περιορισμένη αλλά στοχευμένη περιγραφή, καθώς σχετίζονται με πρωτογενείς αντιληπτικές ποιότητες διαφορετικών τάξεων και εξυπηρετούν το σκοπό μιας πειραματικής δοκιμής της μεθόδου. Προφανώς, όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή[1], το σύνολο των μετρήσεων που συνιστούν τη βάση δεδομένων είναι ανοιχτό και μη-συνολίσιμο και μπορεί να παραλάβει ετερογενείς ή και ασύμβατες ιδιότητες και χωρικές παραμέτρους, αρκεί να βρεθεί τρόπος να εκφραστούν αριθμητικά, ακόμα και σε μια ονομαστική κλίμακα[2].

Η επιλογή των μετρήσεων αποτελεί μια σημαντική μείωση διαστάσεων της πολυδιάστατης χωρικής αντίληψης, καθορίζοντας το «οπτικό πεδίο» εντός του οποίου είναι αντιληπτά τα εξεταζόμενα αντικείμενα. Είναι μια ερμηνευτική πράξη που προσδιορίζει το εύρος των δυνατών οργανώσεων των δεδομένων και με αυτή την έννοια πλαισιώνει την ανάδυση σχηματισμών συσχετισμών.

II.ii. Το σύνολο: Πολλαπλότητα συσχετισμών

Ως προς την ίδια τη διαδικασία περιγραφής, συγκριτικής ανάλυσης και κατηγοριοποίησης χωρικών δομών ως μεθοδολογία παραγωγής πολλαπλών χωρικών αναπαραστάσεων και πολλαπλής μέτρησης χωρικών ποιοτήτων, το ενδιαφέρον μετατοπίζεται από το δομικό στοιχείο (τις επιμέρους μετρήσεις), στους μεταξύ τους συσχετισμούς, σε επίπεδο συστήματος. Κάθε μεμονωμένος αδόμητος χώρος ή κάθε ατομική μέτρηση δεν έχει νόημα, παρά μόνο σε συσχετισμό με το σύνολο των δεδομένων. Πρόκειται για ένα συγκριτικό σύστημα, η περιγραφική ισχύς του οποίου έγκειται σε μια συσχετιστική λογική ταυτόχρονης θεώρησης πολλαπλών στοιχείων και στη δυνατότητα ανάδυσης από αυτήν τυπικών σχηματισμών σχέσεων που δεν είναι εμφανείς εκ των προτέρων.

[1] Βλ. κεφ. IV.ii.1. Πλήθος διαστάσεων: Αδυναμία εξαντλητικής απαρίθμησης.

[2] Οι μετρήσεις δεν αναφέρονται υποχρεωτικά σε διατακτικά χαρακτηριστικά του χώρου, αλλά μπορεί να εκφράζουν κοινωνικές, πολιτισμικές, περιβαλλοντικές, οικονομικές, ακόμα και ψυχολογικές παραμέτρους που επηρεάζουν τη χωρική αντίληψη, αρκεί να μπορούν να κωδικοποιηθούν αριθμητικά. Για τους τύπους των κλιμάκων βλ. κεφ. 2.2.4. Κλίμακες δεδομένων.

II.iii. Πολλαπλότητα περιγραφικών διαστάσεων

Η πολλαπλότητα της αναπαράστασης δεν είναι κάτι καινούργιο. Κάθε χωρική αναπαράσταση εμφανίζει πολλαπλότητα, καθώς συνήθως ενσωματώνει ένα εύρος πληροφορίας. Ωστόσο στις περισσότερες περιπτώσεις το εύρος και το είδος της πληροφορίας που μπορεί να αποδώσει ένας τύπος αναπαράστασης είναι πεπερασμένο και καθορισμένο από τα εκφραστικά της μέσα. Ο εμπλουτισμός με περαιτέρω πληροφορία γίνεται ως επί το πλείστον με το συνδυασμό διαφορετικών αναπαραστάσεων[3] ή και με την αλληλεπίθεση επιμέρους περιγραφών σε επάλληλα επίπεδα[4]. Τέτοιου τύπου αναπαραστάσεις παρέχουν τη δυνατότητα απόδοσης πολλαπλών ιδιοτήτων διαφορετικών τάξεων, αλλά δεν τις ενσωματώνουν σε μια συνεχή, ενιαία αναπαραστατική δομή και γρήγορα η δυνατότητα περαιτέρω εμπλουτισμού τους χωρίς να διακυβεύεται η αναγνωσιμότητα εξαντλείται.

Η πρωτοτυπία της προτεινόμενης μεθόδου έγκειται στην ίδια την πολυδιάστατη δομή του αναπαραστατικού χώρου, αλλά και στη διαδικασία ανάγνωσης της δομής των δεδομένων εντός του πολυδιάστατου αναπαραστατικού χώρου, μέσα από διαδοχικές επεξεργασίες και μεταγραφές.

II.iv. Πολυδιάστατος αναπαραστατικός χώρος

Δεν πρόκειται για μια στιβαδωμένη δομή, όπου κάθε περιγραφή αποτελεί ένα διακριτό επίπεδο [layer] και στην οποία η πολλαπλότητα βασίζεται στην αλληλεπίθεση των επιμέρους επιπέδων και στην εκ των υστέρων προσπάθεια αναγνώρισης συνδέσεων μεταξύ τους, αλλά για μια πολυδιάστατη δικτυακή δομή, όπου όλες οι περιγραφικές διαστάσεις εμφανίζονται συγχρονικά και συσχετίζονται μεταξύ τους άμεσα, σε έναν ενιαίο και συνεχή μαθηματικό χώρο πολλών διαστάσεων.

Στον πολυδιάστατο αυτό χώρο, κάθε περιγραφική διάσταση αντιστοιχεί σε μια Καρτεσιανή διάσταση και κάθε διάνυσμα ιδιοτήτων, που αντιπροσωπεύει ένα διακριτό αντικείμενο (αδόμητο χώρο), αναπαρίσταται ως μοναδικά ορισμένο πολυδιάστατο σημείο. Έτσι, η θέση κάθε σημείου αντιπροσωπεύει όλες τις μετρήσεις ταυτόχρονα και ισότιμα, ενώ οι αποστάσεις μεταξύ σημείων εκφράζουν τους συσχετισμούς όλων των σημείων ως προς όλα τα άλλα, ως προς το πλήθος των μετρήσεων ταυτόχρονα. Πρόκειται δηλαδή για μια αναπαράσταση που ενσωματώνει με τρόπο συνεκτικό τις περιγραφικές διαστάσεις και τους συσχετισμούς μεταξύ δεδομένων σε ένα ενιαίο, συνεχές και ανοιχτό σύστημα.

Με τον τρόπο αυτό παρακάμπτονται οι δυσκολίες και οι περιορισμοί που εμφανίζουν τα στιβαδωμένα συστήματα και που προκύπτουν από την ανάλυσή τους σε επιμέρους επίπεδα. Βασικά προβλήματα των αναπαραστάσεων που βασίζονται στην αλληλεπίθεση διακριτών επιπέδων οφείλονται στην ανάγκη κατάτμησης της δομής σε επιμέρους τμήματα, τα οποία είναι ασυσχέτιστα μεταξύ τους. Οι συσχετισμοί μεταξύ επιπέδων πρέπει να εξαχθούν εκ των υστέρων και συνήθως υπό τον περιορισμό μιας γραμμικής θεώρησης των επιπέδων ανα διαδοχικά ζεύγη. Επιπλέον, προκειμένου να αναγνωριστούν συσχετισμοί, τα επιμέρους επίπεδα πρέπει να είναι συγκρίσιμα και συμβατά μεταξύ τους ως προς το είδος, την κλίμακα και την απόδοση των δεδομένων που

[3] Για παράδειγμα σε μία κάτοψη μπορεί να προστεθεί πληροφορία με τη μορφή κειμένου, χρώματος, υφών ή και με την αντιπαραβολή εντός της ίδιας αναπαράστασης άλλων τύπων σχεδίων, φωτογραφιών κ.λ.π.

[4] Λογική των layers, μέσα από την αλληλεπίθεση των οποίων επιδιώκεται η αναγνώριση συσχετισμών μεταξύ των επιπέδων πληροφορίας.

αναπαριστούν, ενώ το πλήθος των επιπέδων που είναι διαχειρίσιμα και παράγουν μια επικονωνίσιμη αναπαράσταση είναι περιορισμένο.

Αντίθετα, στην προτεινόμενη πολυδιάστατη αναπαράσταση, ένα μεγάλο πλήθος ετερογενών ή και ασύμβατων μεταξύ τους περιγραφών εντάσσονται σε ένα ενιαίο σύστημα στο οποίο οι συσχετισμοί προσδιορίζονται ταυτόχρονα και αποδίδονται με τρόπο συνεκτικό και συγκρίσιμο, εκφράζοντας σχετικούς βαθμούς ομοιότητας και διαφοράς των αναπαριστάμενων στοιχείων ως προς όλες τις διαστάσεις ταυτόχρονα. Η πολλαπλότητα είναι ενσωματωμένη στην αναπαράσταση και δεν απαιτούνται επιπλέον χειρισμοί για την απόδοση και τη διαχείρισή της.

Αυτού του τύπου η πολυδιάστατη αναπαράσταση, όπου ένα πλήθους δεδομένων αναπαρίσταται μέσω πολυδιάστατων διανυσμάτων ιδιοτήτων, είναι πολύ κοινή στην Στατιστική Ανάλυση δεδομένων και στην Αναγνώριση Προτύπων, αλλά όχι και ως χωρική αναπαράσταση, καθώς δεν παρέχει άμεσα οπτικοποιήσιμα και αντιληπτικά κατανοητά αποτελέσματα. Είναι πολύ χρήσιμη στην εξαγωγή στατιστικών συμπερασμάτων σχετικά με την αριθμητική έκφραση στοιχείων της δομής πολυδιάστατων δεδομένων ως προς πολλαπλά κριτήρια, αλλά η αναγωγή της σε περιγραφικό εργαλείο απαιτεί τη συνδυαστική ερμηνεία των αριθμητικών αποτελεσμάτων και την οργάνωσή τους σε μια νέα αναπαραστατική δομή. Βάσει αυτών των ιδιοτήτων και περιορισμών, η πολυδιάστατη αναπαράσταση χρησιμοποιείται στην προτεινόμενη μέθοδο ως ένα ενδιάμεσο στάδιο σε μια αλληλουχία αλγοριθμικών επεξεργασιών και ερμηνειών των αποτελεσμάτων τους, που στοχεύουν στην αναγνώριση αναδυόμενων δομών συσχετισμών.

II.v. Μείωση διαστάσεων

Για την αναγωγή του πολυδιάστατου αναπαραστατικού συστήματος σε ένα οπτικοποιήσιμο και αντιληπτικά κατανοητό σύστημα, εφαρμόζονται διαφορετικές μέθοδοι μείωσης διαστάσεων. Η μείωση διαστάσεων είναι ουσιαστικά μια προβολή του πολυδιάστατου χώρου σε χώρο λιγότερων διαστάσεων και ως προβολή, το αποτέλεσμά της εξαρτάται από τον τρόπο και το χώρο προβολής[5]. Διαφορετικές προβολές αποτελούν διαφορετικές αναπαραστάσεις της ίδιας δομής και αποκαλύπτουν διαφορετικούς συσχετισμούς. Επομένως «η επιλογή μιας μεθόδου είναι μια προκαταβολική κίνηση προς κάποιο συγκεκριμένο σύνολο λύσεων» (Cilliers, 1998: 23) και αποτελεί ερμηνευτική πράξη προσδιορισμού ενός σημείου θέασης της πολυδιάστατης δομής.

II.vi. Συσταδοποίηση

Μέσα από τη διαδικασία μείωσης διαστάσεων καθίσταται δυνατή η επικοινωνήσιμη οπτικοποίηση του συστήματος συσχετισμών μεταξύ των πολυδιάστατων δεδομένων και η περαιτέρω αναγνώριση τυπικών σχηματισμών συσχετισμών [patterns], με την εφαρμογή μιας διαδικασίας συσταδοποίησης. Με τον τρόπο αυτό αποκαλύπτονται δομές εντός των δεδομένων που δεν ήταν εμφανείς εκ των προτέρων. Οι ομαδοποιήσεις που προκύπτουν δεν ανάγονται στους όρους από τους οποίους παράγονται και με αυτή την έννοια αποτελούν μια πρώτου επιπέδου αναδυόμενη οργανωτική δομή.

[5] Μια οικεία διαδικασία μείωσης διαστάσεων είναι το προβολικό σχέδιο με το οποίο η τρισδιάστατη γεωμετρία προβάλλεται σε δύο διαστάσεις. Το είδος της πληροφορίας που αποδίδεται εξαρτάται από τον τρόπο προβολής, η οποία μπορεί να είναι για παράδειγμα ορθή, προοπτική, ή ισομετρική και από τον χώρο προβολής, που μπορεί να είναι για παράδειγμα ένα οριζόντιο επίπεδο (κάτοψη), ένα κατακόρυφο επίπεδο (τομή, όψη), ένα επίπεδο υπό γωνία ως προς τους άξονες x, y, z (αξονομετρικό, προοπτικό) ή μια καμπύλη επιφάνεια (σφαιρική προβολή, προβολή σε κωνικές τομές).

II.vii. Ιεραρχίες

Οι νέες αυτές δομές εκφράζουν ασύμμετρες τάσεις εντός των δεδομένων και αποκαλύπτουν τη δυναμική των συσχετισμών που αναπτύσσονται στον πολυδιάστατο χώρο ιδιοτήτων. Στον συνεχή μαθηματικό χώρο που περιγράφεται από την ταυτόχρονη και ισότιμη θεώρηση όλων των δεδομένων, αναπτύσσονται δυναμικά πεδία και διαφορές έντασης συσχετισμών, που οδηγούν στην ανάδυση των εντοπιζόμενων ομαδοποιήσεων. Με αυτή την έννοια οι γενόσημοι τύποι που προκύπτουν από τη διαδικασία συσταδοποίησης αποτελούν ενδείξεις για τον εντοπισμό διαφοροποιήσεων και εντάσεων εντός του πολυδιάστατου χώρου. Οι συστάδες χρησιμοποιούνται ως εσωτερικό κριτήριο για την εισαγωγή ιεραρχιών και την εμπρόθετη παραμόρφωση του πολυδιάστατου χώρου. Με την ανάθεση διαφορετικών βαρών στις επιμέρους ιδιότητες, μεταβάλλεται κατά διαφορετικό συντελεστή η κλίμακα του κάθε άξονα του πολυδιάστατου χώρου οδηγώντας σε μια ανισότροπη παραμόρφωσή του. Η παραμόρφωση αυτή προκαλεί αναδιάταξη των συσχετισμών και επιτρέπει την ανάδυση νέων οργανωτικών δομών και μακροσκοπικών σχηματισμών που δεν περιγράφονται από το ίδιο το σύστημα που τις παράγει. Οι δομές αυτές, που προσεγγίζονται με όρους Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων είναι αναδυόμενες δομές, που δεν μπορούν να παραχθούν παρά μόνο από τον αλληλοσυσχετισμό πολλαπλών στοιχείων εντός ενός συνολικού συστήματος και δεν μπορούν να αναγνωριστούν παρά μόνο εκ των υστέρων, ως μακροσκοπικοί σχηματισμοί που εκφράζουν τη συμπεριφορά του συστήματος.

Η ανάθεση ιεραρχιών και η παραμόρφωση του πολυδιάστατου χώρου καθορίζει την οπτική υπό την οποία αποκαλύπτονται οι αναδυόμενες δομές και οριοθετεί τους όρους εμφάνισης και αναγνώρισής τους.

Η εμφάνιση αναδυόμενων δομών εξαρτάται από τη δομή του πολυδιάστατου αναπαραστατικού συστήματος, αλλά η αναγνώριση και η ερμηνεία τους προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλων εννοιολογικών σχημάτων και περιγραφικών όρων. «Ένας νέος σχηματισμός θα αναγνωριστεί μόνο από έναν παρατηρητή ο οποίος κατέχει, ή αναπτύσσει, ένα κατάλληλο εύρος νοητικών σχημάτων, αφηρημένων ή άλλων, και ο οποίος ενεργά αναζητάει όχι να επιβεβαιώσει το συνηθισμένο αλλά να εικάσει τη δυνατότητα» (March & Steadman, 1971: 30).

II.viii. Συνδυασμός υφιστάμενων μεθόδων

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελεί μια διαδοχή αλγοριθμικών διαδικασιών επεξεργασίας δεδομένων, που οργανώνονται σε διακριτά στάδια. Κάθε στάδιο μπορεί να περιλαμβάνει μία ή περισσότερες τεχνικές και χρησιμοποιεί ως εισερχόμενα δεδομένα τα εξερχόμενα του προηγούμενου σταδίου. Πρόκειται για έναν συνδυασμό υφιστάμενων τεχνικών και αλγορίθμων που προέρχονται από διαφορετικά επιστημονικά πεδία, οι περισσότερες από τις οποίες είναι αρκετά διαδεδομένες, δοκιμασμένες και τεκμηριωμένες. Προκειμένου να γίνουν συμβατές μεταξύ τους, να ενταχθούν σε μια συνεχή υπολογιστική διαδικασία και να προσαρμοστούν στις ιδιαιτερότητες και τις προδιαγραφές της συγκεκριμένης εφαρμογής, όπου ήταν δυνατό δεν χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα λογισμικά, αλλά οι αλγόριθμοι προσαρμόστηκαν και ξαναγράφτηκαν[6] βάσει των περιγραφών τους

[6] Οι αλγόριθμοι που σχετίζονται με δυναμικές προσομοιώσεις γράφτηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού Processing (http://processing.org/), ενώ όσοι βασίζονται σε γεωμετρικούς μετασχηματισμούς γράφτηκαν σε Visual Basic for Applications εντός περιβάλλοντος CAD. Το μόνο εμπορικό λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το πακέτο Στατιστικής Ανάλυσης JMP (http://www.jmp.com/) για την εφαρμογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών, ενώ για την Ανάλυση Συστάδων βάσει υπολογισμού της δομοστοιχείωσης και για την μέτρηση χαρακτηριστικών γράφων χρησιμοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό Gephi (https://gephi.org/).

στην αντίστοιχη βιβλιογραφία. Η διαδικασία αυτή ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη τόσο για την επιλογή και ουσιαστική κατανόηση των αλγορίθμων όσο και για την προσαρμογή τους στις ανάγκες τις εφαρμογής.

Από τεχνικής πλευράς, η παρούσα έρευνα δεν προτείνει κάποια νέα αλγοριθμική τεχνική ή μέθοδο ανάλυσης δεδομένων, αλλά η πρωτοτυπία της έγκειται στο συνδυασμό, τη σειρά εφαρμογής, τη σύνδεση σε μια ενιαία διαδικασία και την ερμηνεία ενός ετερογενούς συνόλου υφιστάμενων μεθόδων που προέρχονται από διαφορετικές περιοχές και αναφέρονται σε διαφορετικά πλαίσια και πεδία εφαρμογής. Μέθοδοι προερχόμενες από τη Χωρική Ανάλυση, την Ανάλυση Σχημάτων, τη Γεωμετρία, τη Στατιστική Ανάλυση, την Τεχνητή Νοημοσύνη, την Αναγνώριση Προτύπων, την προσομοίωση Φυσικής, την προσομοίωση Πολυπρακτορικών Συστημάτων και τη θεωρία Γράφων αποσπώνται από το αρχικό πλαίσιο ανάπτυξης και εφαρμογής τους και μεταγράφονται σε ένα άλλο πλαίσιο όπου οργανώνονται σε μια διαδοχή μετασχηματισμών δεδομένων που συνιστά μια ενιαία διαδικασία.

Πρόκειται για μια υβριδική μέθοδο, στα «σύνορα μεταξύ γλώσσας, μαθηματικών και αναλυτικών μεθόδων αναπαράστασης» (Πεπονής, 2003: 214), για μια μέθοδο που επιχειρεί τη μετάβαση από τις μαθηματικές στις προσεγγιστικές, ερμηνευτικές και αμφίσημες δραστικές [effective] διαστάσεις[7] των χωρικών δομών μέσω της «διαπραγμάτευσης αυτών των συνόρων, τη συνδιαλλαγή ανάμεσα στην άφατη διαίσθηση της μορφής, το λόγο και τη μαθηματική διατύπωση» (Πεπονής, 2003: 214).

II.ix. Μεταγραφές μεταξύ αναπαραστατικών χώρων διαφορετικού πλήθους διαστάσεων

Η διαδικασία αυτή επιδιώκει τη σταδιακή αποκάλυψη δομών, που δεν είναι δυνατό να εντοπιστούν εκ των προτέρων, μέσα από διαδοχικές μεταγραφές των δεδομένων μεταξύ χώρων διαφορετικού πλήθους διαστάσεων. Από τη δισδιάστατη αναπαράσταση της κάτοψης, περνώντας μέσα από πολλαπλές περιγραφικές διαστάσεις και παλινδρομώντας μεταξύ πολυδιάστατων χώρων και δισδιάστατων ή τρισδιάστατων προβολών τους, καταλήγει πάλι σε δισδιάστατες αναπαραστάσεις.

Συγκεκριμένα,

- Από τον αμέτρητων διαστάσεων φυσικό χώρο πραγματοποιείται η μετάβαση στη δισδιάστατη αναπαράστασή του σε κάτοψη.
- Από τη δισδιάστατη κάτοψη εξάγονται μετρήσεις ν χαρακτηριστικών, κάθε μία από τις οποίες αντιπροσωπεύει μία περιγραφική διάσταση.
- Οι ν μονοδιάστατες περιγραφές οργανώνονται σε μία ν-διάστατη αναπαράσταση.
- Με την εφαρμογή μεθόδων μείωσης διαστάσεων, ο ν-διάστατος αναπαραστατικός χώρος προβάλλεται σε δύο ή τρεις διαστάσεις.
- Από τα δισδιάστατα ή τρισδιάστατα νέφη σημείων παράγονται δισδιάστατοι γράφοι ορίων, βάσει των οποίων πραγματοποιείται η συσταδοποίηση.
- Οι δισδιάστατες συστάδες αποκαλύπτουν ασύμμετρες τάσεις εντός των δεδομένων οι οποίες οδηγούν στην εφαρμογή ιεραρχιών που παραμορφώνουν τον πολυδιάστατο χώρο ανισότροπα, μεταβάλλοντας τις διαστάσεις του ως προς την κλίμακά τους.

[7] Βλ. και κεφ. IV.i.2. Ποσοτικοποίηση περιγραφικών διαστάσεων.

- Η ανακατανομή των συσχετισμών στον παραμορφωμένο πολυδιάστατο χώρο οδηγεί στην ανάδυση ομοιοστατικών συστάδων ιδιοτήτων, οι οποίες αναγνωρίζονται και περιγράφονται στο δισδιάστατο χώρο και αποδίδονται με τη μορφή δισδιάστατου γράφου, πίνακα ή ραβδογράμματος.

Κάθε στάδιο προϋποθέτει τα προηγούμενα. Η τελική ανάδυση σχηματισμών και οργανωτικών δομών με όρους ομοιοστατικών συστάδων ιδιοτήτων, οι οποίες δεν ήταν παρούσες εκ των προτέρων, προϋποθέτει την ταυτόχρονη θεώρηση όλων των περιγραφικών διαστάσεων και ενεργοποιείται μέσα από τη διαδικασία μείωσης διαστάσεων.

II.x. Επίλογος

Η προτεινόμενη μέθοδος στοχεύει σε μια χωρική αναπαράσταση και περιγραφή χωρικών ποιοτήτων μέσω της διάκρισης αναδυόμενων δομών σε ένα πεδίο αυτοοργάνωσης πολλαπλών περιγραφικών στοιχείων που αλληλεπιδρούν ταυτόχρονα σε χώρο πολλαπλών διαστάσεων, με όρους συστήματος.

Αποτελεί μια επιπλέον χωρική αναπαράσταση, ένα σύστημα μετρήσεων χωρικών ποιοτήτων που μπορεί να προστεθεί στα υφιστάμενα εργαλεία για την κατανόηση και το σχεδιασμό του χώρου.

Υιοθετώντας τη διατύπωση του Πεπονή (2003: 214), «κριτήριο της επιτυχίας είναι το αν η φαντασία μπορεί εκ των υστέρων να εστιαστεί καθαρότερα και γονιμότερα σε πράγματα που προηγουμένως δεν έβρισκαν τη ρητή τους διατύπωση στη γλώσσα».

Πιθανές προεκτάσεις και εφαρμογές

Η προτεινόμενη μεθοδολογία έχει ως στόχο την ανάπτυξη ενός εργαλείου περιγραφής του μη περιγράψιμου, μέσω της διάκρισης αναδυόμενων δομών σε ένα πεδίο αυτοοργάνωσης πολλαπλών περιγραφικών στοιχείων που αλληλεπιδρούν ταυτόχρονα σε χώρο πολλαπλών διαστάσεων. Πρόκειται για ένα ανοιχτό και επεκτάσιμο, σπονδυλωτό εργαλείο που μπορεί να προσαρμοστεί σε διαφορετικές εφαρμογές. Η προτεινόμενη περιγραφή του χώρου, επιδιώκοντας την κατανόησή του ως δυναμικό πεδίο μετασχηματισμών και διευκολύνοντας τη διαχείριση της πολλαπλότητάς του, θα μπορούσε να λειτουργήσει ως υποστηρικτικό εργαλείο για το σχεδιασμό.

Έτσι, η μεθοδολογία αυτή, πέρα από αναλυτικό εργαλείο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλατφόρμα υποστήριξης σε διαφορετικά στάδια της σχεδιαστικής διαδικασίας. Ενδεικτικά, θα μπορούσε να συμβάλει στα πρώτα στάδια του σχεδιασμού, παρέχοντας τη δυνατότητα παραμετρικής διατύπωσης του σχεδιαστικού προβλήματος, να αποτελέσει μια κοινή πλατφόρμα για συμμετοχικό σχεδιασμό, να υποστηρίξει την προγραμματική / σχεδιαστική διαχείριση των αντιφατικών και ανιεράρχητων συμφερόντων της πόλης, να συμβάλει στην αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων σε σύγκριση μεταξύ τους ή με δείγμα υφιστάμενων παραδειγμάτων που εμφανίζουν επιθυμητές ποιότητες καθώς και να χρησιμοποιηθεί ως μέσο βελτιστοποίησης, μέσω της αξιολόγησης διαφορετικών επιλύσεων βάσει της διατύπωσης συγκεκριμένων στόχων και της αντίστοιχης ιεράρχησης των επιμέρους σχεδιαστικών παραμέτρων.

I. Χωρική ανάλυση

Στο πεδίο της χωρικής ανάλυσης, η προτεινόμενη μεθοδολογία θα μπορούσε να βελτιωθεί και να επεκταθεί ούτως ώστε να γίνει πιο εύχρηστη, ευέλικτη και λειτουργική.

I.i. Επέκταση λειτουργικότητας του αναλυτικού εργαλείου

Στην προτεινόμενη εφαρμογή για την περιγραφή, συγκριτική ανάλυση και κατηγοριοποίηση χωρικών σχηματισμών θα μπορούσαν να γίνουν κάποιες άμεσα εφαρμόσιμες βελτιώσεις ως προς την αυτοματοποίηση των διαδικασιών και την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων.

Προκειμένου η διαδικασία να γίνει ευκολότερα εφαρμόσιμη και να απαιτεί λιγότερες παρεμβάσεις και προσαρμογές στις ανάγκες της κάθε υλοποίησης, προϋποθέτει την επέκταση της αυτοματοποίησής της. Κάθε επιμέρους στάδιο είναι ήδη αυτοματοποιημένο, καθώς βασίζεται σε ειδικά προσαρμοσμένες προγραμματιστικές ρουτίνες και αλγορίθμους, αλλά το πέρασμα από το ένα στάδιο στο επόμενο απαιτεί στις περισσότερες περιπτώσεις μετατροπές στη μορφή των εξερχομένων του ενός σταδίου προκειμένου να μπορέσουν να τροφοδοτηθούν ως εισερχόμενα στο επόμενο στάδιο. Αυτό προκύπτει κυρίως από τον πειραματικό χαρακτήρα της εφαρμογής και τη σταδιακή της ανάπτυξη που προέκυψε βάσει δοκιμών και πειραματισμών με επιμέρους τεχνικές και μεθόδους. Η απαίτηση παρέμβασης μεταξύ των σταδίων θα μπορούσε να περιοριστεί με τη βελτίωση της αυτοματοποίησης του περάσματος από το ένα στάδιο στο επόμενο. Ωστόσο, η διάκριση μεταξύ σταδίων θα μπορούσε να είναι χρήσιμη για τη διατήρηση της δυνατότητας επιλεκτικής εφαρμογής των επιμέρους φάσεων, στη λογική δημιουργίας μιας εργαλειοθήκης, από την οποία μπορεί κανείς να επιλέξει επιμέρους υποσύνολα εφαρμογών, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες και προδιαγραφές.

Ανεξάρτητα από τη συνέχεια και την αυτοματοποίηση της συνολικής διαδικασίας, υπάρχουν κάποιες εργασίες που μάλλον δεν μπορούν να αυτοματοποιηθούν πλήρως, όπως για παράδειγμα η σχολαστική προετοιμασία και μορφοποίηση του δείγματος των κατόψεων, καθώς και όσες διαδικασίες απαιτούν ρύθμιση παραμέτρων και επιλογή μεταξύ εναλλακτικών βάσει προθέσεων ή εμπειρικών παρατηρήσεων.

Άλλη μια προσαρμογή προς την κατεύθυνση της αυτοματοποίησης είναι και η διαδικασία που αναφέρεται στην εφαρμογή κατάλληλων σχηματισμών βαρών για την περιγραφή των τύπων ως Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων. Όπως ήδη αναφέρθηκε στο σχετικό κεφάλαιο [1], για το σκοπό αυτό θα μπορούσε να συνταχθεί ένας γενετικός αλγόριθμος για την αναζήτηση των συνδυασμών βαρών που αποδίδουν πλησιέστερα τον κάθε τύπο.

Ως προς την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και τη διαχείριση του τρόπου απόδοσης της πληροφορίας, θα ήταν χρήσιμη η σύνδεση με Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών [Geographic Information System - GIS], το οποίο θα παρείχε άμεση οπτικοποίηση με διαφορετικές τρόπους γραφικής απόδοσης[2], καθώς και τη δυνατότητα επιλεκτικής εμφάνισης διαφορετικών κατηγοριών μεταδεδομένων [metadata], ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις και τους ερευνητικούς στόχους της κάθε εφαρμογής ή της κάθε ανάγνωσης εντός της ίδιας εφαρμογής.

I.ii. Αναζήτηση συσχέτισης χωρικών τύπων με μη χωρικά στοιχεία

Βασική υπόθεση στην προσέγγιση του χώρου ως δυναμικού πεδίου σχέσεων είναι ο αμοιβαίος προσδιορισμός χωρικών διατάξεων και ανθρώπινων δράσεων.

Σε μια κατεύθυνση διερεύνησης της συσχέτισης μεταξύ της χωρικής δομής ως υλικής διάταξης και πρακτικών κατοίκησης και οικειοποίησης του χώρου, θα μπορούσε να επιχειρηθεί μια αντιπαραβολή των χωρικών τύπων με δεδομένα που αναφέρονται στη χρήση του χώρου, όπως οι υφιστάμενες λειτουργίες, δημογραφικά μεγέθη, πληθυσμιακά χαρακτηριστικά, οικονομικά μεγέθη, περιβαλλοντικά στοιχεία.

Η αναζήτηση επαναλαμβανόμενων σχηματισμών συσχέτισης μεταξύ της χωρικής δομής και της χρήσης της θα μπορούσε να υποστηριχθεί από την εισαγωγή των σχετικών στοιχείων στο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών που προαναφέρθηκε, με τη μορφή metadata, ούτως ώστε να μπορεί να συγκριθεί η κατανομή των μεγεθών αυτών σε σχέση με τη χωρική κατανομή των τύπων. Ωστόσο αυτή η προσέγγιση ακολουθεί μια λογική επάλληλων επιπέδων, που περιορίζει τη δυνατότητα ανάδυσης πολλαπλών συσχετισμών.

Για το σκοπό αυτό, θα μπορούσε να εφαρμοστεί στα δεδομένα που αναφέρονται σε πρακτικές χρήσης του χώρου μια λογική πολυδιάστατης αναπαράστασης και συσταδοποίησης, αντίστοιχη με αυτή που εφαρμόστηκε στα χωρικά δεδομένα. Αυτό θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί με τη χρήση της ίδιας ακριβώς μεθοδολογίας, αποδίδοντας απλά τα νέα δεδομένα ως πολυδιάστατα διανύσματα ιδιοτήτων χρήσης πλέον και εισάγοντάς τα στο ήδη διαμορφωμένο σύστημα συγκριτικής ανάλυσης

[1] Βλ. κεφ. 6.3.7.

[2] Για παράδειγμα, με την εισαγωγή των αποτελεσμάτων σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών, θα μπορούσαν οι τύποι να εμφανίζονται άμεσα στο χάρτη της περιοχής, σε γράφο ή σε πίνακες, ενώ θα μπορούσαν να εμφανίζονται κατ' επιλογήν οι αριθμητικές τιμές των ιδιοτήτων των επιμέρους χώρων, οι κωδικοί τους, οι σχέσεις τους με άλλους επιλεγμένους χώρους ή τύπους και άλλες πληροφορίες που θα διευκόλυναν την αναζήτηση επαναλαμβανόμενων τυπικών δομών σχέσεων σε διαφορετικά επίπεδα συσχετισμών, σε ένα ενιαίο σύστημα διαχείρισης και οπτικοποίησης των δεδομένων.

και κατηγοριοποίησης. Μετά την εξαγωγή των ομαδοποιήσεων πρακτικών χρήσης του χώρου, θα μπορούσε να επιχειρηθεί η σύγκριση μεταξύ των δύο συσταδοποιήσεων (χωρικοί τύποι και τύποι πρακτικών χρήσης) προκειμένου να αποκαλυφθούν τυχόν επαναλαμβανόμενοι συσχετισμοί. Ο εντοπισμός πιθανών συσχετίσεων δεν θα σήμαινε απαραίτητα την ύπαρξη άμεσων σχέσεων αιτιότητας μεταξύ δομής και χρήσης, αλλά θα υποστήριζε την υπόθεση του συμπτωματικού ή ενδεχόμενου [contingent] αλληλοπροσδιορισμού τους.

II. Υποστήριξη της σχεδιαστικής διαδικασίας

II.i. Κατανομή νέων χρήσεων: Αντιστοίχιση γενόσημων λειτουργικών τύπων με γενόσημους χωρικούς τύπους

Όπως ήδη αναφέρθηκε στη εισαγωγή[3], τμήμα της εφαρμογής για την κατηγοριοποίηση των αστικών κενών της περιοχής των Πατησίων αναπτύχθηκε στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Διερεύνηση Στρατηγικών για τη Δικτύωση των Αστικών Παρεμβάσεων στο Μητροπολιτικό Κέντρο Αθηνών» (Παρμενίδης, 2014, 2013α, 2013β), με στόχο τη χρήση της προκύπτουσας κατηγοριοποίησης για την ανάθεση πιθανών τύπων χρήσεων σε κάθε χωρικό τύπο[4].

II.i.1. Τύποι χρήσεων

Οι προτεινόμενες από το ερευνητικό πρόγραμμα χρήσεις είναι ενδεικτικές και αναφέρονται κυρίως σε χαμηλού κόστους, άμεσα εφαρμόσιμες και αναστρέψιμες παρεμβάσεις που εστιάζουν σε συμμετοχικές διαδικασίες σχεδιασμού, υλοποίησης και χρήσης, προωθώντας το δημόσιο διάλογο και την εμπλοκή των τοπικών κοινοτήτων και συλλογικοτήτων (Laskari, 2015: 394). Οι άκτιστες αυτές χρήσεις διακρίνονται σε οκτώ κατηγορίες δραστηριοτήτων[5]:

- Χώροι πρασίνου, που περιλαμβάνουν πάρκα τσέπης, παιδικές χαρές, αστικές καλλιέργειες.
- Υπαίθριο εμπόριο, με λαϊκή αγορά και παζάρι χρησιμοποιημένων αντικειμένων.
- Υπαίθριες κοινωνικές δομές, που θα μπορούσαν να υποστηρίζουν ανταλλακτικό παζάρι, υπαίθριες διεθνείς συλλογικές κουζίνες, αυτοκινούμενη ιατρική μονάδα, αυτοκινούμενη βιβλιοθήκη.
- Εκπαιδευτικές εκδηλώσεις, όπως εργαστήρια και εκδηλώσεις για παιδιά, σεμινάρια εκμάθησης ξένων γλωσσών, εκπαιδευτικές ομιλίες, σεμινάρια απόκτησης εξειδικευμένων δεξιοτήτων.
- Ψυχαγωγικές εκδηλώσεις, με υπαίθριες προβολές και μουσικές εκδηλώσεις.
- Αθλητισμός, με τη δημιουργία βασικών μέσων και εγκαταστάσεων, όπως απλά όργανα για διατάσεις, πάγκοι, τοίχοι αναρρίχησης ή και μεγαλύτερες διαμορφώσεις όπως skatepark ή μικρά γήπεδα για ομαδικά αθλήματα.
- Μονάδες διαχείρισης άχρηστων ή προς επανάχρηση υλικών.

[3] Βλ. κεφ. VIII.i.

[4] «Στα πλαίσια της ανάπτυξης στρατηγικών χωρικών παρεμβάσεων στα αστικά κενά, επιχειρείται η συγκριτική ανάλυση και κατηγοριοποίηση αδόμητων χώρων χωρίς χρήση ή με άτυπες χρήσεις, βάσει μετρήσιμων χωρικών χαρακτηριστικών. Στόχος είναι να εντοπισθούν γενόσημοι τύποι χώρων στους οποίους στη συνέχεια θα αντιστοιχηθούν εναλλακτικοί γενόσημοι τύποι χρήσεων» (Παρμενίδης, 2013β: 91).

[5] Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις προτεινόμενες χρήσεις βλ. Γαλάτουλα, Λάσκαρη και Longuepee, Τα κενά οικόπεδα, οι ακάλυπτοι χώροι και οι δρόμοι: Κατευθύνσεις σχεδιασμού για έναν δημόσιο χώρο που θα απευθύνεται στην πολυπολιτισμικότητα της σύγχρονης κοινωνίας με διατυπώσεις προγραμμάτων που θα ευνοούν τον γενόσημο σχεδιασμό (Παρμενίδης, 2013β: 96-99).

- Χώροι στάθμευσης οχημάτων.

Η λίστα δραστηριοτήτων είναι ανοιχτή και η πιθανή απόδοσή τους σε συγκεκριμένους χωρικούς τύπους είναι ενδεικτική και στοχεύει στην κατάρτιση γενικών οδηγιών, δεδομένου ότι δεν υπάρχει κάποια μοναδική ή βέλτιστη αντιστοίχιση μεταξύ χωρικών και λειτουργικών τύπων. Ωστόσο, διαφορετικές χρήσεις παρουσιάζουν διαφορετικές χωρικές απαιτήσεις, προδιαγραφές και προϋποθέσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να καθοδηγήσουν τη διατύπωση κριτηρίων επιλογής. Οι απαιτήσεις των λειτουργικών τύπων λαμβάνουν υπόψη τους εξής παράγοντες (Παρμενίδης, 2013β: 96):

1. Την ανάπτυξη της χρήσης στο χώρο, όπως για παράδειγμα γραμμική ή γύρω από ένα ή πολλαπλά κέντρα.
2. Το βαθμό της επιδιωκόμενης διασύνδεσής της με το οδικό δίκτυο, τους θύλακες ή με κάποιο άλλο γειτνιάζον κενό.
3. Τη διάρκειά της στο χρόνο. Μια χρήση μπορεί να είναι μόνιμη, εφήμερη, ολιγόωρη ή περιοδική.
4. Τη χωρική της εμβέλεια, ως προς εύρος του κοινού στο οποίο απευθύνεται, το οποίο μπορεί αποτελείται από κάτοικους του οικοδομικού τετραγώνου στο οποίο αναπτύσσεται η λειτουργία, κατοίκους και επισκέπτες της ευρύτερης γειτονιάς ή και της πόλης στο σύνολό της.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις και την εμβέλεια της κάθε χρήσης, η συμμετοχή των πολιτών μπορεί να κυμαίνεται από τη λήψη αποφάσεων, το σχεδιασμό και την πρακτική εφαρμογή ως τη χρήση, τη συντήρηση και την ενδεχόμενη προσαρμογή σε νέες συνθήκες και ανάγκες.

II.i.2. Γενόσημοι λειτουργικοί τύποι

Όπως αναφέρθηκε[6], οι χωρικοί τύποι που προκύπτουν από τη διαδικασία πολλαπλής περιγραφής και συγκριτικής ανάλυσης των αστικών κενών, χαρακτηρίζονται ως γενόσημοι τύποι, καθώς εμφανίζουν πολλαπλές ταυτότητες και ανοιχτότητα σε ποικίλες ερμηνείες, προγραμματικές εφαρμογές και χρήσεις.

Σύμφωνα με την ίδια λογική, οι προβλεπόμενοι λειτουργικοί τύποι επίσης χαρακτηρίζονται ως γενόσημοι, αφού κάθε προσδιορισμός λειτουργικών απαιτήσεων και προδιαγραφών εκφράζει διαφορετικά σχήματα και δυναμικά μεταβαλλόμενα πρότυπα [patterns] κοινωνικών, πολιτισμικών, ιδεολογικών και οικονομικών τάσεων που χαρακτηρίζουν και ταυτοποιούν κάθε μοναδικό πλαίσιο εντός του οποίου σχηματοποιείται και διατυπώνεται το εκάστοτε σχεδιαστικό πρόβλημα.

Επομένως, η απόδοση γενόσημων λειτουργικών τύπων σε γενόσημους χωρικούς τύπους δεν είναι μια απλή και μονοσήμαντη διαδικασία. Δεν υπάρχει μοναδική ή σωστή αντιστοίχιση μεταξύ τύπων αλλά αντίθετα ένα μεγάλο εύρος ισότιμων πιθανών συνδυασμών[7].

[6] Σχετικά με την προσέγγιση των χωρικών τύπων ως γενόσημων, βλ. Εισαγωγή VIII.viii και κεφ. 5.5.

[7] «Αν μια διάταξη του χώρου μπορεί να ανταποκριθεί σε διαφορετικά προγράμματα χρησιμοποίησης, αυτό δε σημαίνει αναγκαστικά ότι η διατάξει είναι ουδέτερη ως προς τα προγράμματα. Κατά μια εναλλακτική ερμηνεία, η διάταξη χαρακτηρίζεται από έναν πλούτο σχέσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν προς τη μια ή την άλλη κατεύθυνση» (Πεπονής, 2003: 142).

II.i.3. Απόδοση γενόσημων λειτουργικών τύπων σε γενόσημους χωρικούς τύπους. Έκφραση του σχεδιαστικού προγράμματος συναρτήσει των μετρήσεων

II.i.3.1. Εσωτερικά κριτήρια

Για το σκοπό αυτό, οι χωρικοί τύποι πρέπει να ερμηνευθούν, να χάσουν το γενόσημο χαρακτήρα τους και να περιγραφούν λεκτικά, να τους αποδοθούν ονόματα και ιδιότητες. Αν και η αρχική επιλογή χαρακτηριστικών βάσει της οποίας πραγματοποιείται η κατηγοριοποίηση βασίζεται σε κριτήρια που αφορούν στον αντιληπτικό χαρακτήρα της φυσικής μορφής και δομής των αδόμητων χώρων, οι εξαγόμενοι τύποι δεν εκφράζουν ρητά αυτά τα κριτήρια ένα προς ένα. Αυτό συνεπάγεται ότι οι χωρικοί τύποι πρέπει να αξιολογηθούν εκ των υστέρων εμπειρικά. Σε ένα πρώτο επίπεδο αξιολόγησης μπορούν να εφαρμοστούν τα ίδια κριτήρια με εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν στην κατηγοριοποίηση, ως εσωτερικά κριτήρια. Με αυτή τη λογική, η περιγραφή των τύπων ως Ομοιοστατικών Συστάδων Ιδιοτήτων μπορεί να λειτουργήσει ως βάση για την ανάθεση εναλλακτικών λειτουργικών τύπων σε κάθε χωρικό τύπο.

Αν για κάθε λειτουργικό τύπο ιεραρχηθούν οι ιδιότητες βάσει των οποίων κατηγοριοποιούνται οι χωρικοί τύποι, αν δηλαδή κάθε λειτουργικός τύπος εκφραστεί συναρτήσει των μετρήσεων, ανάλογα με τη σημασία της κάθε μέτρησης για την εκάστοτε χρήση, τότε οι λειτουργικοί τύποι θα περιγραφούν παραμετρικά ως ομοιοστατικές συστάδες επιθυμητών ιδιοτήτων και θα μπορέσουν να αντιστοιχηθούν με τις πλησιέστερες ομοιοστατικές συστάδες χωρικών τύπων. Η προσέγγιση αυτή προϋποθέτει την έκφραση του σχεδιαστικού προγράμματος με όρους συγκεκριμένων χωρικών ιδιοτήτων, ιεραρχημένων σύμφωνα με τις επιθυμητές χωρικές ποιότητες για κάθε χρήση[8].

Ένα επιπλέον κριτήριο θα μπορούσε να είναι και η επιθυμητή ποσόστωση ή συνολική έκταση για την κάθε χρήση. Αν δηλαδή παρεχόταν ένα δεδομένο σύνολο χρήσεων, με συγκριμένο πλήθος και προκαθορισμένα ποσοστά κατανομής λειτουργιών ή προκαθορισμένη συνολική επιφάνεια ανά λειτουργία, καθοριζόμενη για παράδειγμα από δημογραφικά στοιχεία της περιοχής, θα μπορούσε η αντιστοίχηση λειτουργικών και χωρικών τύπων να λάβει υπόψη και την αριθμητική κατανομή των χωρικών τύπων, με όρους πλήθους κενών ή συνολικού εμβαδού ανά τύπο.

II.i.3.2. Εξωτερικά κριτήρια

Σε ένα επόμενο επίπεδο ερμηνείας των χωρικών τύπων και κατανομής σε αυτούς τύπων χρήσεων, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν εξωτερικά κριτήρια, που δεν σχετίζονται απαραίτητα με τη φυσική μορφή του χώρου, όπως αυτή αποδίδεται από τις μετρήσεις.

Για παράδειγμα, τέτοια κριτήρια θα μπορούσαν να αναφέρονται στις χωρικές απαιτήσεις των προτεινόμενων γενόσημων χρήσεων, όπως προσδιορίζονται στα πλαίσια του ερευνητικού

[8] Για παράδειγμα, η χρήση γήπεδο θα μπορούσε να εκφραστεί ως συνάρτηση μικρής φρακταλικής διάστασης, μεγάλης συνολικής μέσης συνδεσιμότητας (κυρτό σχήμα), περιορισμένων ανοιγμάτων προς το δρόμο, σταθερού ρυθμού μεταβολής της συνδεσιμότητας, ενώ θα απαιτούνταν και κάποιες ελάχιστες μετρικές διαστάσεις. Αντίθετα, η χρήση παζάρι θα μπορούσε να έχει μεγάλη φρακταλική διάσταση και έντονες διακυμάνσεις συνδεσιμότητας της περιμέτρου (επιμέρους κόγχες-καταστήματα), μεγάλη διαβαθμισμένη συνδεσιμότητα και μεγάλο πλήθος και εύρος ανοιγμάτων προς το δημόσιο χώρο (για λόγους προσβασιμότητας προϊόντων και χρηστών).

προγράμματος[9], αλλά και στις υφιστάμενες χρήσεις, την τυπολογία και τη μορφολογία των περιβαλλόντων κτιρίων, στην ύπαρξη ή απουσία κενών κελυφών προς πιθανή επανάχρηση σε άμεση επαφή με τα αστικά κενά, σε δημογραφικά-πληθυσμιακά χαρακτηριστικά του εκάστοτε οικοδομικού τετραγώνου, στη δυνατότητα συνδυασμού και σύνδεσης με άλλα γειτονικά κενά, σε περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά, σε ζητήματα ιδιοκτησίας και άλλα.

Προκειμένου τα εξωτερικά αυτά κριτήρια να εφαρμοστούν για την κατανομή χρήσεων στους χωρικούς τύπους, θα πρέπει να εκφραστούν βάσει ερμηνειών των αρχικών ιδιοτήτων μέσω των οποίων περιγράφονται οι χωρικοί τύποι και να αποτελέσουν τις παραμέτρους σύμφωνα με τις οποίες θα ανατεθούν ιεραρχίες στις αρχικές μετρήσεις.

Για κάθε παράμετρο θα πρέπει να προσδιοριστεί ο βαθμός συσχέτισής της με κάθε μια από τις μετρήσεις, υποδεικνύοντας τη συνάφεια της αντίστοιχης χωρικής ιδιότητας με τη συγκεκριμένη παράμετρο ή κριτήριο. Πρακτικά, προτείνεται να αποδοθούν διαφορετικά βάρη σε κάθε μέτρηση ανάλογα με τις ιδιαίτερες προθέσεις της εκάστοτε εφαρμογής, επιτρέποντας τον ορισμό της συμβολής και της σχετικής σημασίας του κάθε χαρακτηριστικού για κάθε διαφορετική περιγραφή του σχεδιαστικού προβλήματος. Κάθε διατύπωση του σχεδιαστικού προβλήματος θα εκφράζεται με όρους προθέσεων, ρητά μεταφρασμένων στην ιεραρχική κατάταξη των επιθυμητών χωρικών ιδιοτήτων μέσω της ανάθεσης διαφορετικών βαρών στα επιμέρους χαρακτηριστικά.

II.i.4. Χρήση του παραμετρικού μοντέλου ως συμμετοχικής πλατφόρμας

Για την εφαρμογή αυτής της λογικής μπορεί να χρησιμοποιηθεί το παραμετρικό μοντέλο που περιγράφηκε στο τρίτο στάδιο της εφαρμογής[10], όπου μια προσομοίωση συστήματος Σωματιδίων – Ελατηρίων επιτρέπει την ιεράρχηση των ιδιοτήτων, μέσω της δυναμικής μεταβολής των βαρών τους με τη χρήση κατάλληλης γραφικής διεπαφής.

Μέσω της πλατφόρμας αυτής, κάθε διερευνητική διατύπωση του σχεδιαστικού προβλήματος βάσει της βαθμονόμησης επιθυμητών χωρικών χαρακτηριστικών θα έχει ως αποτέλεσμα την αναδιάταξη των σημείων που συγκροτούν τους χωρικούς τύπους σε διαφορετικές οργανώσεις, επιτρέποντας τη δυναμική οπτικοποίηση της ανακατάταξης του συστήματος συσχετισμών μεταξύ των γενόσημων χωρικών τύπων, βάσει εξωτερικά εφαρμοζόμενων κριτηρίων ιεράρχησης.

Η άμεση γραφική απόδοση της προκύπτουσας οργάνωση, η δυναμική οπτικοποίηση της διαδικασίας και ο εύχρηστος και διαισθητικός χειρισμός μέσω της γραφικής διεπαφής, καθιστούν την εφαρμογή αυτή κατάλληλη για χρήση ως συλλογικό μέσο πειραματισμού, επικοινωνίας διαφορετικών προθέσεων και διαπραγμάτευσης στα πλαίσια του προσδιορισμού του εκάστοτε σχεδιαστικού προβλήματος.

Δεδομένου ότι δεν μπορεί να υπάρξει οριστική και παγιωμένη διατύπωση του σχεδιαστικού προβλήματος και εφόσον κάθε προσδιορισμός του προβλήματος υποδεικνύει ένα συγκεκριμένο εύρος στρατηγικών επίλυσης και ένα πεδίο λύσεων, το εργαλείο αυτό θα μπορούσε να φανεί ιδιαίτερα χρήσιμο κατά τα αρχικά στάδια του σχεδιασμού, στα οποία όλοι οι εμπλεκόμενοι παράγοντες καλούνται να συνδιαμορφώσουν τις προδιαγραφές και τους περιορισμούς του θέματος ζυγίζοντας μια πληθώρα ετερογενών προτεραιοτήτων και μεταβλητών. Το προτεινόμενο σύστημα θα

[9] Ανάπτυξη της χρήσης στο χώρο, βαθμός επιδιωκόμενης διασύνδεσης με το δημόσιο χώρο, διάρκεια, εμβέλεια (Παρμενίδης, 2013β: 96).

[10] Βλ. κεφ. 6.3.5. Το παραμετρικό μοντέλο.

μπορούσε να δρα υποστηρικτικά στη συλλογική λήψη αποφάσεων και να διαμορφώσει μια κοινή βάση διαλόγου προκειμένου να γίνει δυνατή η συμμετοχή όλων των ενδιαφερομένων στη διαδικασία. Με τον τρόπο αυτό θα μπορούσε να υποστηριχθεί μια ανοιχτή στρατηγική, στην οποία χωρικοί και λειτουργικοί συσχετισμοί θα συν-καθορίζονται και θα συν-διαχειρίζονται από περιφερειακές αρχές, τοπικές αρχές και συλλογικότητες, των οποίων ο βαθμός συμμετοχής θα προσδιορίζεται ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες και τις προδιαγραφές του κάθε σχεδιαστικού προβλήματος, σύμφωνα με την κλίμακα των απαιτούμενων υποδομών, ζητήματα κόστους, χρονικής διάρκειας και τάξης μεγέθους, αλλά και ανάλογα με τις πληθυσμιακές ομάδες στις οποίες αναφέρεται.

Σε αυτό το πλαίσιο, η παρουσιαζόμενη μεθοδολογία για την κατηγοριοποίηση άτυπων χωρικών σχηματισμών σε γενόσημους τύπους δρα ως ανοιχτή και γενικεύσιμη πλατφόρμα για την οργάνωση μιας στρατηγικής για την επανενεργοποίηση αστικών κενών με την εισαγωγή ενός εύρους ομαδικά οργανωνόμενων και συντηρούμενων δραστηριοτήτων. Με αυτή την έννοια, στόχος είναι η ανάδειξη δυνατοτήτων, η υποστήριξη και η ενθάρρυνση διαδικασιών χωρικής επανοικειοποίησης και όχι ο καθορισμός παγιωμένων και οριστικών προτάσεων χρήσης γης.

II.ii. Προσδιορισμός επιθυμητών χωρικών ποιοτήτων

II.ii.1. Εφαρμογή σε δείγμα υφιστάμενων χώρων για συγκριτική ανάλυση και την αναζήτηση επιθυμητών ποιοτήτων

Ως αναλυτικό εργαλείο, η προτεινόμενη μέθοδος θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε άλλα δείγματα υφιστάμενων χώρων, προκειμένου να ομαδοποιηθούν βάσει βαθμών ομοιότητας αλλά και για να αναζητηθούν επικρατή χαρακτηριστικά και επιθυμητές χωρικές ποιότητες. Με αυτή τη λογική θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μια αντίστοιχη ανάλυση υφιστάμενων παραδειγμάτων με συγκεκριμένη τυπολογία ή χρήση, όπως για παράδειγμα ένα σύνολο αστικών πλατειών. Ο διαχωρισμός τους σε ομάδες ισχυρά αλληλοσυσχετιζόμενων παραδειγμάτων και η εμπρόθετη μεταβολή των βαρών των ιδιοτήτων θα μπορούσε να συμβάλει στην περιγραφή τους ως ομοιοστατικές συστάδες ιδιοτήτων και στην αναγνώριση κοινών επικρατών χαρακτηριστικών και χωρικών ποιοτήτων. Αν παρέχεται μια εκ των προτέρων αξιολόγηση των δειγμάτων ως προς επιθυμητές ποιότητες, είναι πιθανό η εφαρμογή αυτή να συμβάλει στον εντοπισμό παραμέτρων που συμμετέχουν στη διαμόρφωση των ποιοτήτων αυτών, συνεισφέροντας στην αναπαραγωγή τους σε νέους χώρους.

II.ii.2. Κατηγοριοποίηση ανάλογα με την ομοιότητα με υφιστάμενα παραδείγματα που εμφανίζουν επιθυμητές ιδιότητες

Σε συνέχεια του προηγούμενου παραδείγματος, αν παρέχεται και ένα σύνολο πιθανών χώρων για το σχεδιασμό της ένταξης μιας αντίστοιχης χρήσης, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των αστικών κενών των Πατησίων, οι χώροι αυτοί θα μπορούσαν να εισαχθούν στο ίδιο σύστημα με τα υφιστάμενα παραδείγματα (εδώ πλατείες), ούτως ώστε η ομαδοποίηση να υποδείξει ποιοι χώροι ή τύποι χώρων έχουν ήδη ενσωματωμένα χαρακτηριστικά που τους κάνουν να προσεγγίζουν

συγκεκριμένα παραδείγματα[11]. Με τον τρόπο αυτό, η εφαρμογή θα μπορούσε να παρέχει ένα πρώτο κριτήριο για την επιλογή χώρων κατάλληλων για το σχεδιασμό διατάξεων και χρήσεων με τις επιζητούμενες ποιότητες.

II.iii. Κατηγοριοποίηση ενός συνόλου προτεινόμενων λύσεων

Η προτεινόμενη μέθοδος θα μπορούσε να εφαρμοστεί για την περιγραφή και κατηγοριοποίηση όχι μόνο υφιστάμενων, αλλά και προτεινόμενων χωρικών δομών.

Αν ένα σχεδιαστικό πρόβλημα, με όρους προθέσεων, μπορεί να εκφραστεί μέσω των μετρήσεων, αν επιθυμητές χωρικές ποιότητες μπορέσουν να περιγραφούν μέσω μιας ομοιοστατικής συστάδας ιδιοτήτων, τότε μέσω της κατάλληλης ρύθμισης των βαρών θα εντοπισθούν τα μέλη της, δηλαδή οι χώροι που θα φέρουν τις εν λόγω χωρικές ποιότητες.

Στην περίπτωση αυτή ο ορισμός των αρχικών ιδιοτήτων θέτει τους όρους έκφρασης της πρόθεσης, οριοθετώντας σε μεγάλο βαθμό την κατεύθυνση αναζήτησης της λύσης αλλά και το εύρος των δυνατών λύσεων. Η πρόθεση ανάλυσης και η πρόθεση επέμβασης ή σύνθεσης αλληλοπροσδιορίζονται και αλληλοτροφοδοτούνται σε ένα σύστημα όπου, σύμφωνα με τον ορισμό των wicked problems από τους Rittel και Weber (1973) «κάθε προσδιορισμός του προβλήματος είναι ένας προσδιορισμός της κατεύθυνσης στην οποία αναζητάται η λύση».

Για παράδειγμα, σε έναν αρχιτεκτονικό διαγωνισμό, θα μπορούσαν οι προτεινόμενες λύσεις να εισαχθούν στο σύστημα και να ομαδοποιηθούν βάσει αφηρημένων βαθμών ομοιότητας και διαφοράς. Αυτή η ομαδοποίηση θα μπορούσε να συμβάλει σε ένα πρώτο φιλτράρισμα των λύσεων.

Σε ένα δεύτερο επίπεδο, αν είναι δυνατή η έκφραση του προγράμματος του διαγωνισμού, όπως αναλύεται στην προκήρυξη, με όρους χωρικών ιδιοτήτων, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το παραμετρικό μοντέλο δυναμικής μεταβολής των βαρών για την αξιολόγηση των λύσεων. Ιεραρχώντας τις παραμέτρους του προγράμματος ανάλογα με τη σημασία τους, σύμφωνα με την κρίση του κάθε αξιολογητή, και ρυθμίζοντας ανάλογα τα αντίστοιχα βάρη στο μοντέλο, οι λύσεις θα μπορούσαν να ομαδοποιηθούν ανάλογα με το βαθμό στον οποίο χαρακτηρίζονται από τον επιλεγμένο συνδυασμό ιδιοτήτων.

Κατά τον ίδιο τρόπο, η πλατφόρμα αυτή θα μπορούσε να λειτουργήσει υποστηρικτικά στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό, παρέχοντας ένα εργαλείο ομαδοποίησης και αξιολόγησης διαφορετικών εναλλακτικών διατάξεων που παράγονται κατά τη συνθετική διαδικασία. Έτσι, σε διαφορετικά στάδια του σχεδιασμού, από τα πρώτα διαγράμματα και σκίτσα μέχρι τις τελικές επεξεργασμένες διατάξεις, η οργάνωση διαφορετικών προσεγγίσεων και παραλλαγών βάσει βαθμών ομοιότητας και διαφοράς, καθώς και η δυνατότητα εισαγωγής ιεραρχιών ανάλογα με τα εκάστοτε κριτήρια και τις επιθυμητές ιδιότητες, θα μπορούσε να συμβάλει στη λήψη σχεδιαστικών αποφάσεων και στην πιθανή βελτιστοποίηση των λύσεων βάσει της διατύπωσης συγκεκριμένων στόχων και σχεδιαστικών προθέσεων.

[11] Ενδέχεται για παράδειγμα, όλα τα δείγματα μιας συγκεκριμένης χρήσης να συσταδοποιηθούν μαζί με έναν τύπο ή μπορεί κάθε τύπος να μοιάζει περισσότερο με ένα ή κάποια από τα υφιστάμενα δείγματα. Έτσι, στο παράδειγμα των πλατειών, μπορεί να φανεί ότι ένας μόνο τύπος είναι κατάλληλος για το σχεδιασμό πλατείας ή ότι διαφορετικοί τύποι προσφέρονται για τη διαμόρφωση πλατειών με διαφορετικό χαρακτήρα.

Τα παραδείγματα αυτά αποτελούν ενδεικτικές εφαρμογές που βασίζονται στη δυνατότητα της προτεινόμενης μεθοδολογίας να υποστηρίζει πολλαπλές χωρικές περιγραφές κατά τρόπο ώστε να επιτρέπει την ανάδυση δομών συσχετισμών που δεν είναι εμφανείς εκ των προτέρων και οι οποίες μπορούν να συμβάλουν στην ανάπτυξη νέων αντιληπτικών μοντέλων, με επεκτάσεις τόσο στη χωρική ανάλυση όσο και στη συνθετική σχεδιαστική διαδικασία.

Βιβλιογραφία

Achten, H., Oxman, R. & Bax, T. (1998) Typological Knowledge Acquisition through a Schema of Generic Representations. In: Gero, J.S. and Sudweeks, F. (eds) *Artificial Intelligence in Design '98*, Kluwer Academic Publishers, pp. 191-207.

Adriaenssens, S. (2001) Tensegrity spline beam and grid shell structures. *Engineering Structures*, 23(1), pp. 29- 36.

Alexander, C. (1979) *The Timeless Way of Building*. Oxford University Press

Alexander, C., Ishikawa, S. & Silverstein, M. (1977) *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*. New York: Oxford University Press.

Allen, G. (2001) *Intertextuality*. London: Routledge.

Andrews, D.F. (1972) Plots of High Dimensional Data. *Biometrics*, 28, 125-136.

Arenas, A., Duch, J., Fernandez, A. & Gomez, S. (2007) Size reduction of complex networks preserving modularity. In: *New Journal of Physics,* 9.

Arnheim, R. (1976) *La Pensée Visuelle*. Flammarion.

Badiou, A. (2007) *Being and event*. London: Continuum.

Bafna, S. (1999) The Morphology of Early Modernist Residential Plans, Geometry & genotypical trends in Mies van der Rohe's designs. In: *Proceedings of the Space Syntax Second international Symposium*, 1, Brasilia.

Baraff, D. & Witkin, A. (1998) Large steps in cloth simulation. In: *Proceedings of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques.*

Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009) Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. *Association for the Advancement of Artificial Intelligence*.

Batty, M. & Longley, P.A. (1994) *Fractal Cities: A Geometry of Form and Function.* San Diego: Academic Press.

Batty, M. (2007) Complexity in city systems: Understanding, evolution and design. *UCL Working Papers Series,* 117. Centre for Advanced Spatial Analysis. London: UCL.

Bellman, R.E. (1961) *Adaptive control processes: A guided tour*. Princeton University Press.

Benedict, M. L. (1979) To take hold of space: Isovists and isovists fields. *Environment and Planning B*, 6, pp.47-65.

Benoudjit, A., Derix, C. & Coates, P. (2004) Human perception and space classification: The Perceptive Network. In: *Proceedings of Generative Arts conference,* Milan.

Benzecri, J. P. (1992) *Correspondence Analysis Handbook*. New York: Marcel Decker Inc.

Bertin, J. (1983) *The Semiology of Graphs*. Madison: University of Wisconsin.

Bishop, C. (2006) *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.

Blackith, R.E & Reyment, R.A. (1971) Multivariate Morphometrics. *Biometrical Journal*, 15(3), 237–238.

Blondel, V.D., Guillaume J-L., Lambiotte, R. & Lefebvre, E. (2008) Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment,* 10, 1000-1012.

Bohm, D. & Peat, F.D. (1987) *Science, order, and creativity*. New York: Bantam Books Inc.

Bourbaki, N. (1970) *Théorie des ensembles, Éléments de Mathématique*. Paris: Diffusion C.C.L.S.

Bovill, C. (2000) Fractal geometry as a design aid. *Journal for Geometry and Graphics*, 4, 71-78.

Bovill, C. (1996) *Fractal Geometry in Architecture and Design*. Boston: Birkhauser.

Boyd, R. (2000) Kinds as the "Workmanship of Men": Realism, Constructivism, and Natural Kinds. In: Nida-Rümelin, J. (ed.) *Rationalität, Realismus, Revision / Rationality, Realism, Revision.* Berlin: Walter deGruyter. pp. 52-89.

Boyd, R. (1999a) Homeostasis, Species and Higher Taxa.In: Wilson, R. A. (ed.) *Species: New Interdisciplinary Essays*. Cambridge: MIT Press. pp. 141-85.

Boyd, R. (1999b) Kinds, complexity and multiple realization: comments on Millikan's "Historical Kinds and the Special Sciences", *Philosophical Studies*, 95, 67- 98.

Boyd, R. (1991) Realism, Anti-Foundationism and the Enthusiasm for Natural Kinds. *Philosophical Studies,* 61, 127-148.

Buja, A., Cook, D. & Swayne, D.F. (1996) Interactive High Dimensional Data Visualization. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5(1), 78-99.

Cache, B. (1995) *Earth Moves, the Furnishing of Territories.* Cambridge MA: The MIT Press.

Cantor, G. (1962) *Gesammelte Abhandlungen. Mathematischen und philosophischen Inhalts*. Hildesheim.

Cantor, G. (1895) Beiträge zur Begründung der transfiniten Mengenlehre, I. *Mathematische Annalen*, 46(4), 481–512.

Cattell, R. B. (1966) The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research, 1,* 245-276.

Chaitin, G.L.J. (1975) Randomness and mathematical proof. *Scientific American*, May, 47-52.

Chambers, J.M., Cleveland, W.S., Kleiner, B. & Tukey, P.A. (1983) *Graphical Methods for Data Analysis*. Pacific Grove, CA: Wadsworth and Brooks/Cole.

Chen, K.W., Janssen, P. & Schlueter, A. (2015) Analysing Populations of Design Variants Using Clustering and Archetypal Analysis. In: Martens, B., Wurzer, G., Grasl T., Lorenz, W.E. and Schaffranek, R. (eds.) *Real Time: Proceedings of the 33rd eCAADe Conference, Vienna University of Technology, Vienna, Austria*. 1, pp. 251-260.

Chernoff, H. (1973) The Use of Faces to Represent Points in k-dimensional Space Graphically. *Journal of the American Statistical Association*, 68, 361-368.

Cilliers, P. (1998) *Complexity and Postmodernism: Understanding Complex Systems*. London: Routledge.

Clark, A. & Thornton, C. (1997) Trading spaces: Computation, representation, and the limits of uninformed learning. *Behavioral and Brain Sciences*, 20(1), 57–90.

Clauset, A., Newman, M.E.J. & Moore, C. (2004) Finding community structure in very large networks. In: *Physical Review E,* 70.

Coates, P., Appels, T., Simon, C. & Derix, C. (2001) Three projects: Dust, Plates & Blobs. In: *Proceedings of the Generative Art 2001 Conference, Milan*.

Danon, L., Duch, J., Diaz-Guilera, A. & Arenas, A. (2005) Comparing community structure identification. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 09.

Deboeck, G. & Kohonen, T. (eds.) (1998) *Visual Explorations in Finance with Self-Organizing Maps*. Springer.

DeLanda, M. (2002) Deleuze and the Use of Genetic Algorithms in Architecture. In: Rahim, A. (ed.) *Architectural Design: Contemporary Techniques in Architecture*. Academy Press, pp. 9-13.

Deleuze, G. & Guattari, F. (1987) *A Thousand Plateaus*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Deleuze, G. (2005) *Le Pli, Leibniz et le Baroque.* Paris: Les éditions du Minuit.

Deleuze, G. (1994) *Difference and Repetition.* New York: Columbia University Press.

Deleuze, G. (1990) *The logic of sense*. London: The Athlone Press.

Derix, C. & Thum, R. (2000) Self-Organizing Space (SOS): artificial neural network spaces. In: *Proceedings of the Generative Art 2000 Conference, Milan.*

Derix, C. (2006) Approximating phenomenological space. In: *Proceedings of EGICE - Intelligent Computing in Engineering and Architecture, Ascona, Switzerland*. Heidelberg: Springer. pp. 136-146.

Derrida, J. (1981) *Positions*. Chicago: University of Chicago Press.

Derrida, J. (1976) *Of grammatology*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.

Dubes, R. & Jain, A.K. (1976) Clustering techniques: the user's dilemma. *Pattern Recognition,* 8, 247-260.

Duch, J. & Arenas, A. (2005) Community detection in complex networks using Extremal Optimization. In: *Physical Review E*, 72.

Duda, R., Hart, P. & Stork, D. (2001) *Pattern Classification.* 2nd ed. New York: Wiley-Interscience Publication.

Dupre, J. (1993) *The Disorder of Things*. Cambridge: Harvard University Press.

Eades, P. (1984) A heuristic for graph drawing. *Congressus Numerantium*, 42, 149–160.

Ereshefsky, M. (2010) Species. In: Edward N. Z. (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2010 Edition). Available from: http://plato.stanford.edu/archives/spr2010/entries/species/ [Accessed July 2016].

Ereshefsky, M. (2007) Foundational Issues Concerning Taxa and Taxon Names. *Systematic Biology*, 56, 295-301.

Everitt, B. (1974) *Cluster Analysis*. New York: John Wiley & Sons Inc.

Everitt, B. & Hothorn, T. (2011) Cluster Analysis. In: Everitt, B. and Hothorn, T. (eds) *An Introduction to Applied Multivariate Analysis with R*, New York: Springer. pp. 163-200.

Field, H. (1973) Theory Change and the Indeterminacy of Reference. *Journal of Philosophy,* 70, 462-481.

Fienberg, S.E. (1979) Graphical Methods in Statistics. *The American Statistician*, 33(4), 165-178.

Fleischmann, M. & Menges, A. (2012) Physics-Based Modeling as an Alternative Approach to Geometrical Constrain-Modeling for the Design of Elastically-Deformable Material Systems. In: Achten, H., Pavlicek, J. Hulin, J. and Matesovska, D. (eds.) *Digital Physicality: Proceedings of* the 30th *eCAADe Conference, Czech Technical University, Prague, Czech Republic*.1, pp. 565-575.

Flury & Riedwyl (1988) Multivariate Statistics. A Practical Approach. *Biometrical Journal*, 32(5), 640-644.

Flury, B. & Riedwyl, H. (1981) Graphical Representation of Multivariate Data by Means of Asymmetrical Faces. *Journal of the American Statistical Association*, 76, 757-765.

Fortunato, S. & Castellano, C. (2007) Community Structure in Graphs. In: Meyers, R. (ed.) *Encyclopedia of Complexity and System Science*. New York: Springer.

Fox, J. (1997) *Applied Regression Analysis, Linear Models and Related Methods*. CA: Sage, Thousand Oaks.

Frame, M., Mandelbrot, B. & Neger, N. (2016) *Fractal Geometry*. Yale University. Available from: http://users.math.yale.edu/public_html/People/frame/Fractals/ [Accessed July 2016].

Freni-Titulauer, W.J. & Louv, W.C. (1984) Comparisons of some Graphical Methods for Exploratory Multivariate Data Analysis. *The American Statistician*, 38(3), 184-188.

Friedman, J.H. (1987) Exploratory Projection Pursuit. *Journal of the American Statistical Association*, 82, 249-266.

Friendly, M. (2000) *Visualizing Categorical Data*. SAS Institute.

Friendly, M. (1994) Mosaic Displays for Multi-Way Contingency Tables. *Journal of the American Statistical Association*, 89, 190-200.

Friendly, M. (1992) Graphical Methods for Categorical Data. In: *Proceedings of the SAS User's Group Inernational Conference*, 17, pp. 1367-1373.

Fruchterman T. & Reingold E. (1991) Graph drawing by force-directed placement. *Software: Practice and Experience*, 21(11), 1129-1164.

Gabriel, K.R. (2002) Goodness of Fit of Biplots and Correspondence Analysis. *Biometrika,* 89, 423-436.

Gabriel, K.R. (1971) The Biplot-Graphic Display of Matrices with Application to Principal Component Analysis. *Biometrika*, 58, 453-467.

Garfinkel, A. (1987) The slime mold dyctiostelium as a model of self-organization in social systems. In: Yates, F.E. (ed.) *Self-Organizing Systems: The Emergence of Order*. New York: Plenum Press.

Gensane, T. (2004) Dense Packings of Equal Spheres in a Cube. *The Electronic Journal of Combinatorics*, 11(1).

Gero, J. & Jupp, J. (2003) Feature-based qualitative representations of plans. In: Keatruangkamala, K. and Nakapan, W. (eds.) *Proceedings of the 8th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA03, Rangsit University, Bangkok, Thailand*. pp. 117-130.

Gero, J. & Park, S.H. (1997) Computable feature-based qualitative modelling of shape and space. In: Junge, R. (ed.) *CAADFutures 1997*. Kluwer, Dordrecht. pp.821-830.

Gibson, J.J. (1974) *The perception of the visual world*. Westport: Greenwood Press Publishers.

Gombrich, F.H., Hochberg, J. & Black, M. (1973) *Art, perception, and reality*. Baltimore: John Hopkins University Press.

Girvan, M. & Newman, M.E.J. (2002) Community structure in social and biological networks. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 99, pp. 7821–7826.

Good, I.J. (1977) The botryology of botryology. In: *Classification and Clustering*, Van Ryzin, J. (ed.) New York: Academic Press. pp. 73-94.

Gower, J.C. (2004). The Geometry of Biplot Scaling. *Biometrika,* 91, 705-714.

Gower, J.C. (1990).Three-Dimensional Biplots. *Biometrika,* 77, 773-885.

Graham, R. L., & Lubachevsky, B. D., (1996) Repeated Patterns of Dense Packings of Equal Disks in a Square. *The Electronic Journal of Combinatorics*, 3, 17.

Graver, J. E. (2001) *Counting on Frameworks: Mathematics to Aid the Design of Rigid Structures*. Washington, DC: The Mathematical Association of America.

Guimera, R. & Amaral, L.A.N. (2005) Functional cartography of complex metabolic networks. *Nature,* 433, 895-900.

Han, J. & Kamber, M. (2000) *Data Mining: Concepts and Techniques*. Morgan Kaufmann.

Han, J., Kamber, M. & Pei, J. (2012) 10 - Cluster Analysis: Basic Concepts and Methods. In: Han, J., Kamber, M. and Pei, J. (eds.) *Data Mining (Third Edition)*, Boston: Morgan Kaufmann. pp. 443-495.

Hanna, S. (2012) Comparative analysis of neighbourhoods using local graph spectra. In: Green, M., Reyes, J. and Castro, A. (eds.) *Eighth International Space Syntax Symposium*. Santiago, Chile: Pontifica Universidad Catolica. pp. 8034:1-18.

Hanna, S. (2011) Design agents and the need for high-dimensional perception. In: Gero, J.S. (ed.) *Proceedings of the Fourth International Conference on Design Computing and Cognition (DCC'10), Stuttgart, Germany.* London: Springer. pp.115-134.

Hanna, S. (2009) Spectral comparison of large urban graphs. In: Koch, D., Marcus, L. and Steen, J. (eds.) *Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium, Stockholm, Sweden*. pp. 39-50.

Hanna, S. (2007a) Representation and generation of plans using graph spectra. In: *Proceedings of the 6th International Space Syntax Symposium, 12-15 Jun 2007. Istanbul, Turkey: Istanbul Technical University*. pp. 099.01-099.13.

Hanna, S. (2007b) Defining implicit objective functions for design problems. In: *Proceedings of the 9th annual conference on Genetic and Evolutionary Computation, GECCO-2007, London.* New York: ACM Press. pp. 2013-2020.

Hanna, S. (2007c) Automated representation of style by feature space archetypes: Distinguishing spatial styles from generative rules. *International Journal of Architectural Computing*, 5 (1), 2-23.

Hanna, S. (2006) Representing style by feature space archetypes: Description and emulation of spatial styles in an architectural context. In: Gero, J. (ed.) *Proceedings of the 2nd International Conference on Design Computing and Cognition, DCC '06*. Springer. pp. 3-22.

Harding, J. & Derix, C. (2011) Associative spatial networks in architectural design: Artificial cognition of space using neural networks with spectral graph theory. In: Gero, J.S. (ed.) *Proceedings of the Fourth International Conference on Design Computing and Cognition, DCC'10, Stuttgart, Germany.* London: Springer. pp. 305-323.

Harding, J. (2008) Associative Spatial Networks: Artificial Cognition of Space using Neural Networks with Spectral Graph Theory. MSc thesis, Architecture: Computing and Design, University of East London.

Hartigan, J.A. & Kleiner, B. (1981) Mosaics for Contingency Tables. In: Eddy, W.F. (ed.) *Proceedings of the 13th Symposium of the Interface*. New York: Springer. pp. 268-273.

Hartigan, J.A. (1975) *Clustering Algorithms*. New York: John Wiley & Sons.

Hatcher, L. & Stepanski, E. (1994). *A step-by-step approach to using the SAS system for univariate and multivariate statistics*. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Hebb, D. (1949) *The Organization of Behavior*. New York: John Wiley.

Hillier, B. (2005) The art of place and the science of space. *World Architecture,* 11(185) Special Issue on Space Syntax. Beijing. pp. 24-34 in Chinese, pp. 96-102 in English.

Hillier, B. (1996) *Space is the Machine*. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge.

Hillier, B. (1993) Specifically architectural theory: a partial account of the ascent from building as cultural transmission to architecture as theoretical concretion. *Harvard Architecture Review*, 9, 8-27.

Hillier, B. & Hanson, J. (1984) *The Social Logic of Space.* Cambridge: Cambridge University Press.

Hillier, B., Hanson, J. & Graham, H. (1987) Ideas are in things: an application of the space syntax method to discovering house genotypes. *Environment and Planning B: planning and design*, 14, 363-385.

Hopfield, J. (1982) Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 79, 2554-2558.

Horgan, J. (1994) Can Science Explain Consciousness?. *Scientific American*, 271(1), 88–94.

Hotelling, H. (1933) Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components. *Journal of Educational Psychology*, 24(6,7), 417–441, 498–520.

Inselberg, A. (1985) The Plane with Parallel Coordinaties. *The Visual Computer*, 1(4), 69-92.

Ireland, T. (2006) Form follows function: Activity defines function, gesticulates space. In: Bourdakis, V. and Charitos, D. (eds.) *Communicating Space(s): Proceedings of the 24th eCAADe Conference, University of Thessaly, Volos*. pp.298-301.

Jacoby, W.G. (1998) Statistical Graphics for Visualizing Multivariate Data. *Sage University Papers Series in Quantitative Applications in the Social Sciences.* Thousand Oaks, CA: Sage, pp. 07-120.

Jain A. & Dubes R. (1988) *Algorithms for Clustering Data*. New Jersey: Prentice-Hall.

Jolicoeur, P. (1963) The multivariate generalization of the allometry equation. *Biometrics,* 19, 497-499.

Jolliffe, I.T. (2002) *Pricipal Component Analysis.* 2nd ed. New York: Springer.

Jupp, J. & Gero, J. (2003) Towards computational analysis of style in architectural design. In: Argamon, S. (ed.) *IJCAI 2003 Workshop on Computational Approaches to Style Analysis and Synthesis, IJCAI, Acapulco*. pp. 1-10.

Kaiser, H. F. (1960). The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement,* 20, 141-151.

Kamada T. & Kawai S. (1989) An algorithm for drawing general undirected graphs. *Information Processing Letters*, 31, 7–15.

Kanellos, A. & Hanna, S. (2008) Topological self-organisation: using a particle-spring system to generate structural space-filling lattices. In: *Proceedings of the 26th eCAADe Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, eCAADe 2008*. pp. 459-466.

Karperien, A. (2013) *FracLac for ImageJ*. Available from: https://imagej.nih.gov/ij/plugins/fraclac/FLHelp/Calculations.htm#regression [Accessed July 2016].

Kass, M. (1994) An Introduction to Continuum Dynamics for Computer Graphics. In: *Introduction to Physically-Based Modeling,* SIGGRAPH 94 Course Notes.

Kendall, M.G. (1966) Discrimination and Classification. In: *Multivariate Analysis*, Kkishnaiah P. R. (ed.) New York: Academic Press. pp. 165-84.

Kendler, K. S., Zachar, P. & Craver, C. (2011) *What Kinds of Things are Psychiatric Disorders?* Psychological Medicine, 41, 1143-1150.

Kennedy, J.M. (1974) *A psychology of picture perception*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers.

Kernighan, B. W. & Lin, S. (1970) An Efficient Heuristic Procedure for Partitioning Graphs. *The Bell System Technical Journal*, 49, 291-307.

Kilian A. & Ochsendorf J. (2005) Particle-Spring Systems for structural form-finding. *Journal of the international association for shell and spatial structures: IASS*, 148, 77-84.

Kim, J. O. & Mueller, C. W. (1978a). *Introduction to factor analysis: What it is and how to do it.* Beverly Hills, CA: Sage.

Kim, J. O. & Mueller, C. W. (1978b). *Factor analysis: Statistical methods and practical issues.* Beverly Hills, CA: Sage.

Kitcher, P. (1984) Species. *Philosophy of Science,* 51, 308-333.

Klee, P. (1964) *The thinking eye. Notebooks*. 2nd ed. New York: Wittenborn Art Books Inc.

Kobourov, S.G. (2013) Force-Directed Drawing Algorithms. In: Tamassia R (ed.) *Handbook of Graph Drawing and Visualization*, (12), pp. 383- 408.

Koenig, R., Standfest, M. & Schmitt, G. (2014) Evolutionary multi-criteria optimization for building layout planning: Exemplary application based on the PSSA framework. In: *Proceedings of the 32nd eCAADe Conference*, (2), pp. 567-574.

Kohonen, T. (2013) Essentials of the self-organizing map. In: *Neural Networks*, 37. Oxford, UK: Elsevier. pp. 52–65 (Twenty-fifth Anniversay Commemorative Issue).

Kohonen, T. (1995) *Self-Organizing Maps*. Heidelberg: Springer.

Kohonen, T. (1990) The self-organizing map. In: *Proceedings of the IEEE*, 78(9), pp. 1464–1480.

Kohonen, T. (1984) *Self-Organization and Associative Memory*. Berlin: Springer-Verlag.

Kohonen, T. (1982a) Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps. *Biological Cybernetics*, 43, 59–69.

Kohonen, T. (1982b) Clustering, taxonomy, and topological maps of patterns. In: *Proceedings of the sixth international conference on pattern recognition*. Washington, DC: IEEE Computer Society Press. pp. 114–128.

Kohonen, T., Kaski, S., Somervuo, P., Lagus, K., Oja, M. & Paatero, V., (2004) Self-organizing map. In: Puolamaki K. and Koivisto L. (eds) *Biennial Report 2002 – 2003, Laboratory of Computer and Information Science*. Neural Networks Research Centre, Helsinki University of Technology, Yliopistopaino, Helsinki, pp.113-122.

Kohonen, T., Oja, E., Simula, O., Visa, A. & Kangas, J. (1996) Engineering applications of the self-organizing map. In: *Proceedings of the IEEE*, 84(10), pp. 1358-1384.

Koffka, K. (1935) *Principles of Gestalt Psychology*. New York: Harcourt, Brace and Company.

Koffka, K. (1931) Gestalt. In: *Encyclopedia of the Social Sciences*. New York.

Kruskal, J. & Wish, M. (1978) *Multidimensional Scaling*. Newbury Park: Sage Publications.

Kyung Hoon, H., Ji-Hyun, L., Minki, K. & Sulah, C. (2014) Style Analysis Methodology: Identifying the Car Brand Design Trends through Hierarchical Clustering. In: Gu, N., Watanabe, S., Erhan, H., Hank Haeusler, M., Huang, W., and Sosa, R. (eds.) *Rethinking Comprehensive Design: Speculative Counterculture, Proceedings of the 19th International Conference on Computer- Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2014*, pp. 327–336.

Lance, G.N. & Williams, W.T. (1967) A general theory of classificatory sorting strategies: II. Clustering systems. *Computer Journal,* 10, 271-277.

Lafont, J. (1986) *The Ordinary Topology of Jacques Lacan*. University of Missouri, MIT.

Langley, P., Derix, C. & Coates, P. (2007), Meta-Cognitve Mappings: Growing Neural Networks for Generative Urbanism. In: *Proceedings of the 10th Generative Art Conference GA2007, Milan.*

Laskari, A. (2015) A Strategy for the Reactivation of Residual Urban Voids: Multidimensional Comparative Analysis and Classification. In: Theona, I. and Charitos, D. (eds) *Data to the People: Proceedings of the 3rd Internationsl Hybrid City Conference, Hybrid City 2015.* Athens: URIAC. pp. 394-400.

Laskari, A. (2014) Multidimensional Comparative Analysis for the Classification of Residual Urban Voids. In: Thompson, E.M. (ed.) *Fusion: Proceedings of the 32nd eCAADe Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, *eCAADe 2014, Newcastle*. 2, pp.283-292.

Laskari, A. (2007) Urban Identity through Quantifiable Spatial Attributes: Coherence and Dispersion of Local Identity through the Comparative Analysis of Building Block Plans. MSc thesis, MSc Adaptive Architecture and Computation, the Bartlett School of Graduate Studies, UCL.

Laskari, A., Hanna, S. & Derix, C. (2008) Urban Identity through Quantifiable Spatial Attributes: Coherence and Dispersion of Local Identity Through the Automated Comparative Analysis of Building Block Plans. In: Gero, J.S. and Goel, A. (eds.) *Design Computing and Cognition '08: Proceedings of the Third International Conference on Design Computing and Cognition, DCC08, Atlanta.* Dordrecht: Springer. pp. 615-634.

Le Corbusier (2004) *Για Μια Αρχιτεκτονική*. Μετφ. Π.Τουρνικιώτης. Αθήνα: εκδόσεις Εκκρεμές.

Legendre, P. & Legendre, L. (1983) *Numerical Ecology*. Amsterdam: Elsevier.

Lloyd, S. P. (1982) Least squares quantization in PCM. *IEEE Transactions on Information Theory* 28(2), 129–137.

Lorenz, W.(2009) Fractal Geometry of Architecture – Implementation of the Box-Counting Method in a CAD-Software. In: *Computation: The New Realm of Architectural Design*, *Proceedings of the 27th eCAADe Conference, eCAADe 2009*. pp. 697-704.

Lorenz, W. (2003) Fractals and fractal architecture. *Dissertation at the Faculty of Architecture and Design,* Technical University of Vienna.

Lubachevsky, B. D. (1991) How to simulate billiards and similar systems. *Journal of Computational Physics archive*, 94(2), 255 - 283.

Luhmann, N. (1985) *A Sociological Theory of Law*. London: Routledge and Kegan Paul.

Lynch, K. (1960) *The Image of the City*. Cambridge MA: M.I.T. Press.

Mandelbrot, B. (2004) *Fractals and Chaos*. Berlin: Springer.

Mandelbrot, B. (1989) Fractal Geometry: what is it and what does it do? In: *Proceedings of the Royal Society of Lond*on A, 423, 3-16.

Mandelbrot, B. (1982) *The Fractal Geometry of Nature*. New York: Freeman.

Mandelbrot, B. (1967) How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and fractional dimension. *Science, New Series*, 156 (3775), 636-638.

March, L. & Steadman, P. (1971) *The geometry of environment: an introduction to spatial organization in design.* London: R.I.B.A. Publications Ltd.

Maturana, H. & Varela, F. (1992) *Το Δέντρο της Γνώσης, οι Βιολογικές Ρίζες της Ανθρώπινης Νόησης*. Αθήνα: Κάτοπτρο.

Meillassoux, Q. (2008) *After Finitude: An Essay on the Necessity of Contingency*. London: Continuum.

Fleischmann, M. & Menges, A. (2012) Physics-Based Modeling as an Alternative Approach to Geometrical Constrain-Modeling for the Design of Elastically-Deformable Material Systems. In: *Proceedings of the 30th eCAADe Coference, eCAADe 2012*. 1, pp. 565-575.

Naim, A., Ratnatunga, K. U., & Griffiths, R. E. (1997) Quantitative Morphology of Moderate Redshift Galaxies: How many peculiars are there? *The Astrophysical Journal*, 476(2), 510-520.

Newman, M. E. J. & Girvan, M. (2004) Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, 69.

Newman, M.E.J. (2010) *Networks: An Introduction*. Oxford, UK: Oxford University Press.

Newman, M.E.J. (2006) Modularity and community structure in networks. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 103(23), pp. 8577-8582.

Newman, M.E.J. (2004a) Analysis of weighted networks. *Physical Review E,* 70.

Newman, M. E. J. (2004b) Fast algorithm for detecting community structure in networks. *Physical Review E,* 69.

O'Rourke, N. & Hatcher. L. (2013) *A Step-by-Step Approach to Using SAS for Factor Analysis and Structural Equation Modeling.* 2nd ed. Cary, North Carolina, USA: SAS Institute Inc.

Obayashi, S. & Sasaki, D. (2003) Visualization and data mining of Pareto solutions using self-organizing map. In: *EMO'03 Proceedings of the 2nd international conference on Evolutionary multi-criterion optimization*. Berlin: Springer-Verlag. pp. 796-809.

Ostwald, M. J., Vaughan, J. & Tucker, C. (2008) Characteristic Visual Complexity: Fractal dimensions in the architecture of Frank Lloyd Wright and Le Corbusier. In: K. Williams (ed.), *Nexus VII, Architecture and Mathematics*, Turin: KW Books. pp. 217-232.

Ostwald, M., & Vaughan, J. (2009) Calculating Visual Complexity in Peter Eisenman's Architecture: A computational fractal analysis of five houses (1968-1976). In: *Proceedings of CAADRIA*, pp. 75-84.

Ostwald, M., Vaughan, J. & Chalup, S. (2008) A Computational Analysis of Fractal Dimensions in the Architecture of Eileen Gray. In: *Silicon + Skin: Biological Processes and Computation, ACADIA 08*, pp. 256-263.

Ostwald, M.J. (2001) Fractal Architecture: Late Twentieth Century Connections Between Architecture and Fractal Geometry. *Nexus Network Journal,* 3(1).

Park, S.H. & Gero, J. (2000) Categorisation of shapes using shape features. In: Gero, J., (ed.) *Artificial Intelligence in Design '00*, Kluwer, Dordrecht, pp. 203-223.

Pattee, H.H. (1987) Instabilities and Information in biological self-organization. In: Yates, F.E. (ed.) *Self-Organization: The Emergence of Order*. New York: Plenum Press, pp. 325-388.

Pearson, K. (1901) On lines and planes of closest fit to systems of points in space*. Philosophical Magazine,* 2(11), 559-572.

Peponis, J. (1997) Geometries of architectural description: Shape and spatial configuration. In: *Proceedings of the First International Space Syntax Symposium*, London. 2, pp. 34.1-34.8.

Peponis, J., Wineman, J., Rashid, M., Hong Kim, S. & Bafna, S. (1997) On the description of shape and spatial configuration inside buildings: convex partitions and their local properties. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24, 761-781.

Pons, P. & Latapy, M. (2006) Computing Communities in Large Networks Using Random Walks. *Journal of Graph Algorithms and Applications,* 10(2), 191-218.

Psarra, S. & Grajewski, T. (2001) Describing shape and shape complexity using local properties. In: *Proceedings of the Third International Space Syntax Symposium*, Atlanta. pp.28.1-28.16.

Psarra, S. (2003) Top-down and bottom-up characterisations of shape and space. In: *Proceedings of the Fourth International Space Syntax Symposium,* London.

Quine, W. V. O. (1969) Natural Kinds. In: *Quine, Ontological Relativity and Other Essays*. New York: Columbia University Press.

Radicchi, F., Castellano, C., Cecconi, F., Loreto, V. & Parisi, D. (2004) Defining and identifying communities in networks. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 101, 2658.

Reeves, W. T. (1983) Particle Systems - A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects. *Computer Graphics,* 17(3), 359-376.

Reydon, T. (2009) How to fix Kind Membership: A Problem for the HPC Theory and a Solution. *Philosophy of Science,* 76(5), 1-19.

Rittel, H.W.J. & Webber, M.M. (1984) Planning problems are wicked problems. In: Cross, N. (ed.) *Developments in Design Methodology.* John Wiley and Sons.

Rittel, H.W.J. & Webber, M.M. (1973) Dilemmas in a General Theory of Planning. In: *Policy Sciences*, 4(2), Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company. pp. 155–169.

Rojas, R. (1996) *Neural Networks*. Berlin: Springer-Verlag.

Rossi, A. (1991) *Η Αρχιτεκτονική της Πόλης*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.

Rossi, A. (1978) *L'Architettura della citta*. Milano: CLUP.

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. & Williams, R.J. (1986) Learning internal representations by error propagation. In: Rumelhart, D.E., McClelland, J.L. and the PDP research group (eds.) *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of cognition, 1: Foundations.* Cambridge, MA: MIT Press. pp.318-362.

Rummel, R. J. (1970). *Applied factor analysis.* Evanston, IL: Northwestern University Press.

Rusbult, C.E. (1980). Commitment and satisfaction in romantic associations: A test of the investment model. *Journal of Experimental Social Psychology, 16,* 172-186.

Russel, S. & Norvig, P. (2010) *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3rd ed. Prentice Hall.

Salingaros, N. (2000) Complexity and urban coherence. *Journal of Urban Design*, 5, 291-316.

SAS Institute Inc. (2015) *JMP®12 Multivariate Methods*. Cary, NC: SAS Institute Inc.

SAS Institute Inc. (1989) *SAS/STAT users guide.* 4th ed., 1. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Selle, A., Lentine, M. & Fedkiw, R. (2008) A mass spring model for hair simulation. *ACM Transactions on Graph*ics, 27(3), 64.1-64.12.

Schauer, G. (2012) *The Case of Boyd's Homeostatic Property Clusters.* Available from: http://georgschauer.com/2012/12/10/the-causal-mechanism-in-boyds-homeostatic-property-cluster-kind-approach/ [Accessed July 2016].

Shimada, K. (1995) Bubble mesh: automated triangular meshing of non-manifold geometry by sphere packing. In: *Proceedings of the third ACM symposium on Solid modeling and applications*, pp. 409-419.

Solà-Morales Rubió, I. (1995) Terrain Vague. In: Davidson, C. (ed.) *Anyplace*. Cambridge: MIT press, pp. 118-123.

Somers, K.M. (1989). Allometry, isometry and shape in principal component analysis. *Systematic Zoology*, 38, 169–173.

Song, C., Havlin, S. & Makse, H.A. (2005) Self-similarity of complex networks. *Nature,* 433, 392-395.

Spector, P.E. (1992). *Summated rating scale construction: An introduction.* Newbury Park, CA: Sage.

Sprent, P. (1972). The mathematics of size and shape. *Biometrics*, 28, 23–37.

Steadman, P. (1998) Sketch for an archetypal building. *Environment and Planning B: Planning and Design*, Anniversary Issue, 92-105.

Stevens, J. (1986). *Applied multivariate statistics for the social sciences.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Tan, P.N., Steinbach, M. & Kumar, V. (2005) *Introduction to Data Mining*. Pearson.

Toth, R.E. (1988) Theory and language in landscape analysis, planning, and evaluation. *Landscape Ecology*, 1(4), pp. 193–201.

Tufte, E.R. (1983) *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire, CT: Graphic Press.

Tukey, J. (1980) We Need both Explanatory and Confirmatory. *The American Statistician*, 34(1), 23-25.

Tukey, J. (1977) *Explanatory Data Analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Tunkelang D. (1999) *A Numerical Optimization Approach to General Graph Drawing*. PhD thesis, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburg.

Turner, A. (2004) *Depthmap 4: A researcher's handbook*. London: Bartlett School of Graduate Studies UCL.

Turner, A., Doxa, M., O'Sullivan, D. and Penn, A. (2001) From isovists to visibility graphs: a methodology for the analysis of architectural space. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 28, 103-121.

Turner, A. & Penn, A. (1999) Making isovists syntactic: isovist integration analysis. In: *Proceedings of the 2nd International Symposium on Space Syntax,* Universidad de Brasilia, Brazil, April 1999.

Tutte, W. T. (1963) How to draw a graph. *Proceedings of the London Mathematicsl Society*, 13(52), pp.743–768.

Verlet, L. (1967). Computer Experiments on Classical Fluids. I. Thermodynamical Properties of Lennard−Jones Molecules. *Physical Review*, 159, 98–103.

Vernon, M.D. (1963) *The psychology of perception*. Baltimore: Penguin Books.

Vidler, A. (1976) The third typology. In: Hays, M. (ed.) *Oppositions reader: selected readings from a journal for ideas and criticism in architecture, 1973-1984*. New York: Princeton Architectural Press.

Ward, M. O., Grinstein, G. & Keim, D. (2010) *Interactive Data Visualization: Foundations, Techniques, and Applications*. A K Peters/CRC Press.

Wegman, E.J. & Carr, E.B. (1993) Statistical Graphics and Visualization. In: Rao, C.R. (ed.) *Handbook of Statistics, 9*. Amsterdam: Elsevier. pp. 857-958.

Wegman, E.J. (1990) Hyperdimensional Data Analysis Using Parallel Coordinates. *Journal of the American Statistical Association*, 85, 664-675.

Weisstein, E. W. (2016a) *Fractal Dimension*. MathWorld-A Wolfram Web Resource. Available from: http://mathworld.wolfram.com/FractalDimension.html [Accessed July 2016].

Weisstein, E. W. (2016b) *Standard Deviation*. MathWorld-A Wolfram Web Resource. Available from: http://mathworld.wolfram.com/StandardDeviation.html [Accessed July 2016].

Wertheimer, M. (1923) Untersuchunen zur Lehre von der Gestalt. II. Psych. Forsch. 4, pp.301-350.

Wilkinson, L. (1999) *The Grammar of Graphics*. Springer - Verlag.

Williams, C.J.K. (2001) The analytic and numerical definition of the geometry of the British Museum Great Court Roof. In: Burry, M., Datta, S., Dawson, A., and Rollo, A.J. (eds.) *Mathematics & design 2001*: *Proceedings of the the Third International Conference on Mathematics & Design, M&D-2001, Deakin University, Geelong, Australia, July 3-5, 2001*. pp. 434-440.

Witkin, A. (1994) Particle System Dynamics. In: *Introduction to Physically-Based Modeling*, SIGGRAPH 94 Course Notes.

Wu, F. & Huberman, B.A. (2004) Finding communities in linear time: a physics approach. *The European Physical Journal B,* 38(2), 331-338.

Yinger, R.J. (1980). Can we teach them to think?. In: Young, R.E. (ed.) *New Directions for Teaching and Learning: Fostering Critical Thinking.* San Francisco: Jossey-Bass Inc. pp. 11-31.

Young, F.W., Faldowski, R.A. & McFarlane, M.M. (1993) Multivariate Statistical Visualization. In: Rao, C.R. (ed.) *Handbook of Statistics*, 9. Amsterdam: Elsevier. pp.959-998.

Zahn, C. T. (1971) Graph-theoretical methods for detecting and describing Gestalt clusters. *IEEE Transactions on Computers,* C20, 68-86.

Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός (ΓΟΚ) Ν. 1577/1985, όπως τροποποιήθηκε με τον Ν. 2831/9-13-06-2000 (ΦΕΚ 140 Α').

Καστοριάδης, Κ. (1995) *Χώροι του Ανθρώπου*. Εκδόσεις Ύψιλον.

Καστοριάδης, Κ. (1981) *Η Φαντασιακή Θέσμιση της κοινωνίας*. Εκδόσεις Ράππα.

Μάρκος, Α. (2006) Βοήθεια στην Ερμηνεία των Αποτελεσμάτων της Παραγοντικής Ανάλυσης των Αντιστοιχιών και Αλγόριθμοι Κατασκευής και Ανάλυσης Ειδικών Πινάκων Εισόδου. Η Περίπτωση του Λογισμικού CHIC Analysis. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

Μωϋσιάδης, Χ. (2002) *Συνδυαστική Απαρίθμηση. Η Τέχνη να Μετράμε Χωρίς Μέτρημα.* Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Παρμενίδης, Γ. (2015) *Η Αρχιτεκτονική ως Αντικείμενο Έρευνας Ι: Περί του Εννοιολογικού Υποβάθρου της Έρευνας, της Κατασκευής των Εννοιολογικών Εργαλείων και του Σώματος της Έρευνας*. [Σημειώσεις μαθήματος] ΔΠΜΣ Αρχιτεκτονική – Σχεδιασμός του Χώρου, Κατεύθυνση Α: Σχεδιασμός - Χώρος – Πολιτισμός, Σχολή Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ. Διαθέσιμο στο: http://www.arch.ntua.gr/node-resources/1152#resource-3150 [Πρόσβαση: Ιούλιος 2016].

Παρμενίδης, Γ. (επ.) (2013α) *Διερεύνηση Στρατηγικών για τη Δικτύωση των Αστικών Παρεμβάσεων στο Μητροπολιτικό Κέντρο της Αθήνας, Γενικός Σχεδιασμός Στρατηγικών Προσέγγισης, Α' Φάση.* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και Περιφέρεια Αττικής.

Παρμενίδης, Γ. (επ.) (2013β) *Διερεύνηση Στρατηγικών για τη Δικτύωση των Αστικών Παρεμβάσεων στο Μητροπολιτικό Κέντρο της Αθήνας, Σύνταξη προδιαγραφών για δικτυακές/κομβικές επεμβάσεις, Β' Φάση.* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και Περιφέρεια Αττικής.

Παρμενίδης, Γ. (επ.) (2014) *Διερεύνηση Στρατηγικών για τη Δικτύωση των Αστικών Παρεμβάσεων στο Μητροπολιτικό Κέντρο της Αθήνας, Διερεύνηση επέκτασης του Γενικού Σχεδιασμού των Στρατηγικών Προσέγγισης, Γ' Φάση.* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και Περιφέρεια Αττικής.

Παρμενίδης, Γ., Ατζάμπου, Γ. & Καραδήμα, Χ. (2015) Νεές Χωρικότητες: Παραστατικές Τέχνες και υπαίθριος/ ανοιχτός χώρος. *PQ2015 Prague Quadrennial of Performance, design and Space*, *Ελληνικό Κέντρο του Διεθνούς Ινστιτούτου Θεάτρου,* σσ. 439-448.

Πεπονής, Ι. (2003) *Χωρογραφίες. Ο Αρχιτεκτονικός Σχηματισμός του Νοήματος*. 2η έκδοση. Αθήνα: Εκδόσεις Αλεξάνδρεια.

Λοιπές πηγές

http://processing.org/

http://toxiclibs.org/

http://toxiclibs.org/docs/verletphysics/

http://www.jmp.com/

https://gephi.org/

Παράρτημα

Ι. Πίνακες ιδιοτήτων

block No.	plan	mcv	mhv	v-value	h-value	fractal dim.	void perim. (m)	void No.	total area	footprint	buildings built No.	open voids%	vertices	mean height	norm. height variance	land value	floor area factor
A001		9.249023	1.51515	3.45853	1.56236	1.531	422	1	5523.627	0.73021	19	4	0	4	4.83705	0.808239113	1450	4.2
A002		11.65038	2.17391	5.47035	2.66207	1.497	400	1	5570.052	0.75953	18	2	0	4	5.25359	0.20491226	1450	4.2
A003		18.34696	2.5	8.27467	5.40507	1.454	511	1	8735.561	0.58995	18	5	100	5	4.568026	0.256269776	1800	4.5
A004		33.46902	8.33333	12.1994	9.29491	1.378	67	1	1833.6	0.93058	5	1	0	3	5.965016	0.106884541	1775	4.8
A005		49.21307	8.33333	13.9646	8.90288	1.354	279	2	3006.393	0.6453	14	3	100	4	3.838438	0.081750702	1450	4.2
A006		53.74486	6.13636	8.97735	9.25026	1.468	396	4	5288.533	0.75266	11	2	50	4	4.660393	0.269165068	1450	4.2
A007		16.76541	4.54545	8.13674	5.84811	1.447	438	1	5983.549	0.70987	18	2	100	3	4.190992	0.137585803	1450	4.5
A008		13.19122	1.96078	4.41192	2.34672	1.46	379	1	5366.35	0.83684	14	1	0	5	5.700929	0.119538412	1775	4.8
A009		33.37629	3.84615	12.4981	4.16475	1.381	97	1	1468.148	0.93844	7	1	0	3	5.243467	0.065805697	1450	4.8
A010		21.03954	4.16667	10.9176	3.00676	1.434	274	1	3480.247	0.84107	11	1	100	4	5.389201	0.118229585	1775	4.8
A011		29.17371	6.68044	11.688	7.8829	1.506	484	3	4032.377	0.69092	12	3	66.667	3	4.869445	0.173772576	1450	4.2
A012		25.33178	5	9.66577	6.39243	1.539	242	1	3274.875	0.7869	8	1	100	3	6.607827	0.413523689	1450	4.5
A013		23.01836	3.33333	10.1742	4.99526	1.425	232	1	3871.038	0.83831	13	1	0	5	5.177011	0.143886888	1450	4.8
A014		28.66695	3.33333	12.664	3.69751	1.393	237	1	4388.921	0.84863	9	1	0	4	7	0	1775	4.8
A015		35.99304	7.36434	9.29848	5.81042	1.54	215	2	2745.129	0.82622	13	1	0	4	3.880691	0.087950831	1350	4.5

A016		44.91406	12.5	19.3363	16.2804	1.373	169	1	1913.811	0.52171	7	2	100	3	4.565925	0.228283207	1450	4.8
A017		34.19331	4.92884	8.13937	5.03286	1.403	248	3	4607.914	0.88279	18	1	0	4	4.396979	0.066592313	1450	4.8
A018		51.81039	9.14864	15.5582	10.14	1.442	339	6	5130.522	0.89414	12	2	50	4	3.333169	0.02210449	1775	4.8
A019		16.89146	3.125	6.36163	4.1211	1.436	284	1	3257.908	0.69532	15	3	0	5	3.154915	0.08565936	1350	4.5
A020		45.5252	9.5977	14.9898	9.00583	1.51	261	4	2865.153	0.84375	10	1	0	6	7.119598	0.380500978	1450	5.1
A021		100	0	0	0	1.368	11	1	614.4523	0.98749	7	1	0	3	6.345448	0.054109339	1450	4.8
A022		16.65234	4.58769	6.6555	4.45619	1.452	410	2	4604.549	0.7735	12	2	50	4	5.949171	0.083214283	1450	5.1
A023		41.33146	6.13026	9.48262	1	1.488	415	7	4566.956	0.83845	12	2	85.71	4	7.714161	0.388472058	1775	5.1
A024		49.52111	7.24379	11.2292	7.20485	1.483	319	6	2882.418	0.76845	8	1	33.333	5	7.055275	0.221942873	1775	5.1
A025		46.91424	10.8374	12.0474	7.53385	1.375	87	2	1020.782	0.917	6	1	50	3	5.171516	0.099720856	1350	4.5
Amin		9.249023	0	0	0	1.354	11	1	614.4523	0.52171	5	1	0	3	3.154915	0	1350	4.2
Amax		100	12.5	19.3363	16.2804	1.54	511	7	8735.561	0.98749	19	5	100	6	7.714161	0.808239113	1800	5.1
Amean		33.99933	5.49288	9.82399	5.8399	1.44548	288.64	2.2	3841.315	0.79392	11.88	1.8	39.4284	3.96	5.27952932	0.184724588	1543	4.656
Arange		90.75098	12.5	19.3363	16.2804	0.186	500	6	8121.109	0.46577	14	4	100	3	4.559246	0.808239113	450	0.9
Avar		364.353	9.31754	16.6515	11.9861	0.00312161	17122.8704	3.2	3151464	0.01192	16.7456	1.12	1761.472549	0.6784	1.42086249	0.028347115	27026	0.087264

block No.	plan	mcv	mhv	v-value	h-value	fractal dim.	void perim. (m)	void No.	total area	footprint	buildings	built No.	open voids%	vertices	mean height	norm. height variance	land value	floor area factor
B001		97.38708	3.5461	2.15725	1.85611	1.352	141	9	2403.28	0.92634	13	1	2.222	3	4.864111	0.021419536	4000	4.2
B002		68.87549	12.734	12.4645	12.119	1.499	290	7	2952.971	0.85481	17	2	42.857	4	4.36752	1.09188006	4000	4.2
B003		31.81376	4.18363	10.8539	3.48875	1.411	201	2	2699.098	0.8362	15	1	0	4	4.601966	0.630901228	4000	4.2
B004		96.8254	3.96825	2.35702	1.91769	1.417	126	5	2921.259	0.87871	24	1	20	4	4.411917	1.102979272	4000	4.2
B005		22.59734	3.72967	6.20832	3.85486	1.531	492	6	4842.767	0.80066	22	2	16.667	4	3.40729	0.362216894	4000	4.2
B006		23.64272	1.74393	4.81077	1.58137	1.519	453	5	5534.669	0.81602	23	1	0	4	5	0	4000	4.2
B007		48.28168	3.09527	8.53854	1.96568	1.51	361	11	4757.516	0.8163	17	1	0	4	5	0	4000	4.2
B008		40.54867	2.8376	9.78648	3.74084	1.497	443	12	4716.949	0.81592	19	1	8.333	4	4.928733	0.526193851	4000	4.2
B009		40.40872	9.35631	9.90535	4.44102	1.541	608	11	5533.189	0.80701	17	1	0	4	4.372272	0.218575377	4000	4.2
B010		39.60428	0.87329	6.17418	1.5004	1.532	419	9	4823.08	0.78673	16	1	0	4	5.273665	0.534554053	4000	4.2
B011		52.49072	8.46999	10.0315	6.43639	1.505	561	18	5578.901	0.80158	15	1	0	4	5	0	4000	4.2
B012		22.76042	2.19132	7.58546	2.47451	1.452	452	4	6479.002	0.77627	19	1	0	4	5	0	4000	4.2
B013		47.44943	3.19925	10.1549	3.23928	1.473	450	13	5524.615	0.72743	18	1	0	4	5	0	4000	4.2
B014		43.38419	5.58313	8.01771	3.90313	1.513	419	9	4889.543	0.8418	16	1	0	4	5	0	4375	4.2
B015		12.5295	2.38095	5.91078	3.53716	1.498	478	1	5176.662	0.71472	13	2	100	4	6	0	4375	4.2

B016		50.20252	5.95588	10.1587	5.36067	1.499	442	14	4376.061	0.83846	14	1	0	5	4.025648	0.498102417	4375					4.2
B017		39.1642	5.32614	8.59241	5.41442	1.551	695	14	7717.695	0.54753	12	3	7.143	4	3.750118	0.69501893	4375					4.2
B018		46.75258	4.69249	8.36474	4.9015	1.545	626	13	5845.225	0.65579	15	3	15.385	3	4.143524	1.035881293	4375					4.2
B019		74.61112	14.6351	12.3836	10.6946	1.485	459	12	5528.215	0.78053	12	3	16.667	3	5.076581	0.297382825	6625					4.2
B020		19.11717	2.89618	5.903	3.06716	1.484	478	3	7440.986	0.56409	18	5	33.333	4	3.279573	0.446193758	7150					4.2
B021		30.70301	3.47445	6.29216	3.95537	1.453	748	9	10316.11	0.5864	15	4	22.222	4	4.033891	0.575298886	7150					4.2
B022		33.45229	4.79106	8.21608	3.49982	1.446	735	11	8686.748	0.64282	14	3	18.182	4	4.924778	0.81340763	5800					4.2
B023		34.33901	3.77763	7.73962	4.37925	1.511	792	13	8266.218	0.83508	15	4	7.69	4	5.087273	0.101387521	5800					4.2
B024		37.54732	5.59376	7.41522	4.96259	1.468	597	13	6615.518	0.79634	22	2	7.69	4	4.92422	1.18105304	4000					4.2
B025		47.83486	4.70113	8.77568	3.95235	1.465	382	9	4971.337	0.76967	18	1	1.111	5	4.678991	0.449683489	4000					4.2
Bmin		12.5295	0.87329	2.15725	1.5004	1.352	126	1	2403.28	0.54753	12	1	0	3	3.279573	0	4000					4.2
Bmax		97.38708	14.6351	12.4645	12.119	1.551	792	18	10316.11	0.92634	24	5	100	5	6	1.18105304	7150					4.2
Bmean		44.09294	4.94946	7.95191	4.24976	1.48628	473.92	9.32	5543.904	0.76869	16.76	1.88	12.78008	3.96	4.64608284	0.423285202	4576					4.2
Brange		84.85759	13.7618	10.3072	10.6186	0.199	666	17	7912.829	0.37881	12	4	100	2	2.720427	1.18105304	3150					0
Bvar		437.2797	10.1271	6.55464	6.03256	0.00207916	29145.9136	17.6576	3464725	0.00929	10.6624	1.3856	445.0453509	0.1984	0.36273429	0.15045281	1024974					3.15544E-30

block No.	plan	mcv	mhv	v-value	h-value	fractal dim.	void perim. (m)	void No.	total area	footprint buildings	built No.	open voids%	vertices	mean height	norm. height variance	land value	floor area factor
C001		47.45414	9.96377	9.96666	9.25691	1.41	138	3	1485.696	0.89418	10	1	0	4	4.204396	0.070973096	3000	2.4
C002		37.9753	6.01226	10.8207	7.8617	1.575	496	6	2808.111	0.64666	19	5	100	6	1.813111	0.285652119	2150	1.4
C003		73.2033	12.1267	10.4137	11.1051	1.484	221	7	2111.885	0.8511	20	2	71.429	6	1.960133	0.049409402	2150	1.6
C004		41.47869	6.62329	13.8226	8.14037	1.483	333	4	2701.386	0.50427	15	4	75	5	1.740534	0.149660392	2150	1.4
C005		70.75037	16.0494	16.8805	11.1243	1.461	135	4	1342.127	0.81765	7	1	50	4	2	0	2150	1.4
C006		48.02139	5.08578	11.5313	8.67802	1.453	204	3	1682.473	0.67554	10	2	66.667	4	2	0	2150	1.4
C007		45.31514	5.75439	8.91238	4.8682	1.426	95	2	723.3651	0.7973	6	1	100	4	2	0	2150	0.7
C008		55.67492	7.73112	9.0238	6.77654	1.523	256	5	1517.384	0.66252	10	4	100	5	1.551384	0.068956493	2150	0.7
C009		57.87454	12.1875	13.355	11.773	1.491	160	3	1643.909	0.80826	11	2	66.667	6	1.705071	0.182353697	2150	0.7
C010		44.09162	5.68594	8.96219	6.76576	1.521	294	3	2381.507	0.61208	12	3	66.667	5	1.583939	0.089213032	2150	0.7
C011		54.08867	16.6667	19.4522	18.743	1.386	175	1	995.7422	0.29933	2	1	100	4	1.107644	0.276911174	2150	1.4
C012		26.67925	4.64404	11.2351	6.69421	1.583	404	2	3790.196	0.52726	11	4	100	6	0.976208	0.108783169	2150	1.4
C013		43.39804	12.0544	12.7706	9.28687	1.483	191	3	1984.959	0.85948	12	1	33.333	3	2.742208	0.049534171	3000	1.8
C014		29.25709	7.14286	13.0516	5.42862	1.561	264	2	2043.62	0.80596	10	2	100	6	2.374643	0.001692044	3000	1.8
C015		28.00615	5.72688	10.749	5.93399	1.501	647	5	5604.178	0.65123	21	4	40	4	2.255812	0.062592982	3000	2.1

C016		42.0154	6.90506	13.1841	7.27498	1.478	789	9	8198.59	0.54926	29	5	66.667	6	3.387112	0.115699156	3000	2.25					
C017		33.60752	5.55556	13.3223	4.52391	1.421	185	1	2593.803	0.75705	9	2	100	4	3.401571	0.294944013	3000	3					
C018		28.44549	2.94296	10.7657	4.90972	1.427	309	2	3478.168	0.69099	10	1	50	3	2.988914	0.414035332	2700	4.2					
C019		100	0	0	0	1.463	31	2	590.0775	0.96689	4	1	50	3	2.821382	0.198133043	3000	3					
C020		36.66506	5.81413	10.1199	5.21034	1.531	489	5	4173.322	0.66671	22	4	60	5	2.393134	0.202584979	3000	2.1					
C021		32.86761	7.82419	8.7039	6.42049	1.575	802	7	6153.503	0.72763	27	5	57.143	5	2.47166	0.081024089	3000	1.8					
C022		17.19871	8.48084	7.80486	3.20471	1.565	548	2	4234.528	0.72818	21	7	100	4	1.902044	0.382599456	2150	1.4					
C023		35.74419	5.59457	8.98392	7.38406	1.483	267	2	2561.266	0.61597	8	3	100	5	2.047586	0.156573643	2150	1.4					
C024		40.58764	8.33333	16.2097	14.2108	1.348	141	1	942.7178	0.50089	5	3	100	6	2	0	2150	0.7					
C025		70.96025	22.5	17.292	13.6882	1.674	100	3	389.6513	0.63328	5	1	66.667	4	1.488991	0.260652348	2150	0.7					
Cmin		17.19871	0	0	0	1.348	31	1	389.6513	0.29933	2	1	0	3	0.976208	0	2150	0.7					
Cmax		100	22.5	19.4522	18.743	1.674	802	9	8198.59	0.96689	29	7	100	6	4.204396	0.414035332	3000	4.2					
Cmean		45.65442	8.29622	11.4933	7.97055	1.49224	306.96	3.48	2645.287	0.68999	12.64	2.76	72.8096	4.68	2.19669908	0.140079113	2478	1.658					
Crange		82.80129	22.5	19.4522	18.743	0.326	771	8	7808.939	0.66756	27	6	100	3	3.228188	0.414035332	850	3.5					
Cvar		318.7672	22.0991	14.1329	14.7567	0.00499282	42849.2384	4.1696	3393140	0.02098	50.3104	2.7424	699.8004608	1.0176	0.529980444	0.014371111	164616	0.698336					

block No.	plan	mcv	mhv	v-value	h-value	fractal dim.	void perim. (m)	void No.	total area	footprint	buildings built No.	open voids%	vertices	mean height	norm. height variance	land value	floor area factor
D001		73.70671	8.06293	9.21136	8.32615	1.555	339	8	2709.567	0.79527	18	2	50	4	4.503564	1.005202324	1150	1.4
D002		61.5202	9.56799	11.4878	6.7714	1.58	474	7	2673.857	0.6992	27	2	71.489	4	3.98228	0.469170174	1150	1.4
D003		31.87742	6.09109	13.2095	6.22584	1.574	391	2	2931.851	0.54697	18	6	100	4	2.031915	0.182236462	1150	1.4
D004		53.77042	7.77474	10.61	6.53754	1.492	287	7	1842.784	0.8006	19	2	57.143	4	3.735053	0.847536032	1150	1.4
D005		45.71087	8.68736	11.7009	9.78302	1.478	306	5	1665.37	0.5617	16	3	80	4	3.106335	0.565194997	1150	1.4
D006		52.52268	11.2458	15.2688	9.07351	1.593	895	17	5918.75	0.76062	40	1	58.824	4	2.913274	0.286671971	1150	1.8
D007		64.08787	15.0151	17.1493	12.5352	1.618	679	16	3948.139	0.7483	33	1	81.25	4	1.561827	0.012591023	1150	1.8
D008		38.9402	7.27515	11.1588	6.88818	1.622	894	12	5793.544	0.72288	48	10	58.333	4	2.821694	0.064218516	1150	1.8
D009		43.7384	8.30918	12.3575	7.76028	1.577	740	10	4016.328	0.69557	32	6	70	4	4.340785	0.686719107	1150	1.8
D010		48.45041	21.1693	13.2862	9.66483	1.508	547	9	3832.634	0.75801	34	3	66.667	4	2.332455	0.090632402	1150	1.8
D011		44.80143	8.83472	12.9419	7.93849	1.518	241	4	2765.268	0.78954	16	1	75	4	3.644023	0.098734284	1150	2.2
D012		11.55614	2.27273	4.77107	3.23314	1.491	444	1	3701.879	0.73197	28	6	100	4	2.158803	0.060653056	1150	2.2
D013		39.23075	5.6553	9.699	4.78619	1.513	400	6	3828.968	0.77418	26	1	100	4	2.47066	0.183458266	1150	2.2
D014		47.43598	9.2172	13.0649	10.0125	1.47	503	8	5384.976	0.80658	29	3	25	4	3.010046	0.086664789	1150	1.8
D015		74.47917	14.4025	14.7171	12.0658	1.434	159	4	2779.16	0.22487	7	3	100	3	0.468263	0.062857838	1150	2.2

D016		50.7138	10.496	13.3548	7.85133	1.567	350	5	2883.555	0.73107	17	2	40	4	2.573929	0.077757001	1150	2.2				
D017		54.76374	18.3729	15.2905	12.4288	1.57	519	11	3974.502	0.76935	27	3	36.364	4	3.15462	0.165590784	1100	2.4				
D018		68.49154	11	11.1845	7.89079	1.561	295	7	2796.719	0.81907	19	1	28.571	4	2.457656	0.085634035	1100	2.2				
D019		48.0038	11.6913	12.7605	9.59138	1.552	559	9	4126.574	0.76727	29	2	33.333	4	2.728328	0.08110755	1100	2.4				
D020		16.86382	3.57143	8.07923	5.82752	1.476	429	1	3732.069	0.57176	15	6	100	4	2.326753	0.043242665	1150	2.4				
D021		47.35861	9.52063	14.8339	8.14767	1.568	374	6	2775.774	0.78498	20	1	66.667	4	1.998535	0.172404787	1150	2.2				
D022		77.56632	12.2222	11.3625	9.72343	1.491	252	6	2458.803	0.74337	15	1	50	5	2.906233	0.401884845	1150	2.2				
D023		51.90754	10.2273	10.1208	9.32542	1.498	396	6	3761.455	0.70091	22	3	16.667	4	3.138403	0.043972046	1150	2.4				
D024		46.14132	6.31509	8.88399	5.75711	1.527	535	8	4010.595	0.71257	30	4	50	4	2.605792	0.021851706	1100	2.2				
D025		55.67987	10.1591	8.85029	6.41989	1.571	398	6	2711.684	0.71348	24	1	50	4	2.554516	0.116774371	1100	2.2				
Dmin		11.55614	2.27273	4.77107	3.23314	1.434	159	1	1665.37	0.22487	7	1	16.667	3	0.468263	0.012591023	1100	1.4				
Dmax		77.56632	21.1693	17.1493	12.5352	1.622	895	17	5918.75	0.81907	48	10	100	5	4.503564	1.005202324	1150	2.4				
Dmean		49.97276	9.88628	11.8142	8.18261	1.53616	456.24	7.24	3480.992	0.7092	24.36	2.96	62.61232	4	2.78102968	0.236510441	1140	1.976				
Drange		66.01018	18.8965	12.3783	9.30202	0.188	736	16	4253.38	0.5942	41	9	83.333	2	4.035301	0.992611301	50	1				
Dvar		237.4416	16.8645	7.12736	5.11381	0.00235637	33858.4224	14.7424	1131557	0.01486	78.7104	4.9184	615.9798653	0.08	0.723616393	0.071377298	400	0.122624				

block No.	plan	mcv	mhv	v-value	h-value	fractal dim.	void perim. (m)	void No.	total area	footprint buildings	built No.	open voids%	vertices
L001		59.28025	6.27525	11.2975	4.90118	1.438	594	13	4510.364	0.80069	31	2	76.923	4
L002		42.63879	4.54514	9.22854	4.5909	1.493	964	7	9599.56	0.79166	15	2	71.429	4
L003		55.79918	4.32975	7.67989	3.54457	1.439	511	19	2468.862	0.77558	30	1	100	6
L004		69.35426	9.99333	11.748	6.90106	1.505	400	20	2539.287	0.83848	31	1	65	6
L005		90.77126	5.14905	5.99349	5.75052	1.425	123	6	1646.643	0.93955	7	1	83.333	4
L006		52.4917	4.51342	7.41765	4.90705	1.516	447	14	2694.298	0.76505	26	2	78.571	4
L007		96.60232	5.17007	3.86546	4.71048	1.352	105	5	3606.848	0.96182	18	1	40	4
L008		55.01744	13.8799	10.5706	5.33596	1.492	302	7	2665.274	0.89357	8	1	0	4
L009		62.41669	2.39259	15.395	3.05993	1.412	614	19	1699.451	0.45072	21	2	100	4
L010		99.68701	6.69014	0.77461	7.86228	1.412	71	5	1666.671	0.96381	20	1	20	4
L011		36.52852	18.2407	20.6067	17.031	1.541	180	4	1687.914	0.91156	29	1	0	4
L012		72.40213	9.17315	10.8841	6.91844	1.478	514	12	3467.969	0.63504	30	1	50	4
L013		58.37213	10.1821	13.0979	5.79526	1.461	238	6	4411.329	0.92954	29	1	50	4
L014		76.65708	8.84865	10.051	4.99501	1.381	283	14	4390.05	0.93114	7	1	85.714	4
L015		47.93589	5.39494	8.96374	5.3583	1.509	978	15	8305.731	0.78721	30	3	93.333	4

L016		57.95851	3.32899	10.565	2.81131	1.495	738	8	2582.905	0.54657	25	1	87.5	4
L017		96.22417	2.10665	2.82913	2.12792	1.385	217	10	2640.293	0.93691	15	2	50	4
L018		76.08452	4.57751	4.47886	4.04929	1.448	473	16	4553.67	0.86728	30	2	62.5	4
L019		73.92127	8.64067	10.8845	5.52283	1.506	1488	64	12028.57	0.87554	75	1	48.438	4
L020		71.0358	7.21612	16.9168	10.4076	1.423	455	12	973.2055	0.23356	11	1	100	4
L021		76.51348	10.7353	13.1647	6.24453	1.431	340	14	5336.537	0.90693	33	1	64.286	5
L022		63.58249	8.22317	16.3094	6.45879	1.392	335	5	2743.576	0.80118	12	1	100	4
L023		69.13002	13.4769	13.4678	8.43378	1.499	768	27	3710.9	0.82485	13	1	48.148	4
L024		77.21049	12.4716	11.2205	10.3139	1.518	816	28	3597.239	0.80379	14	1	50	4
L025		57.9383	8.24513	11.2642	6.25327	1.583	1534	36	6984.117	0.78933	24	1	50	4
Lmin		36.52852	2.10665	0.77461	2.12792	1.352	71	4	973.2055	0.23356	7	1	0	4
Lmax		99.68701	18.2407	20.6067	17.031	1.583	1534	64	12028.57	0.96381	75	3	100	6
Lmean		67.82215	7.75201	10.347	6.17141	1.46136	539.52	15.44	4020.45	0.79845	23.36	1.32	63.007	4.2
Lrange		63.15849	16.1341	19.8321	14.9031	0.231	1463	60	11055.36	0.73024	68	2	100	2
Lvar		260.6601	14.8893	20.0937	8.89004	0.00308543	143540.6496	160.726	6831493	0.02826	182.3904	0.2976	801.3035162	0.32

Πίνακας I - 1

Πίνακες ιδιοτήτων πιλοτικής εφαρμογής

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1438.1	0.000	783.319	0.197	230.355	0	0.000	0.000	0	0	10	48	1.113	25.786	12.303	4.357	0.000	0.000	0.000	0
	1439.1	0.000	683.160	0.142	229.551	0	0.000	0.000	0	0	12	39	1.039	26.577	10.694	4.568	0.000	0.000	0.000	0
	1439.2	0.000	141.637	0.029	47.927	0	0.000	0.000	0	0	4	5	1.225	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	1440.1	0.035	1077.367	0.220	362.381	2	15.532	0.043	0	0	12	41	1.109	20.170	7.817	3.113	1.622	3.850	9.730	7
	1442.1	0.213	318.094	0.231	88.005	2	31.866	0.362	1	0	5	10	1.058	78.858	15.135	14.424	50.529	28.071	10.842	5
	1443.1	0.000	189.160	0.101	86.157	0	0.000	0.000	0	0	10	13	1.009	88.795	12.005	10.254	0.000	0.000	0.000	0
	1444.1	0.000	422.709	0.139	171.042	0	0.000	0.000	0	0	10	20	1.096	49.024	17.365	9.717	1.463	4.964	15.101	0
	1445.1	0.009	465.153	0.079	141.316	2	3.021	0.021	0	0	7	22	1.043	47.495	18.791	8.191	2.733	5.774	7.503	6

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1445.2	0.019	689.942	0.117	233.706	5	6.275	0.027	0	0	9	36	1.150	29.162	16.418	7.481	1.973	3.408	10.211	5
	1445.3	0.006	16.480	0.003	22.286	1	1.885	0.085	0	0	2	5	1.069	100.000	0.000	0.000	31.818	30.492	27.778	2
	1446.1	0.241	910.335	0.273	298.386	1	60.575	0.203	0	0	8	37	1.149	26.377	11.532	7.762	12.966	16.415	14.809	2
	1447.1	0.362	2087.498	0.420	556.477	9	107.209	0.193	1	4	18	75	1.127	9.936	4.735	3.726	4.908	6.465	6.323	13
	1448.1	0.035	41.180	0.017	25.897	1	7.178	0.277	0	0	2	5	0.921	100.000	0.000	0.000	58.242	26.602	12.063	2
	1448.2	0.024	8.302	0.003	13.111	1	5.036	0.384	0	0	1	5	0.787	100.000	0.000	0.000	85.714	16.496	5.102	2
	1448.3	0.130	474.101	0.197	153.498	4	26.781	0.174	1	1	5	27	1.189	27.106	10.668	6.673	8.891	9.730	10.515	5
	1480.1	0.000	46.235	0.015	31.969	0	0.000	0.000	0	0	4	7	0.999	79.167	16.646	16.047	0.000	0.000	0.000	0

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1480.2	0.000	465.440	0.148	140.487	0	0.000	0.000	0	0	6	22	1.039	44.482	17.289	8.301	0.000	0.000	0.000	0
	1492.1	0.289	706.870	0.292	255.255	5	64.363	0.252	1	0	11	39	1.182	21.292	8.258	5.031	8.590	7.790	7.346	7
	1493.1	0.061	390.985	0.153	160.897	2	12.430	0.077	0	0	8	25	1.118	31.647	9.637	4.833	6.233	9.964	11.509	4
	1494.1	0.000	179.194	0.092	83.479	0	0.000	0.000	0	0	5	12	1.040	63.012	21.068	12.346	0.000	0.000	0.000	0
	1495.1	0.338	1455.655	0.391	346.683	3	91.744	0.265	1	0	10	51	1.160	24.865	11.973	5.232	16.035	17.390	10.332	16
	1495.2	0.140	212.718	0.057	69.624	2	37.964	0.545	1	0	2	7	1.206	80.000	14.694	13.788	73.445	27.243	0.000	0
	1496.1	0.000	262.975	0.149	121.961	0	0.000	0.000	0	0	8	24	1.150	33.527	10.479	4.881	0.000	0.000	0.000	0
	1497.1	0.000	408.641	0.221	131.701	0	0.000	0.000	0	0	10	29	1.124	39.907	11.986	5.639	0.000	0.000	0.000	0

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1498.1	0.000	554.164	0.167	135.610	0	0.000	0.000	0	0	7	25	1.106	49.110	16.636	6.109	0.000	0.000	0.000	0
	1499.1	0.000	554.303	0.171	135.772	0	0.000	0.000	0	0	7	32	1.145	49.190	15.798	5.362	0.000	0.000	0.000	0
	1500.1	0.003	981.984	0.224	310.489	1	0.914	0.003	0	0	12	58	1.107	20.023	9.517	3.122	0.124	0.638	37.715	2
	1501.1	0.034	1104.132	0.232	190.978	1	9.516	0.050	0	0	12	25	1.083	50.592	16.688	9.915	4.890	10.009	12.667	2
	1502.1	0.021	522.322	0.172	188.553	3	5.152	0.027	0	0	13	30	1.104	37.371	15.216	4.044	1.310	2.673	13.975	2
	1503.1	0.064	2203.662	0.390	314.430	2	19.506	0.062	0	0	15	51	1.069	35.265	13.233	4.731	3.213	5.966	15.642	6
	1504.1	0.000	354.781	0.128	172.045	0	0.000	0.000	0	0	15	28	1.075	37.155	13.360	3.739	0.000	0.000	0.000	0
	1505.1	0.136	460.911	0.185	144.073	2	27.447	0.191	1	0	8	24	1.139	41.197	10.093	5.571	14.241	17.966	10.946	5

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1506.1	0.012	402.881	0.148	150.982	1	2.548	0.017	0	0	8	27	1.153	33.263	12.893	4.166	1.018	3.286	28.636	3
	1517.1	0.000	505.582	0.193	104.562	0	0.000	0.000	0	0	9	18	1.095	68.693	18.592	9.690	0.000	0.000	0.000	0
	1518.1	0.033	1052.020	0.212	287.033	2	9.969	0.035	0	0	15	59	1.085	25.477	9.725	2.566	1.172	2.922	9.174	2
	1519.1	0.021	323.476	0.079	104.421	2	5.958	0.057	0	0	7	21	1.103	51.059	14.699	4.922	6.118	9.267	27.745	2
	1519.2	0.000	66.860	0.016	39.489	0	0.000	0.000	0	0	6	7	1.261	78.421	16.468	12.181	0.000	0.000	0.000	0
	1520.1	0.000	343.332	0.132	123.896	0	0.000	0.000	0	0	10	19	1.146	44.188	15.554	6.964	0.000	0.000	0.000	0
	1521.1	0.052	1051.440	0.220	227.254	3	14.703	0.065	0	0	11	31	1.057	37.132	12.540	5.431	3.997	6.745	9.826	3
	1523.1	0.007	173.865	0.074	118.198	1	1.434	0.012	0	0	7	20	1.027	34.972	11.101	6.191	1.243	3.620	20.159	2

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1524.1	0.000	70.986	0.036	53.864	0	0.000	0.000	0	0	3	12	0.910	70.940	20.035	16.426	0.000	0.000	0.000	0
	1524.2	0.019	36.902	0.019	27.867	1	3.721	0.134	0	0	4	6	0.896	100.000	0.000	0.000	39.560	31.564	24.490	3
	1525.1	0.199	1878.015	0.305	411.246	3	62.567	0.152	1	0	15	61	1.118	21.922	7.758	2.508	5.640	8.511	14.356	8
	1525.2	0.048	43.707	0.007	38.404	1	15.065	0.392	0	0	2	7	1.159	83.041	16.858	17.550	60.819	21.963	0.215	2
	1526.1	0.339	1191.119	0.445	207.553	4	71.079	0.342	1	2	5	22	1.058	30.350	11.636	15.559	18.688	17.115	17.724	9
	1527.1	0.000	649.972	0.196	196.474	0	0.000	0.000	0	0	10	39	1.195	31.012	11.783	2.624	0.000	0.000	0.000	0
	1528.1	0.000	807.424	0.229	206.513	0	0.000	0.000	0	0	11	42	1.154	30.919	13.329	4.267	0.000	0.000	0.000	0
	1529.1	0.023	252.658	0.126	129.091	1	4.318	0.033	0	0	7	24	1.059	40.000	14.767	3.858	3.077	7.466	24.296	3

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1530.1	0.000	100.824	0.069	44.639	0	0.000	0.000	0	1	3	9	0.874	94.466	8.682	12.749	0.000	0.000	0.000	0
	1531.1	0.026	422.394	0.194	230.829	4	5.339	0.023	0	0	12	47	1.158	20.658	8.614	3.859	1.521	3.088	9.343	8
	1610.1	0.090	799.854	0.128	191.419	2	29.427	0.154	0	0	7	16	1.056	44.099	11.401	7.773	15.566	17.787	12.376	6
	1610.2	0.002	9.694	0.002	26.257	1	0.573	0.022	0	0	2	5	0.918	100.000	0.000	0.000	27.473	29.609	30.612	3
	1610.3	0.026	116.603	0.019	116.941	2	8.507	0.073	0	0	7	20	1.176	24.605	6.340	6.745	5.377	7.692	13.671	3
	1611.1	0.160	806.101	0.230	354.051	6	41.014	0.116	1	1	16	59	1.157	13.843	7.236	3.446	3.436	5.351	7.361	8
	1612.1	0.044	496.140	0.167	151.658	1	10.056	0.066	0	0	6	21	1.111	45.579	13.972	7.083	4.982	9.389	21.111	3
	1613.1	0.111	399.013	0.166	180.973	1	22.698	0.125	0	0	6	26	1.126	32.273	12.026	6.464	5.666	9.752	23.156	3

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1614.1	0.036	381.972	0.171	143.192	1	7.115	0.050	0	0	11	34	1.068	36.702	14.257	5.776	3.404	7.182	15.700	3
	1615.1	0.204	1549.235	0.365	376.485	6	56.394	0.150	1	0	15	60	1.069	22.515	10.721	3.919	6.839	8.824	6.796	12
	1615.2	0.034	36.674	0.009	26.529	1	9.384	0.354	0	0	3	5	0.771	100.000	0.000	0.000	69.231	26.647	6.122	3
	1616.1	0.076	841.826	0.236	302.805	3	18.407	0.061	0	0	11	43	1.164	19.001	7.738	4.470	2.757	5.061	15.348	6
	1616.2	0.041	40.544	0.011	27.937	1	9.882	0.354	0	0	3	5	1.060	100.000	0.000	0.000	68.132	25.489	5.831	3
	1617.1	0.016	512.272	0.198	165.169	2	3.369	0.020	0	0	11	34	1.104	33.190	12.805	6.023	1.291	3.256	17.105	6
	1618.1	0.000	412.903	0.162	142.696	0	0.000	0.000	0	0	7	24	1.015	50.076	18.430	6.015	0.000	0.000	0.000	0
	1619.1	0.094	904.435	0.288	234.143	3	22.208	0.095	0	0	10	37	1.092	29.784	12.078	5.751	6.734	10.438	8.998	5

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1619.2	0.021	31.515	0.010	22.586	1	5.028	0.223	0	0	2	5	0.907	100.000	0.000	0.000	57.576	29.998	13.889	3
	1620.1	0.096	434.788	0.199	128.087	1	19.169	0.150	0	0	7	24	1.034	46.540	14.840	10.389	16.192	18.843	14.842	3
	1621.1	0.043	418.250	0.195	143.604	1	8.503	0.059	0	1	8	26	1.053	37.727	14.566	15.139	1.481	3.800	20.009	3
	1622.1	0.203	810.352	0.299	226.209	3	46.264	0.205	1	0	8	28	1.177	31.393	9.902	7.672	11.504	11.748	15.948	9
	1623.1	0.134	596.300	0.173	201.101	1	33.674	0.167	0	0	9	28	1.185	33.105	8.622	5.059	10.261	14.022	17.645	3
	1624.1	0.210	1303.232	0.292	248.413	2	56.588	0.228	1	0	12	23	1.075	38.880	16.099	13.444	21.610	21.919	20.468	6
	1649.1	0.055	836.832	0.238	275.222	3	13.178	0.048	0	0	11	46	1.159	24.586	10.130	4.249	2.721	5.020	10.171	9
	1650.1	0.137	1153.113	0.261	313.868	2	36.990	0.118	1	0	11	55	1.132	21.305	7.600	5.323	4.992	9.020	26.683	6

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1651.1	0.000	1191.729	0.242	302.171	0	0.000	0.000	0	0	14	58	1.129	23.572	11.702	4.085	0.000	0.000	0.000	0
	1652.1	0.000	809.786	0.183	199.665	0	0.000	0.000	0	0	10	40	1.065	33.683	14.703	5.454	0.000	0.000	0.000	0
	1652.2	0.018	53.836	0.012	54.630	2	4.839	0.089	0	0	3	9	1.175	55.820	15.866	12.303	15.608	15.631	13.405	6
	1653.1	0.024	758.953	0.215	180.619	1	5.799	0.032	0	1	10	31	1.086	26.297	8.453	4.731	1.706	4.577	23.724	3
	1654.1	0.000	604.306	0.100	190.667	0	0.000	0.000	0	1	6	38	1.218	28.995	12.371	3.956	0.000	0.000	0.000	0
	1654.2	0.000	187.915	0.031	105.041	0	0.000	0.000	0	0	6	17	0.988	46.936	21.623	13.555	0.000	0.000	0.000	0
	1655.1	0.551	2717.628	0.564	403.224	7	183.224	0.454	1	0	7	29	1.070	30.090	14.153	9.256	25.030	17.486	8.363	16
	1656.1	0.000	711.260	0.178	245.167	0	0.000	0.000	0	0	12	47	1.148	21.677	6.653	3.727	0.000	0.000	0.000	0

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1656.2	0.000	6.434	0.002	11.068	0	0.000	0.000	0	0	3	5	0.881	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	1657.1	0.000	17.377	0.004	21.281	0	0.000	0.000	0	0	4	5	0.932	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	1657.2	0.016	908.075	0.203	360.792	1	5.440	0.015	0	0	18	65	1.176	16.083	5.821	3.827	0.907	3.227	9.116	5
	1658.1	0.000	165.687	0.090	114.726	0	0.000	0.000	0	0	7	23	1.079	35.777	13.755	5.441	0.000	0.000	0.000	0
	1659.1	0.031	574.272	0.187	187.298	2	6.855	0.037	0	0	8	32	1.128	34.268	10.857	5.512	2.501	5.332	10.050	5
	1659.2	0.000	31.795	0.010	29.878	0	0.000	0.000	0	0	4	9	1.138	68.571	13.248	8.473	0.000	0.000	0.000	0
	1660.1	0.104	1085.068	0.295	248.954	2	28.002	0.112	0	0	11	41	1.113	35.394	14.828	8.241	6.142	8.415	10.704	3
	1661.1	0.450	1421.555	0.418	325.299	3	107.684	0.331	1	0	13	42	1.112	30.770	13.450	11.453	20.677	19.841	20.930	8

PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	1663.1	0.062	1426.078	0.260	408.399	2	20.770	0.051	0	0	13	65	1.176	16.860	6.681	2.584	1.652	3.634	9.626	4
	1664.1	0.000	208.999	0.110	83.684	0	0.000	0.000	0	0	5	14	1.074	55.814	17.529	4.952	0.000	0.000	0.000	0
	1664.2	0.000	36.108	0.019	28.747	0	0.000	0.000	0	0	4	7	1.145	80.000	15.028	13.145	0.000	0.000	0.000	0
	1665.1	0.041	2003.468	0.250	521.697	4	19.037	0.036	0	0	20	77	1.132	17.162	7.480	2.439	1.664	4.003	7.678	5
	1665.2	0.000	39.017	0.005	30.324	0	0.000	0.000	0	0	3	9	0.912	75.824	11.578	4.905	0.000	0.000	0.000	0
	1818.1	0.029	50.701	0.041	55.340	2	4.949	0.089	0	0	4	10	1.141	54.762	15.218	9.303	14.550	18.061	19.858	4
	1818.2	0.009	10.720	0.009	17.304	1	1.614	0.093	0	0	2	5	0.796	100.000	0.000	0.000	38.889	29.724	22.634	2
	1818.3	0.011	11.066	0.009	16.383	1	1.877	0.115	0	0	2	6	0.711	100.000	0.000	0.000	46.429	30.929	18.750	2

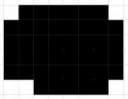
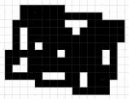
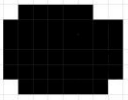
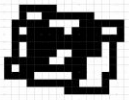
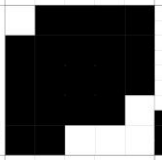
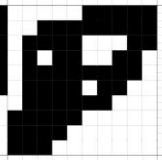
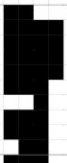
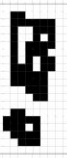
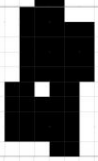
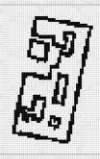
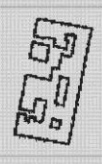
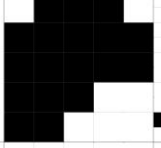
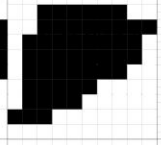
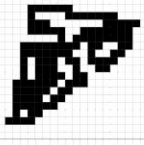
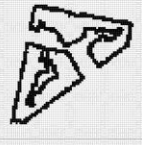
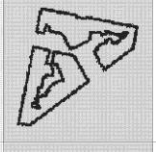
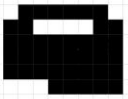
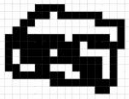
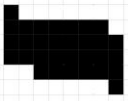
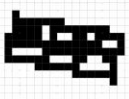
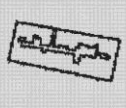
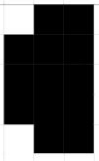
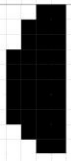
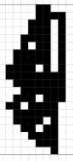
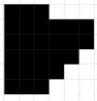
PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	5767.1	0.047	108.713	0.083	49.785	1	9.072	0.182	0	0	2	12	1.057	69.000	12.643	5.607	28.667	23.043	0.000	3
	5767.2	0.052	42.641	0.033	28.292	1	9.972	0.352	0	0	3	6	1.182	100.000	0.000	0.000	69.231	26.647	6.122	3
	5768.1	0.000	49.693	0.049	34.287	0	0.000	0.000	0	0	3	7	0.852	88.971	12.227	32.286	0.000	0.000	0.000	0
	5769.1	0.000	24.602	0.013	32.897	0	0.000	0.000	0	0	5	9	0.787	80.392	17.538	12.984	0.000	0.000	0.000	0
	5769.2	0.000	23.139	0.012	21.061	0	0.000	0.000	0	0	3	5	0.908	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0
	6125.1	0.031	1503.502	0.224	340.911	2	11.091	0.033	0	0	11	40	1.119	24.970	8.117	2.949	1.391	3.606	6.773	7
	6209.1	0.035	720.377	0.146	144.647	1	9.721	0.067	0	0	7	22	1.053	58.756	12.526	4.763	8.626	14.733	0.000	3
	6209.2	0.000	105.644	0.021	65.799	0	0.000	0.000	0	0	6	11	1.076	68.172	13.959	17.353	0.000	0.000	0.000	0

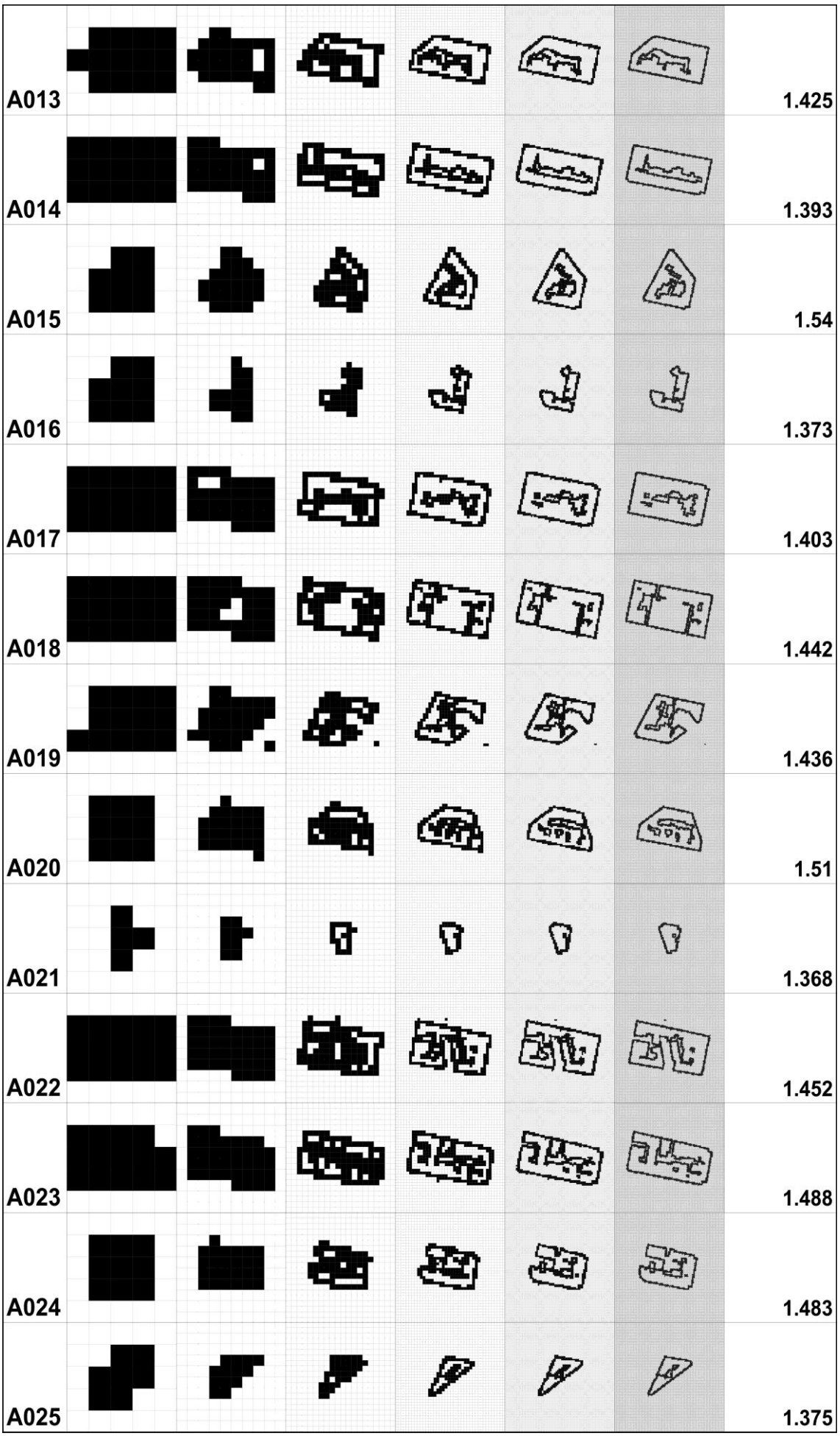
PLAN	ID number	open perimeter / block perimeter	void area	void area / block area	void perimeter	open edges	open perimeter length	open perimeter / void perimeter	open corners	contained buildings	surround. buildings	number of vertices	fractal dimension	total mcv	v-value	h-value	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value	weighted degree
	6209.3	0.033	330.520	0.067	148.852	2	9.391	0.063	0	0	6	14	1.202	61.153	16.642	10.062	11.676	17.919	20.022	6
	6436.1	0.025	296.291	0.044	103.842	1	9.293	0.089	0	0	6	14	1.189	69.884	20.471	13.263	12.627	18.866	37.090	3
	6436.2	0.000	342.185	0.051	153.944	0	0.000	0.000	0	0	8	23	1.133	31.136	10.118	5.346	0.000	0.000	0.000	0
	6436.3	0.222	1102.826	0.165	281.731	5	81.929	0.291	1	2	13	44	1.150	20.671	6.741	4.003	8.257	9.491	15.349	11
	6657.1	0.132	1110.149	0.187	142.593	1	48.333	0.339	0	1	1	5	1.063	72.515	16.841	22.380	36.901	26.529	40.948	3
	6657.2	0.162	914.449	0.154	239.688	4	59.126	0.247	1	0	4	17	1.128	41.171	14.186	7.724	20.510	20.562	19.440	9

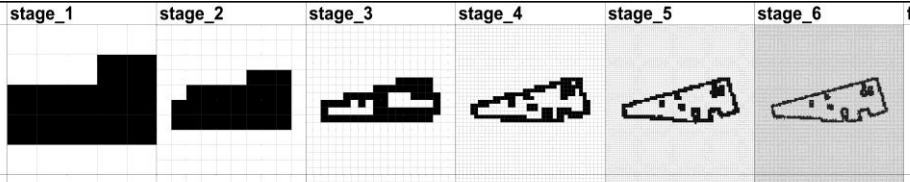
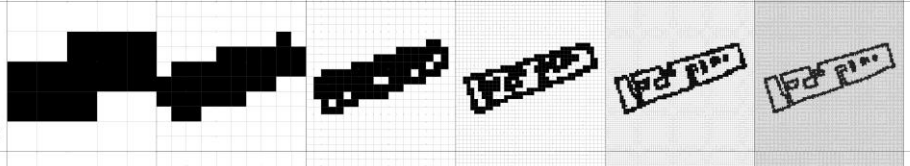
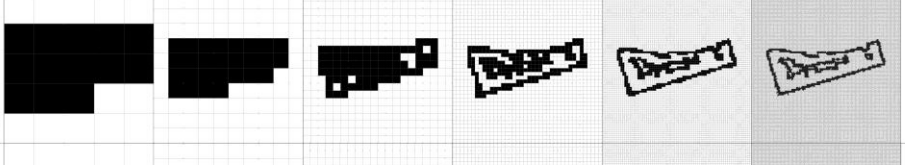
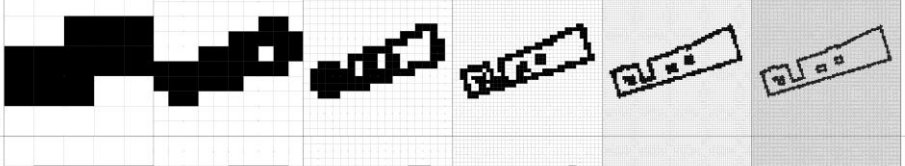
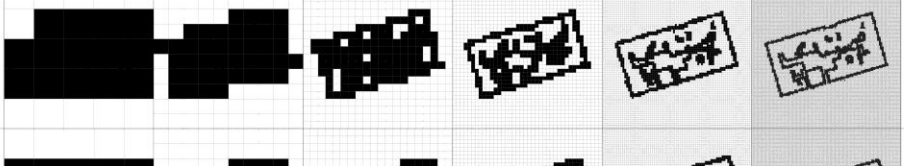
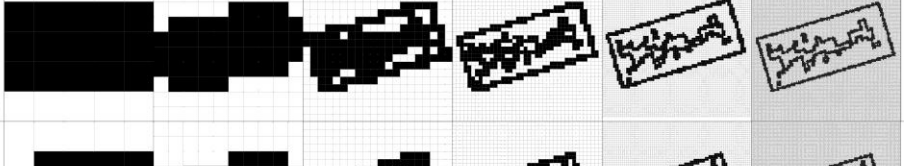
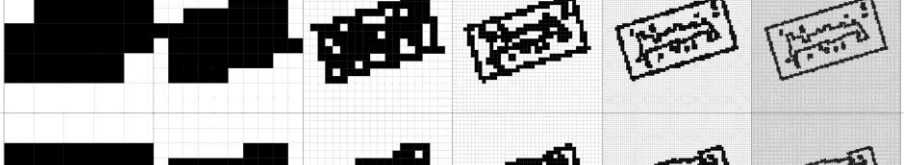
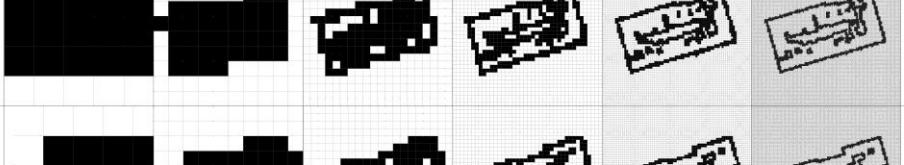
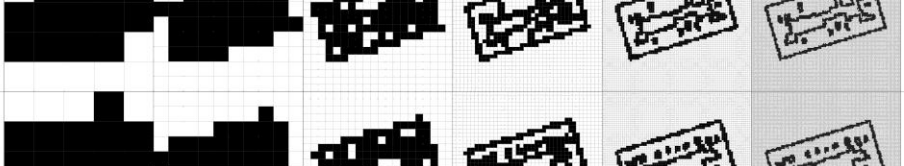
Πίνακας Ι - 2

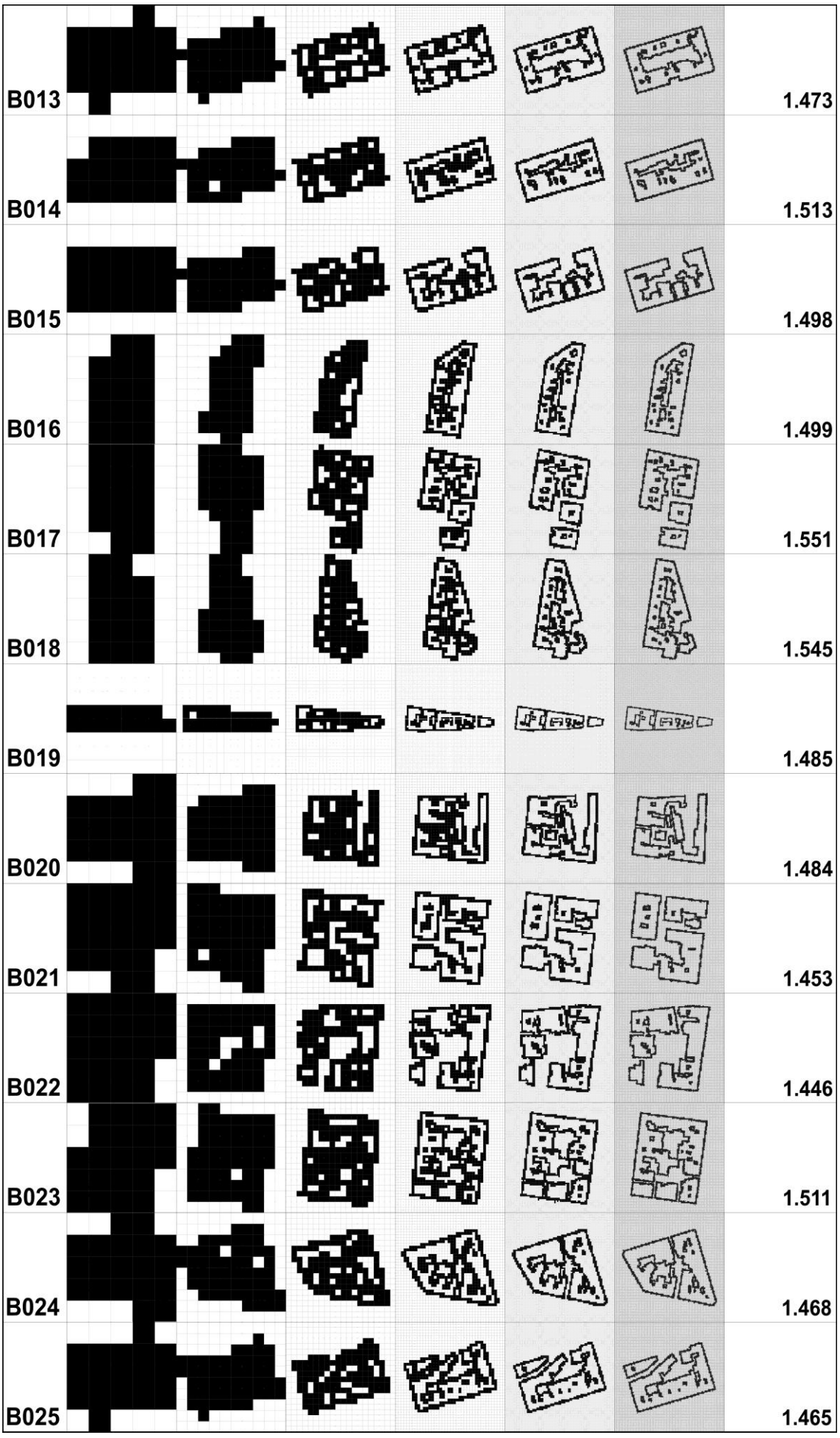
Πίνακες ιδιοτήτων κυρίως εφαρμογής

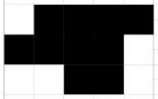
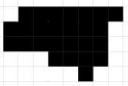
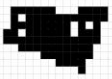
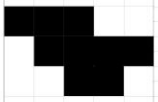
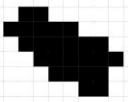
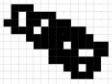
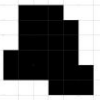
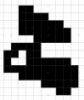
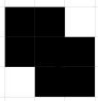
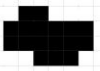
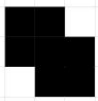
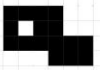
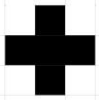
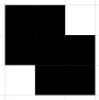
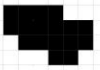
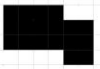
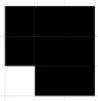
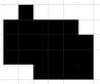
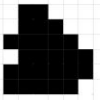
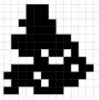
II. Φρακταλική διάσταση

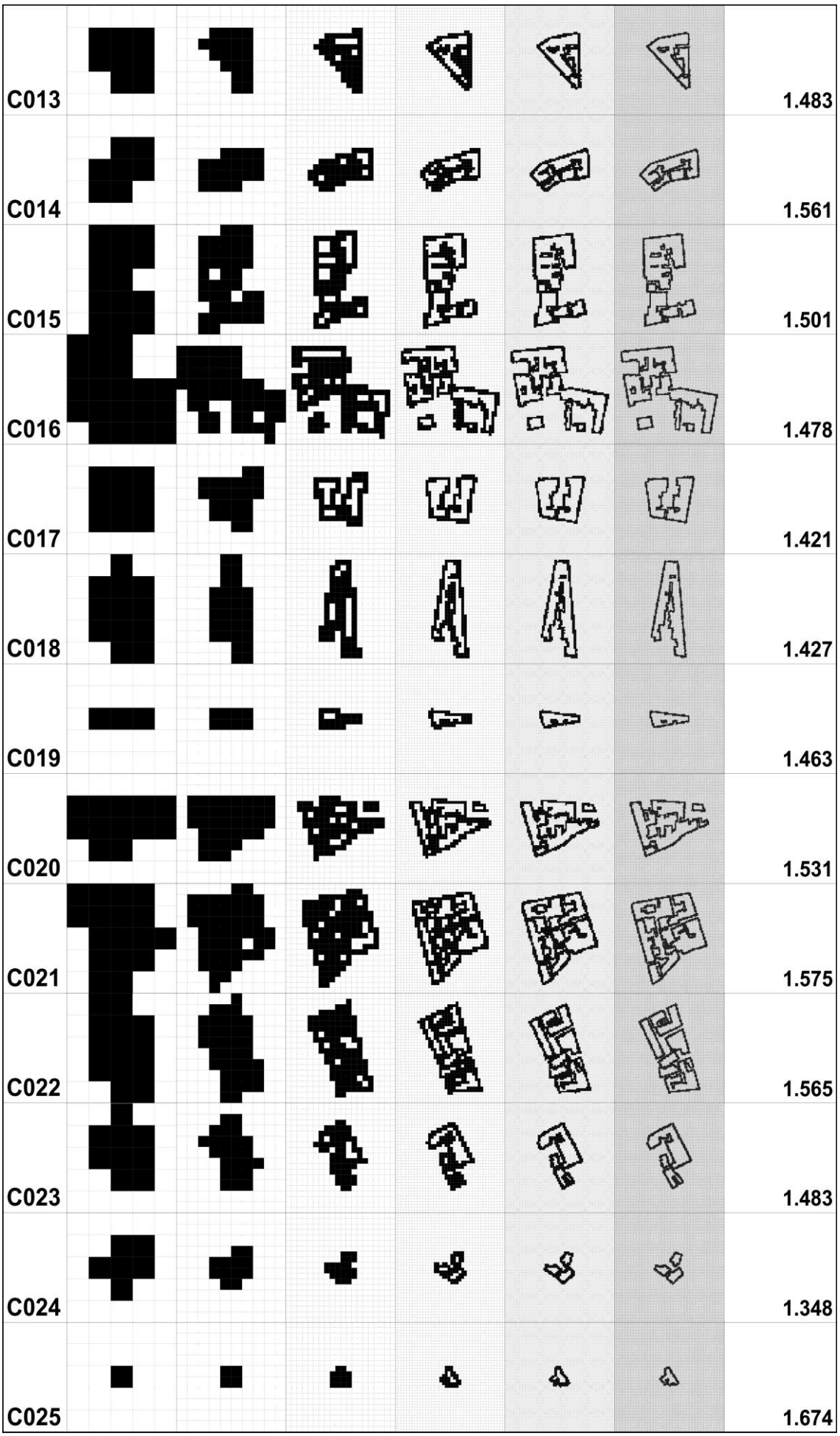
block	stage_1	stage_2	stage_3	stage_4	stage_5	stage_6	fractal dimension
A001							1.531
A002							1.497
A003							1.454
A004							1.378
A005							1.354
A006							1.468
A007							1.447
A008							1.46
A009							1.381
A010							1.434
A011							1.506
A012							1.539

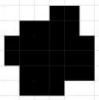
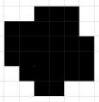
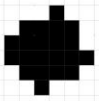
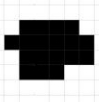
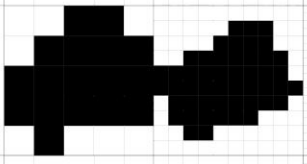
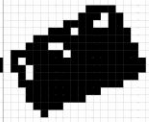
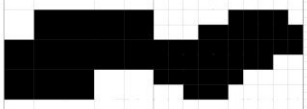
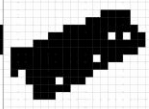
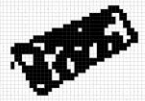
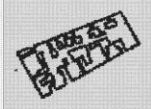
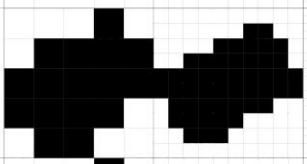
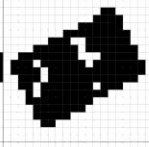
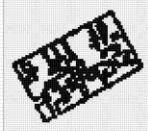
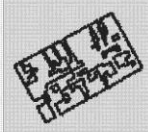
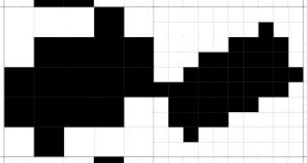
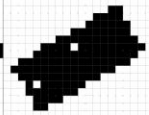
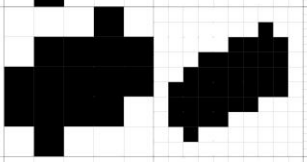
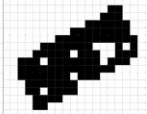
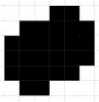
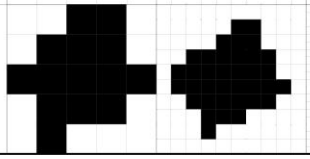

A013
1.425
A014
1.393
A015
1.54
A016
1.373
A017
1.403
A018
1.442
A019
1.436
A020
1.51
A021
1.368
A022
1.452
A023
1.488
A024
1.483
A025
1.375

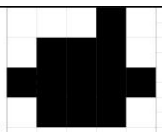
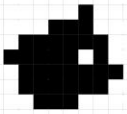
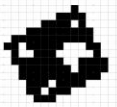
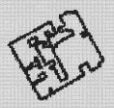
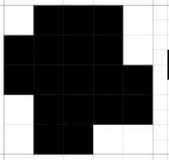
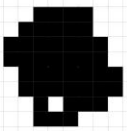
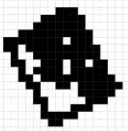
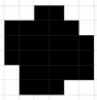
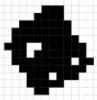
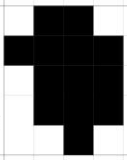
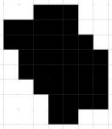
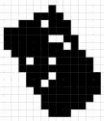
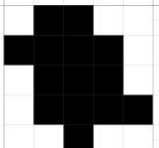
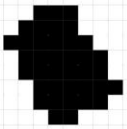
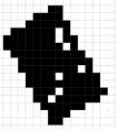
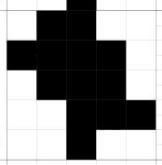
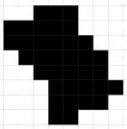
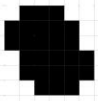
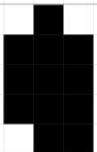
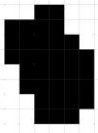
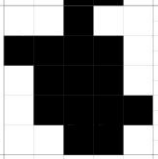
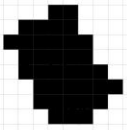
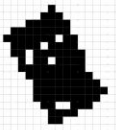
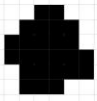
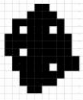
block	stage_1	stage_2	stage_3	stage_4	stage_5	stage_6	fractal dimension
B001							1.352
B002							1.499
B003							1.411
B004							1.417
B005							1.531
B006							1.519
B007							1.51
B008							1.497
B009							1.541
B010							1.532
B011							1.505
B012							1.452

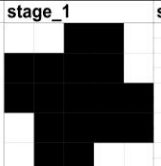
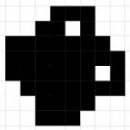
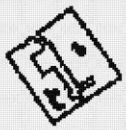
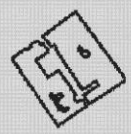
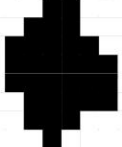
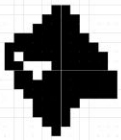
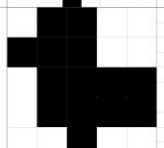
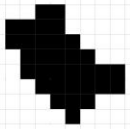
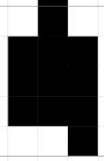
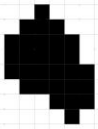
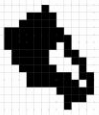
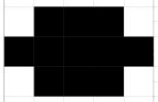
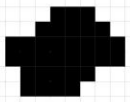
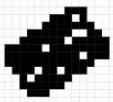
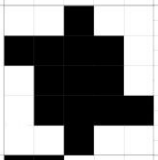
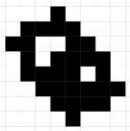
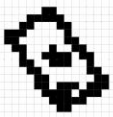
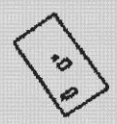
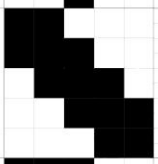
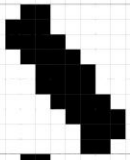
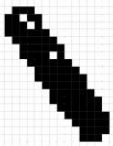
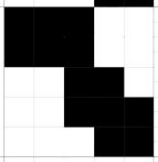
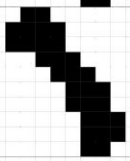
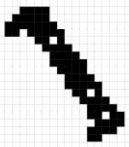
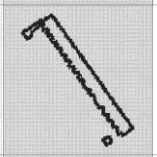
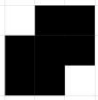
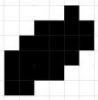
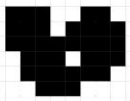
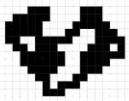

B013
1.473
B014
1.513
B015
1.498
B016
1.499
B017
1.551
B018
1.545
B019
1.485
B020
1.484
B021
1.453
B022
1.446
B023
1.511
B024
1.468
B025
1.465

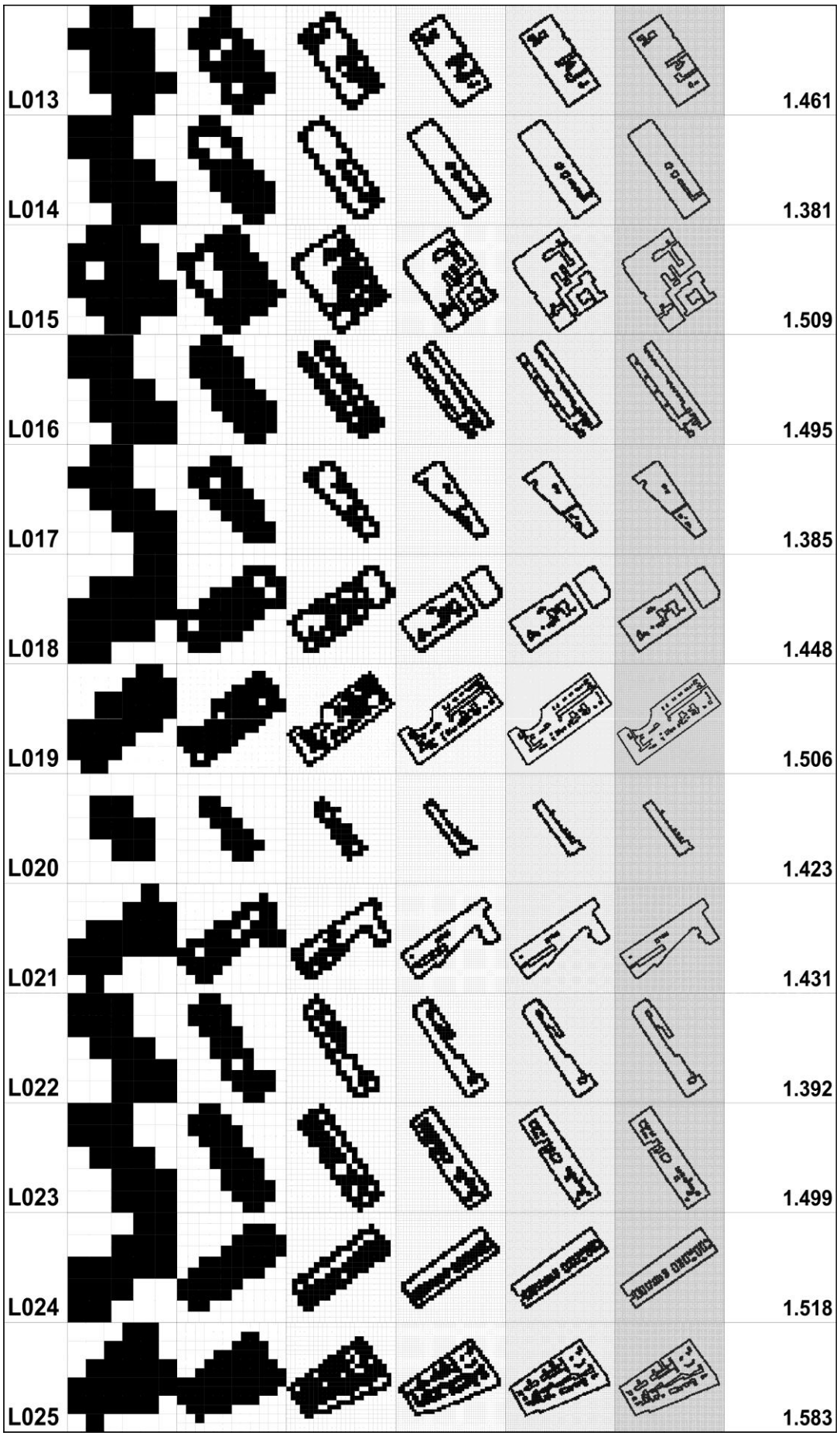
block	stage_1	stage_2	stage_3	stage_4	stage_5	stage_6	fractal dimension
C001							1.41
C002							1.575
C003							1.484
C004							1.483
C005							1.461
C006							1.453
C007							1.426
C008							1.523
C009							1.491
C010							1.521
C011							1.386
C012							1.583


C013
1.483
C014
1.561
C015
1.501
C016
1.478
C017
1.421
C018
1.427
C019
1.463
C020
1.531
C021
1.575
C022
1.565
C023
1.483
C024
1.348
C025
1.674

block	stage_1	stage_2	stage_3	stage_4	stage_5	stage_6	fractal dimension
D001							1.555
D002							1.58
D003							1.574
D004							1.492
D005							1.478
D006							1.593
D007							1.618
D008							1.622
D009							1.577
D010							1.508
D011							1.518
D012							1.491

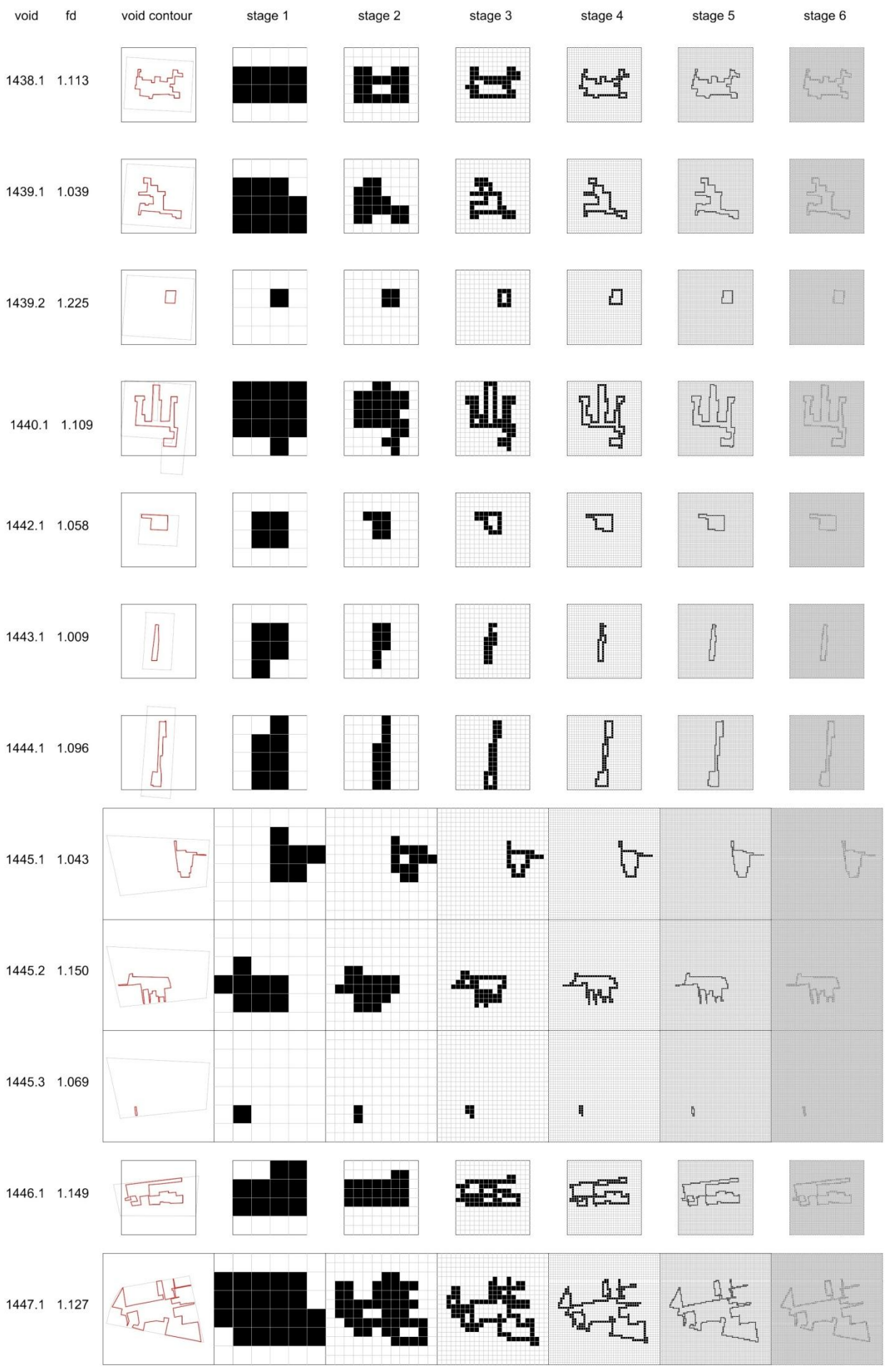
D013							1.513
D014							1.47
D015							1.434
D016							1.567
D017							1.57
D018							1.561
D019							1.552
D020							1.476
D021							1.568
D022							1.491
D023							1.498
D024							1.527
D025							1.571

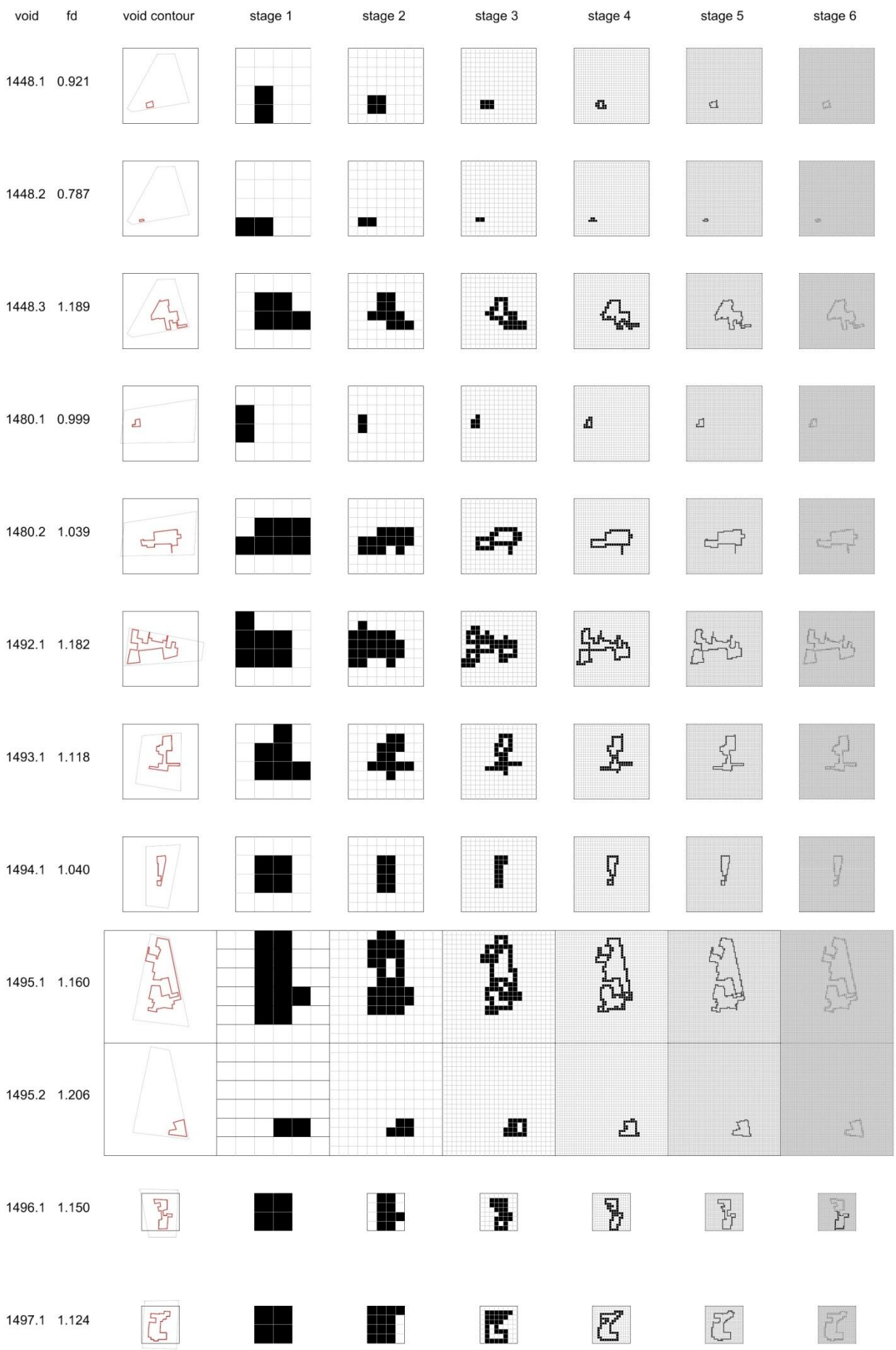
block	stage_1	stage_2	stage_3	stage_4	stage_5	stage_6	fractal dimension
L001							1.438
L002							1.493
L003							1.439
L004							1.505
L005							1.425
L006							1.516
L007							1.352
L008							1.492
L009							1.412
L010							1.412
L011							1.541
L012							1.478

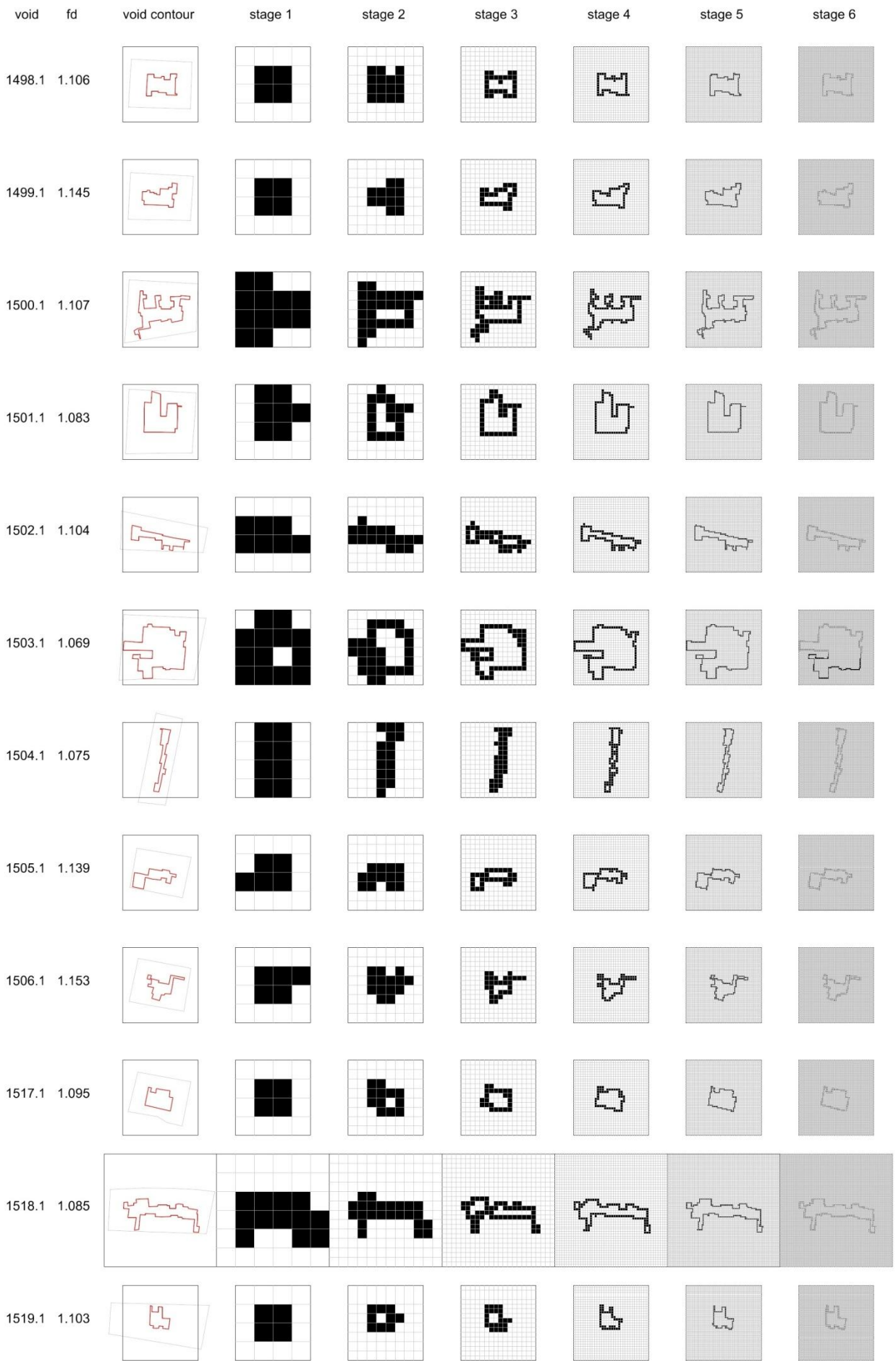


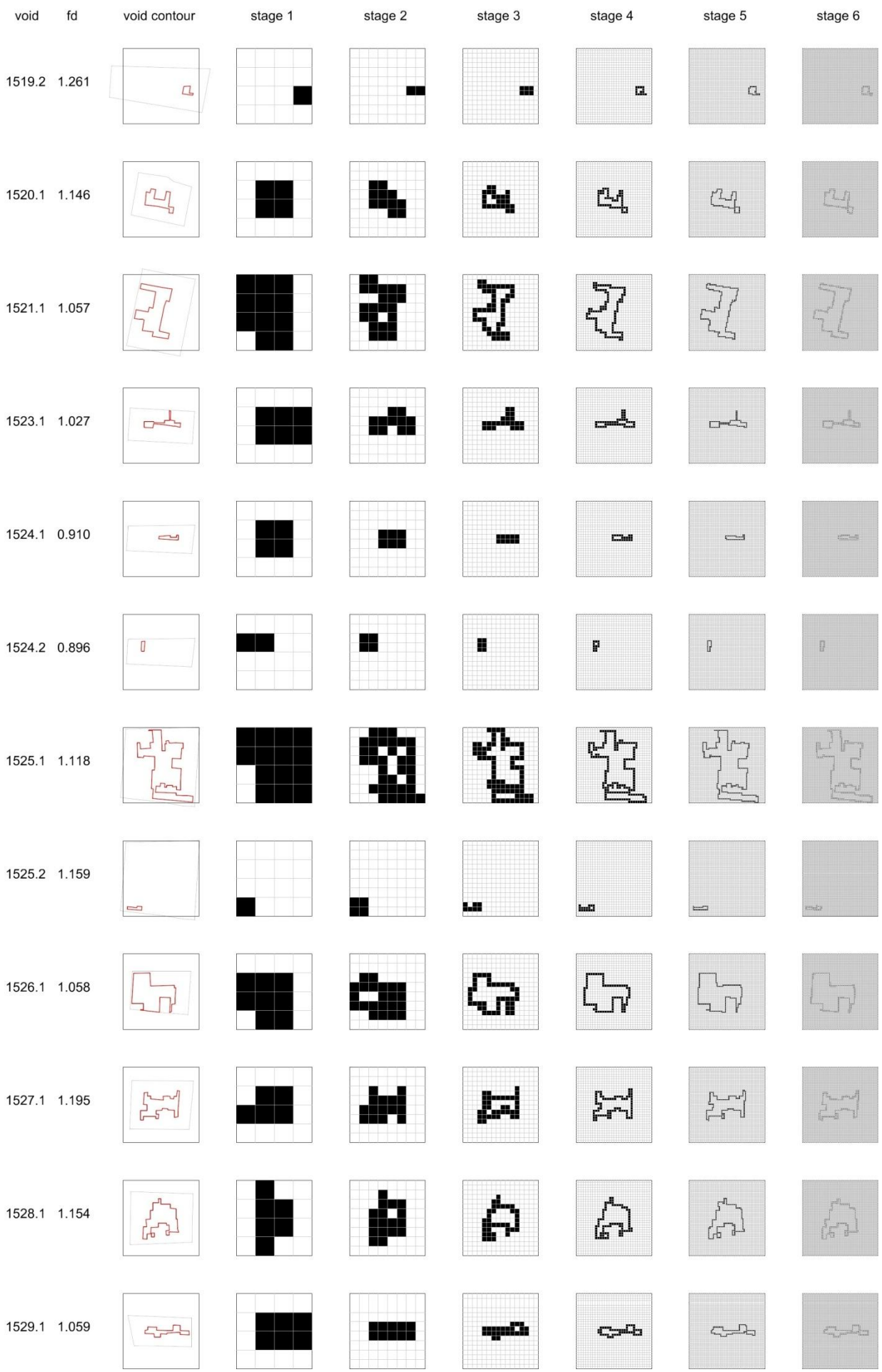
Πίνακας ΙΙ - 1

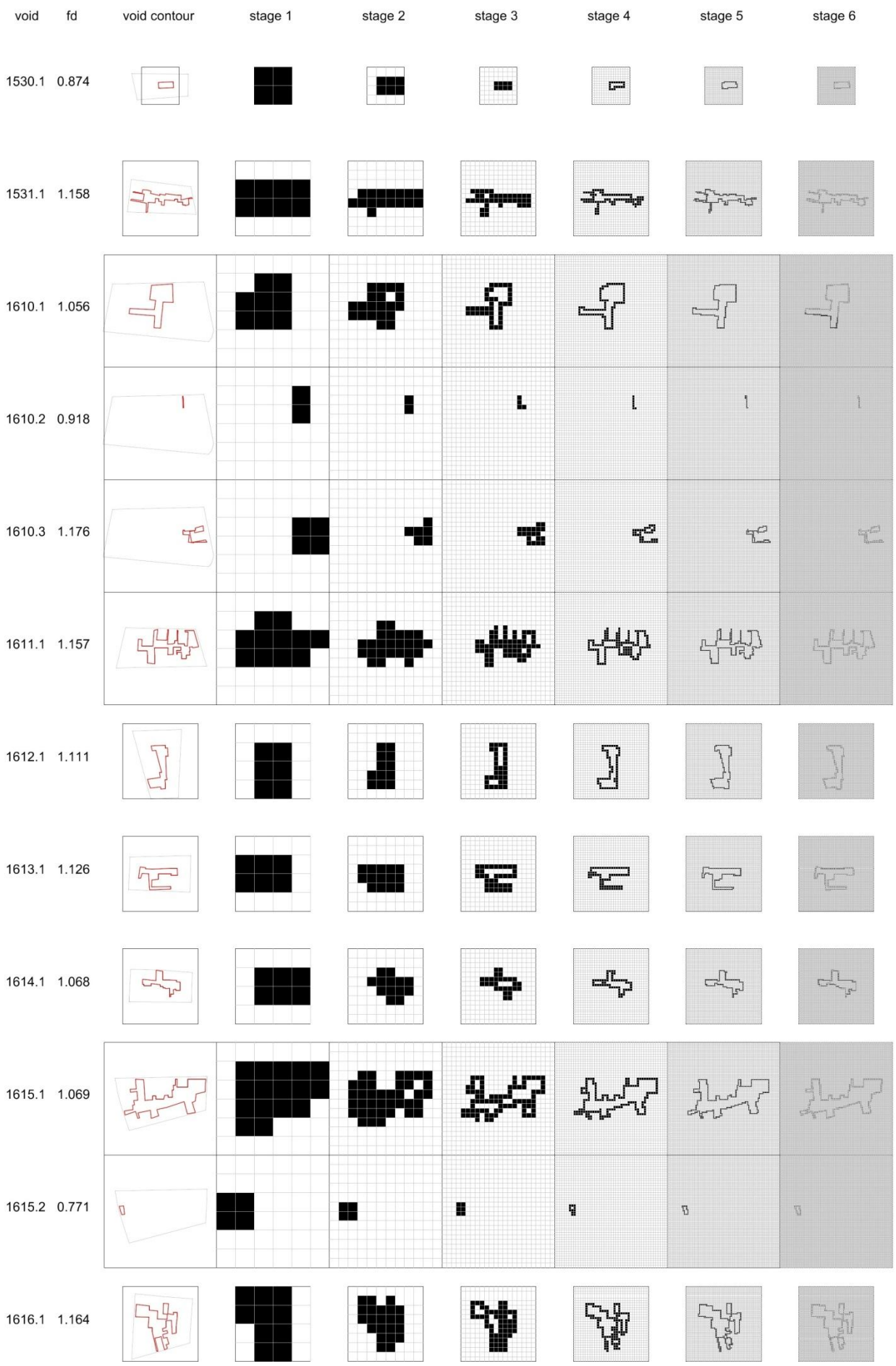
Φρακταλική διάσταση κατόψεων πιλοτικής εφαρμογής

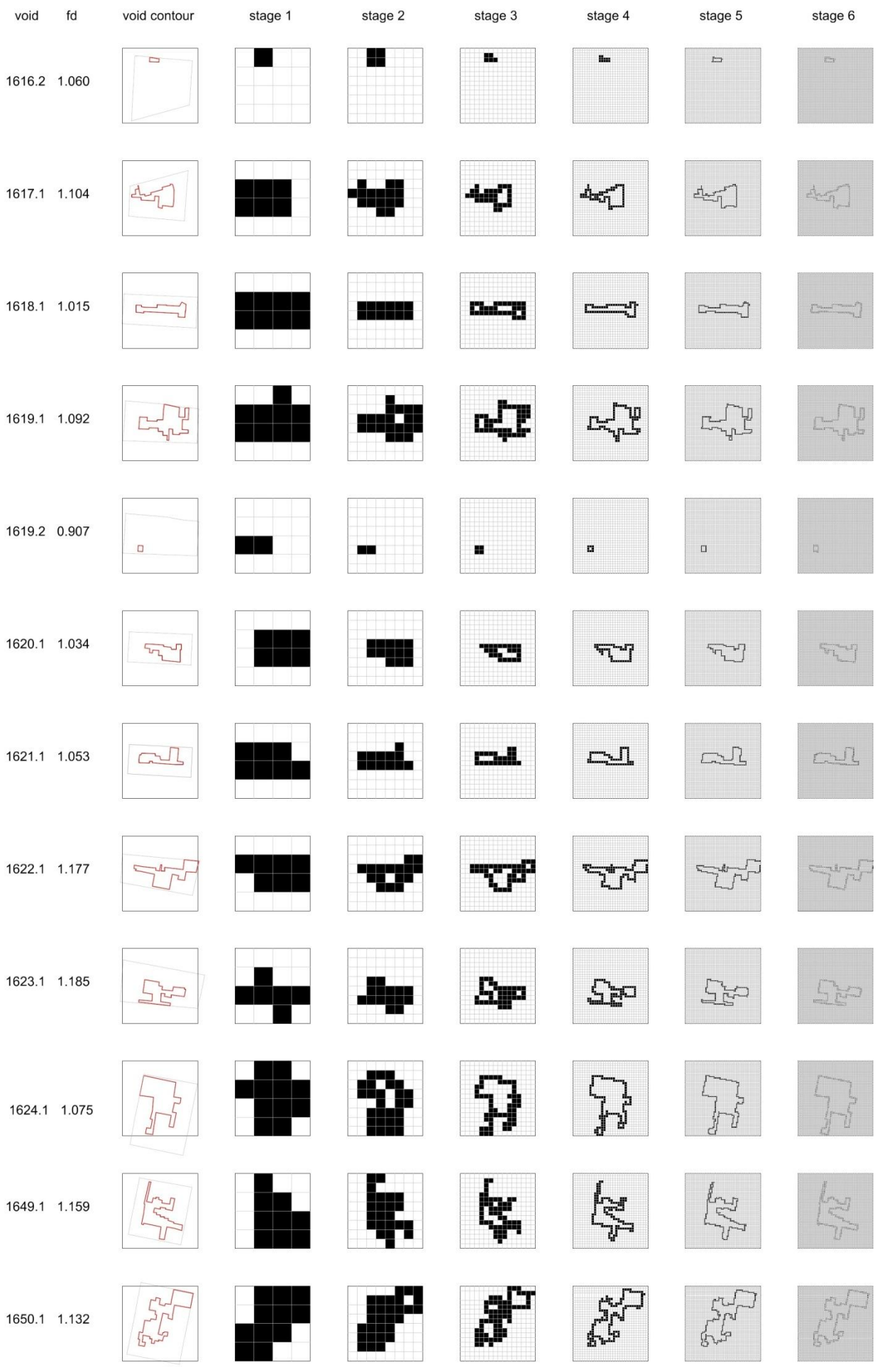

void
fd
void contour
stage 1
stage 2
stage 3
stage 4
stage 5
stage 6
1438.1 1.113
1439.1 1.039
1439.2 1.225
1440.1 1.109
1442.1 1.058
1443.1 1.009
1444.1 1.096
1445.1 1.043
1445.2 1.150
1445.3 1.069
1446.1 1.149
1447.1 1.127

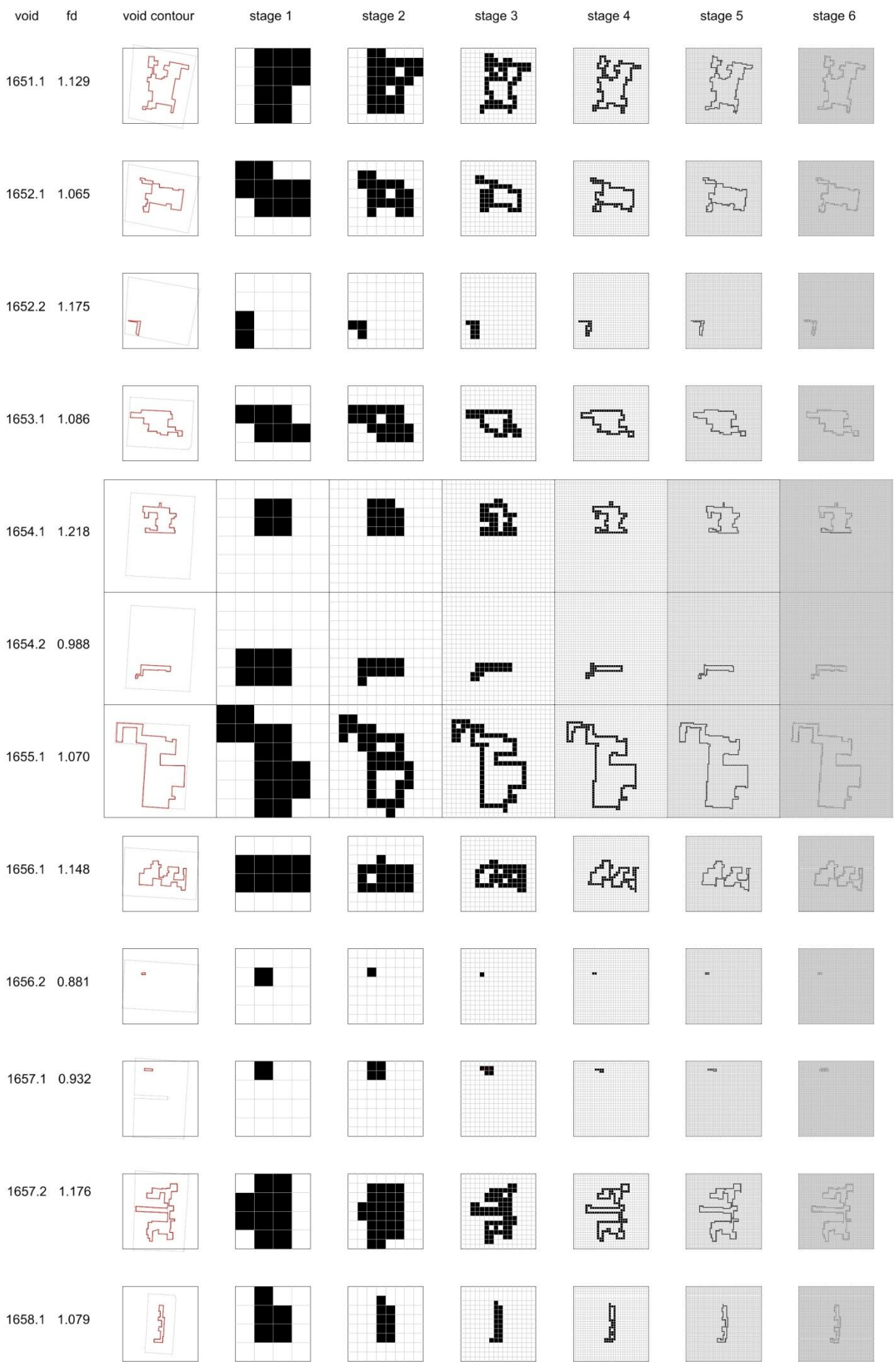

void
fd
void contour
stage 1
stage 2
stage 3
stage 4
stage 5
stage 6
1448.1 0.921
1448.2 0.787
1448.3 1.189
1480.1 0.999
1480.2 1.039
1492.1 1.182
1493.1 1.118
1494.1 1.040
1495.1 1.160
1495.2 1.206
1496.1 1.150
1497.1 1.124

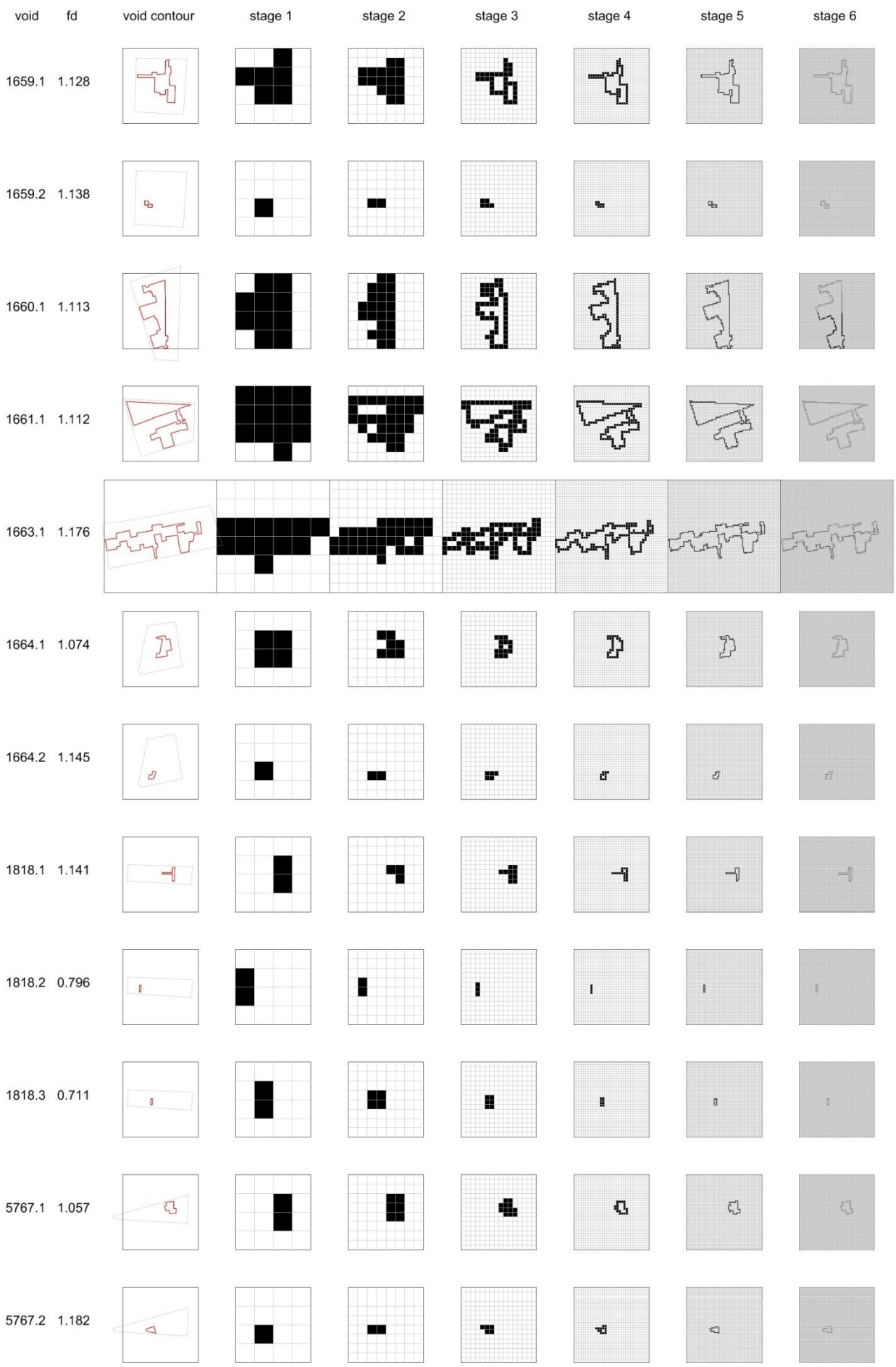

void
fd
void contour
stage 1
stage 2
stage 3
stage 4
stage 5
stage 6
1498.1 1.106
1499.1 1.145
1500.1 1.107
1501.1 1.083
1502.1 1.104
1503.1 1.069
1504.1 1.075
1505.1 1.139
1506.1 1.153
1517.1 1.095
1518.1 1.085
1519.1 1.103

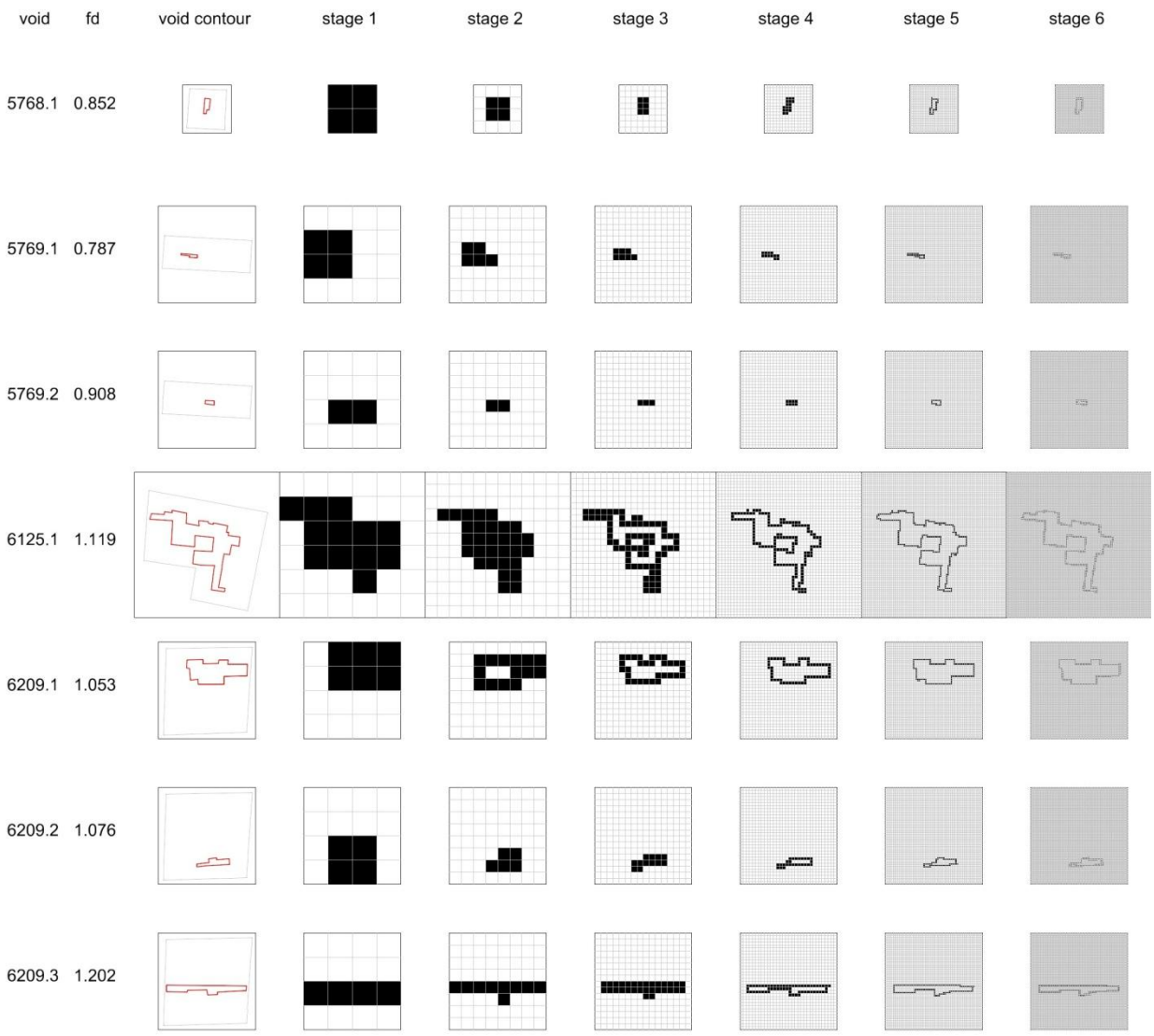

void
fd
void contour
stage 1
stage 2
stage 3
stage 4
stage 5
stage 6
1519.2 1.261
1520.1 1.146
1521.1 1.057
1523.1 1.027
1524.1 0.910
1524.2 0.896
1525.1 1.118
1525.2 1.159
1526.1 1.058
1527.1 1.195
1528.1 1.154
1529.1 1.059

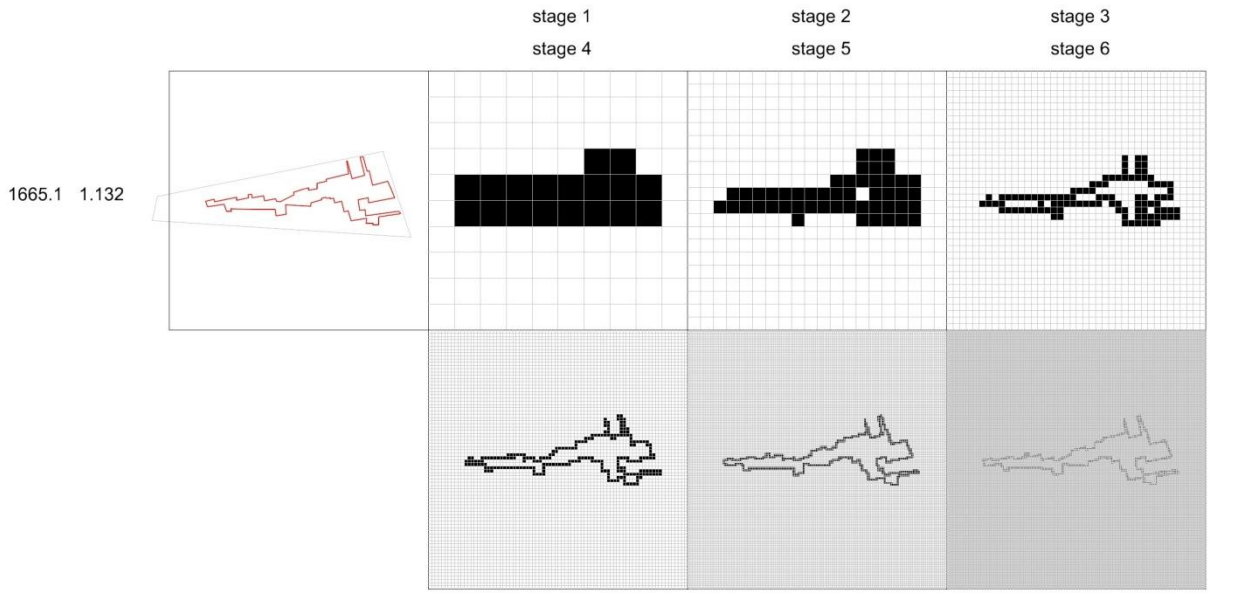

void
fd
void contour
stage 1
stage 2
stage 3
stage 4
stage 5
stage 6
1530.1 0.874
1531.1 1.158
1610.1 1.056
1610.2 0.918
1610.3 1.176
1611.1 1.157
1612.1 1.111
1613.1 1.126
1614.1 1.068
1615.1 1.069
1615.2 0.771
1616.1 1.164

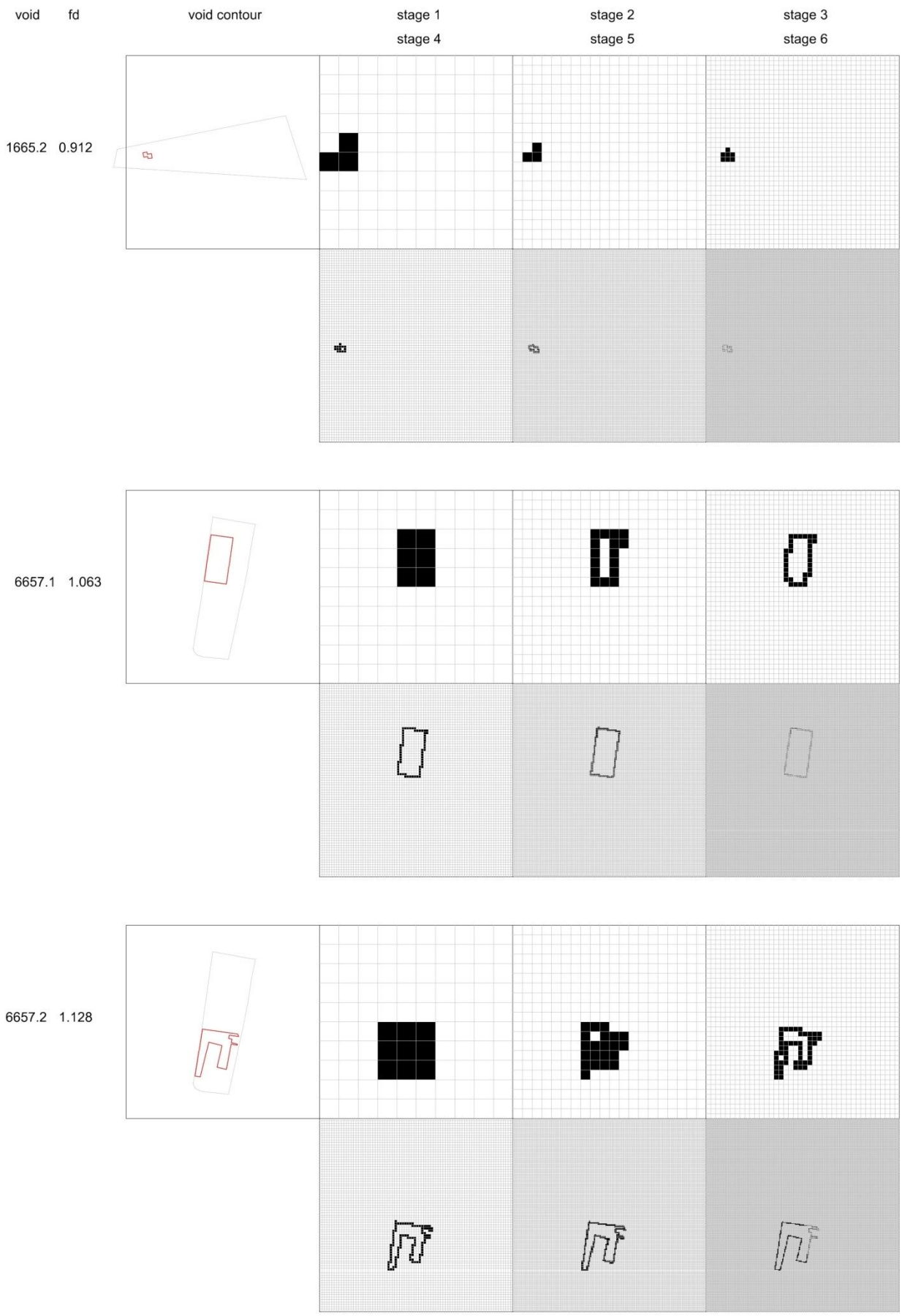

void
fd
void contour
stage 1
stage 2
stage 3
stage 4
stage 5
stage 6
1616.2 1.060
1617.1 1.104
1618.1 1.015
1619.1 1.092
1619.2 0.907
1620.1 1.034
1621.1 1.053
1622.1 1.177
1623.1 1.185
1624.1 1.075
1649.1 1.159
1650.1 1.132

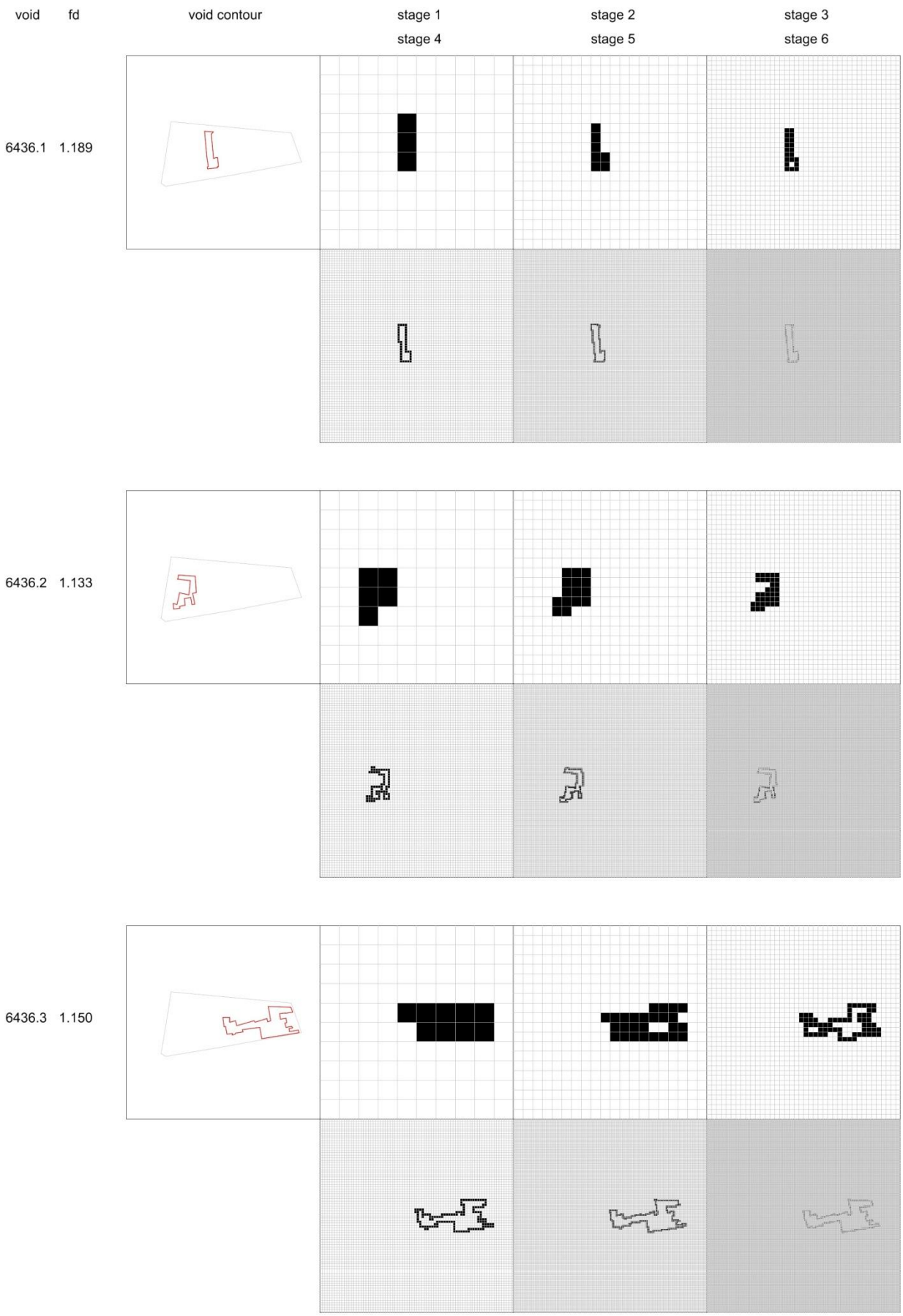

void
fd
void contour
stage 1
stage 2
stage 3
stage 4
stage 5
stage 6
1651.1 1.129
1652.1 1.065
1652.2 1.175
1653.1 1.086
1654.1 1.218
1654.2 0.988
1655.1 1.070
1656.1 1.148
1656.2 0.881
1657.1 0.932
1657.2 1.176
1658.1 1.079


void
fd
void contour
stage 1
stage 2
stage 3
stage 4
stage 5
stage 6
1659.1 1.128
1659.2 1.138
1660.1 1.113
1661.1 1.112
1663.1 1.176
1664.1 1.074
1664.2 1.145
1818.1 1.141
1818.2 0.796
1818.3 0.711
5767.1 1.057
5767.2 1.182

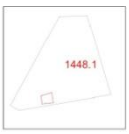

void
fd
void contour
stage 1
stage 2
stage 3
stage 4
stage 5
stage 6
5768.1 0.852
5769.1 0.787
5769.2 0.908
6125.1 1.119
6209.1 1.053
6209.2 1.076
6209.3 1.202

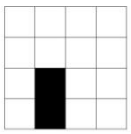
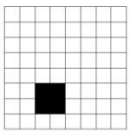
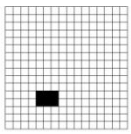
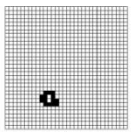
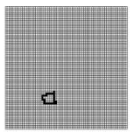

stage 1
stage 4
stage 2
stage 5
stage 3
stage 6
1665.1 1.132


void
fd
void contour
stage 1
stage 2
stage 3
stage 4
stage 5
stage 6
1665.2 0.912
6657.1 1.063
6657.2 1.128

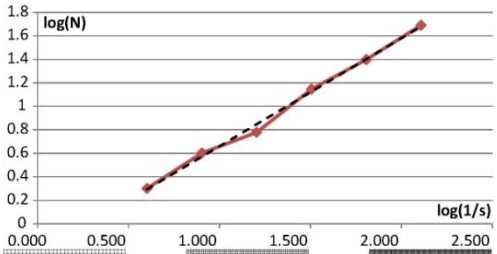


Πίνακας ΙΙ - 2
Φρακταλική διάσταση κατόψεων κυρίως εφαρμογής

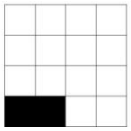
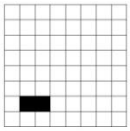
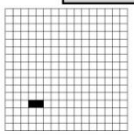
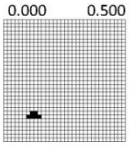
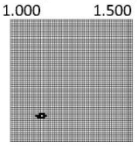
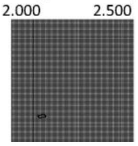


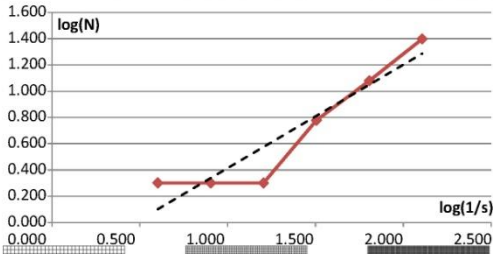
stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	2	0.30103	4	0.602			
2	4	0.602	8	0.903	0.301	0.301	1.000
3	6	0.778	16	1.204	0.176	0.301	0.585
4	14	1.146	32	1.505	0.368	0.301	1.222
5	25	1.398	64	1.806	0.252	0.301	0.837
6	49	1.690	128	2.107	0.292	0.301	0.971
							average: 0.923
							slope: Db = 0.920



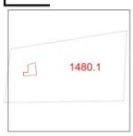
1448.1

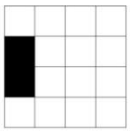
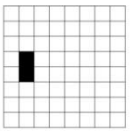
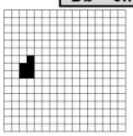
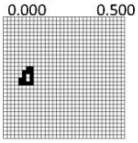
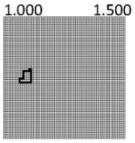
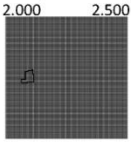







stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	2	0.301	4	0.602			
2	2	0.301	8	0.903	0.000	0.301	0.000
3	2	0.301	16	1.204	0.000	0.301	0.000
4	6	0.778	32	1.505	0.477	0.301	1.585
5	12	1.079	64	1.806	0.301	0.301	1.000
6	25	1.398	128	2.107	0.319	0.301	1.059
							average: 0.729
							slope: Db = 0.787

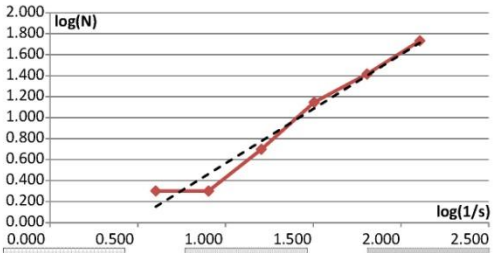


1448.2

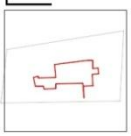
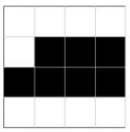
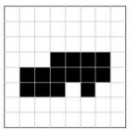
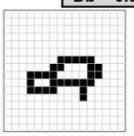
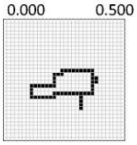
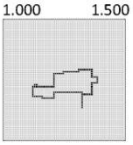
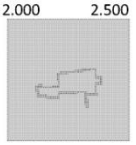


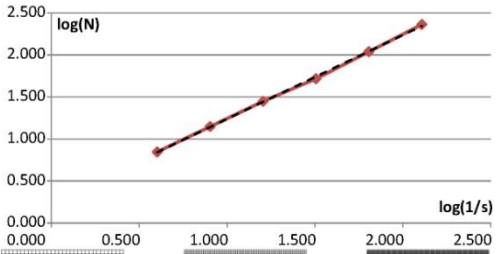
stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	2	0.301	4	0.602			
2	2	0.301	8	0.903	0.000	0.301	0.000
3	5	0.699	16	1.204	0.398	0.301	1.322
4	14	1.146	32	1.505	0.447	0.301	1.485
5	26	1.415	64	1.806	0.269	0.301	0.893
6	54	1.732	128	2.107	0.317	0.301	1.054
							average: 0.951
							slope: Db = 0.999



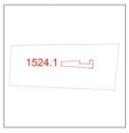
1480.1

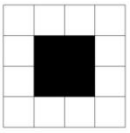
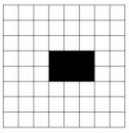
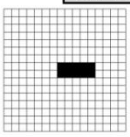
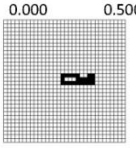
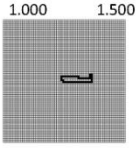
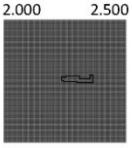








stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	7	0.845	4	0.602			
2	14	1.146	8	0.903	0.301	0.301	1.000
3	28	1.447	16	1.204	0.301	0.301	1.000
4	52	1.716	32	1.505	0.269	0.301	0.893
5	109	2.037	64	1.806	0.321	0.301	1.068
6	230	2.362	128	2.107	0.324	0.301	1.077
							average: 1.008
							slope: Db = 1.039

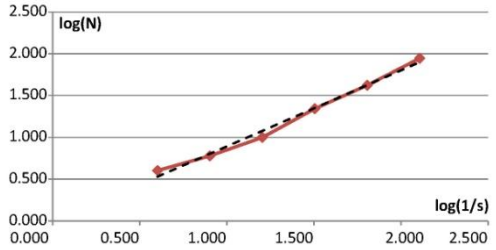


1480.2

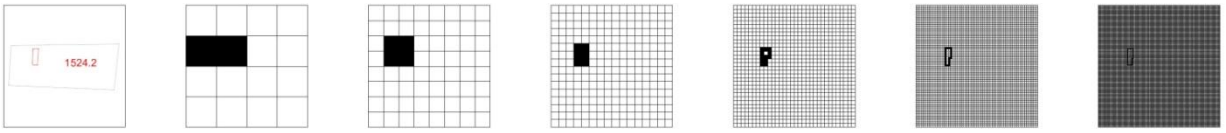


stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	4	0.602	4	0.602			
2	6	0.778	8	0.903	0.176	0.301	0.585
3	10	1.000	16	1.204	0.222	0.301	0.737
4	22	1.342	32	1.505	0.342	0.301	1.138
5	42	1.623	64	1.806	0.281	0.301	0.933
6	88	1.944	128	2.107	0.321	0.301	1.067
							average: 0.892
							slope: Db = 0.910

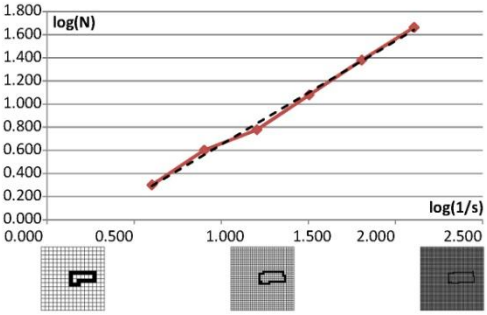


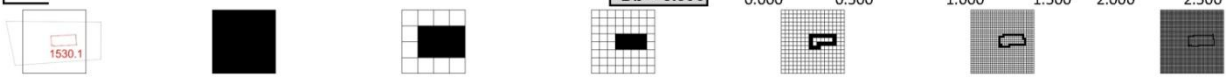
1524.1



stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	2	0.301	4	0.602			
2	4	0.602	8	0.903	0.301	0.301	1.000
3	6	0.778	16	1.204	0.176	0.301	0.585
4	12	1.079	32	1.505	0.301	0.301	1.000
5	24	1.380	64	1.806	0.301	0.301	1.000
6	46	1.663	128	2.107	0.283	0.301	0.939
						average:	0.905
						slope:	Db = 0.896

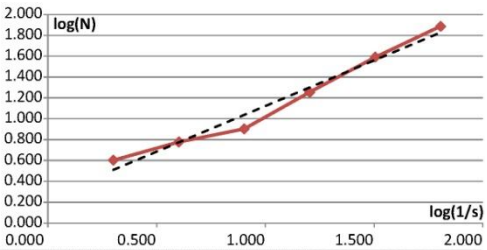
1524.2

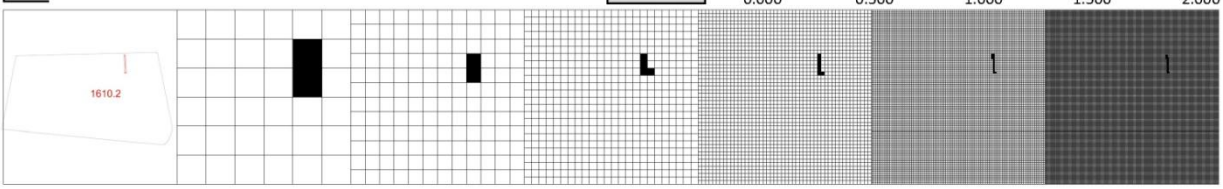




stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	4	0.602	2	0.301			
2	6	0.778	4	0.602	0.176	0.301	0.585
3	8	0.903	8	0.903	0.125	0.301	0.415
4	18	1.255	16	1.204	0.352	0.301	1.170
5	39	1.591	32	1.505	0.336	0.301	1.115
6	77	1.886	64	1.806	0.295	0.301	0.981
						average:	0.853
						slope:	Db = 0.874

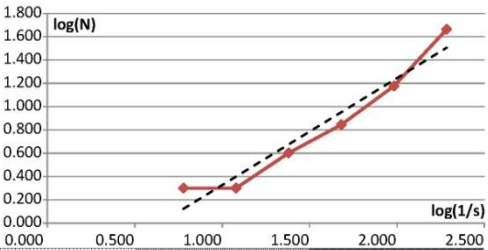
1530.1

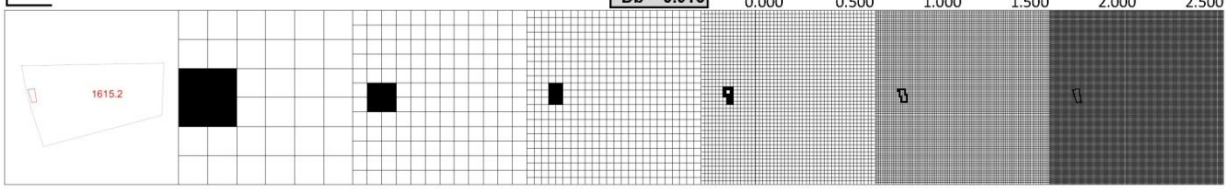




stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	2	0.301	6	0.778			
2	2	0.301	12	1.079	0.000	0.301	0.000
3	4	0.602	24	1.380	0.301	0.301	1.000
4	7	0.845	48	1.681	0.243	0.301	0.807
5	15	1.176	96	1.982	0.331	0.301	1.100
6	46	1.663	192	2.283	0.487	0.301	1.617
						average:	0.905
						slope:	Db = 0.918

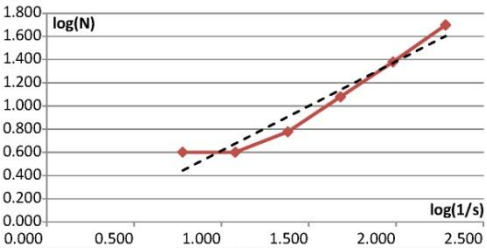
1610.2

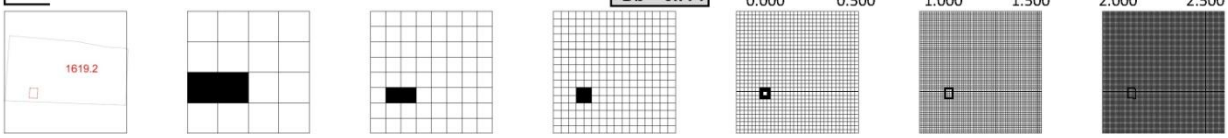




stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	4	0.602	6	0.778			
2	4	0.602	12	1.079	0.000	0.301	0.000
3	6	0.778	24	1.380	0.176	0.301	0.585
4	12	1.079	48	1.681	0.301	0.301	1.000
5	24	1.380	96	1.982	0.301	0.301	1.000
6	50	1.699	192	2.283	0.319	0.301	1.059
						average:	0.729
						slope:	Db = 0.771

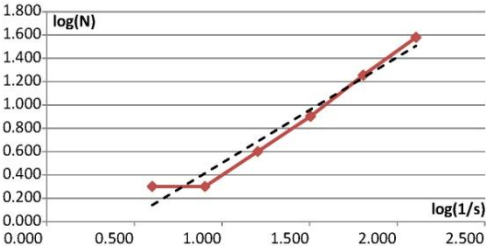
1615.2

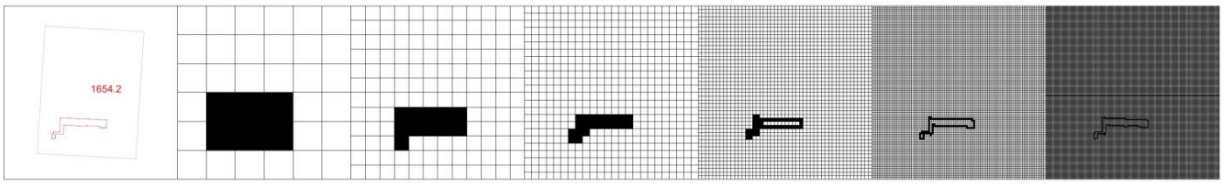




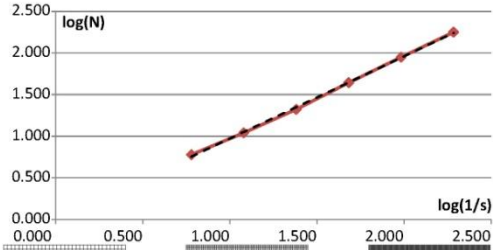
stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	2	0.301	4	0.602			
2	2	0.301	8	0.903	0.000	0.301	0.000
3	4	0.602	16	1.204	0.301	0.301	1.000
4	8	0.903	32	1.505	0.301	0.301	1.000
5	18	1.255	64	1.806	0.352	0.301	1.170
6	38	1.580	128	2.107	0.325	0.301	1.078
						average:	0.850
						slope:	Db = 0.907

1619.2

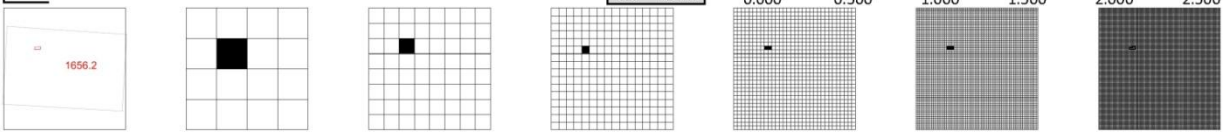




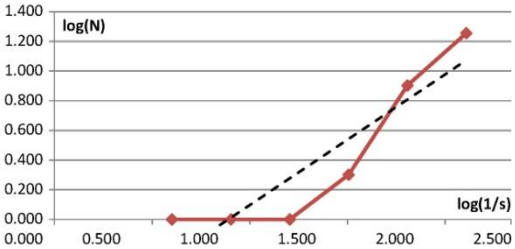
stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	6	0.778	6	0.778			
2	11	1.041	12	1.079	0.263	0.301	0.874
3	21	1.322	24	1.380	0.281	0.301	0.933
4	44	1.643	48	1.681	0.321	0.301	1.067
5	89	1.949	96	1.982	0.306	0.301	1.016
6	178	2.250	192	2.283	0.301	0.301	1.000
							average: 0.978
							slope: Db = 0.988



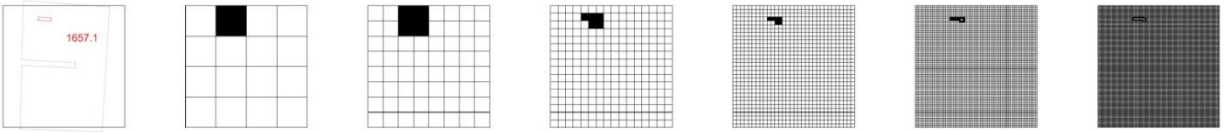
1654.2



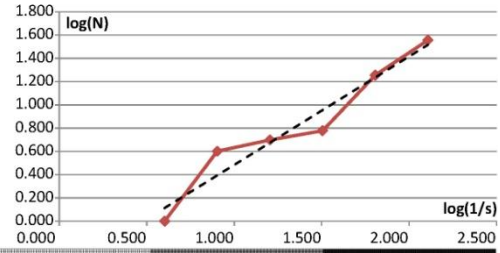
stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	1	0.000	4	0.602			
2	1	0.000	8	0.903	0.000	0.301	0.000
3	1	0.000	16	1.204	0.000	0.301	0.000
4	2	0.301	32	1.505	0.301	0.301	1.000
5	8	0.903	64	1.806	0.602	0.301	2.000
6	18	1.255	128	2.107	0.352	0.301	1.170
							average: 0.834
							slope: Db = 0.881



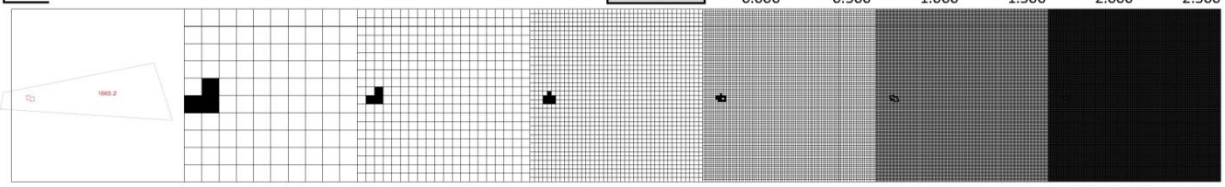
1656.2



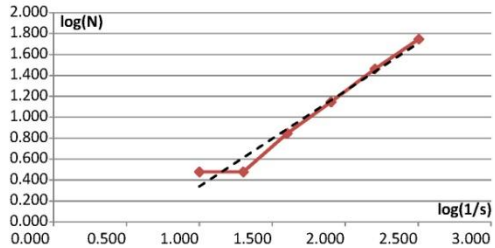
stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	1	0.000	4	0.602			
2	4	0.602	8	0.903	0.602	0.301	2.000
3	5	0.699	16	1.204	0.097	0.301	0.322
4	6	0.778	32	1.505	0.079	0.301	0.263
5	18	1.255	64	1.806	0.477	0.301	1.585
6	36	1.556	128	2.107	0.301	0.301	1.000
							average: 1.034
							slope: Db = 0.932



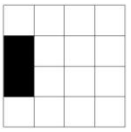
1657.1

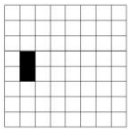


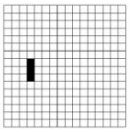
stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	3	0.477	10	1.000			
2	3	0.477	20	1.301	0.000	0.301	0.000
3	7	0.845	40	1.602	0.368	0.301	1.222
4	14	1.146	80	1.903	0.301	0.301	1.000
5	29	1.462	160	2.204	0.316	0.301	1.051
6	56	1.748	320	2.505	0.286	0.301	0.949
							average: 0.844
							slope: Db = 0.912

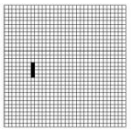


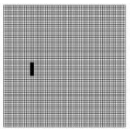
1665.2

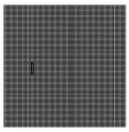






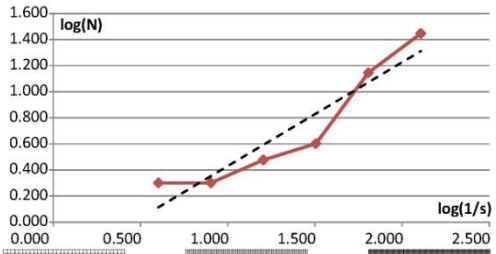


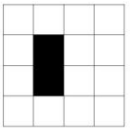


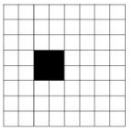


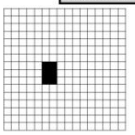
stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	2	0.301	4	0.602			
2	2	0.301	8	0.903	0.000	0.301	0.000
3	3	0.477	16	1.204	0.176	0.301	0.585
4	4	0.602	32	1.505	0.125	0.301	0.415
5	14	1.146	64	1.806	0.544	0.301	1.807
6	28	1.447	128	2.107	0.301	0.301	1.000
							average: 0.761
							slope: Db = 0.796

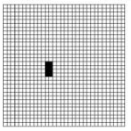
1818.2

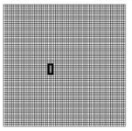






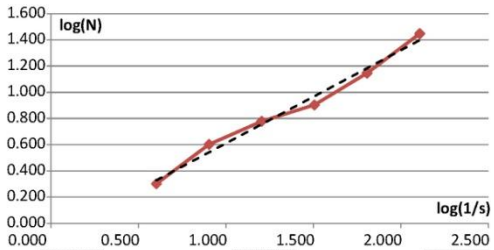






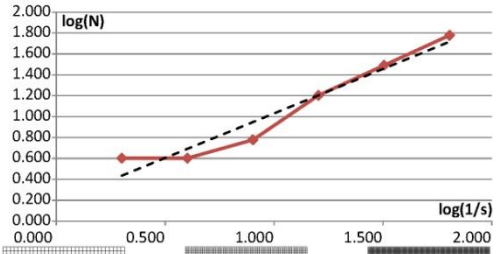
stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	2	0.301	4	0.602			
2	4	0.602	8	0.903	0.301	0.301	1.000
3	6	0.778	16	1.204	0.176	0.301	0.585
4	8	0.903	32	1.505	0.125	0.301	0.415
5	14	1.146	64	1.806	0.243	0.301	0.807
6	28	1.447	128	2.107	0.301	0.301	1.000
							average: 0.761
							slope: Db = 0.711

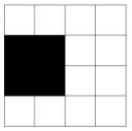
1818.3

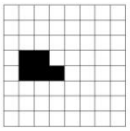


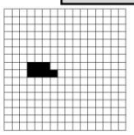
stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	4	0.602	2	0.301			
2	4	0.602	4	0.602	0.000	0.301	0.000
3	6	0.778	8	0.903	0.176	0.301	0.585
4	16	1.204	16	1.204	0.426	0.301	1.415
5	31	1.491	32	1.505	0.287	0.301	0.954
6	60	1.778	64	1.806	0.287	0.301	0.953
							average: 0.781
							slope: Db = 0.852

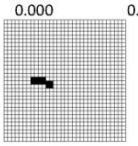
5768.1

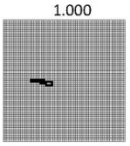


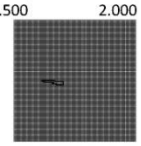






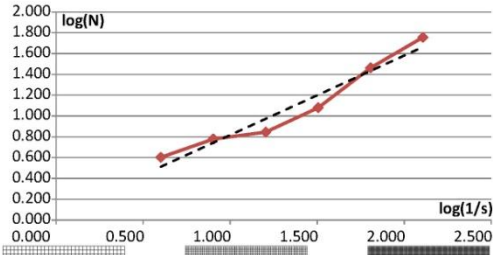


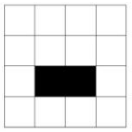


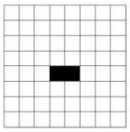


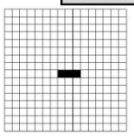
stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	4	0.602	4	0.602			
2	6	0.778	8	0.903	0.176	0.301	0.585
3	7	0.845	16	1.204	0.067	0.301	0.222
4	12	1.079	32	1.505	0.234	0.301	0.778
5	29	1.462	64	1.806	0.383	0.301	1.273
6	57	1.756	128	2.107	0.293	0.301	0.975
							average: 0.767
							slope: Db = 0.787

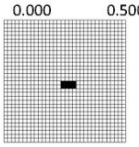
5769.1

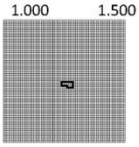


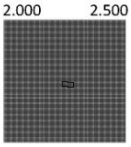






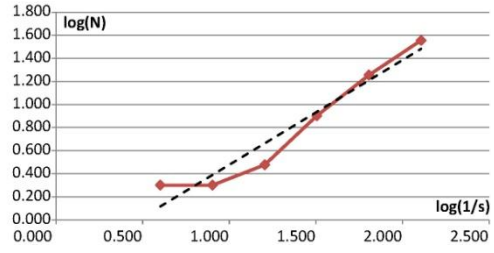






stage	N	log(N)	1/s	log(1/s)	log(Ni)-log(Ni-1)	log(1/si)-log(1/si-1)	dimension
1	2	0.301	4	0.602			
2	2	0.301	8	0.903	0.000	0.301	0.000
3	3	0.477	16	1.204	0.176	0.301	0.585
4	8	0.903	32	1.505	0.426	0.301	1.415
5	18	1.255	64	1.806	0.352	0.301	1.170
6	36	1.556	128	2.107	0.301	0.301	1.000
							average: 0.834
							slope: Db = 0.908

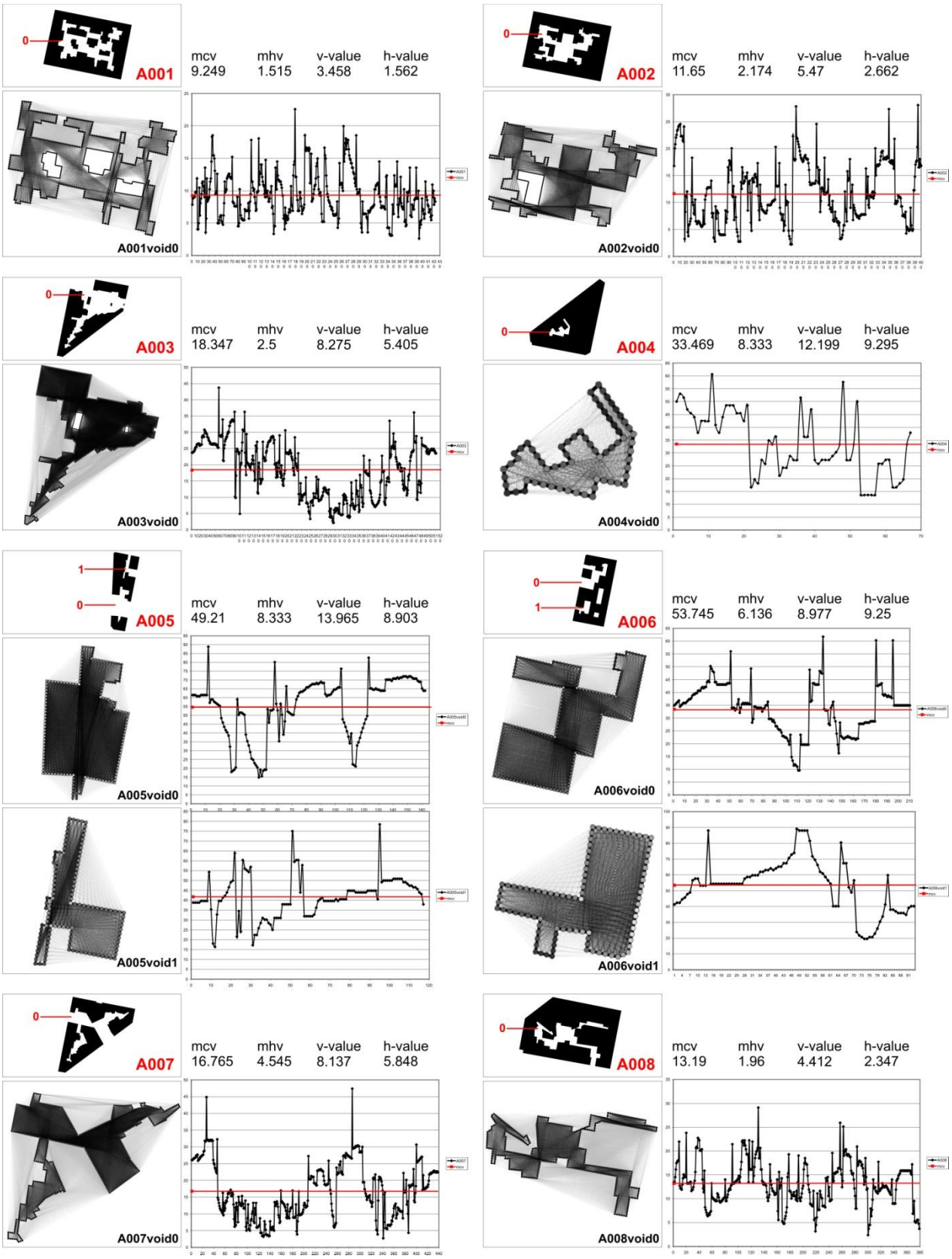
5769.2

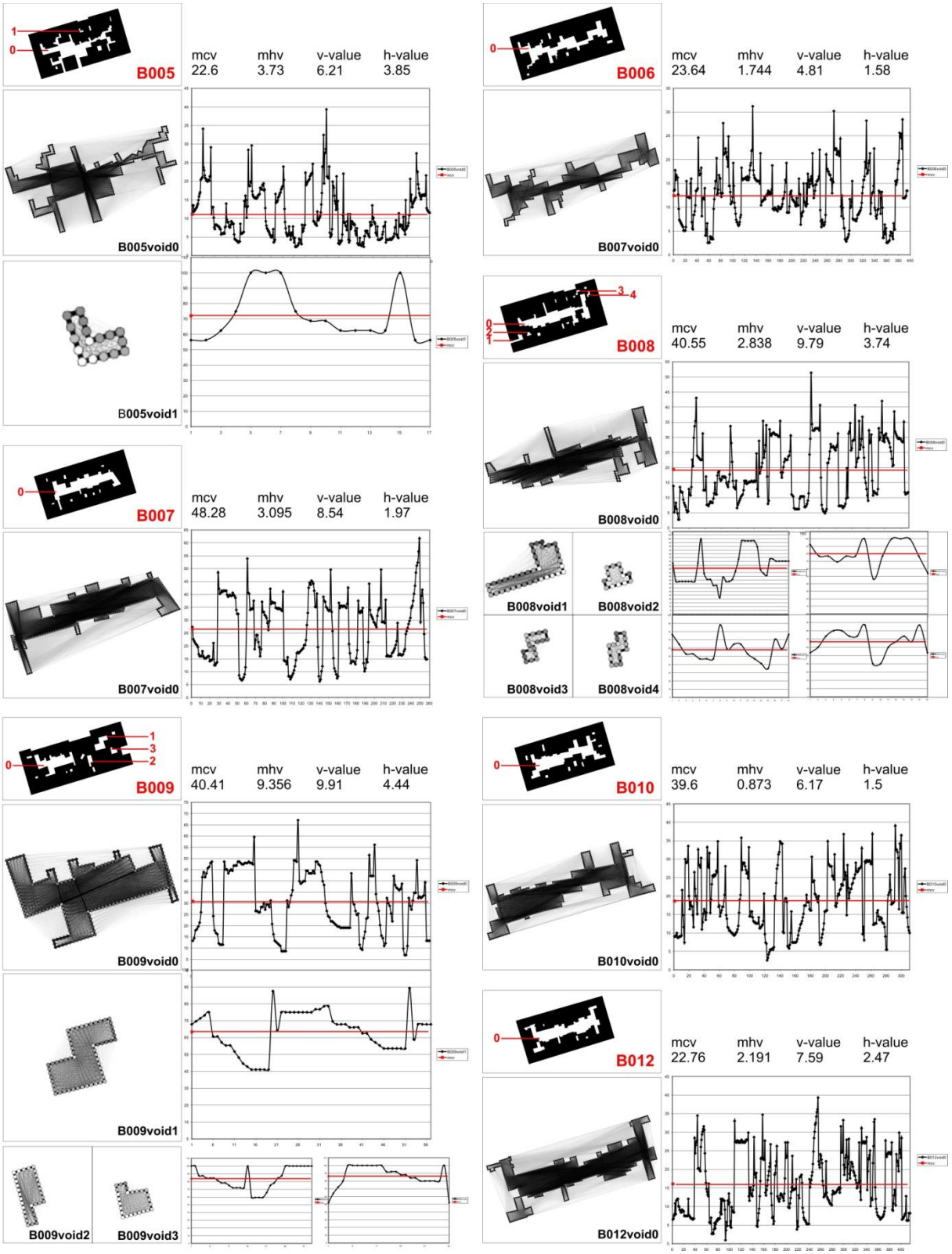


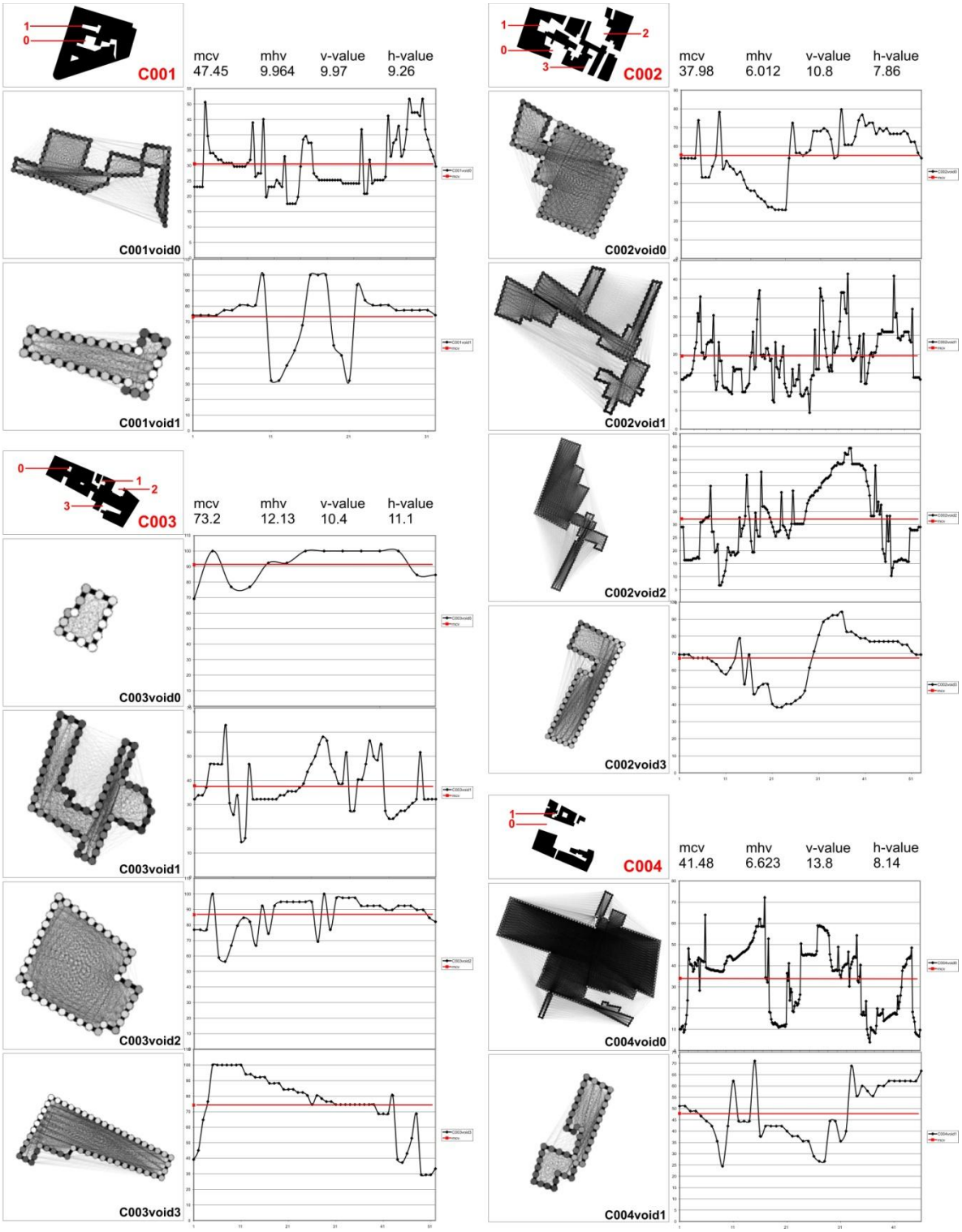
Πίνακας ΙΙ - 3

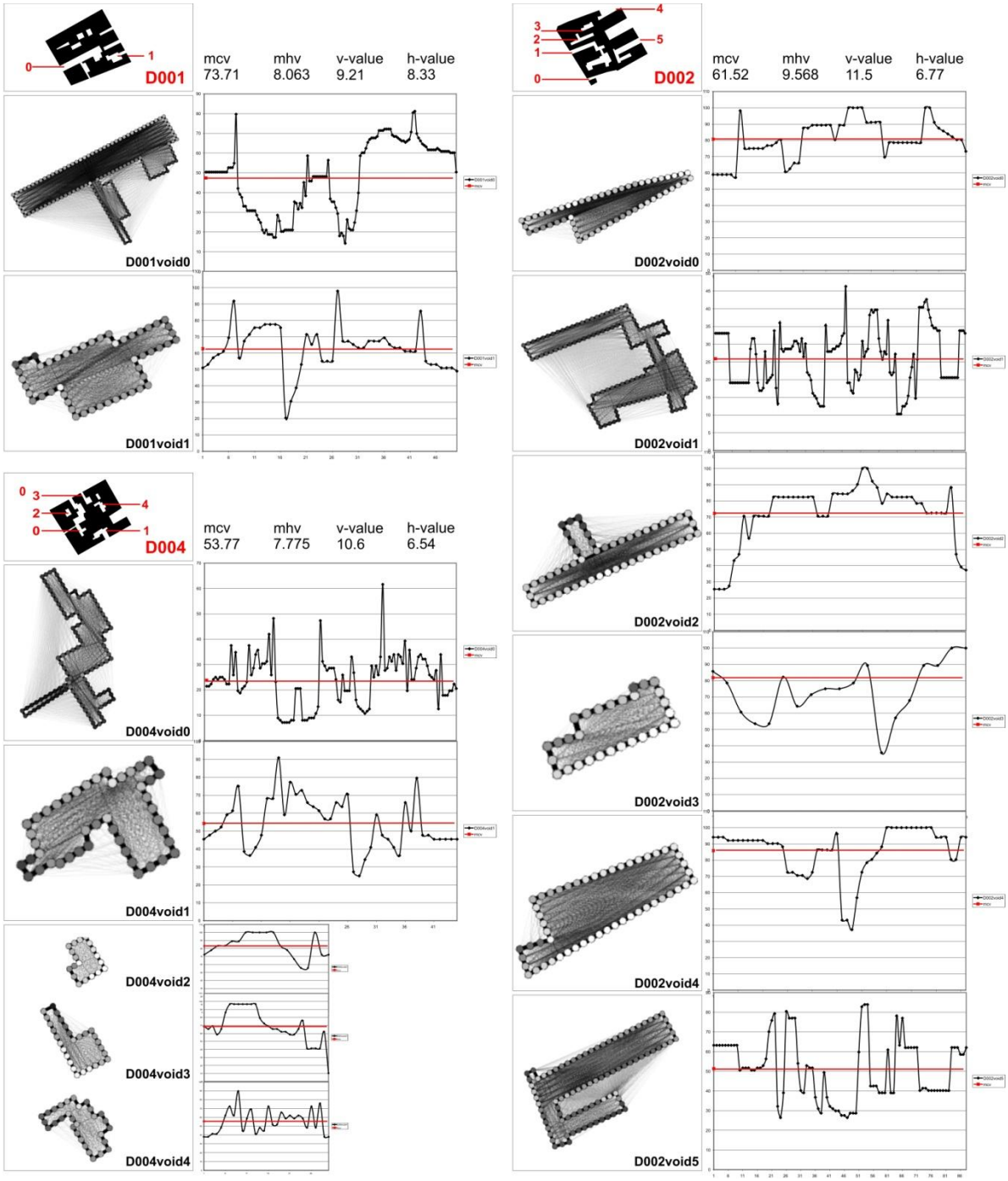
Αστικά κενά με φρακταλική διάσταση μικρότερη της μονάδας (κυρίως εφαρμογή)

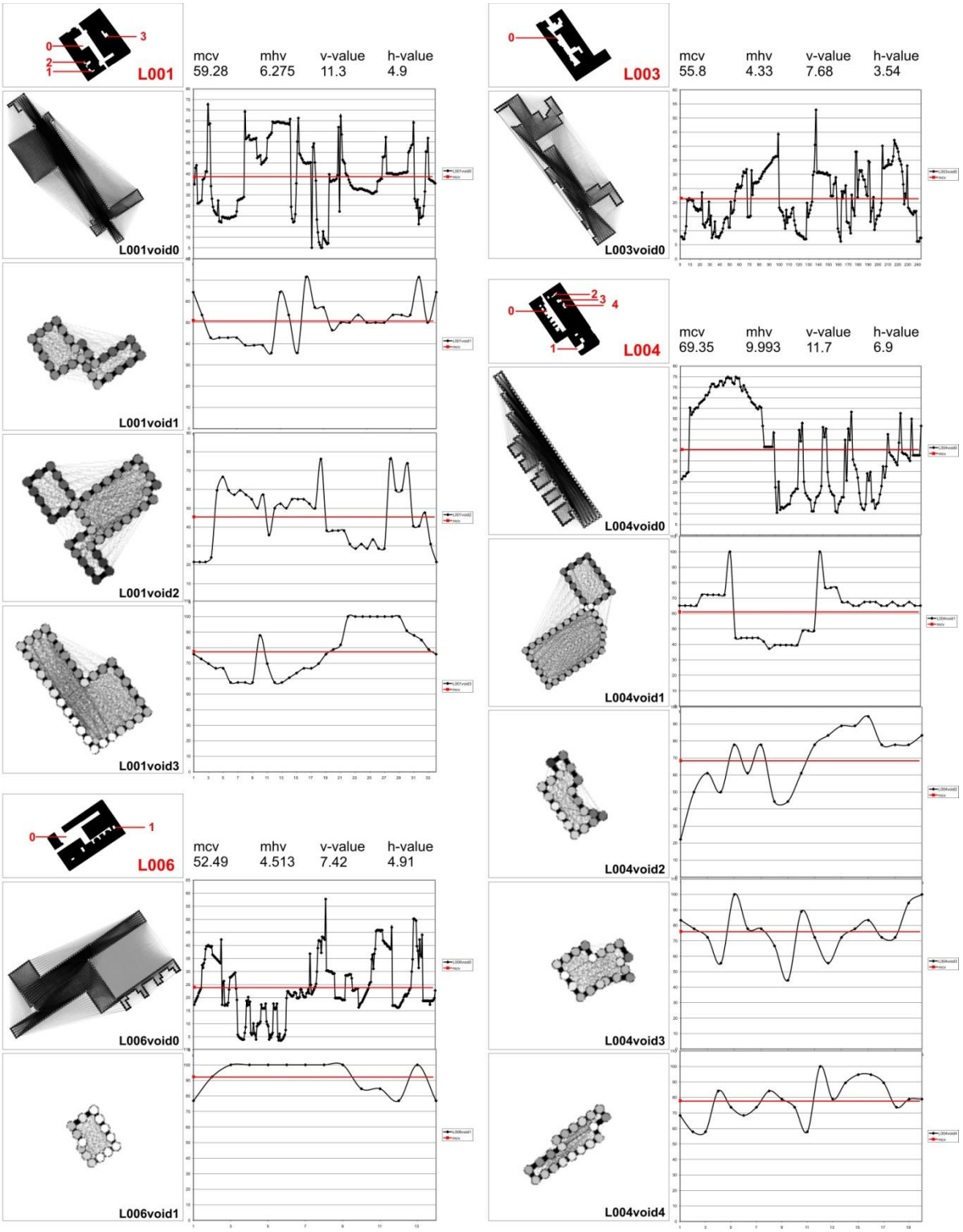
III. Συνδεσιμότητα




B005
mcv 22.6
mhv 3.73
v-value 6.21
h-value 3.85
B005void0
B005void1
B006
mcv 23.64
mhv 1.744
v-value 4.81
h-value 1.58
B007void0
B007
mcv 48.28
mhv 3.095
v-value 8.54
h-value 1.97
B007void0
B008
mcv 40.55
mhv 2.838
v-value 9.79
h-value 3.74
B008void0
B008void1
B008void2
B008void3
B008void4
B009
mcv 40.41
mhv 9.356
v-value 9.91
h-value 4.44
B009void0
B009void1
B009void2
B009void3
B010
mcv 39.6
mhv 0.873
v-value 6.17
h-value 1.5
B010void0
B012
mcv 22.76
mhv 2.191
v-value 7.59
h-value 2.47
B012void0

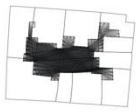
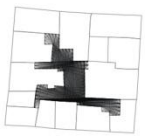
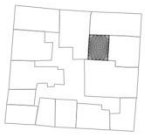
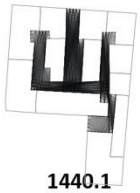

C001
mcv 47.45
mhv 9.964
v-value 9.97
h-value 9.26
C001void0
C001void1
C002
mcv 37.98
mhv 6.012
v-value 10.8
h-value 7.86
C002void0
C002void1
C002void2
C002void3
C003
mcv 73.2
mhv 12.13
v-value 10.4
h-value 11.1
C003void0
C003void1
C003void2
C003void3
C004
mcv 41.48
mhv 6.623
v-value 13.8
h-value 8.14
C004void0
C004void1

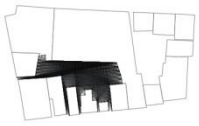
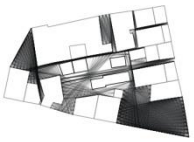

D001
mcv 73.71
mhv 8.063
v-value 9.21
h-value 8.33
D001void0
D001void1
D002
mcv 61.52
mhv 9.568
v-value 11.5
h-value 6.77
D002void0
D002void1
D002void2
D002void3
D002void4
D002void5
D004
mcv 53.77
mhv 7.775
v-value 10.6
h-value 6.54
D004void0
D004void1
D004void2
D004void3
D004void4

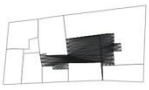
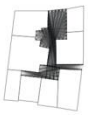
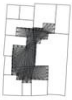


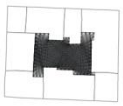
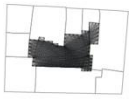
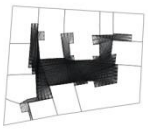
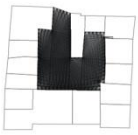
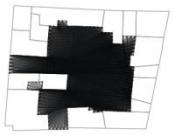
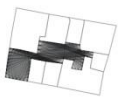
Πίνακας ΙΙΙ - 1

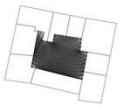
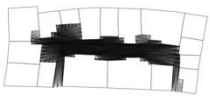
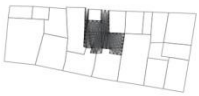
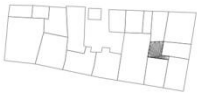
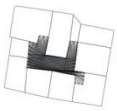
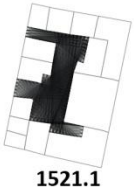
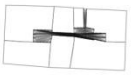
Συνδεσιμότητα κατόψεων πιλοτικής εφαρμογής (δείγμα)

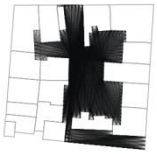
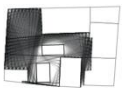
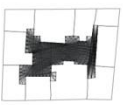
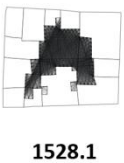
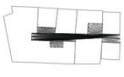
Plan	mcv	v-value	h-value
 1438.1	25.786	12.303	4.357
 1439.1	26.577	10.694	4.568
 1439.2	100.000	0.000	0.000
 1440.1	20.170	7.817	3.113
1442.1	78.858	15.135	14.424
1443.1	88.795	12.005	10.254
1444.1	49.024	17.365	9.717
1445.1	47.495	18.791	8.191

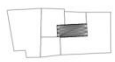
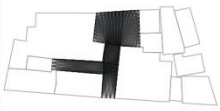
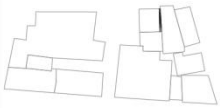
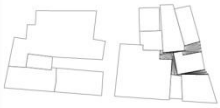
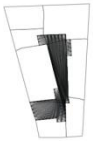
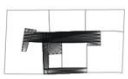
Plan	mcv	v-value	h-value
 1445.2	29.162	16.418	7.481
1445.3	100.000	0.000	0.000
1446.1	26.377	11.532	7.762
 1447.1	9.936	4.735	3.726
1448.1	100.000	0.000	0.000
1448.2	100.000	0.000	0.000
1448.3	27.106	10.668	6.673
1480.1	79.167	16.646	16.047

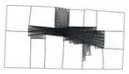
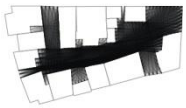
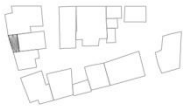
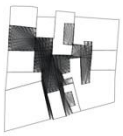
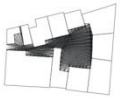
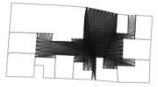
Plan	mcv	v-value	h-value
 1480.2	44.482	17.289	8.301
1492.1	21.292	8.258	5.031
 1493.1	31.647	9.637	4.833
1494.1	63.012	21.068	12.346
1495.1	24.865	11.973	5.232
1495.2	80.000	14.694	13.788
1496.1	33.527	10.479	4.881
 1497.1	39.907	11.986	5.639

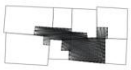
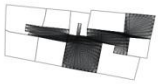
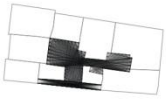
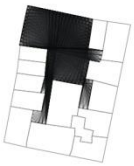
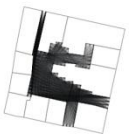
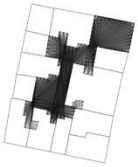
Plan	mcv	v-value	h-value
 1498.1	49.110	16.636	6.109
 1499.1	49.190	15.798	5.362
 1500.1	20.023	9.517	3.122
 1501.1	50.592	16.688	9.915
1502.1	37.371	15.216	4.044
 1503.1	35.265	13.233	4.731
1504.1	37.155	13.360	3.739
 1505.1	41.197	10.093	5.571

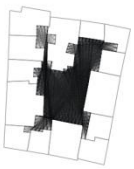
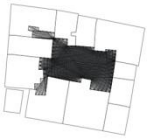
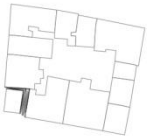
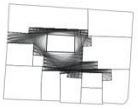
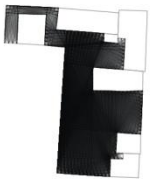
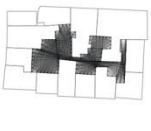
Plan	mcv	v-value	h-value
1506.1	33.263	12.893	4.166
 1517.1	68.693	18.592	9.690
 1518.1	25.477	9.725	2.566
 1519.1	51.059	14.699	4.922
 1519.2	78.421	16.468	12.181
 1520.1	44.188	15.554	6.964
 1521.1	37.132	12.540	5.431
 1523.1	34.972	11.101	6.191

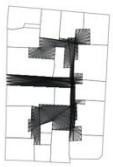
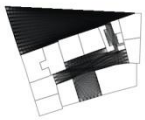
Plan	mcv	v-value	h-value
1524.1	70.940	20.035	16.426
1524.2	100.000	0.000	0.000
 1525.1	21.922	7.758	2.508
1525.2	83.041	16.858	17.550
 1526.1	30.350	11.636	15.559
 1527.1	31.012	11.783	2.624
 1528.1	30.919	13.329	4.267
 1529.1	40.000	14.767	3.858

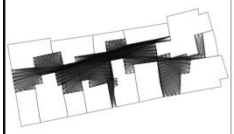
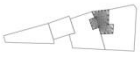
Plan	mcv	v-value	h-value
 1530.1	94.466	8.682	12.749
1531.1	20.658	8.614	3.859
 1610.1	44.099	11.401	7.773
 1610.2	100.000	0.000	0.000
 1610.3	24.605	6.340	6.745
1611.1	13.843	7.236	3.446
 1612.1	45.579	13.972	7.083
 1613.1	32.273	12.026	6.464

Plan	mcv	v-value	h-value
 1614.1	36.702	14.257	5.776
 1615.1	22.515	10.721	3.919
 1615.2	100.000	0.000	0.000
 1616.1	19.001	7.738	4.470
1616.2	100.000	0.000	0.000
 1617.1	33.190	12.805	6.023
1618.1	50.076	18.430	6.015
 1619.1	29.784	12.078	5.751

Plan	mcv	v-value	h-value
1619.2	100.000	0.000	0.000
 1620.1	46.540	14.840	10.389
1621.1	37.727	14.566	15.139
 1622.1	31.393	9.902	7.672
 1623.1	33.105	8.622	5.059
 1624.1	38.880	16.099	13.444
 1649.1	24.586	10.130	4.249
 1650.1	21.305	7.600	5.323

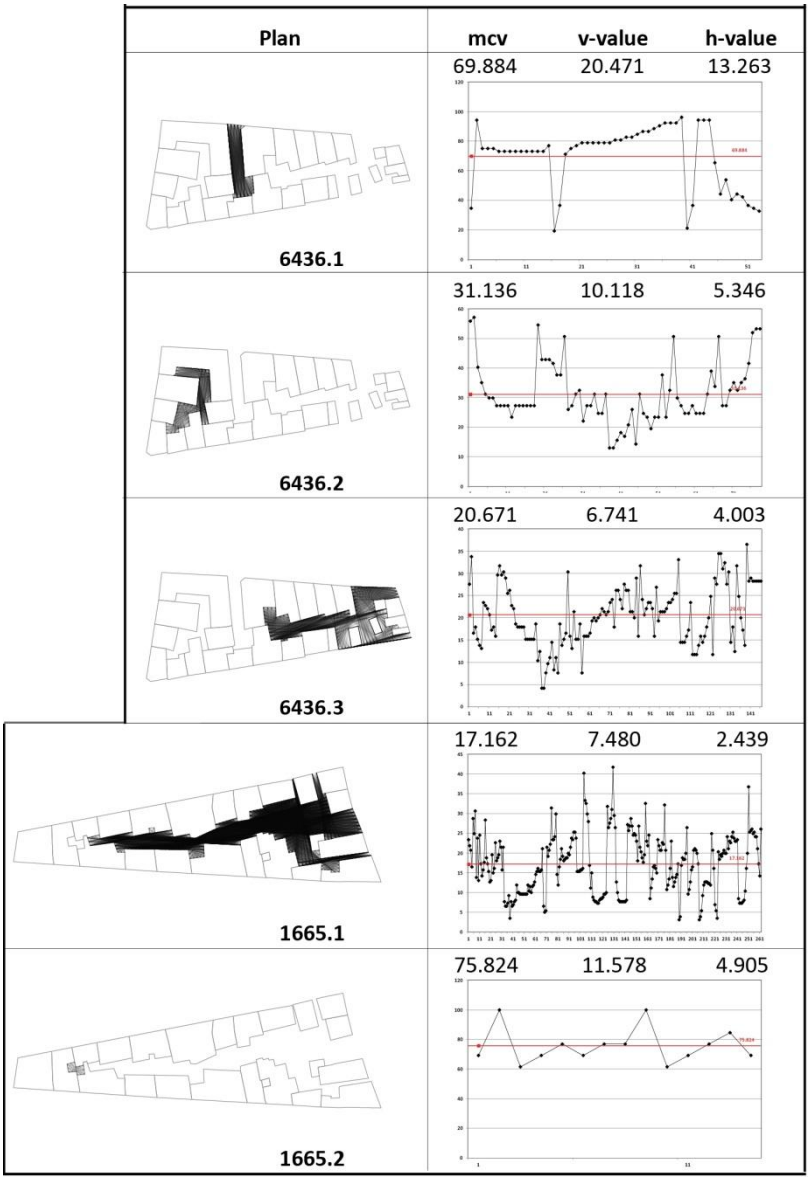
Plan	mcv	v-value	h-value
 1651.1	23.572	11.702	4.085
 1652.1	33.683	14.703	5.454
 1652.2	55.820	15.866	12.303
 1653.1	26.297	8.453	4.731
1654.1	28.995	12.371	3.956
1654.2	46.936	21.623	13.555
 1655.1	30.090	14.153	9.256
 1656.1	21.677	6.653	3.727

Plan	mcv	v-value	h-value
1656.2	100.000	0.000	0.000
1657.1	100.000	0.000	0.000
 1657.2	16.083	5.821	3.827
1658.1	35.777	13.755	5.441
1659.1	34.268	10.857	5.512
1659.2	68.571	13.248	8.473
1660.1	35.394	14.828	8.241
 1661.1	30.770	13.450	11.453

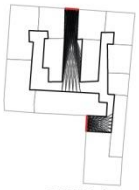
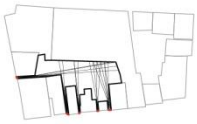
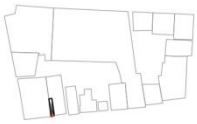
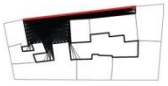
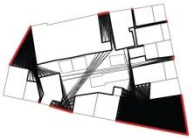
Plan	mcv	v-value	h-value
 1663.1	16.860	6.681	2.584
1664.1	55.814	17.529	4.952
1664.2	80.000	15.028	13.145
1818.1	54.762	15.218	9.303
1818.2	100.000	0.000	0.000
1818.3	100.000	0.000	0.000
 5767.1	69.000	12.643	5.607
5767.2	100.000	0.000	0.000

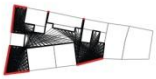
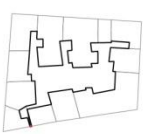
Plan	mcv	v-value	h-value
5768.1	88.971	12.227	32.286
5769.1	80.392	17.538	12.984
5769.2	100.000	0.000	0.000
6125.1	24.970	8.117	2.949
6209.1	58.756	12.526	4.763

Plan	mcv	v-value	h-value
6209.2	68.172	13.959	17.353
6209.3	61.153	16.642	10.062
6657.1	72.515	16.841	22.380
6657.2	41.171	14.186	7.724



Πίνακας ΙΙΙ - 2
Συνδεσιμότητα κατόψεων κυρίως εφαρμογής

Plan	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value
 1440.1	1.622	3.850	9.730
1442.1	50.529	28.071	10.842
1444.1	1.463	4.964	15.101
1445.1	2.733	5.774	7.503
 1445.2	1.973	3.408	10.211
 1445.3	31.818	30.492	27.778
 1446.1	12.966	16.415	14.809
 1447.1	4.908	6.465	6.323

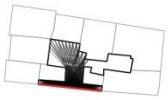
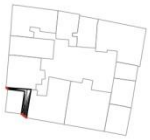
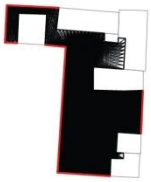
Plan	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value
1448.1	58.242	26.602	12.063
1448.2	85.714	16.496	5.102
1448.3	8.891	9.730	10.515
 1492.1	8.590	7.790	7.346
1493.1	6.233	9.964	11.509
1495.1	16.035	17.390	10.332
1495.2	73.445	27.243	0.000
 1500.1	0.124	0.638	37.715

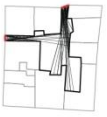
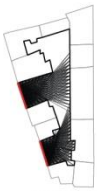
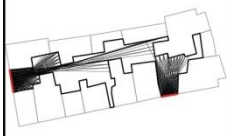
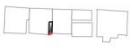
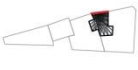
Plan	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value
1501.1	4.890	10.009	12.667
1502.1	1.310	2.673	13.975
1503.1	3.213	5.966	15.642
1505.1	14.241	17.966	10.946
1506.1	1.018	3.286	28.636
1518.1	1.172	2.922	9.174
1519.1	6.118	9.267	27.745
1521.1	3.997	6.745	9.826

Plan	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value
1523.1	1.243	3.620	20.159
1524.2	39.560	31.564	24.490
1525.1	5.640	8.511	14.356
1525.2	60.819	21.963	0.215
1526.1	18.688	17.115	17.724
1529.1	3.077	7.466	24.296
1531.1	1.521	3.088	9.343
1610.1	15.566	17.787	12.376

Plan	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value
1610.2	27.473	29.609	30.612
1610.3	5.377	7.692	13.671
1611.1	3.436	5.351	7.361
1612.1	4.982	9.389	21.111
1613.1	5.666	9.752	23.156
1614.1	3.404	7.182	15.700
1615.1	6.839	8.824	6.796
1615.2	69.231	26.647	6.122

Plan	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value
1616.1	2.757	5.061	15.348
1616.2	68.132	25.489	5.831
1617.1	1.291	3.256	17.105
1619.1	6.734	10.438	8.998
1619.2	57.576	29.998	13.889
1620.1	16.192	18.843	14.842
1621.1	1.481	3.800	20.009
1622.1	11.504	11.748	15.948

Plan	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value
 1623.1	10.261	14.022	17.645
1624.1	21.610	21.919	20.468
1649.1	2.721	5.020	10.171
1650.1	4.992	9.020	26.683
 1652.2	15.608	15.631	13.405
1653.1	1.706	4.577	23.724
 1655.1	25.030	17.486	8.363
1657.2	0.907	3.227	9.116

Plan	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value
 1659.1	2.501	5.332	10.050
 1660.1	6.142	8.415	10.704
1661.1	20.677	19.841	20.930
 1663.1	1.652	3.634	9.626
1818.1	14.550	18.061	19.858
1818.2	38.889	29.724	22.634
 1818.3	46.429	30.929	18.750
 5767.1	28.667	23.043	0.000

Plan	open edge mcv	open edge v-value	open edge h-value
5767.2	69.231	26.647	6.122
6125.1	1.391	3.606	6.773
6209.1	8.626	14.733	0.000
6209.3	11.676	17.919	20.022
6657.1	36.901	26.529	40.948
6657.2	20.510	20.562	19.440
6436.1	12.627	18.866	37.090
6436.3	8.257	9.491	15.349
1665.1	1.664	4.003	7.678

Πίνακας ΙΙΙ - 3

Συνδεσιμότητα κατόψεων κυρίως εφαρμογής με όρους οπτικής διαπερατότητας από το δρόμο

IV. Ανάλυση αποτελεσμάτων

Univariate Simple Statistics

Column	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
mcv	48.3083	21.2114	9.2490	100.000
mhv	7.2754	4.2590	0.0000	22.5000
v-value	10.2861	3.8630	0.0000	20.6067
h-value	6.4828	3.4012	0.0000	18.7430
void perimeter	413.056	251.934	11.0000	1534.00
void number	7.5360	7.9205	1.0000	64.0000
fractal dimension	1.4843	0.0642	1.3480	1.6740
total area	3906.39	2127.13	389.651	12028.6
footprint	0.7521	0.1385	0.2249	0.9875
buildings	17.8000	9.7914	2.0000	75.0000
builtNo	2.1440	1.5796	1.0000	10.0000
open voidNo	1.7360	2.0246	0.0000	13.0000
isolated voidNo	3.9120	4.8693	0.0000	33.0000
contour vertices	4.1600	0.7340	3.0000	6.0000

Univariate Simple Statistics

Column	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum
openPerim/Otperim	0.0623	0.1009	0.0000	0.5510
voidArea	574.046	544.580	6.4340	2717.63
voidToBlockArea	0.1505	0.1157	0.0016	0.5635
voidPerimeter	165.695	118.275	11.0678	556.477
openEdges	1.4727	1.6957	0.0000	9.0000
openPerimLen	16.6140	28.4028	0.0000	183.224
openToVoidPerim	0.0951	0.1233	0.0000	0.5453
corner	0.1636	0.3716	0.0000	1.0000
containedBuild	0.1364	0.5154	0.0000	4.0000
surroundBuild	7.8455	4.2127	1.0000	20.0000
vertNum	26.2273	17.8879	5.0000	77.0000
mcv	50.2177	27.5019	9.9360	100.000
v-value	11.0622	5.6061	0.0000	21.6227
h-value	6.6479	5.2649	0.0000	32.2859
fd	1.0770	0.1063	0.7107	1.2609
openEdge mcv	11.3878	19.1734	0.0000	85.7143
openEdge vv	8.8232	9.7173	0.0000	31.5635
openEdge hv	9.8228	9.9171	0.0000	40.9482
Weighted Degree	3.2273	3.5184	0.0000	16.0000

Πίνακας IV - 1

Συνολικά στατιστικά χαρακτηριστικά μετρήσεων

Μέση τιμή, τυπική απόκλιση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή για όλες τις μετρήσεις, για την πιλοτική εφαρμογή (αριστερά) και την κυρίως εφαρμογή (δεξιά)

Correlations

	mcv	mhv	v-value	h-value	void perimeter	void number	fractal dimension	total area	footprint	buildings	builtNo
mcv	1.0000	0.3084	-0.0292	0.1773	-0.1496	0.3548	-0.1880	-0.3259	0.2482	0.0611	-0.3726
mhv	0.3084	1.0000	0.6979	0.8194	-0.0401	0.1387	0.2695	-0.2646	-0.0629	0.0785	-0.1058
v-value	-0.0292	0.6979	1.0000	0.7620	0.0282	0.0642	0.1440	-0.2179	-0.3514	-0.0029	-0.0568
h-value	0.1773	0.8194	0.7620	1.0000	-0.1225	-0.0229	0.1120	-0.3190	-0.3057	-0.0643	-0.0031
void perimeter	-0.1496	-0.0401	0.0282	-0.1225	1.0000	0.7222	0.4508	0.7476	-0.1672	0.6330	0.2956
void number	0.3548	0.1387	0.0642	-0.0229	0.7222	1.0000	0.2070	0.4337	0.1024	0.6159	-0.1338
fractal dimension	-0.1880	0.2695	0.1440	0.1120	0.4508	0.2070	1.0000	0.1940	-0.1212	0.3706	0.3032
total area	-0.3259	-0.2646	-0.2179	-0.3190	0.7476	0.4337	0.1940	1.0000	-0.0150	0.4568	0.2685
footprint	0.2482	-0.0629	-0.3514	-0.3057	-0.1672	0.1024	-0.1212	-0.0150	1.0000	0.0875	-0.4159
buildings	0.0611	0.0785	-0.0029	-0.0643	0.6330	0.6159	0.3706	0.4568	0.0875	1.0000	0.2271
builtNo	-0.3726	-0.1058	-0.0568	-0.0031	0.2956	-0.1338	0.3032	0.2685	-0.4159	0.2271	1.0000
open voidNo	0.0699	0.3788	0.3349	0.3406	0.3325	0.1462	0.4661	0.0741	-0.1904	0.4464	0.2944
isolated voidNo	0.2119	0.0718	-0.0739	-0.0927	0.5777	0.8144	0.2084	0.5212	0.2242	0.4173	-0.1776
contour vertices	-0.0958	0.0105	0.1037	0.0868	0.0481	0.0254	0.1654	-0.0068	-0.1236	0.1066	0.1539

	open voidNo	isolated voidNo	contour vertices
mcv	0.0699	0.2119	-0.0958
mhv	0.3788	0.0718	0.0105
v-value	0.3349	-0.0739	0.1037
h-value	0.3406	-0.0927	0.0868
void perimeter	0.3325	0.5777	0.0481
void number	0.1462	0.8144	0.0254
fractal dimension	0.4661	0.2084	0.1654
total area	0.0741	0.5212	-0.0068
footprint	-0.1904	0.2242	-0.1236
buildings	0.4464	0.4173	0.1066
builtNo	0.2944	-0.1776	0.1539
open voidNo	1.0000	-0.0973	0.1101
isolated voidNo	-0.0973	1.0000	-0.0840
contour vertices	0.1101	-0.0840	1.0000

Πίνακας IV - 2

Συσχετίσεις μετρήσεων πιλοτικής εφαρμογής

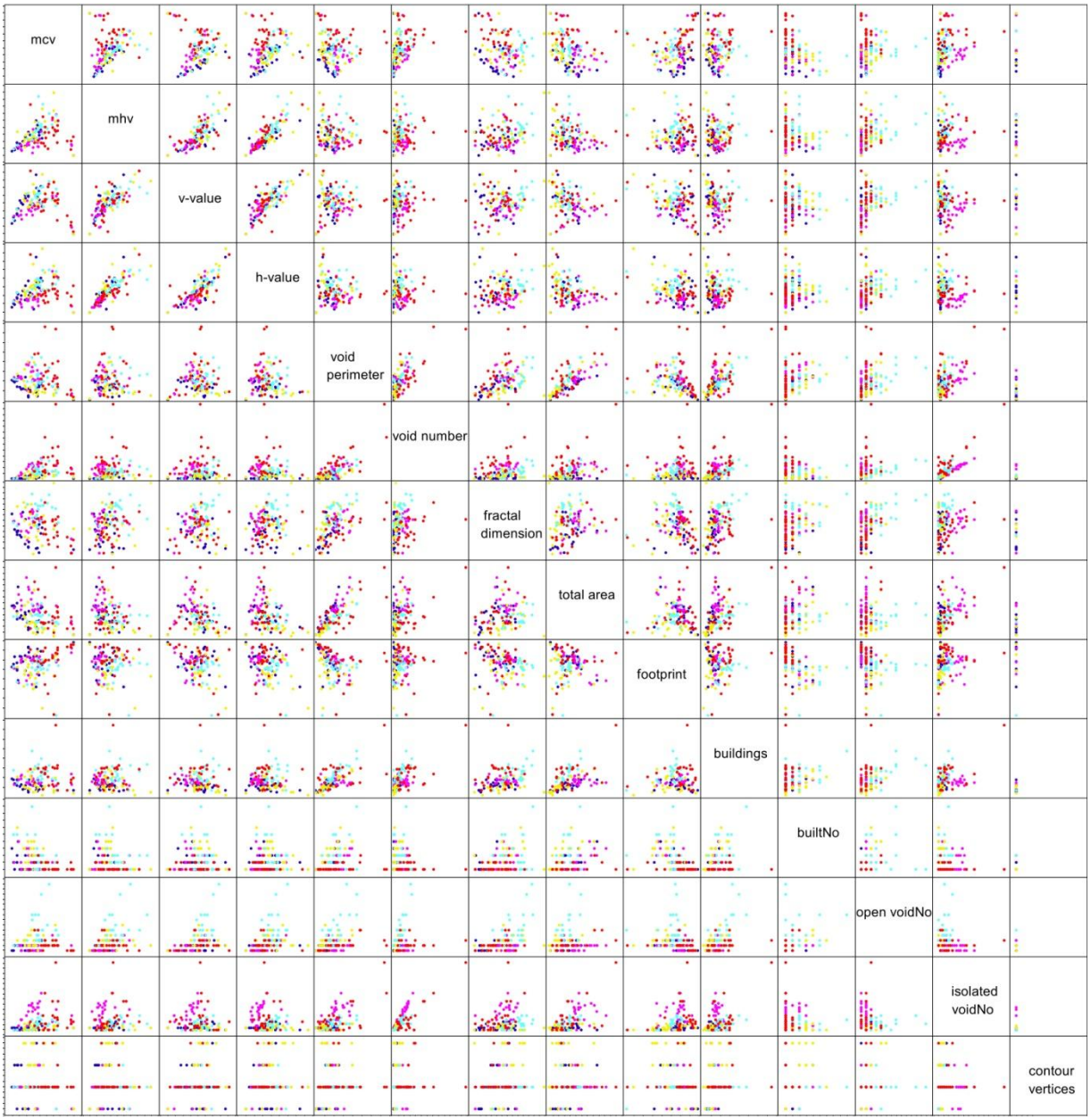
Correlations

	openPerim/Otperim	voidArea	voidToBlockArea	voidPerimeter	openEdges	openPerimLen	openToVoidPerim	corner	containedBuild
openPerim/Otperim	1.0000	0.6321	0.7201	0.5323	0.7228	0.9752	0.6808	0.8133	0.3748
voidArea	0.6321	1.0000	0.8878	0.9106	0.6184	0.6889	0.1994	0.4638	0.2811
voidToBlockArea	0.7201	0.8878	1.0000	0.8346	0.5978	0.7042	0.2264	0.5467	0.2824
voidPerimeter	0.5323	0.9106	0.8346	1.0000	0.6394	0.5704	0.0596	0.4214	0.2903
openEdges	0.7228	0.6184	0.5978	0.6394	1.0000	0.7396	0.4545	0.6623	0.4714
openPerimLen	0.9752	0.6889	0.7042	0.5704	0.7396	1.0000	0.6541	0.7746	0.3861
openToVoidPerim	0.6808	0.1994	0.2264	0.0596	0.4545	0.6541	1.0000	0.5815	0.1923
corner	0.8133	0.4638	0.5467	0.4214	0.6623	0.7746	0.5815	1.0000	0.3614
containedBuild	0.3748	0.2811	0.2824	0.2903	0.4714	0.3861	0.1923	0.3614	1.0000
surroundBuild	0.2307	0.7080	0.6768	0.8520	0.4110	0.2493	-0.2234	0.2155	0.1661
vertNum	0.3093	0.7731	0.7307	0.9250	0.4861	0.3285	-0.1289	0.2773	0.2324
mcv	-0.3336	-0.6701	-0.7231	-0.8308	-0.4524	-0.3391	0.1480	-0.2852	-0.2010
v-value	-0.0071	0.0881	0.1773	0.0559	-0.1080	-0.0065	-0.2078	-0.0180	-0.0998
h-value	0.1176	-0.0650	0.0086	-0.1532	-0.0951	0.0993	0.0734	0.0895	0.0791
fd	0.2055	0.3383	0.3825	0.4600	0.2554	0.1998	-0.0063	0.2140	0.0683
openEdge_mcv	0.1883	-0.2104	-0.2389	-0.3316	0.0792	0.1620	0.8037	0.1530	-0.0417
openEdge_w	0.3551	-0.0635	-0.0751	-0.1922	0.2384	0.3208	0.7458	0.2685	-0.0060
openEdge_hv	0.2306	0.1588	0.1565	0.1370	0.2700	0.2202	0.2290	0.1317	0.0837
Weighted Degree	0.7742	0.6505	0.6464	0.6243	0.8660	0.7908	0.4910	0.6659	0.3318

	surroundBuild	vertNum	mcv	v-value	h-value	fd	openEdge_mcv	openEdge_w	openEdge_hv	Weighted Degree
openPerim/Otperim	0.2307	0.3093	-0.3336	-0.0071	0.1176	0.2055	0.1883	0.3551	0.2306	0.7742
voidArea	0.7080	0.7731	-0.6701	0.0881	-0.0650	0.3383	-0.2104	-0.0635	0.1588	0.6505
voidToBlockArea	0.6768	0.7307	-0.7231	0.1773	0.0086	0.3825	-0.2389	-0.0751	0.1565	0.6464
voidPerimeter	0.8520	0.9250	-0.8308	0.0559	-0.1532	0.4600	-0.3316	-0.1922	0.1370	0.6243
openEdges	0.4110	0.4861	-0.4524	-0.1080	-0.0951	0.2554	0.0792	0.2384	0.2700	0.8660
openPerimLen	0.2493	0.3285	-0.3391	-0.0065	0.0993	0.1998	0.1620	0.3208	0.2202	0.7908
openToVoidPerim	-0.2234	-0.1289	0.1480	-0.2078	0.0734	-0.0063	0.8037	0.7458	0.2290	0.4910
corner	0.2155	0.2773	-0.2852	-0.0180	0.0895	0.2140	0.1530	0.2685	0.1317	0.6659
containedBuild	0.1661	0.2324	-0.2010	-0.0998	0.0791	0.0683	-0.0417	-0.0060	0.0837	0.3318
surroundBuild	1.0000	0.9032	-0.7905	0.1021	-0.2036	0.4368	-0.4919	-0.4063	0.0037	0.3509
vertNum	0.9032	1.0000	-0.8451	0.0256	-0.2542	0.4502	-0.4187	-0.3393	0.0477	0.4430
mcv	-0.7905	-0.8451	1.0000	-0.3093	0.0591	-0.6071	0.5395	0.3926	-0.1024	-0.4303
v-value	0.1021	0.0256	-0.3093	1.0000	0.6659	0.3141	-0.4122	-0.3451	-0.1040	-0.1088
h-value	-0.2036	-0.2542	0.0591	0.6659	1.0000	0.0365	-0.1086	-0.0783	-0.0340	-0.0819
fd	0.4368	0.4502	-0.6071	0.3141	0.0365	1.0000	-0.3104	-0.2096	0.0460	0.2387
openEdge_mcv	-0.4919	-0.4187	0.5395	-0.4122	-0.1086	-0.3104	1.0000	0.8338	0.1782	0.1102
openEdge_w	-0.4063	-0.3393	0.3926	-0.3451	-0.0783	-0.2096	0.8338	1.0000	0.5067	0.3298
openEdge_hv	0.0037	0.0477	-0.1024	-0.1040	-0.0340	0.0460	0.1782	0.5067	1.0000	0.3563
Weighted Degree	0.3509	0.4430	-0.4303	-0.1088	-0.0819	0.2387	0.1102	0.3298	0.3563	1.0000

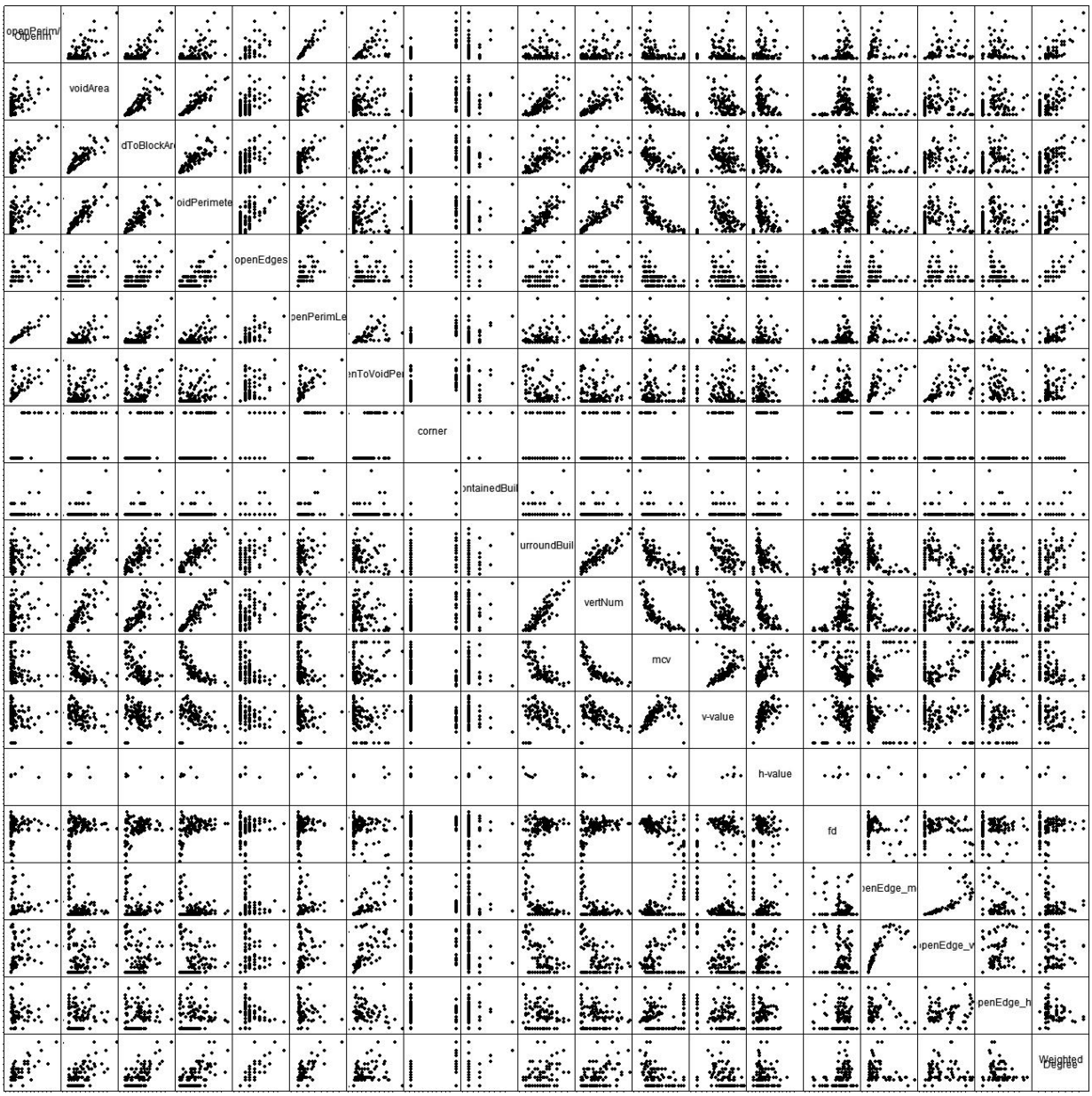
Πίνακας IV - 3

Συσχετίσεις μετρήσεων κυρίως εφαρμογής



Πίνακας IV - 4

Διαγράμματα διασποράς όλων των μετρήσεων ανά ζεύγη, πιλοτική εφαρμογή



Πίνακας IV - 5

Διαγράμματα διασποράς όλων των μετρήσεων ανά ζεύγη, κυρίως εφαρμογή