



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ

# Ανάπτυξη Συστήματος Εκτίμησης της Ποιότητας των Χαρτών

Διδακτορική Διατριβή

Ναταλίας Μπλάνα

Διπλωματούχου Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού Ε.Μ.Π.

Επιβλέπων: Λύσανδρος Τσούλος  
Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ, 2022



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΑΣ**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ**  
**ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ**  
**ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

1. Λύσανδρος Τσούλος  
Ομότιμος Καθηγητής  
Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων)
2. Βύρωνας Νάκος  
τ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.
3. Αθανάσιος Παλληκάρης  
τ. Καθηγητής Σχολής  
Ναυτικών Δοκίμων

**ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ**  
**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ**  
**ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

4. Νικόλαος Σουλακέλλης  
Καθηγητής  
Πανεπιστήμιο Αιγαίου
5. Μαργαρίτα Κόκλα,  
Επίκουρη Καθηγήτρια  
Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
6. Ανδριανή Σκοπελίτη,  
Επίκουρη Καθηγήτρια  
Σ.Α.Τ.Μ., Ε.Μ.Π.
7. Βασίλειος Κρασανάκης,  
Επίκουρος Καθηγητής  
ΠΑ.Δ.Α.

© 2022 **Ναταλία Μπλάνα**. Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διδακτορικής διατριβής, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

## Περιεχόμενα

Πρόλογος .....	4
Εικόνες .....	5
Πίνακες .....	9
Περίληψη .....	11
Extended Abstract .....	15
1. Εισαγωγή .....	17
1.1 Το πρόβλημα της γενίκευσης των χωρικών δεδομένων .....	17
1.2 Υφιστάμενη κατάσταση.....	23
1.3 Ερευνητικό αντικείμενο και στόχοι.....	24
1.4 Δομή διατριβής.....	26
2. Εκτίμηση της κατάστασης της μορφής της οντότητας και αξιολόγηση του βαθμού διατήρησής της στη χαρτογραφική γενίκευση.....	29
2.1 Εισαγωγή στην έννοια της μορφής και του μέτρου.....	29
2.2 Τεχνικές περιγραφής και αναπαράστασης της μορφής.....	31
2.3 Τεχνικές συσχέτισης μορφών και μέτρα ομοιότητας.....	34
2.3.1 Απόσταση Hausdorff ( <i>Hausdorff distance</i> ).....	36
2.3.2 Τροποποιημένη απόσταση Hausdorff ( <i>Modified Hausdorff distance</i> ).....	38
2.3.3 Διακριτή απόσταση Fréchet ( <i>Discrete Fréchet distance</i> ).....	41
2.3.4 Απόσταση Turning Function ( <i>Turning function distance</i> ).....	43
2.3.5 Απόσταση Turning Function ως διαφορά μηκών ( <i>Turning function distance as length difference</i> ).....	54
2.3.6 Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier ( <i>Fourier descriptors distances</i> ).....	60
2.3.6.1 Συντεταγμένες μιγαδικής μορφής ( <i>complex coordinates</i> ).....	61
2.3.6.2 Συνάρτηση αθροιστικής καμπυλότητας ( <i>cumulative angular function</i> ).....	62
2.3.6.3 Εκθετική συνάρτηση μιγαδικής τιμής της συνολικής καμπυλότητας της καμπύλης ( <i>complex-valued exponential function of the total curvature of the curve</i> ).....	63
2.3.6.4 Κεντροειδής απόσταση ( <i>centroid distance</i> ).....	64

2.3.6.5 Εφαρμογή τεχνικής συσχέτισης των μορφών με χρήση των συντελεστών Fourier – Συμπεράσματα.....	64
2.3.7 Συνολικά συμπεράσματα από την εφαρμογή των τεχνικών συσχέτισης και των μέτρων ομοιότητας.....	75
2.4 Μέτρα εκτίμησης και αξιολόγησης της αναγνωσιμότητας (legibility measures).....	77
2.5 Μέτρο εκτίμησης και αξιολόγησης της οριζοντιογραφικής ακρίβειας (horizontal accuracy measure).....	80
2.6 Μέτρα εκτίμησης και αξιολόγησης της τοπολογικής συνέπειας μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας (topological accuracy measures) .....	82
2.7 Τεχνική επιλογής της κατάλληλης προς απεικόνιση μορφής γραμμής ή πολυγώνου.....	83
2.8 Συμπεράσματα επί της Ενότητας.....	117
3. Μεθοδολογία για την εκτίμηση και την αξιολόγηση της ποιότητας των χαρτογραφικών δεδομένων .....	120
3.1 Περιορισμοί (constraints) γενίκευσης.....	120
3.2 Η έννοια της ποιότητας στη γενίκευση του χάρτη .....	122
3.3 Εννοιολογικό πλαίσιο μεθοδολογίας.....	123
3.4 Λογικό πλαίσιο μεθοδολογίας – Δομή μοντέλου ποιότητας.....	124
3.4.1 Δομικό στοιχείο 1 – Περιορισμοί και απαιτήσεις ποιότητας.....	125
3.4.2 Δομικό στοιχείο 2 – Μέτρα εκτίμησης της κατάστασης των δεδομένων.....	126
4. Ελεγχόμενη σημασιολογική γενίκευση και μοντέλο ποιότητας ....	129
4.1 Μετασχηματισμοί της σημασιολογικής γενίκευσης.....	129
4.2 Δομικά στοιχεία 1 και 2: Περιορισμοί, απαιτήσεις ποιότητας με όρια συμμόρφωσης και μέτρα.....	130
4.2.1 Τεχνικές απλοποίησης δικτύων.....	134
4.3 Δομικό στοιχείο 3: Η διαδικασία της ελεγχόμενης σημασιολογικής γενίκευσης- Εφαρμογή.....	138
4.3.1 Σημασιολογική γενίκευση σε επίπεδο σχήματος βάσης.....	139
4.3.2 Σημασιολογική γενίκευση σε επίπεδο οντότητας.....	141
4.3.3 Ελεγχοι ποιότητας και αξιολόγηση.....	151

4.4 Συμπεράσματα επί της Ενότητας 4.....	165
5. Ελεγχόμενη χαρτογραφική γενίκευση και μοντέλο ποιότητας .....	169
5.1 Δομικά στοιχεία 1 και 2: Περιορισμοί, απαιτήσεις ποιότητας με όρια συμμόρφωσης και μέτρα.....	169
5.1.1 Μέτρο εκτίμησης και αξιολόγησης της σχετικής θέσης της οντότητας .....	170
5.1.2 Μέτρο εκτίμησης και αξιολόγησης της διατήρησης της εννοιολογικής και της τοπολογικής συνέπειας. ....	171
5.2 Δομικό στοιχείο 3: Η διαδικασία της ελεγχόμενης χαρτογραφικής γενίκευσης- Εφαρμογή.....	172
5.3 Συμπεράσματα επί της Ενότητας 5.....	189
6. Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα.....	190
Βιβλιογραφία .....	199

## Πρόλογος

---

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες εκτεταμένο ερευνητικό έργο πραγματοποιείται στα ερευνητικά κέντρα και στους εθνικούς οργανισμούς χαρτογραφίας σχετικά με την αυτοματοποίηση της χαρτογραφικής παραγωγής. Ιδιαίτερη έμφαση επιδεικνύεται στην έρευνα της αυτοματοποίησης του πλέον επεμβατικού και επιδραστικού μετασχηματισμού της χαρτογραφίας, αυτού της τη γενίκευσης. Η μοντελοποίηση της διαδικασίας επιχειρήθηκε ήδη από το 1990 και εξελίχθηκε στην ανάπτυξη μοντέλων εύρεσης της βέλτιστης λύσης με επιφανέστερη τη μοντελοποίηση με τη χρήση 'agents' στο σύστημα AGENT που στηρίζεται στο σύγχρονο μοντέλο βάσει περιορισμών (constraint – based model). Η επικράτηση του συγκεκριμένου μοντέλου οφείλεται στην ενσωμάτωση ενός μηχανισμού εκτίμησης της κατάστασης των δεδομένων και αξιολόγησης της ποιότητάς τους.

Η παρούσα διατριβή επιχειρεί να συμβάλει στην εξέλιξη της αυτοματοποίησης της γενίκευσης με τη χρήση του μοντέλου βάσει περιορισμών προτείνοντας ένα μοντέλο γενίκευσης με ενσωματωμένες τεχνικές εύρεσης της βέλτιστης προς απεικόνιση μορφής. Στο πλαίσιο της διατριβής αναπτύσσονται δύο μοντέλα ποιότητας για τις δύο φάσεις της γενίκευσης, σημασιολογικής και χαρτογραφικής για τη διασφάλιση της ποιότητας των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Χαρτογραφίας του Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (Σ.Α.Τ.Μ.) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Ε.Μ.Π.). Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Ομότιμο Καθηγητή Ε.Μ.Π. Λύσανδρο Τσούλο, επιβλέποντα Καθηγητή της διατριβής μου για την επιλογή του θέματος, τις συζητήσεις, την εμπιστοσύνη και την υποστήριξη. Επίσης, ευχαριστώ τον Καθηγητή Ε.Μ.Π. Βύρωνα Νάκο και τον Καθηγητή της Σχολής Ναυτικών Δοκίμων Αθανάσιο Παλληκάρη για τη συμμετοχή τους στη συμβουλευτική τριμελή επιτροπή και τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις τους.

## Εικόνες

---

**Εικόνα 1.** Κατηγοριοποίηση των τεχνικών περιγραφής και αναπαράστασης της μορφής (Zhang & Lu, 2004).

**Εικόνα 2.** Απλοποίηση της γραμμής με τον αλγόριθμο point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973), (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/cartography-toolbox/how-simplify-line-works.htm>).

**Εικόνα 3.** Αναπαράσταση μίας πολυγωνικής οντότητας με τη χρήση της συνάρτησης turning function (Arkin et al., 1991).

**Εικόνα 4.1** Υπολογισμός γωνίας διεύθυνσης.

**Εικόνα 4.2** Περιπτώσεις υπολογισμού της εξωτερικής γωνίας θλάσης  $\beta_i$  και της γωνίας της εφαπτομένης  $\varphi_i$ .

**Εικόνα 4.3** Υπολογισμός της αρχικής γωνίας  $\nu$ .

**Εικόνα 5.** Turning function ευθείας γραμμής.

**Εικόνα 6.** Δύο όμοιες μορφολογικά γραμμές αντίθετης φοράς υλοποιούν αντικατοπτριζόμενες αναπαραστάσεις (mirror).

**Εικόνα 7.** Δύο όμοιες συναρτήσεις turning function της ίδιας γραμμής με πύκνωση και χωρίς.

**Εικόνα 8.** Υπολογισμός εμβαδού μεταξύ των συναρτήσεων turning function αρχικής και γενικευμένης γραμμής.

**Εικόνα 9.** Το μήκος της turning function αυξάνει με την πολυπλοκότητα της γραμμής για φυσικές γραμμές ίδιου μήκους .

**Εικόνα 10.** Το μήκος της συνάρτησης turning function δεν επηρεάζεται από πιθανή πύκνωση της φυσικής γραμμής.

**Εικόνα 11.** Απόσπασμα εικόνας από τους Wilhelm Burger και Mark Burge (2013). Απόδοση της μορφής κλειστής γραμμής με τη χρήση σημείων της γραμμής με συντεταγμένες εκφρασμένες σε μιγαδική μορφή (complex coordinates).

**Εικόνα 12.** Απόσπασμα εικόνας από τους Charles Zahn και Ralph Roskies (1972). Η γωνία διαφοράς  $\varphi(l)$  της εφαπτόμενης γωνίας  $\theta(l)$  σε σημείο κυρτής καμπύλης με την αρχική γωνία  $\theta(0)$  που σχηματίζεται με τον άξονα  $x$ .

**Εικόνα 13.** Αντίγραφο εικόνας από τον Yoshinori Uesaka (1984). Παρουσιάζονται οι θέσεις των γωνιών εφαπτομένης  $\alpha(j)$  ενός πολυγώνου, με πρόσημο και η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του άξονα  $x$  και του πρώτου διανύσματος της γραμμής.



**Εικόνα 14.** Έλεγχος αποστάσεων μεταξύ κορυφών (αποστάσεις < 0,25 mm στην κλίμακα γενίκευσης).

**Εικόνα 15.** Έλεγχος γειτνίασης με τη χρήση ζωνών ακρίβειας (buffers) πλάτους 0,25 mm στην κλίμακα γενίκευσης για τον εντοπισμό 'στένωσης' σε μη διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα.

**Εικόνα 16.** Έλεγχος γειτνίασης με τη χρήση ζωνών ακρίβειας (buffers) πλάτους 0,25 mm στην κλίμακα γενίκευσης για τον εντοπισμό εξαιρετικά οξείων γωνιών σε διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα.

**Εικόνα 17.** Επιφανειακή μετατόπιση (areal displacement) (McMaster, 1986, 1987).

**Εικόνα 18.** Διανυσματική μετατόπιση (vector displacement) (McMaster, 1986, 1987).

**Εικόνα 19.** Το ποσοστό του μήκους της γενικευμένης γραμμής που βρίσκεται εκτός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής (Goodchild & Hunter, 1997).

**Εικόνα 20.** Εντοπισμός τομών μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της ίδιας οντότητας με κατάτμηση της οντότητας και αυτοτελή έλεγχο του κάθε τμήματος.

**Εικόνα 21.** Εντοπισμός επικαλύψεων μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της ίδιας οντότητας με τη χρήση ζωνών ακριβείας ελαχίστου πλάτους και έλεγχο του αριθμού των κορυφών εντός>2.

**Εικόνα 22.** Διάγραμμα ροής της μεθόδου επιλογής κατάλληλων προς απεικόνιση γενικευμένων οντοτήτων.

**Εικόνα 23.1.** Τα τρία στάδια της διαδικασίας επιλογής της καταλληλότερης προς απεικόνιση γραμμής στις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 για τους αλγορίθμους απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και bend simplify της ESRI (Wang, 1996) (γραμμή #1018).

**Εικόνα 23.2.** Τα τρία στάδια της διαδικασίας επιλογής του καταλληλότερου προς απεικόνιση πολυγώνου στις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 για τους αλγορίθμους απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και bend simplify της ESRI (Wang, 1996) (πολύγωνο #1004).

**Εικόνα 24.1.** Γραμμές σε κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000. Αρχική γραμμή σε μαύρο χρώμα, γενικευμένη γραμμή με point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) σε μπλε και γενικευμένη γραμμή με bend simplify της ESRI (Wang, 1996) σε κόκκινο.

**Εικόνα 24.2.** Πολύγωνα σε κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000. Αρχικό πολύγωνο σε μαύρο χρώμα, γενικευμένο πολύγωνο με point remove της ESRI (Douglas & Peucker,

1973) σε μπλε και γενικευμένο πολύγωνο με bend simplify της ESRI (Wang, 1996) σε κόκκινο.

**Εικόνα 25.** Τυποποίηση περιορισμών κατά τους Dirk Burghardt, Stefan Schmid και Jantien Stoter (2007).

**Εικόνα 26.** Απλοποίηση οδικού δικτύου με απλοποίηση κόμβων.

**Εικόνα 27.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 500.000 (κάτω εικόνα) με την αρχική κατάσταση απεικονιζόμενη σε κλίμακα επίσης 1: 500.000 (άνω εικόνα). Παρουσιάζονται το οδικό (εθνικό, πρωτεύον, δευτερεύον/ κόκκινο, μαύρο, κίτρινο) και το σιδηροδρομικό δίκτυο (γκρι) και οι κατοικημένες περιοχές (πολύγωνα, σημεία) σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

**Εικόνα 28.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 1.000.000 (κάτω εικόνα) με την αρχική κατάσταση απεικονιζόμενη σε κλίμακα επίσης 1: 1.000.000 (άνω εικόνα). Παρουσιάζονται το οδικό (εθνικό, πρωτεύον, δευτερεύον/ κόκκινο, μαύρο, κίτρινο) και το σιδηροδρομικό δίκτυο (γκρι) και οι κατοικημένες περιοχές (πολύγωνα, σημεία) σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

**Εικόνα 29.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 500.000 (κάτω εικόνα) με την αρχική κατάσταση απεικονιζόμενη σε κλίμακα επίσης 1: 500.000 (άνω εικόνα). Παρουσιάζονται το υδρογραφικό δίκτυο, οι λίμνες και οι ποτάμιες ροές ως πολύγωνα σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

**Εικόνα 30.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 1.000.000 (κάτω εικόνα) με την αρχική κατάσταση απεικονιζόμενη σε κλίμακα επίσης 1: 1.000.000 (άνω εικόνα). Παρουσιάζονται το υδρογραφικό δίκτυο, οι λίμνες και οι ποτάμιες ροές ως πολύγωνα και τα νησιά σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

**Εικόνα 31.** Χάρτης σύνθεσης αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 500.000 σε 4 πινακίδες.

**Εικόνα 32.** Χάρτης σύνθεσης αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 1.000.000.

**Εικόνα 33.** Διάγραμμα ροής σημασιολογικής γενίκευσης.

**Εικόνα 34.** Διάγραμμα ροής χαρτογραφικής γενίκευσης.

**Εικόνα 35.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης (άνω εικόνα) με τη χαρτογραφική γενίκευση (κάτω εικόνα), κλίμακα 1: 500.000. Παρουσιάζονται το οδικό (εθνικό, πρωτεύον, δευτερεύον/ κόκκινο, μαύρο, κίτρινο) και το σιδηροδρομικό δίκτυο (γκρι) και οι κατοικημένες περιοχές (πολύγωνα, σημεία) σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

**Εικόνα 36.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης (άνω εικόνα) με τη χαρτογραφική γενίκευση (κάτω εικόνα), κλίμακα 1: 1.000.000. Παρουσιάζονται το οδικό (εθνικό, πρωτεύον, δευτερεύον/ κόκκινο, μαύρο, κίτρινο) και το σιδηροδρομικό δίκτυο (γκρι) και οι κατοικημένες περιοχές (πολύγωνα, σημεία) σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

**Εικόνα 37.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης (άνω εικόνα) με τη χαρτογραφική γενίκευση (κάτω εικόνα), κλίμακα 1: 500.000. Παρουσιάζονται το υδρογραφικό δίκτυο, οι λίμνες και οι ποτάμιες ροές ως πολύγωνα σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

**Εικόνα 38.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης (άνω εικόνα) με τη χαρτογραφική γενίκευση (κάτω εικόνα), κλίμακα 1: 1.000.000. Παρουσιάζονται το υδρογραφικό δίκτυο, οι λίμνες και οι ποτάμιες ροές ως πολύγωνα και τα νησιά σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

**Εικόνα 39.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης (άνω εικόνα) με τη χαρτογραφική γενίκευση (κάτω εικόνα), κλίμακα 1: 500.000. Παρουσιάζονται τα νησιά και η ακτογραμμή σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

**Εικόνα 40.** Χάρτης σύνθεσης αποτελεσμάτων χαρτογραφικής γενίκευσης κλίμακας 1: 500.000 σε 4 πινακίδες.

**Εικόνα 41.** Χάρτης σύνθεσης αποτελεσμάτων χαρτογραφικής γενίκευσης κλίμακας 1: 1.000.000.

## Πίνακες

---

**Πίνακας 1.** Τεχνικές περιγραφής, τεχνικές αναπαράστασης της μορφής και μέτρα ομοιότητας σε παρελθούσες έρευνες (πηγή AGENT).

**Πίνακας 2.** Υπολογισμός της απόστασης Hausdorff ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

**Πίνακας 3.** Υπολογισμός της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

**Πίνακας 4.** Υπολογισμός της διακριτής απόστασης Fréchet ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

**Πίνακας 5.** Υπολογισμός της απόστασης (εμβαδού) turning function ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

**Πίνακας 6.** Μήκος της turning function και αριθμός κορυφών ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

**Πίνακας 7.** Μήκος της turning function και αριθμός κορυφών ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

**Πίνακας 8.** Δείγμα αποτελεσμάτων ανά αναπαράσταση μορφής: Παράμετροι μορφής/ Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform/ Διάνυσμα Fourier (γραμμή #1018).

**Πίνακας 9.** Δείγμα αποτελεσμάτων ανά αναπαράσταση μορφής: Παράμετροι μορφής/ Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform/ Διάνυσμα Fourier (πολύγωνο #1004).

**Πίνακας 10.** Δείγμα αποτελεσμάτων με διακύμανση στις τιμές, ανά αναπαράσταση μορφής: Αποστάσεις μεταξύ των διανυσμάτων Fourier σε σχέση με τον αριθμό κορυφών και την τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

**Πίνακας 11.** Δείγμα αποτελεσμάτων με διακύμανση στις τιμές, ανά αναπαράσταση μορφής: Αποστάσεις μεταξύ των διανυσμάτων Fourier σε σχέση με τον αριθμό κορυφών και την τιμή ανοχής (πολύγωνο #1004).

**Πίνακας 12.1.** Αποτελέσματα του πρώτου σταδίου της μεθόδου επιλογής των προς απεικόνιση οντοτήτων βάσει των περιορισμών της αναγνωσιμότητας, της οριζοντιογραφικής ακρίβειας και της τοπολογικής συνέπειας. Γραμμική οντότητα γενικευμένη με τον αλγόριθμο απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973), κλίμακες 1: 500.000 σε κίτρινο χρώμα (επιλογή οντοτήτων με τιμές ανοχής 20 – 120 m) και 1: 1.000.000 σε γκρι χρώμα (επιλογή οντοτήτων με τιμές ανοχής 120 – 280 m), (γραμμή #1018).

**Πίνακας 12.2.** Αποτελέσματα του πρώτου σταδίου της μεθόδου επιλογής των προς απεικόνιση οντοτήτων βάσει των περιορισμών της αναγνωσιμότητας, της οριζοντιογραφικής ακρίβειας και της τοπολογικής συνέπειας. Γραμμική οντότητα

γενικευμένη με τον αλγόριθμο απλοποίησης bend simplify της ESRI (Wang, 1996), κλίμακες 1: 500.000 σε κίτρινο χρώμα (επιλογή οντοτήτων με τιμές ανοχής 20 – 460 m) και 1: 1.000.000 σε γκρι χρώμα (επιλογή οντοτήτων με τιμές ανοχής 20 – 620 m), (γραμμή #1018).

**Πίνακας 13.1.** Αποτελέσματα του δευτέρου σταδίου της μεθόδου επιλογής των προς απεικόνιση οντοτήτων. Εμφανίζονται τα ζεύγη τιμών της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και της απόστασης ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function στο διάστημα (0,1), οι συστάδες ανά κριτήριο σύνδεσης, οι μέσοι συντελεστές συσχέτισης σιλουέτας ανά κριτήριο σύνδεσης, οι συντελεστές συσχέτισης σιλουέτας ανά τιμή. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές ανοχής ως αποτέλεσμα του τρίτου σταδίου εμφανίζονται με κόκκινα γράμματα. Επικρατέστερες τιμές ανοχής ως αποτέλεσμα του τρίτου σταδίου: 100 m για κλίμακα 1: 500.000 και 280 m για κλίμακα 1: 1.000.000. Γραμμική οντότητα γενικευμένη με τον αλγόριθμο απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973), κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 (γραμμή #1018).

**Πίνακας 13.2.** Αποτελέσματα του δευτέρου σταδίου της μεθόδου επιλογής των προς απεικόνιση οντοτήτων. Εμφανίζονται τα ζεύγη τιμών της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και της απόστασης ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function στο διάστημα (0,1), οι συστάδες ανά κριτήριο σύνδεσης, οι μέσοι συντελεστές συσχέτισης σιλουέτας ανά κριτήριο σύνδεσης, οι συντελεστές συσχέτισης σιλουέτας ανά τιμή. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές ανοχής ως αποτέλεσμα του τρίτου σταδίου εμφανίζονται με κόκκινα γράμματα. Επικρατέστερες τιμές ανοχής ως αποτέλεσμα του τρίτου σταδίου: 360 m για κλίμακα 1: 500.000 και 600 m για κλίμακα 1: 1.000.000. Γραμμική οντότητα γενικευμένη με τον αλγόριθμο απλοποίησης bend simplify της ESRI (Wang, 1996), κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 (γραμμή #1018).

**Πίνακας 14.** Μετασχηματισμοί σε επίπεδο σχήματος της βάσης.

**Πίνακας 15.** Αντιστοιχία ιδιοτήτων μεταξύ αρχικής και νέας βάσης.

## Περίληψη

---

Ο χάρτης ως μέσο απόδοσης της γεωγραφικής πληροφορίας ενός τόπου στοχεύει στην αποθήκευση και στην απεικόνιση των γεωγραφικών φαινομένων του τόπου, στην κατάλληλη κλίμακα. Τα γεωγραφικά φαινόμενα ως σχέσεις μεταξύ των γεωχωρικών οντοτήτων αποδίδονται επιλεκτικά μέσω της διάταξης των οντοτήτων στον χάρτη, στην κατάλληλη κλίμακα. Η επιλογή των προς απεικόνιση γεωγραφικών φαινομένων, η ακέραιη απόδοσή τους σε συνδυασμό με την ακριβή και ευκρινή οπτικοποίησή τους με στόχο την απόδοση της γεωγραφικής πληροφορίας του τόπου στην κατάλληλη κλίμακα, αποτελούν το ζητούμενο του μετασχηματισμού της γενίκευσης. Ο μετασχηματισμός της γενίκευσης, ο πλέον επεμβατικός μετασχηματισμός της χαρτογραφίας, προκαλεί μερική έως πλήρη συρρίκνωση της χωρικής πληροφορίας με τη μερική απόδοση ή και την εξαφάνιση των σχέσεων των γεωχωρικών οντοτήτων και την αλλοίωση της μορφής τους.

Η μοντελοποίησή του με στόχο την ελεγχόμενη γενίκευση των οντοτήτων αποτέλεσε πεδίο εκτενούς έρευνας από τη δεκαετία του 1990 με σημείο καμπής την ανάπτυξη του μοντέλου βάσει περιορισμών (*constraint – based generalization*), (Beard, 1991) που προσέγγισε ολιστικά τον μετασχηματισμό της γενίκευσης ενσωματώνοντας κατά την εξέλιξή του μέτρα εκτίμησης και αξιολόγησης της κατάστασης των δεδομένων πριν, κατά τη διάρκεια και στο πέρας της γενίκευσης (Weibel, 1995), (Mackaness & Ruas, 2007), (Stoter, Zhang, Stigmar, Harrie, 2014). Στο συγκεκριμένο μοντέλο στηρίζεται επιπλέον η ανάπτυξη των σύγχρονων μοντέλων αυτοματοποιημένων διαδικασιών της γενίκευσης με τεχνικές εύρεσης της βέλτιστης λύσης (*agent modelling, combinatorial optimization, continuous optimization*), κάποια από τα οποία εφαρμόζονται στους εθνικούς οργανισμούς χαρτογραφίας (AGENT – IGN, France, κ.ά.).

Η παρούσα διατριβή επιχειρώντας να συμβάλει στο συγκεκριμένο πεδίο έρευνας πραγματεύεται το ζήτημα της μοντελοποίησης και της αυτοματοποίησης της διαδικασίας της γενίκευσης (σημασιολογικής και χαρτογραφικής) με ενσωματωμένο τον μηχανισμό εκτίμησης της κατάστασης των δεδομένων και αξιολόγησης της ποιότητάς τους στο πέρας των μετασχηματισμών. Το ερευνητικό έργο εντάσσεται στο πεδίο έρευνας της εξέλιξης της μοντελοποίησης βάσει περιορισμών (*constraint – based modeling*) διερευνώντας περιπτώσεις όπου η υφιστάμενη επιστημονική γνώση απαιτεί ενίσχυση (ειδικότερα και σχετικά με την εκτίμηση της κατάστασης της μορφής της οντότητας και την αξιολόγηση του βαθμού διατήρησής της στους μετασχηματισμούς της χαρτογραφικής γενίκευσης) αναπτύσσοντας παράλληλα τη μεθοδολογία επιλογής των προς απεικόνιση κατάλληλων οντοτήτων η οποία ενσωματώνεται στο προτεινόμενο μοντέλο γενίκευσης με μηχανισμούς ελέγχου της ποιότητας των παραγόμενων δεδομένων. Συγκεκριμένα, η έρευνα της διατριβής εξελίσσεται σε δύο (2) επίπεδα:

1. Διερεύνηση της επιστημονικής γνώσης σχετικά με τα μέτρα και τις τεχνικές συσχέτισης για την εκτίμηση της κατάστασης της μορφής των οντοτήτων, παραμετροποίηση της μορφής της οντότητας και επιλογή της κατάλληλης προς απεικόνιση μορφής. Τα αποτελέσματα των εργασιών του συγκεκριμένου επιπέδου προκύπτουν βάσει:

- του ελέγχου πενήντα (50) γραμμικών και πενήντα (50) πολυγωνικών οντοτήτων αρχικής κλίμακας 1:250.000 γενικευμένων με τον αλγόριθμο απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) για κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 καθώς ο συγκεκριμένος αλγόριθμος επιφέρει έντονες μορφολογικές μεταβολές και
- της εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου εύρεσης της βέλτιστης προς απεικόνιση λύσης σε πενήντα (50) γραμμικές και πενήντα (50) πολυγωνικές οντότητες γενικευμένες με τους αλγόριθμους απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas; Peucker, 1973) και bend simplify της ESRI (Wang, 1996) για κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000.

Οι εργασίες του επιπέδου περιλαμβάνουν τις ακόλουθες διαδικασίες:

- i. Εφαρμογή επιλεγμένων μέτρων και τεχνικών συσχέτισης που εμπεριέχουν τη μεταβολή της μορφής για την εκτίμησή της βάσει της υφιστάμενης βιβλιογραφίας:
  - απόσταση Hausdorff – Hausdorff distance,
  - τροποποιημένη απόσταση Hausdorff – modified Hausdorff distance,
  - διακριτή απόσταση Fréchet – discrete Fréchet distance,
  - απόσταση μεταξύ των αναπαραστάσεων turning function υπολογισμένη ως εμβαδόν,
  - απόσταση μεταξύ των αναπαραστάσεων turning function ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function,
  - απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων αναπαράστασης των μορφών με συντελεστές Fourier.
- ii. Έλεγχο των παραπάνω μέτρων ως προς την καταλληλότητά τους στην περίπτωση της εκτίμησης του βαθμού διατήρησης της μορφής στο πέρας της εκτέλεσης του αλγορίθμου απλοποίησης με κριτήριο την αυξητική τάση του μέτρου σε συνδυασμό με τη μείωση της χωρικής πληροφορίας της οντότητας (κορυφές). Επιλέχθηκαν το μέτρο της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και η τεχνική συσχέτισης της απόστασης μεταξύ των αναπαραστάσεων turning function ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function ως τα πλέον κατάλληλα για την παραμετροποίηση της μορφής των οντοτήτων.
- iii. Ανάπτυξη επιπλέον τεχνικών που αφορούν στα μέτρα της αναγνωσιμότητας και της τοπολογικής συνέπειας μεταξύ των

γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας για την εξασφάλιση της ακεραιότητας και της ενκρίνειας στην απόδοση της οντότητας καθώς και της οριζοντιογραφικής ακρίβειας.

- iv. Επιλογή των κατάλληλων μορφών οντοτήτων βάσει των περιορισμών της αναγνωσιμότητας, τοπολογικής συνέπειας και οριζοντιογραφικής ακρίβειας μεταξύ των ομάδων οντοτήτων που προέκυψαν με την εφαρμογή του αλγορίθμου σωρευτικής ταξινόμησης στις παραμέτρους μορφής των οντοτήτων (τροποποιημένη απόσταση Hausdorff και απόσταση μεταξύ των αναπαραστάσεων turning function ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function).
2. Μοντελοποίηση της διαδικασίας της γενίκευσης με την ενσωμάτωση μοντέλων ποιότητας για την κάθε φάση της διαδικασίας της γενίκευσης (σημασιολογικής και χαρτογραφικής). Το προτεινόμενο μοντέλο γενίκευσης αναπτύσσεται με αφορμή τον έλεγχο και τη διασφάλιση της ποιότητας των αποτελεσμάτων της μεθόδου επιλογής της κατάλληλης προς απεικόνιση μορφής οντότητας και σχεδιάζεται με βάση τους άξονες που διατύπωσαν οι William Mackaness και Anne Ruas (2007) για την εκτίμηση και αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων πριν, κατά τη διάρκεια και στο πέρας της γενίκευσης. Οι εργασίες του συγκεκριμένου επιπέδου περιλαμβάνουν:
- i. Εννοιολογικό προσδιορισμό των περιορισμών και της ποιότητας στη διαδικασία της γενίκευσης.
- ii. Τυποποίηση των μετασχηματισμών της γενίκευσης για την κάθε φάση της γενίκευσης.
- iii. Τυποποίηση των περιορισμών και των απαιτήσεων ποιότητας για την κάθε φάση της γενίκευσης και ποσοτικό προσδιορισμό των ορίων συμμόρφωσης.
- iv. Τυποποίηση των μέτρων για την εκτίμηση της κατάστασης των δεδομένων και την αξιολόγηση της συμμόρφωσής τους στους περιορισμούς. Ανάπτυξη τεχνικών υπολογισμού των μέτρων (πυκνότητας δικτύων, σχετικής θέσης, αναγνωσιμότητας – διάκρισης αντικειμένων, τοπολογικών ασυνεπειών – τομής/ επίθεσης, εννοιολογικών ασυνεπειών – κενών, πληρότητας και ακεραιότητας της πληροφορίας στη βάση κ.ά.).
- v. Τυποποίηση των ελέγχων ποιότητας βάσει των μετασχηματισμών της γενίκευσης ανά φάση γενίκευσης.
- vi. Σχεδιασμό των διαγραμμάτων ροής των διαδικασιών της κάθε φάσης της γενίκευσης.

Το προτεινόμενο μοντέλο εφαρμόστηκε για τη σύνταξη δύο χαρτών κλίμακας 1: 500.000 και 1: 1.000.000 προερχόμενων από τη βάση κλίμακας 1:250.000 του EuroRegional Map και αφορούν στην περιοχή της βόρειας Γερμανίας Schleswig-



Holstein, έκτασης 15.143 km<sup>2</sup>. Οι θεματικές κατηγορίες των χαρτών ανά γεωμετρικό τύπο είναι:

- κατοικημένες περιοχές (σημειακές οντότητες/ πολύγωνα),
- ακτογραμμή, οδικό, σιδηροδρομικό και υδρογραφικό δίκτυο (γραμμικές οντότητες),
- λίμνες και νησιά (πολύγωνα).

*Τα αποτελέσματα στο πέρας της εφαρμογής καταδεικνύουν:*

- Την ικανότητα της μεθόδου επιλογής της κατάλληλης προς απεικόνιση λύσης να αποδώσει αποδεκτής ποιότητας δεδομένα.*
- Την ικανότητα του προτεινόμενου μοντέλου να παρέχει μία ολοκληρωμένη λύση ελεγχόμενης γενίκευσης με την εφαρμογή απλών τεχνικών περιορισμού της θεματικής πληροφορίας και τεχνικών γεωμετρικής φύσης για τον περιορισμό της πυκνότητας του χάρτη.*
- Τη δυνατότητα εφαρμογής του προτεινόμενου μοντέλου σε οποιοδήποτε εμπορικό σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών.*

## Extended Abstract

---

The map as a means of depicting the geographic information of a place aims to store and display the geographic phenomena of the place at the appropriate scale and in accordance with the map purpose. Geographic phenomena as relationships between geographic entities are selectively depicted through the arrangement of the corresponding entities on the map, at the appropriate scale. The selection of the geographic phenomena to be depicted along with their integrity, accuracy and clarity in visualization are the goal of the generalization. Generalization is the most invasive transformation of cartography, causes a partial to complete elimination of spatial information by rendering the relationships of geographic entities and altering their shape.

Generalization modeling aims to control the process of generalization and has been a field of extensive research since the 1990s. A turning point in generalization modeling was the development of the constraint-based generalization model (Beard, 1991) which approaches the generalization process in a holistic way by integrating an evaluation mechanism for assessing the state of the data before, during and after the generalization process (Weibel, 1995), (Mackaness & Ruas, 2007), (Stoter, Zhang, Stigmar, Harry, 2014). The currently implemented generalization models by certain National Mapping Agencies (AGENT – IGN, France, etc.) and research groups are based on the constraint – based generalization model. They aim to automate the generalization process by including in the process optimization techniques (agent modeling, combinatorial optimization, continuous optimization).

This dissertation attempts to contribute to the specific field of research which deals with the issue of generalization modeling and automation, through the integration of quality measures and controls. A methodology for the selection of the appropriate entities to be displayed taking into account the description of their shape is developed in the framework of the proposed quality models for each phase of the generalization process. Specifically, the research carried out in the dissertation is developed in two (2) levels:

1. *Investigation of shape measures and shape matching techniques towards the appropriate shape parameterization and the development of a methodology for the selection of the appropriate shape for portrayal.* Tasks include:
  - i. Implementation of the following shape measures and shape matching techniques: Hausdorff distance, modified Hausdorff distance, discrete Fréchet distance, turning function distance as area, turning function distance as length difference, Fourier descriptors distances.
  - ii. Evaluation of the measures and shape matching techniques suitability in the assessment of the resulting shape deformation. The modified Hausdorff

distance measure and the turning function distance as length difference, are considered the most appropriate ones.

- iii. Development of additional techniques measuring legibility, topological consistency, and horizontal accuracy.
2. *Modeling the generalization process by incorporating quality models for each phase of the generalization process (semantic and cartographic).* The proposed generalization model is developed based on the guidelines formulated by William Mackaness and Anne Ruas (2007) for the assessment and evaluation of the data quality before, during and after generalization. Tasks include:
- i. Conceptual definition of constraints and quality in the generalization process.
  - ii. Typification of the generalization transformations for each phase of the generalization process.
  - iii. Typification of the constraints and the quality requirements for each phase of the generalization process and conformance levels quantification.
  - iv. Typification of the quality measures. Development of techniques for measuring: network density, relative position, legibility - object separation, topological inconsistencies - intersection/overlay, conceptual inconsistencies - gaps, completeness and integrity of the information in the geodatabase, etc..
  - v. Typification of the quality controls based on generalization transformations.
  - vi. Design flow charts of the processes for each phase of generalization.

The proposed generalization model was implemented in the compilation of two maps at scales 1: 500.000 and 1: 1.000.000 derived from a geodatabase at scale 1:250.000 of the EuroRegional Map (the region of northern Germany Schleswig-Holstein, area 15,143 km<sup>2</sup>). Map layers include:

- populated areas (points/polygons),
- coastline, road, railway and hydrographic network (linear entities),
- lakes and islands (polygons).

*The results of the application demonstrate:*

- i. *The ability of the method to select the appropriate solution for portrayal.*
- ii. *The ability of the proposed model to control the generalization process and provide a complete solution by applying simple techniques for the reduction of thematic information and geometric techniques to balance map density.*
- iii. *The applicability of the proposed model in any commercial geographic information system.*

## 1. Εισαγωγή

---

Ο σύγχρονος χάρτης συνιστά το μέσο αποθήκευσης και οπτικοποίησης της γεωγραφικής πληροφορίας ενός τόπου. Στην απλούστερη θεώρησή του, αποτελεί ένα σύνολο συμβόλων γεωμετρικών αρχέτυπων αλλά στην πραγματικότητα μέσω της διάταξης των οντοτήτων ο χρήστης αντιλαμβάνεται τη γεωγραφία του τόπου (Mackaness et al., 2014). Ένας καλά σχεδιασμένος χάρτης κινητοποιεί τον χρήστη να αντιληφθεί τις περίπλοκες, σημασιολογικές ιδιότητες (μετρικές, τοπολογικές, Gestalt/ διάταξης) του τόπου και επιδιώκει να δώσει έμφαση σε ένα συγκεκριμένο σύνολο σχέσεων του πραγματικού κόσμου, γεγονός που αποτελεί τη θεμελιώδη ιδέα της διαδικασίας της γενίκευσης (Mackaness et al., 2014). Η ικανοποιητική απόδοση των γεωγραφικών φαινομένων σε καθορισμένη κλίμακα, συνιστά το ζητούμενο της διαδικασίας της γενίκευσης και αντιστοιχεί στην επαρκή και σαφή απόδοση των σχέσεων των γεωχωρικών οντοτήτων.

### 1.1 Το πρόβλημα της γενίκευσης των χωρικών δεδομένων

Από τα πρώτα διατυπωμένα μοντέλα σχετικά με τη γενίκευση των χαρτών, καθίσταται σαφής ο εννοιολογικός διαχωρισμός μεταξύ της σημασιολογικής και χαρτογραφικής γενίκευσης (Grünreich, 1985), (Weibel & Brassel, 1988). Η σημασιολογική γενίκευση αφορά στη δημιουργία μιας γεωβάσης προερχόμενης από τη βάση των γεωχωρικών δεδομένων χωρίς να απασχολούν ζητήματα γραφικής απεικόνισης και αποτελεί ουσιαστικά προεργασία της απεικόνισης των δεδομένων μέσω της χαρτογραφικής γενίκευσης (Sarjakoski, 2007). Σε μια διαφορετική προσέγγιση, θεωρώντας τον χάρτη ως σύστημα σχέσεων, οι William Mackaness, Dirk Burghardt και Cécile Duchêne (2014) ερμηνεύουν τη σημασιολογική γενίκευση (modeling component) ως τη διαδικασία κατά την οποία αποσαφηνίζεται ένα υποσύνολο των σχέσεων μεταξύ των γεωχωρικών οντοτήτων και τη χαρτογραφική γενίκευση (cartographic component) ως τη διαδικασία απόδοσης των σχέσεων του υποσυνόλου μέσω του συμβολισμού των γεωχωρικών οντοτήτων.

Οι περισσότεροι εθνικοί χαρτογραφικοί οργανισμοί (Ordnance Survey of Great Britain (OSGB), Institut Geographique National (IGN France), The Netherlands Kadaster (Kadaster), Institut Cartografic de Catalunya (ICC), AdV German, Swisstopo - Switzerland, κ.ά.) υιοθετούν την εννοιολογική προσέγγισή της διαδικασίας των δύο φάσεων – σημασιολογική γενίκευση (model generalization) και χαρτογραφική γενίκευση (cartographic generalization). Χρησιμοποιώντας τους ορισμούς Ψηφιακό Χωρικό Μοντέλο (Digital Landscape Model – DLM) και Ψηφιακό Χαρτογραφικό Μοντέλο (Digital Cartographic Model – DCM) κατά τον Dietmar Grünreich (1985), η διαδικασία της γενίκευσης αντιμετωπίζεται ως ζήτημα μετάπτωσης του χωρικού μοντέλου στο χαρτογραφικό (Duchêne et al., 2018). Συγκεκριμένα, από μία αρχική βάση γεωχωρικών δεδομένων

δημιουργείται μία κύρια χωρική βάση (DLM) διαφορετικής ανάλυσης από την οποία δυνητικά προκύπτουν άλλες χωρικές βάσεις (DLMs) μικρότερης ανάλυσης. Μέσω της χαρτογραφικής γενίκευσης μετατρέπεται μία χωρική βάση (DLM) σε μία βάση χαρτογραφικών δεδομένων (DCM), της ίδιας ανάλυσης ή μικρότερης (Duchêne et al., 2014). Η σημασιολογική γενίκευση πραγματοποιείται μεταξύ των χωρικών βάσεων (DLMs) και η χαρτογραφική για τη μετατροπή της χωρικής (DLM) σε χαρτογραφική (DCM) (Duchêne et al., 2014). Δύο (2) προσεγγίσεις εφαρμόζονται στη διαδικασία (Duchêne et al., 2014):

- i. με ανεξάρτητες γενικεύσεις της κύριας χωρικής βάσης (αποτέλεσμα της γενίκευσης μίας αρχικής γεωχωρικής βάσης) προκύπτουν χωρικές βάσεις μικρότερης ανάλυσης ή χαρτογραφικές βάσεις, (star approach),
- ii. από μία αρχική γεωχωρική βάση δημιουργείται μία χωρική βάση με γενίκευση που στη συνέχεια γενικεύεται διαδοχικά σε άλλη χωρική βάση που αντιστοιχεί κάθε φορά σε μία χαρτογραφική μικρότερης κλίμακας, (ladder approach),

Με την αυξανόμενη απαίτηση για την αυτοματοποίηση των διαδικασιών στην παραγωγή των χαρτών, η αυτοματοποίηση της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης και η μοντελοποίησή της ως προϋπόθεση αυτής, αποτέλεσε και αποτελεί πεδίο εκτεταμένης έρευνας. Η πρώιμη αυτοματοποίηση της χαρτογραφικής γενίκευσης αφορούσε στη δυνατότητα εκτέλεσης εργασιών κατά τμήματα (batch-processing). Με την πρόοδο της τεχνολογίας διαμορφώθηκαν στη συνέχεια πολυπλοκότερα μοντέλα. Τρία (3) κύρια μοντέλα αναπτύχθηκαν κατά το παρελθόν (Harrie & Weibel, 2007):

1. Το μοντέλο βάσει κανόνων (*condition-action modeling* ή *rule-based system*),
2. Το μοντέλο με την ανθρώπινη συμβολή (*human interaction modeling*),
3. Το μοντέλο βάσει περιορισμών (*constraint-based modelling*).

Μεταξύ των τριών μοντέλων επικράτησε το τρίτο, λόγω της πολυπλοκότητας του πρώτου (αδυναμία στην εύρεση των κατάλληλων μετασχηματισμών για την εκτέλεση συγκεκριμένων ενεργειών γενίκευσης – procedural knowledge) και της χαμηλής παραγωγικότητας του δεύτερου (Harrie & Weibel, 2007).

Η μοντελοποίηση βάσει περιορισμών που εισήχθη από την Kate Beard (1991), βασίζεται στην ιδέα του προσδιορισμού μιας κατάστασης στην οποία ικανοποιείται ένα πλήθος περιορισμών (Sarjakoski, 2007) που αφορούν στο αποτέλεσμα της γενίκευσης και συνδέονται με ένα μέτρο (Harrie & Weibel, 2007). Αποτελεί μία 'ολιστική' προσέγγισή της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης (Sarjakoski, 2007), (Stoter et al., 2014) ενσωματώνοντας ως αναπόσπαστο μέρος έναν μηχανισμό εκτίμησης της ποιότητας των παραγόμενων χαρτογραφικών δεδομένων (Harrie & Weibel, 2007), ο οποίος συμβάλει στην ελεγχόμενη εκτέλεση των μετασχηματισμών της γενίκευσης καθώς παρακολουθείται η ικανοποίηση των περιορισμών. Στην εξέλιξή της, η μοντελοποίηση βάσει περιορισμών αποτέλεσε την αφετηρία για την ανάπτυξη

τεχνικών εύρεσης της βέλτιστης λύσης στη γενίκευση του χάρτη (agent modelling, combinatorial optimization, continuous optimization) (Harrie & Weibel, 2007).

Η μοντελοποίηση 'agent' χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο ερευνητικό πρόγραμμα AGENT (1997-2000, IGN). Στη συγκεκριμένη μοντελοποίηση της χαρτογραφικής γενίκευσης, χρησιμοποιούνται οι όροι Ψηφιακό Χωρικό Μοντέλο (Digital Landscape Model – DLM) και Ψηφιακό Χαρτογραφικό Μοντέλο (Digital Cartographic Model – DCM) και το ζήτημα της χαρτογραφικής γενίκευσης αναγνωρίζεται ως το ζήτημα της εξαγωγής του χαρτογραφικού μοντέλου (DCM) από το χωρικό μοντέλο (DLM) χαμηλότερης ανάλυσης αλλά με διατήρηση του σχήματος της βάσης (χωρίς τη διενέργεια σημασιολογικής γενίκευσης) (Duchêne et al., 2018). Οι γεωγραφικές οντότητες ως αντικείμενα (μεμονωμένα αντικείμενα, ομάδες αντικειμένων ή μέρη αντικειμένων) μοντελοποιούνται ως 'agent' (micro, meso, macro) και αναζητούν μία λύση γενίκευσης που να είναι ικανοποιητική σε συλλογικό επίπεδο (Duchêne et al., 2018). Ο κύκλος ζωής του 'agent' συνίσταται στην αξιολόγηση των περιορισμών του, στην επιλογή και τη δοκιμή μιας ενέργειας μεταξύ αυτών που ορίζονται στους περιορισμούς, στην αξιολόγηση της εξέλιξής του με δέσμευση ή αναδρομή της ενέργειας και ούτω καθεξής μέχρι να επιτευχθεί ένα βέλτιστο αποτέλεσμα (Duchêne et al., 2018).

Στο μοντέλο της συνδυαστικής βελτιστοποίησης (combinatorial optimization) επιχειρείται η εύρεση της βέλτιστης λύσης εντός συγκεκριμένου χώρου σε συμμόρφωση με ένα κριτήριο (Harrie & Weibel, 2007). Η συγκεκριμένη μοντελοποίηση εφαρμόστηκε κυρίως στις περιπτώσεις τοποθέτησης σημάνσεων (labeling) στον χάρτη και μετάθεσης.

Τέλος, η εφαρμογή του μοντέλου συνεχούς βελτιστοποίησης (continuous optimization) εφαρμόζεται σε μετασχηματισμούς που προκαλούν συνεχή μεταβολή της μορφής ή συνεχή μετατόπιση – μετάθεση, εξομάλυνση, απλοποίηση, μεγέθυνση, (Harrie & Weibel, 2007). Κατά την εφαρμογή της συγκεκριμένης βελτιστοποίησης, οι περιορισμοί εκφράζονται ως θέσεις σημείων, για κάθε περιορισμό επιλέγεται ένα μέτρο, αναπτύσσεται μία εξίσωση με βάση τα συγκεκριμένα μέτρα και επιδιώκεται να βρεθεί η ελάχιστη τιμή της εξίσωσης (Harrie & Weibel, 2007). Μεταξύ των τριών μοντέλων βελτιστοποίησης, ως πιο αποτελεσματικό και ισχυρό μοντέλο αναφορικά με την εφαρμοσιμότητά του, προκύπτει το μοντέλο με τη χρήση 'agents' (Harrie & Weibel, 2007).

Επιπλέον, των μοντέλων βελτιστοποίησης που αναφέρθηκαν ως εξέλιξη της μοντελοποίησης βάσει περιορισμών, σημαντικές θεωρούνται για τη βελτίωση του μοντέλου και την αυτοματοποίηση της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης οι εργασίες που διεξήχθησαν στο πλαίσιο ερευνητικού έργου που υλοποιήθηκε υπό την αιγίδα του οργανισμού EuroSDR (2006-2010). Σκοπός του ερευνητικού έργου ήταν η εκτίμηση της δυνατότητας των εμπορικών

Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ESRI – USA: ArcGIS, University of Hannover – Germany: Change, Push, Typify/ CPT, 1Spatial – UK: Radius Clarity, Axes Systems – Switzerland: Axpand) να παρέχουν αυτοματοποιημένες διαδικασίες χαρτογραφικής γενίκευσης. Το έργο ολοκληρώθηκε σε τρία (3) στάδια (Stoter, 2010):

1. *Ανάλυση απαιτήσεων (requirements analysis)*, με σημαντική εργασία την εναρμόνιση των προδιαγραφών γενίκευσης των συμμετεχόντων Ευρωπαϊκών εθνικών οργανισμών χαρτογραφίας (ICC – Catalonia, IGN – France, OS – Great Britain, TD-Kadaster – Netherlands) και την εναρμόνιση των αντίστοιχων περιορισμών.
2. *Δοκιμαστικές εφαρμογές (testing)*, με σημαντική εργασία τον σχεδιασμό συγκεκριμένης φόρμας που περιείχε πληροφορίες σχετικά με τον βαθμό εφαρμογής του περιορισμού, τον τρόπο έκφρασής του για την εισαγωγή του στο σύστημα και τη διαχείριση του.
3. *Διαδικασία εκτίμησης της ικανότητας των συστημάτων και των γενικευμένων αποτελεσμάτων.*

Η διαδικασία της εκτίμησης των παραγόμενων χαρτογραφικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με τρεις (3) τρόπους (Burghardt et al., 2008), (Stoter, 2010):

- εκτίμηση από ειδικούς,
- αυτοματοποιημένη εκτίμηση ως προς τη συμμόρφωση έναντι των περιορισμών,
- εκτίμηση με σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ τους για συγκεκριμένο πρόβλημα γενίκευσης.

Η εκτίμηση της κατάστασης των χαρτογραφικών δεδομένων και της ποιότητας των παραγόμενων γενικευμένων δεδομένων ως μέρος της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης έχει ενσωματωθεί ήδη στα πρώτα μοντέλα εννοιολογικού προσδιορισμού της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης. Οι Robert McMaster και Stuart Shea (1992) στο εννοιολογικό μοντέλο που ανέπτυξαν (*why, when and how to generalize*), προτείνουν έξι μετρήσεις γεωμετρικών ασυνεπειών για τη χαρτομετρική/ποσοτική εκτίμηση (*cartometric evaluation*) των συνθηκών που επιβάλουν τη χαρτογραφική γενίκευση (συνωστισμό, αδυναμία διαχωρισμού οντοτήτων, λογικές ασυνέπειες στην απεικόνιση των οντοτήτων, πολυπλοκότητα π.χ. στη φυσική δομή των οντοτήτων, ασυνέπειες ως προς την ομοιομορφία των συνθηκών γενίκευσης, αδυναμία διάκρισης των αντικειμένων). Ο Robert Weibel (1995) εντάσσει την εκτίμηση της ποιότητας των παραγόμενων δεδομένων ως ένα από τα δομικά στοιχεία της διαδικασίας της γενίκευσης (*model generalization, knowledge acquisition, evaluation of generalization alternatives*). Συγκεκριμένα, εξειδικεύει τρία στάδια (3) όπου απαιτείται η εκτίμηση της κατάστασης των χαρτογραφικών δεδομένων:

1. Εκτίμηση εκ των προτέρων (*a priori*) για τον εντοπισμό περιοχών που χρειάζονται χαρτογραφική γενίκευση.
2. Εκτίμηση εκ των υστέρων (*a posteriori*) για τη σύγκριση και την κατάταξη των αποτελεσμάτων.
3. Εκτίμηση επί συγκεκριμένου σκοπού (*ad hoc*) για τον έλεγχο της αυτοματοποιημένης διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης.

Διακρίνει τέλος, δύο βασικές ενέργειες απαραίτητες για την εφαρμογή εκτιμήσεων στη διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης: τη διαμόρφωση των προδιαγραφών για τον χαρακτηρισμό του αποτελέσματος της χαρτογραφικής γενίκευσης (αποδεκτό, "καλό") και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ώστε να καθοριστεί ο βαθμός ικανοποίησης των προδιαγραφών.

Επιπλέον των δύο μοντέλων των Robert McMaster και Stuart Shea (1992) και Robert Weibel (1995), άξιες αναφοράς μεθοδολογίες σε παρελθόντα έτη σχετικές με την ποιότητα των παραγόμενων χαρτογραφικών δεδομένων στη χαρτογραφική γενίκευση θεωρούνται κατά τους William Mackaness και Anne Ruas (2007) αυτές των Regula Ehrlholzer (1995), Elsa Joao (1998), Frank Brazile (2000). Συγκεκριμένα, η Regula Ehrlholzer (1995) περιγράφει ένα σύστημα αξιολόγησης της ποιότητας της χαρτογραφικής γενίκευσης με τη συγχώνευση ποσοτικοποιημένων εκτιμήσεων (αποτελεσμάτων μετρήσεων) και ποιοτικών εκτιμήσεων εκφρασμένων από ειδικούς (*experts*) με την αναγωγή τους σε διατεταγμένη κλίμακα (*ordinal scale*). Η Elsa Joao (1995) προτείνει μία διαδικασία τριών σταδίων (3) για τον έλεγχο των επιδράσεων της γενίκευσης:

1. Εκτίμηση της αναγκαιότητας για την εφαρμογή της γενίκευσης.
2. Έλεγχος του βαθμού επίδρασης της γενίκευσης.
3. Ποσοτική εκτίμηση της επίδρασης της γενίκευσης.

Επιπλέον, εξετάζοντας κυρίως την επίδραση της γενίκευσης στις γραμμικές οντότητες, προτείνει μία σειρά από μέτρα για την ποσοτικοποίησή της (οριζοντιογραφικό σφάλμα, μετάθεση, μήκος, ελικοειδής καμπυλότητα). Ο Frank Brazile (2000) τέλος, αναπτύσσει ένα σχέδιο συστήματος χαρτογραφικής γενίκευσης όπου ενσωματώνονται περιορισμοί και μετρήσεις εκτίμησης της κατάστασης των δεδομένων, προτείνοντας τη διενέργεια της γενίκευσης με διαμέριση του χώρου (*partitioning*).

Στη σύγχρονη μοντελοποίηση της χαρτογραφικής γενίκευσης βάσει περιορισμών, στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου AGENT διαμορφώθηκαν και εφαρμόστηκαν μέτρα για την εκτίμηση της συμμόρφωσης των γενικευμένων οντοτήτων στους περιορισμούς που αφορούν στις ιδιότητες των οντοτήτων (μετρικές/ γεωμετρικές, τοπολογικές, θέσης) και στις μεταξύ τους σχέσεις. Στη συνέχεια, ο Sylvain Bard (2004) επεκτείνοντας τη γνώση που αποκτήθηκε στο πρόγραμμα AGENT διατύπωσε τρεις (3) συναρτήσεις αξιολόγησης των δεδομένων:



- i. *συνάρτηση απόδοσης ιδιοτήτων* (μετρικές, σημασιολογικές, τοπολογικές) στα δεδομένα πριν και μετά τη γενίκευση (*characterization function*),
- ii. *συναρτήσεις εκτίμησης* της κατάστασης των δεδομένων πριν και μετά τη γενίκευση (*evaluation functions*) – παρακολούθηση της συμμόρφωσης της οντότητας με το όριο αναγνωσιμότητας (*threshold function*), παρακολούθηση της εξέλιξης των ιδιοτήτων της οντότητας (*property evolution analysis function*), συναρτήσεις μετατροπής των αποτελεσμάτων αξιολόγησης σε συγκρίσιμα (*qualification function*),
- iii. *συνάρτηση συγκερασμού* των αποτελεσμάτων της αξιολόγησης σε αντιπροσωπευτικές τιμές (*aggregation function*).

Επιπλέον, οι Anne Ruas και Sylvain Bard (2005) διατυπώνουν τρεις (3) διαδικασίες εκτίμησης της ποιότητας στο πλαίσιο της μεθοδολογίας που αναπτύσσουν:

1. Εκτίμηση της ποιότητας με σκοπό τη *διόρθωση* (*evaluation for editing*).
2. Εκτίμηση της ποιότητας με σκοπό την *αναλυτική περιγραφή της μεταβολής* (είδος μεταβολής και μεταβολή πληροφορίας) των δεδομένων εξαιτίας της γενίκευσης σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα (*descriptive evaluation*).
3. Εκτίμηση της ποιότητας με σκοπό την *απόδοση μίας τιμής* αντιπροσωπευτικής της ποιότητας των γενικευμένων δεδομένων με συγκερασμό των αποτελεσμάτων του σταδίου περιγραφής της ποιότητας (*evaluation for marking*).

Η μεθοδολογία των Anne Ruas και Sylvain Bard (2005) αναπτύσσεται σε πέντε (5) στάδια διατηρώντας τον σχεδιασμό για την εκτίμηση της ποιότητας στα τρία επίπεδα που προτάθηκαν στο πρόγραμμα AGENT και εντάσσοντας τις συναρτήσεις του Sylvain Bard (2004):

1. *Μετρητικός χαρακτηρισμός* των οντοτήτων πριν και μετά τη γενίκευση με τη χρήση ενός συνόλου ιδιοτήτων.
2. *Χρήση των συναρτήσεων εκτίμησης* της κατάστασης των οντοτήτων για τη σύγκριση των τιμών των ιδιοτήτων μεταξύ τους και την ερμηνεία τους, πριν και μετά τη γενίκευση.
3. *Σύνθεση των εκτιμήσεων ανά οντότητα ή ανά ιδιότητα*.
4. *Σύνθεση των εκτιμήσεων του προηγούμενου σταδίου*.
5. *Απόδοση μίας συνολικής τιμής*.

Με μια διευρυμένη θεώρηση της ποιότητας στη γενίκευση, οι William Mackaness και Anne Ruas (2007) αξιοποιούν την υφιστάμενη γνώση και παρουσιάζουν ένα ολοκληρωμένο εννοιολογικό πλαίσιο για την εκτίμηση της ποιότητας των χαρτογραφικών δεδομένων με τρεις (3) διαδικασίες:

1. *Εκτίμηση της κατάστασης* των χαρτογραφικών δεδομένων πριν την έναρξη της διαδικασίας για τον καθορισμό των παραμέτρων και τη ρύθμιση του συστήματος χαρτογραφικής γενίκευσης (*evaluation for tuning*).
2. *Εκτίμηση της κατάστασης* των χαρτογραφικών δεδομένων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας με στόχο τη δοκιμή και εύρεση λύσεων (*evaluation for controlling*).

3. Εκτίμηση της ποιότητας των παραγόμενων χαρτογραφικών δεδομένων στο πέρασ της γενίκευσης (*evaluation for assessing*), όπου εντάσσονται οι τρεις διαδικασίες που διατυπώθηκαν από τους Anne Ruas και Sylvain Bard (2005).

Συμπληρωματικά, οι Jantien Stoter, Xiang Zhang, Hanna Stigmar και Lars Harrie (2014) θεωρώντας το εννοιολογικό πλαίσιο των William Mackaness και Anne Ruas (2007), το μοντέλο του Robert Weibel (1995) και τις προσεγγίσεις των Sylvain Bard (2004), Anne Ruas και Sylvain Bard (2005) για την εκτίμηση της ποιότητας στη χαρτογραφική γενίκευση εξειδικεύουν τρία (3) κύρια συστατικά μέρη της διαδικασίας αυτόματης εκτίμησης της ποιότητας των γενικευμένων δεδομένων:

- i. ορισμός, τυποποίηση των προδιαγραφών και απόδοσή τους ως περιορισμούς,
- ii. μέτρα για την αυτόματη αξιολόγηση των δεδομένων σχετικά με τις γεωμετρικές ιδιότητές τους και τις σχέσεις τους για τον εντοπισμό παραβιάσεων στους περιορισμούς και του αντίστοιχου βαθμού παραβίασης,
- iii. τεχνικές συσχέτισης των αρχικών με τα γενικευμένα δεδομένα.

Συνοψίζοντας και παρακολουθώντας την εξελικτική πορεία της μοντελοποίησης της χαρτογραφικής γενίκευσης, διαπιστώνεται η εννοιολογική ολοκλήρωση του πλαισίου για την εκτίμηση της ποιότητας των χαρτογραφικών δεδομένων και η συνεχής μελέτη για την ανάπτυξη εξειδικευμένων μεθόδων (μέτρων και τεχνικών) για την εκτίμηση της ποιότητας των παραγόμενων χαρτογραφικών δεδομένων. Η εκτεταμένη έρευνα επικεντρώνεται στο μοντέλο της γενίκευσης βάσει περιορισμών με την ανάπτυξη του μέσω τεχνικών βελτιστοποίησης και της τεχνολογίας ‘agent’.

## 1.2 Υφιστάμενη κατάσταση

Κατά την τελευταία δεκαετία αρκετοί εθνικοί οργανισμοί χαρτογράφησης (Ordnance Survey of Great Britain (OSGB), Institut Geographique National (IGN France), The Netherlands Kadaster (Kadaster), Institut Cartografic de Catalunya (ICC), AdV German, Swisstopo – Switzerland, KMS Denmark , USGS USA) ανέπτυξαν ημι-αυτόματες ή αυτόματες διαδικασίες στη γραμμή παραγωγής χαρτών (Stoter et al., 2014), (Regnauld et al., 2014), (Duchêne et al., 2014), (Duchêne et al., 2018). Παρά τη σημαντική αυτή εξέλιξη, οι Guillaume Touya, Xiang Zhang και Imran Lokhat (2019) διαπιστώνουν την έλλειψη σε έρευνα υψηλού αντίκτυπου στην μοντελοποίηση της γενίκευσης αντίστοιχη με αυτές των μοντέλων απόκτησης γνώσης (knowledge acquisition), βάσει περιορισμών (constraint – based), με τη χρήση ‘agent’ (agent – based) ή βελτιστοποίησης (optimization – based), υποστηρίζοντας ότι η ερευνητική δυνατότητα σχετικά με τα μοντέλα γενίκευσης φαίνεται να αγγίζει τα όριά της καθώς η παραμετροποίηση γίνεται πιο περίπλοκη. Παράλληλα, αναδύεται μια προσέγγιση για την ενσωμάτωση τεχνικών βαθιάς εκμάθησης (deep learning) στην μοντελοποίηση της γενίκευσης

(Touya, Zhang, Lokhat, 2019), (Kronenfeld, Battenfield, Stanislawski, 2020), (Sester, 2020) αλλά η σχετική έρευνα βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο.

Ως εκ τούτου, το ερευνητικό ενδιαφέρον της διατριβής και οι ερευνητικοί στόχοι επικεντρώνονται στη βελτίωση των υφιστάμενων μοντέλων γενίκευσης, ειδικότερα στο μοντέλο της γενίκευσης βάσει περιορισμών.

### 1.3 Ερευνητικό αντικείμενο και στόχοι

Στόχο της διατριβής αποτελεί η συμβολή της στην έρευνα της αυτοματοποίησης των διαδικασιών της χαρτοσύνθεσης και συγκεκριμένα της γενίκευσης. Αναγνωρίζοντας την ένταξη διαδικασιών εκτίμησης και αξιολόγησης της ποιότητας των παραγόμενων χαρτογραφικών δεδομένων ως παράγοντα καθοριστικής σημασίας στην εξέλιξη της αυτοματοποίησης της χαρτογραφικής παραγωγής, η παρούσα διδακτορική διατριβή επιχειρεί να συμβάλει στη συγκεκριμένη κατεύθυνση ενισχύοντας με το ερευνητικό έργο της τις αντίστοιχες διαδικασίες. Η έρευνα επικεντρώνεται στη διαμόρφωση μεθόδων εκτίμησης και αξιολόγησης της ποιότητας των χαρτογραφικών δεδομένων που βασίζονται σε μέτρα και τεχνικές, σε περιοχές που διαπιστώνεται έλλειψη κατά την εξέταση της υφιστάμενης κατάστασης. Συγκεκριμένα, οι Jantien Stoter, Xiang Zhang, Hanna Stigmar και Lars Harrie (2014) παρατηρούν ότι υπολείπεται γνώση σχετικά με τον περιορισμό της διατήρησης της μορφής καθώς και με τον προσδιορισμό της ανεκτικότητας στην παραβίαση των περιορισμών, π.χ. της αναγνωσιμότητας. Επιπλέον, οι Cécile Duchêne, Guillaume Touya, Patrick Taillandier, Julien Gaffuri, Anne Ruas και Jérémy Bernard (2018) στην ανασκόπησή τους για τα συστήματα 'agent' διαπιστώνουν ότι περιπτώσεις γεωμετρικών «συγκρούσεων» επιλύονται αποτελεσματικότερα με την εφαρμογή απλούστερων τεχνικών συγκριτικά με την πολύπλοκη παραμετροποίηση ενός συστήματος 'agent'.

Θεωρώντας τα παραπάνω, οι ερευνητικοί στόχοι της διατριβής διαμορφώνονται ως εξής:

- i. Προσδιορισμός κριτηρίων και μέτρων σχετικά με τον περιορισμό της διατήρησης της μορφής.
- ii. Ανάπτυξη τεχνικών για την επιλογή των κατάλληλων προς απεικόνιση γενικευμένων δεδομένων.
- iii. Ανάπτυξη απλών, αυτόματων διαδικασιών γενίκευσης ικανών να ενταχθούν στα εμπορικά Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών με την ενσωμάτωση:
  - περιορισμών,
  - μετασχηματισμών γενίκευσης,
  - απαιτήσεων ποιότητας,

- ποσοτικοποιημένων ορίων συμμόρφωσης των περιορισμών και των απαιτήσεων ποιότητας
- μέτρων για την εκτίμηση της κατάστασης των δεδομένων σε σχέση με τους περιορισμούς και τις απαιτήσεις ποιότητας και την αξιολόγηση του βαθμού συμμόρφωσής τους σε αυτά.

iv. Ανάπτυξη ενός μοντέλου γενίκευσης βάσει περιορισμών (σημασιολογικής και χαρτογραφικής) στο πλαίσιο του οποίου θα εντάσσονται οι διαδικασίες των παραπάνω στόχων (i, ii, iii) και το οποίο θα ενσωματώνει μοντέλα ποιότητας για την κάθε φάση της γενίκευσης ώστε να παρέχει μία ολοκληρωμένη αυτοματοποιημένη λύση γενίκευσης με διασφαλισμένη την ποιότητα των παραγόμενων δεδομένων εφαρμόζοντας τις ελάχιστες απαιτήσεις ποιότητας και με συνέπεια στη διατήρηση της μορφής.

Συγκεκριμένα, ερευνάται εκτενώς το ζήτημα της διατήρησης της μορφής μιας γραμμικής και πολυγωνικής οντότητας κατά την εφαρμογή του μετασχηματισμού της απλοποίησης και προτείνεται μία μέθοδος εκτίμησης της κατάστασης της μορφής των οντοτήτων και αξιολόγησης του βαθμού διατήρησής της. Προσδιορίζονται:

- η κατάλληλη παραμετροποίηση της μορφής της οντότητας με τη χρήση μέτρου ομοιότητας και τεχνικής συσχέτισης των μορφών ώστε να εμπεριέχεται η μεταβολή της μορφής,
- η εκτίμηση της κατάστασης της μορφής της οντότητας (θέση, ακεραιότητα, ευκρίνεια) με τα αντίστοιχα μέτρα και τις τεχνικές υπολογισμού τους,
- η αξιολόγηση του βαθμού διατήρησής της μορφής της οντότητας ως αποτέλεσμα εφαρμογής συγκεκριμένης τεχνικής εύρεσης της κατάλληλης προς απεικόνιση λύσης.

Επιχειρώντας τον έλεγχο της δυνατότητας αποτελεσματικής εφαρμογής της προτεινόμενης μεθόδου για την επίτευξη ικανοποιητικών λύσεων απεικόνισης με συνέπεια τη διατήρηση της μορφής σε ένα πλήρες παράδειγμα χαρτοσύνθεσης, σχεδιάζεται και υλοποιείται επιπλέον το κατάλληλο περιβάλλον διαδικασιών για την εφαρμογή της, καθώς δεν διατίθεται κάτι αντίστοιχο στα εμπορικά Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Συγκεκριμένα, αναπτύσσεται μια μεθοδολογία εκτίμησης και αξιολόγησης της ποιότητας των δεδομένων με βάση τους τρεις άξονες που προσδιορίστηκαν από τους William Mackaness και Anne Ruas (2007) (πριν, κατά τη διάρκεια και στο πέρας της γενίκευσης). Στο πλαίσιο αυτής, σχεδιάζονται με την πρόβλεψη της αυτόματης λειτουργίας, δύο μοντέλα ποιότητας για κάθε φάση της γενίκευσης (σημασιολογικής και χαρτογραφικής) θεωρώντας την προσέγγιση του Dietmar Grünreich (1985) για τη δημιουργία της χωρικής βάσης (DLM) μέσω σημασιολογικής γενίκευσης και της μετάπτωσής της σε χαρτογραφική (DCM) με

διατήρηση του σχήματος – ειδικότερα εξετάζεται ο μετασχηματισμός της απλοποίησης. Στο πλαίσιο των μοντέλων ποιότητας τυποποιούνται:

- οι περιορισμοί και οι απαιτήσεις ποιότητας με τα αντίστοιχα μέτρα για την εκτίμηση της κατάστασης των οντοτήτων και τα όρια συμμόρφωσης για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης των οντοτήτων σε αυτά,
- οι μετασχηματισμοί της γενίκευσης,
- οι έλεγχοι ποιότητας,
- η ακολουθία εκτέλεσης των διαδικασιών (μετασχηματισμών και ελέγχων ποιότητας) με τη σύνταξη των αντίστοιχων διαγραμμάτων ροής ανά φάση γενίκευσης.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αναπτύσσεται συνδυαστικά με την εφαρμογή για τη σύνταξη δύο χαρτών κλίμακας 1: 500.000 και 1: 1.000.000 προερχόμενων από τη βάση κλίμακας 1:250.000 του EuroRegional Map που αφορούν στην περιοχή της βόρειας Γερμανίας Schleswig-Holstein, έκτασης 15.143 km<sup>2</sup>. Οι θεματικές κατηγορίες των χαρτών ανά γεωμετρικό τύπο είναι:

- κατοικημένες περιοχές (σημειακές οντότητες/ πολύγωνα),
- ακτογραμμή, οδικό, σιδηροδρομικό και υδρογραφικό δίκτυο (γραμμικές οντότητες),
- λίμνες και νησιά (πολύγωνα).

#### 1.4 Δομή διατριβής

Η παρούσα διατριβή συγκροτείται από έξι Ενότητες. Στην πρώτη Ενότητα, της Εισαγωγής, πραγματοποιείται μία αναδρομή στα κυριότερα μοντέλα γενίκευσης που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο των ερευνητικών προσπαθειών αυτοματοποίησης των διαδικασιών της γενίκευσης και παρουσιάζεται η εξέλιξή τους με την ενσωμάτωση μηχανισμών εκτίμησης της ποιότητας των παραγόμενων χαρτογραφικών δεδομένων. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά σχετικά με το επικρατέστερο μοντέλο βάσει περιορισμών και τη βελτιστοποίησή του με τη χρήση της τεχνολογίας 'agent'. Παράλληλα, παρουσιάζεται η ανάπτυξη του κυρίαρχου εννοιολογικού πλαισίου για την εκτίμηση της ποιότητας των χαρτογραφικών δεδομένων στο μοντέλο της γενίκευσης βάσει περιορισμών όπως συνοψίζεται από τους William Mackaness και Anne Ruas, (2007) βάσει της υφιστάμενης έρευνας και ενισχύεται από τους Jantien Stoter, Xiang Zhang, Hanna Stigmar και Lars Harrie (2014). Στη συνέχεια, διερευνώνται οι τρέχουσες τάσεις σχετικά με την μοντελοποίηση της γενίκευσης και τα ζητήματα που ανακύπτουν λόγω της πολυπλοκότητας στη ρύθμιση των συστημάτων γενίκευσης και των ελλείψεων στους περιορισμούς. Τέλος, αναλύεται το αντικείμενο της διατριβής και οι στόχοι σε σχέση με τις διαπιστωμένες ανεπάρκειες στο υφιστάμενο μοντέλο της γενίκευσης βάσει περιορισμών.

Στη *δεύτερη Ενότητα*, αναπτύσσεται μία μέθοδος εκτίμησης της κατάστασης της μορφής των οντοτήτων και αξιολόγησης της διατήρησής της στη χαρτογραφική γενίκευση προτείνοντας μία διαδικασία επιλογής της καταλληλότερης προς απεικόνιση λύσης. Στο συγκεκριμένο πλαίσιο εξετάζονται τεχνικές συσχέτισης των μορφών και μέτρα ομοιότητας της υφιστάμενης βιβλιογραφίας, σχεδιάζονται επιπλέον μέτρα και επιλέγονται τα καταλληλότερα για την παραμετροποίηση της μορφής και την εκτίμηση της κατάστασής της μέσω της παρακολούθησης της μεταβολής της με βάση θεσπισμένα κριτήρια. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η αξιολόγηση της διατήρησης της μορφής με την εφαρμογή μίας τεχνικής επιλογής και ομαδοποίησης για την απόδοση των καταλληλότερων προς απεικόνιση γενικευμένων δεδομένων. Τα μέτρα και οι τεχνικές συσχέτισης που εξετάζονται εφαρμόζονται σε πενήντα (50) γραμμικές και πενήντα (50) πολυγωνικές οντότητες αρχικής κλίμακας 1: 250.000 οι οποίες γενικεύονται κατάλληλα για τις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 με τον αλγόριθμο απλοποίησης *point remove* της ESRI (Douglas & Peucker, 1973). Στη συνέχεια, βάσει των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων της εφαρμογής, η τεχνική επιλογής της κατάλληλης προς απεικόνιση οντότητας εφαρμόζεται στις ίδιες οντότητες αρχικής κλίμακας 1: 250.000 που γενικεύονται κατάλληλα για τις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 με δύο πλέον αλγορίθμους απλοποίησης, τους *point remove* της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και *bend simplify* της ESRI [Wang, 1996]. Στο τέλος της Ενότητας αποτυπώνονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής με τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Στην *τρίτη Ενότητα*, αναπτύσσεται η μεθοδολογία εκτίμησης και αξιολόγησης της ποιότητας στη γενίκευση. Παρουσιάζεται:

- Το εννοιολογικό πλαίσιο της μεθοδολογίας με τις προϋποθέσεις εφαρμογής της και τους βασικούς άξονες ανάπτυξής της.
- Το λογικό πλαίσιο με την περιγραφή των χαρακτηριστικών των τριών δομικών στοιχείων των μοντέλων ποιότητας για την κάθε φάση της γενίκευσης (σημασιολογικής και χαρτογραφικής).

Επιπλέον, τυποποιούνται οι περιορισμοί για την εφαρμογή της γενίκευσης βάσει περιορισμών αφού προηγηθεί μία αναδρομή στην εννοιολογική ανάπτυξή τους. Τέλος, διασαφηνίζεται η έννοια της ποιότητας στη γενίκευση με τις τρεις συνιστώσες της.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία όπως παρουσιάζεται στην τρίτη Ενότητα αναπτύσσεται λεπτομερώς στις Ενότητες 4 και 5 συνδυαστικά με την εφαρμογή για τη σύνταξη δύο χαρτών κλίμακας 1: 500.000 και 1: 1.000.000 προερχόμενων από τη βάση κλίμακας 1:250.000 του EuroRegional Map που αφορούν στην περιοχή της βόρειας Γερμανίας Schleswig-Holstein, έκτασης 15.143 km<sup>2</sup>. Οι θεματικές κατηγορίες των χαρτών ανά γεωμετρικό τύπο είναι:

- κατοικημένες περιοχές (σημειακές οντότητες/ πολύγωνα),

- ακτογραμμή, οδικό, σιδηροδρομικό και υδρογραφικό δίκτυο (γραμμικές οντότητες),
- λίμνες και νησιά (πολύγωνα).

Στην τέταρτη Ενότητα, αναπτύσσεται αναλυτικά η διαδικασία της σημασιολογικής γενίκευσης στο πλαίσιο του μοντέλου ποιότητας συνδυαστικά με την αντίστοιχη εφαρμογή. Συγκεκριμένα, τυποποιούνται οι μετασχηματισμοί της σημασιολογικής γενίκευσης, οι περιορισμοί και οι απαιτήσεις ποιότητας με τα αντίστοιχα μέτρα και ποσοτικά προσδιορισμένα όρια συμμόρφωσης και οι έλεγχοι ποιότητας. Παρουσιάζονται, αναλυτικά τα στάδια εξέλιξης της διαδικασίας ανά θεματική κατηγορία της εφαρμογής με τα αντίστοιχα αποτελέσματα ποιότητας και διαμορφώνεται το αντίστοιχο διάγραμμα ροής. Σχεδιάζονται επιπλέον τεχνικές απλοποίησης των γραμμικών δικτύων. Στο τέλος της Ενότητας περιλαμβάνεται η παράγραφος των συμπερασμάτων επί της Ενότητας.

Στην πέμπτη Ενότητα, παρουσιάζεται η διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης όπως εξελίσσεται στο πλαίσιο του μοντέλου ποιότητας συνδυαστικά με την αντίστοιχη εφαρμογή. Τυποποιούνται οι περιορισμοί και οι απαιτήσεις ποιότητας με ποσοτικά προσδιορισμένα όρια συμμόρφωσης, τα μέτρα και οι έλεγχοι ποιότητας και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτών. Διαμορφώνονται τεχνικές εντοπισμού των εννοιολογικών και τοπολογικών ασυνεπειών και της εσφαλμένης σχετικής θέσης για τα αντίστοιχα μέτρα ποιότητας. Εντάσσεται επιπλέον η διαδικασία επιλογής των κατάλληλων προς απεικόνιση γενικευμένων οντοτήτων της Ενότητας 2 τα αποτελέσματα της οποίας διασφαλίζονται ως προς την ποιότητά τους με τους προβλεπόμενους ελέγχους ποιότητας του μοντέλου ποιότητας και αναπτύσσεται το διάγραμμα ροής της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης. Στο τέλος της Ενότητας περιλαμβάνεται η παράγραφος των συμπερασμάτων επί της Ενότητας.

Στην έκτη Ενότητα παρουσιάζεται η ανασκόπηση των προηγούμενων Ενότητων. Επιπλέον, συνοψίζονται τα γενικά συμπεράσματα βάσει των συμπερασμάτων της κάθε επιμέρους Ενότητας 2, 4, 5 όπως αναπτύσσονται στις αντίστοιχες παραγράφους και η χρήση του προτεινόμενου μοντέλου γενίκευσης της διατριβής στην μελλοντική έρευνα.

## 2. Εκτίμηση της κατάστασης της μορφής της οντότητας και αξιολόγηση του βαθμού διατήρησής της στη χαρτογραφική γενίκευση

---

### 2.1 Εισαγωγή στην έννοια της μορφής και του μέτρου

Η έννοια της μορφής στη χαρτογραφική γενίκευση γίνεται αντιληπτή ως γεωμετρικής φύσης. Στις τεχνικές προδιαγραφές των βασικών μέτρων ποιότητας του συστήματος AGENT η μορφή μιας οντότητας (κλειστή ή ανοιχτή γραμμή) αναφέρεται ως η περιγραφή του γεωμετρικού σχήματος μιας οντότητας. Αντίστοιχα, ο Remco Velthamp (2001) ορίζει τη μορφή μιας οντότητας ως τη γεωμετρική διάταξη (geometric pattern) που αποτελείται από ένα σύνολο σημείων, γραμμών, επιφανειών, συμπαγών επιφανειών (solid), κ.λ.π.. Θεωρώντας τις συγκεκριμένες προσεγγίσεις, η μορφή μιας οντότητας μπορεί να εκφραστεί παραμετρικά με χρήση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της (θέση, διεύθυνση, μήκος, εμβαδόν, περίμετρος, καμπυλότητα, μαιανδρισμοί κ.ά.) ως περιγραφή του γεωμετρικού σχήματός της ή ως μαθηματική αναπαράσταση της γεωμετρικής της διάταξης.

Η εκτίμηση της κατάστασης της μορφής μίας οντότητας και η αξιολόγηση της διατήρησής της για συγκεκριμένη κλίμακα απεικόνισης στο πέρας της εφαρμογής ενός γεωμετρικού μετασχηματισμού απαιτεί την εκτίμηση της μεταβολής της κατάστασης της μορφής της οντότητας σε σχέση με την αρχική της κατάσταση (συσχέτιση). Κατά τον Remco Velthamp (2001), η διαδικασία της συσχέτισης των μορφών περιλαμβάνει:

- τον μετασχηματισμό της μορφής (αναπαράσταση),
- την εκτίμηση της ομοιότητάς της με μία άλλη μορφή με τη χρήση ενός μέτρου ομοιότητας (*similarity measure*).

Στις τεχνικές προδιαγραφές των κύριων μέτρων του συστήματος AGENT ως αναπαράσταση (representation) ορίζεται η περιγραφή της γεωμετρίας ενός γεωμετρικού αρχέτυπου με τη χρήση ενός μετασχηματισμού μεταξύ του διδιάστατου Ευκλείδειου χώρου σε ένα άλλο σύστημα αναφοράς π.χ. Fourier series, turning function ως συνεχής συνάρτηση της γωνίας της εφαπτομένης στην κάθε κορυφή της γραμμής σε σχέση με το μήκος της γραμμής, κ.ά..

Συνδυάζοντας τις παραπάνω προσεγγίσεις της μορφής μιας οντότητας, την προσέγγιση του Remco Velthamp (2001) για την έννοια της συσχέτισης των μορφών και το γεγονός ότι οι κυρίως εφαρμόσιμοι μετασχηματισμοί της χαρτογραφικής γενίκευσης, αυτοί της απλοποίησης και της μετάθεσης, επιφέρουν μεταβολές στα γεωμετρικά στοιχεία της οντότητας (κορυφές, πλευρές, γωνίες) και κατά συνέπεια στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της, διαμορφώνονται οι άξονες της μεθόδου εκτίμησης της κατάστασης της μορφής μίας οντότητας και αξιολόγησης του βαθμού διατήρησής της, ως εξής:



- i. Ποσοτικοποιημένη παραμετρική περιγραφή της μορφής της οντότητας με τη χρήση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της ή την αναπαράστασή της (μετασχηματισμός της μορφής).
- ii. Εκτίμηση της κατάστασης της μορφής με την εφαρμογή ενός μέτρου ομοιότητας για τον προσδιορισμό της ανομοιότητας μέσω της μέτρησης της απόστασης (distance) μεταξύ της αρχικής και της γενικευμένης γραμμής ώστε οι μικρές τιμές απόστασης να εκφράζουν την έννοια της μικρής ανομοιότητας και της μεγάλης ομοιότητας (Veltcamp, 2001).
- iii. Εκτίμηση της κατάστασης της μορφής με την εφαρμογή μέτρων εκτίμησης της αναγνωσιμότητας μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας για την εκτίμηση της ευκρίνειας της μορφής.
- iv. Εκτίμηση της κατάστασης της μορφής με την εφαρμογή μέτρου εκτίμησης της οριζοντιογραφικής ακρίβειας.
- v. Εκτίμηση της κατάστασης της μορφής με την εφαρμογή μέτρου εκτίμησης της τοπολογικής συνέπειας στη γεωμετρία της οντότητας για την εκτίμηση της ακεραιότητας της μορφής.
- vi. Αξιολόγηση της διατήρησης της μορφής με βάση τη συμμόρφωση των οντοτήτων στους περιορισμούς της αναγνωσιμότητας, τοπολογικής συνέπειας, οριζοντιογραφικής ακρίβειας.
- vii. Αξιολόγηση της διατήρησης της μορφής με τον προσδιορισμό των κατάλληλων προς απεικόνιση οντοτήτων.

Στις τεχνικές προδιαγραφές των κύριων μέτρων του συστήματος AGENT, αναφέρονται επιπλέον οι ιδιότητες του οριζόμενου ως 'καλού' μέτρου:

- συνεκτικότητα (robustness) ώστε οι μικρές διαφορές να μην δημιουργούν μεγάλες διαφοροποιήσεις,
- ικανότητα διαχωρισμού (separability), ώστε να προσδιορίζει μετρητικά και με σαφήνεια το αντικείμενο για το οποίο σχεδιάστηκε να εξετάζει,
- ανεξαρτησία σε σχέση με τον χρήστη (invariance of person), ώστε να παράγονται τα ίδια αποτελέσματα ανεξάρτητα από το άτομο που το εφαρμόζει,
- ανεξαρτησία σε σχέση με την απεικόνιση του αντικειμένου (independence of point-representation),
- ανεξαρτησία σε σχέση με τους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς (invariance under geometric transformations) - κλίμακα (scale), παράλληλη μετατόπιση (translation), στροφή (rotation),
- ευκολία στον υπολογισμό,
- ευκολία στη χρήση, δηλαδή στη ρύθμιση των παραμέτρων του,
- ευκολία στην ερμηνεία του.

Τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ενός ικανοποιητικού μέτρου αποτέλεσαν στην παρούσα έρευνα το κριτήριο για την επιλογή και την εξέταση τεχνικών

συσχέτισης και μέτρων ομοιότητας, για τον έλεγχο της καταλληλότητας αυτών ή για τον σχεδιασμό νέου μέτρου. Συγκεκριμένα, επιμελήθηκε ιδιαίτερα η ικανοποίηση των παρακάτω προϋποθέσεων:

- i. Η διατήρηση της ανεξαρτησίας του μέτρου σε σχέση με την κλίμακα ώστε να επιτυγχάνεται η σύγκριση μεταξύ της αρχικής και της γενικευμένης μορφής.
- ii. Η ικανότητα παρακολούθησης της μορφολογικής μεταβολής της οντότητας θεωρώντας ότι η μεταβολή της τιμής του μέτρου ομοιότητας (αύξηση της υπολογιζόμενης απόστασης) συνδυάζεται με τη χωρική μεταβολή της οντότητας (μείωση της χωρικής πληροφορίας).
- iii. Η υπολογιστική ευκολία ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ένταξης του μέτρου στο περιβάλλον ενός εμπορικού Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών.

## 2.2 Τεχνικές περιγραφής και αναπαράστασης της μορφής

Στο πλαίσιο του προγράμματος AGENT πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη έρευνα σχετικά με τις τεχνικές περιγραφής, αναπαράστασης της μορφής και τα μέτρα ομοιότητας που οδήγησε στην κατηγοριοποίησή τους με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που εξετάζουν (Πίνακας 1):

- το μέγεθος (size),
- την καμπυλότητα/πολυπλοκότητα (sinuosity/ complexity),
- την επιμήκυνση/εκκεντρότητα (elongation / eccentricity ),
- το πόσο συμπαγής είναι (compactness),
- άλλους ειδικούς παράγοντες.

Size	Sinuosity/ Complexity	Elongation / Eccentricity	Compactness	Important Aspects
• Length	• Measures on Angularity (McMaster, 1986)	• Brown-Eccentricity (Ballard & Brown, 1982)	• Convex Deficiencies (Boesch, 1993)	• Minimal Width Parts of a Building
• Area	• Curvilinearity Measures (McMaster, 1986)	• Elongation (Boesch, 1993)	Bending Energy (Young et al., 1974)	• Neck Searching (Wang & Mueller, 1993)
• Perimeter	• Max Bend height	• Regnaud-Elongation (Regnaud, 1998)	• Miller's Measure (Campbell, 1993)	• Bend Shape (Plazanet, 1996)
• Bend height	• Slope-density Function (Ballard & Brown, 1982)	• Spreadness (Boesch, 1993)	• Boyce-Clark radial shape index (Campbell, 1993)	• Bend Description (Wang & Mueller, 1998)

• Maximal Bend height	• Richardson-Plot (Buttenfield, 1989)	• Circularity (Davis, 1986)	• Compactness-Measures (Davis, 1986)	• Characterisation using a Distance-Direction Matrix
• Minimum Width of Polygon	• Entropy (Bjorke, 1993)	• Ellipticity (Davis, 1986)	• Squareness (Regnauld, 1998)	• Number of Points (Regnauld, 1998)
• Minimum Bounding rectangle	• Sinuosity (Dutton, 1998)	• Moments (Boesch, 1993)	• Wall Squareness (Regnauld, 1998)	• Shortest Edge
• Coalescence of Line (Mustiere, 1998)	• Fourier Descriptors			
• Coalescence Conflict Detection (Mustiere, 1998)	• Density of Coordinates (McMaster, 1986)			
• Epsilon-Band (Perkal, 1966)	• Ratio of Maximum Chord (Ballard & Brown, 1982)			
• Turning Function Distance (Arkin, 1991)	• Fractal Dimension			
• Radial Distance (Bel Hadj Ali, 1997)	• Number of Bends (Plazanet, 97)			

---

**Πίνακας 1.** Τεχνικές περιγραφής, τεχνικές αναπαράστασης της μορφής και μέτρα ομοιότητας σε παρελθούσες έρευνες (πηγή AGENT).

Σε μία πιο στοχευμένη έρευνα σχετικά με την παραμετροποίηση της μορφής της γραμμής ως προεργασία για την κατάτμηση της γραμμής σε ομοειδή τμήματα, οι Andriani Skopeliti και Lysandros Tsoulos (1999) εντοπίζουν τρεις κατάλληλες μεταβλητές:

- τη μέση απόλυτη γωνιότητα για διαφορετικά εύρη κορυφών (average magnitude angularity at different vertex ranges),
- τη διακύμανση σφάλματος (error variance),
- τον λόγο του μήκους προς το μήκος γραμμής βάσης (ratio of line length to anchor line length).

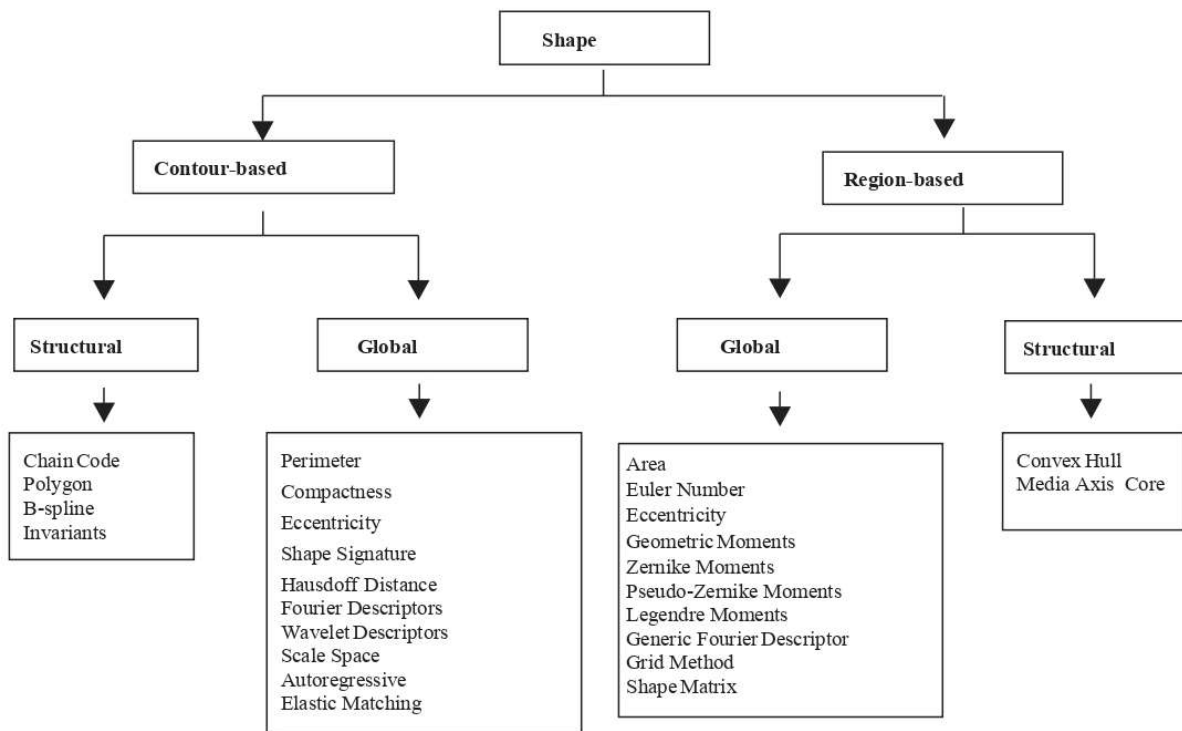
Στη συγκεκριμένη εργασία συγκρίνονται τα μέτρα μορφής που προτείνονται από την Barbara Buttenfield (1991): κλασματική διάσταση (fractal dimension), πλάτος ζώνης (bandwidth), κατάτμηση (segmentation), διακύμανση σφάλματος (error variance), συνταύτιση (concurrence) και την Marie Bernhardt (1992): μέση γωνιότητα (average angularity), μέση απόλυτη γωνιότητα (average magnitude

angularity), βαθμός καμπυλότητας (curvilinearity ratio), μέση διανυσματική απόσταση από τη γραμμή βάσης (average vector displacement from baseline), μέση απόλυτη διανυσματική απόσταση από τη γραμμή βάσης (average magnitude vector displacement from baseline). Τα συγκεκριμένα μέτρα εφαρμόστηκαν σε γραμμικά τμήματα περιορισμένης έκτασης με ομοιόμορφη κατανομή κορυφών.

Οι Dengsheng Zhang και Guojun Lu (2004) στην έρευνά τους αναφορικά με τις τεχνικές περιγραφής και αναπαράστασης της μορφής διακρίνουν δύο γενικές κατηγορίες (Εικόνα 1):

- τεχνικές που αξιοποιούν τις γεωμετρικές πληροφορίες της γραμμής ή του εξωτερικού ορίου της πολυγωνικής οντότητας (contour – based methods),
- τεχνικές που αφορούν στην πολυγωνική οντότητα και αξιοποιούν το σύνολο της μορφής της οντότητας, το εξωτερικό όριο του πολυγώνου σε συνδυασμό με την εσωτερική περιοχή (region – based methods).

Οι παραπάνω κατηγορίες διαχωρίζονται επιπλέον σε δύο υποκατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο προσέγγισης της μορφής της οντότητας είτε στο σύνολό της – μέθοδοι συνέχειας (global methods), είτε με την κατάτμηση της γραμμής ή του εξωτερικού ορίου του πολυγώνου σε τμήματα (primitives) – διακριτές μέθοδοι (structural methods).



**Εικόνα 1.** Κατηγοριοποίηση των τεχνικών περιγραφής και αναπαράστασης της μορφής (Zhang & Lu, 2004).

Στην παρούσα έρευνα για τον σχεδιασμό μεθόδου εκτίμησης της κατάστασης της μορφής και αξιολόγησης του βαθμού διατήρησής της (Blana & Tsoulos, 2022a) εξετάστηκαν στη σχετική βιβλιογραφία οι τεχνικές συσχέτισης (μέτρα ομοιότητας σε συνδυασμό με τις τεχνικές αναπαράστασης) και τα ανεξάρτητα μέτρα ομοιότητας που βασίζονται στην αξιοποίηση της γεωμετρικής πληροφορίας της γραμμής ή του εξωτερικού ορίου του πολυγώνου (contour-based methods) και αντιμετωπίζουν ενιαία την οντότητα (global methods). Οι τεχνικές συσχέτισης και τα μέτρα ομοιότητας όπου εφαρμόζονται οι διακριτές μέθοδοι δεν εξετάστηκαν εξαιτίας της αδυναμίας τους να παρακολουθήσουν την καθολική μορφή της οντότητας, της αυξημένης υπολογιστικής πολυπλοκότητάς τους και της πολυπλοκότητας εφαρμογής των τεχνικών συσχέτισης στις οποίες συμμετέχουν (Zhang & Lu, 2004).

### 2.3 Τεχνικές συσχέτισης μορφών και μέτρα ομοιότητας

Οι τεχνικές συσχέτισης των μορφών (μέτρα ομοιότητας σε συνδυασμό με τεχνικές αναπαράστασης) έχουν ερευνηθεί σε διάφορα επιστημονικά πεδία ιδιαίτερα στα πλαίσια εφαρμογών αυτοματοποιημένης αναγνώρισης μοτίβων και ταξινόμησης αντικειμένων (pattern recognition, pattern analysis) και εφαρμόζονται είτε απευθείας στα αντικείμενα των εικόνων με τη χρήση των εικονοστοιχείων (pixels) είτε σε γραμμές που έχουν εξαχθεί από τα αντικείμενα των εικόνων. Η αιτία που η παρούσα ερευνητική εργασία εξετάζει αυτές τις τεχνικές στο πλαίσιο σχεδιασμού μιας κατάλληλης μεθόδου για την εκτίμηση της κατάστασης της μορφής και την αξιολόγηση του βαθμού διατήρησής της στη χαρτογραφική γενίκευση είναι διότι:

- μέρος αυτών των τεχνικών αντιμετωπίζουν ενιαία τη γεωμετρική μορφή της οντότητας χωρίς την εξέταση μεμονωμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών της (διατήρηση των μαιανδρισμών- sinuosity, διατήρηση των γωνιών- angularity, διατήρηση της ορθογωνικότητας- orthogonality κ.α.) εξαιτίας των τεχνικών αναπαράστασης της μορφής που περιλαμβάνουν,
- περιγράφουν τη μορφή εμπεριέχοντας τη σύγκριση των μορφών καθώς εφαρμόζεται σε όλες τις περιπτώσεις ένα μέτρο ομοιότητας.

Ο Remco Veltkamp (2001) προσδιορίζει το πρόβλημα της συσχέτισης των μορφών μεταξύ δύο γεωμετρικών διατάξεων με τη χρήση ενός μέτρου ομοιότητας, σε δύο άξονες:

- ως υπολογιστικό πρόβλημα (computation problem),
- ως πρόβλημα απόφασης/ βελτιστοποίησης (decision/ optimization problem) με σύγκριση της ανομοιότητας με μία προκαθορισμένη τιμή.

Η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στο υπολογιστικό πρόβλημα και εξετάζει τις ακόλουθες τεχνικές συσχέτισης και τα ακόλουθα μέτρα ομοιότητας που

αντιμετωπίζουν ενιαία το γεωμετρικό σχήμα της οντότητας κατά τον Remco Veltkamp (2001):

- την απόσταση Hausdorff (Hausdorff distance),
- την τροποποιημένη απόσταση Hausdorff (modified Hausdorff distance),
- τη διακριτή απόσταση Fréchet (discrete Fréchet distance),
- την απόσταση μεταξύ των αναπαραστάσεων των μορφών με τη χρήση της συνάρτησης turning function (turning function distance).

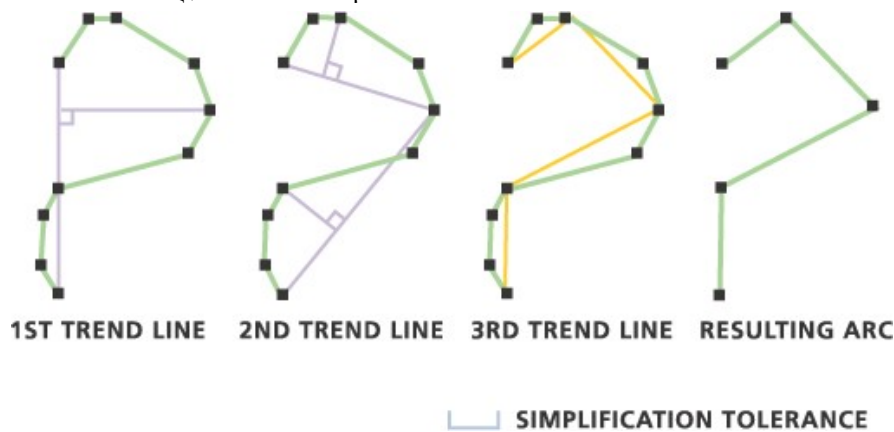
Επιπλέον αυτών, εξετάζεται η τεχνική συσχέτισης που επίσης αντιμετωπίζει ενιαία το γεωμετρικό σχήμα της οντότητας:

- απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων αναπαράστασης της μορφής των οντοτήτων με στοιχεία τους συντελεστές του αντιστρόφου διακριτού μετασχηματισμού Fourier για διάφορες τεχνικές αναπαράστασης.

Το κοινό χαρακτηριστικό στη λειτουργία των εξεταζόμενων τεχνικών συσχέτισης και μέτρων ομοιότητας είναι ότι, ο υπολογισμός τους βασίζεται στη χρήση των κορυφών των οντοτήτων (γραμμικών και πολυγωνικών). Επισημαίνεται ότι, οι συγκεκριμένες τεχνικές και τα συγκεκριμένα μέτρα εξετάστηκαν ως προς την καταλληλότητα της εφαρμογής τους για την εκτίμηση της κατάστασης της μορφής της γενικευμένης οντότητας και την αξιολόγηση του βαθμού διατήρησής της στη χαρτογραφική γενίκευση οπότε τα συμπεράσματα αφορούν αποκλειστικά στον συγκεκριμένο έλεγχο και η πιθανή ακαταλληλότητά τους δεν συνεπάγεται την ακαταλληλότητα τους για τη γενική σύγκριση μορφών διαφορετικών αντικειμένων.

Στην εφαρμογή που υλοποιήθηκε με στόχο την επιλογή μίας κατάλληλης τεχνικής συσχέτισης ή ενός μέτρου ομοιότητας ελέγχθηκαν πενήντα (50) γραμμικές φυσικές οντότητες υδατορευμάτων κυμαινόμενου μήκους 10 – 50 km και πενήντα (50) πολυγωνικές φυσικές οντότητες λιμνών και κατοικημένων περιοχών κυμαινόμενου εμβαδού (1,1 – 45 km<sup>2</sup>) της βάσης EuroGeographics – EuroRegional Map. Για τη γενίκευση των οντοτήτων επιλέχθηκε η απλοποίηση με τον αλγόριθμο point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973), καθώς ο συγκεκριμένος αλγόριθμος κατά την εκτέλεσή του επιφέρει από μικρές έως έντονες μορφολογικές αλλοιώσεις, ιδιότητα που διευκολύνει τη σύγκριση των μορφών. Η λειτουργία του συγκεκριμένου αλγορίθμου απλοποιεί τη γραμμή (κλειστή ή ανοικτή) εξαλείφοντας κορυφές βάσει μιας οριζόμενης τιμής ανοχής. Η εκτέλεσή του ξεκινά με τη χάραξη μίας βοηθητικής γραμμής μεταξύ αρχικής και τελικής κορυφής, υπολογίζονται οι κάθετες αποστάσεις των κορυφών προς τη βοηθητική γραμμή και εξαλείφονται οι κορυφές που αντιστοιχούν στις αποστάσεις με μήκος μικρότερο από αυτό της ανοχής. Στη συνέχεια, η γραμμή χωρίζεται σε δύο νέες βοηθητικές γραμμές χρησιμοποιώντας την πιο μακρινή κορυφή από την αρχική βοηθητική γραμμή και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία μέχρι να εξαλειφθούν όλες οι κορυφές με μήκος κάθετης απόστασης

από τις βοηθητικές γραμμές μικρότερο της ανοχής (ESRI, 2022), (Εικόνα 2). Στην εφαρμογή, οι τιμές ανοχής προσδιορίστηκαν στο διάστημα (20, 1000) ανά 20 m. Η μέγιστη τιμή ανοχής ορίστηκε ίση με την οριζοντιογραφική ακρίβεια των 1000 m για την κλίμακα 1:1.000.000 σύμφωνα με τις προδιαγραφές του EuroGeographics – EuroGlobal Map και 500 m για την κλίμακα 1:500.000, αντίστοιχα. Η ελάχιστη τιμή ανοχής ορίστηκε στα 20 m επηρεασμένη από την τιμή 62,5 m που αντιστοιχεί στη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα αναφοράς 1: 250.000 των αρχικών δεδομένων.



**Εικόνα 2.** Απλοποίηση της γραμμής με τον αλγόριθμο point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973), (<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/cartography-toolbox/how-simplify-line-works.htm>).

### 2.3.1 Απόσταση Hausdorff (Hausdorff distance)

Η απόσταση Hausdorff μεταξύ δύο συνόλων σημείων A και B ορίζεται ως η ελάχιστη τιμή d που απαιτείται ώστε κάθε σημείο του συνόλου A να έχει εντός της απόστασης d ένα σημείο του συνόλου B και αντίστροφα (Rote, 1991):

$$H(A, B) = \max\{\max_{a \in A} \min_{b \in B} |b - a|, \max_{b \in B} \min_{a \in A} |a - b|\}, \text{ όπου:}$$

- $|b - a|$  και  $|a - b|$ , οι Ευκλείδειες αποστάσεις μεταξύ των σημείων a του συνόλου A και b του συνόλου B.

### Εφαρμογή – Συμπεράσματα

Η απόσταση Hausdorff μεταξύ του συνόλου των κορυφών της αρχικής γραμμής προς τη γενικευμένη ανά τιμή ανοχής του αλγορίθμου, υπολογίζεται ως ακολούθως:

- Υπολογίζονται οι Ευκλείδειες αποστάσεις από κάθε κορυφή της αρχικής γραμμής προς όλες τις κορυφές της γενικευμένης γραμμής και ομαδοποιούνται ανά κορυφή της αρχικής γραμμής.
- Διατηρείται η ελάχιστη τιμή απόστασης από κάθε ομάδα.

iii. Επιλέγεται μεταξύ των ελαχίστων, η μέγιστη τιμή που αντιστοιχεί στην απόσταση Hausdorff μεταξύ της αρχικής μορφής και της γενικευμένης μορφής.

Η εκτέλεση των υπολογισμών με γραμμή αναφοράς τη γενικευμένη γραμμή (μεταξύ του συνόλου των κορυφών της γενικευμένης γραμμής προς το σύνολο των κορυφών της αρχικής γραμμής) δεν απαιτείται καθώς ο υπολογισμός αποδίδει μηδενικές τιμές δεδομένου ότι, όλες οι κορυφές του συνόλου της γενικευμένης γραμμής συμπίπτουν με κορυφές του συνόλου της αρχικής γραμμής οπότε η ελάχιστη απόσταση κάθε κορυφής του συνόλου της γενικευμένης γραμμής προς το σύνολο των κορυφών της αρχικής γραμμής είναι μηδενική άρα και η μέγιστη απόσταση Hausdorff μεταξύ των ελαχίστων αποστάσεων προκύπτει και αυτή μηδενική.

Ελέγχοντας τα αριθμητικά αποτελέσματα των υπολογισμών (Πίνακας 2) διαπιστώνονται η αυξητική τους τάση σε σχέση με τη μείωση των κορυφών αλλά και χονδροειδείς ομαδοποιήσεις των τιμών (για διαφορετικές μορφές γενικευμένων γραμμών υπολογίζεται η ίδια τιμή απόστασης Hausdorff) που οδηγούν στην απόρριψη του μέτρου.

Hausdorff Distance (m)	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
0,000	762	0
553,276	150	20
772,529	100	40
772,529	81	60
1388,004	71	80
1388,004	61	100
1388,004	56	120
1388,004	52	140
1388,004	48	160
1388,004	47	180
1388,004	44	200
1388,004	42	220
1388,004	40	240
1388,004	38	260
1388,004	38	280
1388,004	34	300
1388,004	33	320
1388,004	31	340
1388,004	31	360
1388,004	28	380
1388,004	27	400
2131,121	24	420
2131,121	24	440



Hausdorff Distance (m)	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
2390,910	21	460
2390,910	20	480
2390,910	20	500
2390,910	20	520
2390,910	20	540
2390,910	19	560
2390,910	18	580
2390,910	18	600
2390,910	18	620
2390,910	18	640
2390,910	18	660
2390,910	18	680
2390,910	18	700
2390,910	18	720
2390,910	18	740
2390,910	18	760
2390,910	18	780
2390,910	18	800
2390,910	18	820
2390,910	17	840
2390,910	17	860
2390,910	17	880
3308,926	14	900
3308,926	13	920
3308,926	13	940
3308,926	13	960
3308,926	13	980
3308,926	13	1000

**Πίνακας 2.** Υπολογισμός της απόστασης Hausdorff ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

### 2.3.2 Τροποποιημένη απόσταση Hausdorff (Modified Hausdorff distance)

Οι Marie – Pierre Dubuisson και Anil Jain (1994) εξέτασαν τα αποτελέσματα εφαρμογής διαφόρων παραλλαγών της απόστασης Hausdorff και κατέληξαν στην επιλογή μιας τροποποιημένης προσέγγισης που εκφράζεται με τη μαθηματική σχέση:

$$f(d(A, B), d(B, A)) = \max(d(A, B), d(B, A)), \text{ όπου:}$$

- $d(A, B) = \frac{1}{N_A} \sum_{a \in A} d(a, B)$  η απόσταση του συνόλου A από το σύνολο B
- $d(B, A) = \frac{1}{N_B} \sum_{b \in B} d(b, A)$  η απόσταση του συνόλου B από το σύνολο A
- $N_A, N_B =$  ο αριθμός των σημείων του συνόλου A και B αντίστοιχα
- $d(a, B) = \min \|a - b\|$ ,

η ελάχιστη Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του σημείου  $a$  και του συνόλου  $B$

- $d(b, A) = \min\|b - a\|,$

η ελάχιστη Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ του σημείου  $b$  και του συνόλου  $A$

### Εφαρμογή – Συμπεράσματα

Η τροποποιημένη απόσταση Hausdorff μεταξύ των συνόλων των κορυφών της αρχικής γραμμής προς τη γενικευμένη, ανά τιμή ανοχής του αλγορίθμου, υπολογίζεται ως ακολούθως:

- Υπολογίζονται οι Ευκλείδειες αποστάσεις από κάθε κορυφή της αρχικής γραμμής προς όλες τις κορυφές της γενικευμένης γραμμής και ομαδοποιούνται ανά κορυφή της αρχικής γραμμής.
- Διατηρείται η ελάχιστη τιμή απόστασης από κάθε ομάδα.
- Υπολογίζεται το άθροισμα των ελαχίστων τιμών του βήματος ii και διαιρείται διά του συνόλου των κορυφών της αρχικής γραμμής.
- Επαναλαμβάνονται τα βήματα i, ii, iii με γραμμή αναφοράς τη γενικευμένη.
- Η τροποποιημένη απόσταση Hausdorff μεταξύ της αρχικής μορφής και της γενικευμένης μορφής αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή μεταξύ των τιμών που προκύπτουν στα βήματα iii και iv.

Όπως και στην περίπτωση του υπολογισμού της απόστασης Hausdorff και για τους ίδιους λόγους δεν απαιτείται η εκτέλεση των υπολογισμών με γραμμή αναφοράς τη γενικευμένη γραμμή (μεταξύ του συνόλου των κορυφών της γενικευμένης γραμμής προς το σύνολο των κορυφών της αρχικής γραμμής).

Από τα αριθμητικά αποτελέσματα των υπολογισμών (Πίνακας 3) διαπιστώνεται η καταλληλότητα του συγκεκριμένου μέτρου ως μέτρου ομοιότητας για τη συσχέτιση της γενικευμένης μορφής με την αρχική μορφή καθώς εμφανίζεται ικανό να παρακολουθεί σε κάθε βήμα την αυξητική τάση της αλλοίωσης της μορφής που επιφέρει η μείωση των κορυφών.

<b>Modified Hausdorff Distance (m)</b>	<b>Αριθμός κορυφών</b>	<b>Τιμή ανοχής (m)</b>
0,000	762	0
89,721	150	20
148,233	100	40
174,831	81	60
222,071	71	80
246,064	61	100
270,006	56	120
280,513	52	140
292,937	48	160
301,410	47	180
322,685	44	200

Modified Hausdorff Distance (m)	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
333,470	42	220
343,703	40	240
360,826	38	260
360,826	38	280
387,929	34	300
395,626	33	320
406,141	31	340
406,141	31	360
441,847	28	380
456,369	27	400
535,132	24	420
535,132	24	440
728,548	21	460
743,782	20	480
743,782	20	500
743,782	20	520
743,782	20	540
751,693	19	560
783,985	18	580
783,985	18	600
783,985	18	620
783,985	18	640
783,985	18	660
783,985	18	680
783,985	18	700
783,985	18	720
783,985	18	740
783,985	18	760
783,985	18	780
783,985	18	800
783,985	18	820
803,686	17	840
803,686	17	860
803,686	17	880
974,050	14	900
1029,166	13	920
1029,166	13	940
1029,166	13	960
1029,166	13	980
1029,166	13	1000

**Πίνακας 3.** Υπολογισμός της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

### 2.3.3 Διακριτή απόσταση Fréchet (Discrete Fréchet distance)

Η απόσταση Fréchet μεταξύ δύο γραμμών  $f:(\alpha,\alpha')$ ,  $g:(b,b')$  εκφράζεται μαθηματικά από τη σχέση (Alt & Godau, 1992):

$$\delta_F(f, g) = \inf_{\alpha[0,1] \rightarrow [\alpha,\alpha']} \max_{\beta \in [0,1]} \|f(\alpha(t)) - g(\beta(t))\|,$$

όπου οι  $\alpha, \beta$  είναι αύξουσες συνεχείς συναρτήσεις με  $\alpha(0)=\alpha$ ,  $\alpha(1)=\alpha'$ ,  $\beta(0)=b$ ,  $\beta(1)=b'$ .

Η απόσταση Fréchet στον υπολογισμό της λαμβάνει υπόψη τη θέση και τη σειρά των σημείων κατά μήκος των γραμμών (Eiter & Mannila, 1994) και βασική προϋπόθεση στην εφαρμογή της αποτελεί η εκτέλεση των υπολογισμών να ακολουθήσει έμπροσθεν πορεία κατά μήκος των γραμμών χωρίςπισωγύρισμα.

Μία εναλλακτική προσέγγιση της απόστασης Fréchet αποτελεί η διακριτή απόσταση Fréchet (απόσταση σύζευξης - coupling distance) που συστήθηκε από τους Thomas Eiter και Heikki Mannila (1994) και εξετάζει όλες τις πιθανές συζεύξεις των ακραίων σημείων (endpoints) των τμημάτων που αποτελούν τις πολυγωνικές γραμμές. Εξετάζει δηλαδή όλους τους πιθανούς συνδυασμούς μεταξύ των κορυφών των συσχετιζόμενων γραμμών και υπολογίζεται με φορά έμπροσθεν κατά μήκος των γραμμών ακολουθώντας τη σειρά διάταξης των κορυφών. Η εναλλακτική προσέγγιση εκφράζεται με τη μαθηματική σχέση:

$$\delta_{dF}(P, Q) = \min\{\|L\|\},$$

όπου  $\|L\|$  είναι το μήκος του μεγαλύτερου συνδέσμου της σύζευξης  $L$  μεταξύ των πολυγωνικών  $P, Q$ .

#### Εφαρμογή – Συμπεράσματα

Η διακριτή απόσταση Fréchet υπολογίζεται μεταξύ των γενικευμένων μορφών και των αρχικών μορφών, ανά τιμή ανοχής του αλγορίθμου. Ο υπολογισμός της περιλαμβάνει τη σύνταξη ενός πίνακα αποστάσεων  $ca$  με διαστάσεις  $n \times m$  με καταχωρήσεις  $i, j$  να ανήκουν στα διαστήματα  $(0,m)$  και  $(0,n)$  όπου  $m > n$ , για δύο συσχετιζόμενες γραμμές  $P(p_0, \dots, p_m)$  και  $Q(q_0, \dots, q_n)$  εκφρασμένες ως ακολουθίες των κορυφών τους. Ο πίνακας συντάσσεται με βάση την παρακάτω υπολογιστική ακολουθία :

- i. Για τις κορυφές στη θέση  $i, j=0$   
 $\rightarrow ca(c_{0,0})=d(p_0, q_0)$ , η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των κορυφών  $p_0, q_0$ .
- ii. Για τις κορυφές στις θέσεις  $i=0$  και  $j \in (1, n)$   
 $\rightarrow ca(c_{0,j})=\max\{d(p_0, q_j), ca(c_{0,j-1})\}$
- iii. Για τις κορυφές στις θέσεις  $i \in (1, m)$  και  $j=0$   
 $\rightarrow ca(c_{i,0})=\max\{d(p_i, q_0), ca(c_{i-1,0})\}$
- iv. Για τις κορυφές στις θέσεις  $i \in (1, m)$  και  $j \in (1, n)$   
 $\rightarrow ca(c_{i,j})=\max(d(p_i, q_j), \min\{ca(c_{i-1,0}), ca(c_{0,j-1}), ca(c_{i-1,j-1})\})$

Η διακριτή απόσταση Fréchet είναι η τιμή στο κελί στην κάτω δεξιά γωνία του πίνακα ca (Mascret et al., 2006).

Από τα αριθμητικά αποτελέσματα της εφαρμογής της διακριτής απόστασης Fréchet διαπιστώνεται η αυξητική της τάση σε σχέση με τη μείωση των κορυφών. Επιπλέον όμως, διαπιστώνεται χονδροειδής ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων η οποία δεν παρακολουθεί τη μεταβολή της μορφής των γραμμών, οπότε κρίνεται ως ακατάλληλη, (Πίνακας 4).

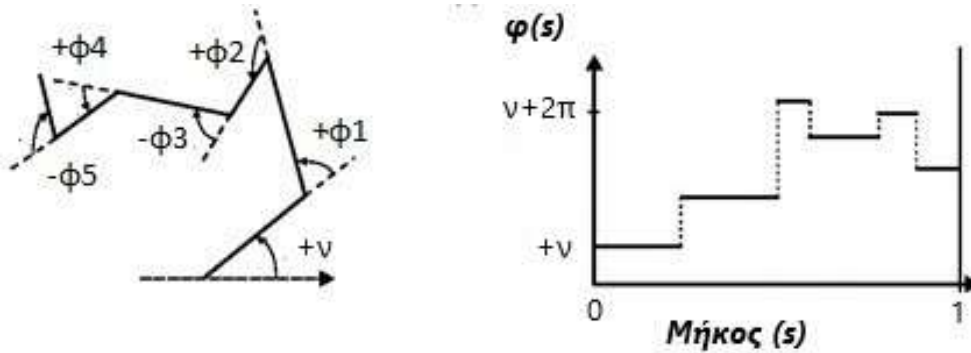
Discrete Fréchet Distance (m)	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
0,000	762	0
553,276	150	20
772,529	100	40
772,529	81	60
1388,004	71	80
1388,004	61	100
1388,004	56	120
1388,004	52	140
1388,004	48	160
1388,004	47	180
1388,004	44	200
1388,004	42	220
1388,004	40	240
1388,004	38	260
1388,004	38	280
1561,134	34	300
1561,134	33	320
1561,134	31	340
1561,134	31	360
1561,134	28	380
1561,134	27	400
2131,121	24	420
2131,121	24	440
2390,911	21	460
2390,911	20	480
2390,911	20	500
2390,911	20	520
2390,911	20	540
2390,911	19	560
2390,911	18	580
2390,911	18	600
2390,911	18	620
2390,911	18	640
2390,911	18	660

Discrete Fréchet Distance (m)	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
2390,911	18	680
2390,911	18	700
2390,911	18	720
2390,911	18	740
2390,911	18	760
2390,911	18	780
2390,911	18	800
2390,911	18	820
2390,911	17	840
2390,911	17	860
2390,911	17	880
3646,113	14	900
3646,113	13	920
3646,113	13	940
3646,113	13	960
3646,113	13	980
3646,113	13	1000

**Πίνακας 4.** Υπολογισμός της διακριτής απόστασης Fréchet ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

### 2.3.4 Απόσταση *Turning Function* (*Turning function distance*)

Η τεχνική συσχέτισης των μορφών με τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των αναπαραστάσεων των μορφών με τη χρήση της συνάρτησης *turning function* (*turning angle function*) εισήχθη από τους Esther Arkin, Paul Chew, Martin Held, Klara Kedem και Joseph Mitchell (1991) και εφαρμόστηκε στη συσχέτιση των μορφών πολυγωνικών οντοτήτων αυτούσια (Latecki & Lakamper, 2000, Carlos et al., 2010 κ.α.) ή με παραλλαγές (Frank & Ester, 2006, Podolskaya et al., 2007). Προϋπόθεση για την εφαρμογή της αποτελεί η επίλυση των συναρτήσεων *turning function* των συσχετιζόμενων μορφών. Η συγκεκριμένη τεχνική αναπαράστασης των μορφών εντάσσεται στις μεθόδους συνέχειας και υλοποιεί μία μονοδιάστατη συνάρτηση ‘με σκαλοπάτια’ (*step function*) που προκύπτει από τα σημεία του περιγράμματος του σχήματος της οντότητας, (Εικόνα 3).



**Εικόνα 3.** Αναπαράσταση μίας πολυγωνικής οντότητας με τη χρήση της συνάρτησης turning function (Arkin et al., 1991).

Στον άξονα x της συνάρτησης, ανάγεται το μήκος της πολυγωνικής γραμμής στο διάστημα (0,1) με τη σχέση:

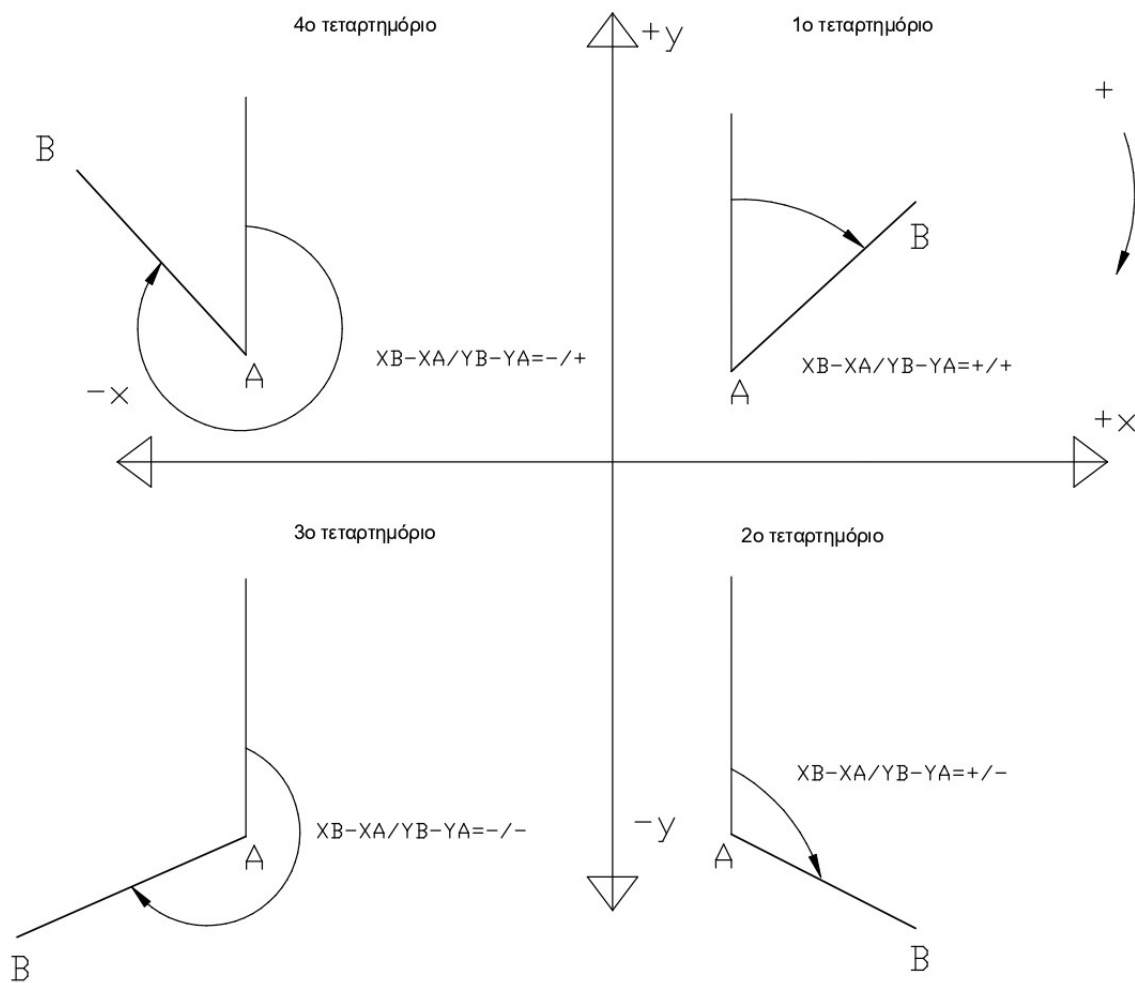
$$Li/L,$$

όπου:  $L_i$  τα μήκη των ευθυγράμμων τμημάτων μεταξύ των κορυφών  $i$  της πολυγωνικής γραμμής μήκους  $L$ .

Ο άξονας y φέρει την αρχική γωνία  $\nu$  που σχηματίζεται στο σημείο τομής του πρώτου τμήματος της εξεταζόμενης γραμμής με τον άξονα x (σημείο αναφοράς) και τις γωνίες  $\varphi$  των εφαπτομένων σε κάθε κορυφή. Η αριστερόστροφη φορά των γωνιών  $\nu, \varphi$  ορίζεται ως θετική, η δεξιόστροφη ως αρνητική και υπολογίζονται σε rad ως ακολούθως:

i. Υπολογίζεται η γωνία διεύθυνσης  $\alpha$  με θετική φορά δεξιόστροφη σε κάθε κορυφή της γραμμής σύμφωνα με το 2<sup>ο</sup> θεμελιώδες θεώρημα της τοπογραφίας (Λάμπρου & Πανταζής, 2010), (Εικόνα 4.1):

- $\Delta X > 0$  και  $\Delta Y > 0$ :  $\alpha = \alpha' = \tan^{-1} \frac{\Delta X}{\Delta Y} > 0, (0 < \alpha < \pi/2)$
- $\Delta X > 0$  και  $\Delta Y < 0$ :  $\alpha = \pi + \alpha', (\pi/2 < \alpha < \pi)$  για  $\alpha' = \tan^{-1} \frac{\Delta X}{\Delta Y} < 0$
- $\Delta X < 0$  και  $\Delta Y < 0$ :  $\alpha = \pi + \alpha', (\pi < \alpha < 3\pi/2)$  για  $\alpha' = \tan^{-1} \frac{\Delta X}{\Delta Y} > 0$
- $\Delta X < 0$  και  $\Delta Y > 0$ :  $\alpha = 2\pi + \alpha', (\frac{3\pi}{2} < \alpha < 2\pi \equiv 0)$  για  $\alpha' = \tan^{-1} \frac{\Delta X}{\Delta Y} < 0$
- $\Delta X = 0$  και  $\Delta Y > 0$ :  $\alpha = 0$
- $\Delta X = 0$  και  $\Delta Y < 0$ :  $\alpha = \pi$
- $\Delta X > 0$  και  $\Delta Y = 0$ :  $\alpha = \pi/2$
- $\Delta X < 0$  και  $\Delta Y = 0$ :  $\alpha = 3\pi/2$



Εικόνα 4.1 Υπολογισμός γωνίας διεύθυνσης.

ii. Υπολογίζεται η εξωτερική γωνία θλάσης  $\beta$  με θετική φορά δεξιόστροφη (Εικόνα 4.2):

- $\beta_j = a_j + (\pi - a_{j-1})$

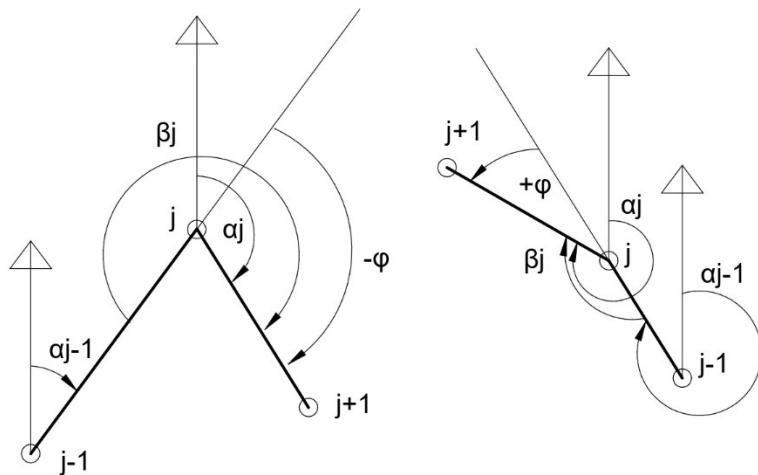
iii. Υπολογίζεται η γωνία  $\varphi$  της εφαπτομένης (Εικόνα 4.2):

- $\varphi_j = \pi - \beta_j$ , προκύπτει αρνητική για δεξιόστροφη φορά και θετική για αριστερόστροφη φορά

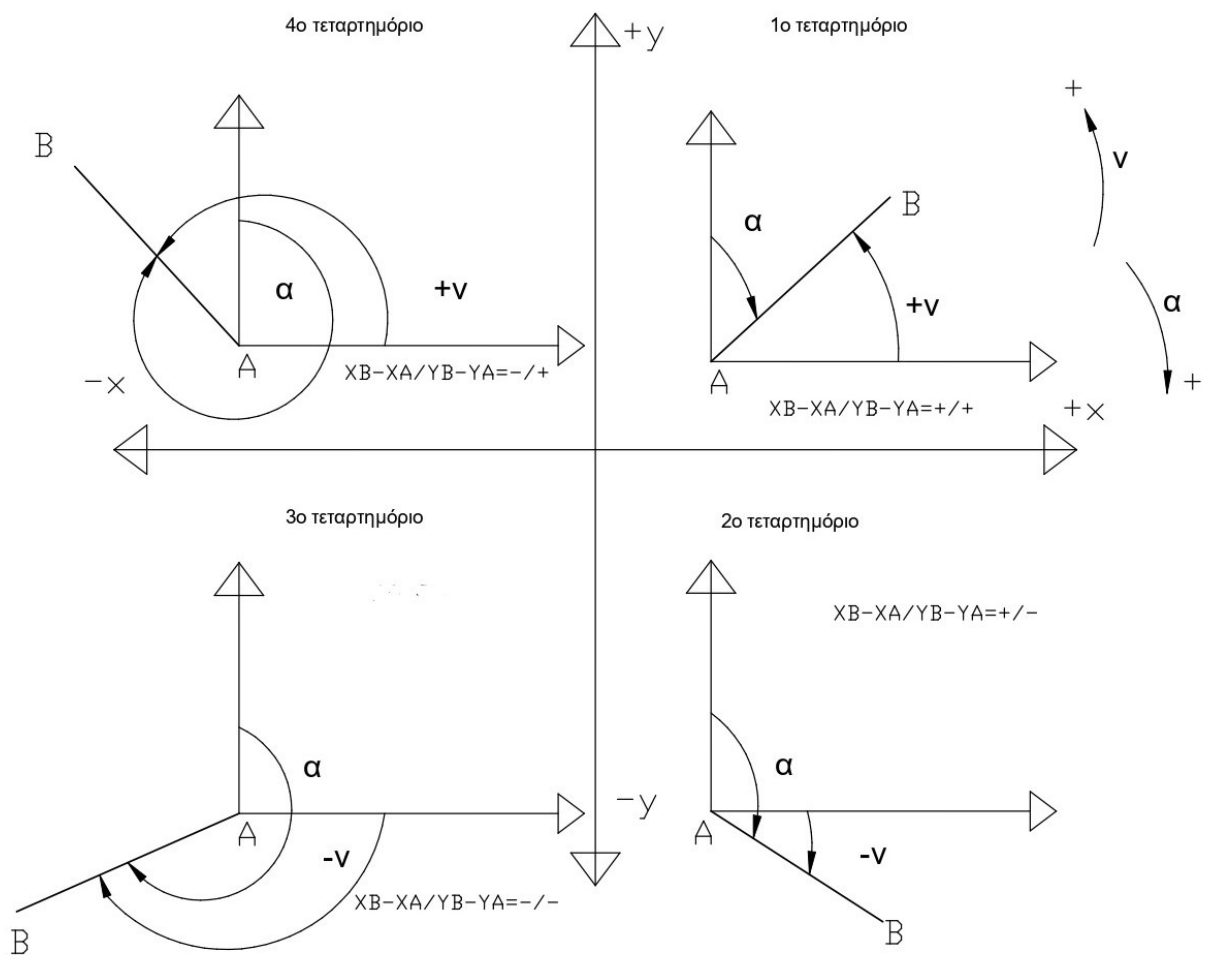
iv. Υπολογίζεται η αρχική γωνία  $\nu$  με πρόσημο (Εικόνα 4.3):

- $\Delta X > 0$  και  $\Delta Y > 0$ :  $\nu = \pi/2 - \alpha > 0$ , αριστερόστροφη
- $\Delta X > 0$  και  $\Delta Y < 0$ :  $\nu = \pi/2 - \alpha < 0$ , δεξιόστροφη
- $\Delta X < 0$  και  $\Delta Y < 0$ :  $\nu = \pi/2 - \alpha < 0$ , δεξιόστροφη
- $\Delta X < 0$  και  $\Delta Y > 0$ :  $\nu = 2\pi - \alpha + \pi/2 > 0$ , αριστερόστροφη
- $\Delta X = 0$  και  $\Delta Y > 0$ :  $\nu = \pi/2 > 0$ , αριστερόστροφη
- $\Delta X = 0$  και  $\Delta Y < 0$ :  $\nu = -\pi/2 < 0$ , δεξιόστροφη
- $\Delta X > 0$  και  $\Delta Y = 0$ :  $\nu = 0$
- $\Delta X < 0$  και  $\Delta Y = 0$ :  $\nu = \pi > 0$ , αριστερόστροφη





**Εικόνα 4.2** Περιπτώσεις υπολογισμού της εξωτερικής γωνίας θλάσης  $\beta_j$  και της γωνίας της εφαπτομένης  $\varphi$ .

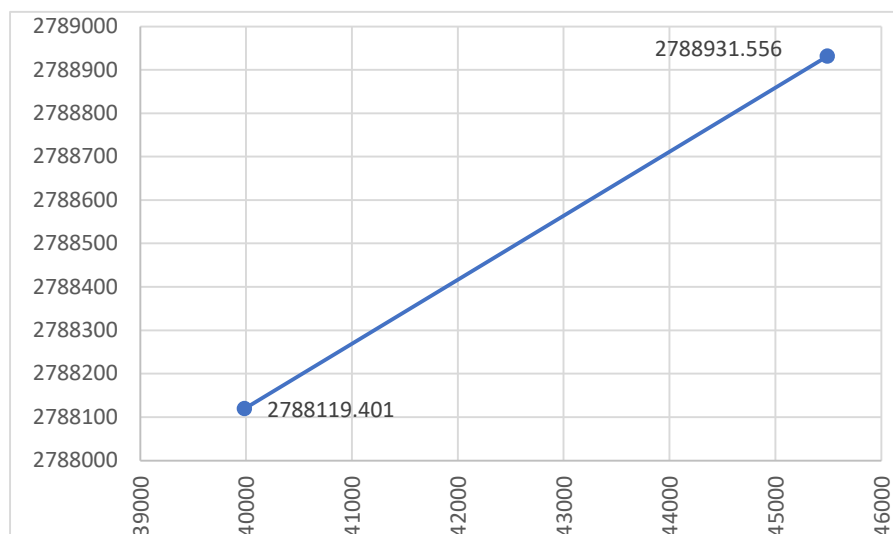


**Εικόνα 4.3** Υπολογισμός της αρχικής γωνίας  $v$ .

Στις κυρτές κλειστές γραμμές (κυρτά πολύγωνα) ισχύει ότι, το άθροισμα των γωνιών  $\varphi$  των εφαπτομένων σε κάθε κορυφή ισούται με  $2\pi$ , οπότε το εύρος των τιμών στον άξονα  $y$  της συνάρτησης turning function κυμαίνεται μεταξύ  $(0, \nu+2\pi)$  ή  $(0, \nu-2\pi)$ , όπου  $\nu$  η γωνία με πρόσημο που σχηματίζεται στο σημείο αναφοράς μεταξύ του πρώτου τμήματος της εξεταζόμενης κλειστής γραμμής με τον άξονα  $x$  όταν το συγκεκριμένο σημείο δεν αποτελεί κορυφή της κλειστής γραμμής. Όταν το σημείο αναφοράς αποτελεί κορυφή της κλειστής γραμμής τότε οι τιμές στον άξονα  $y$  κυμαίνονται στο διάστημα  $(0, 2\pi-\varphi+\nu)$  ή  $(0, -2\pi-\varphi+\nu)$ , όπου  $\varphi$  η γωνία εφαπτομένης (με πρόσημο) στην κορυφή που αποτελεί το σημείο αναφοράς. Στην περίπτωση της αναπαράστασης της μορφής με τη συνάρτηση turning function μίας οριζόμενης με δύο κορυφές ανοιχτής γραμμής προκύπτει μία ευθεία γραμμή, μήκους 1, παράλληλη στον άξονα  $x$  με τεταγμένη  $y=\nu$ , όπου  $\nu$  η γωνία με πρόσημο που σχηματίζεται στο σημείο αναφοράς μεταξύ της γραμμής και του άξονα  $x$  (Εικόνα 5).

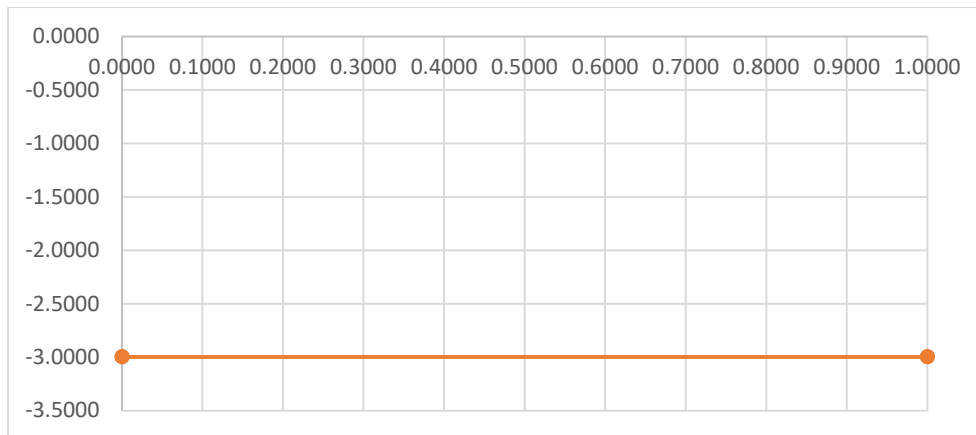
#### Ευθεία

X	Y
4.145.488,845	2.788.931,556
4.139.983,969	2.788.119,401



#### Turning function

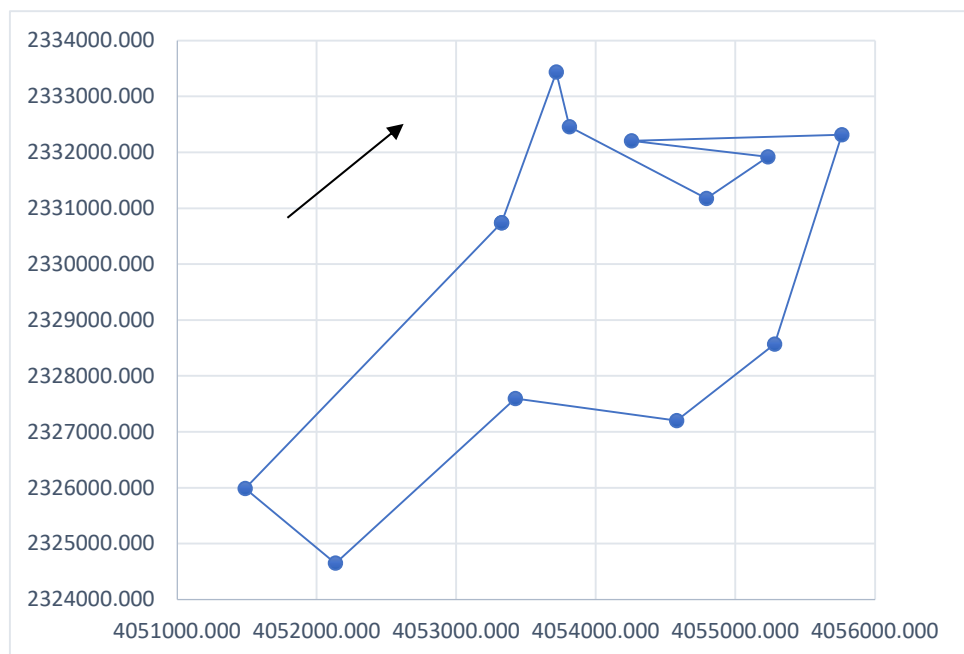
X	Y
0,0000	-2,9951
1,0000	-2,9951



Εικόνα 5. Turning function ευθείας γραμμής.

Ισχύει επιπλέον ότι, δύο όμοιες μορφολογικά γραμμές με την ίδια φορά υλοποιούν την ίδια γραφική αναπαράσταση της συνάρτησης turning function ενώ δύο όμοιες μορφολογικά γραμμές αντίθετης φοράς υλοποιούν αντικατοπτριζόμενες γραφικές αναπαραστάσεις (mirror), (Εικόνα 6).

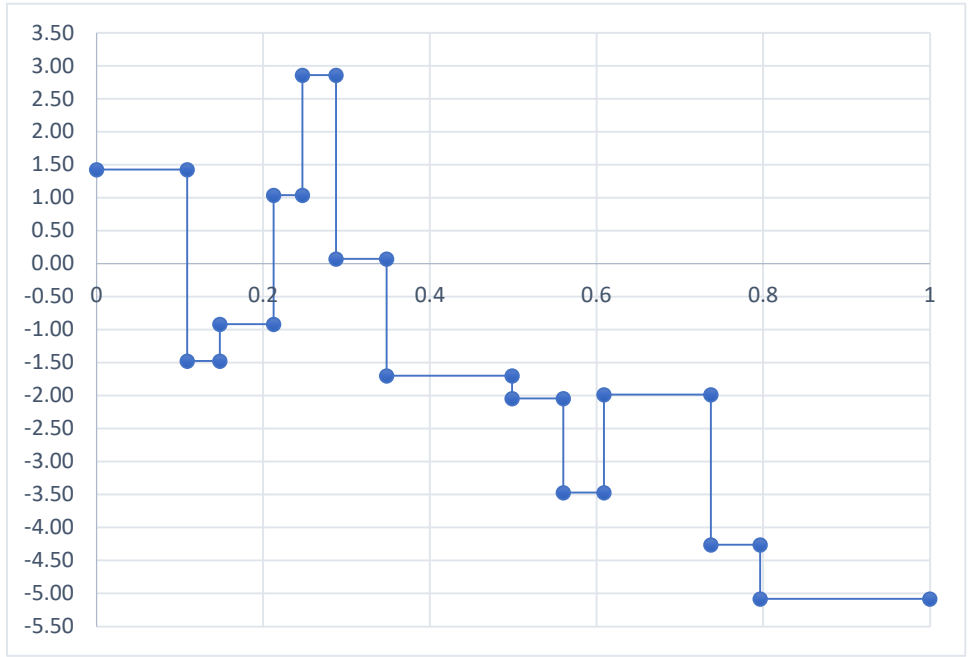
X	Y
4.053.324,537	2.330.738,986
4.053.715,995	2.333.434,518
4.053.811,501	2.332.455,400
4.054.792,187	2.331.174,042
4.055.232,568	2.331.920,030
4.054.255,745	2.332.203,305
4.055.762,312	2.332.315,894
4.055.281,266	2.328.571,409
4.054.578,426	2.327.198,498
4.053.424,025	2.327.593,643
4.052.134,644	2.324.650,515
4.051.486,983	2.325.984,316
4.053.324,537	2.330.738,986



**Turning function**

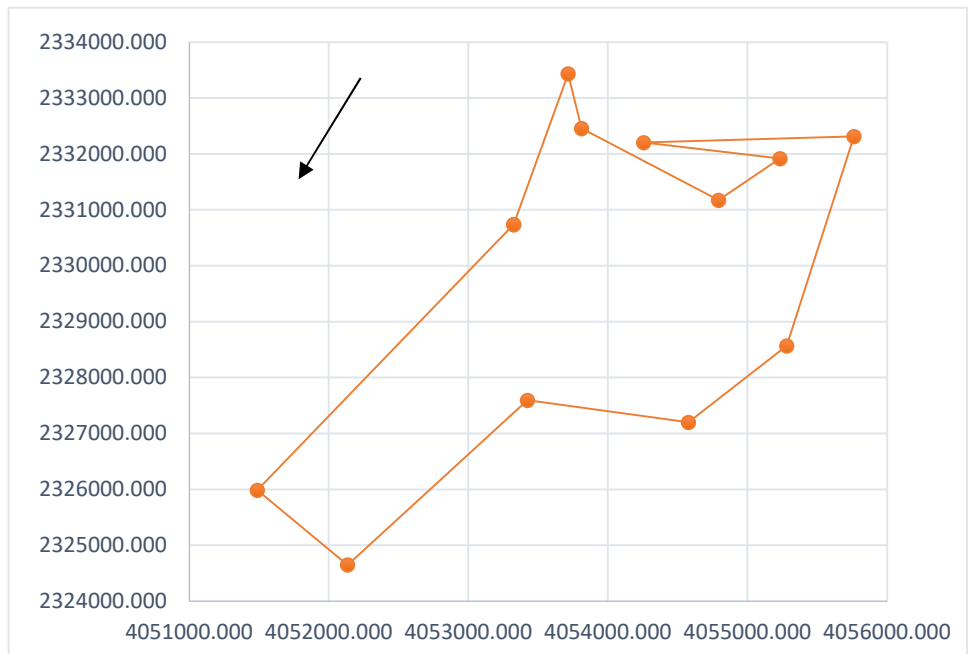
X	Y
0	1,426578
0,108751	1,426578
0,108751	-1,473561
0,148028	-1,473561

0,148028	-0,917544
0,212452	-0,917544
0,212452	1,037516
0,247039	1,037516
0,247039	2,859339
0,287646	2,859339
0,287646	0,074593
0,347965	0,074593
0,347965	-1,698564
0,498696	-1,698564
0,498696	-2,043946
0,560276	-2,043946
0,560276	-3,471386
0,608992	-3,471386
0,608992	-1,983709
0,737282	-1,983709
0,737282	-4,260348
0,796481	-4,260348
0,796481	-5,081180
1	-5,081180



**Αντιστροφή**

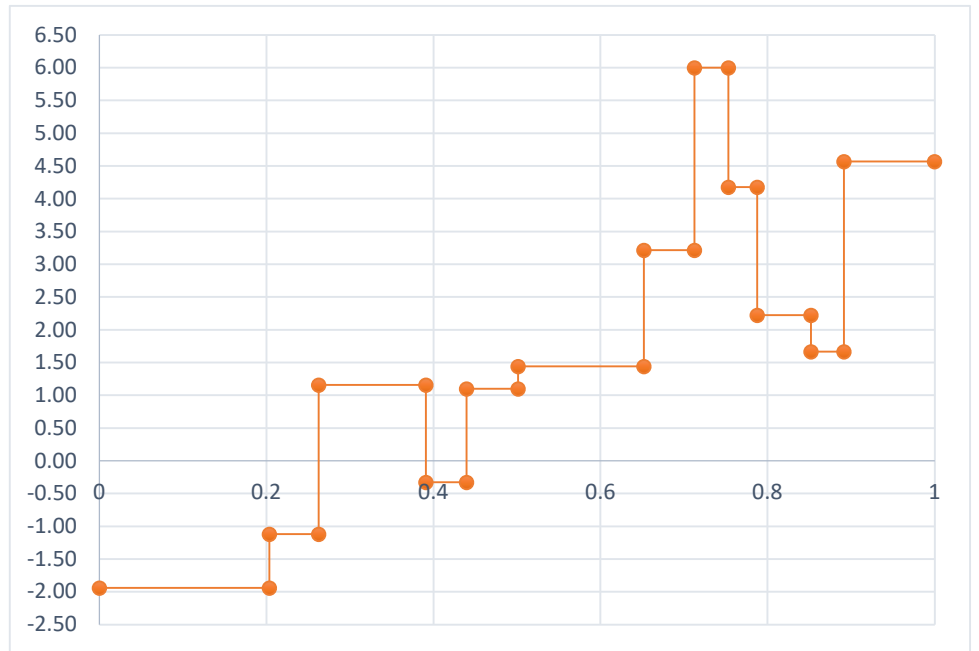
X	Y
4.053.324,537	2.330.738,986
4.051.486,983	2.325.984,316
4.052.134,644	2.324.650,515
4.053.424,025	2.327.593,643
4.054.578,426	2.327.198,498
4.055.281,266	2.328.571,409
4.055.762,312	2.332.315,894
4.054.255,745	2.332.203,305
4.055.232,568	2.331.920,030
4.054.792,187	2.331.174,042
4.053.811,501	2.332.455,400
4.053.715,995	2.333.434,518
4.053.324,537	2.330.738,986



**Turning function**

X	Y
---	---

0	-1,939588
0,203519	-1,939588
0,203519	-1,118755
0,262718	-1,118755
0,262718	1,157883
0,391007	1,157883
0,391007	-0,329794
0,439723	-0,329794
0,439723	1,097647
0,501304	1,097647
0,501304	1,443028
0,652035	1,443028
0,652035	3,216186
0,712353	3,216186
0,712353	6,000931
0,752961	6,000931
0,752961	4,179108
0,787548	4,179108
0,787548	2,224049
0,851971	2,224049
0,851971	1,668031
0,891249	1,668031
0,891249	4,568172
1	4,568172



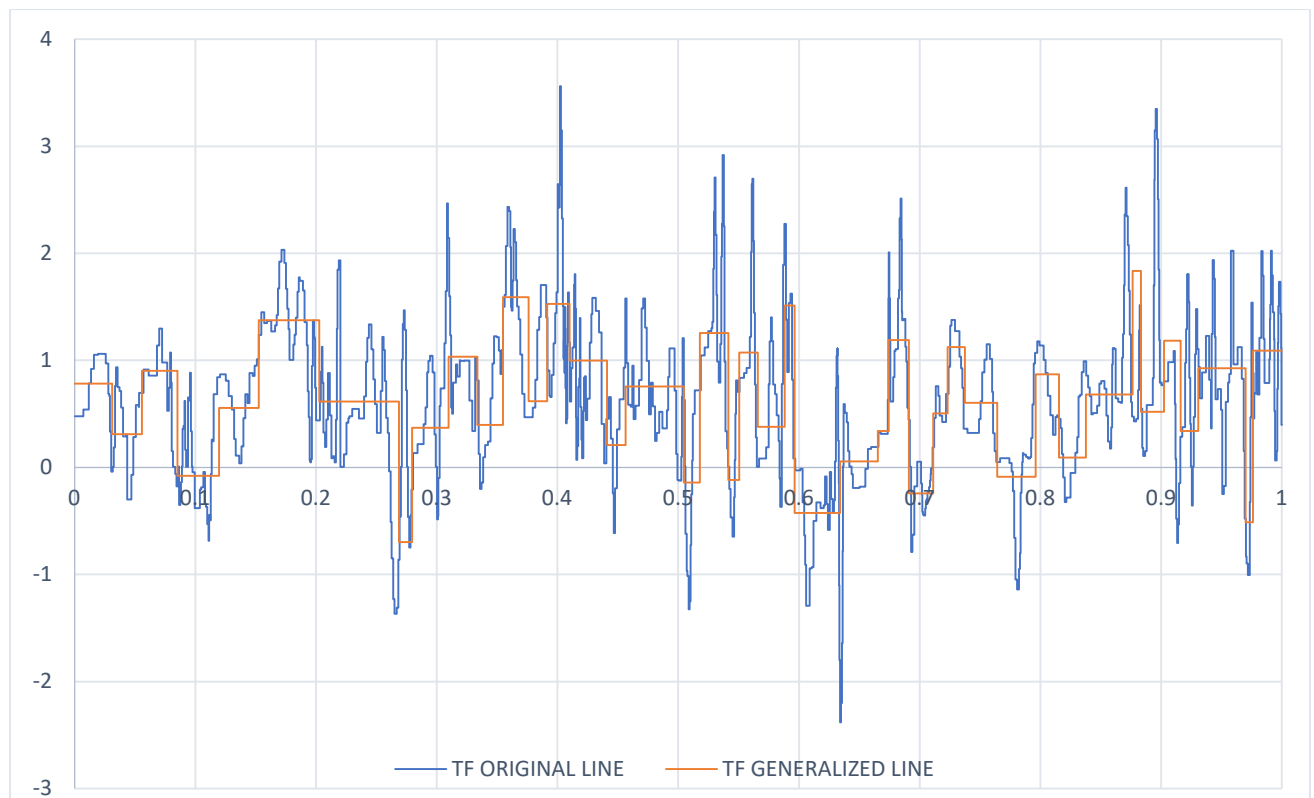
**Εικόνα 6.** Δύο όμοιες μορφολογικά γραμμές αντίθετης φοράς υλοποιούν αντικατοπτριζόμενες αναπαραστάσεις (mirror).

Ισχύει τέλος ότι, η πύκνωση της γραμμής δεν επιφέρει μεταβολή στην αναπαράσταση της γραμμής με τη χρήση της turning function (Εικόνα 7).



**Εικόνα 7.** Δύο όμοιες συναρτήσεις turning function της ίδιας γραμμής με πύκνωση και χωρίς.

Ως απόσταση μεταξύ των αναπαραστάσεων turning function υπολογίζεται το εμβαδόν μεταξύ τους (Arkin et al., 1991), (Εικόνα 8). Το εμβαδόν υπολογίστηκε με τη χρήση της βιβλιοθήκης Shapely στη γλώσσα προγραμματισμού Python: <https://shapely.readthedocs.io/en/stable/manual.html>.



**Εικόνα 8.** Υπολογισμός εμβαδού μεταξύ των συναρτήσεων turning function αρχικής και γενικευμένης γραμμής.

### Εφαρμογή - Συμπεράσματα

Για την επίλυση των συναρτήσεων turning function των συσχετιζόμενων γραμμών απαιτείται οι συγκρινόμενες γραμμές:

- να έχουν το ίδιο σημείο αναφοράς
- να έχουν την ίδια φορά καθώς δύο όμοιες μορφολογικά γραμμές σχεδιασμένες με διαφορετική φορά σχηματίζουν αντικατοπτριζόμενες (mirror) αναπαραστάσεις.

Οι παραπάνω προϋποθέσεις πληρούνται στην περίπτωση της συσχέτισης των μορφών των γενικευμένων γραμμών με τη χρήση του αλγορίθμου point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) δεδομένου ότι, η λειτουργία του συγκεκριμένου αλγορίθμου εξασφαλίζει τη διατήρηση των θέσεων της αρχικής και τελικής κορυφής της γραμμής και δε μεταβάλλει τη σειρά αρίθμησης των κορυφών.

Παρακολουθώντας τα αριθμητικά αποτελέσματα της εφαρμογής διαπιστώνεται ότι, η μεταβολή της απόστασης (ως εμβαδόν) μεταξύ των συναρτήσεων turning function των εξεταζόμενων γραμμών παρουσιάζει διακυμάνσεις (αυξομειώσεις) στην τιμή της και ανακολουθία με την τάση

μεταβολής του αριθμού των κορυφών σε αρκετές περιπτώσεις ζευγών τιμών ανά ελεγχόμενη οντότητα, οπότε το συγκεκριμένο μέτρο απορρίπτεται (Πίνακας 5).

Turning Function Distance (εμβαδόν)	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
0,000000	762	0
0,055616	150	20
0,069094	100	40
0,078627	81	60
0,084238	71	80
0,105798	61	100
0,105177	56	120
0,103675	52	140
0,113689	48	160
0,127195	47	180
0,132362	44	200
0,120217	42	220
0,133763	40	240
0,151638	38	260
0,151638	38	280
0,134214	34	300
0,123457	33	320
0,132352	31	340
0,132352	31	360
0,148705	28	380
0,130531	27	400
0,162240	24	420
0,162240	24	440
0,273846	21	460
0,257981	20	480
0,257981	20	500
0,257981	20	520
0,257981	20	540
0,249216	19	560
0,242514	18	580
0,242514	18	600
0,242514	18	620
0,242514	18	640
0,242514	18	660
0,242514	18	680
0,242514	18	700
0,242514	18	720
0,242514	18	740
0,242514	18	760
0,242514	18	780



0,242514	18	800
0,242514	18	820
0,198510	17	840
0,198510	17	860
0,198510	17	880
0,251197	14	900
0,238346	13	920
0,238346	13	940
0,238346	13	960
0,238346	13	980
0,238346	13	1000

**Πίνακας 5.** Υπολογισμός της απόστασης (εμβαδού) turning function ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

### 2.3.5 Απόσταση Turning Function ως διαφορά μηκών (Turning function distance as length difference)

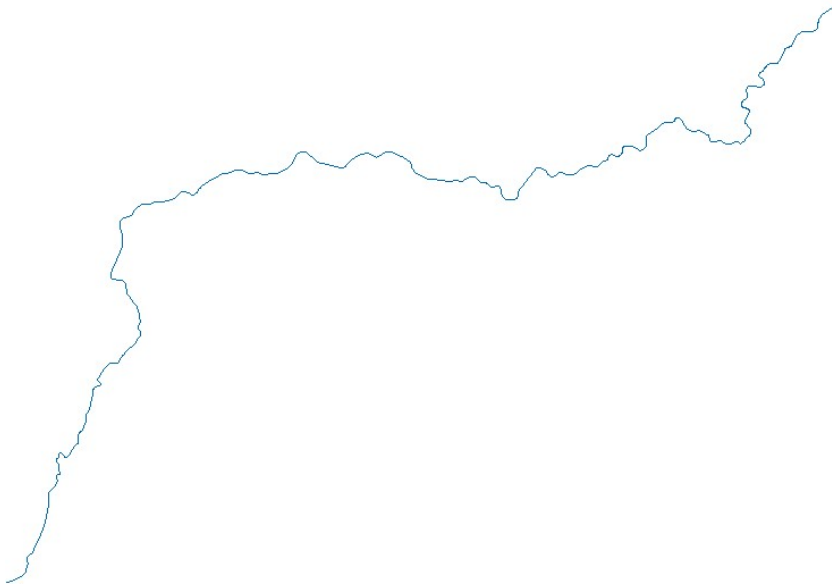
Παράλληλα με τη διαπίστωση της ακαταλληλότητας της χρήσης του εμβαδού ως απόσταση της συνάρτησης turning function παρατηρείται ότι, το μήκος της συνάρτησης turning function φθίνει σταθερά παρακολουθώντας τη μεταβολή της μορφής της γραμμής (μείωση κορυφών), (Πίνακας 6).

Τιμή ανοχής (m)	Μήκος turning function	Αριθμός κορυφών
0	74,945213	762
20	58,540714	150
40	53,603663	100
60	50,687206	81
80	49,331586	71
100	47,320056	61
120	45,986878	56
140	44,770762	52
160	43,813044	48
180	43,117282	47
200	41,933978	44
220	41,171646	42
240	40,065362	40
260	38,926992	38
280	38,926992	38
300	36,301060	34
320	35,859724	33
340	34,480742	31
360	34,480742	31
380	33,230863	28
400	31,541869	27

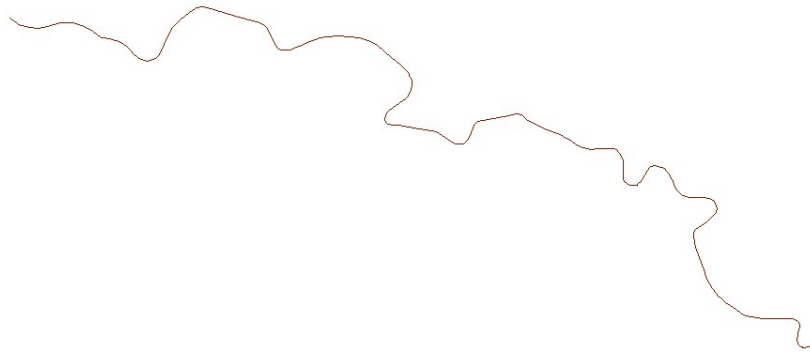
Τιμή ανοχής (m)	Μήκος turning function	Αριθμός κορυφών
420	28,589683	24
440	28,589683	24
460	26,781749	21
480	25,375497	20
500	25,375497	20
520	25,375497	20
540	25,375497	20
560	24,766421	19
580	24,227805	18
600	24,227805	18
620	24,227805	18
640	24,227805	18
660	24,227805	18
680	24,227805	18
700	24,227805	18
720	24,227805	18
740	24,227805	18
760	24,227805	18
780	24,227805	18
800	24,227805	18
820	24,227805	18
840	23,097319	17
860	23,097319	17
880	23,097319	17
900	18,826749	14
920	17,929663	13
940	17,929663	13
960	17,929663	13
980	17,929663	13
1000	17,929663	13

**Πίνακας 6.** Μήκος της turning function και αριθμός κορυφών ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

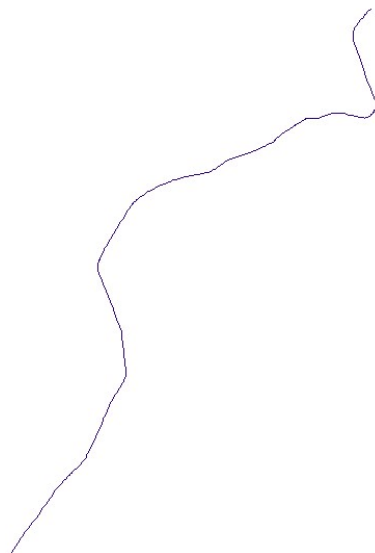
Διαπιστώνεται επιπλέον ότι, το μήκος της συνάρτησης turning function διαφοροποιείται σε σχέση με την πολυπλοκότητα της μορφής της φυσικής οντότητας με αποτέλεσμα ίδιου μήκους φυσικές οντότητες αλλά αυξημένης μορφολογικής πολυπλοκότητας (με μαιανδρισμούς) να περιγράφονται με μεγαλύτερου μήκους turning function σε σχέση με απλούστερης μορφής οντότητες, (Εικόνα 9).



- μήκος turning function= 142,47/ μήκος φυσικής γραμμής 50 km



- μήκος turning function= 41,13/ μήκος φυσικής γραμμής 50 km



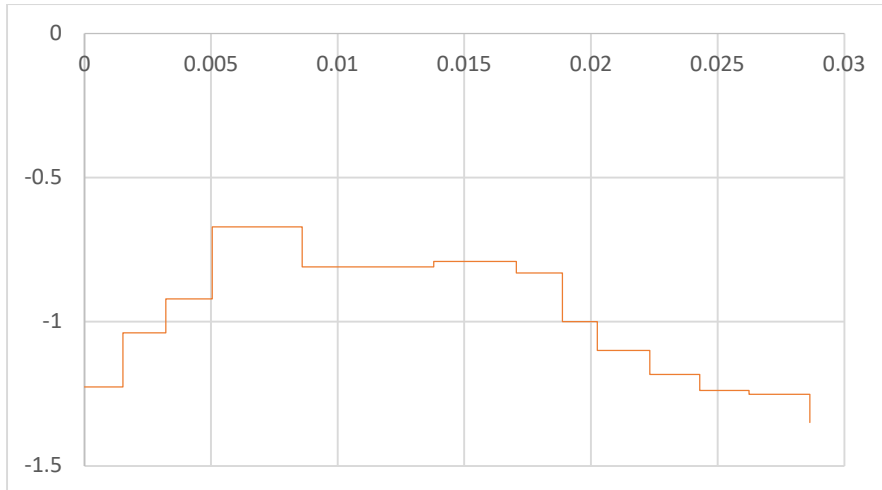
- μήκος turning function= 18,36/ μήκος φυσικής γραμμής 50 km

**Εικόνα 9.** Το μήκος της turning function αυξάνει με την πολυπλοκότητα της γραμμής για φυσικές γραμμές ίδιου μήκους .

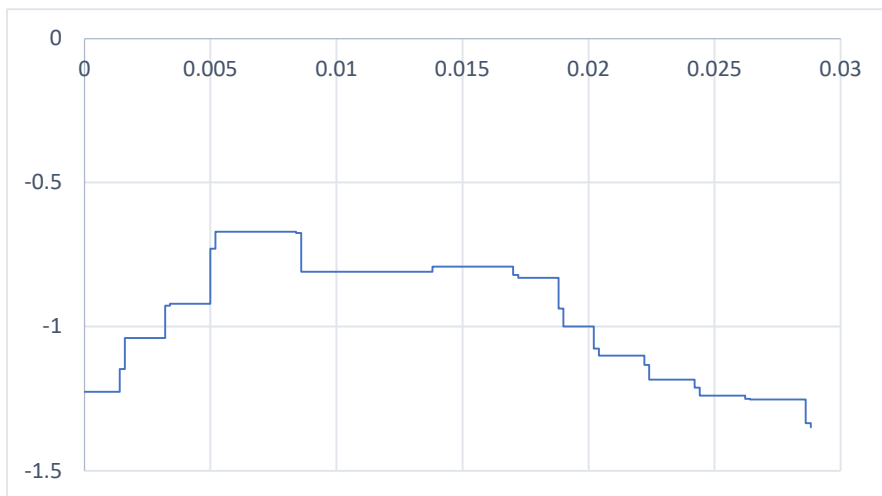
Επιπλέον, το μήκος της συνάρτησης turning function δεν επηρεάζεται από πιθανή πύκνωση της φυσικής γραμμής (Εικόνα 10).

Turning function χωρίς πύκνωση της φυσικής γραμμής		Turning function με πύκνωση της φυσικής γραμμής	
X	Y	X	Y
0	-1,226209	0	-1,226209
0,001516	-1,226209	0,0002	-1,226209
0,001516	-1,03904	0,0002	-1,226209
0,003213	-1,03904	0,0004	-1,226209
0,003213	-0,92081	0,0004	-1,226209
0,005049	-0,92081	0,0006	-1,226209
0,005049	-0,670447	0,0006	-1,226209
0,008595	-0,670447	0,0008	-1,226209
0,008595	-0,810202	0,0008	-1,226209
0,013791	-0,810202	-----	-----
0,013791	-0,791336	0,027413	-1,252549
0,017058	-0,791336	0,027613	-1,252549
0,017058	-0,831202	0,027613	-1,252549
0,018878	-0,831202	0,027813	-1,252549
0,018878	-0,999519	0,027813	-1,252549
0,020251	-0,999519	0,028013	-1,252549
0,020251	-1,100249	0,028013	-1,252549
0,022325	-1,100249	0,028214	-1,252549
0,022325	-1,183627	0,028214	-1,252549
0,024302	-1,183627	0,028414	-1,252549
0,024302	-1,239147	0,028414	-1,252549
0,02624	-1,239147	0,028614	-1,252549
0,02624	-1,252549	0,028614	-1,334803
0,028636	-1,252549	0,028814	-1,334803
0,028636	-1,349314	0,028814	-1,349314

- Turning function χωρίς πύκνωση σημείων της φυσικής γραμμής, μήκος 1,301



- Turning function με πύκνωση σημείων της φυσικής γραμμής, μήκος 1,301



**Εικόνα 10.** Το μήκος της συνάρτησης turning function δεν επηρεάζεται από πιθανή πύκνωση της φυσικής γραμμής.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα της ομαλής συμπεριφοράς του μήκους της συνάρτησης turning function σε σχέση με τη χωρική μεταβολή της γραμμής, εισάγεται ένα νέο μέτρο που αντιστοιχεί στην απόσταση της turning function ως διαφορά σταθμισμένων μηκών με τον λόγο του αριθμού των κορυφών πριν και μετά τη γενίκευση της γραμμής:

- $w_0 L_{tf \text{ αρχική}} - w_n L_{tf \text{ γενικευμένη}}$ , όπου:

$w_n = \text{αριθμός κορυφών γενικευμένης γραμμής} / \text{αριθμός κορυφών αρχικής}$

$w_0 = 1$

$L_{tf \text{ αρχική}}, L_{tf \text{ γενικευμένη}}$  τα μήκη των turning function

### Εφαρμογή – Συμπεράσματα

Το συγκεκριμένο μέτρο κατά την εφαρμογή του συμπεριφέρεται ικανοποιητικά, αυξάνει με την αύξηση της τιμής του αλγορίθμου και τη μείωση των κορυφών, (Πίνακας 7).

Μήκος turning function	Σταθμισμένο μήκος turning function	Διαφορά σταθμισμένων μηκών turning function	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
74,945213	74,945213	0,000000	762	0
58,540714	11,523763	63,421450	150	20
53,603663	7,034601	67,910612	100	40
50,687206	5,388010	69,557203	81	60
49,331586	4,596513	70,348700	71	80
47,320056	3,788088	71,157125	61	100
45,986878	3,379613	71,565600	56	120
44,770762	3,055223	71,889990	52	140
43,813044	2,759877	72,185336	48	160
43,117282	2,659465	72,285748	47	180
41,933978	2,421385	72,523828	44	200
41,171646	2,269303	72,675910	42	220
40,065362	2,103169	72,842044	40	240
38,926992	1,941241	73,003972	38	260
38,926992	1,941241	73,003972	38	280
36,301060	1,619732	73,325481	34	300
35,859724	1,552980	73,392233	33	320
34,480742	1,402760	73,542453	31	340
34,480742	1,402760	73,542453	31	360
33,230863	1,221082	73,724131	28	380
31,541869	1,117625	73,827588	27	400
28,589683	0,900462	74,044751	24	420
28,589683	0,900462	74,044751	24	440
26,781749	0,738080	74,207133	21	460
25,375497	0,666024	74,279189	20	480
25,375497	0,666024	74,279189	20	500
25,375497	0,666024	74,279189	20	520
25,375497	0,666024	74,279189	20	540
24,766421	0,617535	74,327678	19	560
24,227805	0,572310	74,372903	18	580
24,227805	0,572310	74,372903	18	600
24,227805	0,572310	74,372903	18	620
24,227805	0,572310	74,372903	18	640
24,227805	0,572310	74,372903	18	660
24,227805	0,572310	74,372903	18	680

Μήκος turning function	Σταθμισμένο μήκος turning function	Διαφορά σταθμισμένων μηκών turning function	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
24,227805	0,572310	74,372903	18	700
24,227805	0,572310	74,372903	18	720
24,227805	0,572310	74,372903	18	740
24,227805	0,572310	74,372903	18	760
24,227805	0,572310	74,372903	18	780
24,227805	0,572310	74,372903	18	800
24,227805	0,572310	74,372903	18	820
23,097319	0,515295	74,429918	17	840
23,097319	0,515295	74,429918	17	860
23,097319	0,515295	74,429918	17	880
18,826749	0,345898	74,599315	14	900
17,929663	0,305887	74,639326	13	920
17,929663	0,305887	74,639326	13	940
17,929663	0,305887	74,639326	13	960
17,929663	0,305887	74,639326	13	980
17,929663	0,305887	74,639326	13	1000

**Πίνακας 7.** Μήκος της turning function και αριθμός κορυφών ανά τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

### 2.3.6 Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Fourier descriptors distances)

Η εφαρμογή της τεχνικής συσχέτισης των μορφών με τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των διανυσμάτων αναπαράστασης των μορφών με στοιχεία τους συντελεστές του διακριτού μετασχηματισμού Fourier προϋποθέτει:

- τον υπολογισμό των συντελεστών Fourier με εφαρμογή του αντιστρόφου διακριτού μετασχηματισμού Fourier στην ακολουθία των τεταγμένων της συνάρτησης συνεχούς μεταβλητής που αναπαριστά τις συγκρινόμενες μορφές γραμμών,
- τον υπολογισμό της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των παραγόμενων διανυσμάτων με στοιχεία τους συντελεστές Fourier.

Η χρήση του αντιστρόφου διακριτού μετασχηματισμού Fourier συντελεί στην ανακατασκευή της γραμμής ως καμπύλη παρεμβολής αθροίσματος συναρτήσεων με συνιστώσες ημίτονα και συνημίτονα (Burger & Burge, 2013).

Ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier μετασχηματίζει τα δεδομένα στο διάστημα του χρόνου σε μια αναπαράσταση στο διάστημα της συχνότητας (Lyons, 2011). Είναι μια μαθηματική διαδικασία που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της συχνότητας μιας ακολουθίας διακριτού σήματος που λαμβάνεται μέσω δειγματοληψίας (sampling) ενός συνεχούς σήματος και είναι

κατάλληλος για την ανάλυση κάθε ακολουθίας διακριτών σημείων ανεξάρτητα από το τι αναπαριστά η ακολουθία (Lyons, 2011).

- $X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) * e^{-\frac{j2\pi nm}{N}} = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) * \left[ \cos\left(\frac{2\pi nm}{N}\right) - j * \sin\left(\frac{2\pi nm}{N}\right) \right]$ , όπου:
  - $m$  ο δείκτης των παραγόμενων συχνοτήτων στο πεδίο ορισμού των συχνοτήτων (0, N-1)
  - $x(n)$  η ακολουθία κάθε δείγματος,  $x(0), x(1), x(2), x(3), \dots, x(N-1)$ , μήκους  $N$
  - $n$  η χρονική παράμετρος της ακολουθίας  $x(n)$  στο πεδίο ορισμού του χρόνου (0, N-1)
  - $N$  ο αριθμός των δειγματοληψιών και των παραγόμενων συχνοτήτων
  - $j = \sqrt{-1}$

Ο δείκτης της ακολουθίας δείγματος  $n$  και ο δείκτης  $m$  των παραγόμενων συχνοτήτων λαμβάνουν τιμές στο διάστημα (0, N-1) για αριθμό δειγμάτων  $N$  και παραγόμενες συχνότητες  $N$ . Αυτό σημαίνει ότι μέσω του διακριτού μετασχηματισμού Fourier επιτυγχάνεται η απόδοση του φάσματος συχνότητας που περιέχεται στα  $N$  σημεία χρόνου του δείγματος σε  $N$  ισαπέχοντα σημεία συχνοτήτων (Lyons, 2011). Αντιστρέφοντας τη διαδικασία και εκτελώντας τον αντίστροφο διακριτό μετασχηματισμό Fourier στις τιμές του διαστήματος συχνότητας  $X(m)$  ανακτάται το πρωτότυπο σήμα στο διάστημα του χρόνου (Lyons, 2011):

- $x(n) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X(m) * e^{\frac{j2\pi nm}{N}} = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X(m) * \left[ \cos\left(\frac{2\pi nm}{N}\right) + j * \sin\left(\frac{2\pi nm}{N}\right) \right]$

Σημαντική επιρροή στην εκτίμηση της καταλληλότητας της τεχνικής συσχέτισης των μορφών με τον υπολογισμό της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των διανυσμάτων αναπαράστασης των μορφών με στοιχεία τους συντελεστές του διακριτού μετασχηματισμού Fourier, ασκεί η επιλογή της εφαρμοστέας συνάρτησης αναπαράστασης της μορφής. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι πιο διαδεδομένες στη διεθνή βιβλιογραφία συναρτήσεις αναπαράστασης της μορφής με διάφορες τροποποιήσεις, κατάλληλες για την απόδοση της μορφής μιας γραμμής (ανοιχτής ή κλειστής) με την εφαρμογή του αντιστρόφου διακριτού μετασχηματισμού Fourier.

### 2.3.6.1 Συντεταγμένες μιγαδικής μορφής (complex coordinates)

Η απόδοση της μορφής της γραμμής με τη χρήση σημείων της γραμμής με συντεταγμένες εκφρασμένες σε μιγαδική μορφή (complex coordinates) κατά τον Gösta Granlund (1972), εφαρμόζεται σε ανοιχτές και κλειστές γραμμές (Richard & Hemami, 1974), (Burger & Burge, 2013), (Zhang & Lu, 2001). Χρησιμοποιούνται οι κορυφές της γραμμής ή οι συντεταγμένες των εικονοστοιχείων (pixels), εκφρασμένες και στις δύο περιπτώσεις σε μιγαδική μορφή (Kauppinen et al., 1995), (Kunttu et al., 2004).

- Για τις ανοιχτές γραμμές:



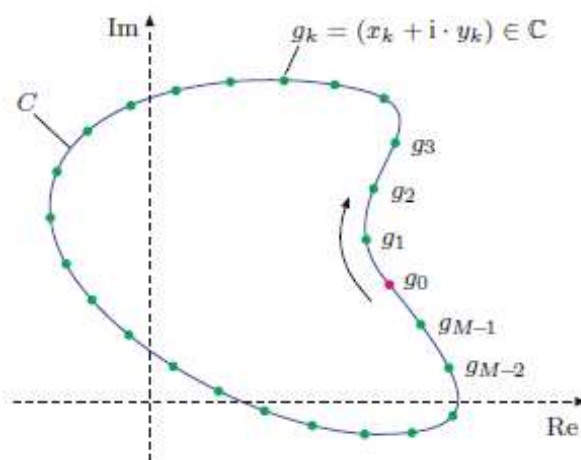
$$z(t) = x(t) + iy(t), \quad t \in (0, M), M \text{ ο αριθμός των κορυφών}$$

- Για τα πολύγωνα η σχέση διαμορφώνεται με τη χρήση του κέντρου βάρους διασφαλίζοντας την ανεξαρτησία σε μετάθεση (Kauppinen et al., 1995), (Kunttu et al., 2004), (Zhang & Lu, 2002), (Hu & Li, 2013), (Εικόνα 11):

$$z(t) = (x(t) - x_c) + i(y(t) - y_c), \quad t \in (0, M - 1), M \text{ ο αριθμός των κορυφών}$$

$$x_c = \frac{1}{M} \sum_0^M x(t),$$

$$y_c = \frac{1}{M} \sum_0^M y(t),$$



**Εικόνα 11.** Απόσπασμα εικόνας από τους Wilhelm Burger και Mark Burge (2013). Απόδοση της μορφής κλειστής γραμμής με τη χρήση σημείων της γραμμής με συντεταγμένες εκφρασμένες σε μιγαδική μορφή (complex coordinates).

### 2.3.6.2 Συνάρτηση αθροιστικής καμπυλότητας (cumulative angular function)

Η συνάρτηση αθροιστικής καμπυλότητας (cumulative angular function) κατά τους Charles Zahn και Ralph Roskies (1972) περιγράφει τη μορφή μιας κλειστής καμπύλης με μήκος περιμέτρου  $L$  ως τη γωνία διαφοράς  $\varphi(l)$  της γωνίας της εφαπτομένης σε κάθε σημείο της κλειστής καμπύλης με τη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του πρώτου τμήματος της καμπύλης με τον άξονα  $x$ , (Εικόνα 12).

- $\varphi(l) = \theta(l) - \theta(0)$

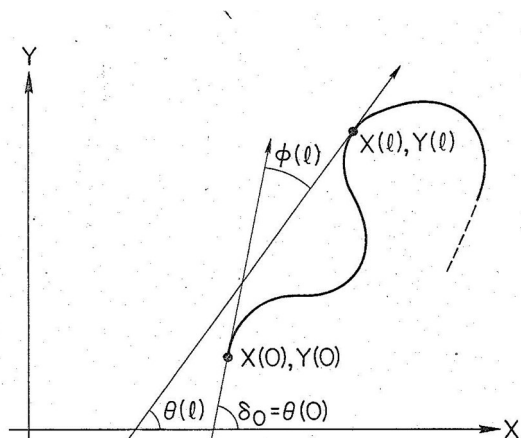
Θεωρώντας ότι η κλειστή κυρτή καμπύλη διατρέχεται δεξιόστροφα, ισχύει ότι το άθροισμα των εξωτερικών γωνιών της είναι ίσο με  $-2\pi$ , οπότε ισχύει  $\varphi(L) = -2\pi$ . Επομένως, το διάστημα ορισμού  $(0, L)$  της συνάρτησης  $\varphi(l)$  μπορεί να εξομαλυνθεί στο διάστημα  $(0, 2\pi)$  μιας περιοδικής συνάρτησης. Η συνάρτηση

$\varphi(l)$  με εξομάλυνση στο διάστημα  $(0, 2\pi)$ , είναι ανεξάρτητη της μετάθεσης και της κλίμακας.

Στην παρούσα εφαρμογή, χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση αθροιστικής καμπυλότητας περιορισμένη στο διάστημα  $(0, 2\pi)$  όπως μορφοποιήθηκε από τον Peter Van Otterloo (1988):

- $\varphi(t) = [\theta(t) - \theta(0)] \bmod(2\pi)$ , όπου:

$[\theta(t) - \theta(0)]$  η διαφορά μεταξύ των εξωτερικών γωνιών  $\theta(t)$  και της αρχικής γωνίας  $\theta(0)$  με τον άξονα  $x$  σε κάθε κορυφή  $t$  της γραμμής,  $t \in (0, M-1)$ ,  $M$  ο αριθμός των κορυφών.



**Εικόνα 12.** Απόσπασμα εικόνας από τους Charles Zahn και Ralph Roskies (1972). Η γωνία διαφοράς  $\varphi(l)$  της εφαπτόμενης γωνίας  $\theta(l)$  σε σημείο κυρτής καμπύλης με την αρχική γωνία  $\theta(0)$  που σχηματίζεται με τον άξονα  $x$ .

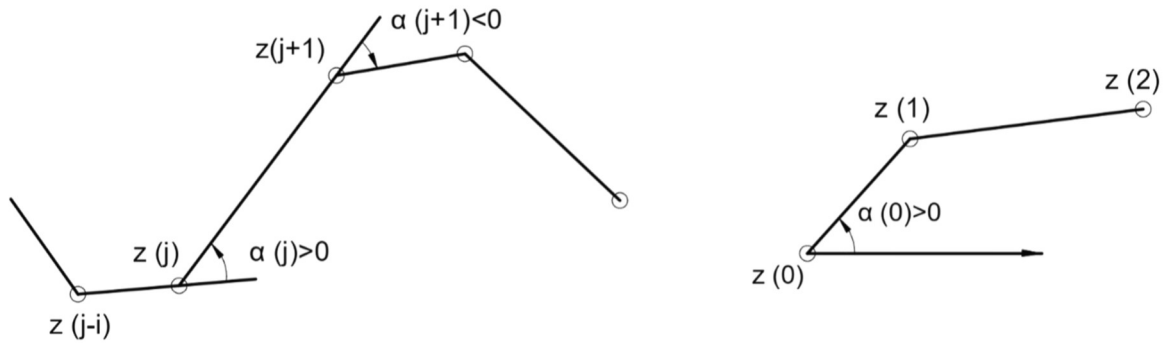
### 2.3.6.3 Εκθετική συνάρτηση μιγαδικής τιμής της συνολικής καμπυλότητας της καμπύλης (complex-valued exponential function of the total curvature of the curve)

Η εκθετική συνάρτηση μιγαδικής τιμής της συνολικής καμπυλότητας της καμπύλης εφαρμόζεται στις ανοιχτές γραμμές, είναι ανεξάρτητη της μετάθεσης και της κλίμακας (Uesaka, 1984):

- $w(j) = \exp(i \theta(j))$ , όπου  $j \in (0, M-1)$ ,  $M$  ο αριθμός των κορυφών

$\theta(j)$  ορίζεται ως εξής: 
$$\begin{cases} \theta(0) = \alpha(0) \\ \theta(j) = \theta(j-1) + \alpha(j) \end{cases}, j = 1, 2, 3, \dots, M-1, \text{ όπου:}$$

$\alpha(0)$  η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του άξονα  $x$  και του πρώτου διανύσματος της γραμμής και  $\alpha(j)$  η γωνία της εφαπτομένης στην κορυφή  $j$  της γραμμής. Η γωνία  $\alpha(j)$  ορίζεται στο διάστημα  $(-\pi, \pi)$  και λαμβάνει θετικό πρόσημο όταν μετρείται αριστερόστροφα ή αρνητικό όταν μετρείται δεξιόστροφα, (Εικόνα 13).



**Εικόνα 13.** Αντίγραφο εικόνας από τον Yoshinori Uesaka (1984). Παρουσιάζονται οι θέσεις των γωνιών εφαπτομένης  $\alpha(j)$  ενός πολυγώνου, με πρόσημο και η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του άξονα x και του πρώτου διανύσματος της γραμμής.

#### 2.3.6.4 Κεντροειδής απόσταση (centroid distance)

Η συνάρτηση αναπαράστασης της μορφής της γραμμής ως Ευκλείδεια απόστασης του κάθε σημείου της κλειστής γραμμής από το κέντρο βάρους της (centroid distance) είναι ανεξάρτητη της μετάθεσης (Kaupinnen, 1995), (Zhang & Lu, 2002):

- $r(t) = ((x(t) - x_c)^2 + (y(t) - y_c)^2)^{\frac{1}{2}}, t \in (0, M - 1), M$  ο αριθμός των κορυφών

$$x_c = \frac{1}{M} \sum_1^M x(t)$$

$$y_c = \frac{1}{M} \sum_1^M y(t)$$

#### 2.3.6.5 Εφαρμογή τεχνικής συσχέτισης των μορφών με χρήση των συντελεστών Fourier – Συμπεράσματα

Η διαδικασία της συσχέτισης των μορφών εξελίσσεται στα ακόλουθα στάδια.

A. Πύκνωση των συσχετιζόμενων γραμμών (κλειστών ή ανοιχτών) με ίσο αριθμό ισαπεχόντων σημείων για την ορθή εφαρμογή του διακριτού μετασχηματισμού Fourier.

- Επιλογή ελάχιστης απόστασης πύκνωσης 10 m για την αρχική γραμμή μήκους L, υπολογισμός ακέραιου αριθμού σημείων πύκνωσης  $n = \text{int}(L / 10)$  και επανυπολογισμός της απόστασης πύκνωσης με ακρίβεια δεκαδικών ψηφίων  $dl = L / n$ .

- ii. Με βάση τον αριθμό  $n$  των σημείων πύκνωσης που υπολογίστηκαν στο βήμα (i) υπολογίζεται αντίστοιχα και με την ίδια διαδικασία, η απόσταση πύκνωσης για κάθε γενικευμένη γραμμή.
- iii. Υπολογίζεται η γωνία διεύθυνσης  $\alpha$  σε κάθε κορυφή των συσχετιζόμενων γραμμών σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο του μέτρου ομοιότητας της απόστασης μεταξύ των turning function (§ 2.3.4).
- iv. Διαμορφώνονται δύο κατάλογοι για κάθε συσχετιζόμενη γραμμή: ο αθροιστικός κατάλογος με τα μήκη των ευθυγράμμων τμημάτων  $l$  που αποτελούν τη γραμμή ( $l_1, l_1 + l_2, l_1 + l_2 + l_3, \dots, \Sigma l$ ) και ο αθροιστικός κατάλογος με τα μήκη πύκνωσης  $dl$  της γραμμής ( $dl_1, dl_1 + dl_2, dl_1 + dl_2 + dl_3, \dots, \Sigma dl$ ). Με συσχέτιση των μηκών μεταξύ των δύο καταλόγων αντιστοιχίζεται κάθε μία γωνία διεύθυνσης κορυφής που είχε υπολογιστεί στο βήμα (ii) σε κάθε σημείο πύκνωσης ώστε τα σημεία πύκνωσης που ανήκουν στο ίδιο ευθύγραμμο τμήμα της γραμμής  $l$  να αποκτούν ως γωνία διεύθυνσης τη γωνία διεύθυνσης της πρώτης κορυφής του τμήματος  $l$ .
- v. Υπολογισμός των συντεταγμένων των σημείων πύκνωσης σύμφωνα με το 1<sup>ο</sup> θεμελιώδες πρόβλημα της τοπογραφίας (Λάμπρου & Πανταζής, 2010), θεωρώντας γνωστές τις συντεταγμένες της πρώτης κορυφής:

$$X_k = X_{k-1} + dl_{k-1,k} * \sin(a_{k-1,k})$$

$$Y_k = Y_{k-1} + dl_{k-1,k} * \cos(a_{k-1,k}), \text{ για } k \in (1, M)$$

Σημειώνεται ότι, οι αρχικές κορυφές της γραμμής καταργούνται μετά την πύκνωση του μήκους της, εκτός από την κορυφή αρχής. Διαφορετικά, δεν θα ήταν δυνατή η ισαποχή των σημείων πύκνωσης. Εξαιτίας της πύκνωσης παρατηρείται μία αλλοίωση της μορφής της γραμμής. Επειδή όμως, το βήμα της πύκνωσης επιλέγεται αρκετά μικρότερο ( $\approx <10$  m) της διακριτικής ικανότητας (0,25 mm) στην κλίμακα αναφοράς της αρχικής γραμμής 1:250.000 (62.5 m), η αλλοίωση θεωρείται αμελητέα.

B. Απόδοση των μορφών των συγκρινόμενων γραμμών (ανοιχτών ή κλειστών) με τη χρήση των συναρτήσεων αναπαράστασης της μορφής.

- Για τις ανοιχτές γραμμές χρησιμοποιήθηκαν οι συναρτήσεις αναπαράστασης της μορφής των Gösta Grunland (1972), Charles Zahn και Ralph Roskies (1972), Yoshinori Uesaka (1984),
- Για τις κλειστές γραμμές χρησιμοποιήθηκαν οι συναρτήσεις αναπαράστασης της μορφής των Gösta Grunland (1972), Charles Zahn και Ralph Roskies (1972) και η κεντροειδής απόσταση (Zhang & Lu, 2002).

Συγκεκριμένα υπολογίστηκαν οι τεταγμένες των επιλεγμένων συναρτήσεων αναπαράστασης της μορφής για κάθε σημείο πύκνωσης των συγκρινόμενων γραμμών (ανοιχτών ή κλειστών). Στις περιπτώσεις υπολογισμού των συναρτήσεων αναπαράστασης της μορφής της γραμμής που προτείνονται από

τους Charles Zahn και Ralph Roskies (1972) και Yoshinori Uesaka (1984) στη διαδικασία των οποίων εμπλέκονται οι υπολογισμοί των αζιμουθίων, των γωνιών εφαπτομένης και της γωνίας μεταξύ του πρώτου τμήματος της κάθε γραμμής και του άξονα  $x$  ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε στην παράγραφο του μέτρου ομοιότητας της απόστασης μεταξύ των turning function (§ 2.3.4). Δείγμα των συντελεστών της αναπαράστασης της μορφής μιας αρχικής γραμμής/ ενός αρχικού πολυγώνου ανά αναπαράσταση μορφής εμφανίζεται στους Πίνακες 8 (γραμμή), 9 (πολύγωνο), στήλη 1.

Γ. Υπολογισμός των συντελεστών του αντιστρόφου διακριτού μετασχηματισμού Fourier.

- $x(n) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X(m) * e^{-\frac{j2\pi nm}{N}} = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X(m) * \left[ \cos\left(\frac{2\pi nm}{N}\right) + j * \sin\left(\frac{2\pi nm}{N}\right) \right]$ , όπου:
  - $x(n)$  ο ζητούμενος συντελεστής Fourier
  - $X(m)$  η συνάρτηση αναπαράστασης της μορφής της γραμμής
  - $N$  το μήκος της ακολουθίας  $X(m)$  ίσο με  $M$  αριθμό σημείων
  - $n, m \in (0, N-1)$ , με αρχή αρίθμησης σημείων το 0

Ειδικότερα, εφαρμόστηκε ο μετασχηματισμός Fast Fourier με αντιστροφή ο οποίος εφαρμόζει τον διακριτό μετασχηματισμό Fourier με αντιστροφή με αυξημένη υπολογιστική ταχύτητα (Lyons, 2011) και παρέχεται από τη βιβλιοθήκη SciPy στη γλώσσα προγραμματισμού Python:

<https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/tutorial/fft.html>.

Δείγμα των συντελεστών Fourier μιας αρχικής γραμμής/ ενός αρχικού πολυγώνου ανά αναπαράσταση μορφής εμφανίζεται στους Πίνακες 8 (γραμμή), 9 (πολύγωνο), στήλη 2.

Δ. Υπολογισμός του πλάτους (magnitude).

Για την εξασφάλιση της ανεξαρτησίας των μέτρων σε σχέση με τη στροφή των συσχετιζόμενων μορφών διατηρείται ως τιμή μόνο το πλάτος (magnitude) των παραγόμενων συντελεστών σε μιγαδική μορφή και παραλείπεται η φάση (Zahn & Lu, 2002).

- $|x(n)| = \sqrt{x^2 + y^2}$  ή  $|x(n)| = \text{abs}(x + jy)$ 
  - $n \in (0, N-1)$  για αρίθμηση σημείων με αρχή αρίθμησης το 0 και  $N$  το μήκος της ακολουθίας.

Ε. Εξασφάλιση ανεξαρτησίας του μέτρου στη μετάθεση και την κλίμακα.

Στις τρεις περιπτώσεις εφαρμογής των συναρτήσεων αναπαράστασης της μορφής σε κλειστές γραμμές κατά Gösta Grunland (1972), Charles Zahn και Ralph Roskies (1972) και κεντροειδούς απόστασης (Zhang & Lu, 2002), διατηρείται η ανεξαρτησία σε μετάθεση. Η ίδια συνθήκη ισχύει αντίστοιχα στις περιπτώσεις

των συναρτήσεων αναπαράστασης της μορφής των ανοιχτών γραμμών κατά Charles Zahn και Ralph Roskies (1972) και Yoshinori Uesaka (1984). Στην περίπτωση της συνάρτησης αναπαράστασης της μορφής των ανοιχτών γραμμών κατά Gösta Grunland (1972) η ανεξαρτησία σε μετατόπιση διασφαλίζεται εξαιτίας της φύσης του αλγορίθμου γενίκευσης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) που διατηρεί τις θέσεις της αρχικής και τελικής κορυφής της γραμμής.

Για την εξασφάλιση της ανεξαρτησίας στην κλίμακα οι παραγόμενοι συντελεστές της εφαρμογής του διακριτού μετασχηματισμού Fourier εξομαλύνονται (Kauppinen et al., 1995), (Kunttu et al., 2004), (Zhang & Lu, 2002), (Hu & Li, 2013):

- κατά Gösta Grunland (1972), με τη διαίρεσή τους με τον δεύτερο συντελεστή Fourier,

$$\frac{|x(2)|}{|x(1)|}, \frac{|x(3)|}{|x(1)|}, \frac{|x(4)|}{|x(1)|}, \dots, \frac{|x(n)|}{|x(1)|}$$

- $n \in (0, N-1)$  για αρίθμηση σημείων με αρχή αρίθμησης το 0 και N το μήκος της ακολουθίας.

- κεντροειδής απόσταση (Zhang & Lu, 2002), με τον πρώτο συντελεστή Fourier (DC component),

$$\frac{|x(1)|}{|x(0)|}, \frac{|x(2)|}{|x(0)|}, \frac{|x(3)|}{|x(0)|}, \dots, \frac{|x(n)|}{|x(0)|}$$

- $n \in (0, N-1)$  για αρίθμηση σημείων με αρχή αρίθμησης το 0 και N το μήκος της ακολουθίας.

Ο πρώτος συντελεστής του διακριτού μετασχηματισμού Fourier  $x(0)$  προκύπτει για  $n=0$  σύμφωνα με την εξίσωση του αντιστρόφου διακριτού μετασχηματισμού Fourier, ως ο μέσος όρος της ακολουθίας  $X(m)$ , όπου  $X(m)$  η συνάρτηση αναπαράστασης της μορφής της γραμμής. Στην περίπτωση της συνάρτησης αναπαράστασης της μορφής κατά Gösta Grunland (1972) ο συντελεστής  $x(0)$  απορρίπτεται καθώς περιέχει πληροφορία μόνο για τη θέση της γραμμής.

Οι συναρτήσεις αναπαράστασης της μορφής κατά Charles Zahn και Ralph Roskies (1972) και Yoshinori Uesaka (1984) είναι ανεξάρτητες της κλίμακας επομένως οι παραγόμενοι συντελεστές του διακριτού μετασχηματισμού Fourier χρησιμοποιούνται χωρίς εξομάλυνση.

#### Ε. Διανύσματα Fourier.

Διαμορφώνονται για κάθε συνάρτηση αναπαράστασης της μορφής τα ακόλουθα διανύσματα με στοιχεία τους συντελεστές του διακριτού μετασχηματισμού Fourier:

- Κατά Gösta Grunland (1972):

$$\left[ \frac{|x(2)|}{|x(1)|}, \frac{|x(3)|}{|x(1)|}, \frac{|x(4)|}{|x(1)|}, \dots, \frac{|x(n)|}{|x(1)|} \right]$$

- Κατά Charles Zahn και Ralph Roskies (1972):

$$[|x(0)|, |x(1)|, |x(2)|, \dots, |x(n)|]$$

- Κατά Yoshinori Uesaka (1984):

$$[|x(0)|, |x(1)|, |x(2)|, \dots, |x(n)|]$$

- Κεντροειδής απόσταση (Zhang & Lu, 2002):

$$\left[ \frac{|x(1)|}{|x(0)|}, \frac{|x(2)|}{|x(0)|}, \frac{|x(3)|}{|x(0)|}, \dots, \frac{|x(n)|}{|x(0)|} \right]$$

- $n \in (0, N-1)$  για αρίθμηση σημείων με αρχή αρίθμησης το 0 και N το μήκος της ακολουθίας.

Δείγμα των διανυσμάτων Fourier μιας αρχικής γραμμής/ ενός αρχικού πολυγώνου ανά αναπαράσταση μορφής εμφανίζεται στους Πίνακες 8 (γραμμή), 9 (πολύγωνο), στήλη 3.

ΣΤ. Υπολογισμός των Ευκλείδειων αποστάσεων μεταξύ των παραγόμενων διανυσμάτων με στοιχεία τους συντελεστές του διακριτού μετασχηματισμού Fourier.

Δείγμα των υπολογισμών των Ευκλείδειων αποστάσεων της αρχικής γραμμής/ αρχικού πολυγώνου ανά αναπαράσταση μορφής εμφανίζεται στους Πίνακες 10 (γραμμή), 11 (πολύγωνο).

Από τα αποτελέσματα της εφαρμογής προκύπτει ότι η χρήση των συντελεστών Fourier ενδείκνυται για τη διαπίστωση της μεταβολής της μορφής της γραμμής (ανοιχτής ή κλειστής) καθώς οι τιμές των αποστάσεων μεταξύ των διανυσμάτων των συντελεστών Fourier των συσχετιζόμενων γραμμών παρουσιάζουν μεταβολή σε σχέση με τη χωρική μεταβολή της οντότητας. Δεν ενδείκνυται παρόλα αυτά για την εκτίμηση της κατάστασης των γενικευμένων μορφών και την αξιολόγηση του βαθμού διατήρησής τους καθώς οι διαφορές μεταξύ των τιμών του μέτρου είναι μικρές οπότε καθίσταται δυσχερής η διαφοροποίησή τους, εμφανίζονται επίσης διακυμάνσεις στις τιμές των αποστάσεων σε αρκετές περιπτώσεις ζευγών τιμών ανά ελεγχόμενη οντότητα (Πίνακες 10, 11) και απαιτείται η πύκνωση των γραμμών που προϋποθέτει υπολογιστική ισχύ.

Παράμετροι μορφής κατά (Grunland, 1972)	Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform (Grunland, 1972)	Εξομάλυνση Πλάτους συντελεστών Fourier - Magnitude/X(1) (Grunland, 1972)
3976343,9554+2737868,9591j	3968353,6966420696+2725731,9046107745j	
3976342,13362+2737859,12644j	-3941,8843475756016+1445,616302905863j	

Παράμετροι μορφής κατά (Grunland, 1972)	Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform (Grunland, 1972)	Εξομάλυνση Πλάτους συντελεστών Fourier - Magnitude/X(1) (Grunland, 1972)
3976340,31184+2737849,29379j	-1480,125357320308+678,1661030252569j	0,387769789
3976338,41267+2737839,47618j	-1185,662869116592+639,7676846645554j	0,320882082
3976336,41713+2737829,67731j	-1095,663011542938+196,3313950351138j	0,265115461
3976334,42158+2737819,87845j	-547,5131234706664+556,7257106765119j	0,185976652
3976332,42604+2737810,07958j	-780,2619152877069+438,4970919123628j	0,213174622
3976331,12313+2737800,17603j	-675,4182696463048+129,16167660310512j	0,163782448
3976330,13391+2737790,22508j	-498,2531373228771+397,1029710707083j	0,151750433
3976329,14468+2737780,27413j	-441,01958118093324+358,1852008472345j	0,135318954
3976328,15545+2737770,32318j	-435,8507847898231+206,38079412547967j	0,114858148
3976327,1987+2737760,36943j	-357,36903226597013+161,74428747981133j	0,093428137
3976326,47261+2737750,39583j	-259,63352797280555+173,44770130782186j	0,074367556
3976325,74653+2737740,42222j	-335,38232648564815+173,41465085661824j	0,089925925
3976325,02045+2737730,44862j	-375,61484994061726+141,64277834701062j	0,09561133
3976324,29436+2737720,47501j	-292,2616306027335+189,93793406303826j	0,083017838
3976323,88355+2737710,49677j	-222,66683707157196+89,82399216277595j	0,057186128
3976324,31582+2737700,50611j	-238,1496799035155+97,33163937698717j	0,061275558
3976324,7481+2737690,51546j	-228,84191370347642+113,6193982474074j	0,060852535

Παράμετροι μορφής κατά (Zahn & Roskies, 1972)	Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform (Zahn & Roskies, 1972), (Otterloo, 1988)	Πλάτος συντελεστών Fourier - Magnitude (Zahn & Roskies, 1972)
0	1,7543033142969864+0j	1,754303
1,753997384	0,00021297951367564469-0,0001267643646869387j	0,000248
1,746112877	-0,00018396863972154384-0,00021908024643765462j	0,000286
1,744180168	-0,000566646271702217-0,0005697330397806576j	0,000804
1,753997384	-0,00012899269754805456+0,0004969792840584553j	0,000513
1,753997384	-1,9035176057921534e-05-0,002263997543148267j	0,002264
1,824091228	0,0008875187829706841-0,001220644653500212j	0,001509
1,785721625	-0,00039145592502765633+0,0015339640754911848j	0,001583
1,753997384	0,0003161892829114832-0,0016736525794504944j	0,001703
1,753997384	0,00016392975485322295-0,0032742285253794324j	0,003278
1,757256473	-0,0007691578192549072-0,00019950464714199842j	0,000795
1,777150567	-0,0009356224699744488+0,0005702932434885731j	0,001096
1,753997384	-0,0005734376936252026-0,0009923609912850764j	0,001146



Παράμετροι μορφής κατά (Zahn & Roskies, 1972)	Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform (Zahn & Roskies, 1972), (Otterloo, 1988)	Πλάτος συντελεστών Fourier - Magnitude (Zahn & Roskies, 1972)
1,753997384	0,0007137136270476262-0,000289080800665403j	0,00077
1,753997384	0,00043170254252025675+0,001035905941923604j	0,001122
1,78552286	0,0013001731633917794-0,0019573880477385805j	0,00235
1,83838485	-0,001959356732819959+0,0012461258854864592j	0,002322
1,753997384	-0,003623620223431671+0,0010643413892946312j	0,003777
1,753997384	-0,0012425481735899905-0,0007945146285236682j	0,001475

Παράμετροι μορφής κατά (Uesaka, 1984)	Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform (Uesaka, 1984)	Πλάτος συντελεστών Fourier - Magnitude (Uesaka, 1984)
-0,182177990341-0,983265569333j	-0,2186761333160121-0,5030086034740778j	0,548486013
-0,182177990341-0,983265569333j	-0,03732189331908138-0,007449714731019614j	0,038058139
-0,189924810964-0,981798638306j	-0,04896352043815466-0,13067656391023671j	0,139548524
-0,199554033141-0,979886824004j	0,021492114270087424-0,05561000359709194j	0,05961865
-0,199554033185-0,979886823995j	-0,12147639380935693+0,04835736660560162j	0,130747655
-0,199554033141-0,979886824004j	0,1292751638674833-0,15838600765762453j	0,20444607
-0,130436208434-0,99145670381j	0,11001751761374746+0,08587035793391085j	0,139562074
-0,098922640708-0,995095126687j	-0,10758608971120852+0,09211678393901025j	0,141634278
-0,0989226407495-0,995095126682j	0,17749887962150845-0,0008488467213789148j	0,177500909
-0,0989226407541-0,995095126682j	0,18367579873659542-0,0029373140025365724j	0,183699284
-0,0956790168392-0,995412239093j	0,03784216028149446+0,04624975508742235j	0,059758422
-0,0726084693205-0,997360521669j	0,00156824122179178-0,007165590970719042j	0,007335194
-0,0726084693239-0,997360521668j	0,03908142318387881-0,10997084460760011j	0,116708801
-0,0726084693205-0,997360521669j	0,06061118201352924+0,046092558557966845j	0,076146171
-0,0726084693702-0,997360521665j	0,026155047045696392+0,15981462820412262j	0,161940736
-0,0411353330349-0,999153583978j	0,135037298268492+0,05071148414591039j	0,144245369
0,0432270504177-0,9990652742j	-0,042516872098306485-0,05256629988981606j	0,067608434
0,0432270504662-0,999065274198j	-0,01599534050247758+0,008360030364812338j	0,018048297
0,0432270504198-0,9990652742j	0,03288354735037283+0,017603522544520175j	0,03729895

**Πίνακας 8.** Δείγμα αποτελεσμάτων ανά αναπαράσταση μορφής: Παράμετροι μορφής ανά κορυφή/ Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform ανά κορυφή / Διάνυσμα Fourier ανά κορυφή (γραμμή #1018).

Παράμετροι μορφής κατά (Grunland, 1972)	Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform (Grunland, 1972)	Εξομάλυνση Πλάτους συντελεστών Fourier - Magnitude/X(1) (Grunland, 1972)
-2754,31106112-1990,24649498j	1,8314842098879047e-09+8,933062286169546e-09j	
-2750,08440769-1981,17978404j	-1350,1486392485695-1796,6444147067173j	
-2745,85775425-1972,1130731j	-10,03153591084633+197,57037562294195j	0,088023663
-2741,63110081-1963,04636216j	-148,80843058020736+211,7611884389499j	0,115163
-2737,40444738-1953,97965121j	-122,02546538450173-75,9034139019457j	0,063943259
-2733,17779394-1944,91294027j	-128,95330480538954+24,58722738192017j	0,058412406
-2728,9511405-1935,84622933j	-25,78346356196362-62,01399563556485j	0,029883534
-2724,72448706-1926,77951839j	11,018142286764652-53,719471670877304j	0,024400477
-2720,49783363-1917,71280744j	-44,43984882479923-25,04820276558057j	0,022698557
-2716,00663709-1908,77665183j	-56,71372910233605+27,963265384891333j	0,028135923
-2711,38131727-1899,90668773j	19,408304276596624+15,880893305627744j	0,011158457
-2706,75599745-1891,03672363j	-41,75516098112247-13,773647803813573j	0,019564001
-2702,13067763-1882,16675952j	-7,859439501589862-26,400063465304996j	0,012256411
-2697,50535781-1873,29679542j	3,4652300831290557-13,957753987425633j	0,006399143
-2692,88003799-1864,42683132j	-16,61187470362336+13,104370731040037j	0,009414599
-2688,25471817-1855,55686722j	1,3792595820015205+17,027667281816736j	0,007601403
-2683,62939835-1846,68690312j	-19,905058829767686+11,039507230524245j	0,010127863
-2679,00407853-1837,81693902j	6,157090884827578-34,606545890676166j	0,015640257
-2674,37875871-1828,94697492j	-15,503076726321046+11,119391194599418j	0,008489087
-2754,31106112-1990,24649498j	1,8314842098879047e-09+8,933062286169546e-09j	0,008893204

Παράμετροι μορφής κατά (Zahn & Roskies, 1972)	Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform (Zahn & Roskies, 1972), (Otterloo, 1988)	Πλάτος συντελεστών Fourier - Magnitude (Zahn & Roskies, 1972)
0	5,1440012719092865+0j	5,144001272
5,148610463	-0,0017904469658284506+2,3464806939001832e-05j	0,001790601
5,148610463	-0,001622055347212654+0,0008673169505583879j	0,001839376
5,148610463	-0,003219519816933244-0,0001407509033417536j	0,003222595
5,148610463	-0,004020639256244197+0,0031255523734881907j	0,005092604
5,148610463	-0,004071640755485328+0,00011737262486515116j	0,004073332
5,148610463	-0,005808815565642156-0,002806176333880083j	0,006451121
5,148610463	-0,0037855274300518395-0,0002058633395347099j	0,003791121
5,119116798	-0,0023369305733907356+0,0006731644804548392j	0,002431953
5,133658793	0,0006938659725119597-0,0010455109847634747j	0,001254808
5,148610463	-0,004429535221417755+0,003560446295807789j	0,005683094

Παράμετροι μορφής κατά (Zahn & Roskies, 1972)	Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform (Zahn & Roskies, 1972), (Otterloo, 1988)	Πλάτος συντελεστών Fourier - Magnitude (Zahn & Roskies, 1972)
5,148610463	-0,0029827150896653007-0,0006949557586368401j	0,003062606
5,148610463	-0,00401085868601509-0,0030097851061902307j	0,005014558
5,148610463	-0,002549925900643563+0,0024248563128655438j	0,003518814
5,148610463	0,0032989218766772952+0,0010367371243519233j	0,003457992
5,148610463	-0,0031452940225281524+0,0036340791381921384j	0,004806184
5,148610463	-0,004472591748267043-0,003500552786292639j	0,005679608
5,148610463	-0,005470774804925761+0,004921070205848967j	0,007358418
5,148610463	0,002217698361155597-0,0011889888454640182j	0,002516323

Παράμετροι μορφής "κεντροειδής απόσταση" (Zhang & Lu, 2002)	Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform "κεντροειδής απόσταση" (Zhang & Lu, 2002)	Εξομάλυνση Πλάτους συντελεστών Fourier - Magnitude/X(0) "κεντροειδής απόσταση" (Zhang & Lu, 2002)
3398.133389	2306.3250565731123+0j	
3389.400771	-49.15609330034086-57.10100355492567j	0.03266879
3380.675196	37.632658055747754+19.06508405318559j	0.018291621
3371.956719	180.87156904239197+68.6214304683876j	0.083878615
3363.245395	105.50921050171208-199.9939356356408j	0.098042955
3354.54128	95.26133728817032-22.416132126945502j	0.042432526
3345.84443	114.95161361718435+78.03242215221037j	0.060240855
3337.154902	25.68577787200054-20.24886661597847j	0.014181621
3328.472754	6.096353988103088-4.612092758788461j	0.003314539
3319.656663	-35.069622245825414+13.60921019197423j	0.016310653
3310.775448	17.668879606457075-39.38440273611013j	0.018716441
3301.900653	11.747515934529265+5.88511156446924j	0.00569703
3293.032327	17.223102990650737+10.779220238366069j	0.008809747
3284.170525	3.6741061817945786-13.144359621134331j	0.005917724
3275.315299	-17.70542162224496-6.863365563360903j	0.008233509
3266.466702	11.847569258149168-17.10357301432945j	0.009021356
3257.624789	10.697793035602261+17.396196319544213j	0.008854911
3248.789614	10.755376125110859-12.547672957307949j	0.00716569
3239.961232	-10.909091886553474-0.16144060505010033j	0.004730594

**Πίνακας 9.** Δείγμα αποτελεσμάτων ανά αναπαράσταση μορφής: Παράμετροι μορφής ανά κορυφή / Συντελεστές Inverse Fast Fourier Transform ανά κορυφή/ Διάλυση Fourier ανά κορυφή (πολύγωνο #1004).

Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Grunland, 1972):	Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Uesaka, 1984)	Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Zahn & Roskies, 1972) (Otterloo, 1988)	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
0	0	0	762	0
0,001743536	0,060782699	0,166394226	150	20
0,003304634	0,086141206	0,086123521	100	40
0,00384504	0,101956225	0,088249331	81	60
0,005350217	0,113513397	0,088735354	71	80
0,008277472	0,128903969	0,090938204	61	100
0,012747115	0,142310922	0,221128584	56	120
0,013235587	0,154897052	0,220956743	52	140
0,010180433	0,154494719	0,221348008	48	160
0,011443628	0,15825679	0,221466777	47	180
0,013150683	0,164808706	0,221604607	44	200
0,012902932	0,171875291	0,221936344	42	220
0,013951018	0,182987257	0,221544329	40	240
0,015703294	0,189091708	0,221887805	38	260
0,015703294	0,189091708	0,221887805	38	280
0,020801454	0,21214835	0,222355551	34	300
0,023427645	0,220547901	0,22205484	33	320
0,024315871	0,236949708	0,222714814	31	340
0,024315871	0,236949708	0,222714814	31	360
0,031319899	0,252681901	0,067605576	28	380
0,034959098	0,246348201	0,059035131	27	400
0,04970568	0,298909926	0,058410385	24	420
0,04970568	0,298909926	0,058410385	24	440
0,055878372	0,300464564	0,059040423	21	460
0,055727914	0,302493777	0,058954836	20	480
0,055727914	0,302493777	0,058954836	20	500
0,055727914	0,302493777	0,058954836	20	520
0,055727914	0,302493777	0,058954836	20	540
0,04557566	0,313493669	0,058711002	19	560
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	580
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	600
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	620
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	640
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	660
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	680
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	700
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	720
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	740
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	760

Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Grunland, 1972):	Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Uesaka, 1984)	Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Zahn & Roskies, 1972) (Otterloo, 1988)	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	780
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	800
0,046270242	0,313628942	0,058275451	18	820
0,066995645	0,333336687	0,05829807	17	840
0,066995645	0,333336687	0,05829807	17	860
0,066995645	0,333336687	0,05829807	17	880
0,076434906	0,382625676	0,054761712	14	900
0,075472267	0,409213004	0,053334769	13	920
0,075472267	0,409213004	0,053334769	13	940
0,075472267	0,409213004	0,053334769	13	960
0,075472267	0,409213004	0,053334769	13	980
0,075472267	0,409213004	0,053334769	13	1000

**Πίνακας 10.** Δείγμα αποτελεσμάτων με διακύμανση στις τιμές, ανά αναπαράσταση μορφής: Αποστάσεις μεταξύ των διανυσμάτων Fourier σε σχέση με τον αριθμό κορυφών και την τιμή ανοχής (γραμμή #1018).

Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Grunland, 1972):	Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Κεντροειδής απόσταση, (Zhang & Lu, 2002))	Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Zahn & Roskies, 1972) (Otterloo, 1988):	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
0	0	0	328	0
0,002947148	0,002238667	4,033410465	92	20
0,007257355	0,005209764	4,03259134	60	40
0,00903588	0,006400538	4,298960302	49	60
0,014273663	0,009344607	4,298508619	41	80
0,017223979	0,010828716	4,299163067	36	100
0,017085683	0,011960443	4,298583623	35	120
0,01992969	0,012776416	4,298864324	32	140
0,023404915	0,013950832	4,299975337	30	160
0,026865787	0,016050679	4,299139831	27	180
0,026865787	0,016050679	4,299139831	27	200
0,031232714	0,016893309	4,508174622	26	220
0,040635933	0,025493581	4,357463411	22	240
0,040635933	0,025493581	4,357463411	22	260
0,047460383	0,033247935	4,357886079	20	280
0,084060158	0,054983786	4,356416362	16	300
0,069672315	0,041507317	4,358179367	14	320
0,069672315	0,041507317	4,358179367	14	340

Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Grunland, 1972):	Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Κεντροειδής απόσταση, (Zhang & Lu, 2002))	Απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων Fourier (Zahn & Roskies, 1972) (Otterloo, 1988):	Αριθμός κορυφών	Τιμή ανοχής (m)
0,069672315	0,041507317	4,358179367	14	360
0,06864766	0,044031402	4,358466202	12	380
0,068359042	0,04322138	4,358185035	10	400
0,068359042	0,04322138	4,358185035	10	420
0,068359042	0,04322138	4,358185035	10	440
0,068359042	0,04322138	4,358185035	10	460
0,085601465	0,060919003	4,358635292	9	480
0,085601465	0,060919003	4,358635292	9	500
0,085601465	0,060919003	4,358635292	9	520
0,085601465	0,060919003	4,358635292	9	540
0,085601465	0,060919003	4,358635292	9	560
0,085601465	0,060919003	4,358635292	9	580
0,085601465	0,060919003	4,358635292	9	600
0,129802273	0,10910992	4,358429126	6	620
0,129802273	0,10910992	4,358429126	6	640
0,129802273	0,10910992	4,358429126	6	660
0,129802273	0,10910992	4,358429126	6	680
0,129802273	0,10910992	4,358429126	6	700
0,129802273	0,10910992	4,358429126	6	720
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	740
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	760
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	780
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	800
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	820
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	840
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	860
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	880
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	900
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	920
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	940
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	960
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	980
0,192955858	0,203226181	4,075958483	4	1000

**Πίνακας 11.** Δείγμα αποτελεσμάτων με διακύμανση στις τιμές, ανά αναπαράσταση μορφής: Αποστάσεις μεταξύ των διανυσμάτων Fourier σε σχέση με τον αριθμό κορυφών και την τιμή ανοχής (πολύγωνο #1004).

### 2.3.7 Συνολικά συμπεράσματα από την εφαρμογή των τεχνικών συσχέτισης και των μέτρων ομοιότητας

Στην παρούσα έρευνα εφαρμόστηκαν και αξιολογήθηκαν ως προς την ικανότητά τους να παρακολουθούν επιμελώς την μεταβολή της μορφής της οντότητας (γραμμής ή πολυγώνου) κατά την εκτέλεση των μετασχηματισμών της χαρτογραφικής γενίκευσης, τρεις τεχνικές συσχέτισης μορφών (μέτρα ομοιότητας σε συνδυασμό με τεχνική αναπαράστασης της μορφής) και τρία μέτρα ομοιότητας. Η ικανότητα των εξεταζόμενων τεχνικών συσχέτισης και μέτρων ομοιότητας ελέγχθηκε στη διαδικασία του μετασχηματισμού της απλοποίησης με τη χρήση του αλγορίθμου point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) σε γραμμές και πολύγωνα καθώς ο συγκεκριμένος αλγόριθμος επιφέρει έντονες μορφολογικές μεταβολές. Ως κύριο κριτήριο καταλληλότητας των εξεταζόμενων τεχνικών συσχέτισης και μέτρων για την εφαρμογή τους στη διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης αποτέλεσε η αυξητική τάση της τιμής τους σε συνδυασμό με τη μείωση της χωρικής πληροφορίας (αριθμός κορυφών).

Ελέγχθηκαν και αξιολογήθηκαν οι ακόλουθες τεχνικές συσχέτισης και τα ακόλουθα μέτρα ομοιότητας που αντιμετωπίζουν συνολικά τη μορφή της οντότητας:

- Μέτρο ομοιότητας, απόσταση Hausdorff (Hausdorff distance),
- Μέτρο ομοιότητας, τροποποιημένη απόσταση Hausdorff (modified Hausdorff distance),
- Μέτρο ομοιότητας, διακριτή απόσταση Fréchet (discrete Fréchet distance),
- Τεχνική συσχέτισης μορφών, απόσταση ως εμβαδόν μεταξύ των αναπαραστάσεων turning function,
- Τεχνική συσχέτισης μορφών, απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function,
- Τεχνική συσχέτισης μορφών, απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων με στοιχεία τους συντελεστές του αντιστρόφου διακριτού μετασχηματισμού Fourier για διαφορετικές περιπτώσεις αναπαράστασης της μορφής:
  - για τις γραμμές: (Grunland, 1972), (Zahn & Roskies, 1972), (Uesaka, 1984),
  - για τα πολύγωνα: (Grunland, 1972), (Zahn & Roskies, 1972) και κεντροειδής απόσταση (Zhang & Lu, 2002).

Με βάση τα αποτελέσματα των υπολογισμών κατά την εφαρμογή των μέτρων ομοιότητας διαπιστώθηκε η ικανότητα όλων των μέτρων να εκτιμήσουν την ύπαρξη μεταβολής στη μορφή της οντότητας με συνέπεια ή χονδροειδώς. Τα συμπεράσματα από την εφαρμογή προκύπτουν ως εξής:

- i. Τα μέτρα της απόστασης Hausdorff και της διακριτής απόστασης Fréchet δεν παρακολουθούν με συνέπεια την μεταβολή της μορφής δημιουργώντας χονδροειδείς ομαδοποιήσεις (αμετάβλητες τιμές ενώ παρατηρείται χωρική μεταβολή της οντότητας).
- ii. Η τεχνική συσχέτισης με μέτρο την απόσταση ως εμβαδόν μεταξύ των αναπαραστάσεων turning function παρουσιάζει έντονες αυξομειώσεις σε

μεγάλο εύρος τιμών και δεν ακολουθεί συνεχή αυξητική τάση σε σχέση με τη μείωση των κορυφών.

iii. Η απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων με στοιχεία τους συντελεστές του αντιστρόφου διακριτού μετασχηματισμού Fourier για όλες τις εξεταστέες περιπτώσεις τεχνικών αναπαράστασης της μορφής αν και παρακολουθεί τη μεταβολή της μορφής της οντότητας με συνέπεια, παρουσιάζει μικρές διαφορές στις τιμές ώστε καθίσταται δύσκολη η διάκρισή τους. Επίσης σε αρκετές περιπτώσεις ζευγών τιμών ανά ελεγχόμενη οντότητα, οι τιμές του μέτρου παρουσιάζουν διακυμάνσεις (αυξομειώσεις) και δεν ακολουθούν συνεχή αυξητική τάση με τη μείωση των κορυφών. Επιπλέον, απαιτείται πρόσθετη υπολογιστική ισχύς καθώς ο υπολογισμός του μέτρου προϋποθέτει την πύκνωση των κορυφών των εξεταζόμενων οντοτήτων.

iv. Το μέτρο της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και η τεχνική συσχέτισης με μέτρο την απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function παρακολουθούν τη μεταβολή της μορφής της οντότητας με συνέπεια και οι τιμές τους ακολουθούν συνεχή αυξητική τάση σε μεγάλο εύρος τιμών με τη μείωση των κορυφών.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα διακρίνονται:

- το μέτρο ομοιότητας της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff,
- η τεχνική συσχέτισης μορφών με μέτρο την απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function

ως ικανά να εκτιμήσουν την κατάσταση της μορφής στη διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης. Επομένως, επιλέγονται και ορίζονται η τροποποιημένη απόσταση Hausdorff και η απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function ως παράμετροι περιγραφής της μορφής της οντότητας καθώς εμπεριέχουν την μεταβολή της μορφής.

## 2.4 Μέτρα εκτίμησης και αξιολόγησης της αναγνωσιμότητας (legibility measures)

Τα μέτρα αναγνωσιμότητας αφορούν στη δυνατότητα διάκρισης των γεωμετρικών στοιχείων των οντοτήτων (κορυφές, ευθύγραμμα τμήματα), μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, εξετάζονται:

- οι αποστάσεις μεταξύ των κορυφών της κάθε οντότητας
- η ύπαρξη 'στένωσης' (bottleneck) μεταξύ μη διαδοχικών ευθυγράμμων τμημάτων της οντότητας,
- η ύπαρξη εξαιρετικά οξείων γωνιών μεταξύ διαδοχικών ευθυγράμμων τμημάτων της οντότητας.

### Εφαρμογή



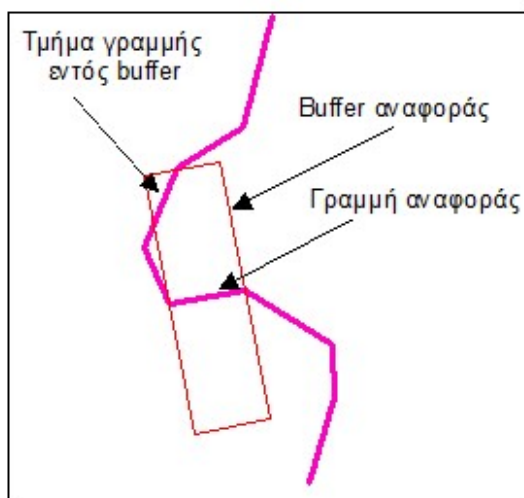
Σχεδιάζονται δύο μέτρα αναγνωσιμότητας που εφαρμόζονται ανά οντότητα:

1. Η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των κορυφών της οντότητας με όριο συμμόρφωσης ίσο με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης. Υπολογίζεται ο αριθμός των μικρότερων αποστάσεων από αυτή του ορίου συμμόρφωσης (Εικόνα 14).
2. Το μήκος ενός ευθυγράμμου τμήματος της οντότητας εντός της ζώνης ακρίβειας ενός άλλου ευθυγράμμου τμήματός της (buffer) με πλάτος εκατέρωθεν ίσο με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης. Η εκτέλεση του μέτρου περιλαμβάνει:
  - Κατάτμηση της οντότητας στα ευθύγραμμα τμήματα που την αποτελούν.
  - Δημιουργία ζωνών ακρίβειας εκατέρωθεν κάθε ευθυγράμμου τμήματος της οντότητας με πλάτος εκατέρωθεν ίσο με το αποδεκτό όριο συμμόρφωσης.
  - Κυκλικός έλεγχος για τον υπολογισμό κάθε φορά της χωρικής διαφοράς (difference) μεταξύ της ζώνης ακρίβειας του ευθυγράμμου τμήματος αναφοράς με τα υπόλοιπα ευθύγραμμα τμήματα της οντότητας. Οι έλεγχοι διενεργούνται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση ελέγχεται η ύπαρξη χωρικών διαφορών μεταξύ της ζώνης ακρίβειας του ευθυγράμμου τμήματος αναφοράς με τα υπόλοιπα μη διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα για τον εντοπισμό 'στενώσεων' με όριο παραβίασης την ύπαρξη χωρικής διαφοράς σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50% του μήκους του τμήματος αναφοράς (μήκος τμήματος γραμμής εντός ζώνης/ συνολικό μήκος του τμήματος αναφοράς), (Εικόνα 15). Στη δεύτερη φάση ελέγχεται η ύπαρξη χωρικών διαφορών μεταξύ της ζώνης ακρίβειας του ευθυγράμμου τμήματος αναφοράς με τα διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα για τον εντοπισμό πολύ οξείων γωνιών με κριτήριο ασυμβατότητας την εξ ολοκλήρου περικλείση του ελεγχόμενου τμήματος στη ζώνη ακρίβειας, θεωρώντας ότι η κάθετη απόσταση της ελεύθερης κορυφής του περικλειόμενου ευθυγράμμου τμήματος από το ευθύγραμμο τμήμα αναφοράς προκύπτει μικρότερη του οριζόμενου ορίου συμμόρφωσης – ίσο με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης (Εικόνα 16).

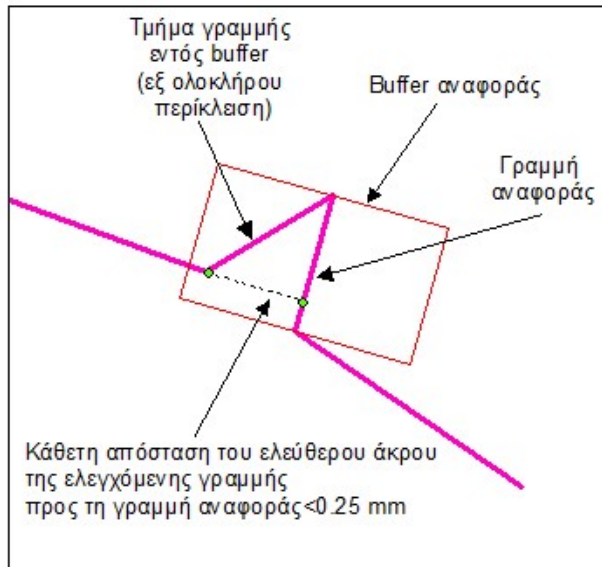
Ως μέτρο και στις δύο περιπτώσεις, υπολογίζεται το ποσοστό που προκύπτει ως ο αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής.



**Εικόνα 14.** Έλεγχος αποστάσεων μεταξύ κορυφών (αποστάσεις  $< 0,25$  mm στην κλίμακα γενίκευσης).



**Εικόνα 15.** Έλεγχος γειτνίασης με τη χρήση ζωνών ακρίβειας (buffers) πλάτους 0,25 mm στην κλίμακα γενίκευσης για τον εντοπισμό 'στένωσης' σε μη διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα.



**Εικόνα 16.** Έλεγχος γειννίασης με τη χρήση ζωνών ακρίβειας (buffers) πλάτους 0,25 mm στην κλίμακα γενίκευσης για τον εντοπισμό εξαιρετικά οξειών γωνιών σε διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα.

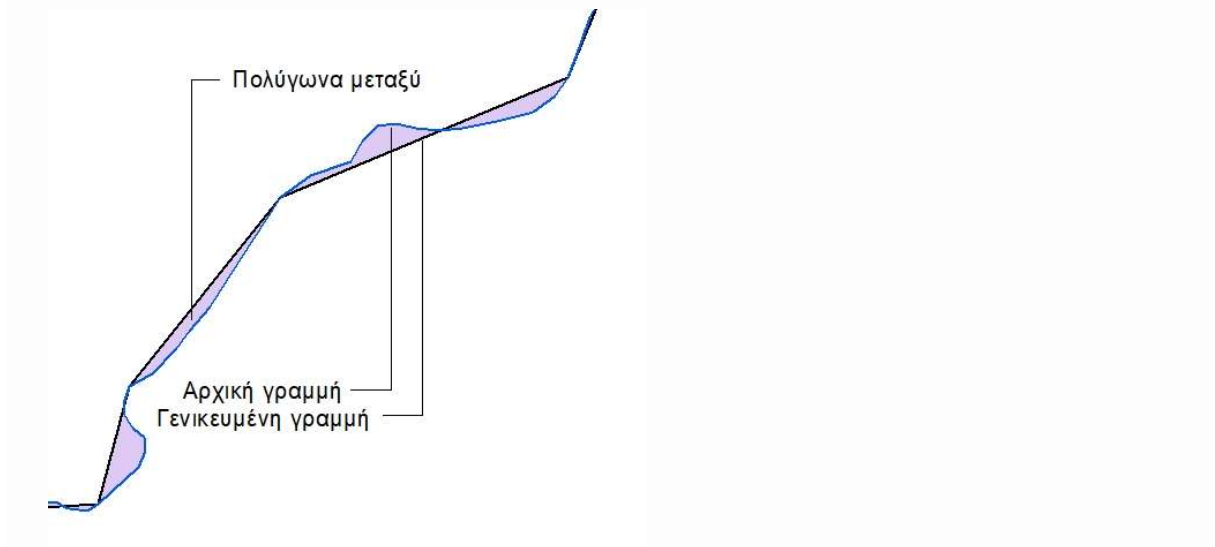
## 2.5 Μέτρο εκτίμησης και αξιολόγησης της οριζοντιογραφικής ακρίβειας (horizontal accuracy measure)

Θεωρώντας ότι η κατανομή σφάλματος κατά μήκος της γραμμής είναι ομοιόμορφη καθώς η γενικευμένη γραμμή προκύπτει με γεωμετρικό τρόπο με την εφαρμογή του αλγορίθμου απλοποίησης εξετάζονται μόνο τα μέτρα που αντιμετωπίζουν συνολικά τη μορφή της οντότητας. Τα μέτρα που ελέγχουν την οριζόντια μετατόπιση των κορυφών δεν αξιολογούνται, όπως η στοχαστική προσέγγιση των ελαχίστων τετραγώνων που παρέχεται από το πρότυπο ISO 19157 για την ποιότητα των χωρικών δεδομένων, το οποίο αποδίδει το σφάλμα θέσης των κορυφών. Εξετάζονται τα ακόλουθα τρία μέτρα:

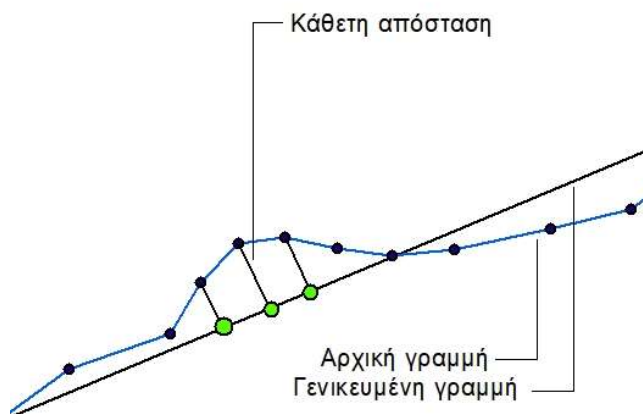
- η επιφανειακή μετατόπιση (areal displacement) ως το πηλίκο του αθροίσματος των εμβαδών των πολυγώνων που σχηματίζονται μεταξύ της αρχικής και της γενικευμένης γραμμής προς το μήκος της αρχικής γραμμής κατά τον Robert McMaster (1986, 1987), (Εικόνα 17),
- η διανυσματική μετατόπιση (vector displacement) ως το πηλίκο του αθροίσματος των κάθετων αποστάσεων μεταξύ της αρχικής γραμμής προς τη γενικευμένη προς το μήκος της αρχικής γραμμής κατά τον Robert McMaster (1986, 1987), (Εικόνα 18),
- το ποσοστό του μήκους της γενικευμένης γραμμής εκτός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής κατά τους Michael Goodchild και Gary Hunter (1997), (Εικόνα 19).

## Εφαρμογή

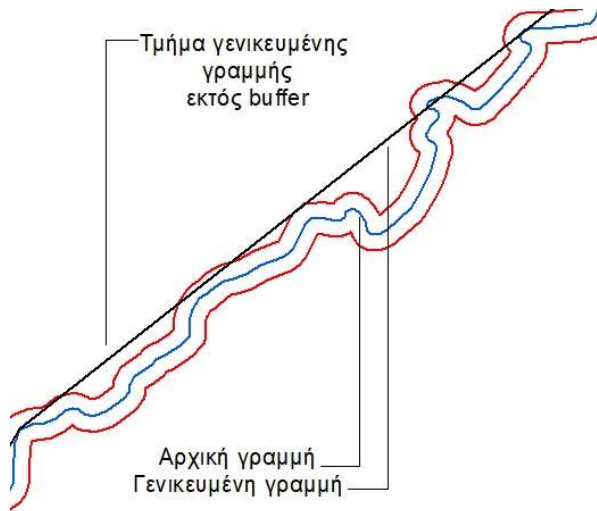
Στην εφαρμογή επιλέχθηκε η χρήση του μέτρου κατά τους Michael Goodchild και Gary Hunter (1997) καθώς παρακολουθεί πλήρως τη μορφή της οντότητας. Το πλάτος εκατέρωθεν ορίστηκε ίσο με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης ώστε να αποφευχθούν οι διενέξεις μεταξύ των οντοτήτων θεωρώντας ότι η διαδικασία της σημασιολογικής γενίκευσης έχει ήδη εφαρμοστεί με το ίδιο κριτήριο και ικανοποιούνται οι περιορισμοί αναγνωσιμότητας μεταξύ των οντοτήτων.



Εικόνα 17. Επιφανειακή μετατόπιση (areal displacement) (McMaster, 1986, 1987).



Εικόνα 18. Διανυσματική μετατόπιση (vector displacement) (McMaster, 1986, 1987).



**Εικόνα 19.** Το ποσοστό του μήκους της γενικευμένης γραμμής που βρίσκεται εκτός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής (Goodchild & Hunter, 1997).

## 2.6 Μέτρα εκτίμησης και αξιολόγησης της τοπολογικής συνέπειας μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας (topological accuracy measures)

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 19157 για την ποιότητα των χωρικών δεδομένων, ως τοπολογικές ασυνέπειες μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων μιας οντότητας (κορυφών, ευθυγράμμων τμημάτων) ορίζονται οι μεταξύ τους τομές και επικαλύψεις (self-intersection, self-overlap). Υπολογίζεται επομένως, ο αριθμός των ασυνεπειών που προκύπτουν.

### Εφαρμογή

Η εφαρμογή των μέτρων περιλαμβάνει τις ακόλουθες εργασίες για τον εντοπισμό των ασυνεπειών.

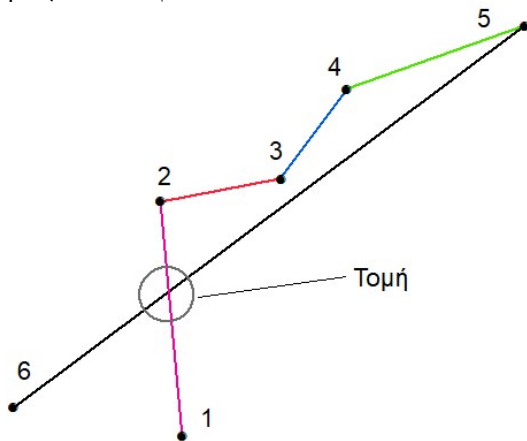
i. Εντοπισμός των σφαλμάτων τομής (Εικόνα 20):

- κατάτμηση της κάθε γραμμής (κλειστής ή ανοιχτής) στα ευθύγραμμα τμήματα που την αποτελούν,
- έλεγχος της ύπαρξης τομής του κάθε ευθυγράμμου τμήματος αναφοράς με τα υπόλοιπα ευθύγραμμα τμήματα της οντότητας.

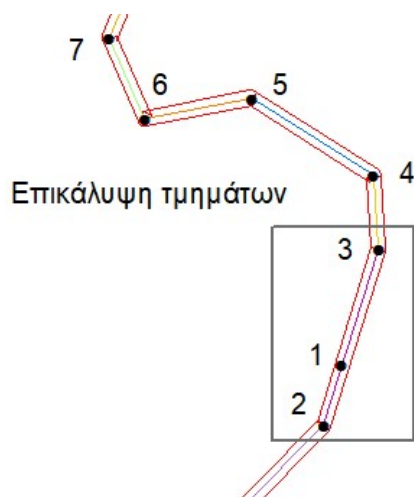
ii. Εντοπισμός σφαλμάτων επικάλυψης (Εικόνα 21):

- κατάτμηση της κάθε γραμμής (κλειστής ή ανοιχτής) στα ευθύγραμμα τμήματα που την αποτελούν,
- δημιουργία ζωνών ακριβείας εκατέρωθεν κάθε ευθυγράμμου τμήματος της οντότητας με τη χρήση ενός ελάχιστου πλάτους π.χ. <math><0,20\text{ m}</math>, θεωρώντας ότι οι επικαλυπτόμενες γραμμές εφάπτονται οπότε η μεταξύ τους απόσταση είναι μηδενική,

- κυκλικός έλεγχος για τον υπολογισμό κάθε φορά του αριθμού των κορυφών που βρίσκονται εντός της ζώνης ακριβείας του ελεγχόμενου ευθυγράμμου τμήματος. Ως κριτήριο ύπαρξης επικάλυψης ορίζεται η τομή της ζώνης ακριβείας του ευθυγράμμου τμήματος αναφοράς με αριθμό κορυφών μεγαλύτερου των δύο.



**Εικόνα 20.** Εντοπισμός τομών μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της ίδιας οντότητας με κατάτμηση της οντότητας και αυτοτελή έλεγχο του κάθε τμήματος.



**Εικόνα 21.** Εντοπισμός επικαλύψεων μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της ίδιας οντότητας με τη χρήση ζωνών ακριβείας ελαχίστου πλάτους και έλεγχο του αριθμού των κορυφών εντός>2.

## 2.7 Τεχνική επιλογής της κατάλληλης προς απεικόνιση μορφής γραμμής ή πολυγώνου

Παρά την αποδεδειγμένη δυνατότητα του μέτρου της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και της τεχνικής συσχέτισης των μορφών με μέτρο την απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function στην περιγραφή της μεταβολής της μορφής της οντότητας, δεν κατέστη

εφικτός ο προσδιορισμός μιας ακριβούς τιμής για την καταλληλότερη προς απεικόνιση μορφή. Η διαδικασία των τριών (3) σταδίων που αναπτύσσεται στη συνέχεια καλύπτει τη συγκεκριμένη αδυναμία καθώς επικεντρώνεται:

- στη διαμόρφωση μιας ομάδας κατάλληλων οντοτήτων για απεικόνιση βάσει της συμμόρφωσής τους στους περιορισμούς της αναγνωσιμότητας, οριζοντιογραφικής ακρίβειας και τοπολογικής συνέπειας,
- του προσδιορισμού αντιπροσωπευτικών οντοτήτων και
- της επιλογής της τελικής προς απεικόνιση οντότητας

λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβολή της μορφής καθώς χρησιμοποιούνται ως παράμετροι περιγραφής της γραμμής το μέτρο της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και η τεχνική συσχέτισης των μορφών με μέτρο την απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function που εμπεριέχουν την μεταβολή της μορφής. Η τεχνική επιλογής της κατάλληλης προς απεικόνιση οντότητας εφαρμόστηκε για γενικευμένες οντότητες με δύο αλγορίθμους απλοποίησης: point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και bend simplify της ESRI (Wang, 1996), για τιμές ανοχής στο διάστημα (20, 1000) ανά 20 m σε δεδομένα κλίμακας 1:250.000 για την μετατροπή τους στις κλίμακες 1:500.000 και 1:1.000.000.

Στο πρώτο στάδιο, δημιουργείται μια ομάδα αποδεκτών τιμών ανοχής του αλγορίθμου απλοποίησης που αντιστοιχούν σε γενικευμένες οντότητες, οι οποίες ικανοποιούν τους περιορισμούς αναγνωσιμότητας, οριζοντιογραφικής ακρίβειας και τοπολογικής συνέπειας (Πίνακες 12.1 και 12.2 για τους δύο αλγορίθμους απλοποίησης, point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και bend simplify της ESRI (Wang, 1996) αντίστοιχα και για τις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000). Οι περιορισμοί ορίζονται αρχικά ως ‘ανελαστικοί’ σε σχέση με την παραβίασή τους. Στην περίπτωση των πολυγώνων απορρίπτονται τα πολύγωνα που μεταπίπτουν σε τρίγωνα (εντοπισμός οντοτήτων με 4 κορυφές θεωρώντας την κορυφή αρχής – τέλους ως δύο κορυφές που συμπίπτουν χωρικά). Στην περίπτωση ύπαρξης οντότητας χωρίς συμμετοχή στην ομάδα εξαιτίας του κριτηρίου των περιορισμών, ορίζεται ‘ελαστική’ η παραβίαση του κριτηρίου αναγνωσιμότητας σχετικά με τις αποστάσεις μεταξύ των κορυφών και ακολούθως στην περίπτωση συνεχιζόμενης αποτυχίας ορίζεται ‘ελαστική’ η παραβίαση του κριτηρίου αναγνωσιμότητας σχετικά με τον εντοπισμό: α) εξαιρετικά οξειών γωνιών και β) ‘στενώσεων’ που αντιστοιχούν σε μέτρηση ποσοστού 10%-15% (αριθμός τμημάτων γραμμής με παραβίαση/ συνολικός αριθμός τμημάτων γραμμής).

Τιμή ανοχής (m)	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (% εντός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής) κλ. 1: 500.000	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (% εντός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής) κλ. 1: 1.000.000	Αναγνωσιμότητα - Ελάχιστη απόσταση κορυφών (αριθμός περιπτώσεων) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - Ελάχιστη απόσταση κορυφών (αριθμός περιπτώσεων) κλ.1: 1.000.000
0	100	100	695	753
20	100	100	18	60
40	100	100	1	19
60	100	100	0	8
80	100	100	0	4
100	100	100	0	2
120	100	100	0	0
140	99,43	100	0	0
160	97,25	100	0	0
180	96,28	100	0	0
200	93,16	100	0	0
220	91,37	100	0	0
240	90,43	100	0	0
260	88,69	100	0	0
280	88,69	100	0	0
300	85,42	98,72	0	0
320	83,81	98,13	0	0
340	81,08	96,86	0	0
360	81,08	96,86	0	0
380	73,85	92,18	0	0
400	72,69	91,67	0	0
420	66,69	87,68	0	0
440	66,69	87,68	0	0
460	62,48	84,11	0	0
480	59,73	82,55	0	0
500	59,73	82,55	0	0
520	59,73	82,55	0	0
540	59,73	82,55	0	0
560	59,69	82,65	0	0
580	55,81	77,44	0	0
600	55,81	77,44	0	0
620	55,81	77,44	0	0
640	55,81	77,44	0	0



Τιμή ανοχής (m)	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (% εντός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής) κλ. 1: 500.000	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (% εντός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής) κλ. 1: 1.000.000	Αναγνωσιμότητα - Ελάχιστη απόσταση κορυφών (αριθμός περιπτώσεων) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - Ελάχιστη απόσταση κορυφών (αριθμός περιπτώσεων) κλ.1: 1.000.000
660	55,81	77,44	0	0
680	55,81	77,44	0	0
700	55,81	77,44	0	0
720	55,81	77,44	0	0
740	55,81	77,44	0	0
760	55,81	77,44	0	0
780	55,81	77,44	0	0
800	55,81	77,44	0	0
820	55,81	77,44	0	0
840	55,34	76,69	0	0
860	55,34	76,69	0	0
880	55,34	76,69	0	0
900	48,78	69,50	0	0
920	46,89	67,40	0	0
940	46,89	67,40	0	0
960	46,89	67,40	0	0
980	46,89	67,40	0	0
1000	46,89	67,40	0	0

Τιμή ανοχής (m)	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000
-----------------	---	---	--	--

Τιμή ανοχής (m)	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000
0	9999	9999	9999	9999
20	0	0	0	0
40	0	0	0	0
60	0	0	0	0
80	0	0	0	0
100	0	0	0	0
120	0	0	0	0
140	0	0	0	0
160	0	0	0	0
180	0	0	0	0
200	0	0	0	0
220	0	0	0	0
240	0	0	0	0
260	0	0	0	0
280	0	0	0	0
300	0	0	0	0
320	0	0	0	0
340	0	0	0	0
360	0	0	0	0
380	0	0	0	0
400	0	0	0	0
420	0	0	0	0
440	0	0	0	0
460	0	0	0	0
480	0	0	0	0
500	0	0	0	0
520	0	0	0	0

Τιμή ανοχής (m)	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000
540	0	0	0	0
560	0	0	0	0
580	0	0	0	0
600	0	0	0	0
620	0	0	0	0
640	0	0	0	0
660	0	0	0	0
680	0	0	0	0
700	0	0	0	0
720	0	0	0	0
740	0	0	0	0
760	0	0	0	0
780	0	0	0	0
800	0	0	0	0
820	0	0	0	0
840	0	0	0	0
860	0	0	0	0
880	0	0	0	0
900	0	0	0	0
920	0	0	0	0
940	0	0	0	0
960	0	0	0	0
980	0	0	0	0
1000	0	0	0	0

Τιμή ανοχής (m)	Τοπολογική συνέπεια - self overlaps (αριθμός ασυνεπειών)	Τοπολογική συνέπεια - self intersections (αριθμός ασυνεπειών)
0	0	0
20	0	0
40	0	0
60	0	0
80	0	0
100	0	0
120	0	0
140	0	0
160	0	0
180	0	0
200	0	0
220	0	0
240	0	0
260	0	0
280	0	0
300	0	0
320	0	0
340	0	0
360	0	0
380	0	0
400	0	0
420	0	0
440	0	0
460	0	0
480	0	0
500	0	0
520	0	0
540	0	0
560	0	0
580	0	0
600	0	0
620	0	0
640	0	0
660	0	0

Τιμή ανοχής (m)	Τοπολογική συνέπεια - self overlaps (αριθμός ασυνεπειών)	Τοπολογική συνέπεια - self intersections (αριθμός ασυνεπειών)
680	0	0
700	0	0
720	0	0
740	0	0
760	0	0
780	0	0
800	0	0
820	0	0
840	0	0
860	0	0
880	0	0
900	0	0
920	0	0
940	0	0
960	0	0
980	0	0
1000	0	0

**Πίνακας 12.1.** Αποτελέσματα του πρώτου σταδίου της μεθόδου επιλογής των προς απεικόνιση οντοτήτων βάσει των περιορισμών της αναγνωσιμότητας, της οριζοντιογραφικής ακρίβειας και της τοπολογικής συνέπειας. Γραμμική οντότητα γενικευμένη με τον αλγόριθμο απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973), κλίμακες 1: 500.000 σε κίτρινο χρώμα (επιλογή οντοτήτων με τιμές ανοχής 20 – 120 m) και 1: 1.000.000 σε γκρι χρώμα (επιλογή οντοτήτων με τιμές ανοχής 120 – 280 m), (γραμμή #1018).

Τιμή ανοχής (m)	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (% εντός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής) κλ. 1: 500.000	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (% εντός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής) κλ. 1: 1.000.000	Αναγνωσιμότητα - Ελάχιστη απόσταση κορυφών (αριθμός περιπτώσεων) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - Ελάχιστη απόσταση κορυφών (αριθμός περιπτώσεων) κλ.1: 1.000.000
0	100	100	695	753
20	100	100	665	725
40	100	100	618	684

Τιμή ανοχής (m)	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (% εντός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής) κλ. 1: 500.000	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (% εντός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής) κλ. 1: 1.000.000	Αναγνωσιμότητα - Ελάχιστη απόσταση κορυφών (αριθμός περιπτώσεων) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - Ελάχιστη απόσταση κορυφών (αριθμός περιπτώσεων) κλ.1: 1.000.000
60	100	100	570	648
80	100	100	542	621
100	100	100	537	616
120	100	100	515	593
140	100	100	507	584
160	100	100	504	578
180	100	100	502	575
200	100	100	472	542
220	100	100	470	540
240	100	100	450	518
260	100	100	447	513
280	100	100	442	506
300	100	100	432	496
320	100	100	428	490
340	100	100	422	484
360	100	100	422	484
380	100	100	420	482
400	100	100	420	482
420	100	100	417	479
440	100	100	417	479
460	100	100	417	479
480	99,54	100	386	445
500	99,14	100	370	429
520	99,14	100	370	429
540	99,14	100	370	429
560	97,62	100	341	396
580	97,42	100	341	395
600	96,50	100	337	381
620	96,22	100	336	380
640	96,09	99,98	334	378
660	96,05	99,98	333	377
680	96,04	99,94	331	375
700	96,04	99,94	331	375
720	96,04	99,90	331	375
740	96,04	99,90	331	375
760	96,04	99,90	331	375

Τιμή ανοχής (m)	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (% εντός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής) κλ. 1: 500.000	Οριζοντιογραφική ακρίβεια (% εντός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής) κλ. 1: 1.000.000	Αναγνωσιμότητα - Ελάχιστη απόσταση κορυφών (αριθμός περιπτώσεων) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - Ελάχιστη απόσταση κορυφών (αριθμός περιπτώσεων) κλ.1: 1.000.000
780	94,07	99,90	313	352
800	92,57	99,90	301	338
820	92,57	99,90	301	338
840	92,57	99,90	301	338
860	92,19	99,90	301	337
880	90,88	99,90	290	323
900	89,63	99,90	282	314
920	84,89	98,76	242	273
940	84,38	98,76	215	243
960	84,38	98,76	215	243
980	84,38	98,76	215	243
1000	84,31	98,43	215	242

Τιμή ανοχής (m)	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000
0	9999	9999	9999	9999
20	0,00	0,00	0,00	0,00
40	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00	0,00
100	0,00	0,00	0,00	0,00
120	0,00	0,00	0,00	0,00
140	0,00	0,00	0,00	0,00

Τιμή ανοχής (m)	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000
160	0,00	0,00	0,00	0,00
180	0,00	0,00	0,00	0,00
200	0,00	0,00	0,00	0,00
220	0,00	0,00	0,00	0,00
240	0,00	0,00	0,00	0,00
260	0,00	0,00	0,00	0,00
280	0,00	0,00	0,00	0,00
300	0,00	0,00	0,00	0,00
320	0,00	0,00	0,00	0,00
340	0,00	0,00	0,00	0,00
360	0,00	0,00	0,00	0,00
380	0,00	0,00	0,00	0,00
400	0,00	0,00	0,00	0,00
420	0,00	0,00	0,00	0,00
440	0,00	0,00	0,00	0,00
460	0,00	0,00	0,00	0,00
480	0,00	0,00	0,00	0,00
500	0,00	0,00	0,00	0,00
520	0,00	0,00	0,00	0,00
540	0,00	0,00	0,00	0,00
560	0,00	0,00	0,00	0,00
580	0,00	0,00	0,00	0,00
600	0,00	0,00	0,00	0,00
620	0,00	0,00	0,00	0,00
640	0,00	0,00	0,00	0,00
660	0,00	0,00	0,00	0,00
680	0,00	0,00	0,00	0,00
700	0,00	0,00	0,00	0,00
720	0,00	0,00	0,00	0,00
740	0,00	0,00	0,00	0,00



Τιμή ανοχής (m)	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'στένωση' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 500.000	Αναγνωσιμότητα - 'εξαιρετικά οξείες γωνίες' (ποσοστό: αριθμός των τμημάτων της γραμμής που εμπλέκονται στις παραβιάσεις προς τον συνολικό αριθμό τμημάτων γραμμής) κλ.1: 1.000.000
760	0,00	0,00	0,00	0,00
780	0,00	0,00	0,00	0,00
800	0,00	0,00	0,00	0,00
820	0,00	0,00	0,00	0,00
840	0,00	0,00	0,00	0,00
860	0,00	0,00	0,00	0,00
880	0,00	0,00	0,00	0,00
900	0,00	0,00	0,00	0,00
920	0,00	0,00	0,00	0,00
940	0,00	0,00	0,00	0,00
960	0,00	0,00	0,00	0,00
980	0,00	0,00	0,00	0,00
1000	0,00	0,00	0,00	0,00

Τιμή ανοχής (m)	Τοπολογική συνέπεια - self overlaps (αριθμός ασυνεπειών)	Τοπολογική συνέπεια - self overlaps (αριθμός ασυνεπειών)
0	0	0
20	0	0
40	0	0
60	0	0
80	0	0
100	0	0
120	0	0
140	0	0
160	0	0

180	0	0
200	0	0
220	0	0
240	0	0
260	0	0
280	0	0
300	0	0
320	0	0
340	0	0
360	0	0
380	0	0
400	0	0
420	0	0
440	0	0
460	0	0
480	0	0
500	0	0
520	0	0
540	0	0
560	0	0
580	0	0
600	0	0
620	0	0
640	0	0
660	0	0
680	0	0
700	0	0
720	0	0
740	0	0
760	0	0
780	0	0
800	0	0
820	0	0
840	0	0
860	0	0
880	0	0
900	0	0
920	0	0
940	0	0
960	0	0
980	0	0
1000	0	0

**Πίνακας 12.2.** Αποτελέσματα του πρώτου σταδίου της μεθόδου επιλογής των προς απεικόνιση οντοτήτων βάσει των περιορισμών της αναγνωσιμότητας, της οριζοντιογραφικής ακρίβειας και της τοπολογικής συνέπειας. Γραμμική οντότητα γενικευμένη με τον αλγόριθμο απλοποίησης bend simplify της ESRI (Wang, 1996), κλίμακες 1: 500.000 σε κίτρινο χρώμα (επιλογή οντοτήτων με τιμές ανοχής 20 – 460 m) και 1: 1.000.000 σε γκρι χρώμα (επιλογή οντοτήτων με τιμές ανοχής 20 – 620 m), (γραμμή #1018).

Στο δεύτερο στάδιο, κάθε γενικευμένη οντότητα της ομάδας του πρώτου σταδίου που αναγνωρίζεται με την τιμή ανοχής του αλγορίθμου απλοποίησης, περιγράφεται με ένα ζεύγος τιμών: της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και της απόστασης ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function. Στη συνέχεια εφαρμόζεται ιεραρχική σωρευτική ομαδοποίηση (hierarchical agglomerative clustering) στην ομάδα (για πληθυσμό ομάδας μεγαλύτερο ή ίσο των τεσσάρων οντοτήτων), με την προϋπόθεση της εξομάλυνσης των τιμών που περιγράφουν την κάθε οντότητα (τροποποιημένη απόσταση Hausdorff, απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function) στο διάστημα (0,1) για να συμμετέχουν εξίσου στη διαδικασία (Πίνακες 13.1 και 13.2):

$$\frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

Η εκτέλεση της διαδικασίας ομαδοποίησης των γενικευμένων οντοτήτων αποσκοπεί στον έμμεσο περιορισμό του πληθυσμού της ομάδας του πρώτου σταδίου μέσω της ανάδειξης μίας οντότητας ως αντιπροσωπευτικής της κάθε συστάδας (cluster) της ομαδοποίησης. Εφαρμόζεται ο αλγόριθμος της ιεραρχικής σωρευτικής ομαδοποίησης της βιβλιοθήκης Scikit-learn σε γλώσσα προγραμματισμού Python:

[https://scikit-](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.AgglomerativeClustering.html)

[learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.AgglomerativeClustering.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.AgglomerativeClustering.html)

για τα τέσσερα κριτήρια σύνδεσης (single, complete, Ward's, average) με κατώτερο όριο πληθυσμού τις τέσσερις μετρήσεις. Η συγχώνευση των συστάδων βασίζεται στην ελαχιστοποίηση της απόστασης του κριτηρίου σύνδεσης.

- Κριτήριο σύνδεσης 'Ward': ελαχιστοποιεί τη διασπορά των συστάδων που συγχωνεύονται.
- Κριτήριο σύνδεσης 'average': χρησιμοποιεί την μέση τιμή των αποστάσεων μεταξύ των συστάδων που θα συγχωνευτούν.
- Κριτήριο σύνδεσης 'complete' ή 'maximum': χρησιμοποιεί τη μέγιστη απόσταση μεταξύ των μετρήσεων των συστάδων που επίκειται η συγχώνευσή τους.
- Κριτήριο σύνδεσης 'single': χρησιμοποιεί την ελάχιστη απόσταση μεταξύ των μετρήσεων των συστάδων που θα συγχωνευτούν.

Ως αποδεκτό αποτέλεσμα της ομαδοποίησης (αριθμός συστάδων σε σχέση με το κριτήριο σύνδεσης), θεωρείται αυτό που πληροί τα ακόλουθα κριτήρια:

- εμφανίζει τον υψηλότερο μέσο συντελεστή συσχέτισης σιλουέτας,
- διατηρούνται ομάδες με μέλη που παρουσιάζουν θετική τιμή συντελεστή συσχέτισης σιλουέτας.
- διατηρούνται ομάδες όπου ο αριθμός των μελών είναι μεγαλύτερος του ενός (όταν είναι εφικτό),

Ο συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας υπολογίζεται με τη σχέση, (Rousseeuw, 1987):

$$s_i = \frac{b(i) - a(i)}{\max \{a(i), b(i)\}}$$

$a(i)$ =η μέση απόσταση του μέλους (i) προς όλα τα μέλη της ομάδας στην οποία ανήκει,

$b(i)$ = η μικρότερη απόσταση του μέλους (i) προς τις ομάδες στις οποίες δεν ανήκει, ορίζοντας ως απόσταση του μέλους (i) από μία ομάδα στην οποία δεν ανήκει, τη μέση απόσταση του μέλους (i) προς τα μέλη της ομάδας.

Οι τιμές του συντελεστή συσχέτισης σιλουέτας κυμαίνονται στο διάστημα (-1,1). Οι τιμές που πλησιάζουν το 0 υποδεικνύουν ομάδες με κοινή περιοχή, οι τιμές στην περιοχή του 1 υποδεικνύουν συνεκτικές ομάδες και οι τιμές στην περιοχή του -1 υποδεικνύουν άστοχη κατηγοριοποίηση. Δείγμα των αποτελεσμάτων του δεύτερου σταδίου παρουσιάζεται για συγκεκριμένη οντότητα στους Πίνακες 13.1 και 13.2 για τους δύο αλγορίθμους απλοποίησης, point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και bend simplify της ESRI (Wang, 1996) και για τις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000).

#### Κλίμακα 1: 500.000

Τιμή ανοχής (m)	Τροποποιημένη απόσταση Hausdorff στο διάστημα (0,1)	Απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function στο διάστημα (0,1)	clusters - WARD	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - WARD	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - WARD
60	0,16988	0,93191	1	0,00000	0,37022
80	0,21578	0,94252	0	0,20344	0,37022
100	0,23909	0,95335	0	0,65770	0,37022
120	0,26235	0,95882	0	0,61975	0,37022

Τιμή ανοχής (m)	clusters - AVERAGE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	clusters - SINGLE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - SINGLE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - SINGLE
60	1	0,00000	0,37022	1	0,00000	0,37022
80	0	0,20344	0,37022	0	0,20344	0,37022
100	0	0,65770	0,37022	0	0,65770	0,37022
120	0	0,61975	0,37022	0	0,61975	0,37022

**Κλίμακα 1: 1.000.000**

Τιμή ανοχής (m)	Τροποποιημένη απόσταση Hausdorff στο διάστημα (0,1)	Απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function στο διάστημα (0,1)	clusters - WARD	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - WARD	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - WARD
120	0,26235	0,95882	1	0,69914	0,63486
140	0,27256	0,96317	1	0,76378	0,63486
160	0,28464	0,96712	1	0,70476	0,63486
180	0,29287	0,96847	1	0,51632	0,63486
200	0,31354	0,97166	0	0,26264	0,63486
220	0,32402	0,97369	0	0,60128	0,63486
240	0,33396	0,97592	0	0,71687	0,63486
260	0,35060	0,97809	0	0,72445	0,63486
280	0,35060	0,97809	0	0,72445	0,63486

Τιμή ανοχής (m)	clusters - AVERAGE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	clusters - COMPLETE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE
120	1	0,69914	0,63486	1	0,69914	0,63486
140	1	0,76378	0,63486	1	0,76378	0,63486
160	1	0,70476	0,63486	1	0,70476	0,63486
180	1	0,51632	0,63486	1	0,51632	0,63486
200	0	0,26264	0,63486	0	0,26264	0,63486
220	0	0,60128	0,63486	0	0,60128	0,63486
240	0	0,71687	0,63486	0	0,71687	0,63486

Τιμή ανοχής (m)	clusters - AVERAGE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	clusters - COMPLETE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE
260	0	0,72445	0,63486	0	0,72445	0,63486
280	0	0,72445	0,63486	0	0,72445	0,63486

Τιμή ανοχής (m)	clusters - SINGLE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - SINGLE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - SINGLE
120	1	0,69914	0,63486
140	1	0,76378	0,63486
160	1	0,70476	0,63486
180	1	0,51632	0,63486
200	0	0,26264	0,63486
220	0	0,60128	0,63486
240	0	0,71687	0,63486
260	0	0,72445	0,63486
280	0	0,72445	0,63486

**Πίνακας 13.1.** Αποτελέσματα του δευτέρου σταδίου της μεθόδου επιλογής των προς απεικόνιση οντοτήτων. Εμφανίζονται τα ζεύγη τιμών της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και της απόστασης ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function στο διάστημα (0,1), οι συστάδες ανά κριτήριο σύνδεσης, οι μέσοι συντελεστές συσχέτισης σιλουέτας ανά κριτήριο σύνδεσης, οι συντελεστές συσχέτισης σιλουέτας ανά τιμή. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές ανοχής ως αποτέλεσμα του τρίτου σταδίου εμφανίζονται με κόκκινα γράμματα. Επικρατέστερες τιμές ανοχής ως αποτέλεσμα του τρίτου σταδίου: 100 m για κλίμακα 1: 500.000 και 280 m για κλίμακα 1: 1.000.000. Γραμμική οντότητα γενικευμένη με τον αλγόριθμο απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973), κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 (γραμμή #1018).

#### Κλίμακα 1: 500.000

Τιμή ανοχής (m)	Τροποποιημένη απόσταση Hausdorff στο διάστημα (0,1)	Απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function στο διάστημα (0,1)	clusters - WARD	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - WARD	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - WARD
20	0,0049	0,0660	0	0,5004	0,6687
40	0,0177	0,1632	0	0,5951	0,6687
60	0,0319	0,2457	0	0,6552	0,6687
<b>80</b>	<b>0,0453</b>	<b>0,2944</b>	<b>0</b>	<b>0,6621</b>	<b>0,6687</b>
100	0,0487	0,3040	0	0,6539	0,6687
120	0,0614	0,3444	0	0,5628	0,6687
140	0,0672	0,3620	0	0,4875	0,6687
160	0,0700	0,3739	0	0,4136	0,6687
180	0,0731	0,3797	0	0,3606	0,6687
200	0,0979	0,4464	1	0,3162	0,6687
220	0,1099	0,4532	1	0,4174	0,6687
240	0,1266	0,4978	1	0,6888	0,6687
260	0,1329	0,5062	1	0,7283	0,6687
280	0,1490	0,5204	1	0,7872	0,6687
300	0,1613	0,5375	1	0,8254	0,6687
320	0,1745	0,5488	1	0,8441	0,6687
340	0,1851	0,5582	1	0,8509	0,6687
<b>360</b>	<b>0,1851</b>	<b>0,5582</b>	<b>1</b>	<b>0,8509</b>	<b>0,6687</b>
380	0,1906	0,5625	1	0,8472	0,6687
400	0,1906	0,5625	1	0,8472	0,6687
420	0,1983	0,5734	1	0,8287	0,6687
440	0,1983	0,5734	1	0,8287	0,6687
460	0,1983	0,5734	1	0,8287	0,6687

Τιμή ανοχής (m)	clusters - AVERAGE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	clusters - COMPLETE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE
20	0	0,5004	0,6687	0	0,5004	0,6687
40	0	0,5951	0,6687	0	0,5951	0,6687
60	0	0,6552	0,6687	0	0,6552	0,6687

Τιμή ανοχής (m)	clusters - AVERAGE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	clusters - COMPLETE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE
80	0	0,6621	0,6687	0	0,6621	0,6687
100	0	0,6539	0,6687	0	0,6539	0,6687
120	0	0,5628	0,6687	0	0,5628	0,6687
140	0	0,4875	0,6687	0	0,4875	0,6687
160	0	0,4136	0,6687	0	0,4136	0,6687
180	0	0,3606	0,6687	0	0,3606	0,6687
200	1	0,3162	0,6687	1	0,3162	0,6687
220	1	0,4174	0,6687	1	0,4174	0,6687
240	1	0,6888	0,6687	1	0,6888	0,6687
260	1	0,7283	0,6687	1	0,7283	0,6687
280	1	0,7872	0,6687	1	0,7872	0,6687
300	1	0,8254	0,6687	1	0,8254	0,6687
320	1	0,8441	0,6687	1	0,8441	0,6687
340	1	0,8509	0,6687	1	0,8509	0,6687
360	1	0,8509	0,6687	1	0,8509	0,6687
380	1	0,8472	0,6687	1	0,8472	0,6687
400	1	0,8472	0,6687	1	0,8472	0,6687
420	1	0,8287	0,6687	1	0,8287	0,6687
440	1	0,8287	0,6687	1	0,8287	0,6687
460	1	0,8287	0,6687	1	0,8287	0,6687

**Κλίμακα 1: 000.000**

Τιμή ανοχής (m)	Τροποποιημένη απόσταση Hausdorff στο διάστημα (0,1)	Απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function στο διάστημα (0,1)	clusters - WARD	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - WARD	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - WARD
20	0,0049	0,0660	0	0,5081	0,6606
40	0,0177	0,1632	0	0,6029	0,6606
60	0,0319	0,2457	0	0,6637	0,6606
<b>80</b>	<b>0,0453</b>	<b>0,2944</b>	<b>0</b>	<b>0,6720</b>	<b>0,6606</b>
100	0,0487	0,3040	0	0,6644	0,6606
120	0,0614	0,3444	0	0,5787	0,6606



Τιμή ανοχής (m)	Τροποποιημένη απόσταση Hausdorff στο διάστημα (0,1)	Απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function στο διάστημα (0,1)	clusters - WARD	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - WARD	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - WARD
140	0,0672	0,3620	0	0,5079	0,6606
160	0,0700	0,3739	0	0,4385	0,6606
180	0,0731	0,3797	0	0,3886	0,6606
200	0,0979	0,4464	1	0,2680	0,6606
220	0,1099	0,4532	1	0,3726	0,6606
240	0,1266	0,4978	1	0,6561	0,6606
260	0,1329	0,5062	1	0,6982	0,6606
280	0,1490	0,5204	1	0,7624	0,6606
300	0,1613	0,5375	1	0,8061	0,6606
320	0,1745	0,5488	1	0,8294	0,6606
340	0,1851	0,5582	1	0,8283	0,6606
360	0,1851	0,5582	1	0,8283	0,6606
380	0,1906	0,5625	1	0,8188	0,6606
400	0,1906	0,5625	1	0,8188	0,6606
420	0,1983	0,5734	1	0,7855	0,6606
440	0,1983	0,5734	1	0,7855	0,6606
460	0,1983	0,5734	1	0,7855	0,6606
480	0,2515	0,6241	1	0,3578	0,6606
580	0,3443	0,7328	2	0,6700	0,6606
600	0,4236	0,7627	2	0,8710	0,6606
620	0,4252	0,7644	2	0,8687	0,6606

Τιμή ανοχής (m)	clusters - AVERAGE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	clusters - COMPLETE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE
20	0	0,5081	0,6606	0	0,5081	0,6606
40	0	0,6029	0,6606	0	0,6029	0,6606
60	0	0,6637	0,6606	0	0,6637	0,6606
80	0	0,6720	0,6606	0	0,6720	0,6606
100	0	0,6644	0,6606	0	0,6644	0,6606

Τιμή ανοχής (m)	clusters - AVERAGE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - AVERAGE	clusters - COMPLETE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - COMPLETE
120	0	0,5787	0,6606	0	0,5787	0,6606
140	0	0,5079	0,6606	0	0,5079	0,6606
160	0	0,4385	0,6606	0	0,4385	0,6606
180	0	0,3886	0,6606	0	0,3886	0,6606
200	2	0,2680	0,6606	1	0,2680	0,6606
220	2	0,3726	0,6606	1	0,3726	0,6606
240	2	0,6561	0,6606	1	0,6561	0,6606
260	2	0,6982	0,6606	1	0,6982	0,6606
280	2	0,7624	0,6606	1	0,7624	0,6606
300	2	0,8061	0,6606	1	0,8061	0,6606
320	2	0,8294	0,6606	1	0,8294	0,6606
340	2	0,8283	0,6606	1	0,8283	0,6606
360	2	0,8283	0,6606	1	0,8283	0,6606
380	2	0,8188	0,6606	1	0,8188	0,6606
400	2	0,8188	0,6606	1	0,8188	0,6606
420	2	0,7855	0,6606	1	0,7855	0,6606
440	2	0,7855	0,6606	1	0,7855	0,6606
460	2	0,7855	0,6606	1	0,7855	0,6606
480	2	0,3578	0,6606	1	0,3578	0,6606
580	1	0,6700	0,6606	2	0,6700	0,6606
600	1	0,8710	0,6606	2	0,8710	0,6606
620	1	0,8687	0,6606	2	0,8687	0,6606

Τιμή ανοχής (m)	clusters - SINGLE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - SINGLE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - SINGLE
20	0	0,4582	0,5072
40	0	0,5236	0,5072
60	0	0,5825	0,5072
80	0	0,6178	0,5072
100	0	0,6239	0,5072
120	0	0,6439	0,5072

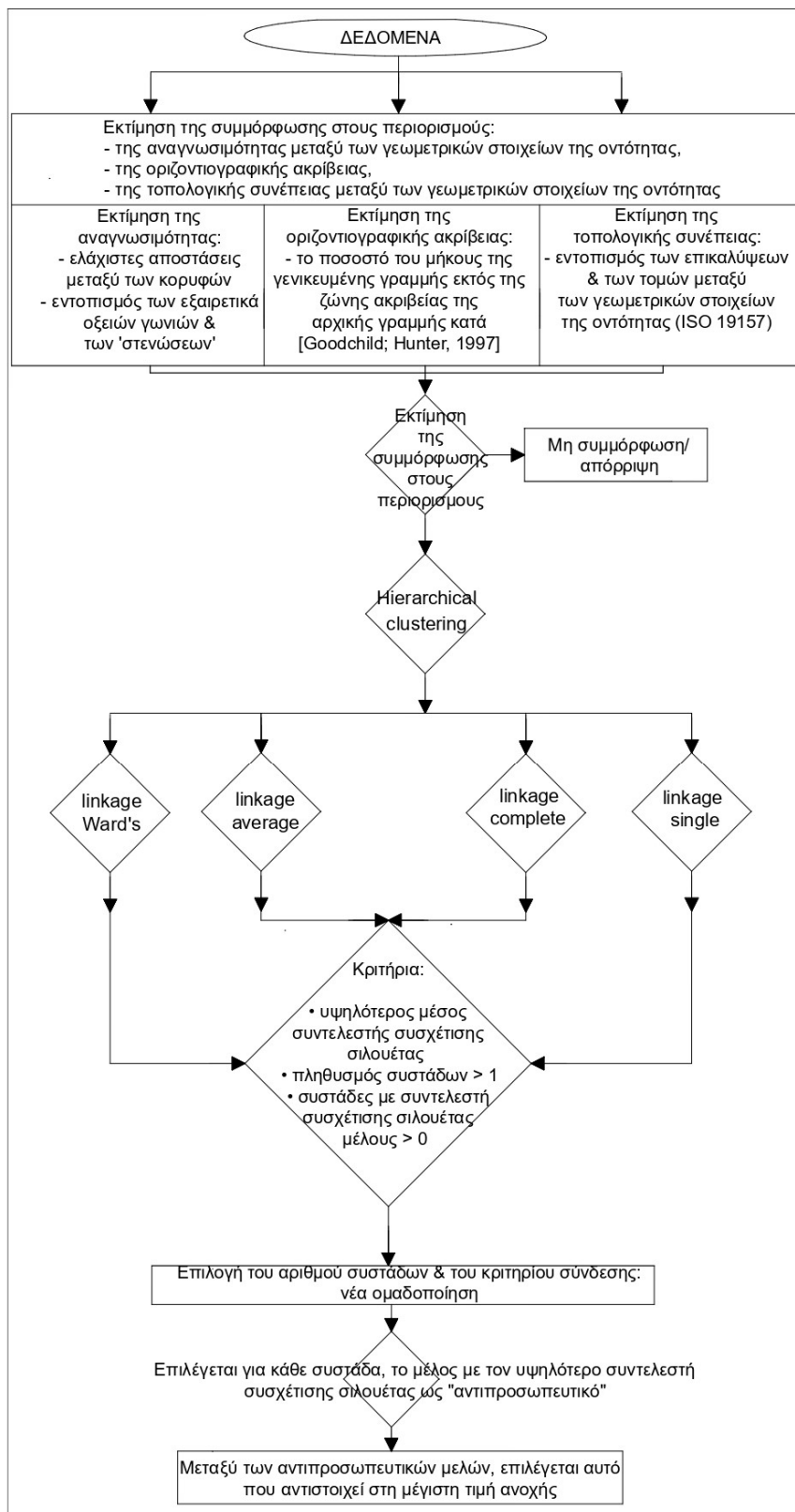
Τιμή ανοχής (m)	clusters - SINGLE	Συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - SINGLE	Μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας - SINGLE
140	0	0,6501	0,5072
160	0	0,6520	0,5072
180	0	0,6518	0,5072
200	0	0,6308	0,5072
220	0	0,6242	0,5072
240	0	0,5774	0,5072
260	0	0,5624	0,5072
280	0	0,5234	0,5072
300	0	0,4698	0,5072
320	0	0,4145	0,5072
340	0	0,3574	0,5072
360	0	0,3574	0,5072
380	0	0,3220	0,5072
400	0	0,3220	0,5072
420	0	0,2352	0,5072
440	0	0,2352	0,5072
460	0	0,2352	0,5072
480	1	0,1602	0,5072
580	1	0,7206	0,5072
600	1	0,7719	0,5072
620	1	0,7698	0,5072

**Πίνακας 13.2.** Αποτελέσματα του δευτέρου σταδίου της μεθόδου επιλογής των προς απεικόνιση οντοτήτων. Εμφανίζονται τα ζεύγη τιμών της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και της απόστασης ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function στο διάστημα (0,1), οι συστάδες ανά κριτήριο σύνδεσης, οι μέσοι συντελεστές συσχέτισης σιλουέτας ανά κριτήριο σύνδεσης, οι συντελεστές συσχέτισης σιλουέτας ανά τιμή. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές ανοχής ως αποτέλεσμα του τρίτου σταδίου εμφανίζονται με κόκκινα γράμματα. Επικρατέστερες τιμές ανοχής ως αποτέλεσμα του τρίτου σταδίου: 360 m για κλίμακα 1: 500.000 και 600 m για κλίμακα 1: 1.000.000. Γραμμική οντότητα γενικευμένη με τον αλγόριθμο απλοποίησης bend simplify της ESRI (Wang, 1996), κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 (γραμμή #1018).

Στο τρίτο στάδιο, επιλέγεται για κάθε συστάδα, το μέλος με τον υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης σιλουέτας ως "αντιπροσωπευτικό". Μεταξύ των αντιπροσωπευτικών μελών, επιλέγεται αυτό που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή

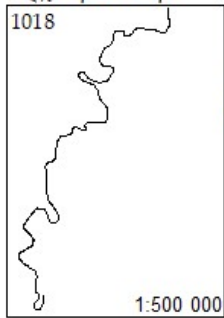
ανοχής ως κατάλληλο για απεικόνιση στον χάρτη. Στην περίπτωση αρχικού πληθυσμού ομάδας μικρότερου των τεσσάρων οντοτήτων ως αποτέλεσμα της επιλογής του πρώτου σταδίου, επιλέγεται επίσης η οντότητα με τη μέγιστη τιμή ανοχής χωρίς να εφαρμόζεται η ιεραρχική ταξινόμηση. Δείγμα των αποτελεσμάτων του τρίτου σταδίου παρουσιάζεται για συγκεκριμένη οντότητα στους Πίνακες 13.1 και 13.2 για τους δύο αλγορίθμους απλοποίησης, point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και bend simplify της ESRI (Wang, 1996) και για τις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000)

Το διάγραμμα ροής της μεθόδου εμφανίζεται στην Εικόνα 22. Στις Εικόνες 23.1 και 23.2 εμφανίζεται η εξέλιξη της διαδικασίας επιλογής της καταλληλότερης προς απεικόνιση γραμμής (ή πολυγώνου). Τα συνολικά αποτελέσματα της εφαρμογής παρουσιάζονται στις Εικόνες 24.1, 24.2 για τις γραμμές και τα πολύγωνα αντίστοιχα. Σε αρχικό επίπεδο, με οπτική εξέταση τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά. Η τελική εφαρμογή του μοντέλου ποιότητας της χαρτογραφικής γενίκευσης που περιγράφεται στην Ενότητα 5 εγγυάται στη συνέχεια την καταλληλότητα των επιλεγμένων οντοτήτων.



Εικόνα 22. Διάγραμμα ροής της μεθόδου επιλογής κατάλληλων προς απεικόνιση γενικευμένων οντοτήτων.

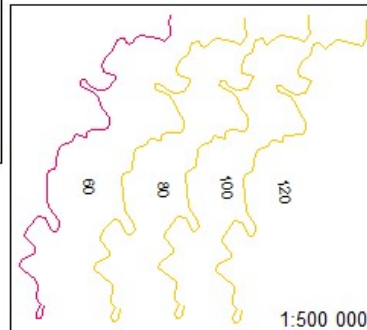
Αρχική οντότητα



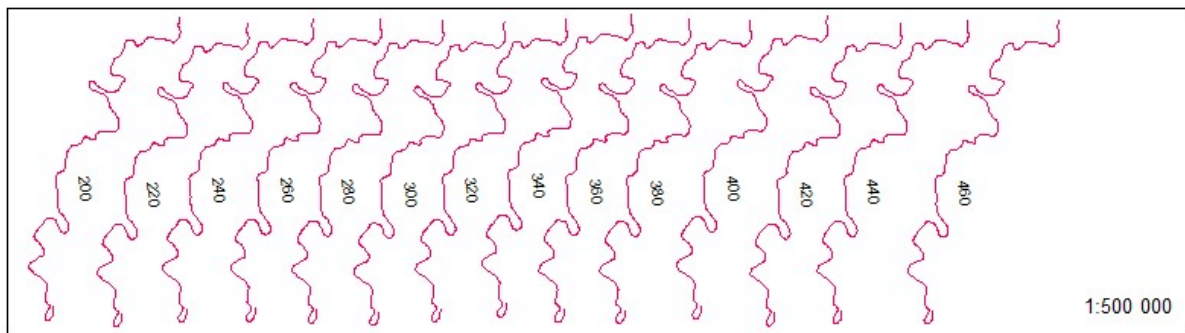
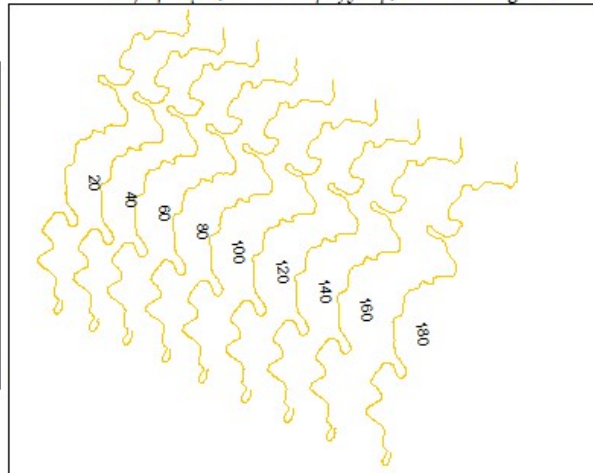
Στάδια 1 & 2, Πληθυσμός > 4:

- περιορισμοί: αναγνωσιμότητας, οριζοντιογραφικής ακρίβειας, τοπολογικής συνέπειας
- ιεραρχική ταξινόμηση/ διαμόρφωση συσταδών

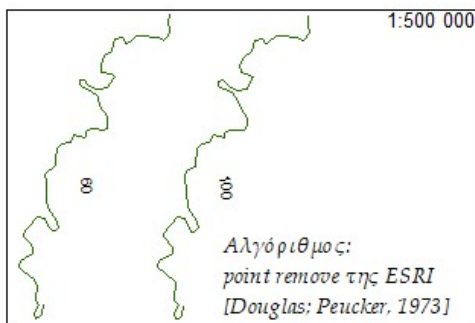
Αλγόριθμος: *point remove* της ESRI [Douglas; Peucker, 1973]



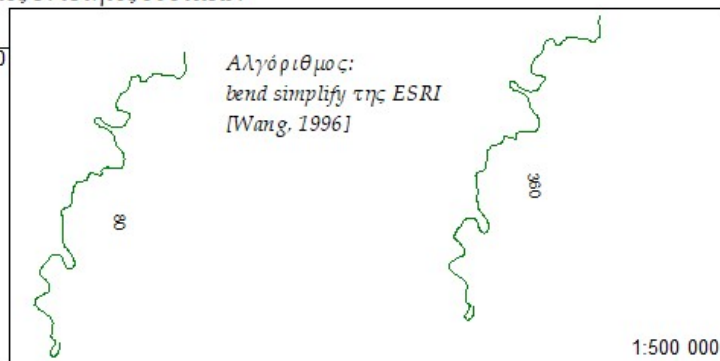
Αλγόριθμος: *bend simplify* της ESRI [Wang, 1996]



Στάδιο 3, Πληθυσμός > 4: Αντιπροσωπευτικές οντότητες συσταδών

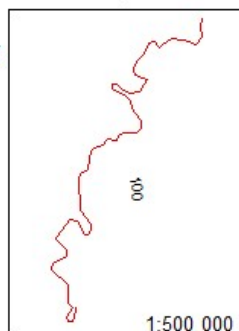


Αλγόριθμος:  
*point remove* της ESRI  
[Douglas; Peucker, 1973]

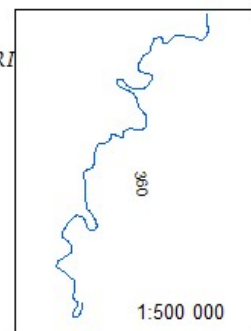


Αλγόριθμος:  
*bend simplify* της ESRI  
[Wang, 1996]

Τελική γενικευμένη οντότητα  
Αλγόριθμος: *point remove* της ESRI  
[Douglas; Peucker, 1973]



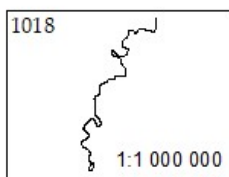
Τελική γενικευμένη οντότητα  
Αλγόριθμος: *bend simplify* της ESRI  
[Wang, 1996]



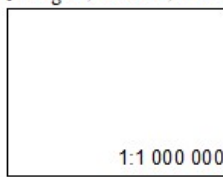
Στάδιο 1, Πληθυσμός < 4:

- περιορισμοί: αναγνωσιμότητας, οριζοντιογραφικής ακρίβειας, τοπολογικής συνέπειας

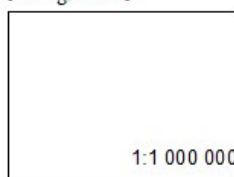
Αρχική οντότητα



Αλγόριθμος: *point remove* της ESRI [Douglas; Peucker, 1973]



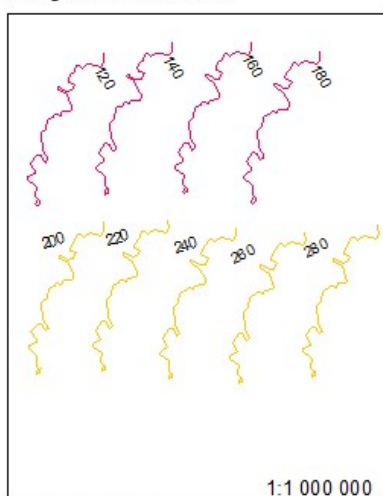
Αλγόριθμος: *bend simplify* της ESRI [Wang, 1996]



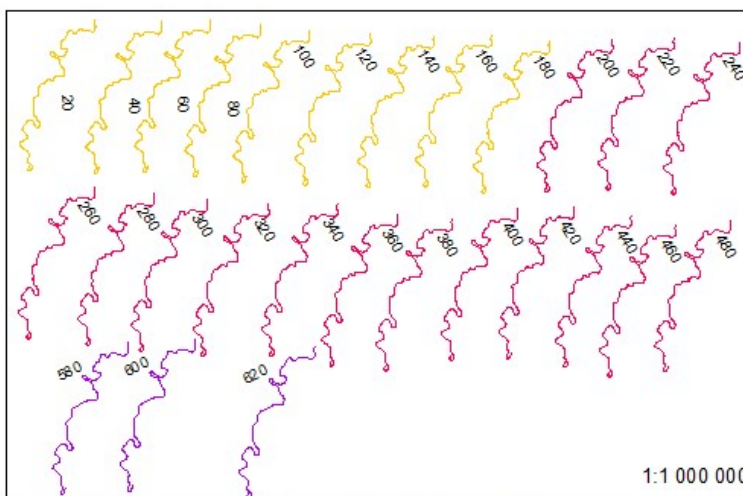
Στάδια 1 & 2, Πληθυσμός > 4:

- περιορισμοί: αναγνωσιμότητας, οριζοντιογραφικής ακρίβειας, τοπολογικής συνέπειας  
- ιεραρχική ταξινόμηση/ διαμόρφωση συσταδών

Αλγόριθμος: *point remove* της ESRI [Douglas; Peucker, 1973]



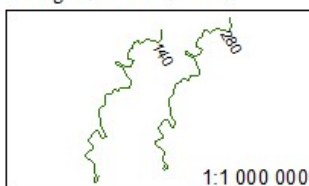
Αλγόριθμος: *bend simplify* της ESRI [Wang, 1996]



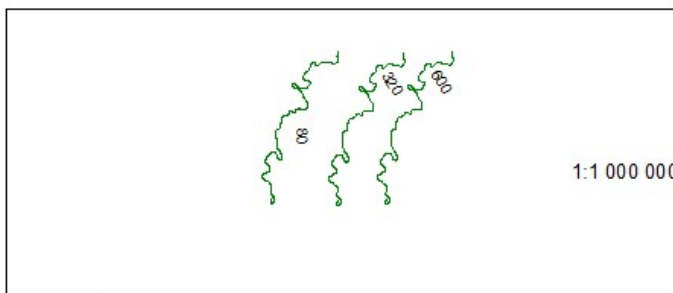
Στάδιο 3, Πληθυσμός > 4:

- Αντιπροσωπευτικές οντότητες συσταδών

Αλγόριθμος: *point remove* της ESRI [Douglas; Peucker, 1973]

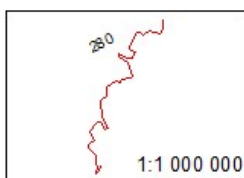


Αλγόριθμος: *bend simplify* της ESRI [Wang, 1996]



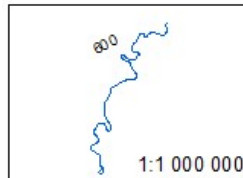
Τελική γενικευμένη οντότητα

Αλγόριθμος: *point remove* της ESRI [Douglas; Peucker, 1973]



Τελική γενικευμένη οντότητα

Αλγόριθμος: *bend simplify* της ESRI [Wang, 1996]



**Εικόνα 23.1.** Τα τρία στάδια της διαδικασίας επιλογής της καταλληλότερης προς απεικόνιση γραμμής στις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 για τους αλγορίθμους απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και bend simplify της ESRI (Wang, 1996) (γραμμής #1018).



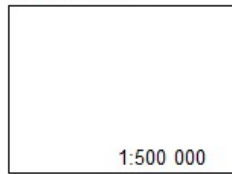
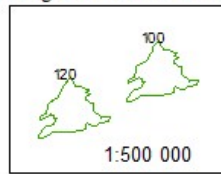
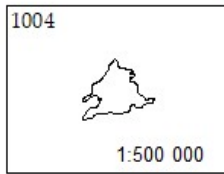
Στάδιο 1, Πληθυσμός < 4:

- περιορισμοί: αναγνωσιμότητας, οριζοντιογραφικής ακρίβειας, τοπολογικής συνέπειας

Αρχική οντότητα

Αλγόριθμος: *point remove* της ESRI  
[Douglas; Peucker, 1973]

Αλγόριθμος: *bend simplify* της ESRI  
[Wang, 1996]

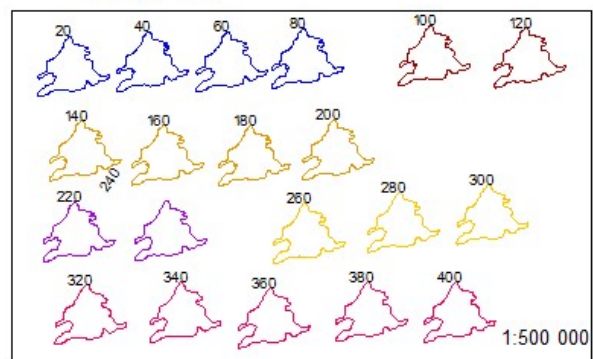
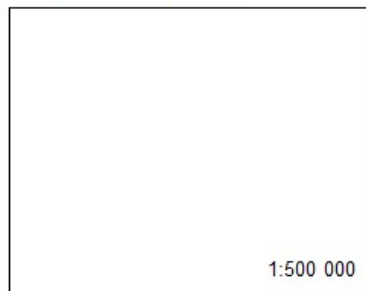


Στάδια 1 & 2, Πληθυσμός > 4:

- περιορισμοί: αναγνωσιμότητας, οριζοντιογραφικής ακρίβειας, τοπολογικής συνέπειας  
- ιεραρχική ταξινόμηση/ διαμόρφωση συστάδων

Αλγόριθμος: *point remove* της ESRI  
[Douglas; Peucker, 1973]

Αλγόριθμος: *bend simplify* της ESRI  
[Wang, 1996]

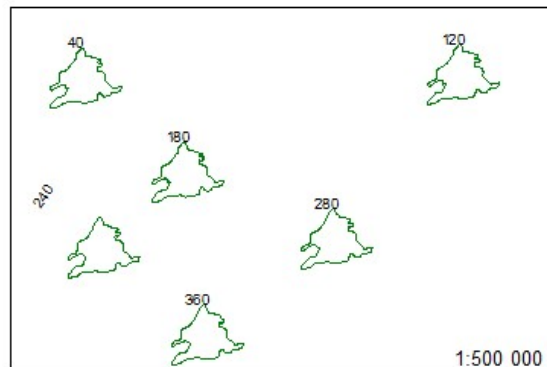
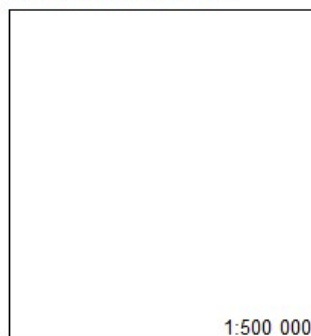


Στάδιο 3, Πληθυσμός > 4:

- Αντιπροσωπευτικές οντότητες συστάδων

Αλγόριθμος: *point remove* της ESRI  
[Douglas; Peucker, 1973]

Αλγόριθμος: *bend simplify* της ESRI [Wang, 1996]

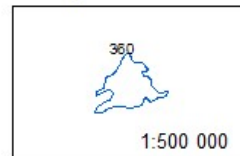
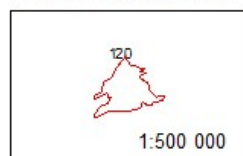


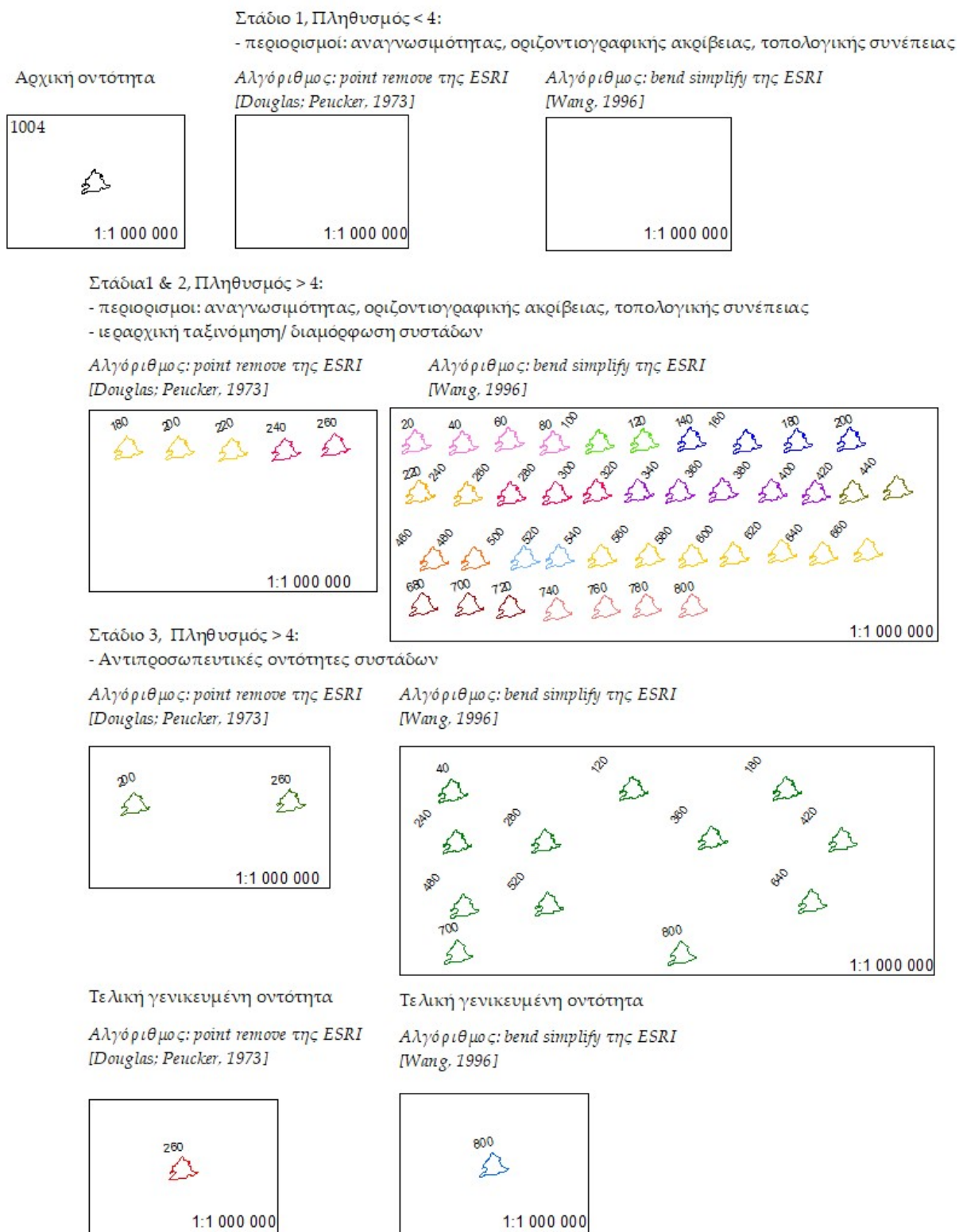
Τελική γενικευμένη οντότητα

Τελική γενικευμένη οντότητα

Αλγόριθμος: *point remove* της ESRI  
[Douglas; Peucker, 1973]

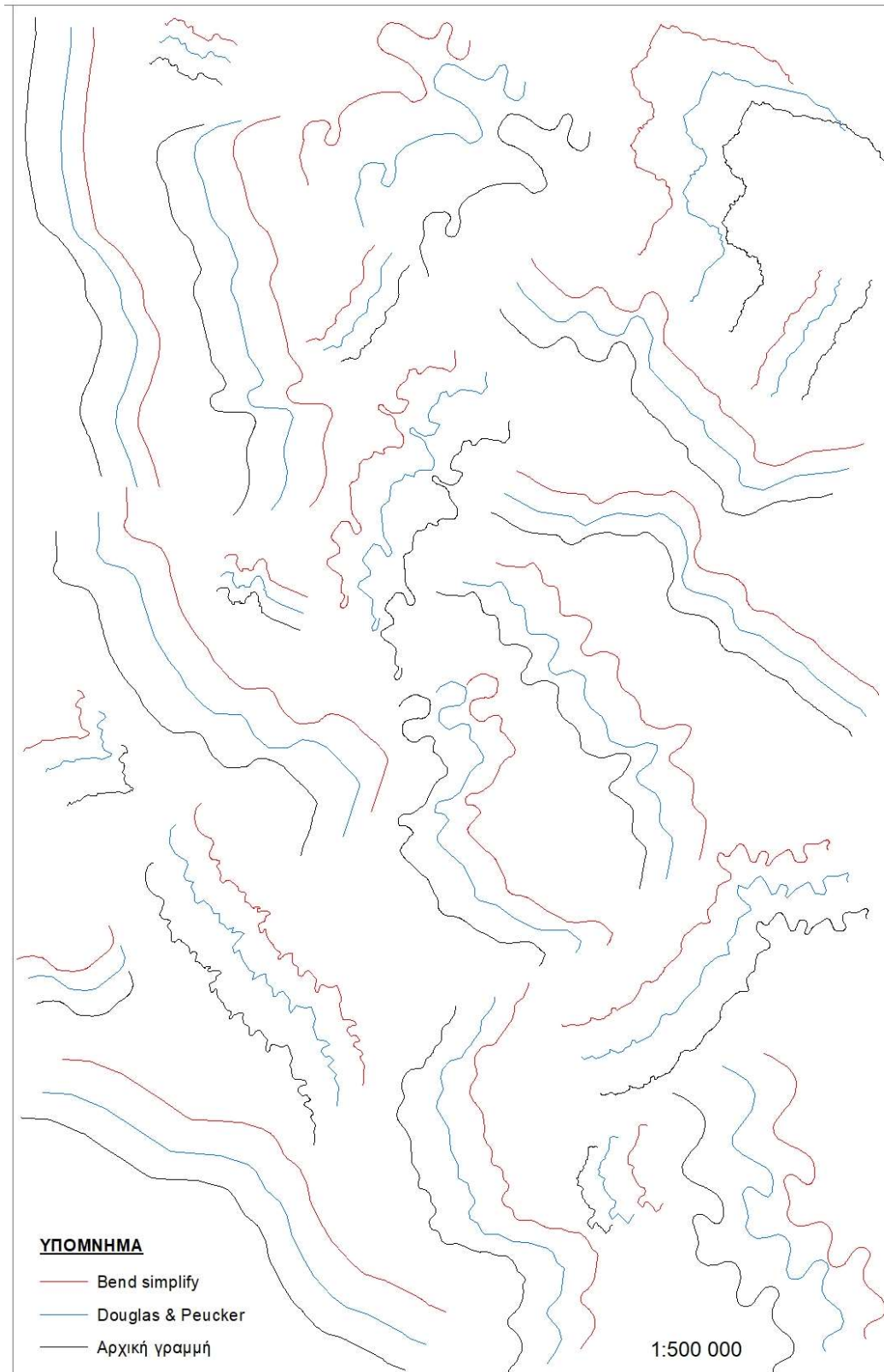
Αλγόριθμος: *bend simplify* της ESRI  
[Wang, 1996]

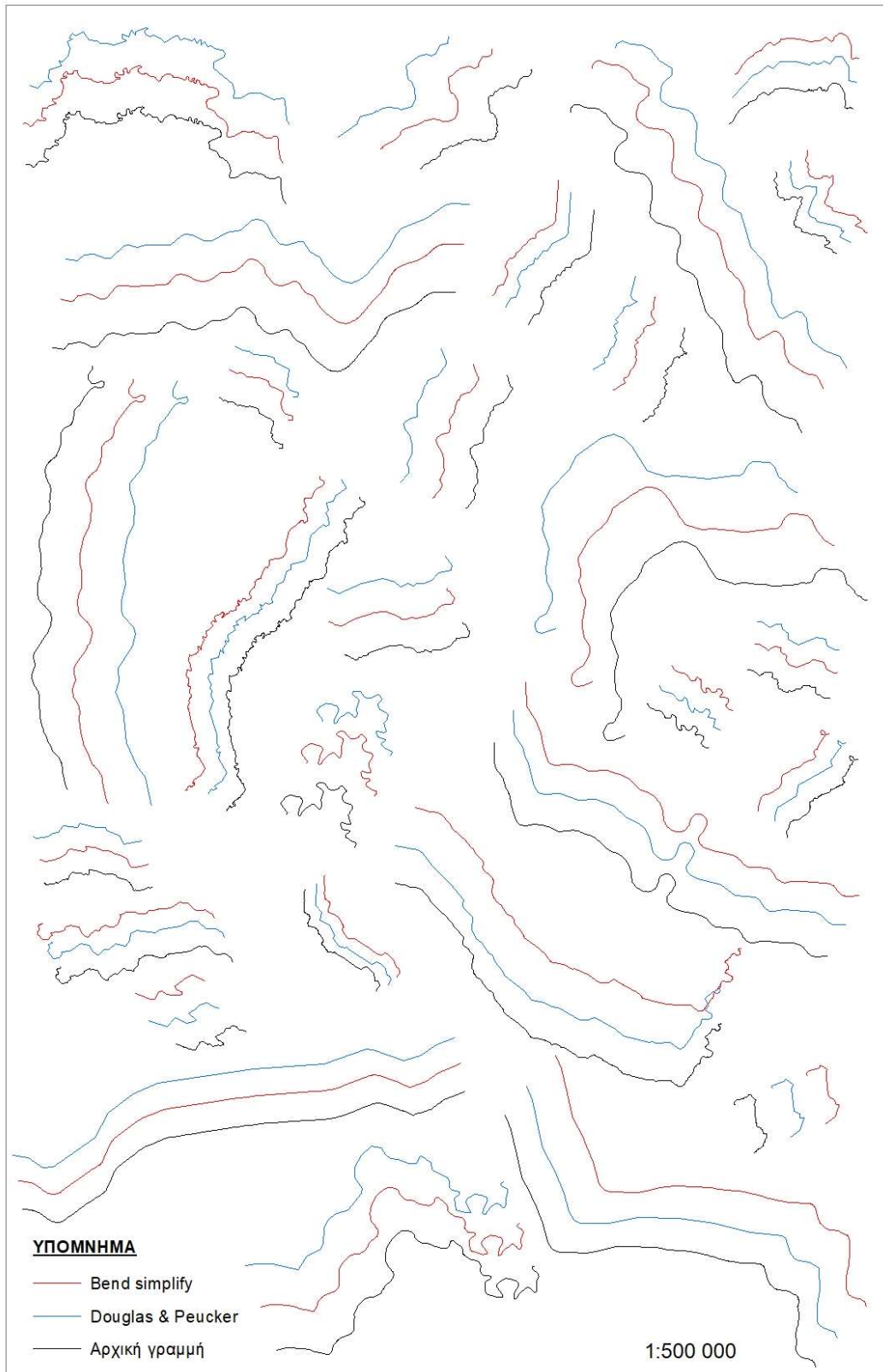


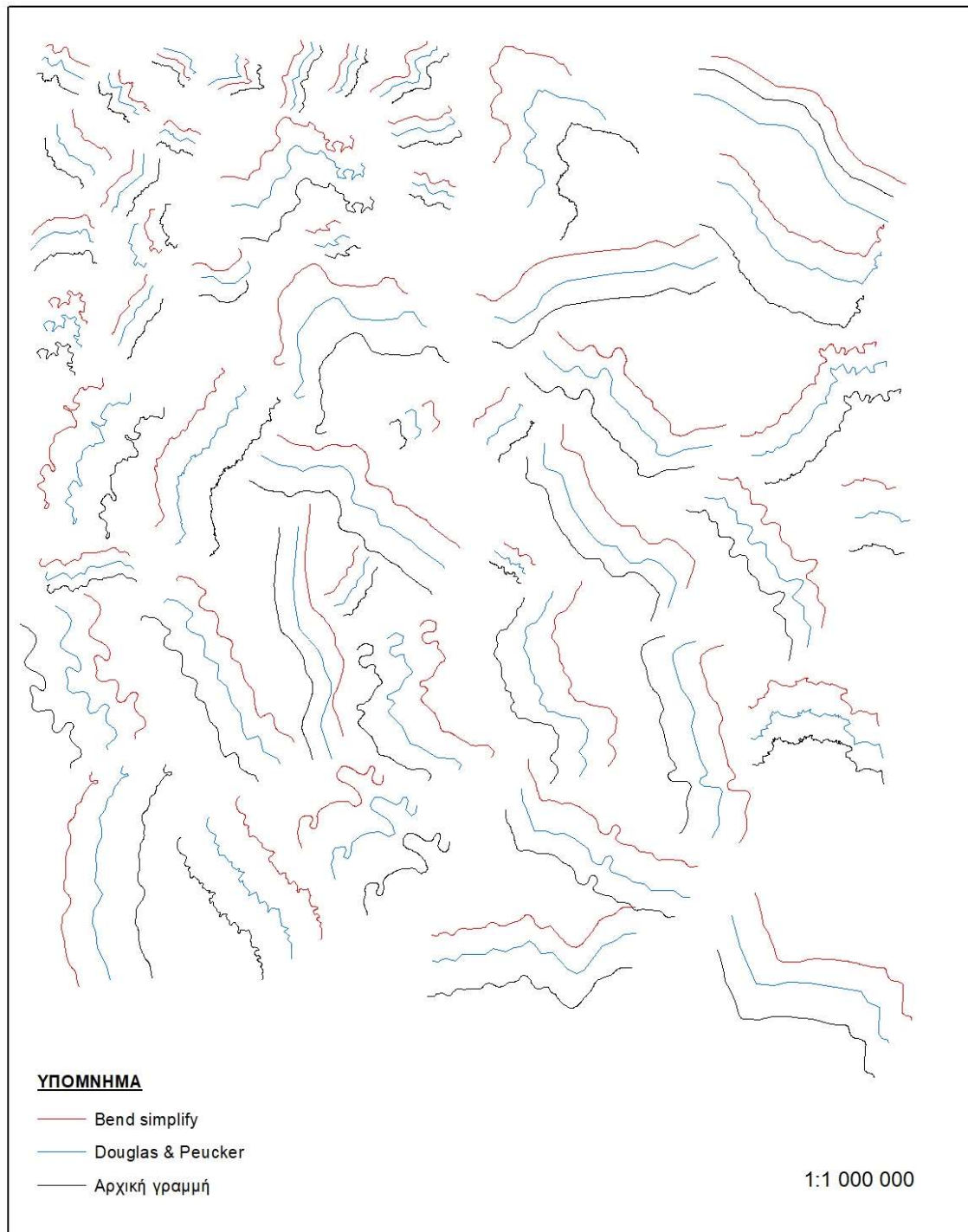


Εικόνα 23.2. Τα τρία στάδια της διαδικασίας επιλογής του καταλληλότερου προς απεικόνιση πολυγώνου στις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 για τους αλγορίθμους

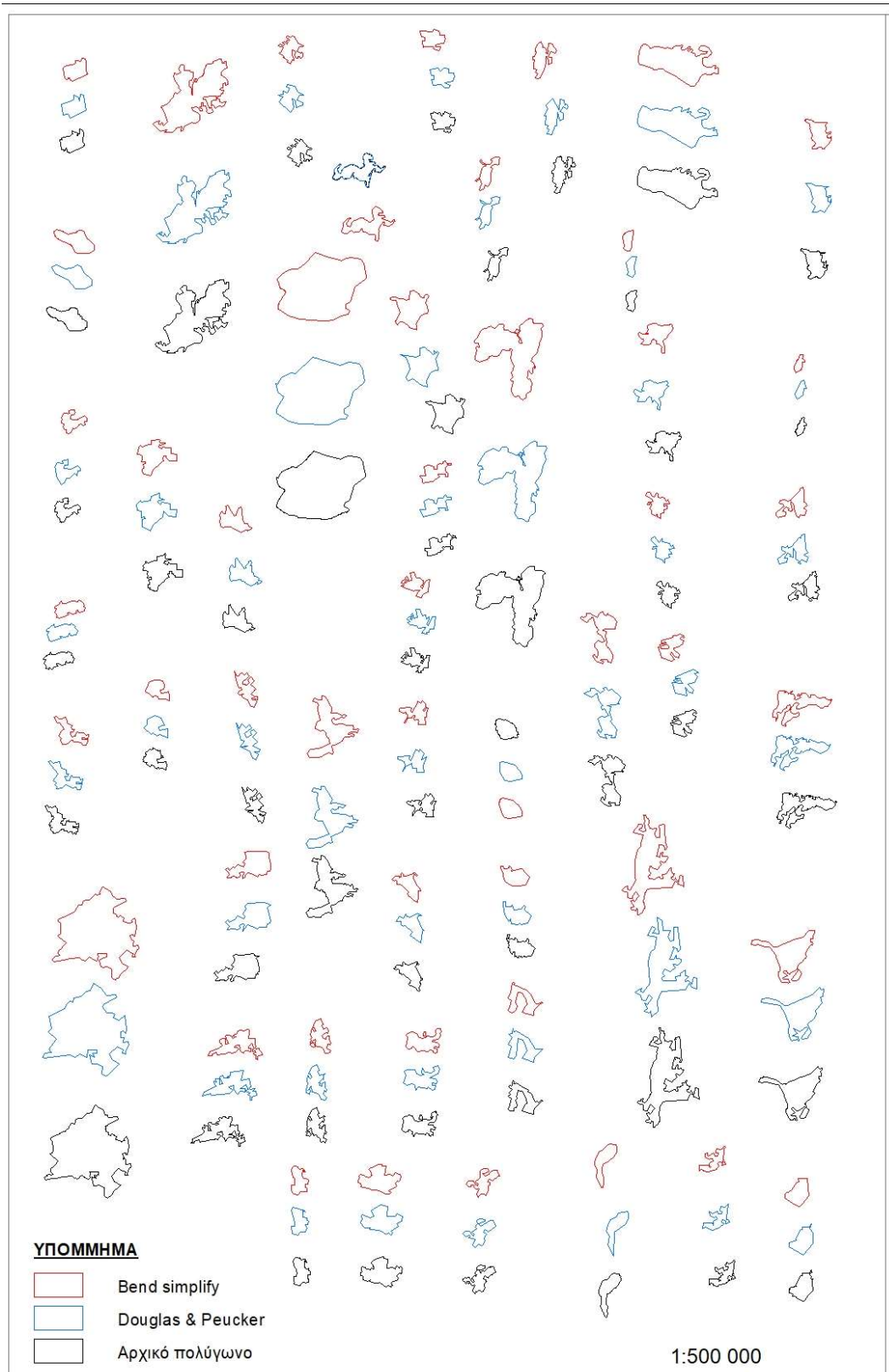
απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και bend simplify της ESRI (Wang, 1996) (πολύγωνο #1004).

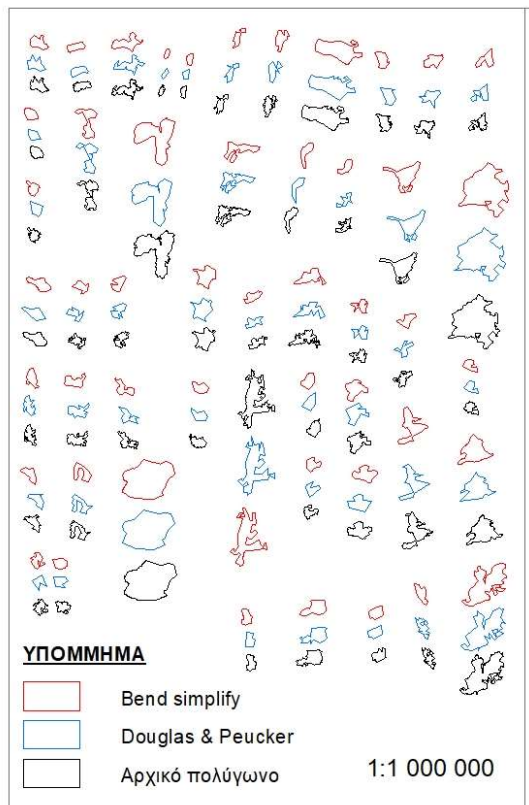






**Εικόνα 24.1.** Γραμμές σε κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 (αρχική γραμμή σε μαύρο χρώμα, γενικευμένη γραμμή με point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) σε μπλε και γενικευμένη γραμμή με bend simplify της ESRI (Wang, 1996) σε κόκκινο).





**Εικόνα 24.2.** Πολύγωνα σε κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 (αρχικό πολύγωνο σε μαύρο χρώμα, γενικευμένο πολύγωνο με point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) σε μπλε και γενικευμένο πολύγωνο με bend simplify της ESRI (Wang, 1996) σε κόκκινο).

## 2.8 Συμπεράσματα επί της Ενότητας

Στην παρούσα Ενότητα παρουσιάστηκαν οι εργασίες για την ανάπτυξη μίας μεθόδου εκτίμησης της κατάστασης της μορφής της γενικευμένης οντότητας και αξιολόγησης του βαθμού διατήρησής της στη διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης. Συγκεκριμένα αναπτύχθηκαν:

- i. Η διαδικασία εκτίμησης της κατάστασης της μορφής της γενικευμένης οντότητας.
- ii. Η διαδικασία αξιολόγησης του βαθμού διατήρησης της μορφής με την επιλογή της καταλληλότερης προς απεικόνιση γενικευμένης λύσης.

Οι εργασίες της διαδικασίας εκτίμησης της κατάστασης της μορφής της οντότητας αφορούν:

- Στην αξιολόγηση της ευαισθησίας στην μεταβολή της μορφής μερικών από τις ευρέως χρησιμοποιούμενες τεχνικές συσχέτισης και ευρέως χρησιμοποιούμενων μέτρων ομοιότητας της επιστημονικής βιβλιογραφίας. Ως αποτέλεσμα της αξιολόγησης προέκυψε ο εντοπισμός του μέτρου ομοιότητας



της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και της τεχνικής συσχέτισης μορφών με μέτρο την απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function τα οποία έχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της μεταβολής της γραμμής.

- Στην ενσωμάτωση στην προτεινόμενη μέθοδο, των περιορισμών της αναγνωσιμότητας, της τοπολογικής συνέπειας μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας και της οριζοντιογραφικής ακρίβειας συνδυαστικά με τον σχεδιασμό των αντίστοιχων μέτρων και τεχνικών υπολογισμού τους.

Οι εργασίες της διαδικασίας αξιολόγησης του βαθμού διατήρησης της μορφής μέσω της επιλογής του καταλληλότερου προς απεικόνιση αποτελέσματος γενίκευσης αφορούν:

- Στην επιλογή των γενικευμένων οντοτήτων που συμμορφώνονται στους περιορισμούς της αναγνωσιμότητας, της τοπολογικής συνέπειας και της οριζοντιογραφικής ακρίβειας.
- Στην εφαρμογή μίας διαδικασίας ομαδοποίησης των οντοτήτων με τη χρήση των παραμέτρων περιγραφής της μορφής τους, την επιλογή αντιπροσωπευτικών οντοτήτων βάσει κριτηρίων και την επιλογή της καταλληλότερης προς απεικόνιση οντότητας μεταξύ αυτών.

Η προτεινόμενη μέθοδος εκτίμησης της κατάστασης της μορφής της γενικευμένης οντότητας και αξιολόγησης του βαθμού διατήρησής της στη χαρτογραφική γενίκευση καλύπτει την απαίτηση του περιορισμού διατήρησης της μορφής που πρέπει να περιλαμβάνεται σε οποιοδήποτε μοντέλο ποιότητας για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων γενίκευσης. Η καινοτομία της προτεινόμενης μεθόδου οφείλεται:

- Στη σύνθεση μίας τεχνικής συσχέτισης μορφών που δεν προβλέπεται στην υφιστάμενη βιβλιογραφία (απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function).
- Στη διαμόρφωση δύο ισχυρών παραμέτρων για την περιγραφή της μορφής της οντότητας που εμπεριέχουν τη μεταβολή της μορφής (τροποποιημένη απόσταση Hausdorff, τεχνική συσχέτιση μορφών με μέτρο την απόσταση ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function).
- Στην ευκολία εφαρμογής της στο περιβάλλον οποιουδήποτε Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών.
- Στο γεγονός ότι οι μορφές που επιλέγονται προς απεικόνιση είναι κατάλληλες και εναπόκειται στον χαρτογράφο να χρησιμοποιήσει μία από αυτές.

Η μέθοδος κρίνεται επομένως, επαρκής για τη δημιουργία της χαρτογραφικής βάσης με την αποδεκτή ποιότητα σχετικά με τη διατήρηση της μορφής καθώς:

- Η εφαρμογή των περιορισμών αναγνωσιμότητας και τοπολογικής συνέπειας μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας εξασφαλίζουν τη σαφήνεια και την ακεραιότητα στην απόδοση της μορφής.
- Η εφαρμογή του περιορισμού της οριζοντιογραφικής συνέπειας οριζόμενης βάσει της διακριτικής ικανότητας στην κλίμακα γενίκευσης εξασφαλίζει την απουσία γραφικών προβλημάτων μεταξύ της εξεταζόμενης οντότητας και των υπολοίπων οντοτήτων του χάρτη δεδομένου ότι, η σημασιολογική γενίκευση υλοποιείται επιτυχώς σε προηγούμενη φάση.

Σημειώνεται τέλος ότι, η τελική εξασφάλιση της καταλληλότητας των επιλεγμένων γενικευμένων οντοτήτων προκύπτει με την εφαρμογή του μοντέλου ποιότητας στη χαρτογραφική γενίκευση που περιγράφεται στην Ενότητα 5.

### 3. Μεθοδολογία για την εκτίμηση και την αξιολόγηση της ποιότητας των χαρτογραφικών δεδομένων

---

#### 3.1 Περιορισμοί (constraints) γενίκευσης

Η αρχική πρόταση για την υιοθέτηση περιορισμών (constraints) με στόχο την καθοδήγηση της αυτοματοποιημένης διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης πραγματοποιήθηκε από την Kate Beard (1991). Κατά την Kate Beard (1991), η γενίκευση υλοποιείται μέσω της ικανοποίησης του συνόλου των περιορισμών με την υλοποίηση επεμβάσεων στα δεδομένα θεωρώντας ότι, ο κάθε περιορισμός μπορεί να ικανοποιείται από πλήθος επεμβάσεων χωρίς να υποδεικνύει μία συγκεκριμένη επέμβαση. Η ίδια προσδιορίζει τέσσερις κατηγορίες περιορισμών:

- i. περιορισμοί γραφικής απεικόνισης (*graphic constraints*) που ορίζονται σε σχέση με τη διακριτική ικανότητα και τις ρυθμίσεις απεικόνισης,
- ii. περιορισμοί δομής (*structural constraints*) που αφορούν στις χωρικές και περιγραφικές (βάσει των ιδιοτήτων τους) σχέσεις των οντοτήτων με σκοπό τη διατήρηση των σημαντικών φαινομένων του χάρτη με αφαίρεση των χωρικών και περιγραφικών λεπτομερειών,
- iii. περιορισμοί εφαρμογής (είδος συμβόλων, περιοχή απεικόνισης κ.ά.) ως συνθήκες που ορίζονται από τον σκοπό του χάρτη (*application constraints*),
- iv. περιορισμοί ελέγχου της διαδικασίας, δηλαδή της σειράς εκτέλεσης και της αλληλεπίδρασης των ενεργειών ή των επεμβάσεων και της ιεραρχικής ικανοποίησης των περιορισμών (*procedural constraints*).

Η διαμόρφωση των περιορισμών κατά την Kate Beard (1991) πραγματοποιείται βάσει των ρυθμιστών/ ελέγχων γενίκευσης (controls) όπως αυτοί αναφέρονται από τους Arthur Robinson, Joel Morrison, Philip Muehrcke, Jon Kimerling και Stephen Gupstill (1995) και τους Kurt Brassel και Robert Weibel (1988):

- σκοπός του χάρτη,
- κλίμακα του παραγόμενου χάρτη,
- ποιότητα των δεδομένων,
- γραφικά όρια.

Στη συνέχεια, οι Anne Ruas και Corinne Plazanet (1996) σε έρευνά τους για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας της γενίκευσης προσδιορίζουν τρεις (3) περιπτώσεις εφαρμογής των περιορισμών:

- i. της εύρεσης περιοχών όπου απαιτείται η εφαρμογή γενίκευσης
- ii. της καθοδήγησης για την επιλογή κατάλληλης επέμβασης με βάση τις προτεραιότητες που τίθενται από τους περιορισμούς,
- iii. του ελέγχου των επιπτώσεων εφαρμογής ενός αλγορίθμου γενίκευσης μέσω του εντοπισμού της παραβίασης των περιορισμών.

Διακρίνουν επιπλέον τέσσερις (4) κατηγορίες περιορισμών:

- i. αναγνωσιμότητας (*legibility constraints*) που σχετίζονται με τη δυνατότητα διάκρισης του αντικειμένου,
- ii. μορφής (*shape constraints*),

iii. χωρικοί (*spatial constraints*) οι οποίοι σε επίπεδο αντικειμένου αφορούν στην απόλυτη (*absolute position constraints*) και σχετική θέση του (*relative displacement constraints*) και στην περίπτωση ομάδας αντικειμένων αποτελούν περιορισμούς τοπολογίας – τομής και περίκλεισης (*topological constraints*) και εγγύτητας (*proximity constraints*),

iv. σημασιολογικούς (*semantic constraints*) που αφορούν στη βάση δεδομένων και καθορίζουν το ποσοστό του είδους των οντοτήτων που θα διατηρηθεί (*quantity constraints*), την ιεραρχία στη διατήρηση των οντοτήτων (*inter – classes quantity constraints*), τη λειτουργία των οντοτήτων (*functional constraints*).

Η πρώτη πλήρης ένταξη των περιορισμών σε ένα σύστημα χαρτογραφικής γενίκευσης πραγματοποιείται στο μοντέλο αυτοματοποιημένης χαρτογραφικής γενίκευσης AGENT όπου υλοποιούνται ως λειτουργίες που περιγράφουν την απαιτούμενη τιμή μίας οντότητας (π.χ. μέγεθος), δύο οντοτήτων (π.χ. απόσταση), μίας ομάδας οντοτήτων (π.χ. πυκνότητα) (Ruas & Duchêne, 2007). Στις τεχνικές προδιαγραφές του προγράμματος AGENT διακρίνονται δύο κατηγορίες περιορισμών:

- οι γεωγραφικοί και οι χαρτογραφικοί περιορισμοί (*geographic and cartographic constraints*) που προκύπτουν εξαιτίας των χαρακτηριστικών των δεδομένων και των προδιαγραφών του χάρτη,
- οι περιορισμοί στη διαδικασία (*process constraints*) που αφορούν στους πόρους και στις ροές των εργασιών.

Οι Lars Harrie και Robert Weibel (2007) σε έρευνά τους για την μοντελοποίηση της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης συνοψίζουν την τυποποίηση των περιορισμών που έχει προταθεί κυρίως από τους Anne Ruas και Corinne Plazanet (1996) και διατυπώνουν περιορισμούς που αφορούν:

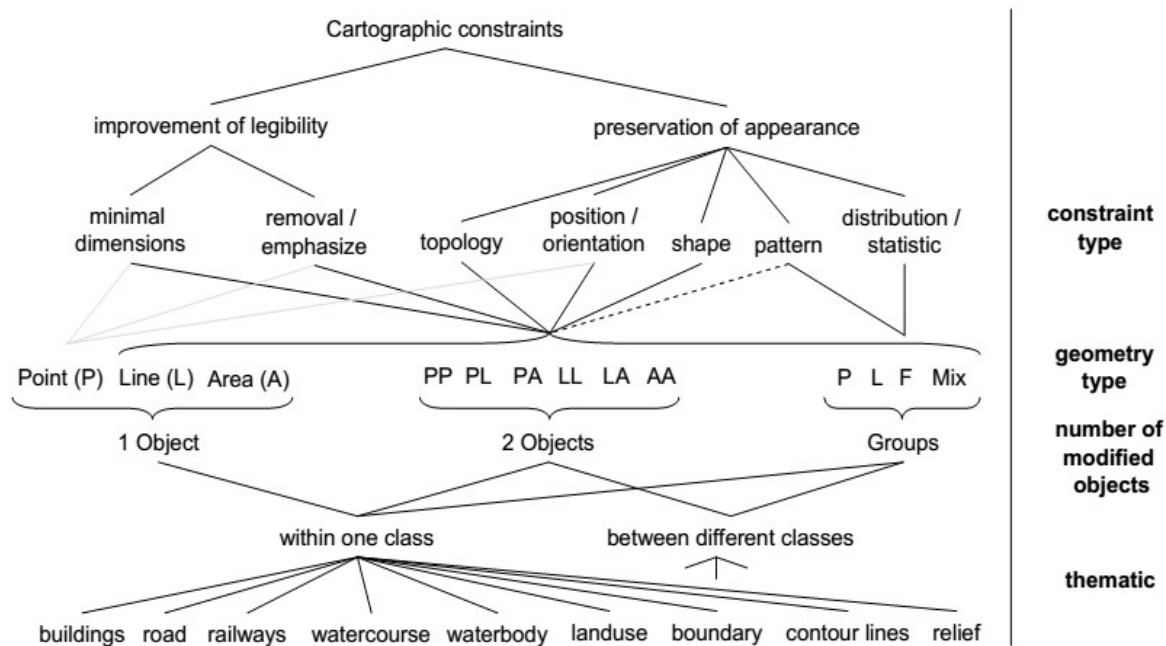
- i. στην απόλυτη και σχετική θέση των οντοτήτων (*position constraints*),
- ii. στην τοπολογία (*topology constraints*) σχετικά με τις σχέσεις συνδεσιμότητας των οντοτήτων,
- iii. στη διατήρηση της μορφής (*shape constraints*),
- iv. στη διατήρηση της διάταξης (*structural constraints*), όπως στις περιπτώσεις των δικτύων,
- v. στη λειτουργικότητα του χάρτη (*functional constraints*) σε σχέση με τον σκοπό του χάρτη,
- vi. στην αναγνωσιμότητα του χάρτη (*legibility constraints*) σχετικά με την απεικόνιση των οντοτήτων.

Τέλος, οι Dirk Burghardt, Stefan Schmid και Jantien Stoter (2007) στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος του οργανισμού EuroSDR κατά τη φάση της τυποποίησης των προδιαγραφών των εθνικών οργανισμών χαρτογραφίας και των περιορισμών διακρίνουν δύο (2) κατηγορίες περιορισμών (Εικόνα 25):

- i. βελτίωσης της αναγνωσιμότητας (*improvement of legibility*) που αφορά στις ελάχιστες απαιτούμενες διαστάσεις των οντοτήτων για τη διακριτή τους απόδοση και τη διατήρησή τους ή τη μεγέθυνσή τους για το σκοπό αυτό,

ii. διατήρησης της απόδοσης των οντοτήτων (*preservation of appearance*) η οποία περιλαμβάνει περιορισμούς τοπολογίας (συνδεσιμότητας), θέσης (μετατόπιση, στροφή), μορφής, διάταξης (*pattern*), διασποράς/ στατιστικών μεγεθών π.χ. πυκνότητας (*distribution/ statistic*).

Οι συγκεκριμένοι περιορισμοί αφορούν στις οντότητες του συνόλου των γεωμετρικών τύπων, εφαρμόζονται σε μία, δύο οντότητες ή ομάδα οντοτήτων, στην ίδια κατηγορία ή μεταξύ κατηγοριών. Προτείνεται επιπλέον ο διαχωρισμός τους σε ανελαστικούς ('hard') οι οποίοι απαιτούν πλήρη συμμόρφωση και ελαστικούς ('soft') με δυνατότητα μερικής συμμόρφωσης.



Εικόνα 25. Τυποποίηση περιορισμών κατά τους Dirk Burghardt, Stefan Schmid και Jantien Stoter (2007).

### 3.2 Η έννοια της ποιότητας στη γενίκευση του χάρτη

Ο εννοιολογικός προσδιορισμός της ποιότητας στη γενίκευση που επιχειρείται στη συνέχεια, βασίζεται στην αναγνώριση των μετασχηματισμών που διενεργούνται και στη φύση της επίδρασής τους. Θεωρώντας τους μετασχηματισμούς για τις δύο φάσεις της γενίκευσης κατά τους Nicola Regnaud και Robert McMaster (2007), συνοψίζεται ως εξής:

- στη σημασιολογική γενίκευση οι μετασχηματισμοί εφαρμόζονται στο σχήμα της βάσης τροποποιώντας τις κατηγορίες και τις ιδιότητες των κατηγοριών και στις οντότητες για την εναρμόνισή τους με τους κανόνες των κατηγοριών του νέου σχήματος με κυριότερες την αλλαγή κατηγορίας, την ενσωμάτωση, την κατάργηση,

- στη χαρτογραφική γενίκευση οι μετασχηματισμοί είναι γεωμετρικής φύσης προκαλώντας τη χωρική μεταβολή της γενικευόμενης οντότητας, με κυριότερες την απλοποίηση και τη μετάθεση.

Με οδηγό τη συγκεκριμένη προσέγγιση, διαμορφώνονται οι τρεις (3) συνιστώσες της ποιότητας στη διαδικασία της γενίκευσης:

- i. Η *γεωμετρική ποιότητα*, η οποία σχετίζεται με την επίδραση των γεωμετρικών μετασχηματισμών της χαρτογραφικής γενίκευσης στα γεωμετρικά στοιχεία των οντοτήτων με συνέπεια τη μεταβολή της μορφής και της θέσης της οντότητας.
- ii. Η *θεματική ποιότητα* που αφορά στα αποτελέσματα των μετασχηματισμών της σημασιολογικής γενίκευσης στις οντότητες επηρεάζοντας την πληρότητα της πληροφορίας, τη συμβατότητα των οντοτήτων με τους κανόνες των θεματικών κατηγοριών του νέου σχήματος, την ορθή κατηγοριοποίηση των οντοτήτων με βάση τους ορισμούς των θεματικών κατηγοριών, τη συμμόρφωση των τιμών των ιδιοτήτων με τα πεδία ορισμού και την ακρίβεια των τιμών.
- iii. Η *γραφική/ διάταξης ποιότητα (Gestalt)* που αφορά στη γραφική απόδοση του χάρτη με την έννοια της αναγνωσιμότητας και της δυνατότητας να μεταφέρει τις πληροφορίες του τόπου, η οποία επηρεάζεται έμμεσα λόγω της μεταβολής στις εννοιολογικές και τοπολογικές (συνδεσιμότητας) σχέσεις των οντοτήτων – θεωρώντας τον χάρτη ως σύστημα σχέσεων και την έννοια Gestalt να συνδέεται με την ιδέα ότι, το ανθρώπινο μάτι βλέπει μια συλλογή αντικειμένων στο σύνολό τους πριν αντιληφθεί τα επιμέρους μέρη τους (Mackness et al., 2014). Επηρεάζεται από τους μετασχηματισμούς και των δύο φάσεων της γενίκευσης (σημασιολογικής και χαρτογραφικής).

### 3.3 Εννοιολογικό πλαίσιο μεθοδολογίας

Η εννοιολογική προσέγγιση της προτεινόμενης μεθοδολογίας εκτίμησης και αξιολόγησης της ποιότητας των χαρτογραφικών δεδομένων (Tsoulos & Blana, 2013), (Tsoulos & Blana, 2015), (Blana & Tsoulos, 2022b) υιοθετεί την προσέγγιση του Dietmar Grünreich (1985) θεωρώντας τη διαδικασία της σημασιολογικής γενίκευσης ως τη μετάπτωση μιας γεωχωρικής βάσης σε μία κύρια χωρική η οποία στη συνέχεια μετατρέπεται σε άλλες χωρικές βάσεις διαφορετικής ανάλυσης (κλίμακας) και τη χαρτογραφική γενίκευση ως τη μετάπτωση της χωρικής βάσης σε χαρτογραφική με επεμβάσεις στις οντότητες και στόχο την απεικόνισή τους διατηρώντας το ίδιο σχήμα βάσης. Η προτεινόμενη μεθοδολογία αναπτύσσεται με οδηγούς τις τρεις διαδικασίες του μοντέλου των William Mackness και Anne Ruas (2007) για την εκτίμηση της κατάστασης των δεδομένων πριν, κατά τη διάρκεια και στο πέρας της γενίκευσης. Συγκεκριμένα, σχεδιάζεται για κάθε φάση της γενίκευσης ένα μοντέλο ποιότητας με δομικά στοιχεία διαμορφωμένα αντίστοιχα με τα συστατικά μέρη της διαδικασίας

αυτόματης εκτίμησης της ποιότητας των γενικευμένων δεδομένων που παρουσίασαν οι Jantien Stoter, Xiang Zhang, Hanna Stigmar και Lars Harrie (2014) (ορισμός και τυποποίηση των προδιαγραφών σε περιορισμούς, μέτρα, τεχνικές συσχέτισης δεδομένων) συνοψίζοντας την υφιστάμενη γνώση ((Weibel, 1995), (Bard, 2004), (Ruas & Bard, 2005), Mackaness & Ruas, 2007)). Ορίζονται επομένως, τα ακόλουθα τρία (3) δομικά στοιχεία του μοντέλου ποιότητας:

- i. *Δομικό στοιχείο 1:* Περιλαμβάνει τις προδιαγραφές του χάρτη εκφρασμένες ως περιορισμούς με προσδιορισμένο το όριο παραβίασης για την καθοδήγηση της γενίκευσης και τις προδιαγραφές ποιότητας εκφρασμένες ως απαιτήσεις ποιότητας με τα αντίστοιχα κατώτατα όρια συμμόρφωσης για την αξιολόγηση της ποιότητας στο πέρας της γενίκευσης.
- ii. *Δομικό στοιχείο 2:* Περιλαμβάνει τα μέτρα και τις τεχνικές για την εκτίμηση της κατάστασης των οντοτήτων και την αξιολόγηση της συμμόρφωσής τους στους περιορισμούς πριν και κατά τη διάρκεια της γενίκευσης και στις απαιτήσεις ποιότητας κατά τη διενέργεια των ελέγχων ποιότητας στο πέρας της γενίκευσης.
- iii. *Δομικό στοιχείο 3:* Περιλαμβάνει τη διαδικασία της γενίκευσης βάσει περιορισμών (σημασιολογικής και χαρτογραφικής) και τους ελέγχους ποιότητας. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνονται:
  - η διαδικασία επιλογής του κατάλληλου μετασχηματισμού γενίκευσης με την εκτίμηση της κατάστασης των δεδομένων πριν τη γενίκευση σε σχέση με τους περιορισμούς,
  - η εκτέλεση του αλγορίθμου του μετασχηματισμού και η εκτίμηση της κατάστασης των δεδομένων μέσω της αξιολόγησης της συμμόρφωσής τους στους περιορισμούς κατά τη διάρκεια της γενίκευσης,
  - οι έλεγχοι ποιότητας για την αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων στο πέρας της γενίκευσης μέσω της εκτίμησης της κατάστασής τους σχετικά με τη συμμόρφωσή τους στα όρια συμμόρφωσης των απαιτήσεων ποιότητας.

Προϋπόθεση για την αποτελεσματική λειτουργία των μοντέλων ποιότητας της κάθε φάσης αποτελούν:

- τα εισερχόμενα γεωχωρικά ή χωρικά δεδομένα να είναι γνωστής και αποδεκτής ποιότητας,
- η διενέργεια ελέγχων ποιότητας στο πέρας του κάθε μετασχηματισμού ή μιας αλληλουχίας μετασχηματισμών.

Η συγκεκριμένη προϋπόθεση θεωρείται θεμελιώδης καθώς η εκτέλεση διαδικασιών με χαμηλής ποιότητας δεδομένα και η εφαρμογή τελικών ελέγχων μειώνουν την προοπτική ανάκτησης σφαλμάτων και περιορίζουν τη δυνατότητα εντοπισμού μιας ικανοποιητικής λύσης.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας πραγματοποιείται σε περιβάλλον Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών στη γλώσσα προγραμματισμού Python.

### 3.4 Λογικό πλαίσιο μεθοδολογίας – Δομή μοντέλου ποιότητας

Η διαμόρφωση των τριών δομικών στοιχείων του μοντέλου ποιότητας της κάθε φάσης απαιτεί τον περιγραφικό προσδιορισμό των χαρακτηριστικών τους. Συγκεκριμένα, απαιτείται:

- η αναγνώριση της φύσης των περιορισμών (δομικό στοιχείο 1),
- η αναγνώριση της φύσης των απαιτήσεων ποιότητας (δομικό στοιχείο 1) μέσω του προσδιορισμού της φύσης των επιδράσεων των μετασχηματισμών στην κάθε φάση της γενίκευσης,
- η τυποποίηση των μέτρων εκτίμησης της κατάστασης των οντοτήτων για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης στους περιορισμούς και στις απαιτήσεις ποιότητας και ο προσδιορισμός των τεχνικών υπολογισμού τους (δομικό στοιχείο 2),
- η τυποποίηση των μετασχηματισμών (δομικό στοιχείο 3),
- η τυποποίηση των ελέγχων ποιότητας (δομικό στοιχείο 3),
- η τυποποίηση της ιεραρχίας εκτέλεσης των μετασχηματισμών και των ελέγχων ποιότητας, σύνταξη διαγραμμάτων ροής (δομικό στοιχείο 3).

Στη συνέχεια ακολουθεί ο περιγραφικός προσδιορισμός των χαρακτηριστικών των δύο πρώτων δομικών στοιχείων του προτεινόμενου μοντέλου ποιότητας. Εξειδικευμένος προσδιορισμός των χαρακτηριστικών αναπτύσσεται στα κεφάλαια των διαδικασιών της κάθε φάσης γενίκευσης που χαρακτηρίζονται ως δομικό στοιχείο 3 των αντίστοιχων προτεινόμενων μοντέλων ποιότητας. Στα συγκεκριμένα κεφάλαια (κεφάλαιο 4 για τη σημασιολογική γενίκευση και κεφάλαιο 5 για τη χαρτογραφική) παρουσιάζονται επιπλέον οι τεχνικές υπολογισμού των μέτρων (δομικό στοιχείο 2), η ανάλυση των διαδικασιών και η διαμόρφωση της ροής τους (δομικό στοιχείο 3).

### 3.4.1 Δομικό στοιχείο 1 – Περιορισμοί και απαιτήσεις ποιότητας

Για τον προσδιορισμό των περιορισμών στην κάθε φάση της γενίκευσης ακολουθείται η τυποποίηση των Dirk Burghardt, Stefan Schmid και Jantien Stoter (2007) (βελτίωση της αναγνωσιμότητας και διατήρηση της απόδοσης των οντοτήτων). Συγκεκριμένα, στην περίπτωση της σημασιολογικής γενίκευσης και δεδομένων των επεμβάσεων στο επίπεδο των οντοτήτων για την συμμόρφωσή τους με τους κανόνες του νέου σχήματος, οι περιορισμοί διαμορφώνονται ως εξής:

- βελτίωση της αναγνωσιμότητας, (ελάχιστο εμβαδόν, μήκος οντότητας),
- διατήρηση της απόδοσης των οντοτήτων – διάταξης,
- διατήρηση της απόδοσης των οντοτήτων – διασποράς και στατιστικών μεγεθών.

Επιπλέον, διαμορφώνονται περιορισμοί που δεν προβλέπονται στην τυποποίηση κατά Dirk Burghardt, Stefan Schmid και Jantien Stoter (2007) και αφορούν στο σχήμα της βάσης:



- συμβατότητα μεταξύ των σχημάτων των δύο βάσεων (αρχικής/ νέας) αναφορικά με τις θεματικές κατηγορίες και τις ιδιότητες,
- συμβατότητα μεταξύ των φυσικών δομών των δύο βάσεων (αρχικής/ νέας) αναφορικά με τους γεωμετρικούς τύπους των θεματικών κατηγοριών, τους τύπους των πεδίων των ιδιοτήτων, τα προβολικά συστήματα των οντοτήτων,
- συμβατότητα των οντοτήτων με τους κανόνες της θεματικής κατηγορίας στο σχήμα της νέας βάσης.

Αντίστοιχα, στη χαρτογραφική γενίκευση όπου οι μετασχηματισμοί επιδρούν στη γεωμετρία των οντοτήτων μεταβάλλοντάς την, οι περιορισμοί αφορούν στη διατήρηση της απόδοσης των οντοτήτων:

- στη διατήρηση της οριζοντιογραφικής θέσης και του προσανατολισμού,
- στη διατήρηση της μορφής,

Τα όρια παραβίασης των περιορισμών και στις δύο φάσεις της γενίκευσης κρίνονται μη ελαστικά εκτός από την περίπτωση του περιορισμού της διατήρησης της μορφής στη χαρτογραφική γενίκευση.

Οι απαιτήσεις ποιότητας προσδιορίζονται με γνώμονα τις συνιστώσες ποιότητας (γεωμετρική, θεματική, γραφική). Στη φάση της σημασιολογικής γενίκευσης αφορούν στη θεματική ποιότητα:

- πληρότητα πληροφορίας,
- ορθή κατηγοριοποίηση οντοτήτων,
- συνέπεια των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού τους,
- ακρίβεια τιμών ιδιοτήτων

και στη γραφική ποιότητα:

- αναγνωσιμότητα (ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των οντοτήτων),
- εννοιολογική συνέπεια.

Αντίστοιχα, στη χαρτογραφική γενίκευση οι απαιτήσεις ποιότητας αφορούν στη γεωμετρική ποιότητα:

- σχετική θέση

και στη γραφική ποιότητα:

- αναγνωσιμότητα (ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των οντοτήτων),
- τοπολογική συνέπεια (συνδεσιμότητα),
- εννοιολογική συνέπεια.

Τα όρια συμμόρφωσης στις απαιτήσεις ποιότητας και στις δύο φάσεις της γενίκευσης κρίνονται μη ελαστικά.

### 3.4.2 Δομικό στοιχείο 2 – Μέτρα εκτίμησης της κατάστασης των δεδομένων

Η επιλογή των μέτρων για την εκτίμηση της κατάστασης των δεδομένων αποσκοπεί στην αξιολόγηση της συμμόρφωσης των οντοτήτων στους περιορισμούς και στις απαιτήσεις ποιότητας. Θεωρώντας ότι, τα χαρτογραφικά δεδομένα φέρουν τα εγγενή χαρακτηριστικά των γεωχωρικών δεδομένων από τα

οποία προέρχονται, στις περιπτώσεις που δυνητικά χρησιμοποιούνται τα πρότυπα ISO 19157 για την περιγραφή της ποιότητας, επιλέγονται τα αντίστοιχα μέτρα. Χρησιμοποιούνται επομένως, ανά περίπτωση τα ακόλουθα στοιχεία περιγραφής της ποιότητας με τα αντίστοιχα μέτρα τους, κατά ISO 19157:

- Πληρότητα πληροφορίας/ πλεόνασμα ή έλλειμα.
  - Ελέγχεται ο περιορισμός της σημασιολογικής γενίκευσης σε ότι αφορά τη συμβατότητα των σχημάτων των δύο βάσεων (αρχικής/ νέας) με τη σύγκριση των χαρακτηριστικών (θεματικών κατηγοριών και ιδιοτήτων) των δύο βάσεων. Μετρείται ο αριθμός των πλεοναζόντων χαρακτηριστικών.
  - Ελέγχεται ο περιορισμός της σημασιολογικής γενίκευσης σε ότι αφορά τη συμβατότητα των οντοτήτων με τους κανόνες της θεματικής κατηγορίας στο σχήμα της νέας βάσης. Πραγματοποιούνται ο έλεγχος των τιμών των ιδιοτήτων εφόσον οι κανόνες αφορούν στη θεματική πληροφορία και των γεωμετρικών μεγεθών όταν οι κανόνες αφορούν στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (μήκη, εμβαδά). Μετρείται ο αριθμός των πλεοναζόντων οντοτήτων ως εσφαλμένες εντάξεις.
  - Ελέγχεται ο περιορισμός της σημασιολογικής γενίκευσης της βελτίωσης της αναγνωσιμότητας αναφορικά με τις ελάχιστες διαστάσεις των οντοτήτων (μηκών, εμβαδών). Μετρείται ο αριθμός των ασυμβατοτήτων ως πλεόνασμα.
  - Ελέγχεται η πληρότητα της πληροφορίας ως απαίτηση ποιότητας της σημασιολογικής γενίκευσης με τη μέτρηση της πληροφορίας ανά κατηγορία και ανά ιδιότητα κατηγορίας (παράλειψη).
- Λογική συνέπεια/ εννοιολογική συνέπεια, εφαρμόζεται στη σημασιολογική και στη χαρτογραφική γενίκευση ως απαίτηση ποιότητας. Ελέγχονται και μετρούνται οι ασύμβατες εννοιολογικά σχέσεις:
  - ασύμβατη επικάλυψη των οντοτήτων (χαρτογραφική γενίκευση),
  - ύπαρξη κενών (holes, gaps), (σημασιολογική γενίκευση)
  - σχετική θέση των οντοτήτων αναφορικά με τις θέσεις τους πριν και μετά τους μετασχηματισμούς της χαρτογραφικής γενίκευσης.
- Λογική συνέπεια/ συνέπεια των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού τους, εφαρμόζεται στη σημασιολογική γενίκευση ως απαίτηση ποιότητας. Ελέγχεται η συνέπεια των τιμών των ιδιοτήτων των οντοτήτων στο πεδίο ορισμού της ιδιότητας του νέου σχήματος και μετρούνται οι εσφαλμένες τιμές.
- Λογική συνέπεια/ συνέπεια στη φυσική δομή της βάσης, εφαρμόζεται ως περιορισμός στη σημασιολογική γενίκευση και πραγματοποιείται με τη σύγκριση των χαρακτηριστικών (γεωμετρικών τύπων των θεματικών κατηγοριών, τύπων πεδίων των ιδιοτήτων, προβολικού συστήματος) των δύο βάσεων (αρχικής/ νέας). Μετρούνται οι ασυμβατότητες.

- Λογική συνέπεια/ τοπολογική συνέπεια (συνδεσιμότητα), εφαρμόζεται ως απαίτηση ποιότητας στη χαρτογραφική γενίκευση και ελέγχονται και μετρούνται οι άστοχες συνδέσεις:
  - αστοχία δημιουργίας κόμβου - υπέρβαση (overshoot),
  - αστοχία δημιουργίας κόμβου - υποχώρηση (undershoot),
  - αστοχία επαφής πολυγώνων (sliver polygons).
- Θεματική ακρίβεια/ ορθή κατηγοριοποίηση οντοτήτων, εφαρμόζεται στη σημασιολογική γενίκευση ως απαίτηση ποιότητας. Ελέγχεται η ορθή κατηγοριοποίηση των οντοτήτων στις υποκατηγορίες της κύριας θεματικής κατηγορίας όπου ανήκουν και μετρούνται οι εσφαλμένες κατηγοριοποιήσεις.
- Θεματική ακρίβεια/ ποσοτική ακρίβεια των τιμών των ιδιοτήτων, εφαρμόζεται στη σημασιολογική γενίκευση ως απαίτηση ποιότητας. Ελέγχεται η ακριβής απόδοση των τιμών των οντοτήτων ανά ιδιότητα και μετρούνται οι εσφαλμένες τιμές.

Η απαίτηση της γραφικής ποιότητας της αναγνωσιμότητας/ διάκρισης οντοτήτων που εφαρμόζεται και στις δύο φάσεις της γενίκευσης (σημασιολογική και χαρτογραφική) ελέγχεται με τον εντοπισμό των περιπτώσεων συνωστισμού των οντοτήτων. Μετρούνται οι περιπτώσεις συνωστισμού. Τέλος, εντάσσονται τα μέτρα της Ενότητας 2 που αφορούν στους περιορισμούς της διατήρησης της θέσης και της μορφής των οντοτήτων στη χαρτογραφική γενίκευση.

#### **4. Ελεγχόμενη σημασιολογική γενίκευση και μοντέλο ποιότητας**

---

Στη σύγχρονη μοντελοποίηση της γενίκευσης βάσει περιορισμών και στην εφαρμογή της στα συστήματα των εθνικών οργανισμών χαρτογραφίας, όπως αναφέρθηκαν στην Ενότητα της Εισαγωγής, η σημασιολογική γενίκευση πραγματοποιείται ως η διαδικασία μετάπτωσης μίας χωρικής βάσης σε άλλη χαμηλότερης ανάλυσης. Περιλαμβάνει επεμβάσεις στο σχήμα της βάσης και τροποποιεί την κατηγοριοποίηση και τα περιγραφικά χαρακτηριστικά (ιδιότητες) των οντοτήτων.

Στη συνέχεια, περιγράφονται τα τρία δομικά στοιχεία του μοντέλου ποιότητας στη σημασιολογική γενίκευση (Blana & Tsoulos, 2022b) σε συνδυασμό με την υλοποίηση μίας εφαρμογής για την κατασκευή δύο βάσεων χωρικών δεδομένων σε κλίμακες 1:500.000 και 1:1.000.000 προερχόμενες από μία βάση κλίμακας 1:250.000. Τα χωρικά δεδομένα προέρχονται από τη βάση EuroGeographics – EuroRegional Map κλίμακας 1:250.000 και αφορούν στην περιοχή της βόρειας Γερμανίας Schleswig-Holstein, έκτασης 15.143 km<sup>2</sup>. Οι θεματικές κατηγορίες της βάσης ανά γεωμετρικό τύπο είναι:

- κατοικημένες περιοχές ως σημειακά δεδομένα με όριο πληθυσμού τους 1000 κατοίκους στην κλίμακα 1: 1.000.000 βάσει των προδιαγραφών του EuroGlobal Map (<https://eurogeographics.org/>) και 500 κατοίκους στην κλίμακα 1: 500.000 αντίστοιχα,
- κατοικημένες περιοχές ως πολύγωνα,
- κατοικημένες περιοχές ως σημεία,
- σιδηροδρομικό δίκτυο (γραμμές),
- οδικό δίκτυο (γραμμές),
- ακτογραμμή (γραμμές),
- υδρογραφικό δίκτυο (γραμμές),
- λίμνες (πολύγωνα),
- πολυγωνικές επιφάνειες ποταμών,
- νησιά (πολύγωνα).

Η οριζοντιογραφική ακρίβεια της βάσης 1: 1.000.000 τίθεται στα 1.000 m βάσει των προδιαγραφών του EuroGeographics – EuroGlobal Map, και της βάσης 1: 500.000 στα 500 m, αντίστοιχα. Ως αποδεκτό εμβαδόν πολυγώνου ορίζεται 1 km<sup>2</sup> για την κλίμακα 1: 500.000 και 3 km<sup>2</sup> για την κλίμακα 1: 1.000.000.

##### **4.1 Μετασχηματισμοί της σημασιολογικής γενίκευσης**

Κατά τους Nicola Regnault και Robert McMaster (2007), η σημασιολογική γενίκευση θεωρείται σύνθεση των τεσσάρων (4) διαδικασιών αφαίρεσης πληροφορίας (information abstraction), όπως αυτές περιγράφονται από τον Timothy Nyerges (1991):

- i. κατηγοριοποίηση (classification),
- ii. συσχέτιση (association),

iii. γενίκευση (generalization) με την έννοια της απλοποίησης μίας κατηγορίας,  
iv. συγχώνευση (aggregation).

Η πραγματοποίηση των τεσσάρων διαδικασιών αφαίρεσης πληροφορίας απαιτεί τη χρήση επεμβάσεων σε δύο επίπεδα, στο σχήμα της βάσης (schema level) και στην οντότητα (instance level), (Regnault & McMaster, 2007).

Σε επίπεδο σχήματος της βάσης οι επεμβάσεις διαμορφώνονται ως εξής:

- απλοποίηση της κατηγορίας (class abstraction),
- κατάργηση κατηγορίας (class elimination),
- σύνθεση κατηγοριών (class composition),
- κατάργηση ιδιότητας (attribute elimination),
- συγχώνευση ιδιότητας (attribute aggregation),
- τροποποίηση των κριτηρίων ένταξης των αντικειμένων σε μία συγκεκριμένη κατηγορία (modification of the class intension).

Σε επίπεδο αντικειμένου οι επεμβάσεις αφορούν:

- στην κατάργηση του αντικειμένου (elimination),
- στη νέα κατηγοριοποίηση του αντικειμένου (reclassification),
- στη συγχώνευση του αντικειμένου (aggregation), εφαρμόζεται στα πολύγωνα με την έννοια της εξάλειψης του κενού που δημιουργείται στο αντικείμενο που περικλείει ένα καταργούμενο αντικείμενο,
- στην ενοποίηση ενός αντικειμένου (γραμμές και πολύγωνα) με τα γειτνιάζοντα αντικείμενα (merging) με την έννοια της νέας κατηγοριοποίησης του αντικειμένου που λαμβάνει τα θεματικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου με το οποίο ενοποιείται,
- στην τροποποίηση των τιμών των ιδιοτήτων ενός αντικειμένου (attribute modification).

#### **4.2 Δομικά στοιχεία 1 και 2: Περιορισμοί, απαιτήσεις ποιότητας με όρια συμμόρφωσης και μέτρα**

Οι περιορισμοί στη σημασιολογική γενίκευση διαμορφώνονται βάσει της τυποποίησης των Dirk Burghardt, Stefan Schmid και Jantien Stoter (2007) που παρουσιάστηκε στην παράγραφο § 3.1 (βελτίωση της αναγνωσιμότητας και διατήρηση της απόδοσης των οντοτήτων) θεωρώντας παράλληλα ότι η μετάπτωση της αρχικής χωρικής βάσης σε νέα βάση χαμηλότερης ανάλυσης υλοποιείται με μία διαδικασία μεταφοράς των δεδομένων μεταξύ των δύο βάσεων (αρχικής/ νέας), οπότε απαιτείται η ύπαρξη συμβατότητας μεταξύ των σχημάτων και των φυσικών δομών τους. Οι περιορισμοί κατευθύνουν τη διαδικασία μεταφοράς των δεδομένων καθώς χρησιμοποιούνται:

- στην εκτίμηση της αρχικής κατάστασης των δεδομένων σε σύγκριση με το σχήμα της νέας βάσης συμβάλλοντας στην επιλογή του κατάλληλου μετασχηματισμού και
- στην παρακολούθηση της εξέλιξης της κατάστασης των δεδομένων κατά τον μετασχηματισμό.

Διαμορφώνονται ως εξής:

- *Συμβατότητα μεταξύ των σχημάτων των βάσεων (αρχικής/ νέας)*, (στοιχείο ποιότητας ISO 19157: πληρότητα/ πλεόνασμα). Πραγματοποιείται έλεγχος που περιλαμβάνει τη σύγκριση των θεματικών κατηγοριών και των ιδιοτήτων τους με βάση τους ορισμούς τους (αρχική/ νέα βάση). Το όριο συμμόρφωσης τίθεται αποδεκτό – μη αποδεκτό και μετρούνται οι ασυμβατότητες. Η διαδικασία του ελέγχου της κατάστασης του σχήματος της αρχικής βάσης οδηγεί στην επιλογή κατάλληλων μετασχηματισμών της σημασιολογικής γενίκευσης (απλοποίηση, κατάργηση κατηγορίας, σύνθεση κατηγοριών, κατάργηση ιδιότητας, συγχώνευση ιδιότητας) για την επίλυση των ασυμβατοτήτων. Τρεις (3) περιπτώσεις συσχετισμών προκύπτουν:

i. Πλήρης αντιστοιχία ορισμών θεματικών κατηγοριών και ιδιοτήτων μεταξύ αρχικής και νέας βάσης, (σχέση μία προς μία, 1-1).

ii. Πολλαπλή αντιστοιχία ορισμών θεματικών κατηγοριών (ή ιδιοτήτων) της αρχικής βάσης προς μία θεματική κατηγορία (ή ιδιότητα) της νέας βάσης που οδηγεί στην απλοποίηση της θεματικής κατηγορίας (ή στη συγχώνευση των ιδιοτήτων) της αρχικής βάσης, (σχέση πολλές προς μία, πολλές-1). Μετρείται ως πλεόνασμα των θεματικών κατηγοριών (ή των ιδιοτήτων) της αρχικής βάσης.

iii. Καμία αντιστοιχία ορισμών των θεματικών κατηγοριών (ή των ιδιοτήτων) μεταξύ αρχικής και νέας βάσης που οδηγεί στην κατάργηση των κατηγοριών (ή των ιδιοτήτων) της αρχικής βάσης (σχέση μία προς καμία, 1-0). Στην περίπτωση των πολυγωνικών οντοτήτων εφαρμόζεται ο μετασχηματισμός της σύνθεσης των κατηγοριών. Μετρείται ως πλεόνασμα των θεματικών κατηγοριών (ή των ιδιοτήτων) της αρχικής βάσης.

- *Συμβατότητα μεταξύ των φυσικών δομών των βάσεων (αρχικής/ νέας)*. Πραγματοποιείται έλεγχος που περιλαμβάνει τη σύγκριση των φυσικών δομών των βάσεων (αρχική/ νέα), (στοιχείο ποιότητας ISO 19157: λογική συνέπεια/ συνέπεια στη φυσική δομή). Το όριο συμμόρφωσης τίθεται αποδεκτό – μη αποδεκτό και μετρούνται οι ασυμβατότητες. Η διαδικασία του ελέγχου περιλαμβάνει:

- τη σύγκριση των γεωμετρικών τύπων των θεματικών κατηγοριών (σημεία, γραμμές, πολύγωνα) και των τύπων των πεδίων των ιδιοτήτων (μικρός/ μεγάλος ακέραιος αριθμός, μονής/ διπλής ακριβείας αριθμός, κείμενο) που

οδηγεί σε διαδικασίες μετατροπής των δεδομένων της αρχικής βάσης εφόσον εντοπιστούν ασυμβατότητες,

- τη σύγκριση των χαρακτηριστικών των προβολικών συστημάτων που οδηγεί στην μετατροπή του προβολικού συστήματος της αρχικής βάσης εφόσον εντοπιστεί ασυμβατότητα.

Ο έλεγχος πραγματοποιείται με σύγκριση των αποτελεσμάτων των ερωτήσεων στις βάσεις (αρχική/ νέα) σχετικά με τα περιγραφικά χαρακτηριστικά τους.

- *Συμβατότητα των οντοτήτων στους κανόνες της θεματικής κατηγορίας του σχήματος της νέας βάσης (στοιχείο ποιότητας ISO 19157: πληρότητα/ πλεόνασμα).* Πραγματοποιούνται έλεγχοι σχετικά με τα θεματικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οντοτήτων. Συγκεκριμένα, ελέγχεται η συμβατότητα των τιμών των ιδιοτήτων των οντοτήτων και των γεωμετρικών μεγεθών (μήκη, εμβαδά) με τους κανόνες της θεματικής τους κατηγορίας. Μετρείται ο αριθμός των ασυμβατοτήτων και εφαρμόζονται μετασχηματισμοί νέας κατηγοριοποίησης, ενοποίησης, συγχώνευσης, κατάργησής των οντοτήτων και ο μετασχηματισμός της τροποποίησης των τιμών των ιδιοτήτων για την επίλυση των ασυμβατοτήτων.

- *Διατήρηση της αναγνωσιμότητας της κάθε μεμονωμένης οντότητας με τη χρήση ελάχιστων διαστάσεων μήκους και εμβαδού (στοιχείο ποιότητας ISO 19157: πληρότητα/ πλεόνασμα).* Εντοπίζονται και μετρούνται ως πλεόνασμα οι μη συμβατές οντότητες με τη χρήση μετρήσεων του εμβαδού και του μήκους. Εφαρμόζονται μετασχηματισμοί νέας κατηγοριοποίησης, ενοποίησης, συγχώνευσης, κατάργησης των οντοτήτων για την επίλυση των ασυμβατοτήτων. Αντίστοιχα τροποποιούνται οι τιμές των ιδιοτήτων τους.

Οι απαιτήσεις ποιότητας χρησιμοποιούνται στον έλεγχο της κατάστασης των δεδομένων στο πέρας των μετασχηματισμών της σημασιολογικής γενίκευσης και διαμορφώνονται ως εξής:

- *Διατήρηση της πληρότητας της πληροφορίας, του αριθμού των οντοτήτων και των τιμών των ιδιοτήτων (στοιχείο ποιότητας ISO 19157: πληρότητα/ παράλειψη) με όριο συμμόρφωσης αποδεκτό ή μη αποδεκτό.*
  - Κάθε κατηγορία της νέας βάσης θεωρείται πλήρης όταν ο αριθμός των δεδομένων της είναι ίσος με τον αριθμό των δεδομένων της συσχετιζόμενης με αυτή κατηγορίας ή των συσχετιζόμενων κατηγοριών της αρχικής βάσης. Ασυμφωνία στους αριθμούς προκύπτει λόγω της κατάργησης, της νέας κατηγοριοποίησης, της ενοποίησης, της συγχώνευσης των οντοτήτων όταν είναι ασύμβατες με τους κανόνες της εξεταζόμενης θεματικής κατηγορίας.
  - Κάθε ιδιότητα θεωρείται πλήρης όταν δεν εμφανίζει κενές τιμές (<null>, <none>) σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές της ιδιότητας στην αρχική βάση. Κενές τιμές λαμβάνει μία οντότητα εάν η υφιστάμενη (αρχική) τιμή της δεν

συμμορφώνεται με το πεδίο ορισμού της ιδιότητας ή όταν δεν έχει οριστεί κανόνας ενημέρωσης της εξεταζόμενης ιδιότητας στην περίπτωση συγχώνευσης ή ενοποίησης οντοτήτων. Η επιδιόρθωση των ασυμβατοτήτων περιλαμβάνει την τροποποίηση των ασύμβατων τιμών.

- Διατήρηση της ορθής κατηγοριοποίησης των οντοτήτων στις υποκατηγορίες των θεματικών κατηγοριών (στοιχείο ποιότητας ISO 19157: θεματική ακρίβεια/ ορθή κατηγοριοποίηση) με όριο συμμόρφωσης αποδεκτό ή μη αποδεκτό. Εντοπίζονται οι περιπτώσεις με κενές τιμές υποκατηγορίας ή ασύμβατες σε σχέση με τις προβλεπόμενες. Μετρούνται οι εσφαλμένες τιμές και εφαρμόζονται μετασχηματισμοί κατάργησης, νέας κατηγοριοποίησης ή ενοποίησης των οντοτήτων για την επίλυση των ασυμβατοτήτων.
- Διατήρηση της εννοιολογικής συνέπειας στις σχέσεις των οντοτήτων (στοιχείο ποιότητας ISO 19157: λογική συνέπεια/ εννοιολογική συνέπεια). Δεν επιτρέπονται 'κενά' σε πολύγωνα, 'κενά' μεταξύ γραμμικών συνδέσεων και 'ορφανές' γραμμές. Το όριο συμμόρφωσης διαμορφώνεται ως αποδεκτό ή μη αποδεκτό και μετρούνται οι ασυμβατότητες.
  - Μία πολυγωνική οντότητα περιλαμβάνει 'κενό' όταν η περιεχόμενη σε αυτή πολυγωνική οντότητα καταργείται ή στην περίπτωση ενοποίησης πολυγωνικών οντοτήτων βάσει ελάχιστων αποστάσεων. Ως αντικείμενο θεωρείται ότι περιλαμβάνει 'κενό' όταν αποτελείται από περισσότερα από ένα μέρη (parts). Τα αντικείμενα με 'κενά' εντοπίζονται ως αντικείμενα με πολλαπλά μέρη και επιδιορθώνονται είτε με συγχώνευση της περιεχόμενης πολυγωνικής οντότητας είτε με συνένωση (union) των μερών σε ένα μέρος.
  - Μία γραμμική οντότητα ως αντικείμενο εντοπίζεται ως 'ορφανή' όταν συνδέεται με εκκρεμείς κορυφές (dangle nodes). Οι 'ορφανές' οντότητες καταργούνται.
  - Ένα 'κενό' σε μία σύνδεση γραμμικών οντοτήτων προκύπτει εξαιτίας της κατάργησης της ενδιάμεσης οντότητας ως μέρος της σύνδεσης. Εντοπίζεται με τη σύγκριση του αριθμού των εκκρεμών κορυφών πριν και μετά την κατάργηση της οντότητας. Η ασυμβατότητα επιλύεται είτε με κατάργηση της συνολικής γραμμικής σύνδεσης είτε με νέα κατηγοριοποίηση και ενοποίηση του καταργούμενου τμήματος σύνδεσης στα άλλα μέρη της σύνδεσης.
- Διατήρηση της ακρίβειας των τιμών των ιδιοτήτων (στοιχείο ποιότητας ISO 19157: θεματική ακρίβεια/ ακρίβεια των ποσοτικών και μη ποσοτικών ιδιοτήτων). Ακριβείς θεωρούνται οι τιμές των ιδιοτήτων όταν δεν χαρακτηρίζονται ως κενές, <null>, <none> ή συμμορφώνονται με τους κανόνες της κατηγορίας στην περίπτωση της συγχώνευσης. Κενές τιμές λαμβάνει μία οντότητα εάν η υφιστάμενη (αρχική) τιμή της δεν συμμορφώνεται με το πεδίο



ορισμού της ιδιότητας ή όταν δεν έχει οριστεί κανόνας ενημέρωσης της εξεταζόμενης ιδιότητας στην περίπτωση συγχώνευσης ή ενοποίησης οντοτήτων. Εσφαλμένες τιμές αποδίδονται στις ιδιότητες στην περίπτωση εσφαλμένης λειτουργίας του αλγορίθμου ενημέρωσης. Η επιδιόρθωση των ασυμβατοτήτων περιλαμβάνει την τροποποίηση των εσφαλμένων ή των κενών τιμών.

- Διατήρηση της συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στους περιορισμούς του πεδίου (στοιχείο ποιότητας ISO 19157: λογική συνέπεια/ συνέπεια τιμών στο πεδίο ορισμού τους), με όριο συμμόρφωσης αποδεκτό ή μη αποδεκτό. Μία τιμή ιδιότητας θεωρείται συνεπής στις τιμές του πεδίου ορισμού της όταν λαμβάνει μία από αυτές τις τιμές (coded values) ή βρίσκεται εντός του εύρους τιμών του πεδίου (range values). Οι ασυμβατότητες επιλύονται με ενημέρωση του πεδίου της ιδιότητας βάσει των κανόνων της θεματικής κατηγορίας.
- Διατήρηση της αναγνωσιμότητας – διάκρισης των οντοτήτων μεταξύ τους, με όριο συμμόρφωσης αποδεκτό ή μη αποδεκτό. Η διατήρηση της αναγνωσιμότητας επιτυγχάνεται με τη χρήση ελάχιστων αποστάσεων βάσει της διακριτικής ικανότητας (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης. Ο έλεγχος περιλαμβάνει τον εντοπισμό και τη μέτρηση συνωστισμών. Η επίλυση επιτυγχάνεται με την απευθείας κατάργηση επιλεγμένων οντοτήτων με τη χρήση ζωνών ακριβείας πλάτους ίσου με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης, με τη χρήση τεχνικών απλοποίησης των γραμμικών δικτύων (παράγραφος § 4.2.1) και με την ενοποίηση πολυγωνικών οντοτήτων με συνέπεια στους κανόνες της θεματικής κατηγορίας.

#### 4.2.1 Τεχνικές απλοποίησης δικτύων

Οι τεχνικές απλοποίησης δικτύων είναι γεωμετρικής φύσης, εφαρμόζονται στο υδρογραφικό, οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο όταν έχει εξαντληθεί η ικανότητα απλοποίησης του δικτύου βάσει των περιγραφικών χαρακτηριστικών του (ιδιότητες) για την αντιμετώπιση του φαινομένου του ‘συνωστισμού’ καθώς αποτελούν ταυτοχρόνως και εργαλεία ελέγχου του ‘συνωστισμού’. Επιλύθηκαν οι ακόλουθες περιπτώσεις, με ιεραρχική σειρά.

i. Κόμβος δύο γραμμών (Εικόνα 26).

- Ένας κόμβος δύο γραμμών εντοπίζεται όταν συμπίπτουν τα ακραία σημεία (endpoints) δύο γραμμών. Για κάθε γραμμή δημιουργείται μία λίστα με τα δύο ακραία σημεία της (κορυφές αρχής – τέλους), όταν τα σημεία δεν συμπίπτουν δημιουργώντας κλειστή γραμμή. Για κάθε γραμμή που τέμνεται με την εξεταζόμενη γραμμή δημιουργείται επίσης μία λίστα με τα δύο ακραία σημεία της (κορυφές αρχής – τέλους), όταν τα σημεία δεν συμπίπτουν δημιουργώντας κλειστή γραμμή. Αν και τα δύο ακραία σημεία της γραμμής τομής περιέχονται

- στη λίστα των δύο ακραίων σημείων της εξεταζόμενης γραμμής, τότε δημιουργείται κόμβος.
- Για το οδικό και το σιδηροδρομικό δίκτυο διατηρείται η μικρότερη σε μήκος γραμμή θεωρώντας ότι οι μεγαλύτερες σε μήκος γραμμές στα συγκεκριμένα δίκτυα αποτελούν συνήθως παράκαμψη. Εάν στη ζώνη ακριβείας με πλάτος ίσο με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης της μικρότερης σε μήκος γραμμής του κόμβου περιέχεται το 20% του μήκους της μεγαλύτερης σε μήκος γραμμής του κόμβου, τότε καταργείται η μεγαλύτερη σε μήκος γραμμή.
  - Για το υδρογραφικό δίκτυο διατηρείται η μεγαλύτερη σε μήκος γραμμή δεδομένων των μαιανδρισμών που παρουσιάζουν οι κοίτες των ποταμών. Εάν στη ζώνη ακριβείας με πλάτος ίσο με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης της μεγαλύτερης σε μήκος γραμμής του κόμβου περιέχεται το 20% του μήκους της μικρότερης σε μήκος γραμμής του κόμβου, τότε καταργείται η μικρότερη σε μήκος γραμμή.
- ii. Κόμβος τριών γραμμών (εφαρμόζεται μόνο στο οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο), (Εικόνα 26).
- Ένας κόμβος τριών γραμμών εντοπίζεται όταν οι γραμμές που τέμνονται με τα ακραία σημεία (κορυφές αρχής – τέλους) μίας γραμμής έχουν ένα κοινό ακραίο σημείο διαφορετικό από τα ακραία σημεία της εξεταζόμενης γραμμής. Προϋπόθεση αποτελεί οι γραμμές να μην είναι κλειστές (να μην έχουν συμπίπτοντα ακραία σημεία αρχής – τέλους). Για κάθε γραμμή εντοπίζονται οι συνδέσεις στα ακραία σημεία της (αρχής – τέλους). Αν το ακραίο σημείο μίας σύνδεσης στο ακραίο σημείο αρχής της εξεταζόμενης γραμμής συμπίπτει με το ακραίο σημείο μίας σύνδεσης στο ακραίο σημείο τέλους της εξεταζόμενης γραμμής όταν τα σημεία αυτά δεν συμπίπτουν με τα ακραία σημεία της εξεταζόμενης γραμμής τότε δημιουργείται κόμβος τριών γραμμών.
  - Για κάθε κόμβο τριών γραμμών διατηρούνται οι δύο γραμμές και καταργείται η μεγαλύτερη σε μήκος γραμμή (θεωρώντας ότι οι μεγαλύτερες σε μήκος γραμμές στα συγκεκριμένα δίκτυα αποτελούν συνήθως στροφές) όταν 20% του μήκους της βρίσκεται εντός της ζώνης ακριβείας με πλάτος ίσο με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης μίας εκ των δύο υπολοίπων γραμμών του κόμβου.
- iii. Κόμβος με εμβαδόν 1 km<sup>2</sup> και 3 km<sup>2</sup> για χάρτες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 αντίστοιχα (Εικόνα 26).
- Η διαδικασία περιλαμβάνει τη μετατροπή του δικτύου σε πολύγωνα και την κατάργηση μέρους των πλευρών του πολυγώνου με εμβαδόν μικρότερο του οριζόμενου.

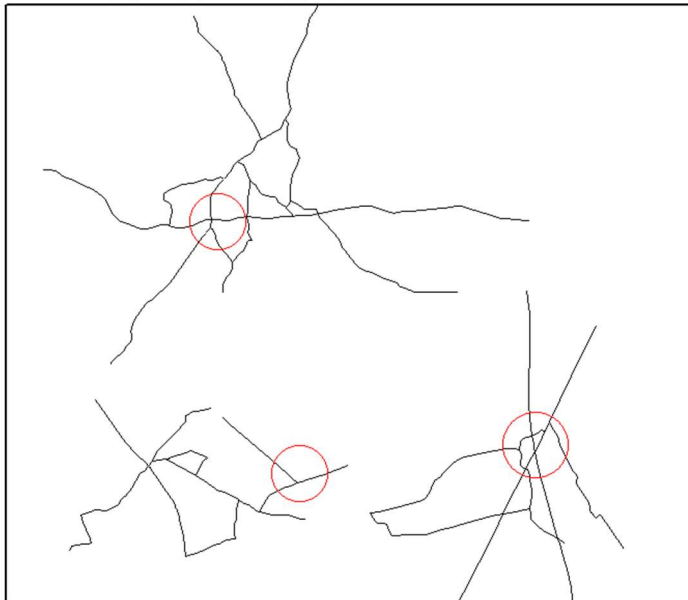
- Στο οδικό και το σιδηροδρομικό δίκτυο καταργείται η μεγαλύτερη σε μήκος πλευρά για περιπτώσεις κόμβων με πλευρές ίσες ή περισσότερες των δύο.
  - Στο υδρογραφικό δίκτυο, η κατάργηση των πλευρών αφορά στη μικρότερη σε μήκος πλευρά.
- iv. Απαλοιφή εκκρεμών γραμμών που δεν συνδέονται με σημεία ή περιοχές ενδιαφέροντος, π.χ. κατοικημένων περιοχών (εφαρμόζεται στο οδικό και το σιδηροδρομικό δίκτυο). Γραμμές με ένα ελεύθερο άκρο που φέρουν εκκρεμή κόμβο (dangle node) και στο άλλο άκρο τους συνδέονται με δύο διαφορετικές γραμμές, απαλείφονται.
- v. Απαλοιφή 'ορφανών' γραμμών. Ως 'ορφανές' εντοπίζονται οι γραμμές που δεν συνδέονται με άλλες γραμμές ή με σημεία ή περιοχές ενδιαφέροντος διατηρώντας εκκρεμείς κορυφές στα σημεία αρχής/ τέλους.



Αρχική κατάσταση οδικού δικτύου.



Απαλοιφή κόμβου 2 γραμμών (i).



Απαλοιφή κόμβου 3 γραμμών (ii).



Απαλοιφή κόμβων βάσει πολυγώνου 1 km<sup>2</sup> (iii).

**Εικόνα 26.** Απλοποίηση οδικού δικτύου με απλοποίηση κόμβων.

#### **4.3 Δομικό στοιχείο 3: Η διαδικασία της ελεγχόμενης σημασιολογικής γενίκευσης- Εφαρμογή**

Η διαδικασία της σημασιολογικής γενίκευσης εξελίσσεται σε τρία (3) στάδια (πριν τη γενίκευση, κατά τη διάρκεια της γενίκευσης, στο πέρας της γενίκευσης). Στο πρώτο στάδιο ελέγχεται η συμμόρφωση στους περιορισμούς σε επίπεδο σχήματος βάσης (συμβατότητα μεταξύ των σχημάτων των βάσεων αρχικής – νέας, συμβατότητα μεταξύ των φυσικών δομών των βάσεων αρχικής – νέας, συμβατότητα των οντοτήτων στους κανόνες της θεματικής κατηγορίας και της αναγνωσιμότητας). Ορίζονται οι μετασχηματισμοί σε επίπεδο σχήματος βάσης με την πραγματοποίηση ελέγχων σύγκρισης μεταξύ του αρχικού και του νέου σχήματος που αφορούν στις θεματικές κατηγορίες και στις ιδιότητες των οντοτήτων. Στο δεύτερο στάδιο ελέγχεται η συμμόρφωση των οντοτήτων στους περιορισμούς (κανόνες θεματικής κατηγορίας, αναγνωσιμότητα) και πραγματοποιούνται οι μετασχηματισμοί σε επίπεδο οντότητας για να καταστούν συμβατές οι οντότητες με το σχήμα της νέας βάσης ώστε να διασφαλιστεί η πληρότητά τους κατά τη μεταφορά. Στο ίδιο στάδιο πραγματοποιούνται επιπλέον οι έλεγχοι ποιότητας βάσει των κριτηρίων ποιότητας ανά θεματική κατηγορία και οι διορθώσεις εφόσον προκύψουν. Στο τρίτο στάδιο πραγματοποιούνται οι έλεγχοι ποιότητας βάσει των κριτηρίων ποιότητας μεταξύ θεματικών κατηγοριών, οι διορθώσεις εφόσον προκύψουν και αξιολογείται η ποιότητα των δεδομένων στη νέα βάση.

Προϋπόθεση για την υλοποίηση της διαδικασίας της σημασιολογικής γενίκευσης αποτελούν:

- το σχήμα της νέας βάσης να είναι γνωστό και η δομή της να είναι συμβατή με τις προδιαγραφές,
- η αντιστοιχία μεταξύ των θεματικών κατηγοριών και των ιδιοτήτων των βάσεων αρχικής/ νέας να είναι προκαθορισμένη,
- η πολιτική σύνθεσης των τιμών των ιδιοτήτων να είναι προκαθορισμένη,
- κάθε οντότητα να φέρει έναν μοναδικό κωδικό αναγνώρισης (id) για να διευκολυνθεί η ανάκτησή της από την αρχική βάση δεδομένων όταν απαιτείται, συνήθως για τη διόρθωση των τιμών των ιδιοτήτων της.

#### 4.3.1 Σημασιολογική γενίκευση και έλεγχος συμβατότητας στους περιορισμών σε επίπεδο σχήματος βάσης

Στο πρώτο στάδιο εκτιμάται η συμβατότητα του σχήματος της αρχικής βάσης με το σχήμα της νέας. Ελέγχονται τα ακόλουθα στοιχεία για τον εντοπισμό ασυμβατοτήτων με στόχο την ομαλή μεταφορά των δεδομένων στο επόμενο στάδιο:

- η αντιστοιχία των θεματικών κατηγοριών, των υποκατηγοριών και των ιδιοτήτων μεταξύ του αρχικού και νέου σχήματος,
- η συμβατότητα του προβολικού συστήματος,
- η συμβατότητα των γεωμετρικών τύπων,
- η συμβατότητα των τύπων των πεδίων των ιδιοτήτων.

Στη συνέχεια κατασκευάζονται δύο πίνακες – οδηγοί για την μεταφορά των δεδομένων που περιλαμβάνουν:

- την αντιστοιχία των θεματικών κατηγοριών μεταξύ των δύο σχημάτων, των υποκατηγοριών της κάθε θεματικής κατηγορίας των δύο σχημάτων και του απαιτούμενου μετασχηματισμού (απλοποίηση, σύνθεση κατηγοριών, κατάργηση κατηγορίας), (Πίνακας 14),
- την αντιστοιχία των ιδιοτήτων όταν δεν ταυτίζονται ονομαστικά ή δεν υπάρχει ταύτιση στον τύπο του πεδίου στα δύο σχήματα (αρχικής/ νέας βάσης), τον τύπο πεδίου και τον κατάλληλο μετασχηματισμό (Πίνακας 15).

Feature Class	Geometry	Definition	Sub-type	Operation	Feature Class (new schema)	Geometry (new schema)	Sub-type (new schema)
BUILDP	Point	Building	AL015	ELIMINATE	9999	9999	9999
BUILTUPA	Polygon	Built-up area	AL020	MIGRATE	BUILTUPA	Polygon	AL020

Feature Class	Geometry	Definition	Sub-type	Operation	Feature Class (new schema)	Geometry (new schema)	Sub-type (new schema)
BUILTUPP	Point	Built-up area	AL020	MIGRATE	BUILTUPP	Point	AL020
BUILTUPP	Point	Populated Place	AL022	MIGRATE	BUILTUPP	Point	AL022
COASTL	Polyline	Coastline / Shoreline	BA010	MIGRATE	COASTL	Polyline	BA010
COASTL	Polyline	Constructions	BB081	ELIMINATE	9999	9999	9999
ISLANDA	Polygon	Island	BA030	MIGRATE	ISLANDA	Polygon	BA030
LAKERESA	Polygon	Lake/Pond	BH080	MIGRATE	LAKERESA	Polygon	BH080
LAKERESA	Polygon	Reservoir	BH130	MIGRATE	LAKERESA	Polygon	BH130
POLBNDL	Polyline	Administrative boundary	FA000	MIGRATE	POLBNDL	Polyline	FA000
RAILRDL	Polyline	Railway	AN010	MIGRATE	RAILRDL	Polyline	AN010
RAILRDL	Polyline	Railway Network Link	AN500	MIGRATE	RAILRDL	Polyline	AN500
ROADL	Polyline	Road	AP030	MIGRATE	ROADL	Polyline	AP030
ROADL	Polyline	Road Network Link	AP500	ELIMINATE	ROADL	Polyline	AP500
WATRCRSA	Polygon	Watercourse	BH502	MIGRATE	WATRCRSA	Polygon	BH502
WATRCRSL	Polyline	Watercourse	BH502	MIGRATE	WATRCRSL	Polyline	BH502

**Πίνακας 14.** Μετασχηματισμοί σε επίπεδο σχήματος της βάσης.

Feature Class	Attribute	Field type	Attribute (new schema)	Attribute (new schema)	Field type	Operation
POLBNDL	USE	Short	POLBNDL	USE_	Long	Migrate

**Πίνακας 15.** Αντιστοιχία ιδιοτήτων μεταξύ αρχικής και νέας βάσης.

#### 4.3.2 Σημασιολογική γενίκευση και έλεγχος συμβατότητας στους περιορισμούς σε επίπεδο οντότητας

Στο δεύτερο στάδιο επιχειρείται η μεταφορά των δεδομένων μεταξύ των δύο βάσεων με τη χρήση των πινάκων του πρώτου σταδίου. Η κάθε θεματική κατηγορία ελέγχεται μόνη της ανά θεματολογία με την ακόλουθη ιεραρχική δομή: πολύγωνα – γραμμές – σημεία, π.χ. πολύγωνα κατοικημένων περιοχών – σημεία κατοικημένων περιοχών, πολύγωνα ποτάμιων ροών – υδρογραφικό δίκτυο. Όπου επιβάλλεται μετατροπή μεταξύ γεωμετρικών τύπων ή τύπων πεδίου ιδιοτήτων χρησιμοποιείται μία ενδιάμεση βοηθητική βάση. Η μεταβολή του προβολικού συστήματος πραγματοποιείται ενιαία σε όλες τις θεματικές κατηγορίες πριν από οποιαδήποτε άλλη επέμβαση. Η μεταβολή του γεωμετρικού τύπου μίας κατηγορίας πραγματοποιείται με τη δημιουργία νέας κατηγορίας στη βοηθητική βάση. Αντίστοιχα, όταν προβλέπεται μετατροπή τύπου πεδίου ιδιότητας δημιουργείται νέα ιδιότητα με τον συμβατό τύπο πεδίου και την πλήρωση του πεδίου με τις αντίστοιχες τιμές. Επιπλέον, καταργούνται ενιαία τα 'κενά' σε όλες τις πολυγωνικές θεματικές κατηγορίες για την διευκόλυνση της εφαρμογής των μέτρων εκτίμησης της κατάστασης της μορφής των οντοτήτων στην επόμενη φάση της χαρτογραφικής γενίκευσης. Όπου προβλέπεται 'κενό' στις επικαλύψεις των θεματικών κατηγοριών (π.χ. νησιά – λίμνες), αυτή πραγματοποιείται στο πέρας της χαρτογραφικής γενίκευσης με τη χρήση των τελικών οντοτήτων για την αποφυγή τοπολογικών σφαλμάτων επαφής (sliver polygons). Στη συνέχεια παρουσιάζονται συγκεκριμένες επεμβάσεις ανά θεματική κατηγορία στο πλαίσιο της εφαρμογής. Για τη δημιουργία των θεματικών κατηγοριών στην κλίμακα 1: 500.000 η σημασιολογική γενίκευση εφαρμόζεται στα δεδομένα κλίμακας 1: 250.000, απευθείας. Για τη δημιουργία των θεματικών κατηγοριών στην κλίμακα 1: 1.000.000 ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Οι πολυγωνικές θεματικές κατηγορίες όπου εφαρμόζεται ο μετασχηματισμός της ενοποίησης βάσει αποστάσεων (κατοικημένες περιοχές και λίμνες) και η σημειακή θεματική κατηγορία των κατοικημένων περιοχών όπου εντάσσονται οντότητες που δεν πληρούν το κριτήριο του ελάχιστου εμβαδού της αντίστοιχης πολυγωνικής θεματικής κατηγορίας προκύπτουν με σημασιολογική γενίκευση στις αντίστοιχες αρχικές θεματικές κατηγορίες της κλίμακας 1: 250.000.
  - Οι υπόλοιπες θεματικές κατηγορίες προκύπτουν με σημασιολογική γενίκευση στις αντίστοιχες κατηγορίες της βάσης κλίμακας 1: 500.000.
- Κατοικημένες περιοχές ως πολύγωνα.



Κλίμακες 1:500.000 και 1: 1.000.000 (Εικόνες 27, 28).

- i. Οι οντότητες μεταφέρονται βάσει του πίνακα – οδηγού (Πίνακα 14) της παραγράφου § 4.3.1 απευθείας στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία της νέας βάσης και όλες οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται στη νέα κατηγορία.
- ii. Απαλοιφή ‘κενών’ θεωρώντας ότι τα πολύγωνα που αντιστοιχούν στα ‘κενά’ αντιστοιχούν σε κατηγορημένες θεματικές οντότητες.
- iii. Ενοποίηση πολυγώνων που φέρουν κοινή ονομασία και βρίσκονται σε απόσταση 500 m στην κλίμακα 1: 500.000 και 1.000 m στην κλίμακα 1: 1.000.000, με απαλοιφή των ‘κενών’ όπου αυτά σχηματίζονται λόγω του αλγορίθμου ενοποίησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, ως απόσταση ενοποίησης χρησιμοποιείται η οριζοντιογραφική ακρίβεια έναντι της διακριτικής ικανότητας για την αποφυγή ενδιάμεσων ‘κενών’ καθώς η χρήση του επιπλέοντος κριτηρίου ενοποίησης βάσει κοινής ονομασίας διασφαλίζει τη συμβατότητα της ενοποίησης. Για την πλήρωση των τιμών των ιδιοτήτων χρησιμοποιούνται οι τιμές της μεγαλύτερης σε εμβαδόν οντότητας. Η ιδιότητα του πληθυσμού πληρώνεται με το αθροιστικό αποτέλεσμα των πληθυσμών των ενοποιημένων οντοτήτων.
- iv. Διατήρηση των πολυγώνων που πληρούν το κριτήριο του ελάχιστου εμβαδού βάσει προδιαγραφών.
- v. Μετατροπή των πολυγώνων που δεν πληρούν το κριτήριο του ελάχιστου εμβαδού σε σημεία και ένταξή τους στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία σημείων.
- vi. Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:
  - Πληρότητα οντοτήτων (έλεγχος για συμμόρφωση στο κριτήριο του ελάχιστου εμβαδού) – Δεν αναμένονται σφάλματα λόγω της εφαρμογής του αντίστοιχου περιορισμού.
  - Έλεγχος ορθής κατηγοριοποίησης (κενό πεδίο υπο-κατηγορίας).
  - Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία).
  - Εννοιολογική συνέπεια: έλεγχος για ‘κενά’ και ασύμβατων επικαλύψεων λόγω του μετασχηματισμού της ενοποίησης. Συγκεκριμένα ελέγχθηκε η σχέση μεταξύ των κατοικημένων περιοχών και της ακτογραμμής, Διαπιστώθηκαν 4 ασυμβατότητες για την κλίμακα 1: 500.000 και 4 ασυμβατότητες για την κλίμακα 1: 1.000.000. Επιλύθηκαν με αποκοπή του μέρους της οντότητας εκτός του πολυγώνου της ακτογραμμής (τροποποίηση οντότητας). Επιπλέον ελέγχθηκε η σχέση μεταξύ των πολυγωνικών κατοικημένων περιοχών και των σημειακών. Στη συγκεκριμένη σχέση υπερισχύουν οι πολυγωνικές οντότητες των σημειακών οι οποίες καταργούνται. Δεν διαπιστώθηκαν ασυμβατότητες.

- Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.
- Δεν απαιτείται έλεγχος 'συνωστισμού' εντός της θεματικής κατηγορίας καθώς περιλαμβάνεται στον μετασχηματισμό της ενοποίησης που εφαρμόζεται.

Πλήθος αρχικών πολυγώνων στην κλίμακα 1: 250.000: 210

Πλήθος ενοποιημένων πολυγώνων στην κλίμακα 1: 500.000: 113

Πλήθος ενοποιημένων πολυγώνων στην κλίμακα 1: 1.000.000: 63

- Κατοικημένες περιοχές ως σημεία.

Κλίμακες 1:500.000 και 1: 1.000.000 (Εικόνες 27, 28).

- Οι οντότητες μεταφέρονται βάσει του πίνακα – οδηγού (Πίνακα 14) της παραγράφου § 4.3.1 απευθείας στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία της νέας βάσης και όλες οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται στη νέα κατηγορία.
- Διατηρούνται οι οντότητες βάσει πληθυσμιακού κριτηρίου.
- Προστίθενται όλες οι οντότητες που δεν πληρούν το κριτήριο του ελάχιστου εμβαδού (ανεξαρτήτως πληθυσμιακού κριτηρίου) στις αντίστοιχες πολυγωνικές θεματικές κατηγορίες με μετατροπή της πολυγωνικής μορφής σε σημειακή.
- Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:
  - Πληρότητα οντοτήτων (έλεγχος για συμμόρφωση στο κριτήριο του ελάχιστου πληθυσμού για τις μη προερχόμενες από πολύγωνα οντότητες)
    - Δεν αναμένονται σφάλματα λόγω της εφαρμογής του αντίστοιχου περιορισμού.
  - Έλεγχος ορθής κατηγοριοποίησης (κενό πεδίο υπο-κατηγορίας).
  - Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία που δεν αφορούν στις προερχόμενες από πολύγωνα οντότητες όταν δεν υπάρχει αντιστοιχία ιδιοτήτων).
  - Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.
  - Έλεγχος 'συνωστισμού' εντός της θεματικής κατηγορίας με τη χρήση ζωνών ακριβείας πλάτους ίσου με το όριο της διακριτικής ικανότητας (0,25 mm). Διατηρείται η μεγαλύτερη πληθυσμιακά οντότητα ή η οντότητα προερχόμενη από πολυγωνική οντότητα.
  - Έλεγχος 'συνωστισμού' σε σχέση με την πολυγωνική κατηγορία των κατοικημένων περιοχών με τη χρήση ζωνών ακριβείας πλάτους ίσου με το όριο της διακριτικής ικανότητας (0,25 mm). Διατηρείται η πολυγωνική οντότητα.

- Εννοιολογική συνέπεια. Δεν επιτρέπεται η επίθεση σημειακής οντότητας κατοικημένης περιοχής εντός πολυγώνου κατοικημένης περιοχής. Απαλείφεται η σημειακή οντότητα και διατηρείται η πολυγωνική.

Αριθμός σημείων στην κλίμακα 1: 250.000: 1.829

Αριθμός σημείων στην κλίμακα 1:500.000: 552

Αριθμός σημείων στην κλίμακα 1: 1.000.000: 317

- Οδικό δίκτυο.

Κλίμακα 1: 500.000 (Εικόνα 27).

- Οι οντότητες μεταφέρονται βάσει του πίνακα – οδηγού (Πίνακα 14) της παραγράφου § 4.3.1 απευθείας στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία της νέας βάσης και όλες οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται στη νέα κατηγορία.
- Διατηρούνται οι τρεις από τις τέσσερις υπο-κατηγορίες οδών, εθνικό, πρωτεύον και δευτερεύον δίκτυο. Καταργείται η υπο-κατηγορία ‘τοπικές οδοί’.
- Καταργείται η υπο-κατηγορία εισόδου/ εξόδου οδού σε κόμβο (slip/ access road) εξαιτίας του φαινομένου του ‘συνωστισμού’ στην περιοχή του κόμβου.
- Εφαρμόζονται οι τεχνικές απλοποίησης i (κόμβος δύο γραμμών), ii (κόμβος τριών γραμμών), iii (κόμβος πολυγώνου 1 km<sup>2</sup>) της παραγράφου § 4.2.1 ανά υπο-κατηγορία (εθνικό, πρωτεύον, δευτερεύον δίκτυο).
- Εφαρμόζεται η τεχνική απλοποίησης iii (κόμβος πολυγώνου 1 km<sup>2</sup>) στη σύνθεση των τριών υπο-κατηγοριών θεωρώντας επιπλέον την ιεραρχία του δικτύου (εθνικό – πρωτεύον – δευτερεύον) για τη διατήρηση των οντοτήτων με σειρά προτεραιότητας.
- Καταργούνται οι εκκρεμείς γραμμές που δεν τέμνονται με τη ζώνη ακριβείας των κατοικημένων περιοχών (σημεία, πολύγωνα) πλάτους ίσου με την οριζοντιογραφική ακρίβεια των 500 m και οι ‘ορφανές’ γραμμές (τεχνικές απλοποίησης iv, v της παραγράφου § 4.2.1).
- Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:
  - Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία).
  - Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.
  - Δεν απαιτείται έλεγχος ‘συνωστισμού’ εντός της θεματικής κατηγορίας καθώς ο έλεγχος περιλαμβάνεται στις τεχνικές απλοποίησης του δικτύου.

Κλίμακα 1: 1.000.000 (Εικόνα 28).

- Οι επεμβάσεις εφαρμόζονται στις οντότητες της θεματικής κατηγορίας της βάσης 1: 500.000 κατόπιν της εφαρμογής του μετασχηματισμού της απλοποίησης της χαρτογραφικής γενίκευσης, προς εξοικονόμηση χρόνου. Οι επεμβάσεις εφαρμόζονται σε κατάλληλα απλοποιημένες γραμμικές οντότητες προς απεικόνιση στην κλίμακα 1: 1.000.000 καθώς η μέθοδος

- επιλογής της κατάλληλης προς απεικόνιση οντότητας που αναπτύχθηκε στην Ενότητα 2 παράγει συμβατά αποτελέσματα για τις δύο κλίμακες (1: 500.000 και 1: 1.000.000). Οι οντότητες μεταφέρονται απευθείας στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία της βάσης 1: 1.000.000 και οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται σε αυτή.
- ix. Οι υπο-κατηγορίες του εθνικού, πρωτεύοντος και δευτερεύοντος δικτύου διατηρούνται ως έχουν.
- x. Εφαρμόζεται η τεχνική απλοποίησης iii (κόμβος πολυγώνου 3 km<sup>2</sup>) στη σύνθεση των τριών υπο-κατηγοριών θεωρώντας επιπλέον την ιεραρχία του δικτύου (εθνικό – πρωτεύον – δευτερεύον) για τη διατήρηση των οντοτήτων με σειρά προτεραιότητας, καθώς η συγκεκριμένη τεχνική αντιμετωπίζει και τις περιπτώσεις που επιλύουν οι τεχνικές i, ii.
- xi. Καταργούνται οι εκκρεμείς γραμμές που δεν τέμνονται με τη ζώνη ακριβείας των κατοικημένων περιοχών (σημεία, πολύγωνα) πλάτους ίσου με την οριζοντιογραφική ακρίβεια των 1.000 m και οι 'ορφανές' γραμμές (τεχνικές απλοποίησης iv, v της παραγράφου § 4.2.1).
- xii. Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:
- Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία).
  - Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.
  - Δεν απαιτείται έλεγχος 'συνωστισμού' εντός της θεματικής κατηγορίας καθώς ο έλεγχος περιλαμβάνεται στις τεχνικές απλοποίησης του δικτύου.

*Αρχικό μήκος δικτύου στην κλίμακα 1: 250.000: 14.522 km*

*Μήκος δικτύου στην κλίμακα 1:500.000: 9.014 km*

*Μήκος δικτύου στην κλίμακα 1: 1.000.000: 8.831 km*

- Σιδηροδρομικό δίκτυο.

*Κλίμακα 1: 500.000 (Εικόνα 27).*

- i. Οι οντότητες μεταφέρονται βάσει του πίνακα – οδηγού (Πίνακα 14) της παραγράφου § 4.3.1 απευθείας στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία της νέας βάσης και όλες οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται στη νέα κατηγορία.
- ii. Διατηρείται το κύριο, εντός λειτουργίας δίκτυο (main line) και καταργούνται οι εκτός λειτουργίας γραμμές, οι εγκαταλειμμένες γραμμές και οι βοηθητικές γραμμές (branch line) που αφορούν σε βοηθητικές γραμμές του δικτύου εντός των κατοικημένων περιοχών.
- iii. Εφαρμόζονται οι τεχνικές απλοποίησης i (κόμβος δύο γραμμών), ii (κόμβος τριών γραμμών), iii (κόμβος πολυγώνου 1 km<sup>2</sup>) της παραγράφου § 4.2.1.
- iv. Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:
- Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία).

- Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.
- Δεν απαιτείται έλεγχος 'συνωστισμού' εντός της θεματικής κατηγορίας καθώς ο έλεγχος περιλαμβάνεται στις τεχνικές απλοποίησης του δικτύου.

*Κλίμακα 1: 1.000.000 (Εικόνα 28).*

- v. Οι επεμβάσεις εφαρμόζονται στις οντότητες της θεματικής κατηγορίας της βάσης 1: 500.000 κατόπιν της εφαρμογής του μετασχηματισμού της απλοποίησης της χαρτογραφικής γενίκευσης, προς εξοικονόμηση χρόνου. Οι επεμβάσεις εφαρμόζονται σε κατάλληλα απλοποιημένες γραμμικές οντότητες προς απεικόνιση στην κλίμακα 1: 1.000.000 καθώς η μέθοδος επιλογής της κατάλληλης προς απεικόνιση οντότητας που αναπτύχθηκε στην Ενότητα 2 παράγει συμβατά αποτελέσματα για τις δύο κλίμακες (1: 500.000 και 1: 1.000.000). Οι οντότητες μεταφέρονται απευθείας στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία της βάσης 1: 1.000.000 και οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται σε αυτή.
- vi. Εφαρμόζεται η τεχνική απλοποίησης iii (κόμβος πολυγώνου 3 km<sup>2</sup>) καθώς η συγκεκριμένη τεχνική αντιμετωπίζει και τις περιπτώσεις που επιλύουν οι τεχνικές i, ii.
- vii. Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:
  - Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία).
  - Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.
  - Δεν απαιτείται έλεγχος 'συνωστισμού' εντός της θεματικής κατηγορίας καθώς ο έλεγχος περιλαμβάνεται στις τεχνικές απλοποίησης του δικτύου.

*Αρχικό μήκος δικτύου στην κλίμακα 1: 250.000: 1.680 km*

*Μήκος δικτύου στην κλίμακα 1:500.000: 987 km*

*Μήκος δικτύου στην κλίμακα 1: 1.000.000: 957 km*

- Λίμνες ως πολύγωνα.

*Κλίμακες 1:500.000 και 1: 1.000.000 (Εικόνες 29, 30).*

- i. Οι οντότητες μεταφέρονται βάσει του πίνακα – οδηγού (Πίνακα 14) της παραγράφου § 4.3.1 απευθείας στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία της νέας βάσης και όλες οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται στη νέα κατηγορία.
- ii. Ενοποίηση πολυγώνων που βρίσκονται σε απόσταση 125 m στην κλίμακα 1: 500.000 και 250 m στην κλίμακα 1: 1.000.000., με απαλοιφή των 'κενών' όπου αυτές σχηματίζονται λόγω του αλγορίθμου ενοποίησης. Για την πλήρωση των τιμών των ιδιοτήτων χρησιμοποιούνται οι τιμές της μεγαλύτερης σε εμβαδόν οντότητας.

iii. Διατήρηση των πολυγώνων που πληρούν το κριτήριο του ελάχιστου εμβαδού και κατάργηση των υπολοίπων.

iv. Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:

- Πληρότητα οντοτήτων (έλεγχος για συμμόρφωση στο κριτήριο του ελάχιστου εμβαδού) – Δεν αναμένονται σφάλματα λόγω της εφαρμογής του αντίστοιχου περιορισμού.
- Έλεγχος ορθής κατηγοριοποίησης (κενό πεδίο υπο-κατηγορίας).
- Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία).
- Ενωσιολογική συνέπεια: έλεγχος για 'κενά' σε πολύγωνα και για ασύμβατες επικαλύψεις με άλλες σημειακές ή γραμμικές κατηγορίες (κατοικημένες περιοχές, οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο, ακτογραμμή) εξαιτίας του μετασχηματισμού της ενοποίησης. Στην περίπτωση που προκύψει ασυμβατότητα επικάλυψης επιλέγεται η ακύρωση της ενέργειας της ενοποίησης ή η τροποποίηση του ενοποιημένου αντικειμένου με αναδιάταξη των συμμετεχουσών οντοτήτων όταν ενοποιούνται περισσότερες των δύο οντοτήτων π.χ. διαμόρφωση περισσότερων της μίας ενοποιημένης οντότητας και κατάργηση των υπολοίπων μη συμμετεχουσών στην ενοποίηση οντοτήτων όταν δεν συμμορφώνονται με τους κανόνες της θεματικής κατηγορίας. Στην περίπτωση της ακτογραμμής, διατηρείται η οντότητα εντός του πολυγώνου της ακτογραμμής και καταργούνται τα εκτός αυτού μέρη (τροποποίηση ενοποιημένης οντότητας). Στους ελέγχους ποιότητας για την κλίμακα 1: 500.000 εντοπίστηκαν: 3 ασυμβατότητες με το σιδηροδρομικό δίκτυο, 6 ασυμβατότητες με το οδικό δίκτυο και καμία ασυμβατότητα με την ακτογραμμή. Οι ασυμβατότητες των λιμνών με τα δίκτυα συγκρίθηκαν με την αρχική κατάσταση των δεδομένων και διαπιστώθηκε η αντιστοιχία τους, οπότε κρίθηκαν ως αποδεκτές. Στους ελέγχους ποιότητας για την κλίμακα 1: 1.000.000 εντοπίστηκαν: 1 ασυμβατότητα με το σιδηροδρομικό δίκτυο που επιλύθηκε με τη δημιουργία δύο πολυγώνων έναντι του ενός αρχικού με εναλλακτική ενοποίηση, 2 ασυμβατότητες με το οδικό δίκτυο που επιλύθηκαν επίσης με εναλλακτική ενοποίηση και καμία ασυμβατότητα με την ακτογραμμή.
- Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.
- Δεν απαιτείται έλεγχος 'συνωστισμού' εντός της θεματικής κατηγορίας καθώς περιλαμβάνεται στον μετασχηματισμό της ενοποίησης που εφαρμόζεται.

*Πλήθος αρχικών πολυγώνων στην κλίμακα 1: 250.000: 1.329*

*Πλήθος ενοποιημένων πολυγώνων στην κλίμακα 1:500.000: 49*

Πλήθος ενοποιημένων πολυγώνων στην κλίμακα 1: 1.000.000: 17

- Ποτάμιες ροές ως πολύγωνα.

Κλίμακες 1:500.000 και 1: 1.000.000 (Εικόνες 29, 30).

i. Οι οντότητες μεταφέρονται βάσει του πίνακα – οδηγού (Πίνακα 14) της παραγράφου § 4.3.1 απευθείας στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία της νέας βάσης και όλες οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται στη νέα κατηγορία.

ii. Διατηρείται ένα πολύγωνο και στις δύο κλίμακες.

iii. Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:

- Έλεγχος ορθής κατηγοριοποίησης (κενό πεδίο υπο-κατηγορίας).
- Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία).
- Εννοιολογική συνέπεια (έλεγχος για 'κενά').
- Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.
- Δεν απαιτείται έλεγχος 'συνωστισμού' εντός της θεματικής κατηγορίας.

Πλήθος αρχικών πολυγώνων στην κλίμακα 1: 250.000: 184

Πλήθος πολυγώνων στην κλίμακα 1:500.000: 1

Πλήθος πολυγώνων στην κλίμακα 1: 1.000.000: 1

- Υδρογραφικό δίκτυο.

Εφαρμόζεται ο νόμος επιλογής οντοτήτων των Friedrich Töpfer και Wolfgang Pillewizer (1966) στα τμήματα του υδρογραφικού δικτύου (ενδεικτικά):

$$n_f = n_a \sqrt{\frac{M_a}{M_f}}, \text{ όπου } n_a, n_f \text{ τα τμήματα του αρχικού και του τελικού δικτύου}$$

αντίστοιχα και  $M_a, M_f$  οι παρονομαστές της αρχικής και της τελικής κλίμακας. Για αρχικό δίκτυο 1.793 τμήματα στην κλίμακα 1: 250.000 προκύπτει δίκτυο 1.273 τμήματα στην κλίμακα 1: 500.000 και 897 τμήματα στην κλίμακα 1: 1.000.000.

Καθώς δεν υπάρχουν οι λεκάνες απορροής για να χρησιμοποιηθούν στην απλοποίηση του δικτύου ή άλλο στοιχείο ιεράρχησης του δικτύου παρά μόνο οι ονομασίες των ποτάμιων ροών, η απλοποίηση του δικτύου βασίζεται στις κοινές ονομασίες των ποτάμιων ροών και ενδεικτικά λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα του νόμου των Friedrich Töpfer και Wolfgang Pillewizer (1966). Καταργούνται επιπλέον όλα τα ανώνυμα ρέματα ως μη σημαντικά καθώς και οι υπόγειες ροές

Κλίμακα 1: 500.000 (Εικόνα 29).

i. Το δίκτυο ενοποιείται με βάση τις ονομασίες των ποτάμιων ροών. Για την κλίμακα 1: 500.000 διατηρούνται όλες οι ροές ανά ονομασία με μήκος 5 km και

άνω ώστε να προσεγγιστεί ο αριθμός τμημάτων σύμφωνα με το κριτήριο των Friedrich Töpfer και Wolfgang Pillewizer (1966).

ii. Εφαρμόζεται η τεχνική απλοποίησης iii (κόμβος πολυγώνου 1 km<sup>2</sup>) καθώς η συγκεκριμένη τεχνική αντιμετωπίζει και τις περιπτώσεις που επιλύουν οι τεχνικές i, ii.

iii. Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:

- Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία).
- Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.
- Δεν απαιτείται έλεγχος 'συνωστισμού' εντός της θεματικής κατηγορίας καθώς ο έλεγχος περιλαμβάνεται στις τεχνικές απλοποίησης του δικτύου.

Κλίμακα 1: 1.000.000 (Εικόνα 30).

iv. Οι επεμβάσεις εφαρμόζονται στις οντότητες της θεματικής κατηγορίας της βάσης 1: 500.000 κατόπιν της εφαρμογής του μετασχηματισμού της απλοποίησης της χαρτογραφικής γενίκευσης, προς εξοικονόμηση χρόνου. Οι επεμβάσεις εφαρμόζονται σε κατάλληλα απλοποιημένες γραμμικές οντότητες προς απεικόνιση στην κλίμακα 1: 1.000.000 καθώς η μέθοδος επιλογής της κατάλληλης προς απεικόνιση οντότητας που αναπτύχθηκε στην Ενότητα 2 παράγει συμβατά αποτελέσματα για τις δύο κλίμακες (1: 500.000 και 1: 1.000.000). Οι οντότητες μεταφέρονται απευθείας στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία της βάσης 1: 1.000.000 και οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται σε αυτή.

v. Το δίκτυο ενοποιείται με βάση τις ονομασίες των ποτάμιων ροών. Για την κλίμακα 1: 1.000.000 διατηρούνται όλες οι ροές ανά ονομασία με μήκος 10 km και άνω ώστε να προσεγγιστεί ο αριθμός τμημάτων σύμφωνα με το κριτήριο των Friedrich Töpfer και Wolfgang Pillewizer (1966).

vi. Εφαρμόζεται η τεχνική απλοποίησης iii (κόμβος πολυγώνου 3 km<sup>2</sup>) καθώς η συγκεκριμένη τεχνική αντιμετωπίζει και τις περιπτώσεις που επιλύουν οι τεχνικές i, ii.

vii. Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:

- Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία).
- Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.
- Δεν απαιτείται έλεγχος 'συνωστισμού' εντός της θεματικής κατηγορίας καθώς ο έλεγχος περιλαμβάνεται στις τεχνικές απλοποίησης του δικτύου.

Συνολικό μήκος δικτύου στην κλίμακα 1: 250.000: 7.304 km (6.145 τμήματα)

Μήκος δικτύου στην κλίμακα 1:500.000: 4.275 km (686 τμήματα)

Συνολικό μήκος δικτύου στην κλίμακα 1: 1.000.000: 2.551 km (377 τμήματα)



- Νησιά ως πολύγωνα.

*Κλίμακες 1:500.000 και 1: 1.000.000 (Εικόνες 31, 30).*

- Οι οντότητες μεταφέρονται βάσει του πίνακα – οδηγού (Πίνακα 14) της παραγράφου § 4.3.1 απευθείας στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία της νέας βάσης και όλες οι επεμβάσεις πραγματοποιούνται στη νέα κατηγορία.
- Διατήρηση των πολυγώνων που πληρούν το κριτήριο του ελάχιστου εμβαδού βάσει προδιαγραφών. Κατάργηση των υπολοίπων.

- Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:

- Πληρότητα οντοτήτων (έλεγχος για συμμόρφωση στο κριτήριο του ελάχιστου εμβαδού) – Δεν αναμένονται σφάλματα λόγω της εφαρμογής του αντίστοιχου περιορισμού.
- Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία).
- Έλεγχος ορθής κατηγοριοποίησης (κενό πεδίο υπο-κατηγορίας).
- Εννοιολογική συνέπεια (έλεγχος για 'κενά' σε πολύγωνα).
- Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.
- Έλεγχος 'συνωστισμού' εντός της θεματικής κατηγορίας με χρήση ζωνών ακριβείας πλάτους ίσου με το όριο της διακριτικής ικανότητας (0,25 mm). Στην περίπτωση 'συνωστισμού' επιδιώκεται η μετάθεση της οντότητας εντός του ορίου της οριζοντιογραφικής ακρίβειας (500 m για την κλίμακα 1: 500.000 και 1000 m για την κλίμακα 1:1000.000)

*Πλήθος αρχικών πολυγώνων στην κλίμακα 1: 250.000: 85*

*Πλήθος πολυγώνων στην κλίμακα 1:500.000: 20*

*Πλήθος πολυγώνων στην κλίμακα 1: 1.000.000: 8*

- Ακτογραμμή.

*Κλίμακες 1:500.000 και 1: 1.000.000 (εικόνες 32, 31).*

- Οι οντότητες μεταφέρονται βάσει του πίνακα – οδηγού (Πίνακα 14) της παραγράφου § 4.3.1 απευθείας στην αντίστοιχη θεματική κατηγορία της νέας βάσης.
- Καταργούνται τα τμήματα τεχνικών έργων και παραμένουν όλα τα τμήματα της ακτογραμμής.

- Διεξαγωγή ελέγχων ποιότητας:

- Πληρότητα ιδιοτήτων (έλεγχος για κενά πεδία).
- Έλεγχος ορθής κατηγοριοποίησης (κενό πεδίο υπο-κατηγορίας).
- Εννοιολογική συνέπεια (έλεγχος για 'κενά' στις συνδέσεις).
- Έλεγχος συνέπειας των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού των ιδιοτήτων.

*Αρχικό μήκος στην κλίμακα 1: 250.000: 1.356 km*

Μήκος στην κλίμακα 1:500.000: 1.356 km

Μήκος στην κλίμακα 1: 1.000.000: 1.356 km

#### 4.3.3 Έλεγχοι ποιότητας και αξιολόγηση

Επιπλέον των ελέγχων ποιότητας στις οντότητες σε επίπεδο θεματικής κατηγορίας, οι οποίες παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο και μεταξύ κατηγοριών όταν απαιτείται για την εξέλιξη της διαδικασίας της σημασιολογικής γενίκευσης, πραγματοποιούνται έλεγχοι εννοιολογικής συνέπειας και αναγνωσιμότητας μεταξύ των οντοτήτων διαφορετικών θεματικών κατηγοριών. Εννοιολογικές ασυνέπειες προκύπτουν εξαιτίας:

- Της επίθεσης των πολυγωνικών οντοτήτων χωρίς την ύπαρξη 'κενού' στη συγκεκριμένη θέση. Ασυμβατότητα που προέκυψε κατευθυνόμενα η οποία θα εντοπιστεί και θα επιλυθεί στους ελέγχους ποιότητας της χαρτογραφικής γενίκευσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί.
- Της ενοποίησης οντοτήτων με απόσταση. Μετασχηματισμός κατά τον οποίο πληρώνεται ο χώρος μεταξύ των ενοποιημένων οντοτήτων. Για την επίλυση επιλέγεται η τροποποίηση της ενοποίησης με την αλλαγή των συμμετεχουσών οντοτήτων όταν ενοποιούνται περισσότερες των δύο οντοτήτων, η ακύρωση της ενέργειας ή η τροποποίηση της ενοποιημένης οντότητας όπως έχει ήδη αναφερθεί στις περιπτώσεις των πολυγώνων των κατοικημένων περιοχών και των λιμνών. Επιπλέον, στις σχέσεις μεταξύ ενοποιημένων πολυγώνων και σημειακών οντοτήτων υπερισχύουν τα πολύγωνα έναντι των σημείων που καταργούνται.

Οι έλεγχοι αναγνωσιμότητας αφορούν στη διάκριση των αντικειμένων μεταξύ θεματικών κατηγοριών. Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της εφαρμογής ελέγχθηκε η αναγνωσιμότητα μεταξύ των θεματικών κατηγοριών οδικού και σιδηροδρομικού δικτύου έναντι του υδρογραφικού και οδικού δικτύου έναντι του σιδηροδρομικού. Ως κάτω όριο σύμπτωσης μεταξύ των οντοτήτων (ασυνέπεια) ορίστηκε το 50% του μήκους της ελεγχόμενης οντότητας εντός της ζώνης ακριβείας πλάτους ίσου με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης όταν επηρεάζεται το 50% του μήκους της οντότητας αναφοράς. Οι οντότητες του υδρογραφικού δικτύου που παραβαίνουν το όριο και δεν αποτελούν σύνδεση μεταξύ ποτάμιων ροών (φέρουν εκκρεμή κορυφή στο ένα άκρο τους) καταργούνται. Καταργούνται επιπλέον τα τμήματα του δευτερεύοντος οδικού δικτύου που βρίσκονται σε σύγκρουση με το σιδηροδρομικό δίκτυο.

Από τα αποτελέσματα των ελέγχων δεν διαπιστώθηκε οποιαδήποτε εννοιολογική ασυνέπεια εφόσον αυτές είχαν ήδη επιλυθεί κατά τη διαδικασία

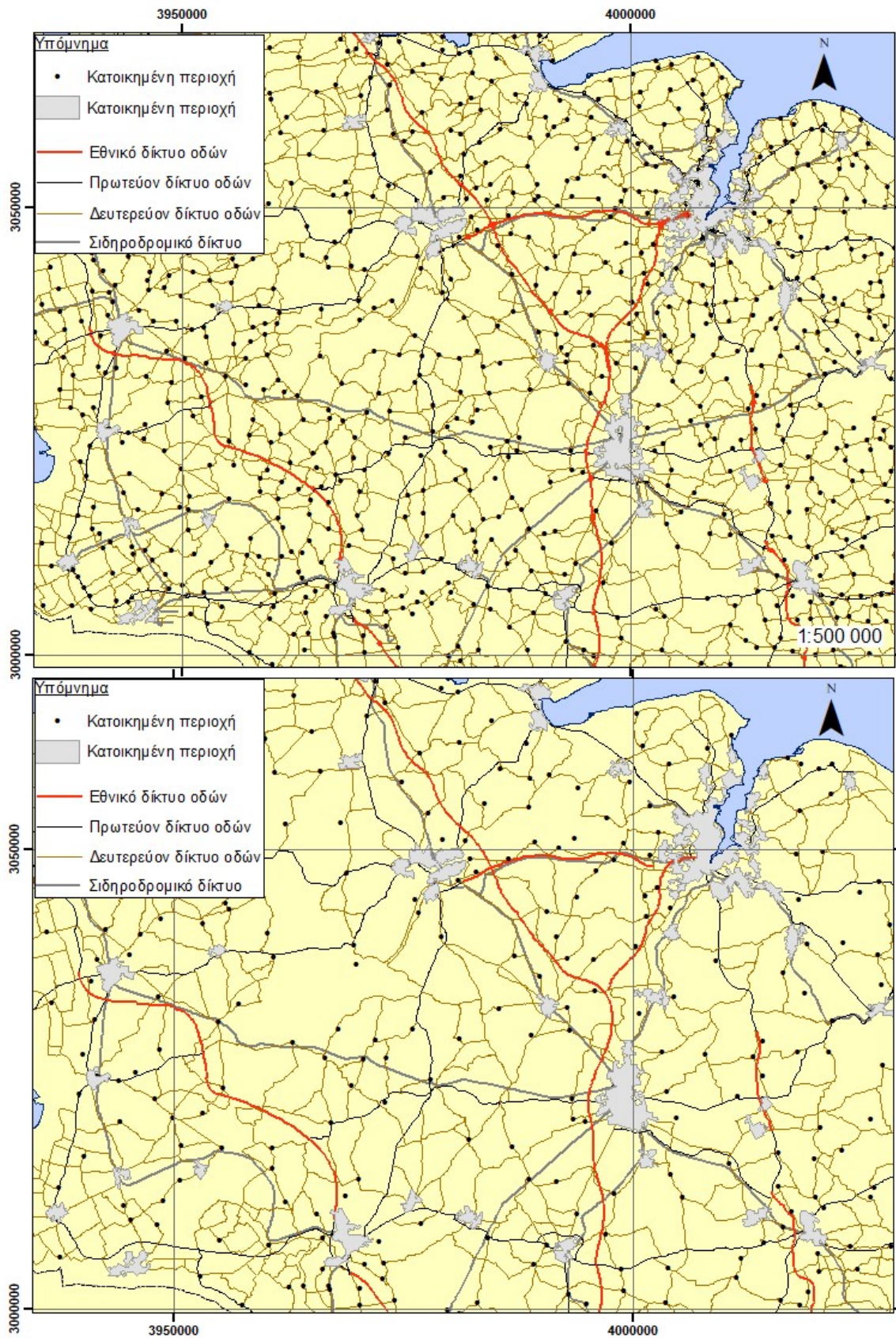
της σημασιολογικής γενίκευσης και οι ακόλουθες περιπτώσεις παραβιάσεων της αναγνωσιμότητας:

- 12 παραβιάσεις μεταξύ του οδικού δικτύου και του υδρογραφικού σε σύνολο γραμμών 4.364, 14 παραβιάσεις μεταξύ του οδικού δικτύου και του σιδηροδρομικού σε σύνολο γραμμών 3.792 και 0 παραβιάσεις μεταξύ του σιδηροδρομικού δικτύου και του υδρογραφικού σε σύνολο 800 γραμμών, στην κλίμακα 1: 500.000.
- 27 παραβιάσεις μεταξύ του οδικού δικτύου και του υδρογραφικού σε σύνολο γραμμών 3.974, 20 παραβιάσεις μεταξύ του οδικού δικτύου και του σιδηροδρομικού σε σύνολο γραμμών 3.699 και καμία παραβίαση μεταξύ του σιδηροδρομικού δικτύου και του υδρογραφικού σε σύνολο γραμμών 479, στην κλίμακα 1: 1.000.000.

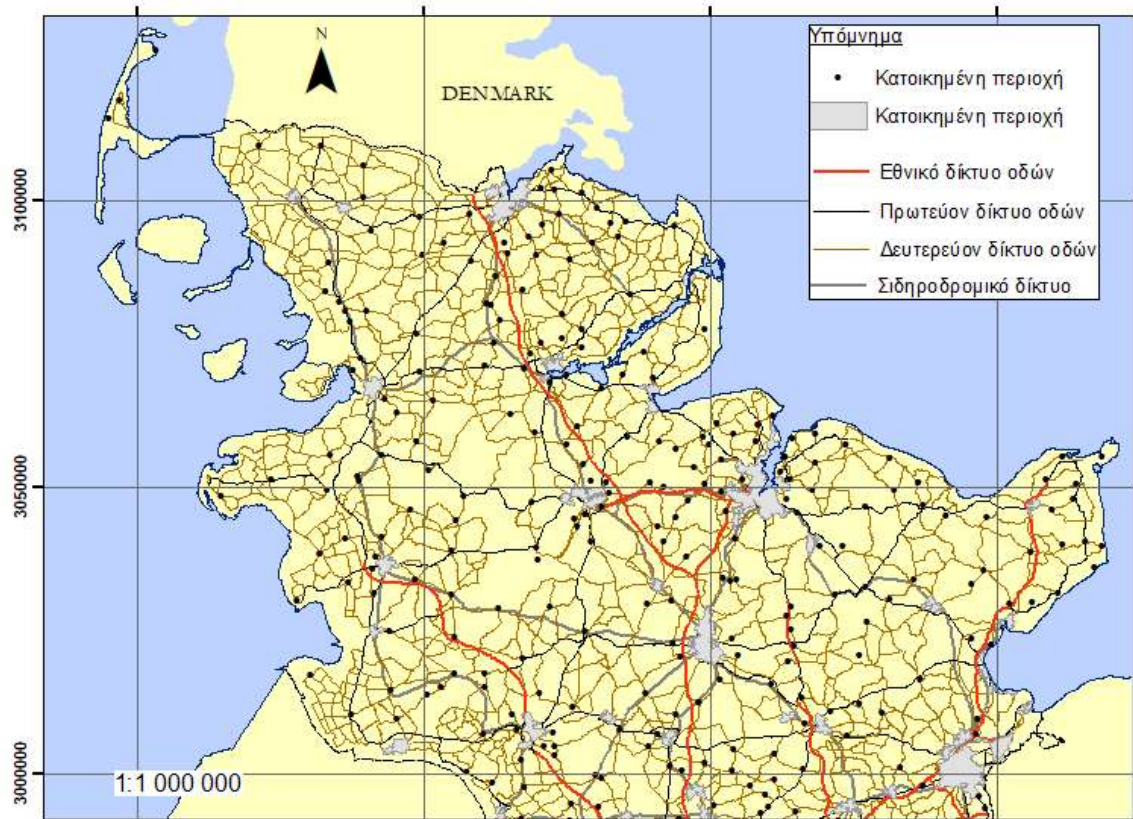
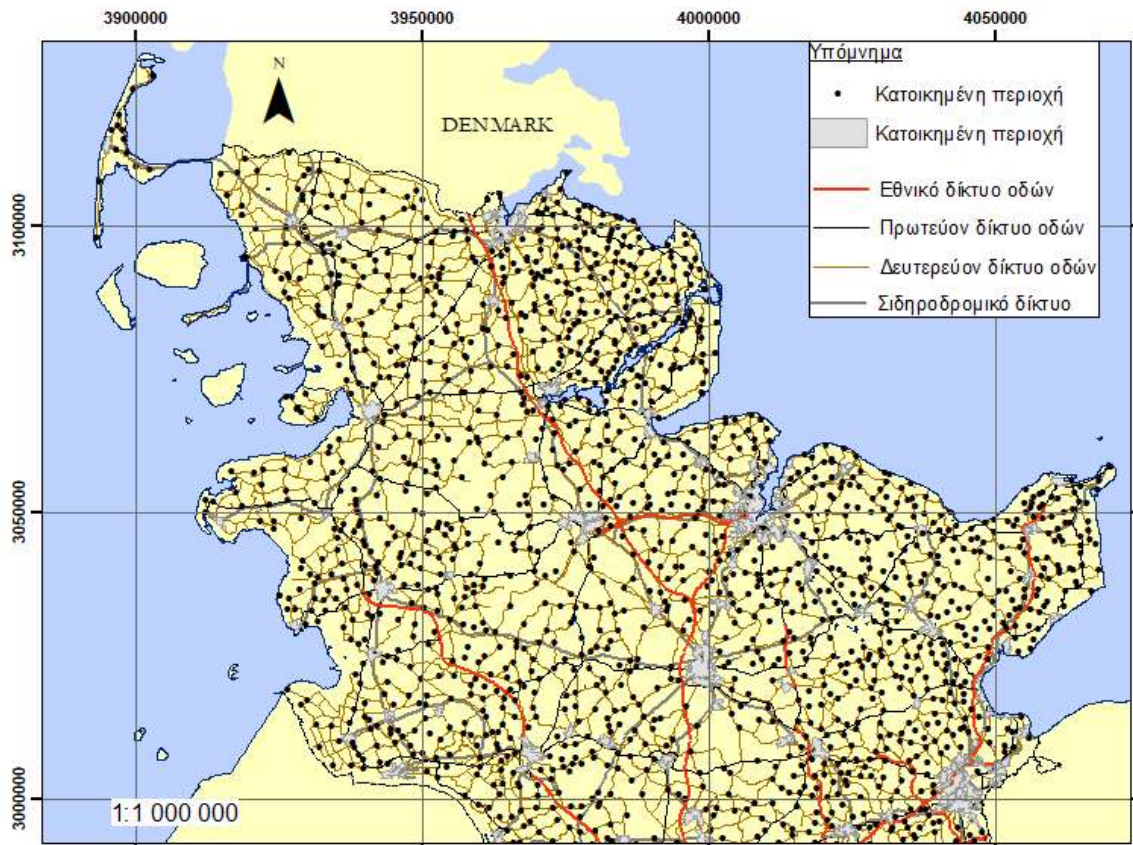
Τα αποτελέσματα των ελέγχων με πολύ χαμηλά ποσοστά σφαλμάτων δίνουν την δυνατότητα ελέγχου των σφαλμάτων με οπτικό τρόπο και υποδηλώνουν την ικανότητα της προτεινόμενης τυποποίησης της διαδικασίας της σημασιολογικής γενίκευσης να παράσχει αποδεκτά δεδομένα.

Έλεγχοι μεταξύ των σημειακών οντοτήτων και των οντοτήτων των υπολοίπων θεματικών κατηγοριών δεν πραγματοποιούνται στην παρούσα φάση καθώς οι ασυμβατότητες επιλύονται με τη μετάθεση της σημειακής οντότητας. Ο συγκεκριμένος έλεγχος πραγματοποιείται στο πέρας της χαρτογραφικής γενίκευσης.

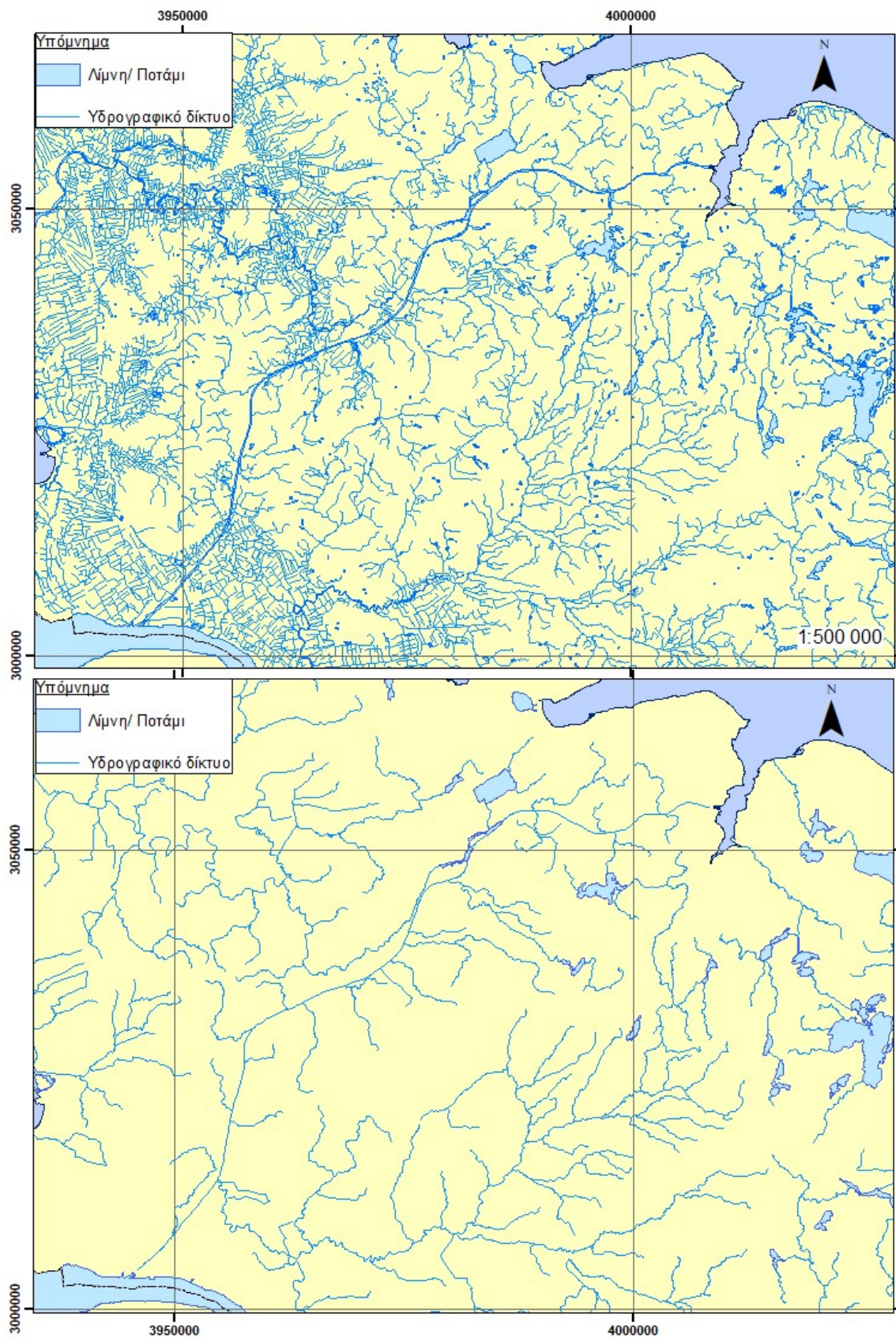
Στις Εικόνες 32 και 33 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της σημασιολογικής γενίκευσης της περιοχής μελέτης στις κλίμακες 1: 500.000 (4 πινακίδες) και 1: 1.000.000 αντίστοιχα. Η σύνθεση και η απεικόνιση των δεδομένων πραγματοποιείται στο λογισμικό ArcMap της ESRI.



**Εικόνα 27.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 500.000 (κάτω εικόνα) με την αρχική κατάσταση απεικονιζόμενη σε κλίμακα επίσης 1: 500.000 (άνω εικόνα). Παρουσιάζονται το οδικό (εθνικό, πρωτεύον, δευτερεύον/ κόκκινο, μαύρο, κίτρινο) και το σιδηροδρομικό δίκτυο (γκρι) και οι κατοικημένες περιοχές (πολύγωνα, σημεία) σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

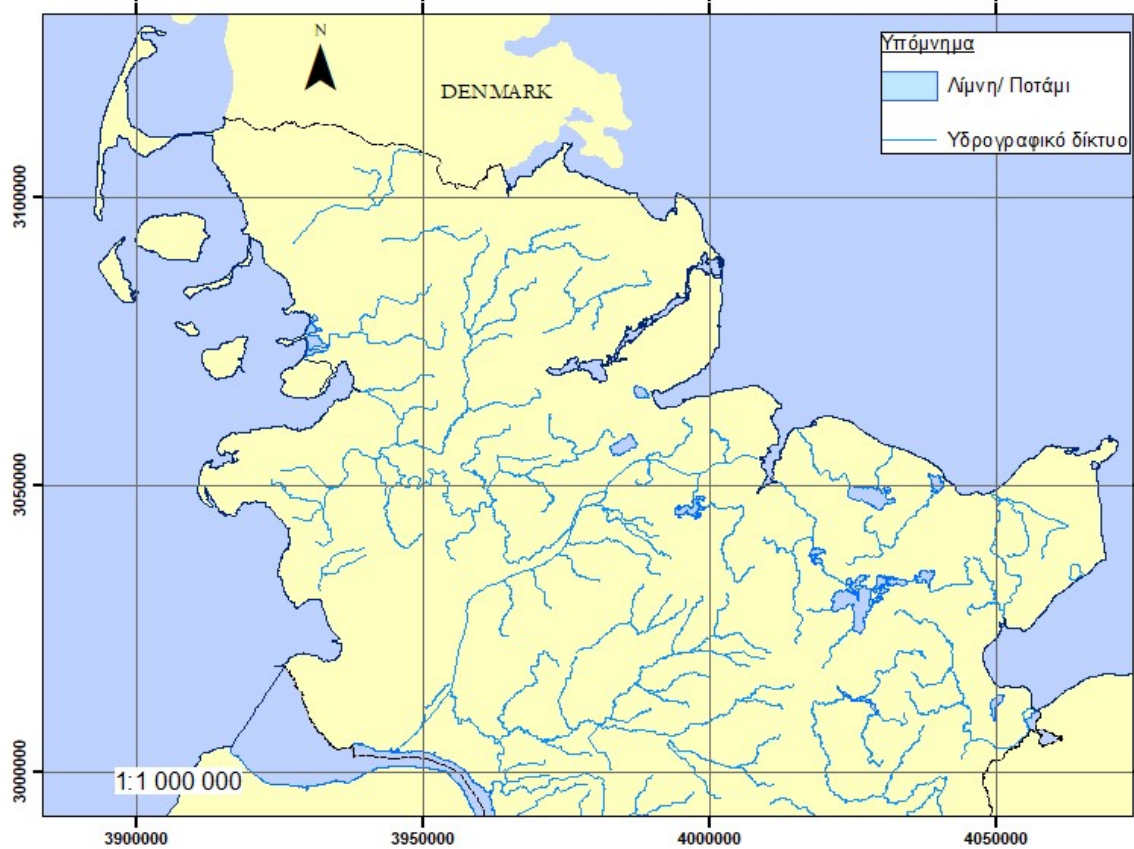
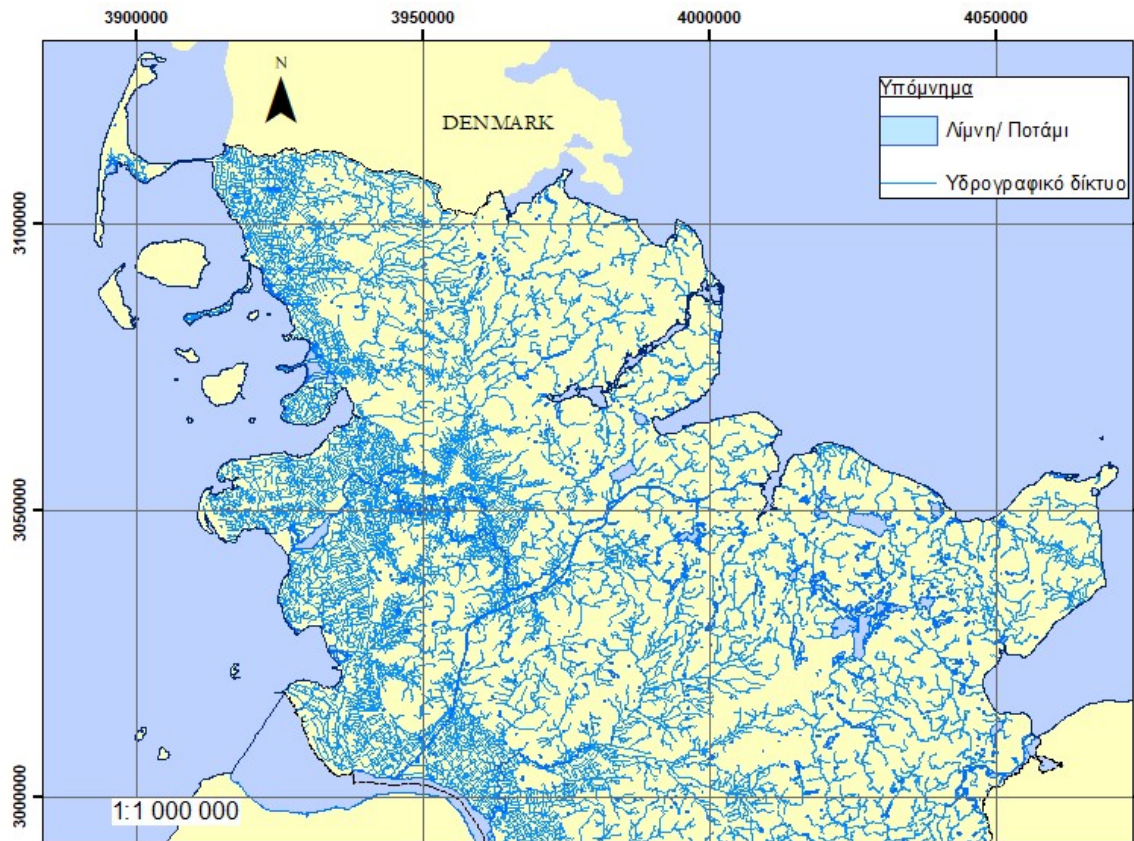


**Εικόνα 28.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 1.000.000 (κάτω εικόνα) με την αρχική κατάσταση απεικονιζόμενη σε κλίμακα επίσης 1: 1.000.000 (άνω εικόνα). Παρουσιάζονται το οδικό (εθνικό, πρωτεύον, δευτερεύον/ κόκκινο, μαύρο, κίτρινο) και το σιδηροδρομικό δίκτυο (γκρι) και οι κατοικημένες περιοχές (πολύγωνα, σημεία) σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.



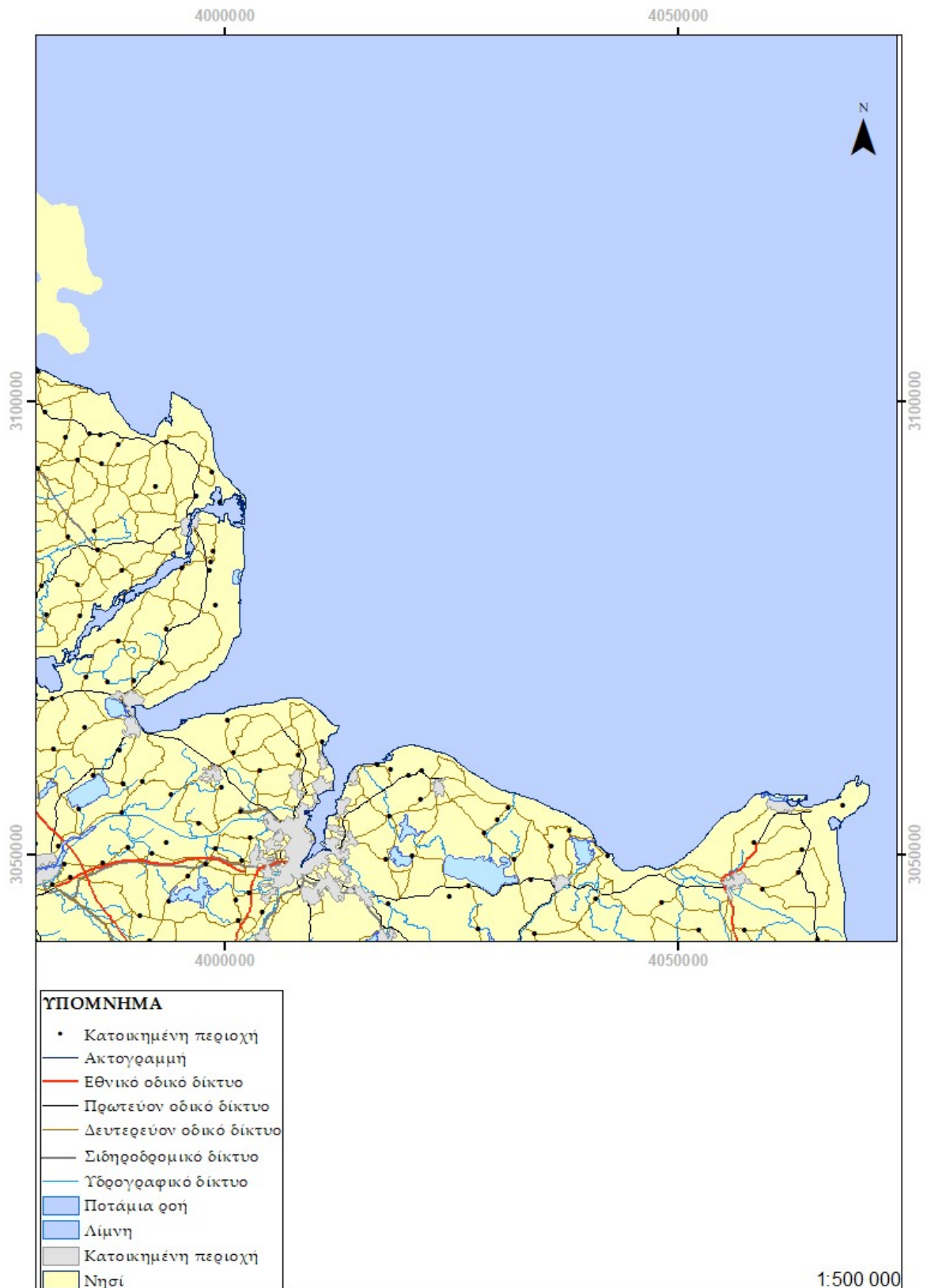


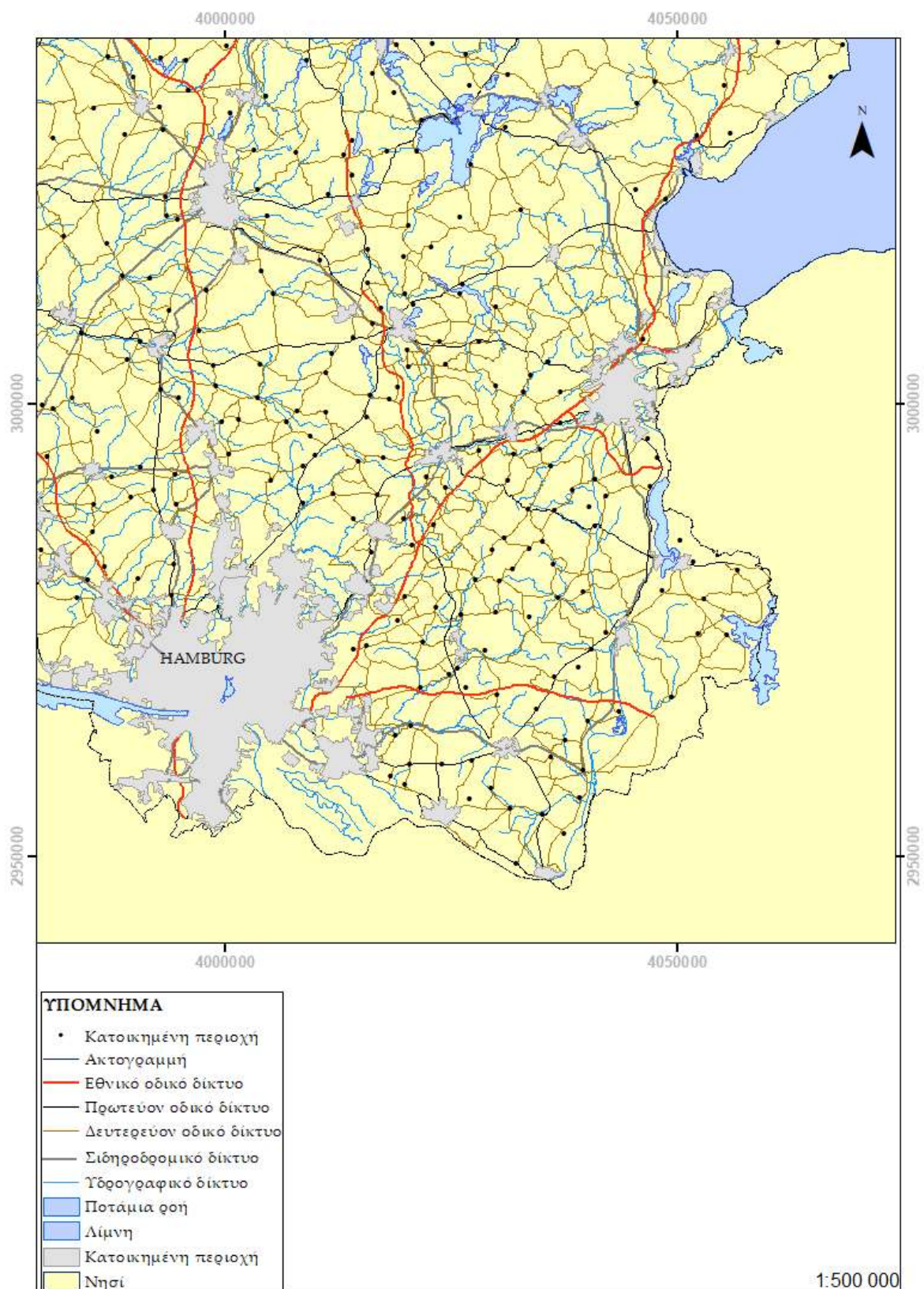
**Εικόνα 29.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 500.000 (κάτω εικόνα) με την αρχική κατάσταση απεικονιζόμενη σε κλίμακα επίσης 1: 500.000 (άνω εικόνα). Παρουσιάζονται το υδρογραφικό δίκτυο, οι λίμνες και οι ποτάμιες ροές ως πολύγωνα σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.



**Εικόνα 30.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 1.000.000 (κάτω εικόνα) με την αρχική κατάσταση απεικονιζόμενη σε κλίμακα επίσης 1: 1.000.000 (άνω εικόνα). Παρουσιάζονται το υδρογραφικό δίκτυο, οι λίμνες και οι ποτάμιες ροές ως

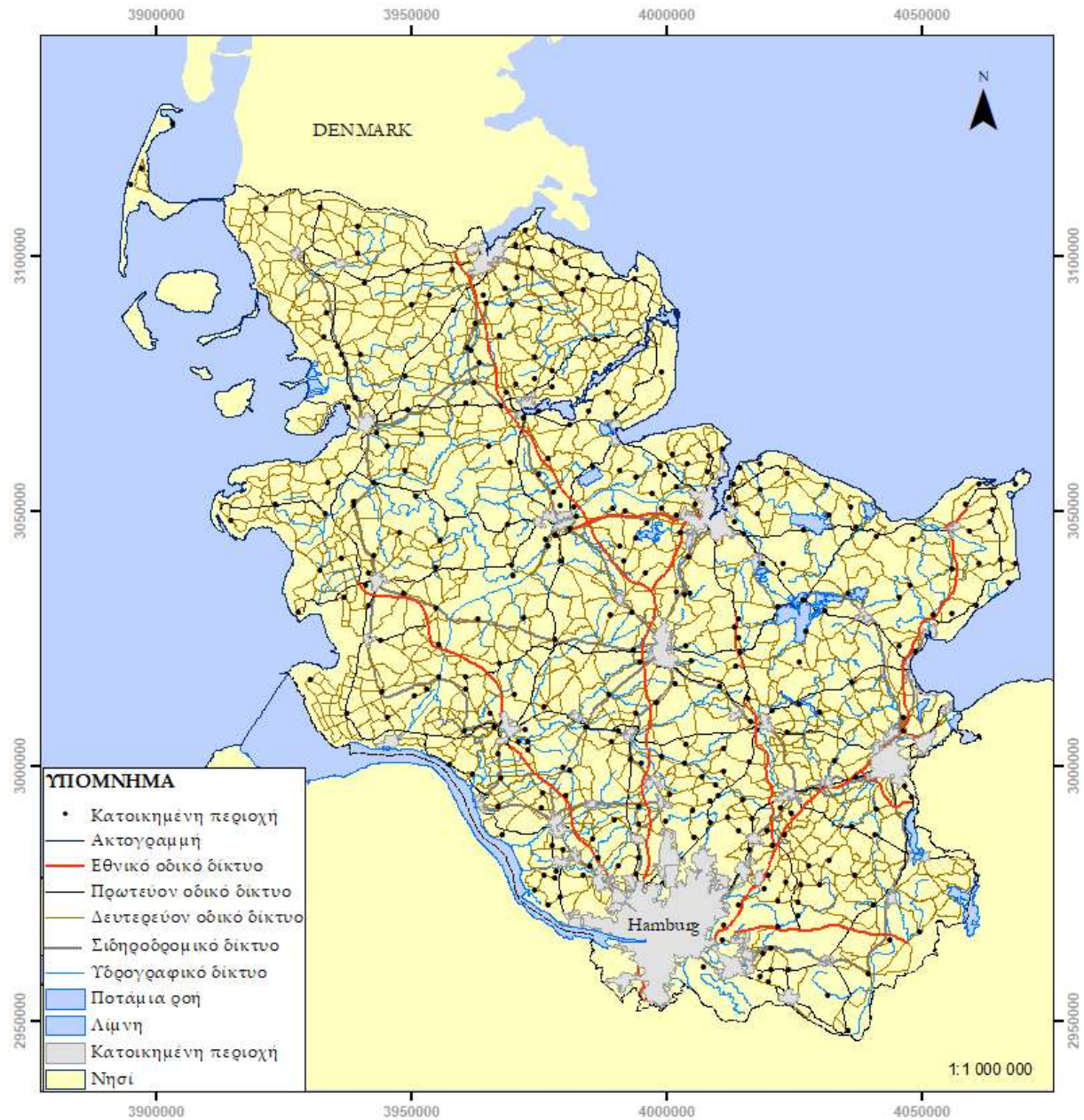








**Εικόνα 31.** Χάρτης σύνθεσης αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 500.000 σε 4 πινακίδες.



**Εικόνα 32.** Χάρτης σύνθεσης αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης κλίμακας 1: 1.000.000.

#### 4.4 Συμπεράσματα επί της Ενότητας 4

Στην παρούσα Ενότητα διαμορφώθηκε η τυποποίηση της διαδικασίας της σημασιολογικής γενίκευσης όπως παρουσιάζεται συνοπτικά στο διάγραμμα



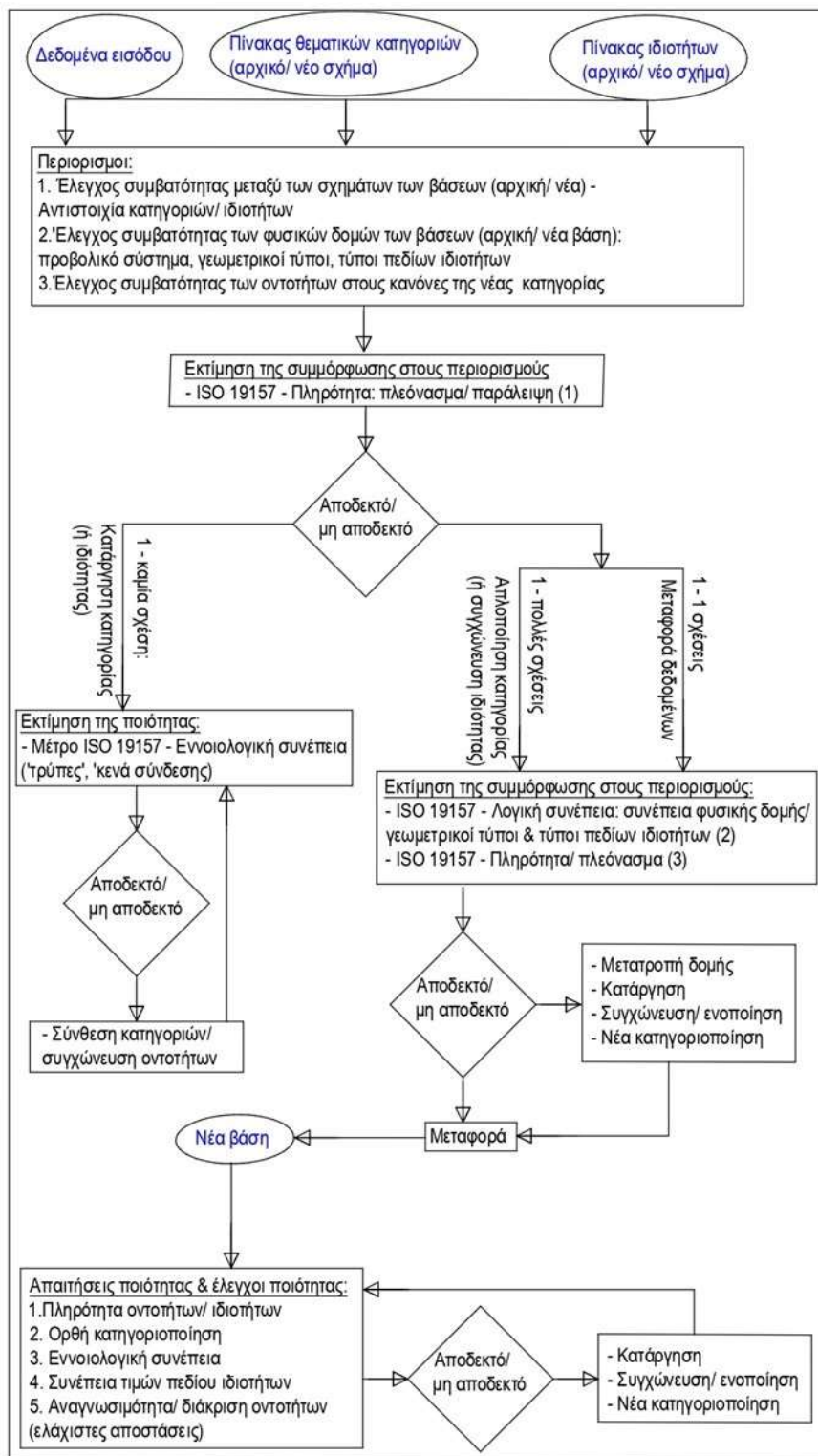
ροής στην Εικόνα 34, συνδυαστικά με την υλοποίηση της αντίστοιχης εφαρμογής. Συγκεκριμένα, προσδιορίστηκαν:

- οι περιορισμοί για την καθοδήγηση της διαδικασίας της γενίκευσης κατά τους Dirk Burghardt, Stefan Schmid και Jantien Stoter (2007) (διατήρηση της αναγνωσιμότητας και της απόδοσης των οντοτήτων) και επιπλέον περιορισμοί σχετικοί με την συμβατότητα των σχημάτων και των φυσικών δομών των βάσεων αρχικής και νέας και της συμβατότητας των οντοτήτων στους κανόνες της νέας θεματικής κατηγορίας όπου θα ενταχθεί.
- οι απαιτήσεις ποιότητας βάσει τον συνιστωσών της ποιότητας (θεματική, γραφική/ διάταξης) όπως αυτή επηρεάζεται από τους μετασχηματισμούς κατά τους Nicola Regnault και Robert McMaster (2007), για τον έλεγχο της ποιότητας των αποτελεσμάτων της γενίκευσης,
- τα μέτρα ποιότητας των περιορισμών και των απαιτήσεων ποιότητας με τα όρια συμμόρφωσης για την αξιολόγηση της ποιότητας κατά την εξέλιξη της διαδικασίας της γενίκευσης και στο πέρας, αντίστοιχα.

Ειδικότερα, ως αναφορά στα μέτρα ποιότητας επιλέχθηκαν τα μέτρα ποιότητας του προτύπου ISO 19157 για τα χωρικά δεδομένα και σχεδιάστηκαν τεχνικές απλοποίησης του γραμμικού δικτύου ως μέτρα για τον εντοπισμό των περιπτώσεων 'συνωστισμού' των οντοτήτων και την επίλυσή τους. Τέλος, στο πλαίσιο της εφαρμογής αναλύθηκαν διεξοδικά τα στάδια της διαδικασίας της σημασιολογικής γενίκευσης σε επίπεδο σχήματος βάσης και οντοτήτων ανά θεματική οντότητα. Επιπλέον, προσδιορίστηκαν ποσοτικά όρια συμμόρφωσης στους περιορισμούς και στις απαιτήσεις ποιότητας που αφορούν στην διατήρηση της αναγνωσιμότητας.

Από τα αποτελέσματα της εφαρμογής με βάση τους ελέγχους ποιότητας αναγνωσιμότητας και εννοιολογικής συνέπειας (ελάχιστο ποσοστό 'συνωστισμού' στο πέρας της διαδικασίας και καμία εννοιολογική ασυμβατότητα) αλλά και με οπτική εξέταση, διαπιστώνεται η επάρκεια της προτεινόμενης τυποποίησης της διαδικασίας της σημασιολογικής γενίκευσης (τυποποίηση περιορισμών και μετασχηματισμών) σχετικά με την παραγωγή αποδεκτού αποτελέσματος αναφορικά με τη θεματική ποιότητα (πλήρωση θεματικών κατηγοριών και ιδιοτήτων, ορθή κατηγοριοποίηση, ακρίβεια τιμών και συνέπεια τιμών στο πεδίο ορισμού της ιδιότητας) και τη γραφική (αναγνωσιμότητα και εννοιολογική συνέπεια). Ειδικότερα στις περιπτώσεις απλοποίησης του οδικού και του υδρογραφικού δικτύου όπου απαιτούνται πληροφορίες ιεραρχικής ταξινόμησης των οντοτήτων, παρόλο που οι αντίστοιχες πληροφορίες έλειπαν (υδρογραφικό δίκτυο) ή δεν ήταν επαρκείς (οδικό δίκτυο) επιτεύχθηκε αποδεκτό αποτέλεσμα σχετικά με την εξάλειψη του 'συνωστισμού' και την ικανοποίηση της πληρότητας των συνδέσεων. Η νέα βάση

που δημιουργήθηκε με την σημασιολογική γενίκευση κρίνεται πλέον κατάλληλη για την εισαγωγή της στη διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης καλύπτοντας τις απαιτήσεις της θεματικής και γραφικής ποιότητας.



Εικόνα 33. Διάγραμμα ροής σημασιολογικής γενίκευσης.

## 5. Ελεγχόμενη χαρτογραφική γενίκευση και μοντέλο ποιότητας

Η διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης περιλαμβάνει μετασχηματισμούς που τροποποιούν τα γεωμετρικά στοιχεία των οντοτήτων επηρεάζοντας τη μορφή και τη θέση τους. Ο πιο διαδεδομένος μετασχηματισμός είναι αυτός της απλοποίησης των γραμμικών οντοτήτων που χρησιμοποιείται στην εφαρμογή για την ανάπτυξη του σχετικού μοντέλου ποιότητας (Blana & Tsoulos, 2022a). Συγκεκριμένα, εφαρμόζονται οι αλγόριθμοι απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και bend simplify (Wang, 1996) της ESRI, για τιμές ανοχής στο διάστημα (20, 1000) ανά 20 m στις γραμμικές και πολυγωνικές οντότητες των δύο βάσεων 1: 500.000 και 1: 1.000.000 που προέκυψαν από την σημασιολογική γενίκευση και αξιολογήθηκαν ως αποδεκτής ποιότητας, όπως παρουσιάστηκε στην Ενότητα 4. Ο αλγόριθμος point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) εφαρμόζεται στις γραμμικές οντότητες των τεχνικών έργων (του σιδηροδρομικού και του οδικού δικτύου) και ο bend simplify της ESRI (Wang, 1996) στις φυσικές οντότητες της ακτογραμμής των ποτάμιων ροών, στις λίμνες, στις πολυγωνικές ποτάμιες ροές και στα νησιά καθώς παρακολουθεί πληρέστερα τους μαιανδρισμούς της μορφής των φυσικών οντοτήτων, λόγω του σχεδιασμού του. Ο αλγόριθμος bend simplify της ESRI (Wang, 1996) επιλέγεται γενικά για την απλοποίηση των πολυγωνικών οντοτήτων (πολύγωνα κατοικημένων περιοχών) έναντι του point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) καθώς μεταβάλλει σταδιακά τη μορφή της γραμμής κατά τη μεταβολή της τιμής της ανοχής με αποτέλεσμα να διαχειρίζεται ικανοποιητικότερα τις πολυγωνικές μορφές σε σχέση με τον point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) που επιφέρει συχνότερα απότομες και έντονες μεταβολές με την εναλλαγή της τιμής της ανοχής.

Στο πέρας της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης, όταν έχουν επιλεγεί οι κατάλληλες προς απεικόνιση οντότητες αποκαθίστανται οι σχέσεις περικλεισης (‘κενό’) μεταξύ των πολυγωνικών οντοτήτων, οι οποίες παραβιάστηκαν κατευθυνόμενα με στόχο την εφαρμογή των μέτρων εκτίμησης της κατάστασης της μορφής των οντοτήτων. Αφορούν στις εξής περιπτώσεις θεματικών κατηγοριών: κατοικημένες περιοχές – λίμνες/ ποτάμιες ροές, λίμνες/ ποτάμιες ροές – νησιά, νησιά – λίμνες/ ποτάμιες ροές.

### 5.1 Δομικά στοιχεία 1 και 2: Περιορισμοί, απαιτήσεις ποιότητας με όρια συμμόρφωσης και μέτρα

Οι περιορισμοί στη διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης αφορούν στη διατήρηση της απόδοσης των οντοτήτων: στη διατήρηση της μορφής και της οριζοντιογραφικής θέσης τους. Η συμμόρφωση των οντοτήτων στους περιορισμούς εκτιμάται και αξιολογείται μέσω της διαδικασίας επιλογής των κατάλληλων προς απεικόνιση οντοτήτων που αναπτύχθηκε στην Ενότητα 2. Η συγκεκριμένη διαδικασία, συνδυάζει την παραμετροποίηση της μορφής της

γραμμικής ή πολυγωνικής οντότητας με χρήση της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και της απόστασης ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function με τα μέτρα της αναγνωσιμότητας και της τοπολογικής συνέπειας μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας και της οριζοντιογραφικής ακριβείας.

Οι απαιτήσεις ποιότητας στη χαρτογραφική γενίκευση αφορούν στη γεωμετρική ποιότητα σχετικά με τη διατήρηση της σχετικής θέσης της οντότητας και στη γραφική ποιότητα σχετικά με την αναγνωσιμότητα (διάκριση των αντικειμένων – ελάχιστες αποστάσεις), τη διατήρηση της τοπολογικής συνέπειας (άστοχες τομές ή επαφές) και τη διατήρηση της εννοιολογικής συνέπειας (ασύμβατες επιθέσεις). Ως μέτρο αναγνωσιμότητας ορίζεται ο αριθμός των περιπτώσεων συνωστισμού που εντοπίζονται με τη χρήση ζωνών ακριβείας πλάτους ίσου με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης. Για την περιγραφή των υπόλοιπων απαιτήσεων ποιότητας χρησιμοποιούνται τα στοιχεία ποιότητας ISO 19157 με τα αντίστοιχα μέτρα. Μετρείται ο αριθμός των ασυνεπειών με τις τεχνικές που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

### **5.1.1 Μέτρο εκτίμησης και αξιολόγησης της σχετικής θέσης της οντότητας**

Για την περιγραφή της ακρίβειας της σχετικής θέσης της οντότητας χρησιμοποιείται το στοιχείο ποιότητας της εννοιολογικής συνέπειας κατά ISO 19157 με την έννοια της ασύμβατης σχέσης και μετρείται ο αριθμός των περιπτώσεων εσφαλμένης σχετικής θέσης. Η διαδικασία της εκτίμησης και αξιολόγησης της ακρίβειας της σχετικής θέσης της οντότητας αφορά στην εκτίμηση και αξιολόγηση της διατήρησης ή μη της αρχικής της θέσης σε σχέση με τις γειτνιαζουσες σημειακές και πολυγωνικές οντότητες. Η τεχνική εντοπισμού της εσφαλμένης σχετικής θέσης στηρίζεται στη δημιουργία ζώνης ακριβείας πλάτους ίσου με το όριο της οριζοντιογραφικής ακρίβειας στην κλίμακα γενίκευσης εκατέρωθεν της αρχικής και της γενικευμένης οντότητας, στον εντοπισμό και στην αναγνώριση των οντοτήτων που περιέχονται σε κάθε ζώνη και στη συσχέτιση των αποτελεσμάτων μεταξύ της αρχικής κατάστασης και της νέας μετά τη γενίκευση.

#### Εφαρμογή

- i. Δημιουργία ζώνης ακριβείας εκατέρωθεν της αρχικής και της γενικευμένης οντότητας. Στις περιπτώσεις των γραμμικών οντοτήτων δημιουργούνται ζώνες με την ένδειξη 'αριστερά' και 'δεξιά' και στις περιπτώσεις των πολυγώνων δημιουργούνται ζώνες εξωτερικά.

- ii. Έλεγχος ύπαρξης τομών μεταξύ της ζώνης ακριβείας της αρχικής και της γενικευμένης οντότητας με οντότητες της ίδιας ή διαφορετικής θεματικής κατηγορίας και διατήρηση του κωδικού αναγνώρισης των οντοτήτων τομής.
- iii. Έλεγχος της ύπαρξης μεταβολής της σχετικής θέσης της γενικευμένης οντότητας μέσω του συσχετισμού των κωδικών αναγνώρισης των οντοτήτων τομής με τη ζώνη ακριβείας της με τους κωδικούς αναγνώρισης των οντοτήτων τομής με τη ζώνη ακριβείας της αρχικής οντότητας. Συγκεκριμένα, αναζητούνται κωδικοί αναγνώρισης των οντοτήτων τομής της ζώνης ακριβείας της αρχικής οντότητας σε διαφορετική ζώνη ακριβείας της γενικευμένης οντότητας, π.χ. κωδικοί οντοτήτων που βρίσκονται στην αριστερή ζώνη ακριβείας της αρχικής οντότητας βρίσκονται στη δεξιά ζώνη ακριβείας της γενικευμένης οντότητας.

### **5.1.2 Μέτρο εκτίμησης και αξιολόγησης της διατήρησης της εννοιολογικής και της τοπολογικής συνέπειας.**

Κατά το πρότυπο ποιότητας ISO 19157 η τοπολογική ασυνέπεια στις σχέσεις των οντοτήτων αφορά σε άστοχες τομές και επαφές ή δημιουργία ψευδών πολυγώνων (overshoots/ undershoots, sliver polygons) και η εννοιολογική ασυνέπεια στις ασύμβατες επικαλύψεις (overlap). Το μέτρο επομένως για την εκτίμηση και την αξιολόγηση της τοπολογικής και εννοιολογικής συνέπειας της οντότητας θα πρέπει να περιλαμβάνει τεχνικές εντοπισμού των γεωμετρικών σφαλμάτων της άστοχης τομής, της άστοχης επαφής και της ασύμβατης επικάλυψης μεταξύ των οντοτήτων της ίδιας ή διαφορετικής θεματικής κατηγορίας που προκύπτουν εξαιτίας της αδυναμίας ανασχηματισμού της αρχικής γεωμετρικής σχέσης (τομής ή επαφής) ή της δημιουργίας νέας σχέσης (επικάλυψης) εξαιτίας της μεταβολής της μορφής της γενικευμένης οντότητας. Οι ασύμβατες επιθέσεις (εννοιολογικές ασυνέπειες) εντοπίζονται με συσχετισμό των σχέσεων περικλίσεως των οντοτήτων στο πέρας της γενίκευσης με τις σχέσεις των αντίστοιχων αρχικών οντοτήτων ή βάσει προδιαγραφών του χάρτη. Οι τοπολογικές ασυνέπειες εντοπίζονται με τη σύγκριση των σχέσεων των αρχικών οντοτήτων με τις σχέσεις των γενικευμένων οντοτήτων. Εφαρμόζονται τεχνικές που περιλαμβάνουν την αναγνώριση και τον εντοπισμό των σχέσεων τομής ή επαφής ή την απουσία τους μεταξύ των αρχικών ή των γενικευμένων οντοτήτων.

#### Τεχνική αναγνώρισης και εντοπισμού άστοχων τομών υπέρβασης και υποχώρησης.

- i. Στο επίπεδο των αρχικών οντοτήτων, πραγματοποιείται αναγνώριση των σχέσεων τομής της οντότητας αναφοράς με τις υπόλοιπες οντότητες.

- ii. Στην περίπτωση ύπαρξης τομής, πραγματοποιείται αναγνώριση σύμπτωσης του σημείου τομής με τα σημεία αρχής/ τέλους της οντότητας αναφοράς. Ως κριτήριο εντοπισμού της συγκεκριμένης σχέσης ορίζεται η μηδενική απόσταση μεταξύ του αναγνωρισμένου σημείου τομής και του σημείου αρχής/ τέλους της οντότητας αναφοράς.
- iii. Για την οντότητα αναφοράς και τη συμβαλλόμενη οντότητα στη σχέση τομής, ελέγχεται με τον ίδιο τρόπο η ύπαρξη της σχέσης τομής στο επίπεδο των γενικευμένων οντοτήτων. Η ανυπαρξία τομής υποδηλώνει αστοχία τομής με την έννοια της υποχώρησης ή αστοχία τομής με την έννοια της υπέρβασης.

#### Τεχνική αναγνώρισης και εντοπισμού άστοχων επαφών.

Η διαδικασία αναγνώρισης και εντοπισμού των άστοχων επαφών αφορά στις πολυγωνικές οντότητες και περιλαμβάνει τον έλεγχο για την ύπαρξη κενού ή κενών κατά μήκος της γραμμής επαφής των περιγραμμάτων των συσχετιζόμενων πολυγωνικών οντοτήτων.

- i. Για τον εντοπισμό της ύπαρξης άστοχης επαφής μετατρέπονται εκ νέου σε πολυγωνικές οντότητες οι πολυγωνικές οντότητες που ελέγχονται. Αν ο πληθυσμός των νέων πολυγωνικών οντοτήτων είναι μεγαλύτερος του πληθυσμού των πολυγωνικών οντοτήτων εισόδου θεωρείται ότι δημιουργήθηκαν πολύγωνα μεταξύ των περιγραμμάτων των οντοτήτων εισόδου.
- ii. Με τον έλεγχο της αντιστοιχίας των εμβαδών των πολυγωνικών οντοτήτων εισόδου και των νέων πολυγωνικών οντοτήτων εντοπίζονται οι οντότητες με σφάλματα επαφής.

### **5.2 Δομικό στοιχείο 3: Η διαδικασία της ελεγχόμενης χαρτογραφικής γενίκευσης- Εφαρμογή**

Η διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης (Εικόνα 35) εξελίσσεται σε δύο (2) στάδια. Στο πρώτο στάδιο εφαρμόζεται η διαδικασία επιλογής της κατάλληλης προς απεικόνιση οντότητας όπως παρουσιάστηκε στην Ενότητα 2 και στο δεύτερο στάδιο οι έλεγχοι εκτίμησης και αξιολόγησης της ποιότητας για τις οντότητες που επιλέχθηκαν στο πρώτο στάδιο.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο στάδιο πραγματοποιούνται οι ακόλουθες διαδικασίες:

- i. Έλεγχος συμμόρφωσης των οντοτήτων στους περιορισμούς της αναγνωσιμότητας και της τοπολογικής συνέπειας αναφορικά με τα γεωμετρικά στοιχεία της οντότητας και της οριζοντιογραφικής ακρίβειας.

- ii. Υπολογισμός των παραμέτρων μορφής της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και της απόστασης ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function για τις οντότητες που ικανοποιούν τους περιορισμούς.
- iii. Εφαρμογή της ιεραρχικής ταξινόμησης στις παραμέτρους μορφής με τη χρήση τεσσάρων κριτηρίων συσχέτισης (Ward's, complete, average, single).
- iv. Επιλογή του κατάλληλου αριθμού συστάδων και κριτηρίου συσχέτισης με τα παρακάτω κριτήρια και πραγματοποίηση νέας ομαδοποίησης:
  - υψηλότερος μέσος συντελεστής συσχέτισης σιλουέτας,
  - πληθυσμός συστάδων μεγαλύτερος της μίας (εάν είναι εφικτό),
  - συστάδες με συντελεστές συσχέτισης σιλουέτας των μελών μη αρνητικούς.
- v. Επιλογή μέλους αντιπροσωπευτικού της κάθε ομάδας: το μέλος με τον υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης.
- vi. Επιλογή μεταξύ των αντιπροσωπευτικών μελών: επιλέγεται η οντότητα με τη μεγαλύτερη τιμή ανοχής ως κατάλληλη προς απεικόνιση

Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιούνται οι έλεγχοι ποιότητας: αναγνωσιμότητας, σχετικής θέσης, εννοιολογικής και τοπολογικής συνέπειας. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η ποιότητα των κατάλληλων προς απεικόνιση παραγόμενων δεδομένων βάσει της διαδικασίας επιλογής του πρώτου σταδίου. Στο πλαίσιο της εφαρμογής πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθοι έλεγχοι με τη σειρά που αναφέρονται:

- i. Έλεγχος τοπολογικής συνέπειας.
  - Δεν αναμένονται σφάλματα τομής μεταξύ γραμμικών οντοτήτων (υπέρβασης/ υποχώρησης) καθώς ο σχεδιασμός των δύο αλγορίθμων point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973), bend simplify της ESRI (Wang, 1996) προδιαγράφει ως σταθερά τα ακραία σημεία αρχής/ τέλους των γραμμών. Δεν ελέγχθηκε η συγκεκριμένη περίπτωση ασυνεπειών.
  - Δεν αναμένονται σφάλματα επαφής ή ψευδών πολυγώνων (sliver polygons) στις περιπτώσεις περίκλεισης μεταξύ πολυγώνων καθώς τα 'κενά' στις θέσεις υποδοχής δημιουργούνται στο πέρας της χαρτογραφικής γενίκευσης. Αφορούν στις εξής περιπτώσεις θεματικών κατηγοριών: κατοικημένες περιοχές – λίμνες/ ποτάμια ροές, λίμνες/ ποτάμια ροές – νησιά, νησιά – λίμνες/ ποτάμια ροές.
  - Δεν αναμένονται σφάλματα επαφής μεταξύ πολυγώνων που βρίσκονται σε απόσταση καθώς η οριζοντιογραφική ακρίβεια της γενίκευσης περιορίστηκε στο όριο της διακριτικής ικανότητας (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης. Σφάλματα επαφής αναμένεται να προκύψουν στις περιπτώσεις που τα περιγράμματα των αρχικών πολυγώνων πριν την



γενίκευση εφάπτονταν (π.χ. κατοικημένες περιοχές). Από τους ελέγχους δεν προέκυψαν σφάλματα.

ii. *Έλεγχος εννοιολογικής συνέπειας* ως ασύμβατη επικάλυψη.

- Ο συγκεκριμένος έλεγχος αφορά στις σχέσεις μεταξύ των πολυγωνικών οντοτήτων (δεν επιτρέπεται η αλληλοεπικάλυψη) και των οντοτήτων των θεματικών κατηγοριών: λίμνες/ ποτάμια ροές σε σχέση με τις κατοικημένες περιοχές και το οδικό και σιδηροδρομικό δίκτυο, ακτογραμμή σε σχέση με όλες τις πολυγωνικές οντότητες, κατοικημένες περιοχές πολυγωνικής μορφής σε σχέση με τις κατοικημένες περιοχές ως σημεία. Συγκεκριμένα: α.) δεν επιτρέπεται η επικάλυψη των υδάτινων επιφανειών από τα δίκτυα μεταφοράς (εκτός και αν προβλέπεται στις προδιαγραφές ή η σχέση επικάλυψης υφίσταται) και από τις κατοικημένες περιοχές, β) δεν επιτρέπεται η προεξοχή των πολυγωνικών οντοτήτων σε σχέση με το πολύγωνο της ακτογραμμής, γ) δεν επιτρέπεται η επικάλυψη σημειακών οντοτήτων κατοικημένων περιοχών από πολύγωνα κατοικημένων περιοχών. Για τις περιπτώσεις (α) και (γ) οι οποίες είχαν ελεγχθεί και στη διαδικασία της σημασιολογικής γενίκευσης δεν αναμένονται σφάλματα καθώς η οριζοντιογραφική ακρίβεια της γενίκευσης περιορίστηκε στο όριο της διακριτικής ικανότητας (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης. Από τους ελέγχους δεν προέκυψαν σφάλματα. Σχετικά με τη σχέση ακτογραμμής – κατοικημένων περιοχών (β) τα σφάλματα επιλύθηκαν με αυτοματοποιημένη αποκοπή του τμήματος του πολυγώνου που βρίσκεται εκτός του πολυγώνου της ακτογραμμής.

iii. *Έλεγχος σχετικής θέσης*.

- Το όριο συμμόρφωσης για τον εντοπισμό σφαλμάτων σχετικής θέσης προσδιορίζεται ίσο με το όριο της οριζοντιογραφικής ακρίβειας των οντοτήτων στην κλίμακα γενίκευσης που τελεί ταυτοχρόνως και όριο αναγνωσιμότητας (ίσο με τη διακριτική ικανότητα 0,25 mm στην κλίμακα γενίκευσης). Οπότε κρίνεται άσκοπος ο έλεγχος σφαλμάτων σχετικής θέσης καθώς καλύπτεται από τους ελέγχους της οριζοντιογραφικής ακρίβειας και της αναγνωσιμότητας.

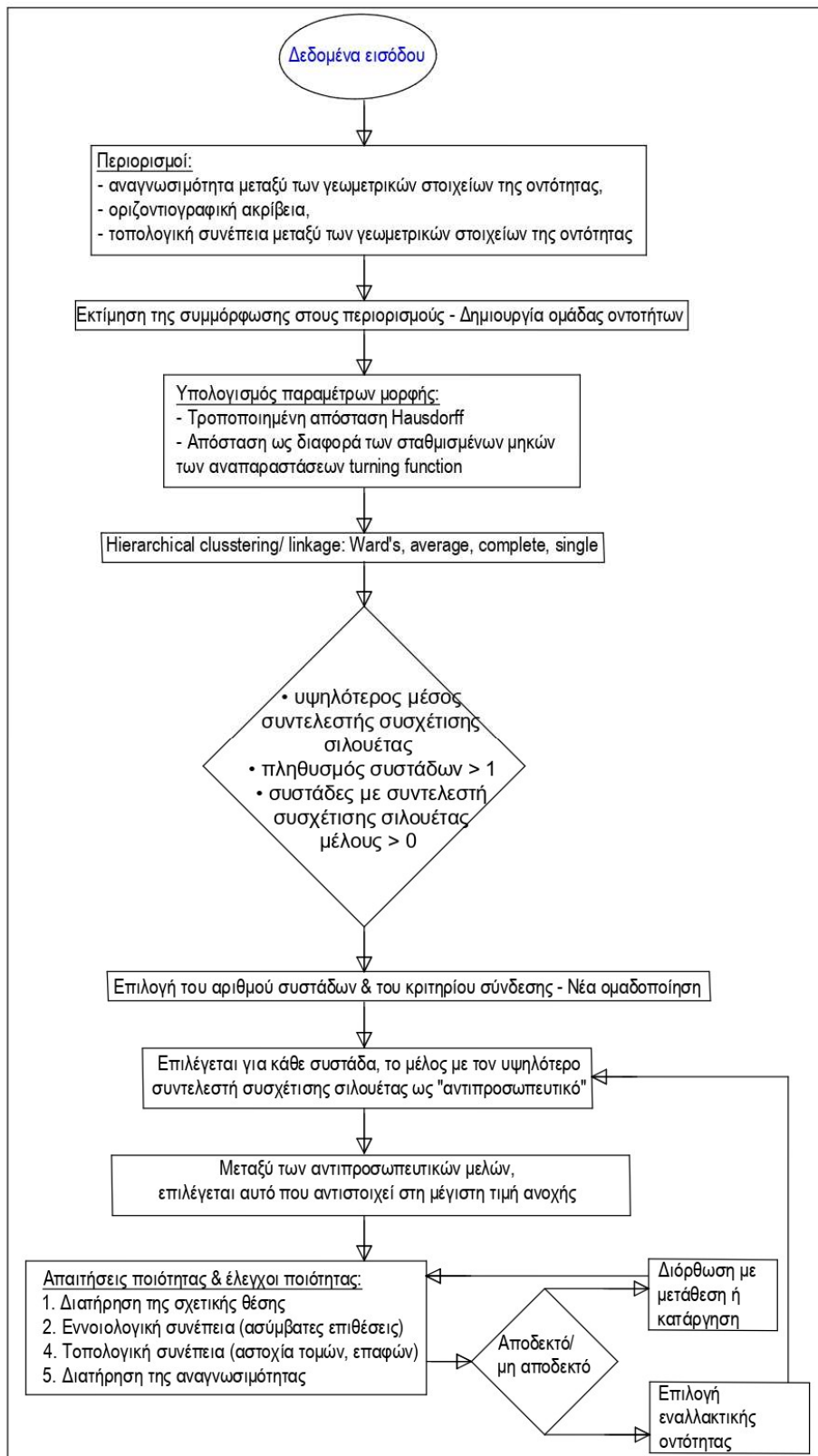
iv. *Έλεγχος αναγνωσιμότητας*.

- Δεν αναμένονται σφάλματα αναγνωσιμότητας καθώς το όριο της οριζοντιογραφικής ακρίβειας των γενικευμένων οντοτήτων είναι ίσο με το όριο αναγνωσιμότητας (τη διακριτική ικανότητα 0,25 mm στην κλίμακα γενίκευσης) και δεδομένου ότι τα συγκεκριμένα σφάλματα ελέγχθηκαν στο στάδιο της σημασιολογικής γενίκευσης. Μόνη περίπτωση ύπαρξης σφαλμάτων αναγνωσιμότητας αποτελεί η περίπτωση της μη επίλυσης του σφαλματος στη σημασιολογική γενίκευση καθώς απαιτούνταν μετάθεση

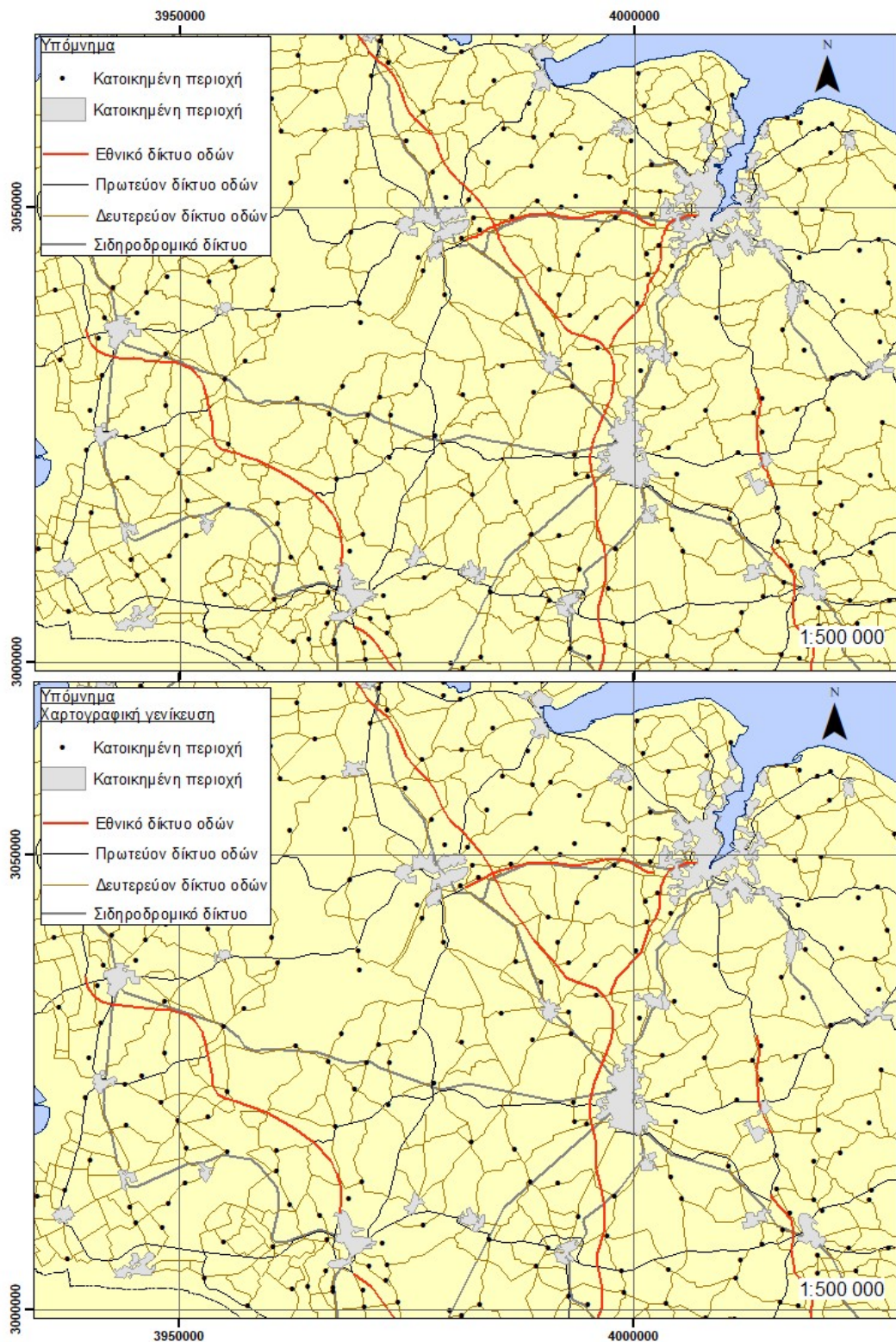
της ελεγχόμενης ή της συμβαλλόμενης οντότητας. Η μετάθεση πραγματοποιείται αυτοματοποιημένα στην περίπτωση συμβαλλόμενης σημειακής οντότητας. Η σημειακή οντότητα μεταφέρεται στο σημείο τομής της ζώνης ακριβείας της, πλάτους ίσου με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης με τη ζώνη ακριβείας της συμβαλλόμενης γραμμικής ή πολυγωνικής οντότητας, πλάτους ίσου με τη διακριτική ικανότητα (0,25 mm) στην κλίμακα γενίκευσης.

- Ελέγχθηκαν τα δίκτυα μεταξύ τους (οδικό προς σιδηροδρομικό και υδρογραφικό, σιδηροδρομικό προς υδρογραφικό). Δεν απαιτείται έλεγχος μεταξύ των δικτύων υποδομών και των υδάτινων επιφανειών, της ακτογραμμής με τις πολυγωνικές οντότητες, των κατοικημένων περιοχών ως σημεία με τις πολυγωνικές οντότητες των κατοικημένων περιοχών και των πολυγωνικών οντοτήτων μεταξύ τους καθώς καλύπτονται από τον έλεγχο της εννοιολογικής συνέπειας. Από τα αποτελέσματα των ελέγχων προέκυψαν: α.) στην κλίμακα 1: 500.000, 4 ασύμβατες γραμμές για τη σχέση οδικό – υδρογραφικό δίκτυο, 2 γραμμές για τη σχέση οδικό – σιδηροδρομικό δίκτυο και καμία ασύμβατη γραμμή για τη σχέση σιδηροδρομικό – υδρογραφικό δίκτυο και β.) στην κλίμακα 1: 1.000.000, 28 ασύμβατες γραμμές για τη σχέση οδικό – υδρογραφικό δίκτυο, 20 γραμμές για τη σχέση οδικό – σιδηροδρομικό δίκτυο και 1 ασύμβατη γραμμή για τη σχέση σιδηροδρομικό – υδρογραφικό δίκτυο. Οι ασύμβατες γραμμές ελέγχθηκαν οπτικά και έγιναν αποδεκτές.

Στις Εικόνες 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της χαρτογραφικής γενίκευσης των οντοτήτων της υπό μελέτης περιοχής στις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 000.000. Η σύνθεση και η απεικόνιση των δεδομένων πραγματοποιείται στο λογισμικό ArcMap της ESRI.

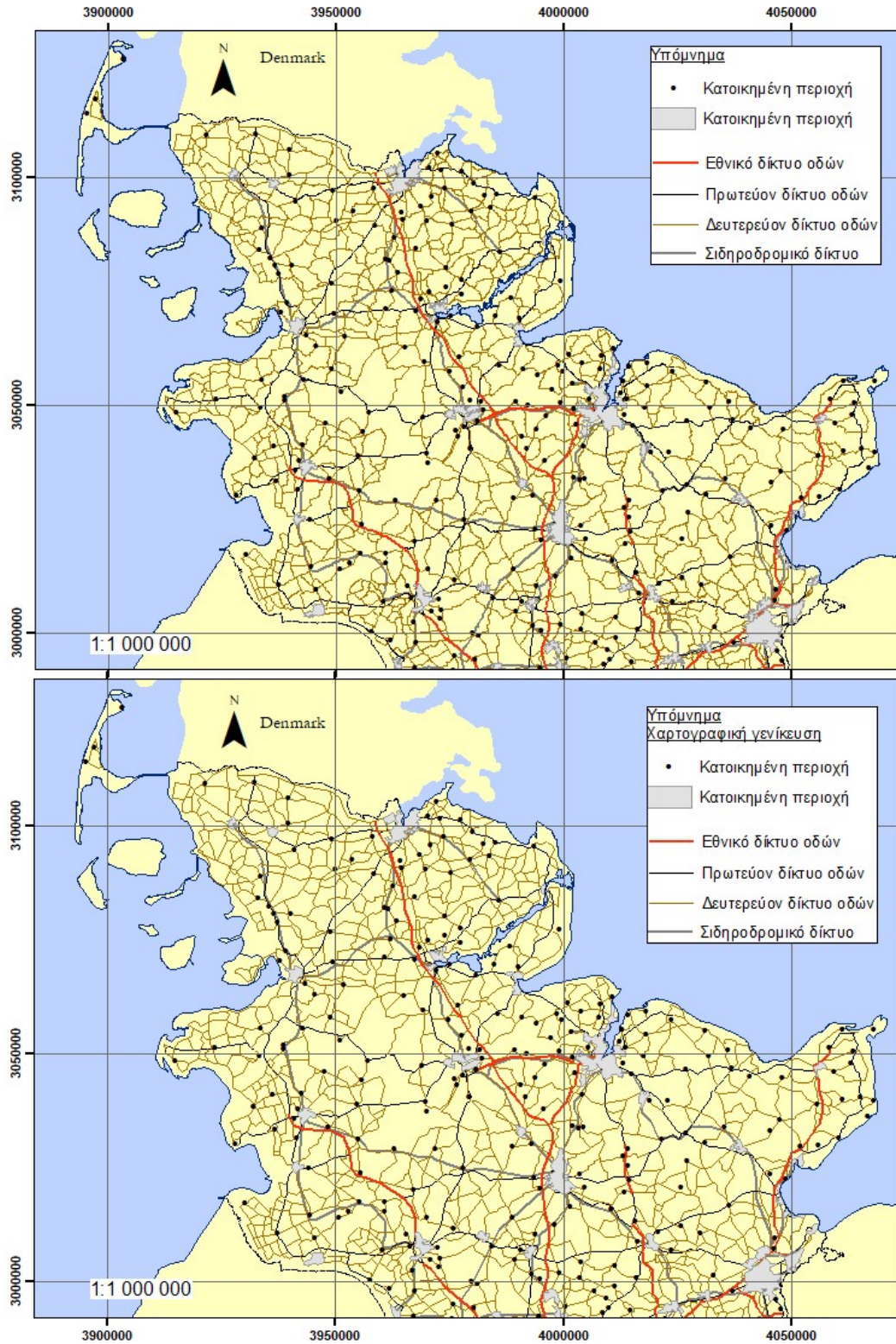


Εικόνα 34. Διάγραμμα ροής χαρτογραφικής γενίκευσης.



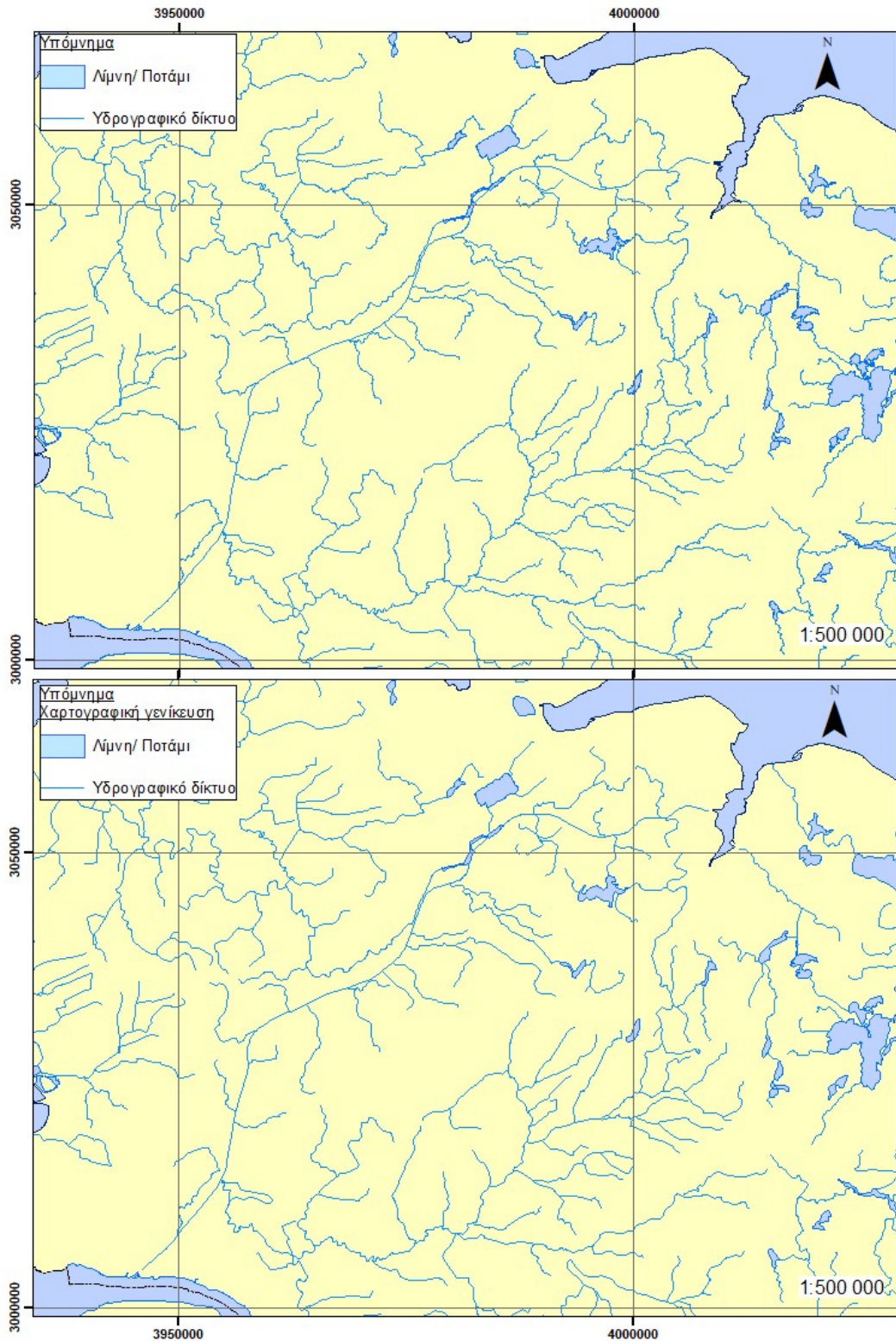
**Εικόνα 35.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης (άνω εικόνα) με τη χαρτογραφική γενίκευση (κάτω εικόνα), κλίμακα 1: 500.000. Παρουσιάζονται το οδικό (εθνικό, πρωτεύον, δευτερεύον/ κόκκινο, μαύρο, κίτρινο) και το σιδηροδρομικό δίκτυο

(γκρι) και οι κατοικημένες περιοχές (πολύγωνα, σημεία) σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.



**Εικόνα 36.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης (άνω εικόνα) με τη χαρτογραφική γενίκευση (κάτω εικόνα), κλίμακα 1: 1.000.000. Παρουσιάζονται το οδικό (εθνικό, πρωτεύον, δευτερεύον/ κόκκινο, μαύρο, κίτρινο) και το σιδηροδρομικό δίκτυο

(γκρι) και οι κατοικημένες περιοχές (πολύγωνα, σημεία) σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.



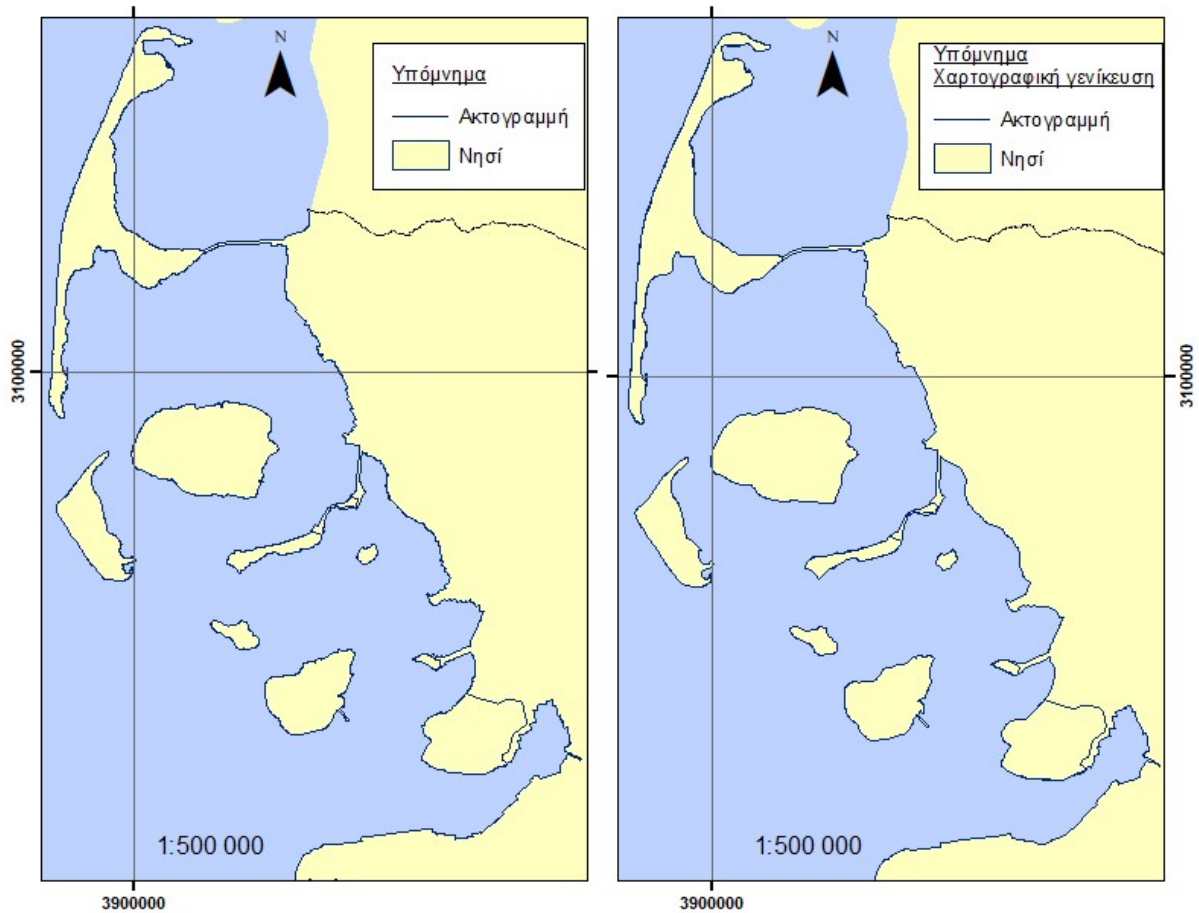
**Εικόνα 37.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης (άνω εικόνα) με τη χαρτογραφική γενίκευση (κάτω εικόνα), κλίμακα 1: 500.000. Παρουσιάζονται το υδρογραφικό δίκτυο, οι λίμνες και οι ποτάμιες ροές ως πολύγωνα σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.



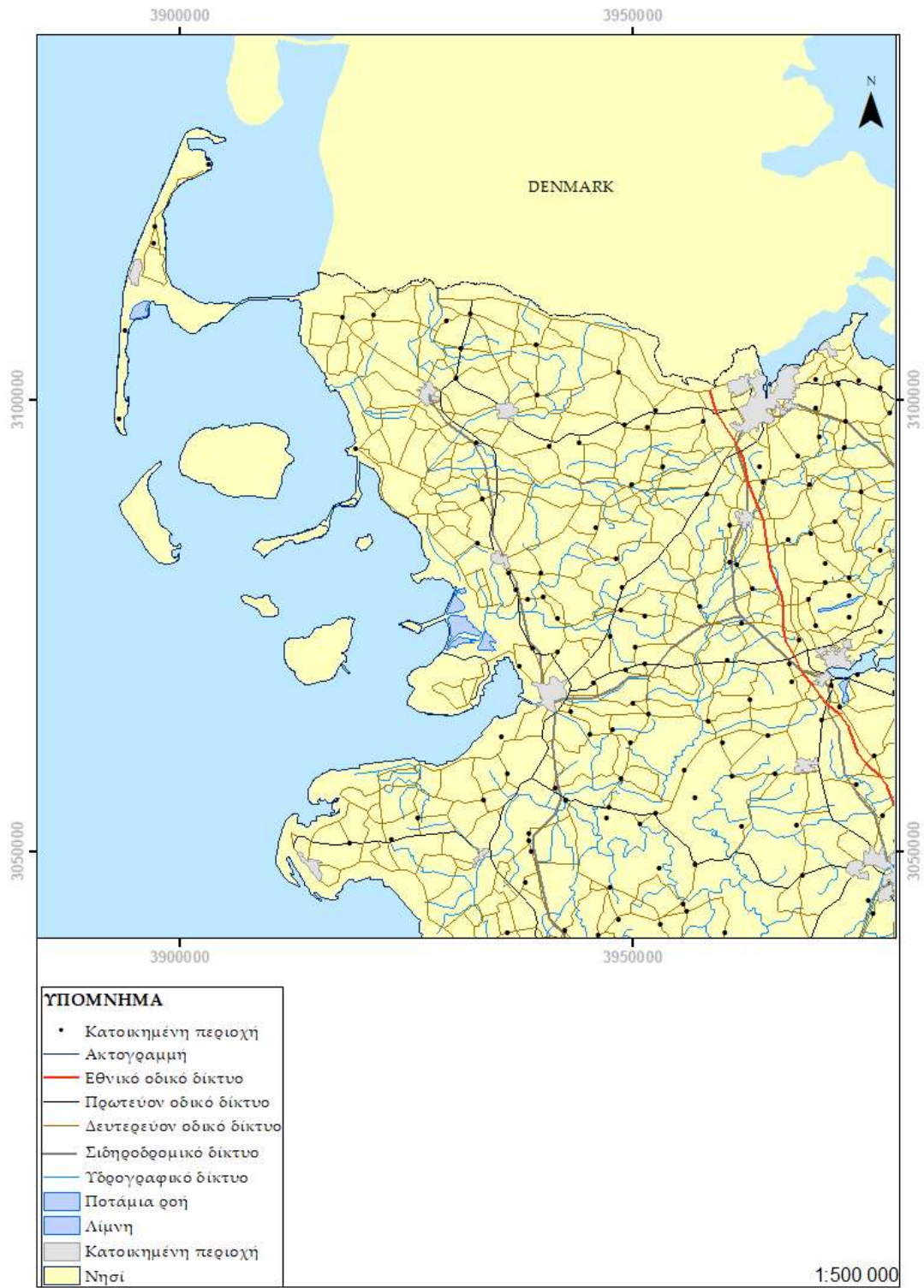


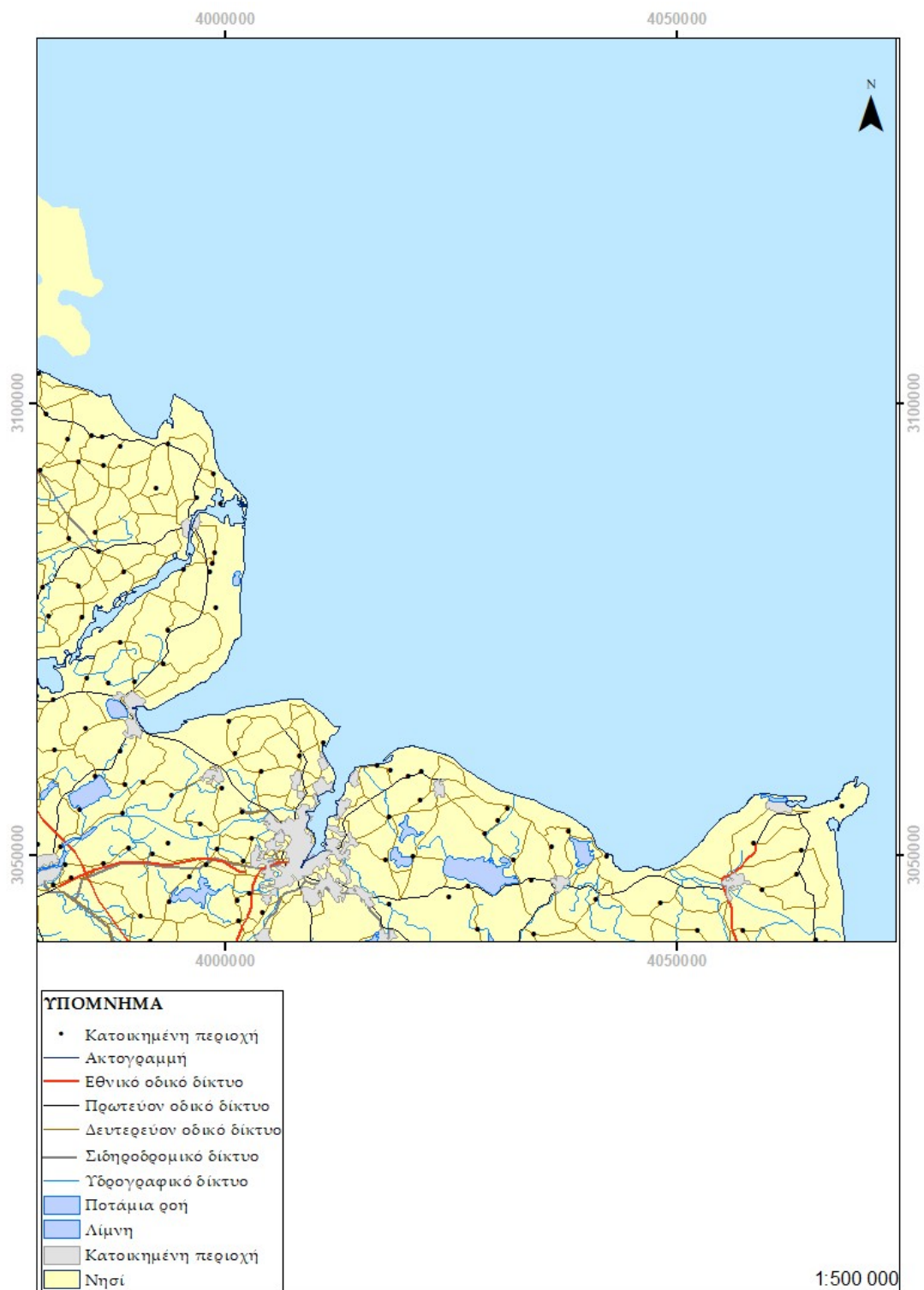
**Εικόνα 38.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης (άνω εικόνα) με τη χαρτογραφική γενίκευση (κάτω εικόνα), κλίμακα 1: 1.000.000. Παρουσιάζονται το

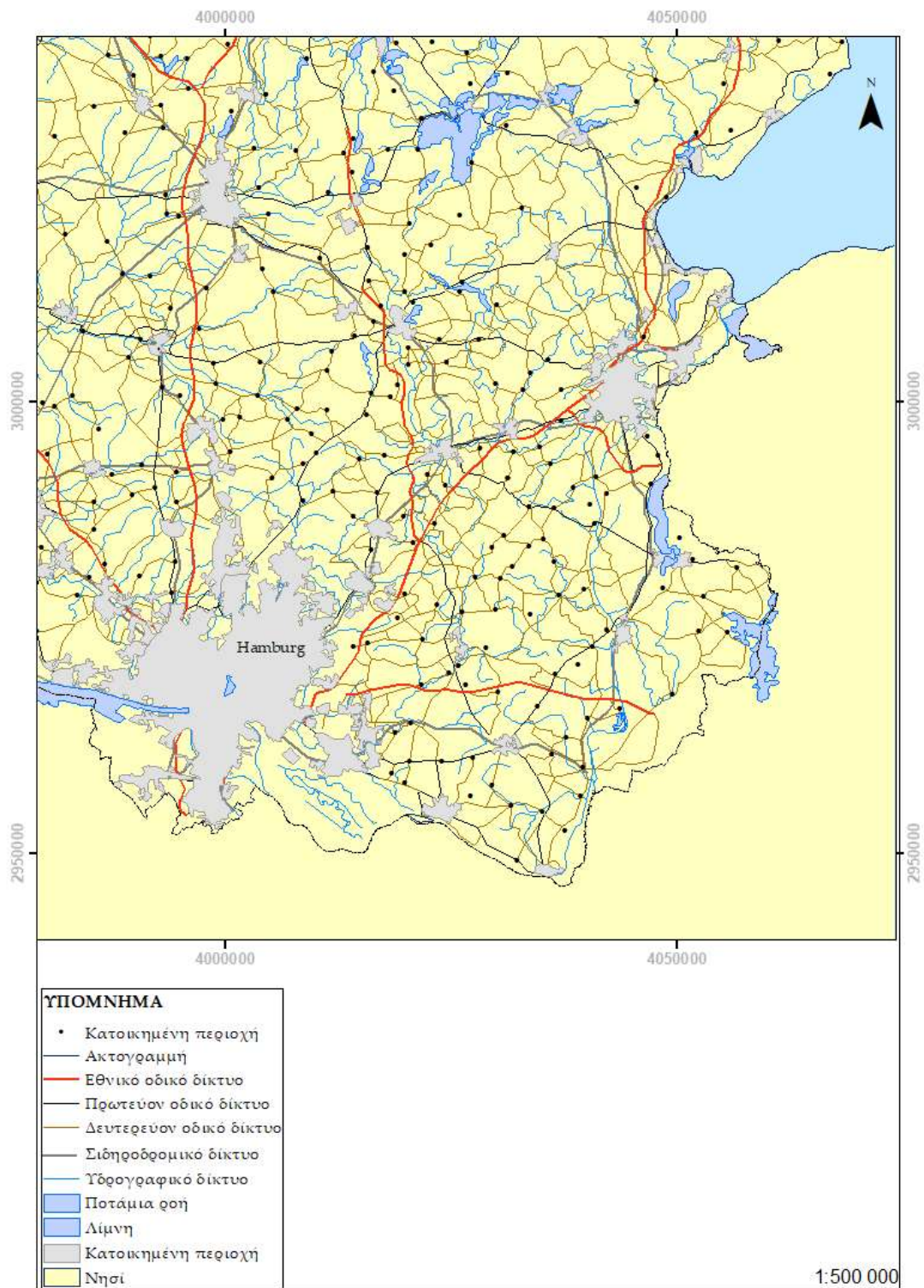
υδρογραφικό δίκτυο, οι λίμνες και οι ποτάμια ροές ως πολύγωνα και τα νησιά σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

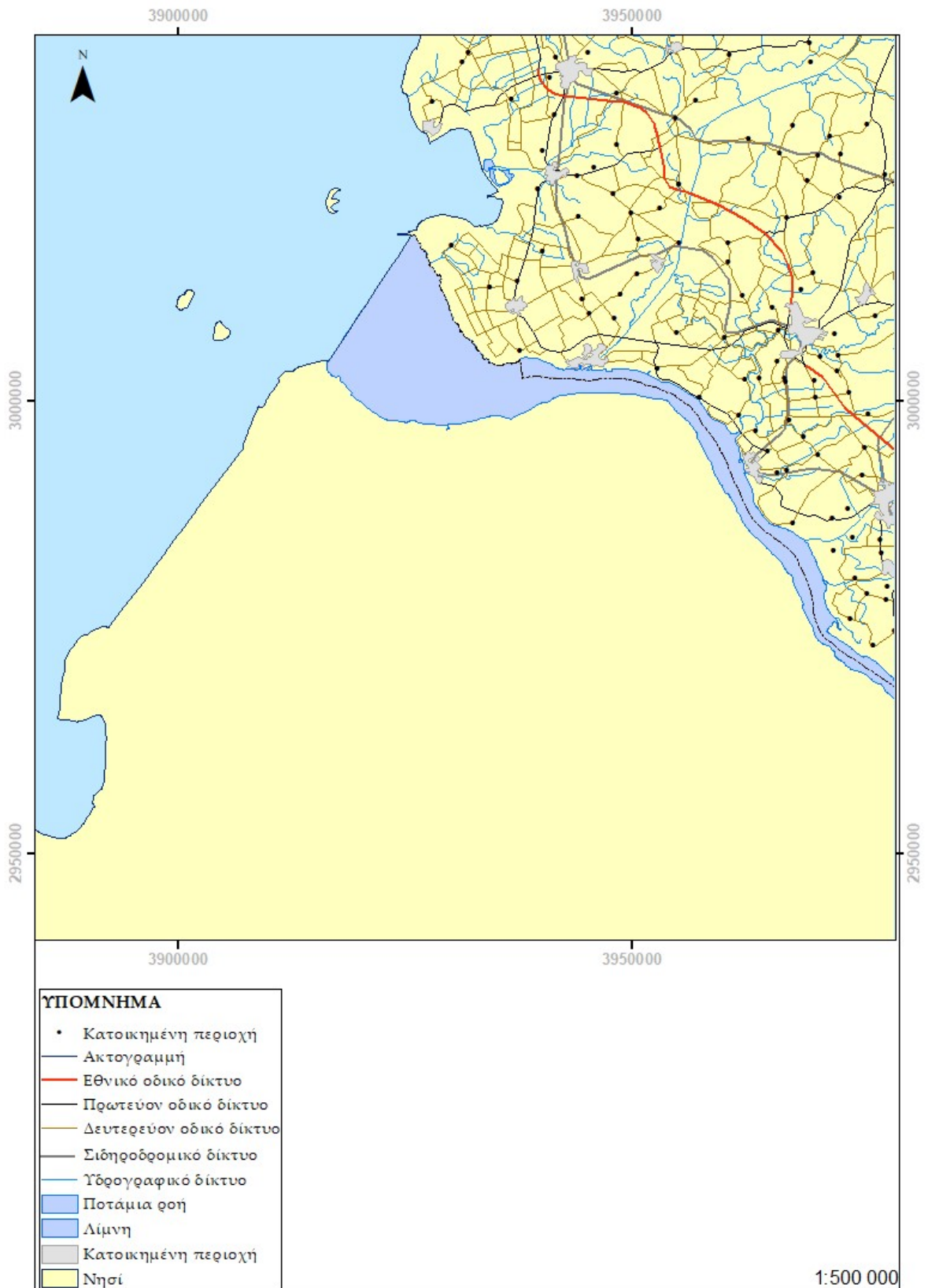


**Εικόνα 39.** Σύγκριση αποτελεσμάτων σημασιολογικής γενίκευσης (άνω εικόνα) με τη χαρτογραφική γενίκευση (κάτω εικόνα), κλίμακα 1: 500.000. Παρουσιάζονται τα νησιά και η ακτογραμμή σε υπο-περιοχή της περιοχής μελέτης.

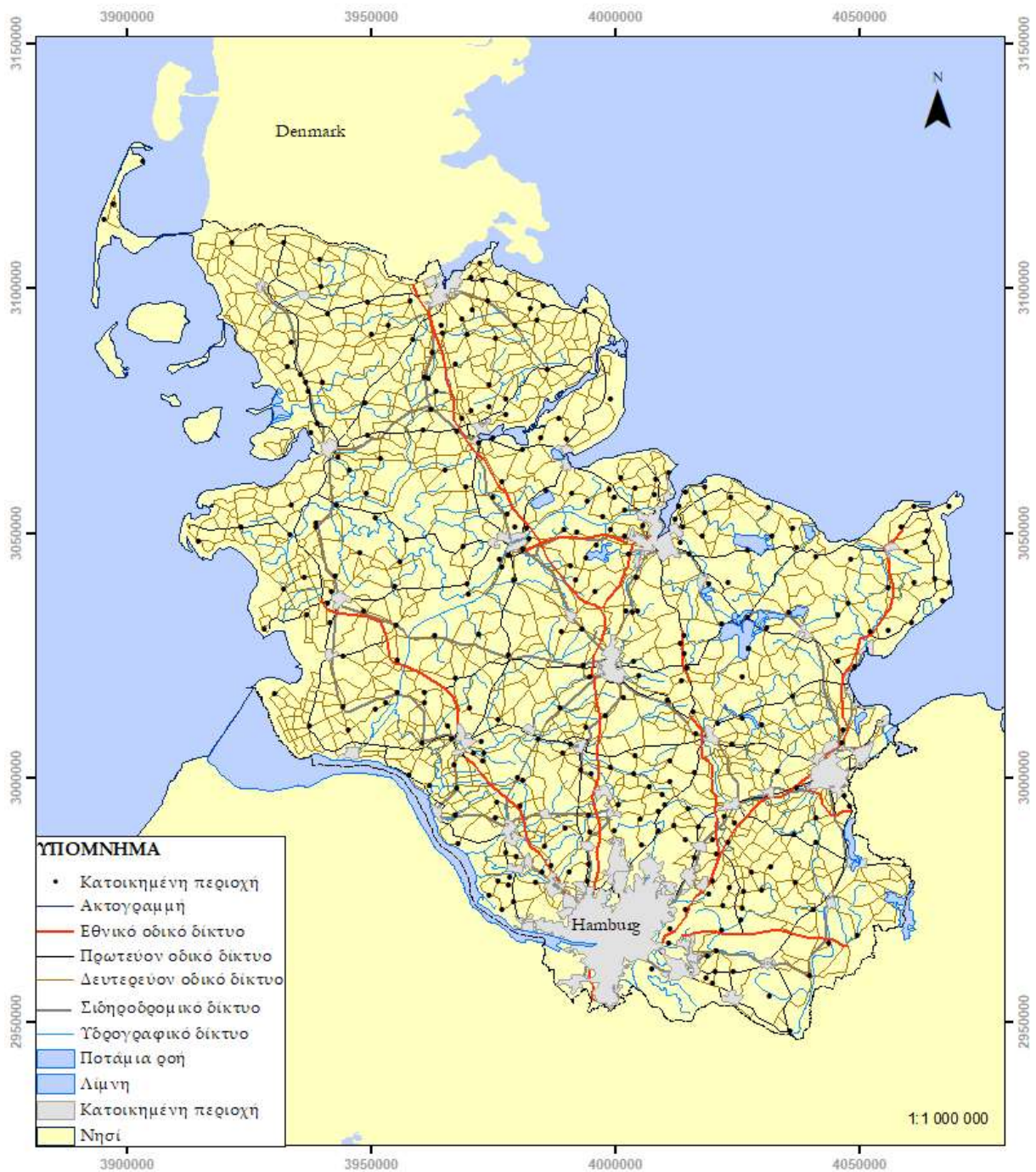








**Εικόνα 40.** Χάρτης σύνθεσης αποτελεσμάτων χαρτογραφικής γενίκευσης κλίμακας 1: 500.000 σε 4 πινακίδες.



**Εικόνα 41.** Χάρτης σύνθεσης αποτελεσμάτων χαρτογραφικής γενίκευσης κλίμακας 1: 1.000.000.

### 5.3 Συμπεράσματα επί της Ενότητας 5

Στην παρούσα Ενότητα αναπτύχθηκε το μοντέλο ποιότητας της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης στο πλαίσιο της εφαρμογής του μετασχηματισμού της απλοποίησης. Τυποποιήθηκαν οι περιορισμοί και οι απαιτήσεις ποιότητας με ποσοτικά προσδιορισμένα όρια συμμόρφωσης και διαμορφώθηκαν οι απαραίτητοι έλεγχοι ποιότητας. Σχεδιάστηκαν επιπλέον τεχνικές εντοπισμού ασυμβατοτήτων που εντάσσονται στα μέτρα ποιότητας της τοπολογικής και εννοιολογικής συνέπειας και της σχετικής θέσης.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο εντάχθηκε επιπλέον η διαδικασία επιλογής των κατάλληλων γενικευμένων οντοτήτων της Ενότητας 2. Τα αποτελέσματα της διαδικασίας ελέγχθηκαν στο πλαίσιο της εφαρμογής του μοντέλου ποιότητας διασφαλίζοντας επιπλέον την καταλληλότητά τους προς απεικόνιση. Όπως προέκυψε από τους ελέγχους ποιότητας η διαδικασία επιλογής των κατάλληλων οντοτήτων προς απεικόνιση αποδίδει από μόνη της ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς στους ελέγχους ποιότητας διαπιστώθηκε πολύ χαμηλό ποσοστό ασυμβατοτήτων οι οποίες ελέγχονται οπτικά και αντιμετωπίζονται αυτοματοποιημένα στην περίπτωση της κατάργησής τους, της μετάθεσης σημείου ή επιλογής διαφορετικής οντότητας προς απεικόνιση βάσει των αποτελεσμάτων της αντίστοιχης διαδικασίας. Στην περίπτωση απαίτησης μετάθεσης κορυφής πολυγωνικής γραμμής (ανοιχτής/ κλειστής) δεν προβλέπεται αυτοματοποιημένη λύση.



## 6. Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα

---

Στην παρούσα διατριβή επιδιώκεται η ενίσχυση της γνώσης σχετικά με την εντατική έρευνα της μοντελοποίησης και αυτοματοποίησης της διαδικασίας της γενίκευσης που διεξάγεται συνδυαστικά στην πανεπιστημιακή κοινότητα και στους εθνικούς οργανισμούς χαρτογραφίας την τελευταία δεκαετία. Υιοθετώντας την ολιστική προσέγγιση της επικρατούσας μοντελοποίησης της διαδικασίας της γενίκευσης βάσει περιορισμών με την απαίτηση της ενσωμάτωσης ενός μηχανισμού εκτίμησης της ποιότητας των παραγόμενων δεδομένων, οι διαδικασίες που αναπτύσσονται στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου της διατριβής επιχειρούν την παρακολούθηση της μεταβολής της ποιότητας των δεδομένων κατά τους μετασχηματισμούς της γενίκευσης με χρήση μεθόδων και τεχνικών εκτίμησης και ποσοτικής αξιολόγησής της.

Ερευνώντας τη σχετική επιστημονική βιβλιογραφία και βάσει των διαπιστωμένων ελλείψεων στην υφιστάμενη σχετική έρευνα προσδιορίζονται οι στόχοι της διατριβής που αφορούν:

- i. Στην εκτίμηση της κατάστασης της μορφής των οντοτήτων και στην αξιολόγηση του βαθμού διατήρησής της με στόχο τον εντοπισμό της κατάλληλης προς απεικόνιση γενικευμένης οντότητας, περιοχή όπου διαπιστώνονται ελλιπή ερευνητικά ευρήματα.
- ii. Στην ανάπτυξη ενός μοντέλου γενίκευσης βάσει περιορισμών (constraint – based generalization model, εισήχθη αρχικά από την Kate Beard (1991)) για τις δύο φάσεις της γενίκευσης, με αυτοματοποιημένες διαδικασίες και ενσωματωμένο μηχανισμό ελέγχου της ποιότητας των δεδομένων κατάλληλο προς ένταξη στα εμπορικά Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών που θα αποδίδει ικανοποιητικά αποτελέσματα προς απεικόνιση με τις ελάχιστες απαιτήσεις ποιότητας συνεκτιμώντας τη διατήρηση της μορφής.

Διερευνώντας την ικανοποίηση του πρώτου στόχου μελετάται εκτενώς το ζήτημα της διατήρησης της μορφής των γραμμικών και των πολυγωνικών οντοτήτων κατά την εκτέλεση του μετασχηματισμού της απλοποίησης με την εφαρμογή και την αξιολόγηση ως προς την καταλληλότητά τους υφιστάμενων μέτρων ομοιότητας και τεχνικών συσχέτισης των μορφών της επιστημονικής βιβλιογραφίας. Προσδιορίζονται:

- η κατάλληλη παραμετροποίηση της μορφής της,
- η μεθοδολογία εύρεσης της κατάλληλης λύσης προς απεικόνιση με έμφαση στη διατήρηση της μορφής συνεκτιμώντας τους περιορισμούς της οριζοντιογραφικής ακρίβειας της οντότητας, της ευκρίνειας (αναγνωσιμότητα μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας) και της ακεραιότητας (τοπολογικής συνέπειας στη γεωμετρία) των μορφών με την εφαρμογή των αντίστοιχων μέτρων.

Ως προς την εκτίμηση της κατάστασης της μορφής των οντοτήτων και αξιολόγησης του βαθμού διατήρησής της κατά τους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς της χαρτογραφικής γενίκευσης διαμορφώθηκε αρχικά το

εννοιολογικό πλαίσιο της μεθόδου θεωρώντας ως προϋπόθεση τη συσχέτιση μεταξύ της αρχικής μορφής και της γενικευμένης, με άξονες:

- i. Την ποσοτικοποιημένη παραμετρική περιγραφή της μορφής της οντότητας.
- ii. Την εφαρμογή ενός μέτρου ομοιότητας (similarity measure) με την έννοια της απόστασης για τον προσδιορισμό της ανομοιότητας μεταξύ της αρχικής και της γενικευμένης μορφής ώστε οι μεγάλες τιμές να υποδηλώνουν ανομοιότητα και οι μικρές ομοιότητα.
- iii. Την εφαρμογή των μέτρων της οριζοντιογραφικής ακρίβειας, της αναγνωσιμότητας μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων (κορυφές, πλευρές/ τμήματα γραμμής) της οντότητας και της τοπολογικής συνέπειας στα γεωμετρικά στοιχεία της οντότητας για την εκτίμηση της ευκρίνειας και της ακεραιότητας της μορφής αντίστοιχα.

Μελετήθηκαν τα ακόλουθα μέτρα ομοιότητας και οι ακόλουθες τεχνικές συσχέτισης (ως συνδυασμός ενός μέτρου ομοιότητας με την αντίστοιχη τεχνική αναπαράστασης) των μορφών που αντιμετωπίζουν ενιαία τη γραμμική ή την πολυγωνική οντότητα, όπου απαιτείται:

- απόσταση Hausdorff (Hausdorff distance),
- τροποποιημένη απόσταση Hausdorff (Modified Hausdorff distance),
- διακριτή απόσταση Fréchet (Discrete Fréchet distance),
- απόσταση μεταξύ των αναπαραστάσεων turning function (Turning function distance) υπολογισμένη ως εμβαδόν,
- απόσταση μεταξύ των αναπαραστάσεων turning function (Turning function distance), ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function
- απόσταση μεταξύ των διανυσμάτων αναπαράστασης των μορφών με συντελεστές Fourier (Fourier descriptors distance) με χρήση των ακόλουθων τεχνικών αναπαράστασης: συντεταγμένες μιγαδικής μορφής (complex coordinates), συνάρτηση αθροιστικής καμπυλότητας (cumulative angular function), εκθετική συνάρτηση μιγαδικής τιμής της συνολικής καμπυλότητας της καμπύλης (complex-valued exponential function of the total curvature of the curve), κεντροειδής απόσταση (centroid distance).

Σχεδιάστηκαν και εφαρμόστηκαν επίσης μέτρα σχετικά με:

- Την οριζοντιογραφική ακρίβεια ως το ποσοστό του μήκους της γενικευμένης γραμμής εκτός της ζώνης ακριβείας της αρχικής γραμμής κατά (Goodchild & Hunter, 1997).
- Την αναγνωσιμότητα μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας (ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των κορυφών της κάθε οντότητας, ύπαρξη 'στένωσης' (bottleneck) μεταξύ μη διαδοχικών ευθυγράμμων τμημάτων της

οντότητας, ύπαρξη εξαιρετικά οξειών γωνιών μεταξύ διαδοχικών ευθυγράμμων τμημάτων της οντότητας).

- Της τοπολογικής συνέπειας στα γεωμετρικά στοιχεία της οντότητας (τομές και επικαλύψεις).

Με βάση τα αποτελέσματα σε ένα δείγμα πενήντα (50) γραμμών και πενήντα (50) πολυγώνων γενικευμένων κατάλληλα για τις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 με την επιλογή εφαρμογής του αλγορίθμου απλοποίησης *point remove* της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) καθώς προκαλεί έντονες μορφολογικές αλλοιώσεις και με κριτήριο επιτυχούς ανταπόκρισης των μέτρων στη μεταβολή της μορφής, την αυξητική τάση της τιμής τους σε μεγάλο εύρος τιμών σε σχέση με τη μείωση της χωρικής πληροφορίας (κορυφές), διαπιστώθηκε ότι:

- η τροποποιημένη απόσταση *Hausdorff* και
- η απόσταση μεταξύ των αναπαραστάσεων *turning function* ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων *turning function*

συμπεριφέρονται πιο αξιόπιστα μεταξύ των υπολοίπων μέτρων. Τα συγκεκριμένα μέτρα επιλέχθηκαν ως παράμετροι περιγραφής της μορφής της οντότητας καθώς εμπεριέχουν τη μεταβολή της μορφής. Στη συγκεκριμένη έρευνα δεν κατέστη δυνατός ο προσδιορισμός τιμής (ή εύρους τιμών) για τα δύο μέτρα συσχέτισης των μορφών που να αντιστοιχεί σε οντότητα αποδεκτής μορφής προς απεικόνιση.

Στη συνέχεια για την αξιολόγηση της διατήρησης της μορφής μιας οντότητας με στόχο την επιλογή της κατάλληλης προς απεικόνιση γενικευμένης λύσης εφαρμόστηκε μία διαδικασία ομαδοποίησης των οντοτήτων που πληρούν τα κριτήρια της οριζοντιογραφικής ακρίβειας, της αναγνωσιμότητας μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας και της τοπολογικής συνέπειας, με τη χρήση των παραμέτρων περιγραφής της μορφής τους, την επιλογή αντιπροσωπευτικών οντοτήτων βάσει κριτηρίων και την επιλογή της καταλληλότερης προς απεικόνιση οντότητας μεταξύ αυτών. Η ομαδοποίηση των γενικευμένων οντοτήτων πραγματοποιήθηκε με την εκτέλεση του αλγορίθμου της σωρευτικής ιεραρχικής ταξινόμησης. Ο αλγόριθμος της σωρευτικής ιεραρχικής ταξινόμησης εφαρμόζεται στο ζεύγος τιμών των μέτρων που ήδη προσδιορίστηκαν ως ικανά να εκφράσουν τη μεταβολή της μορφής (τροποποιημένη απόσταση *Hausdorff* και απόσταση μεταξύ των αναπαραστάσεων *turning function* ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων *turning function*) για κάθε τιμή ανοχής του αλγορίθμου απλοποίησης. Για τις ομάδες (συστάδες) που προκύπτουν, επιλέγονται βάσει κριτηρίου σιλουέτας συσχέτισης αντιπροσωπευτικά μέλη με τις αντίστοιχες τιμές ανοχής. Ως κατάλληλη προς απεικόνιση οντότητα θεωρείται η φέρουσα τη μέγιστη τιμή ανοχής μεταξύ των αντιπροσωπευτικών μελών. Η μέθοδος

εφαρμόστηκε σε ένα δείγμα πενήντα (50) γραμμών και πενήντα (50) πολυγώνων γενικευμένων κατάλληλα για τις κλίμακες 1: 500.000 και 1: 1.000.000 με τους αλγορίθμους απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και bend simplify της ESRI (Wang, 1996). Από τον οπτικό έλεγχο των αποτελεσμάτων διαπιστώθηκε η επάρκεια της μεθόδου. Καθώς όμως η αυτοματοποίηση της διαδικασίας της γενίκευσης αποτελεί σκοπό του ερευνητικού έργου της διατριβής, η επάρκεια της προτεινόμενης μεθόδου οφείλει να διασφαλιστεί και με αυτόματο τρόπο μέσω διαδικασιών.

Επιχειρώντας τον έλεγχο της δυνατότητας αποτελεσματικής εφαρμογής της προτεινόμενης μεθοδολογίας για την επίτευξη ικανοποιητικών λύσεων απεικόνισης με συνέπεια τη διατήρηση της μορφής σε ένα πλήρες παράδειγμα χαρτοσύνθεσης, σχεδιάζεται και υλοποιείται επιπλέον το κατάλληλο περιβάλλον διαδικασιών για την εφαρμογή της, καθώς δεν διατίθεται κάτι αντίστοιχο στα εμπορικά Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών. Πραγματοποιώντας τον δεύτερο στόχο της διατριβής, αναπτύσσεται ένα μοντέλο γενίκευσης βάσει περιορισμών (constraint – based generalization model) που ενσωματώνει μια μεθοδολογία εκτίμησης και αξιολόγησης της ποιότητας των χαρτογραφικών στοιχείων με βάση τους τρεις άξονες που προσδιορίστηκαν από τους William Mackaness και Anne Ruas (2007) (πριν, κατά τη διάρκεια και στο πέρας της γενίκευσης). Στο πλαίσιο της προτεινόμενης μεθοδολογίας σχεδιάζονται με την πρόβλεψη της αυτοματοποιημένης λειτουργίας, δύο μοντέλα ποιότητας για κάθε φάση της γενίκευσης (σημασιολογικής και χαρτογραφικής) θεωρώντας την προσέγγιση του Dietmar Grünreich (1985) για τη δημιουργία της χωρικής βάσης (DLM) μέσω σημασιολογικής γενίκευσης και της μετάπτωσής της σε χαρτογραφική (DCM) με διατήρηση του σχήματός της. Στο πλαίσιο των μοντέλων ποιότητας τυποποιούνται:

- οι περιορισμοί:
  - βελτίωσης της αναγνωσιμότητας με την έννοια του ελάχιστου εμβαδού και μήκους,
  - διατήρησης της απόδοσης των οντοτήτων: τοπολογίας – συνδεσιμότητας, οριζοντιογραφικής θέσης/ μετατόπισης, μορφής,
  - συμβατότητας μεταξύ των σχημάτων και των φυσικών δομών των βάσεων αρχικής/ γενικευμένης και συμβατότητας της οντότητας στους κανόνες της θεματικής κατηγορίας του νέου σχήματος βάσης
- τα ποσοτικοποιημένα όρια συμμόρφωσης και τα αντίστοιχα μέτρα (ISO 19157) για την εκτίμηση της κατάστασης των οντοτήτων πριν τη γενίκευση και την καθοδήγηση της διαδικασίας,
- οι μετασχηματισμοί της γενίκευσης,

- οι απαιτήσεις ποιότητας που διαμορφώνονται βάσει των επιπτώσεων των μετασχηματισμών στη θεματική, γεωμετρική και γραφική ποιότητα:
  - πληρότητα πληροφορίας,
  - ορθή κατηγοριοποίηση οντοτήτων,
  - συνέπεια των τιμών των ιδιοτήτων στο πεδίο ορισμού τους,
  - ακρίβεια τιμών ιδιοτήτων,
  - αναγνωσιμότητα με την έννοια των ελάχιστων αποστάσεων μεταξύ των οντοτήτων,
  - εννοιολογική συνέπεια (κενά, ασύμβατες επικαλύψεις)
  - σχετική θέση,
  - τοπολογική συνέπεια (συνδεσιμότητα).
- τα ποσοτικοποιημένα όρια συμμόρφωσης, τα αντίστοιχα μέτρα (ISO 19157 και επιπλέον μέτρα) και οι έλεγχοι ποιότητας για την εκτίμηση της κατάστασης των οντοτήτων στο πέρας της γενίκευσης,
- η ακολουθία εκτέλεσης των διαδικασιών (μετασχηματισμών και ελέγχων ποιότητας) με τη σύνταξη των αντίστοιχων διαγραμμάτων ροής ανά φάση γενίκευσης.

Η μεθοδολογία εφαρμόζεται για τη σύνταξη δύο χαρτών κλίμακας 1: 500.000 και 1: 1.000.000 προερχόμενων από τη βάση κλίμακας 1:250.000 του EuroRegional Map και αφορούν στην περιοχή της βόρειας Γερμανίας Schleswig-Holstein, έκτασης 15.143 km<sup>2</sup>. Οι θεματικές κατηγορίες των χαρτών ανά γεωμετρικό τύπο είναι:

- κατοικημένες περιοχές (σημειακές οντότητες/ πολύγωνα),
- ακτογραμμή, οδικό, σιδηροδρομικό και υδρογραφικό δίκτυο (γραμμικές οντότητες),
- λίμνες και νησιά (πολύγωνα).

Στο πλαίσιο της εφαρμογής αναπτύσσονται επιπλέον τεχνικές απλοποίησης δικτύων και υπολογισμού των μέτρων που αφορούν στη σχετική θέση, στην τοπολογική συνέπεια με την έννοια της συνδεσιμότητας και στην εννοιολογική συνέπεια με την έννοια της επικάλυψης. Με βάση τα αποτελέσματα των ελέγχων ποιότητας (αναφέρονται στις ενότητες 4 και 5 της σημασιολογικής και χαρτογραφικής γενίκευσης αντίστοιχα) διαπιστώνεται χαμηλό ποσοστό εννοιολογικών ασυμβατοτήτων και συνωστισμού παρόλον ότι η ιεραρχική δομή της αρχικής βάσης ήταν ελλιπής δυσχεραίνοντας τις εργασίες της σημασιολογικής γενίκευσης ειδικά τις σχετικές με την κατάργηση οντοτήτων που στηρίχθηκαν κυρίως σε γεωμετρικές μετρήσεις συνωστισμού. Προκύπτει τελικά ότι, διασφαλίζεται η αποτελεσματικότητα της αναπτυσσόμενης μεθοδολογίας αυτοματοποιημένης γενίκευσης και της μεθόδου επιλογής των κατάλληλων προς απεικόνιση οντοτήτων.

Με την ολοκλήρωση της διατριβής παρουσιάζεται ένα πλήρες μοντέλο αυτοματοποιημένης γενίκευσης που ενσωματώνει τον απαιτούμενο μηχανισμό εκτίμησης και αξιολόγησης της ποιότητας των παραγόμενων δεδομένων με συνέπεια στη διατήρηση της μορφής τους ικανοποιώντας την ολιστική προσέγγιση του μοντέλου της γενίκευσης βάσει περιορισμών. Η διατριβή αντιμετωπίζει το πολυδιάστατο ζήτημα της Χαρτογραφίας, αυτό της προτυποποίησης και αυτοματοποίησης της διαδικασίας της γενίκευσης που απασχολεί κατά προτεραιότητα την ερευνητική κοινότητα και τους εθνικούς οργανισμούς χαρτογραφίας τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Το ερευνητικό έργο της διατριβής στηρίζεται στην υφιστάμενη βιβλιογραφία, ενσωματώνει τις σύγχρονες τάσεις και προτείνει πρωτότυπες λύσεις στους στόχους που τίθενται.

Συγκεκριμένα ως αναφορά στην πρωτοτυπία της διατριβής και σχετικά με τον πρώτο στόχο της διατριβής, της εκτίμησης και αξιολόγησης του βαθμού διατήρησης της μορφής στη διαδικασία της γενίκευσης, παρουσιάζονται τα ακόλουθα:

- i. εφαρμόζονται υφιστάμενες μέθοδοι και ελέγχεται η καταλληλότητά τους σχετικά με την εκτίμηση της κατάστασης της μορφής στη χαρτογραφική γενίκευση,
- ii. αναπτύσσεται μία νέα τεχνική συσχέτισης των μορφών (απόσταση μεταξύ των αναπαραστάσεων turning function ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function),
- iii. προτείνεται μία νέα παραμετροποίηση της μορφής της γραμμής που εμπεριέχει την μεταβολή της μορφής, με τη χρήση του υφιστάμενου μέτρου ομοιότητας της τροποποιημένης απόστασης Hausdorff και της νέας τεχνικής συσχέτισης των μορφών (απόσταση μεταξύ των αναπαραστάσεων turning function ως διαφορά των σταθμισμένων μηκών των αναπαραστάσεων turning function),
- iv. διαμορφώνεται μία νέα τεχνική επιλογής της βέλτιστης λύσης προς απεικόνιση με αποκλεισμό των οντοτήτων που παραβιάζουν τους περιορισμούς της οριζοντιογραφικής ακρίβειας, αναγνωσιμότητας και τοπολογικής συνέπειας μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας, με την ομαδοποίηση των παραμετροποιημένων μορφών και την επιλογή της βέλτιστης απόδοσης μεταξύ των εκπροσώπων των διαμορφωμένων ομάδων. Επιπλέον, διαμορφώνονται νέα ποσοτικοποιημένα ορία συμμόρφωσης σχετικά με το μέτρο της αναγνωσιμότητας των γεωμετρικών στοιχείων των μορφών (ευκρίνεια μορφών).

Στο πλαίσιο πραγματοποίησης του δεύτερου στόχου, της ανάπτυξης ενός μοντέλου γενίκευσης βάσει περιορισμών με μηχανισμό εκτίμησης, ελέγχου και αξιολόγησης των παραγόμενων χαρτογραφικών δεδομένων στο πέρας της γενίκευσης, εξελίσσεται το υφιστάμενο μοντέλο βάσει των διατυπωμένων

περιορισμών κατά τους Dirk Burghardt, Stefan Schmid και Jantien Stoter (2007) ενσωματώνοντας πρωτότυπα στοιχεία σχετικά με τους περιορισμούς στη φάση της σημασιολογικής γενίκευσης, της τυποποίησης των διαδικασιών της σημασιολογικής και της χαρτογραφικής γενίκευσης. Συγκεκριμένα:

- v. ενσωματώνονται νέοι περιορισμοί που εφαρμόζονται στη φάση της σημασιολογικής γενίκευσης και αφορούν στο σχήμα της βάσης,
- vi. πραγματοποιείται η προτεινόμενη τυποποίηση της διαδικασίας της σημασιολογικής γενίκευσης μέσω της τυποποίησης:
  - της ροής εφαρμογής των προβλεπόμενων μετασχηματισμών σημασιολογικής γενίκευσης κατά τους Nicola Regnault και Robert McMaster (2007) με την αντιστοίχιση των κατάλληλων αλγορίθμων εκτέλεσης και
  - της τυποποίησης των ελέγχων ποιότητας,
- vii. πραγματοποιείται η τυποποίηση της διαδικασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης κατά την εφαρμογή του μετασχηματισμού της απλοποίησης με την ενσωμάτωση της διαδικασίας επιλογής της κατάλληλης προς απεικόνιση οντότητας και την ενσωμάτωση των ελέγχων ποιότητας.

Σημαντικό πλεονέκτημα του προτεινόμενου μοντέλου αυτοματοποιημένης γενίκευσης βάσει περιορισμών αποτελεί η λειτουργία ελέγχου της ποιότητας των παραγόμενων δεδομένων που επιπροσθέτως των περιορισμών ενσωματώνει και ανεξάρτητους ελέγχους ποιότητας. Επιπλέον, το προτεινόμενο μοντέλο αποδίδει λύσεις γενίκευσης βάσει των ελάχιστων απαιτήσεων ποιότητας και είναι εφαρμόσιμο σε οποιοδήποτε εμπορικό Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών καθώς δομείται στη γλώσσα προγραμματισμού Python.

Σχετικά με το περιβάλλον ανάπτυξης των εφαρμογών διευκρινίζεται ότι χρησιμοποιήθηκαν λειτουργίες του λογισμικού ArcGIS της ESRI σε συνδυασμό με ελεύθερης πρόσβασης εργαλεία βιβλιοθηκών σε γλώσσα προγραμματισμού Python και νέες λειτουργίες που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της διατριβής επίσης σε γλώσσα προγραμματισμού Python. Συγκεκριμένα:

- Χρησιμοποιήθηκαν για την αποθήκευση των δεδομένων οι file geodatabases της ESRI, οι αλγόριθμοι απλοποίησης point remove της ESRI (Douglas & Peucker, 1973) και bend simplify της ESRI (Wang, 1996) και για τη σύνθεση και την απεικόνιση των χαρτών το λογισμικό ArcMap της ESRI.
- Οι βιβλιοθήκες και τα εργαλεία στη γλώσσα προγραμματισμού Python:
  - SciPy (Fast Fourier Transform)  
<https://scikit-learn.org/stable/>
  - Scikit - learn (αλγόριθμος σωρευτικής ταξινόμησης – hierarchical clustering)  
<https://scipy.org/>

- Shapely, για όλες τις εφαρμογές που αναπτύχθηκαν και χρησιμοποιούν γεωμετρικές πράξεις – ζώνη ακριβείας (buffer), δημιουργία πολυγώνων (polygonise), γεωμετρικές διαφορές (difference) και τοπολογικές σχέσεις: τομή (intersect), επίθεση (overlay), περικλείση (within) επαφή (touches) κ.ά.  
<https://pypi.org/project/Shapely/>
- Οι νέες λειτουργίες σε γλώσσα προγραμματισμού Python αφορούν:
  - Στον υπολογισμό των μέτρων ομοιότητας α) απόσταση Hausdorff (Hausdorff distance), β) τροποποιημένη απόσταση Hausdorff (Modified Hausdorff distance), γ) διακριτή απόσταση Fréchet (Discrete Fréchet distance).
  - Στον υπολογισμό των τεχνικών αναπαράστασης α) turning function, β) συντεταγμένες μιγαδικής μορφής (complex coordinates), γ) συνάρτηση αθροιστικής καμπυλότητας (cumulative angular function), δ) εκθετική συνάρτηση μιγαδικής τιμής της συνολικής καμπυλότητας της καμπύλης (complex-valued exponential function of the total curvature of the curve), ε) κεντροειδής απόσταση (centroid distance) και των αποστάσεων (distance) μεταξύ των αναπαραστάσεων των μορφών αρχικής/ γενικευμένης οντότητας.
  - Στον υπολογισμό των μέτρων α) της οριζοντιογραφικής ακρίβειας, β) της αναγνωσιμότητας μεταξύ των γεωμετρικών στοιχείων της οντότητας (ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ των κορυφών της κάθε οντότητας, ύπαρξη ‘στένωσης’ (bottleneck) μεταξύ μη διαδοχικών ευθυγράμμων τμημάτων της οντότητας, ύπαρξη εξαιρετικά οξείων γωνιών μεταξύ διαδοχικών ευθυγράμμων τμημάτων της οντότητας), γ) της τοπολογικής συνέπειας στα γεωμετρικά στοιχεία της οντότητας (τομές και επικαλύψεις), δ) της τοπολογικής συνέπειας μεταξύ των οντοτήτων (άστοχες τομές), της εννοιολογικής συνέπειας μεταξύ των οντοτήτων (άστοχες επαφές, ασύμβατες επιθέσεις, δημιουργία ψευδών πολυγώνων), στ) της σχετικής θέσης.
  - Στη σύνταξη των τεχνικών απλοποίησης δικτύων με γεωμετρικό τρόπο.
  - Στην αυτοματοποίηση της ροής των διαδικασιών του προτεινόμενου μοντέλου γενίκευσης (Ενότητες 4 και 5).

Σημειώνεται τέλος ότι, συγκεκριμένες λειτουργίες όπως του ελέγχου της τοπολογικής και εννοιολογικής συνέπειας είναι διαθέσιμες στο λογισμικό ArcGIS της ESRI. Ο λόγος που δεν χρησιμοποιήθηκαν και αναπτύχθηκαν νέες τεχνικές υπολογισμού τους οφείλεται στη μη συμβατότητα ένταξής τους σε μία ροή διαδικασιών στην οποία οι γεωμετρικές οντότητες αναγνωρίζονται με τις συντεταγμένες τους με στόχο τη μείωση της απαιτούμενης υπολογιστικής



ισχύος και της επιθυμίας λειτουργίας του προτεινόμενου μοντέλου γενίκευσης βάσει περιορισμών σε λογισμικό ελεύθερης πρόσβασης.

Η μελλοντική έρευνα αφορά στην εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου βάσει περιορισμών με τα ενσωματωμένα μοντέλα ποιότητας για τις δύο φάσεις της γενίκευσης (σημασιολογικής και χαρτογραφικής) σε δεδομένα μεγαλύτερης κλίμακας (π.χ. κτηματολογικά διαγράμματα) για τη σύνταξη χαρτών μικρότερης κλίμακας (1:10.000, 1: 25.000, 1:50.000, 1:100.000). Συγκεκριμένα, στο πλαίσιο της μελλοντικής εφαρμογής θα απαιτηθεί ο εμπλουτισμός του μοντέλου με μέτρα εκτίμησης και αξιολόγησης της συμμόρφωσης των οντοτήτων στους περιορισμούς και στις απαιτήσεις ποιότητας και η αναδιαμόρφωση των ορίων συμμόρφωσης. Ειδικότερα, στη φάση της σημασιολογικής γενίκευσης θα απαιτηθεί επιπλέον διερεύνηση για την ανάπτυξη γεωμετρικών τεχνικών:

- μετατροπής επιμήκων πολυγωνικών οντοτήτων μεταβλητού πλάτους (π.χ. ποτάμιων ροών) σε γραμμικές οντότητες με τη χρήση πιθανόν της τεχνικής διαμέρισης του χώρου με πολύγωνα Voronoi και τον υπολογισμό του πλάτους,
- επιλογής του κεντρικού άξονα σε τομές οδών πολυγωνικής μορφής,
- τεχνικής αντικατάστασης με μία οντότητα των παράλληλων οδών ή ροών γραμμικής μορφής που παραβιάζουν το όριο αναγνωσιμότητας – διάκρισης μεταξύ τους όταν δεν παρέχεται πληροφορία ιεράρχησης του δικτύου.

Σημαντική θεωρείται επίσης η ενσωμάτωση στο μοντέλο μέτρων για την εκτίμηση της πυκνότητας της πληροφορίας του χάρτη και την αναγνωσιμότητα (Harrie & Stigmar, 2009), (Stigmar & Harrie, 2011), (Olson, Pippig, Harrie, Stigmar, 2011), (Harrie, Stigmar, Djordjevic, 2015). Αντίστοιχα, σχετικά με τη φάση της χαρτογραφικής γενίκευσης θα απαιτηθεί:

- ανάπτυξη τεχνικών εξομάλυνσης των επαφών των πολυγώνων μετά την εφαρμογή των αλγορίθμων απλοποίησης (εντοπισμός κενών και ενσωμάτωσή τους στα γειτονικά πολύγωνα βάσει κριτηρίου αλλοίωσης του εμβαδού) καθώς οι οντότητες θα διατηρούν την πολυγωνική τους μορφή στην απεικόνιση έναντι της γραμμικής, στις μεγάλες κλίμακες,
- ανάπτυξη τεχνικών βελτιστοποίησης της μετάθεσης σημειακών ή γραμμικών οντοτήτων για την επίλυση προβλημάτων αναγνωσιμότητας – διάκρισης των οντοτήτων.

Τέλος, αξίζει να επιχειρηθεί η εξέλιξη ενός εργαλείου με ενσωματωμένες τις διαδικασίες του προτεινόμενου μοντέλου και η ενσωμάτωσή του σε ένα λογισμικό Γεωγραφικών Πληροφοριών ελεύθερης πρόσβασης.

## Βιβλιογραφία

---

- AGENT. Selection of basic measures. Technical Report C1, Agent Consortium. Available via <http://agent.ign.fr/deliverable/DC1.html> (accessed on 28 February 2022).
- Alt H., Godau M. Computing the Fréchet distance between two polygonal curves. *International Journal of Computational Geometry and Applications*, 1995, 5, 75-91.
- Arkin E., Chew P., Huttenlocher D., Kedem K., Mitchell J. An Efficiently Computable Metric for Comparing Polygonal Shapes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991,13, 209-216.
- Bard, S. Quality Assessment of Cartographic Generalisation. *Transactions in GIS*, 2004, 8, 63–81.
- Bard S., Ruas A. Why and How Evaluating Generalised Data?. *Developments in Spatial Data Handling. 11th International Symposium on Spatial Data Handling*, 2004, 327-342.
- Beard K. Constraints on rule formation. In: *Map generalisation: making rules for knowledge representation*; Buttenfield BP, McMaster RB; Eds. Longman Group, Harlow, UK, 1991, pp 121–135.
- Bernhardt M.C. Quantitative Characterization of Cartographic Lines for Generalization. *Report no. 425, Department of Geodetic Science and Surveying, Ohio State University, Columbus, OH.*, 1992.
- Blana, N.; Tsoulos, L. Generalization of Linear and Area Features Incorporating a Shape Measure. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2022a; 11(9):489.
- Blana, N.; Tsoulos, L. Constraint-Based Spatial Data Management for Cartographic Representation at Different Scales. *Geographies*, 2022b, 2, 258–273.
- Brazile F. Semantic infrastructure and methods to support quality evaluation in cartographic generalisation. PhD thesis, Department of Geography, University of Zurich, Switzerland, 2000.
- Brassel K., Weibel R. A review and conceptual framework of automated map generalization. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1988, 2:3, 229-244.
- Buttenfield, B. A Rule for Describing Line Feature Geometry. In *Map Generalization*; Buttenfield B., McMaster R.; Eds. Longman Group: Harlow, UK, 1991; pp 71-150.
- Burger W., Burge M. Fourier Shape Descriptors. In *Principles of Digital Image Processing. Advanced Methods.*; Springer: Cham, Switzerland, 2013; pp 168-227.
- Burghardt, D., Schmid, S., Stoter, J. Investigations on cartographic constraint formalisation. In Proceedings of the workshop of the ICA commission on generalization and multiple representation at the 23rd international cartographic conference ICC, Moscow, Russia, 2007.
- Burghardt D., Schmid S., Duchêne C., Stoter J., Baella B., Regnauld N., Touya G. Methodologies for the evaluation of generalised data derived with commercial available generalisation systems. In Proceedings of the 11th ICA Workshop of

- the ICA Commission on Generalisation and Multiple Representation, Montpellier, June 20-21, 2008.
- Carlos F. S. Volotão, Rafael D. C. Santos, Guaraci J. Erthal and Luciano V. Dutra. In Proceedings of the 17th International Conference on Systems, Signals and Image Processing-IWSSIP, Rio de Janeiro, Brazil, June 17-19, 2010.
- Douglas D., Peucker T., 1973, Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or its Caricature. *The Canadian Cartographer*, 1973, 10, 2, 112-122.
- Dubuisson MP, Jain A. A Modified Hausdorff distance for object matching. Proceedings of 12th International Conference on Pattern Recognition, 1994,1, 566-568.
- Duchêne C, Baella B., Brewer C., Burghardt D., Buttenfield B., Gaffuri J., Käuferle D., Lecordix F., Maugeais E., Nijhuis R., Pla M., Post M., Regnauld N., Stanislawski L., Stoter J., Tóth K., Urbanke S., Altena V., Wiedemann A. Generalisation in Practice Within National Mapping Agencies. In *Abstracting Geographic Information in a Data Rich World. Methodologies and Applications of Map Generalisation Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*; Burghardt D., Duchêne C., Mackaness W., Eds.; Springer, Cham, Switzerland, 2014; 329-391.
- Duchêne C., Touya G., Taillandier P., Gaffuri J., Ruas A., et al. Multi-Agents Systems for Cartographic Generalization: Feedback from Past and On-going Research. *Research Report*. IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière); LaSTIG, équipe COGIT., France, 2018. Available online: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01682131/document> (accessed on 28 February 2022).
- Ehrliholzer R. Quality assessment in generalization: integrating quantitative and qualitative methods. In Proceedings of the 17th International Cartographic Conference, Barcelona, Spain, 1995.
- Eiter T., Heikki M. Computing Discrete Fréchet Distance. *Technical report CD-TR 94/64*. Information Systems Department, Technical University of Vienna, 1994. Available online: <http://www.kr.tuwien.ac.at/staff/eiter/et-archive/cdtr9464.pdf> (accessed on 28 February 2022).
- EuroGlobalMap- Pan-European Database at Small Scale, Specification and Data Catalogue v.10, EuroGeographics, 2019.
- EuroGeographics, EuroRegionalMap- Pan-European Database at Medium Scale, Specification and Data Catalogue v4.4, 2010.
- Frank, R., Ester, M. A quantitative similarity measure for maps. *Proceedings of the 12th International Symposium, Progress in Spatial Data Handling*, 2006, 435-450.
- Goodchild M. & Hunter G. A Simple Positional Accuracy Measure for Linear Features. *International Journal of Geographical Information Science*, 1997, 11, 299-306.
- Granlund G. Fourier Preprocessing for Hand Print Character Recognition. *IEEE Transactions on Computers*, 1972, 195-201.

- Grünreich, D. Computer-Assisted Generalization. Papers CERCO Cartography Course. Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt, 1985.
- Harrie L., Weibel, R. Modelling the overall process of generalisation. In *Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications*; Mackaness, W., Ruas, A., Sarjakoski, T., Eds.; Series of International Cartographic Association; Elsevier Science: Amsterdam, The Netherlands, 2007; pp. 67-88.
- Harrie L., Stigmar, H. An evaluation of measures for quantifying map information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2009, 65, 266–274.
- Harrie L., Stigmar H., Djordjevic, M. Analytical estimation of map readability, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2015, 4, 418-446.
- Hu Y., Li Z. An Improved Shape Signature for Shape Representation and Image Retrieval. *Journal of software*, 2013, 8, 2925-2929.
- ISO 19157: 2013. Geographic Information—Data Quality. Available online: <https://www.iso.org/standard/32575.html> (accessed on 28 February 2022).
- João, E.M. *Causes and consequences of map generalization*. Taylor and Francis, London, UK, 1998.
- Kauppinen H., Seppanen T., Pietikainen M., An experimental comparison of autoregressive and Fourier-based descriptors in 2D shape classification. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995, 17, 201-207.
- Kronenfeld, B.J.; Buttenfield, B.P.; Stanislawski, L.V. Map Generalization for the Future: Editorial Comments on the Special Issue. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2020, 9, 468.
- Kunttu I., Lepistö L., Rauhamaa J., Visa A., Multiscale Fourier descriptors for defect image retrieval. *Pattern Recognition Letters*, 2006, 27, 123-132.
- Latecki L.J., Lakämper, R. Shape Similarity Measure Based on Correspondence of Visual Parts. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22, 1185–119.
- Lyons R., *Understanding Digital Signal Processing*; Pearson Education, Eds.; Prentice Hall, Hoboken, New Jersey, USA, 2011.
- Mackaness W., Ruas A. Evaluation in the map generalisation process. In *Generalisation of geographic information: cartographic modelling and applications*; Mackaness W., Ruas A., Sarjakoski T., Eds; Series of international cartographic association Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 2007; pp 89–111.
- Mackaness W., Burghardt D., Duchêne C. Map Generalisation: Fundamental to the Modelling and Understanding of Geographic Space. In *Abstracting Geographic Information in a Data Rich World. Methodologies and Applications of Map Generalisation Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*; Burghardt D., Duchêne C., Mackaness W., Eds.; Springer, Cham, Switzerland, 2014; pp. 1-15.
- Mascret A., Devogele T., Le Berre I., Hénaff A. Coastline Matching Process based on the Discrete Fréchet Distance. *Proceedings of the 12th International Symposium on Spatial Data Handling (SDH)*, 2006, 383-400.

- McMaster R. B., Shea K.S. *Generalization in digital cartography*. Association of American Geographers, Washington, USA, 1992.
- McMaster R. B.. A Statistical Analysis of Mathematical Measures for Linear Simplification. *The American Cartographer*, 1986, 13:2, 103-116.
- McMaster R. B.. Automated line generalization. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 1987, 24, 74-111.
- Nyerges T. Representing Geographical Meaning. In *Map Generalization: Making Decisions for Knowledge Representation*; Buttenfield B. & McMaster R., Eds.; Longman Scientific Publications, London, UK, 1991.
- Olsson P., Pippig K., Harrie L., Stigmar, H.. Identifying areas of a map that are difficult to read. *Mapping and Image Science*, 2011, 22-29.
- Podolskaya, E.S., Anders, K.-H., Haunert, J.-H., Sester, M. Quality assessment for polygon generalization. *Quality Aspects in Spatial Data Mining*, 2007, 16, 211–220.
- Regnault, N., McMaster, R. B.. A synoptic View of Generalisation Operators. In *Generalisation of geographic information: cartographic modelling and applications.*; Mackaness W., Ruas A., Sarjakoski T., Eds; Series of international cartographic association Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 2007; pp. 37-66.
- Regnault N., Touya G., Gould N., Foerster T. Process Modelling, Web Services and Geoprocessing. In *Abstracting Geographic Information in a Data Rich World. Methodologies and Applications of Map Generalisation Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*; Burghardt D., Duchêne C., Mackaness W., Eds.; Springer, Cham, Switzerland, 2014; pp. 197-225.
- Richard C., Hemami H. Identification of Three-Dimensional Objects Using Fourier Descriptors of the Boundary Curve. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 1974, 4, 371-378.
- Robinson A., Morrison J., Muehrcke P., Kimerling J., Guptill S. *Elements of Cartography*, 6th, New York, Wiley & Sons.
- Rote G. Computing the minimum Hausdorff distance between two point sets on a line under translation. *Information Processing Letters*, 1991, 38, 123-127.
- Rousseeuw P. Silhouettes: a Graphical Aid to the Interpretation and Validation of Cluster Analysis. *Computational and Applied Mathematics*, 1987, 20, 53-65.
- Ruas A., Plazanet C. Strategies for automated generalization. In *Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling*, 1996, 1:6.1-6.18.
- Ruas A., Duchêne C. A Prototype Generalisation System Based on the Multi-Agent System Paradigm. In *Generalisation of geographic information: cartographic modelling and applications.*; Mackaness W., Ruas A., Sarjakoski T., Eds; Series of international cartographic association Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 2007; pp 269-284.
- Sarjakoski LT. Conceptual models of generalization and multiple representation. In *Generalisation of geographic information: cartographic modelling and applications.*;

- Mackaness W., Ruas A., Sarjakoski T., Eds; Series of international cartographic association Elsevier Science, Amsterdam, Netherlands, 2007; pp 11-37.
- Sester M. Cartographic generalization. *Journal of spatial information science*, 2020, 21, 5-11.
- Skopeliti A, Tsoulos L. On the parametric description of the shape of the cartographic line. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 1999, 36, 3, 53-65.
- Stigmar H., Harrie L. Evaluation of Analytical Methods to Describe Map Readability. *The Cartographic Journal*, 2011, 48, 1, 41-53.
- Stoter, J., Baella, B., Blok, C., Burghardt, D., Duchêne, C., Pla, M., Regnaud, N., Guillaume, Touya, G. *State-of-the-art of automated generalization in commercial software*, EuroSDR publication, 2010.
- Stoter J., Zhang X., Hanna S., Harrie L.. Evaluation in Generalisation. In *Abstracting Geographic Information in a Data Rich World. Methodologies and Applications of Map Generalisation Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*; Burghardt D., Duchêne C., Mackaness W., Eds.; Springer, Cham, Switzerland, 2014; pp 259-297.
- Stoter J., Post M., Van Altena V., Nijhuis R., Bruns B. Fully automated generalization of a 1:50k map from 1:10k data. *Cartography and Geographic Information Science*, 2014, 41, 1-13.
- Topfer, F. and Pillewizer, W. The Principles of Selection. *The Cartographic Journal*, 1966, 3, 10-16.
- Touya G., Zhang X., Lokhat I. Is deep learning the new agent for map generalization? *International Journal of Cartography*, 2019, 5:2-3, 142-157.
- Tsoulos L., Blana N. Map Quality Assessment – Groundwork and Implementation Approach. In *Proceedings of 26th International Cartographic Conference Dresden, Germany, August 2013*.
- Tsoulos L., Blana N. Development of a Methodology for Map Quality Assessment', In *Proceedings of the 27th International Cartographic Conference, Rio de Janeiro, Brazil, August 2015*.
- Uesaka Y. A New Fourier Descriptor Applicable to Open Curves. *Electronics and Communications in Japan*, 1984, 67-A, 166-173.
- Van Otterloo P.J. A contour-oriented approach to digital shape analysis. Doctoral thesis, Delft University of Technology, The Netherlands, 1988.
- Veltkamp R. Shape matching: similarity measures and algorithms. *Proceedings International Conference on Shape Modeling and Applications*, 2001, 188-197.
- Wang Z.; Muller J.C. Line generalization based on analysis of shape characteristics. *Cartography and Geographic Information Science*. 1998, 25, 3–15.
- Weibel, R. Three essential building blocks for automated generalization. In *GIS and generalization: Methodology and practice*; J. Mueller, J. P. Lagrange, & R. Weibel; Eds., Taylor & Francis, London, UK, 1995; pp. 56–70.
- Zahn C.T., Roskies R.Z. Fourier descriptors for plane closed curves. *IEEE Transactions on Computers*, 1972, 3, 269–281.

Zhang, D., Lu, G. A comparative study on shape retrieval using Fourier descriptions with different shape signatures. In *Intelligent Multimedia, Computing and Communications: Technologies and Applications of the Future: Proceedings of the International Conference on Intelligent Multimedia and Distance Education*; Syed M. R., Baiocchi O., R. Eds.; John Wiley & Sons, USA, 2014; pp. 1 - 9.

Zhang D., Lu G. Review of shape representation and description techniques. *Pattern Recognition*, 2004, 37, 1-19.

Λάμπρου Ε., Πανταζής Γ., Εφαρμοσμένη γεωδαισία, 2010, Εκδόσεις Ζήτη.