



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΝΑ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ
ΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ

ΝΙΚΗ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΔΟΥ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΘΗΝΑ 2009



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΝΑ ΕΝΝΟΙΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΤΕΛΕΣΤΩΝ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ
ΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΒΥΡΩΝ ΝΑΚΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.
ΝΙΚΗ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΙΔΟΥ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΘΗΝΑ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1. ΣΥΝΤΟΜΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	1
1.2. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ.....	2
1.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	2
1.4. ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	3
1.5. ΔΟΜΗ ΚΕΙΜΕΝΟΥ.....	3
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	
2.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ – ΟΡΙΣΜΟΙ.....	5
2.2. ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ ΣΕ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ.....	7
2.2.1. Γενικά στοιχεία.....	7
2.2.2. Εννοιολογικά μοντέλα γενίκευσης.....	12
2.2.2.1. Το μοντέλο των McMaster-Shea (McMaster and Shea 1992).....	16
2.3. ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ ΣΕ 3D ΧΑΡΤΕΣ.....	26
2.3.1. Ορισμοί – χαρακτηριστικά 3D χαρτών.....	26
2.3.1.1. Επίπεδα λεπτομέρειας.....	30
2.3.2. Ανασκόπηση της τρέχουσας έρευνας.....	35
2.3.2.1. Χαρτογραφική σχεδίαση στους 3D χάρτες (Petrovic 2003).....	35
2.3.2.2. Γενίκευση 3D δεδομένων-κτιρίων βάσει της θεωρίας κλίμακας-χώρου (Forberg and Mayer 2003, Forberg 2004).....	37
2.3.2.3. 3D γενίκευση και οπτικοποίηση κτιρίων (Kada 2002, Kada 2003).....	40
2.3.2.4. 3D γενίκευση κτιρίων (Thiemann 2002).....	42
2.3.2.5. Κανόνες και περιορισμοί για 3D γενίκευση αστικής περιοχής (Lal and Meng 2001).....	45
2.3.2.6. Συνοχή στην οπτικοποίηση 3D μοντέλου πόλης πολλαπλών κλιμάκων (Kolbe and Gröger 2003, Gröger et al. 2004).....	49

2.3.2.7. Γενίκευση τρισδιάστατων χαρτών πόλεων (Chen and Bai 2001).....	52
2.3.2.8. Χαρτογραφική γενίκευση στην εικονική πραγματικότητα (Frery et al. 2004).....	54
2.3.3. Συμπεράσματα βιβλιογραφικής ανάλυσης.....	58
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	
3.1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	60
3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ – ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ	66
3.3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΠΡΟΤΑΣΗ	69
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	105
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	108

Ευχαριστίες

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας κο Βύρωνα Νάκο για την συνολική καθοδήγησή του, καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα Γιώργο Πανόπουλο για τις συμβουλές του στα άρθρα που αφορούν τα Σ.Γ.Π. Επιπλέον, να ευχαριστήσω τις μηχανικούς Μάρω Κοψιαύτη και Σιμόνη Τριανταφυλλίδου για τις γνώμες και ιδέες τους στη διατύπωση του κειμένου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την πολύχρονη συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι 3D χάρτες αποτελούν σημαντικό τμήμα της σύγχρονης χαρτογραφίας με πληθώρα εφαρμογών και οι χαρτογράφοι-ερευνητές προβλέπουν ακόμη μεγαλύτερη χρήση τους στο μέλλον. Σε έναν τέτοιο χάρτη προοπτικής προβολής, η χαρτογραφική γενίκευση εμπεριέχεται στον ίδιο το 3D χάρτη και υλοποιείται με τους λεγόμενους γεωμετρικούς τελεστές-μετασχηματισμούς. Μετά από μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας διαπιστώνεται η έλλειψη μιας συνολικής πρότασης ικανής να αντιμετωπίσει τις ανάγκες ενός τέτοιου χάρτη σε γενίκευση. Συνεπώς, αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η κατασκευή ενός εννοιολογικού μοντέλου γεωμετρικών τελεστών χαρτογραφικής γενίκευσης για 3D χάρτες. Το προτεινόμενο εννοιολογικό μοντέλο βασίζεται στο ευρέως αποδεκτό μοντέλο των McMaster και Shea για δισδιάστατους χάρτες, το οποίο διαμορφώθηκε κατάλληλα ώστε να απευθύνεται σε περιβάλλον 3D. Το αποτέλεσμα είναι ένα σετ 11 τελεστών που συνοδεύονται από 29 οπτικοποιήσεις για να περιγράψουν τη λειτουργία τους. Οι οπτικοποιήσεις βασίζονται σε μια υπόθεση εργασίας που αφορά τις ελάχιστες διαστάσεις των συμβόλων και κατασκευάστηκαν με το λογισμικό AutoCad. Ο έλεγχος για την ορθότητα και αποτελεσματικότητα του προτεινόμενου θεωρητικού μοντέλου στα πλαίσια μιας ή περισσότερων εφαρμογών με πραγματικά δεδομένα είναι απαραίτητος.

ABSTRACT

A conceptual model of geometric generalisation operators for 3D maps

3D maps are an important part of modern cartography with a variety of applications and researchers foresee that they will be utilized to an even greater extent in the future. In such a map in perspective projection, cartographic generalization is an inherent property of the map itself and is implemented with geometric generalization operators. A review of the literature indicates the lack of a proposal able to address the generalization needs of the map in question. Therefore, the objective of this thesis is the construction of a conceptual model for the geometric generalization operators. The proposed model is based on the widely accepted model by McMaster and Shea concerning 2D maps, which was adjusted in order to adapt to a 3D environment. The result is a set of 11 operators, whose function is explained through 29 visualizations. The visualizations are based on a working hypothesis regarding the symbols' minimum dimensions and were constructed in AutoCad. The validation of the proposed theoretical model using real data is required.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Οι 3D χάρτες αποτελούν σημαντικό τμήμα της σύγχρονης χαρτογραφίας με πληθώρα εφαρμογών και οι χαρτογράφοι-ερευνητές προβλέπουν ακόμη μεγαλύτερη χρήση τους στο μέλλον. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματά τους είναι η πιο ρεαλιστική παρουσίαση του υψομέτρου, σε σύγκριση με τους δισδιάστατους χάρτες, που επιτρέπει στο χρήστη την καλύτερη ερμηνεία του εδάφους – χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν παρουσιάζουν και μειονεκτήματα.

Για να αποκαλείται 3D χάρτης μια τρισδιάστατη απεικόνιση τοπίου θα πρέπει να ισχύουν κάποιες προϋποθέσεις, μεταξύ των οποίων είναι και η εφαρμογή των αρχών της χαρτογραφικής γενίκευσης. Στους παραδοσιακούς δισδιάστατους χάρτες πρόκειται για την επιλεγμένη και απλοποιημένη αναπαράσταση λεπτομερειών ανάλογα με την κλίμακα και το σκοπό του χάρτη. Στους προοπτικούς 3D χάρτες οι διαφορετικές αποστάσεις από το σημείο παρατήρησης συνεπάγονται τη συνύπαρξη διαφορετικών κλιμάκων με αποτέλεσμα η γενίκευση να εμπεριέχεται στον ίδιο τον 3D χάρτη. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η απόσταση, τόσο μεγαλύτερη είναι η γενίκευση που πρέπει να υποστούν τα εκάστοτε χαρτογραφικά στοιχεία. Επειδή όμως η γραμμική μετάβαση στην κλίμακα είναι πρακτικά αδύνατη, για την εφαρμογή της γενίκευσης σε περιβάλλον 3D χρησιμοποιούμε περιορισμένο αριθμό διακριτών βημάτων, τα λεγόμενα επίπεδα λεπτομέρειας.

Η χαρτογραφική γενίκευση υλοποιείται μέσω των τελεστών, τεχνικών δηλαδή που τροποποιούν τη γεωμετρία των χωρικών δεδομένων, και που είναι οι εξής δέκα – σύμφωνα με τους McMaster και Shea: απλοποίηση, εξομάλυνση, συγχώνευση σημειακών συμβόλων, συγχώνευση γραμμικών συμβόλων, συγχώνευση επιφανειακών συμβόλων, μετάπτωση, εκλέπτυνση, μεγέθυνση, ενίσχυση και μετάθεση. Οι τελεστές προτείνονται στα πλαίσια ενός ευρύτερου εννοιολογικού μοντέλου για τη χαρτογραφική γενίκευση σε δισδιάστατους χάρτες.

Θα μπορούσε να γίνει μια αντίστοιχη πρόταση για τη χαρτογραφική γενίκευση σε χάρτες 3D; Ποιοι είναι οι κατάλληλοι γεωμετρικοί τελεστές χαρτογραφικής γενίκευσης σε έναν 3D χάρτη οι οποίοι θα μπορέσουν να αντιμετωπίσουν την πλειονότητα των περιπτώσεων; Πώς μετασχηματίζουν τα σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά και ογκομετρικά σύμβολα ενός 3D χάρτη; Η τρέχουσα σχετική βιβλιογραφία ασχολείται

στην πλειονότητά της με αλγόριθμους για την εφαρμογή των τελεστών και το γενικότερο θεωρητικό πλαίσιο είναι μάλλον ανεπαρκές.

1.2 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η κατασκευή ενός εννοιολογικού μοντέλου χαρτογραφικής γενίκευσης για 3D χάρτες. Το μοντέλο θα περιγράφει τους γεωμετρικούς τελεστές της και τους μετασχηματισμούς που επιφέρουν στα σύμβολα που εφαρμόζονται. Από τη μελέτη της τρέχουσας βιβλιογραφίας διαπιστώνεται ότι δεν έχει γίνει μια τέτοια πρόταση. Πρόκειται για μια ιδέα του καθηγητή κ. Νάκου Βύρωνα και το σκεπτικό της είναι το εξής: να επανεξεταστούν οι γεωμετρικοί τελεστές του μοντέλου των McMaster και Shea για δισδιάστατους χάρτες και να διατυπωθούν εκ νέου αφού τροποποιηθούν καταλλήλως ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν σε 3D χάρτες. Το εννοιολογικό μοντέλο αφορά 3D χάρτες σε προοπτική προβολή και προτείνεται με βασικό μέλημα την πληρότητά του, να είναι δηλαδή σε θέση να αντιμετωπίσει την πλειονότητα των περιπτώσεων που μπορεί να συναντήσουμε στην πορεία της χαρτογραφικής γενίκευσης ενός 3D χάρτη. Παράλληλα, για την πιο ολοκληρωμένη περιγραφή του, συνοδεύεται από οπτικοποιήσεις για κάθε γεωμετρικό μετασχηματισμό και για κάθε τύπο συμβόλου που του αντιστοιχεί.

1.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ

Εφόσον εξ' ορισμού οι γεωμετρικοί τελεστές τροποποιούν τις γεωμετρικές διαστάσεις των χαρτογραφικών συμβόλων, είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τον τύπο του συμβόλου στο οποίο θα εφαρμοστούν. Αφού οριστούν οι κατηγορίες των συμβόλων στους χάρτες 3D – σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά, ογκομετρικά – εξετάζουμε έναν προς έναν τους γεωμετρικούς τελεστές των McMaster και Shea. Ελέγχουμε ποιοι από αυτούς θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον 3D κατάλληλα τροποποιημένοι για τα προαναφερθέντα σύμβολα και εάν θα πρέπει να προστεθούν άλλοι. Για κάθε κατηγορία συμβόλων και για κάθε τελεστή που προτείνεται παρουσιάζονται οπτικοποιήσεις σε προοπτική προβολή – όλες στηρίζονται σε υπόθεση εργασίας που αφορά τις ελάχιστες διαστάσεις των συμβόλων και σχεδιάστηκαν στο λογισμικό AutoCad. Κάθε οπτικοποίηση περιλαμβάνει τρία στάδια: το αρχικό σύμβολο στην αρχική κλίμακα, την εφαρμογή του τελεστή στο σύμβολο, και το αποτέλεσμα του μετασχηματισμού στην παράγωγη κλίμακα (50% της αρχικής).

1.4 ANAMENOMENA ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τελικός στόχος είναι η πρόταση ενός εννοιολογικού μοντέλου για τη χαρτογραφική γενίκευση στους χάρτες 3D. Αναμένουμε να καταλήξουμε σε ένα σετ γεωμετρικών τελεστών υπό τη μορφή πίνακα με πληροφορίες για τις κατηγορίες των συμβόλων στις οποίες αυτοί εφαρμόζονται αλλά και τον τρόπο που τα μετασχηματίζουν περιγραφικά αλλά και μέσω οπτικοποιήσεων.

1.5 ΔΟΜΗ ΚΕΙΜΕΝΟΥ

Το δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνει το θεωρητικό τμήμα της διπλωματικής εργασίας και χωρίζεται σε δύο μέρη, τη γενίκευση σε δισδιάστατους χάρτες και τη γενίκευση σε χάρτες 3D. Αρχικά περιγράφονται κάποιες βασικές έννοιες και ορισμοί της χαρτογραφικής γενίκευσης (υποκεφάλαιο 2.1). Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η εξέλιξη της θεωρίας για τη χαρτογραφική γενίκευση σε δισδιάστατους χάρτες, και στα πλαίσια αυτής κάποια εννοιολογικά μοντέλα γενίκευσης με έμφαση στο μοντέλο των McMaster και Shea (υποκεφάλαιο 2.2). Στο υποκεφάλαιο 2.3 περιγράφονται ορισμοί και χαρακτηριστικά των 3D χαρτών γενικότερα και της 3D γενίκευσης (επιπέδων λεπτομέρειας) ειδικότερα. Επιπλέον, παρουσιάζονται οκτώ άρθρα που συνοψίζουν την τρέχουσα έρευνα για τη χαρτογραφική γενίκευση στους 3D χάρτες και το κεφάλαιο τελειώνει με κάποια συμπεράσματα που εξάγονται από τη μελέτη τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και πιο αναλυτικά: αρχικά ορίζονται τα σύμβολα στους χάρτες 3D βάσει των οποίων θα επανεξεταστεί το μοντέλο των McMaster και Shea όπου εισάγεται η κατηγορία των ογκομετρικών συμβόλων. Παράλληλα, αναφέρεται το γενικότερο σκεπτικό για τη μετάβαση από τις δύο στις τρεις διαστάσεις (υποκεφάλαιο 3.1). Ακολουθεί η περιγραφή της οργάνωσης των οπτικοποιήσεων των τελεστών που θα συνοδεύουν το μοντέλο, συμπεριλαμβανομένης και της υπόθεσης εργασίας στην οποία βασίστηκαν (υποκεφάλαιο 3.2). Στο τελευταίο κομμάτι του κεφαλαίου παρουσιάζεται, μετά από συζήτηση, το προτεινόμενο εννοιολογικό μοντέλο που συνοδεύεται από 29 οπτικοποιήσεις και καταλήγει σε πίνακα των γεωμετρικών τελεστών χαρτογραφικής γενίκευσης σε περιβάλλον 3D (υποκεφάλαιο 3.3).

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο καταγράφονται τα συμπεράσματα και οι σκέψεις της συγγραφέως, τρόποι συνέχισης της εργασίας που παρουσιάζεται, καθώς και ερωτήματα που προέκυψαν στην πορεία της διπλωματικής εργασίας.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στα πλαίσια μελέτης της χαρτογραφικής γενίκευσης στους 3D χάρτες είναι αναγκαίο να προηγηθεί μια βιβλιογραφική ανάλυσή της στους παραδοσιακούς αναλογικούς και τους ψηφιακούς χάρτες, η οποία θα μας παρέχει το θεωρητικό υπόβαθρο για τη μετάβαση στον τρισδιάστατο χώρο.

2.1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ - ΟΡΙΣΜΟΙ

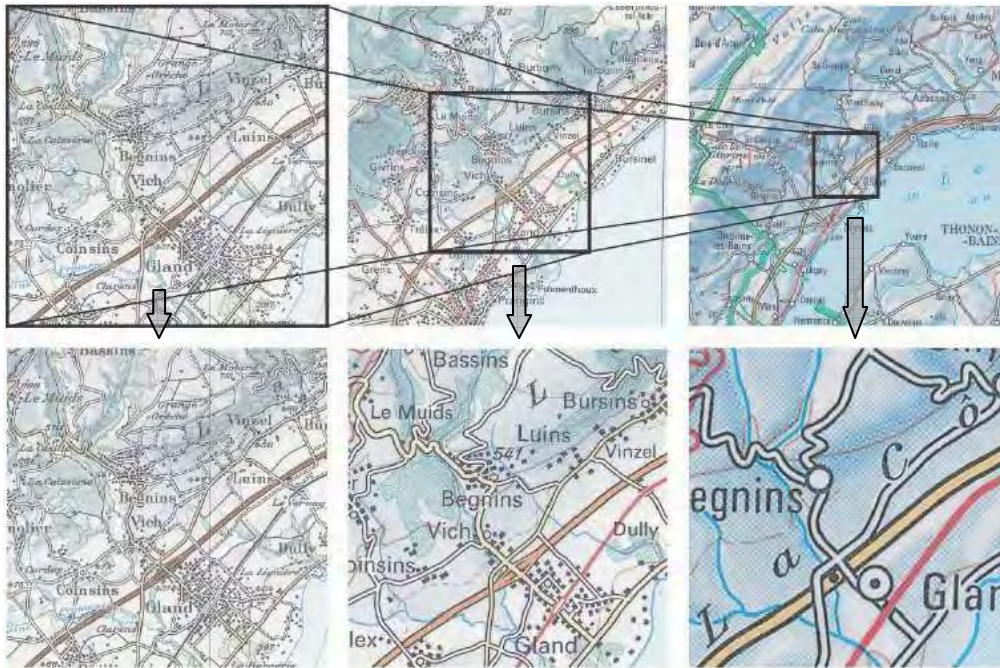
Ο ορισμός της γενίκευσης από τη Διεθνή Χαρτογραφική Ένωση είναι ο εξής:
«Γενίκευση είναι η επιλεγμένη και απλοποιημένη αναπαράσταση των λεπτομερειών που είναι κατάλληλες ως προς την κλίμακα ή/και το σκοπό του χάρτη.» (ICA 1973)

Ως χαρτογραφική διεργασία, η γενίκευση αποτελεί σύνθετο εγχείρημα της οποίας οι συνιστώσες δεν έχουν ακόμη καθοριστεί με σαφή και κατηγορηματικό τρόπο (Νάκος 2002). Ο Keates (1989, 37) αναφέρει ότι «(η γενίκευση) αποτελεί θεμελιώδες χαρτογραφικό πρόβλημα αλλά και δυνατό εργαλείο για τη μετάβαση σε χάρτες μικρότερης κλίμακας...».

Η ανάγκη για γενίκευση των χαρτών πηγάζει από δύο βασικά προβλήματα που παρουσιάζονται κατά τη μείωση της κλίμακας (Νάκος 2002) (βλ. Εικόνα 1):

- Η -συγκεκριμένη σε πολυπλοκότητα και ποσότητα- πληροφορία που απεικονίζεται στον αρχικό χάρτη θα πρέπει να απεικονιστεί πλέον σε υποπολλαπλάσιο φυσικό χώρο στον παράγωγο χάρτη. Συγκεκριμένα, για τη μετάβαση στο ήμισυ της αρχικής κλίμακας, όπως στις εθνικές σειρές των τοπογραφικών χαρτών κάθε χώρας, ο διαθέσιμος χώρος μειώνεται στο ένα τέταρτο του αρχικού.
- Ταυτόχρονα, οι ελάχιστες διαστάσεις των συμβόλων, οι οποίες έχουν καθοριστεί από τα όρια της οπτικής αντίληψης του αναγνώστη του χάρτη, μειώνονται, με αποτέλεσμα να μη είναι πλέον αναγνώσιμος.

Ο χαρτογράφος καλείται να επέμβει για την επίλυση αυτών των αλληλοεξαρτώμενων προβλημάτων λαμβάνοντας υπ' όψιν και άλλους παράγοντες εκτός της κλίμακας, όπως το σκοπό του χάρτη, την αισθητική του ποιότητα κ.α. (Νάκος 2002).



Εικόνα 1: Η γενίκευση είναι απαραίτητη κατά τη μείωση της κλίμακας λόγω της μείωσης του φυσικού χώρου του χάρτη (επάνω) και για την αναγνωσιμότητά του (κάτω σε μεγέθυνση). Οι εικόνες έχουν ληφθεί από Ελβετικούς χάρτες 1/100.000, 1/200.000 και 1/500.000. Δεν είναι υπό κλίμακα. (Πηγή: Cecconi 2003, 8)

Με την ανάπτυξη των ψηφιακών μεθόδων στη χαρτογραφία, όπου πλέον τη βάση του χάρτη αποτελεί μια χωρική βάση δεδομένων, η έννοια της γενίκευσης διαχωρίζεται σε γενίκευση μοντέλων δεδομένων και χαρτογραφική γενίκευση.

Η πρώτη αφορά τη μείωση των ίδιων των δεδομένων, ενώ η δεύτερη σχετίζεται άμεσα με την οπτικοποίησή τους. Παρ' όλο που η γενίκευση του μοντέλου δεδομένων μπορεί να αξιοποιηθεί στα στάδια προεπεξεργασίας της χαρτογραφικής γενίκευσης, δεν συσχετίζεται κατηγορηματικά με την οπτικοποίησή τους (Νάκος 2002) και άρα η ανάλυσή της ξεφεύγει από τους σκοπούς της παρούσας εργασίας.

Η χαρτογραφική γενίκευση καθορίζει το γραφικό συμβολισμό του περιεχομένου της βάσης δεδομένων και έχει τους ίδιους βασικά στόχους με τη γενίκευση στη συμβατική της εκδοχή. Εφαρμόζεται στα χωρικά δεδομένα μέσω των τελεστών χαρτογραφικής γενίκευσης (Νάκος 2002). «Τελεστές χαρτογραφικής γενίκευσης ονομάζονται οι διάφορες τεχνικές με τις οποίες επιτελείται η τροποποίηση της γεωμετρίας των χωρικών δεδομένων ή των ιδιοτήτων τους για τις ανάγκες της γενίκευσης» (Νάκος 2002, 150).

2.2. ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ ΣΕ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥΣ ΧΑΡΤΕΣ

2.2.1. Γενικά στοιχεία

Ακολουθεί περιγραφή ορισμένων αρχών, ορισμών και σκέψεων για τη γενίκευση έτσι όπως τη συνέλαβαν σημαντικοί επιστήμονες της χαρτογραφίας. Εκτός του περιεχομένου τους αυτού καθεαυτού, ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνεχής εμπλουτισμός και η εξέλιξη της θεωρίας στο πέρασμα του χρόνου που αφορά τη γενίκευση γενικότερα και τους τελεστές της ειδικότερα.

Η πρώτη δημοσιευμένη μελέτη με θέμα τη χαρτογραφική γενίκευση ανήκει πιθανότατα στο Γερμανό χαρτογράφο Eckert (1921). Αναφέρει ότι η γενίκευση γεφυρώνει την καλλιτεχνική με την επιστημονική πλευρά του πεδίου της χαρτογραφίας εφόσον ο χαρτογράφος δεν βασίζεται μόνο σε αντικειμενικά γεγονότα αλλά απαιτείται και να τα ερμηνεύσει με την προσωπική, υποκειμενική του άποψη.

Η χαρτογραφική γενίκευση απασχόλησε και τον Αμερικανό γεωγράφο Wright, την οποία περιγράφει, το 1942, ως διαδικασία που επηρεάζει άμεσα την επιστημονική ακεραιότητα των χαρτών και αποτελείται από δύο στοιχεία:

- την απλοποίηση, δηλαδή τη διαχείριση πρωτογενούς πληροφορίας η οποία δεν μπορεί να αναπαραχθεί πλήρως λόγω της πληθώρας και πολυπλοκότητάς της, και
 - την ενίσχυση, τη διαχείριση ανεπαρκούς -σε μέγεθος ή ποσότητα- πληροφορίας.
- Πρόκειται για μια από τις πρώτες προσπάθειες να καθοριστούν πιο συγκεκριμένα οι μετασχηματισμοί -οι λεγόμενοι τελεστές- που συνθέτουν τη διαδικασία της γενίκευσης.

Ανάλογη ήταν και η προσπάθεια του καθηγητή χαρτογραφίας Raisz είκοσι χρόνια αργότερα, ο οποίος στο βιβλίο του General Cartography υποστήριξε ότι η γενίκευση δεν έχει μεν κανόνες αλλά αποτελείται από τις τρεις επιμέρους διαδικασίες:

- το συνδυασμό,
- την απαλοιφή, και
- την απλοποίηση.

Η δομή της γενίκευσης, όπως αναπτύχθηκε από τον καθηγητή γεωγραφίας Arthur Robinson, αποτέλεσε σημείο αναφοράς για τους ακαδημαϊκούς χαρτογράφους του 1970-1980 (McMaster and Shea 1992). Ο Robinson μελέτησε τη γενίκευση επί σειρά ετών (1953-1995) και κατέγραψε με τους συνεργάτες του τις απόψεις του στο

σημαντικό βιβλίο Elements of Cartography. Αρχικά, το 1960, διατύπωσε τρεις συνιστώσες της γενίκευσης:

- την επιλογή των χαρτογραφικών οντοτήτων που θα αναπαρασταθούν,
- την απλοποίηση της μορφής τους και
- την εκτίμηση της σχετικής σπουδαιότητάς τους ώστε τα σημαντικότερα να είναι περίοπτα.

Τόνισε, επίσης, ότι θα ήταν αδύνατο να τεθούν απόλυτοι κανόνες για τη γενίκευση και άρα θα παρέμενε δημιουργική διαδικασία η οποία θα ξέφευγε από την τάση για τυποποίηση λόγω της υποκειμενικότητας που τη χαρακτηρίζει. Ταυτόχρονα, διαχώρισε τη γενίκευση σε σημασιολογική – την επιλογή και αναπαράσταση των χαρτογραφικών δεδομένων – και οπτική, η οποία επικεντρώνεται στο οπτικό αποτέλεσμα.

Σε επόμενη έκδοση του βιβλίου, το 1978, αναλύθηκαν τα τέσσερα στοιχεία της γενίκευσης:

- η απλοποίηση, μέσω της οποίας γίνεται καθορισμός και μεγέθυνση των σημαντικότερων χαρακτηριστικών των χωρικών δεδομένων και απαλοιφή της ανεπιθύμητης λεπτομέρειας,
- η ταξινόμηση ή αλλιώς η ιεράρχηση και διαβάθμιση των δεδομένων,
- ο συμβολισμός, η διαδικασία κωδικοποίησης της πληροφορίας με γραφικό τρόπο, και
- η επαγωγή, το πιο αφηρημένο στοιχείο, το συμπέρασμα της λογικής ανάλυσης. Ακόμη, αναφέρθηκαν τέσσερις παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία της γενίκευσης: ο σκοπός του χάρτη, η κλίμακα, τα γραφικά όρια και η ποιότητα των δεδομένων.

Λίγα χρόνια αργότερα, το 1989, ο Βρετανός χαρτογράφος Keates, στη δεύτερη έκδοση του βιβλίου του Cartographic Design and Production, κατέγραψε πέντε επιμέρους τελεστές της γενίκευσης:

- την επιλογή
- την απλοποίηση
- το συνδυασμό
- τη μεγέθυνση, και
- τη μετάθεση των χαρτογραφικών στοιχείων οι οποίοι, όπως αναφέρει, σε πολλές περιπτώσεις λειτουργούν συνδυαστικά.

Επιλογή ονομάζει τη διατήρηση των στοιχείων του χάρτη που θεωρούνται σημαντικά για τη συγκεκριμένη κλίμακα και αναφέρει το γνωστό εμπειρικό νόμο των Törfer & Pillewizer για τον ποσοτικό προσδιορισμό τους:

$$N_f = N_i \sqrt{M_i / M_f}$$

όπου N_f , N_i ο αριθμός των χαρτογραφικών στοιχείων στον τελικό και αρχικό χάρτη αντίστοιχα και M_i , M_f οι αντίστοιχες κλίμακές τους.

Σημειώνει, όμως, ότι ο νόμος των Törfer & Pillewizer δεν εξηγεί ποια στοιχεία πρέπει να διατηρηθούν και άρα υπάρχει ο κίνδυνος κακής – ποιοτικά – επιλογής, ακόμη και αν ακολουθηθεί ο ποσοτικός αυτός κανόνας, η οποία θα οδηγήσει σε αναποτελεσματική γενίκευση.

Ως απλοποίηση αναφέρει την υποβάθμιση-αφαίρεση ανωμαλιών γραμμικών οντοτήτων και ορίων επιφανειών με την προϋπόθεση να διατηρείται ο χαρακτήρας του στοιχείου όπως η κατεύθυνση. Συνδυασμό ονομάζει τη συνένωση στοιχείων η οποία πρέπει να εφαρμόζεται εντός της ίδιας κατηγορίας χαρτογραφικών στοιχείων μόνο όταν η επέκταση στα ενδιάμεσα κενά είναι θεωρητικά δυνατή. Η μεγέθυνση είναι απαραίτητη για χαρτογραφικά στοιχεία στα οποία πρέπει να δοθεί έμφαση και δεν είναι σταθερή αλλά ποικίλλει ανάλογα με τη σπουδαιότητα και το πραγματικό μέγεθος του αντικειμένου που απεικονίζεται. Σκοπός της μετάθεσης είναι να αποφευχθεί η επικάλυψη κοντινών στοιχείων σε μικρή κλίμακα για την οποία προτείνεται σειρά προτεραιότητας στα χαρτογραφικά σύμβολα.

Όπως και ο Robinson, ο Keates ανέφερε τέσσερις παράγοντες που καθορίζουν τη γενίκευση και τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν τις επιμέρους συνιστώσες της: την κλίμακα του χάρτη και τις γραφικές απαιτήσεις, οι οποίες αφορούν καθαρά μετρήσιμα μεγέθη και το χαρακτήρα και τη σπουδαιότητα των δεδομένων τα οποία αποτελούν υποκειμενικές αποφάσεις του χαρτογράφου. «Όσο μικρότερη είναι η παράγωγη κλίμακα τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός της γενίκευσης», αναφέρει, «και τόσο περισσότερο προφανείς είναι οι συνέπειές της» (Keates 1989, 38). Τονίζει, όμως, ότι προκειμένου ο χάρτης να είναι ευανάγνωστος, η μείωση του μεγέθους των συμβόλων δεν μπορεί να είναι ανάλογη της μείωσης της κλίμακας. Το μέγεθος, σχήμα και χρώμα του συμβόλου επηρεάζουν τη γραφική του αναγνωσιμότητα και άρα οι γραφικές απαιτήσεις πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τη γενίκευση, ειδικά όταν πρόκειται για μεγέθη που πλησιάζουν τη διακριτική ικανότητα του ανθρώπινου οφθαλμού. Στο χαρακτήρα των χαρτογραφικών δεδομένων συμπεριλαμβάνεται, για παράδειγμα, η διασπορά, η συχνότητά τους αλλά και οι

ιδιότητές τους, στοιχεία που σίγουρα θα επηρεάσουν τη μεγέθυνση και πιθανή μετάθεσή τους στον παράγωγο χάρτη. Ο βαθμός σπουδαιότητας των χαρτογραφικών στοιχείων είτε εντός της ίδιας κατηγορίας είτε μεταξύ κατηγοριών, καταλήγει, επηρεάζει την επιλογή και το συνδυασμό τους και συχνά οδηγεί σε μεγέθυνση και μετάθεση.

Σύμφωνα με τον Keates, στη γενίκευση είναι σημαντικό να υπάρχει ισορροπία στην ευρύτερη περιοχή και να λαμβάνονται υπ' όψιν οι σχέσεις μεταξύ των οντοτήτων που απεικονίζονται. Επίσης, η γενίκευση δεν μπορεί να περιγραφεί ως σωστή ή λάθος, αλλά ως καλή ή κακή εφόσον δεν υπάρχει τρόπος να δοθεί μια απόλυτα σωστή λύση για αυτήν αλλά πολλές εναλλακτικές. Αυτό συμβαίνει γιατί η γενίκευση ενός στοιχείου επηρεάζει στη συνέχεια τη γενίκευση των υπολοίπων και άρα είναι πολύ σημαντική η σειρά εφαρμογής των επιμέρους βημάτων της γενίκευσης. Υποστήριξε, ακόμη, ότι η υποκειμενικότητα του χαρτογράφου δημιουργεί αναπόφευκτα αστοχίες στη γενίκευση, οι οποίες θα μειωθούν στο ελάχιστο εάν η όλη διαδικασία διέπεται από συστηματικότητα και συνοχή.

Τέλος, για την εφαρμογή της πρότεινε δύο εναλλακτικές μεθόδους προσέγγισης: η γενίκευση να πραγματοποιείται στον αρχικό χάρτη ο οποίος στη συνέχεια μειώνεται στην επιθυμητή κλίμακα ή η γενίκευση να εφαρμόζεται απευθείας στη μειωμένη κλίμακα. Στην πρώτη περίπτωση, αναφέρει, έχουμε σαφή εικόνα της λεπτομέρειας και αυτό αποτελεί πλεονέκτημα, θα πρέπει όμως, για παράδειγμα, τα πάχη των γραμμών να μεγεθυνθούν ανάλογα με τη διαφορά κλιμάκων. Στη δεύτερη περίπτωση, η φωτογραφική σμίκρυνση που έχει προηγηθεί θα δυσχεραίνει την ερμηνεία του χαρτογράφου, και ακόμη είναι δύσκολο να μην προστεθεί πληροφορία στον κενό διαθέσιμο χώρο, γεγονός που επιφέρει σφάλματα στη γενίκευση (Keates 1989).

Στην έκτη και τελευταία έκδοση του βιβλίου της ομάδας του Robinson, *Elements of Cartography* το 1995, διαχωρίζονται πλέον οι έννοιες της επιλογής και της γενίκευσης, παρόλο που κατά τους συγγραφείς είναι έννοιες άρρηκτα συνδεδεμένες. Μέσω της επιλογής περιορίζεται το ενδιαφέρον στις πληροφορίες που εξυπηρετούν το σκοπό του χάρτη και άρα αποφασίζεται τι θα απεικονιστεί και τι όχι, ενώ γενίκευση καλείται η ακόλουθη προσαρμογή των επιλεγμένων αυτών στοιχείων στην επιθυμητή κλίμακα με απαραίτητη προϋπόθεση την αποτελεσματική επικοινωνία χάρτη-χρήστη. Στις προηγούμενες τέσσερις συνιστώσες της γενίκευσης ταξινόμηση, απλοποίηση, συμβολισμό και επαγωγή προστίθεται τώρα και η μεγέθυνση. Ως μεγέθυνση

αναφέρεται η σκόπιμη αύξηση του μεγέθους των χωρικών στοιχείων με σκοπό την ανάδειξή τους όταν η παράγωγη κλίμακα είναι πολύ μικρή για να είναι ορατά με γυμνό μάτι. Παράλληλα, στους χειρισμούς της ταξινόμησης εντάσσονται τεχνικές συσσωμάτωσης σημειακών και επιφανειακών χωρικών στοιχείων και εκλέπτυνσης γραμμικών χωρικών στοιχείων. Τα γραμμικά και επιφανειακά χωρικά στοιχεία υπόκεινται σε μετάπτωση ή αλλιώς απώλεια μίας τουλάχιστον διάστασής τους και τα σημειακά σε εκλέπτυνση, όπου η κατανομή μεμονωμένων χωρικών στοιχείων αντικαθίσταται από κατάλληλο μοτίβο (τυποποίηση δια ταξινόμησης). Αντίστοιχα, οι ανάγκες της γενίκευσης μπορεί να οδηγήσουν σε συσσωμάτωση πολλών επιφανειών ή γραμμών σε μία. Ταυτόχρονα, στους χειρισμούς απλοποίησης που περιλαμβάνουν απαλοιφή σημείων ή επιφανειών, προστίθεται και η εξομάλυνση ως μέθοδος απλοποίησης γραμμικών δεδομένων.

Οι τέσσερις ρυθμιστές-στοιχεία ελέγχου της γενίκευσης είναι πλέον: ο σκοπός του χάρτη και οι συνθήκες χρήσης του, η κλίμακα, η ποιότητα και ποσότητα των δεδομένων και τα γραφικά όρια. Ως προς την ποιότητα και ποσότητα των δεδομένων σημειώνεται η σημασία της ακρίβειας και αξιοπιστίας αυτών και τονίζεται ότι οι χαρτογράφοι που ασχολούνται με τη γενίκευση πρέπει να καταβάλλουν προσπάθεια προκειμένου να διασφαλίσουν την ορθότητα της πληροφορίας των χαρτών που κατασκευάζουν. Στους παράγοντες που επηρεάζουν τα γραφικά όρια κατά τη γενίκευση περιλαμβάνονται τα τεχνικά όρια που καθορίζονται από τα εργαλεία του χαρτογράφου και βεβαίως τα όρια αντίληψης του ανθρώπινου οφθαλμού (Robinson *et al.* 1995).

Ήδη, όμως, από τη δεκαετία του '70 η εμφάνιση της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών επηρέασε και τη χαρτογραφία, όπως και πολλά άλλα γνωστικά πεδία, με αποτέλεσμα οι επιστήμονες που ασχολούνταν με τη γενίκευση να διατυπώσουν τις σκέψεις και τους προβληματισμούς τους ως προς την αυτοματοποίησή της. Πολλοί εξ' αυτών, όπως οι Imhof, Robinson, Brophy, εμφανίστηκαν διστακτικοί εξηγώντας ότι η κριτική ανθρώπινη αντίληψη που απαιτείται και η έλλειψη απόλυτων κανόνων στη γενίκευση δεν θα καταστήσουν ποτέ εφικτή την πλήρη αυτοματοποίησή της, επιχείρημα με το οποίο συμφωνούν ακόμη και σύγχρονοι ερευνητές. Παρ' όλα αυτά, βασισμένοι στη θεωρητική εργασία των μελετητών της γενίκευσης Perkal και Tobbler, μεταγενέστεροι συγγραφείς ασχολήθηκαν με την ψηφιακή γενίκευση και κυρίως με τη γενίκευση γραμμικών ψηφιακών δεδομένων, όπως για παράδειγμα οι Jenks, Lang, Douglas & Peucker κ.α. Η έρευνά τους είχε ως αποτέλεσμα την κατασκευή αλγορίθμων απλοποίησης γραμμών, ενώ άλλοι ασχολήθηκαν με την

απλοποίηση σημειακών και επιφανειακών συμβόλων όπως οι Monmonier, Törfer & Pillewizer κ.α.

Όπως σημειώνουν οι συγγραφείς του βιβλίου *Generalization in Digital Cartography* McMaster και Shea (1992, 20-21) «...ένα από τα κυρίαρχα θέματα στις προσπάθειες αυτοματοποίησης είναι ότι α) επικεντρώθηκαν σε ένα μεμονωμένο πρόβλημα της γενίκευσης και β) ασχολήθηκαν περισσότερο με αφηρημένες γραφικές οντότητες, παρά με ψηφιακά γραφικά αντικείμενα απεικονίσεων βασισμένων σε κάποιο σύστημα αναφοράς – παρά την καθοδήγηση πολλών συγγραφέων. Έτσι, πολλές προσπάθειες αυτοματοποίησης στόχευσαν σε μία διαδικασία γενίκευσης (πχ επιλογή σημειακών δεδομένων) και ασχολήθηκαν μαζί της μερικά, αν όχι σε πλήρη απομόνωση, από άλλες αποφάσεις για τη γενίκευση. Επιπλέον, οι τεχνικές γενίκευσης σπάνια λάμβαναν υπ' όψιν τους την γεωγραφική σπουδαιότητα των γραφικών οντοτήτων και συχνά εφήρμοζαν γενίκευση σε αφηρημένες γραφικές οντότητες, με ιδανικό παράδειγμα την απλοποίηση γραμμής».

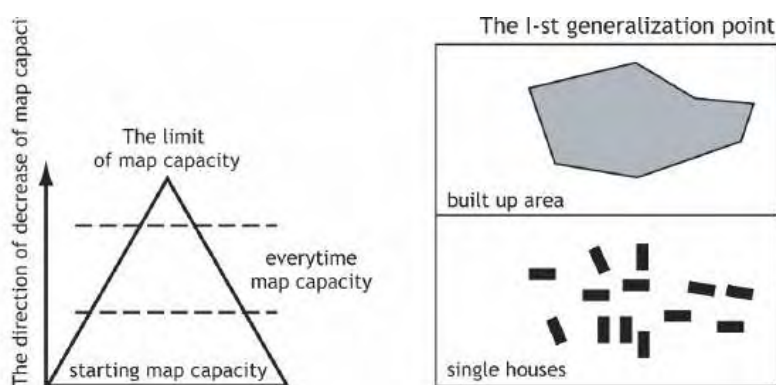
Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα που αφορά τη γενίκευση περιλαμβάνει μεταξύ άλλων την ανάπτυξη έμπειρων συστημάτων για την εφαρμογή της χαρτογραφικής γενίκευσης, τη δημιουργία αλγορίθμων για διάφορους τελεστές, τη γενίκευση στις τρισδιάστατες απεικονίσεις (βλ. Κεφάλαιο 3) κ.α.

2.2.2. Εννοιολογικά μοντέλα γενίκευσης

Σε μια προσπάθεια να καθοριστούν με σαφήνεια και πληρότητα τα επιμέρους στοιχεία της χαρτογραφικής γενίκευσης, γεγονός που θα διευκόλυνε σε μεγάλο βαθμό και την εφαρμογή της γενίκευσης σε ψηφιακό περιβάλλον, κάποιοι συγγραφείς κατασκεύασαν εννοιολογικά μοντέλα για τη βαθύτερη κατανόησή της.

Η Visvalingam (1999) αναφέρει ότι: «η εννοιολογική μοντελοποίηση ασχολείται με τη δημιουργία ενός πλαισίου ιδεών απαραίτητων για την αναπαράσταση ενός προβλήματος. Αναλύει τα στοιχεία που το συνιστούν, όπως και τα χαρακτηριστικά και τη χρήση τους σε σχέση με συγκεκριμένους στόχους. Συνεπώς, τα εννοιολογικά μοντέλα, αποτελούν βολικά μέσα που σκοπό έχουν να επαληθεύσουν τη σχέση μεταξύ του μοντέλου και της πραγματικότητας για κάποιο σκοπό...».

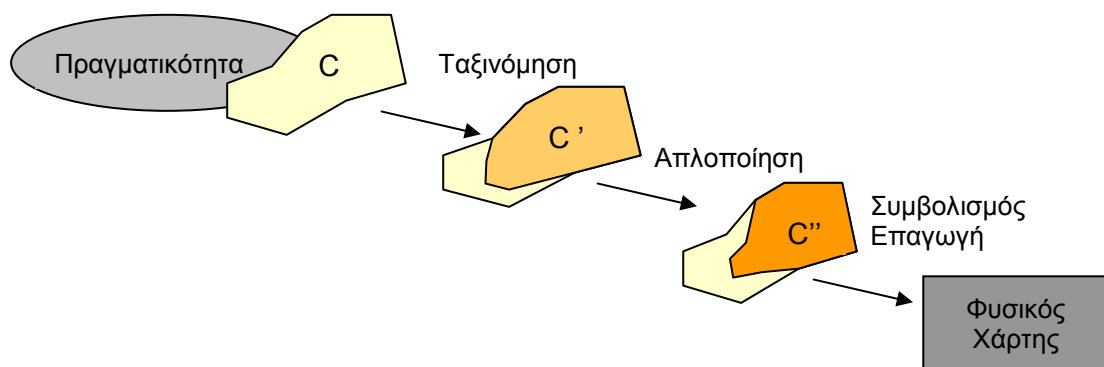
Σε ένα από τα πρώτα εννοιολογικά μοντέλα, το 1967, ο Πολωνός χαρτογράφος Ratajski καταγράφει δύο θεμελιώδεις συνιστώσες της γενίκευσης: την ποσοτική γενίκευση η οποία εφαρμόζεται με βαθμιαία μείωση στο περιεχόμενο του χάρτη ανάλογα με την αλλαγή κλίμακας, και την ποιοτική γενίκευση, η οποία είναι αποτέλεσμα του μετασχηματισμού των συμβόλων σε πιο αφηρημένες φόρμες. Εισάγεται, επίσης, η έννοια του σημείου γενίκευσης το οποίο καθορίζει πότε είναι απαραίτητη η αλλαγή της μεθόδου απεικόνισης των χαρτογραφικών δεδομένων λόγω της μείωσης της χωρητικότητας του χάρτη. Η μεταβαλλόμενη αυτή χωρητικότητα παρουσιάζεται με τη μορφή τριγώνου με βάση τη μέγιστη χωρητικότητα του χάρτη και κορυφή την ελάχιστη. Κάθε οριζόντια τομή στο τρίγωνο αναπαριστά ένα επίπεδο γενίκευσης και όταν πλησιάζουμε στην κορυφή του θα πρέπει να εφαρμοστεί νέα μέθοδος απεικόνισης των δεδομένων. Για παράδειγμα, τα μεμονωμένα κτίρια θα πρέπει να συγχωνευθούν και να αντικατασταθούν από νέο συμβολισμό ως δομημένη περιοχή, διαδικασία που αναφέρεται ως ποσοτική γενίκευση. Εάν είναι απαραίτητη ακόμη μεγαλύτερη μείωση της κλίμακας, η απεικόνιση γίνεται ολόένα και πιο αφαιρετική. Οι δομημένες περιοχές απεικονίζονται ως κύκλοι μεταβαλλόμενης ακτίνας ανάλογα με το μέγεθός τους, στη συνέχεια απεικονίζονται με κλίμακα μέτρησης κατά διάστημα και τέλος απεικονίζονται ως επιφάνειες με επιφανειακά σύμβολα (βλ. Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Η μεταβαλλόμενη χωρητικότητα του χάρτη με τη μορφή τριγώνου όπως τη συνέλαβε ο Ratajski (αριστερά). Όταν ξεπεραστεί το όριο χωρητικότητας, τα μεμονωμένα σπίτια αντικαθίστανται με δομημένη περιοχή (δεξιά). (Πηγή: Cecconi 2003, 9)

Ένα διαφορετικού τύπου εννοιολογικό μοντέλο παρουσίασε ο Morrison στα μέσα του 1970, όπου τυποποίησε τις σχέσεις μεταξύ των 4 βασικών στοιχείων-μετασχηματισμών της γενίκευσης, όπως αυτά επινοήθηκαν από τους Robinson και Sale το 1969. Οι μετασχηματισμοί απλοποίηση, ταξινόμηση, συμβολισμός και επαγωγή ονομάστηκαν διαδικασίες γενίκευσης. Η επιλογή, σύμφωνα με τον Morrison, είναι ένα βήμα προεργασίας για τη γενίκευση. Από το υποσύνολο της

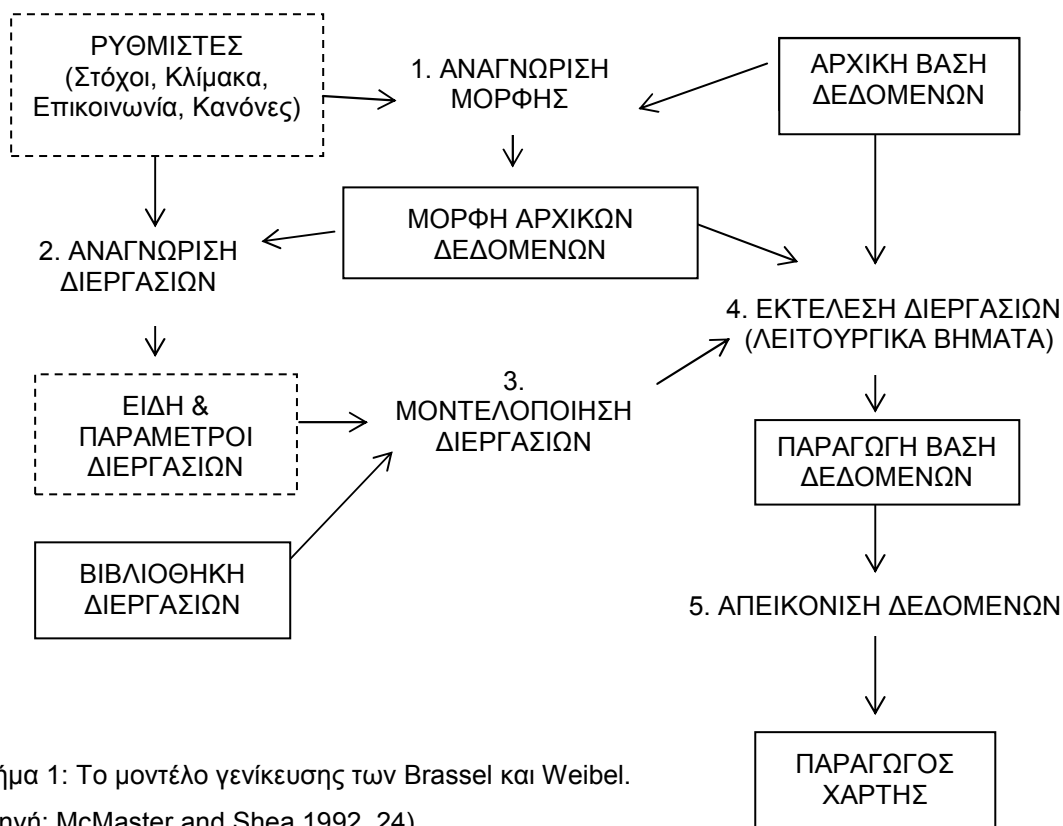
πραγματικότητας που αντιλαμβάνεται ο χαρτογράφος, έστω C, εφαρμόζεται αρχικά η διαδικασία της ταξινόμησης, όπου κατηγοριοποιούνται τα στοιχεία του χάρτη. Στη συνέχεια, στο υποσύνολο C' εφαρμόζεται η απλοποίηση που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των δεδομένων σε C'', και τέλος, μέσω του συμβολισμού και της επαγωγής, καταλήγουμε στο τελικό προϊόν, το γενικευμένο χάρτη (βλ. Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση του εννοιολογικού μοντέλου γενίκευσης του Morrison με τους τελεστές που περιλαμβάνει. (Πηγή: McMaster and Shea 1992, 23 - μετά από προσαρμογή)

Ένα από τα πιο λεπτομερή εννοιολογικά μοντέλα της ψηφιακής – πλέον – γενίκευσης είναι αυτό των Brassel και Weibel (McMaster and Shea 1992), το οποίο διαχωρίζουν σε πέντε επιμέρους διεργασίες (βλ. Σχήμα 1):

1. Αναγνώριση μορφής: Σε αυτό το στάδιο αναγνωρίζονται συγκεκριμένα χαρτογραφικά αντικείμενα ή σύνολα αντικειμένων όπως και χωρικές σχέσεις και σημαντικά μεγέθη. Η διαδικασία ελέγχεται από τους αντικειμενικούς στόχους της γενίκευσης, δηλαδή την ποιότητα της αρχικής βάσης δεδομένων, την κλίμακα του παράγωγου χάρτη και τους κανόνες επικοινωνίας.
2. Αναγνώριση διεργασιών: Περιλαμβάνει τον καθορισμό των απαραίτητων τροποποιήσεων των δεδομένων και διαφόρων παραμέτρων και καθορίζει, πιο συγκεκριμένα, τι πρέπει να γίνει με την αρχική βάση δεδομένων, ποιοι τύποι ασυμβατοτήτων πρέπει να εντοπιστούν και να επιλυθούν, και τέλος ποιοι τύποι αντικειμένων και δομών πρέπει να μεταφερθούν στην παράγωγη βάση δεδομένων.
3. Μοντελοποίηση διεργασιών: Εδώ συντίθενται οι κανόνες για την εφαρμογή της ψηφιακής γενίκευσης από τη βιβλιοθήκη διεργασιών.
4. Εκτέλεση διεργασιών: Οι παραπάνω κανόνες εφαρμόζονται στη βάση δεδομένων προκειμένου να δημιουργήσουν το γενικευμένο αποτέλεσμα.
5. Απεικόνιση δεδομένων: Στο τελευταίο αυτό στάδιο γίνεται ο μετασχηματισμός των παράγωγων δεδομένων, τα οποία έχουν προκύψει από την εκτέλεση διεργασιών, σε παράγωγο χάρτη.

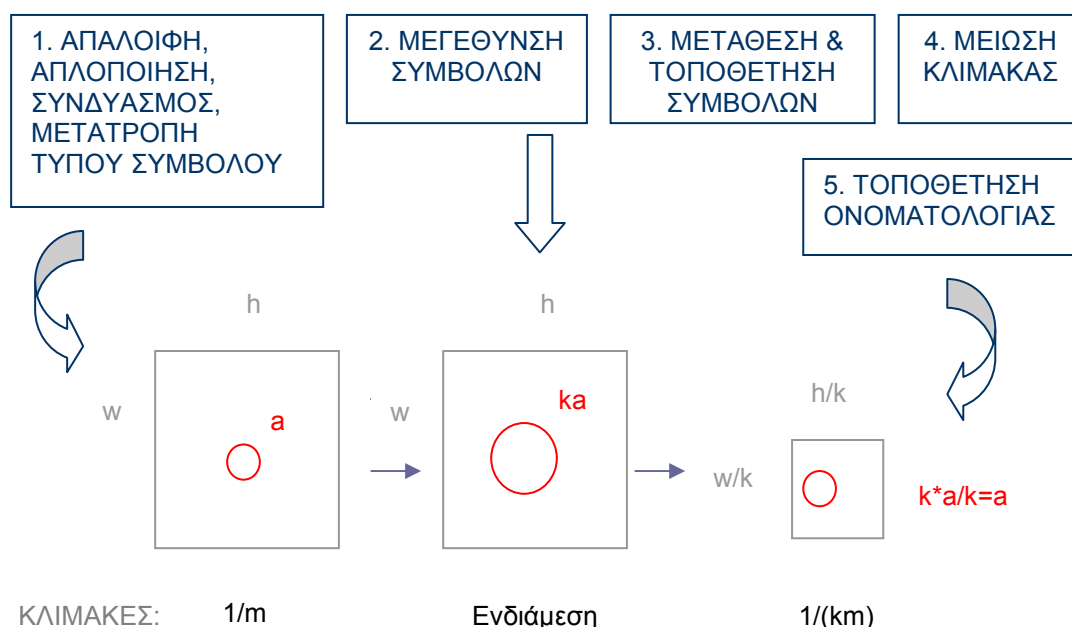


Σχήμα 1: Το μοντέλο γενίκευσης των Brassel και Weibel.
(Πηγή: McMaster and Shea 1992, 24)

Οι Brassel και Weibel υποστηρίζουν επίσης ότι η ψηφιακή γενίκευση έχει δύο – διαφορετικού τύπου – στόχους: το στατιστικό και το χαρτογραφικό. Στην πρώτη περίπτωση φιλτράρονται τα δεδομένα μέσω στατιστικής ανάλυσης και συμπίεσης. Στη δεύτερη, αντιθέτως, περίπτωση της χαρτογραφικής γενίκευσης, η δομή του χάρτη τροποποιείται τοπικά με σκοπό να βελτιωθεί η οπτική του αποτελεσματικότητα.

Οι Nickerson και Freeman το 1986, προσέγγισαν την ψηφιακή γενίκευση για την εφαρμογή της σε έμπειρα συστήματα. Στο εννοιολογικό τους μοντέλο παρουσίασαν την ιδέα ενός χάρτη “ενδιάμεσης κλίμακας” η οποία λειτουργεί ως εξής: στον αρχικό χάρτη κλίμακας $1/m$ και διαστάσεων $w \cdot h$ όπου a το μέγεθος του συμβόλου, εφαρμόζονται οι τελεστές μετασχηματισμού-γενίκευσης απαλοιφή, απλοποίηση, συνδυασμός και μετατροπή συμβόλου. Στη συνέχεια, παράγεται ο «χάρτης» ενδιάμεσης κλίμακας, στον οποίο απλά μεγαλώνει το μέγεθος του συμβόλου σε $k \cdot a$ ($k > 1$) και το σύμβολο τοποθετείται στην τελική του θέση. Κατά την ακόλουθη μείωση της κλίμακας κατά k , ο τελικός χάρτης έχει πλέον διαστάσεις $w/k \cdot h/k$, και άρα κλίμακα

$1/(k*m)$, ενώ το μέγεθος του συμβόλου είναι $(k*a)/k=a$. Με αυτόν τον τρόπο εργασίας, οι συγγραφείς κατάφεραν να εφαρμόσουν τη γενίκευση σε κλίμακα μεγαλύτερη της τελικής, διευκολύνοντας έτσι την όλη διαδικασία. Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται, διαγραμματικά, το εννοιολογικό μοντέλο γενίκευσης των Nickerson και Freeman.

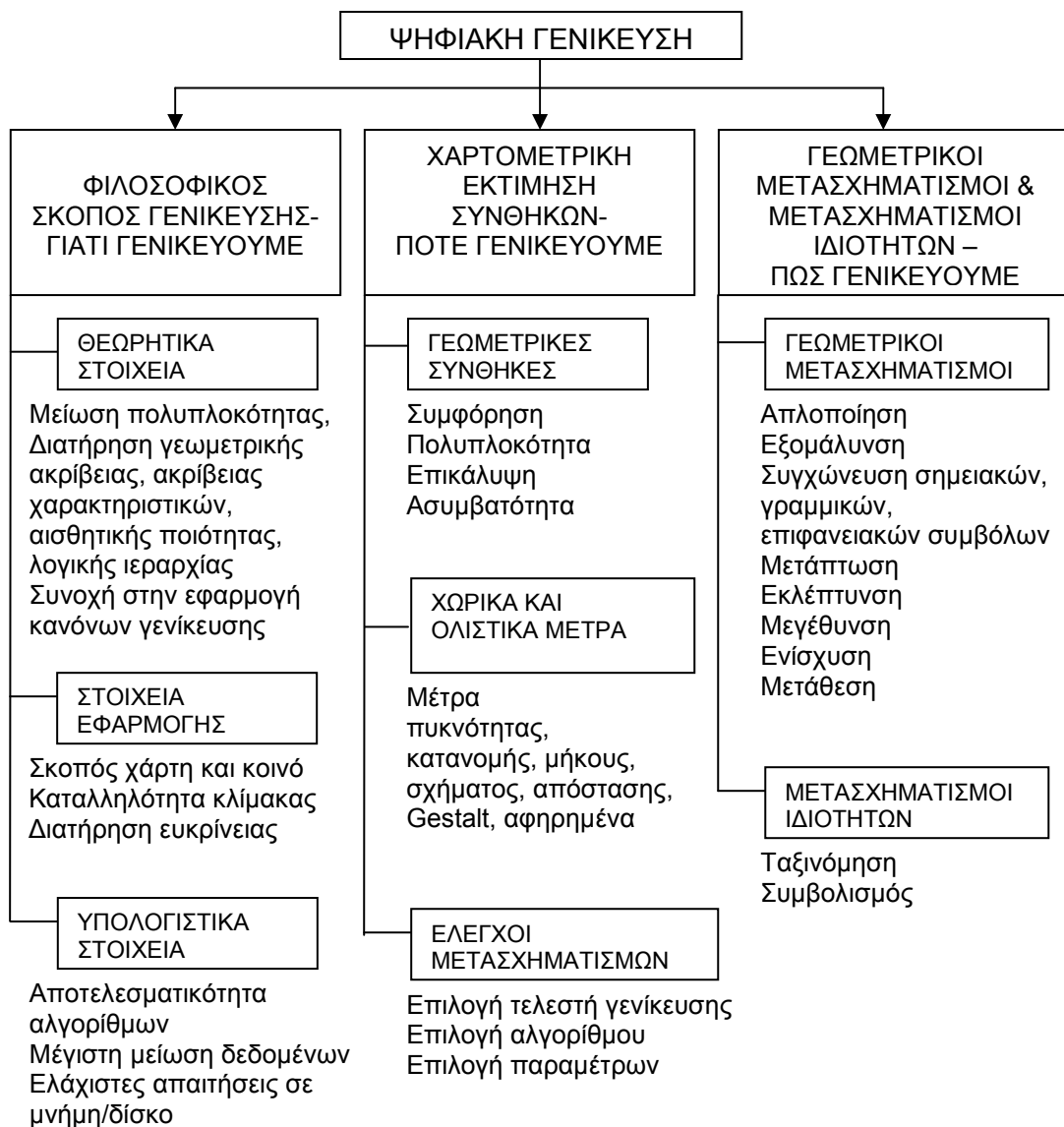


Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση του εννοιολογικού μοντέλου γενίκευσης των Nickerson και Freeman.

2.2.2.1. Το μοντέλο των McMaster και Shea (McMaster and Shea 1992)

Ένα από τα πιο εμπειριστατωμένα εννοιολογικά μοντέλα για την ψηφιακή γενίκευση δημοσιεύθηκε το 1992 από τους Αμερικανούς McMaster και Shea, στο βιβλίο τους *Generalization in Digital Cartography*. Πιο συγκεκριμένα, διαχωρίζουν τη γενίκευση σε τρία λειτουργικά πεδία (βλ. Σχήμα 2):

- I. Εξετάζουν τον αντικειμενικό σκοπό της ψηφιακής γενίκευσης – γιατί δηλαδή εφαρμόζεται.
- II. Προσδιορίζουν, μέσω μιας χαρτομετρικής εκτίμησης συγκεκριμένων συνθηκών, πότε εφαρμόζεται η γενίκευση.
- III. Αναλύουν πώς εφαρμόζεται η γενίκευση με συγκεκριμένους μετασχηματισμούς–τελεστές.



Σχήμα 2: Το εννοιολογικό μοντέλο ψηφιακής γενίκευσης των McMaster και Shea σε σύνοψη. (Πηγή: McMaster and Shea 1992)

Αρχικά περιγράφονται οι θεμελιώδεις χαρτογραφικές αρχές της γενίκευσης από θεωρητικής πλευράς (θεωρητικά στοιχεία): Προκειμένου να εξουδετερωθούν οι ανεπιθύμητες συνέπειες της μείωσης της κλίμακας, οι διαδικασίες της γενίκευσης πρέπει να εγγυώνται τα εξής:

- α) Τη μείωση της πολυπλοκότητας της χαρτογραφικής πληροφορίας η οποία προκύπτει από την αλληλεπίδραση των γραφικών στοιχείων του χάρτη εφόσον μειώνεται η επιφάνεια στην οποία απεικονίζονται. Χωρίς αυτήν δεν επιτυγχάνεται η σωστή μετάδοση της πληροφορίας στον αναγνώστη και άρα δεν είναι πλέον αποτελεσματικός. Σημειώνεται, επίσης, η δυσκολία στον προσδιορισμό του

κατάλληλου επιπέδου λεπτομέρειας γιατί οι μετασχηματισμοί της γενίκευσης πρέπει να εφαρμόζονται είτε επαναληπτικά είτε ταυτόχρονα.

β) Τη διατήρηση της γεωμετρικής ακρίβειας των οντοτήτων και φαινομένων που απεικονίζει ο χάρτης, ειδικά σε μεγάλης κλίμακας χάρτες όπου οι απαιτήσεις για ακρίβεια είναι μεγαλύτερες. Ο στόχος αυτός είναι μετρήσιμος αφού αφορά τη μετάθεση αρχικών και γενικευμένων στοιχείων και μπορεί να μετρηθεί με μέτρα διανυσματικής ή επιφανειακής μετάθεσης. Το σφάλμα μετάθεσης θα πρέπει να περιορίζεται όσο το δυνατόν περισσότερο.

γ) Τη διατήρηση της ακρίβειας των ιδιοτήτων των χαρτογραφικών δεδομένων, η οποία σχετίζεται άμεσα με την ταξινόμησή τους και τη στατιστική τους ανάλυση και αφορά περισσότερο θεματικούς χάρτες. Εδώ μας ενδιαφέρει να ελαχιστοποιήσουμε την αλλαγή των ιδιοτήτων που συνοδεύουν τα χαρτογραφικά δεδομένα στο γενικευμένο χάρτη.

δ) Τη διατήρηση της αισθητικής ποιότητας του χάρτη. Αυτή εξαρτάται από πλήθος παραγόντων όπως τη συνολική οπτική ισορροπία, τις αποχρώσεις, το είδος τυπογραφίας κ.α. Τονίζεται, όμως, ότι παρ' όλο που υπάρχουν γενικές κατευθυντήριες γραμμές, η γενίκευση θα έχει πάντα και μια καλλιτεχνική διάσταση και άρα δεν μπορούν να επιβληθούν απόλυτοι κανόνες για τη διατήρηση της αισθητικής ποιότητάς της.

ε) Τη διατήρηση της λογικής ιεραρχίας. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η λογική ιεραρχία των χαρτογραφικών δεδομένων καθορίζεται από το σκοπό του χάρτη και το κοινό του και απαιτεί από το χαρτογράφο εκτός από εκτίμηση της σπουδαιότητας του στοιχείου εντός μιας κατηγορίας και μια ολιστική θεώρηση του χάρτη για την εκτίμηση της σπουδαιότητας του στοιχείου αυτού στην ευρύτερη περιοχή.

στ) Τη συνοχή στην εφαρμογή των κανόνων γενίκευσης. Για την εξασφάλιση της αντικειμενικότητας της γενίκευσης προτείνεται ο επακριβής καθορισμός των αλγορίθμων που θα χρησιμοποιηθούν, η σειρά με την οποία θα εφαρμοστούν και οι παράμετροι που θα εισαχθούν για την απόκτηση αποτελεσμάτων σε συγκεκριμένη κλίμακα. Η αυτοματοποίηση της γενίκευσης, σχολιάζουν, δεν θα εξαλείψει επ' ουδενί την υποκειμενικότητά της, αλλά είναι τρόπος να μην επιβαρύνεται πλέον ο χαρτογράφος από επαναληπτικές και χρονοβόρες διαδικασίες.

Στη συνέχεια, διατυπώνονται τρία στοιχεία εφαρμογής, ώστε το εκάστοτε επίπεδο γενίκευσης να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του τελικού χάρτη:

- Ο σκοπός του χάρτη και το κοινό του, που συνεπάγονται διαφορετική χρήση των τελεστών και διαφορετικό αποτέλεσμα γενίκευσης, ακόμη και αν τα αρχικά δεδομένα είναι ίδια. Κάθε χαρτογράφος εφαρμόζει εκείνους τους μετασχηματισμούς που εξυπηρετούν τις ανάγκες του συγκεκριμένου χάρτη και απευθύνεται σε συγκεκριμένο κοινό. Επιβάλλεται, βέβαια, να έχει γνώσεις αρχών και τεχνικών χαρτογράφησης και να μπορεί να μεταδώσει επιτυχώς τις ιδέες του. Η αποτελεσματική επικοινωνία περιορίζεται όμως και από τις διαφορές στην ικανότητα αντίληψης εκ μέρους των χρηστών. Ο σκοπός του χάρτη και το κοινό του καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τη δομή και το σχεδιασμό του γενικευμένου χάρτη και ισχύουν για κάθε είδους χαρτογραφική απεικόνιση ή προϊόν.

- Η καταλληλότητα της κλίμακας, η οποία επηρεάζει καθοριστικά την ποσότητα και ποιότητα της χαρτογραφικής πληροφορίας που θα διατηρηθεί κατά τη γενίκευση. Παρ' όλο που η ποσότητα της λεπτομέρειας που θα απεικονιστεί είναι άμεση συνάρτηση της νέας κλίμακας, δεν έχουν καθιερωθεί ακριβείς μαθηματικές σχέσεις που τις συνδέουν, με εξαίρεση τον εμπειρικό νόμο των Törfner-Pillewizer ο οποίος παρέχει κάποιο μέτρο για την ποσότητα των στοιχείων που πρέπει να διατηρηθούν. Ταυτόχρονα με τη μείωση του απόλυτου αριθμού των χαρτογραφικών στοιχείων, η μείωση της κλίμακας επιδρά και στο είδος των συμβόλων που απεικονίζονται. Οι γραφικοί περιορισμοί του χάρτη σε συνδυασμό με την αποτελεσματική επικοινωνία χάρτη-χρήστη θα προκαλέσουν πληθώρα αλλαγών. Σημειακά σύμβολα θα συγχωνευθούν σε ένα επιφανειακό, κατανομές θα αναπαρασταθούν από αντιπροσωπευτικά μοτίβα, επιφάνειες θα εκφυλιστούν σε σημεία, σύμβολα θα μετατεθούν και θα μεγεθυνθούν κ.λ.π. Ακόμη, σημειώνεται ότι καλό θα είναι και η επιλογή της τελικής κλίμακας να συμπίπτει με το σκοπό του χάρτη και το κοινό του.

- Η διατήρηση της ευκρίνειας που έχει σκοπό την αναγνωσιμότητα της χαρτογραφικής πληροφορίας. Επειδή είναι αδύνατο με φωτογραφική σμίκρυνση του χάρτη να γίνονται αντιληπτά όλα τα χαρτογραφικά στοιχεία, καλό είναι να χρησιμοποιούνται μεγέθη λίγο μεγαλύτερα από τη διακριτική ικανότητα του ανθρώπινου οφθαλμού. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την ευκρίνεια του χάρτη είναι επίσης ο φωτισμός και οι μέθοδοι εκτύπωσης. Για να επιτευχθεί η αναγνωσιμότητα των στοιχείων του γενικευμένου χάρτη χρησιμοποιούνται τελεστές όπως η απλοποίηση, η συγχώνευση συμβόλων, η μετάπτωση, η μεγέθυνση, η ενίσχυση κ.λ.π.

Ως προς την υπολογιστική πλευρά της γενίκευσης, που έχει μεγάλη σημασία εφόσον βρισκόμαστε σε ψηφιακό περιβάλλον, παρουσιάζονται τα εξής στοιχεία:

1. Οι οικονομικά αποδοτικοί αλγόριθμοι. Η μείωση της πληροφορίας πρέπει να επιτευχθεί λαμβάνοντας υπ' όψιν την καταλληλότητα του τελικού προϊόντος αλλά και την ταχύτητα της αλγοριθμικής διαδικασίας. Οι πιο ακριβείς αλγόριθμοι είναι και πιο χρονοβόροι και άρα ενδείκνυνται για αναλυτικούς σκοπούς. Σε περίπτωση που οι απαιτήσεις για την ακρίβεια δεν είναι τόσο μεγάλες είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται λιγότερο ακριβείς αλλά ταχύτεροι αλγόριθμοι. Γενικά είναι πολύ σημαντικό να εξισορροπηθεί η ποιότητα της γενίκευσης και το κόστος επεξεργασίας, γεγονός που θα εξαρτηθεί από το σκοπό του χάρτη, τα πρότυπα ακρίβειας, την κλίμακα κ.α.

2. Μέγιστη μείωση των δεδομένων. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται είτε μειώνοντας την απαιτούμενη πληροφορία για την αναπαράσταση των δεδομένων (συντεταγμένες), είτε μειώνοντας τη δομή των δεδομένων σε πιο συμπαγείς μορφές. Στη δεύτερη περίπτωση, οι τεχνικές κωδικοποίησης και επεξεργασίας των δεδομένων μπορεί να επηρεάσουν και την εφαρμογή των τελεστών γενίκευσης. Συνολικά, μας ενδιαφέρει η αποθήκευση της μέγιστης πληροφορίας με τις ελάχιστες αποθηκευτικές απαιτήσεις. Η μείωση της πληροφορίας στην οποία στοχεύουμε εξαρτάται από τη μείωση της κλίμακας, το σκοπό του χάρτη και από την ανάλυση της συσκευής γραφικών που θα χρησιμοποιηθεί.

3. Ελάχιστες απαιτήσεις σε μνήμη/δίσκο. Το στοιχείο αυτό αγνοείται συχνά στην ψηφιακή γενίκευση, εντούτοις μπορεί να επηρεάσει τους μετασχηματισμούς γενίκευσης που θα χρησιμοποιηθούν. Έτσι, εάν οι δυνατότητες των υπολογιστών σε μνήμη και αποθηκευτική ικανότητα δεν το επιτρέπουν θα χρησιμοποιηθούν λιγότερο επιβαρυντικοί αλγόριθμοι στη γενίκευση.

Μετά τη διατύπωση των θεωρητικών στοιχείων, των στοιχείων εφαρμογής και των υπολογιστικών στοιχείων ως προς τον αντικειμενικό σκοπό της γενίκευσης καταγράφονται οι χαρτομετρικές συνθήκες που υποδεικνύουν πότε πρέπει να την εφαρμόσουμε.

Για να είναι κάθε χάρτης αποτελεσματικός, πρέπει να είναι ευκρινής ως προς το περιεχόμενό του και κατάλληλος για το συγκεκριμένο σκοπό και κοινό στο οποίο απευθύνεται. Σε κάθε άλλη περίπτωση, οι συνθήκες εμποδίζουν την αποτελεσματικότητά του η γενίκευση καθίσταται αναγκαία διαδικασία. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζονται από τους συγγραφείς:

- Οι γεωμετρικές συνθήκες που υποδεικνύουν πότε πρέπει να εφαρμοστεί γενίκευση. Κατά τη μείωση της κλίμακας κάθε χάρτη, περιορίζεται ο φυσικός χώρος στον οποίο απεικονίζονται τα χαρτογραφικά σύμβολα με αποτέλεσμα να

προκαλείται συμφόρηση από τη μεγάλη πυκνότητά τους. Επίσης, σε οντότητες που βρίσκονται σε κοντινές γεωγραφικές θέσεις, μπορεί να παρουσιαστεί επικάλυψη ενός συμβόλου με κάποιο άλλο ή η απόστασή τους να γίνει μικρότερη της διαχωριστικής ικανότητας οπότε και είναι αδύνατη η ευκρινής απεικόνισή τους. Ακόμη, υπάρχει περίπτωση κάποιο σύμβολο να έρχεται σε λογική σύγκρουση με το υπόβαθρό του, για παράδειγμα εάν στα πλαίσια της γενίκευσης απαλειφθεί ένα ποτάμι, η γέφυρα που συνδέει δύο πόλεις εκατέρωθεν του ποταμού δεν θα έχει λόγο ύπαρξης στο γενικευμένο χάρτη. Γενικά, οι αποφάσεις για τη γενίκευση πρέπει να λαμβάνονται ενιαία για το σύνολο του χάρτη ώστε να υπάρχει συνοχή. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις στις οποίες δεν το επιδιώκουμε για λόγους έμφασης. Έτσι, π.χ. σε χάρτη μεγάλης κλίμακας, ενώ τα κτίρια αστικής περιοχής θα συνενωθούν σε ένα επιφανειακό σύμβολο, σε μια αγροτική περιοχή όπου δεν εμφανίζονται συχνά δε θα συνενωθούν αλλά θα παραμείνουν ως έχουν. Ταυτόχρονα, κάποιο σύμβολο μπορεί να καταλήξει να έχει στο γενικευμένο χάρτη μέγεθος μικρότερο του ελάχιστου μεγέθους απεικόνισης και άρα να μην είναι πλέον αντιληπτό. Σε όλες τις προαναφερθείσες περιπτώσεις, ο χαρτογράφος πρέπει να επέμβει και να εξουδετερώσει τις ανεπιθύμητες επιδράσεις της μείωσης της κλίμακας με διαδικασίες γενίκευσης. Όμως, οι συνθήκες αυτές δεν είναι εύκολο να ποσοτικοποιηθούν και για τον εντοπισμό τους προτείνονται:

- Χωρικά και ολιστικά μέτρα. Εδώ τα χαρτογραφικά στοιχεία εξετάζονται είτε μεμονωμένα είτε συνολικά, όπως και ο τρόπος αλληλεπίδρασης τους. Για πολλαπλά στοιχεία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέτρα πυκνότητας όπως ο αριθμός σημειακών, γραμμικών και επιφανειακών συμβόλων ανά μονάδα επιφάνειας και διάφορα μέτρα διασποράς. Για μεμονωμένα στοιχεία υπάρχουν μέτρα μήκους και σχήματος, εκτιμήσεις που θα καθορίσουν την αναπαράσταση κάθε συμβόλου στη νέα κλίμακα. Μέτρα απόστασης όπως οι ζώνες επιρροής μπορούν να εφαρμοστούν για την αποφυγή επικάλυψης μεταξύ συμβόλων, ενώ μέσω των μέτρων Gestalt εξετάζεται εάν και κατά πόσον είναι αντιληπτό το μήνυμα που μεταφέρει ο χάρτης. Τέλος, υπάρχουν και αφηρημένα μέτρα που μελετούν μεταξύ άλλων την επανάληψη, τη συμμετρία, την πολυπλοκότητα κ.α. χαρακτηριστικά διαφόρων κατανομών.

- Έλεγχος μετασχηματισμών. Η γενίκευση εφαρμόζεται μέσω συγκεκριμένων μετασχηματισμών-τελεστών εκ των οποίων κάθε ένας καλείται να αντιμετωπίσει ένα συγκεκριμένο πρόβλημα. Η σειρά εφαρμογής τους είναι μείζονος σημασίας, όπως και οι αλγόριθμοι που περιλαμβάνει ο κάθε ένας. Ακόμη, ίσως είναι απαραίτητος ο συνδυασμός τελεστών ή και η επαναχρησιμοποίηση ενός ή

περισσότερων. Οι αποφάσεις για αυτούς τους μετασχηματισμούς πρέπει να ελεγχθούν ως προς:

α) Την επιλογή του τελεστή γενίκευσης. Σύμφωνα με τους συγγραφείς πρόκειται για τη δυσκολότερη διαδικασία στην ψηφιακή γενίκευση. Ο σκοπός του χάρτη και το κοινό του θα καθορίσουν τη σπουδαιότητα των μεμονωμένων στοιχείων και άρα τη χρήση κάποιων τελεστών. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζουν οι σχέσεις μεταξύ των στοιχείων του χάρτη και η πολυπλοκότητά τους. Η συμφόρηση των χαρτογραφικών στοιχείων περιορίζει την αποτελεσματικότητα του χάρτη και συνεπώς θα επηρεάσει και την επιλογή συγκεκριμένων τελεστών γενίκευσης. Εξίσου σημαντική είναι και η διαθεσιμότητα και σταθερότητα των τελεστών της γενίκευσης όπως και των αλγορίθμων τους. Οι McMaster και Shea τονίζουν ακόμη ότι υπάρχει ανάγκη για τη μελέτη της συνδυαστικής φύσης των τελεστών.

β) Την επιλογή του αλγορίθμου. Ενώ η έρευνα στο αντικείμενο της γενίκευσης έχει εστιάσει ως επί το πλείστον στους αλγόριθμους απλοποίησης γραμμών, μόνο τα τελευταία χρόνια εξετάστηκαν πιο φλέγοντα θέματα όπως η σειρά εφαρμογής των αλγορίθμων και η επίδρασή τους στα αποτελέσματα γενίκευσης. Βέβαια, η ανάγκη για ανάπτυξη αλγορίθμων συνεχίζει να υπάρχει. Σημειώνεται, επίσης, πόσο περίπλοκη μπορεί να γίνει η εφαρμογή ενός τελεστή όταν απαιτείται η χρήση ίσως και τεσσάρων αλγορίθμων.

γ) Την επιλογή των παραμέτρων. Οι παράμετροι εισόδου για την εφαρμογή κάθε αλγορίθμου διαφοροποιούν τα αποτελέσματα ίσως περισσότερο και από τον τελεστή ή τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται. Δεν υπάρχουν όμως ακόμη εμπειρικές μελέτες για τον προσδιορισμό της ανοχής στους τελεστές γενίκευσης, με εξαίρεση τις ρουτίνες απλοποίησης και εξομάλυνσης γραμμών.

Αφού εξετάστηκε γιατί και πότε γενικεύουμε ένα χάρτη, αναλύεται πώς εφαρμόζεται η γενίκευση με συγκεκριμένους μετασχηματισμούς–τελεστές. Η ανάπτυξη των τελεστών γενίκευσης ξεκίνησε από τις χειρωνακτικές μεθόδους γενίκευσης και βασίστηκε αποκλειστικά σε μαθηματικές προσπάθειες. Οι συγγραφείς σημειώνουν στοιχεία και για τη γενίκευση πινακοποιημένων (raster) δεδομένων, αλλά οι τελεστές που παρουσιάζονται αφορούν τη γενίκευση διανυσματικών δεδομένων όπως άλλωστε και το μεγαλύτερο τμήμα της συγκεκριμένης μελέτης.

Οι τελεστές της γενίκευσης τροποποιούν τα χαρτογραφικά δεδομένα ή τη μέθοδο αναπαράστασή τους με γεωμετρικούς μετασχηματισμούς και μετασχηματισμούς ιδιοτήτων. Τα δύο είδη μετασχηματισμών δεν είναι μεταξύ τους ανεξάρτητα αλλά

αλληλοσυσχετιζόμενα. Για παράδειγμα, η συνένωση πολλών συμβόλων σε ένα απαιτεί και κατάλληλη ρύθμιση στην ταξινόμηση και στο συμβολισμό. Στα πλαίσια της ψηφιακής γενίκευσης, πρώτο βήμα είναι συνήθως η επιλογή από την αρχική βάση δεδομένων των αντικειμένων και των ιδιοτήτων τους που θα αναπαρασταθούν. Η επιλογή δεν αποτελεί τμήμα της γενίκευσης αυτής καθεαυτής, είναι όμως έννοιες στενά συνυφασμένες μεταξύ τους και η επιλογή θεωρείται απαραίτητο βήμα προεπεξεργασίας για τους μετέπειτα μετασχηματισμούς της γενίκευσης.

- Γεωμετρικοί μετασχηματισμοί: Σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται οι τελεστές που μεταβάλλουν την απεικόνιση των χαρτογραφικών δεδομένων από γεωμετρικής ή τοπολογικής πλευράς. Οι ιδιότητες που συνοδεύουν τα δεδομένα αγνοούνται τις περισσότερες φορές και εστιάζουμε τοπικά στην πληροφορία του παραγόμενου χάρτη. Η κλίμακα θα προσδιορίσει κατά κύριο λόγο την ποσότητα της πληροφορίας που θα απεικονιστεί και η μείωσή της επιβάλλει την αλλαγή στην παρουσίαση της πληροφορίας αυτής. Εφόσον μειώνεται ο διαθέσιμος χώρος για την απεικόνισή της, η χαρτογραφική πληροφορία θα πρέπει να μειωθεί όσον αφορά μεμονωμένα στοιχεία αλλά και αθροιστικά, ώστε να συμβαδίσει με τις ανάγκες της συγκεκριμένης κλίμακας. Παρουσιάζονται οι εξής δέκα γεωμετρικοί μετασχηματισμοί-τελεστές:

1) Απλοποίηση: αφορά γραμμικά σύμβολα και όρια επιφανειακών συμβόλων. Με τον τελεστή απλοποίησης, επιλέγεται υποσύνολο των σημείων που τα ορίζουν, οι συντεταγμένες x , y των οποίων παραμένουν αναλλοίωτες. Η γενικευμένη γραμμή θα πρέπει να είναι ακριβής σε σχήμα, θέση και χαρακτήρα και αυτό θα επιτευχθεί με την επιλογή αντιπροσωπευτικού αριθμού σημείων, ώστε να διατηρηθούν χαρακτηριστικά τμήματα της γραμμής και να απορριφθούν τα πλεονάζοντα.

2) Εξομάλυνση: εφαρμόζεται σε σημειακά και επιφανειακά σύμβολα με σκοπό να απομακρύνει μικρές διαταραχές των γραμμών και να συλλάβει τις σημαντικότερες κατευθύνσεις κάθε μιας. Τα σημεία που τις αποτελούν μετατίθενται έτσι ώστε η γενικευμένη γραμμή να έχει καλύτερη, αισθητικά, εμφάνιση. Ακόμη, επιλύει το πρόβλημα των αιχμηρών γωνιών που προκαλούν οι ψηφιαστές.

3) Συγχώνευση σημειακών συμβόλων: Όταν ο αριθμός ή η πυκνότητα όμοιων σημειακών συμβόλων δεν επιτρέπει τον συμβολισμό καθενός χωριστά στο γενικευμένο χάρτη, αλλά ο σκοπός του επιβάλλει την απεικόνιση τους, ο τελεστής τα μετασχηματίζει σε ένα επιφανειακό σύμβολο με ανάλογο συμβολισμό.

4) Συγχώνευση επιφανειακών συμβόλων: Αντίστοιχα με τη συγχώνευση σημειακών συμβόλων, τα επιφανειακά σύμβολα συγχωνεύονται σε ένα επιφανειακό, ώστε να διατηρηθεί κατά τη γενίκευση ο γενικός χαρακτήρας της περιοχής παρ' όλη τη μείωση της κλίμακας. Ως παράδειγμα αναφέρεται η συγχώνευση πολυάριθμων λιμνών και η απεικόνισή τους ως ένα επιφανειακό σύμβολο στην περίπτωση που η επιφάνεια της κάθε μιας είναι πολύ μικρή για να αναπαρασταθεί στο γενικευμένο χάρτη. Σημειώνεται επίσης ότι δεν υπάρχουν απόλυτοι κανόνες που καθορίζουν το επίπεδο λεπτομέρειας που οφείλει να παράγει ο τελεστής για κάθε κλίμακα.

5) Συγχώνευση γραμμικών συμβόλων: Ο τελεστής εφαρμόζεται σε δύο γραμμικά σύμβολα όταν η διαχωριστική τους απόσταση είναι μικρή στο γενικευμένο χάρτη και τις συνενώνει σε μία, η οποία βρίσκεται περίπου στο μέσον τους και είναι αντιπροσωπευτική και των δύο.

6) Μετάπτωση: Πρόκειται για συνήθη μετασχηματισμό της γενίκευσης και αφορά γραμμικά και επιφανειακά σύμβολα. Ο τελεστής έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια μίας τουλάχιστον διάστασης αυτών των συμβόλων, και έτσι τα επιφανειακά σύμβολα θα μετασχηματιστούν σε σημειακά ή γραμμικά και τα γραμμικά σε σημειακά. Παραδείγματα συμβόλων που πιθανόν να υποστούν μετάπτωση μπορεί να είναι αεροδρόμια, ποτάμια, λίμνες, κτίσματα κ.α. Η επιφανειακή ανοχή είναι συνήθως η παράμετρος που καθορίζει εάν το σύμβολο θα πρέπει να μετασχηματιστεί με αυτόν τον τελεστή.

7) Εκλέπτυνση: Ο τελεστής εφαρμόζεται σε σύμβολα με πολυάριθμα ή μικρά στοιχεία στην περίπτωση που ο σκοπός του χάρτη δεν επιβάλλει την πλήρη απεικόνισή τους. Αντ' αυτού, απεικονίζεται ένα επιλεκτικό τμήμα του συμβόλου, διατηρώντας τα στοιχεία αυτά που δημιουργούν τη γενική εντύπωση της κατανομής. Έτσι, εξασθενίζουν μεν τα αρχικά χαρακτηριστικά, διατηρείται όμως το γενικό τους μοτίβο.

8) Μεγέθυνση: Σε περίπτωση που το μέγεθος των σημειακών, γραμμικών ή επιφανειακών συμβόλων δεν είναι αρκετά μεγάλο στη συγκεκριμένη κλίμακα τα σύμβολα θα πρέπει να μεγεθυνθούν. Όμως, επειδή η μεγέθυνση οδηγεί πολλές φορές σε ασυμβατότητα ή επικάλυψη μεταξύ των συμβόλων, επιβάλλεται στη συνέχεια η εφαρμογή του τελεστή μετάθεσης.

9) Ενίσχυση: Πρόκειται για μεγέθυνση ή αλλαγή σχήματος σε τμήμα του συμβόλου προκειμένου να είναι αναγνωρίσιμο στην κλίμακα του γενικευμένου χάρτη. Δεν έχει ως στόχο την υπερβολή της σημασίας της οντότητας που απεικονίζει, αλλά την εξυπηρέτηση του συμβολισμού και αυτή είναι η διαφορά του τελεστή ενίσχυσης με τον τελεστή μεγέθυνσης.

10) Μετάθεση: Ο τελεστής καλείται να επιλύσει το πρόβλημα της ασυμβατότητας μεταξύ των συμβόλων του χάρτη, όπως για παράδειγμα την επικάλυψη ή σύμπτωση τους. Με τη μετατόπιση των συμβόλων από τις πραγματικές οριζοντιογραφικές τους θέσεις μπορεί στη συνέχεια να εφαρμοστεί ο συμβολισμός παρ' όλους τους γραφικούς περιορισμούς του χάρτη μειωμένης κλίμακας.

▪ Μετασχηματισμοί ιδιοτήτων: Πρόκειται για μετασχηματισμούς που αφορούν τις ιδιότητες οι οποίες συνοδεύουν κάθε οντότητα και τους όποιους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς συνεπάγονται οι αλλαγές στην πληροφορία ιδιοτήτων. Οι μετασχηματισμοί ιδιοτήτων είναι:

1) Ταξινόμηση: Η αδυναμία καταγραφής και συμβολισμού στο χάρτη κάθε τιμής που εκφράζει μια ιδιότητα, επιβάλλει την κατηγοριοποίηση των στοιχείων του σε ομάδες οι οποίες μοιράζονται όμοιες ή παρόμοιες ιδιότητες. Αυτή ή ομαδοποίηση περιλαμβάνει συνήθως τη συσσώρευση τιμών δεδομένων βάσει της εγγύτητάς τους με άλλες τιμές σε μια νέα πλέον σειρά αριθμών.

2) Συμβολισμός: Σύμφωνα με τον Robinson, η απόδοση συμβόλων στις οντότητες του χάρτη που πηγάζουν από την ταξινόμηση και τα χαρακτηριστικά των οντοτήτων κάνει ορατή τη διαδικασία της γενίκευσης. Οι οπτικές μεταβλητές σχήμα, μέγεθος, απόχρωση, προσανατολισμός, ένταση, χρησιμοποιούνται για να τροποποιήσουν τα σύμβολα ώστε η γραφική τους απεικόνιση να έχει νόημα στην κλίμακα του χάρτη. Η γενίκευση με συμβολισμό είτε αλλάζει την κλίμακα μέτρησης (ονομαστική, τάξης, διαστήματος, αναλογική) είτε αλλάζει τον τύπο δεδομένων (σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά) ή και τα δύο. Στην πρώτη περίπτωση, η διαδικασία της γενίκευσης μπορεί να εφαρμοστεί μόνο από αναλογική σε διαστήματος, ονομαστική ή τάξης, από κλίμακα διαστήματος σε τάξης ή ονομαστική και από κλίμακα τάξης σε ονομαστική κλίμακα. Γενίκευση κατά την αντίθετη κατεύθυνση δεν είναι δυνατή. Στη δεύτερη περίπτωση (αλλαγή στον τύπο δεδομένων), αλλαγές στη διάσταση μεταξύ ενός στοιχείου και της απεικόνισής του στο χάρτη, επιτρέπουν στο χαρτογράφο να γενικεύσει το χάρτη προς όφελος της οπτικής αναγνωσιμότητας ή απλά να κάνει τα σύμβολα πιο συμπαγή σε μειωμένες κλίμακες. Συνολικά, ο καθορισμός του επιπέδου γενίκευσης για κάθε ένα από τα δύο αυτά στοιχεία, σε συνδυασμό με την επιλογή των οπτικών μεταβλητών για την κωδικοποίηση του σετ δεδομένων αποτελούν την ουσία του χαρτογραφικού συμβολισμού.

2.3. ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ ΣΕ 3D ΧΑΡΤΕΣ

2.3.1. Ορισμοί – χαρακτηριστικά 3D χαρτών

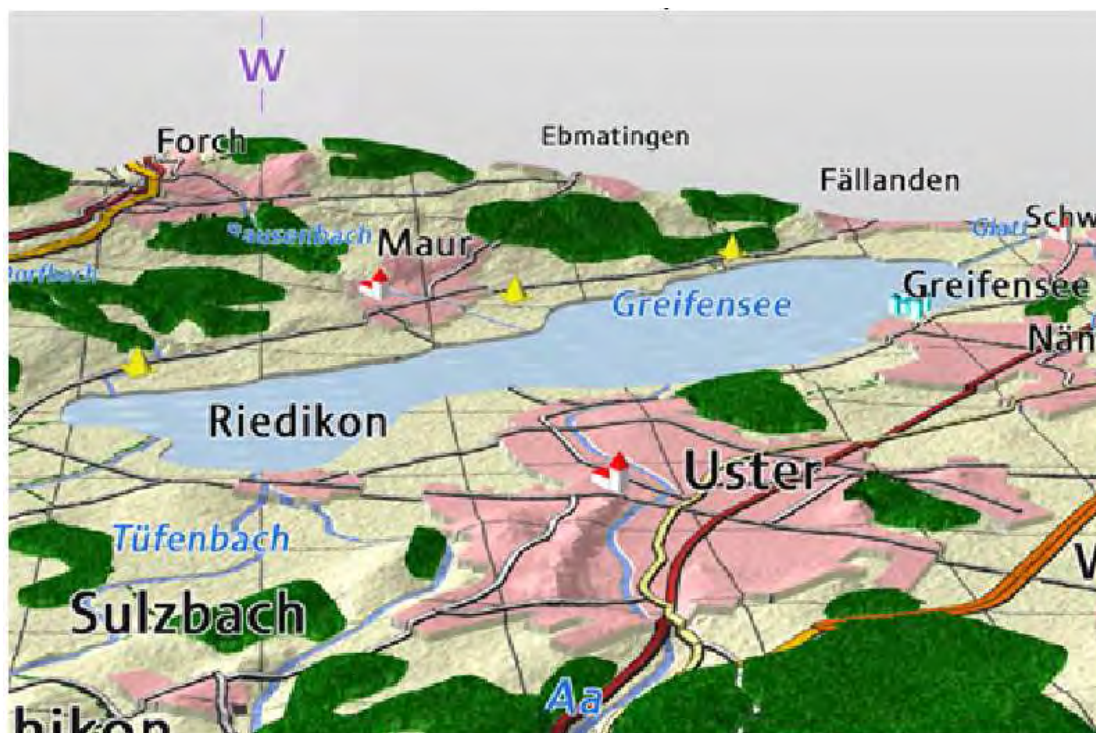
Οι McMaster και Shea (1992, 17), αναφέρουν ότι: «...Λόγω της ταχείας εξέλιξης στην ψηφιακή χαρτογραφία και στα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) είναι αναγκαίο να επανεξετάσουμε και να επαναπροσδιορίσουμε τη διαδικασία της γενίκευσης σε ένα αυτοματοποιημένο ή ημι-αυτοποιημένο περιβάλλον...». Μία δεκαπενταετία σχεδόν αργότερα, η ανάγκη για επαναπροσδιορισμό της διαδικασίας της γενίκευσης συνεχίζει να υφίσταται. Στην ταχεία εξέλιξη της χαρτογραφίας και των ΣΓΠ συμπεριλαμβάνεται πλέον η εμφάνιση των τρισδιάστατων χαρτών.

Λόγω της έλλειψης επίσημης θεωρίας, αρχών και ορισμών για τις τρισδιάστατες απεικονίσεις (Haerberling 1999, Petrovic 2003), διάφοροι συγγραφείς εκφράζουν τους προβληματισμούς τους επί του θέματος. Ο Haerberling (2002,2) σημειώνει ότι ακόμα και αν ο όρος «τρειςδιάστατος χάρτης» δεν επεξηγείται στη χαρτογραφική βιβλιογραφία, έχει νόημα να χρησιμοποιείται για τους εξής λόγους: «...Τρισδιάστατος γιατί αντιλαμβανόμαστε το τοπίο με το ανθρώπινο σύστημα αντίληψης με τρισδιάστατο προοπτικό τρόπο ακόμα και όταν απεικονίζεται σε δισδιάστατα μέσα, και 'χάρτης', γιατί το προϊόν ενοποιεί και απεικονίζει χωρικά φαινόμενα. Παρ' όλο που έχει χαρτογραφικά χαρακτηριστικά, ο τρισδιάστατος χάρτης πρέπει να αντιμετωπίζεται ως απεικόνιση σχετική με χάρτη και όχι ως χάρτης με την κλασσική έννοια». Υποστηρίζει, επίσης, ότι η θεωρία για τους τρισδιάστατους χάρτες θα πρέπει να παρέχει κατευθυντήριες γραμμές αλλά όχι αυστηρούς κανόνες οι οποίοι θα περιορίσουν την αίσθηση δημιουργίας του χαρτογράφου (Haerberling 2002).

Αντίστοιχα ο Petrovic υποστηρίζει ότι μια απεικόνιση μπορεί να αποκαλείται χάρτης ανεξάρτητα από το μέσο που τον απεικονίζει, το είδος των δεδομένων του ή τις διαδικασίες παραγωγής του, με την προϋπόθεση όμως ότι ικανοποιεί συγκεκριμένες απαιτήσεις οι οποίες ισχύουν και για τους παραδοσιακούς δισδιάστατους χάρτες. Η τρισδιάστατη απεικόνιση τοπίου, συνεχίζει, μπορεί να ονομάζεται χάρτης μόνο εάν ισχύουν τα εξής (Petrovic 2003, 1922):

- «Κάθε αντικείμενο που απεικονίζεται καθορίζεται από τη γεωγραφική του θέση σε επιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων και ο χρήστης πρέπει να έχει πρόσβαση στη θέση του.

- Αντικείμενα και φαινόμενα προβάλλονται από την επιφάνεια της γης στο επιλεγμένο σύστημα συντεταγμένων σύμφωνα με ακριβείς χαρτογραφικές προβολές που βεβαιώνουν τις παραμορφώσεις στα μεγέθη.
- Τα χαρτογραφικά σύμβολα ως ‘αλφάβητο’ διασφαλίζουν την επικοινωνία και τη μεταφορά πληροφορίας από το χαρτογράφο στο χρήστη.
- Οι αρχές της χαρτογραφικής γενίκευσης καθορίζουν το επίπεδο διατήρησης της λεπτομέρειας στο χάρτη...».



Εικόνα 5: Τοπογραφικός 3D χάρτης περιοχής της Ελβετίας που απεικονίζει δομημένες περιοχές, δάση, οδικό και υδρολογικό δίκτυο. Ο χάρτης διαθέτει επίσης ονοματολογία, κλίμακα και στοιχεία προσανατολισμού. Κατασκευάστηκε από το Ινστιτούτο Χαρτογραφίας της Ζυρίχης. (Πηγή: https://www.rdb.ethz.ch/projects/project_pdf.php?proj_id=6042)

Τονίζεται, επίσης, ότι λανθασμένα ορίζεται ως 3D χάρτης κάθε μαθηματικά ορισμένη, τρισδιάστατη παρουσίαση τοπίου με όλα τα αντικείμενα και φαινόμενα που απεικονίζει, μια φωτορεαλιστική δηλαδή απεικόνιση. Τέτοιου είδους απεικονίσεις, είναι μεν λογικό να διευκολύνουν τους χρήστες τους εφόσον αντιγράφουν την πραγματικότητα γιατί δεν χρειάζονται συγκεκριμένες γνώσεις για να τις διαβάσουν, αλλά δεν είναι πάντα αποτελεσματικές (Petrovic 2003). Με την άποψη αυτή συμφωνούν και άλλοι συγγραφείς (Terribilini 1999, Meng 2002). Για τους ίδιους λόγους που μια αεροφωτογραφία δεν μπορεί να αντικαταστήσει ένα χάρτη, είναι απαραίτητο οι 3D χάρτες να έχουν τα προηγούμενα τέσσερα χαρακτηριστικά, ενώ οι φωτορεαλιστικές παρουσιάσεις ενδείκνυνται μόνο για μεγάλες κλίμακες και για

κοντινά αντικείμενα (Petrovic 2003). Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται ένας 3D χάρτης που συνδυάζει τα τέσσερα αυτά χαρακτηριστικά.

«Ο τρισδιάστατος χάρτης», καταλήγει, «είναι χαρτογραφική παρουσίαση τοπίου σε προοπτική προβολή, όπου τα τοπογραφικά αντικείμενα και φαινόμενα παρουσιάζονται με χαρτογραφικά σύμβολα που επεξηγούνται σε ένα υπόμνημα»¹ (Petrovic 2003, 1922). Ο συγγραφέας διαχωρίζει ακόμη τα μοντέλα δεδομένων όπου το υψόμετρο συνοδεύει κάθε σημείο ως ιδιότητα και αποκαλούνται 2,5D από τα «πραγματικά» τρισδιάστατα μοντέλα όπου κάθε σημείο περιγράφεται με ένα σύνολο τριών συντεταγμένων x, y, z (Petrovic 2003).

Στους χάρτες 3D συμπεριλαμβάνονται και τρισδιάστατες απεικονίσεις οι οποίες οπτικοποιούνται με ειδικό εξοπλισμό εμβάπτισης (Haerberling 2002). Η ανάλυσή τους ξεφεύγει από το σκοπό της διπλωματικής εργασίας και η ακόλουθη θεωρία δεν τις περιλαμβάνει. Για λόγους σαφήνειας αναφέρεται ότι θα ασχοληθούμε με τα λεγόμενα web-based, non-immersive Geospatial Virtual Environments (GeoVE), δηλαδή Εικονικά Περιβάλλοντα που απεικονίζουν χωρικά φαινόμενα στην οθόνη ενός υπολογιστή, όπου κατάλληλο λογισμικό παρέχει στο χρήστη τη δυνατότητα επιλογής του σημείου παρατήρησης². Εκτός αυτής της χρήσης τους, είναι επίσης δυνατή η εκτύπωση επιλεγμένης όψης του 3D χάρτη σε χαρτί και η χρήση του ως ένα παραδοσιακό προοπτικό ή κανονικό χάρτη 2D (Petrovic 2003), ή ακόμη και η τρισδιάστατη εκτύπωσή τους με ειδικούς εκτυπωτές (3d plotters). Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται κάποια από τα χαρακτηριστικά των χαρτογραφικών απεικονίσεων σε δύο και τρεις διαστάσεις (Meng 2002).

Οι δυνατότητες, τα πλεονεκτήματα αλλά και τα προβλήματα των 3D χαρτών καταγράφονται επίσης στη διεθνή βιβλιογραφία. «... (Οι χάρτες 3D) επιτρέπουν στους χρήστες καλύτερη ερμηνεία του εδάφους ως αποτέλεσμα μιας πιο αποτελεσματικής και ολοκληρωμένης σύλληψης των χωρικών δεδομένων...Το μεγαλύτερο όφελος των χαρτών 3D συγκριτικά με τους χάρτες 2D είναι μια πιο ρεαλιστική και φιλική προς τον χρήστη παρουσίαση του υψομέτρου. Εκτός αυτού, οι χάρτες 3D προσφέρουν πολλές νέες δυνατότητες χρήσης: προσομοιώσεις κίνησης

¹ Σύμφωνα με τη Meng η προβολή μπορεί να είναι και παράλληλη (βλ. Εδάφιο 2.3.1.1) και το υπόμνημα δεν είναι πάντα απαραίτητο (βλ. Πίνακα 1)

² Για περισσότερες πληροφορίες βλ. MacEachren *et al.* 1999, Cartographic Issues in the design and application of geospatial virtual environments.

<http://www.geovista.psu.edu/publications/ica/ica99/>

σε πραγματικό χρόνο, προσομοιώσεις τοποθέτησης νέων αντικειμένων στο τοπίο, αναλύσεις δυναμικών φαινομένων κλπ.» (Petrovic 2003).

Πίνακας 1: Σύγκριση του δισδιάστατου χάρτη με την τρισδιάστατη απεικόνιση (Πηγή: Meng 2002, 11-12)

ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΣ ΧΑΡΤΗΣ	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ
Απεικονίζονται τομές- προβολές του τρισδιάστατου αντικειμένου	Απεικονίζονται τρισδιάστατες επιφάνειες
Παρουσιάζει «αφύσικη» κάτοψη- διάγραμμα χωρίς ή με μικρή αίσθηση της τρίτης διάστασης	Παρουσιάζει φυσική θέαση με αίσθηση της τρίτης διάστασης
Παρέχει σχετικά αντικειμενική συνολική εικόνα και προσανατολισμό	Καθιστά δύσκολο τον προσανατολισμό και την εκτίμηση της απόστασης
Επιτρέπει μεγάλη ελευθερία στη σχεδίαση	Επιτρέπει μεγάλο βαθμό διείσδυσης
Απαιτεί υπόμνημα	Δεν χρειάζεται πάντα υπόμνημα
Απαιτεί μεγάλη πνευματική προσπάθεια για την ερμηνεία των συμβόλων	Δεν απαιτεί μεγάλη προσπάθεια για την κατανόησή της

Με την άποψη αυτή συμφωνεί και ο Terribilini ο οποίος υποστηρίζει επίσης ότι οι τρισδιάστατες απεικονίσεις στα πλαίσια της χαρτογραφίας θα βελτιώσουν σημαντικά την ποιότητα των χαρτογραφικών προϊόντων (Terribilini 1999).

Βέβαια, οι 3D χάρτες παρουσιάζουν και προβλήματα όπως η δυσκολία στον προσανατολισμό του χρήστη (βλ Πίνακα 1). Άλλα μειονεκτήματά τους είναι τα εξής:

- Η αδυναμία μέτρησης της απόστασης λόγω των πολλαπλών κλιμάκων που συνυπάρχουν
- Η αλλοίωση της γεωμετρίας του χάρτη εξαιτίας της προοπτικής απεικόνισης, και
- Η απόκρυψη χαρτογραφικών στοιχείων ή σημείων ενδιαφέροντος από το έδαφος ή άλλα χαρτογραφικά στοιχεία (Haerberling 1999).

Επειδή η κλίμακα και η προοπτική απεικόνιση είναι έννοιες στενά συνυφασμένες στους 3D χάρτες, ακολουθεί περαιτέρω ανάλυσή τους στο εδάφιο 2.3.1.1.

Εκτός από την έλλειψη επίσημης θεωρίας για τις τρισδιάστατες απεικονίσεις η οποία προαναφέρθηκε, η άγνοια για τις ανάγκες των χρηστών αποτελεί ένα επιπλέον πρόβλημα προς επίλυση (Haerberling 1999).

Εξαιτίας όμως των ισχυρών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν, οι τρισδιάστατες απεικονίσεις έχουν μεγάλο πλήθος εφαρμογών. Με τέτοιου είδους απεικονίσεις μπορούν να αναπαρασταθούν τοπογραφικά και θεματικά σελτ δεδομένων που αφορούν αμέτρητα φυσικά, κοινωνικά και οικονομικά φαινόμενα (Haeberling 2002). Ειδικότερα για τους χάρτες πόλεων αναφέρεται η χρήση τους στον αστικό σχεδιασμό, σε δίκτυα τηλεπικοινωνιών αλλά και στην καταγραφή ιδιοκτησιακών συστημάτων (Grogger *et al.* 2004). Άλλες πιθανές χρήσεις τους είναι η περιήγηση με αυτοκίνητο, ο εικονικός τουρισμός, η ανταπόκριση σε επείγοντα περιστατικά, κλπ (Kada 2002). Οι εφαρμογές τους επεκτείνονται και σε περιβαλλοντικά θέματα, τη διαφήμιση, τις μεταφορές αλλά και την εκπαίδευση (Bandrona 2003). Τα εικονικά περιβάλλοντα γενικότερα χρησιμοποιούνται στην ψυχαγωγία, στην ιατρική, στην ψυχολογία και στις τέχνες (Frery *et al.* 2004).

Από τα προηγούμενα συμπεραίνουμε ότι οι 3D χάρτες αποτελούν πλέον σημαντικό τμήμα της σύγχρονης χαρτογραφίας και σε συνδυασμό με τη μεγάλη διαθεσιμότητα των γεω-δεδομένων σήμερα και των ψηφιακών μοντέλων εδάφους ειδικότερα προβλέπεται ακόμη μεγαλύτερη χρήση τους στο μέλλον (Haeberling 2002).

2.3.1.1. Επίπεδα λεπτομέρειας

Γνωρίζουμε ότι σε έναν παραδοσιακό χάρτη η μετάβαση από τον τρισδιάστατο χώρο (ελλειψοειδές εκ περιστροφής, σφαίρα) (X,Y,Z) στο επίπεδο του χάρτη (x,y) επιτυγχάνεται μέσω των χαρτογραφικών προβολών-απεικονίσεων και συνοδεύεται πάντα από παραμορφώσεις. Σε έναν τρισδιάστατο χάρτη ο οποίος διαθέτει και τις τρεις συντεταγμένες (X',Y',Z') ο προηγούμενος μετασχηματισμός δεν έχει πάντα νόημα. Βέβαια, κάποιος μετασχηματισμός είναι απαραίτητος προκειμένου οι συντεταγμένες να προβληθούν στο επίπεδο (την οθόνη του υπολογιστή), ο οποίος επίσης προκαλεί παραμορφώσεις στα μεγέθη ανάλογα με το είδος του.

Οι προβολές από τον τρισδιάστατο χώρο στο επίπεδο διακρίνονται σε παράλληλες και προοπτικές (βλ. Σχήμα 3). Στις παράλληλες προβολές το κέντρο προβολής βρίσκεται σε άπειρη απόσταση από το επίπεδο προβολής με αποτέλεσμα οι γραμμές προβολής να είναι μεταξύ τους παράλληλες. Ανάλογα με τη γωνία που σχηματίζουν οι γραμμές προβολής και το επίπεδο προβολής, οι παράλληλες

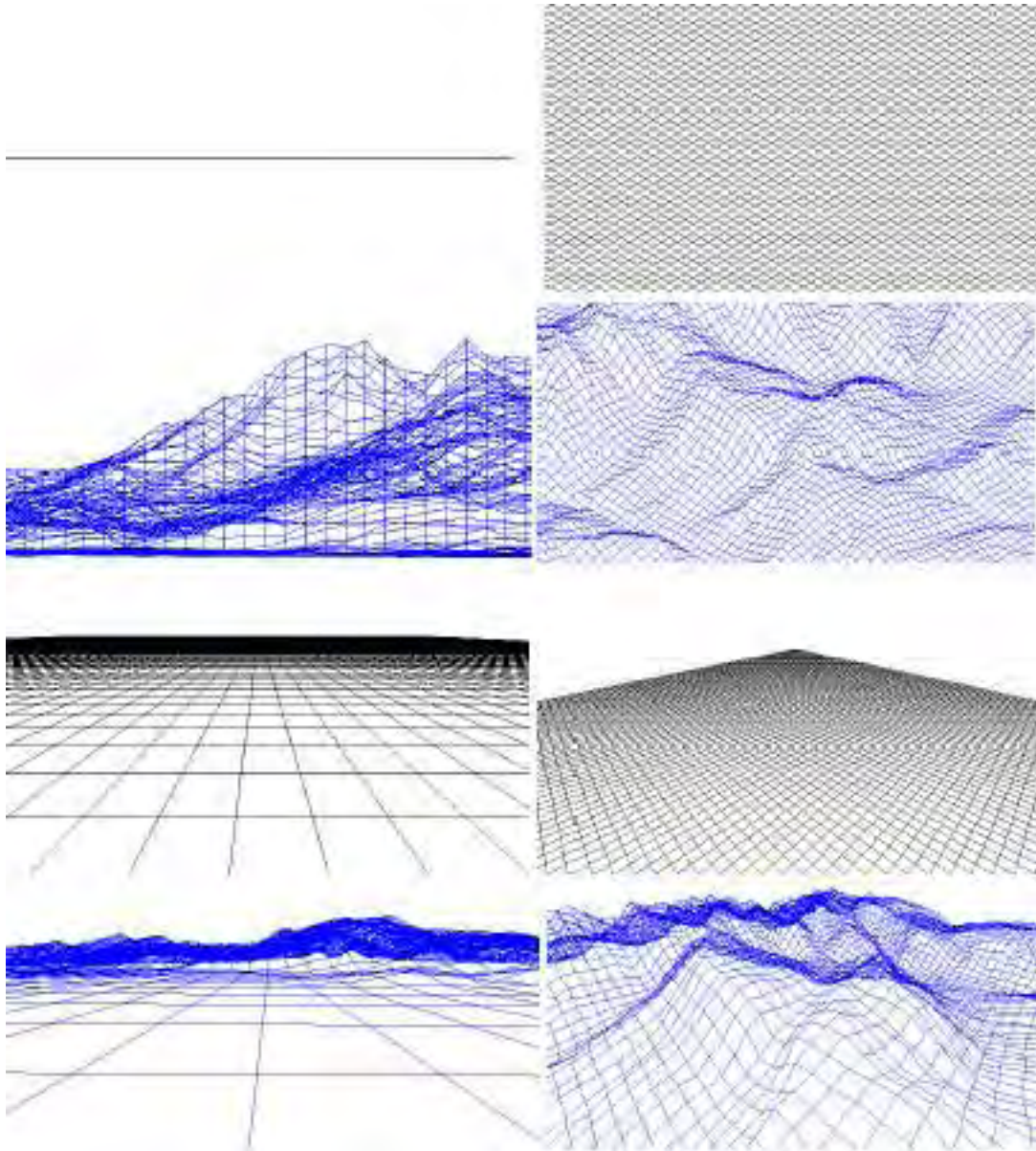
προβολές διακρίνονται σε ορθογραφικές και πλάγιες ή κλινογραφικές ($=90^\circ$ και $\neq 90^\circ$).



Σχήμα 3: Διάκριση των προβολών στους 3D χάρτες.

Χαρακτηριστικό των παράλληλων προβολών είναι ότι διατηρούν το μέγεθος των αντικειμένων ανεξαρτήτως της απόστασής τους από το σημείο παρατήρησης, με άλλα λόγια η κλίμακα είναι ενιαία σε όλη την απεικόνιση. Παρόλο που δεν διατηρούνται οι αποστάσεις σε όλα τα είδη των προβολών, η παραλληλία των γραμμών προβολής έχει ως αποτέλεσμα την σχετική αναλογία των διαστάσεων κατά μήκος κάποιου βασικού άξονα και συνολικά μικρότερες παραμορφώσεις (βλ. Εικόνα 6). Για τους λόγους αυτούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι παράλληλες προβολές στους 3D χάρτες (Meng 2002). Σε αυτή την περίπτωση, εφόσον η κλίμακα είναι ενιαία σε όλη την απεικόνιση, η γενίκευση δεν είναι απαραίτητη για την οπτικοποίηση του χάρτη. Στην πλειονότητα όμως της βιβλιογραφίας, όταν μιλάμε για 3D χάρτη, αναφερόμαστε σε προοπτική προβολή (Terribilini 1999, Haerberling 2002, Petrovic 2003) (βλ. Εικόνα 6).

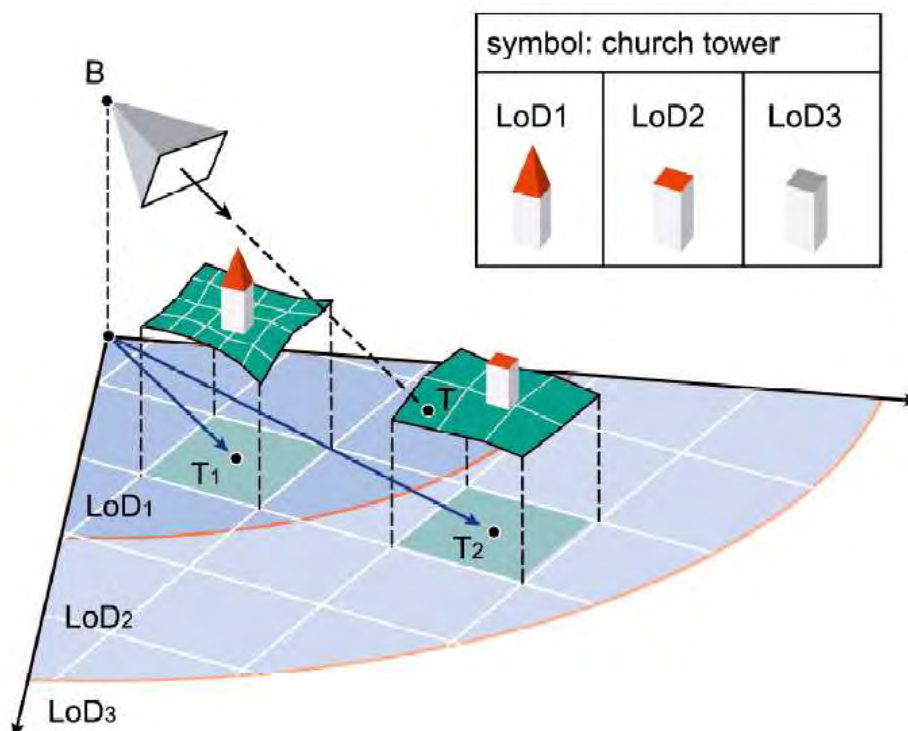
Όπως σημειώνει ο Petrovic, σε μια προοπτική προβολή, λόγω της περιορισμένης ανάλυσης των μέσων (οθόνης) και των ικανοτήτων της ανθρώπινης αντίληψης, τα μακρινά αντικείμενα δεν έχουν ευκρίνεια και άρα δεν μπορούν να ερμηνευθούν και να αναγνωριστούν επιτυχώς (Petrovic 2003).



Εικόνα 6: Στους χάρτες 3D χρησιμοποιούνται παράλληλες (επάνω) και -κυρίως- προοπτικές προβολές (κάτω) (με μαύρο για μηδενικό υψόμετρο, με μπλε για ανάγλυφο). Από τον κάναβο βλέπουμε ότι στις παράλληλες προβολές η κλίμακα είναι ενιαία, ενώ στις προοπτικές ποικίλλει ανάλογα με την απόσταση αντικειμένου-παρατηρητή. (Πηγή: Petrovic 2003, 1921 - μετά από προσαρμογή)

Η θέαση του τρισδιάστατου χάρτη από συγκεκριμένο σημείο παρατήρησης συνεπάγεται διαφορετικές αποστάσεις από κάθε σημείο του χάρτη και έτσι δημιουργείται η ανάγκη για γενίκευση των χαρτογραφικών αντικειμένων που βρίσκονται μακριά από τον παρατηρητή. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η απόσταση τόσο μεγαλύτερη είναι και η γενίκευση που πρέπει να υποστούν τα συγκεκριμένα χαρτογραφικά στοιχεία. «...Εφόσον δεν μπορούμε να εκτελέσουμε γραμμική μετάβαση (στην κλίμακα), πρέπει να καταλήξουμε σε περιορισμένο αριθμό διακριτών βημάτων με διαφορετικά χαρτογραφικά σύμβολα για το ίδιο είδος αντικειμένων,

παρομοίως με τα χαρτογραφικά σύμβολα για 2D χάρτες σε διαφορετικές κλίμακες. Συνήθως τα αποκαλούμε Επίπεδα Λεπτομέρειας (Levels of Detail – LoD)» (Petrovic 2003, 1923) (βλ. Εικόνα 7). Ο Petrovic προσθέτει ότι στη γενίκευση των εκάστοτε Επιπέδων Λεπτομέρειας πρέπει να γίνεται μελέτη ανάλογα με τη σπουδαιότητα των χαρτογραφικών δεδομένων και ανάλογα με το είδος της χαρτογραφικής παρουσίασης (Petrovic 2003).



Εικόνα 7: Αρχή των Επιπέδων Λεπτομέρειας (L.o.D.) στους 3D χάρτες. Η χαρτογραφική γενίκευση είναι αναγκαία λόγω της διαφορετικής απόστασης των αντικειμένων από το σημείο παρατήρησης B, η οποία συνεπάγεται διαφορετικές κλίμακες στην ίδια απεικόνιση. (Πηγή: Haeblerling 2002, 8)

Η αρχή των Επιπέδων Λεπτομέρειας (ΕΛ) προέρχεται από τα Γραφικά Η/Υ (Computer Graphics) και δημιουργήθηκε καθαρά για πρακτικούς λόγους. Το μεγάλο μέγεθος των αρχείων που δημιουργούνται – μια τρισδιάστατη απεικόνιση μπορεί να περιλαμβάνει εκατοντάδες χιλιάδες επιφάνειες– όπως και η γραφική απόδοση όλων των τρισδιάστατων αντικειμένων επιβαρύνουν σε μεγάλο βαθμό τα υπολογιστικά συστήματα. Η πληροφορία μειώνεται με διάφορους τρόπους:

- Μπορεί να αφαιρεθεί τμήμα του μοντέλου με βάση κάποια κριτήρια, όπως για παράδειγμα να απαλειφθούν αντικείμενα πίσω από τον παρατηρητή ή αντικείμενα που βρίσκονται πίσω από κάποια άλλα και δεν είναι ορατά από το συγκεκριμένο σημείο παρατήρησης.

- Μπορεί να αφαιρεθεί πληροφορία που δεν μπορεί να αντιληφθεί ο χρήστης, ανάλογα με το βάθος πεδίου και την εστίαση του ανθρώπινου οφθαλμού..
- Μπορεί επίσης να αφαιρεθεί λεπτομέρεια την οποία το σύστημα δεν μπορεί να αποδώσει γραφικά. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν την απόσταση αντικειμένου-σημείου παρατήρησης και το μέγεθος των αντικειμένων προκειμένου να τα αφαιρέσουν (Constantinescu 2000).

Βλέπουμε ότι η τελευταία κατηγορία Επιπέδων Λεπτομέρειας – η οποία βασίζεται στην απόσταση σημείου παρατήρησης-αντικειμένου – είναι συνυφασμένη με την κλίμακα (οπτικοποίησης) για αυτό και προτιμάται για χαρτογραφικούς σκοπούς.

Τα επίπεδα λεπτομέρειας μπορεί να είναι στατικά -συνήθως είναι τρία- ή δυναμικά (Constantinescu 2000). «Η αρχή των (στατικών) Επιπέδων Λεπτομέρειας παρέχει το μηχανισμό για την παρουσίαση της πληροφορίας σε επίπεδο επαρκούς ανάλυσης, όπου υπολογίζονται και αποθηκεύονται αρκετά μοντέλα με διαρκώς μεγαλύτερη απλοποίηση ανάλογα με την κλίμακα οπτικοποίησης (απόσταση παρατηρητή - αντικειμένων) ... επιλέγεται και χρησιμοποιείται κάθε φορά το κατάλληλο μοντέλο» (Thiemann 2002, 2).

Τα δυναμικά Επίπεδα Λεπτομέρειας χρησιμοποιούνται για πλοήγηση σε τρισδιάστατο μοντέλο, όπου απαιτείται αυτόματη παραγωγή ΕΛ σε πραγματικό χρόνο από κάθε σημείο παρατήρησης. Είναι προφανές ότι η παραγωγή δυναμικών ΕΛ είναι και η πιο επιβαρυντική για τα υπολογιστικά συστήματα (Constantinescu 2000).

Συζητάμε λοιπόν για Επίπεδα Λεπτομέρειας που βασίζονται στην απόσταση αντικειμένου-παρατηρητή και όπου η συνύπαρξη διαφορετικών κλιμάκων (οπτικοποίησης) απαιτεί την εφαρμογή χαρτογραφικής γενίκευσης στο 3D χάρτη.

Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται σύγκριση της γενίκευσης σε δύο και τρεις διαστάσεις (Meng 2002).

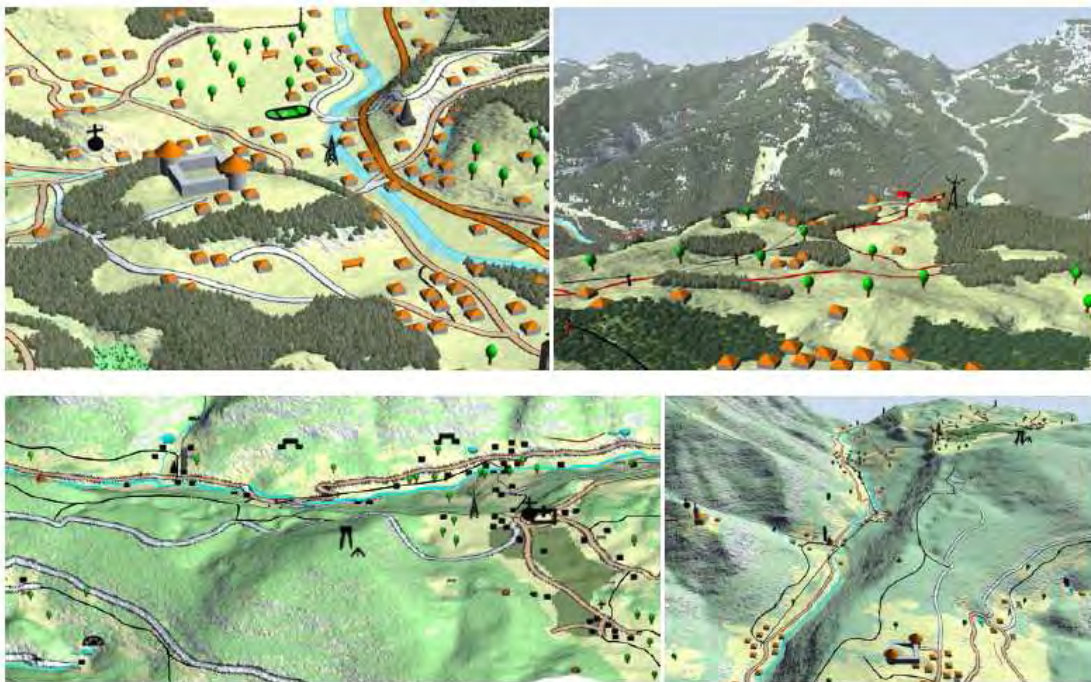
Πίνακας 2: Ορισμένες ομοιότητες και διαφορές της γενίκευσης σε δύο και τρεις διαστάσεις
(Πηγή: Meng 2002, 13-14).

ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ ΣΕ ΧΑΡΤΗ 2D	ΓΕΝΙΚΕΥΣΗ ΣΕ ΧΑΡΤΗ 3D
Το ΕΛ καθορίζεται από την κλίμακα του χάρτη ή/και τη θεματική πληροφορία	Το ΕΛ καθορίζεται βασικά από την απόσταση και το ύψος του σημείου παρατήρησης
Η γραφική ασυνέχεια μεταξύ κλιμάκων είναι αναπόφευκτη	Η γραφική ασυνέχεια κατά την πλοήγηση είναι ανεπιθύμητη
Η γραφική συνέχεια στην ίδια απεικόνιση απαιτείται	Η γραφική συνέχεια στην ίδια απεικόνιση απαιτείται
Δεν αναμένεται «φυσική» θέαση	Αναμένεται «φυσική» θέαση

2.3.2. Ανασκόπηση της τρέχουσας έρευνας

2.3.2.1. Χαρτογραφική Σχεδίαση στους 3D χάρτες (Petrovic 2003)

Ο Petrovic -σε δημοσιευμένο άρθρο του στο οποίο διατυπώνει και αρκετά θεωρητικά στοιχεία και αρχές των τρισδιάστατων χαρτογραφικών απεικονίσεων- παρουσιάζει έναν τρισδιάστατο τοπογραφικό χάρτη περιοχής της Σλοβενίας χρησιμοποιώντας 54 διαφορετικούς τύπους συμβόλων για τρία επίπεδα λεπτομέρειας (βλ. Εικόνα 8).



Εικόνα 8: 3D χάρτης – Εφαρμογή για περιοχή της Σλοβενίας. (Πηγή: Petrovic 2003, 1924)

Χρησιμοποίησε σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά και ογκομετρικά σύμβολα για την απεικόνιση των οντοτήτων στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής. Τα σύμβολα που κατασκεύασε αποτελούνται από απλά γεωμετρικά σώματα, με σταθερά μεγέθη και σχήματα για τον επιλεγμένο τύπο αντικειμένων και για το επιλεγμένο επίπεδο λεπτομέρειας. Υποστηρίζει ότι «...Κάποια αντικείμενα που μοιάζουν σημειακά, ειδικά φυσικά αντικείμενα όπως δέντρα, θάμνοι, καταρράκτες κλπ απεικονίζονται καλύτερα με τυπικά ρεαλιστικά σημειακά 3D σύμβολα. Αντικείμενα με μία δεσπόζουσα διάσταση και κυρίως σταθερές τις άλλες διαστάσεις όπως δρόμοι, σιδηροδρομικές γραμμές, γραμμές ενέργειας, σωλήνες καυσίμων, μικρά ρεύματα, φράχτες κλπ απεικονίζονται συνήθως ως γραμμικά 3D σύμβολα. Όταν τα αντικείμενα «αναρτώνται» πάνω στο ανάγλυφο (ρέματα, μονοπάτια) το υψόμετρο του συγκεκριμένου σημείου είναι το ίδιο με το υψόμετρο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και συνεπώς η τρίτη διάσταση δεν είναι απαραίτητη. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα γραμμικά αντικείμενα δεν βρίσκονται ακριβώς πάνω στο έδαφος (γέφυρες, τούνελ, τηλεφερίκ, γραμμές ενέργειας) και τα υψομετρικά δεδομένα είναι απαραίτητα για κάθε σημείο. Επιφανειακά 3D σύμβολα μπορούν να χρησιμοποιούνται για αντικείμενα των οποίων μία μόνο διάσταση (συχνά το ύψος) είναι κυρίως σταθερή. Τέτοια αντικείμενα μπορεί να είναι δάση, δενδρόκηποι ή ακόμη και χιονισμένες επιφάνειες. Επιφανειακά 3D σύμβολα μπορούν να κατασκευαστούν ως συμπαγή στερεά σώματα ή συνθηθέστερα ως δίκτυο σημείων με διαφορετική πυκνότητα. Η τελευταία κατηγορία είναι τα ογκομετρικά 3D σύμβολα, όπου κάθε μεμονωμένο αντικείμενο παρουσιάζεται με τις ακριβείς πραγματικές του διαστάσεις και στους τρεις άξονες συντεταγμένων. Τυπικά παραδείγματα είναι τα μεγάλα και σημαντικά (κυρίως τεχνητά) αντικείμενα και ακόμη υδάτινες εκτάσεις, όπως λίμνες, θάλασσα και μεγάλα ποτάμια...»(Petrovic 2003, p. 1923).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει, επίσης, η πρότασή του για τη χρήση των οπτικών μεταβλητών (απόχρωση, σχήμα, υφή, κατεύθυνση, μέγεθος και φωτεινότητα) στους τρισδιάστατους χάρτες. Εκτός από τη χρήση τους για την κατασκευή των τρισδιάστατων συμβόλων, χρησιμοποιεί τις οπτικές μεταβλητές για να απεικονίσει πιο αποτελεσματικά τα γενικευμένα σύμβολα του τρισδιάστατου χάρτη. Για τα κοντινά αντικείμενα που είναι ευκρινώς ορατά και μεγαλύτερα από τα απομακρυσμένα προτείνει αρκετά ρεαλιστικά σύμβολα, φωτεινά, κατασκευασμένα με ακανόνιστα σχήματα και λεπτομέρειες. Για απομακρυσμένα αντικείμενα, προτείνει απλοποιημένα σύμβολα με λιγότερη λεπτομέρεια στη γεωμετρία αλλά και σκουρότερες αποχρώσεις (Petrovic 2003) (βλ. Εικόνα 9). Στον Πίνακα 3

παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο τα κύρια στοιχεία της έρευνας του Petrovic (2003).



Εικόνα 9: Χαρτογραφικό σύμβολο που απεικονίζει εκκλησία σε τέσσερα επίπεδα λεπτομέρειας. (Πηγή: Petrovic 2003, 1923)

Πίνακας 3: Συγκεντρωτικές πληροφορίες της έρευνας του Petrovic (2003).

ΟΝΟΜΑ	Petrovic D.
ΦΟΡΕΑΣ-ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	Ινστιτούτο Γεωδαισίας της Σλοβενίας, Πανεπιστήμιο της Λουμπλιάνα
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	Συμβολισμός και χαρτογραφική γενίκευση για τη σχεδίαση 3D χαρτών
ΕΦΑΡΜΟΓΗ	3D τοπογραφικός χάρτης των Άλπεων Kamniske Savinske (4 Επίπεδα Λεπτομέρειας) (βλ εικόνα 8)
ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ	Intergraph MGE, Rhinoceros, World Construction Set

Άλλοι ερευνητές ασχολήθηκαν περισσότερο με τους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς μέσω των οποίων πραγματοποιείται η γενίκευση, μελετώντας έναν ή περισσότερους τελεστές και αλγορίθμους για τη γενίκευση τρισδιάστατων μοντέλων και στην πλειονότητά τους ασχολούνται με 3D μοντέλα πόλεων.

2.3.2.2. Γενίκευση 3D δεδομένων-κτιρίων βάσει της θεωρίας κλίμακας-χώρου (Forberg and Mayer 2003, Forberg 2004)

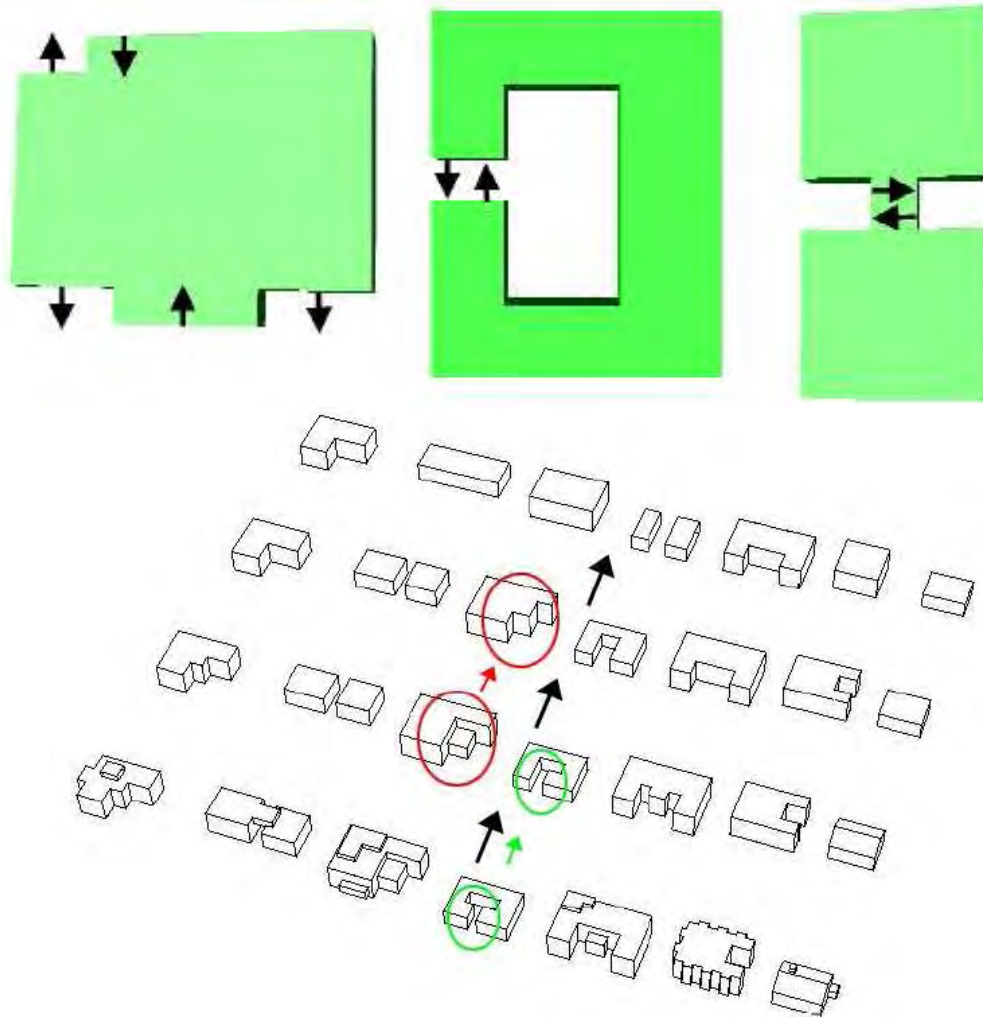
Οι Forberg και Mayer παρουσιάζουν μια τεχνική για την αυτόματη παραγωγή επιπέδων λεπτομέρειας με σκοπό την οπτικοποίηση κτιρίων σε πολλαπλές κλίμακες (multiscale representations). Η μέθοδος στηρίζεται στη θεωρία κλίμακας-χώρου (scale-space theory) και προέρχεται από τον τομέα της επεξεργασίας εικόνας³.

Η χαρτογραφική γενίκευση –πρόκειται ουσιαστικά για απλοποίηση– των συμβόλων σε τρεις διαστάσεις προκύπτει από εντοπισμό και αφαίρεση στοιχείων στα κτίρια τα

³ Για περισσότερες πληροφορίες για τη θεωρία κλίμακας-χώρου βλ <http://serv.photo.verm.tu-muenchen.de/b3d/s98-html.html>

οποία έχουν τη μορφή πολυέδρων. Ο βαθμός απλοποίησης-γενίκευσης κάθε κτιρίου εξαρτάται από την απόστασή του από το σημείο παρατήρησης με αποτέλεσμα τα μακρινά αντικείμενα να απεικονίζονται με λιγότερη λεπτομέρεια. Η γενίκευση που εφαρμόζεται λαμβάνει υπ' όψιν τη δομή των κτιρίων όπως τις ορθές γωνίες και την παραλληλία των επιφανειών τους. Από τις επιφάνειες που συγκροτούν κάθε κτίριο διατηρούνται αυτές που έχουν γωνία μεταξύ τους πολύ μεγαλύτερη ή μικρότερη των 90° ώστε να διατηρηθεί ο χαρακτήρας του αντικειμένου και ορθογωνίζονται οι υπόλοιπες. Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη γενίκευση σε δισδιάστατους χάρτες.

Η δομή των δεδομένων που χρησιμοποιείται ονομάζεται half-edge. Τα αντικείμενα-κτίρια (bodies) αποτελούνται από κορυφές (vertices), επιφάνειες (facets), ακμές με κατεύθυνση (half edges) και βρόχους (loops). Οι επιφάνειες ορίζονται από σύνολο ακμών με κυκλωνική φορά, οι ακμές ορίζονται με αντικυκλωνική φορά γύρω από τις κορυφές και οι βρόχοι αποτελούνται από κλειστό σύνολο ακμών. Η δομή τέτοιου τύπου επιτρέπει τη χρήση –υπό συνθήκες– των τελεστών Euler (σταδιακό τοπολογικό μετασχηματισμό των αντικειμένων) όπως: τη διαίρεση επιφανειών, τη συνένωση επιφανειών/κορυφών, την πρόσθεση κορυφής/επιφάνειας κλπ. Η χαρτογραφική γενίκευση των συμβόλων εφαρμόζεται με τον εξής τρόπο: Τα επίπεδα από τα οποία αποτελείται κάθε κτίριο μετακινούνται κατά τη διεύθυνση των διανυσμάτων τους (προς τα μέσα ή προς τα έξω) μέχρι να παρουσιαστεί ένα «γεγονός» (scale-space event) πχ η απαλοιφή μιας προεξοχής ή το γέμισμα μιας εσοχής (βλ. Εικόνα 10). Πρόκειται ουσιαστικά για τις περιπτώσεις στις οποίες θα πρέπει να επέμβει το λογισμικό για να επιλύσει το πρόβλημα με γενίκευση. Τα στοιχεία μετακινούνται είτε συνολικά και ταυτόχρονα είτε μεμονωμένα και με διαφορετικές κατευθύνσεις. Στη δεύτερη περίπτωση χρειάζεται ανάλυση για να αποφασιστεί ποια στοιχεία θα μετακινηθούν (εντοπισμός τους) και προς ποια κατεύθυνση. Οι περιπτώσεις στις οποίες απαιτείται γενίκευση διαχωρίζονται σε “εσωτερικά” και “εξωτερικά” γεγονότα. Εσωτερικά γεγονότα ονομάζονται οι περιπτώσεις κυρίως εσοχών και προεξοχών στα κτίρια. Μόλις εντοπιστούν, οι επιφάνειες του αντικειμένου μετακινούνται προς το εσωτερικό του, και εάν συγκρουστούν η εκάστοτε εσοχή ή προεξοχή απαλείφεται. Τα εξωτερικά γεγονότα αφορούν τμήματα των κτιρίων που τέμνονται ή επικαλύπτονται. Σε αυτή την περίπτωση οι επιφάνειες μετακινούνται προς τα έξω και εάν συγκρουστούν, τα αντικείμενα συγχωνεύονται σε ένα. Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο τα βασικά στοιχεία της έρευνας των Forberg και Mayer (2003).



Εικόνα 10: Με την τεχνική των Forberg και Mayer, οι παράλληλες όψεις των κτιρίων που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη από κάποια ανοχή μετακινούνται έως ότου συμπέσουν (επάνω σε κάτοψη). Κάτω βλέπουμε τα αποτελέσματα της γενίκευσης για διάφορους τύπους κτιρίων. Τα τμήματα των κτιρίων δεν απαλείφονται απλά, αλλά ρυθμίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρηθεί το σχήμα τους (με κόκκινο). Όμως, η τυχαία επιλογή των επιφανειών που μετακινούνται μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα στη γενίκευση (με πράσινο). (Πηγή: Forberg 2004, 3-4)

Πίνακας 4: Συγκεντρωτικές πληροφορίες της έρευνας των Forberg και Mayer (2003).

ΟΝΟΜΑΤΑ	Forberg A., Mayer H.
ΦΟΡΕΑΣ-ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	Ινστιτούτο Φωτογραμμετρίας και Χαρτογραφίας, Πανεπιστήμιο Μονάχου
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	Αυτόματη παραγωγή Επιπέδων Λεπτομέρειας για την οπτικοποίηση κτιρίων
ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ	Απλοποίηση
ΘΕΩΡΙΑ	Κλίμακας- Χώρου
ΔΟΜΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	Half-edge
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	3D ACIS Modeller
ΓΛΩΣΣΕΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	C++, V.R.M.L.

Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η σύνδεση της μεθόδου με τη χαρτογραφική μετάθεση είναι σχετικά εύκολη, όμως μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι η μέθοδος επικεντρώνεται σε ορθογωνικές δομές κτιρίων.

2.3.2.3. 3D γενίκευση και οπτικοποίηση κτιρίων (Kada 2002, Kada 2003)

Ο Kada, μελετώντας τη γενίκευση για τρισδιάστατα αστικά μοντέλα μεγάλης κλίμακας, παρουσίασε αλγόριθμο ο οποίος παράγει απλοποιημένες εκδόσεις κτιρίων οι οποίες στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας. Η τεχνική του συνδυάζει την προσαρμογή επιφανειών με ελάχιστα τετράγωνα και ένα σετ τελεστών ταξινόμησης και απλοποίησης επιφανειών.

Ο αλγόριθμος γενίκευσης σχεδιάστηκε για τρισδιάστατα πολύεδρα (κτίρια) τα οποία αποτελούνται από σύνολα κορυφών (vertices) και πολυγωνικών προσόψεων (faces). Κάθε πρόσοψη μπορεί με τη σειρά της να περιλαμβάνει αριθμό εσωτερικών σημείων, καθορίζοντας τις παραμέτρους των συνδεδεμένων επιπέδων επιφανειών. Σε πρώτη φάση ο αλγόριθμος δημιουργεί το λεγόμενο μοντέλο κτιρίου με περιορισμούς – δηλαδή το μοντέλο των πολυγώνων εμπλουτισμένο με περιορισμούς όπως την συνεπιπεδότητα, την παραλληλία επιπέδων και την ορθογωνικότητα των επιφανειών, συνήθη χαρακτηριστικά για τα περισσότερα κτίρια. Οι περιορισμοί αποθηκεύονται με ιεραρχικό τρόπο.

Επειδή ένας αριθμός περιορισμών πάντα θα ξεφεύγει λόγω εισαγόμενων σφαλμάτων και μπορεί να μειώσει ποιότητα του τελικού μοντέλου, ένα ημιαυτόματο εργαλείο διορθώνει κάθε φορά αυτούς τους περιορισμούς και προσθέτει νέους.

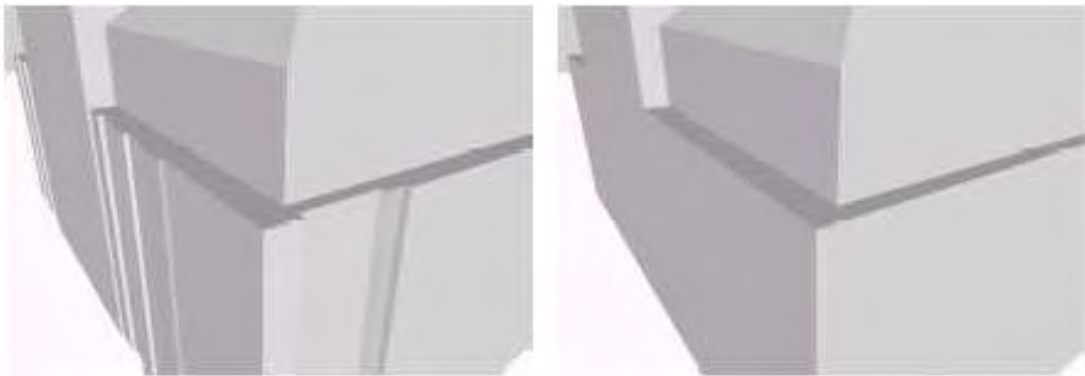
Στη συνέχεια, η γεωμετρία του μοντέλου απλοποιείται επαναληπτικά. Χρησιμοποιείται σύνολο τελεστών απλοποίησης επιφανειών εκ των οποίων ο καθένας σχεδιάστηκε για την απομάκρυνση συγκεκριμένης τάξης στοιχείων. Οι τελεστές απομακρύνουν ολόκληρα στοιχεία (features) σε μια συνεχή διαδικασία σε αντίθεση με παραδοσιακούς αλγόριθμους απλοποίησης. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι σφηνοειδείς και παραλληλεπίπεδες προεξοχές και οι κορυφές τύπου πυραμίδας.

Ο αλγόριθμος εντοπίζει τα στοιχεία αυτά με επαναληπτικό τρόπο (feature detection), αποτιμά την επίδρασή τους (δύσκολη διαδικασία γιατί μικρά στοιχεία μπορεί να

έχουν μεγάλη σπουδαιότητα) και στη συνέχεια τα στοιχεία με τη μικρότερη σπουδαιότητα απλοποιούνται (βάσει μιας μέγιστης απόστασης μετάθεσης της κορυφής) αλλοιώνοντας όχι μόνο τη γεωμετρία του μοντέλου αλλά και τους περιορισμούς που επηρεάζονται από την απλοποίηση.

Τέλος, με προσαρμογή με ελάχιστα τετράγωνα υπολογίζονται οι νέες συντεταγμένες κάθε κορυφής μετά από κάθε βήμα γενίκευσης προκειμένου να εξασφαλιστεί η ελάχιστη απόκλιση μεταξύ γενικευμένου και αρχικού μοντέλου. Εδώ πρέπει να πληρούνται οι περιορισμοί που έχουν απομείνει μεταξύ των επιφανειών ενώ χρησιμοποιούνται και τα σημεία του αρχικού μοντέλου (εσωτερικά). Οι νέες θέσεις των κορυφών που έχουν απομείνει καθορίζονται από την τομή τριών ή περισσότερων επιφανειών. Εκτός από τις επίπεδες επιφάνειες στην προσαρμογή λαμβάνουν μέρος και τα σημεία τομής τους. Η διαδικασία είναι απαραίτητη γιατί εάν αγνοηθεί η τοπολογική πληροφορία, δεν υπάρχει εγγύηση ότι μετά τη γενίκευση οι τρεις επιφάνειες θα τέμνονται σε μοναδικό σημείο. Η χρήση βαρών για κάθε τύπο περιορισμού μπορεί επίσης να επηρεάσει την προσαρμογή.

Στην Εικόνα 11, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εφαρμογής του αλγορίθμου που ανέπτυξε ο Kada.



Εικόνα 11: Τρισδιάστατο μοντέλο του ιστορικού παλατιού της Στουτγκάρδης πριν και μετά τη γενίκευση (απλοποίηση) με τον αλγόριθμο του Kada. (Πηγή: <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo03/kada.pdf>)

Παρουσιάζεται τέλος η τεχνική *Impostors*, η οποία επιταχύνει την απόδοση των τρισδιάστατων αντικειμένων επαναχρησιμοποιώντας τμήματα εικόνων που έχουν ήδη αποδοθεί γραφικά. Κάθε περίπλοκο αντικείμενο αντικαθίσταται από μια εικόνα η οποία προβάλλεται σε ένα διαφανές τετράπλευρο (*billboard*). Σύνηθες παράδειγμα είναι η οπτικοποίηση δέντρων, όπου καθώς ο παρατηρητής μετακινείται, το τετράπλευρο περιστρέφεται ώστε αυτός να βλέπει την εικόνα

συνεχώς κάθετα μπροστά του. Ενδείκνυται για μακρινά αντικείμενα τα οποία φαίνονται παρόμοια κατά την περιστροφή τους και για κοντινά σημεία παρατήρησης πλησίον του υψομέτρου του εδάφους.

Στον πίνακα 5, παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο τα βασικά στοιχεία της έρευνας του Kada (2002, 2003).

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικές πληροφορίες της έρευνας του Kada (2002, 2003)

ΟΝΟΜΑ	Kada M.
ΦΟΡΕΑΣ-ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	Ινστιτούτο Φωτογραμμετρίας, Πανεπιστήμιο Στουτγκάρδης
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	Αλγόριθμος για τη Χαρτογραφική Γενίκευση κτιρίων με M.E.T.
ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ	Ταξινόμηση, Απλοποίηση
ΕΦΑΡΜΟΓΗ	Νέο Παλάτι Στουτγκάρδης
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	Open Scene Graph

Σημειώνει, τέλος, ότι στο μέλλον θα πρέπει να προστεθούν περισσότερα είδη στοιχείων (features) των κτιρίων προς εντοπισμό και απλοποίηση.

2.3.2.4. 3D γενίκευση κτιρίων (Thiemann 2002)

Με τα μοντέλα πόλεων και τη γενίκευση κτιρίων ειδικότερα ασχολήθηκε και ο Thiemann. Χρησιμοποίησε και αυτός την τεχνική των επιπέδων λεπτομέρειας εξηγώντας ότι διαφορετικά η γενίκευση και οπτικοποίηση δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε πραγματικό χρόνο. Η προσέγγιση του Thiemann παρουσιάζεται με την υπόθεση εργασίας ότι κάθε κτίριο περιγράφεται με μεγάλη λεπτομέρεια και στόχος της είναι η εικονική περιήγηση σε πόλη η οπτικοποίηση της οποίας πρέπει να συμβαδίζει με τα χαρτογραφικά πρότυπα.

Στην έρευνά του (Thiemann 2002) αναφέρει ότι για την οπτικοποίηση-γενίκευση τρισδιάστατων αντικειμένων χρησιμοποιούνται συνήθως μέθοδοι απλοποίησης δικτύου (mesh simplification) ή μέθοδοι τριγωνισμού οι οποίες εξαρτώνται κυρίως από γεωμετρικές ιδιότητες (πχ μέγεθος) χωρίς να λαμβάνουν υπ' όψιν τη σχετική σπουδαιότητα των αντικειμένων. Για την ενοποίηση γεωμετρικής γενίκευσης και

γενίκευσης ιδιοτήτων εφαρμόζονται αντικειμενοστραφείς μέθοδοι, οι οποίες υλοποιούνται συνήθως με συστήματα γνώσης (έμπειρα συστήματα).

Τυπικές προσεγγίσεις στη γενίκευση 3D κτιρίων περιλαμβάνουν τρία επίπεδα λεπτομέρειας για το αντικείμενο: το πρώτο με τη μεγαλύτερη λεπτομέρεια, το δεύτερο με ένα περίπου κυβικό σχήμα που περικλείει το αντικείμενο (bounding cuboid) και το τρίτο με το κεντροειδές του κυβοειδούς (3D σημείο) το οποίο και αποτελεί το επίπεδο με τη μικρότερη λεπτομέρεια.

Εκτός από την απλοποίηση μέσω εξομάλυνσης και απαλοιφής χρησιμοποιούνται και άλλοι τελεστές της γενίκευσης όπως η έμφαση, η ταξινόμηση, η μετάθεση και η συγχώνευση σημειακών συμβόλων. Όμως η εφαρμογή των τελεστών απαιτεί πληροφορία για τη σπουδαιότητα των αντικειμένων. Στην ιδανική περίπτωση αυτή λαμβάνεται από τις ιδιότητές τους αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις εξάγεται από τη γεωμετρία και την τοπολογία. Η γενίκευση ενός κτιρίου δεν μπορεί να γίνει χωρίς να εξεταστεί το περιβάλλον του. Άλλος τρόπος γενίκευσης θα εφαρμοστεί σε περιοχή μεγάλης από ότι μικρής πυκνότητας δόμησης. Ο βασικός περιορισμός είναι η διατήρηση κάποιων ελάχιστων μεγεθών και των μέγιστων σημαντικών χαρακτηριστικών των κτιρίων. Από όλους τους δυνατούς τρόπους μοντελοποίησης κτιρίων ο απλούστερος είναι η αναπαράσταση των επιφανειακών ορίων του, τα οποία μπορούν να παραμετροποιηθούν με δίκτυο τριγώνων (κορυφές και επίπεδα τρίγωνα) ή απευθείας με επίπεδες επιφάνειες.

Η διαδικασία που προτείνεται αποτελείται από τα εξής βήματα: το κτίριο αποσυντίθεται στα στοιχειώδη μέρη του, τα οποία θα γενικευθούν διαχωρίζοντας τα σημαντικά από τα ασήμαντα. Τα αποτελέσματα των βημάτων γενίκευσης αποθηκεύονται στη συνέχεια με μια δομή πολλαπλών κλιμάκων (multiscale).

Ο εντοπισμός τμημάτων του κτιρίου (features) όπως προεξοχές, εσοχές κλπ, τα οποία στη συνέχεια θα απομακρυνθούν από το κυρίως σώμα του, γίνεται με δυο τρόπους: αρχικά εφαρμόζεται τομή του κτιρίου με ένα ή περισσότερα επίπεδα του ορίου του. Έτσι εντοπίζεται κάθε προεξοχή, εσοχή κλπ. Τα στοιχεία αυτά στη συνέχεια θα ιεραρχηθούν ποιοτικά. Στη συνέχεια το κτίριο περιβάλλεται με στοιχειώδη στερεά όπως έναν κύλινδρο, ένα πρίσμα, μια πυραμίδα και με επαναληπτικό τρόπο εξετάζονται τα κενά και οι προεξοχές του.

Η μοντελοποίηση του κτιρίου θα γίνει με συνδυασμό του κυρίου σώματος και των μικρότερων στοιχείων του, με χρήση των τελεστών Boolean: κυρίως της ένωσης

(union) και αφαίρεσης (difference) και σε μερικές περιπτώσεις τομής (intersection). Με τοπική και συνολική ανάλυση αποφασίζεται ποια τμήματα πρέπει να συγχωνευθούν, να απαλειφθούν ή να ενισχυθούν. Η συγχώνευση, ταξινόμηση και μεγέθυνση μπορεί να οδηγήσει σε αναγκαία μετάθεση. Η ανάλυση βασίζεται σε περιορισμούς για ελάχιστες τιμές ιδιοτήτων όπως η επιφάνεια του επιπέδου κάθε κτιρίου, ο όγκος προεξοχής αλλά και τοπικά αντίστοιχα φαινόμενα της γειτονικής περιοχής. Διαφορετικά επίπεδα γενίκευσης επιτυγχάνονται εισάγοντας διαφορετικές τιμές στις παραμέτρους ελέγχου. Εάν χρησιμοποιούνται λίγα επίπεδα γενίκευσης – δηλαδή υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των διαδοχικών επιπέδων λεπτομέρειας – τότε λεπτομέρειες «πετάγονται» ή εξαφανίζονται απότομα (popping effect). Πιο συγκεκριμένα, λεπτομέρειες που θα μπορούσαν να απαλειφθούν μπορεί να μειωθούν σε μέγεθος και το αντίθετο: μια ακμή μπορεί να γίνει κορυφή, μια επιφάνεια να γίνει ακμή και ένας όγκος να γίνει επιφάνεια. Ακόμη, η τυποποίηση, η αντικατάσταση δηλαδή αριθμού αντικειμένων με μικρότερο αριθμό αντικειμένων, δεν καθορίζει ποιο αντικείμενο αντιστοιχεί σε ποιο στο επόμενο βήμα γενίκευσης. Τέτοιες αλλαγές αποπροσανατολίζουν το χρήστη και θεωρούνται δυσάρεστες. Για την αποφυγή τους υπάρχουν διάφορες στρατηγικές: είτε παράγονται περισσότερα επίπεδα λεπτομέρειας ώστε οι διαφορές μεταξύ τους να είναι μικρότερες, είτε με μικρές παραμορφώσεις, μετασχηματισμούς και στροφές οι αλλαγές φαίνονται να είναι συνεχείς. Μια φαινομενικά συνεχής αλλαγή μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας αυξανόμενη/μειούμενη διαφάνεια μεταξύ των διαδοχικών επιπέδων γενίκευσης.

Επειδή για την αποθήκευση αρκετών επιπέδων λεπτομέρειας απαιτείται αποθήκευση τεράστιας ποσότητας δεδομένων, για την αντιμετώπιση του προβλήματος ο συγγραφέας προτείνει να αποθηκεύονται αντί για τα ίδια τα μοντέλα μόνο οι μεταξύ τους διαφορές και κάθε φορά οι λεπτομέρειες να προστίθενται ή να αφαιρούνται.

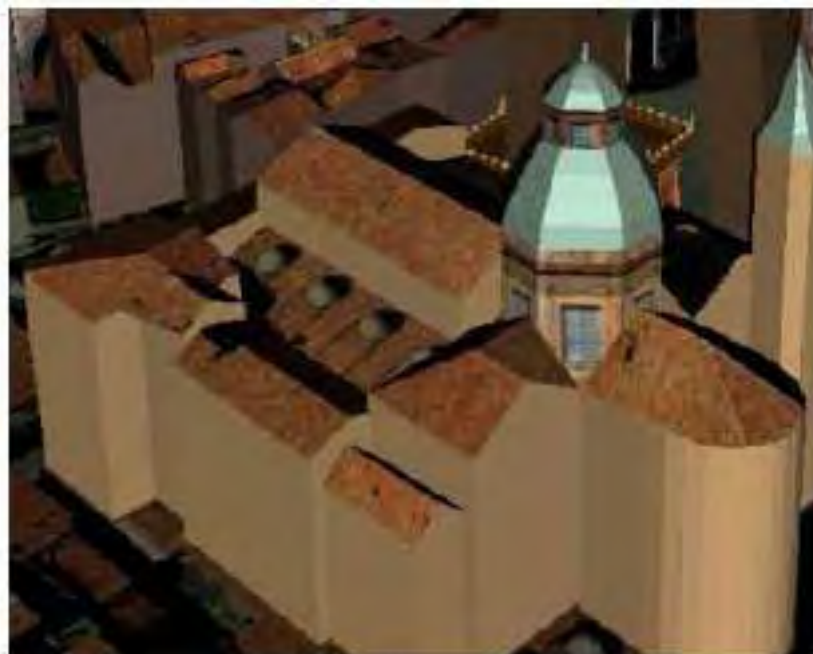
Στον πίνακα 6 παρουσιάζονται με συνοπτικό τρόπο τα βασικά στοιχεία της έρευνας του Thiemann (2002).

Πίνακας 6: Συγκεντρωτικές πληροφορίες της έρευνας του Thiemann (2002)

ΟΝΟΜΑ	Thiemann F.
ΦΟΡΕΑΣ-ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	Ινστιτούτο Χαρτογραφίας και Γεωπληροφορικής, Πανεπιστήμιο του Αννόβερο
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	Γενίκευση κτιρίων για εικονική περιήγηση σε πόλη
ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ	Απλοποίηση, Μετάθεση, Μεγέθυνση, Συγχώνευση, Εκλέπτυνση
ΜΟΡΦΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	Constructive Solid Geometry (C.S.G.)
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	Open Scene Graph

2.3.2.5. Κανόνες και περιορισμοί για 3D γενίκευση αστικής περιοχής (Lal and Meng 2001)

Οι Lal και Meng (2001) μελέτησαν τον τελεστή συγχώνευσης στα πλαίσια της χαρτογραφικής γενίκευσης ενός τρισδιάστατου μοντέλου αστικής περιοχής με έμφαση στην επίδραση του υψομέτρου (βλ. Εικόνα 12). Διατύπωσαν κανόνες και περιορισμούς για τη συγχώνευση σε περιοχή που αποτελείται κυρίως από κτίρια διαφόρων τύπων και οδούς, τονίζοντας ότι η γενίκευση σε τρεις διαστάσεις αλλάζει



Εικόνα 12: Σκηνή από τρισδιάστατο χάρτη της πόλεως του Μονάχου. Επειδή η συγχώνευση των κτιρίων εφαρμόστηκε για πλοήγηση από ψηλά, η εμφάνιση των όψεων απλοποιείται αλλά στις στέγες διατηρείται μεγαλύτερη λεπτομέρεια. (Πηγή: Lal and Meng 2001, 8)

ανάλογα με το ύψος του σημείου παρατήρησης και τη γωνία υπό την οποία

βλέπουμε την περιοχή. Για τον τελεστή συγχώνευσης σε τρισδιάστατα μοντέλα αναφέρουν ότι: «Η συγχώνευση αφορά την ομαδοποίηση όμοιων οντοτήτων σε μία, και σε τρεις διαστάσεις απαιτείται η χρήση και επέκταση των κανόνων και περιορισμών που ισχύουν για τη συγχώνευση σε δύο διαστάσεις. Οι αλγόριθμοι πρέπει να συμπεριλάβουν την οπτική σπουδαιότητα συγκεκριμένων στοιχείων ανάλογα με το σκοπό του χάρτη, όπως και προοπτικές απεικονίσεις από διαφορετικά σημεία παρατήρησης. Εάν το σημείο παρατήρησης βρίσκεται ψηλά, τα χαρακτηριστικά της κάθε οροφής (των κτιρίων) πρέπει να διατηρηθούν, ενώ εάν βρίσκεται κοντά στο έδαφος μας ενδιαφέρουν περισσότερο οι τοίχοι, πόρτες κλπ.

...Οι λόγοι που εφαρμόζεται η συγχώνευση είναι:

- 1) Ασυμβατότητες (πχ επικάλυψη) που προκύπτουν από μεγάλη πυκνότητα κτιρίων (ίσως χρειαστεί να αλλάξει και ο τύπος του συμβόλου σε δομημένη περιοχή).
- 2) Αντιστάθμιση της μεγέθυνσης μικρών κτιρίων -που αλλιώς δεν θα μπορούσαν να απεικονιστούν- με συγχώνευση αυτών που βρίσκονται σε εγγύτητα.
- 3) Η ενίσχυση της μετάδοσης της πληροφορίας ή η διατήρηση της συνοχής στην απεικόνιση μεταξύ διαφορετικών τμημάτων στο χάρτη (ελέγχεται σε στρατηγικό επίπεδο)» (Lal and Meng 2001, 3).

Για τη μοντελοποίηση των κτιρίων προτείνουν μοντέλα με πολύεδρα όπου το κάθε αντικείμενο αποτελείται από επιφάνειες, ακμές και κορυφές και τα οποία συνενώνονται με διάφορους τρόπους. Οι κανόνες που διατυπώνουν διακρίνονται σε αυστηρούς και ελαστικούς. Οι αυστηροί κανόνες περιλαμβάνουν:

1. Κανόνες σύνδεσης (χωρικές σχέσεις-τοπολογικές, μετρικές): επαφή κτιρίων (τα κτίρια πρέπει να έχουν κοινό επιφανειακό όριο για να συγχωνευθούν), εγγύτητα και γωνία μεταξύ κτιρίων (ελάχιστη απόσταση και ελάχιστη γωνία), ελάχιστη διαφορά ύψους μεταξύ κτιρίων, παρόμοιος τύπος οροφής κτιρίων, ευθυγράμμιση κτιρίων.
2. Κανόνες σημασιολογικούς (σχέσεις που πρέπει να υφίστανται για συγχώνευση): γεωμετρία (ελάχιστο μέγεθος κτιρίου), κοινή δομή κτιρίων, ίδια τάξη ή κοινή ανώτερη τάξη κτιρίων, σχέση με ένα ή πολλά άλλα κτίρια.
3. Κανόνες προσαρμογής (καθορίζουν την ιστορική/τοπική σπουδαιότητα των κτιρίων): κτίρια μεγάλης σπουδαιότητας διατηρούν τα χαρακτηριστικά τους όσο το δυνατόν περισσότερο και δεν περιλαμβάνονται στη συγχώνευση. Αντίθετα, πρέπει να μεγεθυνθούν.

4. Κανόνες συνάφειας (ευαισθησία της συγχώνευσης στα πλαίσια των τριών διαστάσεων, όπου διαφορετικά στοιχεία διατηρούνται για διαφορετικά σημεία παρατήρησης):
 - 4.1. Κάτοψη: παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι δεν δίνει την αίσθηση του βάθους και δεν διαφέρει από την απεικόνιση σε δύο διαστάσεις.
 - 4.2. Πλάγια παράλληλη προβολή: με σωστή επιλογή γωνίας, παρουσιάζει καλή συνολικά απεικόνιση με αίσθηση του βάθους και εύκολη στην κατανόηση από τον παρατηρητή. Η γενίκευση θα διαφέρει ανάλογα με το υψόμετρο παρατήρησης. Τα ύψη παρατήρησης σχετίζονται άμεσα με τα επίπεδα λεπτομέρειας τα οποία με τη σειρά τους εξυπηρετούν διαφορετικές ανάγκες χρηστών. Σε πλάγια παράλληλη προβολή οι οροφές των κτιρίων είναι βασικό κριτήριο και πρέπει να συμπεριληφθούν στη συγχώνευση. Δυσχερύνσεις παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές, η πλάγια παράλληλη προβολή στο ύψος του εδάφους και από ψηλά (bird 's eye view). Στην πρώτη οι οροφές έχουν μικρή σπουδαιότητα και άρα μπορούν να συγχωνευθούν ακόμα και αν έχουν διαφορές μεταξύ τους. Για έναν χρήστη που κινείται στην πόλη κάποιες οροφές δεν είναι καν ορατές και άρα είναι σημαντικότερο να διατηρηθούν οι κάτω λεπτομέρειες των κτιρίων παρά οι γεωμετρικές των οροφών. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να υποθέσουμε κατά τη συγχώνευση ότι όλες οι οροφές είναι επίπεδες. Στη δεύτερη απεικόνιση όπου ο παρατηρητής είναι ψηλά, οι οροφές είναι στοιχεία μεγάλης σπουδαιότητας και πρέπει κατά τη συγχώνευση να προσέξουμε τα διαφορετικά είδη οροφών.
 - 4.3. Υπερ-ευρυγώνια εστιακή απεικόνιση (fish-eye view): μικρή εστίαση και υπερβολικά μεγάλο βάθος πεδίου, εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου μας ενδιαφέρει η μεγέθυνση σημαντικών περιοχών.

Ελαστικοί κανόνες: μπορεί να εφαρμοστούν ή όχι ανάλογα με την κάθε περίπτωση και αφορούν υφή, εξωτερική εμφάνιση, χρώμα. Το χρώμα, σχολιάζουν οι συγγραφείς, είναι σημαντικό γιατί δίνει έμφαση στα μοναδικά χαρακτηριστικά κάθε κτιρίου. Ακόμα και από μεγάλη απόσταση τραβά την προσοχή και άρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τουριστικούς σκοπούς. Γενικά, η εξωτερική εμφάνιση πρέπει να διατηρείται γιατί διαφορετικά θα αλλοιώσει το χαρακτήρα του κτιρίου.

Οι παραπάνω κανόνες θα διαμορφωθούν βάσει συγκεκριμένων περιορισμών, οι οποίοι για τη συγχώνευση σε τρεις διαστάσεις είναι οι εξής:

1. «Γραφικοί περιορισμοί: προκύπτουν από τη γεωμετρία αντικειμένων και συμβόλων. Καθορίζουν βασικές ιδιότητες μεγέθους και εγγύτητας και υπαγορεύονται κυρίως από τα γραφικά όρια που αφορούν τα σχήματα και μεγέθη των αντικειμένων. Για μεμονωμένα αντικείμενα περιλαμβάνουν ελάχιστο μέγεθος, ελάχιστο πλάτος, ελάχιστο μήκος και ελάχιστο ύψος. Σε πολλαπλά αντικείμενα οι γραφικοί περιορισμοί καθορίζουν την ελάχιστη διαχωριστικότητα και βοηθούν την ενίσχυση των σχέσεων εγγύτητας.
2. Τοπολογικοί περιορισμοί: εγγυώνται ότι οι βασικές τοπολογικές σχέσεις (σύνδεση, γεινίαση, περιεκτικότητα) μεταξύ των αντικειμένων θα διατηρηθούν. Για μεμονωμένα αντικείμενα πρέπει να αποφευχθούν τομές ίδιας γραμμής και τομές ίδιου ορίου πολυέδρων. Για πολλαπλά αντικείμενα, οι χωρικοί μετασχηματισμοί δεν πρέπει να αλλοιώνουν τις τοπολογικές σχέσεις των στοιχείων που έχουν απομείνει, ακόμη και αν τα στοιχεία αυτά αναπαριστούν μόνο έμμεσα τα αρχικά στοιχεία.
3. Δομικοί περιορισμοί: καθορίζουν κριτήρια που περιγράφουν τη χωρική και σημασιολογική δομή και αλληλοεξαρτήσεις (inter-dependencies). Η χωρική δομή στο επίπεδο μεμονωμένων στοιχείων σχετίζεται με το σχήμα (πχ εσωτερική δομή των κτιρίων) και τη διατήρησή του (κοίλες/κυρτές περιοχές).
4. Αντιληπτικοί περιορισμοί: σχετίζονται με την αισθητική και περίπλοκα στοιχεία αντίληψης. Προκύπτουν λόγω της επιβολής οπτικής ισορροπίας (κατά τη συγχώνευση)» (Lal and Meng 2001, p. 10).

Στη συνέχεια, οι ερευνητές προχωρούν σε συγκεκριμένους περιορισμούς για οδούς και κτίρια εξετάζοντάς τους σε τρία επίπεδα. Σε Macro επίπεδο που εξετάζει το χάρτη σε ευρύτερες περιοχές ή συνολικά, σε Meso επίπεδο που αφορά μια γειτονιά η οποία αντιμετωπίζεται ως μονάδα στο χάρτη και συνήθως περιλαμβάνει αρκετά στοιχεία διαφόρων τύπων και, τέλος, σε Micro επίπεδο που αφορά ένα στοιχείο, όπου τμήμα του οποίου ή αρκετά τμήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν μεμονωμένα. Εν κατακλείδι, σημειώνουν ότι οι προηγούμενοι κανόνες και περιορισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για τη δημιουργία αλγορίθμων συγχώνευσης σε τρισδιάστατα μοντέλα (Lal and Meng 2001).

Στον Πίνακα 7 συνοψίζονται τα κύρια στοιχεία της έρευνας των Lal και Meng (2001).

Πίνακας 7: Συγκεντρωτικές πληροφορίες της έρευνας των Lal και Meng (2001)

ΟΝΟΜΑ	Lal J., Meng L.
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑ	Τμήμα Χαρτογραφίας Τεχνικού Πανεπιστημίου Μονάχου – Ινστιτούτο Φωτογραμμετρίας και Χαρτογραφίας Πανεπιστημίου Μονάχου
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	Κανόνες-περιορισμοί για γενίκευση αστικής περιοχής (κτίρια και οδοί)
ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ	Συγχώνευση
ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ	Πολύεδρα
ΕΦΑΡΜΟΓΗ	Πλοήγηση στην πόλη του Μονάχου με αερόστατο

2.3.2.6. Συνοχή στην οπτικοποίηση πολλαπλών κλιμάκων 3D μοντέλου πόλης
(Kolbe and Gröger 2003, Gröger et al. 2004)

Η έρευνα των Gröger, Kolbe και Plümer προτείνει ένα μοντέλο γενίκευσης για 3D μοντέλα πόλεων, βασισμένο στο πρότυπο ISO, το οποίο εγγυάται τη διαλειτουργικότητα (interoperability) μεταξύ διαφορετικών συστημάτων. Επικεντρώνεται στην οπτικοποίηση πολλαπλών κλιμάκων, η οποία είναι απαραίτητη για μια αποτελεσματική 3D απεικόνιση. Σε ένα τέτοιο μοντέλο πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η τρισδιάστατη πληροφορία του εδάφους και των υπερκειμένων της σε διαφορετικά Επίπεδα Λεπτομέρειας, ανεξάρτητα μεταξύ τους. Κάθε αντικείμενο αναπαριστάται με διαφορετικό τρόπο σε κάθε ΕΛ, γεγονός που μπορεί να δημιουργήσει ασυμβατότητα στην οπτικοποίηση ή ανάλυση. Για το λόγο αυτό, οι συγγραφείς διατυπώνουν συγκεκριμένους κανόνες για την επίλυση του προβλήματος της πολλαπλής απεικόνισης του ίδιου αντικειμένου ή/και τμημάτων του χώρου με σκοπό τη συνοχή στην οπτικοποίηση.

Όσον αφορά τη μοντελοποίηση των δεδομένων έχουμε τη διάκριση μεταξύ του μοντέλου βασικού επιπέδου (model-base) και του μοντέλου επιπέδου εφαρμογής (application specific model).

Το μοντέλο βασικού επιπέδου περιέχει τις βασικές έννοιες για την απεικόνιση των γεωμετρικών αλλά και των θεματικών χαρακτηριστικών των 3D αντικειμένων και παρέχει τους μηχανισμούς μοντελοποίησης που απαιτούνται για κάθε συγκεκριμένο μοντέλο σε επίπεδο εφαρμογής. Η διάκριση αυτή ακολουθεί το μοντέλο ALKIS (το νέο Εθνικό Γερμανικό Πρότυπο) που χρησιμοποιείται στο Γερμανικό Εθνικό Κτηματολόγιο. Το μοντέλο βασικού επιπέδου διαχωρίζεται επιπρόσθετα σε δύο

επίπεδα: ένα των αρχέτυπων τρισδιάστατου σχεδιασμού (3D primitives) και ένα των συγχωνεύσεων (aggregations). Η δομή αυτή επιτρέπει τη συνοχή στη μοντελοποίηση γεωμετρικών και θεματικών διαφοροποιήσεων. Έτσι, εάν αλλάξουν τα θεματικά χαρακτηριστικά των οντοτήτων, οι γεωμετρικές τους ιδιότητες μπορούν να συνδεθούν με τις θεματικές σε οποιοδήποτε επίπεδο.

Ο πυρήνας του μοντέλου δεδομένων χτίζεται με τη γεωμετρική μοντελοποίηση 0-, 1-, 2-, 3-διάστατων αρχέτυπων (σημείο, ακμή και δακτύλιος, επιφάνεια, όγκος). Κάθε αντικείμενο συντίθεται από αρχέτυπα της αμέσως χαμηλότερης διάστασης, και άρα μόνο τα σημεία είναι απαραίτητα να έχουν σαφείς συντεταγμένες, όλες όμως οι τοπολογικές σχέσεις περιγράφονται με σαφήνεια. Οι ακμές ορίζονται μέσω της αρχής και του τέλους τους (σημεία), και οι επιφάνειες από δακτυλίους (εξωτερικός και εσωτερικός). Τα ογκομετρικά σύμβολα μοντελοποιούνται με την τεχνική αναπαράστασης ορίων (Boundary representations, B-Rep). Η μοντελοποίηση B-Rep εφαρμόζεται στο πρότυπο ISO 19107 και έτσι υπάρχει η εγγύηση των διεθνών προτύπων για τη χρήση του μοντέλου ως προς την απεικόνιση, αποθήκευση και μεταφορά γεω-δεδομένων.

Επειδή στις περισσότερες περιπτώσεις οι διάφορες υπηρεσίες και οργανισμοί χρησιμοποιούν διαφορετικές υποδομές γεω-δεδομένων τα οποία πρέπει να ενοποιηθούν, ανάλογα με τον τύπο των σχέσεων που συνδέουν τα Επίπεδα Λεπτομέρειας, εμφανίζονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις:

1. Το αντικείμενο έχει μοναδική απεικόνιση σε κάθε Επίπεδο Λεπτομέρειας.

Το αντικείμενο-κτίριο στο ΕΛ-1 απεικονίζεται ως απλό πολύεδρο, στο ΕΛ-2 με υφή και απλή στέγη και στο ΕΛ-3 με λεπτομερή στέγη και παράθυρα, εισόδους κλπ. Η οντότητα-κτίριο έχει τρεις σχέσεις με τρία διαφορετικά στερεά, το κάθε ένα με τις δικές του γεωμετρικές-θεματικές ιδιότητες. Ακόμη, η θεματική τάξη «κτίρια» συνδέεται με τη γεωμετρική τάξη «γεωμετρία στερεού». Η σημασιολογία των σχέσεων είναι ειδική γιατί συνδέει κάθε αντικείμενο με το αντίστοιχο ΕΛ και εγγυάται ότι κάθε αντικείμενο θα απεικονιστεί μοναδικά.

Συνθήκη 1: Για την απεικόνιση κάθε οντότητας το γεωμετρικό αντικείμενο που συνδέεται με αυτήν και το αντίστοιχο ΕΛ είναι ακριβής και μοναδική (1 προς 1).

2. Οι απεικονίσεις των αντικειμένων διαμορφώνουν πλήρη ιεραρχία, π.χ. ένα αντικείμενο περιέχεται στη συγχώνευση του αμέσως επόμενου υψηλότερου ΕΛ. Συχνά, αντικείμενα σε ένα ΕΛ συγχωνεύονται μεταξύ τους για να απεικονιστούν στο επόμενο λιγότερο λεπτομερές ΕΛ. Στη δεντρική δομή καθορισμού των

συγχωνεύσεων (aggregation tree) οι οντότητες-κτίρια θα συγχωνευθούν σε τμήματα οδών (rows) για το επόμενο ΕΛ, και αυτά με τη σειρά τους θα συγχωνευθούν σε οικοδομικά τετράγωνα. Κάθε κτίριο ανήκει σε ένα ακριβώς τμήμα οδού (row) και κάθε τμήμα οδού σε ένα οικοδομικό τετράγωνο. Έτσι, η ιεραρχική δομή μεταξύ των τριών επιπέδων λεπτομέρειας διαμορφώνεται μέσω συγχώνευσης. Εδώ πρόκειται για αντιστοιχία 1:N και αφορά γειτονικά ΕΛ.

Συνθήκη 2: Δύο απεικονίσεις R1 και R2 επιτρέπεται να συμπεριλαμβάνονται σε ίδιο view, αν και μόνο αν η R1 δεν είναι οντότητα-διάδοχος της R2 και η R2 δεν είναι οντότητα-διάδοχος της R1 στη δεντρική δομή καθορισμού συγχωνεύσεων (aggregation tree) (με άλλα λόγια αν κάποιο αντικείμενο R έχει προέλθει από συγχώνευση με άλλα και δημιουργήθηκε το R', το R να μην απεικονιστεί ξανά).

3. Τα αντικείμενα παρουσιάζουν μόνο τμηματική ιεραρχία, (δηλαδή δεν υπάρχει ιεραρχία μεταξύ όλων των γειτονικών ΕΛ, ίσως σε μερικά από αυτά).

Λόγω συλλογής δεδομένων από διαφορετικές πηγές, μπορεί η ιεραρχική σχέση που συνδέει τα ΕΛ να λείπει. Η δομή στην περίπτωση αυτή δεν μπορεί να είναι δενδροειδής (περίπτωση 2) αλλά έχει τη μορφή κατευθυνόμενου ακυκλικού γραφήματος (directed acyclic graph-dag).

Συνθήκη 3: Δύο απεικονίσεις R1 και R2 επιτρέπεται να συμπεριλαμβάνονται σε ίδιο view, αν και μόνο αν τα R1, R2 δεν έχουν κοινές οντότητες-διαδόχους στο κατευθυνόμενο ακυκλικό γράφημα (dag).

Οι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι το προτεινόμενο μοντέλο είναι εύκολο να εφαρμοστεί σε πολλά είδη βάσεων δεδομένων (σχεσιακές, αντικειμενοστραφείς) και παρ' όλο που απαιτείται περαιτέρω έρευνα (για την εμφάνιση των αντικειμένων, τις συγκεκριμένες κλίμακες που αντιστοιχούν σε κάθε ΕΛ κλπ), αποτελεί το πρώτο βήμα για ενοποιημένα και διαλειτουργικά 3D μοντέλα πόλεων.

Στον Πίνακα 8 συνοψίζονται τα βασικά στοιχεία της έρευνας του Gröger και των συνεργατών του (Kolbe and Gröger 2003, Gröger et al. 2004).

Πίνακας 8: Συγκεντρωτικές πληροφορίες της έρευνας του Gröger και των συνεργατών του (Kolbe and Gröger 2003, Gröger et al. 2004)

ΟΝΟΜΑΤΑ	Gröger G., Kolbe T., Plümer L.
ΦΟΡΕΑΣ-ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	Ινστιτούτο Χαρτογραφίας και Γεωπληροφοριών, Πανεπιστήμιο Βόννης
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	Μοντέλο γενίκευσης για 3D μοντέλα πόλης με στόχο τη συνοχή στην οπτικοποίηση και τη διαλειτουργικότητα
ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	Συγχώνευση
ΓΛΩΣΣΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ	U.M.L.
ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	G.M.L.3
ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΝ	B-Rep

2.3.2.7. Γενίκευση τρισδιάστατων χαρτών πόλεων (Chen and Bai 2001)

Η έρευνα των Chen και Bai μελετά την οπτικοποίηση σε τρεις διαστάσεις για εφαρμογές Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και προτείνει μια θεωρητική βάση για τους τελεστές γενίκευσης σε χάρτες πόλεων. Παρουσιάζονται τέσσερα επίπεδα λεπτομέρειας:

- «Μοντέλο πόλης: απεικόνιση των κτιρίων ως οικοδομικά τετράγωνα, με ή χωρίς σκεπή, υφή, κενό χώρο μεταξύ των κτιρίων και λειτουργιών, κυρίως με υφή στις οδούς και τη βλάστηση. Η κλίμακα κυμαίνεται από 1:10.000 έως 1:5.000.
- Λεπτομερές μοντέλο πόλης: το ενδιαμέσο αυτό επίπεδο απεικονίζει τα διάφορα κτίρια χρησιμοποιώντας τέσσερα είδη συμβόλων. Κάποια από τα κτίρια απεικονίζονται χωριστά από τα οικοδομικά τετράγωνα. Η κλίμακα κυμαίνεται από 1:5.000 έως 1:2.000.
- Μοντέλο οικοδομικού τετραγώνου: τα αντικείμενα απεικονίζονται ανάλογα με το σκοπό των χαρτών πόλεων. Τα βασικά κτίρια (με εικονογραφικά σύμβολα) περιέχουν επιπρόσθετη πληροφορία προσόψεων και άλλα μεμονωμένα αντικείμενα. Τα αντικείμενα που συνοδεύουν τις οδούς απεικονίζονται πλήρως. Η κλίμακα είναι από 1:2.000 έως 1:500.
- Λεπτομερές μοντέλο οικοδομικού τετραγώνου: σε αυτή την πιο λεπτομερή απεικόνιση από όλες, η επιφάνεια ορίζεται με ειδικό τρόπο, όπως ένα πάρκο, ένας ναός, ένα οικοδομικό συγκρότημα και τα κτίρια απεικονίζονται με μεγάλο βαθμό

ρεαλισμού. Τα αντικείμενα αυτά απεικονίζονται με υφή (raster εικόνες). Η κλίμακα είναι από 1:500 έως 1:50» (Chen and Bai 2001, 2084-2085).

Οι ερευνητές εξετάζοντας το συμβολισμό των οντοτήτων του τρισδιάστατου χάρτη προτείνουν πέντε τελεστές για τη χαρτογραφική γενίκευσή του:

- «Επιλογή και απαλοιφή

Είναι η επιλογή συγκεκριμένων στοιχείων ή των συστατικών τους στον τελικό 3D χάρτη πόλης. Το τι θα επιλεγεί εξαρτάται από την τελική κλίμακα και το σκοπό του χάρτη πχ για οπτική ενάργεια. Τα στοιχεία που θα επιλεγούν θα μετασχηματιστούν στη συνέχεια με τους τελεστές γενίκευσης. Σε αυτή τη φάση, συνήθως εντοπίζουμε ποια οντότητα θα επιλεγεί και περίπτωση ποια κατηγορία της οντότητας θα απεικονιστεί. Από την άλλη, θα απαλειφθούν επιλεκτικά τα στοιχεία που είναι ασήμαντα ή αυτά που είναι αδύνατο να απεικονιστούν στο χάρτη. Τα στοιχεία αυτά ή οι λεπτομέρειές τους πρέπει να απαλειφθούν. Η διαδικασία είναι η αντίθετη της επιλογής. Τα στοιχεία που έχουν απομείνει θα απεικονιστούν με λεπτομέρεια ανάλογη με το σκοπό και την κλίμακα του χάρτη.

Σκοπός: κάθε χάρτης πόλης χρησιμοποιείται για κάποιο σκοπό θεματικό ή μη. Κάποια στοιχεία είναι σημαντικά στους χρήστες ενώ άλλα όχι. Για παράδειγμα, σε οδικό 3D χάρτη πόλεως, οι οδοί, ακόμη και οι πεζοί είναι σημαντικό να απεικονιστούν στο χάρτη. Αντίθετα, κάποια δέντρα, τα παράθυρα και οι καμινάδες των κτιρίων, ακόμα και οι στέγες τους είναι ασήμαντες για να απεικονιστούν.

Κλίμακα: κατά την αλλαγή κλίμακας, δεν μπορούμε να απεικονίσουμε όλα τα στοιχεία ή όλες τις λεπτομέρειες τους (για μετάβαση σε μικρότερη κλίμακα). Έτσι, είμαστε υποχρεωμένοι να εξαλείψουμε κάποια στοιχεία ή τις λεπτομέρειές τους ανεξάρτητα από το αν είναι σημαντικά ή όχι.

- Ομαδοποίηση

Για την ομαδοποίηση στοιχείων με παρόμοια χαρακτηριστικά που γειτνιάζουν, τα απεικονίζουμε με ένα ενιαίο ογκομετρικό σύμβολο, γेमίζουμε τα κενά και χρησιμοποιούμε το μέσο ύψος τους. Η ομαδοποίηση γίνεται για δύο λόγους: α) τα αντικείμενα είναι πολύ μικρά για να απεικονιστούν με το πραγματικό τους σχήμα και χρησιμοποιούμε την ομαδοποίηση για να δείξουμε στον αναγνώστη ότι υπάρχουν αντικείμενα στο συγκεκριμένο χώρο καθώς και ποιο χώρο καταλαμβάνουν, β) δεν υπάρχει λόγος να απεικονιστούν τα αντικείμενα μεμονωμένα.

- Μετάθεση

Πρόκειται για τον εντοπισμό ασυμβατοτήτων μεταξύ αντικειμένων, την απαλοιφή των λιγότερο σημαντικών εξ αυτών, την τροποποίηση των ορίων τους ώστε να εξασφαλιστεί το κατώφλι διαχωρισμού και να διατηρηθούν οι μεταξύ τους σχέσεις.

Για παράδειγμα, το σύμβολο ενός κτιρίου μετατοπίζεται προκειμένου να διατηρηθεί η σχέση μεταξύ μιας παρακείμενης οδού και του κτιρίου όταν η οδός μεγεθύνεται.

- Απλοποίηση

Από τη μια μεριά δεν μπορούμε να απεικονίσουμε μεγάλη λεπτομέρεια όσο μικραίνει η κλίμακα και από την άλλη ίσως δεν είναι απαραίτητο να απεικονιστεί για το συγκεκριμένο σκοπό του χάρτη. Τρίτον, ο χάρτης πόλης είναι επιστημονική και καλλιτεχνική εργασία στην οποία πρέπει να ακολουθήσουμε την πραγματικότητα αλλά και να εισάγουμε καλλιτεχνικά στοιχεία κατά την απεικόνιση. Οφείλουμε να διατηρήσουμε θέση, σχήμα κλπ όσο το δυνατόν περισσότερο. Ταυτόχρονα, προσπαθούμε να δημιουργήσουμε ένα όμορφο αισθητικά αποτέλεσμα το οποίο θα είναι εύκολα κατανοητό χωρίς να καταστρέψουμε τη βασική του μορφή.

- Μεγέθυνση

Είναι η αύξηση του μεγέθους του συμβόλου για σκοπούς έμφασης και για το ευανάγνωστο του χάρτη. Παράδειγμα αποτελεί η μεγέθυνση του ύψους μιας καμινάδας και του μεγέθους μιας πόρτας σε ένα κτίριο, εάν αυτά αποτελούν σημαντικά τμήματα του κτιρίου» (Chen and Bai 2001, 2086-2088).

Στον Πίνακα 9 συνοψίζονται τα κύρια στοιχεία της έρευνας των Chen και Bai (2001).

Πίνακας 9: Συγκεντρωτικές πληροφορίες της έρευνας των Chen και Bai (2001)

ΟΝΟΜΑΤΑ	Chen X., Bai F.
ΦΟΡΕΑΣ-ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	Ινστιτούτο Τεχνολογίας Ασίας
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	Τελεστές γενίκευσης σε 3D Χάρτες πόλεων για εφαρμογές Σ.Γ.Π.
ΕΠΙΠΕΔΑ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΑΣ-ΚΛΙΜΑΚΕΣ	ΕΛ1(1:10.000-1:5.000) ΕΛ2(1:5.000-1:2.000) ΕΛ3(1:2.000-1:500) ΕΛ4(1:500-1:50)
ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ	(Επιλογή,) Συγχώνευση, Μεγέθυνση, Απλοποίηση, Μετάθεση

2.3.2.8. Χαρτογραφική γενίκευση στην εικονική πραγματικότητα (Frery et al. 2004)

Η έρευνα του Frery και των συνεργατών του (2004), περιγράφει τη μεταφορά δώδεκα τελεστών της χαρτογραφικής γενίκευσης από δύο σε τρεις διαστάσεις και περιλαμβάνει εφαρμογή κάποιων από αυτούς μέσω έμπειρου συστήματος. Το σύστημα γενίκευσης που προτείνεται περιλαμβάνει μετασχηματισμούς γεωμετρικούς

και ιδιοτήτων και παρουσιάζεται εφαρμογή για τρεις εξ' αυτών: την απλοποίηση, την εξομάλυνση και τον συμβολισμό. Για την επιλογή αντικειμένων και την εφαρμογή των τελεστών χρησιμοποιούνται τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης (βλ. Σχήμα 4).

Τα διαδοχικά επίπεδα πολυπλοκότητας (ΕΛ) παράγονται με την απλοποίηση πολυγώνων και εδώ χρησιμοποιείται συγκεκριμένα η τεχνική που βασίζεται στην απόσταση μεταξύ αντικειμένου και παρατηρητή. Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται οι δώδεκα τελεστές (ΤΕ) της γενίκευσης σε δύο διαστάσεις και η αντιστοιχία τους σε τρεις. Μέσω ενός έμπειρου συστήματος που κατασκευάστηκε, οι συγγραφείς μοντελοποίησαν τη γνώση του χαρτογράφου με κανόνες τύπου if/then οι οποίοι στη συνέχεια εφαρμόστηκαν σε τρεις διαστάσεις για την παραγωγή των Ε.Λ. Χρησιμοποιήθηκαν δύο βάσεις γνώσης, μία για την επιλογή σημαντικών αντικειμένων και η δεύτερη για την εφαρμογή των τελεστών.

Πίνακας 10: Οι δώδεκα τελεστές γενίκευσης σε δύο διαστάσεις και η αντιστοιχία τους στις τρισδιάστατες απεικονίσεις όπως τους προτείνουν οι Frery et al. (2004). (Πηγή: Frery et al. 2004, 2)

ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ (2D)	ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ (3D)
ΤΕ1: Απλοποίηση	ΤΕ1: τεχνικές απλοποίησης πολυγώνων
ΤΕ2: Εξομάλυνση	ΤΕ2: φιλτράρισμα εικόνας (χαμηλοπερατό) και επανασύσταση για την παραγωγή αρχείου εικόνας (υψής) μικρότερου όγκου
ΤΕ3: Συγχώνευση σημειακών συμβόλων	ΤΕ3-ΤΕ4-ΤΕ5: οι τελεστές αυτοί μπορούν να αντικατασταθούν με έναν τελεστή ή να χρησιμοποιηθούν ως αρχικό στάδιο των ΤΕ11 και ΤΕ12
ΤΕ4: Συγχώνευση γραμμικών συμβόλων	
ΤΕ5: Συγχώνευση επιφανειακών συμβόλων	
ΤΕ6: Μετάπτωση	ΤΕ6: το αποτέλεσμα της εφαρμογής του ΤΕ1 επαναληπτικά
ΤΕ7: Εκλέπτυνση	ΤΕ7: μικρά αντικείμενα ή αντικείμενα καθορισμένα από το χρήστη μπορούν να παραλείπονται στο Ε.Λ.
ΤΕ8: Μεγέθυνση	ΤΕ8: η αλλαγή κλίμακας των 3D αντικειμένων
ΤΕ9: Ενίσχυση	ΤΕ9: η αλλαγή κλίμακας σε αντικείμενα 2D ή υφές
ΤΕ10: Μετάθεση	ΤΕ10: η μετάθεση των 3D αντικειμένων
ΤΕ11: Ταξινόμηση	ΤΕ11: τα αντικείμενα ομαδοποιούνται σε κατηγορίες ανάλογα με τα κύρια χαρακτηριστικά τους

TE12: Συμβολισμός	TE12: τα αντικείμενα αντικαθιστώνται με σύμβολα ή εικόνες καθορισμένες από το χρήστη
-------------------	--

Ο χρήστης ταξινομεί τα αντικείμενα σε τρεις κατηγορίες: στην πρώτη περιλαμβάνονται μεγάλα αντικείμενα όπως ποτάμια και βουνά και οι συγγραφείς την ονομάζουν γεωγραφική μοντελοποίηση. Στη δεύτερη περιλαμβάνονται αντικείμενα μεσαίου μεγέθους όπως κτίρια, σπίτια κ.α. και την ονομάζουν πολεοδομική μοντελοποίηση. Η διαφοροποίηση είναι σημαντική γιατί οι τελεστές εφαρμόζονται διαφορετικά στα αντικείμενα ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν. Τα υπόλοιπα αντικείμενα ανήκουν στην τρίτη κατηγορία.

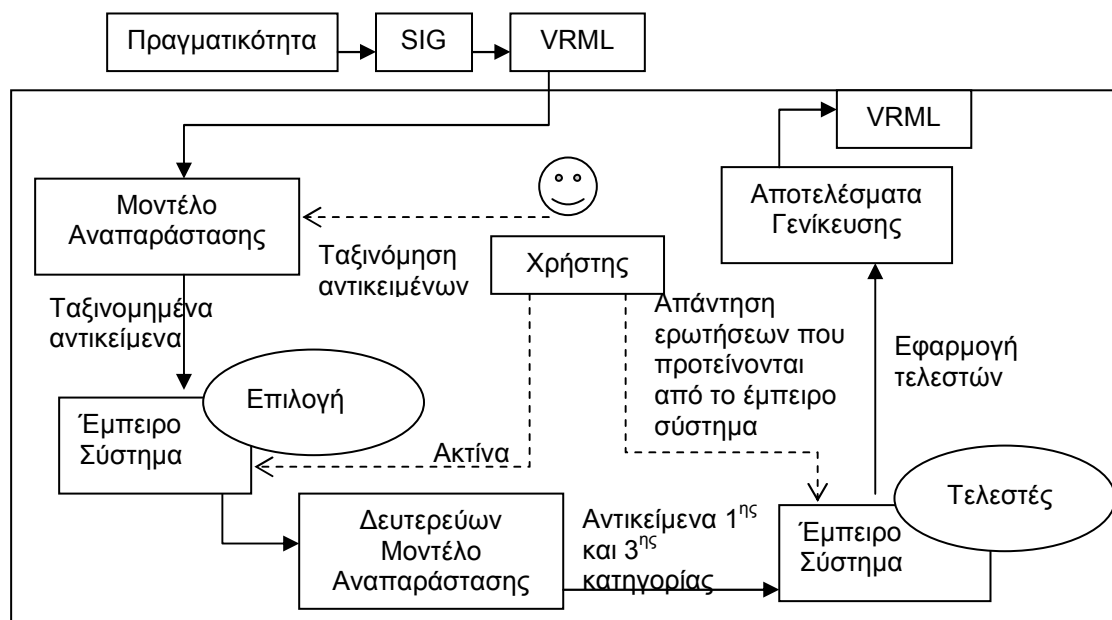
Το έμπειρο σύστημα με τη βάση γνώσης κάνει την επιλογή αντικειμένων στη δεύτερη κατηγορία, και για συγκεκριμένο θέμα (πχ τουρισμός) τα ψάχνει με λέξεις-κλειδιά και ελέγχει για δοσμένη ακτίνα τα γειτονικά αντικείμενα (εάν υπάρχει ...τότε επέλεξε το). Ενώ στο αρχικό μοντέλο απεικόνισης (representation model) διαβάζονται και αναγνωρίζονται τα εικονικά αντικείμενα σε αρχική φάση, το δευτερεύον μοντέλο αναπαράστασης περιέχει λιγότερα αντικείμενα μετά την επιλογή που εφαρμόστηκε. Με τη δεύτερη βάση γνώσης εφαρμόζονται οι τελεστές 3D σε 3 Ε.Λ. ανάλογα με την απόσταση που καθορίζει ο χρήστης (και πάλι με κανόνες if/then).

Συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν οι TE8-TE9-TE10 οι οποίοι παρέχονται σε VRML μέσω της εντολής Transform. Για την απλοποίηση χρησιμοποιήθηκαν 2 αλγόριθμοι: ένας για τα στοιχειώδη στερεά (σφαίρα, κύλινδρος, κώνος, παραλληλεπίπεδο) όπου το αντικείμενο μετασχηματίζεται σε επιφάνεια με τις ίδιες ιδιότητες και φαίνεται παρόμοιο από κάποια απόσταση, ενώ στο δεύτερο αλγόριθμο χρησιμοποιήθηκε απλοποίηση δικτύου τριγώνων τα οποία δομούν κάθε αντικείμενο.

Για την εξομάλυνση (πρόκειται ουσιαστικά για απλοποίηση υφής) χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές επεξεργασίας εικόνας ώστε να μειωθεί το μέγεθός της με χρήση χαμηλοπερατού φίλτρου και επανασύστασης.

Με τον τελεστή συμβολισμού τα αντικείμενα αντικαθιστώνται με σύμβολα τα οποία με τη σειρά τους είναι υφές πάνω σε δίκτυα τριγώνων ή/και στοιχειώδη στερεά και από απόσταση διαθέτουν μειωμένης ποιότητας υφή, απλοποιημένα δίκτυα τριγώνων, απλοποιημένα στοιχειώδη στερεά και άρα έχουν μικρότερο όγκο αποθήκευσης.

Οι συγγραφείς σημειώνουν ότι θα πρέπει μελλοντικά να μελετηθούν περισσότεροι τελεστές με σκοπό την εφαρμογή τους και την επέκταση του προτεινόμενου συστήματος γενίκευσης.



Σχήμα 4: Η αρχιτεκτονική του έμπειρου συστήματος γενίκευσης σε χάρτες 3D το οποίο παρουσιάζουν οι Frery *et al.* (2004). (Πηγή: Frery *et al.* 2004, 3)

Στον Πίνακα 11 συνοψίζονται τα κύρια στοιχεία της έρευνας των Frery *et al.* (2004).

Πίνακας 11: Συγκεντρωτικές πληροφορίες της έρευνας των Frery *et al.* (2004)

ΟΝΟΜΑΤΑ	Frery A., Da Silva C., Costa E., Almeida E.
ΦΟΡΕΑΣ-ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ	Τμήμα Τεχνολογίας της Πληροφορίας, Κέντρο Πληροφοριών, Βραζιλία
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	Τελεστές χαρτογραφικής γενίκευσης σε 3D με έμπειρο σύστημα
ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ	Γεωμετρικοί και Ιδιοτήτων (Βλ Πίνακα 10)
ΕΦΑΡΜΟΓΗ	3D Χάρτης της Ιστορικής συνοικίας της πόλης Recife στη Βραζιλία
ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ	V.R.M.L.

2.3.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Από την ανάλυση της τρέχουσας έρευνας που αφορά τη χαρτογραφική γενίκευση στους 3D χάρτες παρατηρούμε τα εξής:

Η έλλειψη επίσημης θεωρίας για τους 3D χάρτες γενικά (Haeberling 1999, Petrovic 2003) και για τους τελεστές ειδικότερα δυσχεραίνει την έρευνα σχετικά με την εφαρμογή της χαρτογραφικής γενίκευσης. Ενώ για τους 2D χάρτες έχει οριστεί ένα εμπειριστατωμένο εννοιολογικό μοντέλο ψηφιακής γενίκευσης με τους τελεστές του (McMaster and Shea 1992, βλ. Ενότητα 2.2.2.1) πάνω στο οποίο βασίστηκε μεγάλο τμήμα της μετέπειτα έρευνας, η έλλειψη ενός αντίστοιχου μοντέλου στους 3D χάρτες οδηγεί τους ερευνητές της χαρτογραφίας σε πολλές και διαφορετικές κατευθύνσεις. Έχει ενδιαφέρον βέβαια να παρατηρήσουμε τις διαφορετικές αυτές προσεγγίσεις και τον τρόπο που ο κάθε ερευνητής αντιλαμβάνεται τη χαρτογραφική γενίκευση σε τρεις διαστάσεις, όμως η έλλειψη μιας κοινής θεωρητικής βάσης προκαλεί σύγχυση και οδηγεί σε μια αποσπασματική αντιμετώπιση των προβλημάτων της χαρτογραφικής γενίκευσης. Βλέπουμε, για παράδειγμα, ότι πολλοί ερευνητές ασχολούνται με την κατασκευή αλγορίθμων για την εφαρμογή συγκεκριμένων τελεστών (Thiemann 2002, Kada 2002, Forberg and Mayer 2003) ενώ την ίδια στιγμή δεν έχουν καν καθοριστεί με σαφήνεια και πληρότητα οι τελεστές μέσω των οποίων εφαρμόζεται η χαρτογραφική γενίκευση στους 3D χάρτες.

Επιπλέον, το μεγαλύτερο ποσοστό των ερευνητών ασχολείται γενικά με 3D μοντέλα πόλεων (Chen and Bai 2001, Lal and Meng 2001, Kada 2002, Thiemann 2002, Forberg and Mayer 2003, Gröger et al. 2004) πιθανώς λόγω της μεγαλύτερης ζήτησης που παρουσιάζουν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η έρευνα να επικεντρώνεται στη χαρτογραφική γενίκευση συγκεκριμένων οντοτήτων – κυρίως κτιρίων που απεικονίζονται ως ογκομετρικά σύμβολα – και όχι σε όλα τα είδη των συμβόλων (σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά και ογκομετρικά σύμβολα). Εξάιρεση αποτελούν οι ερευνητικές εργασίες των Petrovic (2003), Frery *et al.* (2004). Βέβαια, ο πρώτος επικεντρώνεται στη σχεδίαση των 3D χαρτών και όχι στη χαρτογραφική γενίκευση την οποία προτείνει ως μια απλοποιημένη –μόνο– αναπαράσταση κάθε συμβόλου στα εκάστοτε Επίπεδα Λεπτομέρειας. Ο Frery και οι συνεργάτες του, από την άλλη, εμβαθύνουν περισσότερο στους τελεστές χαρτογραφικής γενίκευσης αλλά από τη σκοπιά των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών και για φωτορεαλιστικά σύμβολα.

Καταλήγουμε, τελικά, ότι δεν υπάρχει μέχρι στιγμής κάποια θεωρητική πρόταση για τους τελεστές της χαρτογραφικής γενίκευσης σε τρεις διαστάσεις η οποία να περιλαμβάνει κάθε τύπο συμβόλου και ότι μια τέτοια πρόταση είναι απαραίτητη. Η πρόταση αυτή θα μπορούσε να βασιστεί στο ευρέως αποδεκτό μοντέλο χαρτογραφικής γενίκευσης των McMaster και Shea προκειμένου να επαναπροσδιοριστούν οι γεωμετρικοί τελεστές της σε ένα 3D πλέον περιβάλλον, και παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Όπως είδαμε στα συμπεράσματα της βιβλιογραφίας στην προηγούμενη ενότητα έχουν γίνει πολλές ερευνητικές προσπάθειες που αφορούν τη γενίκευση σε χάρτες 3D αλλά καμμία από αυτές δεν εξετάζει όλους τους γεωμετρικούς τελεστές της και τον τρόπο που μετασχηματίζουν κάθε τύπο συμβόλου από χαρτογραφική σκοπιά. Η πρόταση που ακολουθεί έχει σκοπό να καλύψει αυτό ακριβώς το κενό στη θεωρία και να συμβάλει σε μια πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση της χαρτογραφικής γενίκευσης σε περιβάλλον 3D.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέρθηκε ότι η γενίκευση των χαρτογραφικών συμβόλων σε δύο διαστάσεις είναι απαραίτητη για τη μετάβαση σε άλλο χάρτη της ίδιας περιοχής αλλά μικρότερης κλίμακας. Η μείωση του φυσικού χώρου στον παράγωγο χάρτη και η μείωση των ελάχιστων διαστάσεων των συμβόλων του επιβάλλουν τη χρήση των τελεστών χαρτογραφικής γενίκευσης (Νάκος 2002).

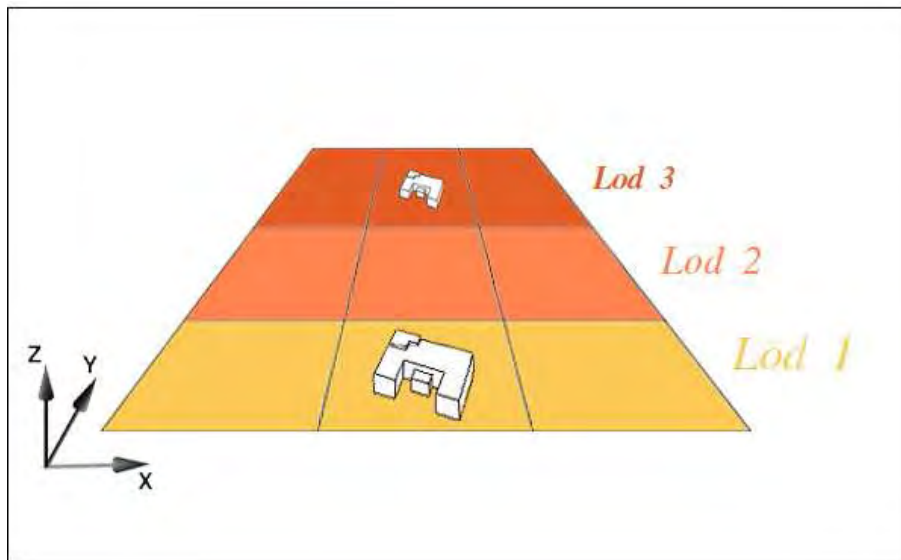
Τα ίδια ακριβώς προβλήματα καλείται να επιλύσει και η χαρτογραφική γενίκευση στους 3D χάρτες εφόσον διαφορετικές κλίμακες συνυπάρχουν στον ίδιο χάρτη ως αποτέλεσμα των διαφορετικών αποστάσεων των εκάστοτε χαρτογραφικών στοιχείων από το σημείο παρατήρησης (βλ. Ενότητα 2.3.1.1).

Πιο συγκεκριμένα, όσο μακρύτερα βρίσκεται το επίπεδο λεπτομέρειας από το σημείο παρατήρησης τόσο μικρότερος είναι και ο φυσικός χώρος του 3D χάρτη που του αντιστοιχεί εξαιτίας της προοπτικής προβολής. Επίσης, όσο μακρύτερα βρίσκεται το κάθε χαρτογραφικό σύμβολο από το σημείο παρατήρησης τόσο μειώνονται οι διαστάσεις του με αποτέλεσμα να μην είναι οπτικά αναγνώσιμο και άρα οι τελεστές χαρτογραφικής γενίκευσης πρέπει να το μετασχηματίσουν καταλλήλως (βλ. Εικόνα 13).

Παρουσιάστηκαν, επίσης, οι δέκα γεωμετρικοί τελεστές της χαρτογραφικής γενίκευσης στα πλαίσια ενός ευρύτερου εννοιολογικού μοντέλου για την ψηφιακή γενίκευση στους δισδιάστατους χάρτες (MacMaster and Shea, 1992) (βλ. Ενότητα 2.2.2.1). Συνοπτικά είναι οι εξής:

1. Απλοποίηση
2. Εξομάλυνση
3. Συγχώνευση σημειακών συμβόλων
4. Συγχώνευση γραμμικών συμβόλων

5. Συγχώνευση επιφανειακών συμβόλων
6. Μετάπτωσηση
7. Εκλέπτυνση
8. Μεγέθυνση
9. Ενίσχυση
10. Μετάθεση



Εικόνα 13: Όσο μακρύτερα βρίσκεται το σημείο παρατήρησης από το εκάστοτε επίπεδο λεπτομέρειας (Lod 1, 2, 3) τόσο μικρότερος είναι και ο φυσικός χώρος του 3D χάρτη που του αντιστοιχεί. Επιπλέον, οι διαστάσεις του κτιρίου που βρίσκεται μακρύτερα έχουν μειωθεί τόσο που το σύμβολο δεν είναι πλέον ευανάγνωστο και πρέπει να μετασχηματιστεί με τους κατάλληλους γεωμετρικούς τελεστές χαρτογραφικής γενίκευσης (εικόνα κτιρίου από Forberg 2004, 4 μετά από προσαρμογή).

Οι παραπάνω τελεστές διαφοροποιούνται ανάλογα με τα προβλήματα που καλούνται να επιλύσουν αλλά και ανάλογα με τα σύμβολα στα οποία εφαρμόζονται (σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά). Κάποιοι εξ' αυτών αφορούν ένα μόνο είδος συμβόλων, όπως για παράδειγμα ο τελεστής συγχώνευσης γραμμικών συμβόλων, ενώ άλλοι μπορεί να μετασχηματίζουν δύο τύπους συμβόλων όπως ο τελεστής απλοποίησης που εφαρμόζεται σε γραμμικά και επιφανειακά σύμβολα. Τέλος, υπάρχουν τελεστές που απευθύνονται σε όλα τα είδη των συμβόλων, όπως η μεγέθυνση και η μετάθεση. Επειδή εξ' ορισμού οι γεωμετρικοί τελεστές τροποποιούν τις γεωμετρικές διαστάσεις των χαρτογραφικών συμβόλων, είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τον τύπο του συμβόλου στο οποίο θα εφαρμοστούν.

Συνεπώς, για να μελετήσουμε τους γεωμετρικούς τελεστές της χαρτογραφικής γενίκευσης στους 3D χάρτες θα πρέπει να εξετάσουμε αυτήν ακριβώς τη σχέση

τελεστών-συμβόλων. Η βασική ιδέα είναι να στηριχτούμε στους τελεστές γενίκευσης έτσι όπως τους παρουσίασαν οι McMaster και Shea στο ευρέως αποδεκτό εννοιολογικό μοντέλο τους για την ψηφιακή γενίκευση στους δισδιάστατους χάρτες και να το επανεξετάσουμε για να δούμε τι μορφή θα μπορούσε να πάρει ώστε να περιγράψει τους γεωμετρικούς τελεστές χαρτογραφικής γενίκευσης σε έναν 3D χάρτη. Για να την ακολουθήσουμε θα πρέπει, σε δεύτερη φάση, να ορίσουμε τα σύμβολα στους 3D χάρτες:

Ο Petrovic (2003, 1923) αναφέρει: «Κάθε πραγματικό αντικείμενο είναι ένα σώμα τριών διαστάσεων. Κάποια από αυτά έχουν μία ή δύο δεσπόζουσες διαστάσεις και αυτό επηρεάζει τους χαρτογράφους στην επιλογή του τρόπου παρουσίασής τους στο χάρτη. Στη σχεδίαση χαρτών δύο διαστάσεων χρησιμοποιούμε σημειακά, γραμμικά και επιφανειακά σύμβολα. Χρησιμοποιώντας τις έξι οπτικές μεταβλητές του Bertin (απόχρωση, σχήμα, υφή, προσανατολισμός, μέγεθος και ένταση) μπορούν να κατασκευαστούν διάφορα σετ διαφορετικών χαρτογραφικών συμβόλων. Σε τρισδιάστατες απεικονίσεις τα βασικά χαρτογραφικά στοιχεία (σημείο, γραμμή, επιφάνεια-πολύγωνο) συμπληρώνονται από τα ογκομετρικά 3D αντικείμενα». Τα μεγέθη και σχήματά τους είναι σταθερά για τον επιλεγμένο τύπο αντικειμένων και για το επιλεγμένο επίπεδο λεπτομέρειας (Petrovic 2003).

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να ορίσουμε τους εξής τύπους συμβόλων στους 3D χάρτες (βλ. Εικόνα 14):

1. 3D Σημειακά σύμβολα:

«Πολλά χαρτογραφούμενα φαινόμενα βρίσκονται σε σημεία, αναφέρονται σε σημεία στην πραγματικότητα ή γίνονται αντιληπτά ως σημεία για χαρτογραφικούς σκοπούς» (Robinson *et al.* 2002, 601). (Σε δύο διαστάσεις) η επιφάνεια και το περίγραμμα των σημειακών συμβόλων που τα αναπαριστούν δεν ανταποκρίνονται στις πραγματικές διαστάσεις της οντότητας που απεικονίζεται (Νάκος και Φιλιππακοπούλου, 1993). Μολονότι το σύμβολο πιθανώς να καλύπτει συγκεκριμένο χώρο στο χάρτη, αν αναφέρεται εννοιολογικά σε μία θέση, θεωρείται σημειακό σύμβολο (Robinson *et al.* 2002, 397). Κάθε σημειακό σύμβολο θεωρείται αδιάστατο επειδή όλες οι διαστάσεις της οντότητας που απεικονίζει είναι αμελητέες στην εκάστοτε κλίμακα του χάρτη και μας ενδιαφέρει κυρίως η γεωγραφική του θέση.

Τα ίδια ισχύουν και στους 3D χάρτες με τη διαφορά ότι στην τρισδιάστατη απεικόνιση το σημειακό σύμβολο είναι πλέον σώμα τριών και όχι δύο διαστάσεων – προβάλλεται βέβαια σε δύο. Εδώ, όλες οι διαστάσεις του –μήκος, πλάτος,

πάχος– και άρα ο όγκος του δεν θα αντιστοιχούν στις πραγματικές. Ο Petrovic προτείνει τη χρήση γεωμετρικών σημειακών συμβόλων για τεχνητά σημειακά αντικείμενα (π.χ. κτίρια) και φωτορεαλιστικά σημειακά σύμβολα για φυσικά αντικείμενα (π.χ. δέντρα, θάμνοι) (Petrovic 2003).

2. 3D Γραμμικά σύμβολα:

Σε δύο διαστάσεις, αναπαριστούν φαινόμενα με μονοδιάστατο κύριο χαρακτηριστικό. Παρ' όλο που μερικές φορές έχουν πλάτος, επειδή η σχετική αναλογία μήκος/πλάτος είναι πολύ μεγάλη, τα αντιλαμβανόμαστε ως γραμμές. Μόνο το μήκος του συμβόλου αναφέρεται στο πραγματικό μήκος της οντότητας στο έδαφος, ενώ το πλάτος όχι (Νάκος και Φιλιππακοπούλου, 1993). Το τρισδιάστατο γραμμικό σύμβολο θα έχει αντίστοιχα «...μία δεσπύζουσα διάσταση και κυρίως σταθερές τις άλλες διαστάσεις, όπως οι οδοί...» (Petrovic 2003, 1923). Έτσι, από τις διαστάσεις του συμβόλου μόνο το μήκος του αντιστοιχεί στο πραγματικό ενώ το πλάτος και πάχος του θεωρούνται αμελητέα στη συγκεκριμένη κλίμακα.

3. 3D Επιφανειακά σύμβολα:

Σε δισδιάστατους χάρτες τα επιφανειακά σύμβολα απεικονίζουν φαινόμενα με επιφανειακή κάλυψη στο έδαφος και το όριο της επιφάνειας του συμβόλου στο χάρτη ανταποκρίνεται στο πραγματικό του όριο (Νάκος και Φιλιππακοπούλου, 1993). Τα επιφανειακά σύμβολα εκτείνονται στην επιφάνεια του χάρτη προκειμένου να υποδείξουν ότι η περιοχή έχει κάποιες κοινές ιδιότητες, όπως το νερό, η διοικητική οργάνωση ή κάποιο μετρήσιμο χαρακτηριστικό. Ένα επιφανειακό σύμβολο είναι γραφικά ομοιόμορφο πάνω σε όλη την επιφάνεια που αναπαριστά (Robinson *et al.* 2002). Στους 3D χάρτες, ο Petrovic μιλάει για μία μόνο διάσταση της οντότητας σταθερή (συνήθως το πάχος). Τα επιφανειακά σύμβολα κατασκευάζονται είτε ως στερεά (solids), είτε ως δίκτυα τριγώνων (meshes). Κάποια παραδείγματα 3D επιφανειακών συμβόλων είναι: δάση, δενδρόκηποι, ακόμη και χιονισμένες επιφάνειες (Petrovic 2003).

4. 3D Ογκομετρικά σύμβολα:

Τα αντικείμενα απεικονίζονται με τις πραγματικές τους διαστάσεις σε κάθε έναν από τους τρεις άξονες (Petrovic 2003). Αντικείμενα όπως κτίρια κατασκευάζονται ως παραμετρικά μοντέλα, πρισματικά μοντέλα ή μοντέλα πολυέδρων. Από αυτά, οι ερευνητές Lal και Meng θεωρούν τα τελευταία ως καταλληλότερα επειδή η συγκεκριμένη δομή δεδομένων δίνει πληροφορίες για κάθε επιφάνεια, ακμή και κορυφή του αντικειμένου και τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους (Lal

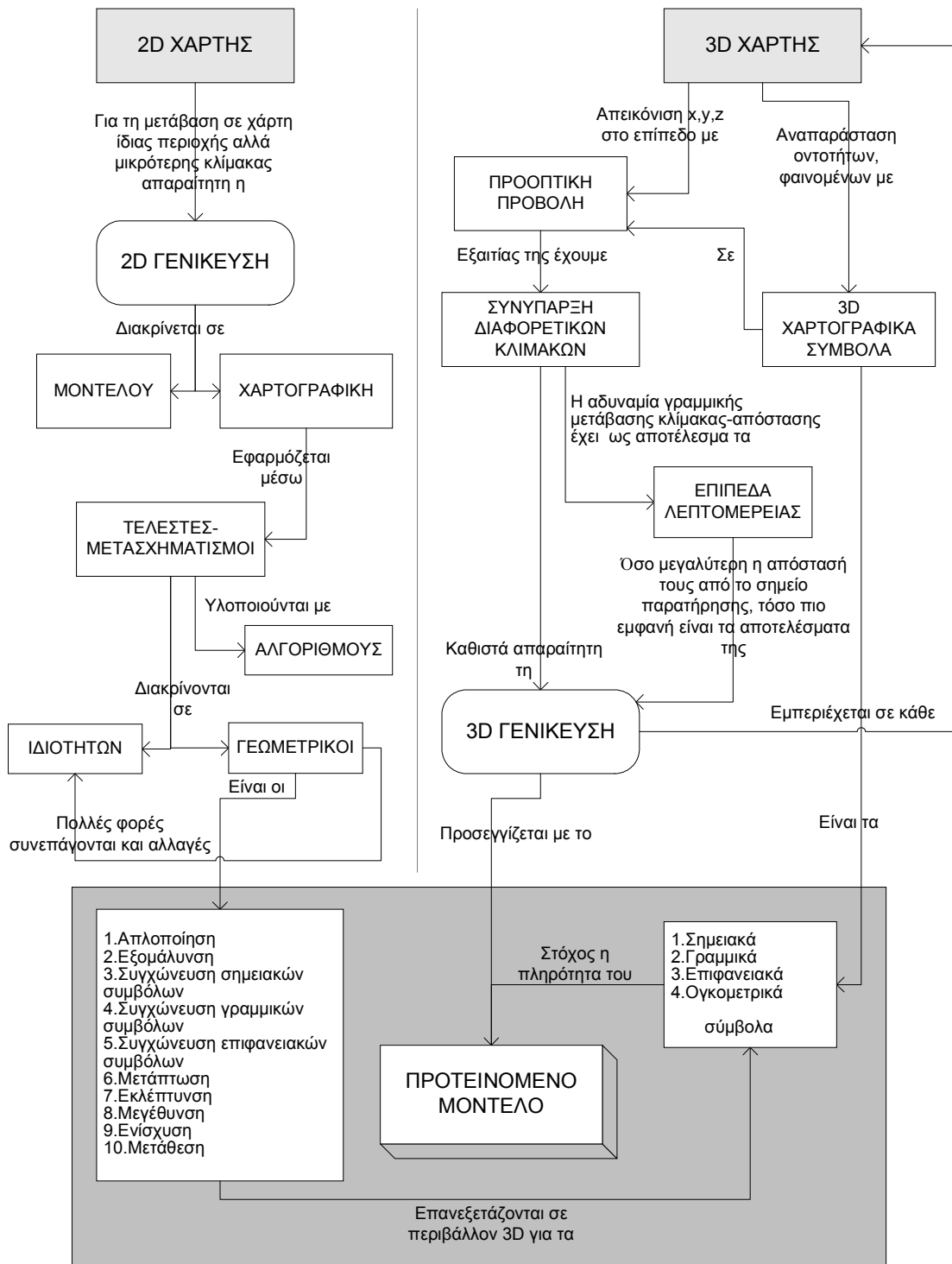
and Meng 2001). Μερικά παραδείγματα ογκομετρικών συμβόλων είναι μεγάλα και σημαντικά τεχνητά αντικείμενα και επίσης υδάτινες εκτάσεις, όπως λίμνες και μεγάλα ποτάμια (Petrovic 2003).

Εκτός από τα παραπάνω 3D σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά και ογκομετρικά σύμβολα, ο 3D χάρτης συμπληρώνεται από το μοντέλο εδάφους, το οποίο «...αποτελεί το θεμέλιο κάθε 3D χαρτογραφικού μοντέλου. Συνήθως περιγράφεται από ένα δίκτυο τριγώνων ή ορθογωνίων. Όλα τα αντικείμενα και φαινόμενα του τοπίου τοποθετούνται στο μοντέλο εδάφους και απεικονίζονται με το κατάλληλο σύμβολο... Τα σύμβολα που έχουν προέλθει από ανάρτηση (draping) στο ανάγλυφο (π.χ. μονοπάτια) θα έχουν ίδιο υψόμετρο με αυτό του αναγλύφου και άρα το υψόμετρο z του συμβόλου δεν είναι απαραίτητο, ενώ για σύμβολα με μεγαλύτερο ή μικρότερο υψόμετρο απαιτείται η υψομετρική πληροφορία (π.χ. γέφυρες, τούνελ, γραμμές ενέργειας)» (Petrovic 2003, 1923).



Εικόνα 14: Μερικά 3D χαρτογραφικά σύμβολα. Γεωμετρικό και ρεαλιστικό σημειακό σύμβολο, γραμμικό σύμβολο, επιφανειακό σύμβολο (από αριστερά προς τα δεξιά). (Πηγή: Petrovic 2003, 1923)

Προκειμένου, λοιπόν, να προσεγγίσουμε τη χαρτογραφική γενίκευση στους 3D χάρτες επανεξετάζουμε τους προαναφερόμενους τελεστές έναν προς ένα και ελέγχουμε ποιοι από αυτούς θα είχαν λόγο ύπαρξης και με ποια μορφή για κάθε έναν από τους τύπους των 3D συμβόλων έτσι όπως ορίστηκαν προηγουμένως. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας αναμένουμε να καταλήξουμε σε ένα σετ γεωμετρικών τελεστών οι οποίοι θα καλύψουν τις ανάγκες χαρτογραφικής γενίκευσης σε περιβάλλον 3D (βλ. Ενότητα 3.3). Παρακάτω, παρουσιάζεται το όλο σκεπτικό του προτεινόμενου μοντέλου με τη μορφή εννοιολογικού χάρτη.



Διάγραμμα 1: Εννοιολογικός χάρτης του προτεινόμενου μοντέλου για τη 3D γενίκευση

Στόχος μας είναι η πληρότητα του προτεινόμενου μοντέλου, να περιλαμβάνει δηλαδή την πλειονότητα των περιπτώσεων που μπορεί να συναντήσουμε στην πορεία της χαρτογραφικής γενίκευσης ενός τοπογραφικού 3D χάρτη.

Για την πιο ολοκληρωμένη πρόταση ενός τέτοιου μοντέλου χαρτογραφικής γενίκευσης κρίθηκε σκόπιμη η οπτικοποίηση των τελεστών η οποία παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

3.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ-ΟΠΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Εφόσον συζητάμε για τελεστές χαρτογραφικής γενίκευσης, η γραφική απεικόνισή τους είναι μείζονος σημασίας. Το μοντέλο που ορίζει και περιγράφει τους γεωμετρικούς τελεστές σε ένα 3D χάρτη δεν θα μπορούσε να είναι πλήρες χωρίς την οπτικοποίηση κάθε τελεστή χωριστά ώστε να παρουσιάζεται με σαφήνεια ο μετασχηματισμός κάθε συμβόλου στα πλαίσια της χαρτογραφικής γενίκευσης.

Μια τέτοια οπτικοποίηση, για να είναι αποτελεσματική θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- a) την απεικόνιση του συμβόλου στην αρχική κλίμακα,
- b) την εφαρμογή του εκάστοτε γεωμετρικού τελεστή στο σύμβολο, και
- c) την απεικόνιση του μετασχηματισμένου συμβόλου στην παράγωγη κλίμακα.

Όλες οι προηγούμενες απεικονίσεις είναι απαραίτητο να προβάλλονται στο επίπεδο (οθόνη/χαρτί) μέσω προοπτικής προβολής γιατί, όπως προαναφέρθηκε στην Ενότητα 2.3.1.1, στις παράλληλες προβολές η κλίμακα είναι ενιαία και η χαρτογραφική γενίκευση δεν είναι απαραίτητη.

Στους 3D χάρτες όπου οι διαφορετικές κλίμακες συνυπάρχουν στα επίπεδα λεπτομέρειας (βλ. Ενότητα 2.3.1.1), δεν έχουν καθιερωθεί –μέχρι στιγμής τουλάχιστον– συγκεκριμένες κλίμακες για κάθε επίπεδο λεπτομέρειας. Εξάλλου, τα εύρη των κλιμάκων που αντιστοιχούν σε κάθε επίπεδο λεπτομέρειας εξαρτώνται από το σκοπό για τον οποίο κατασκευάζεται ο 3D χάρτης, όπως και από τις παραμέτρους που ορίζουν την προοπτική προβολή. Δεν ισχύει όμως το ίδιο και για τους δισδιάστατους τοπογραφικούς χάρτες.

Αυτοί κατασκευάζονται στις εξής κλίμακες: 1:1.000.000, 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000, 1:25.000, 1:10.000, 1:5.000. Στις περισσότερες περιπτώσεις η παράγωγη κλίμακα ισούται με το μισό της προηγούμενης – οπότε και η ίδια περιοχή θα καταλαμβάνει το $\frac{1}{4}$ του φυσικού χώρου του χάρτη σε σχέση με τον αρχικό (Νάκος 2002). Συνεπώς, η κλίμακα του παράγωγου 3D χάρτη επιλέχθηκε να ισούται με το ήμισυ της αρχικής (50%).

Ακόμη, στη χαρτογραφική γενίκευση δισδιάστατων χαρτών κάθε γεωμετρικός μετασχηματισμός καθοδηγείται από τα ελάχιστα οπτικά όρια αντίληψης και διαχωρισμού για τους διάφορους τύπους συμβόλων τα οποία έχουν προκύψει από εμπειρικές έρευνες. Τα αντίστοιχα μεγέθη για 3D προοπτικές απεικονίσεις δεν έχουν σαφώς καθοριστεί.

Υπόθεση εργασίας: Εφόσον δεν έχουν καθιερωθεί διαστάσεις για τα ελάχιστα μεγέθη των συμβόλων στις προοπτικές απεικονίσεις και επειδή είναι αναγκαίο να οριστούν για την οπτικοποίηση των γεωμετρικών τελεστών γενίκευσης, έγινε η εξής παραδοχή:

- Ελάχιστες διαστάσεις σημειακών και ογκομετρικών συμβόλων:
3 μμ(μήκος)×3 μμ(πλάτος)×0,75 μμ(πάχος).
- Ελάχιστες διαστάσεις γραμμικών συμβόλων: 3 μμ(πλάτος)×0,75 μμ(πάχος).
- Ελάχιστες διαστάσεις επιφανειακών συμβόλων: 0,75 μμ(πάχος).

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι μια λογική προσέγγιση για την οπτικοποίηση κάθε τελεστή χαρτογραφικής γενίκευσης σε τρεις διαστάσεις είναι η εξής:

- a) Απεικόνιση του συμβόλου στην αρχική κλίμακα (100%).
- b) Εφαρμογή του εκάστοτε γεωμετρικού τελεστή στο σύμβολο («ενδιάμεση κλίμακα»100%).
- c) Απεικόνιση του μετασχηματισμένου συμβόλου στην παράγωγη κλίμακα (50% της αρχικής).

Το μεγαλύτερο μέρος της οπτικοποίησης των τελεστών της χαρτογραφικής γενίκευσης έγινε στο λογισμικό AutoCad Map. Το λογισμικό δίνει τη δυνατότητα σχεδίασης 3D στερεών-αντικειμένων, καθώς και απόδοσης αυτών των γραφικών (rendering) σε προοπτική προβολή.

Όσον αφορά τις παραμέτρους της προοπτικής προβολής, το οπτικό πεδίο (field of view-fov) της κάμερας που ενδείκνυται για τους 3D χάρτες κυμαίνεται περίπου μεταξύ 40°-50° επειδή προσομοιάζει την ανθρώπινη όραση (Haeberling 2003, 84). Όσο αυξάνεται η τιμή της γωνίας, οι παραμορφώσεις γίνονται μεγαλύτερες αλλά ταυτόχρονα γίνεται πιο εμφανές ότι πρόκειται για προοπτικό χάρτη. Με αυτό το σκεπτικό επιλέχθηκε για τις οπτικοποιήσεις η τιμή fov ≈74°(εστιακή απόσταση φακού f=18mm). Επίσης, σε κάθε οπτικοποίηση η κάμερα στοχεύει στο κέντρο της περιοχής που απεικονίζεται και η γωνία που σχηματίζει με την κατακόρυφο ισούται με 45°.

Τα τρισδιάστατα σύμβολα σχεδιάστηκαν ως απλά γεωμετρικά σχήματα και σύνολα επιφανειών (solids, 3D-faces, extruded/ruled surfaces). Χρησιμοποιήθηκαν οι

οπτικές μεταβλητές (απόχρωση, σχήμα, μέγεθος κ.α.) όπως και φωτοσκίαση, με σκοπό τα σύμβολα να απεικονίζουν όσο το δυνατόν ορθότερα τις οντότητες στις οποίες αντιστοιχούν. Σημειώνεται ότι η σχεδίαση συμβόλων για τρισδιάστατους χάρτες δεν αποτελεί αυτοσκοπό της διπλωματικής εργασίας αλλά μέσο για την οπτικοποίηση των γεωμετρικών τελεστών της χαρτογραφικής γενίκευσης στις τρεις διαστάσεις.

Ως μοντέλο εδάφους χρησιμοποιήθηκε ένα υποτυπώδες δίκτυο τριγώνων (3D mesh) με τα εκάστοτε υπερκείμενα σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά και ογκομετρικά σύμβολα. Στην οπτικοποίηση κάθε τελεστή συμπεριλήφθηκαν μόνο τα συγκεκριμένα σύμβολα που μετασχηματίζονται (και φυσικά το ανάγλυφο του εδάφους), ώστε ο αναγνώστης να κατανοήσει καλύτερα την εφαρμογή του τελεστή και να μην δημιουργηθεί οπτική σύγχυση από την ύπαρξη άλλων συμβόλων.

Επίσης, κάθε γεωμετρικός τελεστής οπτικοποιήθηκε χωριστά για κάθε τύπο συμβόλου στο οποίο εφαρμόζεται (σημειακό, γραμμικό, επιφανειακό, ογκομετρικό). Τα ψηφιακά αρχεία επεξεργάστηκαν περαιτέρω στο λογισμικό Photoshop και παρουσιάζονται στην τελική τους μορφή στην επόμενη ενότητα.

3.3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΠΡΟΤΑΣΗ

Αφού παρουσιάστηκαν τα είδη των συμβόλων στους 3D χάρτες (σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά, ογκομετρικά), επανεξετάζουμε τους δέκα γεωμετρικούς τελεστές γενίκευσης των McMaster και Shea (βλ. Ενότητα 2.2.2.1) για να προσδιορίσουμε τη μορφή τους στις τρισδιάστατες απεικονίσεις. Μας ενδιαφέρει το σύνολο των γεωμετρικών τελεστών που θα προκύψει από αυτή τη διαδικασία να είναι σε θέση να αντιμετωπίσει την πλειονότητα των περιπτώσεων που απαιτούν χαρτογραφική γενίκευση.

(Ο τρόπος με τον οποίο θα εφαρμοστεί ο εκάστοτε τελεστής, το πώς δηλαδή θα υλοποιηθεί για να εξασφαλίσει τα κατάλληλα αποτελέσματα, εξαρτάται από τον αλγόριθμο που θα χρησιμοποιηθεί και άρα ξεφεύγει από το σκοπό της παρούσας ενότητας. Για περισσότερες πληροφορίες όσον αφορά τους αλγόριθμους της χαρτογραφικής γενίκευσης στους 3D χάρτες βλ. ενότητα 2.3.2.).

Όσον αφορά τους τελεστές σε δύο διαστάσεις, θα συνεχίσουν να υφίστανται με παρόμοιο περιεχόμενο εφόσον οι λόγοι ύπαρξής τους και τα προβλήματα που καλούνται να επιλύσουν παραμένουν τα ίδια και στους 3D χάρτες. Η μείωση του φυσικού χώρου του χάρτη στα επίπεδα λεπτομέρειας μακριά από το σημείο παρατήρησης και οι συνέπειες της μείωσης της κλίμακας σε αυτά δημιουργούν τα ίδια προβλήματα: συμφόρηση στο 3D χάρτη, επικάλυψη συμβόλων, αδυναμία εκπλήρωσης των γραφικών περιορισμών κ.α. Η μορφή αυτών των τελεστών δεν μπορεί, βεβαίως, να είναι ακριβώς ίδια γιατί εξ' ορισμού υπάρχει και η τρίτη διάσταση –αυτή του υψομέτρου. Κάθε γεωμετρικός μετασχηματισμός θα πρέπει, συνεπώς, να ορίζει εκτός από τους οριζοντιογραφικούς και τους υψομετρικούς μετασχηματισμούς στα χαρτογραφικά στοιχεία.

Πέραν αυτού, οι τελεστές θα χρειαστεί να τροποποιηθούν περαιτέρω αφού έχουμε πλέον και μια νέα κατηγορία συμβόλων, τα ογκομετρικά 3D σύμβολα. Σε αυτό το στάδιο, ελέγχουμε σε ποιους από τους υπάρχοντες τελεστές είναι απαραίτητο να συμπεριληφθούν τα ογκομετρικά σύμβολα και αν αυτό έχει νόημα. Για παράδειγμα, ενώ στον τελεστή συγχώνευσης σημειακών συμβόλων κάτι τέτοιο θα ήταν άστοχο, αντίθετα στον τελεστή μετάθεσης είναι απαραίτητο.

Επιπλέον, θα πρέπει να διερευνηθεί με τη νέα κατηγορία ογκομετρικών συμβόλων εάν χρειάζεται να δημιουργηθούν καινούριοι τελεστές ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες μετασχηματισμού τους όπως και στις άλλες κατηγορίες συμβόλων.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα παραπάνω καταλήγουμε στην παρακάτω μορφή των γεωμετρικών μετασχηματισμών χαρτογραφικής γενίκευσης που παρουσιάζεται αναλυτικά:

- Απλοποίηση

Με αυτόν τον τελεστή απεικονίζεται γενικά υποσύνολο των σημείων που απαρτίζουν τα σύμβολα, εφόσον κατά τη μείωση της κλίμακας δεν είναι απαραίτητη τόση λεπτομέρεια. Διατηρούνται αναλλοίωτα, ως προς τις συντεταγμένες τους x , y , z , τα σημεία που διαμορφώνουν το σχήμα και το χαρακτήρα του συμβόλου και τα υπόλοιπα απαλείφονται. Επίσης, όπως και στους 2D χάρτες, ο χώρος που απαιτείται για την αποθήκευσή τους είναι πλέον μικρότερος.

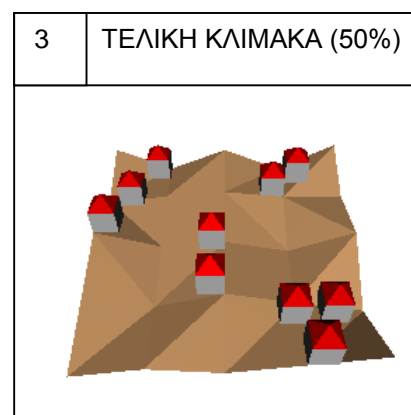
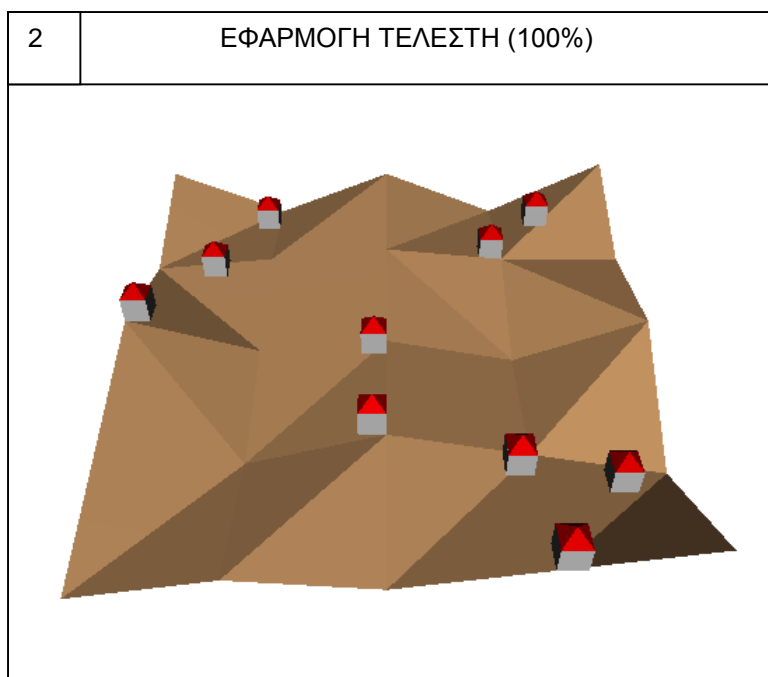
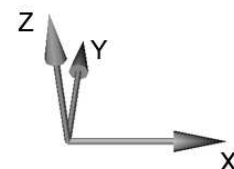
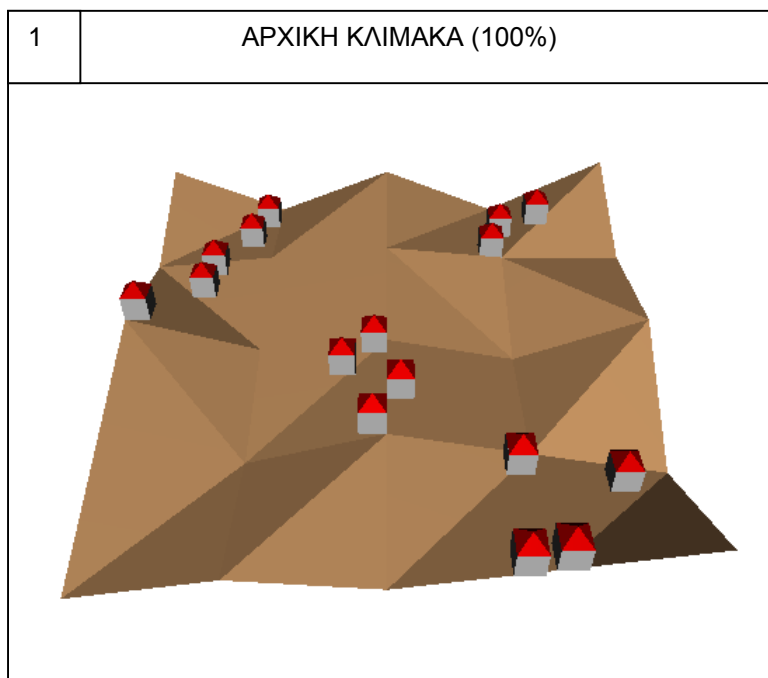
Ειδικότερα, τα σημειακά σύμβολα που ανήκουν στην ίδια κατηγορία και βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις θα επικαλυφθούν εφόσον το ελάχιστο μέγεθος του σημειακού συμβόλου παραμένει ίδιο και ο φυσικός χώρος του χάρτη μειώνεται. Έτσι, η απλοποίηση σημειακών συμβόλων ισοδυναμεί με την απεικόνιση κατάλληλου υποσυνόλου της αρχικής κατηγορίας –τα υπόλοιπα διαγράφονται– ώστε να συνεχίσει να απεικονίζεται το φαινόμενο και οι οντότητες χωρίς να δημιουργούνται οπτικά προβλήματα (βλ. Οπτικοποίηση 1).

Στα γραμμικά σύμβολα αφαιρούνται περιττά σημεία από τον άξονα του συμβόλου. Οπτικά, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αφαίρεση σημείων από την κύρια επιφάνειά του και τις παράπλευρες επιφάνειες που τη συνοδεύουν (βλ. Οπτικοποίηση 2).

Στα επιφανειακά σύμβολα η απλοποιημένη αναπαράσταση του συμβόλου επιτυγχάνεται με αφαίρεση σημείων από το όριό της επιφάνειας και οι παράπλευρες επιφάνειες ακολουθούν (βλ. Οπτικοποίηση 3).

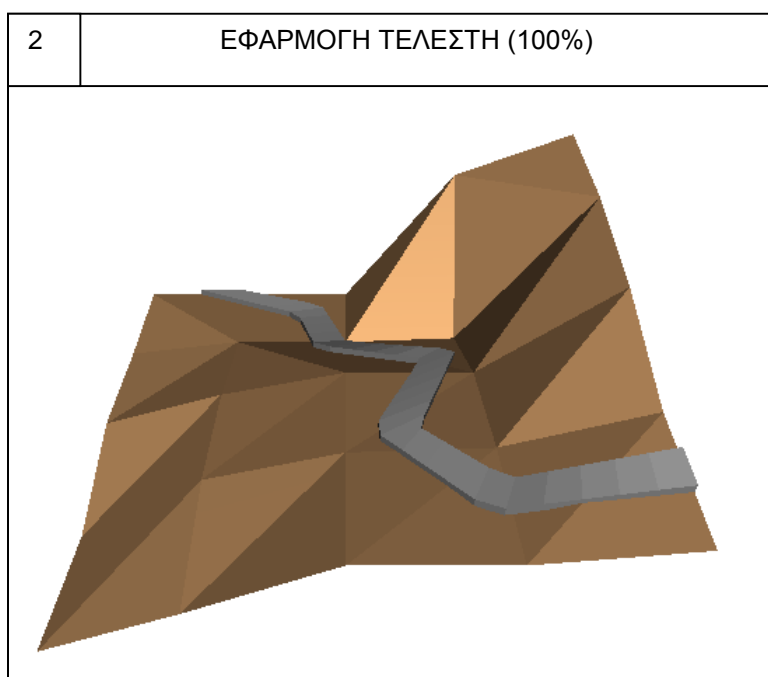
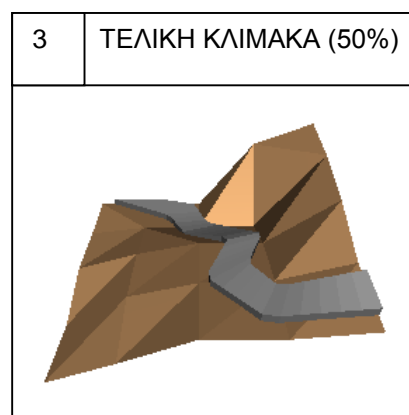
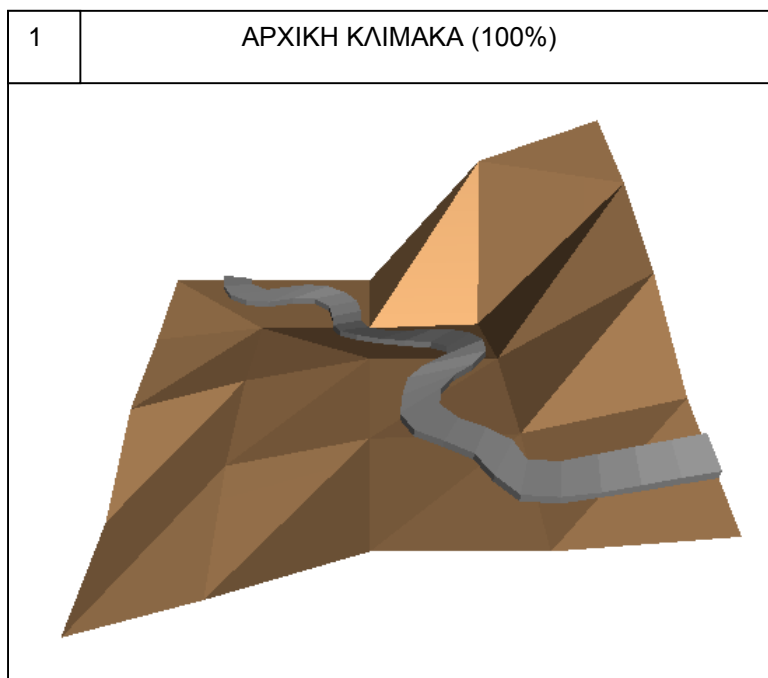
Στην περίπτωση των ογκομετρικών συμβόλων αφαιρούνται σημεία από τις ακμές και άρα επιφάνειές του οι οποίες δεν θα ήταν ορατές στον παράγωγο χάρτη λόγω του μικρού τους μεγέθους. Είναι πιθανό να απαλειφθούν και σύνολα επιφανειών εάν χρειαστεί, όπως εσοχές, προεξοχές και ολόκληρα τμήματα του συμβόλου. Μας ενδιαφέρει, και πάλι, να διατηρηθεί το κύριο σχήμα και ο χαρακτήρας του. Η απλοποίηση θα μεταβάλλει αναπόφευκτα τον εκάστοτε όγκο του συμβόλου, σφάλμα το οποίο πρέπει –όσο το δυνατόν– να ελαχιστοποιηθεί (βλ. Οπτικοποίηση 4).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



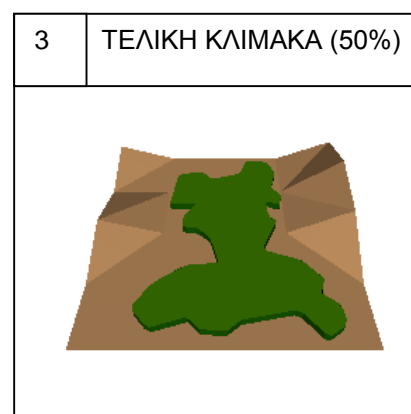
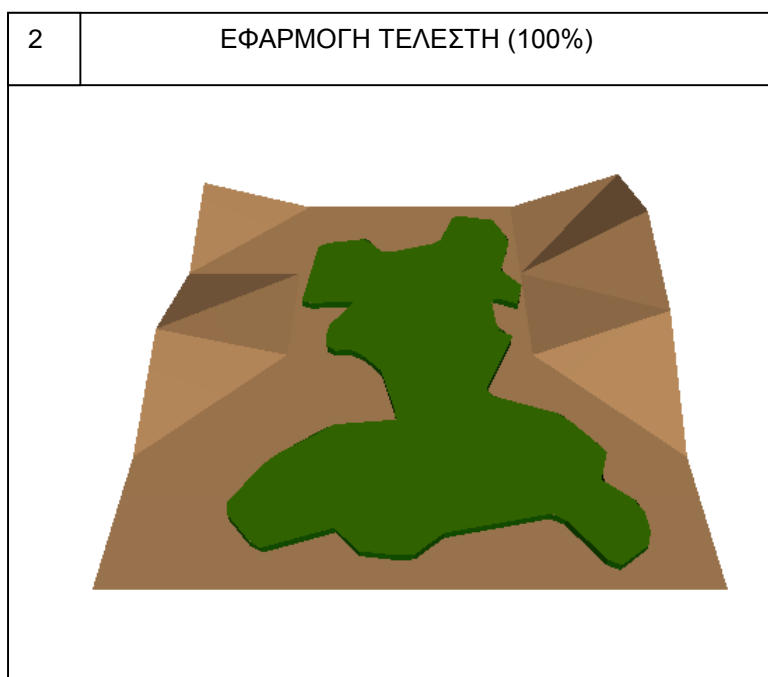
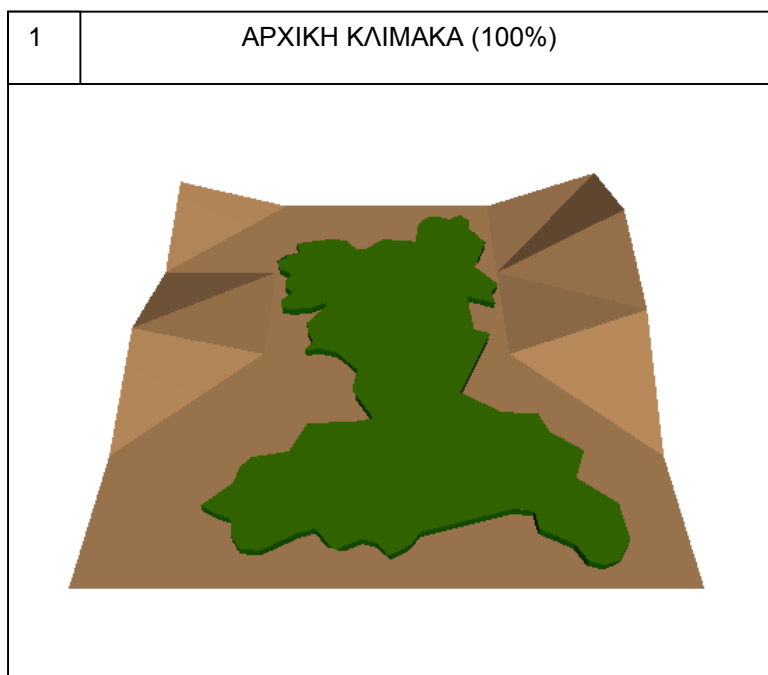
Οπτικοποίηση 1: Τα κτίσματα στο τμήμα του αρχικού 3D χάρτη απεικονίζονται με τα παραπάνω σημειακά σύμβολα (1). Ο τελεστής απλοποίησης χρησιμοποιείται εδώ για να αποφευχθεί η επικάλυψη των συμβόλων εφόσον το ελάχιστο μέγεθός τους παραμένει ίδιο και στην παράγωγη κλίμακα. Εφαρμόζεται, λοιπόν, απαλοιφή κάποιων σημειακών συμβόλων (2), με την προϋπόθεση ότι διατηρείται όσο το δυνατόν το γενικότερο μοτίβο κάθε συστάδας στην παράγωγη κλίμακα (3). Ποια σύμβολα θα απαλειφθούν εξαρτάται επίσης και από τη σχέση τους με άλλες κατηγορίες συμβόλων. Εάν, για παράδειγμα, μια οδός οδηγεί σε κάποιο κτίσμα και η οδός αυτή διατηρηθεί στον παράγωγο χάρτη, θα διατηρηθεί υποχρεωτικά και το εν λόγω κτίσμα.

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



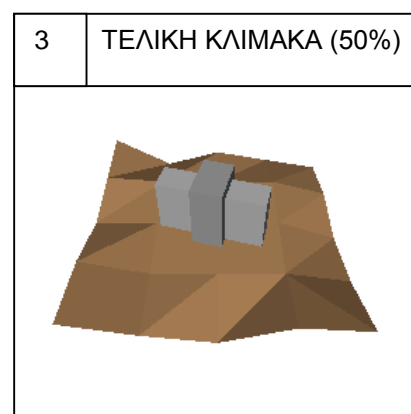
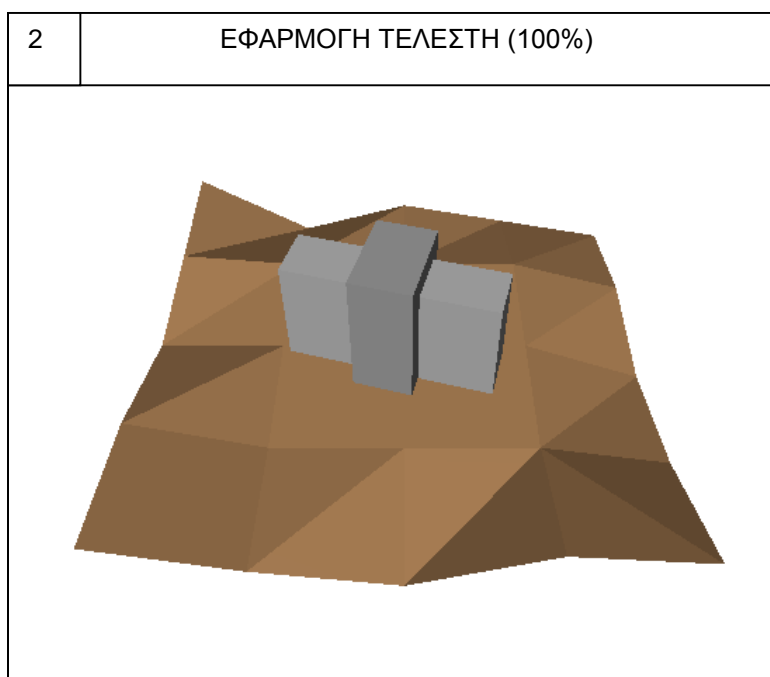
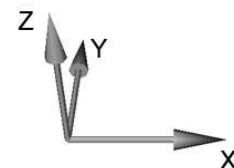
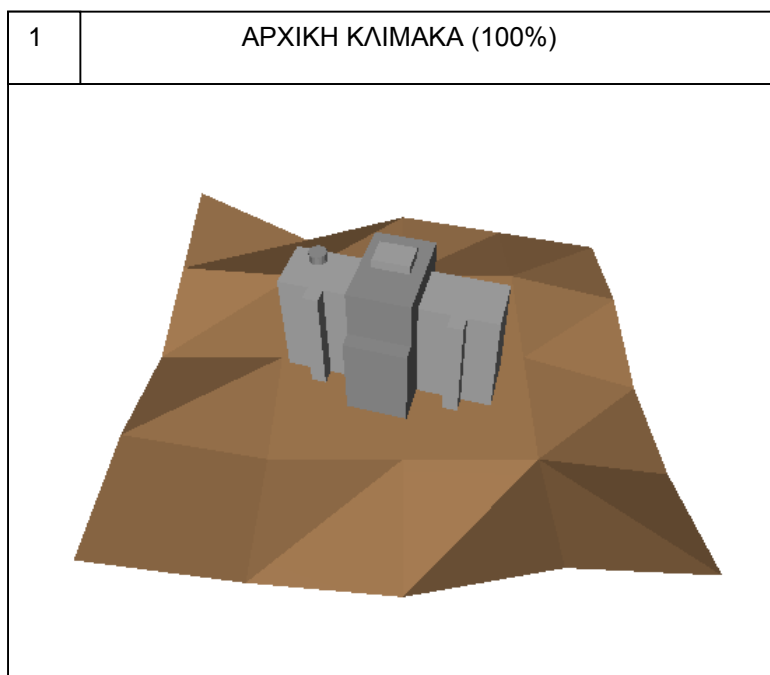
Οπτικοποίηση 2: Στον αρχικό 3D χάρτη μια οδός αναπαριστάται με γραμμικό σύμβολο (1). Με τον τελεστή απλοποίησης διατηρούνται τα πιο αντιπροσωπευτικά σημεία του άξονα της οδού και απαλείφονται τα υπόλοιπα (2). Οι συντεταγμένες (x,y,z) των σημείων που διατηρούνται παραμένουν αναλλοίωτες. Με τη χρήση του τελεστή απαλείφονται περιττά σημεία που στην παράγωγη κλίμακα θα δημιουργούσαν οπτική σύγχυση εφόσον πρέπει να διατηρηθεί το ελάχιστο μέγεθος του γραμμικού συμβόλου, ενώ ταυτόχρονα μειώνονται οι απαιτήσεις του ψηφιακού χάρτη σε χωρητικότητα. Σημειώνεται ότι επειδή ο τελεστής δημιουργεί έντονες γωνίες στον παράγωγο χάρτη (3), θα πρέπει να επακολουθήσει εξομάλυνση του γραμμικού συμβόλου (βλ. Οπτικοποίηση 5).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



Οπτικοποίηση 3: Δασική περιοχή απεικονίζεται στον αρχικό χάρτη με επιφανειακό σύμβολο (1). Με τον τελεστή απλοποίησης διατηρείται υποσύνολο των σημείων που ορίζουν το επιφανειακό σύμβολο – τα πιο αντιπροσωπευτικά - ενώ τα υπόλοιπα σημεία απαλείφονται (2). Τα σημεία που παραμένουν στον παράγωγο χάρτη διατηρούν τις αρχικές τους συντεταγμένες (3). Έτσι, το απλοποιημένο επιφανειακό σύμβολο διατηρεί το βασικό του σχήμα και ταυτόχρονα απαλείφεται η ανεπιθύμητη λεπτομέρεια.

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



Οπτικοποίηση 4: Στον αρχικό 3D χάρτη ένα κτίριο με περίπλοκη δομή αναπαριστάται με ογκομετρικό σύμβολο (1). Με τον τελεστή απλοποίησης διατηρούνται οι πιο αντιπροσωπευτικές επιφάνειες του κτιρίου και απαλείφονται οι υπόλοιπες (2). Οι συντεταγμένες (x,y,z) των σημείων που ορίζουν τις αντιπροσωπευτικές αυτές επιφάνειες παραμένουν αναλλοίωτες. Οι προεξοχές απαλείφονται γιατί στον παράγωγο χάρτη θα ήταν δυσδιάκριτες λόγω των μικρών διαστάσεών τους. Στον παράγωγο χάρτη (3) παρατηρούμε ότι το σύμβολο διατηρεί τον βασικό του χαρακτήρα ενώ ταυτόχρονα έχει αφαιρεθεί η ανεπιθύμητη λεπτομέρεια.

- Εξομάλυνση

Ο τελεστής εξομάλυνσης έχει στόχο την αισθητική βελτίωση των συμβόλων που απεικονίζονται στο 3D χάρτη. Λειτουργεί ως εξής: μεταθέτει ελαφρώς τις κορυφές των συμβόλων, και άρα αλλάζει τις συντεταγμένες τους, προκειμένου να μειωθούν οι έντονες γωνίες που έχουν δημιουργηθεί είτε από την ψηφιοποίηση είτε από τον τελεστή απλοποίησης. Ο αριθμός των κορυφών διατηρείται ίδιος και στην παράγωγη κλίμακα.

Από τον ορισμό του τελεστή είναι προφανές ότι δεν έχει νόημα να εφαρμοστεί στα σημειακά σύμβολα.

Στα γραμμικά σύμβολα, η μετάθεση αυτή αφορά τον άξονα του συμβόλου και, κατά συνέπεια, τις παράπλευρες επιφάνειές του (βλ. Οπτικοποίηση 5).

Στα επιφανειακά σύμβολα, η μετάθεση εφαρμόζεται στα σημεία που αποτελούν το όριο της επιφάνειας και η παράπλευρη επιφάνεια ακολουθεί (βλ. Οπτικοποίηση 6).

Στα ογκομετρικά σύμβολα, ο τελεστής δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σύμβολα όπως κτίρια όπου είναι απαραίτητο να διατηρηθούν οι αρχικές γωνίες. Αφορά κυρίως το ψηφιακό μοντέλο εδάφους και εξομαλύνει την επιφάνειά του για αισθητικούς λόγους (βλ. Οπτικοποίηση 7).

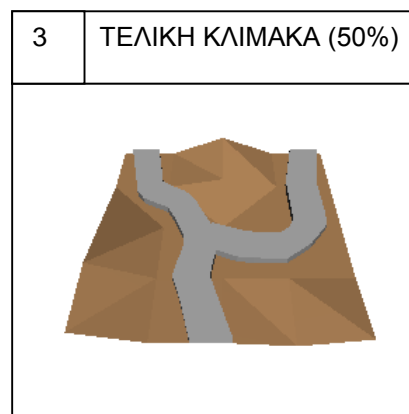
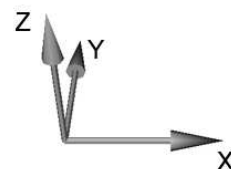
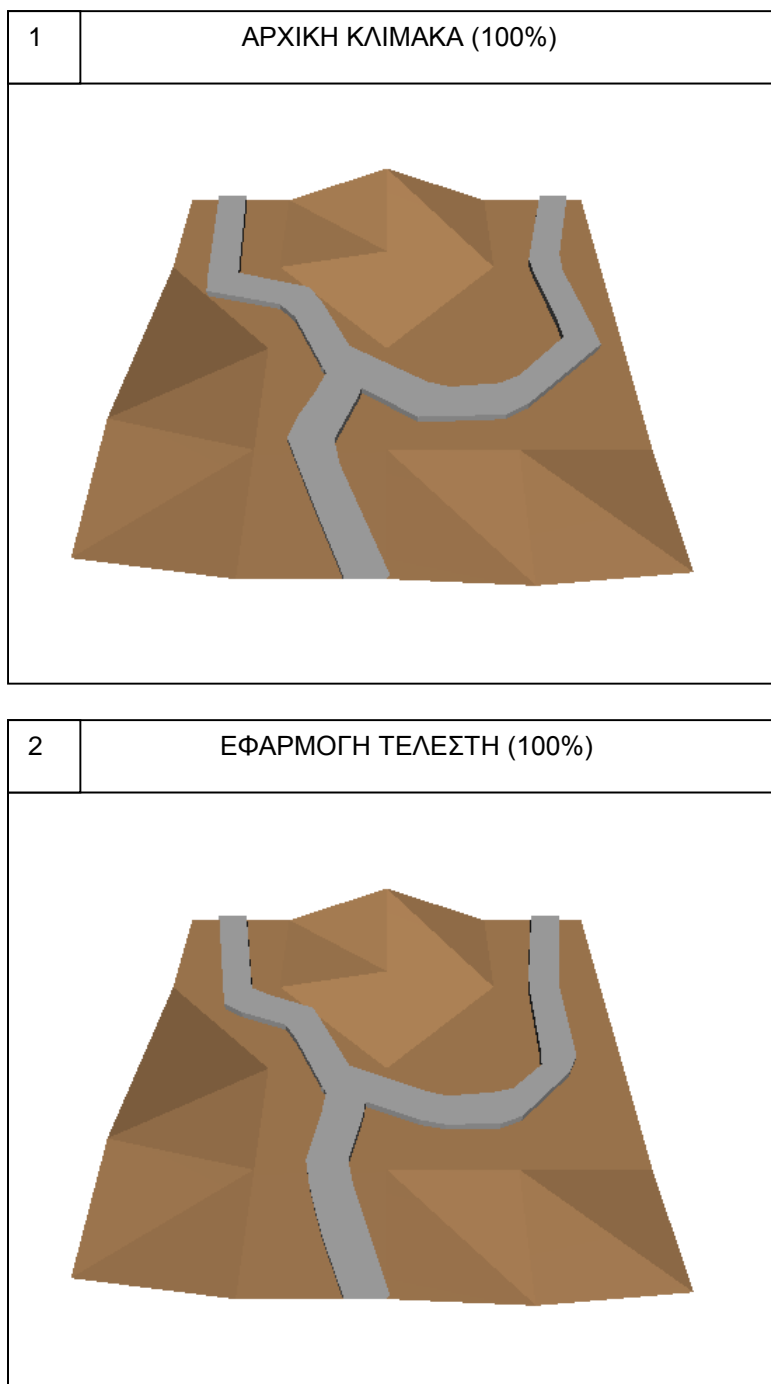
- Συγχώνευση σημειακών συμβόλων

Ο συγκεκριμένος τελεστής αφορά μόνο σημειακά σύμβολα της ίδιας κατηγορίας. Χρησιμοποιείται όταν η κατανομή τους είναι τέτοια που, λόγω της μικρής τους απόστασης, στον παράγωγο χάρτη η αναπαράσταση όλων των συμβόλων δημιουργεί οπτικά προβλήματα όπως επικαλύψεις και αδυναμία οπτικού διαχωρισμού. Εφόσον μας ενδιαφέρει να αναπαρασταθεί το φαινόμενο σε όλη την έκταση που εμφανίζεται, τα σημειακά σύμβολα συνενώνονται σε ένα συνεχές επιφανειακό σύμβολο με όρια τα ακραία σημεία της περιοχής (βλ. Οπτικοποίηση 8).

- Συγχώνευση γραμμικών συμβόλων

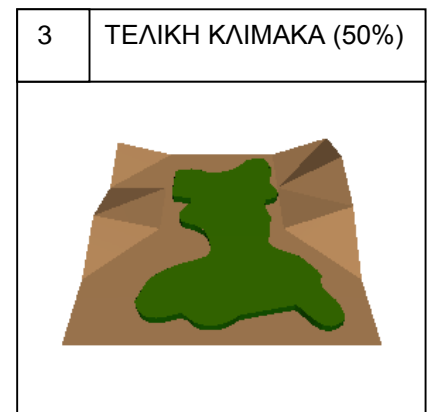
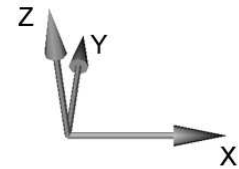
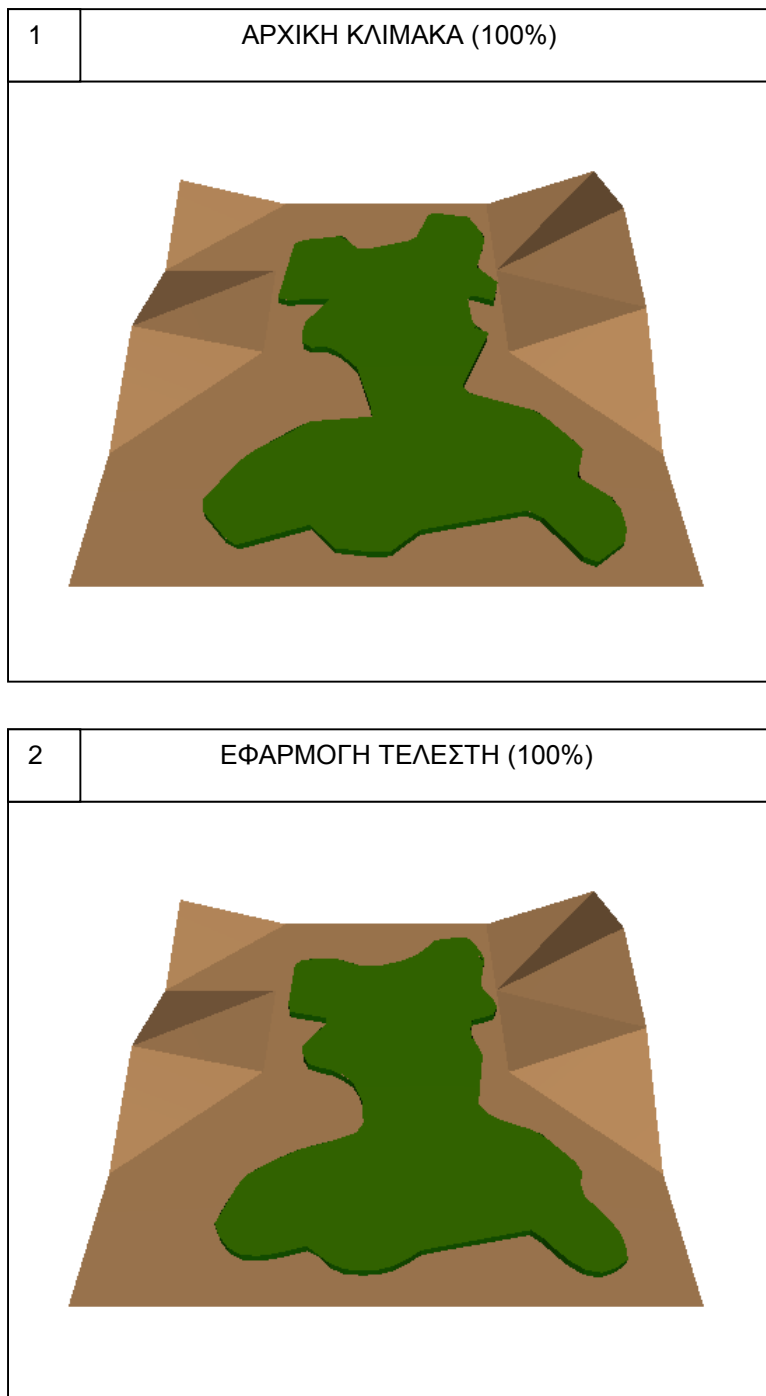
Αφορά γραμμικά σύμβολα της ίδιας κατηγορίας –κυρίως οδούς– που απεικονίζονται ως διπλά στον αρχικό 3D χάρτη με μικρή διαχωριστική απόσταση. Εξαιτίας της, η μείωση της κλίμακας θα προκαλέσει ή επικάλυψη των συμβόλων ή θα μειωθεί τόσο που τα σύμβολα δεν θα είναι πλέον διακριτά. Με τη χρήση του τελεστή τα δύο σύμβολα συνενώνονται σε ένα γραμμικό σύμβολο, του οποίου ο άξονας τοποθετείται στο μέσον των αξόνων των δύο αρχικών γραμμικών συμβόλων (βλ. Οπτικοποίηση 9).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



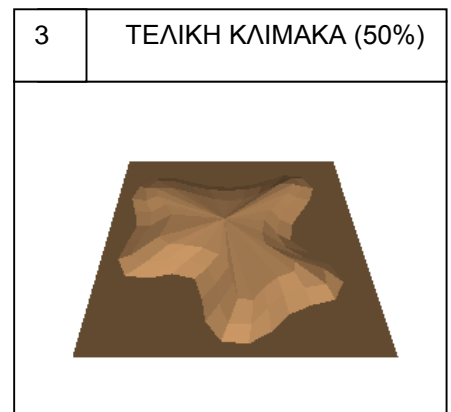
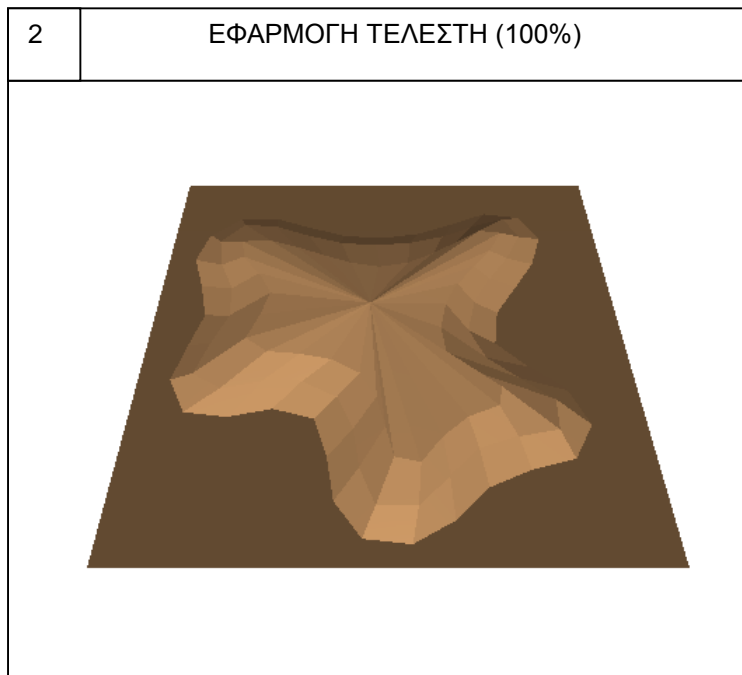
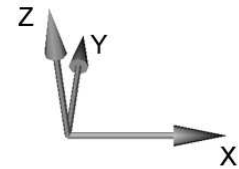
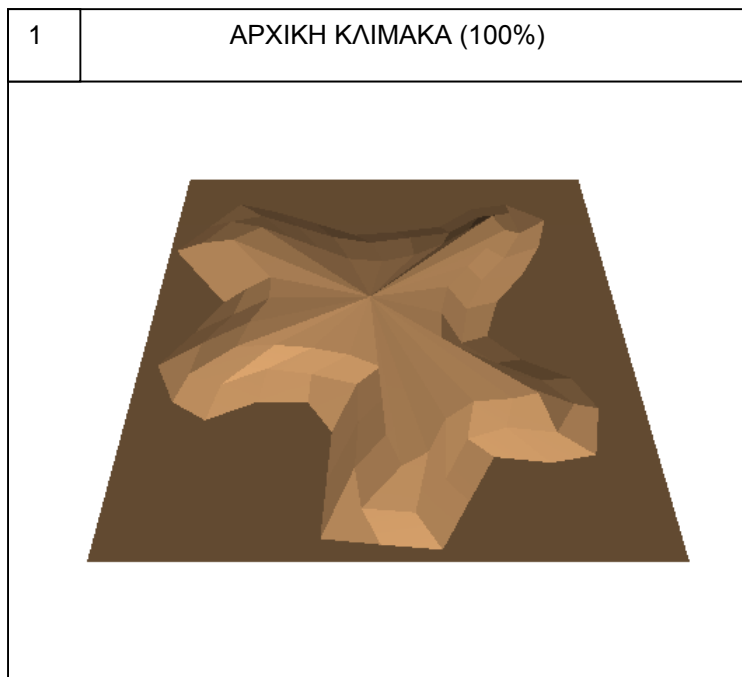
Οπτικοποίηση 5: Στον αρχικό 3D χάρτη μια οδός αναπαριστάται με γραμμικό σύμβολο (1), στο οποίο έχει εφαρμοστεί προηγουμένως ο τελεστής απλοποίησης (βλ. Οπτικοποίηση 2). Με τον τελεστή εξομάλυνσης πραγματοποιείται μικρή μετάθεση των σημείων του άξονα του συμβόλου ενώ παράλληλα διατηρείται ο ίδιος αριθμός σημείων (2). Με τον τρόπο αυτό, στον παράγωγο χάρτη δεν υπάρχουν πλέον οι έντονες γωνίες που δημιούργησε ο προηγούμενος τελεστής και έχουμε ένα πιο ευχάριστο αισθητικά αποτέλεσμα (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



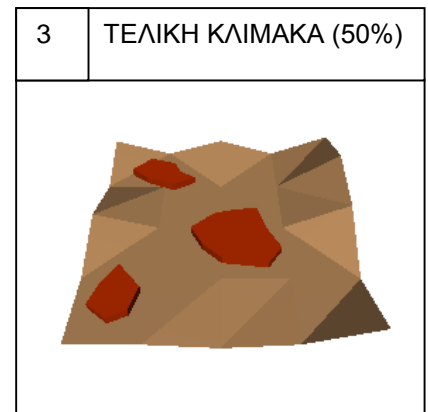
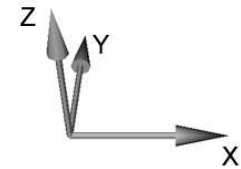
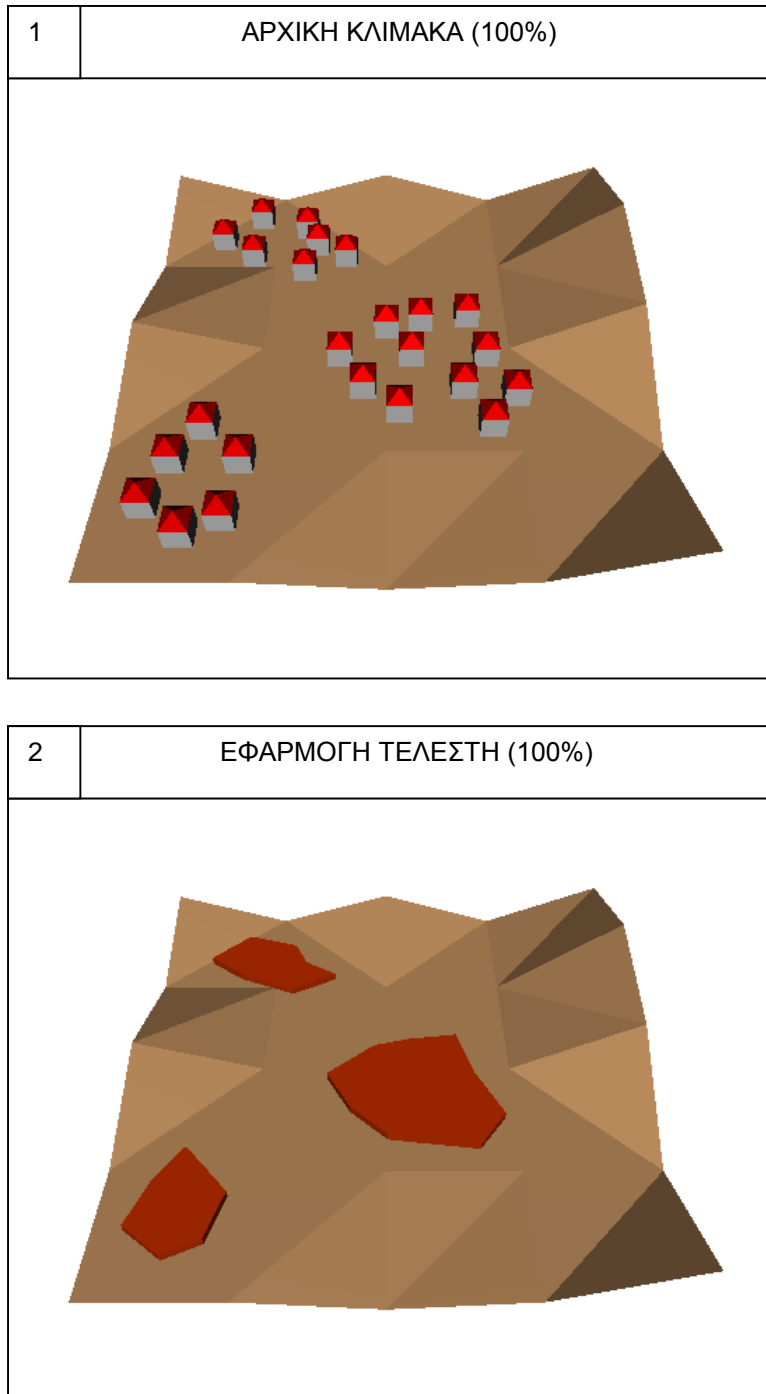
Οπτικοποίηση 6: Η εφαρμογή του τελεστή απλοποίησης στο επιφανειακό σύμβολο που αναπαριστά δασική περιοχή (βλ. οπτικοποίηση 3) έχει προκαλέσει έντονες γωνιακές παραμορφώσεις στο σύμβολο (1). Για να απαλειφθούν, χρησιμοποιείται ο τελεστής εξομάλυνσης με τον οποίο πραγματοποιείται μικρή μετάθεση των σημείων που ορίζουν το επιφανειακό σύμβολο με τρόπο που να διατηρείται το βασικό του σχήμα (2). Η χρήση του τελεστή έχει ως αποτέλεσμα μια αισθητικά καλύτερη οπτική απόδοση του συμβόλου στον παράγωγο χάρτη (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



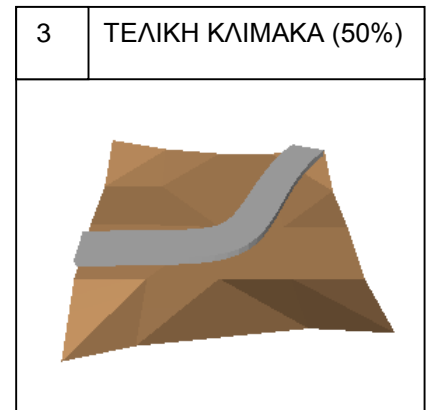
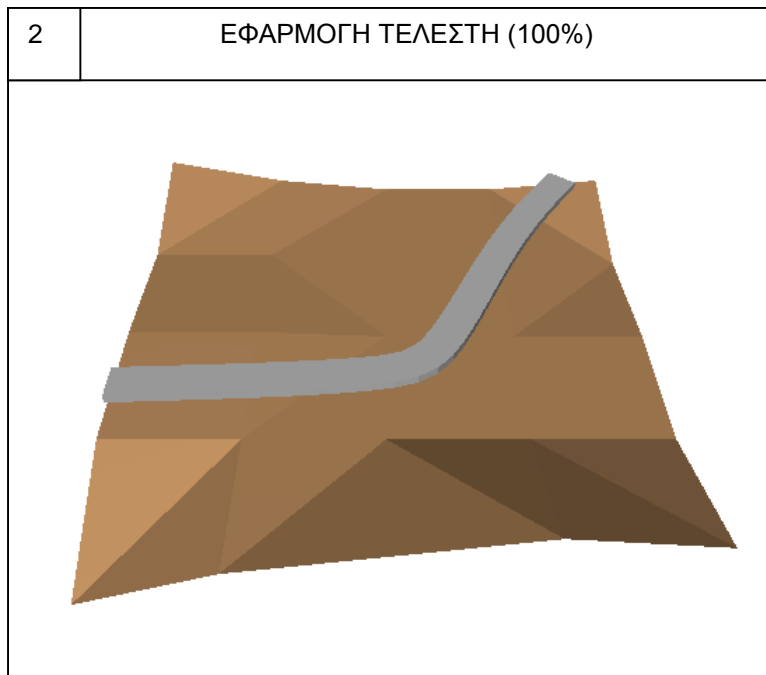
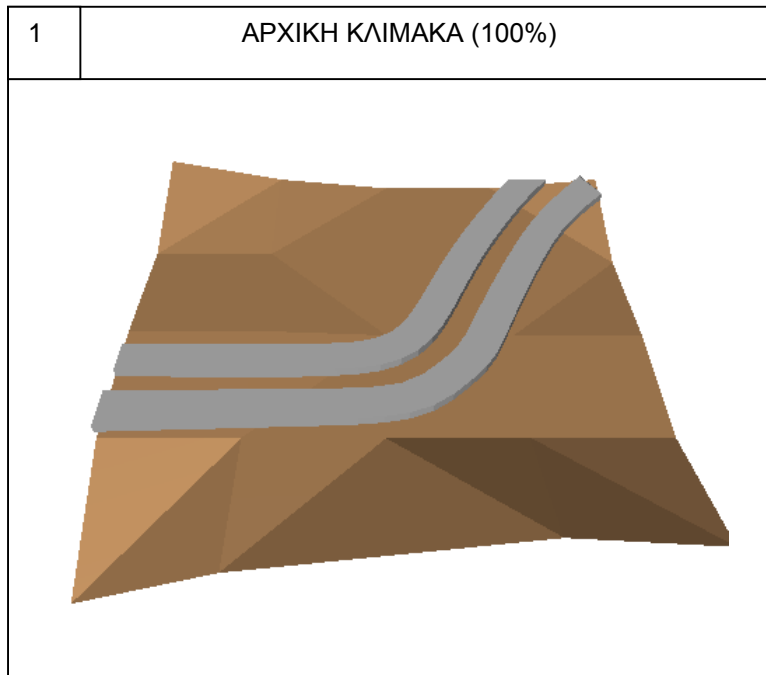
Οπτικοποίηση 7: Ορεινός όγκος απεικονίζεται στον αρχικό 3D χάρτη με ογκομετρικό σύμβολο μετά την εφαρμογή του τελεστή απλοποίησης (1). Οι έντονες γωνίες που δημιουργήθηκαν διορθώνονται με τον τελεστή εξομάλυνσης, με τον οποίο εφαρμόζεται μικρή μετάθεση στα σημεία που συνθέτουν το σύμβολο (2). Ο αριθμός των σημείων διατηρείται ο ίδιος και η συνέχεια της επιφάνειας είναι απαραίτητη. Με τη χρήση του τελεστή καταλήγουμε στον παράγωγο χάρτη σε μια καλύτερη αισθητικά απόδοση του συμβόλου (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



Οπτικοποίηση 8: Τα κτίσματα στο τμήμα του αρχικού 3D χάρτη απεικονίζονται με τα παραπάνω σημειακά σύμβολα (1). Η μικρή απόσταση μεταξύ των κτισμάτων, η πυκνότητά τους και το ελάχιστο μέγεθος των σημειακών συμβόλων θα είχαν ως αποτέλεσμα την επικάλυψή τους στον παράγωγο χάρτη. Αντίθετα, με τον τελεστή συγχώνευσης τα κτίρια συγχωνεύονται σε δομημένες περιοχές (2), και τα σύμβολα από σημειακά μετασχηματίζονται σε επιφανειακά. Έτσι, στον παράγωγο χάρτη έχει αποφευχθεί η επικάλυψη των συμβόλων και επιτυγχάνεται οπτική ενάργεια (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ
ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



Οπτικοποίηση 9: Οδός διπλής κυκλοφορίας απεικονίζεται στον αρχικό χάρτη με διπλό γραμμικό σύμβολο (1). Η μικρή διαχωριστική απόσταση μεταξύ των δυο γραμμών θα είχε ως αποτέλεσμα την επικάλυψή τους στον παράγωγο χάρτη. Για να την αποφύγουμε, οι δύο γραμμές συγχωνεύονται σε μία η οποία τοποθετείται στη διάμεσο των αξόνων των προαναφερθέντων γραμμών (2). Η χρήση του τελεστή έχει ως αποτέλεσμα την ευκρινή απεικόνιση του συμβόλου στην παράγωγη κλίμακα (3).

- Συγχώνευση επιφανειακών συμβόλων

Μετασχηματίζει επιφανειακά σύμβολα τα οποία βρίσκονται σε κοντινή απόσταση ή είναι πολύ μικρά για να αναπαρασταθούν μεμονωμένα στην παράγωγη κλίμακα. Ο τελεστής τα συνενώνει σε ένα ενιαίο επιφανειακό σύμβολο, το οποίο έχει ως έκταση τη συνολική περιοχή που καταλαμβάνουν οι επιμέρους επιφάνειες και τα όριά της (βλ. Οπτικοποίηση 10).

- Συγχώνευση ογκομετρικών συμβόλων

Και εδώ, ο τελεστής αφορά σύμβολα με μικρή διαχωριστική απόσταση ή μικρό μέγεθος για να απεικονιστούν μεμονωμένα στον παράγωγο 3D χάρτη, με τη διαφορά ότι πρόκειται για ογκομετρικά σύμβολα. Με τη βοήθεια του τελεστή τα επιμέρους σύμβολα συγχωνεύονται σε ένα ογκομετρικό, του οποίου το σχήμα και οι διαστάσεις εξαρτώνται από το σχήμα και τις διαστάσεις των επιμέρους συμβόλων (βλ. Οπτικοποίηση 11).

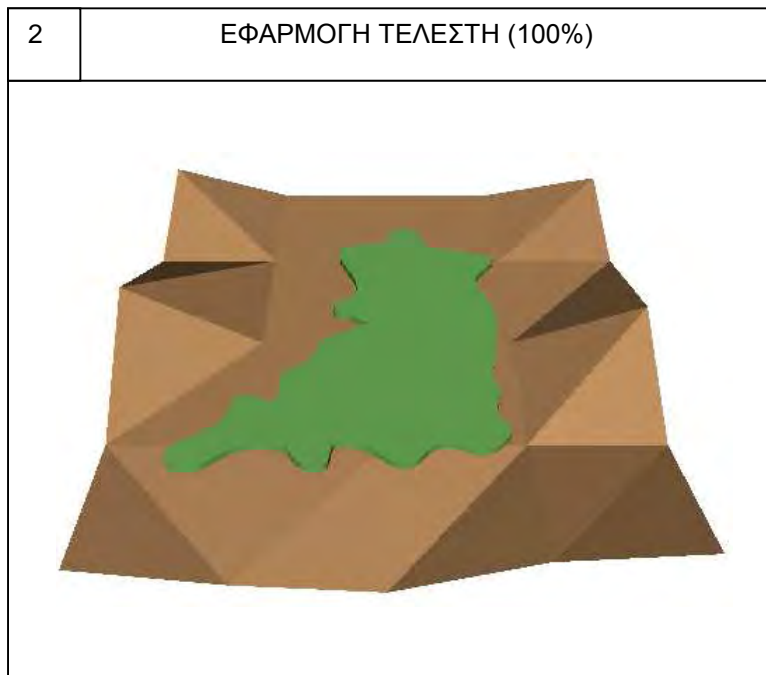
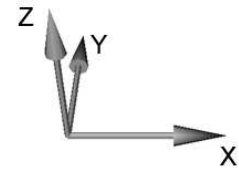
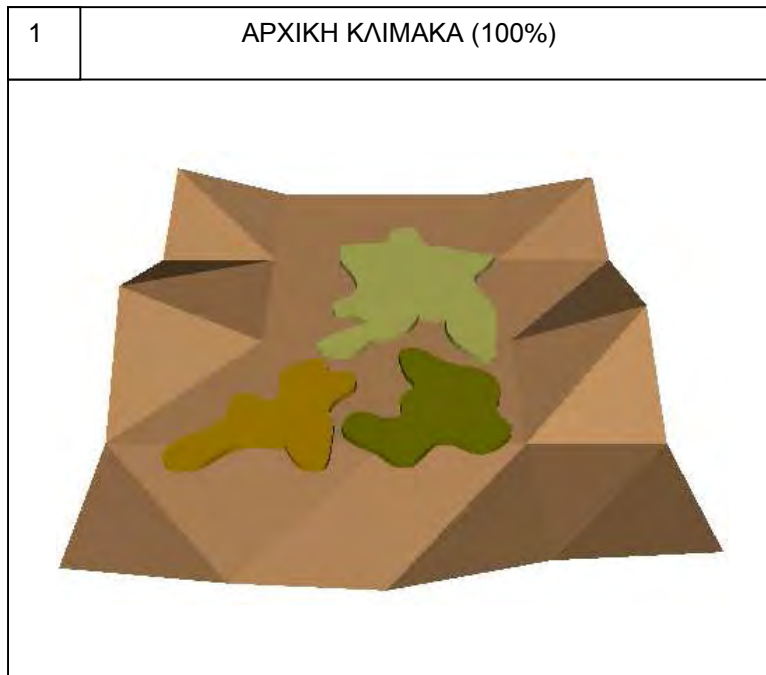
- Μετάπτωση

Πρόκειται για έναν τελεστή που μετασχηματίζει τα σύμβολα στα οποία εφαρμόζεται σε σύμβολα μικρότερης τάξης, προκειμένου να ξεπεραστούν τα προβλήματα της μείωσης του φυσικού χώρου στον παράγωγο χάρτη και να ικανοποιηθούν οι γραφικοί περιορισμοί.

Έτσι, επιφανειακά σύμβολα που καλύπτουν μικρή έκταση, και διαφορετικά δεν θα ήταν ορατά στην παράγωγη κλίμακα, μετασχηματίζονται σε σημειακά και αποκτούν κατάλληλο μέγεθος (βλ. Οπτικοποίηση 12). Εάν το σχήμα τους είναι τέτοιο που η μία διάσταση είναι κυρίαρχη, μετασχηματίζονται σε γραμμικά (βλ. Οπτικοποίηση 13). Ως κριτήριο για τη χρήση του τελεστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια τιμή επιφανειακής ανοχής, όπως και στους 2D χάρτες.

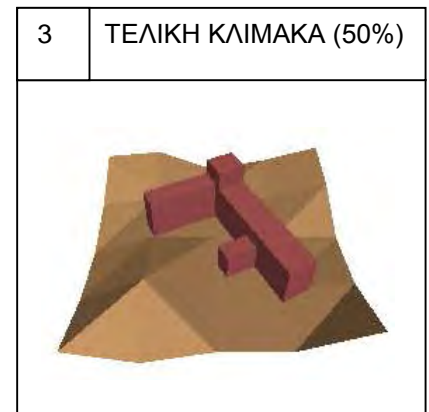
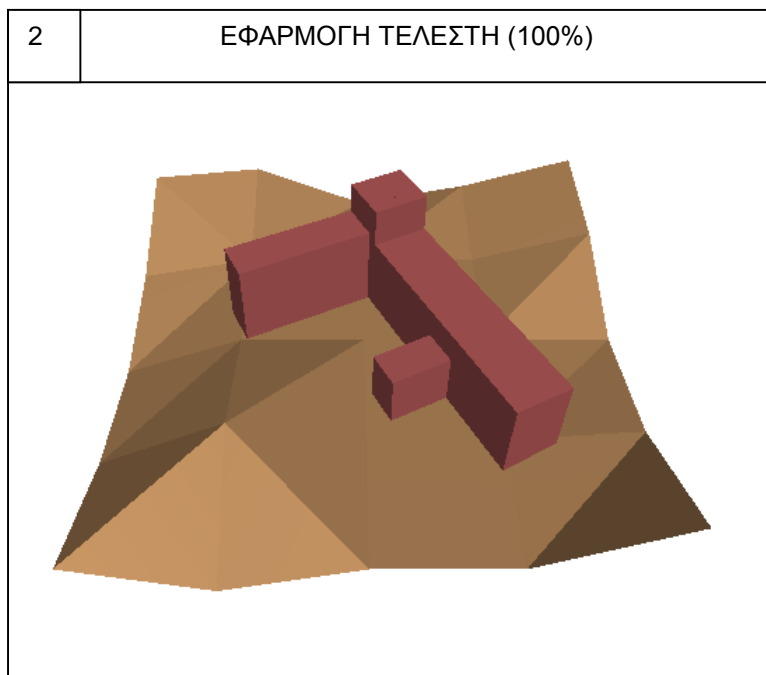
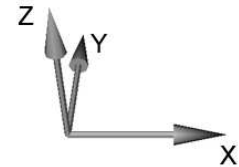
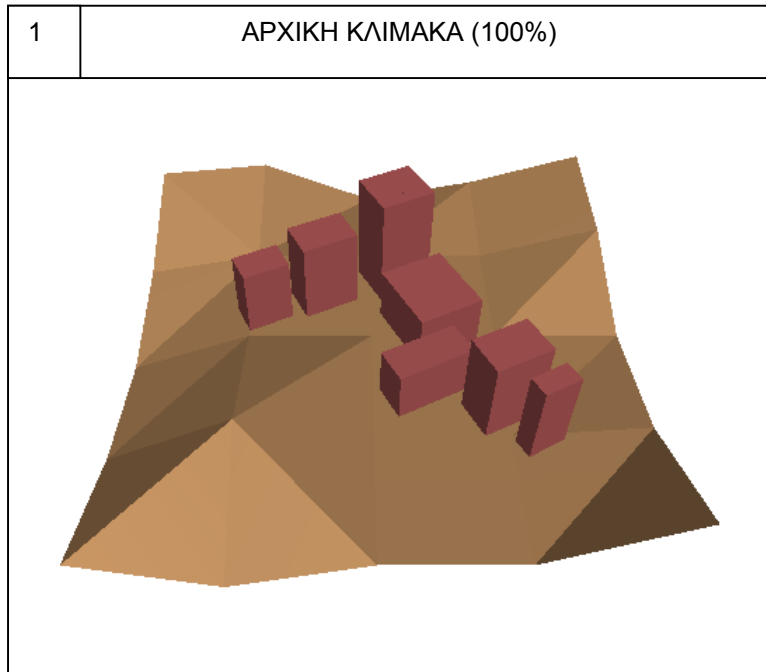
Αντίστοιχα, τα ογκομετρικά σύμβολα που έχουν μικρό όγκο και διαστάσεις μετασχηματίζονται σε σημειακά προκειμένου να είναι ορατά στον παράγωγο χάρτη (βλ. Οπτικοποίηση 14). Εάν η μία διάσταση είναι πολύ μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες, μετασχηματίζονται σε γραμμικά (βλ. Οπτικοποίηση 15). Εάν έχουν σχετικά μικρό πάχος αλλά καταλαμβάνουν μεγάλη επιφάνεια, μετασχηματίζονται σε επιφανειακά (βλ. Οπτικοποίηση 16).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



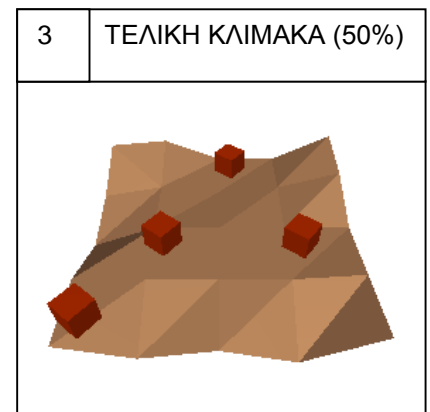
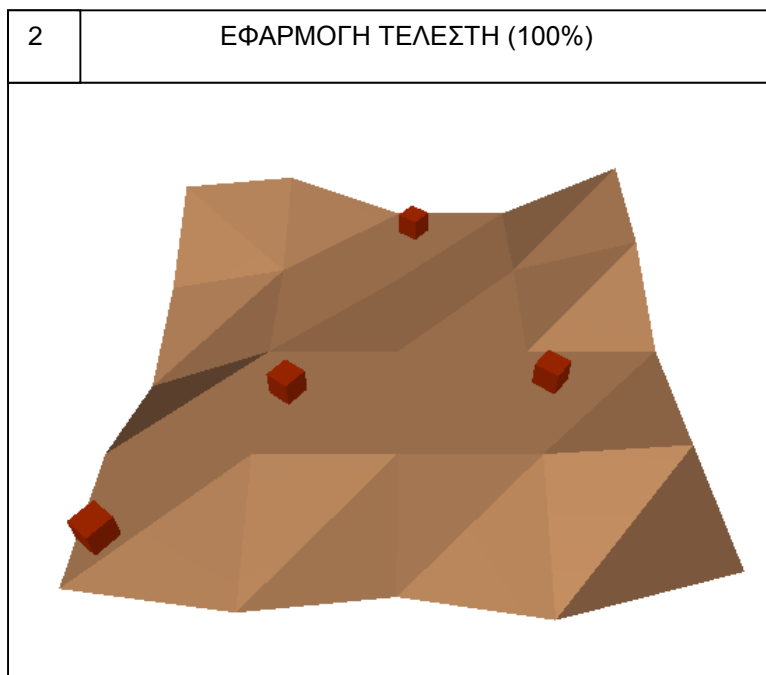
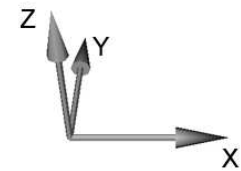
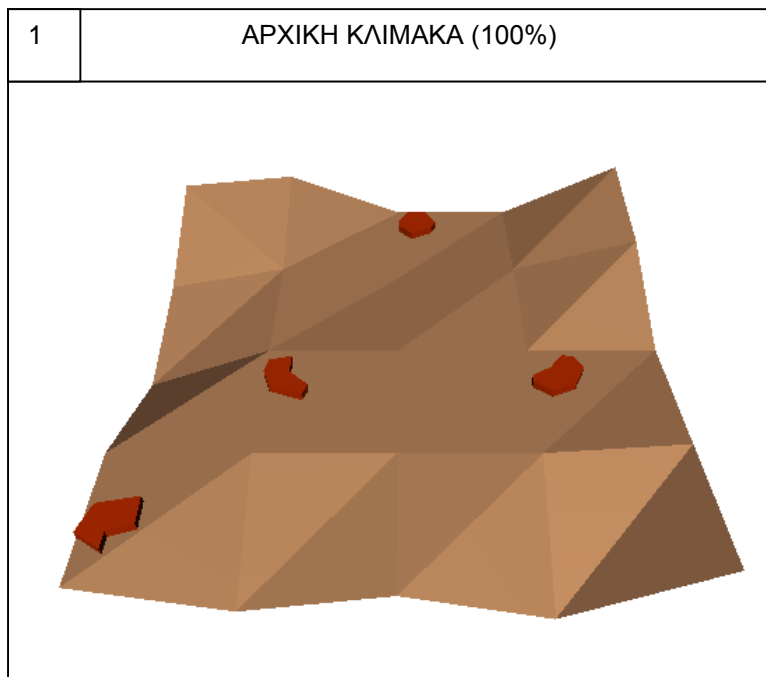
Οπτικοποίηση 10: Τρία γειτονικά είδη καλλιέργειας απεικονίζονται στον αρχικό χάρτη με τα αντίστοιχα επιφανειακά σύμβολα (1). Η μικρή διαχωριστική απόσταση μεταξύ των ορίων τους θα καθιστούσε τα σύμβολα δυσδιάκριτα στον παράγωγο χάρτη. Για το λόγο αυτό, τα τρία επιφανειακά σύμβολα συγχωνεύονται σε ένα ενιαίο μεγαλύτερης έκτασης, το οποίο διατηρεί όσο το δυνατόν τα εξωτερικά όρια των αρχικών επιφανειών (2). Στον παράγωγο χάρτη, μετά τη χρήση του τελεστή, το σύμβολο είναι πλέον οπτικά σαφές και αντιληπτό (3). Σημειώνεται ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση η αλλαγή κατηγορίας των συμβόλων συνεπάγεται και αλλαγή των ιδιοτήτων τους.

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



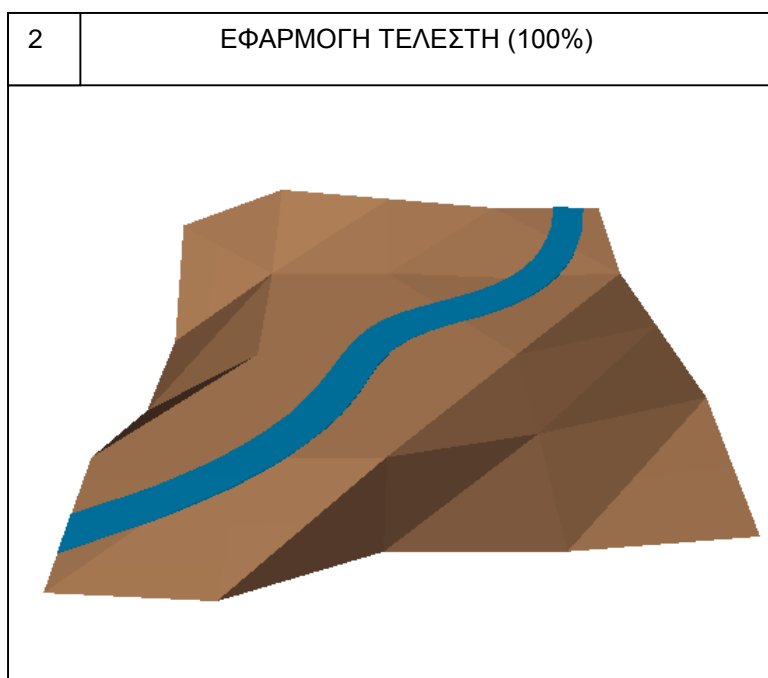
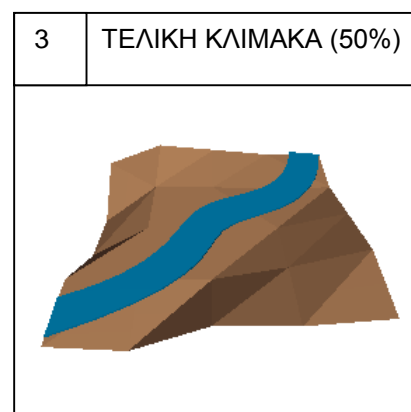
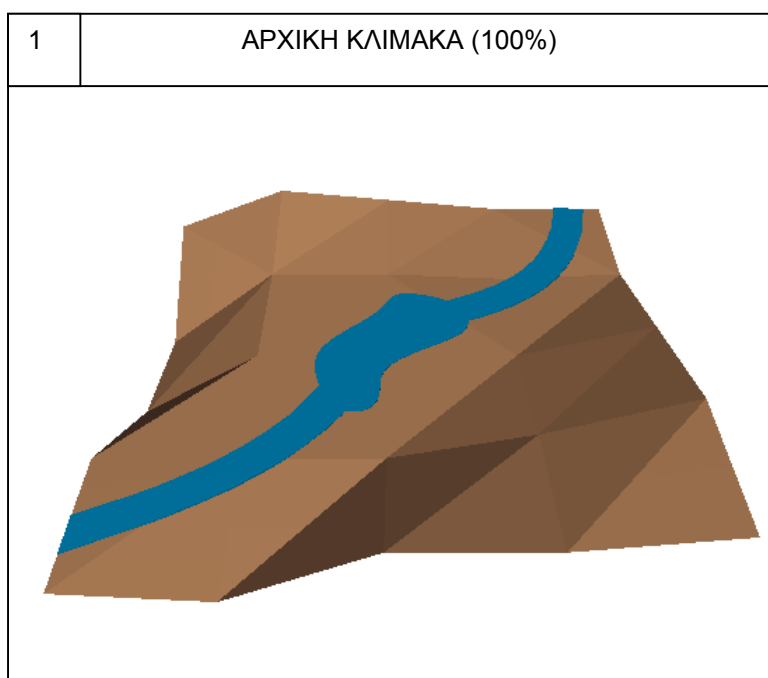
Οπτικοποίηση 11: Τα κτίρια στο τμήμα του αρχικού 3D χάρτη απεικονίζονται με τα παραπάνω ογκομετρικά σύμβολα (1). Με τον τελεστή συγχώνευσης τα κτίρια συγχωνεύονται σε ένα ενιαίο οικοδομικό τετράγωνο (2). Το σχήμα του εξαρτάται από τις διαστάσεις των επιμέρους κτιρίων οριζοντιογραφικά αλλά και υψομετρικά. Με τη χρήση του τελεστή επιτυγχάνεται μια πιο ευκρινής και απλοποιημένη αναπαράσταση στον παράγωγο χάρτη (3). Ο τελεστής συγχώνευσης συνεπάγεται επίσης και αλλαγή των ιδιοτήτων εφόσον αλλάζει η κατηγορία του συμβόλου.

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ (ΣΕ ΣΗΜΕΙΑΚΑ) ΣΥΜΒΟΛΑ



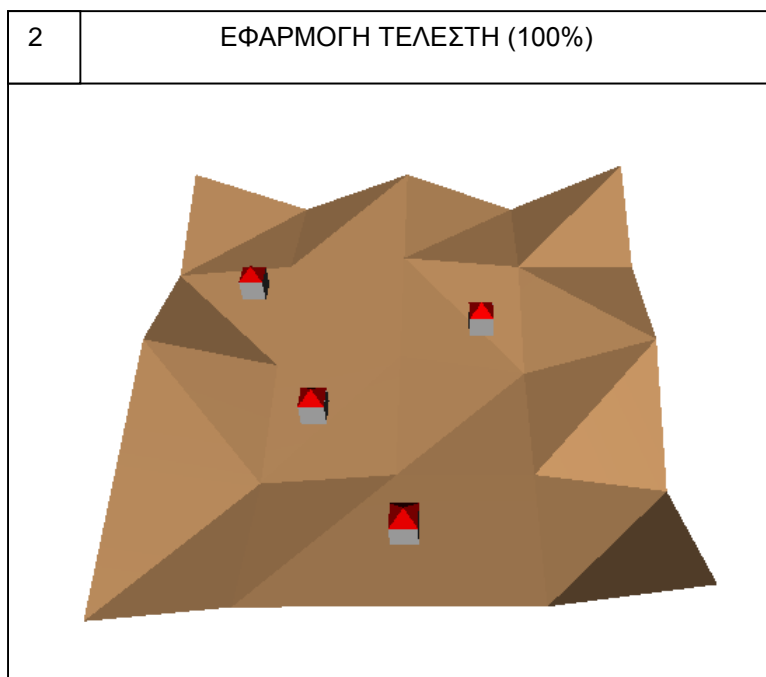
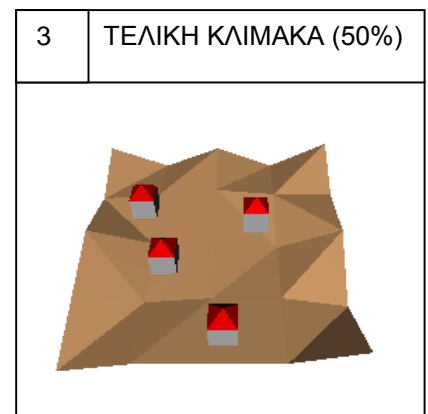
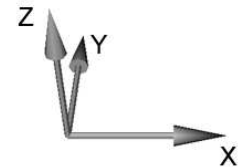
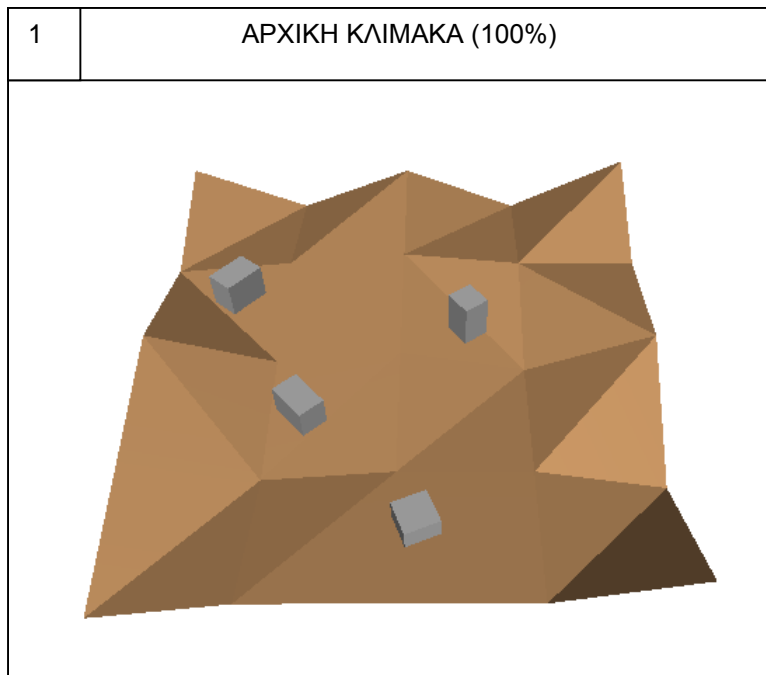
Οπτικοποίηση 12: Στον αρχικό χάρτη απεικονίζονται οικισμοί με επιφανειακό σύμβολο (1). Η μείωση της κλίμακας θα επιφέρει μείωση του μεγέθους τους και σε συνδυασμό με την ήδη μικρή επιφάνεια κάθε οικισμού τα σύμβολα δεν θα διακρίνονται στον παράγωγο χάρτη. Με τη χρήση του τελεστή μετάπτωσης κάθε επιφανειακό σύμβολο μετασχηματίζεται σε σημειακό (2) με αποτέλεσμα κάθε οικισμός να απεικονίζεται με ευκρίνεια στην παράγωγη κλίμακα (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ (ΣΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ) ΣΥΜΒΟΛΑ



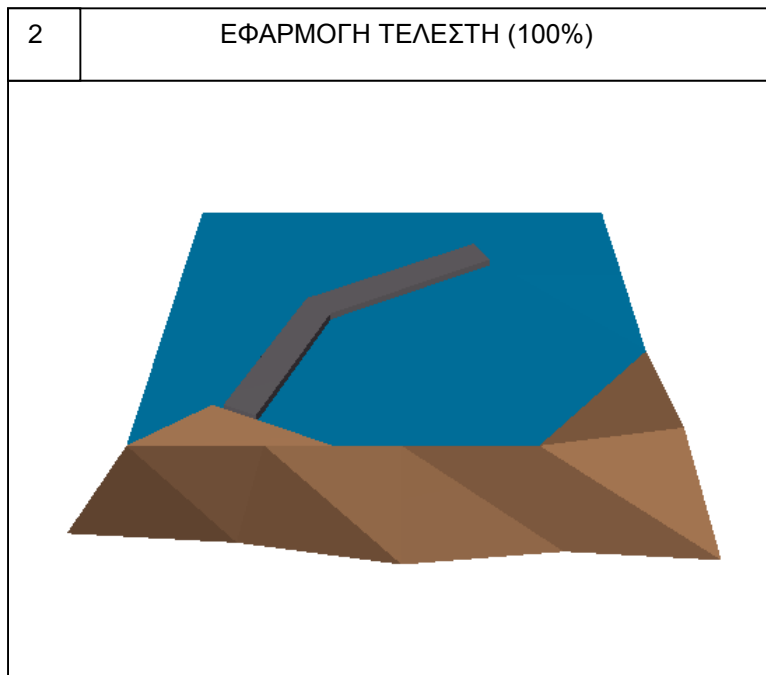
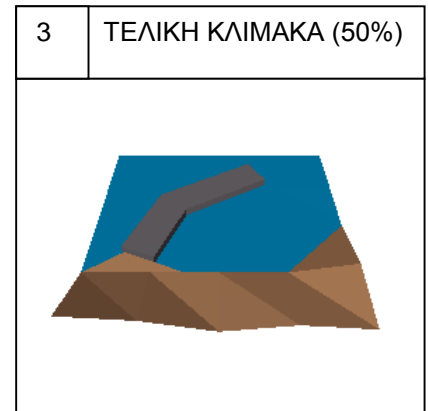
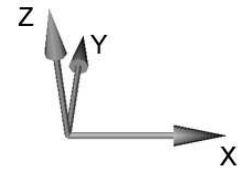
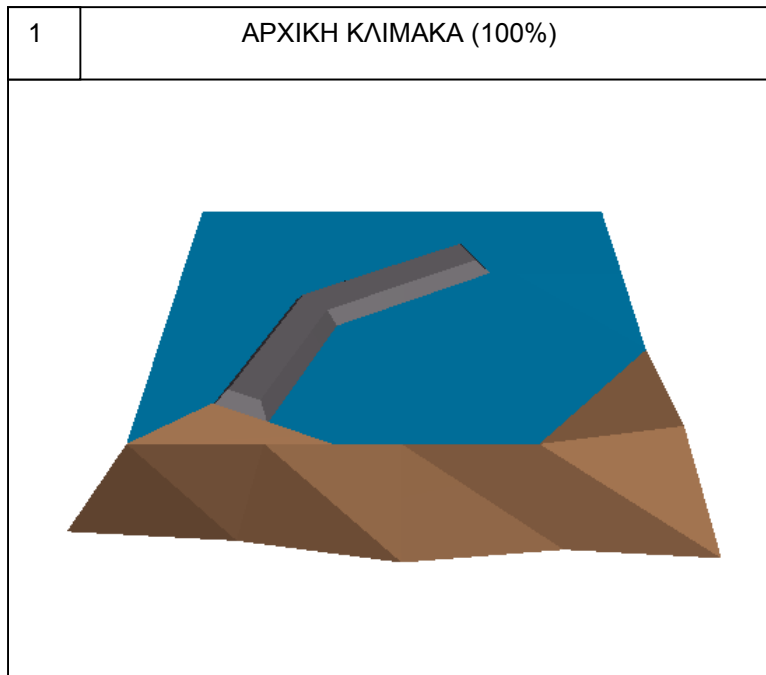
Οπτικοποίηση 13: Στον αρχικό χάρτη απεικονίζεται λίμνη με επιφανειακό σύμβολο εν μέσω ποταμού (1). Εξαιτίας του μικρού της πλάτους, όταν κατά τη μείωση της κλίμακας θα διπλασιαστεί το πλάτος του ποταμού για να είναι ορατό στον παράγωγο χάρτη, η λίμνη δεν θα απεικονίζεται με ευκρίνεια. Με τη χρήση του τελεστή μετάπτωσης η λίμνη από επιφανειακό σύμβολο μετασχηματίζεται σε γραμμικό (2) με αποτέλεσμα την ορθή απεικόνιση στον παράγωγο χάρτη (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΑ (ΣΕ ΣΗΜΕΙΑΚΑ) ΣΥΜΒΟΛΑ



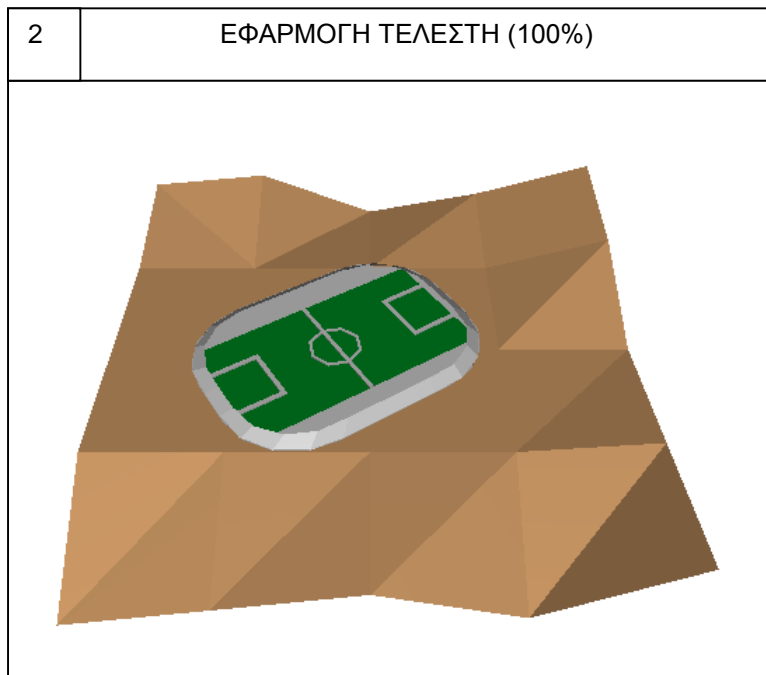
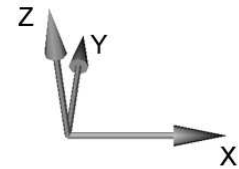
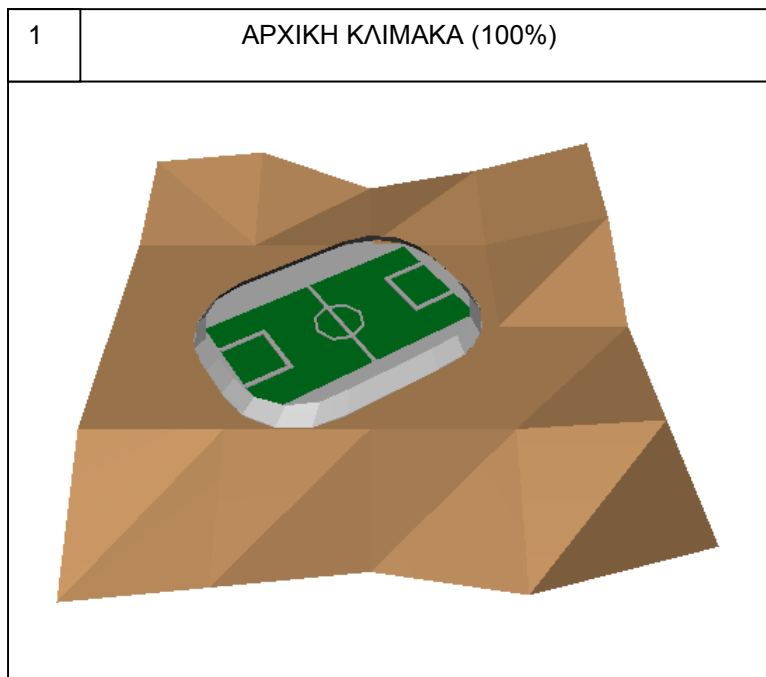
Οπτικοποίηση 14: Τα κτίρια στο τμήμα του αρχικού 3D χάρτη απεικονίζονται με τα παραπάνω ογκομετρικά σύμβολα (1). Λόγω των μικρών διαστάσεών τους –μήκος, πλάτος, ύψος– κατά τη μείωση της κλίμακας δεν θα είναι πλέον ορατά. Για την αποφυγή του οπτικού αυτού προβλήματος χρησιμοποιείται ο τελεστής μετάπτωσης και τα ογκομετρικά σύμβολα μετασχηματίζονται σε σημειακά (2). Έτσι, στον παράγωγο χάρτη τα σύμβολα αποκτούν πλέον κατάλληλες διαστάσεις ώστε να είναι αντιληπτά και οι οντότητες απεικονίζονται επιτυχώς.

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΑ (ΣΕ ΓΡΑΜΜΙΚΑ) ΣΥΜΒΟΛΑ



Οπτικοποίηση 15: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζεται λιμενοβραχίονας με ογκομετρικό σύμβολο (1). Επειδή το πλάτος και το πάχος του συμβόλου είναι μικρά σε σχέση με το μήκος του, κατά τη μείωση της κλίμακας θα γίνουν μικρότερα από τα ελάχιστα ορατά μεγέθη και άρα το σύμβολο δεν θα είναι ευκρινές στον παράγωγο χάρτη. Η δυσκολία αυτή μπορεί να ξεπεραστεί με τη χρήση του τελεστή μετάπτωσης με τον οποίο το σύμβολο μετασχηματίζεται σε γραμμικό διατηρώντας τον ίδιο κατά μήκος άξονα (2). Με αυτό τον τρόπο, στην παράγωγη κλίμακα το σύμβολο αποκτά διαστάσεις που μπορεί να αντιληφθεί ο χρήστης (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ
ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΑ (ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ) ΣΥΜΒΟΛΑ



Οπτικοποίηση 16: Στον αρχικό χάρτη απεικονίζεται αθλητικό στάδιο με ογκομετρικό σύμβολο (1). Επειδή το ύψος του σταδίου – και αντίστοιχα το πάχος του συμβόλου – είναι μικρό σε σχέση με την επιφάνειά του, στον παράγωγο χάρτη θα γίνει μικρότερο από το ελάχιστο πάχος και άρα δεν θα είναι ορατό από το χρήστη. Με τη χρήση του τελεστή μεταπτώσης το ογκομετρικό σύμβολο μετασχηματίζεται σε επιφανειακό (2) και άρα το πάχος του – και το σύμβολο στο σύνολό του – είναι πλέον αντιληπτό στην παράγωγη κλίμακα (3).

- Εκλέπτυνση-Τυποποίηση

Όταν πληθώρα όμοιων σημειακών συμβόλων συσσωρεύονται σε μια περιοχή και είναι αδύνατο να αναπαρασταθούν όλα στον παράγωγο χάρτη, χρησιμοποιείται ο τελεστής εκλέπτυνσης. Ο τελεστής διατηρεί τα σύμβολα που διαμορφώνουν το σχήμα και μοτίβο της κατανομής και διαγράφει τα υπόλοιπα (βλ. Οπτικοποίηση 17). Εάν οι συντεταγμένες x,y,z , των αρχικών σημείων τροποποιηθούν ελαφρώς, ο τελεστής ονομάζεται τυποποίηση. Η διαφορά του τελεστή εκλέπτυνσης με τον τελεστή απλοποίησης σημειακών συμβόλων όπως παρουσιάστηκε προηγουμένως, έγκειται στον αριθμό των σημειακών συμβόλων, ο οποίος στην πρώτη περίπτωση είναι σαφώς μεγαλύτερος.

- Μεγέθυνση

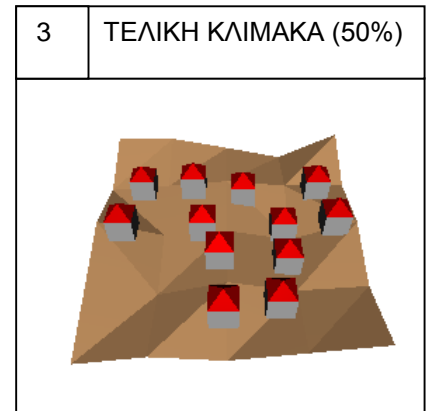
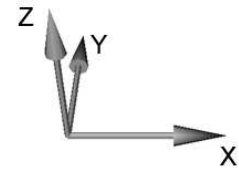
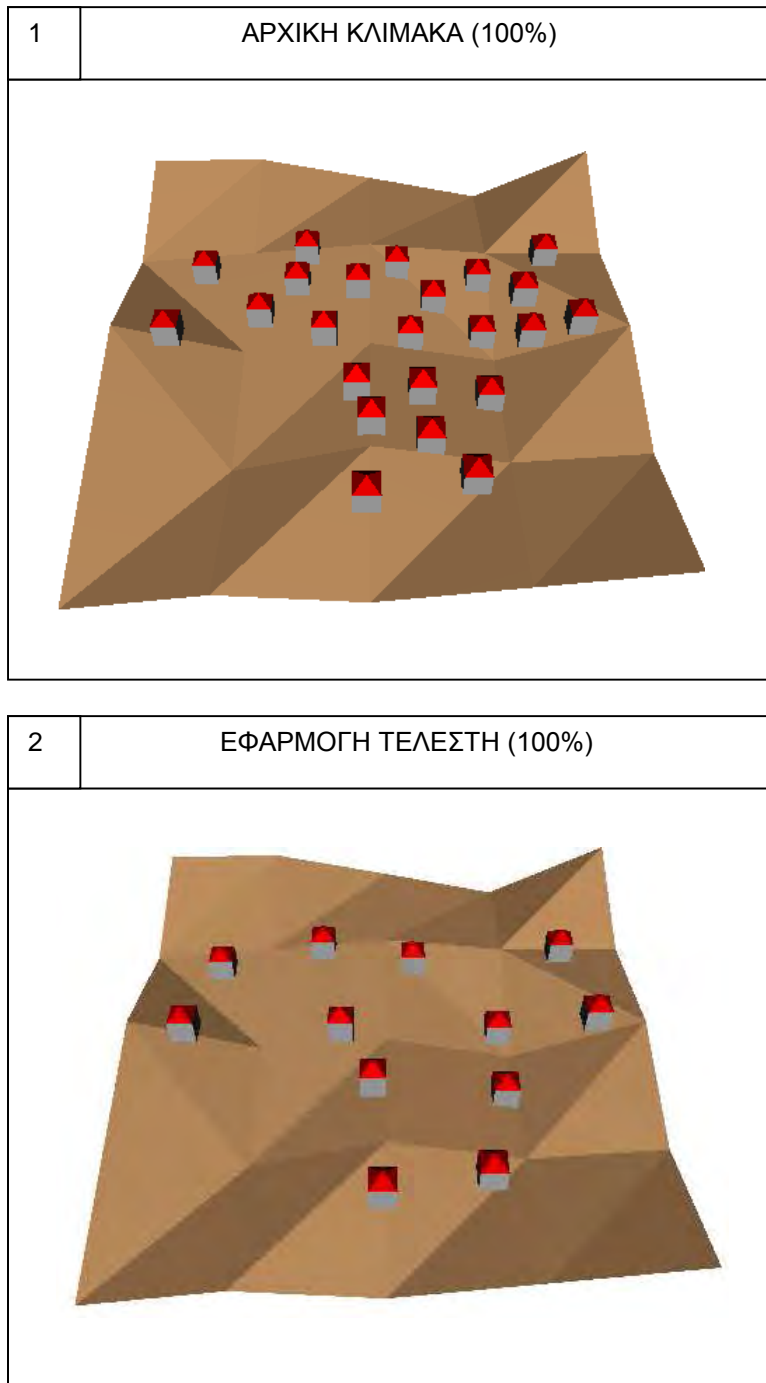
Η μείωση της κλίμακας επιφέρει μείωση στις επιμέρους διαστάσεις των συμβόλων, με αποτέλεσμα να μην είναι πλέον αναγνώσιμα στον παράγωγο χάρτη. Εδώ, χρησιμοποιείται ο τελεστής μεγέθυνσης για να τροποποιήσει κατάλληλα αυτές τις διαστάσεις.

Τα σημειακά σύμβολα μεγεθύνονται σε όλες τις διαστάσεις: μήκος, πλάτος, πάχος προκειμένου να είναι αναγνώσιμα (βλ. Οπτικοποίηση 18). Τα γραμμικά σύμβολα μεγεθύνονται σε πλάτος και πάχος (βλ. Οπτικοποίηση 19). Τα επιφανειακά σύμβολα μεγεθύνονται σε πάχος (βλ. Οπτικοποίηση 20). Τα ογκομετρικά σύμβολα μεγεθύνονται σε όλες τις διαστάσεις (βλ. Οπτικοποίηση 21).

- Ενίσχυση

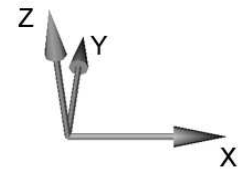
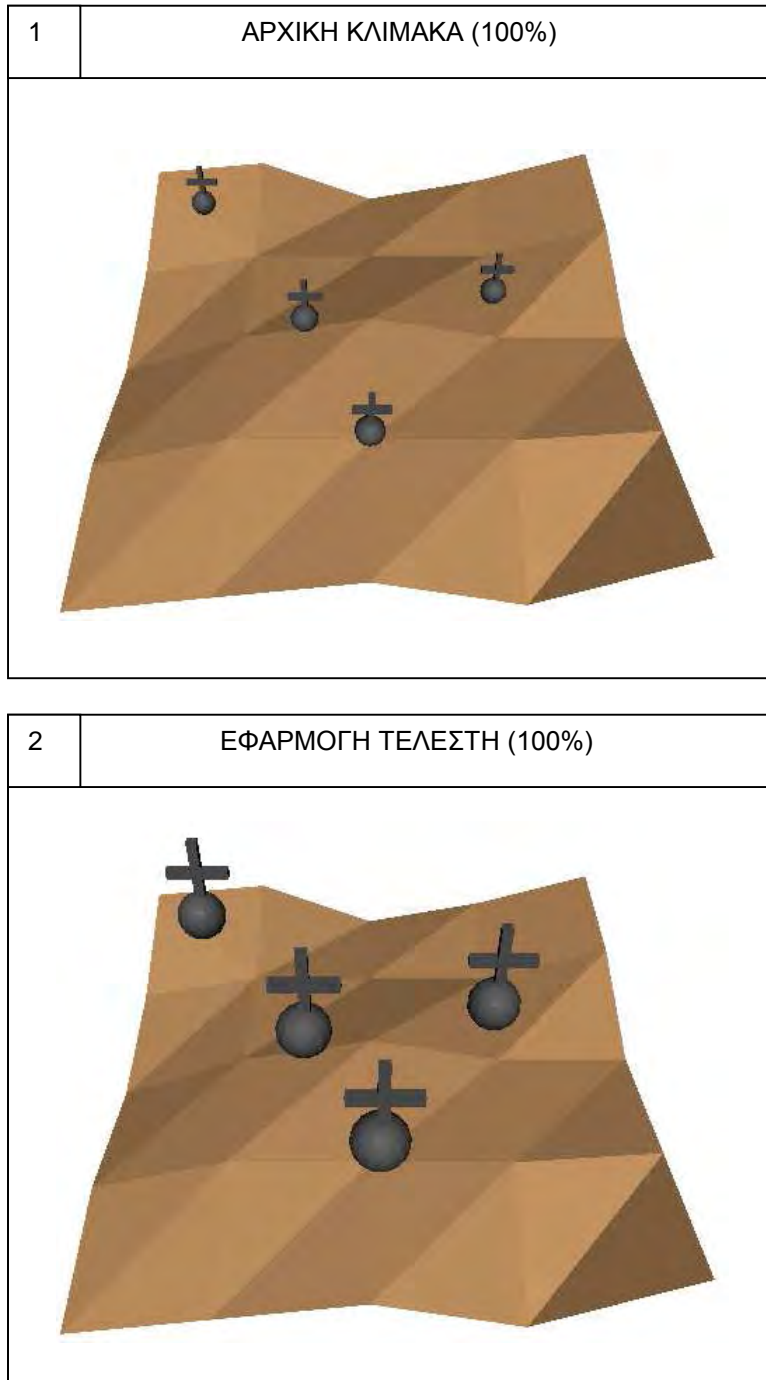
Με τον τελεστή ενίσχυσης τα σύμβολα τροποποιούνται μερικώς σε μορφή και μέγεθος, με σκοπό τη διευθέτηση του συμβολισμού τους. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται αφαίρεση, πρόσθεση, διόγκωση ή οποιαδήποτε μετατροπή επιμέρους τμημάτων του συμβόλου ώστε να είναι αντιληπτά από το χρήστη και όχι για να τονιστεί η σημασία τους στο χάρτη. Ο τελεστής εφαρμόζεται στα σημειακά σύμβολα (βλ. Οπτικοποίηση 22), στα γραμμικά σύμβολα (βλ. Οπτικοποίηση 23), στα επιφανειακά σύμβολα (βλ. Οπτικοποίηση 24) και στα ογκομετρικά σύμβολα (βλ. Οπτικοποίηση 25).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΚΛΕΠΤΥΝΣΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



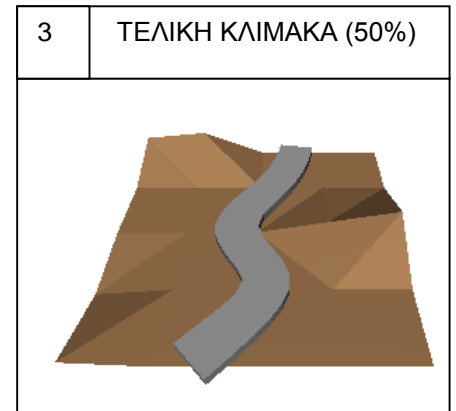
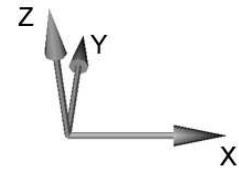
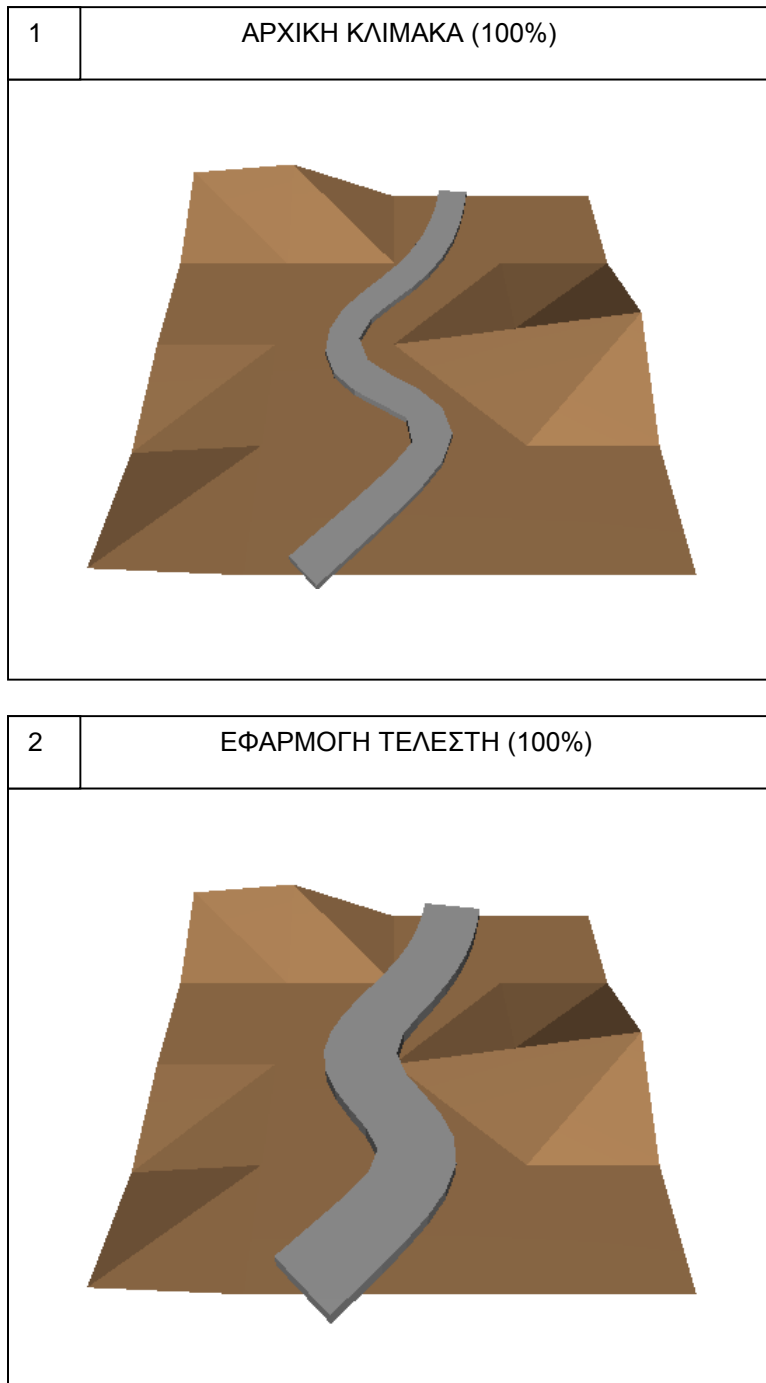
Οπτικοποίηση 17: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζονται κτίσματα με σημειακό σύμβολο (1). Κατά τη μείωση της κλίμακας θα προκύψει επικάλυψη των συμβόλων εξαιτίας της συσσώρευσής τους στην περιοχή. Για την ορθή απεικόνισή τους χρησιμοποιείται ο τελεστής εκλέπτυνσης. Με αυτόν απεικονίζεται κατάλληλο υποσύνολο των αρχικών συμβόλων ώστε να διατηρηθεί το σχήμα και ο χαρακτήρας της περιοχής (2). Οι συντεταγμένες των συμβόλων που διατηρούνται παραμένουν αναλλοίωτες. Το αποτέλεσμα είναι μια απλοποιημένη αναπαράσταση των συμβόλων στον παράγωγο χάρτη που δίνει την ίδια γενική εντύπωση χωρίς επικαλύψεις (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



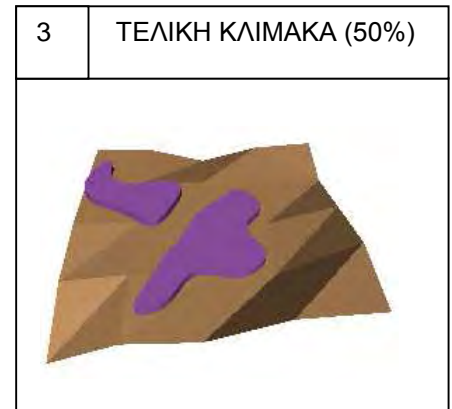
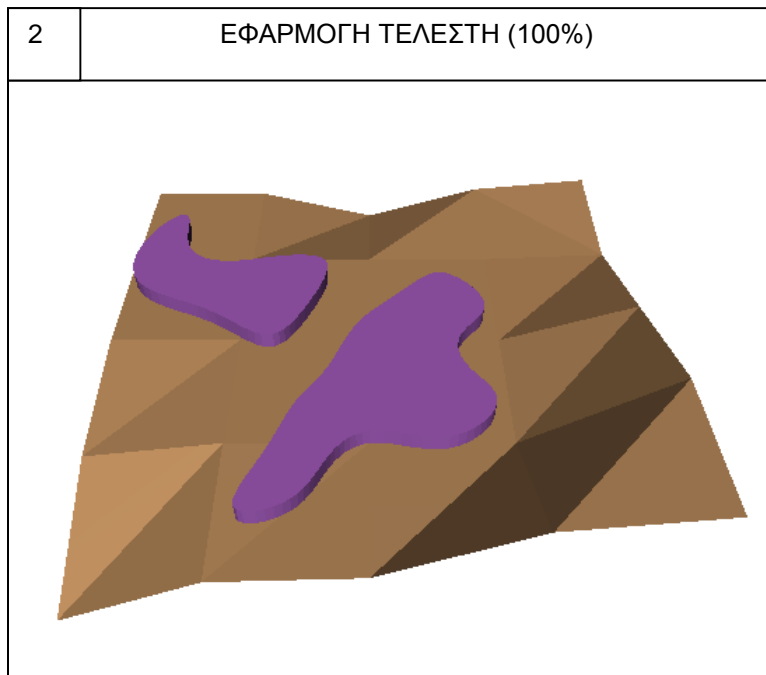
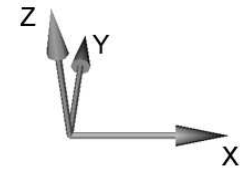
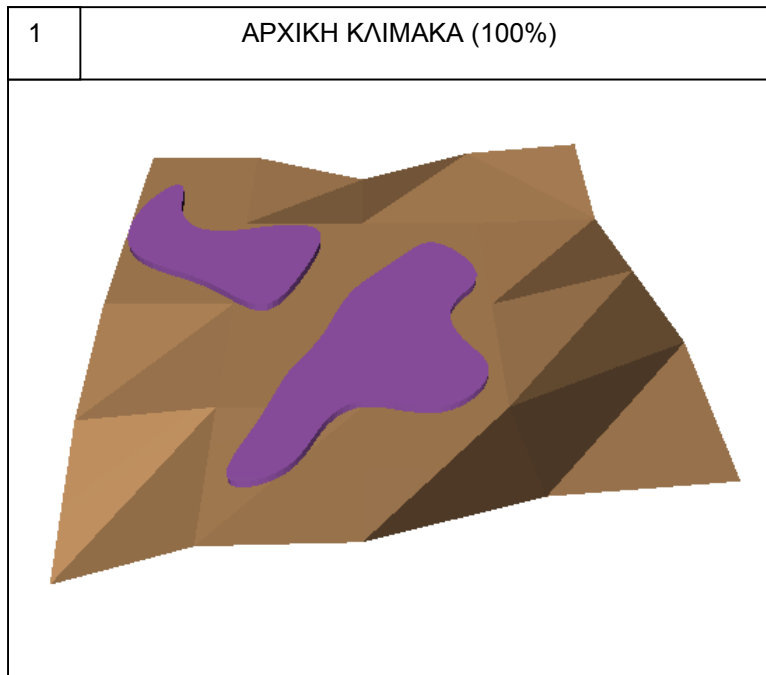
Οπτικοποίηση 18: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζονται εκκλησίες με τα παραπάνω σημειακά σύμβολα (1). Το μικρό τους μέγεθος σε συνδυασμό με τη μείωση της κλίμακας θα είχε ως αποτέλεσμα να μην είναι ορατά στην παράγωγη κλίμακα. Με τον τελεστή μεγέθυνσης διπλασιάζεται το μέγεθος των σημειακών συμβόλων (2) ώστε στην τελική κλίμακα (50%) να αποκτήσουν μέγεθος που μπορεί να αντιληφθεί ο ανθρώπινος οφθαλμός (3). Στην περίπτωση που προκύψει επικάλυψη με άλλα σύμβολα λόγω της μεγέθυνσης θα πρέπει να εφαρμοστεί ο τελεστής μετάθεσης.

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



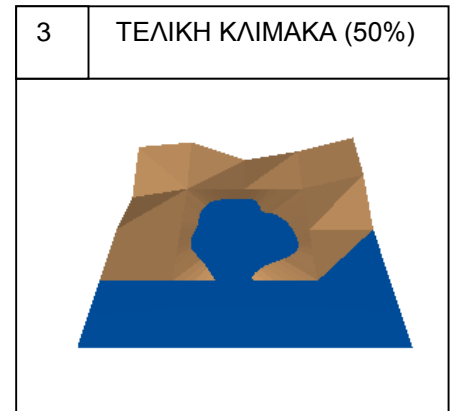
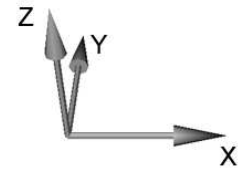
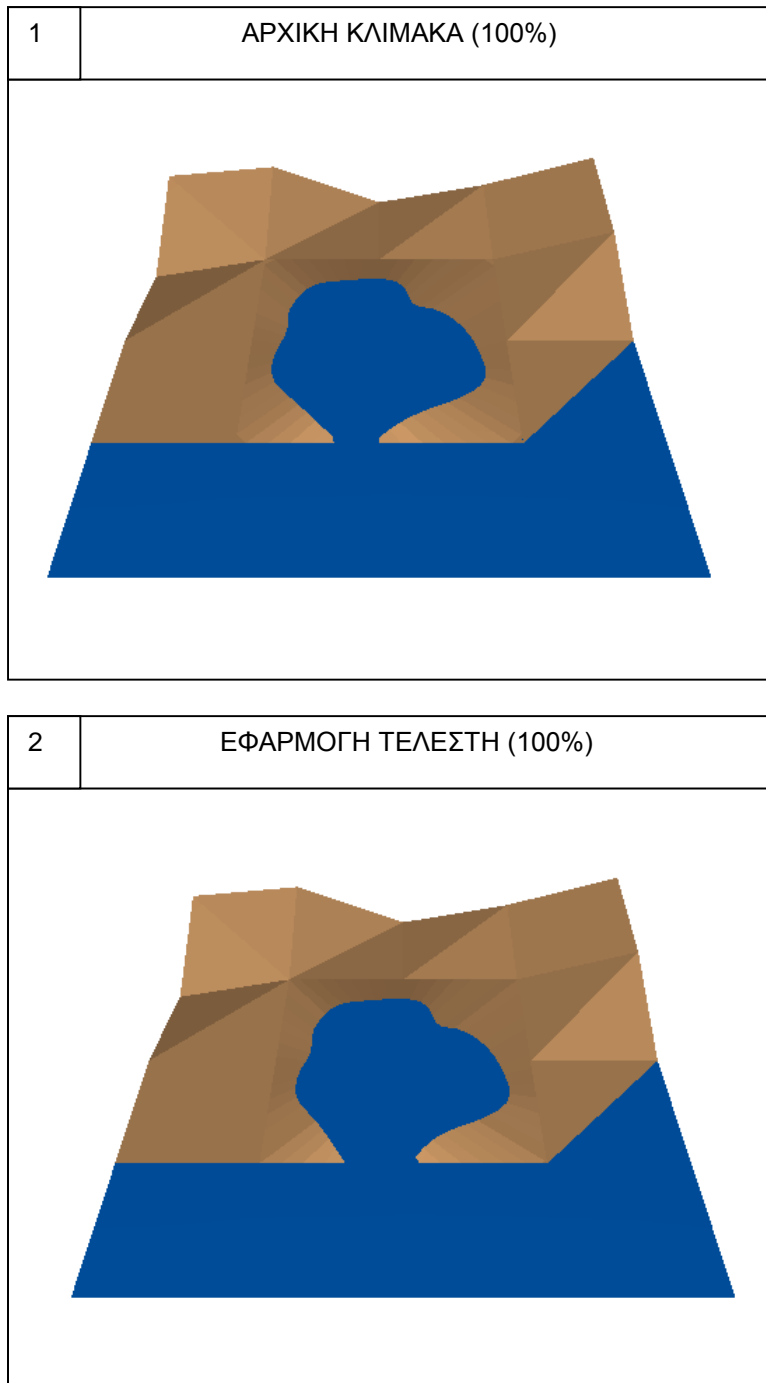
Οπτικοποίηση 19: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζεται οδός με κατάλληλο γραμμικό σύμβολο (1). Ως προς τις διαστάσεις του έχει το ελάχιστο δυνατό πάχος και πλάτος με αποτέλεσμα κατά τη μείωση της κλίμακας να μην είναι πλέον ορατό. Με τον τελεστή μεγέθυνσης το πλάτος και το πάχος του διπλασιάζονται (2) ώστε στην τελική κλίμακα (50%) να αποκτήσει τις διαστάσεις που του επιτρέπουν να είναι ορατό από τον ανθρώπινο οφθαλμό (3). Εάν η μεγέθυνση προκαλέσει επικάλυψη με άλλα σύμβολα θα πρέπει να διορθωθεί με τον τελεστή μετάθεσης.

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



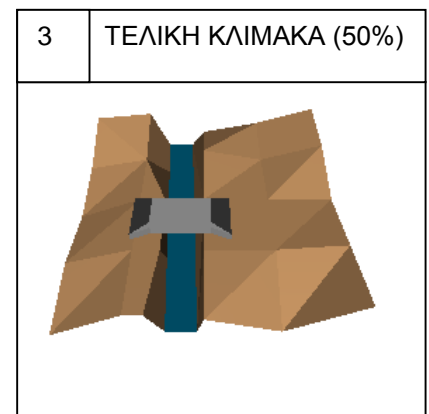
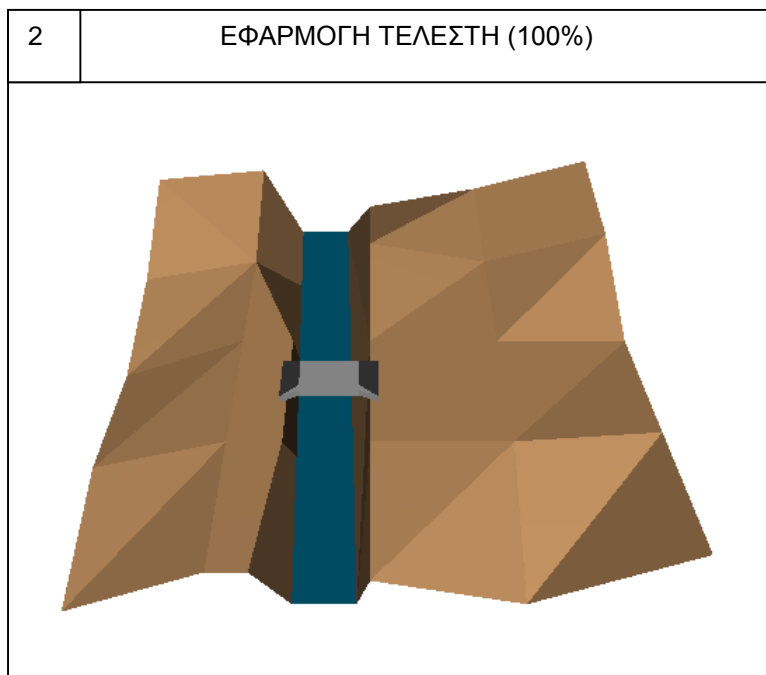
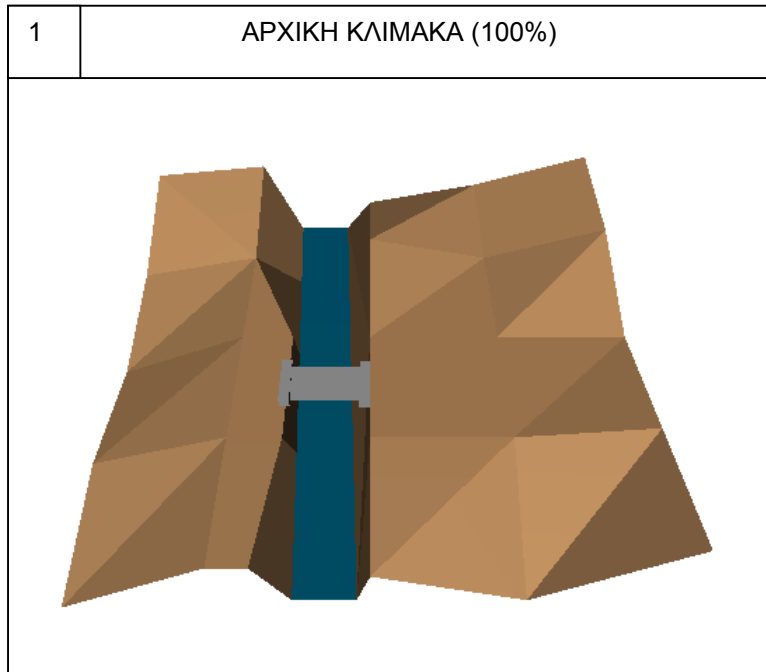
Οπτικοποίηση 20: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζονται βιομηχανικές περιοχές με κατάλληλο επιφανειακό σύμβολο (1). Το πάχος του συμβόλου είναι το ελάχιστο δυνατό οπότε με τη μείωση της κλίμακας δεν θα είναι αντιληπτό στον παράγωγο χάρτη. Με τον τελεστή μεγέθυνσης το πάχος του διπλασιάζεται (2) ώστε στην τελική κλίμακα (50%) να είναι πλέον ορατό από τον ανθρώπινο οφθαλμό (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



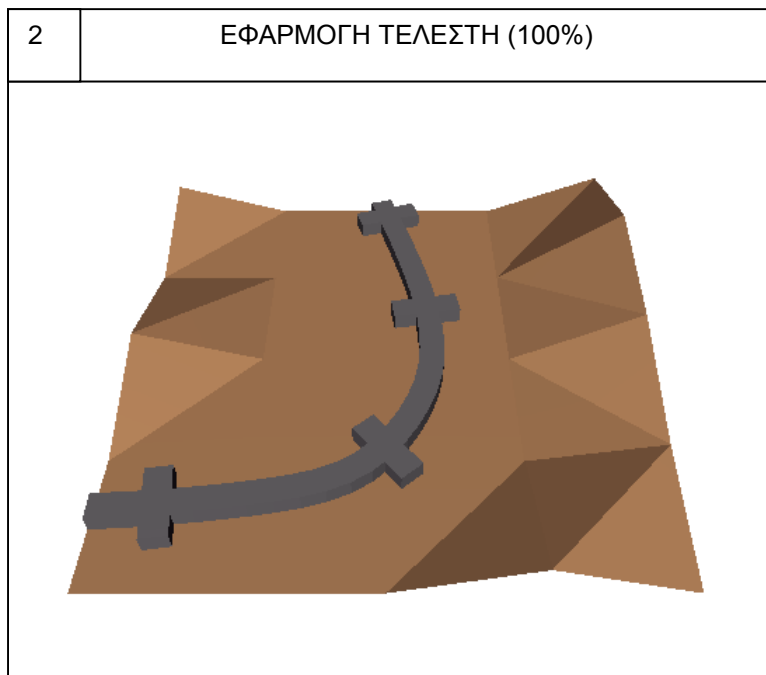
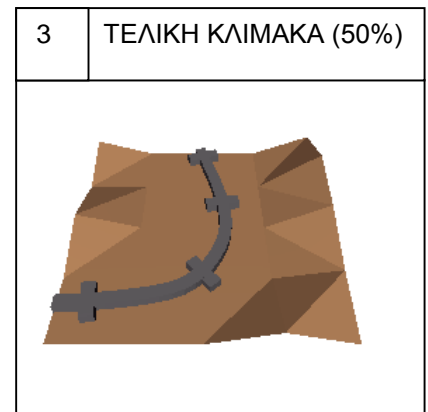
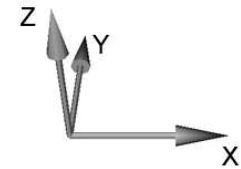
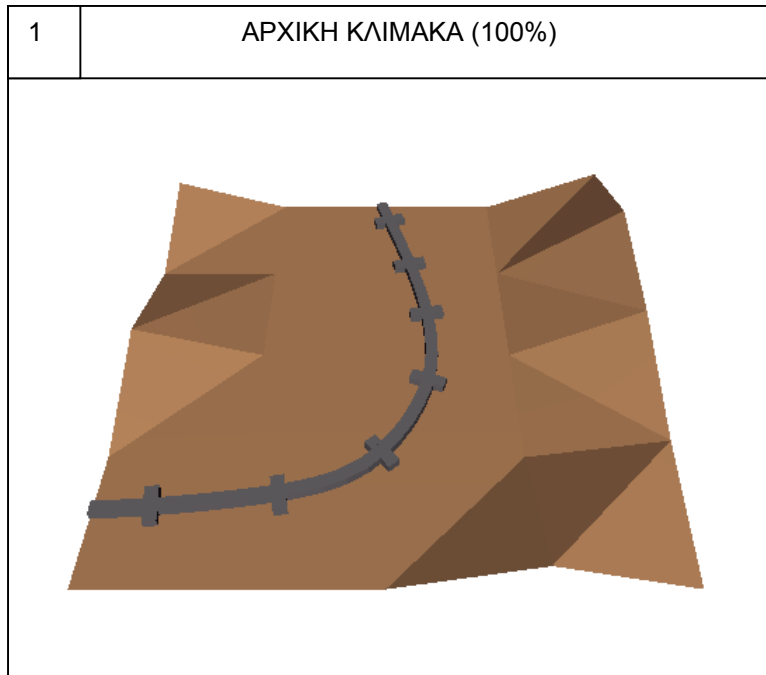
Οπτικοποίηση 21: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζεται ακτογραμμή με κολπίσκο (1). Το ήδη μικρό άνοιγμά του κόλπου θα μειωθεί περισσότερο κατά τη μείωση της κλίμακας με αποτέλεσμα να μη διακρίνεται με ευκρίνεια στον παράγωγο χάρτη. Με τον τελεστή μεγέθυνσης αυξάνεται το άνοιγμα του κόλπου (2) ώστε στον παράγωγο χάρτη να είναι πλέον ορατό από τον ανθρώπινο οφθαλμό (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



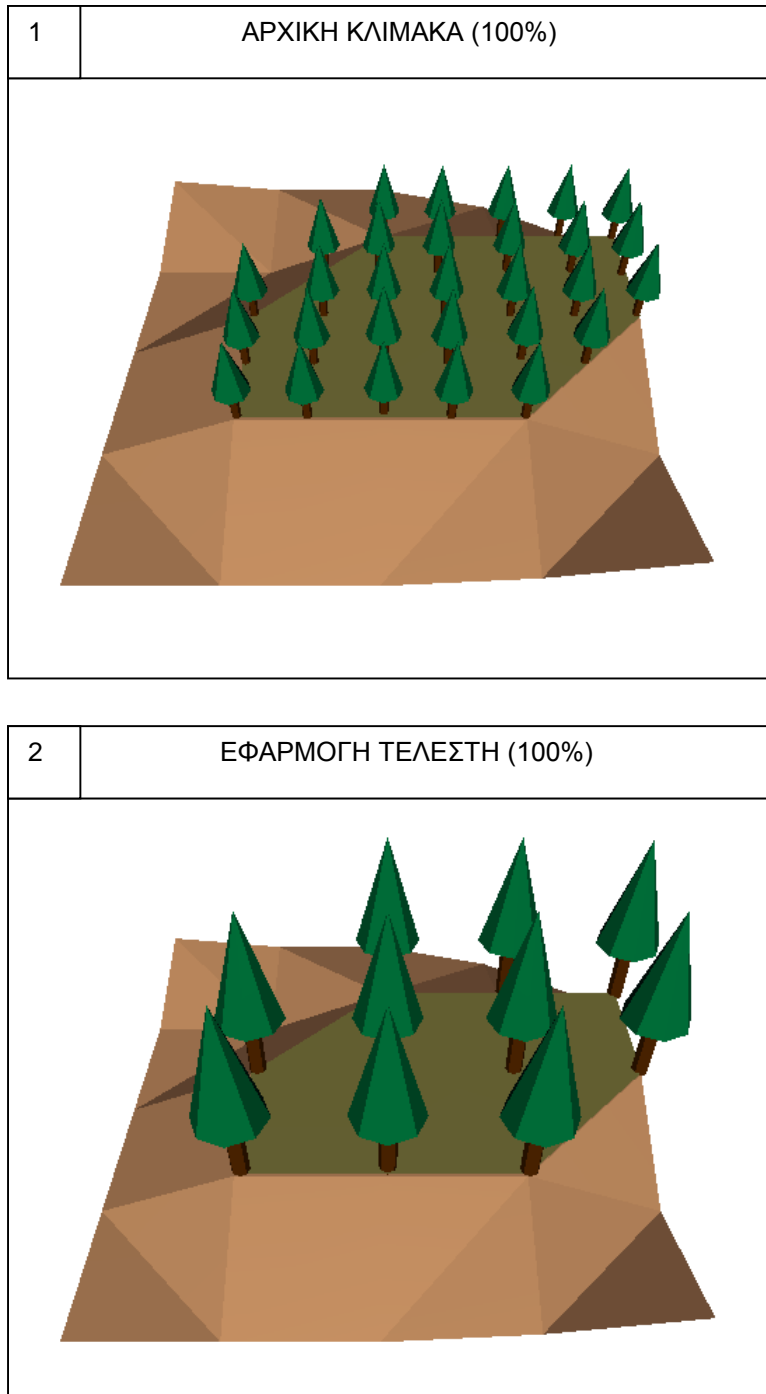
Οπτικοποίηση 22: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζεται γέφυρα με σημειακό σύμβολο (1). Εξαιτίας των μικρών διαστάσεων των επιμέρους τμημάτων του συμβόλου, το σύμβολο δεν θα απεικονίζεται αποτελεσματικά στον παράγωγο χάρτη χωρίς καμία παρέμβαση. Με τον τελεστή ενίσχυσης προστέθηκαν ακρόβαθρα στα άκρα της γέφυρας σε σχήμα σφήνας (2). Έτσι, στον παράγωγο χάρτη το μετασχηματισμένο σύμβολο αναπαριστά πιο αποτελεσματικά την εν λόγω οντότητα (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



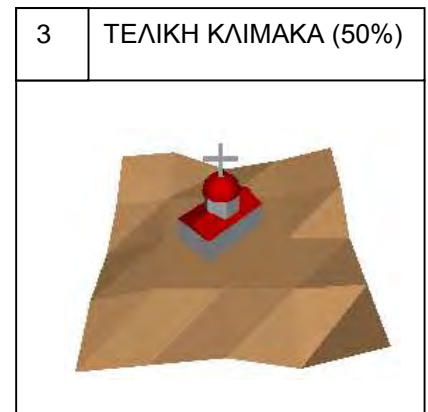
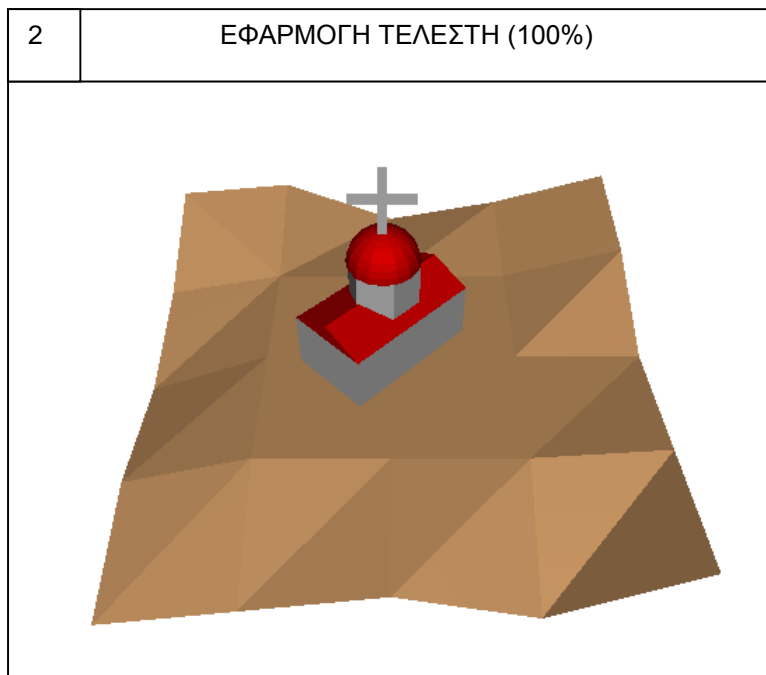
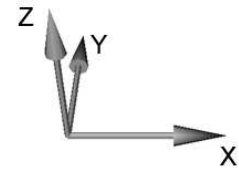
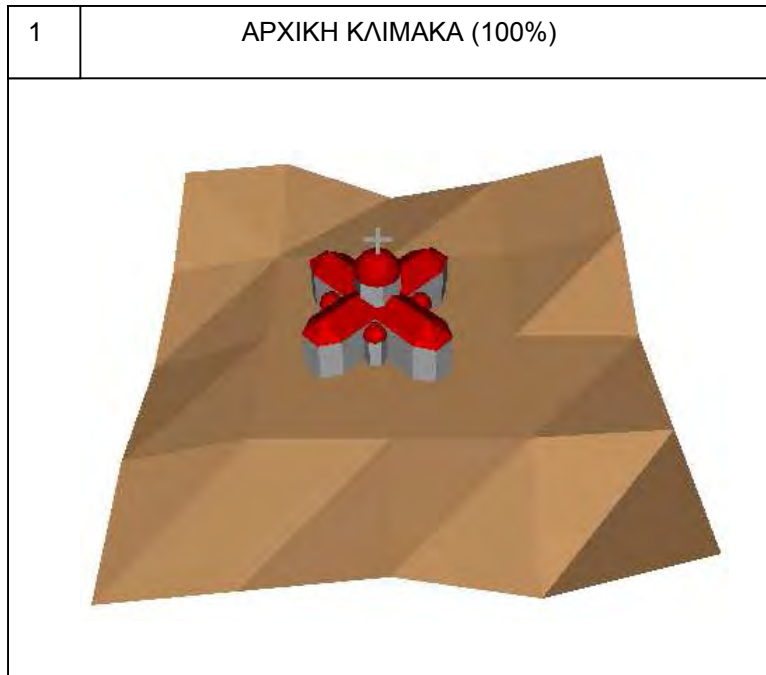
Οπτικοποίηση 23: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζεται σιδηροδρομική γραμμή με γραμμικό σύμβολο (1). Κατά τη μείωση της κλίμακας ο άξονας της γραμμής δεν θα είναι πλέον ορατός λόγω του μικρού μεγέθους του και οι επιμέρους 'ράγες' του συμβόλου θα πλησιάσουν τόσο μεταξύ τους που το σύμβολο δεν θα απεικονίζεται με ευκρίνεια. Με τον τελεστή ενίσχυσης αφαιρέθηκαν κάποιες από αυτές και μεγεθύνθηκαν τα εναπομείναντα τμήματα του συμβόλου (2). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται μια πιο αποτελεσματική διευθέτηση του συμβολισμού στον παράγωγο χάρτη (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



Οπτικοποίηση 24: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζεται δασική περιοχή με επιφανειακό σύμβολο (1). Εξαιτίας των μικρών διαστάσεων των επιμέρους τμημάτων του συμβόλου (δέντρα) και της μικρής τους απόστασης, κατά τη μείωση της κλίμακας η δασική περιοχή δεν θα απεικονίζεται με ευκρίνεια στον παράγωγο χάρτη χωρίς καμία παρέμβαση στο συμβολισμό. Με τον τελεστή ενίσχυσης αφαιρούνται κάποια δέντρα και μεγεθύνονται τα υπόλοιπα χωρίς, βέβαια, να μεταβληθεί το όριο του συμβόλου (2). Έτσι, στον παράγωγο χάρτη το μετασχηματισμένο σύμβολο απεικονίζεται χωρίς οπτικά προβλήματα (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



Οπτικοποίηση 25: Εκκλησία απεικονίζεται στον αρχικό 3D χάρτη με αντίστοιχο ογκομετρικό σύμβολο (1). Λόγω των μικρών διαστάσεων των επιμέρους τμημάτων του συμβόλου, κατά τη μείωση της κλίμακας δεν θα είναι όλα ορατά με αποτέλεσμα το σύμβολο να μην είναι ευκρινώς αντιληπτό. Με τη χρήση του τελεστή ενίσχυσης μετασχηματίζονται σε σχήμα και μέγεθος τμήματα του συμβόλου και υπερτονίζονται αυτά που το χαρακτηρίζουν- όπως ο τρούλος και ο σταυρός (2). Έτσι, στον παράγωγο χάρτη καταλήγουμε σε έναν πιο αποτελεσματικό συμβολισμό (3).

- Μετάθεση

Ο τελεστής μετάθεσης χρησιμοποιείται όταν από τη μείωση της κλίμακας ή τη χρήση των υπολοίπων τελεστών προκύπτει επικάλυψη των συμβόλων. Μεταθέτει τα σύμβολα κατά x,y,z, ώστε στον παράγωγο χάρτη να μην υπάρχουν ασυμβατότητες. Επειδή με την εφαρμογή του τελεστή αλλάζουν οι θέσεις και οι συντεταγμένες των συμβόλων, δεν μπορεί να εφαρμοστεί μετάθεση σε χαρτογραφικά στοιχεία των οποίων η θέση είναι εξαιρετικά μεγάλης σημασίας, όπως για παράδειγμα στα τριγωνομετρικά σημεία. Μετάθεση μπορεί να εφαρμοστεί στα σημειακά σύμβολα (βλ. Οπτικοποίηση 26), στα γραμμικά σύμβολα (βλ. Οπτικοποίηση 27), στα επιφανειακά σύμβολα (βλ. Οπτικοποίηση 28) και στα ογκομετρικά σύμβολα (βλ. Οπτικοποίηση 29).

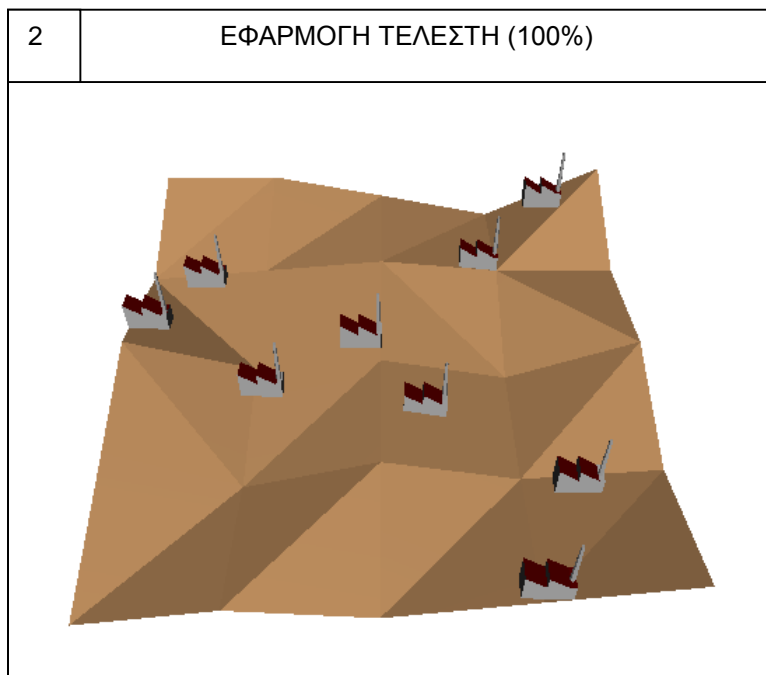
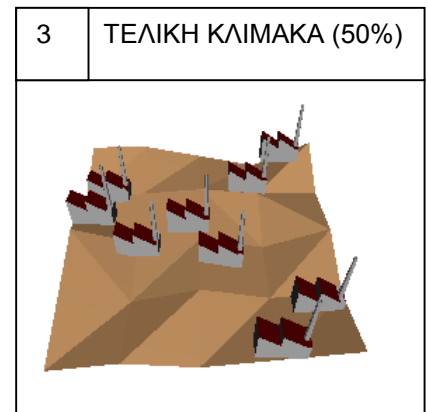
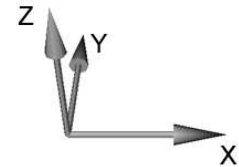
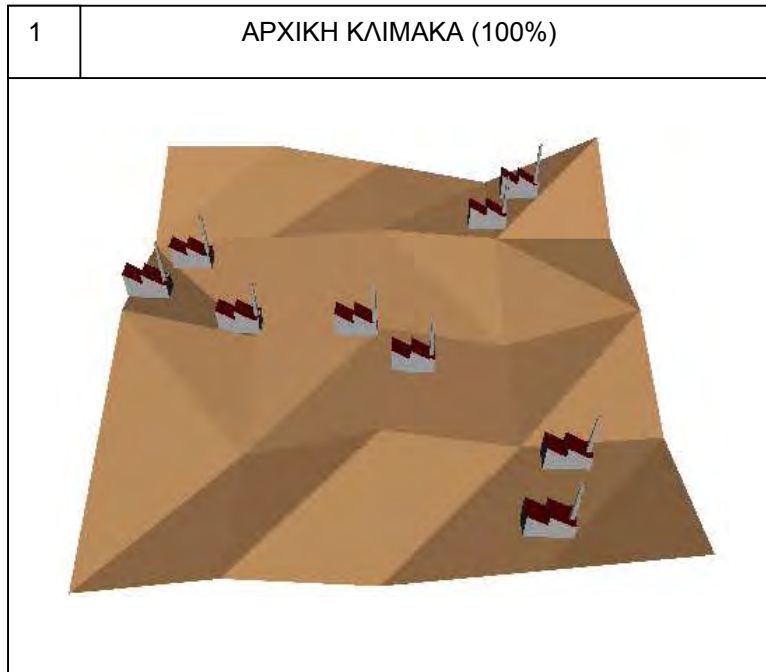
Για όλους τους τελεστές που μεταβάλλουν οριζοντιογραφικά τα εκάστοτε επί του εδάφους σύμβολα, είναι προφανές ότι στη νέα τους θέση αποκτούν το υψόμετρο του εδάφους στη θέση αυτή.

Παρακάτω παρουσιάζεται πίνακας με τους γεωμετρικούς τελεστές χαρτογραφικής γενίκευσης σε δισδιάστατους και τρισδιάστατους χάρτες

Πίνακας 12: Γεωμετρικοί τελεστές χαρτογραφικής γενίκευσης σε χάρτες 2D και 3D.

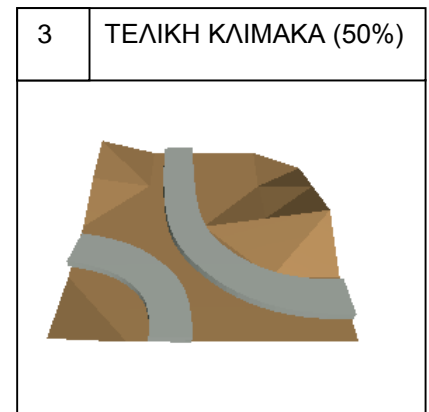
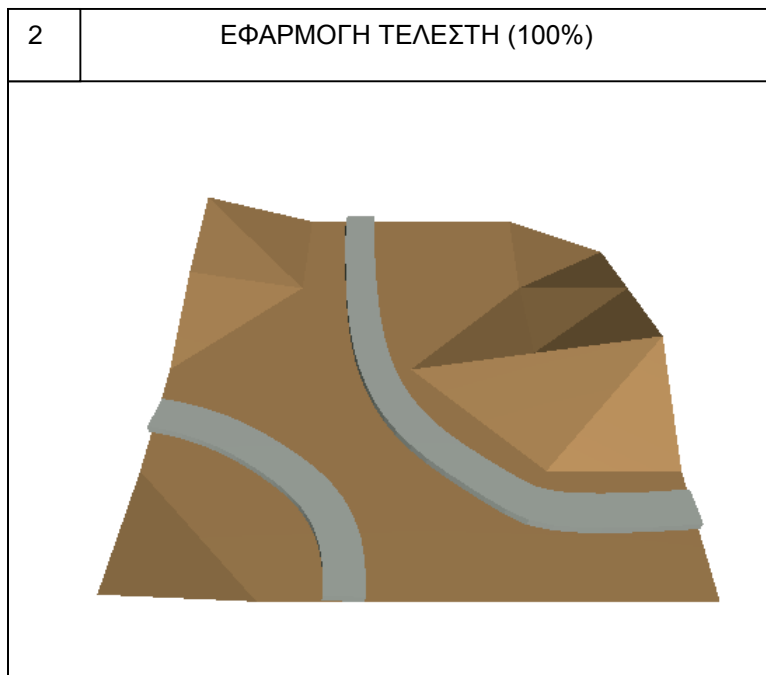
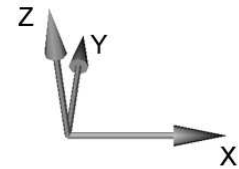
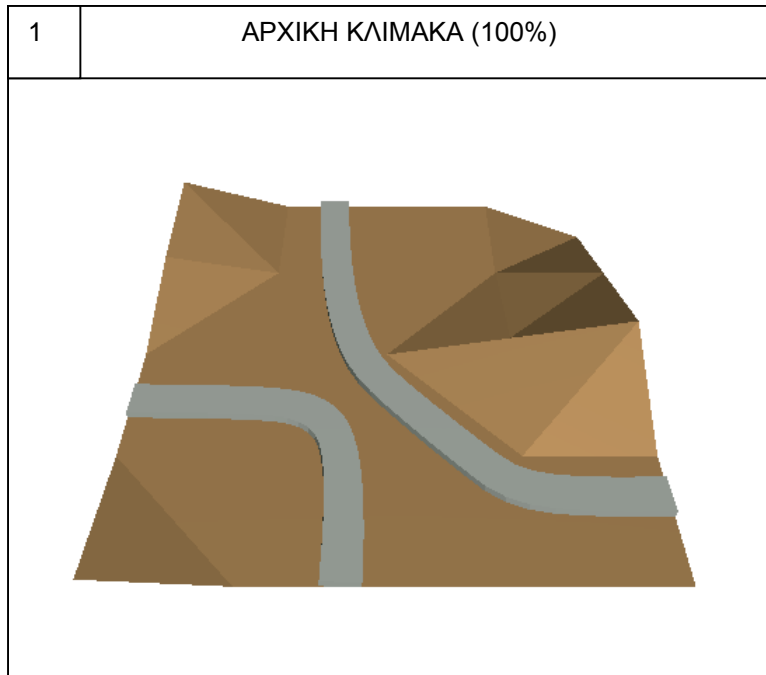
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΙ ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ			
2D (McMaster and Shea)		3D	
1.	Απλοποίηση	1.	Απλοποίηση
2.	Εξομάλυνση	2.	Εξομάλυνση
3.	Συγχώνευση σημειακών συμβόλων	3.	Συγχώνευση σημειακών συμβόλων
4.	Συγχώνευση γραμμικών συμβόλων	4.	Συγχώνευση γραμμικών συμβόλων
5.	Συγχώνευση επιφανειακών συμβόλων	5.	Συγχώνευση επιφανειακών συμβόλων
		6.	Συγχώνευση ογκομετρικών συμβόλων
6.	Μετάπτωση	7.	Μετάπτωση
7.	Εκλέπτυνση-Τυποποίηση	8.	Εκλέπτυνση-Τυποποίηση
8.	Μεγέθυνση	9.	Μεγέθυνση
9.	Ενίσχυση	10.	Ενίσχυση
10.	Μετάθεση	11.	Μετάθεση

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ ΣΗΜΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



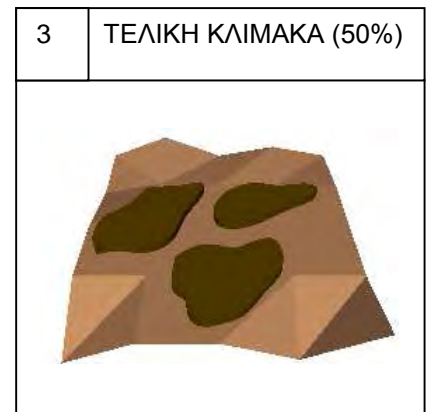
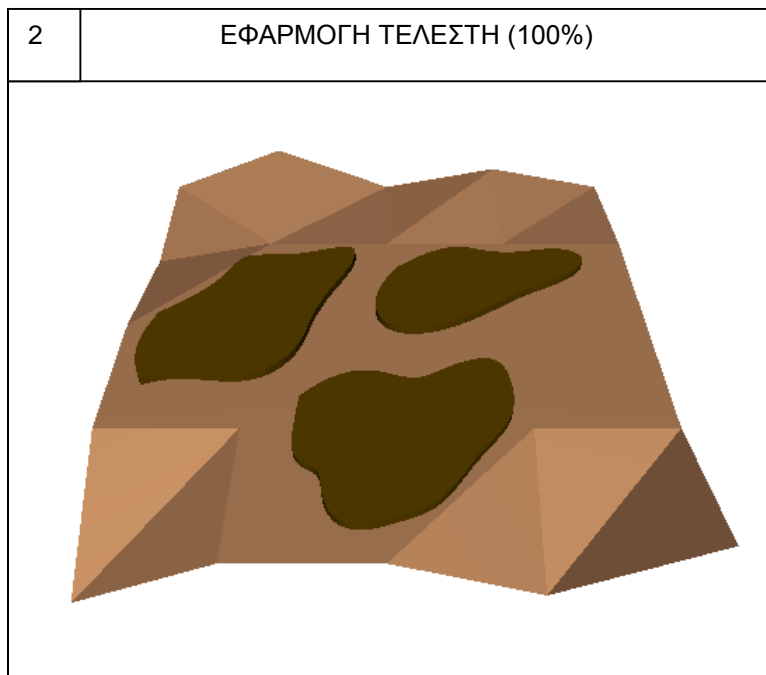
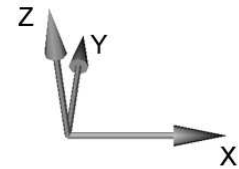
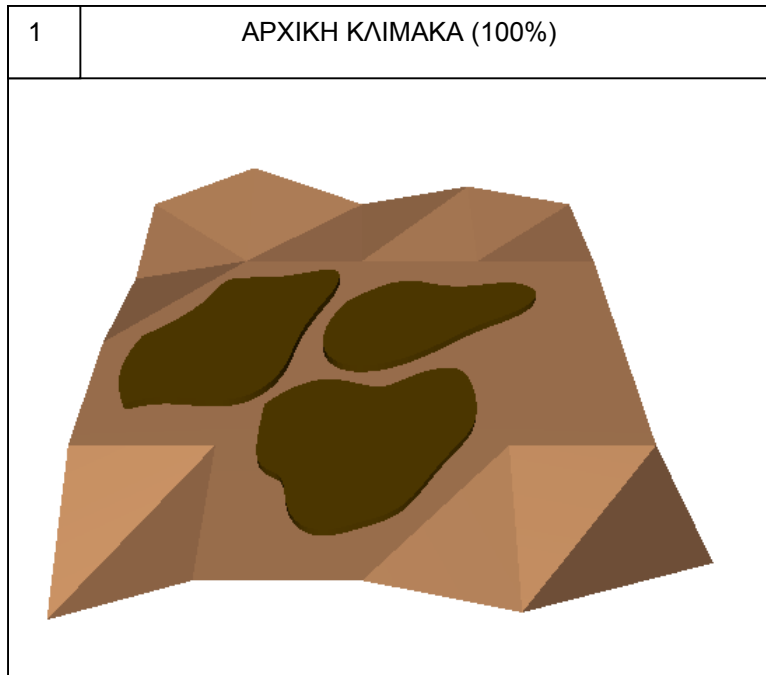
Οπτικοποίηση 26: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζονται εργοστάσια με σημειακό σύμβολο (1). Λόγω του ελάχιστου μεγέθους του συμβόλου που πρέπει να διατηρηθεί όπως και της μείωσης της κλίμακας θα παρουσιαστεί επικάλυψη των συμβόλων στον παράγωγο χάρτη. Με την εφαρμογή του τελεστή μετάθεσης πραγματοποιείται μικρή μετάθεση των συμβόλων κατά x , y , z , (2) ώστε στον παράγωγο χάρτη τα σύμβολα να είναι πλέον ευδιάκριτα (3). Η επικάλυψη μπορεί να παρουσιαστεί και μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών συμβόλων οπότε η μετάθεση είναι και πάλι απαραίτητη. Ακόμη, η μετάθεση δεν επιτρέπεται σε κάποιες κατηγορίες συμβόλων των οποίων οι συντεταγμένες είναι πρωτεύουσας σημασίας, όπως στα τριγωνομετρικά σημεία.

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



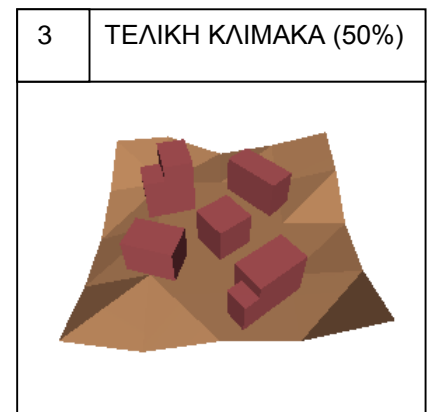
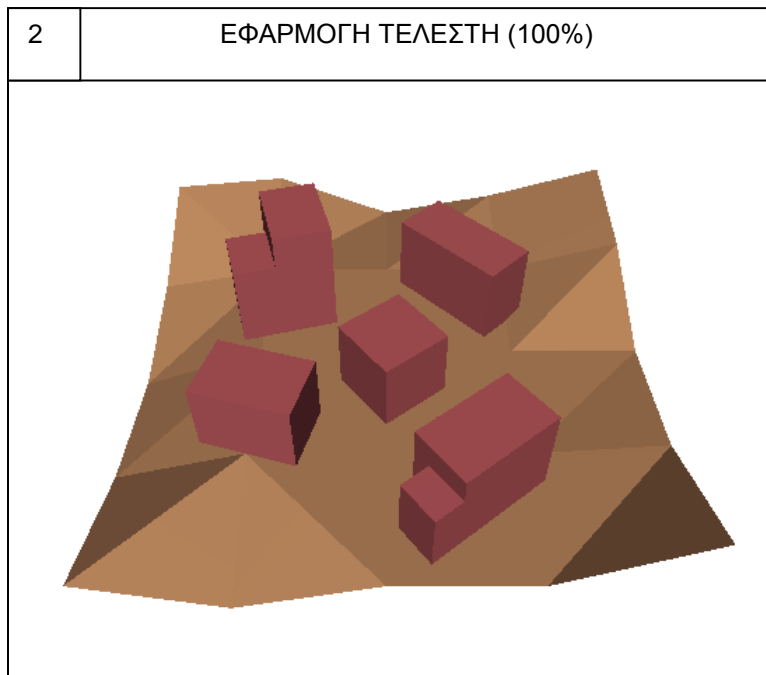
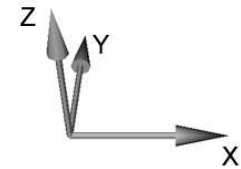
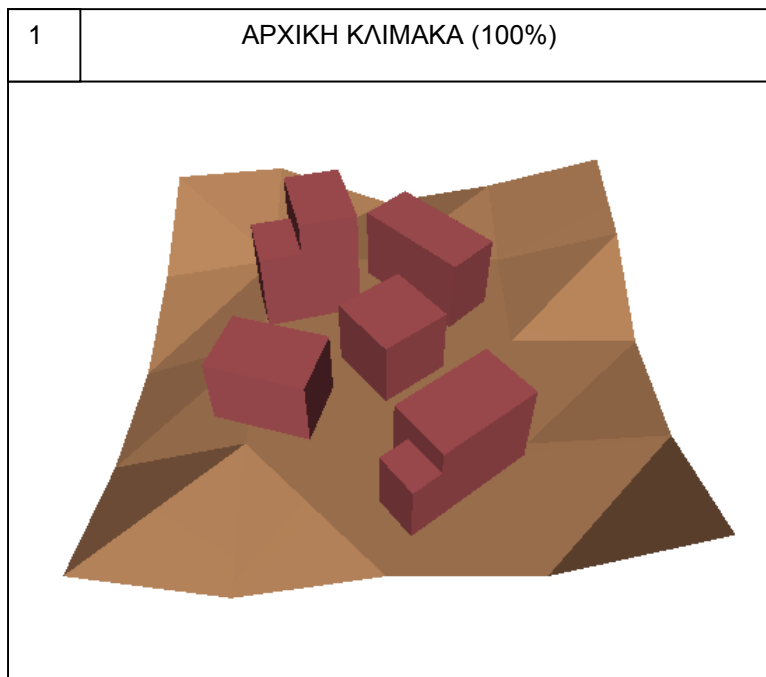
Οπτικοποίηση 27: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζονται δύο οδοί με γραμμικό σύμβολο (1). Η αύξηση του πλάτους του συμβόλου ώστε να είναι ορατό στον παράγωγο χάρτη θα έχει ως αποτέλεσμα την επικάλυψη της μιας οδού με τον ορεινό όγκο στα ανατολικά, όπως και την επικάλυψη των δύο οδών μεταξύ τους στο κεντρικό τμήμα όπου η απόστασή τους είναι μικρή. Για να αποφευχθούν αυτές οι ασυμβατότητες χρησιμοποιείται ο τελεστής μετάθεσης με τον οποίο τμήμα της μιας οδού απομακρύνεται ελαφρώς από τον ορεινό όγκο και τμήμα της δεύτερης οδού μετατίθεται προς τα δυτικά (2). Με τη βοήθεια του τελεστή, ο παράγωγος χάρτης απεικονίζει τις οντότητες χωρίς κανένα οπτικό πρόβλημα (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



Οπτικοποίηση 28: Βαλτώδεις εκτάσεις απεικονίζονται στον αρχικό 3D χάρτη με επιφανειακό σύμβολο (1). Η – ήδη μικρή – διαχωριστική τους απόσταση θα μειωθεί ακόμη περισσότερο κατά τη μείωση της κλίμακας οπότε ο ανθρώπινος οφθαλμός δεν θα είναι πλέον ικανός να τις αντιληφθεί ως διακριτές επιφάνειες. Με τη χρήση του τελεστή μετάθεσης οι επιφάνειες απομακρύνονται ελαφρώς η μια από την άλλη (2), έτσι ώστε στον παράγωγο χάρτη η διαχωριστική τους απόσταση να είναι επαρκής (3).

ΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΘΕΣΗΣ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΥΜΒΟΛΑ



Οπτικοποίηση 29: Στον αρχικό 3D χάρτη απεικονίζονται κτίρια με ογκομετρικά σύμβολα (1). Με τη μείωση της κλίμακας θα μειωθεί ο φυσικός χώρος του χάρτη και κατά συνέπεια θα μειωθεί και η μεταξύ τους απόσταση. Έτσι όμως, δεν θα διακρίνονται με ευκρίνεια. Με τη βοήθεια του τελεστή μετάθεσης τα κτίρια απομακρύνονται το ένα από το άλλο (2), έτσι ώστε στον παράγωγο χάρτη να απεικονίζονται πιο αποτελεσματικά (3).

Ακολουθεί πίνακας με κάποια χαρακτηριστικά των γεωμετρικών τελεστών χαρτογραφικής γενίκευσης, έτσι όπως προτάθηκαν προηγουμένως.

Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά των γεωμετρικών τελεστών χαρτογραφικής γενίκευσης σε 3D χάρτες.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΙ ΤΕΛΕΣΤΕΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ 3D	ΕΙΔΗ ΣΥΜΒΟΛΩΝ ΣΤΑ ΟΠΟΙΑ ΕΦΑΡΜΟΖΟΝΤΑΙ *	ΑΛΛΑΓΗ ΣΥΜΒΟ- ΛΙΣΜΟΥ	ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΑΞΗΣ ΣΥΜΒΟΛΟΥ
Απλοποίηση	Σ, Γ, Ε, Ο	Όχι	Ναι
Εξομάλυνση	Γ, Ε, Ο	Όχι	Ναι
Συγχώνευση σημειακών συμβόλων	Σ	Ναι	Όχι
Συγχώνευση γραμμικών συμβόλων	Γ	Ναι	Ναι
Συγχώνευση επιφανειακών συμβόλων	Ε	Ναι	Ναι
Συγχώνευση ογκομετρικών συμβόλων	Ο	Ναι	Ναι
Μετάπτωση	Ε, Ο	Ναι	Όχι
Εκλέπτυνση	Σ	Όχι	Ναι
Μεγέθυνση	Σ, Γ, Ε, Ο	Όχι	Ναι
Ενίσχυση	Σ, Γ, Ε, Ο	Ναι	Ναι
Μετάθεση	Σ, Γ, Ε, Ο	Όχι	Ναι

*: Σ=Σημειακά, Γ=Γραμμικά, Ε=Επιφανειακά, Ο=Ογκομετρικά

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στόχος της διπλωματικής εργασίας, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι η κατασκευή ενός εννοιολογικού μοντέλου γεωμετρικών τελεστών χαρτογραφικής γενίκευσης για 3D χάρτες το οποίο και προτάθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Περιλαμβάνει 11 γεωμετρικούς μετασχηματισμούς για 4 κατηγορίες συμβόλων και συνοδεύεται από οπτικοποιήσεις για καθέναν από τους τελεστές που προτείνονται. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνει κάθε τύπο συμβόλου που αντιστοιχεί σε κάθε τελεστή ώστε οι μετασχηματισμοί να περιγράφονται σαφέστερα μέσω παραδειγμάτων.

Τα βασικά προτερήματα που διαθέτει το μοντέλο είναι τα εξής: προσεγγίζει το πρόβλημα της χαρτογραφικής γενίκευσης με σκοπό να καλύψει όσο το δυνατόν περισσότερες από τις ανάγκες σε γενίκευση ενός 3D χάρτη. Υπό αυτό το πρίσμα, προτείνει ένα σύνολο γεωμετρικών μετασχηματισμών για να αντιμετωπίσει την πλειονότητα των περιπτώσεων που μπορεί να εμφανιστούν και οι οποίοι (μετασχηματισμοί) αναφέρονται σε όλες τις κατηγορίες των συμβόλων – σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά, ογκομετρικά. Μια τέτοια πιο ολιστική και ενοποιημένη, μπορούμε να πούμε, προσέγγιση της χαρτογραφικής γενίκευσης έχει από μόνη της κάποια θεωρητική αξία – ακόμη και πριν την πειραματική της επαλήθευση στα πλαίσια μιας εφαρμογής η οποία είναι σαφώς απαραίτητη.

Επιπλέον, το προτεινόμενο εννοιολογικό μοντέλο βασίζεται στο υπάρχον μοντέλο των McMaster και Shea του οποίου η αξιοπιστία και η πληρότητα έχουν αποδειχθεί στο πέρασμα του χρόνου. Αποτελεί θεμελιώδες τμήμα της βιβλιογραφίας για τη χαρτογραφική γενίκευση σε δισδιάστατους χάρτες και οι περισσότερες ερευνητικές μελέτες που ασχολούνται με αυτή έχουν βασιστεί με τον ένα ή τον άλλο τρόπο σε αυτό το μοντέλο.

Ταυτόχρονα, ευελπιστούμε να συμβάλει στην εξέλιξη της θεωρίας για τη χαρτογραφική γενίκευση στους 3D χάρτες. Στην πορεία της διπλωματικής εργασίας διαπιστώθηκε μια γενικότερη έλλειψη στη θεωρητική βιβλιογραφία -την οποία σημειώνουν και αρκετοί ερευνητές- η οποία είναι δυσανάλογη σε σχέση με τους αρκετούς αλγόριθμους και εφαρμογές που δημοσιεύονται. Πιθανώς η κατάσταση να έχει προκύψει από τη διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση των 3D χαρτών σε συνδυασμό με την τεχνολογική πρόοδο σε αυτόν τον τομέα, ίσως όμως είναι αναγκαία μια αναθεώρηση των προτεραιοτήτων στην έρευνα και μια στροφή προς τη θεωρία. Η εδραίωση κάποιων θεωρητικών αρχών αρχικά και ένα ισχυρό θεωρητικό πλαίσιο

μετέπειτα θα συμβάλλουν αποφασιστικά στη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα των ερευνητικών εφαρμογών και προσπαθειών.

Από την άλλη μεριά, οι οπτικοποιήσεις των μετασχηματισμών που παρουσιάστηκαν έχουν βασιστεί σε μια υπόθεση εργασίας όσον αφορά τις ελάχιστες διαστάσεις των συμβόλων, η οποία αποτελεί εκτίμηση. Θα ήταν χρήσιμο να καθοριστούν επίσημα μεγέθη για αυτές τις διαστάσεις στους 3D χάρτες μετά από την απαιτούμενη έρευνα. Τα μεγέθη αυτά αναμφίβολα θα συμβάλλουν και σε περαιτέρω ερευνητικές προσπάθειες για τη χαρτογραφική γενίκευση.

Βέβαια, το προτεινόμενο εννοιολογικό μοντέλο όπως και κάθε μοντέλο αποτελεί μια θεωρητική κατασκευή και ως θεωρία παραμένει μια υπόθεση η οποία πρέπει να ελεγχθεί. Γι αυτό κρίνεται απαραίτητη η συνέχιση της διπλωματικής εργασίας με μια ή και περισσότερες εφαρμογές για την κατασκευή ενός 3D χάρτη με πραγματικά δεδομένα. Με αυτόν τον τρόπο θα ελεγχθεί το μοντέλο ως προς την πληρότητα και αποτελεσματικότητά του. Για την εφαρμογή αυτή θα χρειαστούν βεβαίως και οι αλγόριθμοι που θα υλοποιήσουν τους μετασχηματισμούς της χαρτογραφικής γενίκευσης.

Επιπλέον θα πρέπει να τεθούν και να απαντηθούν αρκετά ερωτήματα τα οποία προέκυψαν στην πορεία της διπλωματικής εργασίας. Ποια θα πρέπει να είναι τα εύρη κλιμάκων που αντιστοιχούν σε κάθε επίπεδο λεπτομέρειας και πώς συνδέονται με την απόσταση από το σημείο παρατήρησης; Οι γεωμετρικοί τελεστές χαρτογραφικής γενίκευσης θα εφαρμόζονται όλοι στο αμέσως επόμενο επίπεδο λεπτομέρειας ή ίσως κάποιοι από αυτούς και κάποιοι άλλοι στο μεθεπόμενο; Και με ποια σειρά θα εφαρμοστούν; Πώς διαφοροποιούνται οι μετασχηματισμοί ιδιοτήτων μετά τους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς; Ποια είναι η καταλληλότερη δομή δεδομένων για έναν 3D χάρτη και ποια η μορφή των 3D συμβόλων που ενδείκνυνται; Πως ο εκάστοτε σκοπός του χάρτη και το κοινό του επηρεάζει και διαμορφώνει όλα τα παραπάνω;

Ενδέχεται, εξαιτίας του χαρακτήρα της γενίκευσης να μην καταλήξουμε ποτέ σε ένα πλήρως αυτοματοποιημένο μοντέλο για να την περιγράψουμε, είναι όμως σημαντικό να εργαστούμε προς αυτήν την κατεύθυνση.

Οι 3D χάρτες αποτελούν χρήσιμα εργαλεία με πολλές εφαρμογές και τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ανάπτυξη σε αυτόν τον τομέα της ψηφιακής χαρτογραφίας. Επίσης, από τους ερευνητές προβλέπεται ακόμη μεγαλύτερη ανάπτυξη τους στο

μέλλον. Αυτό σε καμία περίπτωση δεν συνεπάγεται την κατάργηση των δισδιάστατων χαρτών. Με την πάροδο του χρόνου και την κατάλληλη έρευνα θα αποσαφηνιστεί η θέση των 3D χαρτών στα πλαίσια της χαρτογραφίας γενικότερα.

Ο τοπογράφος μηχανικός είναι, λόγω αντικειμένου, ο πλέον αρμόδιος να εμπλακεί στη μελέτη και την κατασκευή τους – ιδανικά στα πλαίσια διεπιστημονικής ομάδας – και καλείται να συνεισφέρει αποτελεσματικά σε αυτό το πολύ ενδιαφέρον και αναπτυσσόμενο κομμάτι της χαρτογραφίας.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bandrova T., Designing of Symbol System for 3D City Maps, Proc. of the 20th Intern. Cartographic Conference (I.C.C.) Mapping the 21st Century, Scientific and Technical Program Committee, Beijing China, 2001, pp. 1002-1010.
2. Cecconi Alessandro, Integration of Cartographic Generalization and Multi-Scale Databases for Enhanced Web Mapping, Doctoral Thesis, 2003, pp. 7-32.
<http://www.geo.unizh.ch/publications/acecconi/phd/pdf/chapters/chapter2.pdf>
3. Chen X., Bai F., Generalization of Three-Dimensional City Maps, Proc. of the 20th Intern. Cartographic Conference (I.C.C.) Mapping the 21st Century, Scientific and Technical Program Committee, Beijing China, 2001, pp. 2083-2090.
4. Constantinescu Z., Levels of Detail: An Overview, 1st Computer Science Graduate Students Conference (C.S.G.S.C.), Norwegian University of Science and Technology, Trondheim Norway, 2001.
<http://csgsc.idi.ntnu.no/2001/pages/papers/zoran.pdf>
5. Eco U., Πώς γίνεται μια διπλωματική εργασία, Εκδόσεις Νήσος, 1994
6. Forberg A., Simplification of 3D Building Data, I.C.A. Workshop on Generalization and Multiple Representation, Leicester, 2004.
<http://ica.ign.fr/Leicester/paper/Forberg-v2-ICAWorkshop.pdf>
7. Forberg A., Mayer H., Squaring and Scale-Space based Generalization of 3D Building Data, 5th Workshop on Progress in Automated Map Generalization, Institut Geographique National, Paris France, 2003.
8. Frery A., Da Silva C., Costa E., Almeida E., Cartographic Generalization in Virtual Reality, XXth I.S.P.R.S. Congress, Istanbul, 2004.
<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm4/papers/342.pdf>
9. Gröger G., Kolbe T.H., Plümer L., Zur Konsistenz bei der Visualisierung multiskaliger 3D-Stadtmodelle, Arbeitsgruppe Automation in der

Kartographie, Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt 2004, pp. 59-74.

10. Haerberling C., 3D Map Presentation – A systematic Evaluation of Important Graphic Aspects, I.C.A., Mountain Cartography Workshop “Mount Hood”, Oregon, 2002.

http://www.karto.ethz.ch/ica-cmc/mt_hood/pdfs/haeberling2.pdf

11. Haerberling C., Symbolization in topographic 3D-maps: conceptual aspects for user-oriented design, I.C.A. Commission on Mountain Cartography, Ottawa, 1999.

http://www.mountaintopography.org/cmc-publications/ica_cmc_sessions/1_Ottawa_Sessions_Relief/08_Ottawa_Haeb erling.pdf

12. Haerberling C., Topografische 3D-Karten – Thesen für kartografische Gestaltungsgrundsätze, Doctoral thesis, Institute of Cartography, ETH Zurich, Zurich, 2004.

<http://e-collection.ethbib.ethz.ch/eserv/eth:27130/eth-27130-02.pdf>

13. International Cartographic Association, Multilingual Dictionary of Terms in Cartography, 1973.

14. Kada M., Automatic Generalisation of 3D Building Models, I.S.P.R.S. Commission IV, Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, 2002.

<http://www.isprs.org/commission4/proceedings/pdfpapers/245.pdf>

15. Kada M., 3D Building Generalisation and Visualisation, Proc. of Photogrammetric Week '03, Institute for Photogrammetry, Stuttgart Germany, 2003.

<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo03/kada.pdf>

16. Keates J.S., Cartographic Design and Production, 2nd edition, Longman Scientific & Technical, Essex, England, 1989.

17. Kolbe T.H., Gröger G., Towards Unified 3D City Models, Institute for Cartography and Geoinformation, University of Bonn, 2003.
http://www.ikg.uni-bonn.de/sig3d/docs/CGIAV2003_Kolbe_Groeger.pdf
18. Lal J., Meng L., Rules and Constraints for 3D Generalization of Urban Area, Journal of Geographical Sciences, Acta Geographica Sinica, Vol.11 Supplement 2001, Beijing, pp.17-28.
http://129.187.175.5/publications/raheja/3d_generalization_ag_2001.pdf
19. Mc Master R., Shea S., Generalization in Digital Cartography, Association of American Cartographers, 1992.
20. Meng L., How should 3D Geovisualization please our eyes better?, Technical University of Munich, Euroconference of Geovisualization, Albufeira Portugal, 2002.
<http://129.187.175.5/publications/meng/vortrag/20020313.pdf>
21. Νάκος Β., Αναλυτική Χαρτογραφία, Σημειώσεις μαθήματος, Ε.Μ.Π. Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα, 2002, σελ. 145-156.
22. Νάκος Β., Φιλιππακοπούλου Β., Γενική Χαρτογραφία, Σημειώσεις μαθήματος, Ε.Μ.Π. Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα, 1993.
23. Petrovic D., Cartographic Design in 3D Maps, Proc. of the 21st Intern. Cartographic Conference (I.C.C.), Document Transformation Technologies, Durban, 2003, pp. 1920-1926.
24. Robinson A., Morrison J., Muehrcke P., Kimerling A., Guptill S., Στοιχεία Χαρτογραφίας, Επιστημονική Επιμέλεια Κάβουρας Μ., Νάκος Β., Τσούλος Λ., Φιλιππακοπούλου Β., Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2002.
25. Terribilini A., Maps in Transition: development of interactive vector-based topographic 3D-maps, Proc. of the 19th I.C.A. Conference, Ottawa, 1999, pp. 993-1001.
http://www.geodev.ch/pdf/Terribilini_ottawa_1999.pdf

26. Thiemann F., Generalization of 3D Building Data, I.S.P.R.S. Commission IV, Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, 2002.

<http://www.isprs.org/commission4/proceedings02/pdfpapers/455.pdf>

27. Visvalingam M., Aspects of (line) Generalisation: a discussion paper, I.C.A., 3rd Workshop on Map Generalisation, Ottawa, 1999.

<http://www2.dcs.hull.ac.uk/CISRG/ica/ica-old.htm>