

# Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ ΣΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΩΝ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΩΝ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

Βύρωνας Νάκος, Βασιλική Φιλιππακοπούλου, Λήδα Στάμου

Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο  
Τηλ: 010 772 2733, 010 772 2732, Fax: 010 772 2734,  
E-mail: bnakos@central.ntua.gr - bfilippa@survey.ntua.gr - lestamou@central.ntua.gr

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία γίνεται αναφορά στους τρόπους εφαρμογής των διεργασιών της γενίκευσης σε γραμμικά χωρικά χαρακτηριστικά και επισημαίνονται οι επιπτώσεις αυτών των διεργασιών, στον προσδιορισμό του μήκους των γραμμών, όπως προκύπτουν από μετρήσεις σε χάρτες. Επί πλέον, προσδιορίζεται το μήκος των ακτογραμμών της Ελλάδας, για διαφορετικά επίπεδα γενίκευσης μέσω χαρτών διαφορετικών κλιμάκων. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται με ανάλογες μετρήσεις του μήκους ακτογραμμών άλλων ευρωπαϊκών χωρών.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Γενίκευση, απλοποίηση γραμμών, μήκος/ανάπτυγμα (ακανόνιστων) γραμμών, βήμα μέτρησης, πολυπλοκότητα γραμμών

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι χάρτες, οι αεροφωτογραφίες, οι δορυφορικές εικόνες και εν δυνάμει οι ψηφιακές καταγραφές χωρικών δεδομένων ή ψηφιακοί χάρτες αποτελούν αναπαραστάσεις του γεωγραφικού χώρου. Μπορεί κάποιος να θεωρήσει τις αεροφωτογραφίες και τις δορυφορικές εικόνες ως πρωτογενή μέσα χωρικής αναπαράστασης και τους χάρτες αναλογικής ή ψηφιακής μορφής ως παράγωγα. Ακριβώς δε στον πρωτογενή τρόπο δημιουργίας τους οφείλουν οι εικόνες (αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές) την «ομοιότητά» τους με το τμήμα του γεωγραφικού χώρου που αναπαριστούν. Οι χάρτες, αναλογικής ή ψηφιακής μορφής, ως παράγωγα μέσα, αναπαριστούν κάποιες «όψεις» του γεωγραφικού χώρου στον οποίο αναφέρονται, όπου ο όρος «όψη» εκφράζει και τα μεμονωμένα χαρακτηριστικά που περιέχει η αναπαράσταση και τη συνολική εικόνα του γεωγραφικού χώρου που αυτή δίνει. Η επιλογή χαρακτηριστικών του γεωγραφικού χώρου, ο τρόπος απεικόνισής τους και η συνολική εικόνα του χώρου που αναπαριστάται είναι τα στοιχεία στα οποία ο χάρτης οφείλει τη μοναδικότητά του και τη διαφορά του από τα άλλα μέσα χωρικής αναπαράστασης. Στα πλαίσια αυτού του άρθρου δεν θα ασχοληθούμε με την επιλογή των δεδομένων που περιέχονται σ' έναν χάρτη, αντίθετα αντικείμενο ανάλυσης θα αποτελέσει ο τρόπος απεικόνισής τους.

Στη χαρτογραφία, η διεργασία με την οποία ένας χάρτης απεικονίζει υπό κλίμακα ένα τμήμα του γεωγραφικού χώρου ονομάζεται *γενίκευση*. Η γενίκευση περιγράφει τη μείωση της πολυπλοκότητας κατά τη μετάβαση από τις διαστάσεις της πραγματικότητας στις διαστάσεις του χάρτη, αποδίδει με έμφαση τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά του χώρου, ενώ αντίθετα εξαφανίζει όσα από αυτά δεν είναι σημαντικά, διατηρεί τις λογικές, σημασιολογικές και κατηγορηματικές σχέσεις μεταξύ των αντικειμένων του χώρου και

τέλος, διατηρεί την αισθητική του ποιότητα. Η γενίκευση στοχεύει στη δημιουργία χαρτών με γραφική ενάργεια, με τρόπο που η εικόνα του χάρτη να είναι εύκολα αντιληπτή από το χρήστη και το μήνυμα που μεταφέρει ο χάρτης να καθίσταται κατανοητό. Η σύνθεση των χαρακτηριστικών της γενίκευσης εκφράζεται από τον ορισμό που της έχει αποδώσει η Διεθνής Χαρτογραφική Ένωση (ICA 1973, σελ. 173):

*Γενίκευση είναι η επιλεγμένη και απλοποιημένη αναπαράσταση των λεπτομερειών που είναι κατάλληλες ως προς την κλίμακα ή και το σκοπό του χάρτη.*

Ας σημειωθεί ότι η κλίμακα, σύμφωνα με τα παραπάνω, δεν αποτελεί το μοναδικό παράγοντα που επηρεάζει τη γενίκευση. Ο σκοπός του χάρτη καθορίζει εξ ίσου με την κλίμακα, ως παράγοντας, τη γενίκευση. Άλλοι παράγοντες, που επηρεάζουν τη γενίκευση ενός χάρτη, είναι η ποιότητα των δεδομένων, οι προδιαγραφές με τις οποίες σχεδιάζονται τα σύμβολα του χάρτη (Robinson et al. 1984).

Η ανάπτυξη των ψηφιακών μεθόδων στη χαρτογραφία διεύρυνε το νόημα και το περιεχόμενο της γενίκευσης. Η διαπίστωση αυτή με μια πρώτη ματιά φαίνεται ως παράδοξη. Θα μπορούσε κανείς να περιμένει ότι με τη μετάβαση από ένα στατικό αναλογικό χάρτη σε ψηφιακούς χάρτες που αποδίδονται στην οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή θα ξεπερνούσαν η ανάγκη για γενίκευση. Και αυτό γιατί η αξιοποίηση της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών παρέχει δυνατότητες επιλογής και σύνθεσης υποσυνόλων των χωρικών πληροφοριών δια μέσου ερωτοαποκρίσεων με ευελιξία, δυνατότητες μεγέθυνσης και διερεύνησης των χωρικών δεδομένων, σε οποιαδήποτε επιθυμητή κλίμακα. Όμως, η κατάσταση είναι τελείως διαφορετική για δύο κυρίως λόγους. Πρώτα, γιατί τα χωρικά φαινόμενα και η χωρική επεξεργασία συνήθως εξαρτώνται από την κλίμακα. Τα χωρικά δεδομένα πρέπει να αναλύονται και να οπτικοποιούνται σε κλίμακες που έχει νόημα και είναι κατανοητή είτε η μοντελοποίηση των χωρικών φαινομένων, που αντιπροσωπεύουν, είτε η επεξεργασία τους. Ο δεύτερος λόγος αναφέρεται στον ίδιο τον χαρακτήρα της γενίκευσης που συμπεκνώνει μια θεμελιακή διανοητική δραστηριότητα, η οποία συνδυάζει στοιχεία ευρύτερων επιστημονικών θεωρήσεων και στοιχεία καθημερινής πρακτικής εξάσκησης καθώς και λήψης αποφάσεων. Χωρίς την εστίαση στις ουσιαστικές όψεις ενός προβλήματος μπορεί κανείς να χαθεί σε λεπτομέρειες που δεν έχουν σημασία και τελικά να μην είναι σε θέση να κατανοήσει τις γενικευμένες μορφές που από μόνες τους επιτρέπουν τη μετάδοση της χωρικής πληροφορίας. Επομένως, με την έννοια αυτή η γενίκευση αποτελεί μια επεξεργασία θεμελιακής σημασίας στη μεγιστοποίηση του πληροφοριακού περιεχόμενου μιας ψηφιακής χωρικής καταγραφής, όταν το περιεχόμενο της δομείται, συντηρείται ή μεταδίδεται.

## **2. ΟΙ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ ΣΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΧΑΡΤΗ**

Η μετάβαση από μια κλίμακα σε μια μικρότερη μειώνει τη διαθέσιμη χωρητικότητα του χάρτη. Για παράδειγμα, ο υποδιπλασιασμός της κλίμακας του χάρτη συνεπάγεται τον υποτετραπλασιασμό των φυσικών διαστάσεων της έκτασης που απεικονίζει, με αποτέλεσμα τον δραστικό περιορισμό του διαθέσιμου χώρου για την απεικόνιση του χώρου. Επιπρόσθετα, καθώς η κλίμακα του χάρτη μειώνεται, ορισμένα από τα χαρτογραφικά σύμβολα με μικρό σχετικά μέγεθος πλησιάζουν τα όρια της οπτικής αντίληψης. Τα όρια της οπτικής αντίληψης, με τη σειρά τους, καθορίζουν τις ελάχιστες

διαστάσεις των συμβόλων. Έτσι κάθε σύμβολο, του οποίου οι διαστάσεις προκύπτουν μικρότερες από αυτές που ορίζουν τα όρια της οπτικής αντίληψης και είναι απαραίτητο να απεικονιστεί, θα πρέπει να μεγεθύνεται ώστε να είναι οπτικά αναγνώσιμο. Επομένως, ο χαρτογράφος καλείται να αντιμετωπίσει δύο αλληλοεξαρτώμενα σημαντικά προβλήματα όταν μειώνεται η κλίμακα του χάρτη: τη μείωση αφενός του διαθέσιμου φυσικού χώρου του χάρτη και αφετέρου τη μεγέθυνση των φυσικών διαστάσεων ορισμένων χωρικών οντοτήτων, ώστε να είναι αναγνώσιμες.

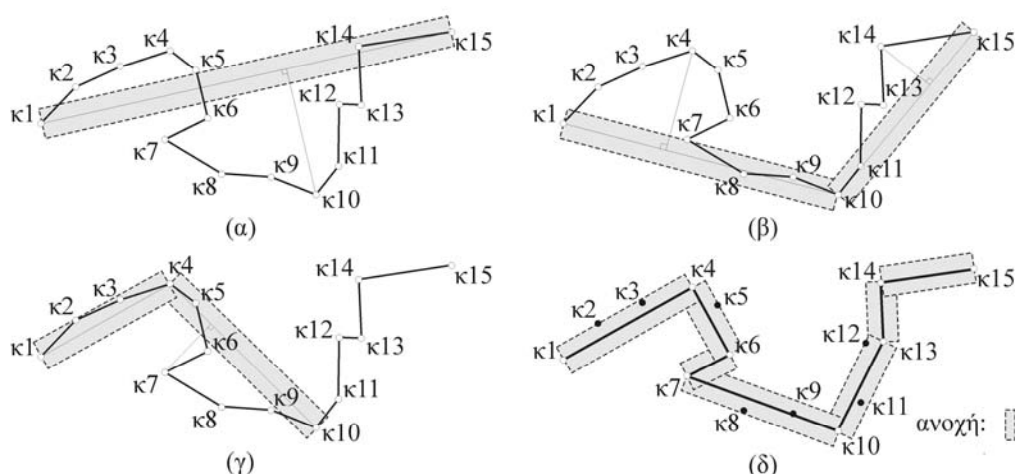
Η γενίκευση εφαρμόζεται στα χωρικά δεδομένα εκτελώντας συγκεκριμένους μετασχηματισμούς με στόχο την τροποποίηση της γεωμετρίας ή των ιδιοτήτων τους οι οποίοι ονομάζονται *τελεστές* της γενίκευσης (Lichtner 1979, Shea and McMaster 1989). Οι γεωμετρικοί τελεστές της γενίκευσης τροποποιούν τη θέση, τη μορφή, ή ακόμα και το είδος του συμβολισμού των χωρικών δεδομένων. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται οι χρησιμοποιούμενοι σήμερα γεωμετρικοί τελεστές και χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής τους.

	Αρχική κλίμακα (100%)	Εφαρμογή τελεστή	Τελική κλίμακα (50%)
<i>Απλοποίηση</i>			
<i>Εξομάλυνση</i>			
<i>Συγχώνευση σημειακών συμβόλων</i>			
<i>Συγχώνευση γραμμικών συμβόλων</i>			
<i>Συγχώνευση επιφανειακών συμβόλων</i>			
<i>Μετάπτωση</i>			
<i>Εκλέπτυνση</i>			
<i>Μεγέθυνση</i>			
<i>Ενίσχυση</i>			
<i>Μετάθεση</i>			

**Σχήμα 1.** Οι γεωμετρικοί τελεστές της γενίκευσης (Πηγή: Νάκος (2000), σελ. 152-156).

Η απλοποίηση γραμμών θεωρείται από τους σημαντικότερους τελεστές της γενίκευσης. Η συντριπτική πλειοψηφία των χωρικών οντοτήτων είτε αναπαρίσταται άμεσα στο χάρτη από γραμμές (δρόμοι, ποταμοί κλπ.), είτε από πολύγωνα (διοικητικά όρια, χρήσεις γης κλπ.) το περίγραμμα των οποίων περιγράφεται από γραμμές. Η απλοποίηση μειώνει το επίπεδο των λεπτομερειών των γραμμών και επηρεάζει οπτικά το αποτέλεσμα της γενίκευσης. Εάν η απλοποίηση εφαρμόζεται με αλγόριθμους που απαλείφουν κορυφές της γραμμής, αυτόματα μειώνεται ο όγκος των δεδομένων. Οι πιο συνηθισμένοι αλγόριθμοι απλοποίησης μετατρέπουν μια γραμμή σε μια παράγωγη με λιγότερες κορυφές, την απλοποιημένη, με τα ίδια ακριβώς άκρα. χωρίς να δημιουργούνται νέες κορυφές ούτε να μεταθέτονται οι υπάρχουσες.

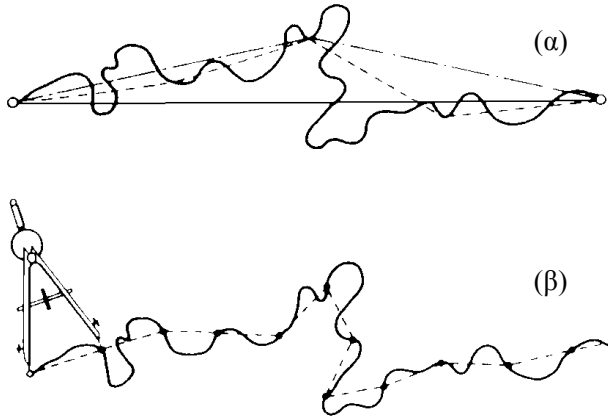
Σήμερα, είναι διαθέσιμοι πολλοί αλγόριθμοι απλοποίησης γραμμών εκ των οποίων ο αλγόριθμος των Douglas και Peucker (1973) συναντάται στα περισσότερα λογισμικά διαχείρισης χωρικών δεδομένων. Ο αλγόριθμος αυτός αρχικά επινοήθηκε για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα απαλοιφής των πλεοναζουσών κορυφών μιας γραμμής κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης (Douglas and Peucker 1973). Η εφαρμογή του αλγορίθμου ξεκινά συνδέοντας τα άκρα της γραμμής με μία ευθεία βάση και στη συνέχεια συγκρίνονται οι αποστάσεις όλων των ενδιάμεσων κορυφών της γραμμής από τη γραμμή βάσης με μια προκαθορισμένη ανοχή όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2α (Νάκος 2000). Εάν οι αποστάσεις είναι όλες μικρότερες από την ανοχή, τότε οι ενδιάμεσες κορυφές απαλείφονται, διαφορετικά η γραμμή διαιρείται σε δύο διαδοχικά τμήματα (Σχήμα 2β), θεωρώντας ως νέο άκρο την κορυφή στην οποία αντιστοιχεί η μέγιστη απόσταση από την ευθεία βάσης κ10 (Σχήμα 2β) και η διαδικασία του ελέγχου επαναλαμβάνεται ανεξάρτητα για τα δύο τμήματα της γραμμής (Σχήματα 2γ & 2δ). Για μια συστηματικότερη καταγραφή των υφιστάμενων σήμερα αλγορίθμων απλοποίησης γραμμών μπορεί κανείς να ανατρέξει σε μια συστηματική βιβλιογραφική επισκόπηση αλγορίθμων απλοποίησης (Weibel 1997).



**Σχήμα 2.** Ο αλγόριθμος απλοποίησης γραμμών των Douglas και Peucker (Πηγή: Weibel (1997), σελ. 121).

### 3. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΓΡΑΜΜΩΝ

Πολλές από τις κλασικές μεθόδους μέτρησης αποστάσεων, βασίζονται στη σύγκριση της γραμμής με μια κατάλληλη κλίμακα, με τη βοήθεια ενός διαστημόμετρου (Mailing 1989).



**Σχήμα 3.** Μέτρηση μήκους με διαστημόμετρο, (Πηγή: Maling (1989), σελ. 33).

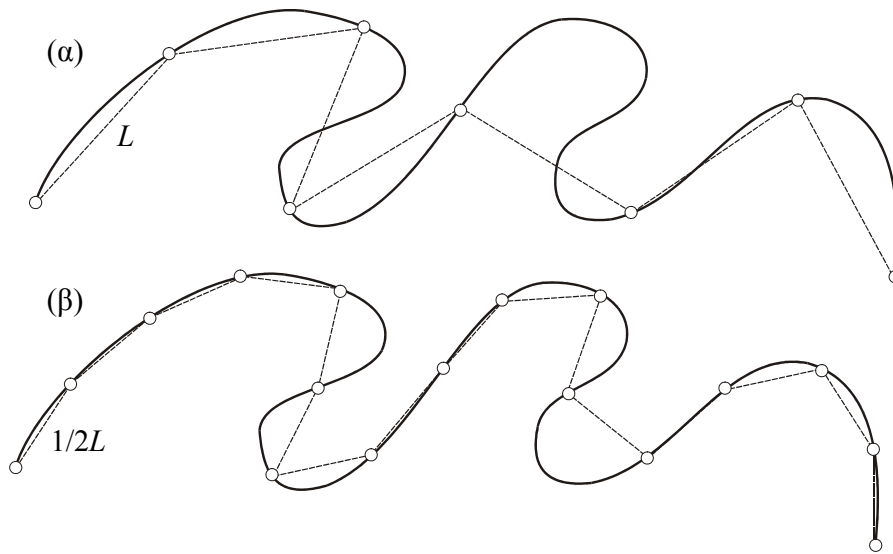
Χρησιμοποιώντας το διαστημόμετρο υποθέτουμε ότι η γραμμή έχει χωριστεί σε μια ακολουθία ευθύγραμμων τμημάτων και ότι το μήκος της είναι το άθροισμα αυτών των ευθύγραμμων τμημάτων. Είναι προφανές ότι η διαδικασία αυτή δίνει αποτελέσματα που είναι πάντα μικρότερα από το πραγματικό μήκος. Το Σχήμα 3α δείχνει ότι εάν μια ακανόνιστη γραμμή μετρηθεί σε δυο τμήματα, το μήκος της είναι μεγαλύτερο από την ευθεία γραμμή που ενώνει τα άκρα της. Η αιτιολόγηση είναι προφανής από τη γεωμετρία του τριγώνου. Ομοίως, η

μέτρηση της ίδιας γραμμής χωρισμένης σε τέσσερα ευθύγραμμα τμήματα είναι μεγαλύτερη από αυτήν που προκύπτει με τη διαίρεσή της, σε δυο τμήματα. Εφ' όσον η αύξηση του αριθμού των τμημάτων ισοδυναμεί με μείωση του ανοίγματος του διαστημόμετρου, μπορούμε να διατυπώσουμε ως κανόνα ότι: *το μετρημένο μήκος αυξάνει όσο το άνοιγμα του διαστημόμετρου μικραίνει*. Αυτό φαίνεται στο Σχήμα 3β, όπου τα ευθύγραμμα τμήματα είναι το 1/12 του μήκους της γραμμής. Παρ' όλα αυτά το πραγματικό μήκος της γραμμής είναι μεγαλύτερο από το μήκος που μετρείται, γιατί εξακολουθούν να χάνονται κάποια τμήματα που περικλείουν λεπτομέρειες.

Από τη σύγκριση των Σχημάτων 3α και 3β προκύπτει ότι όσο το άνοιγμα του διαστημόμετρου γίνεται μικρότερο, τόσο η τεθλασμένη γραμμή πλησιάζει την απεικονιζόμενη στο χάρτη. Εάν θεωρήσουμε ότι το άνοιγμα του διαστημόμετρου τείνει στο μηδέν, τότε οι δυο γραμμές, η τεθλασμένη και η πραγματική, θα είναι ίδιες. Το συμπέρασμα αυτό είναι πολύ σημαντικό και υποχρεώνει τη θεωρία της εφαρμογής των μετρήσεων που βασίζονται στη διαδικασία των υποδιαιρέσεων να προσδιορίζει μια *οριακή απόσταση*. Η οριακή απόσταση κάθε ακανόνιστης γραμμής είναι στην πράξη, το μήκος της γραμμής που θα μπορούσε να αποκτηθεί αν τη μετρούσαμε με υποδιαίρεση βήματος που θα έτεινε στο μηδέν.

### 4. ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΚΑΙ ΜΗΚΟΥΣ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

Οι μετρήσεις των χωρικών οντοτήτων από χάρτες, όπως είναι τα αναπτύγματα γραμμών, τα εμβαδά χωρίων κλπ., εξαρτώνται από την κλίμακα. Ας υποθέσουμε ότι η γραμμή που απεικονίζεται στο Σχήμα 4α αναπαρίσταται ψηφιακά από μια ακολουθία ευθυγράμμων τμημάτων ίσου μήκους  $L$ , τότε το ανάπτυγμα της γραμμής είναι ίσο με  $7L$ . Εάν η γραμμή αναπαρασταθεί από ευθύγραμμα τμήματα μειωμένα κατά το ήμισυ του αρχικού μήκους, δηλαδή  $L/2$ , τότε το ανάπτυγμα της γραμμής προκύπτει ίσο με  $16(L/2)$  ή  $8L$  (σχήμα 4β). Δηλαδή, το μετρούμενο ανάπτυγμα μιας γραμμικής χαρτογραφικής οντότητας είναι συνάρτηση του διαστήματος δειγματοληψίας της συσκευής καταγραφής.



**Σχήμα 4.** Μεταβολή αναπτύγματος ως προς τη μεταβολή του διαστήματος δειγματοληψίας (Πηγή: Cromley (1992), σελ. 134).

Καθώς το μήκος του ευθυγράμμου τμήματος διαδοχικά υποδιαιρείται, το ανάπτυγμα της γραμμής συνεχώς αυξάνει χωρίς να συγκλίνει σε μια συγκεκριμένη τιμή. Όσο η διακριτική ανάλυση η οποία εξαρτάται ευθέως από την κλίμακα του χάρτη γίνεται μικρότερη, τόσο η γραμμή αποκτά περισσότερες λεπτομέρειες. Κάθε ευθύγραμμο τμήμα, με το οποίο προσεγγίζεται η γραμμή σε μικρότερες διακριτικές αναλύσεις, αντικαθίσταται από μικρά τμήματα γραμμής, με αποτέλεσμα το ανάπτυγμα να αυξάνει εξαρτώμενο από το όριο του οργάνου μέτρησης.

## 5. ΜΗΚΗ ΑΚΑΝΟΝΙΣΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

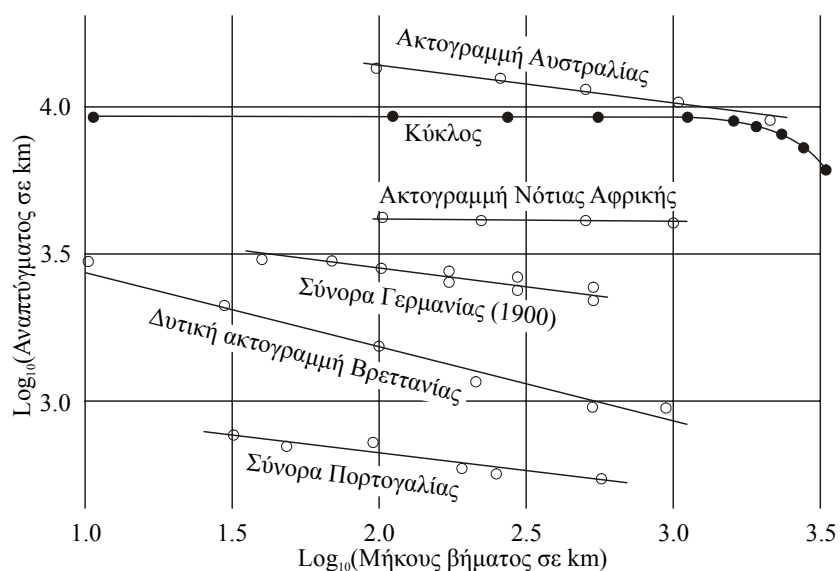
Ο Richardson (1961) μελέτησε τη σχέση μεταξύ αναπτύγματος χαρτογραφικών γραμμών και κλίμακας μετρώντας τα αναπτύγματα ορισμένων ακτογραμμών ή συνόρων κρατών από χάρτες. Βασισμένος σε εμπειρική διερεύνηση, ο Richardson παρατήρησε, ότι η μορφή του διαγράμματος, με λογαριθμικούς άξονες, του αναπτύγματος των γραμμών ως προς το μήκος του βήματος μέτρησης πλησιάζει την ευθεία γραμμή (Σχήμα 5). Στη συνέχεια, στηριζόμενος σε αυτήν την παρατήρηση έκφρασε τη σχέση μεταξύ του αναπτύγματος και του βήματος ως εξής:

$$L(x) = Ax^{1-D}$$

όπου:  $L(x)$  είναι το ανάπτυγμα της γραμμής,  
 $A$  είναι η σταθερά αναλογίας,  
 $x$  είναι το μήκος του βήματος μέτρησης και  
 $D$  είναι ο εκθέτης.

Ο Mandelbrot (1982) επιχείρησε να ερμηνεύσει τη σημασία του εκθέτη  $D$  και παρατήρησε ότι λαμβάνει δεκαδικές τιμές. Σύμφωνα με τη θεωρία που ανάπτυξε, την *κλασματική γεωμετρία*, ο εκθέτης  $D$  αναπαριστά την *κλασματική διάσταση* των γεωμετρικών οντοτήτων. Η τοπολογική διάσταση σημείων, γραμμών και επιφανειών είναι

αντίστοιχα μηδέν, ένα και δύο. Η μέτρηση του μεγέθους των γραφικών αντικειμένων, στα πλαίσια της ευκλείδειας γεωμετρίας, υπολογίζεται πάντα ορίζοντας τη μονάδα μέτρησης. Έτσι το μέγεθος κάθε γραφικού αντικειμένου, προκύπτει ύστερα από σύγκριση με τη μονάδα μέτρησης και είναι πολλαπλάσιο της μονάδας μέτρησης υψωμένης σε δύναμη ίση με τη διάσταση του γραφικού αντικειμένου. Με αυτόν τον τρόπο το ανάπτυγμα μιας ευθείας γραμμής προσδιορίζεται από τον αριθμό των πολλαπλάσιων της μονάδας μέτρησης υψωμένων στη μονάδα. Με ανάλογη θεώρηση, το εμβαδόν ενός χωρίου προσδιορίζεται από τον αριθμό των πολλαπλάσιων της μονάδας μέτρησης υψωμένων στο τετράγωνο. Με βάση την ευκλείδεια γεωμετρία, κάθε φορά που η μονάδα μέτρησης υποδιπλασιάζεται, για να διατηρηθεί το ανάπτυγμα της γραμμής, διπλασιάζεται ο αριθμός των πολλαπλάσιων της. Αντίστοιχα, για να διατηρηθεί το εμβαδόν ενός χωρίου τετραπλασιάζεται ο αριθμός των πολλαπλάσιων της μονάδας μέτρησης.



**Σχήμα 5.** Τα αποτελέσματα των αναπτυγμάτων που μελέτησε ο Richardson (Πηγή: Mandelbrot (1982), σελ.33).

Σύμφωνα με τον Mandelbrot (1967) η κλασματική διάσταση ( $D$ ) μιας γραμμής μπορεί να μετρηθεί από τη σχέση:

$$D = \frac{\log\left(\frac{n_2}{n_1}\right)}{\log\left(\frac{s_1}{s_2}\right)}$$

όπου:  $n_1$  είναι ο αριθμός των πολλαπλάσιων του αναπτύγματος με το πρώτο βήμα μέτρησης,

$n_2$  είναι ο αριθμός των πολλαπλάσιων του αναπτύγματος με το δεύτερο βήμα μέτρησης,

$s_1$  είναι το μήκος (μοναδιαίο) του πρώτου βήματος μέτρησης και

$s_2$  είναι το μήκος (μοναδιαίο) του δεύτερου βήματος μέτρησης

Η κλασματική διάσταση ευθειών είναι ίση με τη μονάδα, δηλαδή ίση με την τοπολογική διάσταση της γραμμής. Εν γένει όμως, η κλασματική διάσταση των γραμμών είναι μεγαλύτερη της μονάδας και κυμαίνεται μεταξύ των τιμών ένα έως δύο. Όμοια, μία επίπεδη επιφάνεια έχει κλασματική διάσταση ίση με δύο, ενώ η κλασματική διάσταση μιας πτυχωμένης επιφάνειας κυμαίνεται από δύο έως τρία. Η κλασματική διάσταση αποτελεί σημαντικό παράγοντα περιγραφής της πολυπλοκότητας των χαρτογραφικών οντοτήτων (Nakos 2000). Ακολουθώντας τη μεθοδολογία των μελετών του Richardson, η τιμή της κλασματικής διάστασης μιας γραμμής μπορεί να προσδιοριστεί από την κλίση του διπλού λογαριθμικού διαγράμματος του αναπτύγματος της γραμμής ως προς το βήμα μέτρησης.

Θεμελιακή έννοια της κλασματικής γεωμετρίας είναι η ιδιότητα της *αυτο-ομοιότητας*. Σύμφωνα με αυτήν κάθε μέρος ενός γραφικού αντικειμένου είναι όμοιο προς το σύνολο, είτε απόλυτα, είτε με στατιστική διαδικασία. Μετρώντας την κλασματική διάσταση γραμμών σε χάρτες διαφόρων κλιμάκων, προκύπτει ότι η τιμή της κλασματικής διάστασης των γραμμών δεν διατηρείται αμετάβλητη όταν η κλίμακα μεταβάλλεται κατά πολύ (Νάκος 1990). Η διαφοροποίηση αυτή κυρίως οφείλεται στο γεγονός του υπερβολικού βαθμού γενίκευσης, λόγω της μεγάλης μεταβολής της κλίμακας, με αποτέλεσμα η μορφή των χαρτογραφικών γραμμών να αλλοιώνεται σε σημαντικό βαθμό. Επομένως, όταν διαχειριζόμαστε χαρτογραφικές γραμμές, σε χάρτες που διαφοροποιούνται σημαντικά ως προς την κλίμακα, τα διαστήματα δειγματοληψίας θα εξαρτώνται από την κλίμακα και μπορούν να συσχετίζονται με την κλασματική διάσταση των γραμμών στην αντίστοιχη κλίμακα. Επιπλέον, τα διαστήματα δειγματοληψίας θα πρέπει να είναι μικρότερα όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της κλασματικής διάστασης της γραμμής.

## 6. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Είναι προφανής η σχέση του μήκους των γραμμικών χαρτογραφικών στοιχείων με το βαθμό της γενίκευσής τους και επομένως με την κλίμακα στην οποία αυτά αναφέρονται. Η παράθεση μετρητικών στοιχείων (μεγεθών) απαιτεί την αναφορά της ακρίβειας με την οποία αυτά δίνονται, η οποία προκύπτει από την κλίμακα της χαρτογραφικής πηγής που χρησιμοποιήθηκε για την άντλησή τους (ή τη μέθοδο αποτύπωσης που χρησιμοποιήθηκε αν πρόκειται για εργασίες πεδίου). Στα περισσότερα συστήματα ψηφιακής χαρτογραφίας ή/και συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) η αποθήκευση των γραμμικών στοιχείων γίνεται ως μία ακολουθία ευθύγραμμων τμημάτων. Ο υπολογισμός του αναπτύγματος του μήκους γραμμικών χαρτογραφικών στοιχείων σε ψηφιακό περιβάλλον δίνεται ως άθροισμα του μήκους των επιμέρους ευθύγραμμων τμημάτων (segments) από τα οποία αυτά απαρτίζονται, επομένως είναι συνάρτηση τόσο του πλήθους τους όσο και του μέσου μήκους, δηλαδή του βήματος μέτρησης.

Πολύ συχνά και για λόγους γεωπολιτικής προβολής της χώρας μας, είναι αρκετά δημοφιλής η σύγκριση του αναπτύγματος της ακτογραμμής της Ελλάδας με εκείνη άλλων χωρών ή/και ηπείρων με αποτελέσματα ιδιαίτερα εντυπωσιακά αλλά και μη ορθά. Οι διαπιστώσεις αυτές όμως προκύπτουν ίσως αβασάνιστα, αν και περιλαμβάνονται σε εκπαιδευτικά εγχειρίδια, σε πανεπιστημιακά συγγράμματα, ακόμη και σε δηλώσεις πολιτικών, επειδή ακριβώς αγνοούν την επίδραση της γενίκευσης στον προσδιορισμό του μήκους των ακτογραμμών.

Προκειμένου να διερευνηθεί αριθμητικά η σχέση της ακτογραμμής της Ελλάδας με εκείνη άλλων χωρών, αλλά και να τονιστεί η επίδραση της κλίμακας και της γενίκευσης στον προσδιορισμό του μήκους των γραμμικών χαρτογραφικών στοιχείων και ειδικότερα



της ακτογραμμής, συλλέχθηκαν από διάφορες πηγές (Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, Nowegian Hydrographic Office, World Vector Shoreline v. 2 και GISCO DataBase-EuroSTAT) τα στοιχεία που περιλαμβάνονται στον Πίνακα 1, όπου καταγράφονται τα μήκη των ακτογραμμών χαρακτηριστικών ευρωπαϊκών χωρών και της Ευρωπαϊκής ηπείρου. Τα μήκη των ακτογραμμών αντιστοιχούν σε τέσσερις ενδεικτικές κλίμακες 1:250K, 1:1M, 1:3M και 1:10M. Πρέπει να σημειωθεί ιδιαίτερα, ότι τα αρχεία των κλιμάκων 1:3M και 1:10M της GISCO DataBase (EuroSTAT) έχουν προέλθει από ενιαία γενίκευση του αρχείου κλίμακας 1:1M, με εφαρμογή του αλγορίθμου απλοποίησης γραμμών Douglas-Peucker και ανοχές 1500m και 4500m αντίστοιχα. Επιπλέον, για την Ελλάδα (των πολλών νήσων και βράχων) και τη Νορβηγία (των πολλών φιόρδ) παρατίθενται και τα μήκη που προκύπτουν από χάρτες κλίμακας 1:50K, πηγή για τα οποία αποτελούν οι αντίστοιχοι υδρογραφικοί φορείς.

**Πίνακας 1.** Μήκη ακτογραμμών χωρών της Ευρωπαϊκής ηπείρου.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΜΗΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (km) ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ:				
	50K	250K <sup>(3)</sup>	1M <sup>(4)</sup>	3M <sup>(4)</sup>	10M <sup>(4)</sup>
ΕΛΛΑΔΑ	17245 <sup>(1)</sup>	15104	12849	10990	9371
ΙΡΛΑΝΔΙΑ		6429	5536	4368	3053
ΓΑΛΛΙΑ		7269	4706	7058	6485
ΙΤΑΛΙΑ		9260	6805	6126	5584
ΒΡΕΤΑΝΙΑ		19827	17128	15436	13048
ΣΟΥΗΔΙΑ		26321	14177	11083	6759
ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ		31029	13878	9680	4816
ΝΟΡΒΗΓΙΑ	83210 <sup>(2)</sup>	53205	24652	24207	19576
ΕΥΡΩΠΗ		201876	116459	107137	83417

Πηγές: <sup>(1)</sup> ΥΥ: Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού

<sup>(2)</sup> NHO: Norwegian Hydrographic Office

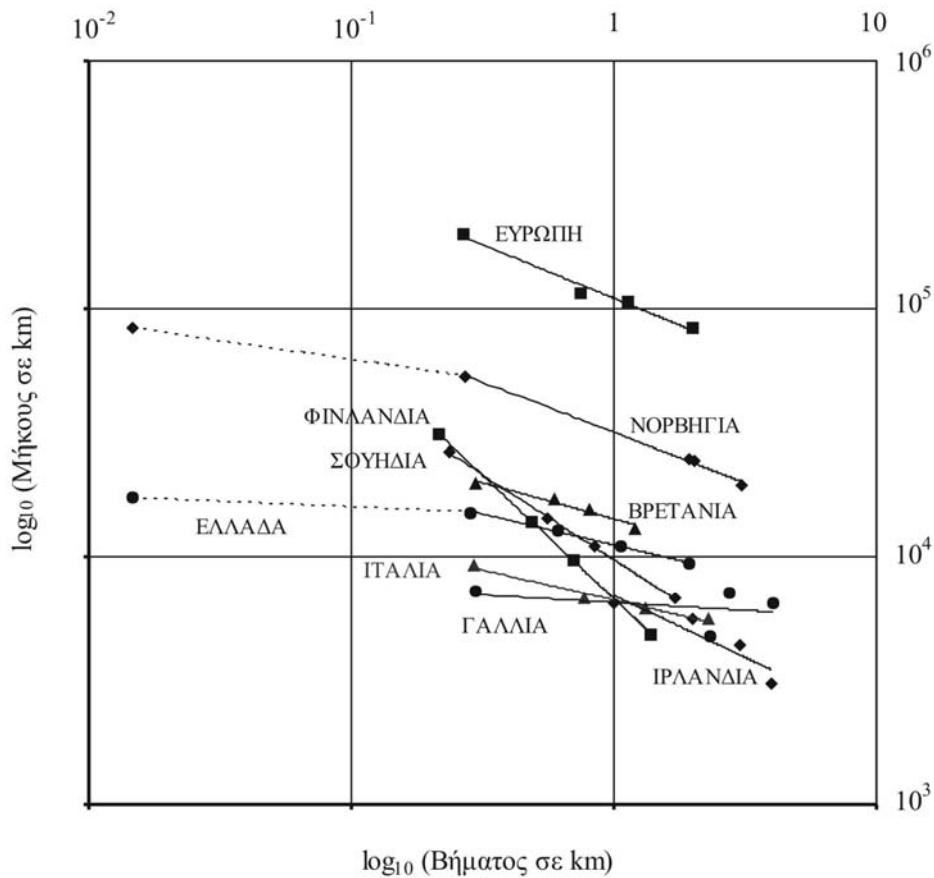
<sup>(3)</sup> WVS-2: World Vector Shoreline version 2 (NIMA-National Image Military Agency)

<sup>(4)</sup> GISCO: DataBase EuroSTAT NUTS Level 2

Κλίμακες: 1:1M, 1:3M (D-P: ανοχή 1500m), 1:10M (D-P: ανοχή 4500m)

Αντίστοιχα, ο αριθμός των κορυφών και το μέσο βήμα μέτρησης με βάση τα οποία προέκυψαν τα ανωτέρω μήκη, δίνονται στον Πίνακα 2. Αντλώντας δεδομένα από τους Πίνακες 1 & 2, η σχέση μεταξύ του μήκους των ακτογραμμών με το αντίστοιχο βήμα μέτρησης για όλες τις περιοχές μπορεί να απεικονιστεί σε διπλό λογαριθμικό διάγραμμα (Σχήμα 6). Η κλίση της ευθείας κάθε περιοχής μπορεί να αποτελέσει ένδειξη της πολυπλοκότητας της ακτογραμμής ή/και συνοριακής γραμμής, η δε θέση της στο διάγραμμα μπορεί να αποτελέσει την ένδειξη του μέτρου του αναπτύγματος. Οι συγκρίσεις τόσο του αναπτύγματος όσο και της πολυπλοκότητας της ακτογραμμής με βάση το διάγραμμα, είναι άμεσες.

Από το Σχήμα 6 προκύπτει ότι η σειρά πολυπλοκότητας της ακτογραμμής ανά περιοχή είναι η ακόλουθη: Φινλανδία, Σουηδία, Νορβηγία, σύνολο Ευρώπης, Ιρλανδία, Βρετανία, Ελλάδα, Ιταλία, Γαλλία. Είναι φανερό λοιπόν, ότι η ακτογραμμή της Ελλάδας δεν είναι η πιο πολύπλοκη ακτογραμμή της Ευρωπαϊκής ηπείρου.



**Σχήμα 6.** Σχέση του μήκους των ακτογραμμών ή/και συνοριακών γραμμών ως προς το βήμα μέτρησης χωρών της Ευρωπαϊκής ηπείρου.

Επίσης, ερμηνεύοντας το Σχήμα 6, το ανάπτυγμα της ακτογραμμής της Ελλάδας εμφανίζεται να είναι -σε όλες τις ενδεικτικές κλίμακες- μεγαλύτερο από της Γαλλίας, Ιταλίας και Ιρλανδίας, αλλά όχι μεγαλύτερο από της Βρετανίας, Νορβηγίας, Σουηδίας και Φινλανδίας. Ειδικότερα για τις ακτογραμμές της Σουηδίας και Φινλανδίας, η διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης εμφανίζει αυτό να ισχύει για κλίμακες μέχρι και 1:1M. Για τις δύο μικρότερες κλίμακες (1:3M και 1:10M), όπου εμφανίζουν αναπτύγματα μικρότερα από το αντίστοιχο της Ελλάδας, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης με ενιαίες τιμές ανοχής για το σύνολο της Ευρωπαϊκής ηπείρου και όχι ανάλογα με το βαθμό πολυπλοκότητας, έχει ως αποτέλεσμα την έντονη απλοποίηση και αλλοίωση της γεωμετρίας των γραμμών σε επιμέρους περιοχές. Είναι επομένως φανερό ότι η γενίκευση με τις ίδιες παραμέτρους σε διαφορετικής πολυπλοκότητας στοιχεία, επιφέρει έντονα αλλοιωμένα αποτελέσματα.

Αν εστιάσουμε την προσοχή μας στην κλίμακα 1:250K, που είναι κοινή για όλες τις περιοχές που εξετάζονται εδώ, αλλά και πιο κοντά στην πραγματικότητα για όλες τις περιπτώσεις, η αναλογία του αναπτύγματος της ακτογραμμής της Ελλάδας ως προς όλων των άλλων περιοχών παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.

**Πίνακας 2.** Αριθμός κορυφών και μέσα βήματα μέτρησης ακτογραμμών χωρών της Ευρωπαϊκής ηπείρου.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΡΥΦΩΝ					ΜΕΣΟ ΒΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (ΣΕ ΚΜ)				
	50Κ	250Κ	1Μ	3Μ	10Μ	50Κ	250Κ	1Μ	3Μ	10Μ
ΕΛΛΑΔΑ	1180150	53332	20842	10351	4820	0.02	0.28	0.62	1.06	1.95
ΙΡΛΑΝΔΙΑ		21872	8663	4246	1517		0.29	0.64	1.03	2.01
ΓΑΛΛΙΑ		24497	2064	2549	1613		0.30	2.32	2.77	4.02
ΙΤΑΛΙΑ		31800	8858	4631	2424		0.29	0.77	1.32	2.30
ΒΡΕΤΑΝΙΑ		66742	28756	19174	10824		0.30	0.60	0.80	1.21
ΣΟΥΗΔΙΑ		110899	25454	13128	3979		0.24	0.56	0.84	1.70
ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ		144191	28495	13713	3473		0.22	0.49	0.71	1.39
ΝΟΡΒΗΓΙΑ		195680	12685	11954	6432	0.02	0.27	1.94	2.02	3.04
ΕΥΡΩΠΗ		760022	155193	94194	42089		0.27	0.75	1.14	1.98

Καθώς το μήκος της ακτογραμμής εξαρτάται από την κλίμακα και άρα από τη γενίκευση, δεν είναι ορθό να συγκρίνονται αποτελέσματα που έχουν προκύψει από επεξεργασία στοιχείων διαφορετικών κλιμάκων, δηλαδή από επεξεργασία διαφορετικής ακρίβειας και επιπέδου γενίκευσης. Εάν επιχειρούσαμε, με τα στοιχεία που διαθέτουμε, να συγκρίνουμε αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία στοιχείων διαφορετικών κλιμάκων, θα οδηγούμασταν εύκολα σε λανθασμένα (παραπλανητικά) συμπεράσματα.

**Πίνακας 3.** Σχέση του μήκους των ακτογραμμών της Ελλάδας με ακτογραμμές χωρών της Ευρωπαϊκής ηπείρου σε επίπεδο ακρίβειας και γενίκευσης κλίμακας 1:250Κ.

	Ιρλανδία	1 : 0.4
	Γαλλία	1 : 0.5
	Ιταλία	1 : 0.6
	Βρετανία	1 : 1.3
Ελλάδα	Σουηδία	1 : 1.7
	Φινλανδία	1 : 2.0
	Νορβηγία	1 : 3.5
	Ευρώπη	1 : 13.0

## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά μπορούν να παρατεθούν οι ακόλουθες επισημάνσεις σε μετρήσεις ή συγκρίσεις μηκών από χάρτες:

1. Η γενίκευση επηρεάζει το μέγεθος του αναπτύγματος των γραμμικών χαρτογραφικών στοιχείων.
2. Οι παράμετροι της γενίκευσης θα πρέπει να καθορίζονται με βάση την πολυπλοκότητα των γραμμικών χαρτογραφικών στοιχείων.
3. Η παράθεση αριθμητικών δεδομένων και ιδιαίτερα συγκρίσεων θα πρέπει να συνοδεύεται από την αναφορά της αντίστοιχης κλίμακας για τεκμηρίωση της πρότασης ως προς το επίπεδο γενίκευσης και ακρίβειας.
4. Η σύγκριση αριθμητικών δεδομένων ως παράγωγα μετρήσεων από χάρτες, για να μην οδηγούν σε άτοπα αποτελέσματα, θα πρέπει πάντα να γίνεται στην ίδια κλίμακα αναφοράς.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Douglas, D.H., and Peucker, T., 1973, Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature, *The Canadian Cartographer*, 10(2), 112-122.

ICA (International Cartographic Association), 1973, *Multilingual Dictionary of Technical Terms in Cartography*, Franz Steiner Verlag, Wiesbaden.

Lichtner, W., 1979, Computer-Assisted Processing of Cartographic Generalization in Topographic Maps, *Geo-Processing*, 1, 183-199.

Maling, D.H., 1989, *Measurements from Maps. Principles and Methods of Cartometry*, Pergamon Press, Oxford.

Mandelbrot, B.B., 1967, How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension, *Science*, 156(3775), 636-638.

Mandelbrot, B.B., 1982, *The Fractal Geometry of Nature*, W.H. Freeman & Co., New York.

Νάκος, Β., 1990, *Ψηφιακή Απεικόνιση Χαρτογραφικών Φαινομένων Βασισμένη στη θεωρία της Κλασματικής Γεωμετρίας. Εφαρμογή στο Τοπογραφικό Ανάγλυφο με Ψηφιακά Μοντέλα*, Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Νάκος, Β., 2000, *Αναλυτική Χαρτογραφία*, Διδακτικές Σημειώσεις, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Nakos, B., 2000, The Problem of Cartographic Generalization in the Context of Fractal Geometry, Proceedings of: *1<sup>st</sup> Interdisciplinary Symposium on NonLinear Problems*, National Technical University of Athens, Athens.

Richardson, L.F., 1961, The Problem of Contiguity: An appendix of statistics of deadly quarrels, *General Systems Yearbook*, 6, 139-187.

Robinson, A.H., Sale, R.D., Morrison, J.L., and Muehrcke, Ph.C., 1984, *Elements of Cartography* (5<sup>th</sup> ed.), John Wiley & Sons, New York.

Shea, K.S. and McMaster, R.B., 1989, Cartographic Generalization in a Digital Environment: When and How to Generalize, Proceedings of *Auto-Carto 9*, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing and American Congress on Surveying and Mapping, 56-67.

Weibel, R., 1997, Generalization of Spatial Data: Principles and Selected Algorithms, In *Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems* (van Kreveld, M., Nievergelt, J., Roos, Th., and Widmayer, P. Eds.), Springer-Verlag, Berlin, 99-152.