



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ»**

**ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ**  
**ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ**

Μεταπτυχιακός Σπουδαστής: Τζαμάκου Θάλεια  
Επιβλέπων: Καθ. Λύσανδρος Τσούλος

**ΑΘΗΝΑ, 2008**

Το παρόν κείμενο, αφορά στην μεταπτυχιακή εργασία της Τζαμάκου Θάλειας για την απόκτηση του Δ.Π.Μ.Σ. «Γεωπληροφορική». Ισχύουν τα συγγραφικά- πνευματικά δικαιώματα των διπλωματικών και μεταπτυχιακών εργασιών του Ε.Μ.Π.

*Η συντάξας:*

Τζαμάκου Δ. Θάλεια, Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός Ε.Μ.Π.  
Καλαβρύτων 25, 15773 Γουδί, [tzamakou@gmail.com](mailto:tzamakou@gmail.com)

*Ο επιβλέπων καθηγητής:*

Λύσανδρος Τσούλος, ΔΕΠ Καθηγητής  
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Τομέας Τοπογραφίας  
Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, 15773 Ζωγράφου, [lysandro@central.ntua.gr](mailto:lysandro@central.ntua.gr)

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα, αρχικά, να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή κ.Λ. Τσούλο για την εμπιστοσύνη στην ανάθεση του θέματος , την πολύτιμη βοήθειά και την προθυμία στην επίλυση τυχόν προβλημάτων που προέκυπταν κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην Σκοπελίτη Ανδριανή, καθώς η βοήθεια της ήταν καθοριστική για την διεκπεραίωση της εργασίας.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Εισαγωγή</b> .....	<b>9</b>
1.1 Προβληματισμός και προσέγγιση .....	9
1.2 Υπάρχουσα κατάσταση .....	10
1.3 Αντικείμενο Έρευνας .....	11
1.4 Αναμενόμενο αποτέλεσμα.....	11
1.5 Πορεία των εργασιών που ακολουθείται.....	12
<b>2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ</b> <b>14</b>	
2.1 Εισαγωγή .....	14
2.2 Ταξινόμηση αλγορίθμων απλοποίησης .....	18
2.3 Κριτική Αξιολόγηση αλγορίθμων βάσει βιβλιογραφίας.....	39
2.4 Τεκμηρίωση των αλγορίθμων που θα αξιοποιηθούν για πειραματική έρευνα40	
<b>3 ΜΕΤΡΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ</b> .....	<b>42</b>
3.1 Εισαγωγή .....	42
3.2 Μέτρα υπολογισμού της μεταβολής της μορφής των γραμμικών τμημάτων μέσω της απλοποίησης .....	42
3.2.1 Βιβλιογραφική μελέτη του συνόλου των διαθέσιμων μέτρων υπολογισμού της μορφής των γραμμικών τμημάτων .....	42
3.2.1.1 Σύνολο παραμέτρων υπολογισμένων σε ενιαίο επίπεδο ανάλυσης ...	43
3.2.1.2 Σύνολο παραμέτρων υπολογισμένων σε πολλά επίπεδα ανάλυσης - Ομάδα παραμέτρων που προτάθηκαν από την Bernhardt.....	45
3.2.2 Επιλογή των καταλληλότερων μέτρων υπολογισμού της μορφής των γραμμικών τμημάτων και της μεταβολής της μέσω της γενίκευσης.....	46
3.3 Μέτρα υπολογισμού των αποκλίσεων γραμμικών οντοτήτων .....	48
3.3.1 Η Ευκλείδεια απόσταση .....	48
3.3.2 Η απόσταση Hausdorff.....	49
3.3.3 Επιφάνεια απόκλισης.....	50
<b>4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ</b> .....	<b>51</b>
4.1 Προσδιορισμός του προβλήματος .....	51
4.2 Επιλογή πειραματικών δεδομένων .....	52
4.2.1 Ψηφιακή Ακτογραμμή Μέσης Ανάλυσης της Ν.Ο.Α.Α .....	52
4.2.2 Πειραματικά δεδομένα .....	53
4.3 Ταξινόμηση των γραμμικών οντοτήτων σε ομάδες ανάλογα με τη μορφή τους 54	
4.4 Αλγόριθμοι απλοποίησης που συμμετέχουν στην πειραματική διαδικασία - Παράμετροι ανοχής .....	57
<b>5 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ</b> .....	<b>59</b>
5.1 Εισαγωγή .....	59
5.2 Συνοπτική σύγκριση αλγορίθμων - μορφή και μεταβολή μορφής για κοινή κλίμακα.....	59
5.3 Εξέταση της μορφής και της μεταβολής της σε επίπεδο αλγορίθμου και παραμέτρου ανοχής για κοινή κλίμακα .....	65
5.3.1 Εξέταση της μορφής του συνόλου των γραμμών σε επίπεδο αλγορίθμου και παραμέτρου ανοχής .....	65
5.3.2 Εξέταση της μέσης μεταβολής της μορφής του συνόλου των γραμμών σε επίπεδο αλγορίθμου και παραμέτρου ανοχής.....	71
5.3.3 Μελέτη μεταβολής της μορφής για κάθε αλγόριθμο και για κάθε γραμμή μέσω των μετασχηματισμών απλοποίησης .....	81

5.3.4	Μελέτη της μορφής για κάθε αλγόριθμο και για κάθε γραμμή μέσω των μετασχηματισμών απλοποίησης.....	87
5.4	Εξέταση της μορφής και της μεταβολής της μορφής των γραμμών ανά ομάδα σε επίπεδο αλγορίθμου και παραμέτρου ανοχής διατηρώντας την αρχική κλίμακα .	96
5.4.1	Συνοπτική σύγκριση αποτελεσμάτων εφαρμογής αλγορίθμων ανά ομάδα γραμμών ως προς τη μορφή και μεταβολή της μορφής τους .....	96
	Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται η ελάχιστη, η μέση και η μέγιστη τιμή της μεταβολής της μορφής των γραμμών ανά ομάδα.....	97
5.4.2	Εξέταση της μορφής για κάθε ομάδα γραμμών σε επίπεδο αλγορίθμου και παραμέτρου ανοχής .....	99
5.4.3	Εξέταση της μεταβολής της μορφής των γραμμών ανά ομάδα σε επίπεδο αλγορίθμου .....	106
5.5	Μεταβολή της μορφής των γραμμών για μια ενδεικτική γραμμή από κάθε ομάδα μέσω των μετασχηματισμών απλοποίησης διατηρώντας κοινή κλίμακα .....	110
5.6	Εξέταση της μορφής των γραμμών και της μεταβολής της για το σύνολο των αλγορίθμων για γενίκευση στην κλίμακα 1:100.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής	114
5.7	Εξέταση της μορφής και της μεταβολής της για το σύνολο των αλγορίθμων για γενίκευση στην κλίμακα 1:200.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής.....	116
5.8	Εξέταση της μορφής και της μεταβολής της για το σύνολο των αλγορίθμων για μετάβαση στην κλίμακα 1:250.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής.....	119
<b>6 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ , ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ.....</b>		
<b>6</b>	<b>ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ , ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ.....</b>	<b>121</b>
6.1	Εισαγωγή .....	121
6.2	Μέτρα υπολογισμού των αποκλίσεων γραμμικών οντοτήτων ανά αλγόριθμο απλοποίησης.....	121
6.2.1	Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Douglas Peucker .....	121
6.2.2	Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Ευκλείδειας απόστασης .....	123
6.2.3	Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Reuman Witkam .....	124
6.2.4	Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Latecki Lakamper .....	126
6.2.5	Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Li& Openshaw .....	127
6.2.6	Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Visvaligam & Whyatt .....	128
6.2.7	Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Wall Danielson.....	130
6.2.8	Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Zhao & Saaleld.....	131
6.2.9	Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Bend Simplify .....	133
6.3	Σύγκριση της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης που προκαλείται μεταξύ των αλγορίθμων απλοποίησης σε ενιαία κλίμακα ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής.....	134
6.4	Σύγκριση της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης που προκαλείται μεταξύ των αλγορίθμων απλοποίησης στην κλίμακα 1:100.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής .....	139
6.5	Σύγκριση της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης που προκαλείται μεταξύ των αλγορίθμων απλοποίησης στην κλίμακα 1:200.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής .....	144
6.6	Σύγκριση της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης που προκαλείται μεταξύ των αλγορίθμων απλοποίησης στην κλίμακα 1:250.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής .....	149
6.7	Υπολογισμός της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης σε σχέση με τη μορφή και τη μεταβολή της μορφής των τελικών γραμμικών τμημάτων .....	154
<b>7</b>	<b>ΣΥΝΟΨΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>159</b>
7.1	Γενικά .....	159
7.2	Σύνοψη των αποτελεσμάτων .....	160
7.3	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα .....	161
<b>8</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>163</b>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί η διεξοδική μελέτη διαφόρων αλγορίθμων γενίκευσης καθώς και η μεταβολή που προκαλούν σε δυο συνιστώσες των γραμμικών τμημάτων: τη μορφή και την οριζοντιογραφική θέση.

Οι αλγόριθμοι που εξετάζονται έχουν επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε να βασίζονται σε διάφορα γεωμετρικά κριτήρια (γωνιακή απόκλιση, απόσταση, επιφανειακή μετάθεση κ.λ.π.) προκειμένου να πραγματοποιούν την εξάλειψη σημείων από τις αρχικές γραμμές. Επιπροσθέτως, κατά την εφαρμογή των αλγορίθμων ορίζεται μεγάλο εύρος τιμών της παραμέτρου της ανοχής. Τέλος, υπόκεινται σε γενίκευση ποικίλα ως προς την μορφή γραμμικά τμήματα.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται:

- Ο προβληματισμός που οδήγησε στην συγκεκριμένη μελέτη και η προσέγγιση εναλλακτικών σεναρίων γενίκευσης
- Οι υπάρχουσες μελέτες σχετικά με τους αλγόριθμους απλοποίησης, την περιγραφή της μορφής των γραμμικών οντοτήτων και την αξιολόγηση του αποτελέσματος της γενίκευσης.

Το δεύτερο κεφάλαιο πραγματεύεται την βιβλιογραφική μελέτη των αλγορίθμων απλοποίησης. Επιχειρείται κριτική αξιολόγηση των αλγορίθμων βάσει των βιβλιογραφικών αναφορών και τελικά επιλέγονται οι βέλτιστοι αλγόριθμοι οι οποίοι θα ενσωματωθούν στην πειραματική διαδικασία.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται και μελετώνται οι παράμετροι οι οποίες έχουν προταθεί από έμπειρους χαρτογράφους και ερευνητές τόσο για την περιγραφή της μορφής των γραμμικών τμημάτων όσο και για τη μεταβολή της μορφής τους μέσω της γενίκευσης. Επιπροσθέτως, παρουσιάζονται τα μέτρα υπολογισμού της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης γραμμικών οντοτήτων καθώς και ο τρόπος υπολογισμού τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο προσδιορίζονται οι παράγοντες που υπεισέρχονται στην πειραματική διαδικασία όπως τα πειραματικά δεδομένα ( 37 γραμμικά τμήματα) και οι αλγόριθμοι απλοποίησης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, αξιοποιούνται τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει μέσω της πειραματικής διαδικασίας και διερευνάται η σχέση μεταξύ της μεταβολής της μορφής των γραμμικών οντοτήτων και των μετασχηματισμών απλοποίησης. Επιπλέον, κατά

αναλογία στο έκτο κεφάλαιο διερευνάται η σχέση μεταξύ της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης των γραμμικών οντοτήτων και του αλγορίθμου γενίκευσης.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα που έχουν προκύψει μέσω της πειραματικής διαδικασίας και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να ισχυριστούμε πως η παρούσα ερευνητική εργασία αποτελεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της χαρτογραφικής γενίκευσης των χαρτογραφικών γραμμικών οντοτήτων. Στόχος της είναι να διερευνήσει κατά πόσο το αποτέλεσμα της γενίκευσης είναι αποτέλεσμα τριών παραγόντων: του αλγορίθμου, της τιμής της παραμέτρου ανοχής και της μορφής της γραμμικής οντότητας.

## SUMMARY

This is a comparative study of several simplification algorithms and their influence on two elements inherent to linear features: shape and horizontal position. Nine (9) simplification algorithms, which use different geometric criteria for vertex elimination, are evaluated. Additionally, in order to produce generalization results for a number of map scales, different threshold values are defined through the generalization process. The evaluation of the results is performed through shape distortion measures and horizontal position displacement measures.

Natural linear features (coastline segments) comprise the dataset. The dataset, has been chosen carefully, so that there is a variety in the characteristics and the complexity of the line segments and moreover the line selected segments should have a minimum length. Data at scale 1:40000 were derived from the National Oceanic and Atmospheric Administration's Medium Resolution Digital Vector Shoreline (NOAA, 2003).

In the literature there is a comprehensive list of shape distortion measures. These measures are based on the description of the shape of cartographic line utilizing a set of parameters. Recent research resulted to the following parameters, which describe best the line shape and have been implemented in this study: the "*average magnitude angularity*", the "*error variance*" and the "*average angularity*". Finally, shape distortion has been evaluated through: a. the shape of the generalized line described by the above mentioned group of measures and b. the change in the generalized line's shape in comparison with its original shape (implemented by the distance between the original and the generalized line in the parameters' space).

In order to express the generalized line displacement the following horizontal position accuracy measures are used: distance measures (Average Euclidean distance, Hausdorff distance) and area displacement measures (the ratio of the area between the original and the generalized line to the length of the line etc.).

Finally, several conclusions are drawn regarding the results, produced through each algorithm and their effect on the shape and the displacement of the horizontal position of the lines. These conclusions could result to a generalization strategy, which will lead to the full automation of the generalization process.



# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Προβληματισμός και προσέγγιση

Κατά τη γενίκευση γραμμικών χαρτογραφικών οντοτήτων ο χαρτογράφος καλείται να καθορίσει διάφορες παραμέτρους όπως: ο μετασχηματισμός που πρέπει να εφαρμοστεί, ο αλγόριθμος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, οι τιμές των παραμέτρων ανοχής και παράλληλα θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα a posteriori εκτίμησης του αποτελέσματος. Επομένως, η γενίκευση γραμμικών χαρτογραφικών οντοτήτων και η ορθότητα του αποτελέσματος που προκύπτει μέσω αυτής είναι στενά συνδεδεμένη με την «γνώση» του χαρτογράφου η οποία κατά τον Armstrong (1991) κατηγοριοποιείται σε τρεις διαφορετικές μορφές: γεωμετρική γνώση, δομική γνώση και διαδικαστική γνώση.

Στη γεωμετρική γνώση εμπεριέχονται οι έννοιες της γεωμετρίας (θέσεις), της κατανομής και της τοπολογίας των χαρτογραφικών οντοτήτων. Σύμφωνα με τους Weibel et al. (1995) η δομική γνώση αφορά την δομή των χαρτογραφικών οντοτήτων ως προς τη γεωμορφολογική, οικονομική και πολιτιστική τους σημασία. Η δομή των γραμμικών χαρτογραφικών οντοτήτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την διαδικασία σχηματισμού τους, καθώς οι φυσικές γραμμικές οντότητες (π.χ. ποτάμια) διαφέρουν ως προς την ημιτονικότητα και το χαρακτήρα τόσο από τις τεχνητές (π.χ. οδικό δίκτυο) όσο και από τις μικτές οντότητες (π.χ. αρδευτικά κανάλια). Τέλος, η διαδικαστική γνώση εκφράζει την επιλογή των κατάλληλων μετασχηματισμών γενίκευσης, αλγορίθμων και τιμών παραμέτρων για τη γενίκευση. Η γνώση αυτή απαιτείται για τον έλεγχο της ροής των διαδικασιών της γενίκευσης (Weibel et al. 1995).

Η επιτυχής αυτοματοποίηση της γενίκευσης χαρτογραφικών γραμμικών οντοτήτων θα επιτευχθεί, μόνο εφ' όσον ενσωματωθεί σε ένα σύστημα το σύνολο της «γνώσης» του χαρτογράφου, καθώς οι επιλογές του κατά τη γενίκευση (διαδικαστική γνώση) συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με τη μορφή των χαρτογραφικών οντοτήτων (δομική γνώση). Η a posteriori εκτίμηση της ποιότητας του αποτελέσματος μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω αντικειμενικών μέτρων για τη μεταβολή της μορφής και της θέσης προκειμένου να προσομοιωθεί τόσο η γεωμετρική όσο και η δομική γνώση του χαρτογράφου.

## 1.2 Υπάρχουσα κατάσταση

Η αυτοματοποίηση της χαρτογραφικής γενίκευσης γραμμικών οντοτήτων είναι ένα θέμα το οποίο έχει απασχολήσει έντονα τους χαρτογράφους ερευνητές και παραμένει ανοιχτό σε περαιτέρω μελέτη. Οι μελέτες οι οποίες έχουν ήδη πραγματοποιηθεί θα μπορούσαν να διακριθούν στις ακόλουθες πέντε κατηγορίες ανάλογα με το αντικείμενο το οποίο πραγματεύονται:

- Διατύπωση αλγορίθμων και αξιολόγηση αυτών βάσει αισθητικών κριτηρίων (McMaster 1986/ 1989, Jenks 1989, Li and Openshaw 1993, Visvalingam and Whyatt 1993, Wang and Muller 1993)
- Αξιολόγηση του αποτελέσματος της γενίκευσης βάσει σύγκρισης των αρχικών και των γενικευμένων γραμμών (Jenks 1989, McMaster 1989, Buttenfield 1991, Bernhardt 1992, Joao 1998, Mustiere 2005)
- Γενίκευση και ποιότητα (Weibel et al. 1995, Brazile 1997, Bard 2004)
- Περιγραφή της μορφής των γραμμικών οντοτήτων και σύνδεση με τη γενίκευση (McMaster 1986, Plazanet et al. 1995/ 1998, Skopeliti and Tsoulos 1999/ 2001)
- Περιορισμοί που αφορούν τα αποτελέσματα της γενίκευσης και καταγραφή της χαρτογραφικής γνώσης (Weibel 1996, project AGENT 1999)

Οι προαναφερθείσες μελέτες επικεντρώνονται σε διακριτές παραμέτρους οι οποίες υπεισέρχονται στη διαδικασία της χαρτογραφικής γενίκευσης γραμμικών οντοτήτων και είναι απαραίτητη η διακριτή μελέτη τους. Όμως, τόσο η χαρτογραφική γενίκευση όσο και το αποτέλεσμά της εξαρτώνται από το σύνολο των παραμέτρων που υπεισέρχονται κατά την εφαρμογή και έτσι κρίνεται πλέον επιτακτική η ανάγκη για μια πιο συστηματική μελέτη τόσο για τις φυσικές όσο και για τις τεχνητές γραμμικές οντότητες. Η πλέον συστηματική μελέτη της γενίκευσης τεχνητών χαρτογραφικών γραμμικών οντοτήτων, καθώς και των συνεπειών αυτής πραγματοποιείται στο IGN στη Γαλλία (Plazanet et al. 1995 1998, Lecordix et al. 1997, Mustiere 2005). Η εν λόγω μελέτη αφορά στην περιγραφή της μορφής, την κατάτμηση μέσω της αναγνώρισης βασικών δομών, όπως οι καμπές, με τη βοήθεια χαρακτηριστικών σημείων και τη διατύπωση νέων αλγορίθμων για τη γενίκευση του οδικού δικτύου. Επομένως, πρέπει να πραγματοποιηθεί ανάλογη έρευνα με τις ίδιες ερευνητικές προτεραιότητες και για τις φυσικές γραμμικές οντότητες αλλά με διαφορετικό τρόπο αντιμετώπισης λόγω της μεγαλύτερης πολυπλοκότητας και πληθώρας μορφών των φυσικών γραμμικών οντοτήτων.

### 1.3 Αντικείμενο Έρευνας

Αντικείμενο έρευνας στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας είναι η συστηματική μελέτη της γενίκευσης των φυσικών χαρτογραφικών γραμμικών οντοτήτων. Στη συγκεκριμένη έρευνα αντικείμενο γενίκευσης είναι τμήματα γραμμής με ομοιογενή χαρακτήρα τα οποία έχουν προκύψει από διαδικασία κατάτμησης που βασίζεται στην κλασματική διάσταση (Σκοπελίτη 2001, Skopelity and Tsoulos 1999). Η παρούσα εργασία υιοθετεί μια μεθοδολογία για την a posteriori εκτίμηση των αποτελεσμάτων της γενίκευσης των γραμμικών οντοτήτων μέσω μέτρων που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν ποσοτικά τη μεταβολή που έχει επιφέρει η γενίκευση στη μορφή και την θέση των γραμμικών οντοτήτων. Εν συνεχεία, βάσει των συμπερασμάτων που εξάγονται από την a posteriori εκτίμηση, εξάγονται συμπεράσματα για την επίδραση των αλγορίθμων απλοποίησης στη μεταβολή τόσο της μορφής όσο και της οριζοντιογραφικής θέσης των γραμμικών τμημάτων λόγω της απλοποίησης.

Προκειμένου να συνδεθούν η δομική και η διαδικαστική γνώση, εφαρμόζονται εναλλακτικά σενάρια γενίκευσης και χρησιμοποιούνται εργαλεία προσδιορισμού της μεταβολής και επομένως προκύπτει η επιλογή της βέλτιστης λύσης. Τα εναλλακτικά σενάρια γενίκευσης διαφέρουν ως προς τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται, τις τιμές της παραμέτρου ανοχής και την μορφή της χαρτογραφικής γραμμικής οντότητας στην οποία εφαρμόζονται.

Κατ' αυτόν τον τρόπο τεκμηριώνεται ότι το αποτέλεσμα της γενίκευσης σε σχέση με τη μεταβολή της μορφής και της θέσης της γραμμικής οντότητας είναι αποτέλεσμα τριών παραγόντων (Skopelity et al., Μόσχα ICA 2007):

- Του αλγόριθμου, ως μηχανισμού που μεταβάλλει τη γεωμετρία της γραμμής μέσω της εξάλειψης σημείων
- Της τιμής της παραμέτρου ανοχής, ως έναν παράγοντα ο οποίος καθορίζει τον βαθμό της επιρροής του αλγόριθμου
- Τη χαρτογραφική γραμμή και τη μορφή της, ως τον αποδέκτη της διαδικασίας της γενίκευσης.

### 1.4 Αναμενόμενο αποτέλεσμα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στόχος της παρούσας εργασίας αποτελεί η σύνδεση της διαδικαστικής και της δομικής γνώσης, που αφορούν στη χαρτογραφική γενίκευση των φυσικών γραμμικών οντοτήτων. Έτσι, θα καταστεί εφικτή η αυτοματοποίηση της διαδικασίας της γενίκευσης.

Πιο συγκεκριμένα από την παρούσα εργασία αναμένεται να προκύψουν τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Σύγκριση των μέτρων που περιγράφουν τη μεταβολή της μορφής των γραμμικών τμημάτων, τα οποία προκύπτουν αφ' ενός από βιβλιογραφική ανασκόπηση των μέτρων περιγραφής της γραμμής και αφ' ετέρου από την πειραματική μελέτη αυτών που έχει ήδη πραγματοποιηθεί (Skoreliti and Tsoulos 1999, Σκοπελίτη 2001, Τζαμάκου 2004) με την οπτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της γενίκευσης. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιβεβαιώνεται η καταλληλότητα των μέτρων περιγραφής της μορφής της γραμμής για την a posteriori εκτίμηση των αποτελεσμάτων της γενίκευσης γραμμικών οντοτήτων.
- Περιβάλλον μελέτης της μεταβολής της μορφής των γραμμικών οντοτήτων λόγω της γενίκευσης μέσω διαφόρων σεναρίων γενίκευσης. Μέσω των διαφόρων σεναρίων της γενίκευσης που υιοθετούνται κατά την πειραματική διαδικασία επιχειρείται η εξαγωγή συμπερασμάτων για την επίδραση κάθε αλγορίθμου ορίζοντας διάφορες τιμές της παραμέτρου ανοχής, σε διαφορετικές ως προς τη μορφή ομάδες γραμμών τόσο μακροσκοπικά όσο και μέσω των μέτρων περιγραφής της μορφής και της μεταβολής της θέσης των γραμμών.
- Διατύπωση κριτηρίων για την αξιολόγηση των λύσεων της γενίκευσης μέσω συνδυασμού μέτρων που περιγράφουν τη μεταβολή της μορφής και τους περιορισμούς που επιβάλλει η χαρτογραφική γνώση στα αποτελέσματα της γενίκευσης.

#### 1.5 Πορεία των εργασιών που ακολουθείται

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση του αποτελέσματος της γενίκευσης σε συνάρτηση με αφ' ενός τη μορφή των αρχικών γραμμών που αποτελούν αντικείμενο της γενίκευσης, αφετέρου τον αλγόριθμο απλοποίησης γραμμικών οντοτήτων που χρησιμοποιείται και τέλος την παράμετρο ανοχής που ορίζεται, απαιτείται διεξοδική βιβλιογραφική μελέτη όπως επίσης και πειραματική εφαρμογή των αλγορίθμων απλοποίησης στις γραμμικές οντότητες.

Αρχικά, πραγματοποιείται βιβλιογραφική μελέτη των διαθέσιμων αλγορίθμων απλοποίησης και ταυτόχρονη αξιολόγησή τους μέσω των αναφορών που συλλέγονται κατά την βιβλιογραφική μελέτη. Μέσω της αξιολόγησης επιλέγονται οι βέλτιστοι αλγόριθμοι (εννέα -9- αλγόριθμοι απλοποίησης), οι οποίοι υλοποιούνται σε περιβάλλον visual basic, προκειμένου να εφαρμοστούν στα γραμμικά τμήματα που θα επιλεγούν και έτσι να γίνει εφικτή τόσο η οπτική αξιολόγηση του αποτελέσματος όσο και η αξιολόγηση μέσω μέτρων περιγραφής της μεταβολής της μορφής και μέτρων περιγραφής της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης των γραμμικών τμημάτων.

Στη συνέχεια, επιλέγεται ένα σύνολο γραμμικών τμημάτων τα οποία έχουν προκύψει μέσω κατάτμησης, προκειμένου να παρουσιάζουν ομοιογένεια μορφής σε όλο το μήκος τους. Η μορφή των γραμμικών τμημάτων κυμαίνεται από έντονα ημιτονοειδείς γραμμές έως και ευθείες, προκειμένου το αποτέλεσμα της γενίκευσης να συνδεθεί με τη μορφή των γραμμικών οντοτήτων. Τέλος, τα γραμμικά τμήματα τα οποία έχουν επιλεγεί ομαδοποιούνται οπτικά σε τέσσερις κατηγορίες βάσει της μορφής τους έτσι ώστε να διευκολύνεται η εποπτεία της διαδικασίας και να επιβεβαιώνεται η ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Κατά την εφαρμογή των αλγορίθμων ο χαρτογράφος καλείται να ορίσει τιμές ανοχής οι οποίες καθορίζουν και το βαθμό επίδρασης του αλγορίθμου στα γραμμικά τμήματα. Η ανοχή αντιπροσωπεύει διαφορετική οντότητα για κάθε αλγόριθμο (π.χ. επιφάνεια, απόσταση), και επομένως οι τιμές ανοχής που θα επιλεγούν για κάθε αλγόριθμο διαφέρουν. Έτσι, επιλέγονται οι τιμές ανοχής για κάθε αλγόριθμο με διαδοχικές δοκιμές, προκειμένου να προκύπτει παρόμοιο οπτικό αποτέλεσμα μέσω των αλγορίθμων και να διατηρείται το 35% έως 100% του πλήθους των κορυφών των γραμμικών τμημάτων.

Το επόμενο βήμα είναι η βιβλιογραφική μελέτη και η επιλογή των βέλτιστων μέτρων που θα χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της γενίκευσης μέσω των αλγορίθμων που έχουν επιλεγεί. Τα μέτρα αυτά κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες:

1. Μέτρα υπολογισμού της μεταβολής της μορφής των γραμμικών τμημάτων μέσω της διαδικασίας της γενίκευσης.
2. Μέτρα υπολογισμού της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης των γραμμικών τμημάτων μέσω της διαδικασίας της γενίκευσης.

Τέλος, συγκρίνονται τόσο με τη βοήθεια των μέτρων που προαναφέρθηκαν, όσο και οπτικά, τα αποτελέσματα της γενίκευσης και διατυπώνονται συμπεράσματα όσον αφορά τους τρεις παράγοντες που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη και επηρεάζουν το αποτέλεσμα της γενίκευσης (αλγόριθμοι απλοποίησης, μορφή των αρχικών γραμμικών τμημάτων, τιμές παραμέτρου ανοχής).

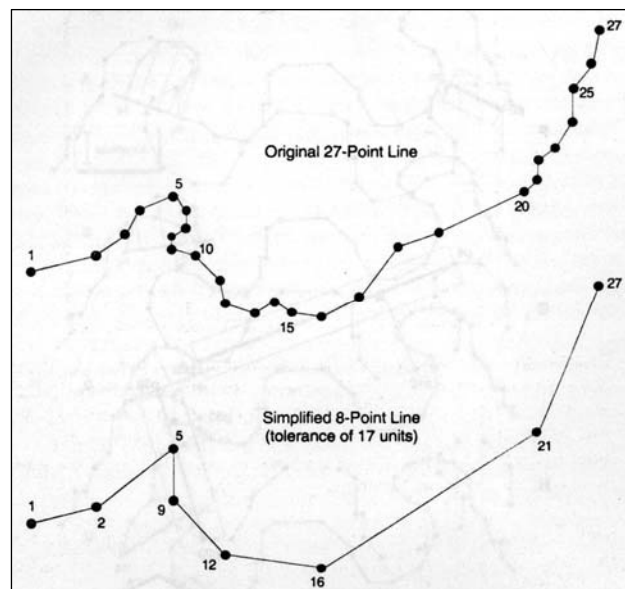
## 2 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ

### 2.1 Εισαγωγή

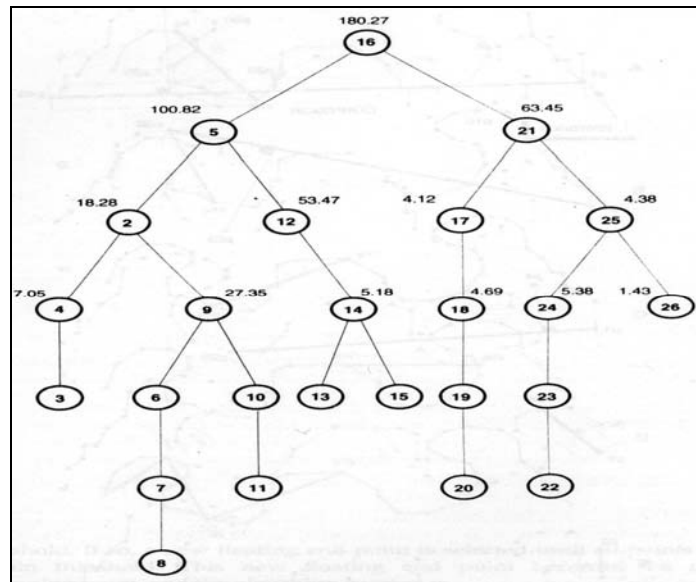
Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται όπως έχει ήδη αναφερθεί στην απλοποίηση των γραμμικών χαρτογραφικών οντοτήτων. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι υπάρχοντες αλγόριθμοι που τον υλοποιούν

Ως απλοποίηση ορίζεται η εξάλειψη των περιττών λεπτομερειών της γραμμής. Συγκεκριμένα οι αλγόριθμοι απλοποίησης αναγνωρίζουν και εξαλείφουν τις περιττές κορυφές μιας γραμμής μέσω της εφαρμογής ποικίλων μαθηματικών κριτηρίων όπως η γωνιακή απόκλιση ή η απόσταση μεταξύ των σημείων κ.α. (McMaster, 1987)

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χαρτογραφική γενίκευση οδήγησε πολλούς ερευνητές να αναπτύξουν αλγορίθμους οι οποίοι ικανοποιούν συγκεκριμένες ανάγκες της γενίκευσης και προέκυψαν δυο διαφορετικές προσεγγίσεις (Agent, 2001). Η πρώτη προσέγγιση που υιοθετήθηκε από τους DeBerg et al. (1995) εισήγαγε τοπολογικούς περιορισμούς και οι Cromley & Cambell (1992) βελτίωσαν ορισμένους από τους αλγόριθμους απλοποίησης (Douglas- Peucker, αλγόριθμος του Saigal, αλγόριθμος του Lagrange) προκειμένου να βελτιστοποιήσουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που θεωρούνται σχετικά με τη γενίκευση.

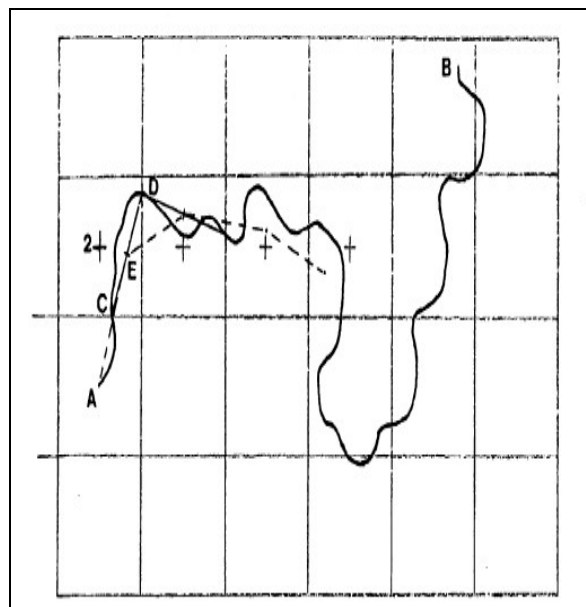


Εικόνα 2-1: Αρχική και γενικευμένη γραμμή(Cromley & Cambell,1992)

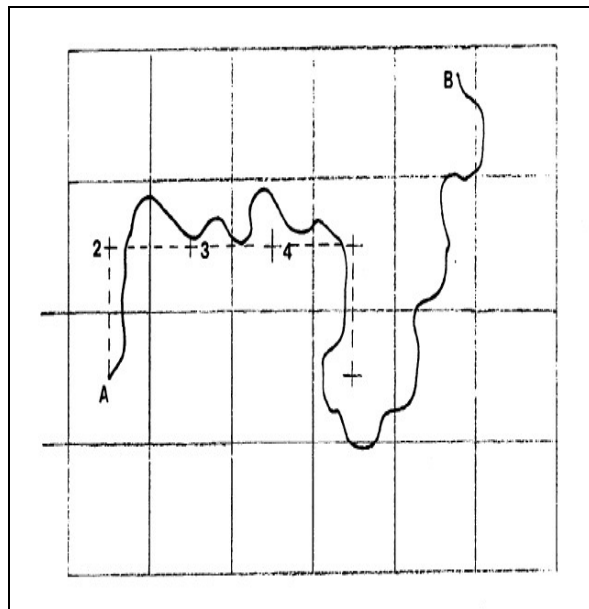


Εικόνα 2-2: Ιεραρχικό δένδρο που βασίζεται στο bandwidth criterion (Cromley & Cambell, 1992)

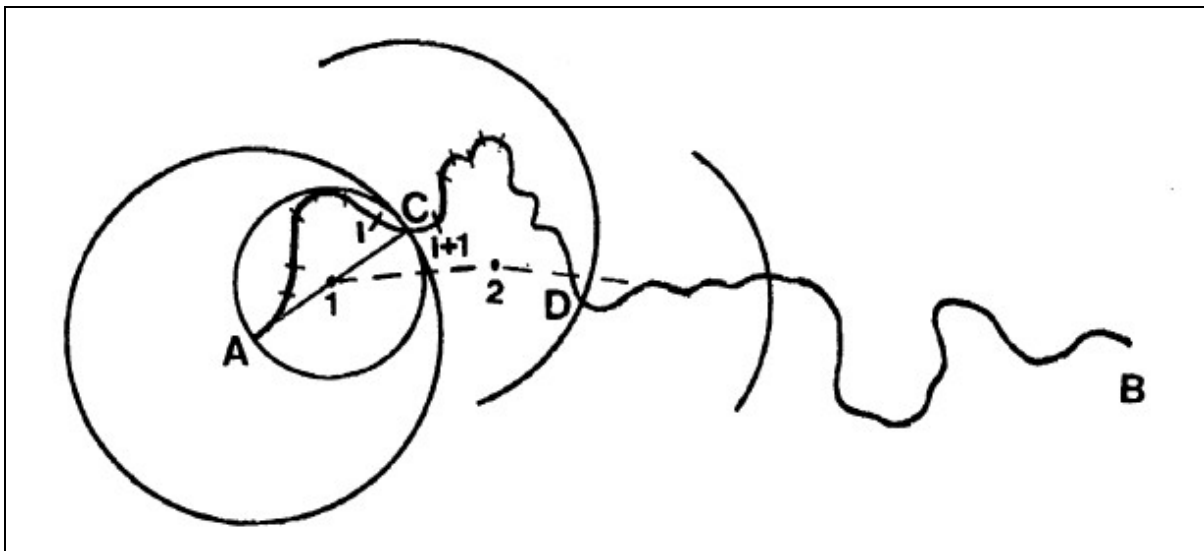
Η δεύτερη προσέγγιση οδήγησε στη δημιουργία αλγορίθμων απλοποίησης χωρίς περιορισμούς που επιτρέπουν την συνολική μεταβολή της γεωμετρίας του αντικειμένου αρκεί να εξασφαλίζεται η επαρκής αναπαράστασή του. Οι Li & Opensaw (1992) περιγράφουν έναν αλγόριθμο που βασίζεται σε αρχές της γενίκευσης όπως η όραση αντικειμένων από αυξανόμενες αποστάσεις.



Εικόνα 2-3: Απλοποίηση γραμμικών οντοτήτων σε κανονικοποιημένη- διανυσματική μορφή Li & Opensaw (1992)



Εικόνα 2-4: Γραμμική γενίκευση σε κανονικοποιημένη μορφή Li & Opensaw (1992)



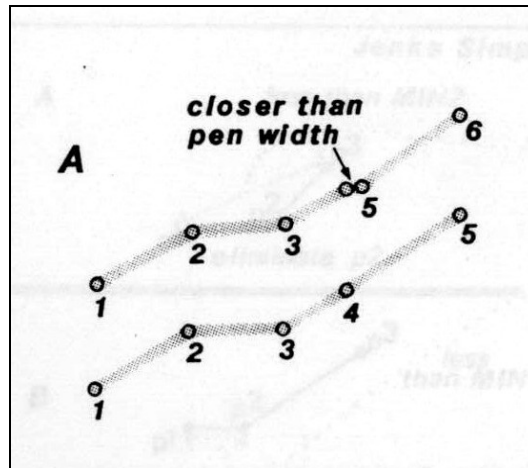
Εικόνα 2-5: Γραμμική γενίκευση σε διανυσματική μορφή Li & Opensaw (1992)

Ο Roberge (1985) κατασκεύασε μια νέα εφαρμογή του αλγορίθμου Rewmann- Witkam. Ο δικός του αλγόριθμος παρείχε έναν πιο σαφή ορισμό της βασικής γραμμής, έναν έλεγχο για σημεία αλλαγής της καμπυλότητας, έναν παράγοντα επέκτασης που δίνει τη δυνατότητα κατασκευής της βασικής γραμμής και έναν έλεγχο για κάθετες βασικές γραμμές.

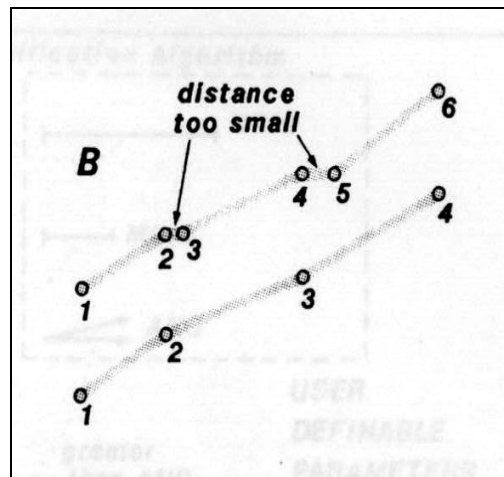
Οι πλειοψηφία των αλγορίθμων απλοποίησης πάσχουν από έλλειψη εξειδίκευσης καθώς οι γραμμικές οντότητες ενός χάρτη δεν είναι απλά γραμμές αλλά αναπαραστάσεις οντοτήτων όπως δρόμοι, ακτογραμμές κ.α. που χαρακτηρίζονται από διαφορετικό βαθμό πολυπλοκότητας και απαιτείται ιδιαίτερη μεταχείρισή τους. Αυτοί οι αλγόριθμοι δεν λαμβάνουν υπ' όψιν τους την σημασία του σημείου ως προς τη συνολική μορφή της γραμμής και έτσι οδηγούν σε προϊόντα που δεν είναι



χαρτογραφικά αποδεκτά (Ευκλείδειας Απόστασης, Τυχαίου σημείου, N-οστού σημείου, Πλάτους συμβόλου γραμμής).



Εικόνα 2-6: Αλγόριθμος Πάχους συμβόλου γραμμής



Εικόνα 2-7: Αλγόριθμος Ευκλείδειας Απόστασης

Οι Wang & Muller (1993) παρουσίασαν έναν αλγόριθμο ο οποίος απλοποιεί ικανοποιητικά τις ακτογραμμές.

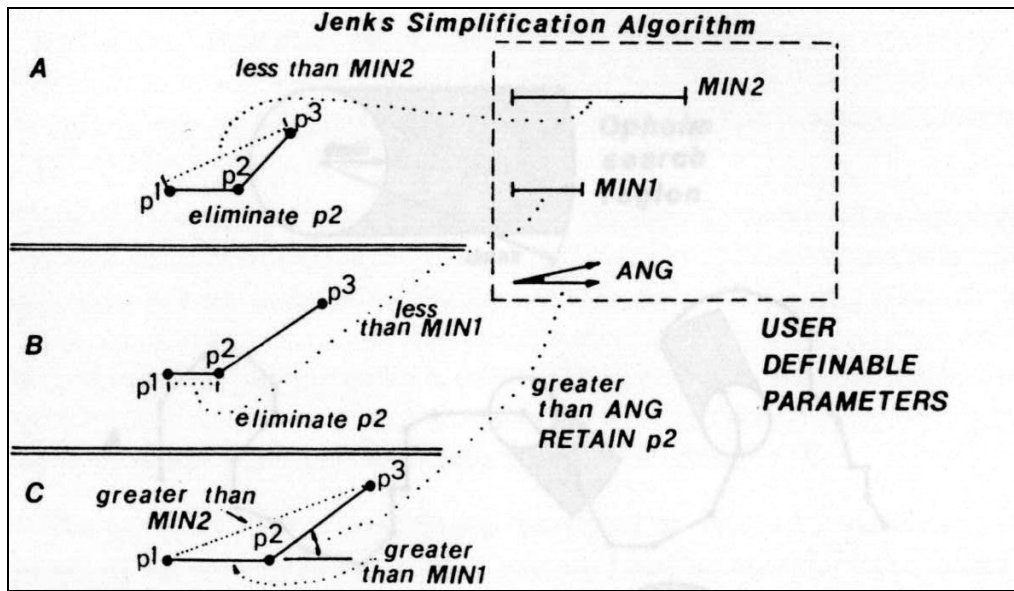
Η απλοποίηση πολύπλοκων γραμμικών αντικειμένων όπως οι δρόμοι δεν μπορεί να οδηγήσει σε ικανοποιητικά αποτελέσματα καθώς μεγάλο ποσοστό της σημασιολογικής πληροφορίας δεν λαμβάνεται υπ'όψιν. Η ESRI προσπαθώντας να λύσει αυτό το πρόβλημα προσάρμοσε στο λογισμικό της τον αλγόριθμο BEND SIMPLIFY ο οποίος απλοποιεί τα γραμμικά στοιχεία χαρακτηρίζοντας κάθε καμπύλη. Εκτεταμένη έρευνα που έχει διεξαχθεί από το IGN κατέληξε στην παραγωγή πολυπλοκότερων αλγορίθμων για την απλοποίηση των δρόμων, που δρουν μεγεθύνοντας ταυτόχρονα λεπτομέρειες όπως οι απομονωμένες καμπύλες.

Στην συγκεκριμένη μελέτη επιλέγονται μέσω βιβλιογραφικής έρευνας οι αποτελεσματικότεροι αλγόριθμοι απλοποίησης. Οι αλγόριθμοι αυτοί εφαρμόζονται σε ένα σύνολο γραμμών, οι οποίες διαφοροποιούνται ως προς την μορφή τους, προκειμένου να διαπιστωθεί η μεταβολή της μορφής και της οριζοντιογραφικής θέσης που προκαλούν οι αλγόριθμοι στις γραμμές ανάλογα με τη μορφή τους.

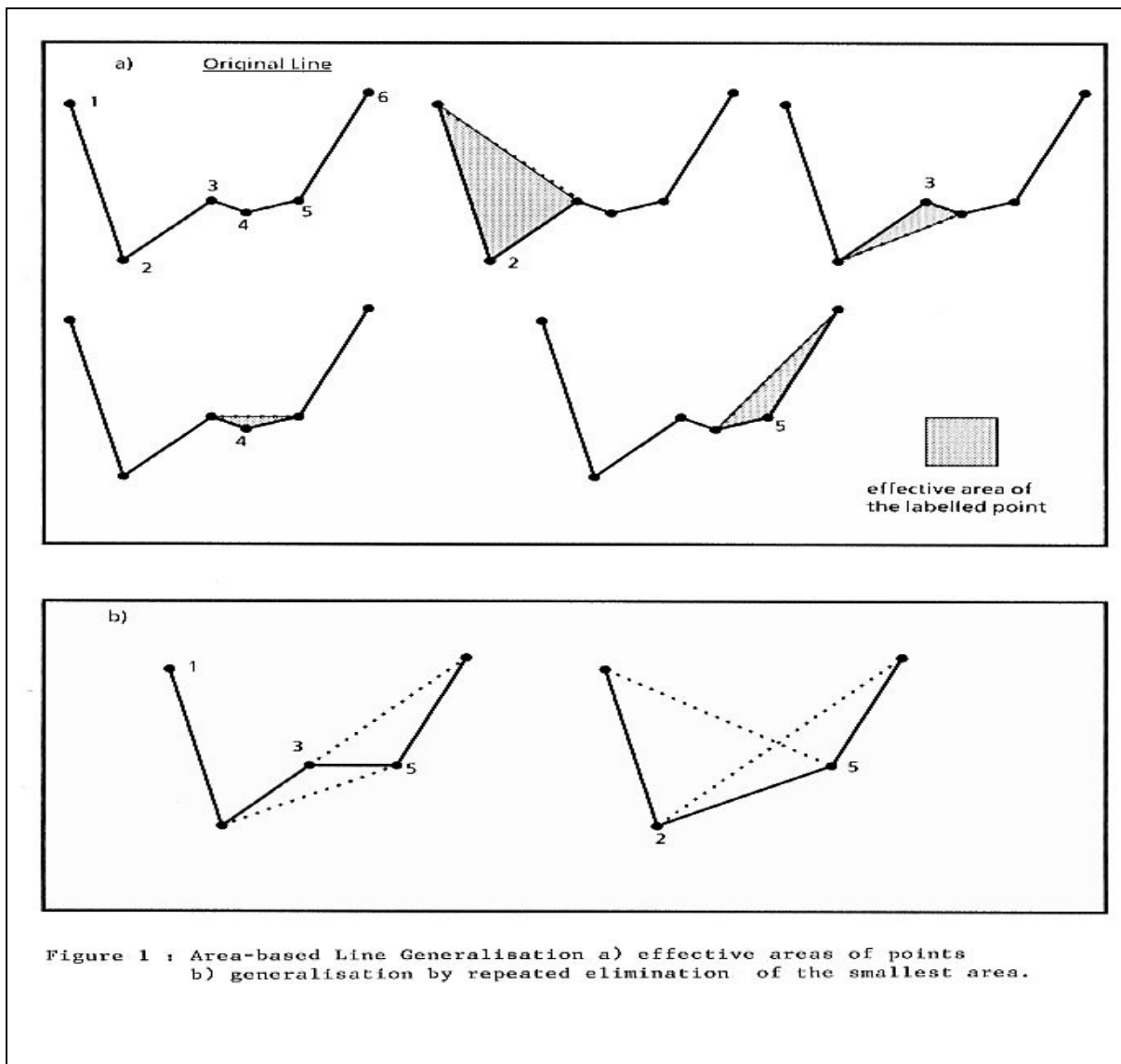
## 2.2 Ταξινόμηση αλγορίθμων απλοποίησης

Έχουν γίνει από πολλούς χαρτογράφους ταξινομήσεις των υπάρχοντων αλγορίθμων απλοποίησης γραμμικών οντοτήτων. Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής:

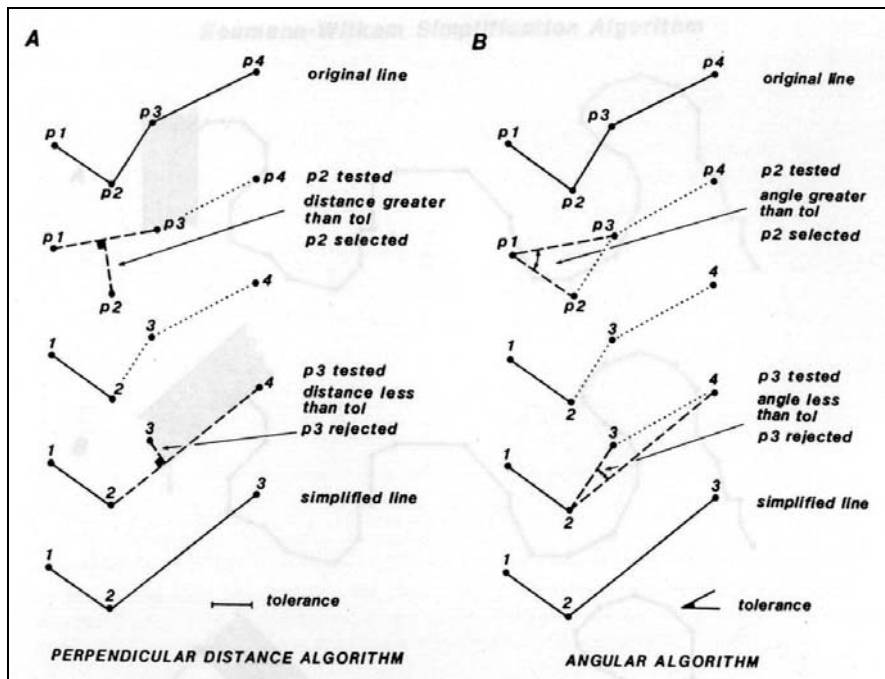
- ZYCOR (1984): Οι κατηγορίες περιέχουν την επιλογή, φιλτράρισμα χαμηλού επιπέδου, απλοποίηση ψηφιακού μοντέλου εδάφους, φιλτράρισμα ε, μαθηματική προσαρμογή, ζώνη ανοχής ( tolerance bands), μετασχηματισμοί πεδίου (domain transformation).
- Douglas- Peucker (1973): Η ταξινόμηση δεν είναι επαρκώς λεπτομερειακή καθώς δεν παρουσιάζονται πολλές εφαρμογές ανάπτυξης των αλγορίθμων.
- O McMaster (1987) ταξινόμησε τους αλγορίθμους της απλοποίησης γραμμικών οντοτήτων σε 5 κατηγορίες:
  - I. *Αλγόριθμοι ανεξάρτητων σημείων* : Αυτοί οι αλγόριθμοι δεν λαμβάνουν υπ'όψιν την τοπολογία και επομένως ούτε τις σχέσεις με τα γειτονικά ζεύγη συντεταγμένων.  
Παραδείγματα : αλγόριθμος n- οστού σημείου, επιλογή τυχαίων σημείων.
  - II. *Αλγόριθμοι τοπικής επεξεργασίας*: Χρησιμοποιούν χαρακτηριστικά των άμεσα γειτονικών σημείων ώστε να ορίσουν τη σημασία του σημείου που ελέγχουν.  
Παραδείγματα : απόσταση μεταξύ σημείων, γωνιακή μεταβολή μεταξύ σημείων, αλγόριθμος του Jenks.



Εικόνα 2-8: Αλγόριθμος του Jenks



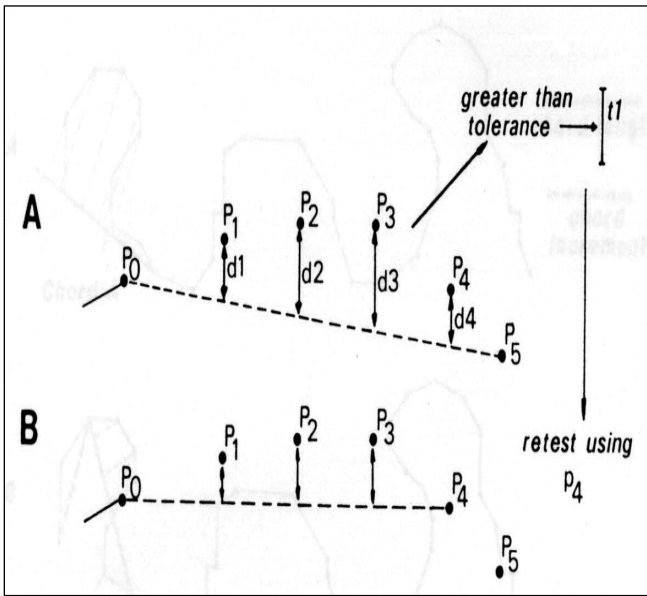
Εικόνα 2-9: Αλγόριθμος των Visvaligam & Whyatt (1993)



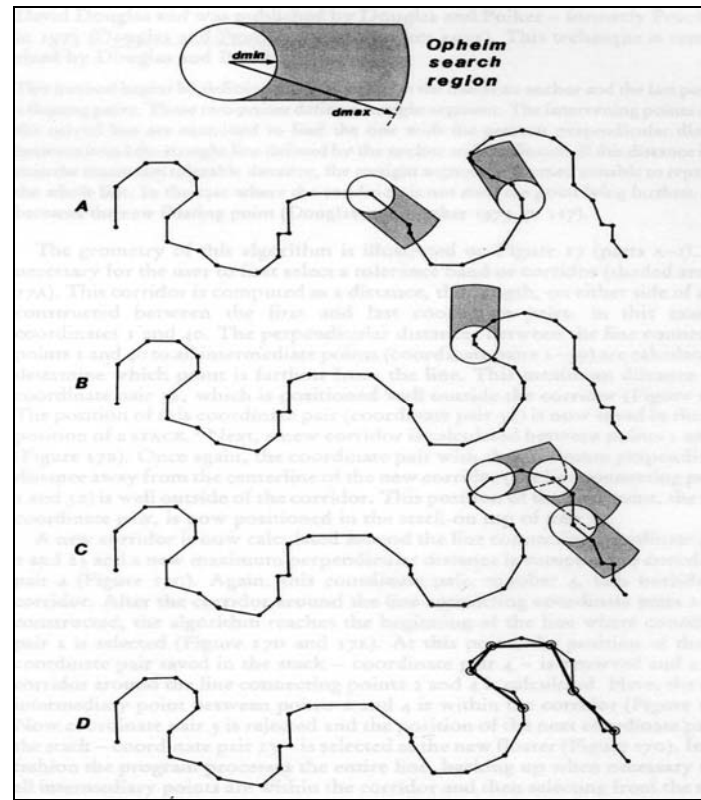
Εικόνα 2-10: Αλγόριθμοι κάθετης απόστασης και γωνιακής απόκλισης

III. *Περιορισμένοι αλγόριθμοι εκτεταμένης τοπικής επεξεργασίας:* Χρησιμοποιούν χαρακτηριστικά των ευρύτερα γειτονικών σημείων ώστε να ορίσουν τη σημασία του σημείου που ελέγχουν. Η έκταση της έρευνας εξαρτάται από κριτήρια απόστασης, γωνιότητας και του πλήθους των σημείων.

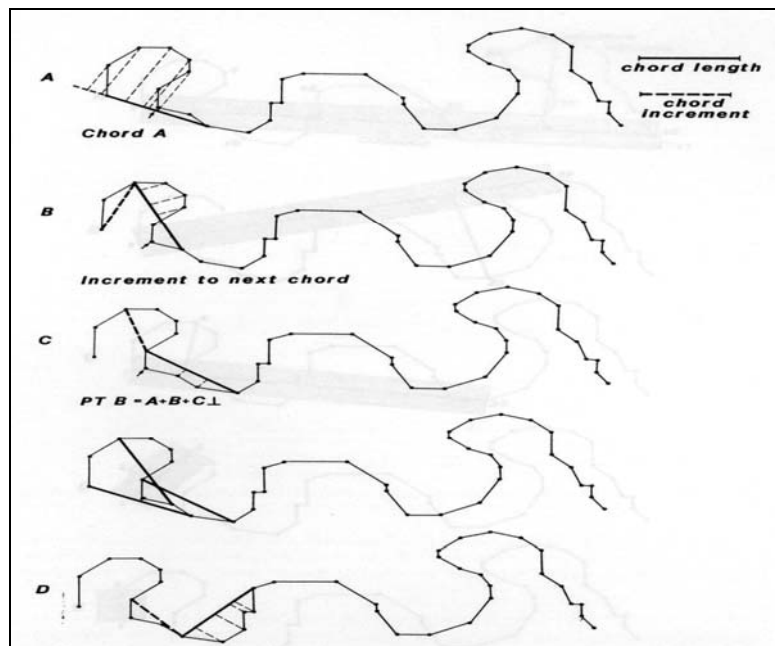
Παραδείγματα : αλγόριθμος του Lang, αλγόριθμος του Orheim, αλγόριθμος του Johannsen, αλγόριθμος του Deveau, αλγόριθμος του Roberge.



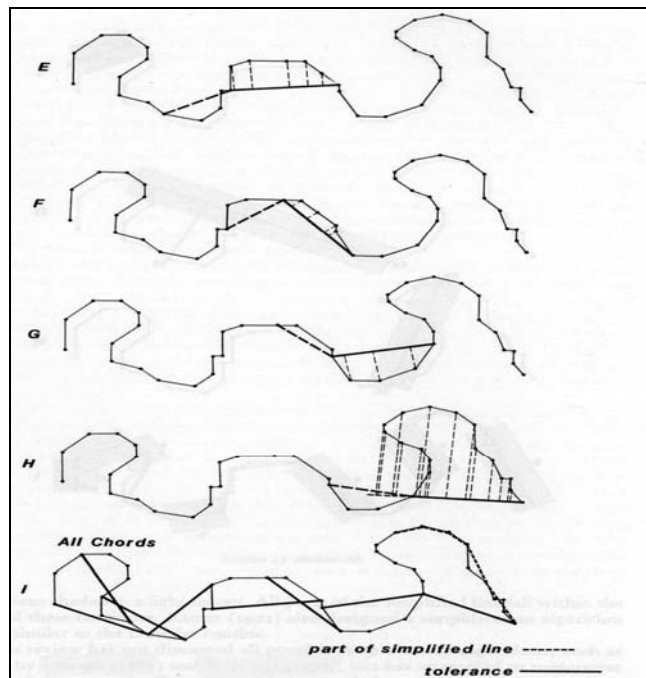
Εικόνα 2-11: Αλγόριθμος του Lang



Εικόνα 2-12: Αλγόριθμος του Opheim

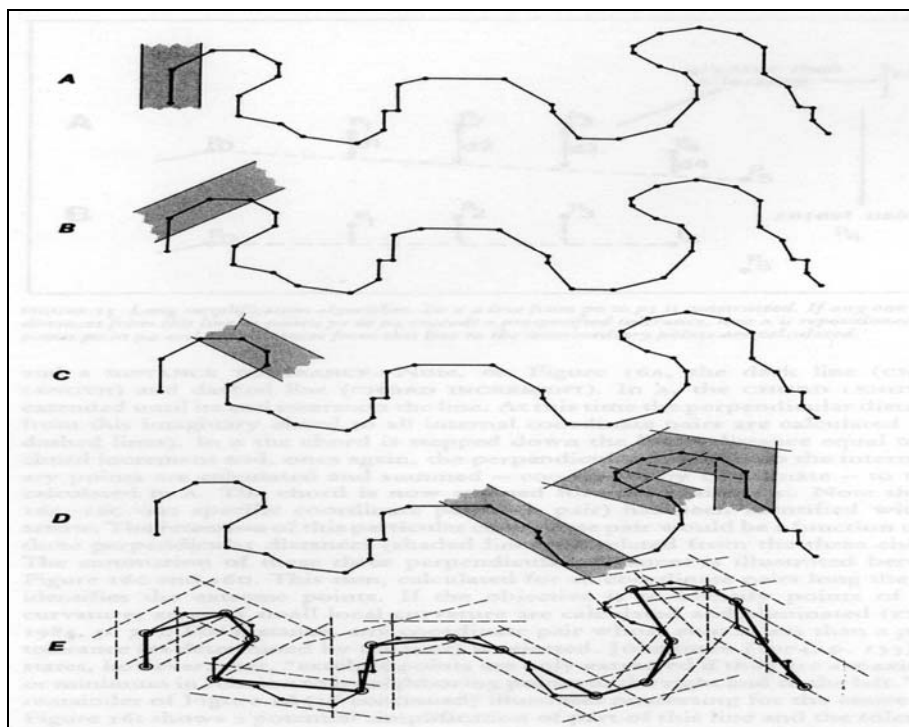


Εικόνα 2-13: Αλγόριθμος απλοποίησης του Johannsen (4 πρώτα στάδια)

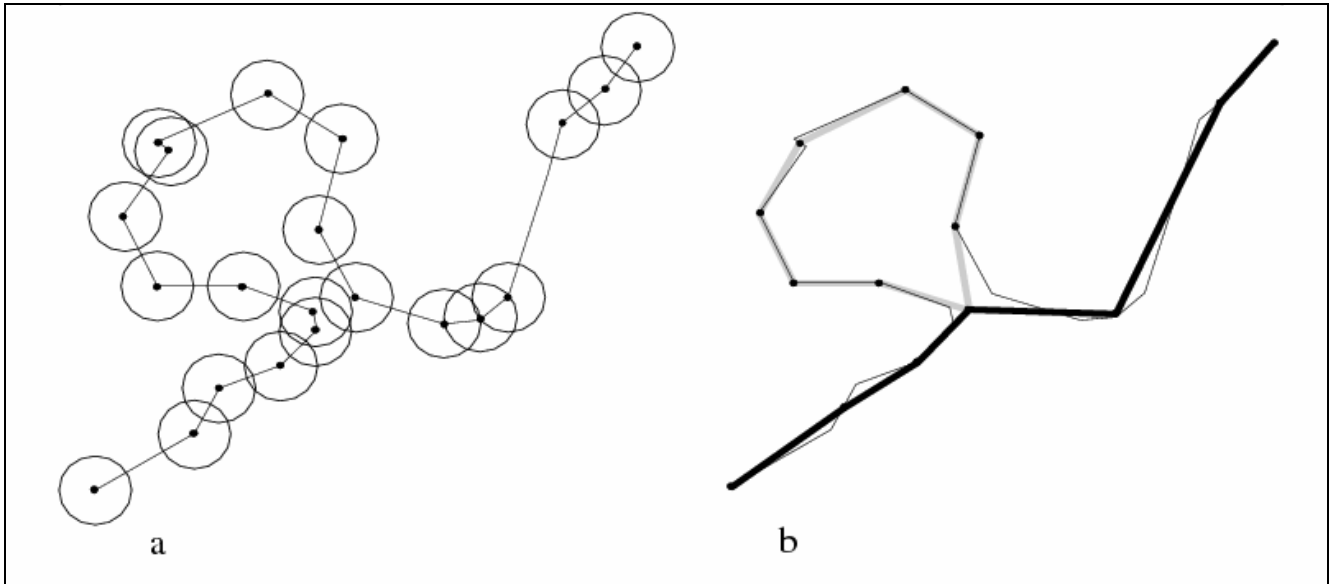


Εικόνα 2-14: Αλγόριθμος απλοποίησης του Johannsen (στάδια 5-9)

IV. *Μη περιορισμένοι αλγόριθμοι εκτεταμένης τοπικής επεξεργασίας:*  
 Χρησιμοποιούν χαρακτηριστικά των ευρύτερα γειτονικών σημείων ώστε να ορίσουν τη σημασία του σημείου που ελέγχουν. Η έκταση της έρευνας εξαρτάται από τη γεωμορφολογική πολυπλοκότητα της γραμμής.  
 Παραδείγματα : αλγόριθμος των Rewmann- Witkam.

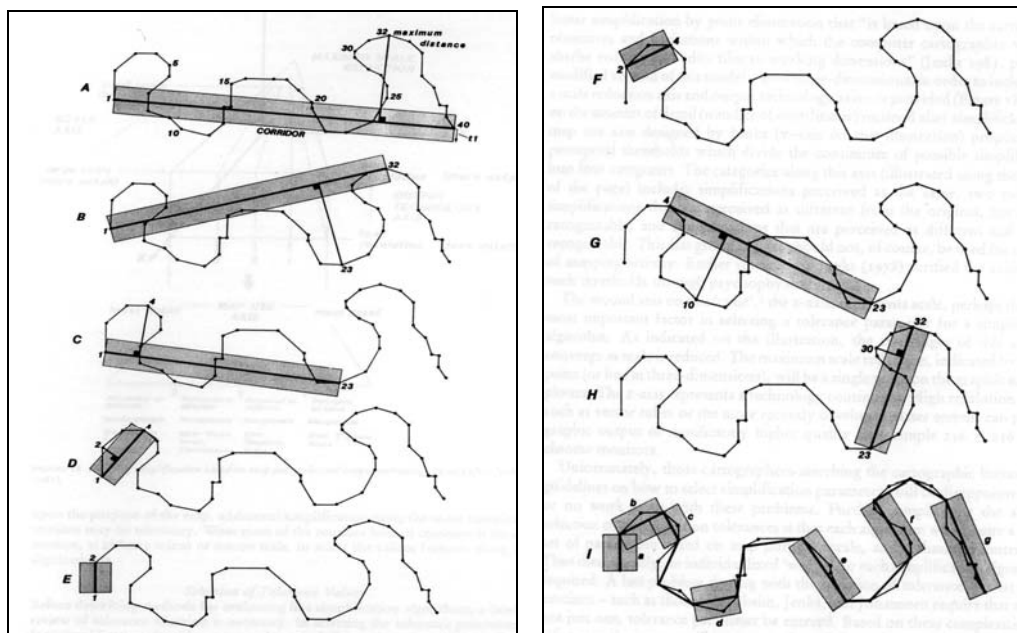


Εικόνα 2-15: Αλγόριθμος των Rewmann- Witkam

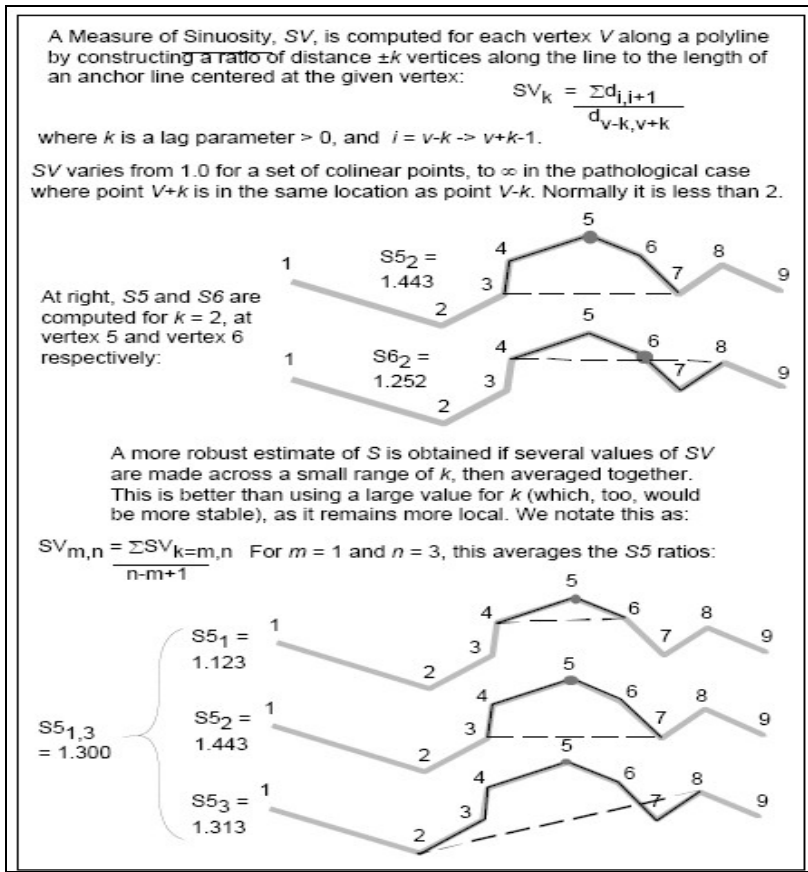


Εικόνα 2-16: Αλγόριθμος του Whirpool

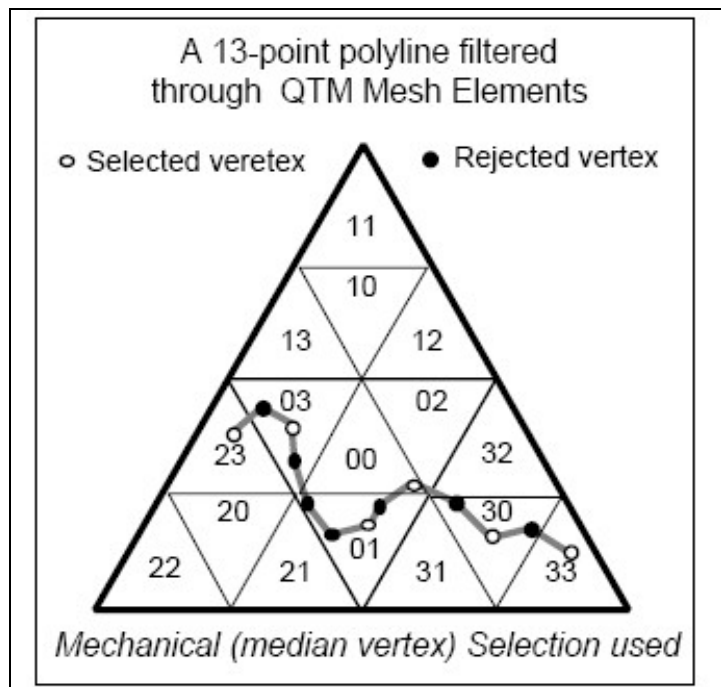
V. Συνολικές ρουτίνες: Ελέγχουν όλη τη γραμμή ή τμήμα αυτής κατά την επεξεργασία. Παραδείγματα : αλγόριθμος των Douglas- Peucker



Εικόνα 2-17: Αλγόριθμος συνολικής επεξεργασίας Douglas- Peucker

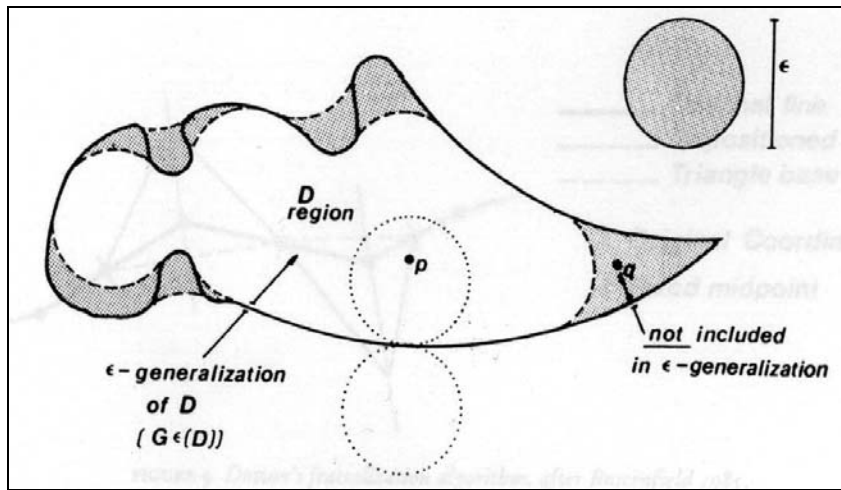


Εικόνα 2-18: Επιλογή σημείων βάσει της ομοιογένειας ( Dutton, 1998)

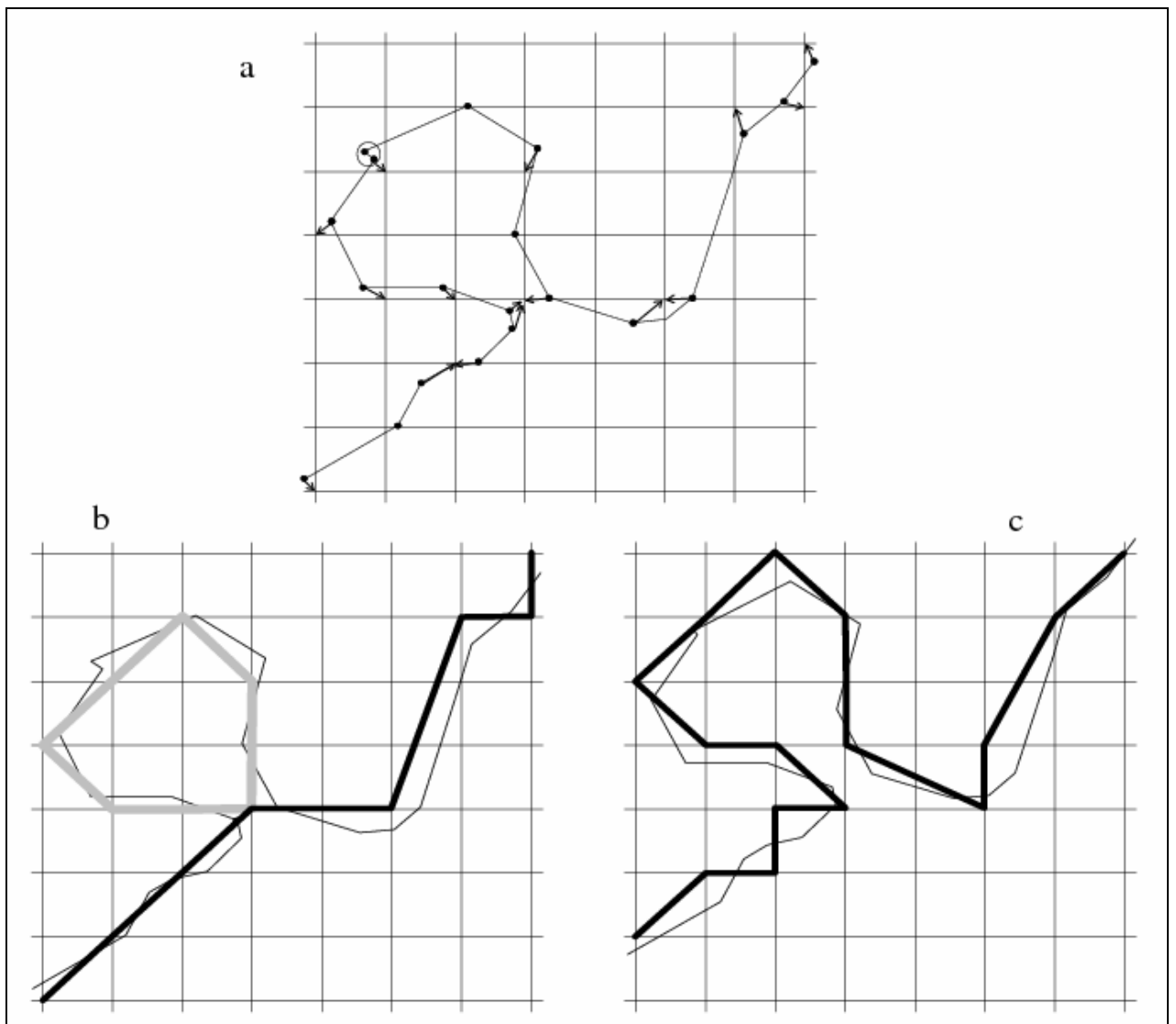


Εικόνα 2-19: QTM Αλγόριθμος του Dutton (1998)





Εικόνα 2-20: Αλγόριθμος του Perkal (1966)



Εικόνα 2-21: Αλγόριθμος του Vanhorn (1996)

- Στα πλαίσια του προγράμματος AGENT (2001) υιοθετήθηκε την ταξινόμηση του McMaster (1987) και παράλληλα ταξινομήθηκαν οι αλγόριθμοι απλοποίησης σε δυο άλλες κατηγορίες :
  - I. Αφαίρεση κορυφών (Weeding): Η αναπαράσταση της απλοποιημένης γραμμής γίνεται μέσω ενός υποσυνόλου των αρχικών κορυφών. Οι αλγόριθμοι επιλέγουν είτε τα σημεία που συμβάλλουν στη διατήρηση του σχήματος ή απορρίπτουν τα σημεία τα οποία θεωρούνται περιττά για την περιγραφή της μορφής της γραμμής.
  - II. Μη περιορισμένη απλοποίηση: Οι μη περιορισμένοι αλγόριθμοι απλοποίησης, προσδιορίζουν την απλοποιημένη γραμμή τόσο με επιλογή ενός υποσυνόλου κορυφών όσο και με μεταβολή της θέσης των σημείων της αρχικής γραμμής. Παρόλο που πλειοψηφία των αλγορίθμων αυτών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως αλγόριθμοι εξομάλυνσης, ο πρωταρχικός στόχος τους είναι όχι η διατήρηση της τάσης της γραμμής, αλλά η εξάλειψη περιττής λεπτομέρειας ενώ διατηρείται ο χαρακτήρας της γραμμής (παράδειγμα : Lee & Openshaw, 1992)

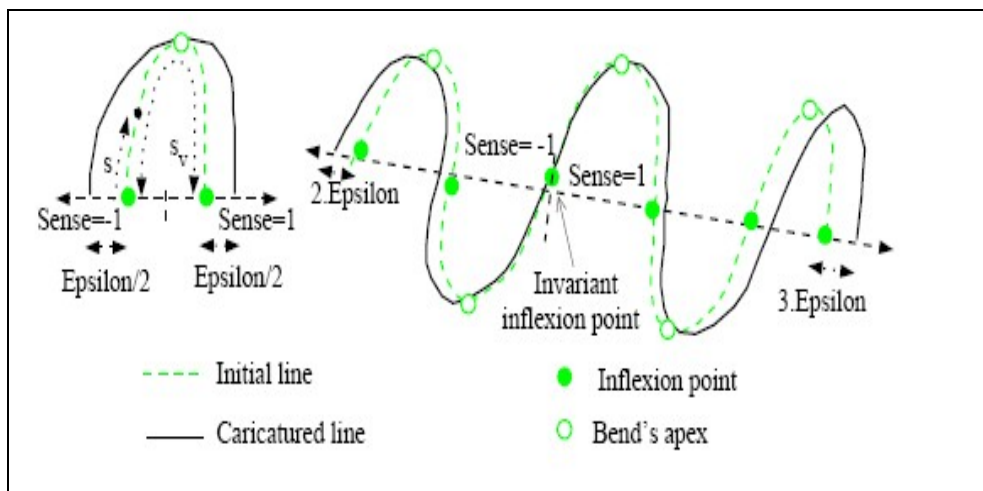
Οι αλγόριθμοι αφαίρεσης κορυφών υπακούουν σε περισσότερους χαρτογραφικούς περιορισμούς. Οι De Berg et al. (1995) εισήγαγαν τοπολογικούς περιορισμούς στη μέθοδο που ανέπτυξαν, ενώ οι Cromley και Campbell (1992) επεξεργάστηκαν αλγόριθμους αφαίρεσης κορυφών ώστε να βελτιστοποιήσουν ένα γεωμετρικό χαρακτηριστικό το οποίο θεωρείται σχετικό με τη γενίκευση. Οι αλγόριθμοι αυτοί εφαρμόζονται για μικρό βαθμό γενίκευσης και συνήθως ο σκοπός της γενίκευσης σε αυτή την περίπτωση είναι η μείωση του όγκου των δεδομένων και όχι η απόδοσή τους. Αντίθετα, οι αλγόριθμοι οι οποίοι είναι σχεδιασμένοι για τη χαρτογραφική γενίκευση δεν πρέπει να είναι περιορισμένοι στην εξάλειψη σημείων από τη γραμμή. Οι μη περιορισμένοι αλγόριθμοι απλοποίησης επιτρέπουν τη συνολική μεταβολή της γεωμετρίας του αντικειμένου εφ' όσον η απόδοση του αντικειμένου γίνεται ικανοποιητικά. Οι Li & Openshaw (1992) περιγράφουν έναν αλγόριθμο ο οποίος βασίζεται σε χαρτογραφικές αρχές όπως η όψη των αντικειμένων από αυξανόμενες αποστάσεις (Εικόνα 1-3).

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της γενίκευσης ενός θεματικού πεδίου όπως το οδικό δίκτυο αναπτύχθηκαν από την ερευνητική ομάδα του IGN (PlaGe, 1992) εξειδικευμένοι αλγόριθμοι:

1. Βελτίωση του αλγόριθμου του Lowe.
2. Αλγόριθμος «ακορντεόν» (accordion)
3. Αλγόριθμος «μπαλόني» (Balloon)
4. Αλγόριθμος σχηματοποίησης (Schematization)

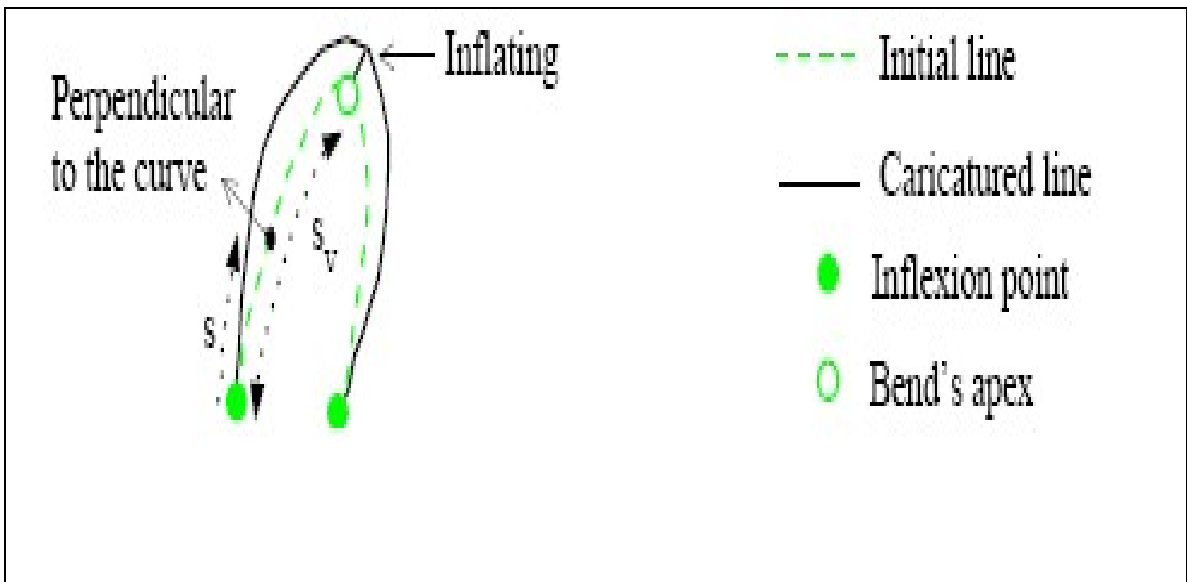
Ο αλγόριθμος caricature κάνει χρήση των σημείων καμπής. Για μια διακριτή γραμμή, ένα σημείο καμπής μπορεί να θεωρηθεί ως το μέσο ενός τμήματος όπου η τοπική καμπυλότητα, όπως υπολογίζεται από διανυσματικά δεδομένα σε διαδοχικά τμήματα, αλλάζει.

Ο αλγόριθμος «ακορντεόν» (Plazanet, 1996) στοχεύει στη μεγέθυνση μιας καμπύλης ή μιας σειράς καμπυλών. Δεν μετακινείται το κρίσιμο σημείο και όλα τα άλλα σημεία απομακρύνονται από αυτό κατά τιμή  $\epsilon$  κατά τη διεύθυνση της γραμμής παλινδρόμησης των κρίσιμων σημείων.



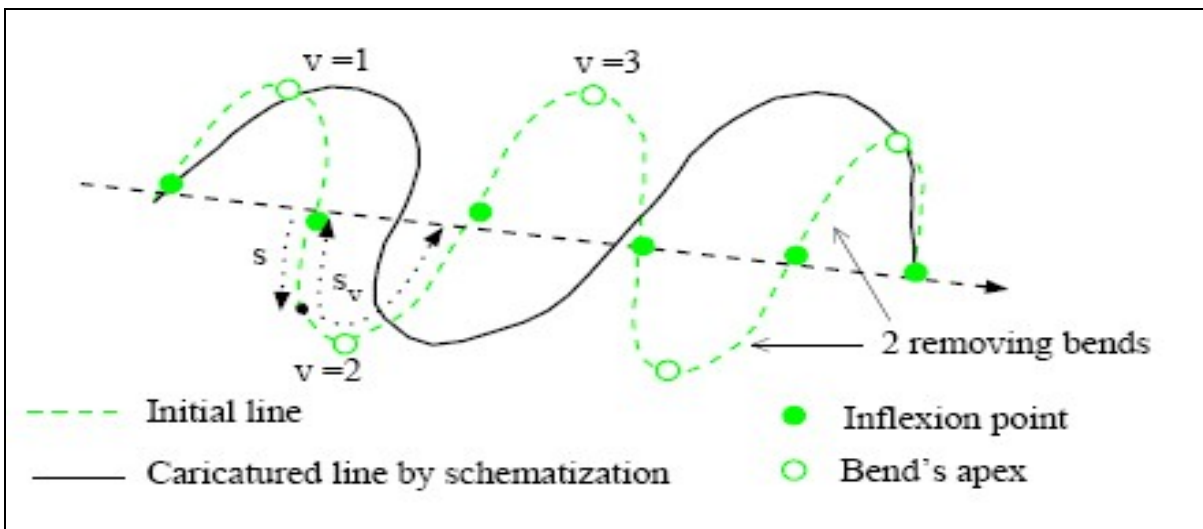
Εικόνα 2-22: Accordion algorithm

Ο αλγόριθμος Balloon στοχεύει στη μεγέθυνση των κορυφών των καμπών προκειμένου να εξαλειφθεί η σύμπτωση των καμπών. Μετακινεί κάθε σημείο της γραμμή κάθετα προς τη γραμμή κατά μια τιμή  $\epsilon$  (μεγέθυνση). Τα κρίσιμα σημεία της γραμμής δεν μετακινούνται και η μέγιστη μετάθεση πραγματοποιείται στην κορυφή της καμπής.



Εικόνα 2-23: Balloon algorithm

Ο αλγόριθμος σχηματοποίησης (Schematization) απομακρύνει τις 2 τελευταίες καμπές μιας γραμμής και μεγεθύνει όσες απομένουν. Κάθε τμήμα που απομένει μετατίθεται κατά την κύρια κατεύθυνση των καμπών κατά τέτοια τιμή ώστε οι καμπές να ενώνονται στα άκρα της αρχικής γραμμής.



Εικόνα 2-24: Schematization algorithm

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι απλοποίησης που απαντώνται στη βιβλιογραφία.

	<b>ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ</b>	<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ</b>	<b>ΕΚΤΙΜΗΣΗ</b>
1	Τυχαίου σημείου	Επιλέγει σημεία της απλοποιημένης γραμμής τυχαία	Δεν έχει χαρτογραφική λογική.
2	N-οστού σημείου (McMaster 1987)	Διατηρείται κάθε n-οστό σημείο της γραμμής και όλα τα άλλα διαγράφονται	Δεν έχει χαρτογραφική λογική.
3	Πλάτους συμβόλου γραμμής (Pen width) (Tobler 1965, McMaster 1987)	«Διαβάζει» το αρχείο και διατηρεί το αρχικό σημείο της γραμμής. Έπειτα εκτελεί σειριακή ανάγνωση των συντεταγμένων και υπολογίζει την απόσταση του αρχικού σημείου από το επόμενο και τη συγκρίνει με το πάχος της γραμμής. Εάν η απόσταση είναι μικρότερη από το πάχος της γραμμής, τότε το σημείο απορρίπτεται και ο έλεγχος συνεχίζεται με το επόμενο σημείο κ.ο.κ, μέχρι να βρεθεί απόσταση μεγαλύτερη από το πάχος της γραμμής. Το σημείο που εντοπίζεται θεωρείται ως αρχικό και επαναλαμβάνεται η διαδικασία. (βλέπε Εικόνα 1-6)	Δεν έχει χαρτογραφική λογική.
4	Ευκλείδειας Απόστασης (Tobler 1965, McMaster 1987)	«Διαβάζει» το αρχείο και διατηρεί το αρχικό σημείο της γραμμής. Έπειτα εκτελεί σειριακή ανάγνωση των συντεταγμένων και υπολογίζει την απόσταση του αρχικού σημείου από το επόμενο και τη συγκρίνει με ένα δεδομένο μήκος (ανοχή) το οποίο ορίζεται από το χαρτογράφο. Εάν η απόσταση είναι μικρότερη από την ανοχή, το σημείο απορρίπτεται, ελέγχεται η απόσταση με το επόμενο σημείο κ.ο.κ ώστε να εντοπιστεί το σημείο το οποίο απέχει από το αρχικό απόσταση μεγαλύτερη από την ανοχή. (βλέπε Εικόνα 1-7)	Δεν έχει χαρτογραφική λογική.

5	Τοπικός αλγόριθμος επεξεργασίας του McMaster (1987)	Προκειμένου να αποφανθεί εάν ένα σημείο θα διατηρηθεί ή όχι εξετάζει δύο γειτονικά σημεία και υπολογίζει διάφορα μέτρα όπως γωνιακή μεταβολή, απόσταση ή εμβαδόν μεταξύ διαδοχικών σημείων (βλέπε Εικόνα 1-10)	Γρήγορος αλγόριθμος αλλά με χαρτογραφικές ελλείψεις (McMaster, 1987)
6	Αλγόριθμος κινητού σημείου Muller (1987)	Ορίζει ένα βήμα και το κινεί κατά μήκος της γραμμής. Διατηρούνται τα σημεία που συναντώνται μέσα σε αυτό το βήμα.	Έχει το πλεονέκτημα ότι διατηρεί την κλασματική διάσταση σε οποιοδήποτε επίπεδο αφαίρεσης. Όλοι οι άλλοι αλγόριθμοι παράγουν γενικευμένες γραμμές οι οποίες έχουν μικρότερη κλασματική διάσταση (MuLatecki Lakamperer, 1987). Ο αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να υπολογιστεί η κλασματικότητα μιας γραμμής (MuLatecki Lakamperer, 1987). Δεν γίνεται κατανοητή η έννοια της αυτό-ομοιότητας στα χαρτογραφικά δεδομένα. Ο αλγόριθμος δεν εντοπίζει οντότητες οι οποίες είναι μικρότερες από το διπλάσιο μέγεθος του βήματος (Θεώρημα δειγματοληψίας) (MuLatecki Lakamperer, 1987).
7	Έλεγχος διαδρόμου Reumann-Witkam (1974) (McMaster 1987)	Αυτός ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί δυο παράλληλες γραμμές με πάχος ε. Αυτός ο διάδρομος τοποθετείται στη διεύθυνση των δυο πρώτων κορυφών. Υπολογίζεται η τομή των ορίων του διαδρόμου με τη	Μπορεί να συγκριθεί με τοπικούς αλγόριθμους που χρησιμοποιούν την γωνιακή απόκλιση.

		<p>γραμμή και το τελευταίο διάνυσμα της γραμμής πριν την τομή αποθηκεύεται.</p> <p>Ο διάδρομος επαναπροσανατολίζεται χρησιμοποιώντας τη διεύθυνση του αποθηκευμένου διανύσματος και υπολογίζεται η επόμενη τομή.</p> <p>Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και προκύπτει η απλοποιημένη γραμμή από την ένωση των διανυσμάτων που έχουν αποθηκευτεί. (βλέπε Εικόνα 1-15)</p>	<p>Δεν είναι ιδιαίτερα χρήσιμος καθώς υπάρχουν πιο αποτελεσματικοί αλγόριθμοι.</p>
8	<p>Αλγόριθμος του Lang (1969) (McMaster 1987)</p>	<p>Η εκτέλεση αυτού του αλγορίθμου ελέγχεται μέσω μιας ανοχής απόστασης. Κατασκευάζεται ένα διάνυσμα που ενώνει το αρχικό σημείο και το κινούμενο τελικό σημείο. Υπολογίζονται όλες οι αποστάσεις από τα σημεία. Εάν κάποια από τις υπολογισμένες αποστάσεις είναι μεγαλύτερη της ανοχής, τότε επιλέγεται το σημείο αυτό ως τελικό. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι όλες οι αποστάσεις να είναι μικρότερες της ανοχής. Το κινούμενο τελικό σημείο ορίζεται ως η νέα αρχή και ο αλγόριθμος επαναλαμβάνεται. Το κινούμενο σημείο ορίζει το μέγιστο αριθμό σημείων που μπορούν να διαγραφούν μεταξύ δυο σημείων που συμπεριλαμβάνονται στην απλοποιημένη γραμμή.</p> <p>Ανοχή: Ορίζει τη μέγιστη απόκλιση ενός σημείου της γενικευμένης γραμμής από την αρχική γραμμή. (βλέπε Εικόνα 1-11)</p>	<p>Είναι παρόμοιος σε λειτουργία αλλά λίγο κατώτερος από τον αλγόριθμο Douglas-Peucker. (McMaster, 1987)</p>
9	<p>Αλγόριθμος του Jenks (1989) (McMaster 1987)</p>	<p>Εάν η απόσταση από το σημείο 1 στο σημείο 2 είναι ελάχιστη από το <math>\min_1</math> ή η απόσταση από το σημείο 2 στο σημείο 3 είναι μικρότερη από το <math>\min_2</math>, τότε το σημείο 2 απορρίπτεται. Εάν και οι δυο αποστάσεις είναι μεγαλύτερες τότε πραγματοποιείται γωνιακός</p>	<p>Αρκετά πιο εκλεπτυσμένος από τους τοπικούς αλγόριθμους γωνιότητας. Κατώτερος από τον αλγόριθμο Douglas-Peucker.</p>

		<p>έλεγχος μέσω της μέγιστης γωνιότητας. Εάν η γωνία είναι μικρότερη από τη γωνιότητα (<math>\text{ang}</math>) τότε το σημείο απαλείφεται.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Min1: Ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση μεταξύ των σημείων 1,2</li> <li>▪ Min2: Ελάχιστη επιτρεπτή απόσταση μεταξύ των σημείων 1,3</li> <li>▪ Ang: Μέγιστη επιτρεπτή μεταξύ διαδοχικών διανυσμάτων που ενώνουν 3 σημεία.</li> </ul> <p>(βλέπε Εικόνα 1-8)</p>	
10	Visvaligam & Whyatt (1993)	<p>Για κάθε διάνυσμα της γραμμής υπολογίζεται το εμβαδόν του τριγώνου που σχηματίζει κάθε σημείο με τα δυο γειτονικά του. Απαλείφεται το σημείο που οδηγεί στη μικρότερη επιφανειακή μετάθεση από την μερικώς απλοποιημένη γραμμή. Υπολογίζεται εκ νέου η επιφάνεια για τα γειτονικά σημεία αυτού που έχει διαγραφεί.</p> <p>(βλέπε Εικόνα 1-9)</p>	<p>-Είναι απλός και γρήγορος αλγόριθμος.</p> <p>-Οδηγεί στη μικρότερη επιφανειακή μετάθεση (Visvaligam &amp; Whyatt 1993)και γι' αυτό θεωρείται καλύτερος από τους αλγόριθμους Douglas- Peucker, Roberge (1985), Dettori &amp; Falcidieno (1982).</p> <p>- Είναι κατάλληλος αλγόριθμος για την γενίκευση των κτιρίων.</p>
11	Επιλογή σημείων βάσει της ομοιογένειας (Dutton, 1998)	<p>Υπολογίζεται η ομοιογένεια για κάθε σημείο της γραμμής. Υπολογίζεται μέσω της αναλογίας της απόστασης σε <math>\pm k</math> διανύσματα κατά μήκος της γραμμής προς το μήκος μιας γραμμής βάσης που έχει κεντραριστεί στο διάνυσμα. Έπειτα, υπολογίζεται για κάθε σημείο η διαφορά της τοπικής ομοιογένειας (ομοιογένεια με τα γειτονικά σημεία) και της συνολικής ομοιογένειας με πιο απομακρυσμένα σημεία. Απορρίπτεται το σημείο με τη μικρότερη απόλυτη διαφορά μεταξύ των δυο ομοιογενειών που υπολογίστηκαν. (ή αντιθέτως διατηρούνται τα σημεία με τη μέγιστη διαφορά)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Υπάρχουν πολλοί τρόποι υπολογισμού της τοπικής και της συνολικής ομοιογένειας.</li> <li>- Δεν απαιτείται δομή QTM για τον υπολογισμό της ομοιογένειας, αλλά απαιτείται για την επιλογή των διανυσμάτων.</li> </ul>



		(βλέπε Εικόνες 1-18, 1-19)	
12	Cromley & Campell (1992) (McMaster 1987)	Το πρόβλημα της απλοποίησης μετατρέπεται σε πρόβλημα ελαχιστοποίησης (ή μεγιστοποίησης) μιας συγκεκριμένης αριθμητικής ιδιότητας μιας γραμμής, που υπόκειται σε ένα περιορισμό του πλήθους των ανεξάρτητων τμημάτων που διατηρούνται στην απλοποιημένη γραμμή. (βλέπε Εικόνες 1-1, 1-2)	Οι ιδιότητες που μπορεί να ελαχιστοποιούνται ή να μεγιστοποιούνται είναι: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Συνολικό μήκος της γραμμής</li> <li>▪ Γωνιακή μεταβολή</li> <li>▪ Κάθετη απόσταση</li> <li>▪ Επιφανειακή μετάθεση</li> </ul>
13	Αλγόριθμος Douglas-Peucker (1973)	Ο αλγόριθμος ξεκινάει ενώνοντας τα δυο άκρα της αρχικής γραμμής με μια νέα γραμμή που ονομάζεται γραμμή βάσης. Εάν οι κάθετες αποστάσεις από όλα τα ενδιάμεσα σημεία ως τη γραμμή βάσης είναι μικρότερα από μια ανοχή $\epsilon$ τότε η αρχική γραμμή μπορεί να αναπαρασταθεί από τη γραμμή βάσης. Εάν κάποιο από τα ενδιάμεσα σημεία απέχει από τη γραμμή βάσης απόσταση μεγαλύτερη του $\epsilon$ , η γραμμή χωρίζεται σε δυο τμήματα σε αυτό το σημείο και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. (βλέπε Εικόνα 1-17)	Βελτιώσεις: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Wilatecki Lakamperiams (1987): όταν η γραμμή αναπαριστά σύνορο κλειστού πολυγώνου για διατήρηση του εμβαδού του πολυγώνου.</li> <li>▪ VanOosterom (1995), Cromley (1991), Buttenfield (1985): Δομή δένδρου για γενίκευση on the fly</li> <li>▪ Στο λογισμικό LSL ο αλγόριθμος ακολουθείται από έναν αλγόριθμο γεωμετρικής εκκαθάρισης.</li> <li>▪ Zhang &amp; Tian (1997): Βελτίωση ώστε να κινείται το γραμμικό τμήμα μόνο προς μια κατεύθυνση της γραμμής.</li> <li>▪ Saafeld (1998), deBerg et al.</li> </ul>

			<p>(1995) : Τοπολογικά συνεπής γραμμική απλοποίηση χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Douglas Peucker.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MuLatecki Lakamperer (1990b) &amp; Beard (1991): Βελτιστοποίηση του αλγορίθμου με απαλοιφή τοπολογικών σφαλμάτων.</li> </ul>
14	Van Horn grid (1986)	<p>Δεδομένου ενός κανάβου, μετατίθεται κάθε σημείο της γραμμής στον κοντινότερο κόμβο του κανάβου.</p> <p>Παράμετρος: το μέγεθος του κανάβου (βλέπε Εικόνα 1-21)</p>	<p>Συχνά δημιουργεί το φαινόμενο η γραμμή να τέμνει τον εαυτό της (Mustiere, 1998)</p>
15	Αλγόριθμος που βασίζεται στη φυσική αρχή της αντικειμενικής γενίκευσης (Li and Openshaw, 1992)	<p>Προτείνονται 3 παρόμοιοι αλγόριθμοι. Περιγράφεται ο αλγόριθμος κανονικοποιημένης- διανυσματικής δομής.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ορίζεται το μέγεθος του φατνίου. Ο κανάβος τοποθετείται πάνω από την αρχική γραμμή ώστε το αρχικό σημείο της γραμμής να είναι το κέντρο ενός φατνίου.</li> <li>- Υπολογίζονται οι τομές του κανάβου με τη γραμμή.</li> <li>- Τα μέσα σημεία των γραμμικών τμημάτων μεταξύ δυο διαδοχικών σημείων τομής ενώνονται και δίνουν την απλοποιημένη γραμμή.</li> </ul> <p>[Παράμετροι: ελάχιστο ορατό αντικείμενο. Από αυτή την τιμή υπολογίζεται το μέγεθος του κανάβου/ το μήκος του βήματος.] (βλέπε Εικόνες 1-3, 1-4, 1-5)</p>	<p>Ο αλγόριθμος λειτουργεί σε δομή κανονικοποιημένη, διανυσματική και δομή κανονικοποιημένη διανυσματική ( Li and Openshaw, 1992).</p> <p>Παρόμοιος με τον αλγόριθμο του van Horn ο οποίος λειτουργεί σε κανονικοποιημένη δομή.</p>

16	Whirpool (Dougenik, 1980)	<p>Η αρχή του αλγορίθμου είναι να αντικατασταθεί ένα τμήμα των σημείων της γραμμής από ένα αντιπροσωπευτικό σημείο.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Δυο σημεία είναι γειτονικά εάν η απόστασή τους είναι μικρότερη από <math>\epsilon</math>.</li> <li>- Ένα σύνολο σημείων ενός τμήματος, οπουδήποτε κι αν είναι, συνδέονται μεταξύ τους με σχέσεις γειννίαςσης.</li> </ul> <p>(βλέπε Εικόνα 1-16)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Πρέπει να γίνεται εκτίμηση προκειμένου να αποφευχθεί η διαγραφή του σχήματος μεταξύ δυο διαδοχικών τμημάτων.</li> <li>- «Τελικά, η απόσταση ανάμεσα στα εναπομείναντα σημεία είναι πάντα μεγαλύτερη από το <math>\epsilon</math> το οποίο μπορεί να είναι το πάχος της γραμμής. Σ' αυτή την περίπτωση ο Whirpool μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να αποφευχθεί την σύμπτωση του συμβόλου της γραμμής» (IGN,1997-1998)</li> <li>- Ένα βασικό πλεονέκτημα πηγάζει από την έλλειψη δυνατότητας να εντοπιστούν αντιθέσεις μεταξύ των σημείων που βρίσκονται πολύ κοντά στα τμήματα της γραμμής.</li> <li>- Ο αλγόριθμος Li &amp; Openshaw (1992) οδηγεί σε παρόμοια αποτελέσματα.</li> </ul>
17	Γενίκευση έψιλον (Perkal,1966)	<p>Τοποθετείται ένα κύκλος διαμέτρου <math>\epsilon</math> μέσα σε μια περιοχή. Ο κύκλος περιστρέφεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παραμένει μέσα στην περιοχή.</p> <p>(βλέπε Εικόνα 1-20)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Προβλήματα (Mustiere,1998): κακή εξομάλυνση ημιτονοειδών γραμμών.</li> <li>- Ο αλγόριθμος παράγει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με την</li> </ul>

			<p>πλευρά στην οποία εφαρμόζεται.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Δεν εφαρμόστηκε από τον Perkal. Για την εφαρμογή αναζήτηση στους: Brophy (1973), Deugenik's Whirlpool (1980), Mustiere (1998).</li> </ul>
18	<p>Γραμμική γενίκευση βάσει χαρακτηριστικών υψηλού επιπέδου. (Wang &amp; Muller, 1998)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ανίχνευση καμπυλών με κατάτμηση μιας γραμμής σε θετικές και αρνητικές καμπές.</li> <li>- Υπολογισμός της συνοχής κάθε καμπής ώστε να κριθεί η σημασία της.</li> <li>- Διαγραφή των μικρών καμπών.</li> </ul> <p>[Παράμετρος: κατώφλι για διαγραφή των καμπών]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Οι σημαντικές καμπές παραμένουν ενώ οι μικρές διαγράφονται ( Wang &amp; MuLatecki Lakamperer, 1998).</li> <li>- Η ίδια αρχή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συνδυασμό των καμπών ή μεγέθυνσή τους.</li> <li>- Πραγματοποιήθηκε εμπειρική και κριτική εκτίμηση της διαδικασίας από τον Visvalingam (GIS, 1999).</li> <li>- Ο αλγόριθμος έχει ενσωματωθεί στην εντολή Bend Simplify του Arc Info.</li> </ul>
19	<p>Γενίκευση σύνθετων ακτογραμμών (Wang &amp; Muller, 1993)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ανίχνευση των ποταμών και των...(necks)</li> <li>- Ιεραρχία των ποταμών</li> <li>- Επιλογή και διαγραφή των ποταμών</li> <li>- Μεγέθυνση ποταμών και απλοποίηση.</li> </ul> <p>Διάφορες παράμετροι.</p>	<p>Πολύ εξειδικευμένη λύση για ποταμούς ή ακτογραμμές.</p> <p>Ο αλγόριθμος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για επιλογή.</p>

20	Αλγόριθμος του Orheim (1981, 1982) (McMaster 1987)	<p>Ο αλγόριθμος εξετάζει πέρα από τους άμεσους γείτονες ενός σημείου προκειμένου να αποφανθεί εάν το σημείο πρέπει να εξαλειφθεί ή όχι.</p> <p>Αρχικά ορίζεται η περιοχή ελέγχου από μια ελάχιστη και μια μέγιστη απόσταση. Έπειτα από τον ορισμό της περιοχής ελέγχου, εντοπίζονται τα σημεία που συμπεριλαμβάνονται στα όρια της ελάχιστης απόστασης και εξαλείφονται. Όταν η γραμμή ξεπεράσει την περιοχή ελέγχου, ορίζεται ένας νέος διάδρομος και διατηρείται το τελευταίο σημείο που είναι μέσα στην περιοχή. (βλέπε Εικόνα 1-12)</p>	Ο αλγόριθμος προκαλεί μικρή επιφανειακή μετάθεση ανάμεσα στην αρχική και τη γενικευμένη γραμμή.
21	Αλγόριθμος του Johannsen (1974) (McMaster 1987)	<p>Είναι αλγόριθμος τοπικής επεξεργασίας με περιορισμούς. Ο χρήστης πρέπει να ορίσει 3 παραμέτρους ( μήκος χορδής, chord increment, απόσταση ανοχής). Αρχικά το μήκος χορδής επεκτείνεται μέχρι να τμήσει τη γραμμή. Υπολογίζονται όλες οι κάθετες αποστάσεις από τις κορυφές της γραμμής ως προς τη χορδή. Έπειτα το μήκος χορδής μετακινείται όσο το chord increment, υπολογίζονται πάλι οι κάθετες αποστάσεις απ' τα ενδιάμεσα σημεία και προστίθενται σε αυτές που είχαν υπολογιστεί στο πρώτο βήμα κ.ο.κ. Με το άθροισμα των κάθετων αποστάσεων ταυτοποιούνται τα ακραία σημεία. Κάθε ζεύγος συντεταγμένων του οποίου το άθροισμα των αποστάσεων είναι μικρότερο από τη ανοχή εξαλείφεται. (βλέπε Εικόνα 1-13, 1-14)</p>	Ο αλγόριθμος προκαλεί μεγάλη επιφανειακή μετάθεση ανάμεσα στην αρχική και τη γενικευμένη γραμμή.
22	Αλγόριθμος Zhao & Shaafeld (?)	Είναι ένας αλγόριθμος τοπικής επεξεργασίας χωρίς περιορισμούς.	Είναι παρόμοιος με τον αλγόριθμο

		<p>Αρχικά ορίζεται μια γωνιακή ανοχή. Ξεκινάει από το πρώτο γραμμικό τμήμα της γραμμής που ορίζεται από τα σημεία <math>p_0</math> και <math>p_1</math> και προσπαθεί να εντοπίσει το σημείο <math>p_i</math> που είναι εκτός της γωνίας που έχει ορίσει την ανοχή και διατηρεί το γραμμικό τμήμα <math>p_0</math>-<math>p_i</math>. Έπειτα επαναλαμβάνει τη διαδικασία με αρχή το σημείο <math>p_i</math> μέχρι να φτάσει στην τελευταία κορυφή της γραμμής.</p>	<p><math>\epsilon</math>. Είναι γρήγορος και απλός αλλά πολλές φορές διατηρεί περιττά γραμμικά τμήματα.</p>
--	--	---	---

Πίνακας 2-1: Αλγόριθμοι απλοποίησης γραμμικών οντοτήτων

### 2.3 Κριτική Αξιολόγηση αλγορίθμων βάσει βιβλιογραφίας

Ο αλγόριθμος Douglas- Peucker (1973) σύμφωνα με τους Visvalingam and Whyatt (1990) προκαλεί διάφορα προβλήματα. Παραδείγματος χάριν, τα κρίσιμα σημεία που επιλέγονται δεν είναι αυτά που θεωρούνται κατά την αναλυτική γενίκευση ως τα πιο σημαντικά που πρέπει να διατηρηθούν αλλά σημεία που σχηματίζουν απότομες καμπές (τα οποία μπορεί να οφείλονται σε σφάλμα κατά την ψηφιοποίηση).

Οι Monmonier (1986) και Thara (1988), ισχυρίστηκαν ότι αυτός ο αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για μικρές μεταβολές της κλίμακας. Επιπροσθέτως, τονίζουν ότι προκαλεί συχνά τοπολογικά σφάλματα (οι γραμμές μετά την απλοποίηση τέμνουν τον εαυτό τους και σχηματίζονται κλειστά πολύγωνα) και ο Thara (1988) σημειώνει ότι το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται σε μεγάλο βαθμό εξάλειψης σημείων από την αρχική γραμμή. Προκειμένου να επιλυθεί το πρόβλημα της αυτό-τμησης της γραμμής οι de Berg et al. (1997) εφαρμόζουν μια τεχνική από την υπολογιστική γεωμετρία.

Παρά τα προβλήματα που παρουσιάζονται μετά την εφαρμογή του αλγορίθμου Douglas-Peucker (1973), θεωρείται από τις πιο αποτελεσματικές μεθόδους γενίκευσης (McMaster 1983; White 1985).

Σύμφωνα με τον Muller (1987) όλοι οι αλγόριθμοι τείνουν να παράγουν γραμμές με μικρότερη κλασματική διάσταση απ' ό,τι η αρχική γραμμή. Ωστόσο, για τις ακτογραμμές, ο βαθμός πολυπλοκότητας διατηρείται καλύτερα μέσω του αλγορίθμου Douglas- Peucker (1973) καθώς η απλοποιημένη γραμμή έχει έντονες καμπές και είναι caricatural. Ο Muller, όπως και ο McMaster τονίζουν ότι ο αλγόριθμος μειώνει τη συνολική επιφανειακή μετάθεση μεταξύ της αρχικής και της απλοποιημένης γραμμής.

Όσον αφορά τον αλγόριθμο Li- Openshaw (1992), ο Weibel (1996) έπειτα από κριτική εκτίμηση των διαθέσιμων αλγορίθμων, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι είναι ο αλγόριθμος ο οποίος είναι ικανός να εγγυηθεί την παραγωγή γραμμών οι οποίες δεν τέμνουν τον εαυτό τους.

Τέλος, όσον αφορά τον αλγόριθμο Visvalingam and Whyatt είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος βασίζεται σε υπάρχουσες χαρτογραφικές αρχές. Μικρές οντότητες αυτομάτως εξαλείφονται καθώς περικλείονται σε μικρές περιοχές. Επιτυγχάνεται ταυτόχρονα ελάχιστη απλοποίηση και γενίκευση caricatural. Ο αλγόριθμος στηρίζεται στην εξάλειψη πρώτα των μικρών οντοτήτων πριν μεταβληθούν οι μεγαλύτερες οντότητες. Ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για γενίκευση που εξαρτάται ή όχι από την κλίμακα (Robinson et al.,

1984). Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι πως τα κατώφλια των τιμών πρέπει να εντοπιστούν μέσω πολλαπλών δοκιμών και επομένως η επιλογή τους παραμένει υποκειμενική.

#### 2.4 Τεκμηρίωση των αλγορίθμων που θα αξιοποιηθούν για πειραματική έρευνα

Μέσω της επισκόπησης των αλγορίθμων της απλοποίησης και της εξομάλυνσης των γραμμικών τμημάτων, έχουν εξαχθεί διάφορα συμπεράσματα (τα οποία έχουν αναλυθεί εκτενώς σε προηγούμενη παράγραφο του κεφαλαίου) ως προς την καταλληλότητά τους και τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την εφαρμογή τους.

Ως προς τους αλγορίθμους απλοποίησης, δεν κρίνεται σκόπιμη η εφαρμογή των αλγορίθμων *n*-οστού σημείου, τυχαίου σημείου, πάχους συμβόλου γραμμής καθώς και ο τοπικός αλγόριθμος επεξεργασίας του McMaster (1987). Οι αλγόριθμοι αυτοί παρά το γεγονός ότι είναι εύκολα εφαρμόσιμοι, δεν ακολουθούν χαρτογραφική προσέγγιση και επομένως δεν οδηγούν σε ορθά αποτελέσματα. Επίσης, ο αλγόριθμος του Perkal (1966) δεν θεωρείται αξιόπιστος καθώς παράγει διαφορετικά αποτελέσματα ανάλογα με την πλευρά της γραμμής στην οποία εφαρμόζεται.

Ενδιαφέρουσα ωστόσο, είναι η εφαρμογή του αλγορίθμου Douglas Peucker (1973) και των βελτιώσεων αυτού από διάφορους χαρτογράφους (de Berg et al., 1997). Ο αλγόριθμος προτείνεται να εφαρμοστεί σε ακτογραμμές, όπου σύμφωνα με τον Muller (1987) παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η εφαρμογή του αλγορίθμου πρέπει να γίνει για διάφορες μεταβολές κλιμάκων ώστε να διαπιστωθεί η εγκυρότητα του ισχυρισμού ότι είναι κατάλληλος μόνο για μικρές μεταβολές.

Επιπλέον, ο αλγόριθμος Visvaligam & Whyatt (1993) είναι σύμφωνα με τη βιβλιογραφία ένας αλγόριθμος, ο οποίος ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της χαρτογραφικής γενίκευσης. Προτείνεται η εφαρμογή του αλγορίθμου σε διάφορες κλίμακες με πολλαπλές δοκιμές, ώστε να εξαχθούν ικανοποιητικές τιμές για τα κατώφλια της ανοχής. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ο αλγόριθμος Visvaligam & Whyatt (1993) δεν προκαλεί μεγάλη επιφανειακή μετάθεση. Ενδιαφέρον θα παρουσίαζε η εφαρμογή του αλγορίθμου σε φυσικές χαρτογραφικές γραμμικές οντότητες, ώστε να διαπιστωθεί αν είναι εξίσου αποτελεσματικός σε σύνθετες γραμμικές οντότητες.

Όσον αφορά τον αλγόριθμο Li - Openshaw (1992) πρέπει να εφαρμοστεί σε γραμμικές οντότητες, που ποικίλουν ως προς την πολυπλοκότητά τους προκειμένου να διαπιστωθεί εάν είναι ικανός να εγγραφεί την παραγωγή γραμμών οι οποίες δεν τέμνουν τον εαυτό τους ακόμα και σε γραμμικά τμήματα με έντονη πολυπλοκότητα.



Τέλος, ως αξιόπιστος κρίνεται και ο αλγόριθμος απλοποίησης Wang & Muller (1998) ο οποίος έχει ενσωματωθεί στο λογισμικό του GIS με την ονομασία Bend Simplify. Ο αλγόριθμος έχει χαρτογραφική λογική και κρίνεται απαραίτητη η εφαρμογή του και η εκτίμηση των αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα της εφαρμογής μπορούν να συγκριθούν με αξιοποίηση παραμέτρων που έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία (McMaster, Σκοπελίτη 2001) προκειμένου έτσι να διαπιστωθεί η μεταβολή της μορφής και της οριζοντιογραφικής θέσης που το προκαλούν στις γραμμικές οντότητες ανάλογα με την μορφή τους.

### **3 ΜΕΤΡΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ**

#### 3.1 Εισαγωγή

Η διεθνής βιβλιογραφία που παρατίθεται στη συνέχεια τεκμηριώνει το γεγονός πως η επιτυχής υλοποίηση της αυτοματοποιημένης γενίκευσης και η *a posteriori* εκτίμηση του αποτελέσματός της θα είναι εφικτή εάν συνδεθεί τόσο με τη μορφή των γραμμικών τμημάτων τα οποία υφίστανται γενίκευση και τη μεταβολή αυτής, όσο και τη μεταβολή της οριζοντιογραφικής τους θέσης.

Σύμφωνα με τους Plazanet et al. (1994), «Ο χαρτογράφος που γενικεύει σε αναλογικό περιβάλλον έχει μια συνολική και συνεχή αντίληψη της γραμμής. Λαμβάνει υπ' όψιν του τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καμπύλης, και είναι ικανός να αποδώσει τα κυριότερα από αυτά. Η γνώση της μορφής της γραμμής του επιτρέπει τη δημιουργία μιας σωστά γενικευμένης απόδοσης. Κριτήριο για την εκτίμηση της ποιότητας της γενίκευσης είναι εκτός από τη γεωμετρική ακρίβεια και η διατήρηση των χαρακτηριστικών μορφών των γεωγραφικών οντοτήτων».

Επίσης, ο Reichenbacher (1995) σημειώνει πως « Τα μέτρα περιγραφής του σχήματος επιτυγχάνουν την περιγραφή της δομής των οντοτήτων στη χαρτογραφική βάση δεδομένων (δομική γνώση). Με τον τρόπο αυτό, η διαδικαστική γνώση μπορεί να παρακολουθηθεί και να συνδεθεί με τη δομική γνώση επιτρέποντας την απάντηση ερωτημάτων όπως ποιος αλγόριθμος γενίκευσης και ποιες παράμετροι πρέπει να επιλεγούν για μια συγκεκριμένη ενέργεια ανάλογα με την οντότητα, την κλίμακα και την πολυπλοκότητα της γραμμής.»

Τέλος, η Σκοπελίτη (2002) τονίζει πως « η μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης καθώς και η μεταβολή της μορφής είναι συνάρτηση της αρχικής μορφής της γραμμικής οντότητας. Επομένως, για τη διερεύνηση του σφάλματος ψηφιακής καταγραφής και χαρτογραφικής γενίκευσης ως συνάρτησης της μορφής, απαιτείται ο συνδυασμός των μέτρων που εκτιμούν το σφάλμα και των μέτρων που περιγράφουν τη μορφή των φυσικών γραμμικών οντοτήτων.»

#### 3.2 Μέτρα υπολογισμού της μεταβολής της μορφής των γραμμικών τμημάτων μέσω της απλοποίησης

##### 3.2.1 *Βιβλιογραφική μελέτη του συνόλου των διαθέσιμων μέτρων υπολογισμού της μορφής των γραμμικών τμημάτων*

Χαρτογράφοι όπως McMaster (1986), Buttenfield (1992) , Plazanet et al. (1995), Σκοπελίτη (2001) μελέτησαν τα κριτήρια από τα οποία κρίνεται το σχήμα μιας γραμμής μέσω

πειραματικών μεθόδων και κατέληξαν σε παραμέτρους οι οποίες είναι κατάλληλες για την περιγραφή της μεταβολής της μορφής των γραμμικών οντοτήτων λόγω της γενίκευσης.

Έτσι, ο McMaster (1995) ορίζει ως κριτήρια τη βασική ημιτονικότητα και την διεύθυνση της γραμμής ενώ η Buttenfield (1985) χρησιμοποιώντας ένα δείγμα τριών (3) γραμμών αποδεικνύει ότι κάθε μια από αυτές αποτελείται από δυο τμήματα που διαφέρουν ως προς το εύρος – πλάτος (amplitude of detail), τη γωνιότητα (angularity) και την πυκνότητα ή συχνότητα (higher frequency or density of detail). Οι Plazanet et al. (1995) ισχυρίζονται ότι η εντύπωση που προκαλεί στον παρατηρητή μια γραμμή είναι συνισταμένη τριών (3) παραγόντων : της ημιτονοειδούς μορφής , της ομοιογένειας και της πυκνότητας που εξετάζονται σε συνολικό, μέσο και τοπικό επίπεδο αντίληψης.

Οι παράμετροι που έχουν προταθεί μπορούν να διαχωριστούν σε αυτές που υπολογίζονται σε ένα επίπεδο ανάλυσης και σε αυτές που υπολογίζονται σε περισσότερα επίπεδα ανάλυσης.

#### 3.2.1.1 Σύνολο παραμέτρων υπολογισμένων σε ενιαίο επίπεδο ανάλυσης

Ο Mc Master (1986) εισήγαγε δυο ομάδες παραμέτρων προκειμένου να αξιολογήσει τη μεταβολή της μορφής των γραμμών λόγω των αλγορίθμων απλοποίησης. Η πρώτη ομάδα παραμέτρων περιγράφει τη μεταβολή των ιδιοτήτων των γραμμών πριν και μετά τη γενίκευση και η δεύτερη ομάδα περιγράφει τη μετάθεση ανάμεσα στις γραμμές, πριν και μετά τη γενίκευση.

Αρχικά οι παράμετροι που μελετήθηκαν από τον Mc Master ήταν οι εξής:

### **Ομάδα 1. Μεγέθη μέτρησης των ιδιοτήτων των γραμμών πριν και μετά τη γενίκευση**

#### **1 Μήκος γραμμής (line length)**

1.1 Μεταβολή μήκους γραμμής

#### **2 Αριθμός κορυφών (coordinate numbers)**

2.1 Μεταβολή του αριθμού κορυφών

2.2 Μεταβολή του μέσου αριθμού κορυφών ανά μονάδα μήκους

2.3 Μεταβολή της τυπικής απόκλισης του αριθμού κορυφών ανά μονάδα μήκους

#### **3 Γωνιότητα (angularity)**

3.1 Λόγος της μεταβολής γωνιότητας

3.2 Λόγος μεταβολής θετικής γωνιότητας

3.3 Λόγος μεταβολής αρνητικής γωνιότητας

3.4 Διαφορά της μέσης γωνιακής μεταβολής ανά μονάδα μήκους

3.5 Διαφορά της μέσης γωνιακής μεταβολής ανά γωνία

- 3.6 Λόγος μεταβολής του αριθμού των θετικών γωνιών
- 3.7 Λόγος μεταβολής του αριθμού αρνητικών γωνιών
- 3.8 Διαφορά της μέσης θετικής γωνιακής μεταβολής ανά γωνία
- 3.9 Διαφορά της μέσης αρνητικής γωνιακής μεταβολής ανά γωνία

#### **4 Καμπυλότητα (curvilinearity)**

- 4.1 Λόγος μεταβολής του αριθμού των καμπύλων τμημάτων
- 4.2 Λόγος μεταβολής του μέσου αριθμού των καμπύλων τμημάτων
- 4.3 Λόγος μεταβολής του μέσου μήκους ενός καμπύλου τμήματος
- 4.4 Λόγος μεταβολής της τυπικής απόκλισης του μέσου μήκους ενός καμπύλου τμήματος

### **Ομάδα 2. Μεγέθη μέτρησης της μετάθεσης ανάμεσα στις αρχικές και τις γενικευμένες γραμμές.**

#### **5 Διανυσματική εκτίμηση της επιφάνειας μετάθεσης (vector displacement)**

- 5.1 Συνολική διανυσματική μεταβολή ανά μονάδα μήκους
- 5.2 Πλήθος διανυσμάτων θετικής μεταβολής ανά μονάδα μήκους
- 5.3 Πλήθος διανυσμάτων αρνητικής μεταβολής ανά μονάδα μήκους
- 5.4 Συνολικό μήκος θετικής διανυσματικής μεταβολής ανά μονάδα μήκους
- 5.5 Συνολικό μήκος αρνητικής διανυσματικής μεταβολής ανά μονάδα μήκους

#### **6 Εμβαδόν επιφάνειας μετάθεσης (areal displacement)**

- 6.1 Συνολική μεταβολή εμβαδού ανά μονάδα μήκους
- 6.2 Αριθμός πολυγώνων θετικού εμβαδού ανά μονάδα μήκους
- 6.3 Αριθμός πολυγώνων αρνητικού εμβαδού ανά μονάδα μήκους
- 6.4 Συνολική μεταβολή θετικού εμβαδού ανά μονάδα μήκους
- 6.5 Συνολική μεταβολή αρνητικού εμβαδού ανά μονάδα μήκους

#### **7 Περίμετρος (perimeter displacement) επιφάνειας μετάθεσης**

- 7.1 Συνολική περίμετρος της επιφανειακής διαφοράς
- 7.2 Συνολική περίμετρος της θετικής επιφανειακής διαφοράς
- 7.3 Συνολική περίμετρος της αρνητικής επιφανειακής διαφοράς

Ο Mc Master μελέτησε τις παραπάνω παραμέτρους μέσω της χρήσης πινάκων συσχέτισης, ανάλυσης βασικών συνιστωσών και τη χαρτογραφική κρίση, κατέληξε στις εξής έξι παραμέτρους:

- 1. Ποσοστό μεταβολής του αριθμού συντεταγμένων
- 2. Ποσοστό μεταβολής της τυπικής απόκλισης του αριθμού συντεταγμένων
- 3. Ποσοστό μεταβολής της γωνιότητας
- 4. Συνολικό μήκος διανυσματικής μετάθεσης ανά μονάδα μήκους
- 5. Συνολικό εμβαδόν επιφανειακής μετάθεσης ανά μονάδα μήκους
- 6. Ποσοστό μεταβολής του αριθμού καμπύλων τμημάτων

Ο Jasinski(1990) χρησιμοποίησε τις ακόλουθες παραμέτρους προκειμένου να αξιολογήσει το αποτέλεσμα της γενίκευσης:

1. Μέσο μήκος τμημάτων (average segment length)
2. Μέση διανυσματική μετάθεση (average vector displacement from baseline)
3. Μέση γωνιότητα (average angularity)
4. Λόγος καμπυλότητας (Curvilinearity ratio)
5. Κλασματική διάσταση (fractal dimension)

Από τις παραπάνω παραμέτρους που προτάθηκαν από τους Mc Master και Jasinski για τον υπολογισμό της μεταβολής της μορφής της γραμμής μετά τη γενίκευση, μόνο οι ακόλουθες μπορούν να υπολογιστούν επί της αρχικής γραμμής και να χρησιμοποιηθούν για διαχωρισμό των αρχικών γραμμών βάσει της μορφής τους:

1. Μήκος γραμμής (line length)
2. Αριθμός κορυφών (coordinate numbers)
3. Μέση γωνιότητα (angularity)
4. Καμπυλότητα (Curvilinearity)
5. Μέσο μήκος τμημάτων γραμμής
6. Κλασματική διάσταση

### 3.2.1.2 Σύνολο παραμέτρων υπολογισμένων σε πολλά επίπεδα ανάλυσης - Ομάδα παραμέτρων που προτάθηκαν από την Bernhardt

Η Bernhardt (1992) προτείνει για την εκτίμηση των αποτελεσμάτων της γενίκευσης τις παρακάτω παραμέτρους:

- Κλασματική διάσταση (Fractal dimension)
- Μέση γωνιότητα (Average angularity)
- Μέση απόλυτη γωνιότητα (Average angularity magnitude)
- Λόγος καμπυλότητας (Curvilinearity ratio)
- Μέση απόκλιση από τη γραμμή βάσης (Average displacement from the baseline)
- Μέση απόκλιση κατά απόλυτη τιμή από τη γραμμή βάσης (Average displacement magnitude from the baseline)

Η Bernhardt (1992) στη μελέτη της προτείνει την κατασκευή διαγράμματος με τις τιμές των παραμέτρων της γωνιότητας και της καμπυλότητας, που υπολογίζονται για διάφορα «εύρη κορυφών». Δεδομένου ότι η παράμετρος γωνιότητας μετρά τη γωνία που σχηματίζουν τρεις διαδοχικές κορυφές της γραμμής και προκειμένου να καταγραφούν τα διάφορα επίπεδα λεπτομέρειας που υπολογίζονται σε μια γραμμή, για κάθε γραμμή χρησιμοποιείται ένα «διάγραμμα γωνιότητας» αντί για μια μεμονωμένη τιμή.

Για διαφορετικά εύρη κορυφών υπολογίζονται οι τιμές γωνιότητας και απεικονίζονται σε ένα διάγραμμα. Στον άξονα χχ' απεικονίζεται το εύρος κορυφών και στον άξονα γγ' η μέση απόλυτη γωνιότητα. Διαφορετικά εύρη κορυφών σημαίνει ότι ο αλγόριθμος αρχικά χρησιμοποιεί τριάδα σημείων άμεσα διαδοχικών (π.χ. 135, 234, 345 κ.λ.π.), στη συνέχεια τριάδες σημείων που απέχουν δυο κορυφές (π.χ. 135, 246, 357 κ.λ.π.), 3 κορυφές (π.χ. 147, 258, 369 κ.λ.π) μέχρι κάποιο προκαθορισμένο όριο. Τα διαγράμματα που δημιουργούνται με τη μέθοδο αυτή, είναι μέτρα της αρχικής γραμμής. Όλες οι κορυφές διατηρούνται και συμμετέχουν στο τελικό μέσο όρο. Παρόμοια διαγράμματα σχεδιάζονται για όλες τις παραμέτρους που προτείνει η Bernhardt (1992) αφού υπολογιστούν οι τιμές τους για διάφορα εύρη κορυφών.

Σύμφωνα με την Bernhardt (1992), πέντε χαρακτηριστικά των διαγραμμάτων πρέπει να ελεγχθούν για την ομαδοποίηση:

- Η μέγιστη τιμή
- Η συνοπτική περιγραφή των υπόλοιπων τιμών π.χ. μέσος όρος, τυπική απόκλιση
- Ο αριθμός και το είδος των κορυφών και των κοιλωμάτων
- Η κλίση των κορυφών και των κοιλωμάτων
- Η διάρκεια των κορυφών και των κοιλωμάτων

Από τη μελέτη των παραπάνω διαγραμμάτων εξάγονται τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το διάγραμμα της μέσης απόλυτης γωνιότητας παρέχει πληροφορία για τη χαρτογραφική γραμμή καθώς είναι ομαλό.
- Το διάγραμμα μέσης γωνιότητας υπολογισμένης σε διάφορα εύρη κορυφών δεν παρέχει σημαντική πληροφορία καθώς κατά την άθροιση των γωνιών με το πρόσημό τους, οι αρνητικές γωνίες ακυρώνουν τις θετικές. Όμως μέσω αυτού του διαγράμματος είναι δυνατό να διαχωριστούν οι γραμμές με ένα βασικό τόξο καθώς τα διαγράμματα τους παρουσιάζουν γραμμική μορφή. Το πρόσημο της κλίσης του διαγράμματος δείχνει τη διεύθυνση προς την οποία τείνει να κυρτώσει η γραμμή. Οι αρνητικές κλίσεις υποδεικνύουν γραμμές που κυρτώνουν προς τα δεξιά και οι θετικές κλίσεις γραμμές που κυρτώνουν προς τα αριστερά. Ο βαθμός κυρτότητας εξαρτάται από το μέγεθος της κλίσης.
- Το διάγραμμα του λόγου καμπυλότητας υπολογισμένης σε διάφορα εύρη κορυφών δεν παρέχει πληροφορία καθώς έχει όμοια μορφή για όλες τις γραμμές.

3.2.2 Επιλογή των καταλληλότερων μέτρων υπολογισμού της μορφής των γραμμικών τμημάτων και της μεταβολής της μέσω της γενίκευσης

Βάσει έρευνας που έχει προηγηθεί για την επιλογή των βέλτιστων παραμέτρων περιγραφής της μορφής των χαρτογραφικών γραμμικών τμημάτων και της μεταβολής της (Σκοπελίτη

2002, Τζαμάκου 2004) επιλέγονται ως παράμετροι που περιγράφουν καλύτερα την μορφή των γραμμικών χαρτογραφικών οντοτήτων οι ακόλουθες:

- Μέση γωνιότητα (average angularity)
- Μέση απόλυτη γωνιότητα (average magnitude angularity)
- Διακύμανση σφάλματος (error variance)

Οι παράμετροι αυτές έχουν επιλεγεί τόσο μέσω της στατιστικής μεθόδου της παραγοντικής ανάλυσης όσο και μέσω πειραματικής διαδικασίας (Τζαμάκου, 2004) μέσω της οποίας τεκμηριώνεται ότι:

- Οι γραμμές που χαρακτηρίζονται από διαφορετικό βαθμό πολυπλοκότητας της ημιτονοειδούς μορφής είναι δυνατό να διαχωριστούν μεταξύ τους βάσει του διαγράμματος μέσης απόλυτης γωνιότητας υπολογισμένης για διάφορα εύρη κορυφών.
- Οι γραμμές που τείνουν σε ευθείες είναι δυνατό να διαχωριστούν από τις υπόλοιπες μέσω των παραμέτρων της μέσης τιμής του διαγράμματος μέσης γωνιότητας και της προσαρμογής της  $y=a \times b$  στο διάγραμμα διακύμανσης σφάλματος και κατάταξης των γραμμών βάσει του συντελεστή  $a$ .
- Τέλος, οι γραμμές που έχουν ένα ισχυρό τόξο μπορούν να διαχωριστούν από τις υπόλοιπες μέσω του διαγράμματος μέσης γωνιότητας .

Ταυτόχρονα οι τρεις αυτές παράμετροι παρουσιάζουν μικρό συσχετισμό μεταξύ τους κατά την εφαρμογή της παραγοντικής ανάλυσης και κατά συνέπεια θεωρούνται οι πιο αντιπροσωπευτικές για την περιγραφή της μορφής των γραμμικών οντοτήτων που ποικίλουν ως προς τη μορφή τους.

Η εκτίμηση της ποιότητας των αποτελεσμάτων της γενίκευσης απαιτεί περιγραφή της μορφής των γραμμικών τμημάτων που προκύπτουν μέσω αυτής. Η μεταβολή της μορφής ενός γραμμικού τμήματος σε σχέση με τη μορφή του αρχικού γραμμικού τμήματος από το οποίο έχει προκύψει μπορεί να υπολογιστεί βάσει των παραμέτρων που έχουν προεπιλεγεί . Στην παραγοντική ανάλυση παρόμοιες τιμές των ανωτέρω παραμέτρων συνεπάγονται μεγάλο βαθμό ομοιότητας των γραμμών και επομένως η διαφορά των τιμών των παραμέτρων με τις οποίες έχουν περιγραφεί οι αρχικές και οι τελικές γραμμές υποδεικνύει τη μεταβολή της μορφής τους μέσω της γενίκευσης.

Βάσει των ανωτέρω, υιοθετούνται στη συγκεκριμένη έρευνα δύο προσεγγίσεις για τον υπολογισμό της μεταβολής της μορφής των γραμμικών τμημάτων:

α) Η περιγραφή της μορφής των τελικών γραμμικών τμημάτων μέσω των παραμέτρων και

β) Ο υπολογισμός της διαφοράς της μορφής των τελικών γραμμικών τμημάτων και της μορφής των αρχικών από τα οποία έχουν προκύψει (μεταβολή της μορφής).

Η περιγραφή της μορφής των τελικών γραμμικών τμημάτων ενσωματώνεται στην πειραματική διαδικασία μέσω της ακόλουθης μαθηματικής έκφρασης:

$$s = \sqrt{(avmang(m))^2 + (avang(m))^2 + (er\ var(m))^2}$$

Η περιγραφή της μεταβολής της μορφής των τελικών γραμμικών τμημάτων ενσωματώνεται στην πειραματική διαδικασία μέσω της ακόλουθης μαθηματικής έκφρασης:

$$ds = \sqrt{(avmang(m) - avmang(2m))^2 + (avang(m) - avang(2m))^2 + (er\ var(m) - er\ var(2m))^2}$$

Όπου  $m$  οι τιμές των παραμέτρων που αφορούν την τελική γραμμή και  $2m$  οι τιμές των παραμέτρων που αφορούν την αρχική γραμμή και

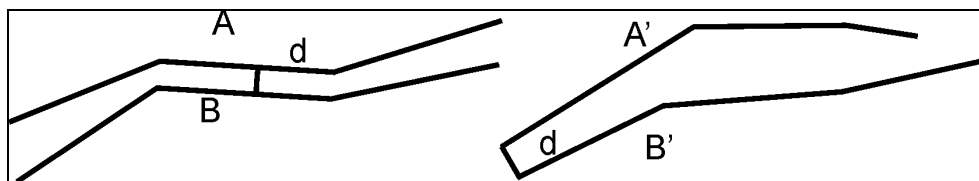
- Μέση γωνιότητα ( $avang$ )
- Μέση απόλυτη γωνιότητα ( $avmang$ )
- Διακύμανση σφάλματος ( $ervar$ )

### 3.3 Μέτρα υπολογισμού των αποκλίσεων γραμμικών οντοτήτων

Προκειμένου να προσδιοριστεί η απόκλιση των γενικευμένων γραμμικών οντοτήτων από τις αρχικές υπολογίζονται ορισμένα μέτρα απόκλισης των γραμμικών οντοτήτων όπως η Ευκλείδεια απόσταση, η απόσταση Hausdorff και η επιφανειακή μετάθεση.

#### 3.3.1 Η Ευκλείδεια απόσταση

Η Ευκλείδεια απόσταση ορίζεται ως η απόσταση μιας κορυφής μιας γραμμής A από την ορθή προβολή της σε μια γραμμή αναφοράς B.



Εικόνα 3-1: Οι γραμμές A και B και οι γραμμές A' και B' έχουν την ίδια γεωμετρική απόκλιση (Vauglin, 1997)

Οι McMaster και Jenks πρότειναν μέτρα τα οποία μέσω της Ευκλείδειας απόστασης υπολογίζεται η μετάθεση της γραμμής που προκύπτει μέσω ενός αλγορίθμου απλοποίησης από την αρχική γραμμή. Τα μέτρα που έχουν προταθεί είναι τα ακόλουθα:

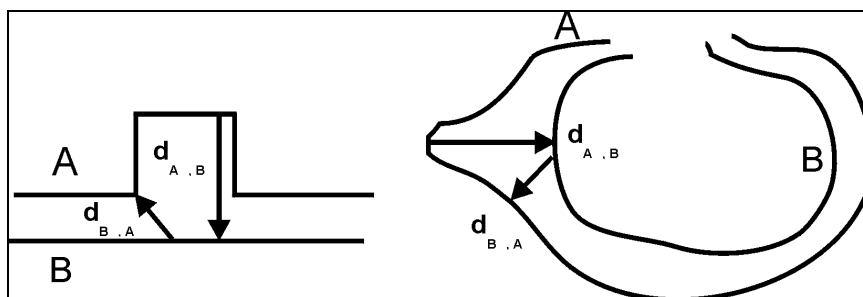


- Η διανυσματική απόσταση ανά μονάδα μήκους (McMaster, 1987) που υπολογίζεται ως ο λόγος του αθροίσματος των Ευκλείδειων αποστάσεων των κορυφών της γραμμής A από τη γραμμή B προς το συνολικό μήκος της γραμμής A.
- Το άθροισμα του μέτρου διανυσμάτων απόκλισης (Jenks, 1989) που υπολογίζεται ως το αλγεβρικό άθροισμα των Ευκλείδειων αποστάσεων των κορυφών της γραμμής A από τη γραμμή B.
- Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του αθροίσματος των Ευκλείδειων αποστάσεων των κορυφών της γραμμής A από τη γραμμή B (Jenks, 1989).

Στην παρούσα μελέτη υπολογίζεται η Ευκλείδεια απόσταση θεωρώντας ως γραμμή αναφοράς την αρχική γραμμή και υπό μελέτη γραμμή τη γραμμή που προκύπτει μέσω της γενίκευσης και αντίστροφα.

### 3.3.2 Η απόσταση Hausdorff

Έστω η υπό εξέταση γραμμή (A) και η γραμμή αναφοράς (B). Για κάθε σημείο της γραμμής A υπολογίζεται μέσω ορθής προβολής η απόσταση από τη γραμμή B που ονομάζεται  $d_i$ . Από το σύνολο των τιμών  $d_i$  επιλέγεται η μέγιστη  $\max(d_i)$ . Ομοίως για κάθε σημείο της γραμμής B υπολογίζεται μέσω ορθής προβολής η απόσταση από τη γραμμή A που ονομάζεται  $d_j$ . Από το σύνολο των τιμών  $d_j$  επιλέγεται η μέγιστη  $\max(d_j)$ . Επιλέγεται η μέγιστη των  $\max(d_i)$  και  $\max(d_j)$  και ονομάζεται απόσταση Hausdorff (Εικόνα 3- 2).



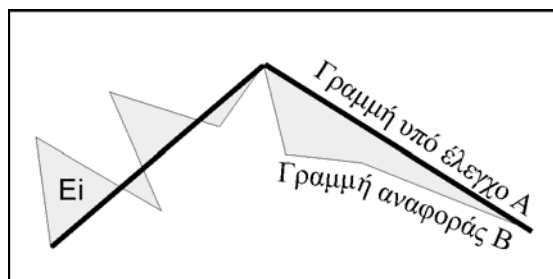
Εικόνα 3-2: Εκτίμηση της απόστασης Hausdorff ανάμεσα σε δυο γραμμές

Στη χαρτογραφία παρουσιάζεται η ιδιαιτερότητα πως η απόσταση της γενικευμένης γραμμής ως προς την αρχική είναι μεγαλύτερη από την απόσταση της αρχικής ως προς τη γενικευμένη. Για το λόγο αυτό συχνά για τον έλεγχο των αποτελεσμάτων της γενίκευσης προτιμάται η ημι- απόσταση Hausdorff που υπολογίζεται ως εξής:

$$DH_{A \rightarrow B} = (\text{Sup}_{x \in A} (\text{Inf}_{y \in B} d(x, y)))$$

### 3.3.3 Επιφάνεια απόκλισης

Κατά την επίθεση της αρχικής γραμμής και της γραμμής που προκύπτει από τη γενίκευση σχηματίζεται μια ενδιάμεση επιφάνεια της οποίας το εμβαδό αποτελεί μέτρο της απόκλισης των δυο γραμμών (Εικόνα 3- 3).



Εικόνα 3-3: Επίθεση της γραμμής υπό έλεγχο με τη γραμμή αναφοράς

Τα μέτρα της επιφανειακής απόκλισης που έχουν προταθεί για τον υπολογισμό της μετάθεσης μιας γραμμής που προκαλείται μέσω της γενίκευσης είναι τα ακόλουθα:

- Συνολικό εμβαδό επιφάνειας απόκλισης (McMaster, 1986; Jenks, 1989) που υπολογίζεται ως το άθροισμα των επιμέρους εμβαδών μεταξύ της αρχικής και της γενικευμένης γραμμής
- Συνολικό εμβαδόν επιφάνειας απόκλισης ανά μονάδα μήκους της γραμμής αναφοράς (McMaster, 1983) που υπολογίζεται ως ο λόγος του άθροισματος των επιμέρους εμβαδών μεταξύ της αρχικής και της γενικευμένης γραμμής προς το συνολικό μήκος της αρχικής γραμμής
- Η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των επιφανειών απόκλισης.
- Η περίμετρος της επιφάνειας απόκλισης ανά μονάδα μήκους της γραμμής αναφοράς (McMaster, 1983)

Στη συγκεκριμένη μελέτη υπολογίζονται για κάθε αλγόριθμο η μέγιστη και η μέση τιμή της απόστασης Hausdorff, η μέση Ευκλείδεια απόσταση της αρχικής προς τη γενικευμένη γραμμή και αντίστροφα και ο μέσος όρος του συνολικού εμβαδού ανά μονάδα μήκους.

## 4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 4.1 Προσδιορισμός του προβλήματος

Στόχος της πειραματικής διαδικασίας είναι η εφαρμογή των αλγορίθμων απλοποίησης, οι οποίοι έχουν επιλεγεί μέσω της βιβλιογραφικής μελέτης, σε γραμμές οι οποίες διαφέρουν ως προς την πολυπλοκότητά τους προκειμένου να διαπιστωθεί η μεταβολή της μορφής και η μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης που προκαλείται από την εφαρμογή των αλγορίθμων. Η μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης και της μορφής των γραμμών λόγω της γενίκευσης (απλοποίησης) εξαρτάται από τρεις παράγοντες (Skopeliti et al., 2007):

- Τον αλγόριθμο ως μηχανισμό μεταβολής της γεωμετρίας της γραμμής
- Τις τιμές των παραμέτρων ανοχής που ορίζονται κατά την εφαρμογή του αλγορίθμου
- Τη μορφή της γραμμής η οποία υφίσταται την διαδικασία της απλοποίησης

Προκειμένου να διερευνηθούν οι παραπάνω παράγοντες στη μελέτη επιλέγονται εννέα γνωστοί αλγόριθμοι (Ευκλείδεια απόσταση, Rewman - Witkam, Zhao and Saalfeld, Douglas Peucker, Visvalingam-Whyatt, Wall - Danielson, Latecki – Lakamper, Li&Openshaw, Bend Simplify) οι οποίοι στηρίζονται σε διαφορετικά γεωμετρικά κριτήρια για την απλοποίηση της γραμμής. Κατ' αυτόν τον τρόπο αναμένεται να διαπιστωθεί η επιρροή των αλγορίθμων ως μηχανισμών απλοποίησης στο αποτέλεσμα της γενίκευσης.

Επίσης, κατά την εφαρμογή των αλγορίθμων επιλέγεται ένα εύρος τιμών των παραμέτρων που μεταβάλλεται με μικρό βήμα προκειμένου να μελετηθεί ο ρυθμός μεταβολής του αποτελέσματος της γενίκευσης ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου ανοχής.

Τέλος, επιλέγεται ένα πλήθος γραμμών οι οποίες διαφέρουν ως προς τη μορφή. Οι γραμμές του δείγματος ταξινομούνται οπτικά σε τέσσερις ομάδες (προσομοιάζουσες με ευθείες, γραμμές με έντονη καμπυλότητα, ημιτονοειδείς και έντονα ημιτονοειδείς) προκειμένου να είναι ευκολότερα διακριτή η μεταβολή του αποτελέσματος της γενίκευσης ανάλογα με τη μορφή των αρχικών γραμμών.

Το αποτέλεσμα της γενίκευσης στη μορφή προσδιορίζεται βάσει διαφόρων μέτρων που αναφέρονται στη βιβλιογραφία, τα οποία περιγράφουν τη μεταβολή της μορφής των γραμμών και τη μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης. Η μεταβολή της μορφής εξετάζεται με δυο τρόπους:

- Διατηρώντας σταθερή την κλίμακα των αρχικών και των γενικευμένων γραμμικών τμημάτων
- Μεταβάλλοντας την κλίμακα στην οποία απεικονίζονται οι γενικευμένες γραμμές σε σχέση με την κλίμακα των αρχικών. Η κλίμακα για τις γενικευμένες τιμές παίρνει τιμές τριών βασικών κλιμακών που συναντώνται στη χαρτογραφία (1:100.000, 1:200.000 και 1:250.000)

## 4.2 Επιλογή πειραματικών δεδομένων

Για τη μελέτη των παραμέτρων περιγραφής της μορφής των γραμμών, πρέπει να δημιουργηθεί ένα σύνολο γραμμών που να παρουσιάζει ποικιλία στη μορφή. Για τις ανάγκες αυτής της έρευνας επιλέχθηκαν φυσικές γραμμικές οντότητες π.χ. ακτογραμμή γιατί η μορφή τους δεν μπορεί να περιγραφεί από τα βασικά γεωμετρικά σχήματα και επομένως η περιγραφή της μορφής των φυσικών γραμμικών οντοτήτων είναι μια διαδικασία που χρήζει μελέτης καθώς είναι σύνθετη.

Για να είναι δυνατή η επιλογή τμημάτων γραμμών που να παρουσιάζουν την απαιτούμενη ποικιλία στη μορφή θα πρέπει τα δεδομένα να καλύπτουν μια ευρύτερη γεωγραφική περιοχή. Για το λόγο αυτό εκτιμάται ότι η δειγματοληψία μπορεί να γίνει καλύτερα από μια υπάρχουσα χαρτογραφική βάση δεδομένων που συνήθως ικανοποιεί αυτή την προϋπόθεση. Ένα επιπλέον κριτήριο για την επιλογή της πηγής των δεδομένων είναι η κλίμακα. Η κλίμακα επιλέχθηκε έτσι ώστε να είναι μεσαία (1: 40 000). Στην κλίμακα αυτή η γενίκευση που έχουν ήδη υποστεί τα δεδομένα διατηρεί τα σημαντικά χαρακτηριστικά τους και επομένως τα στοιχεία εκείνα που συνθέτουν τη μορφή τους. Η συγκεκριμένη κλίμακα παρέχει τη δυνατότητα σε ορατό μήκος η μορφή της γραμμής να χαρακτηρίζεται από πληρότητα. Επιπλέον η κλίμακα αυτή επιτρέπει την περαιτέρω γενίκευσή τους έτσι ώστε η περιγραφή της μορφής μέσω ομάδας παραμέτρων να χρησιμοποιηθεί στην καθοδήγηση και την αξιολόγηση της γενίκευσης.

### 4.2.1 Ψηφιακή Ακτογραμμή Μέσης Ανάλυσης της N.O.A.A

Τα δεδομένα προήλθαν από υπάρχοντα ψηφιακά δεδομένα που δημιουργήθηκαν την περίοδο 1988 - 1992 και διατίθενται από την N. O .A .A (National Oceanic and Atmospheric Administration - Εθνική Ωκεανογραφική και Ατμοσφαιρική Διεύθυνση των Η.Π.Α) . Το σύνολο αυτών των δεδομένων δεν δημιουργήθηκε με σκοπό την χρήση του για πλοήγηση αλλά διατίθεται στο ευρύ κοινό όπως πανεπιστήμια και άλλα κέντρα ερευνών, σε ιδιωτικούς φορείς όπως επίσης και σε κάθε φορέα που χρειάζεται ένα γενικής χρήσης ψηφιακό αρχείο ακτογραμμής για χαρτογραφικούς σκοπούς.

Τα δεδομένα αποτελούν συνδυασμό της πληροφορίας που συλλέχθηκε από ένα αριθμό των πλέον σύγχρονων για την περίοδο δημιουργίας του αρχείου πηγών, διαφόρων κλιμάκων της ακτογραμμής των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Κατά τη σύνθεση των χαρτών δεν εξακριβώθηκε η ακρίβεια της απόλυτης θέσης των δεδομένων, καθώς σκοπός ήταν απλά η ψηφιακή απόδοση της ακτογραμμής από χάρτες της N.O.S (National Ocean Service

Navigation Charts - Εθνική Ωκεάνια Υπηρεσία Χαρτών Πλοήγησης των Η.Π.Α.) με τη μέγιστη ακρίβεια που παρείχαν τα διατιθέμενα ψηφιακά μέσα.

Η μέση κλίμακα των δεδομένων είναι 1: 70 000. Εντούτοις, η πραγματική ανάλυση της ακτογραμμής διαφέρει ως αποτέλεσμα της μη συνεχούς κάλυψης της ακτογραμμής των Ηνωμένων Πολιτειών στη ζητούμενη κλίμακα. Η πραγματική κλίμακα των αρχικών διαγραμμάτων από όπου προήλθε το ψηφιακό αρχείο ποικίλει από 1: 10 000 έως 1: 600 000 με την πλειοψηφία τους συγκεντρωμένη σε κλίμακες από 1: 80 000 έως 1: 40 000 ανάλογα με το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής που εξετάζεται. Οι περιοχές που καλύπτουν μικρή επιφάνεια όπως λιμάνια, ποτάμια και κανάλια απεικονίζονται υπό κλίμακα 1: 40 000. Άλλες περιοχές απεικονίζονται υπό μικρότερη κλίμακα (π.χ. 1: 500 000) λόγω της έλλειψης διαγραμμάτων των περιοχών αυτών σε μεγαλύτερες κλίμακες.

#### 4.2.2 Πειραματικά δεδομένα

Από τα παραπάνω δεδομένα επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία τμήματα γραμμών της κλίμακας 1:40 000. Τα ψηφιακά δεδομένα παρέχονται σε γεωγραφικές συντεταγμένες και για την αξιοποίησή τους θα πρέπει να εφαρμοστεί κάποια χαρτογραφική προβολή (σύμμορφη).

Η προβολή που χρησιμοποιήθηκε για τα δεδομένα είναι η Εγκάρσια Μερκατορική Προβολή (U.T.M) με  $\varphi=0$  ,  $\lambda = -96$ ,  $X_0=0$  και  $Y_0= +10.000.000$ . Η εγκάρσια Μερκατορική προβολή υιοθετήθηκε από την N.I.M.A (National Imagery and Mapping Agency - Εθνικός Χαρτογραφικός Οργανισμός των Η.Π.Α.) για στρατιωτικούς σκοπούς και έχει παγκόσμια εφαρμογή. Αποτελείται από ένα κίονο, στον οποίο η γη διαιρείται σε 60 ατράκτους, όπου η καθεμιά από αυτές καλύπτει μια περιοχή με πλάτος  $6^\circ$  κατά γεωγραφικό μήκος. Σε κάθε ζώνη, οι συντεταγμένες μετρώνται Βόρεια και Ανατολικά σε μέτρα. Οι τιμές προς τα Βόρεια μετρώνται συνεχώς από το μηδέν του ισημερινού. Προκειμένου να αποφευχθούν οι αρνητικές τιμές για τις περιοχές του Νοτίου ημισφαιρίου έχει δοθεί στον ισημερινό η αυθαίρετη τιμή των 10.000.000 μέτρων.

Καθοριστικός παράγοντας κατά την επιλογή των τμημάτων των γραμμών που θα χρησιμοποιηθούν είναι η μορφή τους και το μήκος τους. Ο υπολογισμός της πλειοψηφίας των παραμέτρων εξαρτάται από το μήκος της γραμμής, οπότε ήταν απαραίτητος ένας περιορισμός του μήκους όλων των γραμμικών τμημάτων σε ένα διάστημα τιμών, έτσι ώστε οι υπολογιζόμενες παράμετροι να είναι άμεσα συγκρίσιμες μεταξύ τους. Επιπλέον το μήκος των γραμμών θα έπρεπε να είναι τέτοιο ώστε να επιτρέπει την ανάπτυξη της μορφής των γραμμών μέσα σε αυτό. Αυτό γίνεται κατανοητό εάν λάβουμε υπόψη μας τις ημιτονοειδείς

γραμμές. Για μια ομαλή σχεδόν ευθεία γραμμή η μορφή της είναι αναγνωρίσιμη ακόμα και σε ένα τμήμα αυτής μικρού μήκους. Αντίθετα για τις ημιτονοειδείς γραμμές ένα τμήμα μικρού μήκους ενδέχεται να μην περιλαμβάνει επαρκή αριθμό καμπών. Τελικά, τα τμήματα των γραμμών που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία έχουν μήκος από 5 000 έως 7 000 μέτρα.

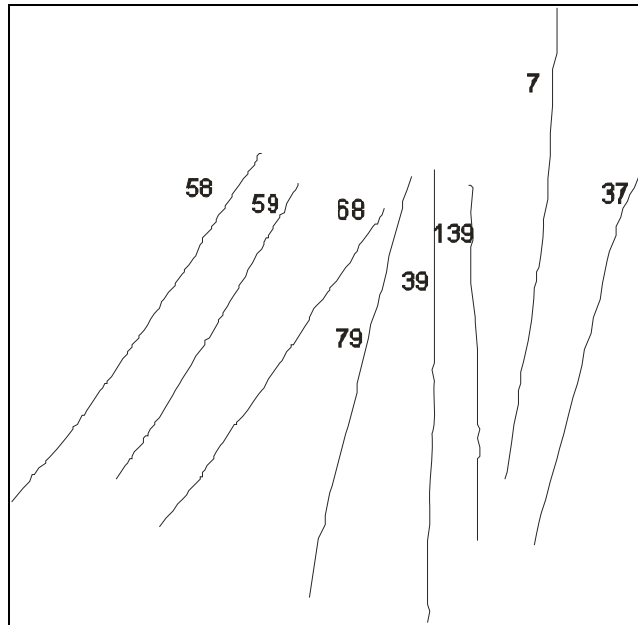
Η επιλογή των τμημάτων πραγματοποιήθηκε ώστε να παρουσιάζουν ποικιλία μορφής και να εκπροσωπούν τα διάφορα είδη φυσικών χαρτογραφικών γραμμών.

#### 4.3 Ταξινόμηση των γραμμικών οντοτήτων σε ομάδες ανάλογα με τη μορφή τους

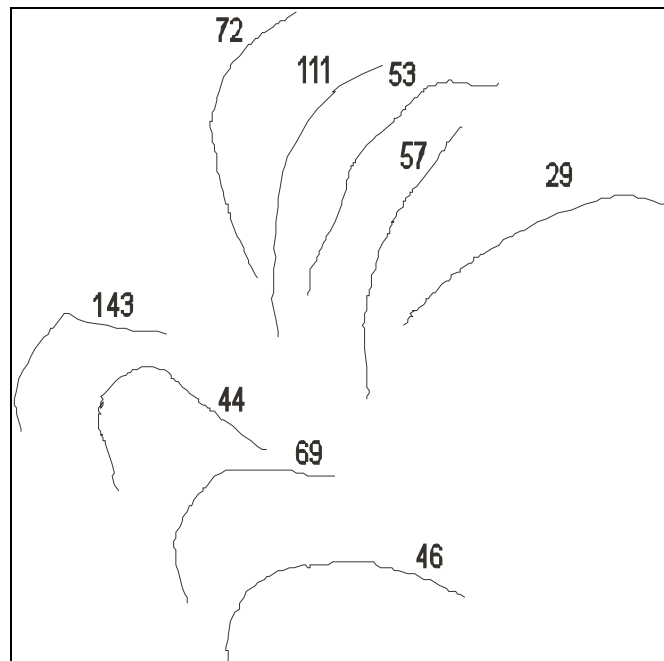
Για την αποτελεσματικότερη παρακολούθηση των αποτελεσμάτων της πειραματικής μελέτης επιλέχθηκε ένα σύνολο 37 γραμμών με χαρακτηριστικές μορφές. Οι γραμμές χωρίστηκαν σε 4 επιμέρους ομάδες έτσι ώστε κάθε ομάδα να περιλαμβάνει γραμμές με όμοια μορφή και ανάλογο βαθμό πολυπλοκότητας. Οι ομάδες των γραμμών που επιλέχθηκαν μπορούν να χαρακτηριστούν ως ομαλές – σχεδόν ευθείες, ομαλές με ένα βασικό τόξο, ημιτονοειδείς και έντονα ημιτονοειδείς. Στον πίνακα που ακολουθεί παρατίθενται οι ομάδες, το πλήθος των γραμμών που περιλαμβάνουν και οι κωδικοί των γραμμών που περιλαμβάνει η κάθε ομάδα.

<b>ΟΜΑΔΑ</b>	<b>ΠΛΗΘΟΣ ΓΡΑΜΜΩΝ</b>	<b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΓΡΑΜΜΩΝ</b>
<b>ΟΜΑΔΑ 1</b>	8	7,37,39,58,59,68,79,139
<b>ΟΜΑΔΑ 2</b>	9	44,46,69,143, 29,53,57,72,111
<b>ΟΜΑΔΑ 3</b>	12	2,3,45,70,74,95,115,116,127, 152,156, 270
<b>ΟΜΑΔΑ 4</b>	8	18, 20, 50001, 50002, 50003, 50004, 50005, 50006

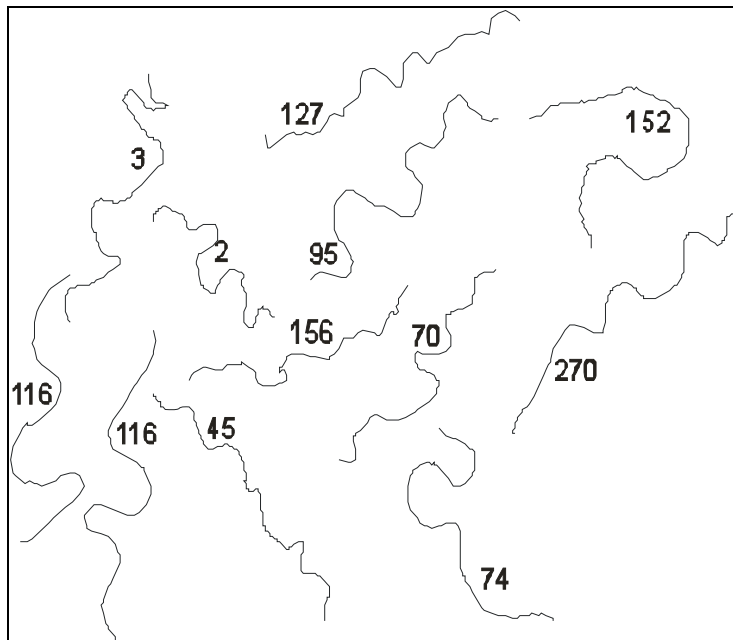
Πίνακας 4-1 . Προκαταρκτική ομαδοποίηση γραμμών βάσει της μορφής τους.



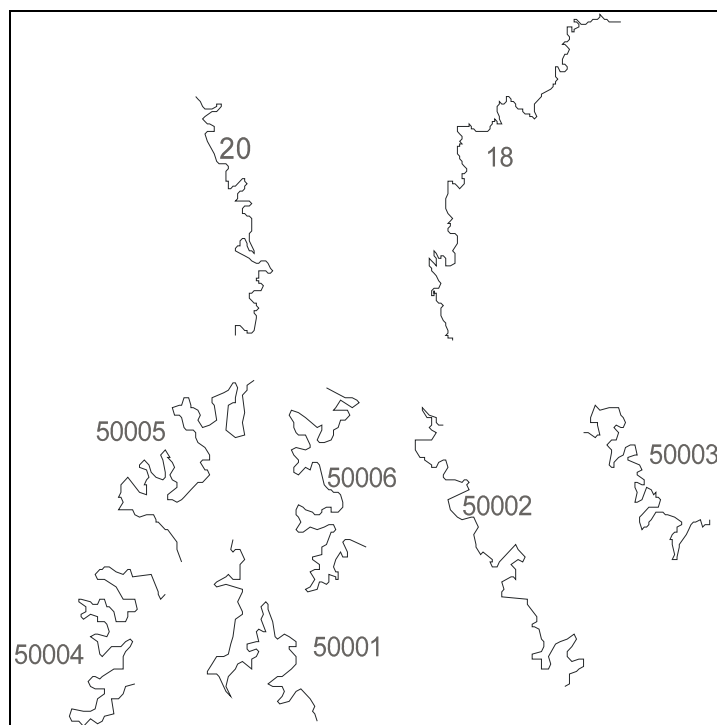
Εικόνα 4-1. Ομάδα γραμμών 1, ομαλές- σχεδόν ευθείες.



Εικόνα 4-2. Ομάδα γραμμών 2, ομαλές με ένα βασικό τόξο.



Εικόνα 4-3. Ομάδα γραμμών 3, ημιτονοειδείς.



Εικόνα 4-4. Ομάδα γραμμών 4, έντονα ημιτονοειδείς



#### 4.4 Αλγόριθμοι απλοποίησης που συμμετέχουν στην πειραματική διαδικασία - Παράμετροι ανοχής

Η απλοποίηση των γραμμικών τμημάτων πραγματοποιείται μέσω εννέα (9) αλγορίθμων απλοποίησης οι οποίοι θεωρούνται ως βέλτιστοι μέσω της βιβλιογραφικής μελέτης. Οι αλγόριθμοι αυτοί χρησιμοποιούν ως κριτήριο για την απαλοιφή σημείων από τις γραμμές διάφορα γεωμετρικά μεγέθη όπως: απόσταση μεταξύ σημείων της γραμμής, επιφανειακή απόκλιση και γωνιακή απόκλιση.

Οι αλγόριθμοι που επελέγησαν παρουσιάζονται αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι, το κριτήριο που χρησιμοποιούν προκειμένου να πραγματοποιήσουν την απλοποίηση και ο τρόπος με τον οποίο διαχειρίζονται τη γραμμή.

Αλγόριθμος	Κριτήριο	Επεξεργασία της γραμμής
Ευκλείδειας απόστασης [ed]	Απόσταση μεταξύ των σημείων	Τοπικός
Rewman - Witkam (Reumann and Witkam, 1974) [rw]	Επιφανειακή απόκλιση	Μη περιορισμένη εκτεταμένη τοπική
Zhao - Saalfeld (Zhao and Saalfeld, 1997) [zs]	Γωνία	Μη περιορισμένη εκτεταμένη τοπική
Douglas - Peucker (Douglas and Peucker, 1973) [dp]	Απόσταση από τη γραμμή βάσης	Συνολικός
Visvalingam -Whyatt (Visvalingam and Whyatt 1993) [vw]	Επιφάνεια	Συνολικός
Wall - Danielson (Wall and Danielson, 1984 ) [wd]	Επιφάνεια	Μη περιορισμένη εκτεταμένη τοπική
Latecki and Lakamper (Latecki and Lakamper, 1999) [ll]	Γωνία και μήκος	Συνολικός
Li & Openshaw (Li & Openshaw, 1992)	Απόσταση	Μη περιορισμένη
Bend Simplify (Wang & Muller, 1998)	Ανιχνευση καμπών	Μη περιορισμένη

Πίνακας 4-2: Αλγόριθμοι του πειράματος

Λόγω του γεγονότος ότι οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται δεν αξιοποιούν το ίδιο γεωμετρικό κριτήριο δεν είναι δυνατή η σύγκρισή τους βάσει της τιμής της παραμέτρου ανοχής. Παρουσιάζεται επομένως η ανάγκη για έναν άλλο παράγοντα βάσει του οποίου είναι

δυνατή η μελέτη της επίδρασης των αλγορίθμων. Ως παράγοντας σύγκρισης των αλγορίθμων επιλέγεται το ποσοστό των κορυφών της αρχικής γραμμής, οι οποίες διατηρούνται μετά την απλοποίηση της καθώς και οι ανηγμένες τιμές ανοχής. Πληθώρα ερευνών για τη σύγκριση των αλγορίθμων στηρίζονται στο ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται McMaster (1987, 1989) και Shi & Cheung (2006). Σε αυτή τη μελέτη το ποσοστό των κορυφών που επιλέγεται είναι 100% έως 35%. Έτσι επιλέγονται για κάθε αλγόριθμο οι κατάλληλες τιμές ανοχής προκειμένου οι νέες γραμμές που θα προκύψουν μέσω αυτών να διατηρούν ποσοστό που κυμαίνεται από 100% έως 35% των κορυφών των αρχικών. Οι παράμετροι ανοχής που ορίζονται για τον κάθε αλγόριθμο παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

<b>ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ</b>	<b>ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΑΝΟΧΗΣ</b>	<b>ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ ΑΝΟΧΗΣ</b>
<b>LI &amp; OPENSHAW</b>	40	1000
<b>BEND SIMPLIFY</b>	5	1995
<b>LATECKI LAKAMPER</b>	1	47801
<b>WALL DANIELSSON</b>	1	15141
<b>ΕΥΚΛΕΙΔΕΙΑΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ</b>	1	785
<b>REUMAN WITKAM</b>	0.1	188.85
<b>ZHAO &amp; SAALFELD</b>	0.1	85.6
<b>VISVALIGAM &amp; WHYATT</b>	1	29381
<b>DOUGLAS PEUCKER</b>	0.25	86.75

Πίνακας 4-3: Τιμές ανοχής για κάθε αλγόριθμο

Ωστόσο, για κάθε αλγόριθμο οι τιμές ανοχής ανάγονται σε ένα διάστημα τιμών από 0.1 έως 1. Επιλέγεται, να υιοθετηθούν και οι ανηγμένες τιμές ανοχής ως παράγοντας σύγκρισης της επίδρασης των αλγορίθμων στα γραμμικά τμήματα προκειμένου να διαπιστωθεί η ορθότητα των αποτελεσμάτων της σύγκρισης αυτών βάσει του ποσοστού των κορυφών της αρχικής γραμμής που διατηρούνται. Υιοθετείται η προσέγγιση αυτή καθώς δεν επιτυγχάνεται μέσω των διαφόρων αλγορίθμων εξαγωγή απλοποιημένων γραμμών με ακριβώς το ίδιο ποσοστό κορυφών των αρχικών αλλά με προσεγγιστικές τιμές του ποσοστού αυτού.

## 5 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΟΝΤΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

### 5.1 Εισαγωγή

Προκειμένου να διερευνηθεί η μεταβολή που προκαλούν οι διάφοροι αλγόριθμοι απλοποίησης στη μορφή των γραμμικών τμημάτων υπολογίζονται τα μέτρα περιγραφής της μορφής για τα γραμμικά τμήματα αφού πρώτα έχουν αποκτήσει ενιαία ανάλυση. Η μεταβολή της μορφής των γραμμικών τμημάτων μέσω της απλοποίησης καθώς και η μορφή των τελικών γραμμικών τμημάτων τα οποία έχουν προκύψει υπολογίζονται αρχικά διατηρώντας κοινή την κλίμακα απόδοσης (1:40.000) σε σχέση με τα αρχικά. Έτσι, κατά την επεξεργασία των γραμμικών τμημάτων προκειμένου να αποκτήσουν ενιαία ανάλυση εφαρμόζονται ως βήμα τα 10m (η διακριτική ικανότητα του ματιού στην κλίμακα απόδοσης). Στη συνέχεια υπολογίζεται η μορφή των γραμμικών τμημάτων και η μεταβολή τους για τις ακόλουθες βασικές χαρτογραφικές κλίμακες: 1:100.000, 1:200.000, 1:250.000 και το βήμα της ενιαίας ανάλυσης παίρνει αντίστοιχα τις τιμές 25m, 50m, 62.5m. Η μεταβολή της μορφής των γραμμικών τμημάτων υπολογίζεται για τις προαναφερθείσες κλίμακες ενώ οι αρχικές γραμμές διατηρούν την κλίμακα 1:40.000.

### 5.2 Συνοπτική σύγκριση αλγορίθμων - μορφή και μεταβολή μορφής για κοινή κλίμακα

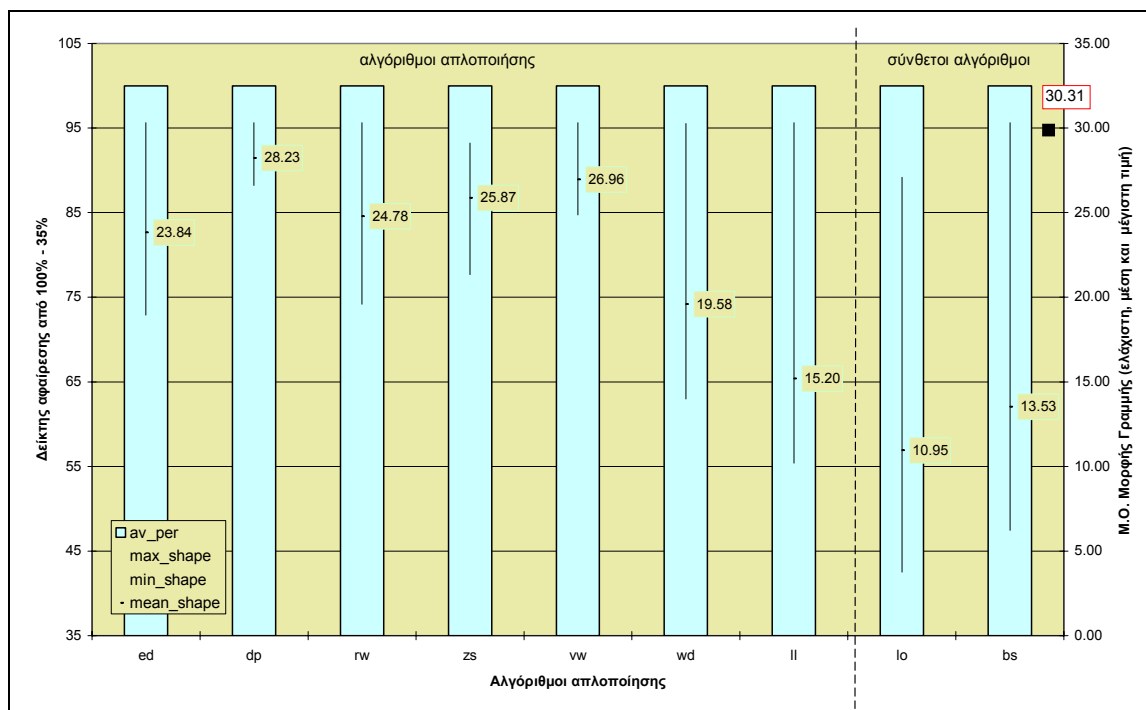
Μέσω των διαγραμμάτων που ακολουθούν και των αντίστοιχων πινάκων υλοποιείται μια συνοπτική σύγκριση των αλγορίθμων βάσει της αρχικής μορφής και της μεταβολής της μορφής των γραμμικών οντοτήτων.

Η επιλογή των τιμών των παραμέτρων των αλγορίθμων έγινε κατά τέτοιο τρόπο ώστε το πλήθος των κορυφών των γραμμών που προκύπτουν έπειτα από την απλοποίηση να είναι παρόμοιο ανεξάρτητα από τον αλγόριθμο που εφαρμόστηκε. Κατά αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατή η σύγκριση της επίδρασης διαφόρων αλγορίθμων στις γραμμές. Στη συνέχεια χρησιμοποιούνται συνοπτικά στατιστικά στοιχεία για τη σύγκριση των αλγορίθμων. Τα μεγέθη που χρησιμοποιούνται αναφέρονται σε κάθε αλγόριθμο και σε ένα εύρος της παραμέτρου ανοχής που οδηγεί σε ποσοστό κορυφών από 100% έως 35% για τις γραμμές που συμμετέχουν στο πείραμα.

Πιο αναλυτικά, παρατηρείται από τον ακόλουθο πίνακα και το αντίστοιχο διάγραμμα πως μέσω των αλγορίθμων Zhao & Saalfeld, Wall Danielson, Latecki Lakamper και Li & Openshaw η μέγιστη τιμή της μορφής της γενικευμένης γραμμής είναι μικρότερη συγκριτικά με τον μέσο όρο της μορφής της αρχικής γραμμής ενώ οι αλγόριθμοι Li & Openshaw και Bend simplify εμφανίζουν τη μικρότερη ελάχιστη τιμή της μορφής των γενικευμένων γραμμών. Όσον αφορά τη μέση τιμή της μορφής παρατηρείται συγγένεια τιμών για τους απλούς αλγορίθμους απλοποίησης ευκλείδειας απόστασης, Douglas Peucker, Reuman Witkam, Zhao & Saalfeld και Visvaligam & Whyatt, Wall & Danielson.

	Ποσοστό κορυφών	Μέγιστη τιμή της μορφής	Ελάχιστη τιμή της μορφής	Μέση τιμή της μορφής	Μ.Ο. Αρχικών Γραμμών	% Μεταβολής Μ.Ο.
<b>Ευκλείδειας απόστασης</b>	100-35%	30.32	18.95	23.84	30.31	21%
<b>Douglas Peucker</b>	100-35%	30.31	26.60	28.23	30.31	7%
<b>Reuman Witkam</b>	100-35%	30.31	19.59	24.78	30.31	18%
<b>Zhao &amp; Saalfeld</b>	100-35%	29.12	21.34	25.87	30.31	15%
<b>Visvaligam &amp; Whyatt</b>	100-35%	30.31	24.87	26.96	30.31	11%
<b>Wall Danielson</b>	100-35%	30.28	13.99	19.58	30.31	35%
<b>Latecki Lakamper</b>	100-35%	30.31	10.20	15.20	30.31	50%
<b>Li &amp; Openshaw</b>	100-35%	27.10	3.76	10.95	30.31	64%
<b>Bend simplify</b>	100-35%	30.31	6.22	13.53	30.31	55%

Πίνακας 5-1: Στατιστικά μεγέθη της Μορφής των γραμμών και σύγκριση με την αρχική ανά αλγόριθμο



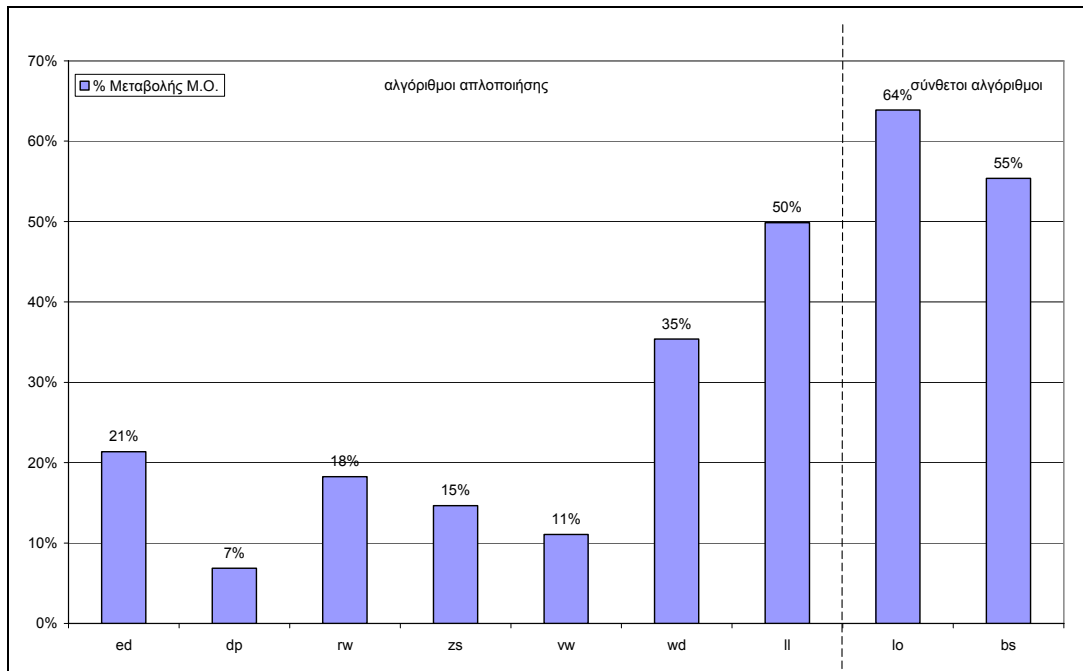
Διάγραμμα 5-1: Μέσος όρος της τιμής της μορφής των γραμμών για κάθε αλγόριθμο και για εύρος τιμών του ποσοστού κορυφών 100-35%

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα στατιστικά στοιχεία που αφορούν τη μορφή των γραμμών ανά αλγόριθμο. Παρατηρείται συγγένεια τιμών για τους απλούς αλγορίθμους απλοποίησης ευκλείδειας απόστασης, Douglas Peucker, Reuman Witkam, Zhao & Saalfeld και Visvaligam & Whyatt, Wall & Danielson. Επίσης, συγγένεια τιμών παρουσιάζουν και οι σύνθετοι αλγόριθμοι Li & Openshaw, Bend simplify και ο απλός αλγόριθμος Latecki Lakamper που παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές του μέσου όρου της μορφής των γραμμών.

Αλγοριθμος	Ελάχιστη τιμή ανοχής	Μέση τιμή ανοχής	Μέγιστη τιμή ανοχής	Ελάχιστη τιμή του μέσου όρου της μορφής	Μέση τιμή μέσου όρου της μορφής	Μέγιστη τιμή μέσου όρου της μορφής
<b>Li &amp; Openshaw</b>	40	520	1000	3.76	10.95	27.10
<b>Bend simplify</b>	5	1000	1995	6.22	13.53	30.31
<b>Latecki Lakamper</b>	1	23901	47801	10.20	15.20	30.31
<b>Wall Danielsson</b>	1	7571	15141	13.99	19.58	30.28
<b>Ευκλείδειας απόστασης</b>	1	393	785	18.95	23.84	30.32
<b>Reuman Witkam</b>	0.1	94.475	188.85	19.59	24.78	30.31
<b>Zhao &amp; Saalfeld</b>	0.1	42.85	85.6	21.34	25.87	29.12
<b>Visvaligam &amp; Whyatt</b>	1	14691	29381	23.64	26.09	30.31
<b>Douglas Peucker</b>	0.25	43.5	86.75	26.60	28.23	30.31

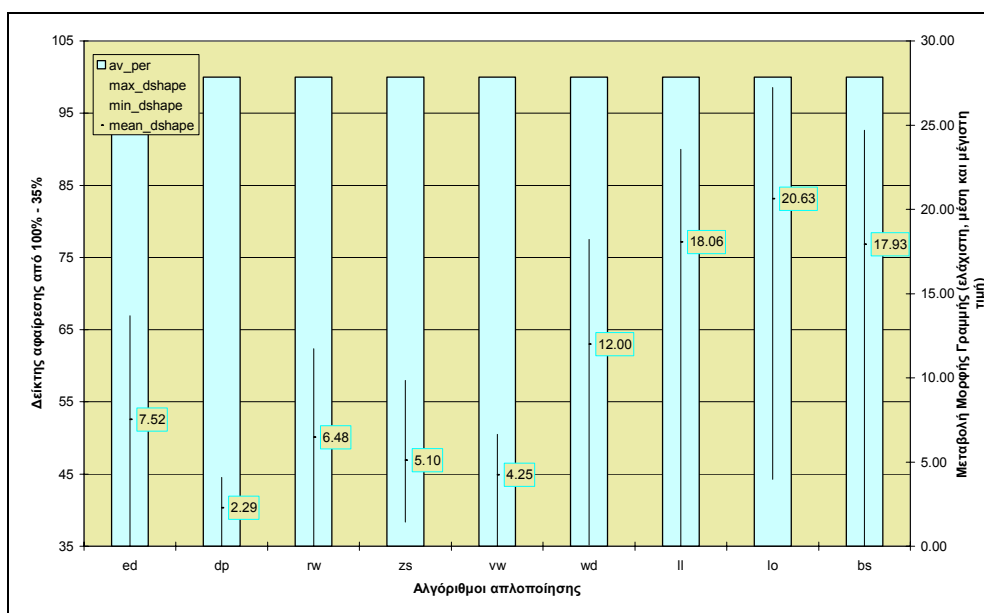
Πίνακας 5-2:Ελάχιστη, μέση και μέγιστη τιμή του μέσου όρου της μορφής των γραμμών ανά αλγόριθμο απλοποίησης

Από το ακόλουθο διάγραμμα γίνεται εμφανές πως οι αλγόριθμοι Douglas Peucker και Visvaligam & Whyatt προκαλούν τη μικρότερη ποσοστιαία μεταβολή του μέσου όρου της μορφής των χαρτογραφικών γραμμών, ενώ οι σύνθετοι αλγόριθμοι Li & Openshaw και Bend simplify προκαλούν τη μεγαλύτερη μεταβολή της μορφής των γραμμών.



Διάγραμμα 5-2: Ποσοστιαία μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω των διαφόρων αλγορίθμων

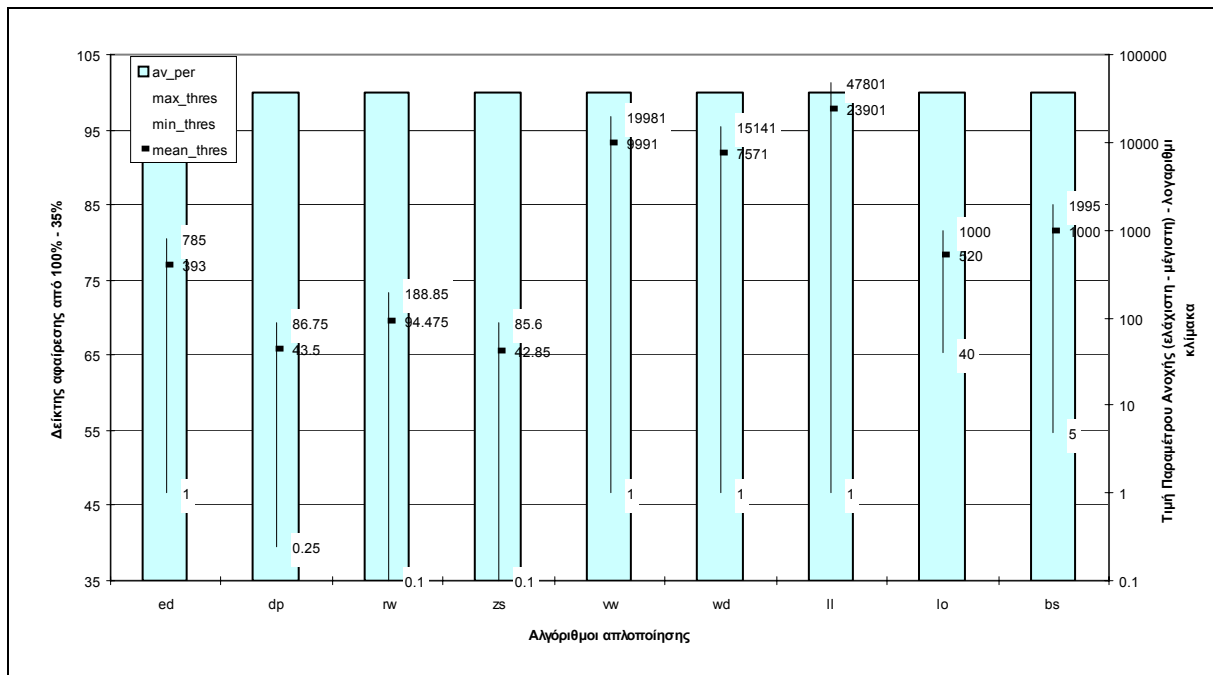
Από το διάγραμμα που ακολουθεί είναι εμφανές πως οι αλγόριθμοι Douglas Peucker και Visvaligam & Whyatt προκαλούν τη μικρότερη μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών ενώ ο αλγόριθμος Li & Openshaw προκαλεί τη μέγιστη μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών. Όμοια με προηγουμένως παρατηρείται πως οι αλγόριθμοι Zhao & Saalfeld, Wall Danielson, Latecki Lakamper και Li & Openshaw προκαλούν μεγαλύτερη του μηδενός ελάχιστη μεταβολή της μορφής των γραμμών γεγονός που για τον δεύτερο οφείλεται στο ότι ενώ μπορεί να μην προκαλεί αφαίρεση των κορυφών από την αρχική γραμμή αλλά μετατόπιση αυτών.



Διάγραμμα 5-3: Ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή της μεταβολής της μορφής των γραμμών μέσω των διαφόρων αλγορίθμων

Αλγόριθμος	Ποσοστό κορυφών	Τιμές παραμέτρου ανοχής	Μέγιστη τιμή της μεταβολής της μορφής	Ελάχιστη τιμή της μεταβολής της μορφής	Μέση τιμή της μεταβολής της μορφής
Ευκλείδεια απόσταση	100-35%	1-785	13.68	0.00	7.52
Douglas Peucker	100-35%	0.25-86.75	4.08	0.00	2.29
Reuman Witkam	100-35%	0.1-188.85	11.74	0.00	6.48
Zhao & Saalfeld	100-35%	0.1-85.60	9.85	1.44	5.10
Visvaligam & Whyatt	100-35%	1-19981	6.63	0.00	4.25
Wall Danielson	100-35%	1-15141	18.21	0.08	12.00
Latecki Lakamper	100-35%	1-147801	23.57	0.00	18.06
Li & Openshaw	100-35%	40-1000	27.24	3.98	20.63
Bend simplify	100-35%	5-1995	24.70	0.00	17.93

Πίνακας 5-3: Στατιστικά μεγέθη της μεταβολής της μορφής των γραμμών ανάλογα με τον αλγόριθμο απλοποίησης



Διάγραμμα 5-4: Τιμές παραμέτρου ανοχής και ποσοστό κορυφών που διατηρούνται μέσω των διαφόρων αλγορίθμων

Στον πίνακα που ακολουθεί έχουν ταξινομηθεί οι αλγόριθμοι σε αύξουσα σειρά ανάλογα με τη μέση τιμή του μέσου όρου της μεταβολής της μορφής του συνόλου των γραμμών .

Αλγόριθμος	Ελάχιστη τιμή ανοχής	Μέση τιμή ανοχής	Μέγιστη τιμή ανοχής	Ελάχιστη τιμή του μέσου όρου της μεταβολής της μορφής	Μέση τιμή μέσου όρου της μεταβολής της μορφής	Μέγιστη τιμή μέσου όρου της μεταβολής της μορφής
Douglas Peucker	0.25	43.50	86.75	0.00	2.29	4.08
Visvaligam & Whyatt	1.00	14691.00	29381.00	0.00	4.25	8.23
Zhao & Saalfeld	0.10	42.85	85.60	1.44	5.10	9.85
Reuman Witkam	0.10	94.47	188.85	0.00	6.48	11.74
Ευκλείδειας απόστασης	1.00	393.00	785.00	0.00	7.52	13.68
Wall & Danielson	1.00	7571.00	15141.00	0.07	12.00	18.21
Bend simplify	5.00	1000.00	1995.00	0.00	17.93	24.70
Latecki Lankamper	1.00	23901.00	47801.00	0.00	18.06	23.57
Li & Openshaw	40.00	520.00	1000.00	3.98	20.63	27.24

Πίνακας 5-4: Ταξινόμηση των αλγορίθμων ανάλογα με τη μέση μεταβολή που προκαλούν στο σύνολο των γραμμών

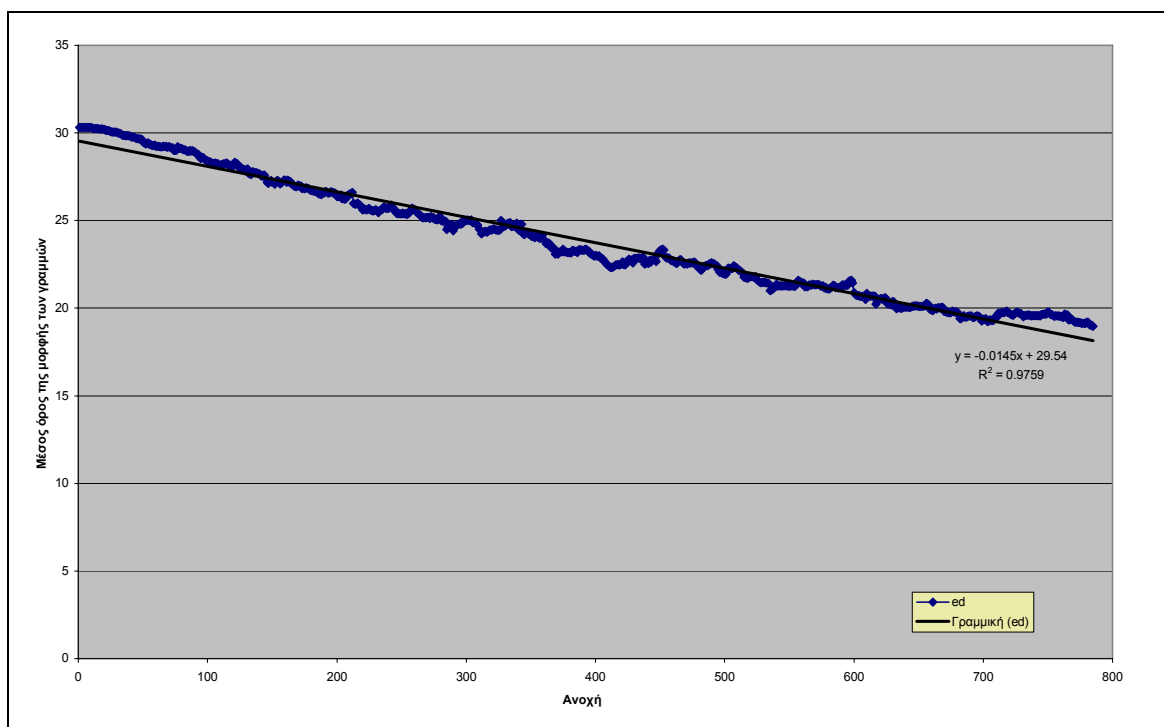
Από τον ανωτέρω πίνακα παρατηρείται πως ο αλγόριθμος Douglas Peucker προκαλεί τη μικρότερη μεταβολή της μορφής των χαρτογραφικών γραμμών, ενώ ο αλγόριθμος Latecki Lankamper και οι σύνθετοι αλγόριθμοι Li & Openshaw και Bend simplify προκαλούν τη μεγαλύτερη μεταβολή της μορφής των γραμμών. Επιπροσθέτως οι αλγόριθμοι Zhao & Saalfeld, Visvaligam & Whyatt, Reuman Witkam προκαλούν μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών και παρουσιάζουν εγγύτητα στις τιμές της μεταβολής που προκαλούν όπως και οι αλγόριθμοι Ευκλείδειας απόστασης και Wall & Danielson.



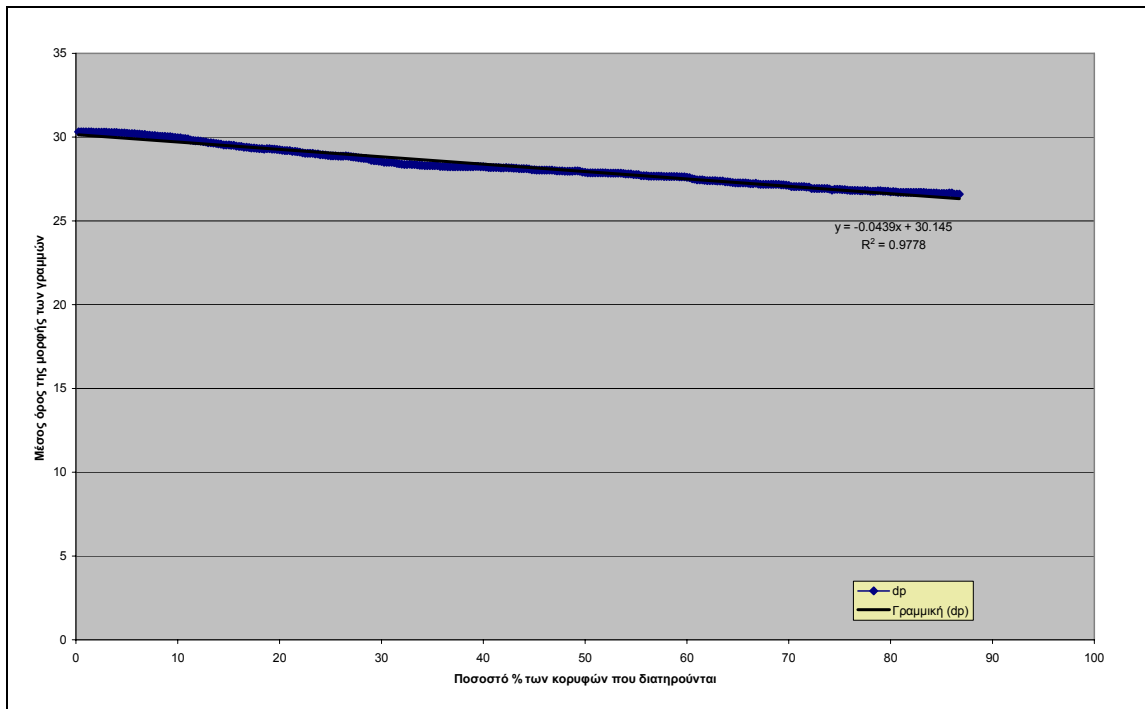
### 5.3 Εξέταση της μορφής και της μεταβολή της σε επίπεδο αλγορίθμου και παραμέτρου ανοχής για κοινή κλίμακα

#### 5.3.1 Εξέταση της μορφής του συνόλου των γραμμών σε επίπεδο αλγορίθμου και παραμέτρου ανοχής

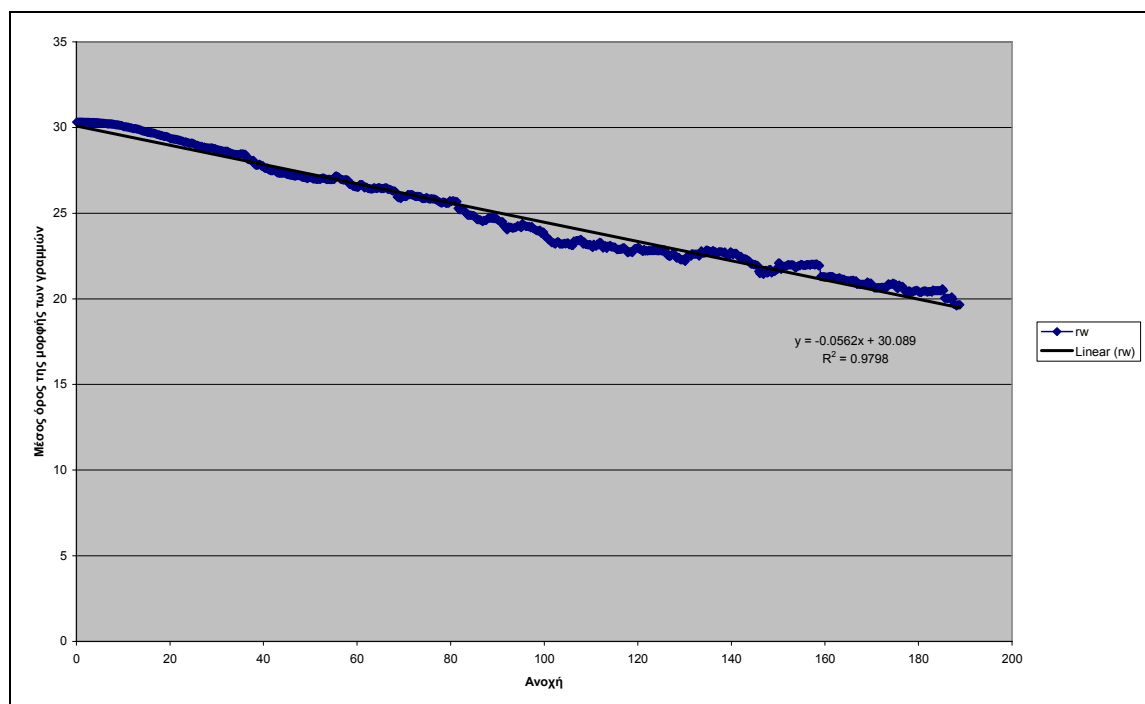
Στα ακόλουθα διαγράμματα παρουσιάζεται η μορφή του συνόλου των γραμμών για κάθε αλγόριθμο ανάλογα με την ανοχή. Αρχικά παρουσιάζονται τα διαγράμματα των απλών αλγορίθμων απλοποίησης αφού έχει προσαρμοστεί σε αυτά η γραμμική τάση.



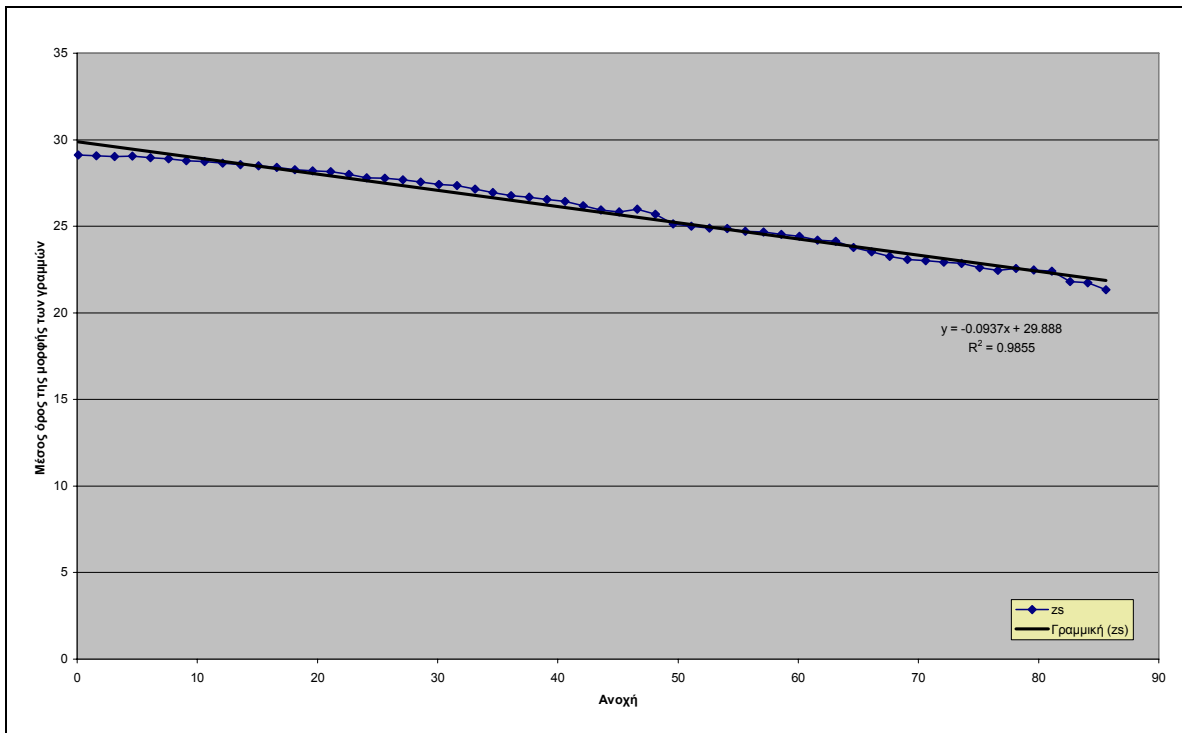
Διάγραμμα 5-5: Μέσος όρος της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Ευκλείδειας απόστασης ως προς την ανοχή



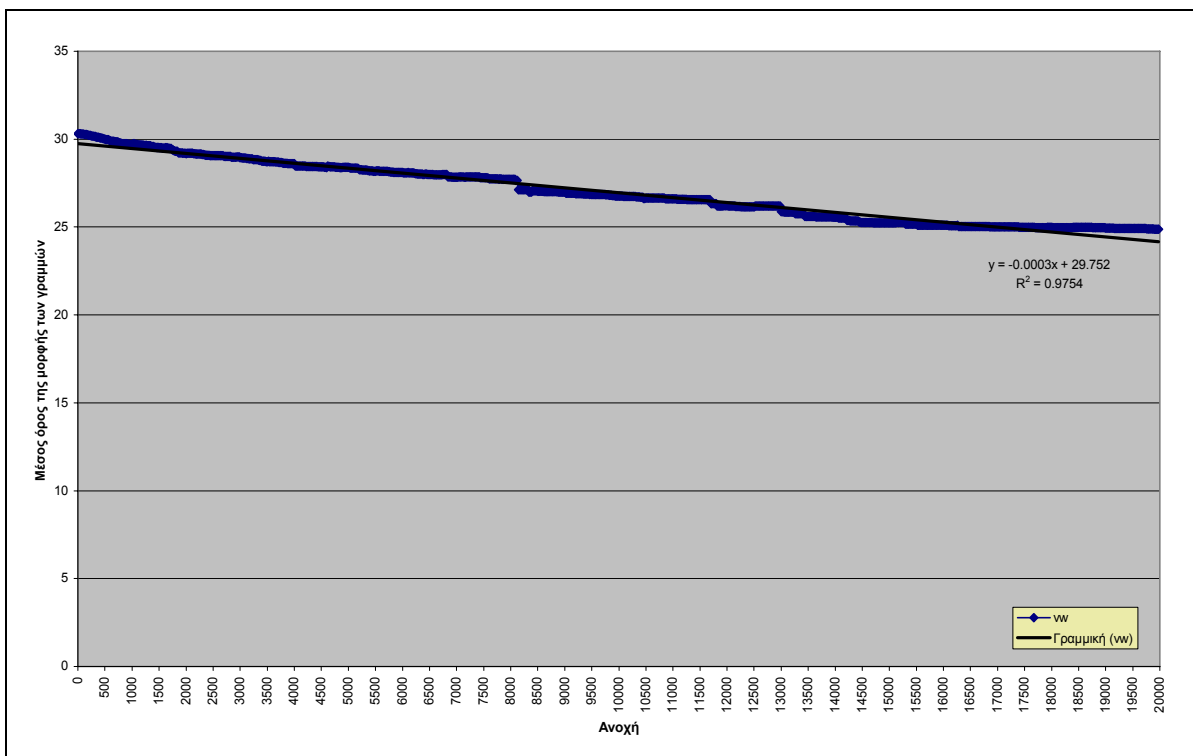
Διάγραμμα 5-6: Μέσος όρος της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Douglas Peucker ως προς την ανοχή



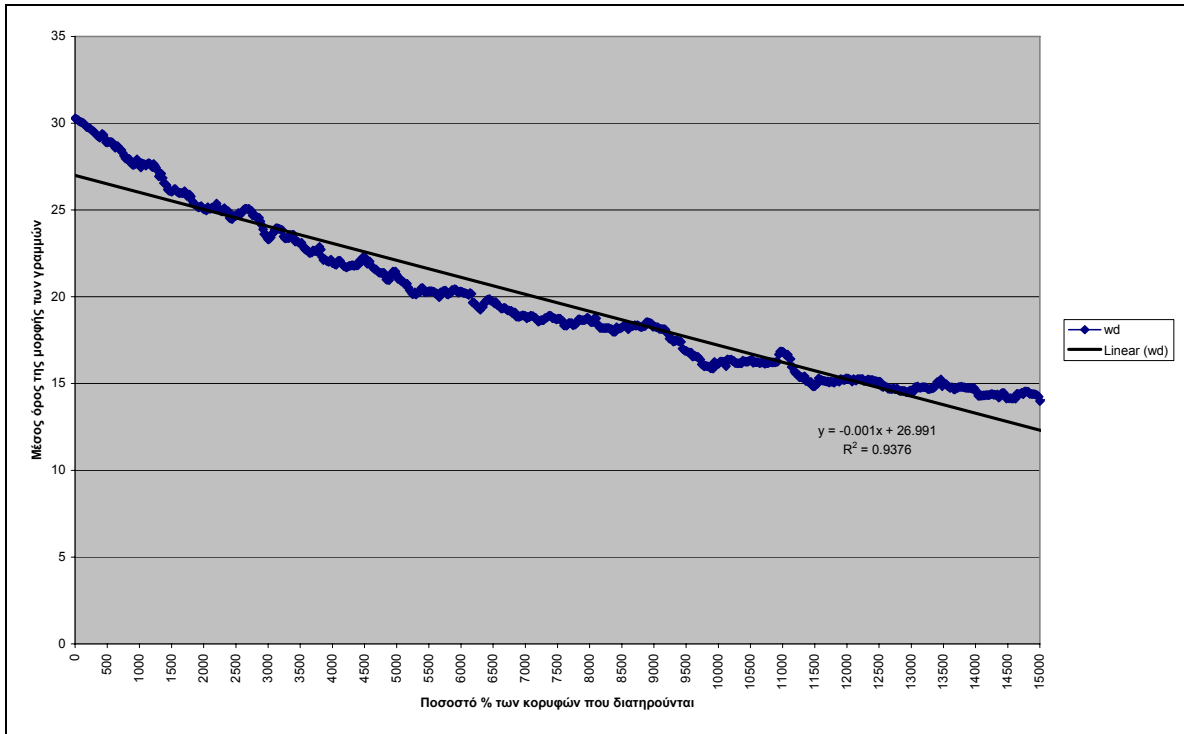
Διάγραμμα 5-7: Μέσος όρος της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Reuman Witkam ως προς την ανοχή



Διάγραμμα 5-8: Μέσος όρος της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Zhao & Saalfeld ως προς την ανοχή

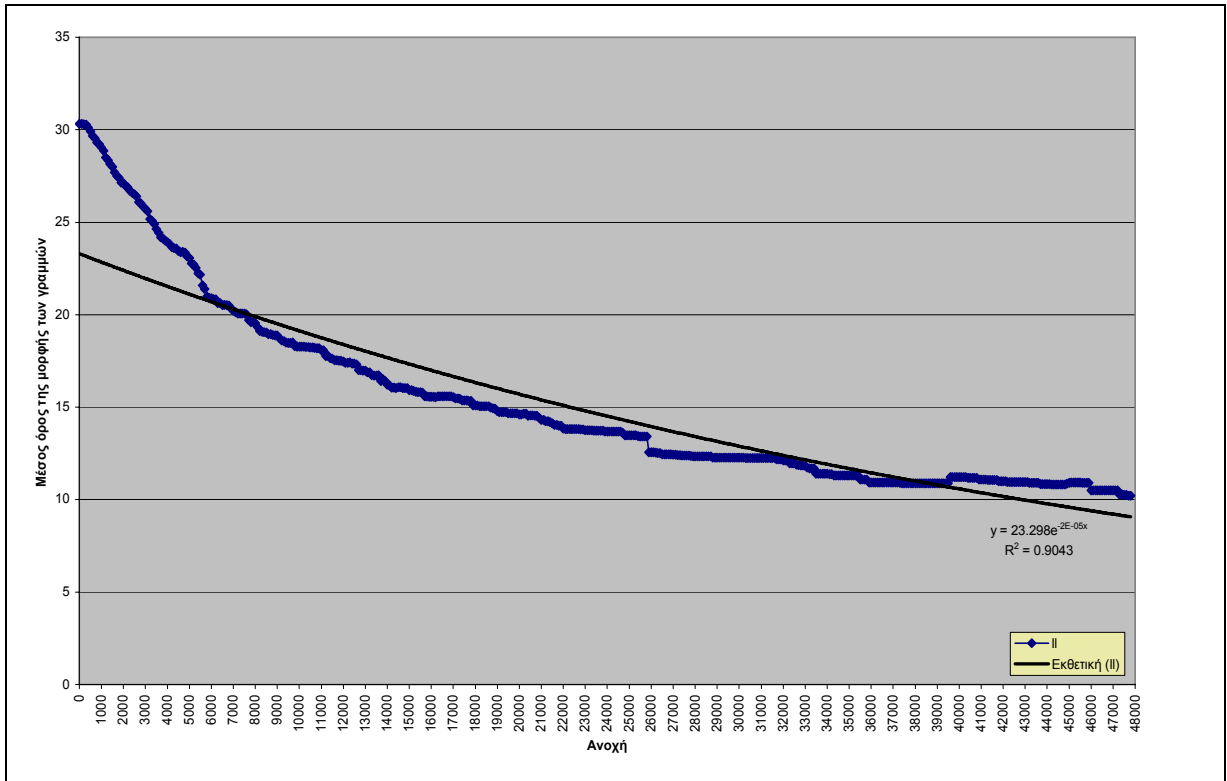


Διάγραμμα 5-9: Μέσος όρος της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Visvaligam & Whyatt ως προς την ανοχή

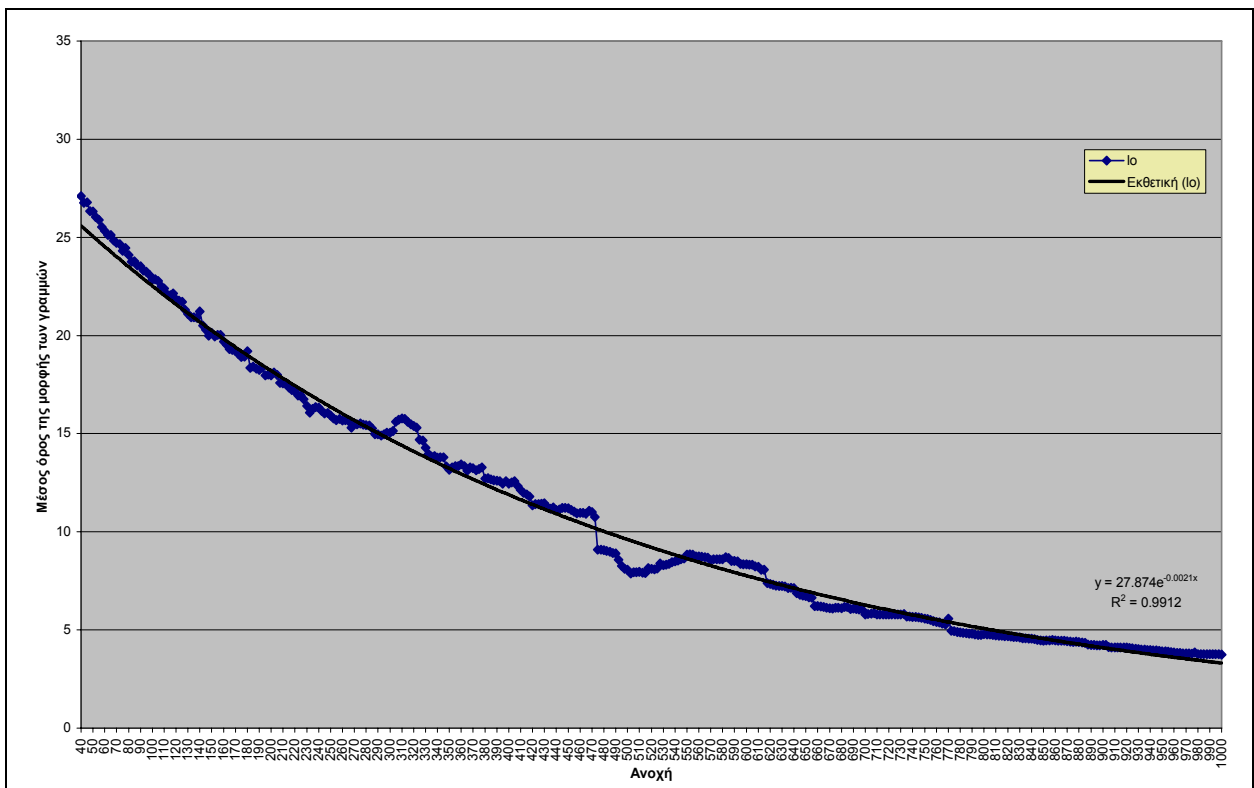


Διάγραμμα 5-10: Μέσος όρος της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Wall & Danielson ως προς την ανοχή

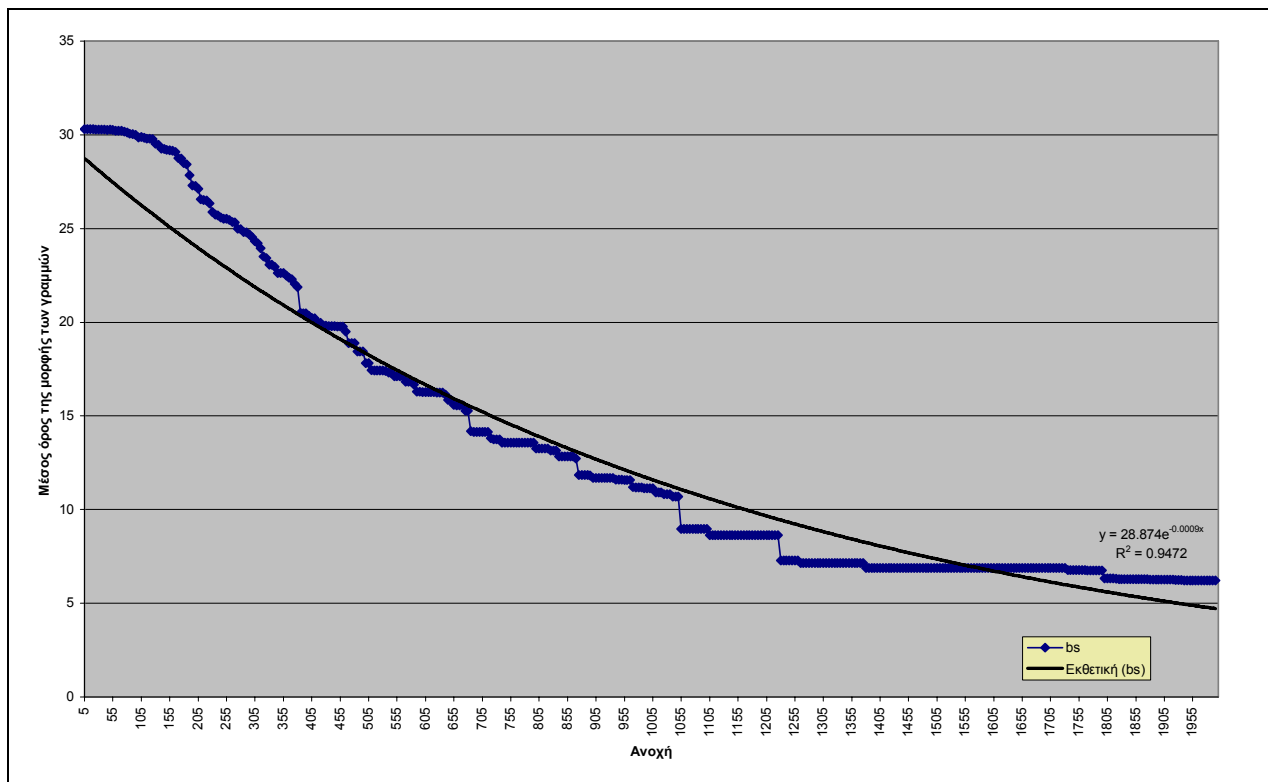
Από τα ανωτέρω διαγράμματα παρατηρείται ότι η μορφή των γραμμών για τους περιορισμένους αλγορίθμους απλοποίησης εκτός του αλγορίθμου Latecki & Lakamper προσεγγίζεται ικανοποιητικά από το γραμμικό μοντέλο. Αυτό σημαίνει ότι η μορφή της γραμμής μεταβάλλεται με σταθερό ρυθμό ως προς τις τιμές της παραμέτρου ανοχής για αυτούς τους αλγόριθμους. Αντίστοιχα, όπως είναι εμφανές από τα ακόλουθα διαγράμματα η μορφή των γραμμών για τους σύνθετους αλγορίθμους Li & Openshaw, Bend simplify καθώς και για τον αλγόριθμο Latecki & Lakamper αλγορίθμους ακολουθεί το εκθετικό μοντέλο. Το εκθετικό μοντέλο δείχνει ότι οι τιμές των δεδομένων μειώνονται ή αυξάνονται με υψηλούς ρυθμούς.



Διάγραμμα 5-11: Μέσος όρος της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Latecki Lakamper ως προς την ανοχή



Διάγραμμα 5-12: Μέσος όρος της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Li & Openshaw ως προς την ανοχή



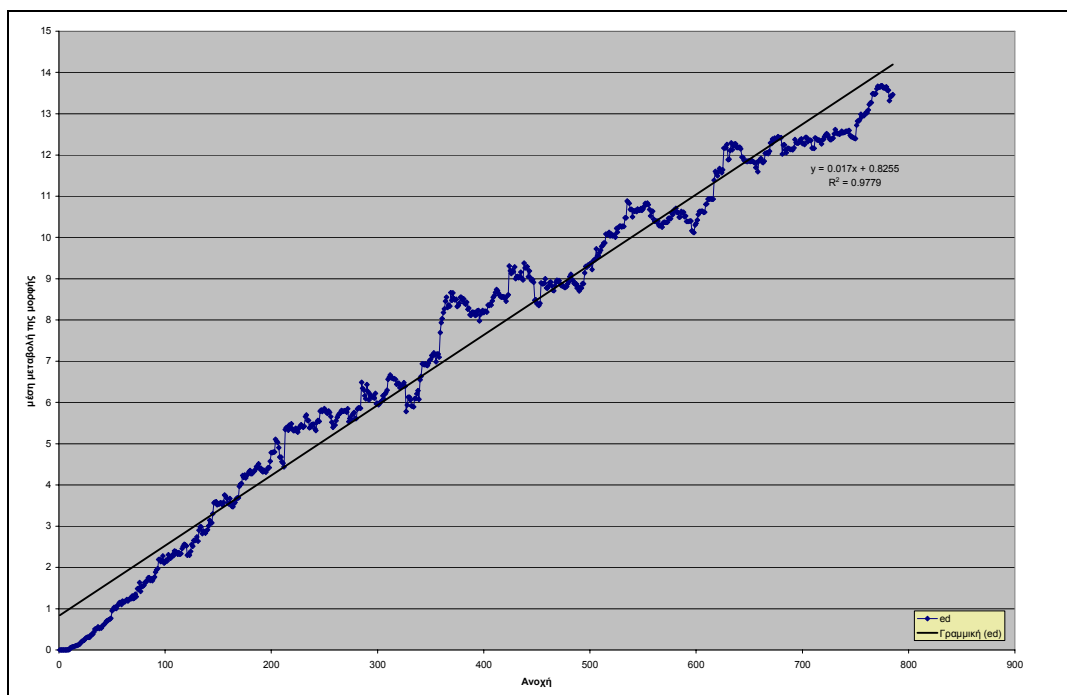
Διάγραμμα 5-13: Μέσος όρος της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Bend simplify ως προς την ανοχή

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα μοντέλα που έχουν προσαρμοστεί για κάθε αλγόριθμο καθώς και ο συντελεστής προσαρμογής τους.

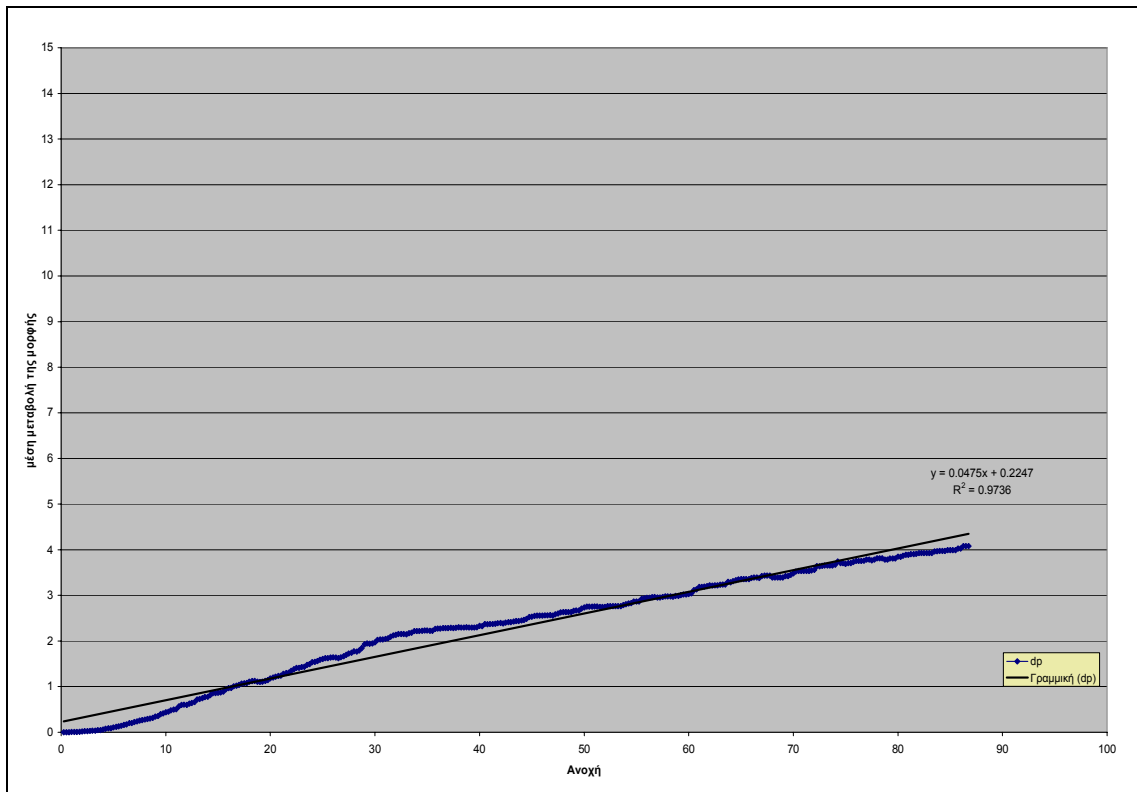
	Μοντέλο που προσαρμόζεται	Συντελεστής	R <sup>2</sup>
Ευκλείδειας απόστασης	Γραμμικό	-0.01	0.98
Douglas Peucker	Γραμμικό	-0.04	0.98
Reuman Witkam	Γραμμικό	-0.05	0.98
Zhao & Saalfeld	Γραμμικό	-0.09	0.99
Visvaligam & Whyatt	Γραμμικό	0.00	0.98
Wall Danielson	Γραμμικό	0.00	0.94
Latecki Lakamper	Εκθετικό	23.30	0.90
Li & Openshaw	Εκθετικό	27.87	0.99
Bend simplify	Εκθετικό	28.87	0.99

Πίνακας 5-5: Μοντέλα και συντελεστής προσαρμογής τους ανά αλγόριθμο

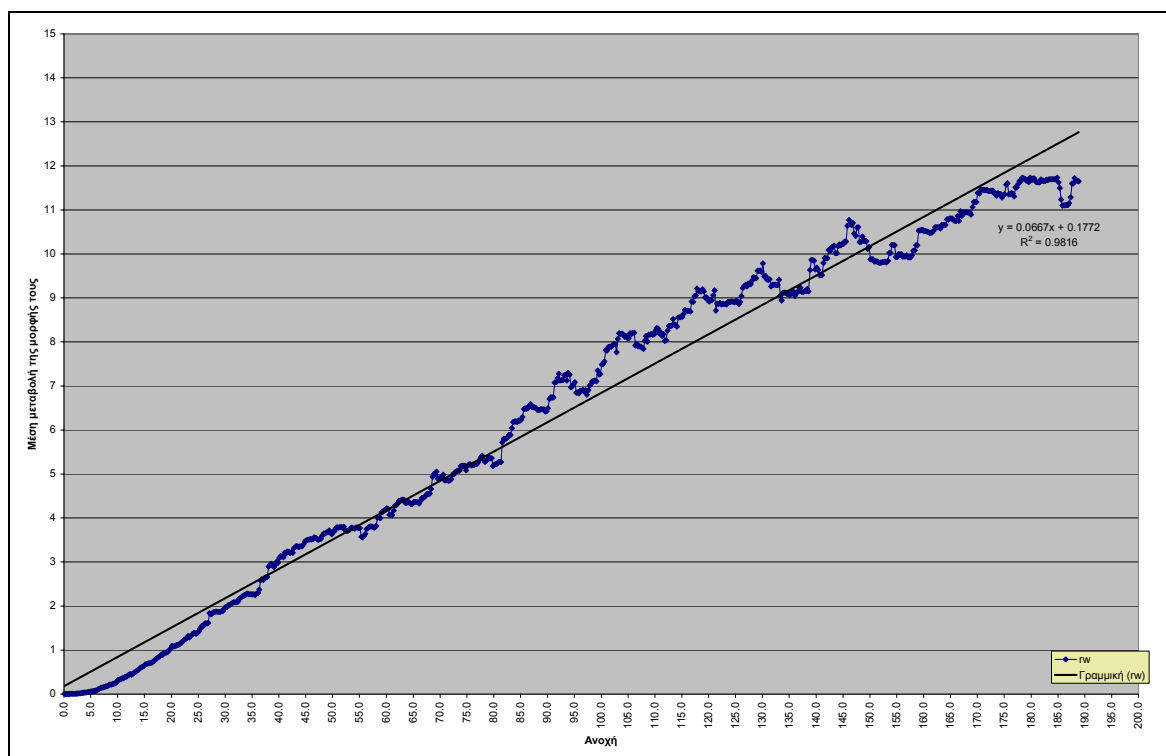
### 5.3.2 Εξέταση της μέσης μεταβολής της μορφής του συνόλου των γραμμών σε επίπεδο αλγορίθμου και παραμέτρου ανοχής



Διάγραμμα 5-14: Μέσος όρος της μεταβολής της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Ευκλείδειας απόστασης ως προς την ανοχή

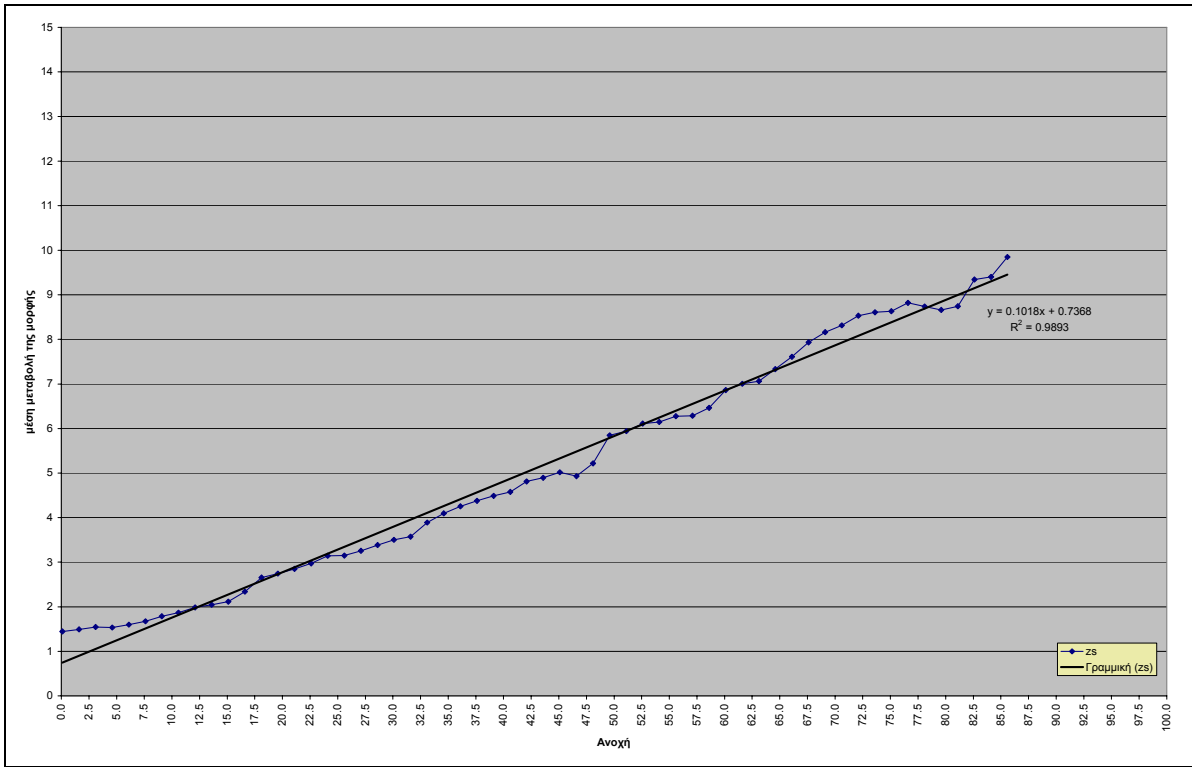


Διάγραμμα 5-15: Μέσος όρος της μεταβολής της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Douglas Peucker ως προς την ανοχή

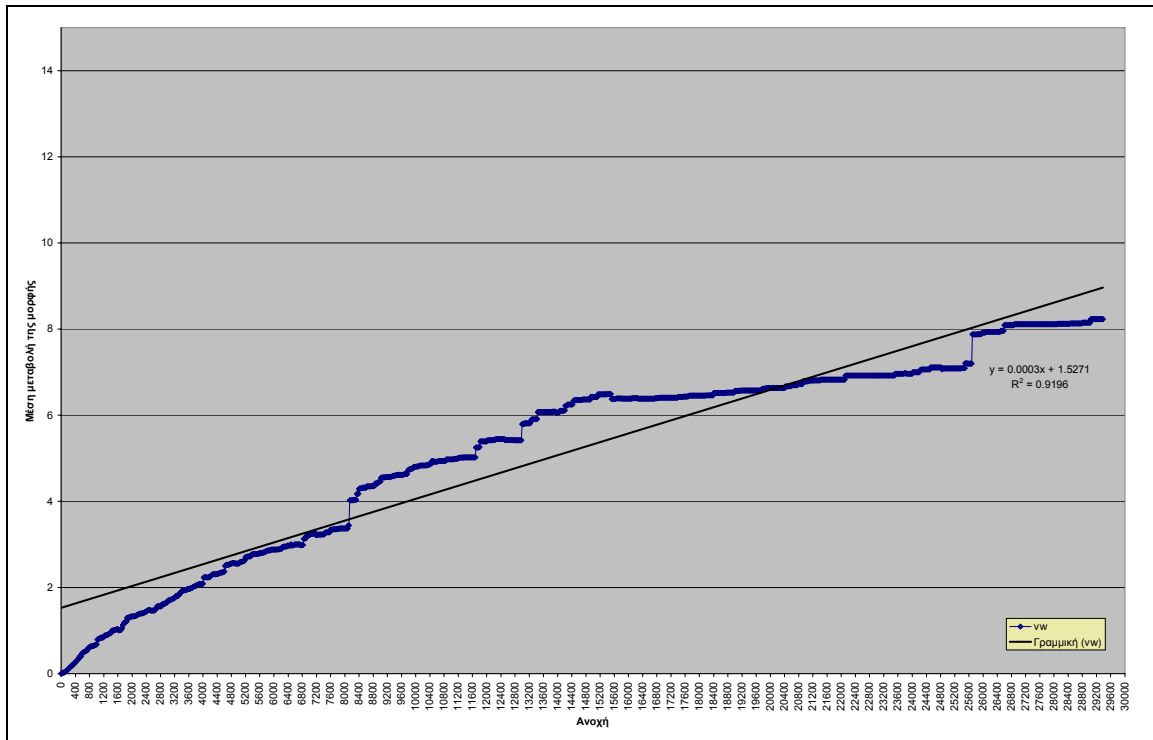


Διάγραμμα 5-16: Μέσος όρος της μεταβολής της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Reuman Witkam ως προς την ανοχή

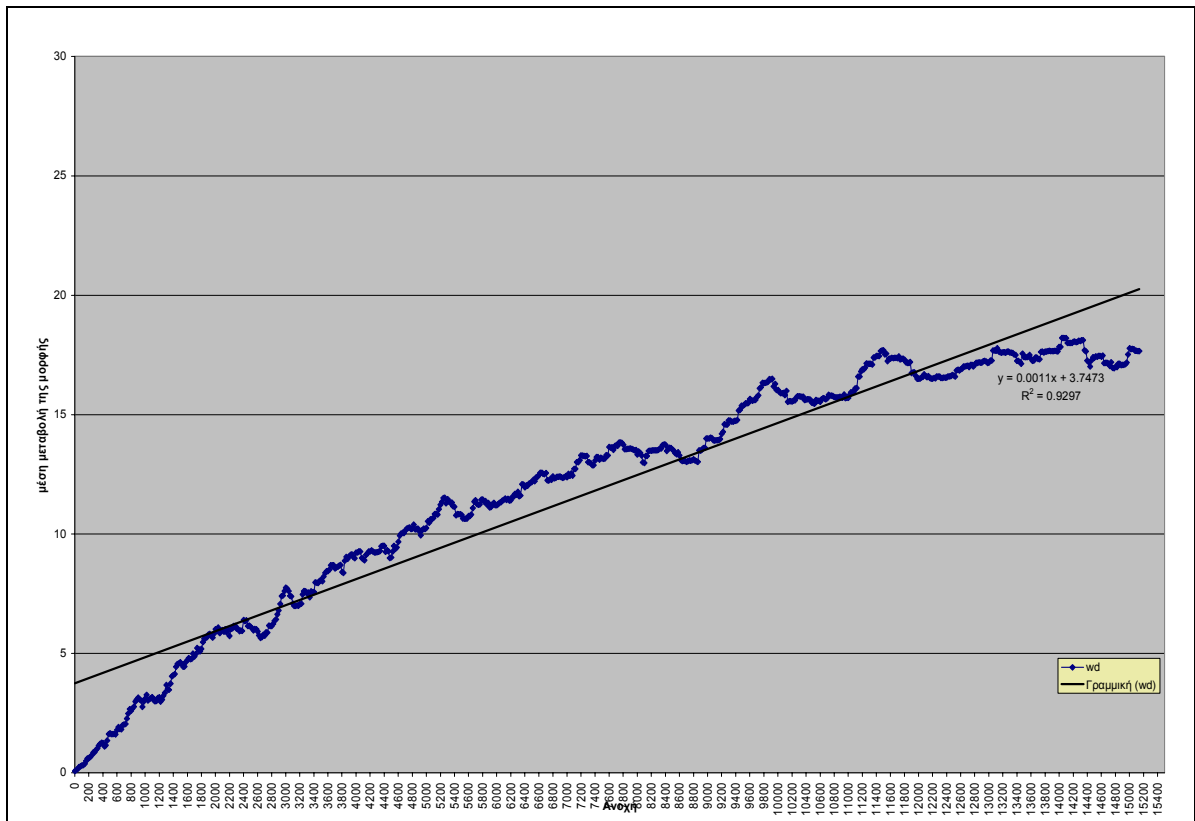




Διάγραμμα 5-17: Μέσος όρος της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Zhao & Saalfeld ως προς την ανοχή

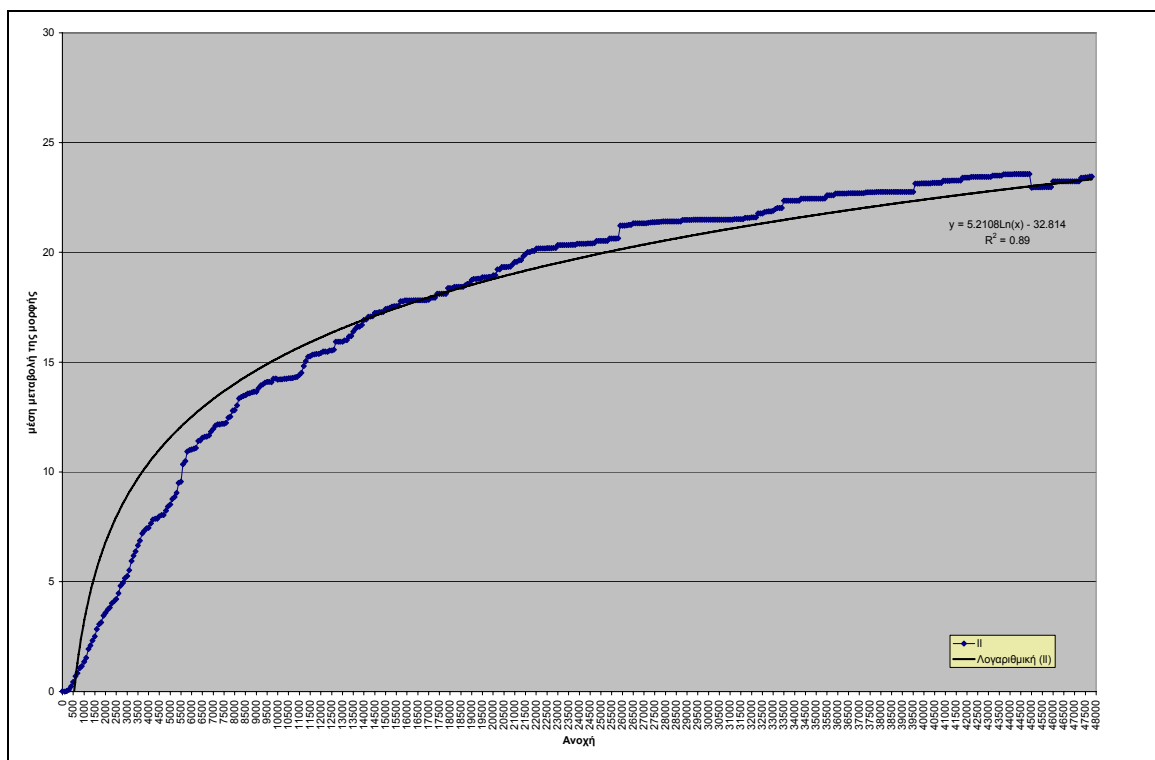


Διάγραμμα 5-18: Μέσος όρος της μεταβολής της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Visvaligam & Whyatt ως προς την ανοχή

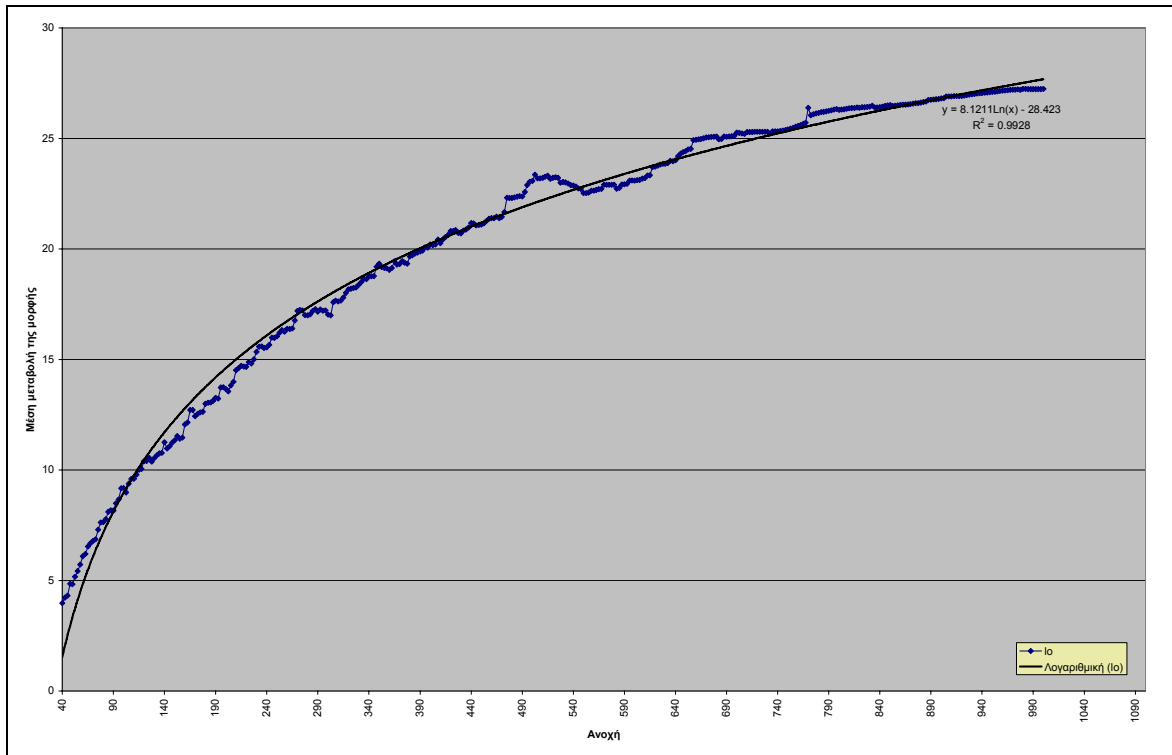


Διάγραμμα 5-19: Μέσος όρος της μεταβολής της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Wall Danielson ως προς την ανοχή

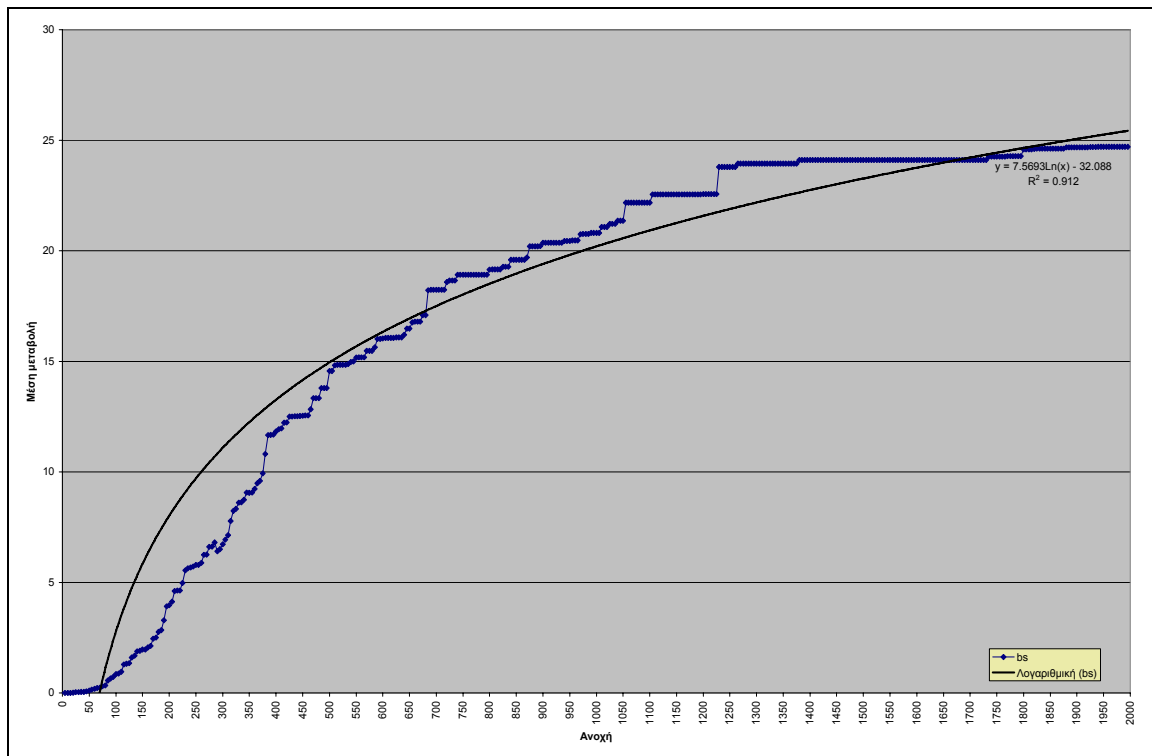
Τα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζουν την επίδραση των σύνθετων αλγορίθμων απλοποίησης καθώς μεταβάλλεται η παράμετρος ανοχής.



Διάγραμμα 5-20: Μέσος όρος της μεταβολής της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Latecki Lakamper ως προς την ανοχή



Διάγραμμα 5-21: Μέσος όρος της μεταβολής της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Li & Openshaw ως προς την ανοχή



Διάγραμμα 5-22: Μέσος όρος της μεταβολής της μορφής των γραμμών για τον αλγόριθμο Bend simplify ως προς την ανοχή

Από τα ανωτέρω διαγράμματα παρατηρείται πως η μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω των απλών αλγορίθμων απλοποίησης εκτός του αλγορίθμου Latecki & Lackamper είναι γραμμική ενώ η μέση μεταβολή μέσω των σύνθετων αλγορίθμων και του Latecki & Lackamper ακολουθεί το λογαριθμικό μοντέλο. Επομένως, για τους απλούς αλγόριθμους ο ρυθμός μεταβολής της μορφής των γραμμών είναι σταθερός ενώ, για τους σύνθετους αλγόριθμους και τον αλγόριθμο Latecki & Lackamper ο ρυθμός μεταβολής της μορφής αυξομειώνεται και έπειτα σταθεροποιείται.

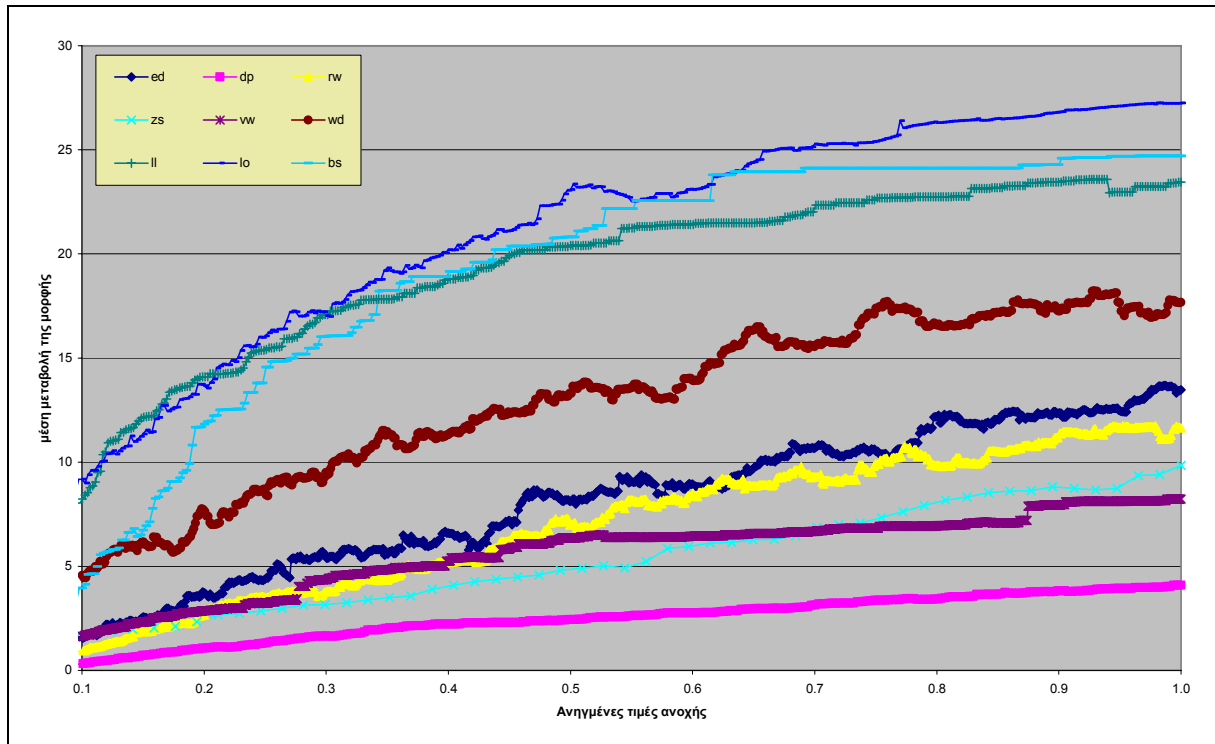
Δεδομένου ότι η επιλογή των τιμών της ανοχής για όλους τους αλγόριθμους έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε οι απλοποιημένες γραμμές που προκύπτουν μέσω αυτών να έχουν παρόμοιο πλήθος κορυφών, μπορεί να πραγματοποιηθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων των αλγορίθμων βάσει των ανωτέρω διαγραμμάτων. Η σύγκριση αυτή θα πραγματοποιηθεί στη συνέχεια βάσει των ανηγμένων τιμών ανοχής στο διάστημα [0.1, 1].

Συνοπτικά, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα τα μοντέλα που έχουν προσαρμοστεί και οι συντελεστές προσαρμογής τους για κάθε αλγόριθμο.

	<b>Μοντέλο που προσαρμόζεται</b>	<b>Συντελεστής</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Ευκλείδειας απόστασης</b>	Γραμμικό	0.02	0.98
<b>Douglas Peucker</b>	Γραμμικό	0.05	0.97
<b>Reuman Witkam</b>	Γραμμικό	0.07	0.98
<b>Zhao &amp; Saalfeld</b>	Γραμμικό	0.10	0.99
<b>Visvaligam &amp; Whyatt</b>	Γραμμικό	0.00	0.92
<b>Wall Danielson</b>	Γραμμικό	0.00	0.93
<b>Latecki Lakamper</b>	Λογαριθμικό	5.21	0.89
<b>Li &amp; Openshaw</b>	Λογαριθμικό	8.12	0.99
<b>Bend simplify</b>	Λογαριθμικό	7.57	0.91

Πίνακας 5-6: Μοντέλα και συντελεστής προσαρμογής τους στα διαγράμματα μεταβολής της μορφής των γραμμών ανά αλγόριθμο

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η μεταβολή της μορφής του συνόλου των γραμμών ανάλογα με τις ανοιγμένες τιμές ανοχής στο διάστημα [0,1, 1].



Διάγραμμα 5-23: Μέσος όρος της μεταβολής του συνόλου των γραμμών ανά αλγόριθμο ανάλογα με τις ανοιγμένες τιμές ανοχής

Από το ανωτέρω διάγραμμα παρατηρείται πως ο αλγόριθμος Li & Openshaw προκαλεί τη μέγιστη μεταβολή της μορφής των γραμμών ακόμα και για μικρές τιμές ανοχής. Αυτό είναι αναμενόμενο για τον αλγόριθμο Li & Openshaw καθώς είναι σύνθετος και επομένως προσδιορίζει την απλοποιημένη γραμμή όχι μόνο μέσω απαλοιφής κορυφών αλλά και με μεταβολή της θέσης των κορυφών της αρχικής γραμμής. Για ανοιγμένες τιμές ανοχής στο διάστημα [0,5, 1] παρατηρείται σαφής διαφοροποίηση της μεταβολής που προκαλείται μέσω των διαφόρων αλγορίθμων. Παρατηρείται πως τη μικρότερη μεταβολή προκαλούν οι αλγόριθμοι Douglas Peucker, Zao- Saafield, Visvalingam- Whyatt, Rewmann- Witkam. Το αποτέλεσμα που προέκυψε για τον αλγόριθμο Douglas Peucker ήταν αναμενόμενο καθώς έχει ήδη τονιστεί από τον Muller (1987) πως ο αλγόριθμος παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα όταν εφαρμόζεται σε ακτογραμμές. Επίσης, τεκμηριώνεται το συμπέρασμα που προέκυψε από τη βιβλιογραφική μελέτη πως ο αλγόριθμος Visvalingam- Whyatt είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος στηρίζεται σε χαρτογραφική λογική και παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι σε φθίνουσα σειρά ανάλογα με τον μέσο όρο της μεταβολής της μορφής λόγω της εφαρμογής τους στο σύνολο των γραμμών.

Οι αλγόριθμοι Li & Openshaw, Bend simplify είναι σύνθετοι αλγόριθμοι απλοποίησης και προκαλούν και μετατόπιση εκτός από διαγραφή ορισμένων κορυφών από την αρχική γραμμή. Η λειτουργία αυτή των αλγορίθμων δικαιολογεί τη μεγάλη μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω των δύο αυτών αλγορίθμων που παρουσιάζεται και για μικρές τιμές της παραμέτρου της ανοχής. Οι τιμές μεταβολής στη μορφή των γραμμών που επιφέρουν αυτοί οι αλγόριθμοι καλύπτουν διαφορετική περιοχή στο διάγραμμα από τους υπόλοιπους και παρουσιάζουν εγγύτητα μόνο με τις τιμές της μεταβολής που προκαλείται μέσω του αλγορίθμου Latecki Lakamper.

Οι αλγόριθμοι Douglas Peucker και Visvaligam & Whyatt παρουσιάζουν μεγάλη εγγύτητα για όλα τα ποσοστά των κορυφών που διατηρούνται, ενώ οι αλγόριθμοι Visvaligam & Whyatt και Reuman Witkam για ανηγμένες τιμές ανοχής μικρότερες του 0.5 παρουσιάζουν ίδιες τιμές της μεταβολής της μορφής .

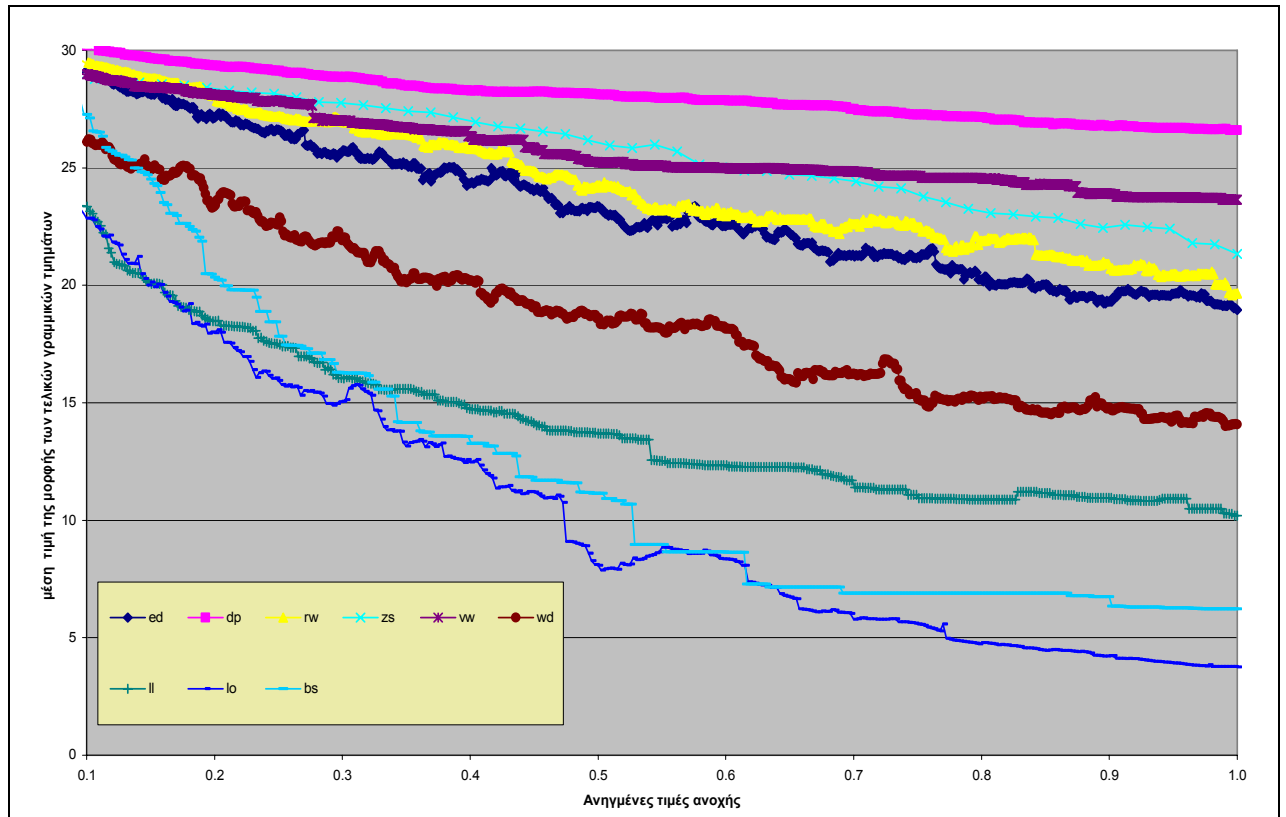
Ο αλγόριθμος Zhao & Saalfeld παρουσιάζει ίδια μεταβολή της μορφής των γραμμών από τον αλγόριθμο Reuman Witkam στο διάστημα [0.1, 0.5] και στο διάστημα [0.5, 1] ο Reuman Witkam προκαλεί μεγαλύτερη μεταβολή από τον Zhao & Saalfeld ενώ και οι δύο βασίζονται στην απαλοιφή κορυφών μέσω μιας ζώνης. Ο αλγόριθμος Wall & Danielson διαφοροποιείται σαφώς από τους υπολοίπους βάσει τις μεταβολής που προκαλεί στη μορφή των γραμμών για όλες τις ανηγμένες τιμές ανοχής.

Στον ακόλουθο πίνακα πραγματοποιείται φθίνουσα ταξινόμηση των αλγορίθμων ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής στο διάστημα [0.5, 1]. Παρατηρείται πως ο αλγόριθμος Douglas Peucker προκαλεί τη μικρότερη μεταβολή της μορφής της γραμμής και οι σύνθετοι αλγόριθμοι τη μέγιστη.

<b>Αλγόριθμοι απλοποίησης</b>
LI & OPENSHAW
BEND SIMPLIFY
LATECKI LAKAMPER
WALL DANIELSON
ΕΥΚΛΕΙΔΕΙΑΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ
REUMAN WITKAM
VISVALIGAM & WHYATT
ZHAO & SAALFELD
DOUGLAS PEUCKER

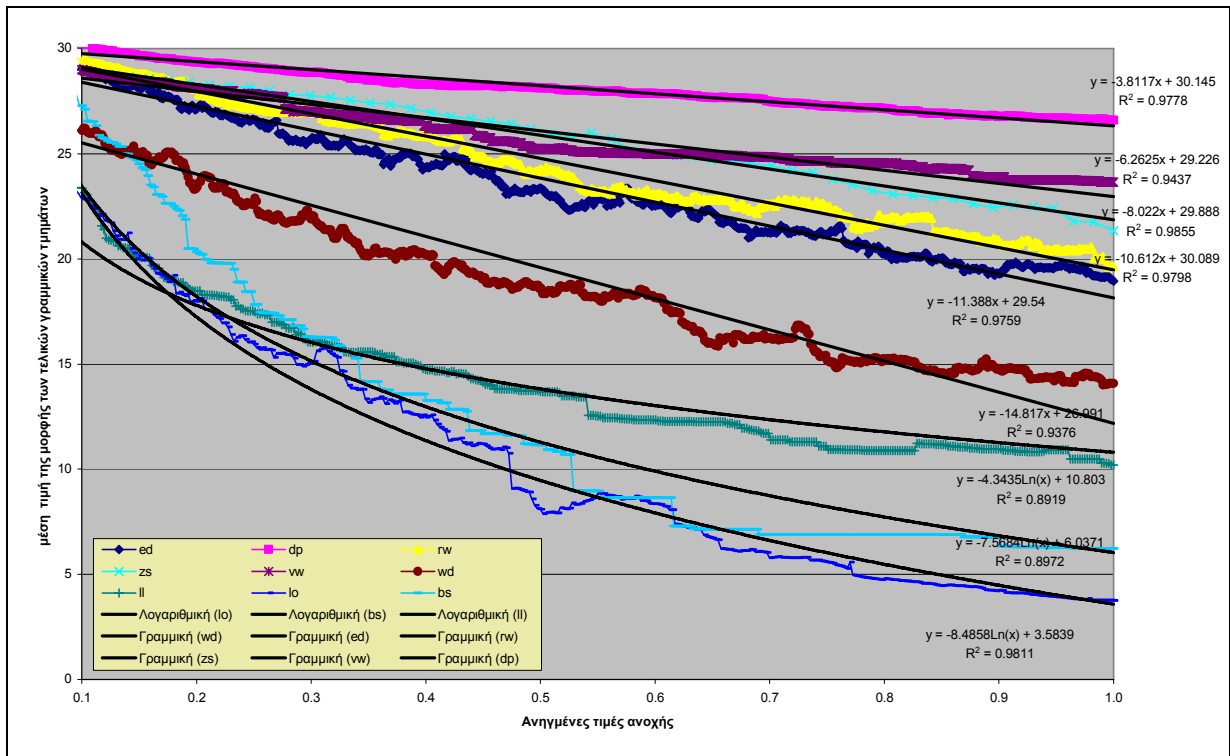
Πίνακας 5-7: Φθίνουσα ταξινόμηση των αλγορίθμων ανάλογα με τον μέσο όρο μεταβολής της μορφής των γραμμών

Το διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μέση τιμή της μορφής των τελικών γραμμικών τμημάτων που προκύπτουν μέσω κάθε αλγορίθμου ανάλογα ως προς τις ανοιγμένες τιμές της ανοχής. Έχουν επιλεγεί τιμές ανοχής από 0.1 έως 1.



Διάγραμμα 5-24: Μέση μεταβολή της μορφής για κάθε αλγόριθμο ανάλογα με τις ανοιγμένες τιμές ανοχής

Το ακόλουθο διάγραμμα προκύπτει από το προηγούμενο με προσαρμογή γραμμών τάσης σε κάθε έναν από τους αλγορίθμους.



Διάγραμμα 5-25: Μέση μεταβολή της μορφής με προσαρμοσμένες γραμμές τάσης για κάθε αλγόριθμο ανάλογα με τις ανοιγμένες τιμές ανοχής

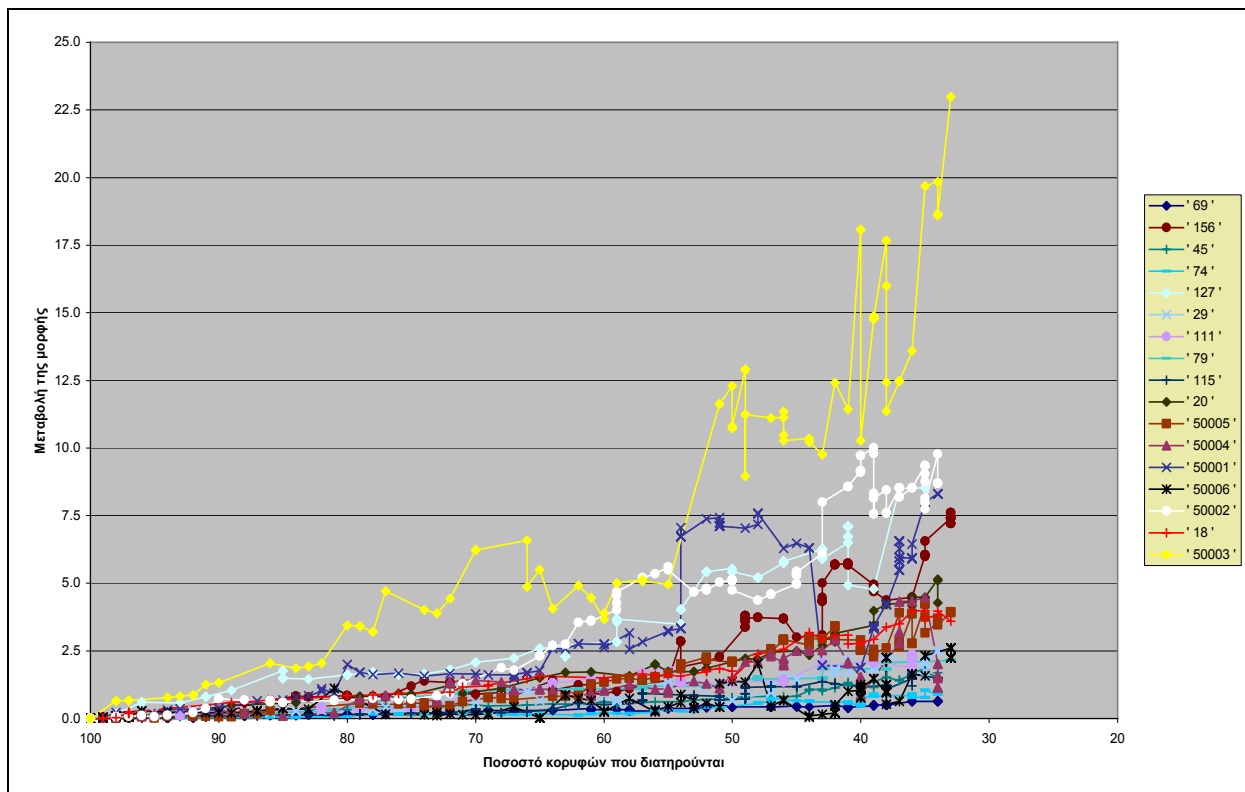
Η μέση τιμή της μορφής των τελικών γραμμικών τμημάτων που προκύπτουν μέσω των αλγορίθμων Douglas Peucker, Visvaligam & Whyatt, Reuman Witkam, Zhao & Saalfeld, Ευκλείδειας απόστασης, Wall Danielsson προσεγγίζεται από το γραμμικό μοντέλο για το σύνολο των των ανηγμένων τιμών ανοχής. Τέλος, η μέση τιμή της μορφής των γραμμικών τμημάτων που προκύπτουν με εφαρμογή των αλγορίθμων Latecki Lakamper, Li & Openshaw και Bend simplify προσεγγίζεται μέσω λογαριθμικής συνάρτησης. Η προσαρμογή των γραμμών τάσεων για όλους τους αλγορίθμους θεωρείται ικανοποιητική αφού ο συντελεστής  $R^2$  είναι μεγαλύτερος ίσος του 0,89.

Οι ανοιγμένες τιμές της ανοχής ορίστηκαν στους αλγορίθμους έτσι ώστε να είναι κοινές για όλους και να είναι εφικτή η σύγκρισή τους.



### 5.3.3 Μελέτη μεταβολής της μορφής για κάθε αλγόριθμο και για κάθε γραμμή μέσω των μετασχηματισμών απλοποίησης

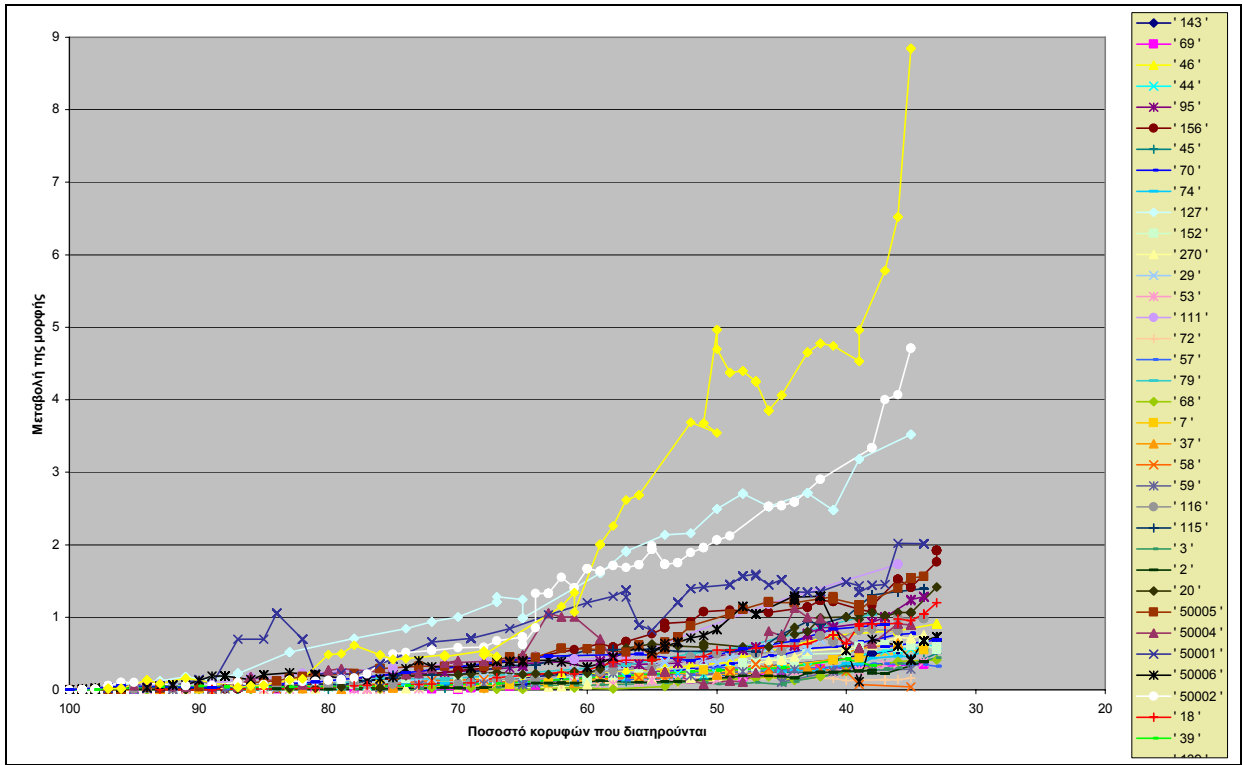
Τα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζουν τη μεταβολή της μορφής της γραμμής μέσω του κάθε αλγορίθμου για κάθε γραμμή.



Διάγραμμα 5-26: Μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω του αλγορίθμου Ευκλείδειας απόστασης

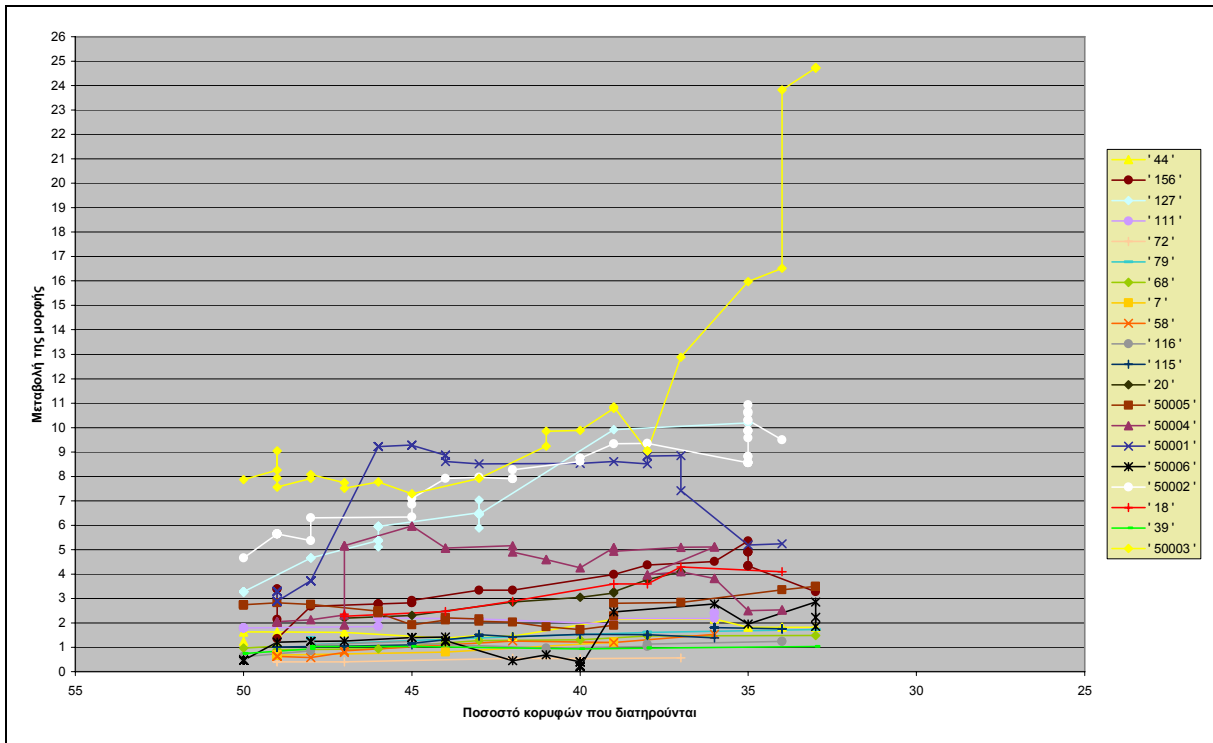
Παρατηρείται πως μέσω του αλγορίθμου Ευκλείδειας απόστασης για γραμμές οι οποίες έχουν διατηρήσει μικρότερο ή ίσο ποσοστό του 45% των κορυφών διαχωρίζονται η πρώτη και η δεύτερη ομάδα (ευθείες και γραμμές με έντονη καμπυλότητα) που παρουσιάζουν τιμές της μεταβολής της μορφής της γραμμής έως 2.5 από τις ημιτονοειδείς και έντονα ημιτονοειδείς γραμμές της 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> ομάδας που παρουσιάζουν τιμές της μεταβολής της μορφής της γραμμής πάνω από 2.5.

Το ίδιο ακριβώς φαινόμενο παρουσιάζεται και μέσω του αλγορίθμου Douglas Peucker και του μόνο που η οριακή τιμή της μεταβολής της μορφής της γραμμής που διαφοροποιεί τις ομάδες είναι η τιμή 1.



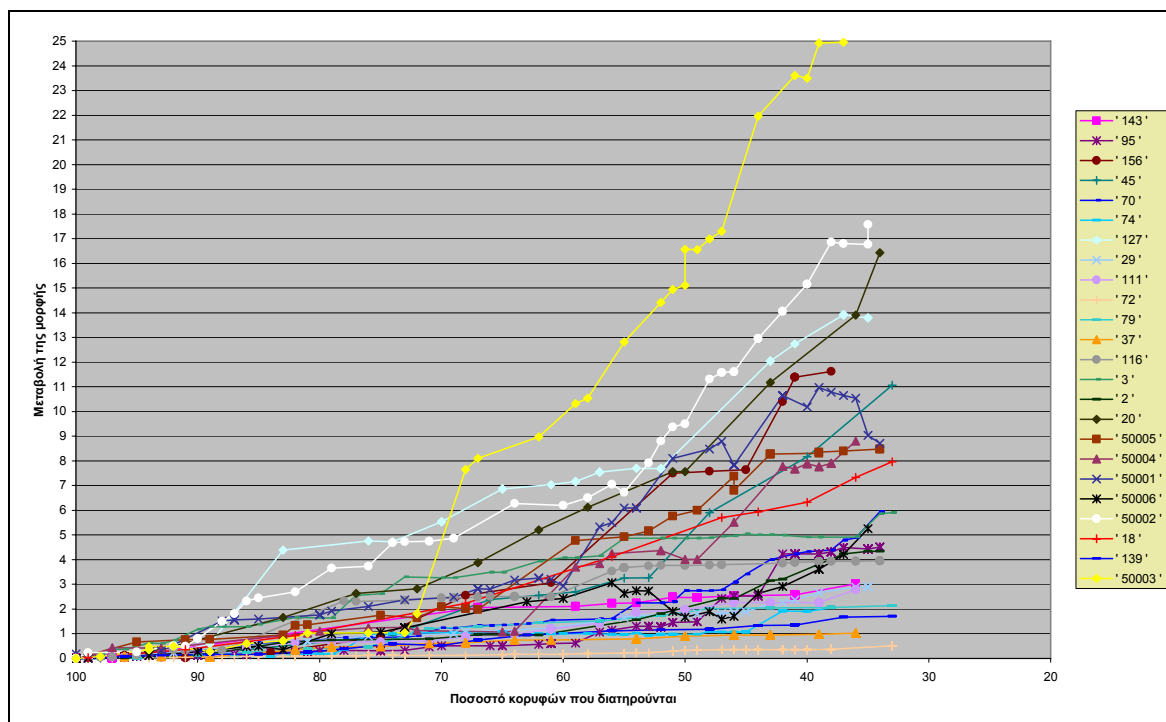
Διάγραμμα 5-27: Μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω του αλγορίθμου Douglas Peucker

Ομοίως μέσω του αλγορίθμου Zhao & Saalfeld ο διαχωρισμός πραγματοποιείται για ποσοστό που έχει διατηρηθεί της τάξης του 45% με τιμή διαχωρισμού την τιμή 2.



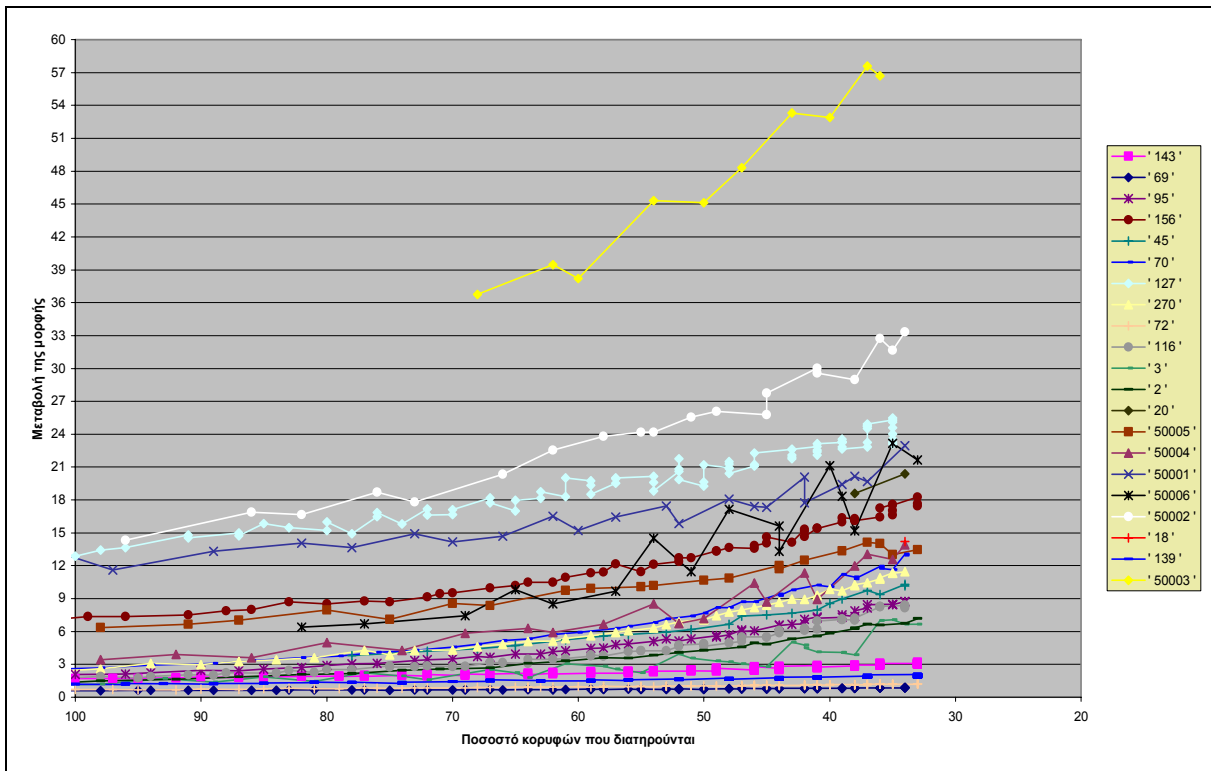
Διάγραμμα 5-28: Μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω του αλγορίθμου Zhao & Saalfeld

Μέσω του αλγορίθμου Latecki Lakamper ο διαχωρισμός πραγματοποιείται για ποσοστό που έχει διατηρηθεί της τάξης του 35% με τιμή διαχωρισμού την τιμή2 ενώ μέσω του αλγορίθμου Li & Openshaw είναι η τιμή 3.



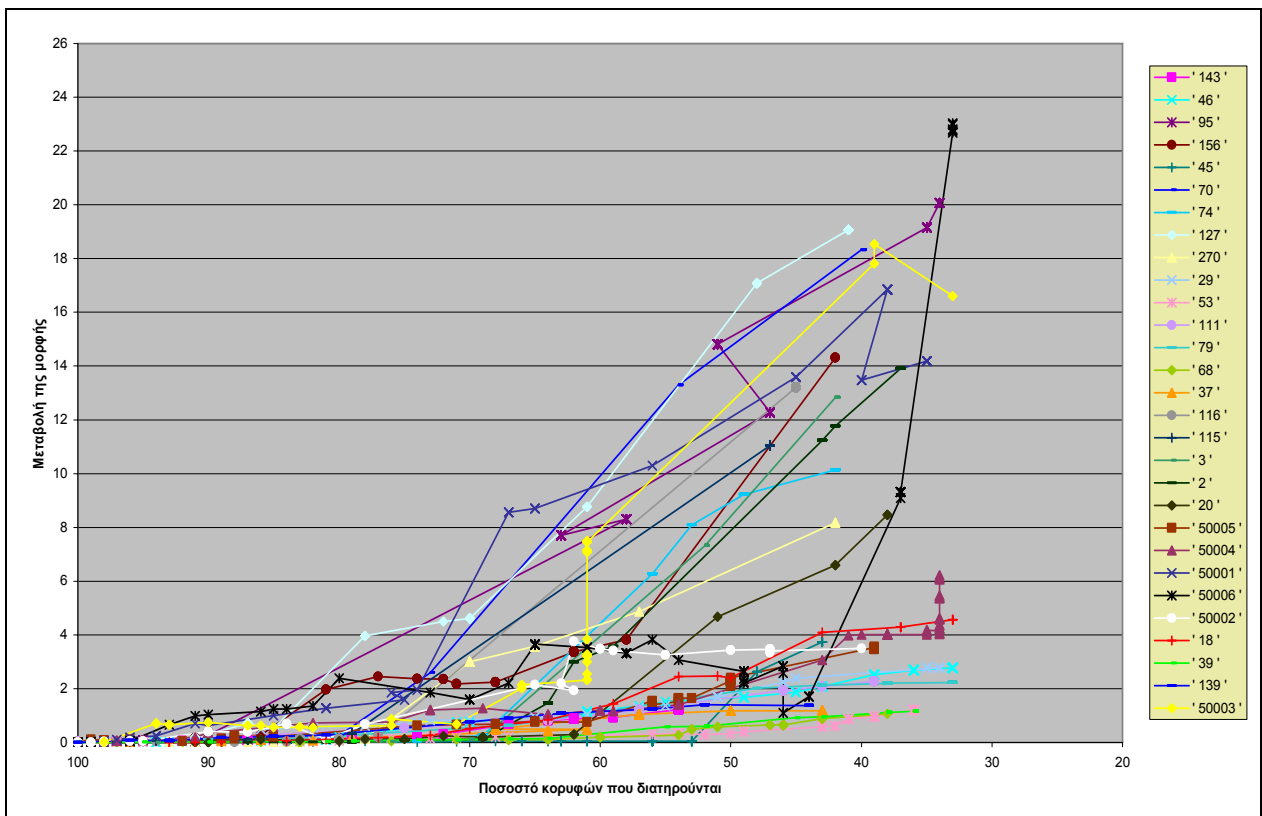
Διάγραμμα 5-29: Μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω του αλγορίθμου Latecki Lakamper

Μέσω του αλγορίθμου Bend simplify ο διαχωρισμός πραγματοποιείται για ποσοστό που έχει διατηρηθεί της τάξης του 45% με τιμή διαχωρισμού την τιμή2 ενώ μέσω του αλγορίθμου Li & Openshaw είναι η τιμή 2.



Διάγραμμα 5-30: Μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω του αλγορίθμου

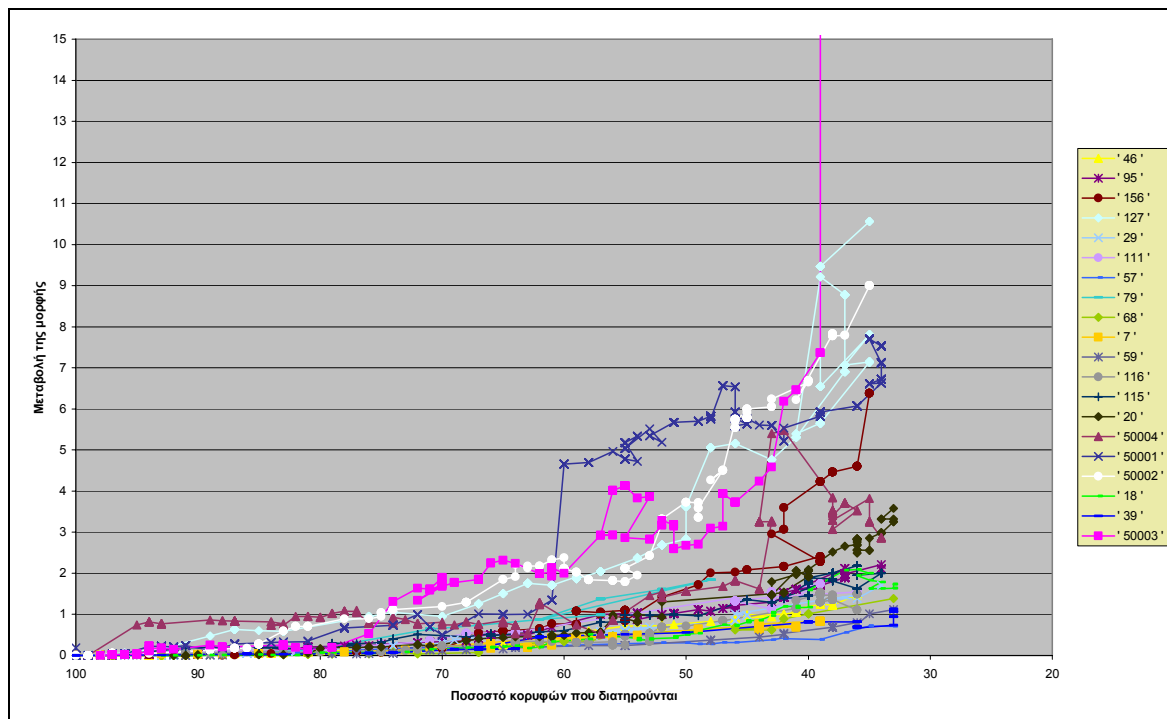
Li & Openshaw



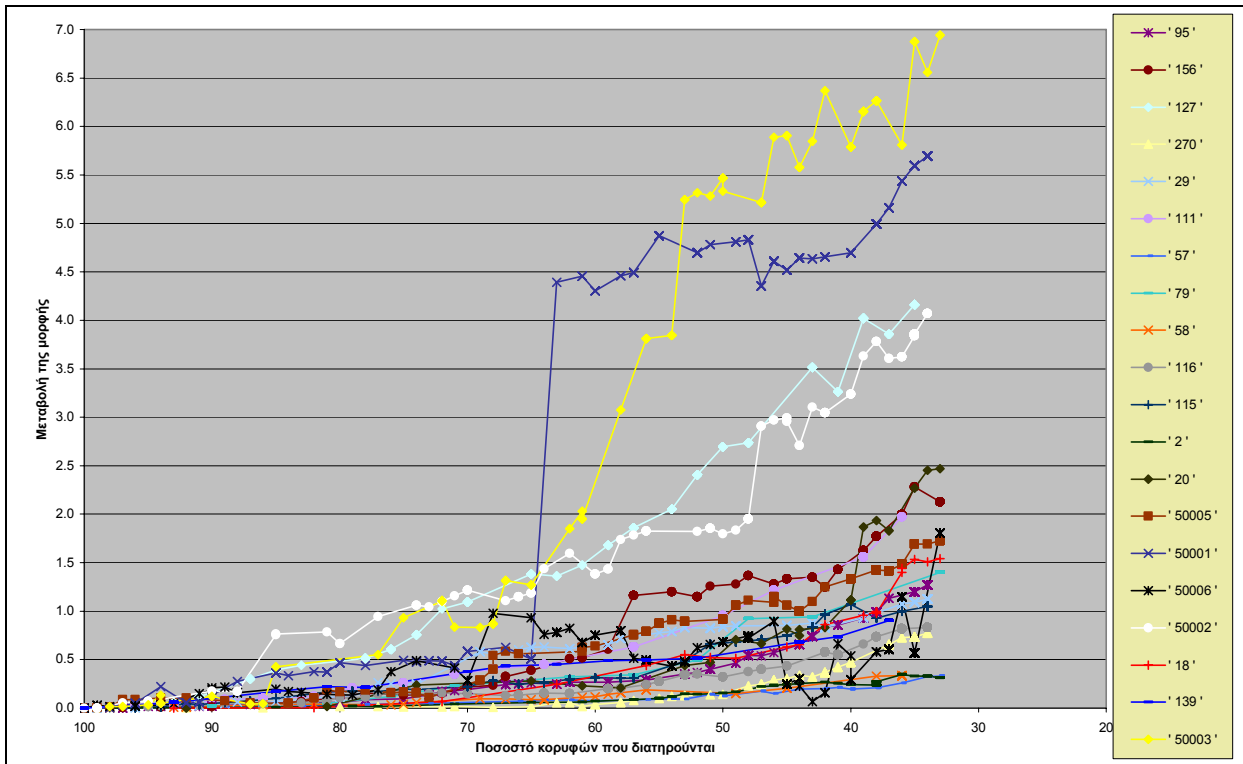
Διάγραμμα 5-31: Μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω του αλγορίθμου

Bend simplify

Από τα διαγράμματα Reuman Witkam, Visvaligam & Whyatt, Wall Danielsson δεν είναι ιδιαίτερα ευκρινής ο διαχωρισμός των γραμμών. Κάποιες από τις έντονα ημιτονοειδείς παρουσιάζουν υψηλές τιμές ενώ άλλες (π.χ. γραμμή 18, 5004) παρουσιάζουν τιμές μεταβολής της μορφής τους χαμηλές. Από αυτό θα μπορούσε να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι αλγόριθμοι δεν παρουσιάζουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για τις ημιτονοειδείς και τις έντονα ημιτονοειδείς γραμμές καθώς θα ήταν λογικό οι γραμμές αυτές να παρουσιάζουν μεγάλη μεταβολή της μορφής τους όταν θα έχουν διατηρήσει το 50% των κορυφών τους.

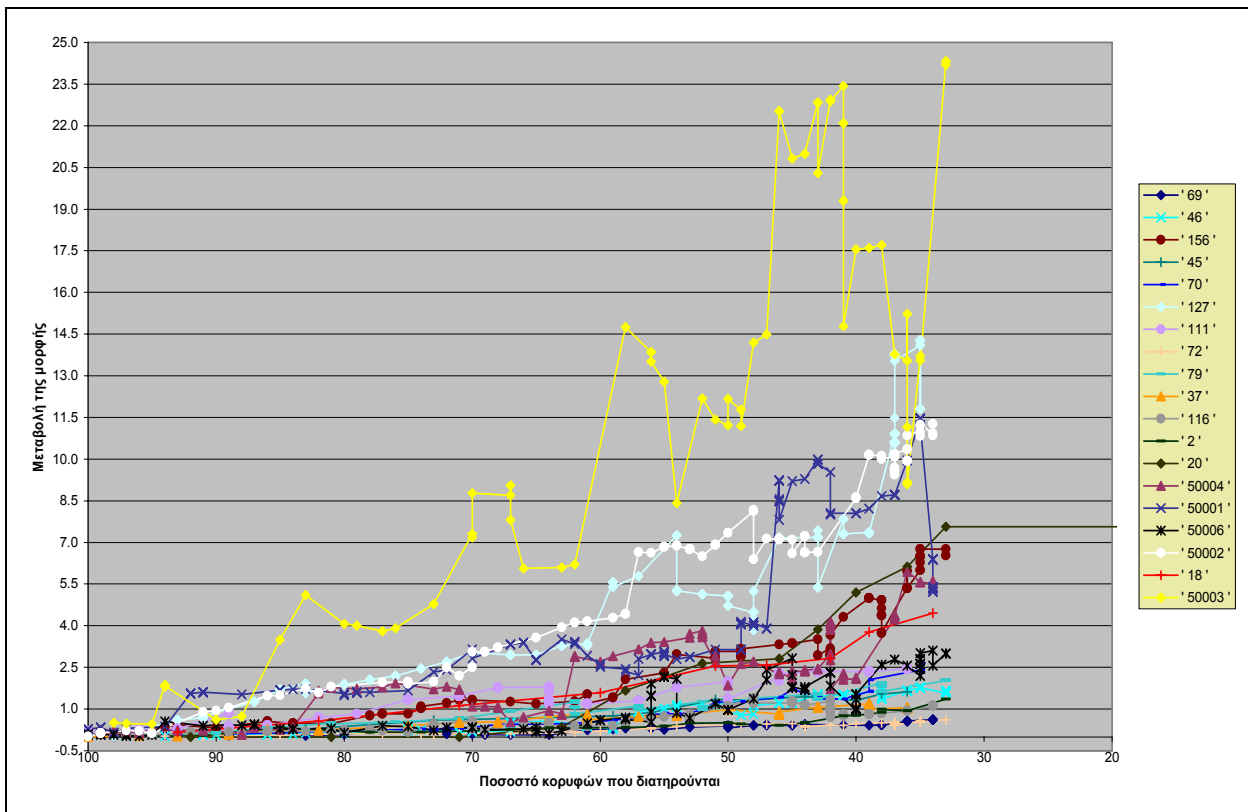


Διάγραμμα 5-32: Μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω του αλγορίθμου Reuman Witkam



Διάγραμμα 5-33: Μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω του αλγορίθμου

Visvaligam & Whyatt

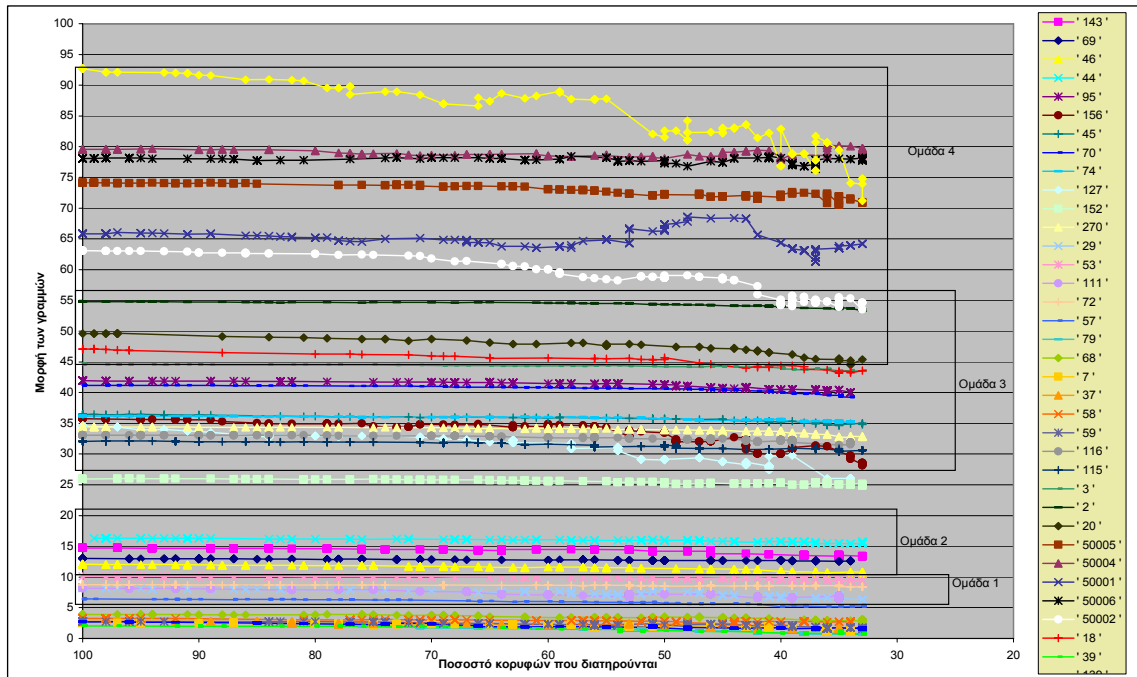


Διάγραμμα 5-34: Μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω του αλγορίθμου Wall

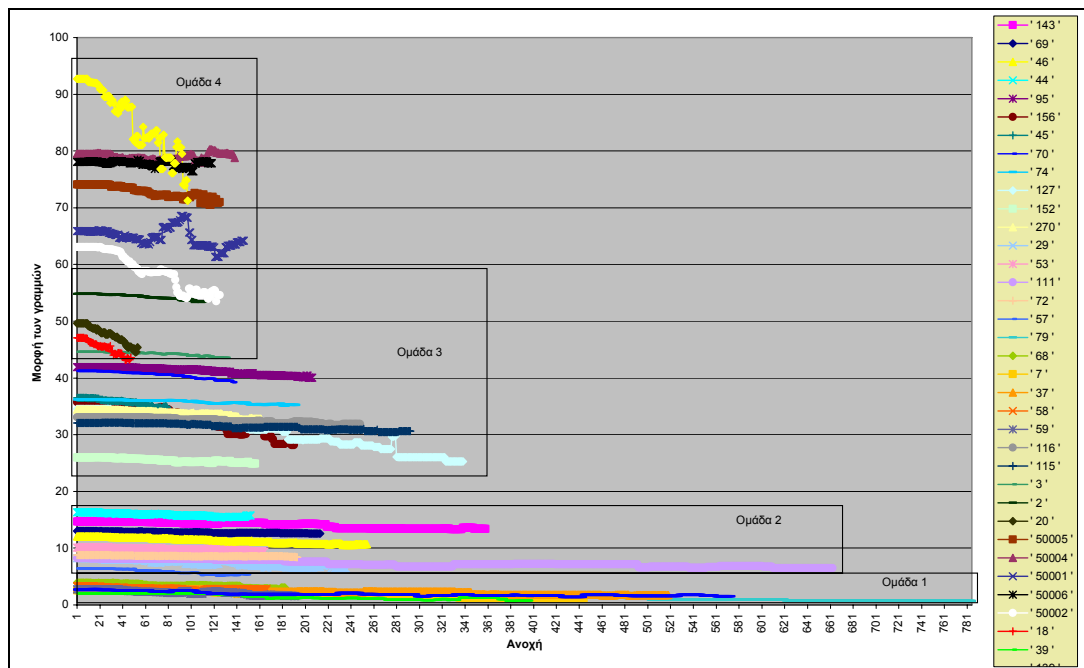
Danielsson

### 5.3.4 Μελέτη της μορφής για κάθε αλγόριθμο και για κάθε γραμμή μέσω των μετασχηματισμών απλοποίησης

Τα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται για κάθε αλγόριθμο η μορφή κάθε απλοποιημένης γραμμής ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών και την ανοχή που διατηρούνται για κάθε αλγόριθμο χωριστά.

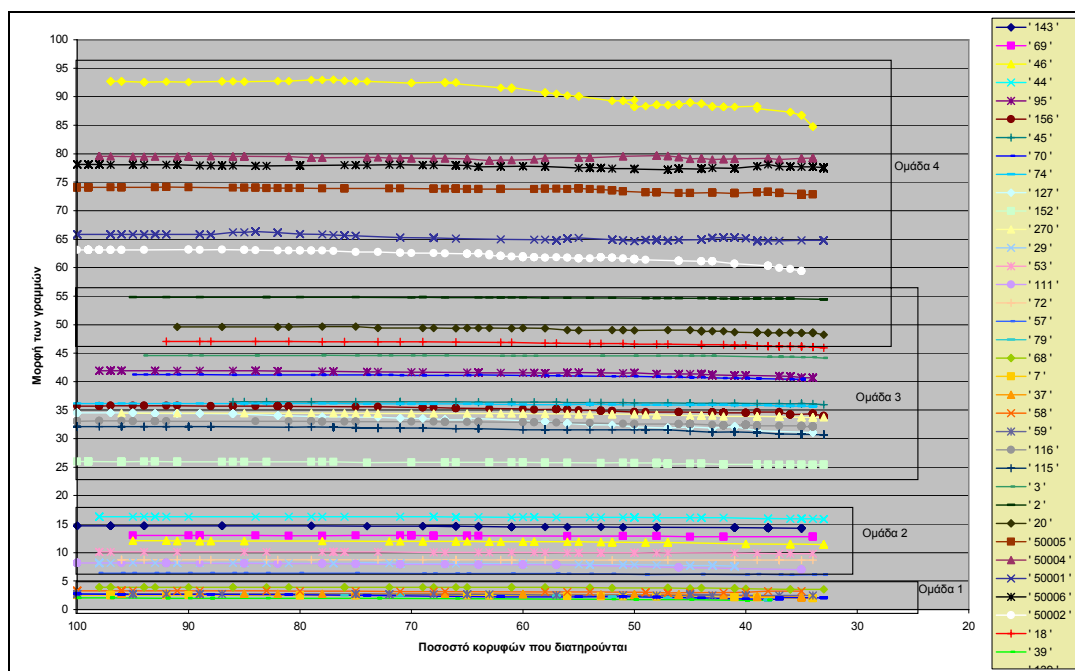


Διάγραμμα 5-35: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο ευκλείδειας απόστασης ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται

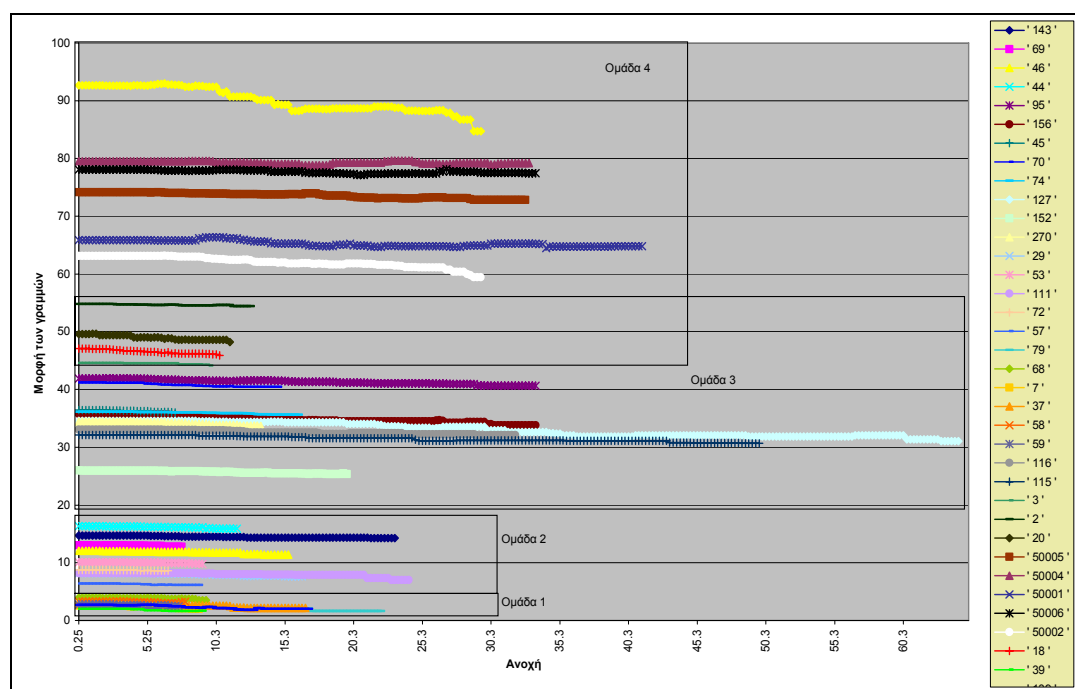


Διάγραμμα 5-36: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο ευκλείδειας απόστασης ανάλογα με την ανοχή

Παρατηρείται πως για όλους τους αλγορίθμους στα διαγράμματα τόσο ως προς την ανοχή όσο και ως προς το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των γραμμών της 3<sup>ης</sup> και της 4<sup>ης</sup> ομάδας. Οι γραμμές 18, 20 της 4<sup>ης</sup> ομάδας είναι κοντά στις γραμμές της 3<sup>ης</sup> ομάδας και προκαλούν αυτή την επικάλυψη. Βέβαια παρατηρείται από τη μορφή τους ότι η μορφή των δυο αυτών γραμμών δεν είναι τόσο έντονα ημιτονοειδής όπως των υπολοίπων της ομάδας τους και είναι λογικό να πλησιάζουν τις τιμές της μορφής της 3<sup>ης</sup> ομάδας.

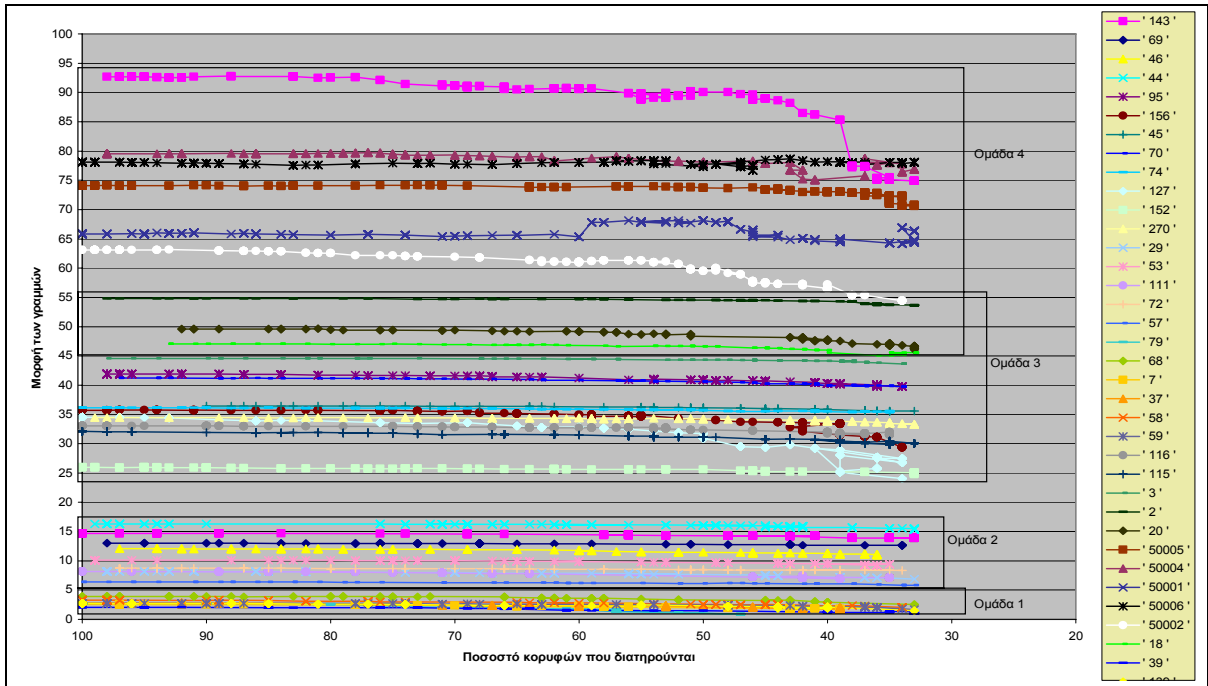


Διάγραμμα 5-37: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Douglas Peucker ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται

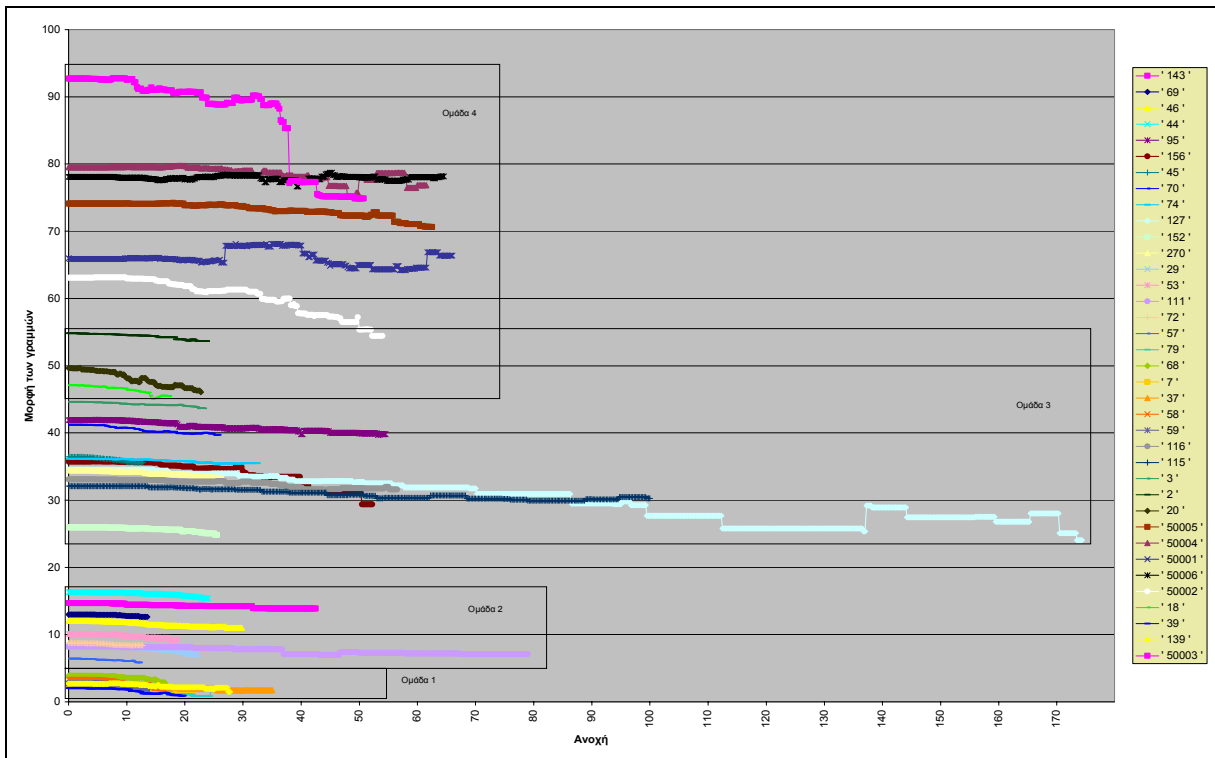


Διάγραμμα 5-38: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Douglas Peucker ανάλογα με την ανοχή

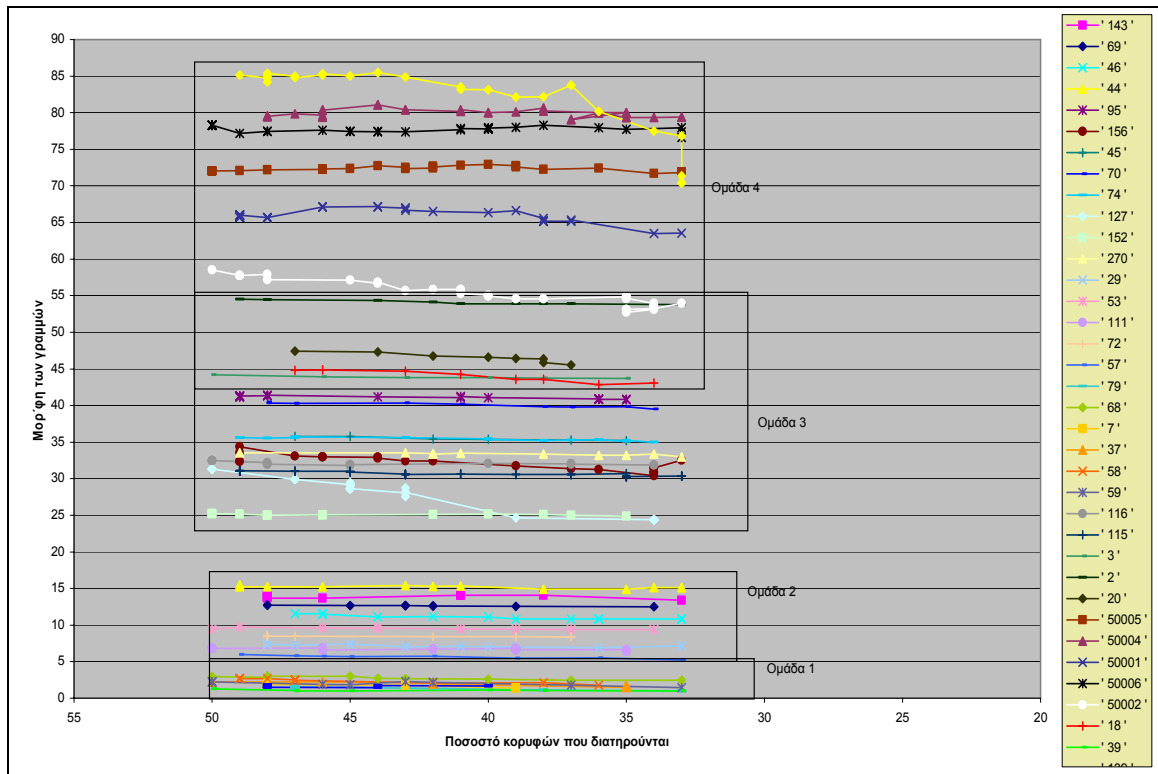




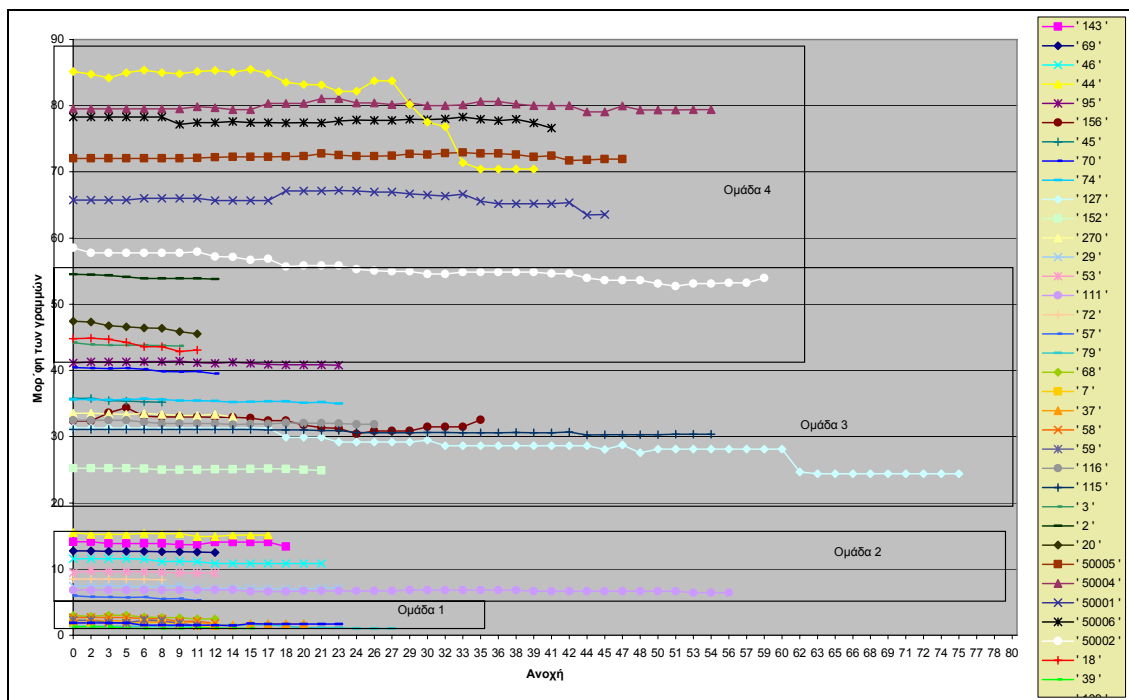
Διάγραμμα 5-39: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Rewmann Witkam ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται



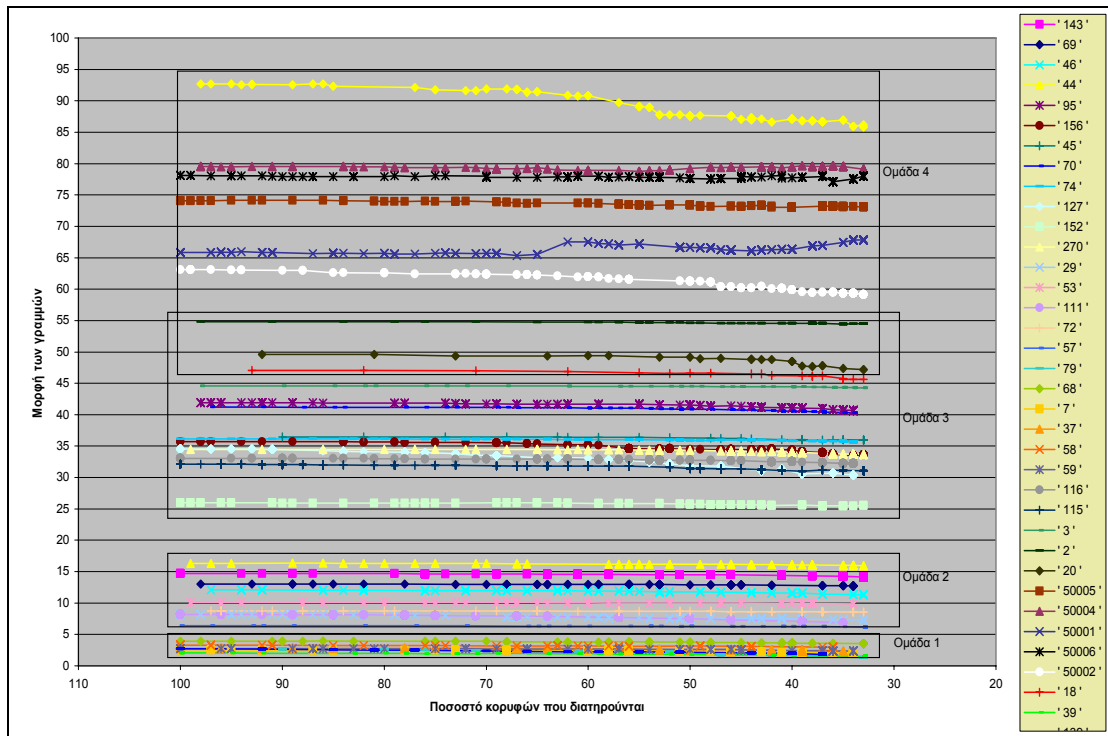
Διάγραμμα 5-40: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Rewmann Witkam ανάλογα με την ανοχή



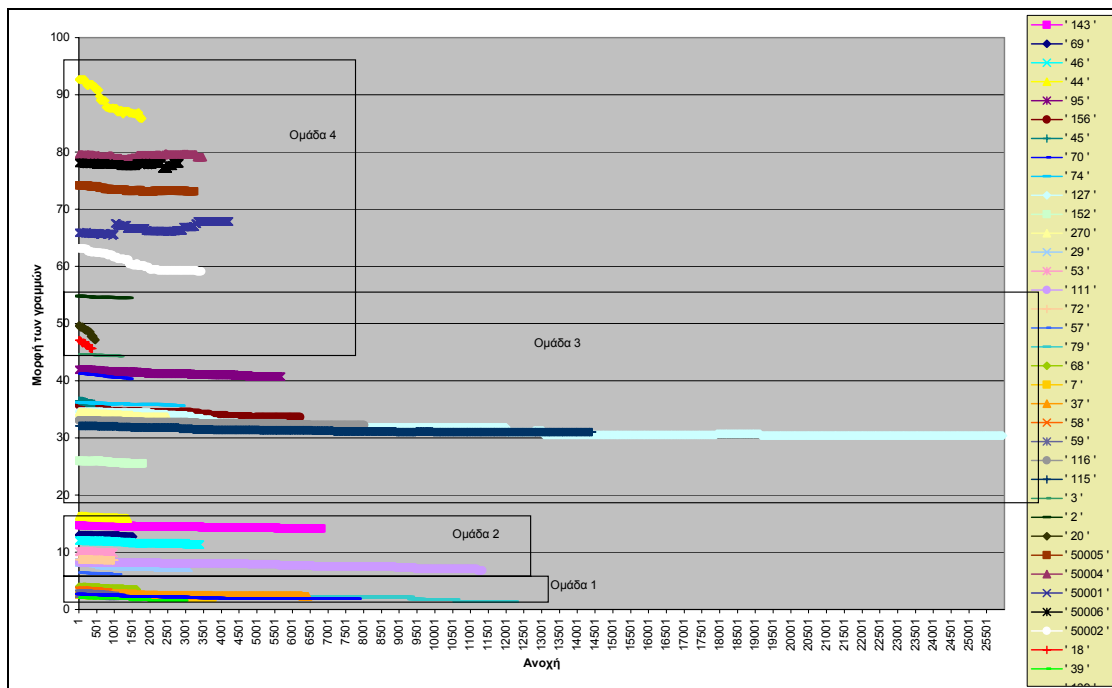
Διάγραμμα 5-41: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Zhao Saalfeld ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται



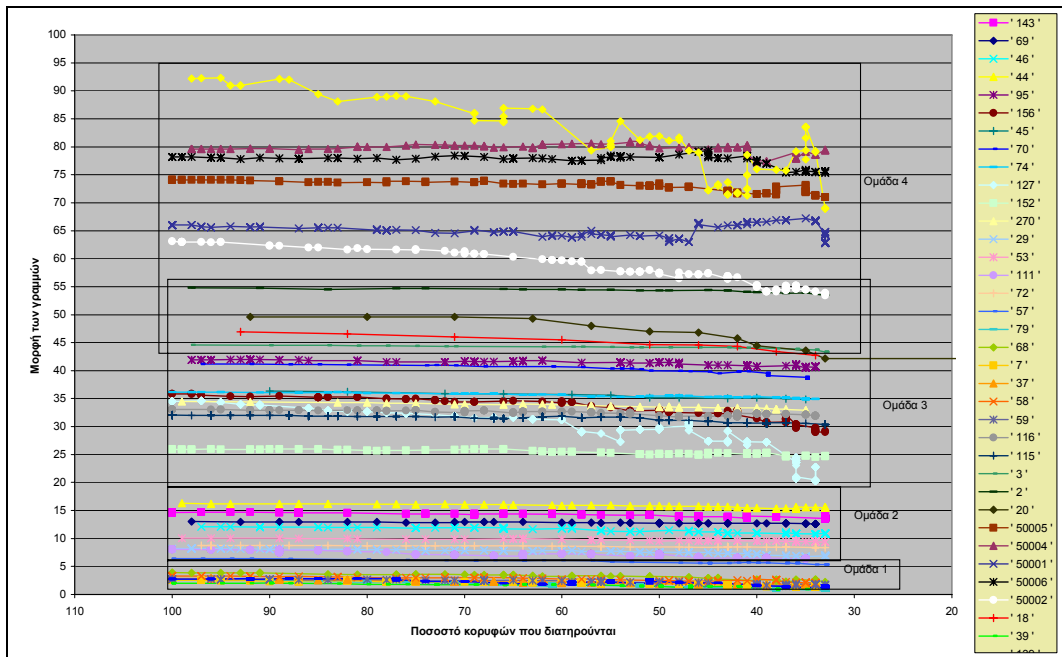
Διάγραμμα 5-42: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Zhao Saalfeld ανάλογα με την ανοχή



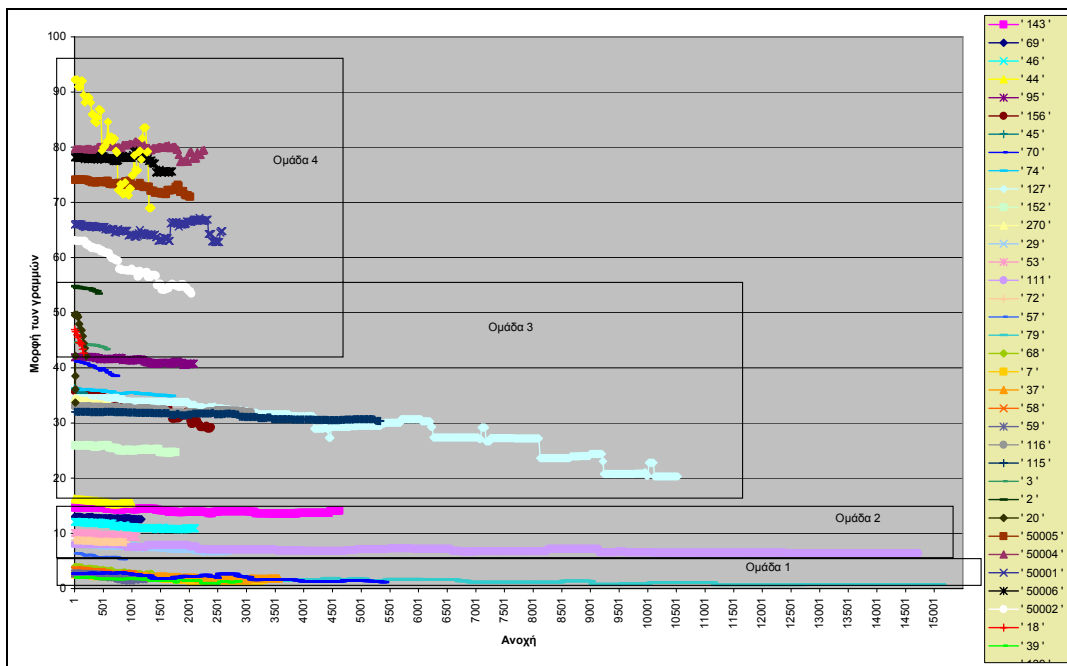
Διάγραμμα 5-43: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Visvligam Whyatt ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται



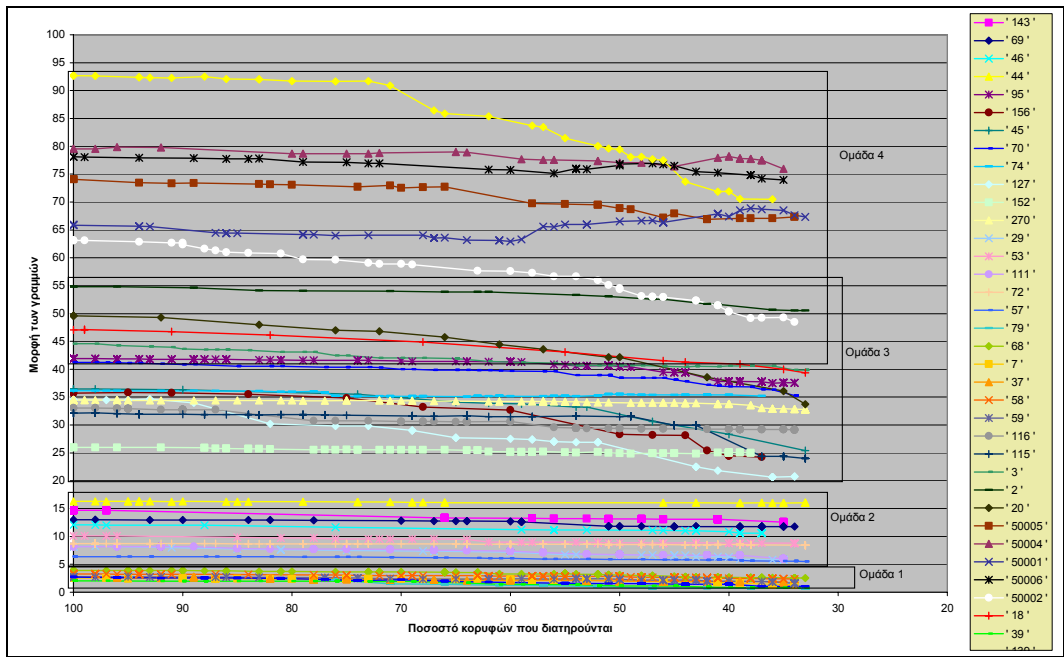
Διάγραμμα 5-44: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Visvligam Whyatt ανάλογα με την ανοχή



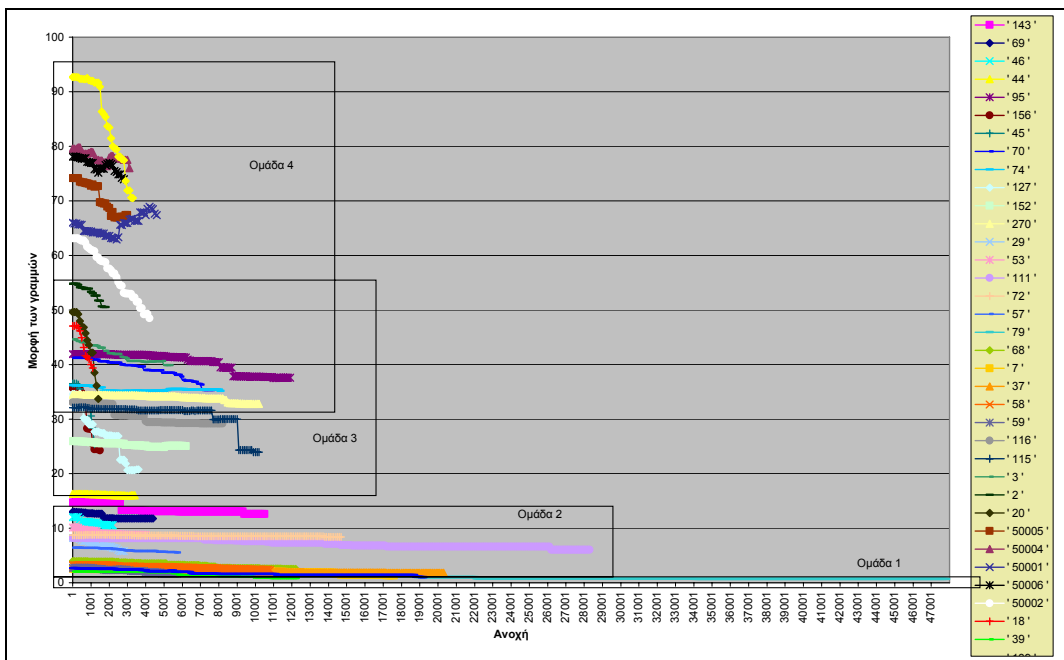
Διάγραμμα 5-45: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Wall Danielson ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται



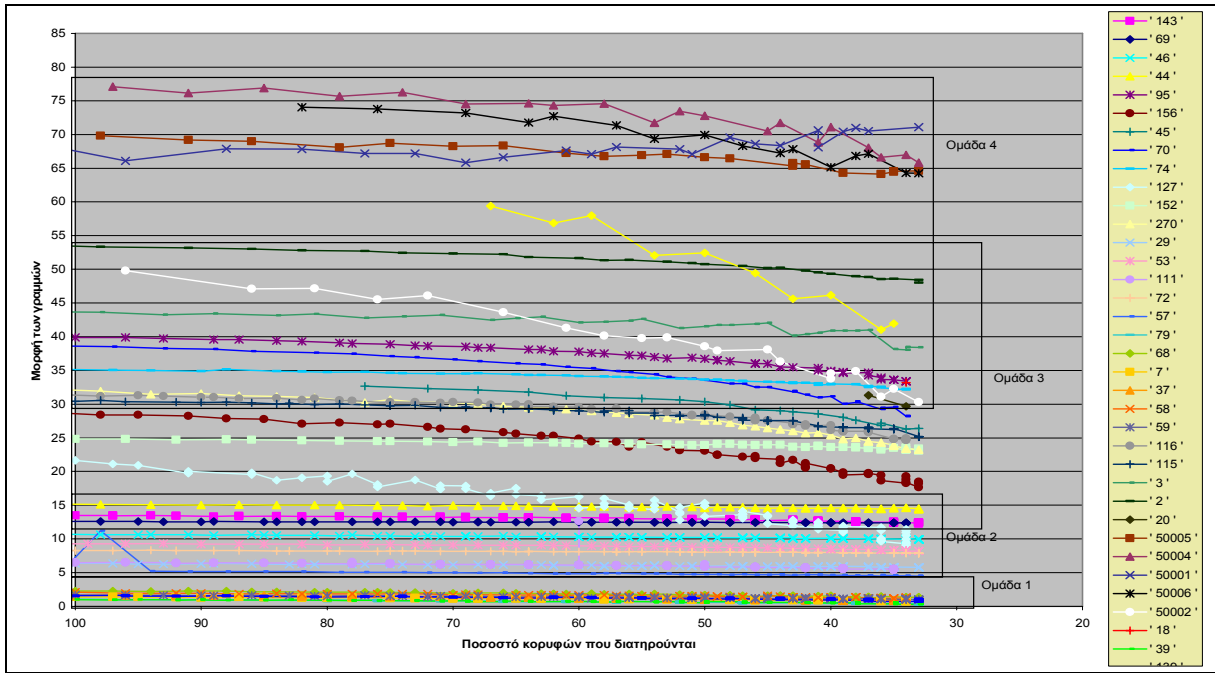
Διάγραμμα 5-46: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Wall Danielson ανάλογα με την ανοχή



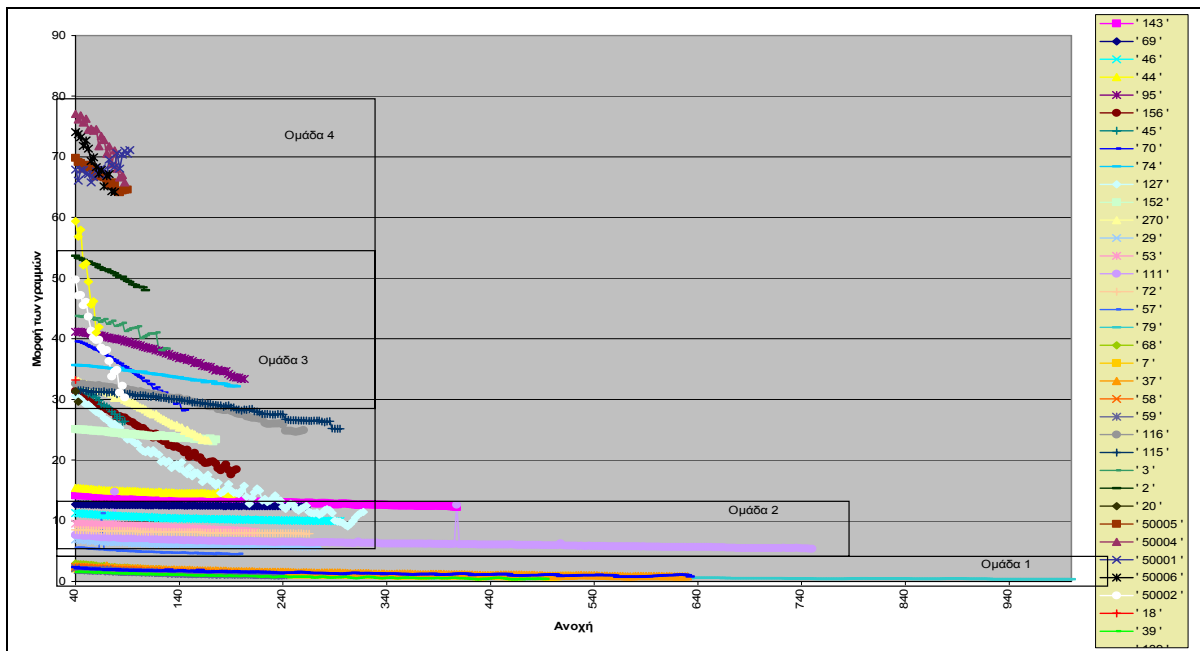
Διάγραμμα 5-47: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Latecki Lakaper ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται



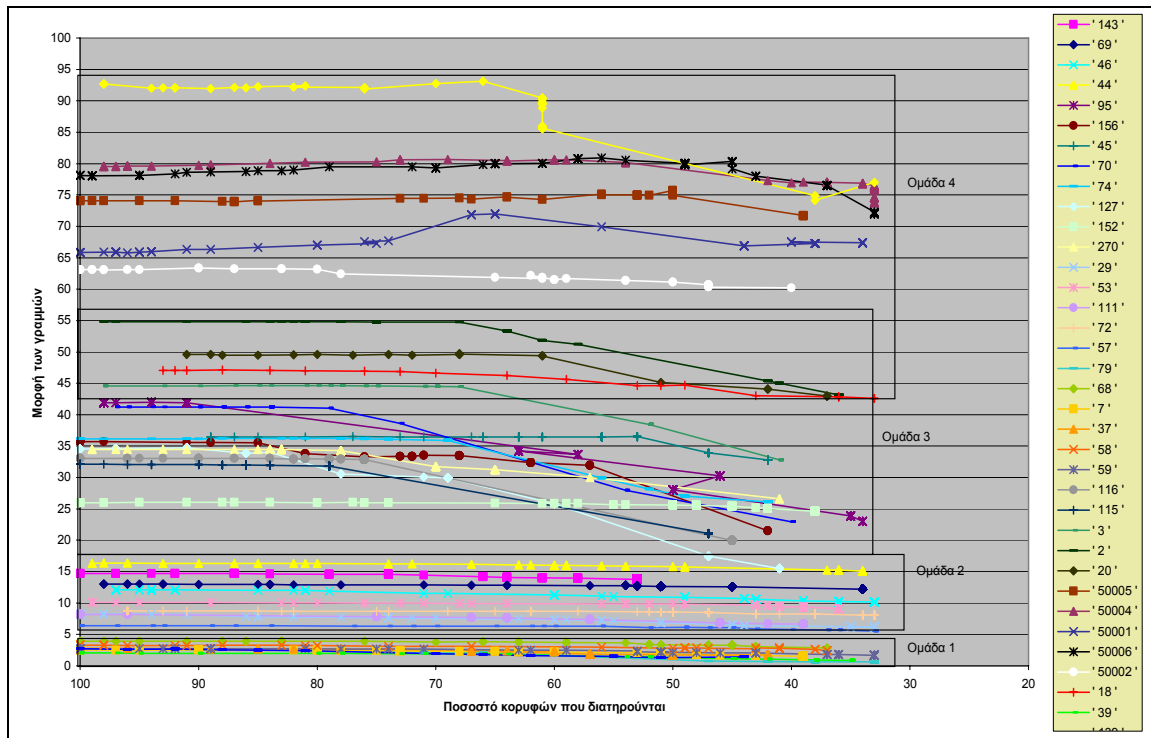
Διάγραμμα 5-48: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Latecki Lakaper ανάλογα με την ανοχή



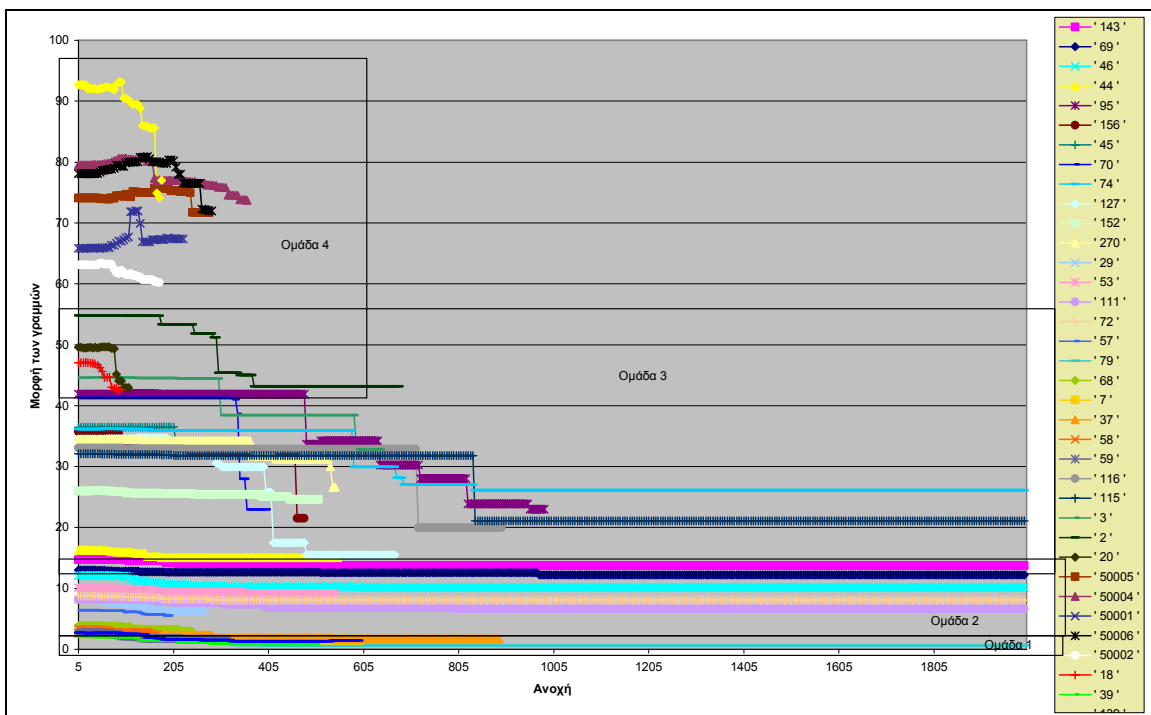
Διάγραμμα 5-49: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Li Openshaw ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται



Διάγραμμα 5-50: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Li Openshaw ανάλογα με την ανοχή



Διάγραμμα 5-51: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Bend simplify ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται



Διάγραμμα 5-52: Μέσος όρος της μορφής των απλοποιημένων γραμμών για τον αλγόριθμο Bend simplify ανάλογα με την ανοχή

Από τα ανωτέρω διαγράμματα είναι σαφής η ομαδοποίηση των γραμμών ανάλογα με τη μορφή. Έτσι προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας για γραμμές που διατηρούν έως το 60% των κορυφών τους :

Ομάδα Γραμμών	Χαρακτηρισμός	Τιμές της μορφής
Ομάδα 1	Ευθείες	Έως 5
Ομάδα 2	Ισχυρής καμπυλότητας	5-20
Ομάδα 3	Ημιτονοειδείς	25- 55
Ομάδα 4	Έντονα ημιτονοειδείς	42- 95

Οι ίδιες τιμές της μορφής ισχύουν και για το σύνολο των τιμών ανοχής σε όλους τους αλγόριθμους. Στα διαγράμματα ως προς την ανοχή παρατηρείται πως οι έντονα ημιτονοειδείς γραμμές παρουσιάζουν περισσότερες διακυμάνσεις από τις γραμμές των υπόλοιπων ομάδων ενώ όλες οι γραμμές ακολουθούν το γραμμικό μοντέλο για τους απλούς αλγόριθμους απλοποίησης. Η μορφή της μορφής των έντονα ημιτονοειδών γραμμών για τους μη περιορισμένους αλγόριθμους ακολουθούν το πολυωνυμικό μοντέλο, ενώ οι γραμμές των υπόλοιπων ομάδων ακολουθούν το γραμμικό μοντέλο.

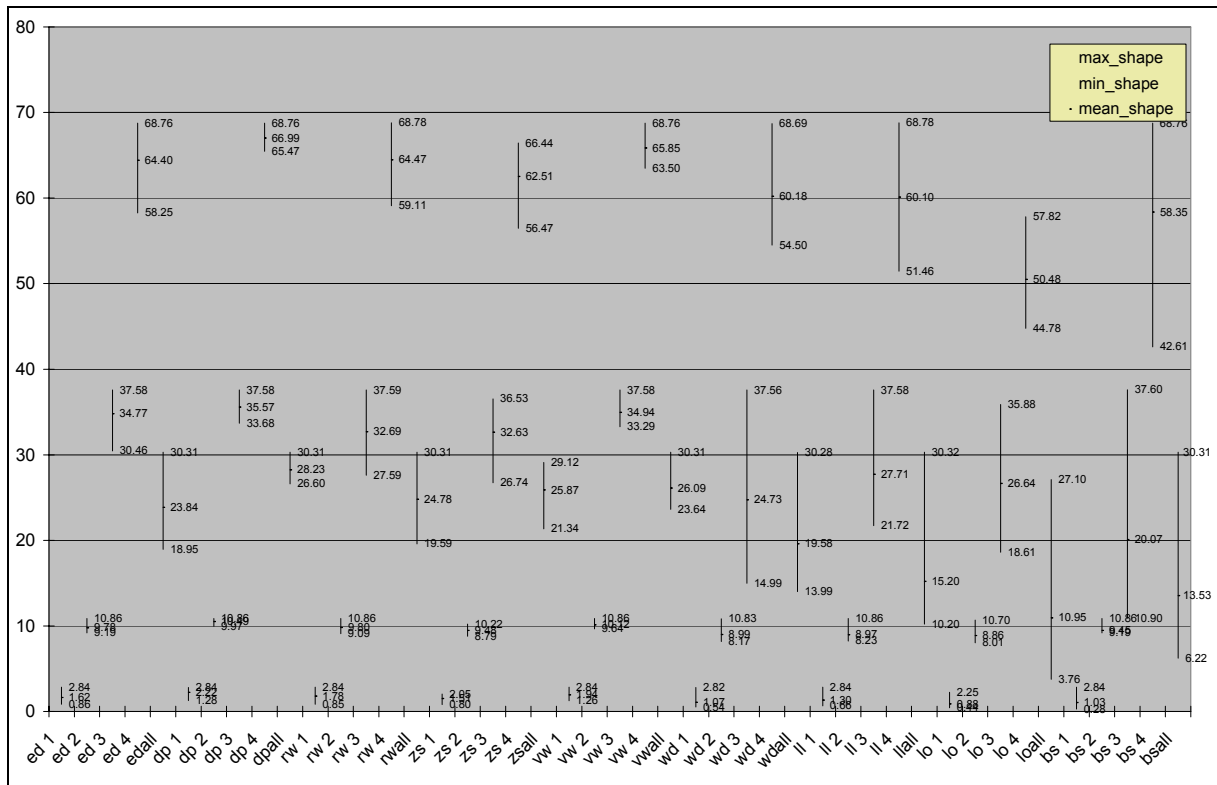
5.4 Εξέταση της μορφής και της μεταβολής της μορφής των γραμμών ανά ομάδα σε επίπεδο αλγόριθμου και παραμέτρου ανοχής διατηρώντας την αρχική κλίμακα

5.4.1 Συνοπτική σύγκριση αποτελεσμάτων εφαρμογής αλγόριθμων ανά ομάδα γραμμών ως προς τη μορφή και μεταβολή της μορφής τους

Εφαρμόζονται οι αλγόριθμοι, με τις τιμές ανοχής που έχουν ήδη επιλεγεί για τον καθένα, σε κάθε ομάδα γραμμών ώστε να είναι εφικτή η διαπίστωση εάν παρουσιάζουν ομοιομορφία στις μεταβολές που προκαλούν στις ομάδες γραμμών ανάλογα με την αρχική τους μορφή.

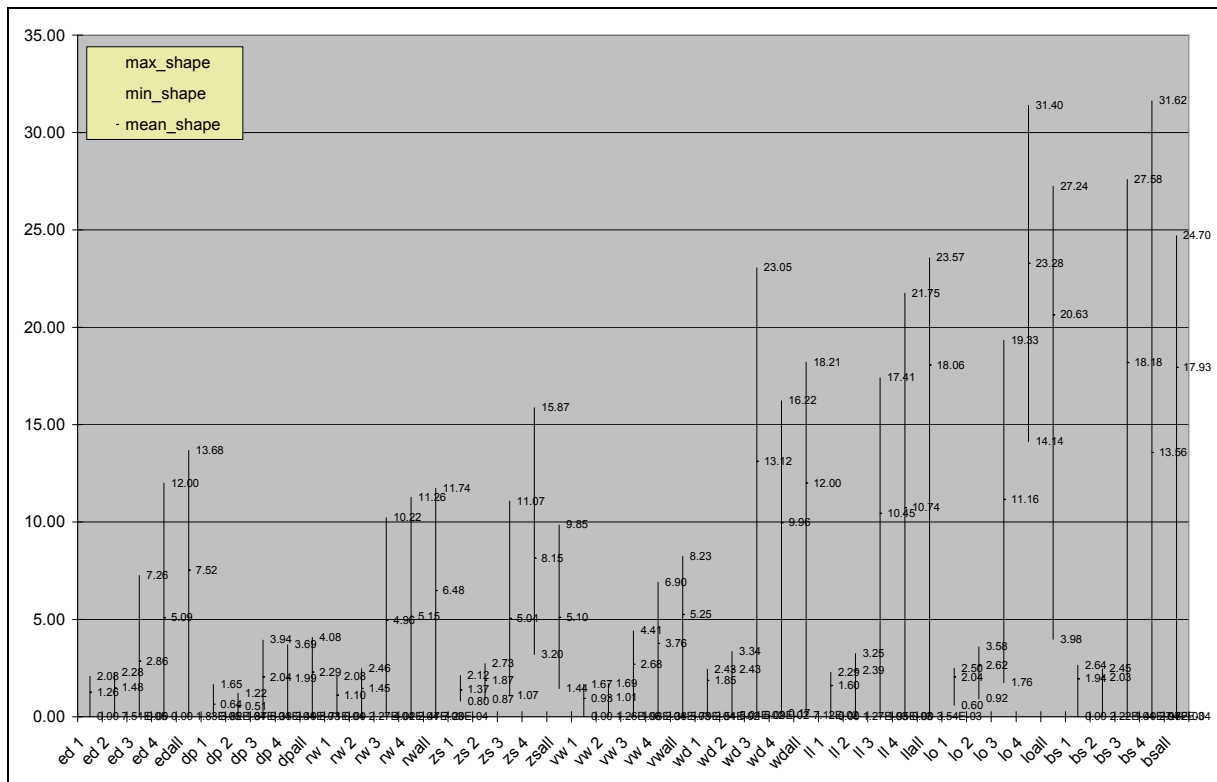
Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η μορφή των γραμμών ανά ομάδα ανάλογα με τον αλγόριθμο απλοποίησης. Γίνεται εμφανές ότι ο αλγόριθμος Li & Openshaw παρουσιάζει τη μικρότερη μέση τιμή της μορφής για τις ευθείες γραμμές της ομάδας 1 και τις γραμμές με σταθερή καμπυλότητα της ομάδας 2 (Εικόνα 4- 2). Ο αλγόριθμος Bend simplify παρουσιάζει τη μικρότερη μέση τιμή της μορφής για τις ημιτονοειδείς γραμμές των ομάδων 3 (Εικόνα 4- 3) και 4 (Εικόνα 4- 4) καθώς και του συνόλου των γραμμών.





Διάγραμμα 5-53:Ελάχιστη, μέση και μέγιστη τιμή της μορφής των γραμμών ανά ομάδα και αλγόριθμο

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται η ελάχιστη, η μέση και η μέγιστη τιμή της μεταβολής της μορφής των γραμμών ανά ομάδα.



Διάγραμμα 5-54: Ελάχιστη, μέση και μέγιστη τιμή της μεταβολής της μορφής των γραμμών ανά ομάδα και αλγόριθμο

Ο αλγόριθμος Li & Openshaw προκαλεί τη μεγαλύτερη μέση τιμή της μεταβολής για όλες τις ομάδες των γραμμών αλλά και του συνόλου σε σχέση με τους υπόλοιπους αλγορίθμους ενώ ο αλγόριθμος Douglas Peucker προκαλεί την μικρότερη μέση τιμή της μεταβολής για όλες τις ομάδες των γραμμών και το σύνολό τους. Αυτό γίνεται εμφανές και από τον ακόλουθο πίνακα όπου παρουσιάζονται αναλυτικά η ελάχιστη, μέση και μέγιστη τιμή της μεταβολής των ομάδων των γραμμών μέσω των διαφόρων αλγορίθμων απλοποίησης.

	Μέγιστη μεταβολή της μορφής	Ελάχιστη μεταβολή της μορφής	Μέση μεταβολή της μορφής	Ελάχιστη τιμή παραμέτρου	Μέγιστη τιμή παραμέτρου
ed 1	0.00	2.08	1.26	1.00	173.00
ed 2	7.51E-05	2.28	1.48	1.00	150.00
ed 3	0.00	7.26	2.86	1.00	80.00
ed 4	0.00	12.00	5.09	1.00	50.00
edall	1.83E-05	13.68	7.52	1.00	
dp 1	3.82E-04	1.65	0.64	0.25	7.50
dp 2	1.87E-04	1.22	0.51	0.25	6.75
dp 3	6.33E-04	3.94	2.04	0.25	7.25
dp 4	2.49E-03	3.69	1.99	0.25	10.50
dpall	8.71E-04	4.08	2.29	0.25	
rw 1	0.00	2.08	1.10	0.10	13.85
rw 2	2.27E-04	2.46	1.45	0.10	12.85
rw 3	4.02E-04	10.22	4.96	0.10	13.10
rw 4	2.47E-03	11.26	5.15	0.10	19.10
rwall	7.20E-04	11.74	6.48	0.10	
zs 1	0.80	2.12	1.37	0.10	10.60
zs 2	0.87	2.73	1.87	0.10	7.60
zs 3	1.07	11.07	5.04	0.10	7.60
zs 4	3.20	15.87	8.15	0.10	10.60
zsall	1.44	9.85	5.10	0.10	
vw 1	0.00	1.67	0.93	1.00	881.00
vw 2	1.26E-06	1.69	1.01	1.00	981.00
vw 3	1.98E-04	4.41	2.68	1.00	441.00
vw 4	2.38E-03	6.90	3.76	1.00	381.00
vwall	5.79E-04	8.23	5.25	1.00	
wd 1	2.54E-02	2.43	1.85	1.00	1201.00
wd 2	5.04E-02	3.34	2.43	1.00	861.00
wd 3	5.09E-02	23.05	13.12	1.00	221.00

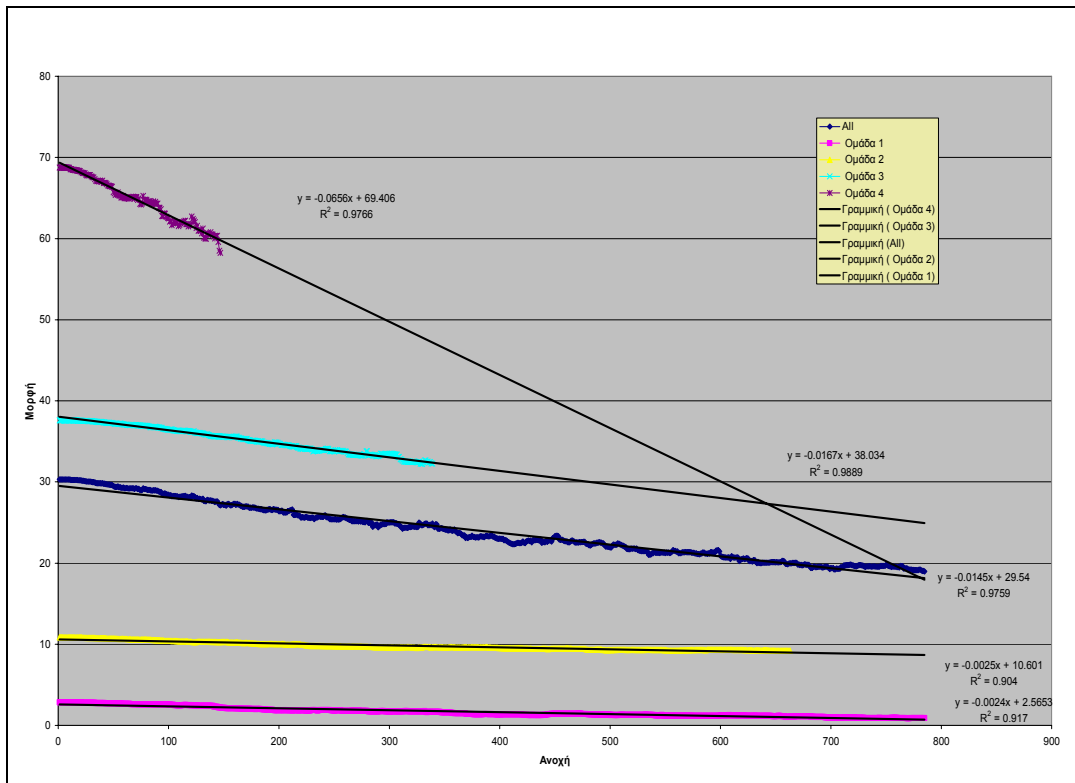
wd 4	0.17	16.22	9.96	1.00	161.00
wdall	7.12E-02	18.21	12.00	1.00	
ll 1	0.00	2.29	1.60	1.00	5701.00
ll 2	1.27E-03	3.25	2.39	1.00	2201.00
ll 3	1.95E-03	17.41	10.45	1.00	1201.00
ll 4	0.00	21.75	10.74	1.00	1101.00
llall	3.54E-03	23.57	18.06	1.00	
lo 1	0.60	2.50	2.04	40.00	230.00
lo 2	0.92	3.58	2.62	40.00	192.50
lo 3	1.76	19.33	11.16	40.00	90.00
lo 4	14.14	31.40	23.28	40.00	40.00
loall	3.98	27.24	20.63	40.00	40.00
bs 1	0.00	2.64	1.94	5.00	175.00
bs 2	2.22E-04	2.45	2.03	5.00	195.00
bs 3	1.40E-04	27.58	18.18	5.00	270.00
bs 4	2.97E-03	31.62	13.56	5.00	95.00
bsall	7.82E-04	24.70	17.93	5.00	40.00

Πίνακας 5-8: Τιμές της μεταβολής της μορφής των γραμμών ανά ομάδα και αλγόριθμο

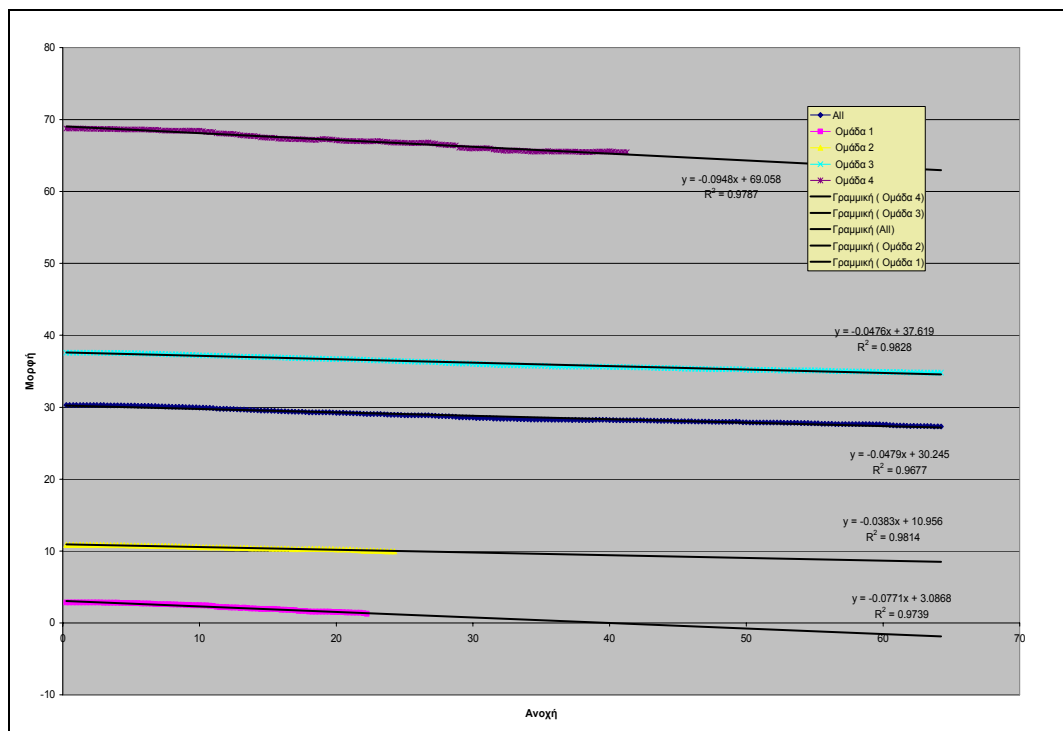
#### 5.4.2 Εξέταση της μορφής για κάθε ομάδα γραμμών σε επίπεδο αλγορίθμου και παραμέτρου ανοχής

Εξετάζεται η μορφή για κάθε ομάδα γραμμών ανά αλγόριθμο που έχει εφαρμοστεί. Προκειμένου να οπτικοποιηθούν τα αποτελέσματα, δημιουργούνται διαγράμματα για όλες τις ομάδες ανά αλγόριθμο και προσαρμόζονται σε αυτά οι γραμμές τάσης.

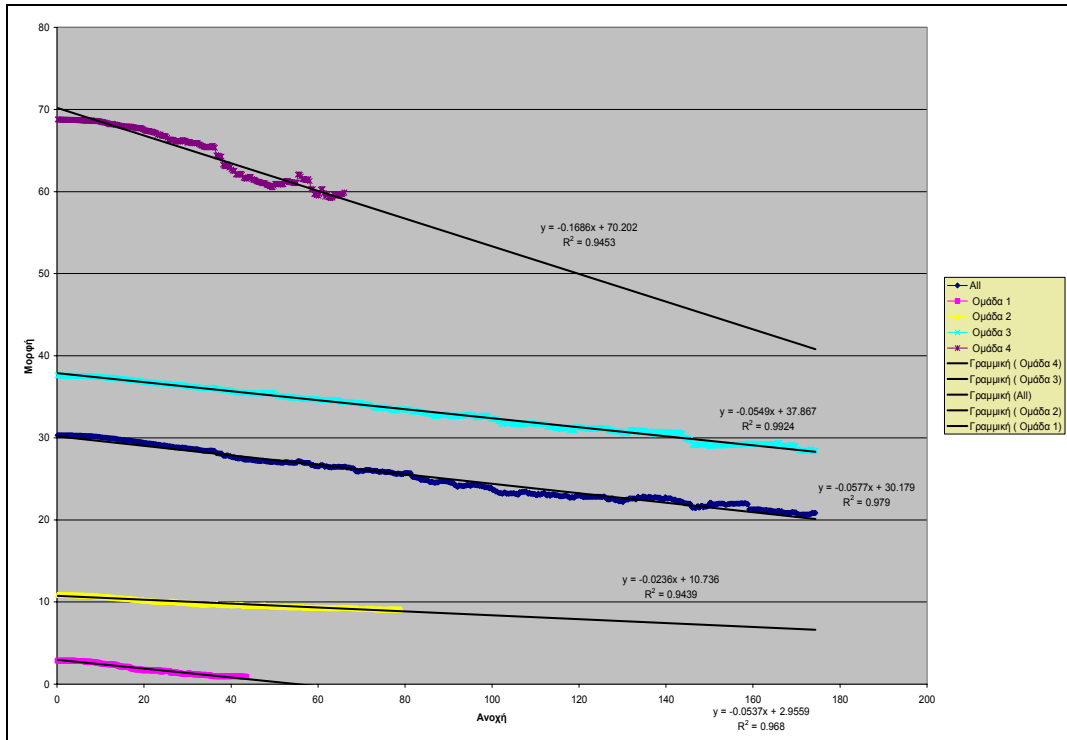
Παρουσιάζεται η τιμή της μορφής των ομάδων γραμμών ανά αλγόριθμο στα διαγράμματα που ακολουθούν. Η τιμή της μορφής όλων των γραμμών όλων των ομάδων μέσω των αλγορίθμου Ευκλείδειας απόστασης, Douglas Peucker, Reumann Witkam, Zhao Saalfeld είναι γραμμική.



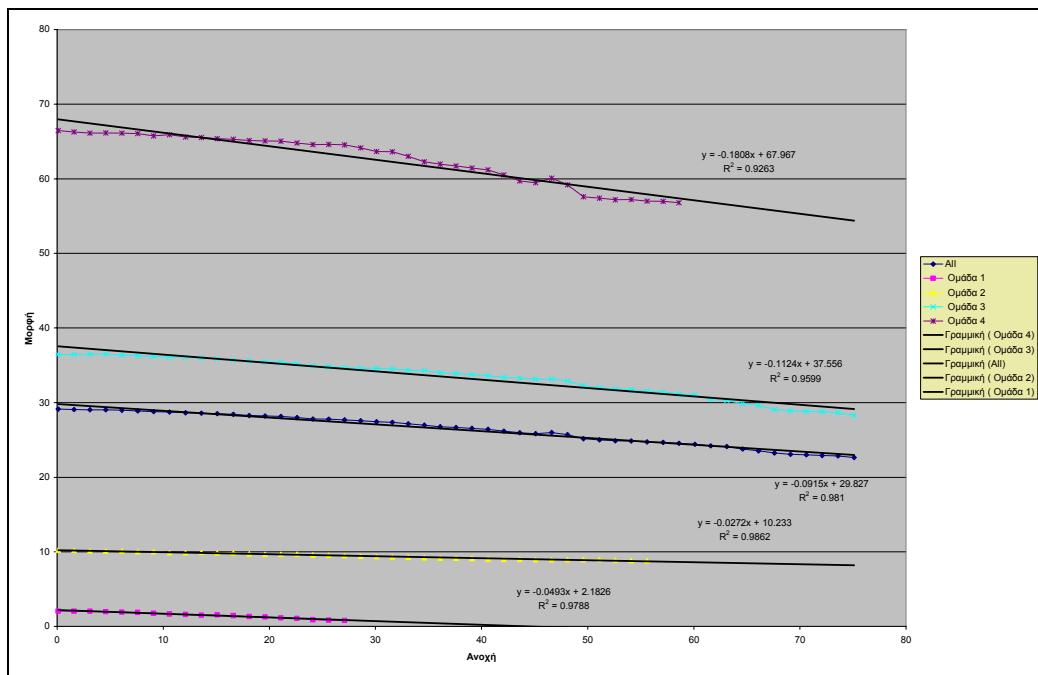
Διάγραμμα 5-55: Μορφή των απλοποιημένων γραμμών ανά ομάδα μέσω του αλγορίθμου ευκλείδειας απόστασης



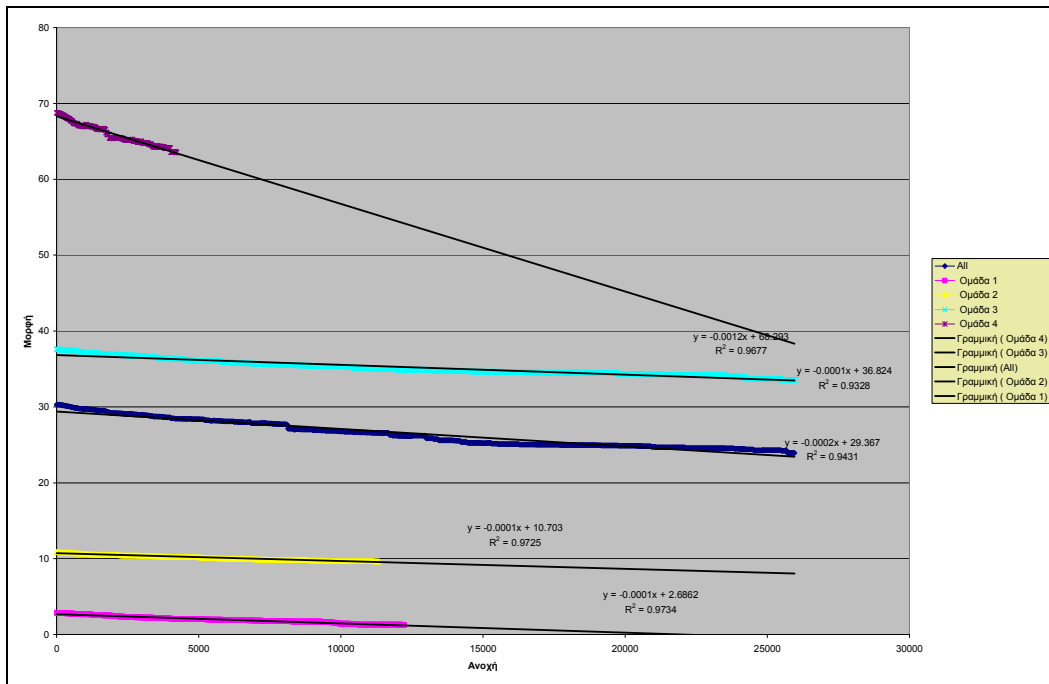
Διάγραμμα 5-56: Μορφή των απλοποιημένων γραμμών ανά ομάδα μέσω του αλγορίθμου Douglas Peucker



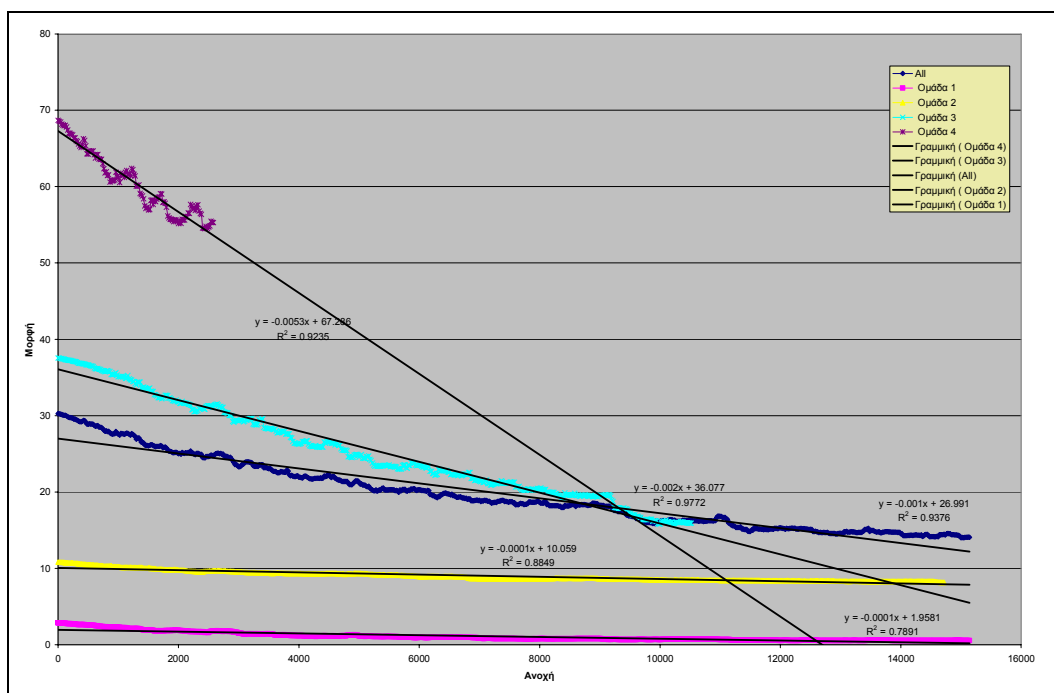
Διάγραμμα 5-57: Μορφή των απλοποιημένων γραμμών ανά ομάδα μέσω του αλγορίθμου Reumann Witkam



Διάγραμμα 5-58: Μορφή των απλοποιημένων γραμμών ανά ομάδα μέσω του αλγορίθμου Zhao Saalfeld

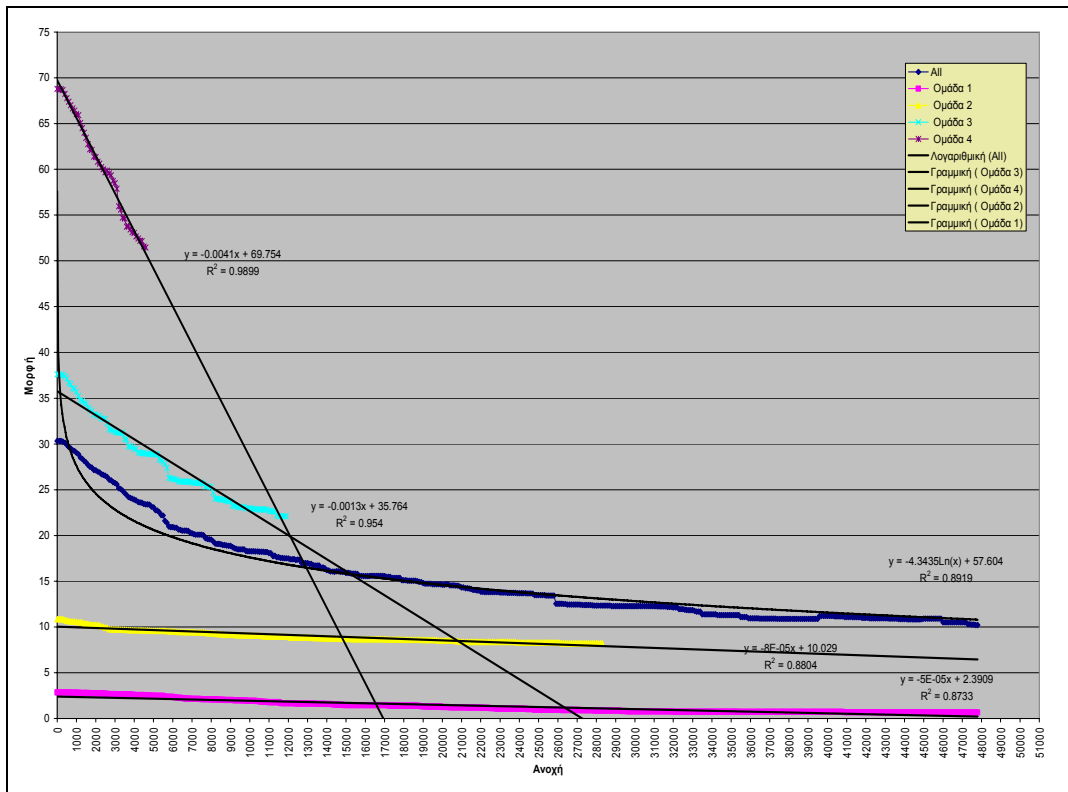


Διάγραμμα 5-59: Μορφή των απλοποιημένων γραμμών ανά ομάδα μέσω του αλγορίθμου Visvaligam Whyatt

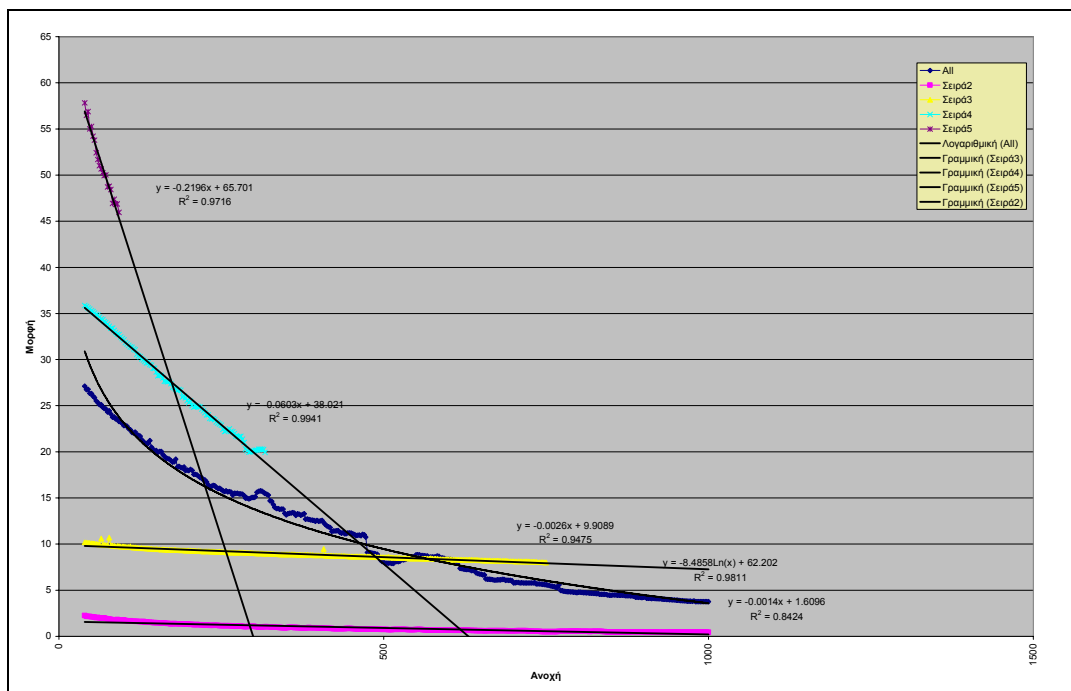


Διάγραμμα 5-60 :Μορφή των απλοποιημένων γραμμών ανά ομάδα μέσω του αλγορίθμου Wall Danielson

Οι γραμμές όλων των ομάδων ακολουθούν το γραμμικό μοντέλο ενώ το σύνολό τους το λογαριθμικό για τους μη περιορισμένες εφαρμογής αλγόριθμους Latecki Lakamper και Li Openshaw.

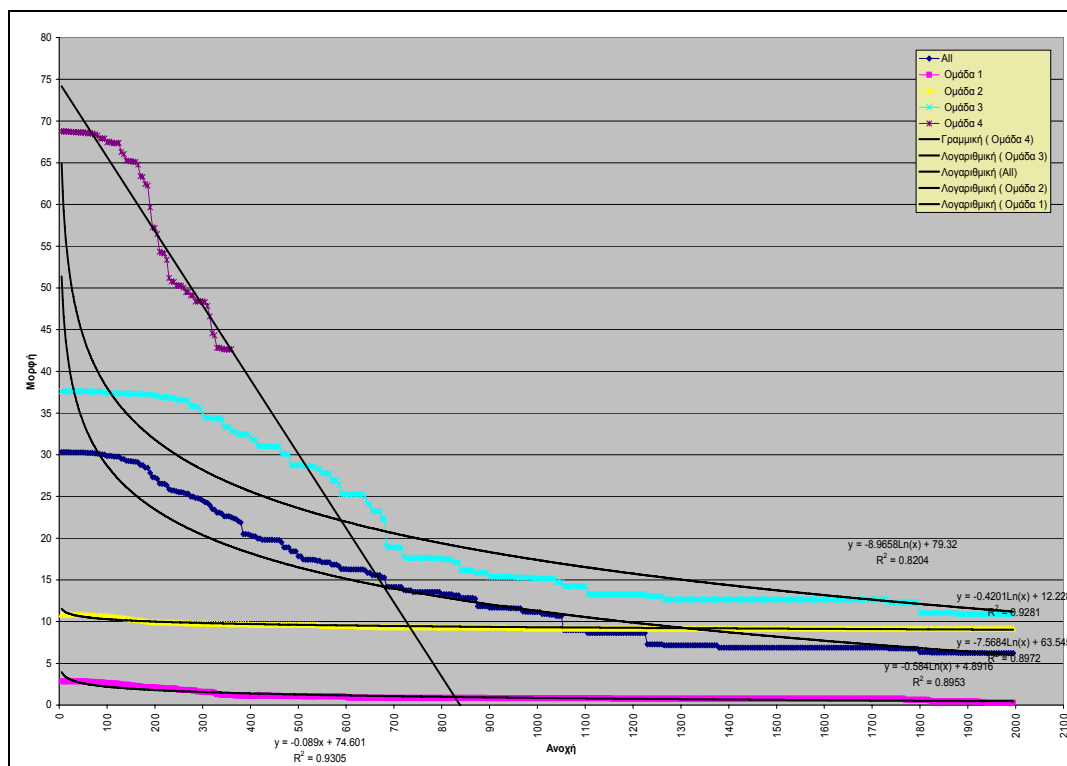


Διάγραμμα 5-61: Μορφή των απλοποιημένων γραμμών ανά ομάδα μέσω του αλγορίθμου Latecki Lakamper



Διάγραμμα 5-62: Μορφή των απλοποιημένων γραμμών ανά ομάδα μέσω του αλγορίθμου Li Openshaw

Για τον αλγόριθμο Bend Simplify ακολουθούν το λογαριθμικό μοντέλο εκτός από τις έντονα ημιπονοειδείς γραμμές της 4<sup>ης</sup> ομάδας που ακολουθούν το γραμμικό μοντέλο.



Διάγραμμα 5-63: Μορφή των απλοποιημένων γραμμών ανά ομάδα μέσω του αλγορίθμου Bend simplify

Στον πίνακα 5-9 που ακολουθεί παρουσιάζονται συνοπτικά τα μοντέλα που έχουν προσαρμοστεί σε κάθε διάγραμμα ανά ομάδα γραμμών και αλγόριθμο. Το γραμμικό μοντέλο σημαίνει πως η μορφή της γραμμής μεταβάλλεται με σταθερό ρυθμό ως προς τις τιμές των παραμέτρων ανοχής που ορίζονται στους αλγόριθμους ενώ, το λογαριθμικό μοντέλο σημαίνει πως ο ρυθμός αλλαγής της μορφής αυξάνεται ή μειώνεται με ταχύτητα και μετά παραμένει σταθερός.

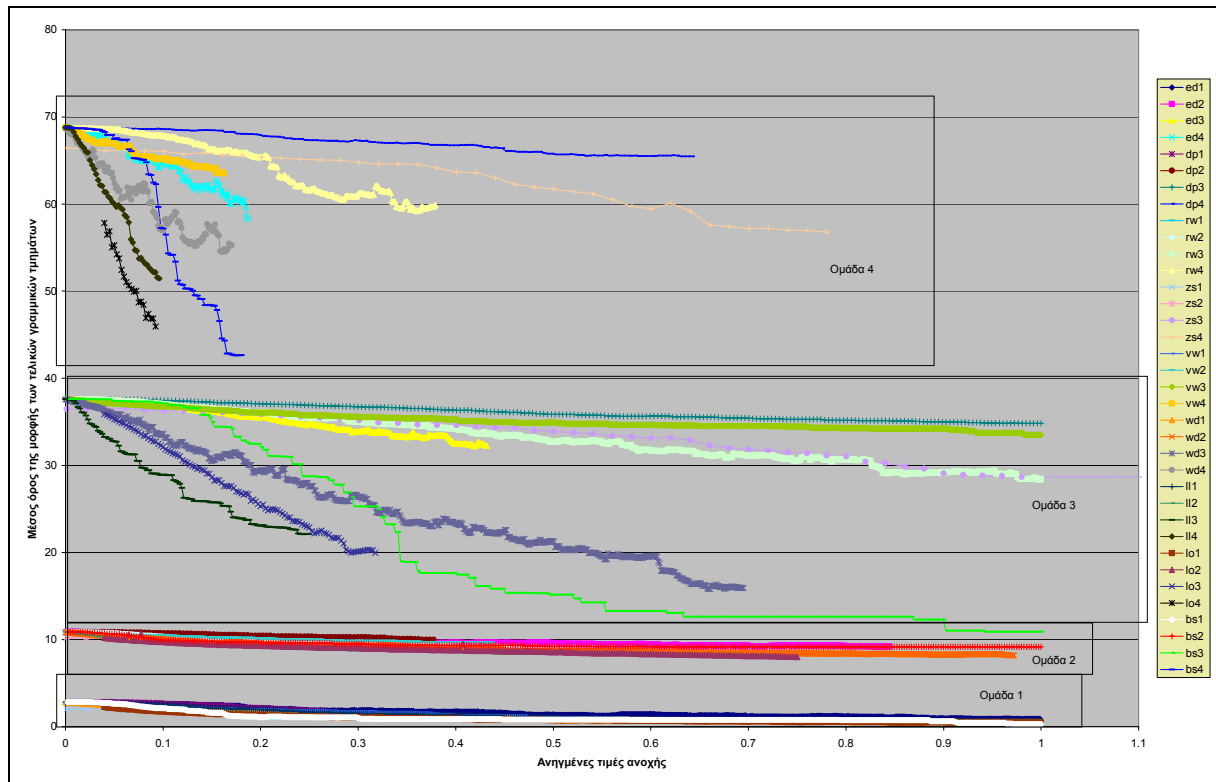
Αλγόριθμος	Ομάδα 1	Ομάδα 2	Ομάδα 3	Ομάδα 4	Σύνολο γραμμών
ed	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό
dp	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό
rw	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό
zs	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό
ll	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Λογαριθμικό
lo	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Γραμμικό	Λογαριθμικό
bs	Λογαριθμικό	Λογαριθμικό	Λογαριθμικό	Γραμμικό	Λογαριθμικό

Πίνακας 5-9: Μοντέλα που προσαρμόζονται στα διαγράμματα μεταβολής της μορφής ανά αλγόριθμο και ομάδα γραμμών



Με βάση τα διαγράμματα περιγραφής της μορφής των γραμμικών τμημάτων και της μεταβολής της επιχειρείται διαχωρισμός των τιμών οι οποίες είναι χαρακτηριστικές για την κάθε ομάδα γραμμών και την διαφοροποιούν από τις υπόλοιπες.

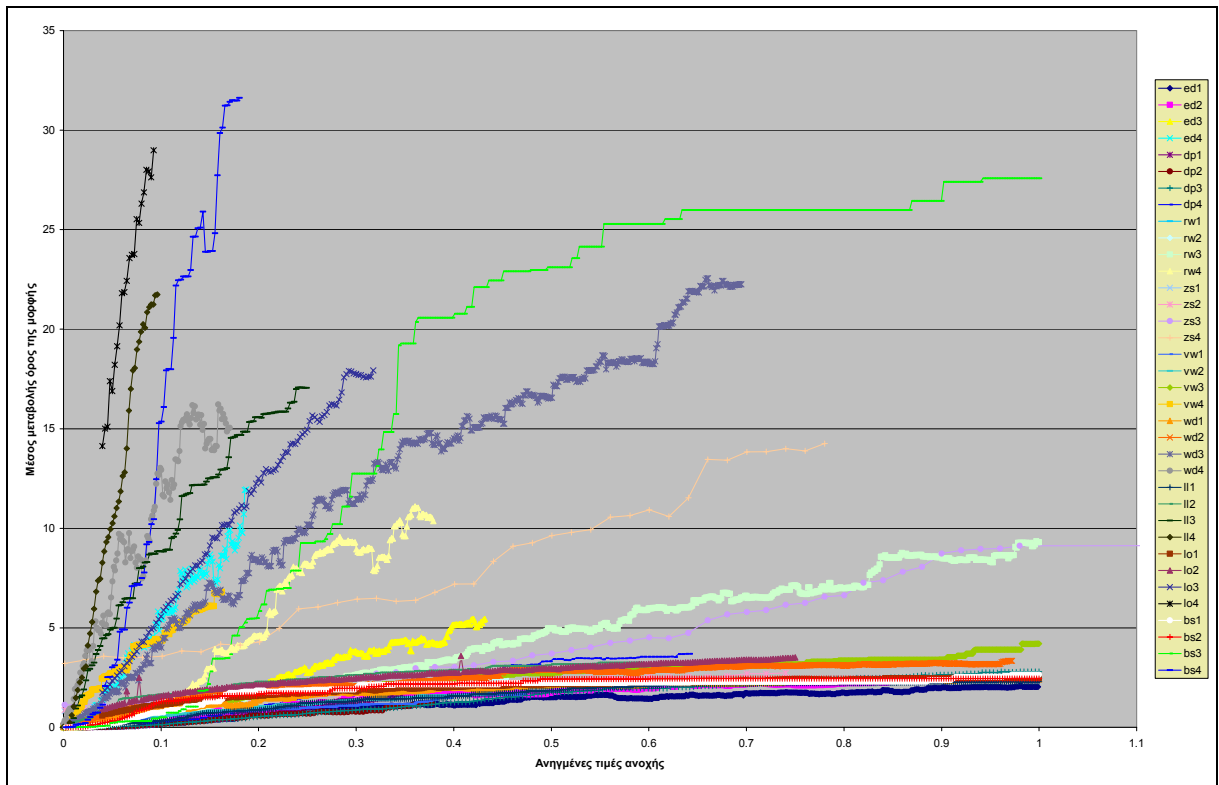
Στο διάγραμμα 5- 64 που ακολουθεί παρουσιάζεται η μέση μεταβολή της μορφής των γραμμών μέσω όλων των εξεταζόμενων αλγορίθμων απλοποίησης ανά ομάδα γραμμών στην οποία ανήκουν.



Διάγραμμα 5-64: Μέσος όρος της μορφής των γραμμών ανά ομάδα και αλγόριθμο απλοποίησης

Μέσω του ανωτέρου διαγράμματος παρατηρείται σαφής διαχωρισμός των ομάδων. Οι ευθείες γραμμές της ομάδας 1, παρουσιάζουν μικρή μεταβολή της μορφής κοντά στον άξονα των  $x$  και μικρότερες του 5. Οι γραμμές της 2<sup>ης</sup> ομάδας παίρνουν τιμές κοντά στο 10 και αμφότερες ακολουθούν το γραμμικό μοντέλο χωρίς ιδιαίτερη διακύμανση τιμών ανάλογα με το ποσοστό των γραμμών που συμμετέχει. Επίσης οι γραμμές της 3<sup>ης</sup> και 4<sup>ης</sup> ομάδας παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση τιμών και κυμαίνονται οι μεν πρώτες στις τιμές 10-40 και οι δεύτερες στις τιμές 40-70.

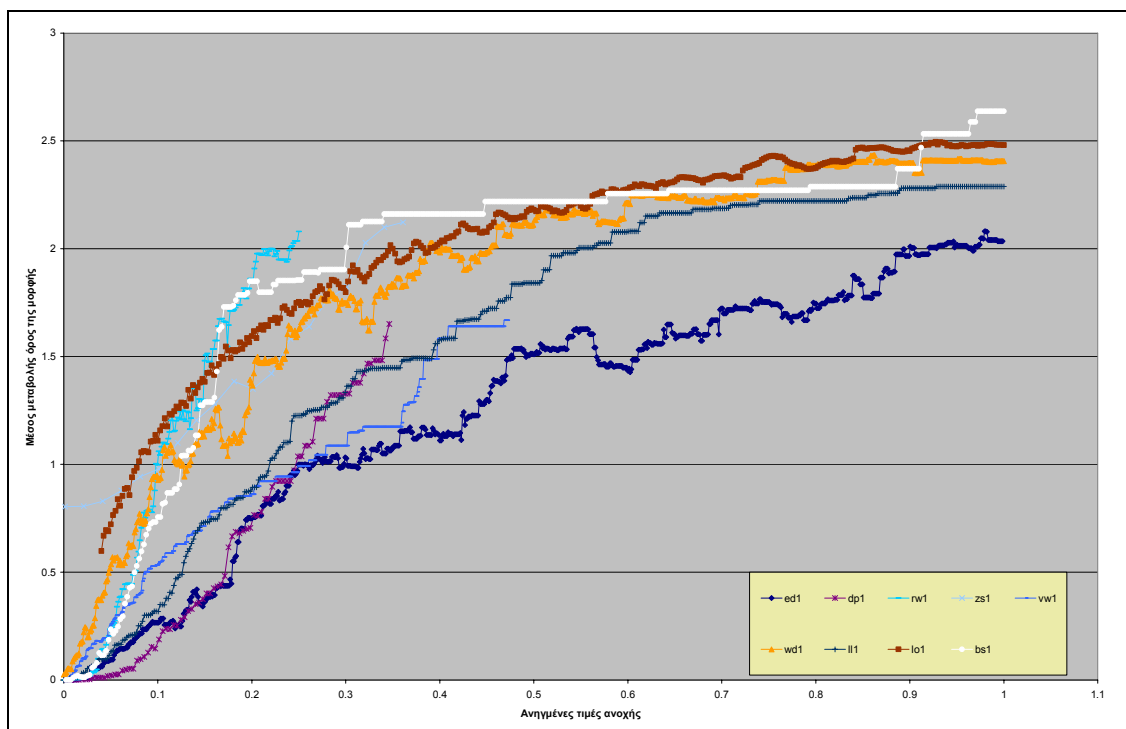
Στο διάγραμμα 5-65 που ακολουθεί παρουσιάζεται ο μέσος όρος της μεταβολής των γραμμών. Παρατηρείται πως για ανηγμένες τιμές ανοχής μεγαλύτερες του 0,4 διαφοροποιούνται οι ομάδες 1 και 2 από τις ομάδες 3 και 4. Για μικρότερες ανηγμένες τιμές της ανοχής δεν είναι σαφής ο διαχωρισμός.



Διάγραμμα 5-65: Μέσος όρος της μεταβολής των γραμμών για όλες τις ομάδες και όλους τους αλγορίθμους απλοποίησης

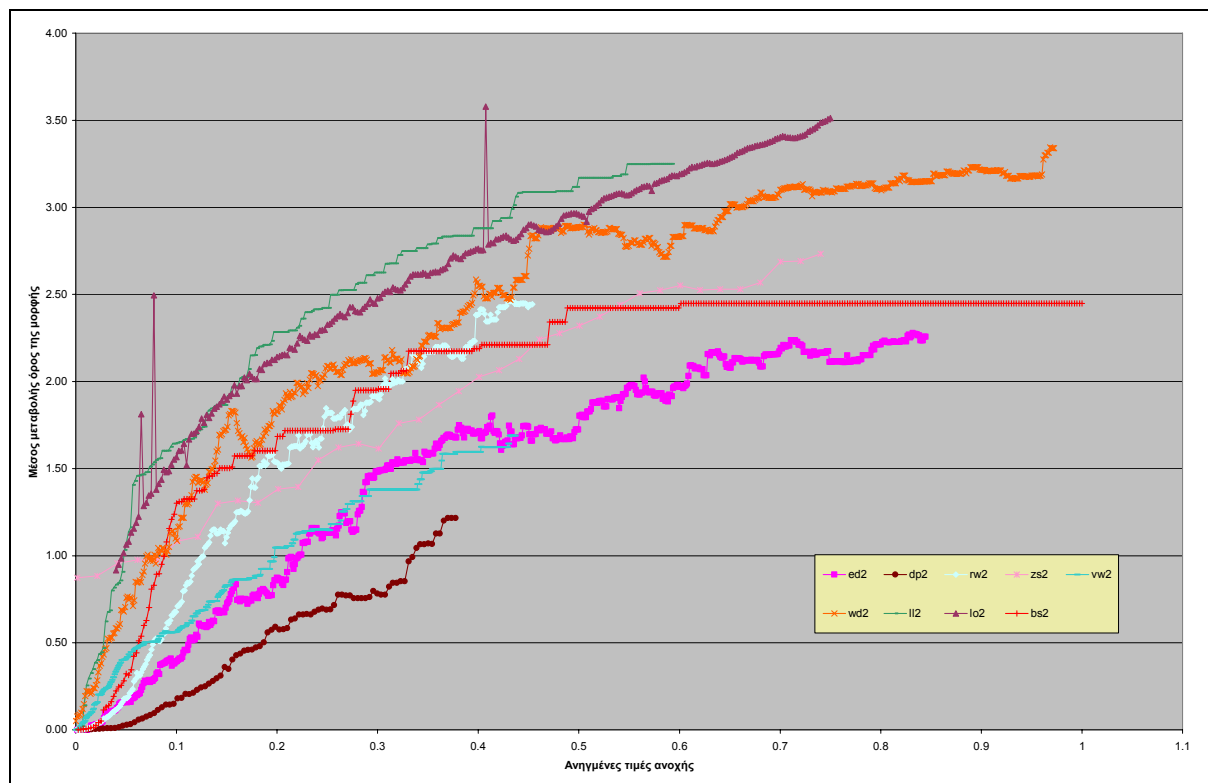
#### 5.4.3 Εξέταση της μεταβολής της μορφής των γραμμών ανά ομάδα σε επίπεδο αλγορίθμου

Στα ακόλουθα διαγράμματα παρουσιάζεται για κάθε ομάδα χωριστά ο μέσος όρος της μεταβολής της μορφής ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής στο διάστημα [0,1, 1].



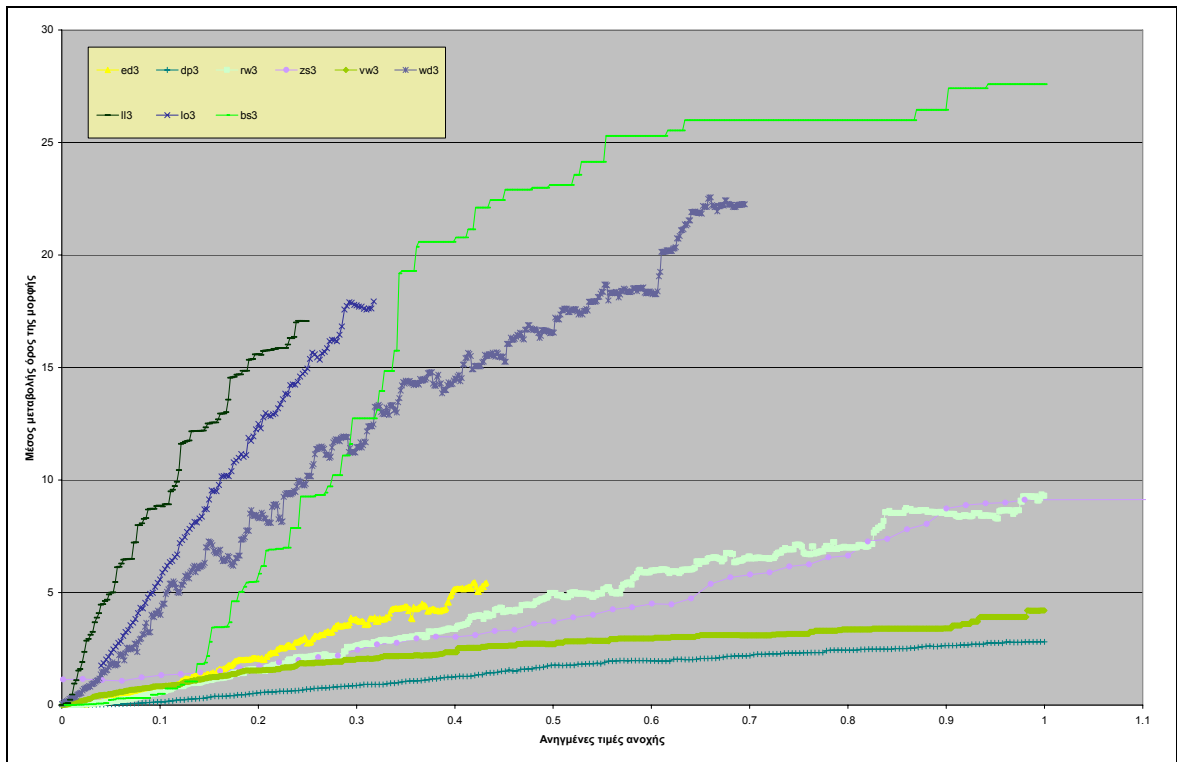
Διάγραμμα 5-66: Μέσος όρος της μεταβολής των γραμμών για την 1<sup>η</sup> ομάδα και όλους τους αλγόριθμους απλοποίησης

Παρατηρείται πως τη μέγιστη μεταβολή για τις ευθείες γραμμές της ομάδας 1 προκαλεί ο αλγόριθμος Bend Simplify και την ελάχιστη οι αλγόριθμοι Douglas Peucker για ανηγμένες τιμές ανοχής μικρότερες του 0.2 και ο αλγόριθμος ευκλείδειας απόστασης για ανηγμένες τιμές ανοχής μεγαλύτερες του 0.2. Ομοίως συμβαίνει για τις γραμμές της ομάδας 2 και 4 όπως παρατηρείται από τα ακόλουθα διαγράμματα.



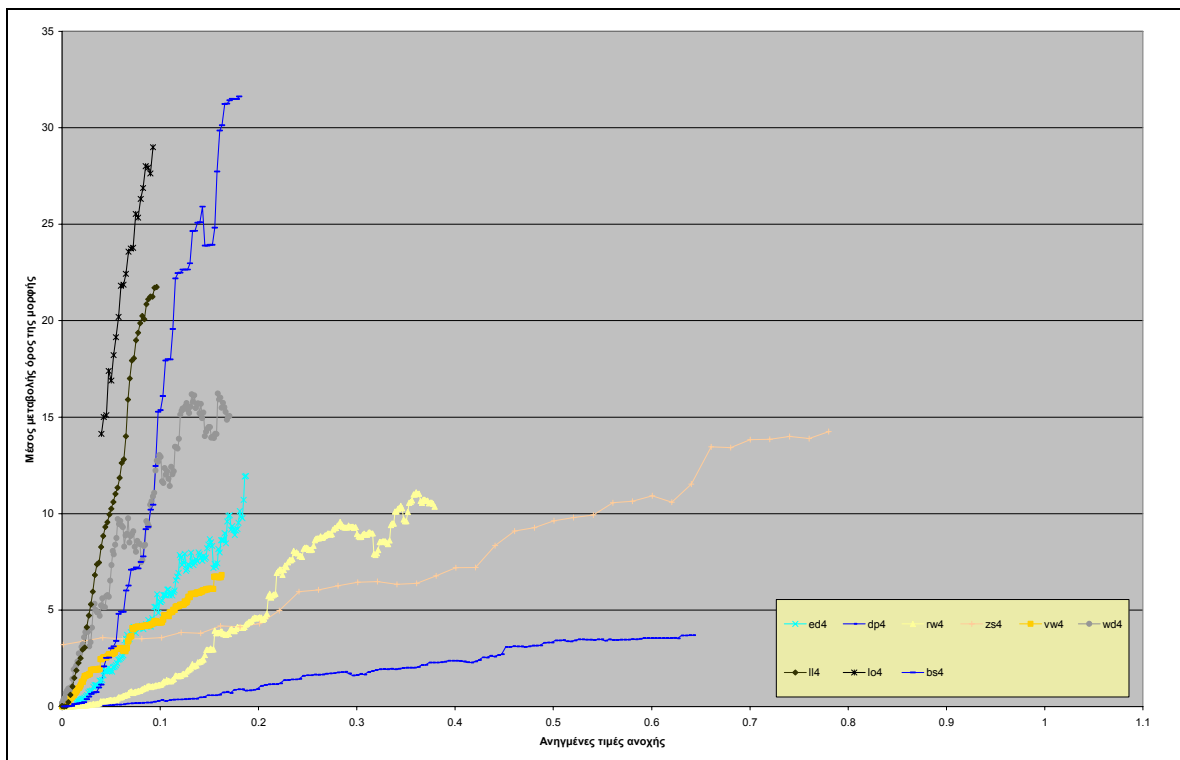
Διάγραμμα 5-67: Μέσος όρος της μεταβολής των γραμμών για την 2<sup>η</sup> ομάδα και όλους τους αλγόριθμους απλοποίησης

Για την ομάδα 2 μέγιστη μεταβολή της μορφής των γραμμών προκαλούν οι αλγόριθμοι Latecki Lakamer και Li & Openshaw ενώ ελάχιστη μεταβολή προκαλεί ο αλγόριθμος Douglas Peucker.



Διάγραμμα 5-68: Μέσος όρος της μεταβολής των γραμμών για την 3<sup>η</sup> ομάδα και όλους τους αλγορίθμους απλοποίησης

Για την ομάδα 3 τη μέγιστη μεταβολή της μορφής παρουσιάζει ο αλγόριθμος Bend simplify και την ελάχιστη παρουσιάζουν και πάλι οι αλγόριθμοι Visvaligam & Whyatt, Douglas Peucker.



Διάγραμμα 5-69: Μέσος όρος της μεταβολής των γραμμών για όλες την 4<sup>η</sup> ομάδα και όλους τους αλγορίθμους απλοποίησης

Στον πίνακα 5-10 που ακολουθεί παρουσιάζονται αριθμητικά η μεταβολή της μορφής κάθε ομάδας ανάλογα με τον αλγόριθμο. Ο μη περιορισμένης εφαρμογής αλγόριθμος Li & Openshaw και ο αλγόριθμος Zhao & Saalfeld παρουσιάζουν τιμές ελάχιστης μεταβολής της μορφής για όλες τις ομάδες μεγαλύτερες του μηδενός και ο αλγόριθμος Douglas Peucker παρουσιάζει την μικρότερη μεταβολή της μορφής για τις γραμμές όλων των ομάδων.

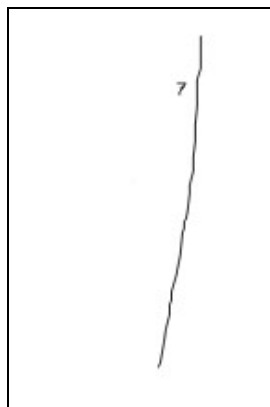
Αλγόριθμος- Ομάδα	Ελάχιστη μεταβολή της μορφής	Μέση μεταβολή της μορφής	Μέγιστη μεταβολή της μορφής	Αρχική ανοχή	Μέση τιμή ανοχής	Μέγιστη τιμή ανοχής
Ευκλείδειας απόστασης 1	0.00	2.08	1.26	1.00	167.00	785.00
Ευκλείδειας απόστασης 2	0.00	2.28	1.48	1.00	150.00	663.00
Ευκλείδειας απόστασης 3	0.00	5.45	2.43	1.00	80.00	339.00
Ευκλείδειας απόστασης 4	0.00	11.95	4.91	1.00	48.00	147.00
all	0.00	13.68	7.52	1.00		785.00
Douglas Peucker 1	0.00	1.65	0.64	0.25	7.50	22.25
Douglas Peucker 2	0.00	1.22	0.51	0.25	6.75	24.25
Douglas Peucker 3	0.00	2.81	1.52	0.25	7.25	64.25
Douglas Peucker 4	0.00	3.69	1.88	0.25	10.50	41.25
all	0.00	3.31	1.80	0.25		64.25
Reuman Witkam 1	0.00	2.08	1.10	0.10	13.85	43.60
Reuman Witkam 2	0.00	2.46	1.45	0.10	12.85	79.10
Reuman Witkam 3	0.00	9.35	4.56	0.10	12.85	174.35
Reuman Witkam 4	0.00	11.09	4.97	0.10	18.60	66.10
all	0.00	11.46	6.06	0.10		174.35
Zhao & Saalfeld 1	0.80	2.12	1.37	0.10	10.60	27.10
Zhao & Saalfeld 2	0.87	2.73	1.87	0.10	7.60	55.60
Zhao & Saalfeld 3	1.07	9.53	4.32	0.10	7.60	75.10
Zhao & Saalfeld 4	3.20	14.26	7.95	0.10	10.60	58.60
all	1.44	8.63	4.56	0.10		75.10
Visvaligam & Whyatt 1	0.00	1.67	0.93	1.00	821.00	12241.00
Visvaligam & Whyatt 2	0.00	1.69	1.01	1.00	981.00	11341.00
Visvaligam & Whyatt 3	0.00	4.21	2.46	1.00	441.00	25961.00
Visvaligam & Whyatt 4	0.00	6.82	3.74	1.00	381.00	4221.00
all	0.00	7.89	4.87	1.00		25961.00
Wall Danielsson 1	0.03	2.43	1.85	1.00	1201.00	15141.00
Wall Danielsson 2	0.05	3.34	2.43	1.00	861.00	14721.00
Wall Danielsson 3	0.05	22.57	12.38	1.00	221.00	10521.00
Wall Danielsson 4	0.17	16.22	9.70	1.00	161.00	2581.00
aLatecki Lakamper	0.07	18.21	12.00	1.00		15141.00

Latecki Lakamper 1	0.00	2.29	1.60	1.00	5701.00	47801.00
Latecki Lakamper 2	0.00	3.25	2.39	1.00	2201.00	28301.00
Latecki Lakamper 3	0.00	17.06	10.16	1.00	1201.00	11901.00
Latecki Lakamper 4	0.00	21.75	10.50	1.00	1101.00	4601.00
all	0.00	23.57	18.06	1.00		47801.00
Li & Openshaw 1	0.60	2.50	2.04	40.00	222.50	1000.00
Li & Openshaw 2	0.92	3.58	2.62	40.00	192.50	750.00
Li & Openshaw 3	1.76	17.94	10.54	40.00	87.50	317.50
Li & Openshaw 4	14.14	29.00	22.27	40.00	40.00	92.50
all	3.98	27.24	20.63	40.00	40.00	1000.00
Bend simplify 1	0.00	2.64	1.94	5.00	170.00	1995.00
Bend simplify 2	0.00	2.45	2.03	5.00	195.00	1995.00
Bend simplify 3	0.00	27.58	18.18	5.00	270.00	1995.00
Bend simplify 4	0.00	31.62	13.56	5.00	95.00	360.00
all	0.00	24.70	17.93	5.00	40.00	1995.00

Πίνακας 5-10:Μεταβολή της μορφής ανά ομάδα γραμμών και αλγόριθμο απλοποίησης

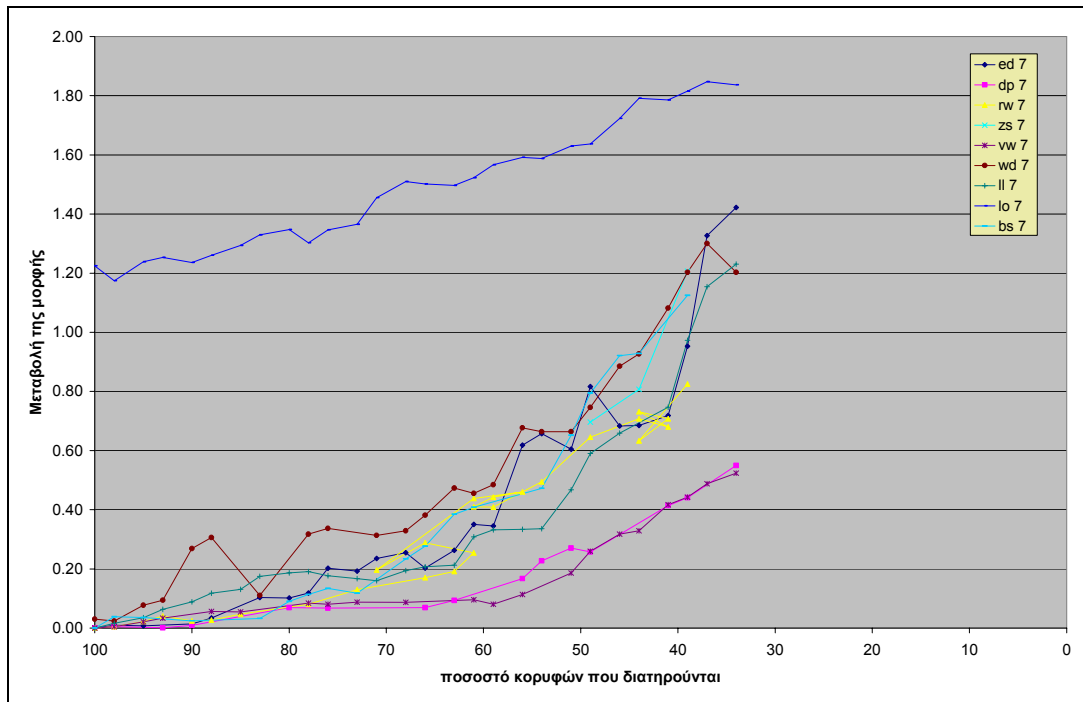
5.5 Μεταβολή της μορφής των γραμμών για μια ενδεικτική γραμμή από κάθε ομάδα μέσω των μετασχηματισμών απλοποίησης διατηρώντας κοινή κλίμακα

Από την ομάδα 1 έχει επιλεγεί ως αντιπροσωπευτική η γραμμή με κωδικό 7 που παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 5-1):



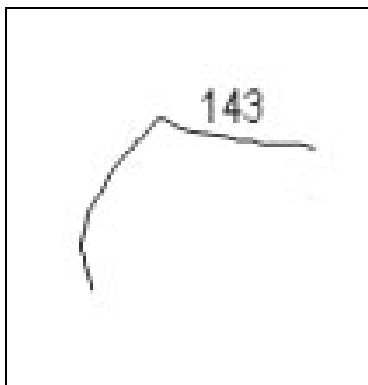
Εικόνα 5-1: Γραμμή 7

Όπως προκύπτει από το ακόλουθο διάγραμμα (5-70) επιβεβαιώνεται το συμπέρασμα που προέκυψε και από προηγούμενα διαγράμματα. Η ελάχιστη μεταβολή προκαλείται μέσω των αλγορίθμων Douglas Peucker, Visvaligam & Whyatt και η μέγιστη μέσω του αλγορίθμου Li & Openshaw.

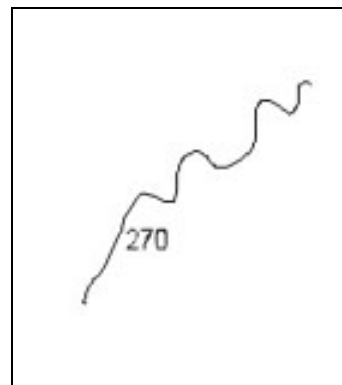


Διάγραμμα 5-70: Μεταβολή της μορφής της γραμμής 7 για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται

Από την ομάδα 2 έχει επιλεγεί ως αντιπροσωπευτική η γραμμή με κωδικό 143 (Εικόνα 5-2) και από την ομάδα 3 η γραμμή 270 (Εικόνα 5-3) που παρουσιάζονται στις εικόνες που ακολουθούν.

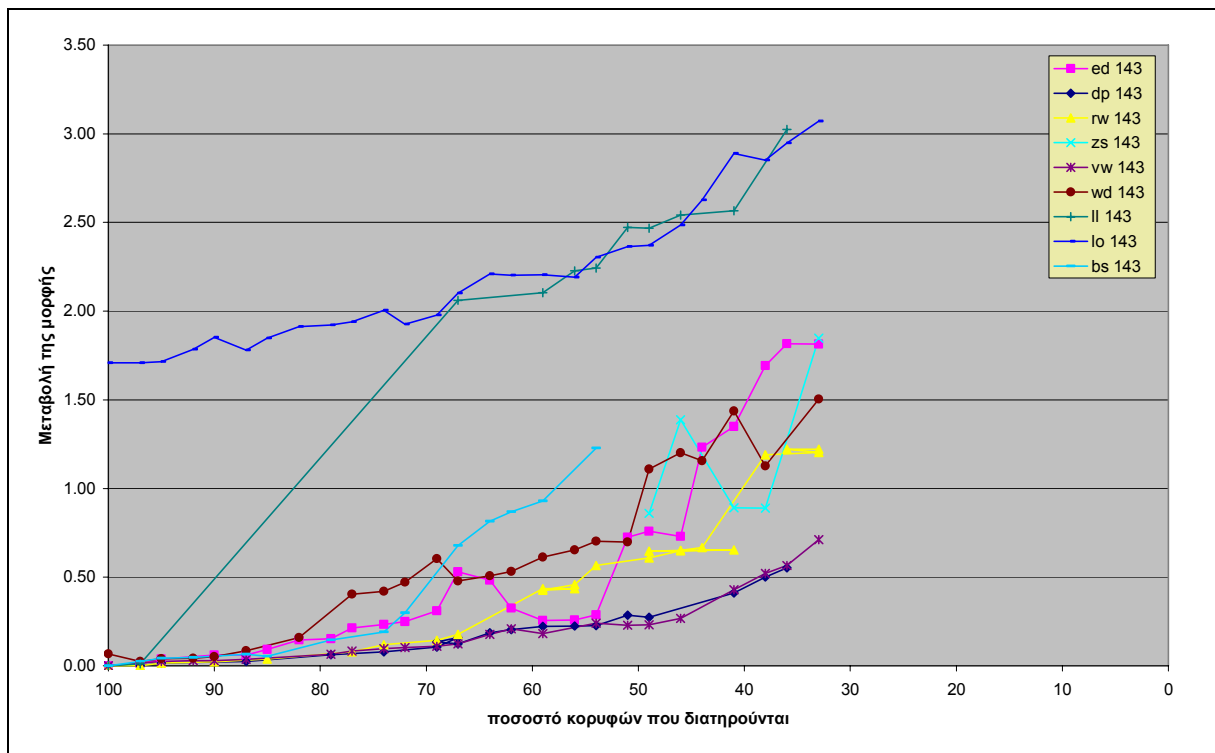


Εικόνα 5-2: Γραμμή 143

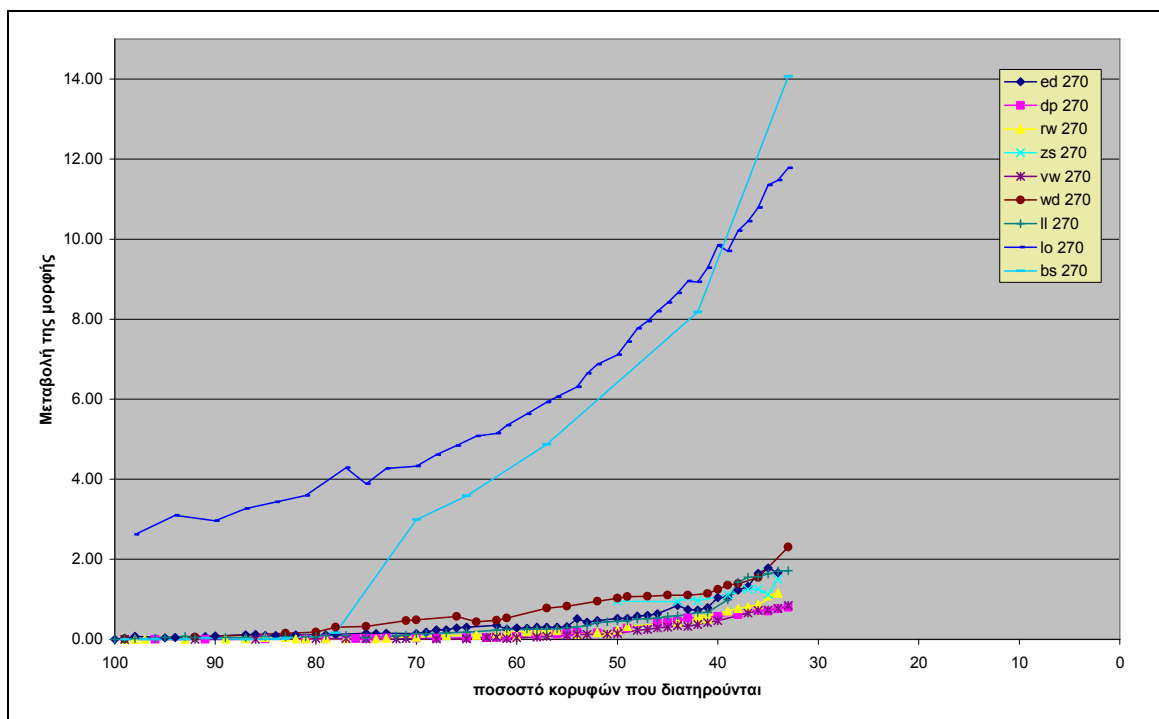


Εικόνα 5-3: Γραμμή 270

Ομοίως με την ομάδα 1 η ελάχιστη μεταβολή προκαλείται μέσω των αλγορίθμων Douglas Peucker, Visvaligam & Whyatt και η μέγιστη μέσω του αλγορίθμου Li & Openshaw.



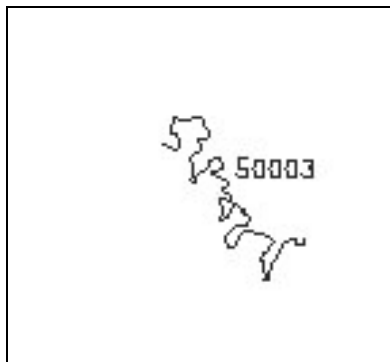
Διάγραμμα 5-71: Μεταβολή της μορφής της γραμμής 143 για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται



Διάγραμμα 5-72: Μεταβολή της μορφής της γραμμής 270 για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται

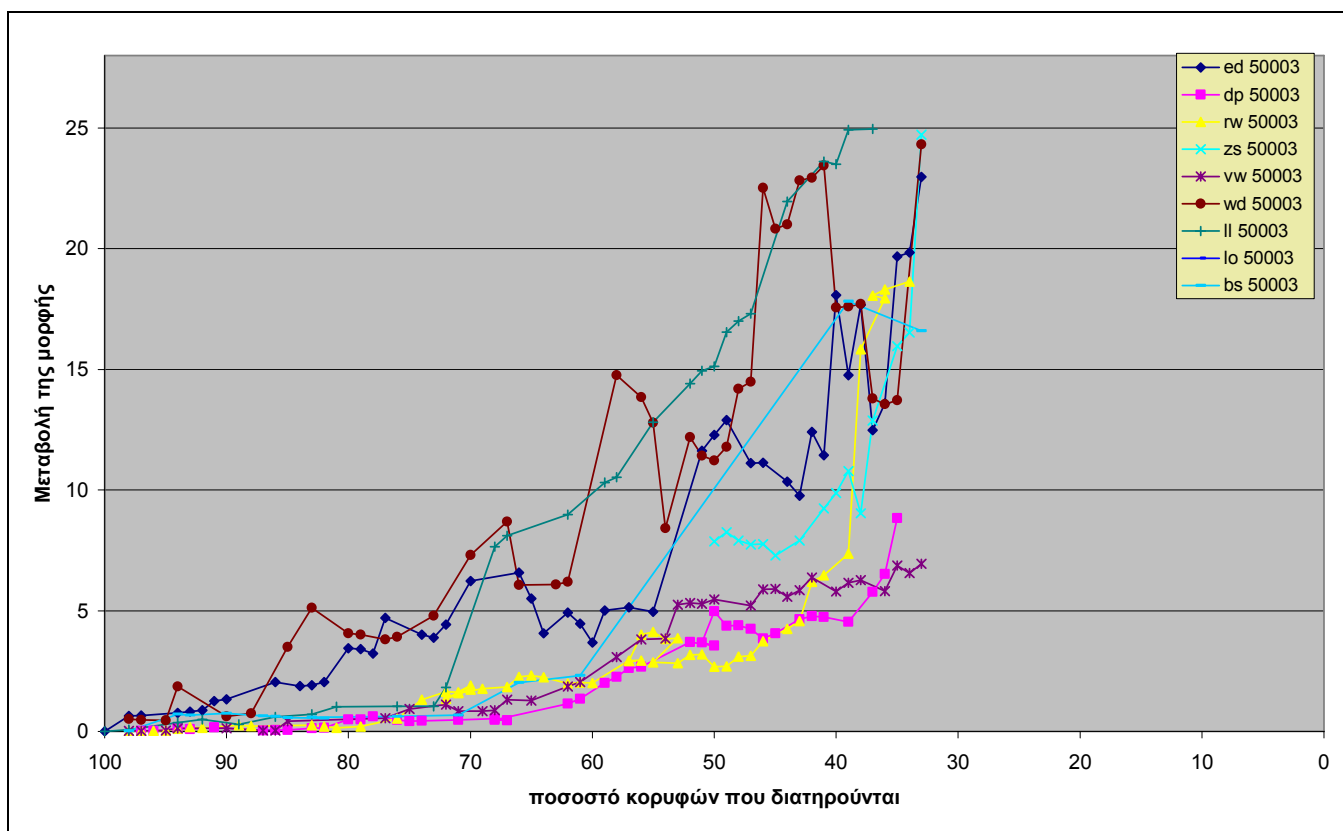


Από την ομάδα 4 έχει επιλεγεί ως αντιπροσωπευτική η γραμμή με κωδικό 50003 που έχει την ακόλουθη μορφή (εικόνα 5-4):



Εικόνα 5-4: Γραμμή 50003

Για την ομάδα αυτή η ελάχιστη μεταβολή προκαλείται μέσω των αλγορίθμων Douglas Peucker, Visvaligam & Whyatt και η μέγιστη μέσω του αλγορίθμου Latecki Lakamper και Wall Danielsson.



Διάγραμμα 5-73: Μεταβολή της μορφής της γραμμής 50003 για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με το ποσοστό των κορυφών που διατηρούνται

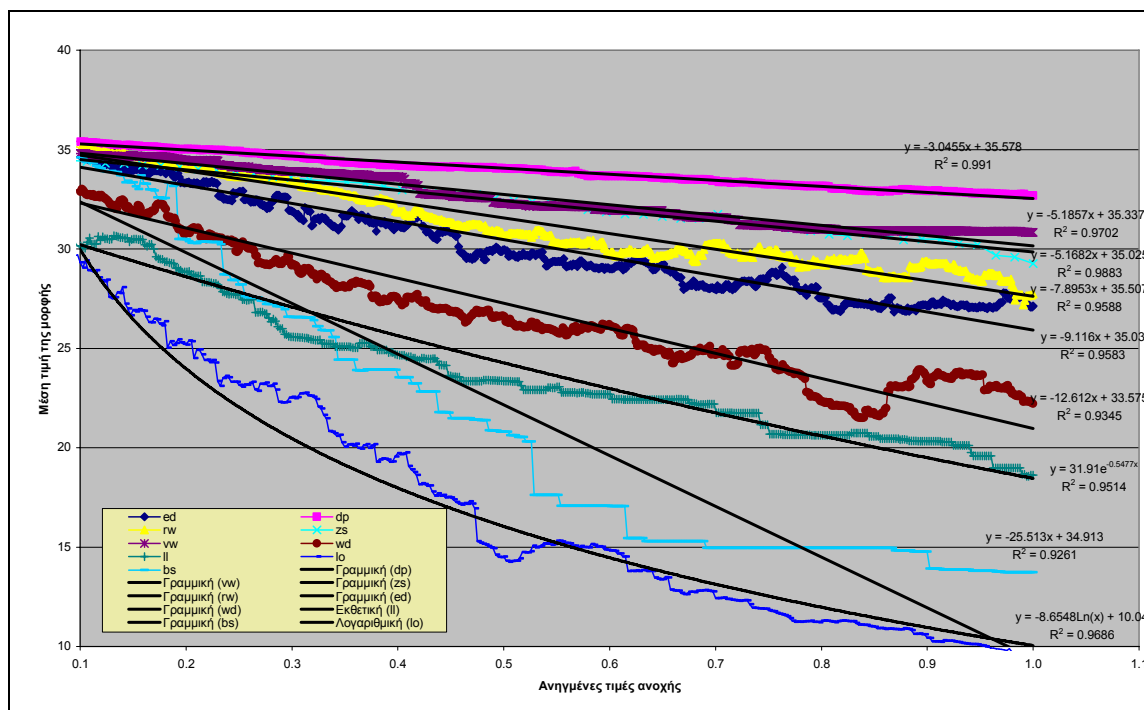
5.6 Εξέταση της μορφής των γραμμών και της μεταβολής της για το σύνολο των αλγορίθμων για γενίκευση στην κλίμακα 1:100.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

Όπως έχει ήδη αναφερθεί προκειμένου να υπολογιστούν οι παράμετροι που έχουν επιλεγεί για τον προσδιορισμό της μεταβολής της μορφής λόγω της απλοποίησης, υπολογίζονται αρχικά οι γραμμές με ενιαία ανάλυση που είναι ίση με τη διακριτική ικανότητα του ματιού στην κλίμακα απεικόνισης. Έτσι, για την κλίμακα 1:100.000 υπολογίζονται τα γραμμικά τμήματα που έχουν προκύψει μέσω της απλοποίησης με βήμα 25m.

Η μορφή των γραμμικών τμημάτων στην κλίμακα 1:100.000 παρουσιάζεται στον πίνακα και το διάγραμμα που ακολουθεί

Αλγόριθμοι	Μέση τιμή της μορφής των αρχικών γραμμών	Μέγιστη τιμή ανοχής (m)	Ελάχιστη τιμή ανοχής (m)	Βήμα ανοχής (m)	Ποσοστό (%) κορυφών που διατηρούνται	Μέγιστη τιμή της μορφής των τελικών γραμμών	Ελάχιστη τιμή της μορφής των τελικών γραμμών	Μέση τιμή της μορφής των τελικών γραμμών	% Μεταβολή της μορφής
ed	30.31	785	1	1	100-35	35.54	26.82	30.47	1%
dp	30.31	86.75	0.25	0.25	100-35	35.54	32.68	34.05	12%
rw	30.31	188.85	0.1	0.25	100-35	35.54	27.18	31.56	4%
zs	30.31	85.6	0.1	0.5	100-35	34.64	29.26	32.44	7%
vw	30.31	19981	1	20	100-35	35.54	30.83	32.74	8%
wd	30.31	15141	1	20	100-35	35.50	21.49	27.27	10%
ll	30.31	47801	1	100	100-35	35.53	18.57	24.60	19%
lo	30.31	1000	40	2.5	100-35	33.07	9.62	17.57	42%
bs	30.31	1995	5	5	100-35	35.57	13.73	22.13	27%

Πίνακας 5-11: Μορφή των τελικών γραμμών στην κλίμακα 1:100.000 για όλους τους αλγόριθμους



Διάγραμμα 5-74: Μορφή του συνόλου των γραμμών για όλους τους αλγόριθμους ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

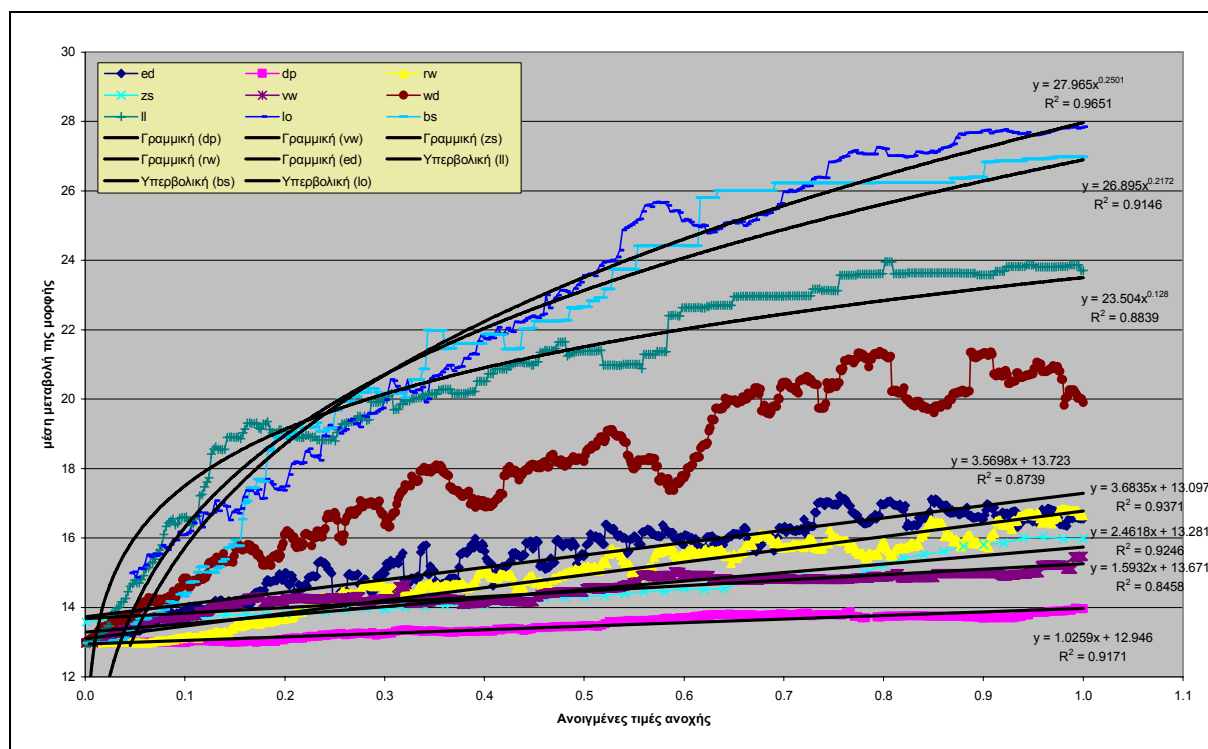
Από τον ανωτέρω πίνακα παρατηρείται πως τη μέγιστη μεταβολή της μορφής παρουσιάζει ο αλγόριθμος Li & Openshaw γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται και μέσω του ανωτέρω διαγράμματος καθώς η μορφή των γραμμικών τμημάτων που προκύπτουν από αυτόν ακολουθεί φθίνουσα πορεία. Μάλιστα, πρέπει να σημειωθεί πως ο αλγόριθμος ακολουθεί το λογαριθμικό μοντέλο γεγονός το οποίο σημαίνει ότι η μορφή των απλοποιημένων γραμμών μεταβάλλεται με έντονο ρυθμό και έπειτα σταθεροποιείται.

Αντίστοιχα παρουσιάζεται η μεταβολή της μορφής των γραμμών στον πίνακα και τα διαγράμματα που ακολουθούν για την κλίμακα 1:100.000

Αλγόριθμοι	Μέση τιμή της μορφής των αρχικών γραμμών	Μέγιστη τιμή ανοχής (m)	Ελάχιστη τιμή ανοχής (m)	Βήμα ανοχής (m)	Ποσοστό κορυφών που διατηρούνται (%) range	Μέγιστη τιμή της μεταβολής της μορφής των τελικών γραμμών	Ελάχιστη τιμή της μεταβολής των τελικών γραμμών	Μέση τιμή της μεταβολής των γραμμών
ed	30.31	785	1	1	100-35	17.22	12.97	15.51
dp	30.31	86.75	0.25	0.25	100-35	13.97	12.97	13.46
rw	30.31	188.85	0.1	0.25	100-35	16.83	12.97	14.94
zs	30.31	85.6	0.1	0.5	100-35	16.03	13.57	14.51
vw	30.31	19981	1	20	100-35	15.47	12.97	14.47
wd	30.31	15141	1	20	100-35	21.37	13.00	18.03
ll	30.31	47801	1	100	100-35	23.96	12.95	20.85
lo	30.31	1000	40	2.5	100-35	32.62	14.87	22.98
bs	30.31	1995	5	5	100-35	26.97	12.97	22.18

Πίνακας 5-12: Μεταβολή της μορφής των γραμμών στην κλίμακα 1:100.000 για όλους τους αλγόριθμους

Βάσει της μέσης τιμής της μεταβολής της μορφής των γραμμικών τμημάτων λόγω της απλοποίησης όπως παρουσιάζεται στον ανωτέρω πίνακα παρατηρείται πως υπάρχει συνοχή με τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την εξέταση της μεταβολής της μορφής σε ενιαία κλίμακα και παρουσιάζονται στον πίνακα 5-11. Η μόνη διαφορά στην κατάταξη, παρουσιάζεται μεταξύ των αλγορίθμων Zhao & Saalfeld και Visvalingam Whyatt, οι οποίοι όμως παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές της μεταβολής της μορφής. Η κατάταξη αυτή οπτικοποιείται μέσω του διαγράμματος που ακολουθεί (Διάγραμμα 5- 75).



Διάγραμμα 5-75: Μεταβολή της μορφής του συνόλου των γραμμών για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

### 5.7 Εξέταση της μορφής και της μεταβολής της για το σύνολο των αλγορίθμων για γενίκευση στην κλίμακα 1:200.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

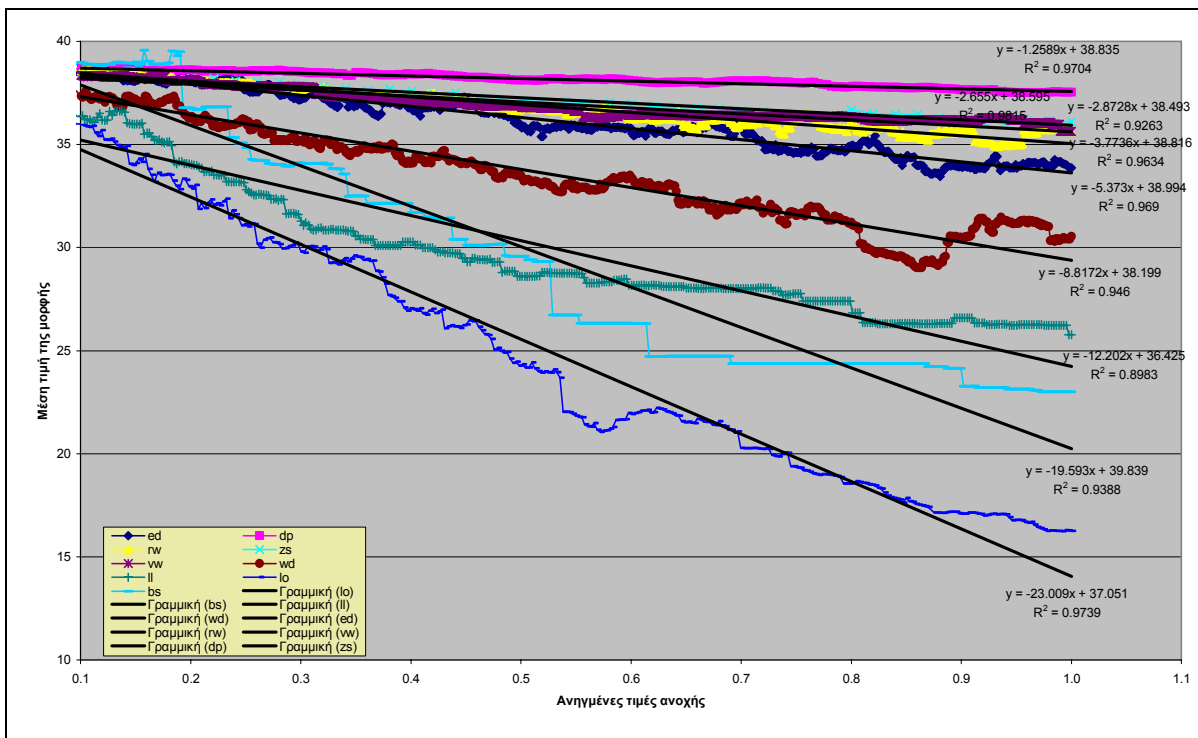
Προκειμένου να υπολογιστούν οι παράμετροι που έχουν επιλεγεί για τον προσδιορισμό της μεταβολής της μορφής λόγω της απλοποίησης, για την κλίμακα 1:200.000 υπολογίζονται τα γραμμικά τμήματα που έχουν προκύψει μέσω της απλοποίησης με βήμα 50m.

Η μορφή των γραμμικών τμημάτων στην κλίμακα 1:200.000 παρουσιάζεται στον πίνακα και το διάγραμμα που ακολουθεί.

Αλγόριθμοι	Μέση τιμή της μορφής των αρχικών γραμμών	Μέγιστη τιμή ανοχής (m)	Ελάχιστη τιμή ανοχής (m)	Βήμα ανοχής (m)	Ποσοστό κορυφών που διατηρούνται (%) range	Μέγιστη τιμή της μορφής των τελικών γραμμών	Ελάχιστη τιμή της μορφής των τελικών γραμμών	Μέση τιμή της μορφής των τελικών γραμμών	% Μεταβολή της μορφής
ed	30.31	785	1	1	100-35	38.78	33.45	36.30	20%
dp	30.31	86.75	0.25	0.25	100-35	38.72	37.50	38.20	26%
rw	30.31	188.85	0.1	0.25	100-35	38.72	34.90	36.93	22%
zs	30.31	85.6	0.1	0.5	100-35	38.44	36.05	37.27	23%
vw	30.31	19981	1	20	100-35	38.72	35.62	37.06	22%
wd	30.31	15141	1	20	100-35	38.73	29.02	33.79	11%
ll	30.31	47801	1	100	100-35	38.72	25.77	30.32	0%
lo	30.31	1000	40	2.5	100-35	37.80	16.23	25.03	17%
bs	30.31	1995	5	5	100-35	39.56	23.00	30.02	1%

Πίνακας 5-13:Μορφή των τελικών γραμμών στην κλίμακα 1:200.000 για όλους τους αλγόριθμους

Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρατηρείται πως η μορφή των γραμμικών τμημάτων που προκύπτει μέσω του συνόλου των αλγορίθμων ακολουθεί το γραμμικό μοντέλο που σημαίνει πως η μορφή των γραμμών μεταβάλλεται με σταθερό ρυθμό. Παρατηρείται επίσης πως η κατάταξη των αλγορίθμων βάσει της κλίσης του γραμμικού μοντέλου που προσαρμόζεται στον κάθε αλγόριθμο είναι ίδια με την κατάταξη που προέκυψε για τις γραμμές στην κλίμακα 1:100.000 γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τον πίνακα που προηγείται.

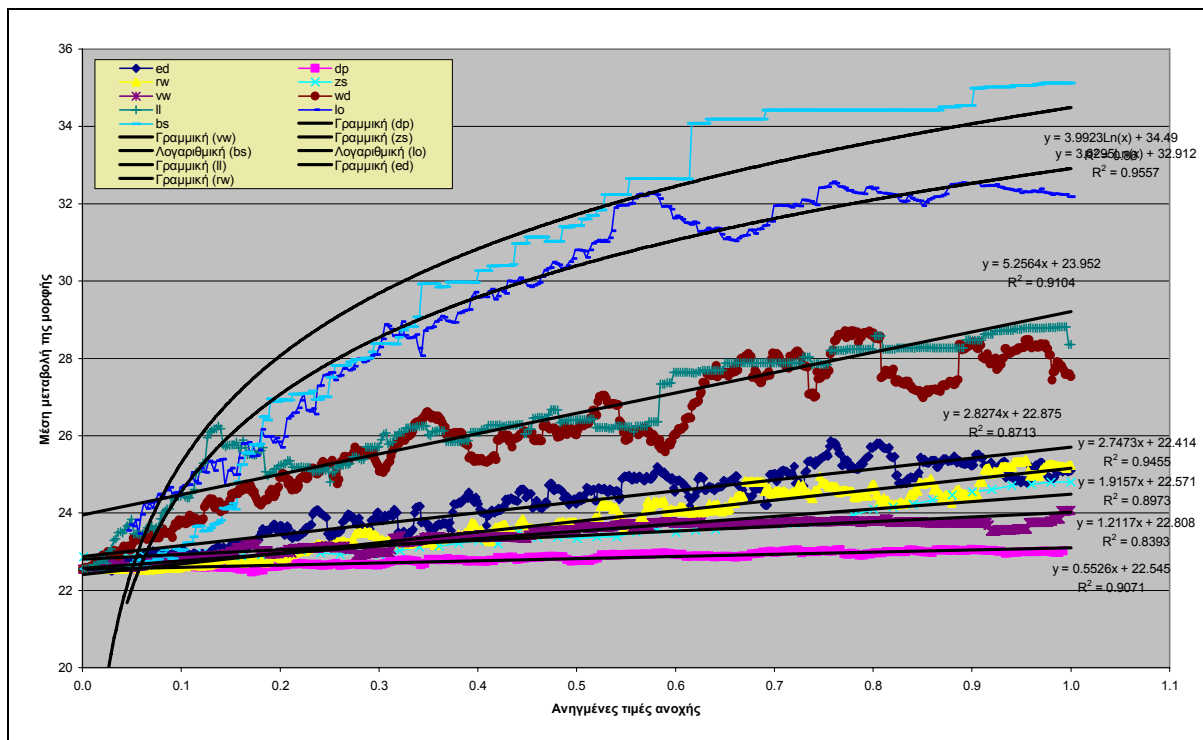


Διάγραμμα 5-76: Μορφή του συνόλου των γραμμών για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

Στον πίνακα και το διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της μορφής των γραμμικών τμημάτων στην κλίμακα 1:200.000. Μέσω του πίνακα 5- 14 καθώς και του διαγράμματος, γίνεται σαφές πως η κατάταξη των αλγορίθμων βάσει της μέσης τιμής της μεταβολής της μορφής των γραμμών παραμένει ίδια για τους 7 πρώτους αλγόριθμους ενώ υπάρχει μεταβολή για τους αλγόριθμους Li- Openshaw και Bend Simplify.

Αλγόριθμοι	Μέση τιμή της μορφής των αρχικών γραμμών	Μέγιστη τιμή ανοχής (m)	Ελάχιστη τιμή ανοχής (m)	Βήμα ανοχής (m)	Ποσοστό κορυφών που διατηρούνται (%) range	Μέγιστη τιμή της μεταβολής της μορφής των τελικών γραμμών	Ελάχιστη τιμή της μεταβολής της μορφής των τελικών γραμμών	Μέση τιμή της μεταβολής της μορφής των γραμμών
ed	30.31	785	1	1	100-35	25.86	22.51	24.29
dp	30.31	86.75	0.25	0.25	100-35	23.06	22.47	22.82
rw	30.31	188.85	0.1	0.25	100-35	25.39	22.53	23.79
zs	30.31	85.6	0.1	0.5	100-35	24.81	22.86	23.53
vw	30.31	19981	1	20	100-35	24.08	22.54	23.41
wd	30.31	15141	1	20	100-35	28.72	22.54	26.18
ll	30.31	47801	1	100	100-35	28.82	22.55	26.58
lo	30.31	1000	40	2.5	100-35	33.92	23.46	29.81
bs	30.31	1995	5	5	100-35	35.12	22.52	30.54

Πίνακας 5-14:Μεταβολή της μορφής των γραμμών στην κλίμακα 1:200.000 για όλους τους αλγόριθμους



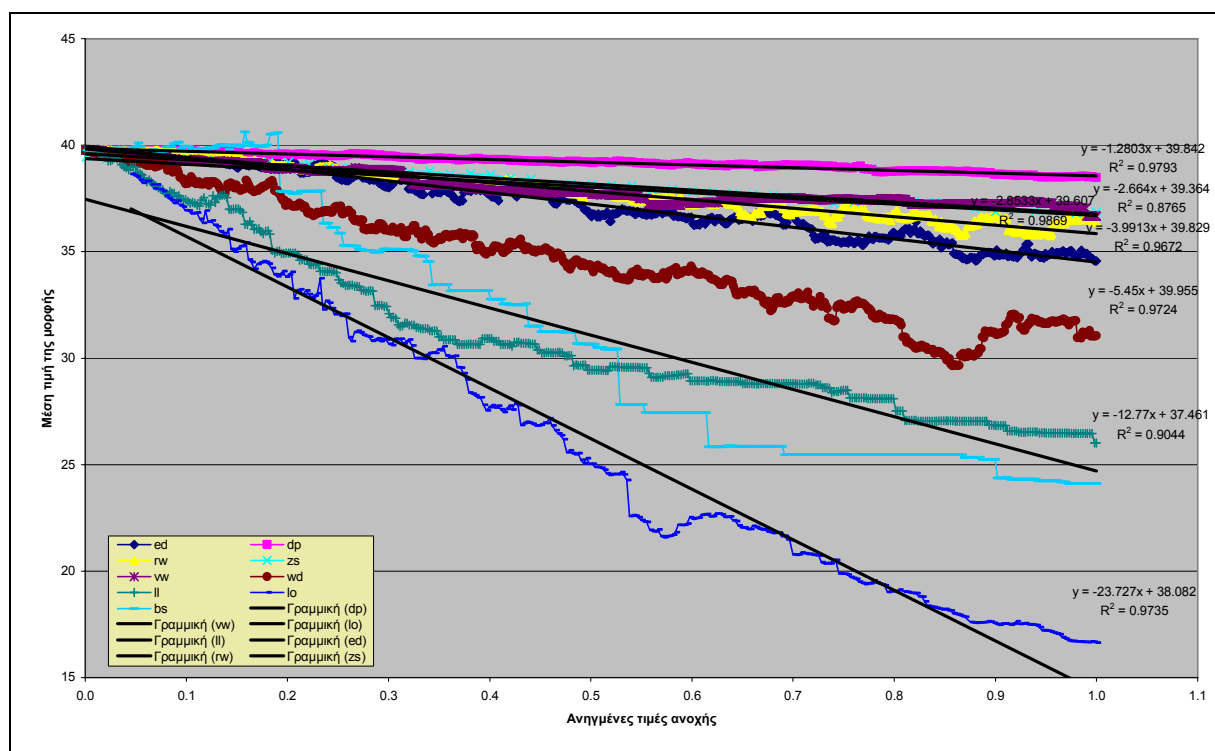
Διάγραμμα 5-77: Μεταβολή της μορφής του συνόλου των γραμμών για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

5.8 Εξέταση της μορφής και της μεταβολή της για το σύνολο των αλγορίθμων για μετάβαση στην κλίμακα 1:250.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

Προκειμένου να υπολογιστούν οι παράμετροι που έχουν επιλεγεί για τον προσδιορισμό της μεταβολής της μορφής λόγω της απλοποίησης, για την κλίμακα 1:250.000 υπολογίζονται τα γραμμικά τμήματα που έχουν προκύψει μέσω της απλοποίησης με βήμα 62.5m.

Αλγόριθμοι	Μέση τιμή της μορφής των αρχικών γραμμών	Μέγιστη τιμή ανοχής (m)	Ελάχιστη τιμή ανοχής (m)	Βήμα ανοχής (m)	Ποσοστό κορυφών που διατηρούνται (%) range	Μέγιστη τιμή της μορφής των τελικών γραμμών	Ελάχιστη τιμή της μορφής των τελικών γραμμών	Μέση τιμή της μορφής των τελικών γραμμών	% Μεταβολή της μορφής
ed	30.31	785	1	1	100-35	39.76	34.55	37.23	23%
dp	30.31	86.75	0.25	0.25	100-35	39.77	38.48	39.20	29%
rw	30.31	188.85	0.1	0.25	100-35	39.77	35.75	37.83	25%
zs	30.31	85.6	0.1	0.5	100-35	39.44	36.80	38.18	26%
vw	30.31	19981	1	20	100-35	39.80	36.66	38.03	25%
wd	30.31	15141	1	20	100-35	39.75	29.64	34.62	14%
ll	30.31	47801	1	100	100-35	39.77	26.01	31.08	3%
lo	30.31	1000	40	2.5	100-35	38.65	16.64	25.70	15%
bs	30.31	1995	5	5	100-35	40.61	24.11	31.09	3%

Πίνακας 5-15:Μορφή των τελικών γραμμών στην κλίμακα 1:250.000 για όλους τους αλγόριθμους



Διάγραμμα 5-78: Μορφή του συνόλου των γραμμών για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

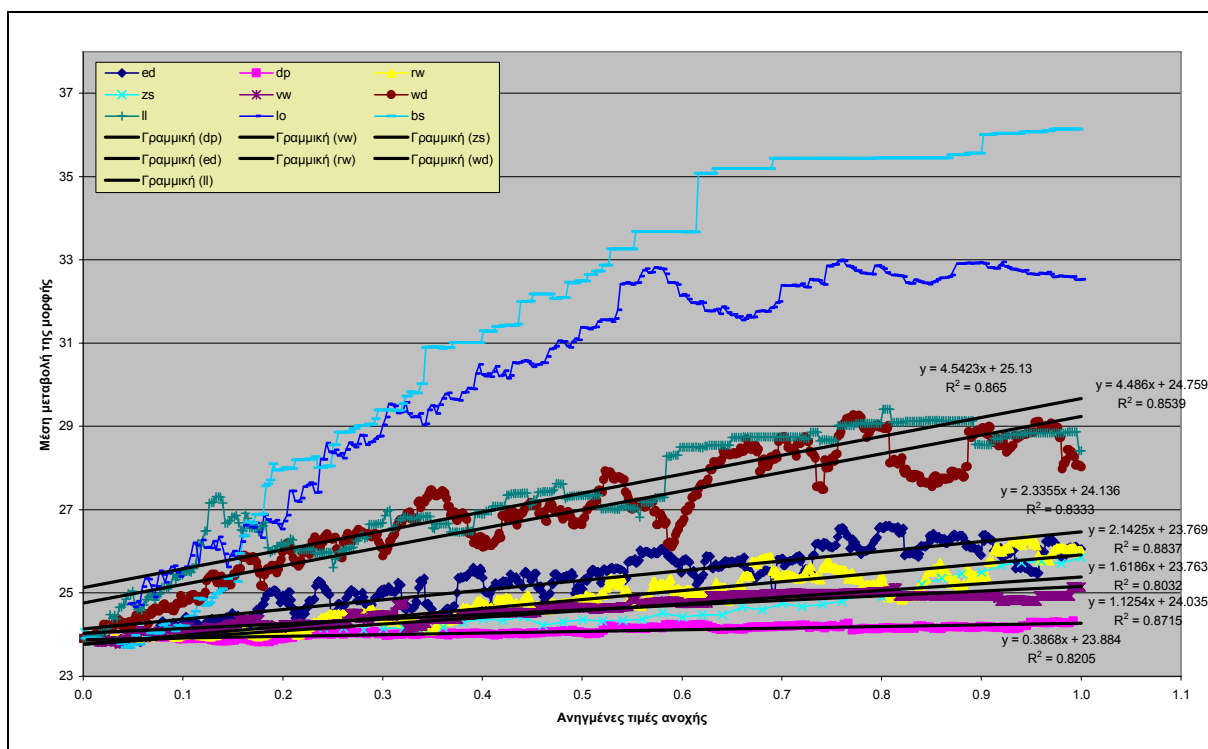
Όμοια με την μορφή των γραμμών για την κλίμακα 1:200.000 η μορφή των γραμμών που προκύπτουν μέσω όλων των αλγορίθμων ακολουθεί το γραμμικό μοντέλο. Επίσης,

παραμένει σταθερή και η κατάταξη τους βάσει της κλίσης των γραμμών που προσαρμόζονται στα μοντέλα.

Στον πίνακα και το διάγραμμα που ακολουθούν παρουσιάζεται η μεταβολή της μορφής των γραμμών υπολογισμένη στην κλίμακα 1:250.000.

Αλγόριθμοι	Μέση τιμή της μορφής των αρχικών γραμμών	Μέγιστη τιμή ανοχής (m)	Ελάχιστη τιμή ανοχής (m)	Βήμα ανοχής (m)	Ποσοστό (%) κορυφών που διατηρούνται	Μέγιστη τιμή της μεταβολής της μορφής των τελικών γραμμών	Ελάχιστη τιμή της μεταβολής της μορφής των τελικών γραμμών	Μέση τιμή της μεταβολής της μορφής των γραμμών
ed	30.31	785	1	1	100-35	26.62	23.81	25.30
dp	30.31	86.75	0.25	0.25	100-35	24.33	23.82	24.08
rw	30.31	188.85	0.1	0.25	100-35	26.30	23.91	24.84
zs	30.31	85.6	0.1	0.5	100-35	25.85	24.05	24.57
vw	30.31	19981	1	20	100-35	25.15	23.78	24.60
wd	30.31	15141	1	20	100-35	29.28	23.90	27.00
ll	30.31	47801	1	100	100-35	29.42	23.91	27.40
lo	30.31	1000	40	2.5	100-35	38.83	24.66	30.42
bs	30.31	1995	5	5	100-35	36.14	23.68	31.60

Πίνακας 5-16:Μεταβολή της μορφής των γραμμών στην κλίμακα 1:250.000 για όλους τους αλγόριθμους



Διάγραμμα 5-79: Μεταβολή της μορφής του συνόλου των γραμμών για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

Από τον πίνακα (5-16) και το διάγραμμα (5-79) της μεταβολής της μορφής των γραμμών για την κλίμακα 1:250.000 παρατηρείται όμοια κατάταξη των αλγορίθμων με τη μεταβολή της μορφής για τις άλλες δύο κλίμακες που εξετάστηκαν. Εναλλαγή παρατηρείται μέσω των αλγορίθμων Zhao Saalfeld- Visvalingam Whyatt και των Li Openshaw – Bend simplify.



## **6 ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΘΕΣΗΣ , ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΕΝΙΚΕΥΣΗΣ**

### **6.1 Εισαγωγή**

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετούνται τα μεγέθη περιγραφής της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης ανάλογα με τον αλγόριθμο και τη μορφή των γραμμών που υφίστανται γενίκευση (απλοποίηση).

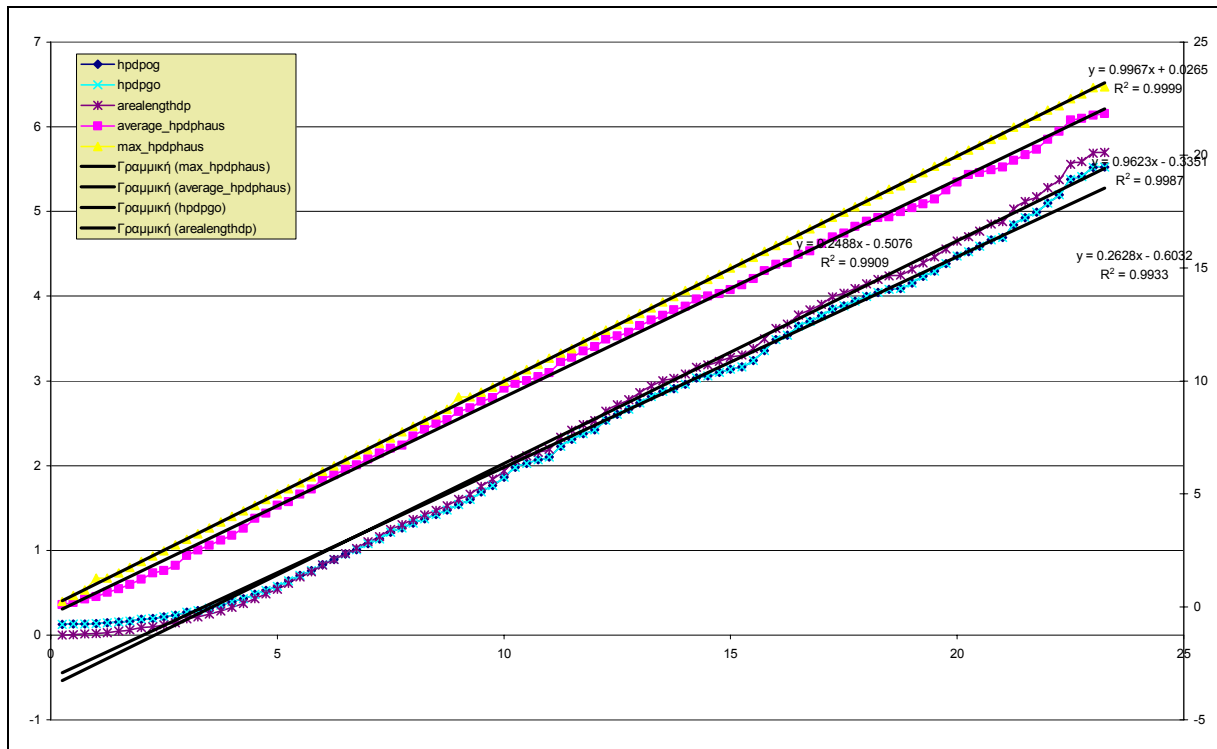
Προκειμένου να προσδιοριστεί η απόκλιση των γενικευμένων γραμμικών οντοτήτων από τις αρχικές υπολογίζονται όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, ορισμένα μέτρα απόκλισης των γραμμικών οντοτήτων όπως η Ευκλείδεια απόσταση, η απόσταση Hausdorff και η επιφανειακή μετάθεση.

Για κάθε αλγόριθμο υπολογίζονται ορισμένα τα ανωτέρω μέτρα απόκλισης των γραμμικών οντοτήτων. Δεν είναι δυνατή η απεικόνιση των προαναφερθέντων μεγεθών της μέσης μεταβολής για όλους τους αλγορίθμους σε ενιαία διαγράμματα προκειμένου να είναι δυνατή η σύγκριση των τιμών τους και επομένως η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης των γραμμών που προκαλείται μέσω του κάθε αλγορίθμου καθώς οι τιμές των παραμέτρων των αλγορίθμων δεν είναι κοινές. Έτσι, εξετάζονται τα μέτρα της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης χωριστά για κάθε αλγόριθμο για το σύνολο των γραμμών.

### **6.2 Μέτρα υπολογισμού των αποκλίσεων γραμμικών οντοτήτων ανά αλγόριθμο απλοποίησης**

#### **6.2.1 Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Douglas Peucker**

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται τα μέτρα ποσοτικοποίησης της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης και οι γραμμές τάσης που προσαρμόζονται σε αυτά για το σύνολο των γραμμών μέσω του αλγορίθμου της Ευκλείδειας απόστασης.



Διάγραμμα 6-1: Αλγόριθμος Douglas – Peucker: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

Από το ανωτέρω διάγραμμα διαπιστώνεται πως η μεταβολή των τιμών όλων των μέτρων περιγραφής της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης είναι γραμμική. Η μέγιστη και η μέση τιμή της απόστασης Hausdorff είναι πολύ μεγαλύτερες των τιμών της Ευκλείδειας απόστασης και του εμβαδού ανά μονάδα μήκους. Επίσης, παρατηρείται πως η Ευκλείδεια απόσταση της αρχικής προς τη γενικευμένη γραμμή και αντίστροφα ταυτίζονται και είναι πολύ μικρότερες της τιμής της ανοχής ενώ η μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff είναι ακριβώς ίδια με την τιμή της ανοχής .

Βάσει των γραμμών τάσης που έχουν προσαρμοστεί στα ανωτέρω διαγράμματα, παρατηρείται πως οι τιμές των μεγεθών είναι μικρότερες από τις τιμές της ανοχής εκτός από την μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff που είναι ανάλογη των τιμών της ανοχής.

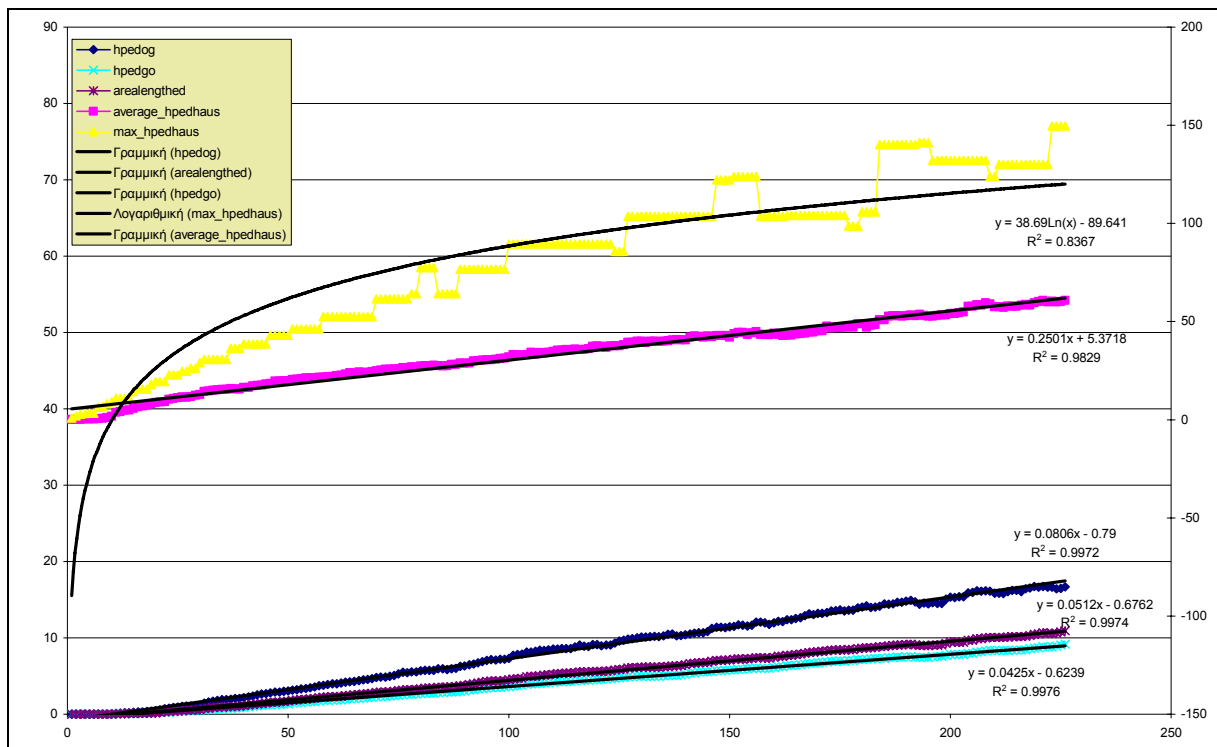
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά η ελάχιστη, η μέση και η μέγιστη τιμή όπως και η τυπική απόκλιση των μεγεθών που περιγράφουν τη μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης.

	Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή	Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή	Επιφανειακή μετάθεση	Μέση απόσταση Hausdorff	Μέγιστη απόσταση Hausdorff
Ελάχιστη τιμή	0.13	0.13	0.00	0.09	0.24
Μέγιστη τιμή	5.53	5.53	5.70	21.83	23.03
Μέση τιμή	2.42	2.42	2.49	10.97	11.74
Τυπική απόκλιση	1.69	1.69	1.78	6.50	6.73

Πίνακας 6-1 Αλγόριθμος Douglas – Peucker: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

## 6.2.2 Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Ευκλείδειας απόστασης

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (6-2) παρουσιάζονται τα μέτρα ποσοτικοποίησης της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης του συνόλου των γραμμών μέσω του αλγορίθμου της Ευκλείδειας απόστασης. Στο διάγραμμα έχουν προσαρμοστεί η γραμμές τάσης κάθε μέτρου.



Διάγραμμα 6-2: Αλγόριθμος Ευκλείδειας απόστασης: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

Η μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff ακολουθούν το λογαριθμικό μοντέλο και είναι πολύ μεγαλύτερη των τιμών της μέσης απόστασης Hausdorff, της Ευκλείδειας απόστασης και του εμβαδού ανά μονάδα μήκους που ακολουθούν το γραμμικό μοντέλο. Εδώ γίνεται εμφανής η ιδιαιτερότητα πως η απόσταση της γενικευμένης γραμμής ως προς την αρχική είναι μεγαλύτερη από την απόσταση της αρχικής ως προς τη γενικευμένη ενώ το μέτρο της επιφανειακής μετάθεσης πλησιάζει τις τιμές της ευκλείδειας απόστασης της αρχικής ως προς τη γενικευμένη γραμμή.

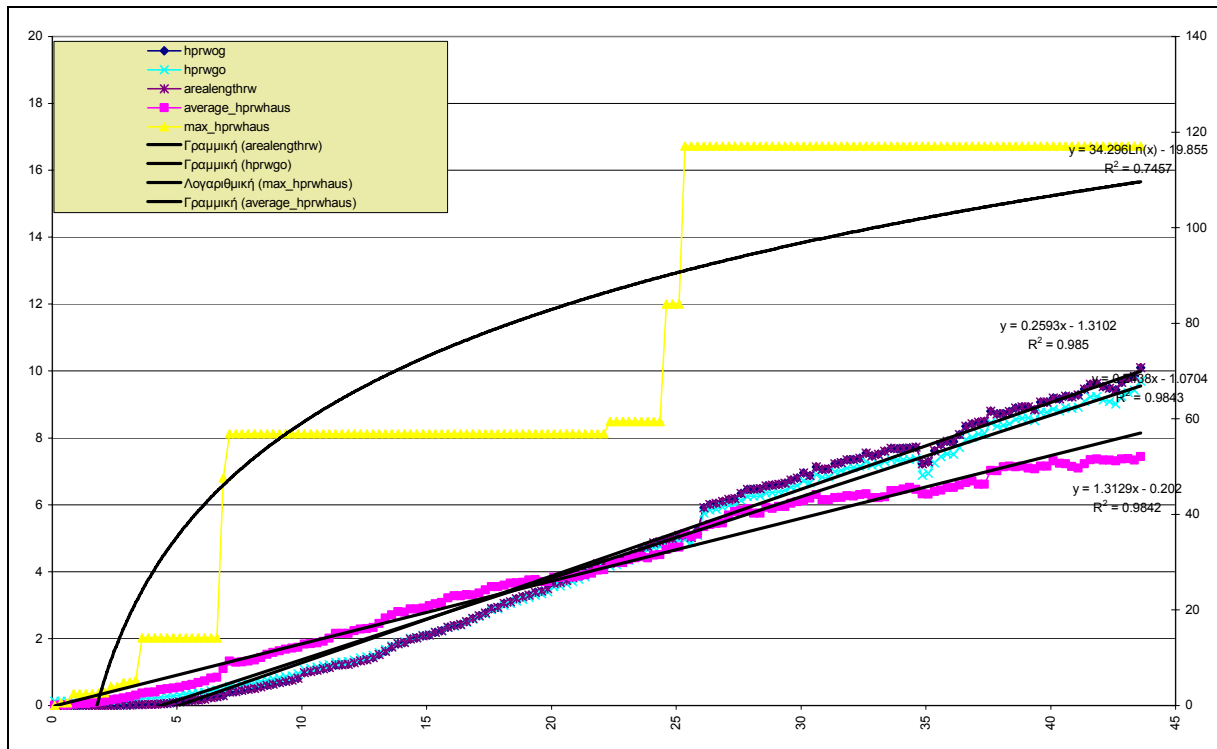
Παρατηρείται πως οι τιμές όλων των μεγεθών περιγραφής της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης είναι μικρότερες της παραμέτρου ανοχής. Αυτό το συμπέρασμα επιβεβαιώνεται και από τον ακόλουθο πίνακα (πίνακας 6-2) σε σύγκριση με τις τιμές ανοχής, καθώς γίνεται εμφανές πως οι μέγιστες τιμές των μεγεθών δεν πλησιάζουν τη μέγιστη τιμή της ανοχής.

	Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή	Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή	Επιφανειακή μετάθεση	Μέση απόσταση Hausdorff	Μέγιστη απόσταση Hausdorff
Ελάχιστη τιμή	0.00	0.00	0.00	0.02	0.92
Μέγιστη τιμή	16.73	9.19	10.91	60.76	149.72
Μέση τιμή	8.36	4.20	5.13	33.76	82.01
Τυπική απόκλιση	5.28	2.78	3.35	16.50	40.53

Πίνακας 6-2: Αλγόριθμος Ευκλείδειας απόστασης: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

### 6.2.3 Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Reuman Witkam

Στο ακόλουθο διάγραμμα (διάγραμμα 6-3) παρουσιάζονται τα μέτρα ποσοτικοποίησης της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης του συνόλου των γραμμών μέσω του αλγορίθμου Reuman Witkam καθώς και οι γραμμές τάσεις που προσαρμόζονται σε αυτά.



Διάγραμμα 6-3: Αλγόριθμος Reuman Witkam: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

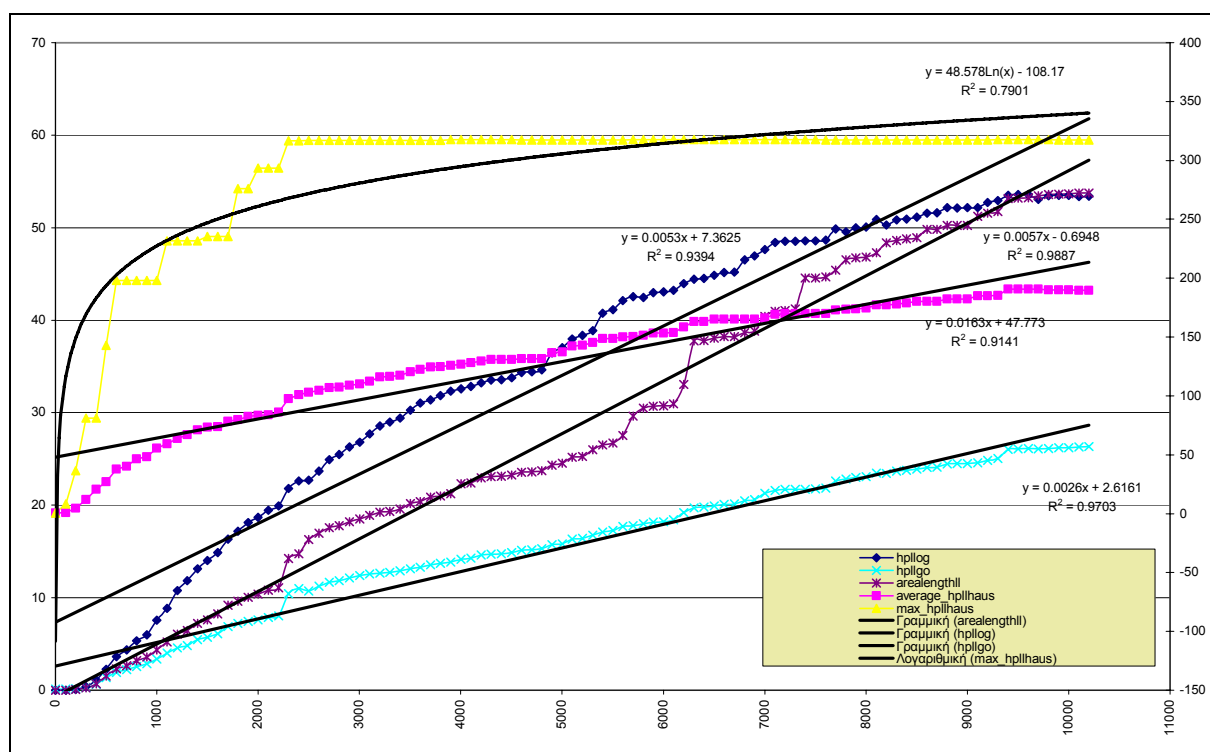
Η μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff ακολουθεί το λογαριθμικό μοντέλο και η μέση τιμή της το γραμμικό μοντέλο και είναι πολύ μεγαλύτερες των τιμών της Ευκλείδειας απόστασης και του εμβαδού ανά μονάδα μήκους που ακολουθούν το γραμμικό μοντέλο. Παρατηρείται πως η απόσταση της γενικευμένης γραμμής ως προς την αρχική είναι μεγαλύτερη από την απόσταση της αρχικής ως προς τη γενικευμένη ενώ το μέτρο της επιφανειακής μετάθεσης ταυτίζεται με τις τιμές της ευκλείδειας απόστασης της γενικευμένης ως προς την αρχική γραμμή και οι τιμές των τριων μεγεθών είναι πολύ μικρότερες από την ανοχή.

	Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή	Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή	Επιφανειακή μετάθεση	Μέση απόσταση Hausdorff	Μέγιστη απόσταση Hausdorff
<b>Ελάχιστη τιμή</b>	0.00	0.13	0.00	0.00	0.03
<b>Μέγιστη τιμή</b>	10.10	9.70	10.10	52.06	117.05
<b>Μέση τιμή</b>	4.36	4.26	4.36	28.48	75.36
<b>Τυπική απόκλιση</b>	3.31	3.11	3.31	16.76	39.77

Πίνακας 6-3: Αλγόριθμος Reuman Witkam: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

## 6.2.4 Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Latecki Lakamper

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα διαγράμματα και οι γραμμές τάσεις τους που απεικονίζουν τη μεταβολή των μέτρων ποσοτικοποίησης της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης του συνόλου των γραμμών μέσω του αλγορίθμου Latecki Lakamper.



Διάγραμμα 6-4: Αλγόριθμος Latecki Lakamper: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

Η μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff ακολουθεί το λογαριθμικό μοντέλο. Η μέση τιμή της ακολουθεί το γραμμικό μοντέλο και είναι πολύ μεγαλύτερες των τιμών της Ευκλείδειας απόστασης και του εμβαδού ανά μονάδα μήκους που ακολουθούν επίσης το λογαριθμικό μοντέλο. Η απόσταση της γενικευμένης γραμμής ως προς την αρχική είναι μεγαλύτερη από την απόσταση της αρχικής ως προς τη γενικευμένη ενώ το μέτρο της επιφανειακής μετάθεσης παρουσιάζει μεγαλύτερες από τις τιμές της ευκλείδειας απόστασης της.

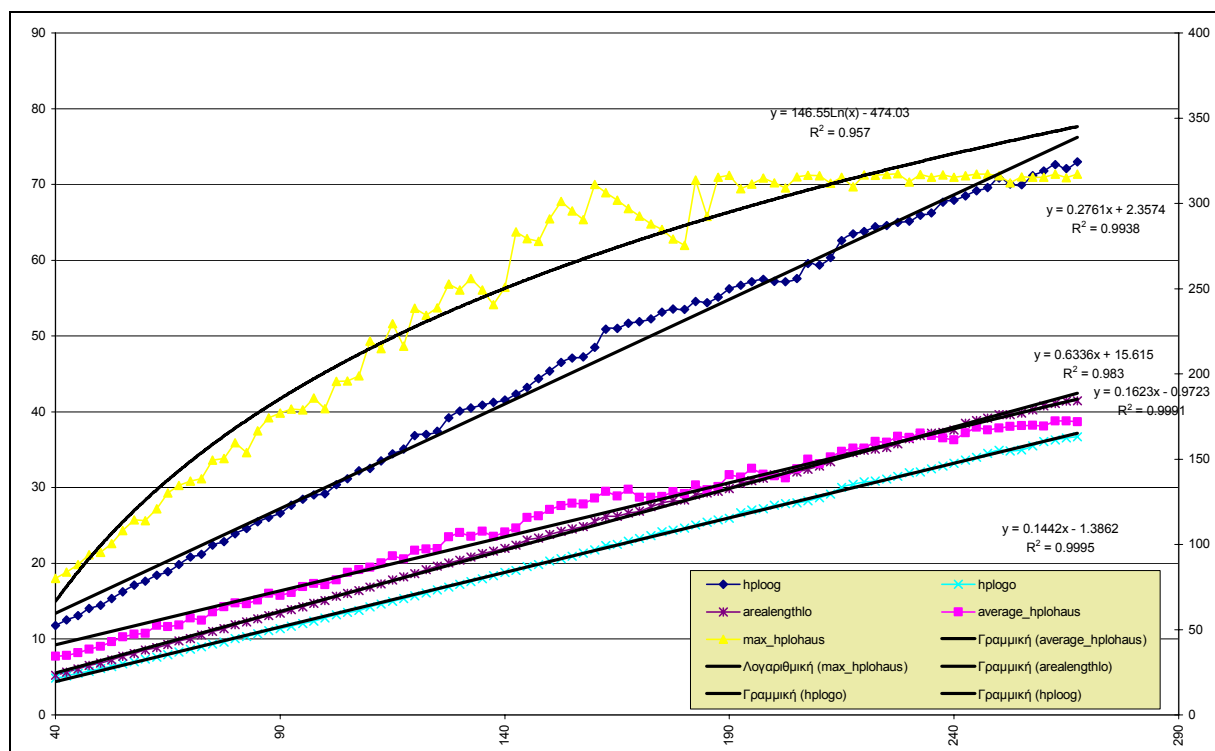
Απ' τον ακόλουθο πίνακα (6-4) διαφαίνεται η μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές.

	Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή	Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή	Επιφανειακή μετάθεση	Μέση απόσταση Hausdorff	Μέγιστη απόσταση Hausdorff
Ελάχιστη τιμή	0.00	0.13	0.00	0.46	0.51
Μέγιστη τιμή	53.58	26.32	53.76	190.66	317.60
Μέση τιμή	34.59	15.64	28.30	130.68	289.30
Τυπική απόκλιση	16.45	7.75	17.08	50.79	67.28

Πίνακας 6-4: Αλγόριθμος Latecki Lakamper: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

### 6.2.5 Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Li& Openshaw

Ομοίως με τις προηγούμενες παραγράφους, παρουσιάζονται τα διαγράμματα και οι γραμμές τάσεις τους που απεικονίζουν τη μεταβολή των μέτρων ποσοτικοποίησης της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης του συνόλου των γραμμών μέσω του αλγορίθμου Li& Openshaw.



Διάγραμμα 6-5: Αλγόριθμος Li& Openshaw: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

Όλα τα μέτρα της απόκλισης ακολουθούν το γραμμικό μοντέλο εκτός από την μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff. Οι τιμές των μεγεθών της απόστασης Hausdorff είναι πολύ μεγαλύτερες από τις τιμές των υπόλοιπων μεγεθών. Παρουσιάζεται σαφής διαχωρισμός των τιμών της ευκλείδειας απόστασης της αρχικής προς την γενικευμένη γραμμή και αντίστροφα και της επιφανειακής μετάθεσης.

Όλα τα μέτρα της απόκλισης είναι μικρότερα από τις τιμές ανοχής. Η ελάχιστη τιμή παρουσιάζεται στο μέτρο της ευκλείδειας απόστασης της αρχικής προς τη γενικευμένη γραμμή και η μέγιστη τιμή στη μέγιστη απόσταση Hausdorff.

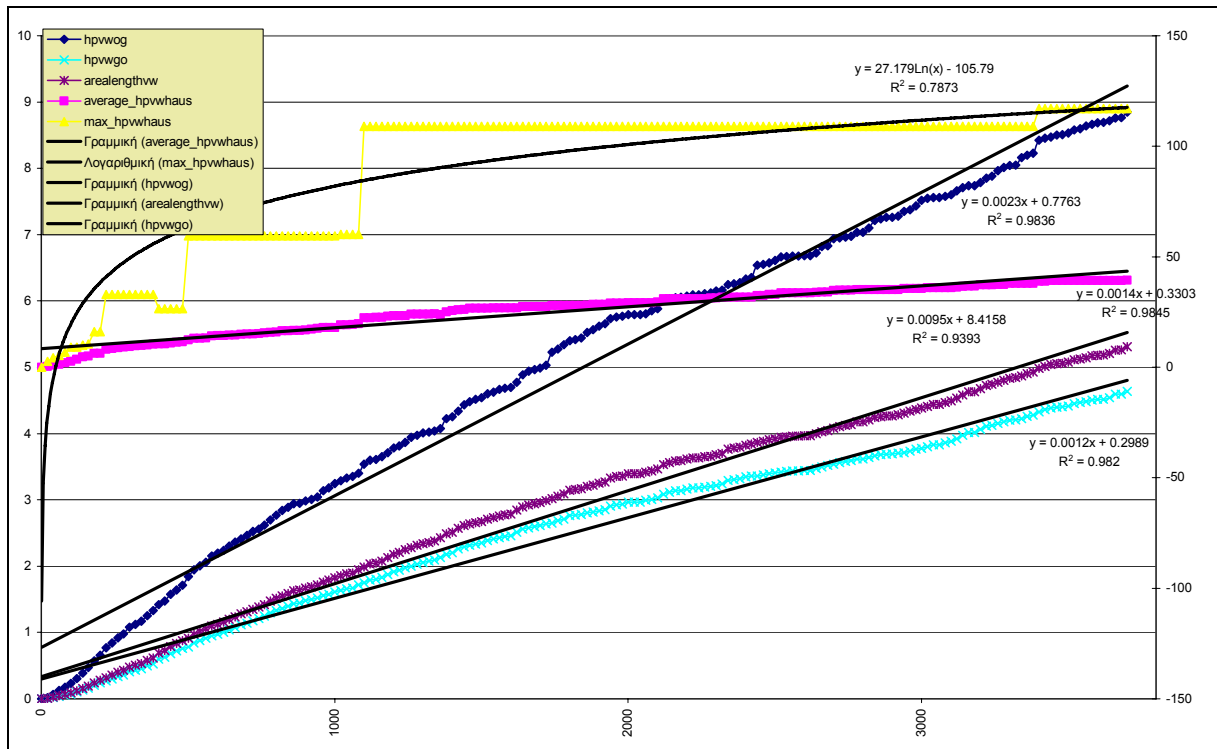
	Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή	Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή	Επιφανειακή μετάθεση	Μέση απόσταση Hausdorff	Μέγιστη απόσταση Hausdorff
<b>Ελάχιστη τιμή</b>	11.80	4.86	5.24	34.23	80.06
<b>Μέγιστη τιμή</b>	72.96	36.72	41.43	172.34	317.33
<b>Μέση τιμή</b>	44.81	20.78	23.98	113.03	247.02
<b>Τυπική απόκλιση</b>	18.49	9.63	10.84	42.66	77.04

Πίνακας 6-5: Αλγόριθμος Li & Openshaw: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

#### 6.2.6 Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Visvaligam & Whyatt

Ακολούθως, παρουσιάζονται τα μέτρα υπολογισμού της οριζοντιογραφικής θέσης των γραμμών μέσω του αλγορίθμου Visvaligam & Whyatt καθώς και οι γραμμές τάσης που προσαρμόζονται σε αυτά.





Διάγραμμα 6-6: Αλγόριθμος Visvaligam & Whyatt: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

Η μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff παρουσιάζει κατώφλια τιμών. Η μέση τιμή της ακολουθεί το γραμμικό μοντέλο και είναι πολύ μεγαλύτερες των τιμών της Ευκλείδειας απόστασης και του εμβαδού ανά μονάδα μήκους που ακολουθούν επίσης το γραμμικό μοντέλο. Η απόσταση της γενικευμένης γραμμής ως προς την αρχική είναι μεγαλύτερη από την απόσταση της αρχικής ως προς τη γενικευμένη ενώ το μέτρο της επιφανειακής μετάθεσης παρουσιάζει πλησιάζει τις τιμές της ευκλείδειας απόστασης της απόστασης της αρχικής ως προς τη γενικευμένη γραμμή. Είναι αναμενόμενο το μέτρο της επιφανειακής μετάθεσης να παρουσιάζει μικρές τιμές καθώς η παράμετρος της ανοχής στην οποία βασίζεται ο αλγόριθμος είναι η επιφανειακή μετάθεση και έτσι επιδιώκεται η ελαχιστοποίησή του κατά την δημιουργία της γενικευμένης γραμμής.

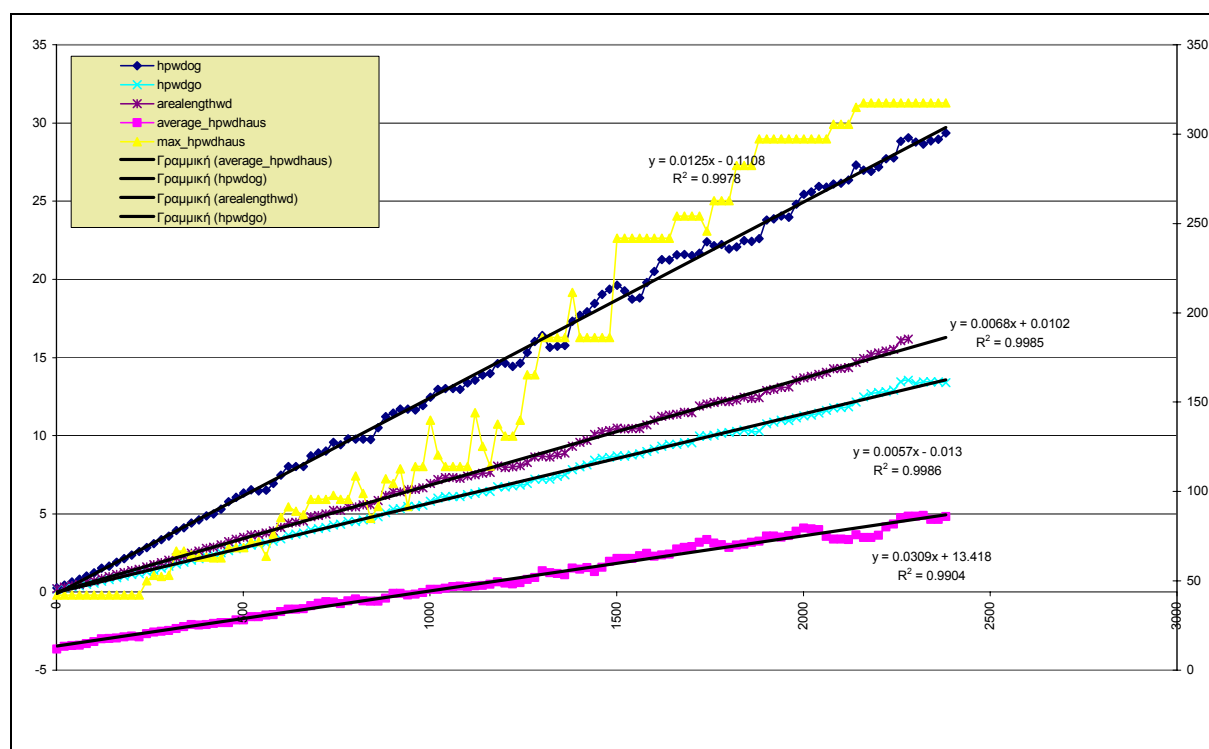
	Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή	Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή	Επιφανειακή μετάθεση	Μέση απόσταση Hausdorff	Μέγιστη απόσταση Hausdorff
Ελάχιστη τιμή	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Μέγιστη τιμή	8.85	4.64	5.31	39.40	117.05
Μέση τιμή	5.01	2.55	2.93	25.95	89.84
Τυπική απόκλιση	2.48	1.32	1.52	10.53	33.23

Πίνακας 6-6: Αλγόριθμος Visvaligam & Whyatt: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

Τα μέτρα απόκλισης παρουσιάζουν στο σύνολό τους τιμές μικρότερες της παραμέτρου ανοχής. Τη μέγιστη μέση τιμή παρουσιάζει η μέγιστη απόσταση Hausdorff.

#### 6.2.7 Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Wall Danielson

Ομοίως, παρουσιάζεται το ακόλουθο διάγραμμα (6-7) για τον αλγόριθμο Wall Danielson.



Διάγραμμα 6-7: Αλγόριθμος Wall Danielson: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

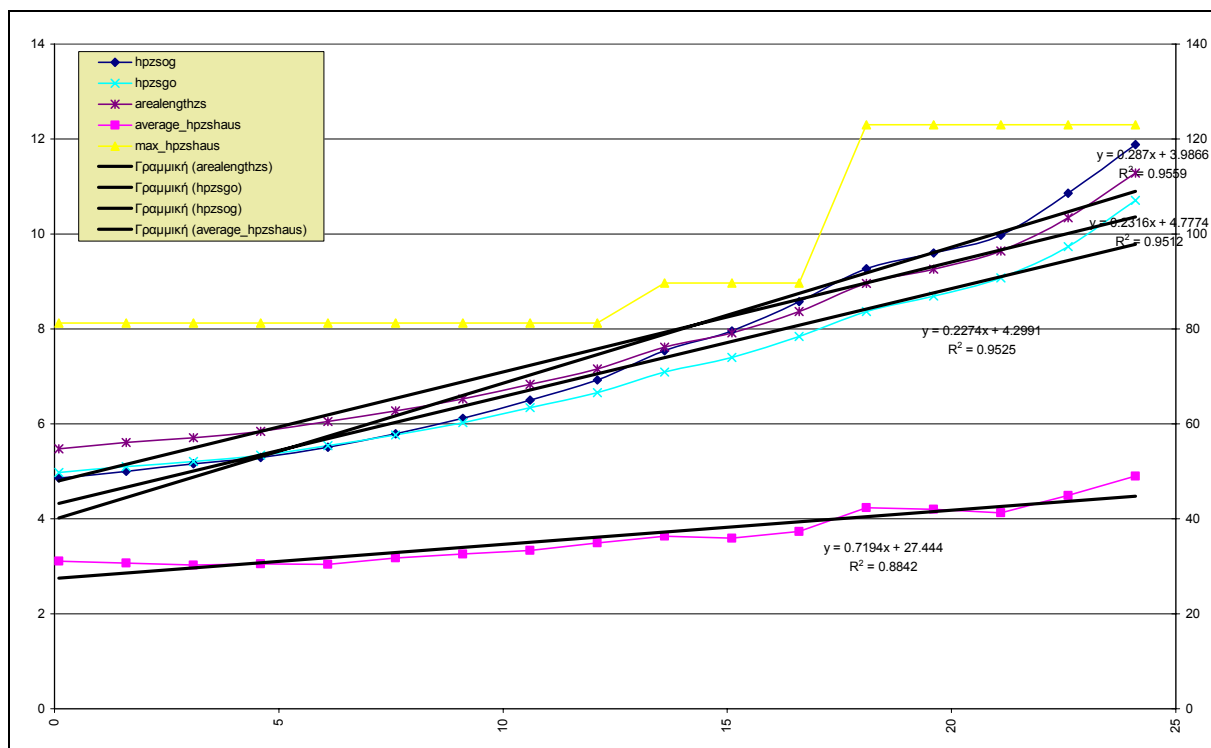
Η μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff ακολουθεί το γραμμικό μοντέλο και χωρίζεται σε δυο υποκατηγορίες καθώς για τιμές ανοχής μεγαλύτερες από 2000 οι τιμές της παραμένουν σταθερές. Η μέση τιμή της ακολουθεί το γραμμικό μοντέλο και είναι πολύ μεγαλύτερες των τιμών της Ευκλείδειας απόστασης και του εμβαδού ανά μονάδα μήκους που ακολουθούν το γραμμικό μοντέλο. Η απόσταση της γενικευμένης γραμμής ως προς την αρχική είναι μεγαλύτερη από την απόσταση της αρχικής ως προς τη γενικευμένη ενώ το μέτρο της επιφανειακής μετάθεσης παρουσιάζει τιμές οι οποίες για μικρές τιμές της ανοχής πλησιάζουν περισσότερο την ευκλείδεια απόσταση της αρχικής ως προς τη γενικευμένη ενώ για ανοχή μεγαλύτερη των 16000 πλησιάζει την ευκλείδεια απόσταση της γενικευμένης γραμμής ως προς την αρχική.

	<b>Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή</b>	<b>Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή</b>	<b>Επιφανειακή μετάθεση</b>	<b>Μέση απόσταση Hausdorff</b>	<b>Μέγιστη απόσταση Hausdorff</b>
<b>Ελάχιστη τιμή</b>	0.26	0.18	0.22	11.73	42.11
<b>Μέγιστη τιμή</b>	29.37	13.53	16.17	86.63	317.36
<b>Μέση τιμή</b>	14.81	6.78	8.14	50.25	169.28
<b>Τυπική απόκλιση</b>	8.72	3.97	4.75	21.62	99.36

Πίνακας 6-7: Αλγόριθμος Wall Danielson: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

### 6.2.8 Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Zhao & Saalfeld

Τα μέτρα μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης μέσω του αλγορίθμου Zhao & Saalfeld παρουσιάζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί. Σε αυτά έχουν προσαρμοστεί οι κατάλληλες γραμμές τάσης.



Διάγραμμα 6-8: Αλγόριθμος Zhao & Saaleid: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

Όλα τα μέτρα υπολογισμού της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης ακολουθούν το γραμμικό μοντέλο εκτός της μέγιστης απόστασης Hausdorff οι οποία παρουσιάζει κατώφλια τιμών. Η μέση τιμή της απόστασης Hausdorff ακολουθεί το γραμμικό μοντέλο και είναι πολύ μεγαλύτερες των τιμών της Ευκλείδειας απόστασης και του εμβαδού ανά μονάδα μήκους. Η απόσταση της γενικευμένης γραμμής ως προς την αρχική είναι περίπου ίση με την απόσταση της αρχικής ως προς τη γενικευμένη για τιμές ανοχής μικρότερες του 10.

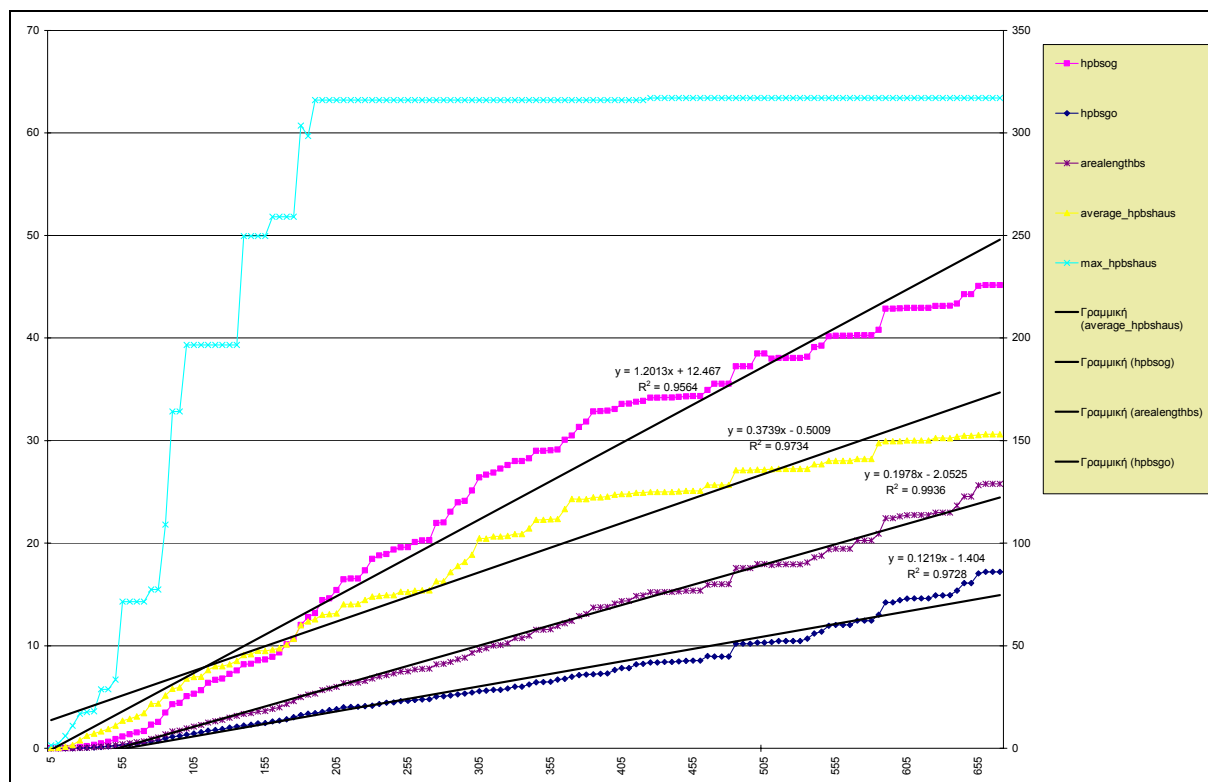
	Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή	Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή	Επιφανειακή μετάθεση	Μέση απόσταση Hausdorff	Μέγιστη απόσταση Hausdorff
<b>Ελάχιστη τιμή</b>	4.86	4.97	5.48	30.23	81.24
<b>Μέγιστη τιμή</b>	11.88	10.71	11.28	48.97	123.02
<b>Μέση τιμή</b>	7.46	7.05	7.58	36.15	95.01
<b>Τυπική απόκλιση</b>	2.22	1.77	1.80	5.80	18.90

Πίνακας 6-8: Αλγόριθμος Zhao & Saaleid: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

Παρατηρείται πως τα μέτρα της απόκλισης εκτός της μέγιστης και της μέσης απόστασης Hausdorff παρουσιάζουν τιμές μικρότερες της τιμής της παραμέτρου ανοχής.

### 6.2.9 Απλοποίηση με τον αλγόριθμο Bend Simplify

Όμοια παρουσιάζονται με μορφή διαγράμματος με προσαρμοσμένες γραμμές τάσης τα μέτρα υπολογισμού της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης μέσω του αλγορίθμου Bend Simplify.



Διάγραμμα 6-9: Αλγόριθμος Bend simplify: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

Η μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff ακολουθεί το γραμμικό μοντέλο και χωρίζεται σε δυο υποκατηγορίες καθώς για τιμές ανοχής μεγαλύτερες από 150 οι τιμές της παραμένουν σταθερές ενώ για μικρότερες τιμές παίρνει διάφορα κατώφλια τιμών. Η μέση τιμή της ακολουθεί επίσης το γραμμικό μοντέλο και παίρνει τιμές μεγαλύτερες των τιμών της Ευκλείδειας απόστασης της γενικευμένη προς την αρχική γραμμή για τιμές ανοχής μικρότερες του 155 ενώ για μεγαλύτερες τιμές ανοχής παρουσιάζει τιμές μικρότερες από την Ευκλείδεια απόσταση. Η απόσταση της γενικευμένης γραμμής ως προς την αρχική ακολουθεί το γραμμικό μοντέλο και είναι μεγαλύτερη από την απόσταση της αρχικής ως προς τη γενικευμένη. Το μέτρο της επιφανειακής μετάθεσης παρουσιάζει τιμές ενδιάμεσες από τα δυο μέτρα της ευκλείδειας απόστασης και ακολουθεί το γραμμικό μοντέλο.

	Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή	Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή	Επιφανειακή μετάθεση	Μέση απόσταση Hausdorff	Μέγιστη απόσταση Hausdorff
Ελάχιστη τιμή	0.00	0.00	0.00	0.07	1.39
Μέγιστη τιμή	45.15	17.21	25.78	153.16	317.09
Μέση τιμή	24.74	6.82	11.30	93.55	268.37
Τυπική απόκλιση	14.72	4.80	7.70	47.69	94.25

Πίνακας 6-10: Αλγόριθμος Bend simplify: Μεταβολή οριζοντιογραφικής θέσης

Η μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff παρουσιάζει μεγαλύτερη απόκλιση από την ανοχή για τιμές ανοχής μικρότερες του 300, ενώ για μεγαλύτερες τιμές ανοχής η απόκλιση είναι μικρότερη από την ανοχή. Όλα τα υπόλοιπα μέτρα απόκλισης παρουσιάζουν τιμές μικρότερες της παραμέτρου ανοχής.

### 6.3 Σύγκριση της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης που προκαλείται μεταξύ των αλγορίθμων απλοποίησης σε ενιαία κλίμακα ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνολικά για όλους τους αλγορίθμους τα συνοπτικά στοιχεία για κάθε μέτρο υπολογισμού της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης προκειμένου να είναι άμεσα συγκρίσιμα. Στα δεδομένα αυτά η κλίμακα τόσο των αρχικών όσο και των τελικών γραμμικών τμημάτων διατηρείται ενιαία 1:40.000)

Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	0.00	0.00	0.00	11.80	0.00	4.86	0.13	0.00	0.26
Μέγιστη τιμή	10.10	45.15	16.73	72.96	8.85	11.88	5.53	53.58	29.37
Μέση τιμή	4.36	24.74	8.36	44.81	5.01	7.46	2.42	34.59	14.81
Τυπική απόκλιση	3.31	14.72	5.28	18.49	2.48	2.22	1.69	16.45	8.72
Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	0.00	0.00	0.02	34.23	0.00	30.23	0.09	0.46	11.73
Μέγιστη τιμή	52.06	17.21	60.76	172.34	39.40	48.97	21.83	190.66	86.63
Μέση τιμή	28.48	6.82	33.76	113.03	25.95	36.15	10.97	130.68	50.25
Τυπική απόκλιση	16.76	4.80	16.50	42.66	10.53	5.80	6.50	50.79	21.62
Επιφανειακή μετάθεση									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	0.03	0.07	0.92	80.06	0.00	81.24	0.24	0.51	42.11
Μέγιστη τιμή	117.05	153.16	149.72	317.33	117.05	123.02	23.03	317.60	317.36
Μέση τιμή	75.36	93.55	82.01	247.02	89.84	95.01	11.74	289.30	169.28
Τυπική απόκλιση	39.77	47.69	40.53	77.04	33.23	18.90	6.73	67.28	99.36
Μέση απόσταση Hausdorff									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	0.13	1.39	0.00	4.86	0.00	4.97	0.13	0.13	0.18
Μέγιστη τιμή	9.70	317.09	9.19	36.72	4.64	10.71	5.53	26.32	13.53
Μέση τιμή	4.26	268.37	4.20	20.78	2.55	7.05	2.42	15.64	6.78
Τυπική απόκλιση	3.11	94.25	2.78	9.63	1.32	1.77	1.69	7.75	3.97
Μέγιστη απόσταση Hausdorff									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	0.00	0.00	0.00	5.24	0.00	5.48	0.00	0.00	0.22
Μέγιστη τιμή	10.10	25.78	10.91	41.43	5.31	11.28	5.70	53.76	16.17
Μέση τιμή	4.36	11.30	5.13	23.98	2.93	7.58	2.49	28.30	8.14
Τυπική απόκλιση	3.31	7.70	3.35	10.84	1.52	1.80	1.78	17.08	4.75

Πίνακας 6-11: Συνοπτική παρουσίαση των μεταβολών της οριζοντιογραφικής θέσης για όλους τους αλγόριθμους ανά μέτρο υπολογισμού της μεταβολής

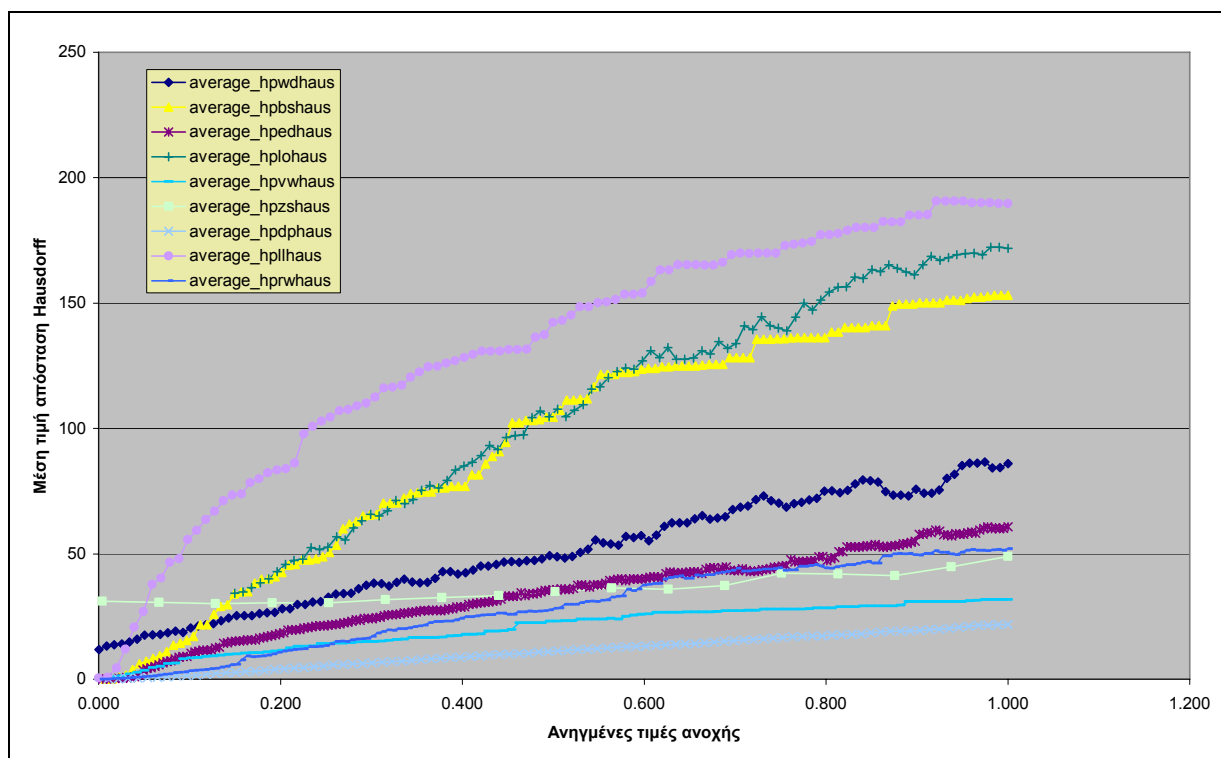
Συγκρίνοντας τα στοιχεία του ανωτέρω συνοπτικού πίνακα (6-11) των μέτρων απόκλισης που προκαλείται μέσω των διαφόρων αλγορίθμων απλοποίησης που εφαρμόστηκαν προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Οι αλγόριθμοι Douglas Peucker και Visvaligam Whyatt παρουσιάζουν τη μικρότερη επιφανειακή μετάθεση.
- Οι μη περιορισμένοι αλγόριθμοι Latecki Lakamper και Li & Openshaw παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μέση τιμή όλων των μεγεθών υπολογισμού της απόκλισης.

- Οι αλγόριθμοι Visvaligam Whyatt και Douglas Peucker παρουσιάζουν τη μικρότερη μέγιστη τιμή της μέγιστης απόστασης Hausdorff.
- Ο αλγόριθμος Douglas Peucker παρουσιάζει τη μικρότερη μέση τιμή όλων των μεγεθών υπολογισμού της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης

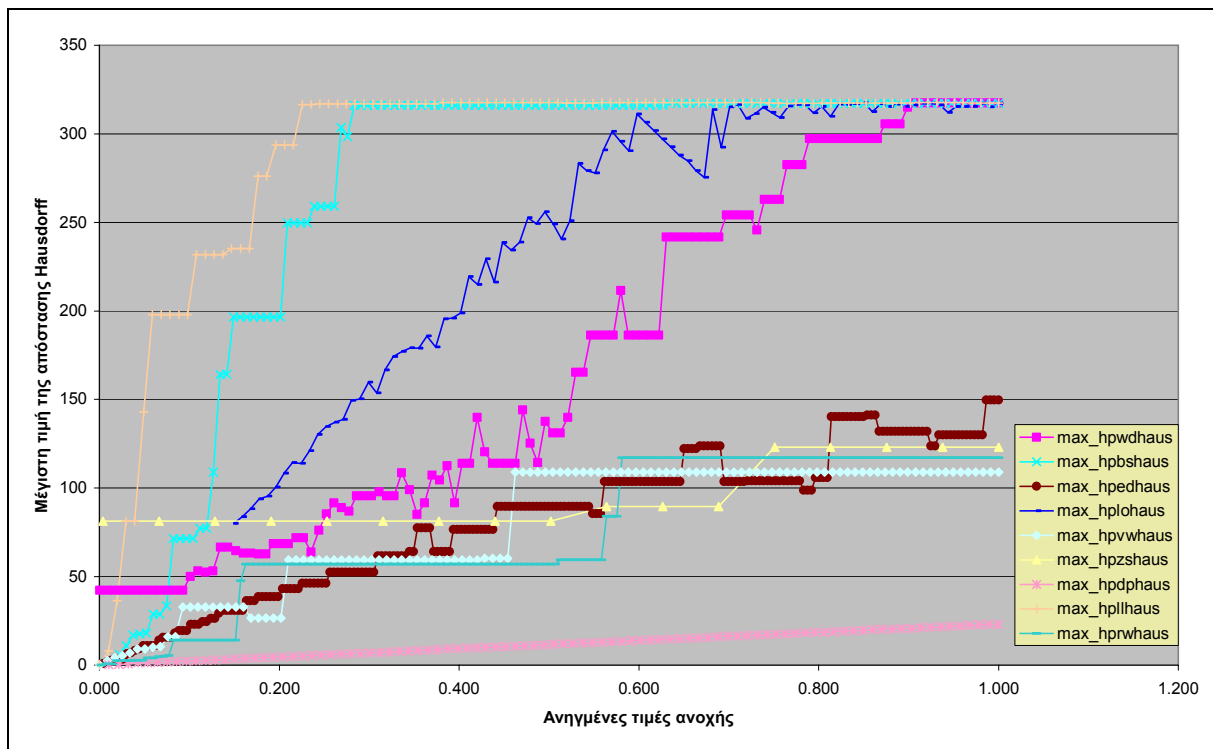
Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τιμές της οριζοντιογραφικής μετάθεσης για όλους τους αλγορίθμους ανά μέτρο υπολογισμού της οριζοντιογραφικής μετάθεσης για τις ανηγμένες τιμές ανοχής στο διάστημα [0.1, 1].

Από το ακόλουθο διάγραμμα (6-10) προκύπτει πως ο αλγόριθμος Latecki Lakamper παρουσιάζει τη μέγιστη μετάθεση όπως υπολογίζεται μέσω της μέγιστης τιμής της απόστασης Hausdorff ενώ ο αλγόριθμος Douglas Peucker παρουσιάζει τη μικρότερη μετάθεση όπως υπολογίζεται μέσω της μέσης τιμής της απόστασης Hausdorff.



Διάγραμμα 6-10: Μέση απόσταση Hausdorff ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για ενιαία κλίμακα

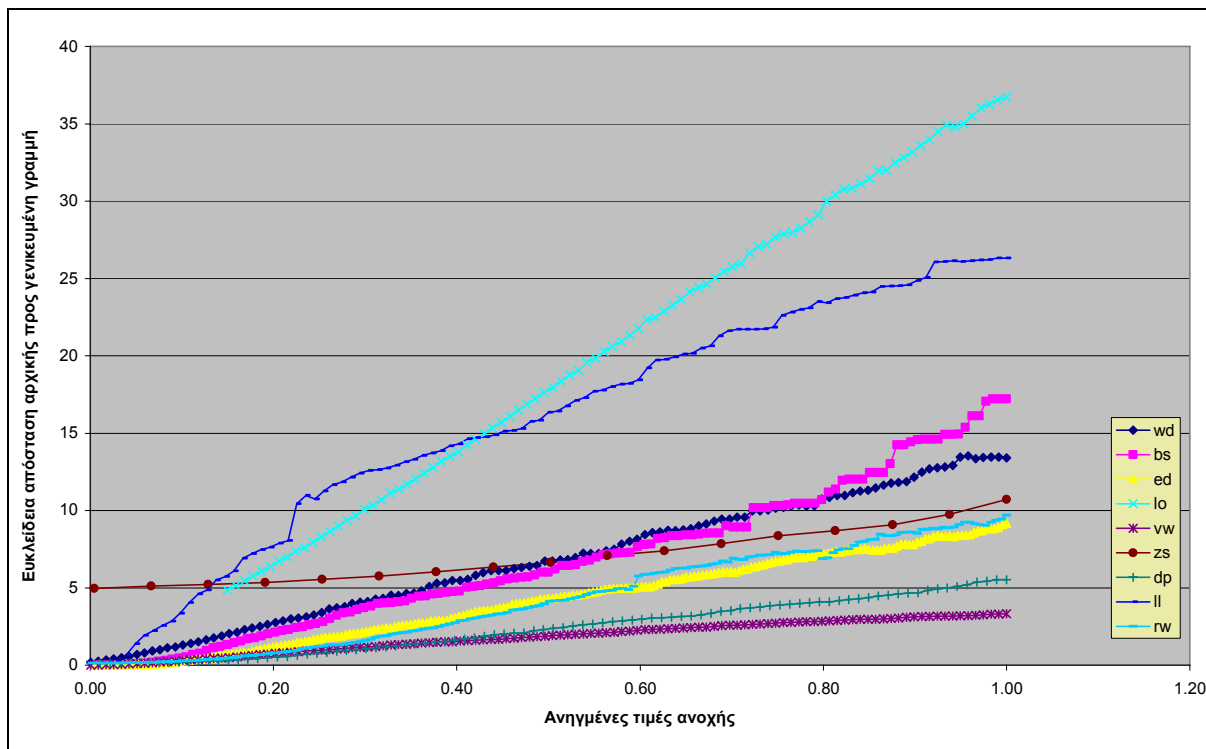




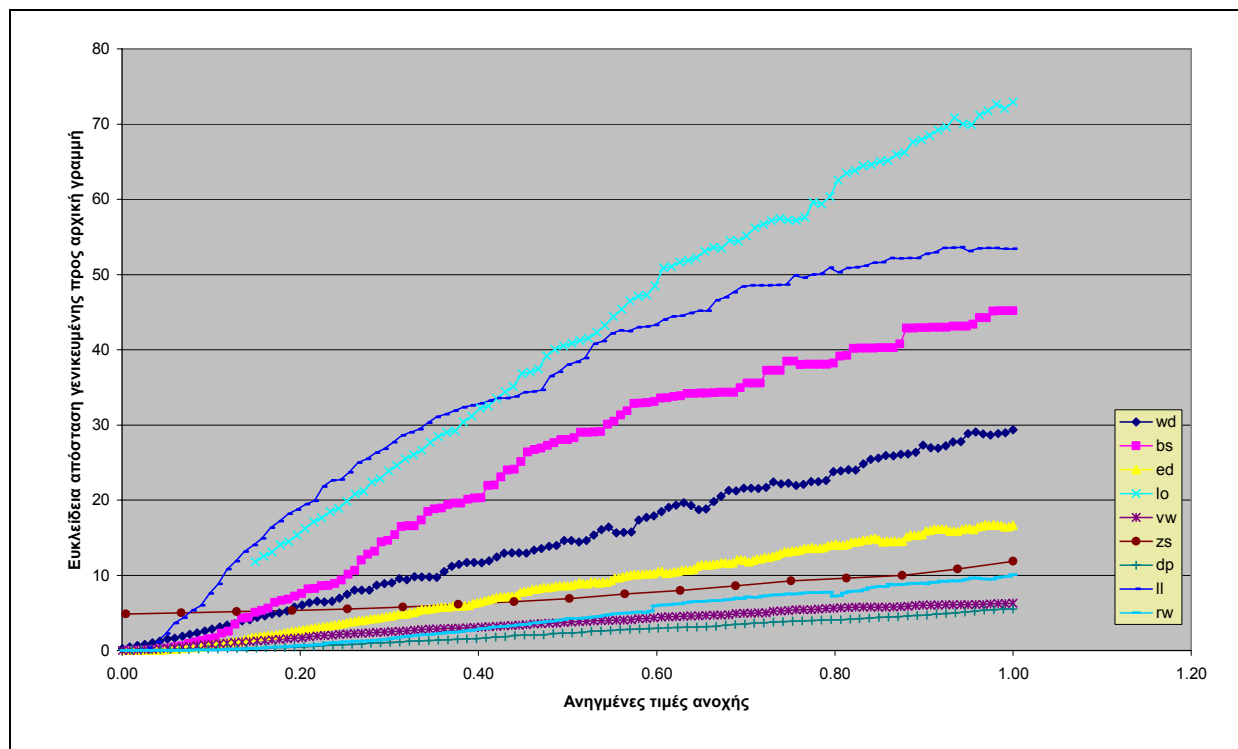
Διάγραμμα 6-11: Μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για ενιαία κλίμακα

Η κατάταξη των αλγορίθμων, από τον αλγόριθμο που προκαλεί τη μικρότερη μεταβολή προς αυτόν που προκαλεί τη μέγιστη, όπως προκύπτει από το ανωτέρω διάγραμμα βάσει της μέσης τιμής της απόστασης Hausdorff από τον αλγόριθμο που προκαλεί τη μικρότερη μεταβολή είναι η εξής: Douglas Peucker, Visvalingam Whyatt, Rewmann Witkam, Zhao Saalfeld, Euclidean distance, Wall Danielson, Bend simplify, Li Openshaw, Latecki Lakamper. Μέσω του διαγράμματος μέγιστης τιμής της απόστασης Hausdorff παρατηρείται πως η μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης που προκαλείται μέσω των αλγορίθμων Visvalingam Whyatt, Rewmann Witkam, Shao Saalfeld, Euclidean distance καθώς και μέσω των Bend simplify και Latecki Lakamper παίρνει παρόμοιες τιμές.

Από τα ακόλουθα διαγράμματα παρατηρείται πως οι αλγόριθμοι LI & Openshaw και Latecki Lakamper παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης μέσω υπολογισμού με τα μέτρα της ευκλείδειας απόστασης ενώ τη μικρότερη παρουσιάζει ο αλγόριθμος Visvalingam Whyatt και ο Douglas Peucker.



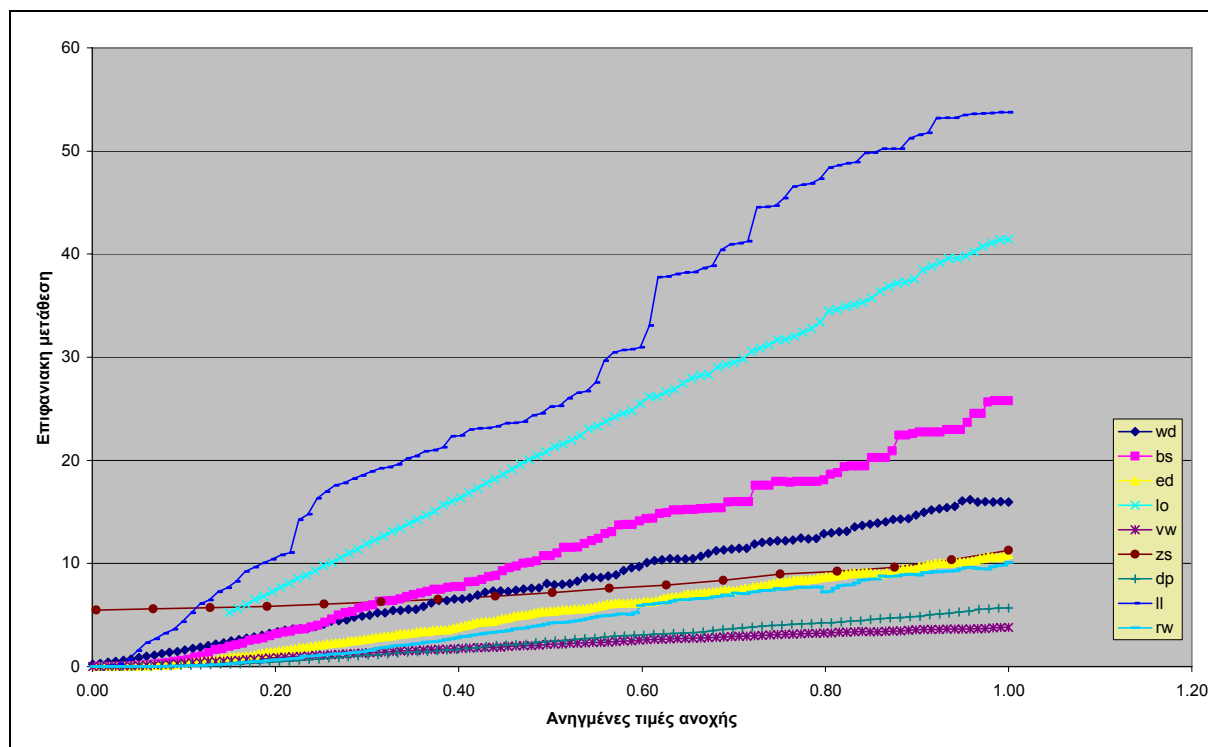
Διάγραμμα 6-12: Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για ενιαία κλίμακα



Διάγραμμα 6-13: Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για ενιαία κλίμακα

Από το ακόλουθο διάγραμμα (6-14) απορρέει το συμπέρασμα πως ο αλγόριθμος Latecki Lakarper παρουσιάζει τη μέγιστη επιφανειακή μετάθεση. Την μικρότερη επιφανειακή

μεταβολή για όλες τις τιμές της ανοιγμένης ανοχής παρουσιάζουν οι αλγόριθμοι Visvaligam Whyatt και Douglas Peucker.



Διάγραμμα 6-14: Επιφανειακή μετάθεση για όλους τους αλγόριθμους ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για ενιαία κλίμακα

6.4 Σύγκριση της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης που προκαλείται μεταξύ των αλγορίθμων απλοποίησης στην κλίμακα 1:100.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνολικά για όλους τους αλγόριθμους τα συνοπτικά στοιχεία για κάθε μέτρο υπολογισμού της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης. Στα δεδομένα αυτά η κλίμακα τόσο των αρχικών γραμμών διατηρείται ως έχει (1:40.000) και των τελικών γραμμικών τμημάτων είναι 1:100.000.

Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	1.76	1.76	1.76	10.21	1.77	6.27	1.77	1.77	1.98
Μέγιστη τιμή	12.39	36.71	14.67	62.13	8.07	12.50	7.16	42.38	22.60
Μέση τιμή	6.25	19.91	7.85	37.91	5.22	8.46	4.10	27.55	11.87
Τυπική απόκλιση	3.42	11.56	4.13	15.81	1.83	1.95	1.70	12.35	6.31
Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	0.00	0.00	0.00	5.49	0.14	5.43	0.14	0.14	0.21
Μέγιστη τιμή	9.95	20.41	10.28	39.10	5.10	11.21	5.69	31.14	15.24
Μέση τιμή	4.39	8.68	4.86	22.85	2.86	7.54	2.54	18.57	7.73
Τυπική απόκλιση	3.22	5.92	3.16	10.17	1.42	1.79	1.74	9.30	4.46
Επιφανειακή μετάθεση									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	0.38	0.38	0.38	5.86	0.46	5.05	0.46	0.23	0.58
Μέγιστη τιμή	10.33	25.80	10.98	41.58	5.44	11.11	5.88	53.62	16.24
Μέση τιμή	4.71	11.38	5.29	24.26	3.15	7.27	2.78	28.24	8.30
Τυπική απόκλιση	3.22	7.63	3.27	10.72	1.45	1.90	1.70	16.99	4.68
Μέση απόσταση Hausdorff									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	9.17	9.17	9.18	36.19	9.17	30.45	9.18	9.18	13.68
Μέγιστη τιμή	53.44	153.08	61.15	172.94	40.46	49.36	22.48	190.40	86.79
Μέση τιμή	30.66	94.25	34.71	113.94	27.23	36.46	14.18	131.02	50.63
Τυπική απόκλιση	15.16	46.84	15.31	42.21	9.66	5.84	4.06	49.90	21.43
Μέγιστη απόσταση Hausdorff									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	23.30	22.63	22.64	90.34	23.44	80.89	23.12	24.06	42.11
Μέγιστη τιμή	132.71	317.09	149.72	317.14	123.99	123.00	34.00	317.51	317.36
Μέση τιμή	82.41	269.42	84.26	253.17	96.01	94.83	25.22	289.29	170.08
Τυπική απόκλιση	40.53	91.94	37.21	71.88	33.14	18.94	2.72	65.51	98.75

Πίνακας 6-12: Συνοπτική παρουσίαση των μεταβολών της οριζοντιογραφικής θέσης για όλους τους αλγορίθμους ανά μέτρο υπολογισμού της μεταβολής για την κλίμακα 1:100.000

Από τα στοιχεία του ανωτέρω συνοπτικού πίνακα (6-12) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

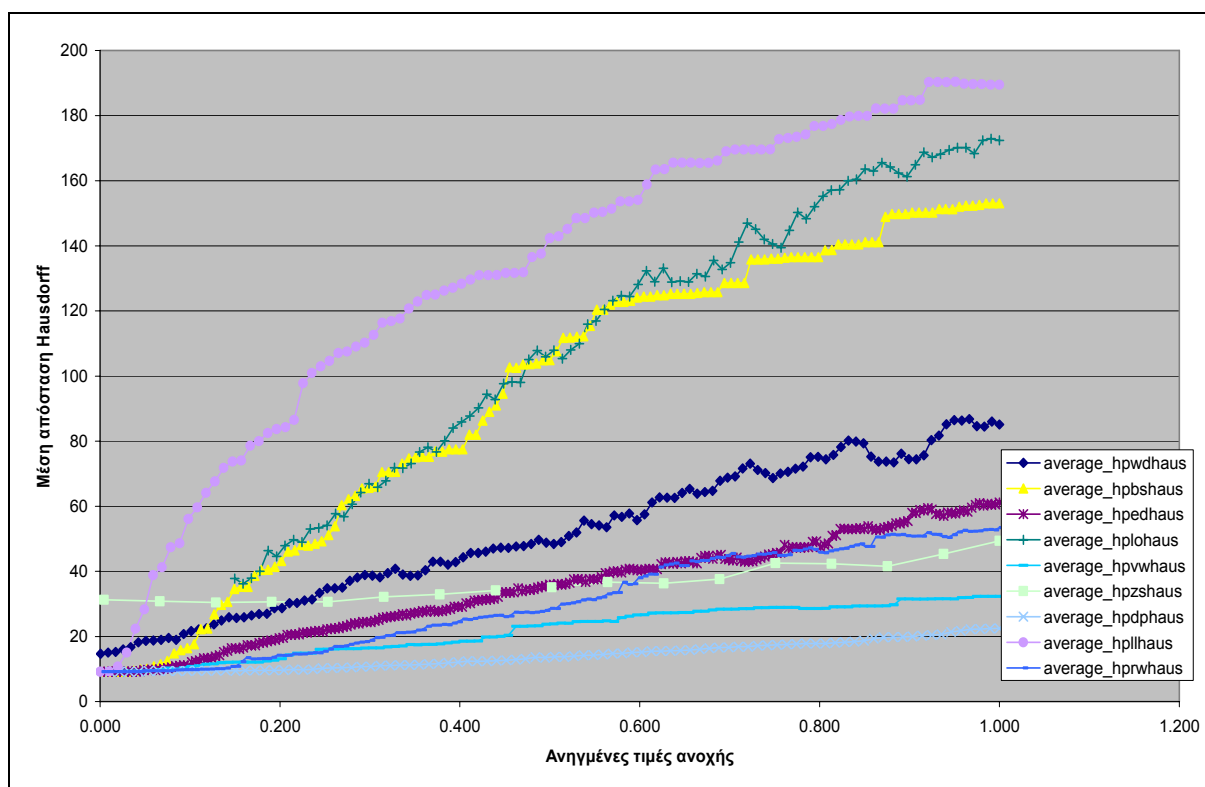
- Οι αλγόριθμοι Douglas Peucker και Visvaligam Whyatt παρουσιάζουν τη μικρότερη επιφανειακή μετάθεση.
- Ο αλγόριθμος Visvaligam Whyatt παρουσιάζει μετά τον Douglas Peucker τη δεύτερη μικρότερη μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης βάσει των μέσων τιμών της

ευκλείδειας απόστασης, της επιφανειακής μετάθεσης και της μέσης απόστασης Hausdorff.

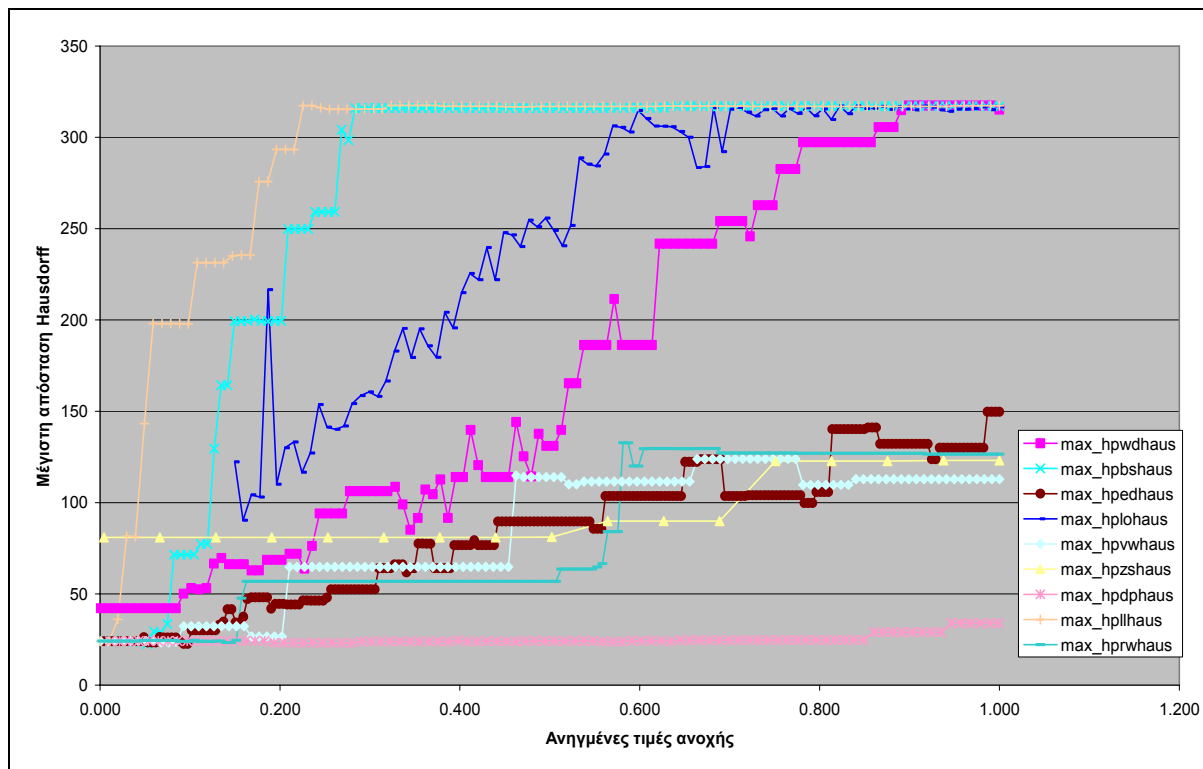
- Ο αλγόριθμος Douglas Peucker παρουσιάζει τη μικρότερη μέση τιμή και οι αλγόριθμοι Latecki Lakamer και Li & Openshaw τις μέγιστες τιμές όλων των μεγεθών υπολογισμού της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης

Τα συμπεράσματα που απορρέουν από τον ανωτέρω πίνακα επιβεβαιώνονται και από τα ακόλουθα διαγράμματα.

Από το ακόλουθο διάγραμμα (6-15) προκύπτει πως ο αλγόριθμος Latecki Lakamer παρουσιάζει τη μέγιστη μετάθεση όπως υπολογίζεται μέσω της μέγιστης τιμής της απόστασης Hausdorff ενώ ο αλγόριθμος Douglas Peucker παρουσιάζει τη μικρότερη μετάθεση όπως υπολογίζεται μέσω της μέσης τιμής της απόστασης Hausdorff.



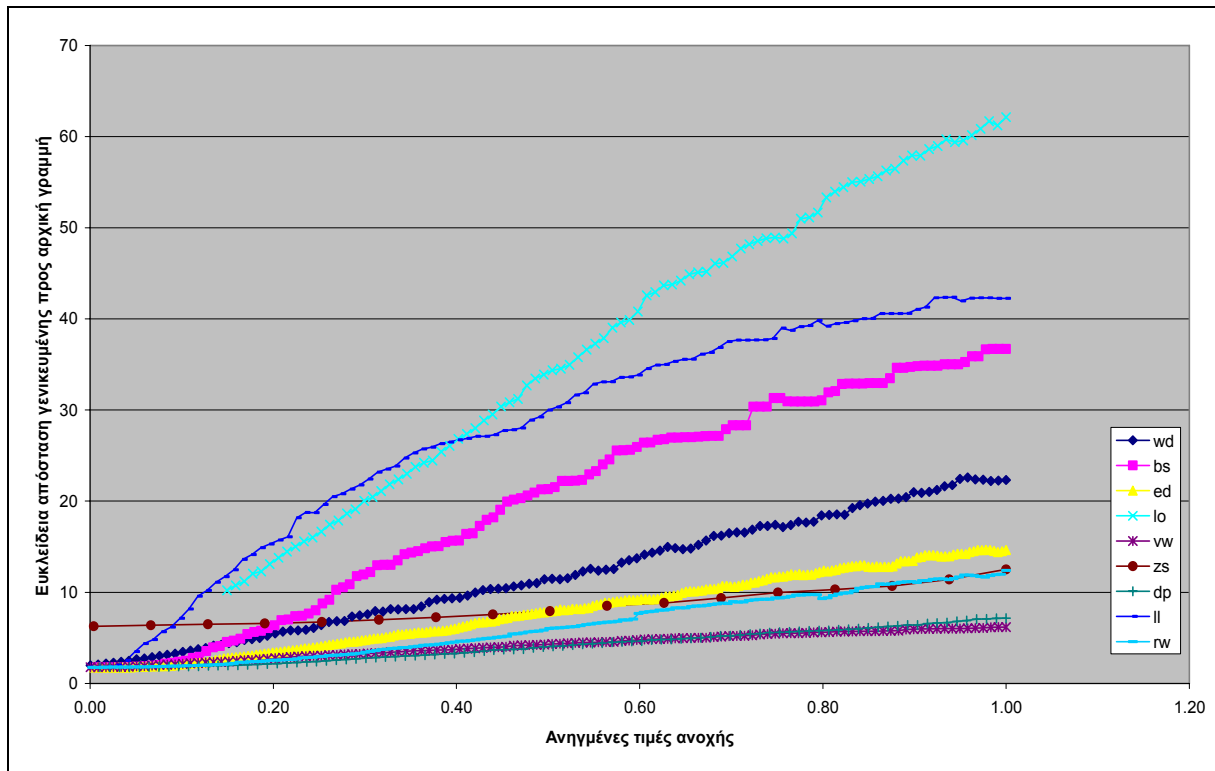
Διάγραμμα 6-15: Μέση απόσταση Hausdorff ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:100.000



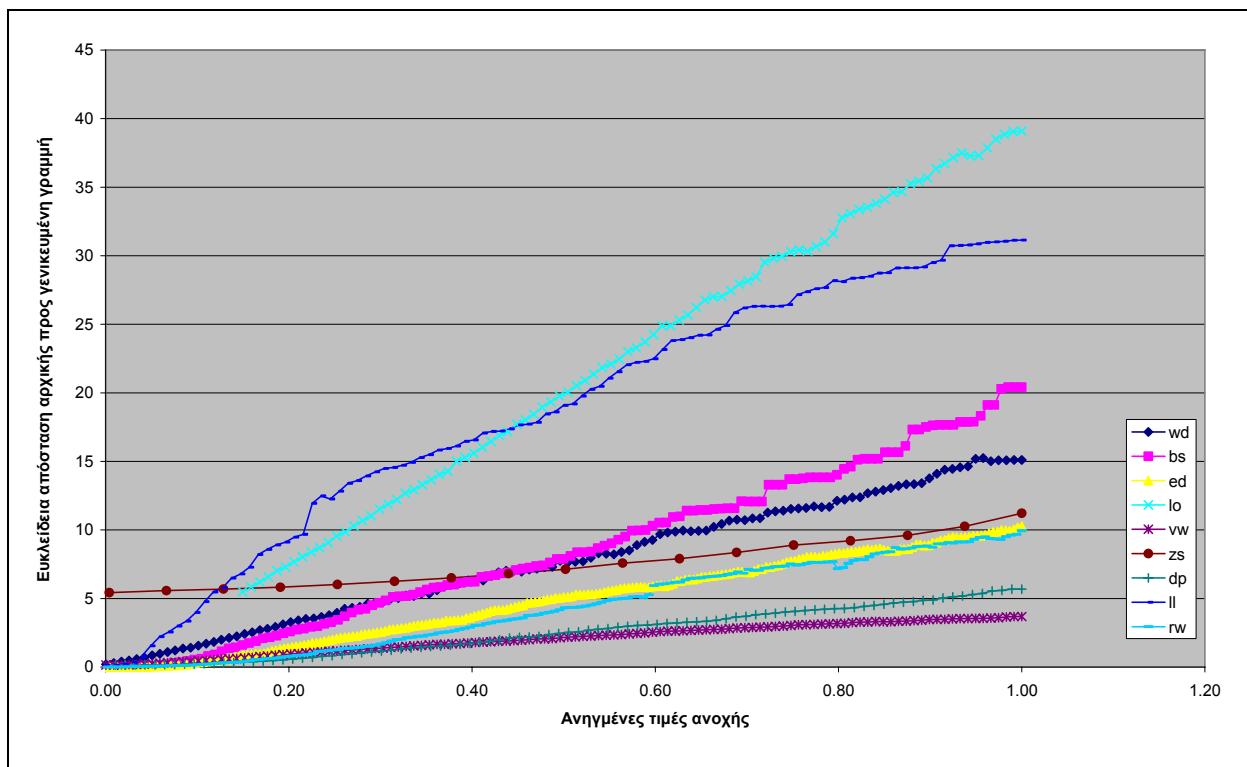
Διάγραμμα 6-16: Μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:100.000

Η κατάταξη των αλγορίθμων, από τον αλγόριθμο που προκαλεί τη μικρότερη μεταβολή προς αυτόν που προκαλεί τη μέγιστη, όπως προκύπτει από το ανωτέρω διάγραμμα βάσει της μέσης τιμής της απόστασης Hausdorff από τον αλγόριθμο που προκαλεί τη μικρότερη μεταβολή είναι η εξής: Douglas Peucker, Visvalingam Whyatt, Rewmann Witkam, Zhao Saalfeld, Euclidean distance, Wall Danielson, Bend simplify, Li Openshaw, Latecki Lakamper. Πρέπει να σημειωθεί πως αυτή η κατάταξη είναι ακριβώς η ίδια με αυτή που πραγματοποιήθηκε βάσει του διαγράμματος 6-10 για ενιαία κλίμακα

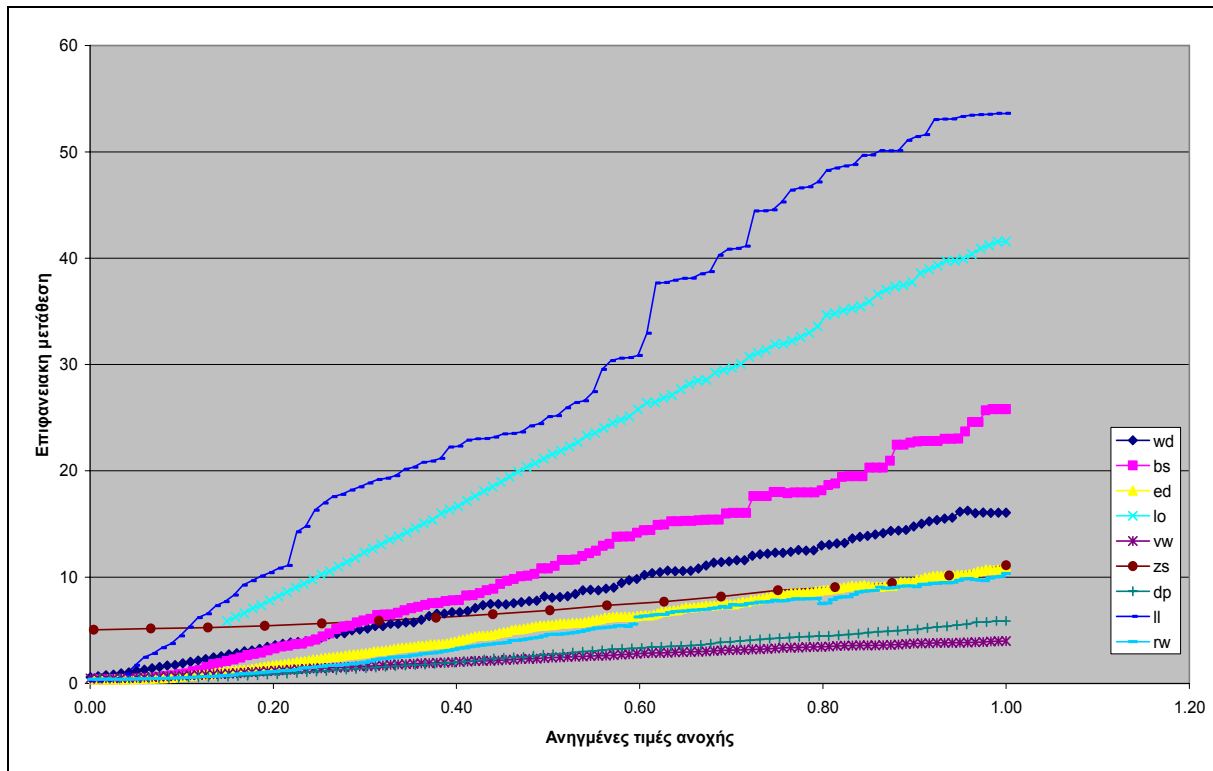
Από τα ακόλουθα διαγράμματα (6-17, 6-18 και 6-19) επιβεβαιώνεται πως, οι αλγόριθμοι LI & Openshaw και Latecki Lakamper παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης μέσω υπολογισμού με τα μέτρα της ευκλείδειας απόστασης ενώ τη μικρότερη παρουσιάζει ο αλγόριθμος Visvalingam Whyatt και ο Douglas Peucker.



Διάγραμμα 6-17: Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:100.000



Διάγραμμα 6-18: Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:100.000



Διάγραμμα 6-19: Επιφανειακή μετάθεση για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:100.000

6.5 Σύγκριση της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης που προκαλείται μεταξύ των αλγορίθμων απλοποίησης στην κλίμακα 1:200.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

Στον πίνακα που ακολουθεί (6-13) παρουσιάζονται συνολικά για όλους τους αλγορίθμους τα συνοπτικά στοιχεία για κάθε μέτρο υπολογισμού της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης. Στα δεδομένα αυτά η κλίμακα τόσο των αρχικών γραμμών διατηρείται ως έχει (1:40.000) και των τελικών γραμμικών τμημάτων είναι 1:200.000.



Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	3.58	3.57	3.58	10.72	3.58	6.27	3.58	3.58	3.81
Μέγιστη τιμή	13.31	36.89	15.48	62.35	9.00	12.50	8.35	42.81	23.36
Μέση τιμή	7.67	20.54	8.97	38.23	6.39	8.46	5.54	28.36	12.98
Τυπική απόκλιση	3.16	11.14	3.80	15.68	1.58	1.95	1.49	11.95	6.02
Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	0.00	0.00	0.00	5.43	0.00	5.43	0.00	0.00	0.21
Μέγιστη τιμή	9.92	20.08	10.28	38.71	5.07	11.21	5.63	30.77	15.22
Μέση τιμή	4.40	8.61	4.85	22.62	2.81	7.54	2.46	18.41	7.70
Τυπική απόκλιση	3.22	5.83	3.17	10.06	1.44	1.79	1.76	9.21	4.44
Επιφανειακή μετάθεση									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	1.32	1.32	1.32	6.12	1.32	5.05	1.32	1.32	1.52
Μέγιστη τιμή	10.70	25.87	11.19	41.61	5.79	11.11	6.40	53.94	16.45
Μέση τιμή	5.38	11.64	5.72	24.33	3.65	7.27	3.46	28.74	8.74
Τυπική απόκλιση	3.05	7.44	3.06	10.67	1.31	1.90	1.58	16.80	4.50
Μέση απόσταση Hausdorff									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	18.82	18.50	18.81	38.01	18.45	30.45	18.41	18.89	20.78
Μέγιστη τιμή	54.00	152.50	62.12	173.08	41.61	49.36	26.66	189.71	87.24
Μέση τιμή	34.43	95.53	37.25	115.04	30.16	36.46	21.10	131.49	52.26
Τυπική απόκλιση	12.13	44.80	12.99	41.22	7.41	5.84	2.48	48.71	20.31
Μέγιστη απόσταση Hausdorff									
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd
Ελάχιστη τιμή	48.93	48.93	46.48	109.84	48.93	80.89	46.20	48.97	48.93
Μέγιστη τιμή	149.57	317.09	149.72	317.32	139.21	123.00	58.35	317.27	317.38
Μέση τιμή	90.49	271.91	93.04	258.58	104.83	94.83	50.09	289.82	173.15
Τυπική απόκλιση	40.76	86.78	28.63	68.20	30.69	18.94	3.14	63.09	96.07

Πίνακας 6-13: Συνοπτική παρουσίαση των μεταβολών της οριζοντιογραφικής θέσης για όλους τους αλγορίθμους ανά μέτρο υπολογισμού της μεταβολής για την κλίμακα 1:200.000

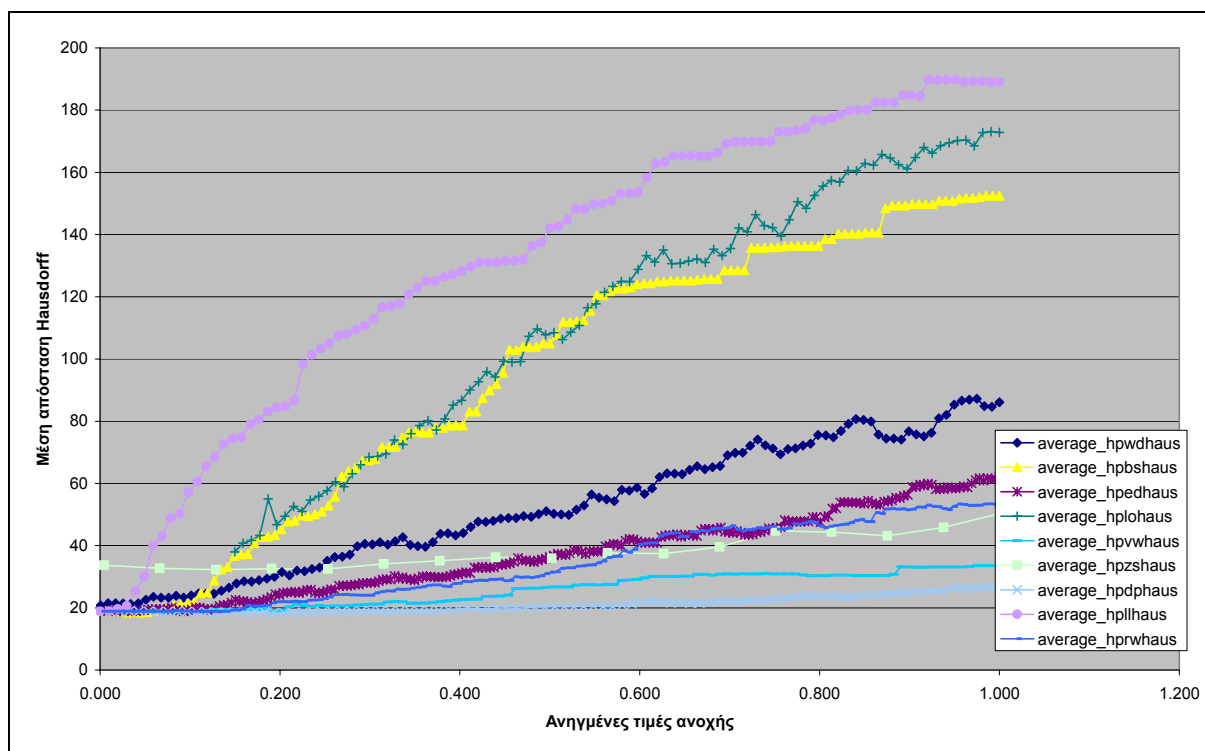
Από τα στοιχεία του ανωτέρω συνοπτικού πίνακα (6-13) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι αλγόριθμοι Douglas Peucker και Visvaligam Whyatt παρουσιάζουν τη μικρότερη επιφανειακή μετάθεση, τη μικρότερη μέση τιμή της μέσης απόστασης Hausdorff και τις μικρότερες μέσες τιμές των ευκλείδειων αποστάσεων.
- Ο αλγόριθμοι Latecki Lakamper και Li & Openshaw τη μέγιστη μέση τιμή και ο αλγόριθμος Douglas Peucker την ελάχιστη τιμή όλων των μεγεθών υπολογισμού της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης, ακριβώς όπως συμβαίνει τόσο για την

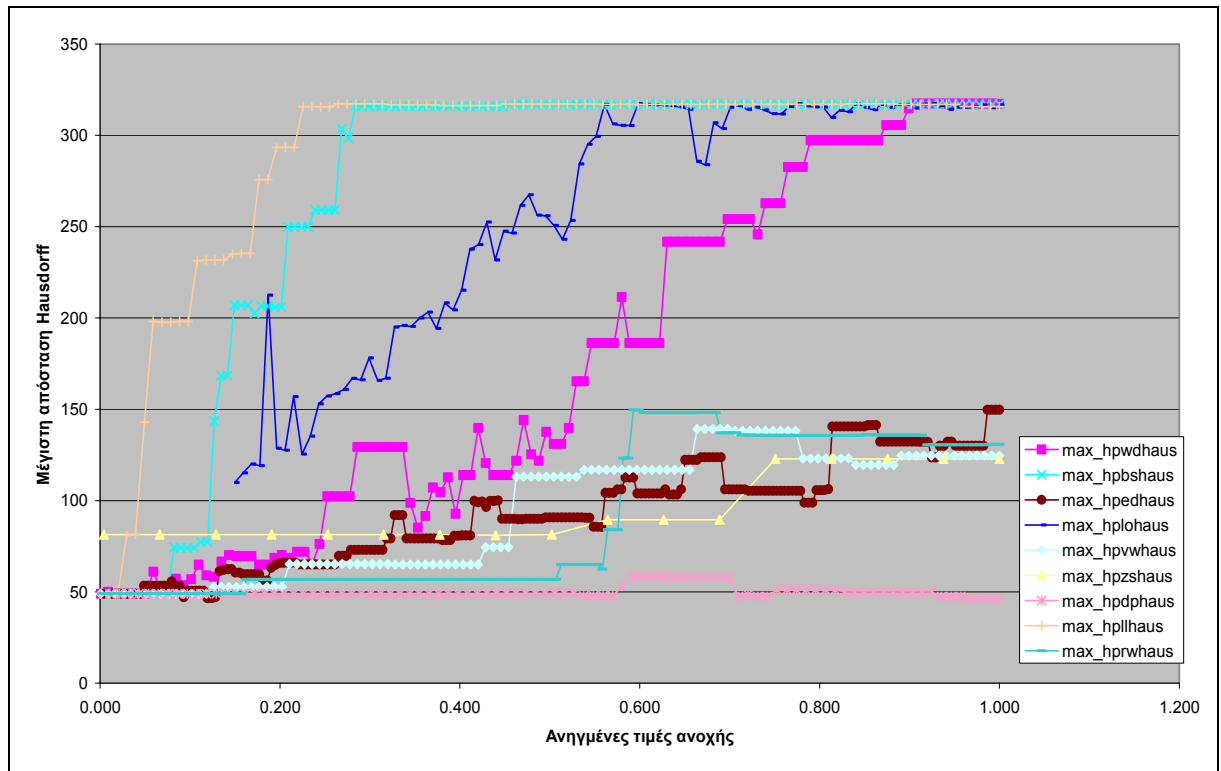
κλίμακα 1:100.000 όσο και για ενιαία κλίμακα των αρχικών και των τελικών γραμμικών οντοτήτων.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν επιχειρείται οπτικοποίηση των τιμών της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης των γραμμικών οντοτήτων ως προς τις ανηγμένες τιμές ανοχής.

Από τα διαγράμματα (6-20, 6-22, 6-23 και 6-24) προκύπτει πως ο αλγόριθμος Latecki Lakampfer παρουσιάζει τη μέγιστη ενώ ο αλγόριθμος Douglas Peucker παρουσιάζει τη μικρότερη οριζοντιογραφική μετάθεση.

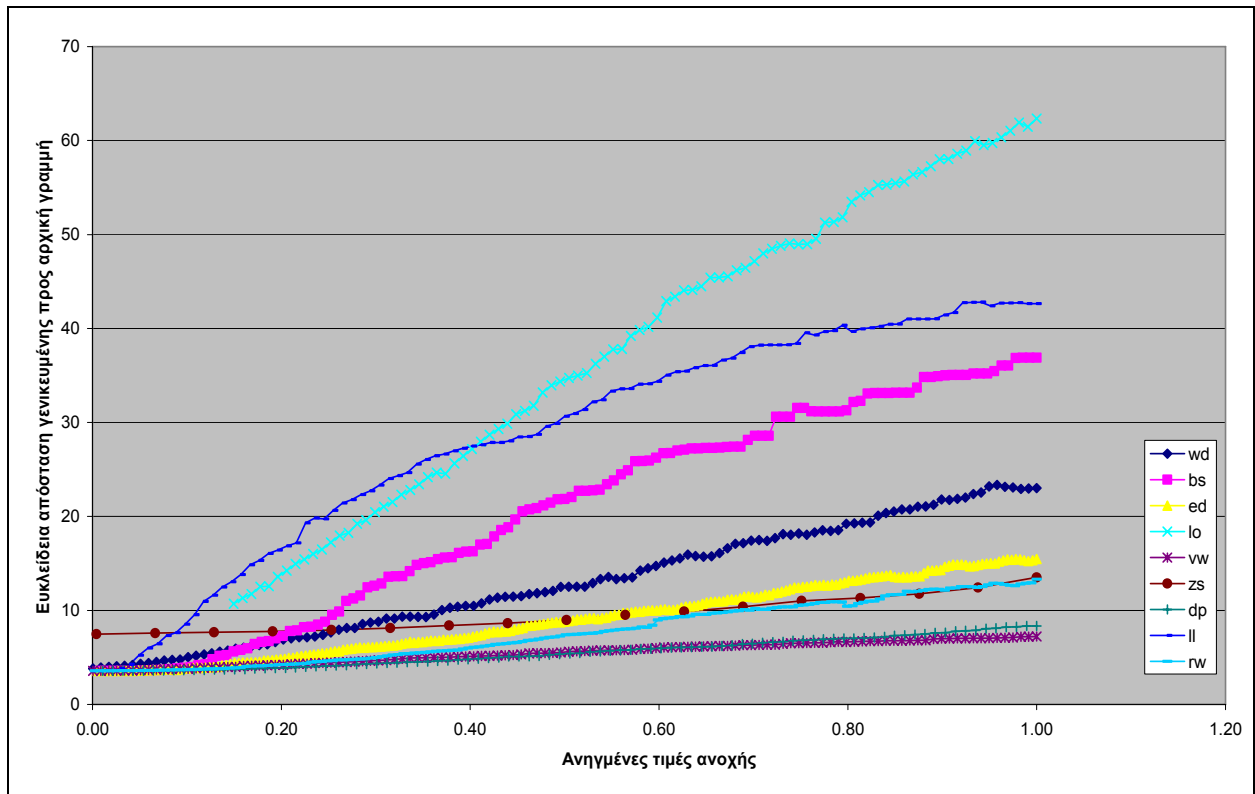


Διάγραμμα 6-20: Μέση απόσταση Hausdorff ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:200.000

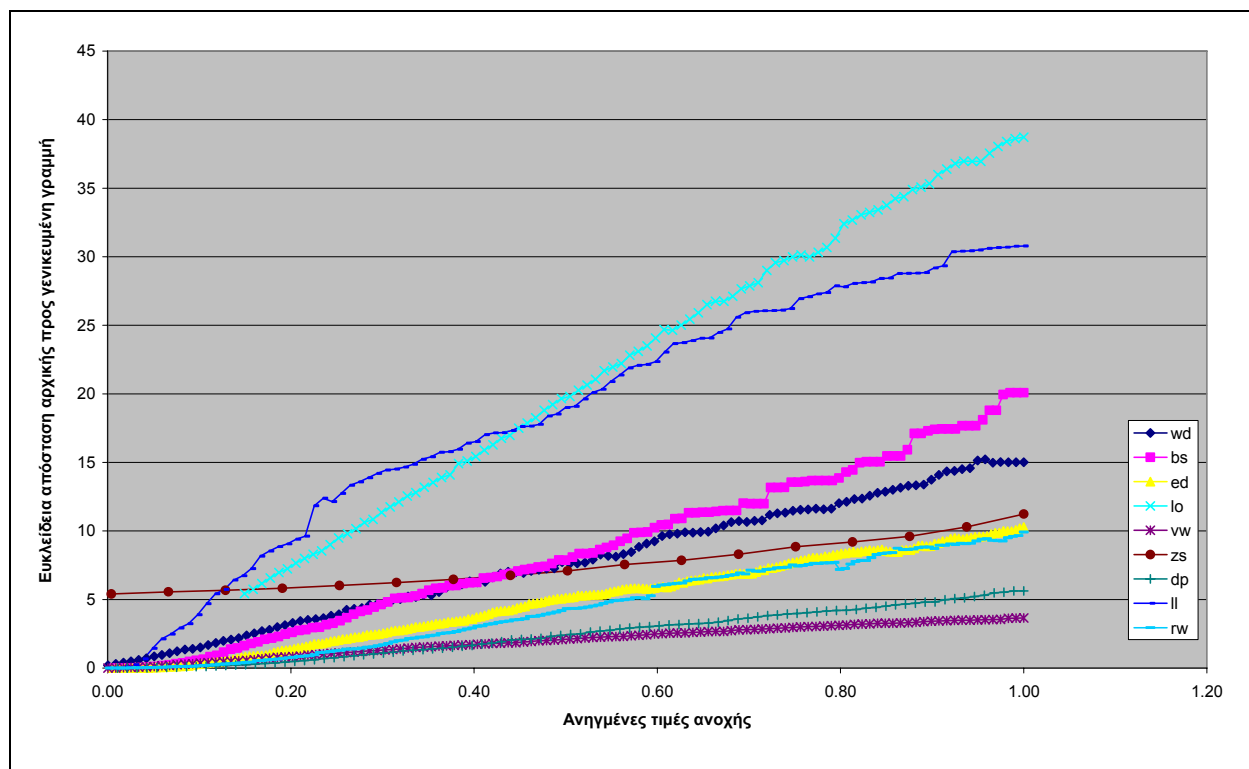


Διάγραμμα 6-21: Μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:200.000

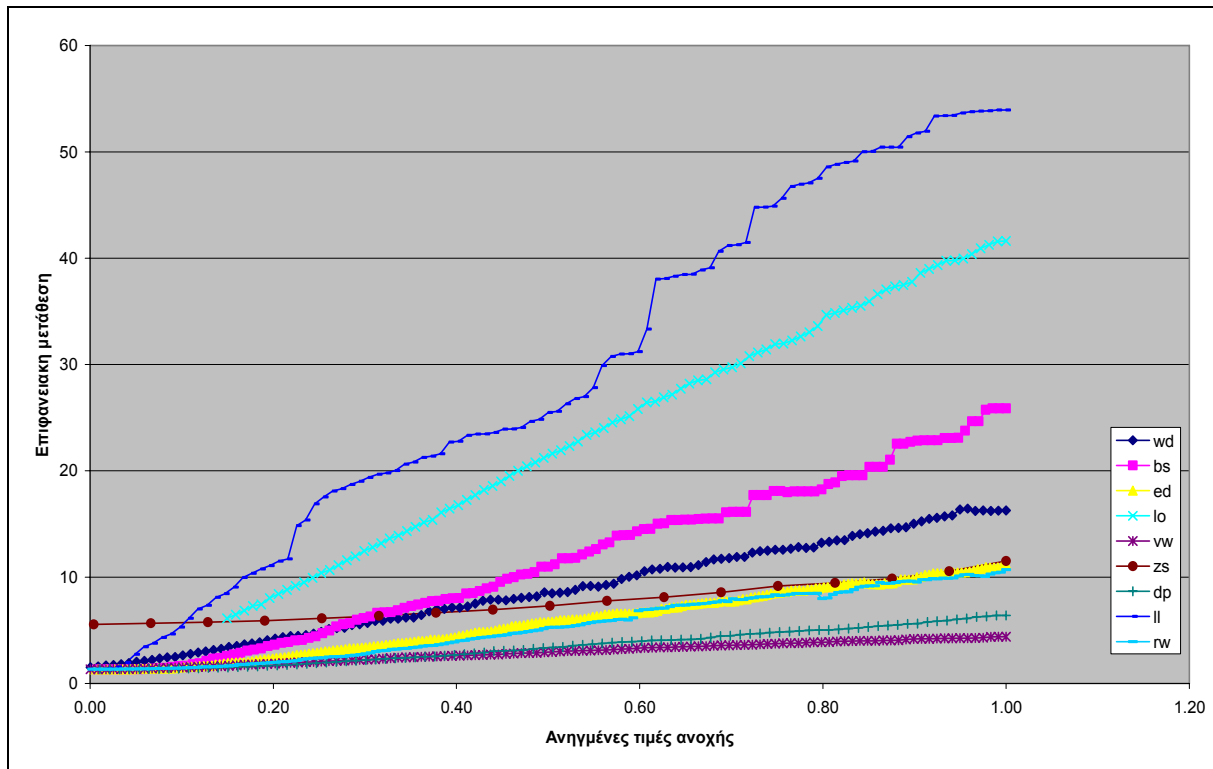
Η κατάταξη των αλγορίθμων, από τον αλγόριθμο που προκαλεί τη μικρότερη μεταβολή προς αυτόν που προκαλεί τη μέγιστη, όπως προκύπτει από το ανωτέρω διάγραμμα (6-20) βάσει της μέσης τιμής της απόστασης Hausdorff είναι ακριβώς η ίδια με αυτή που πραγματοποιήθηκε βάσει των διαγραμμάτων (6-10) για ενιαία κλίμακα και (6-15) για κλίμακα 1:100.000



Διάγραμμα 6-22: Ευκλειδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:200.000



Διάγραμμα 6-23: Ευκλειδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:200.000



Διάγραμμα 6-24: Επιφανειακή μετάθεση για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:200.000

6.6 Σύγκριση της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης που προκαλείται μεταξύ των αλγορίθμων απλοποίησης στην κλίμακα 1:250.000 ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής

Τέλος, στον ακόλουθο πίνακα (6-14) παρουσιάζονται συνολικά για όλους τους αλγορίθμους τα συνοπτικά στοιχεία για κάθε μέτρο υπολογισμού της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης . Στα δεδομένα αυτά η κλίμακα των αρχικών γραμμών διατηρείται ως έχει (1:40.000) και των τελικών γραμμικών τμημάτων είναι 1:250.000.

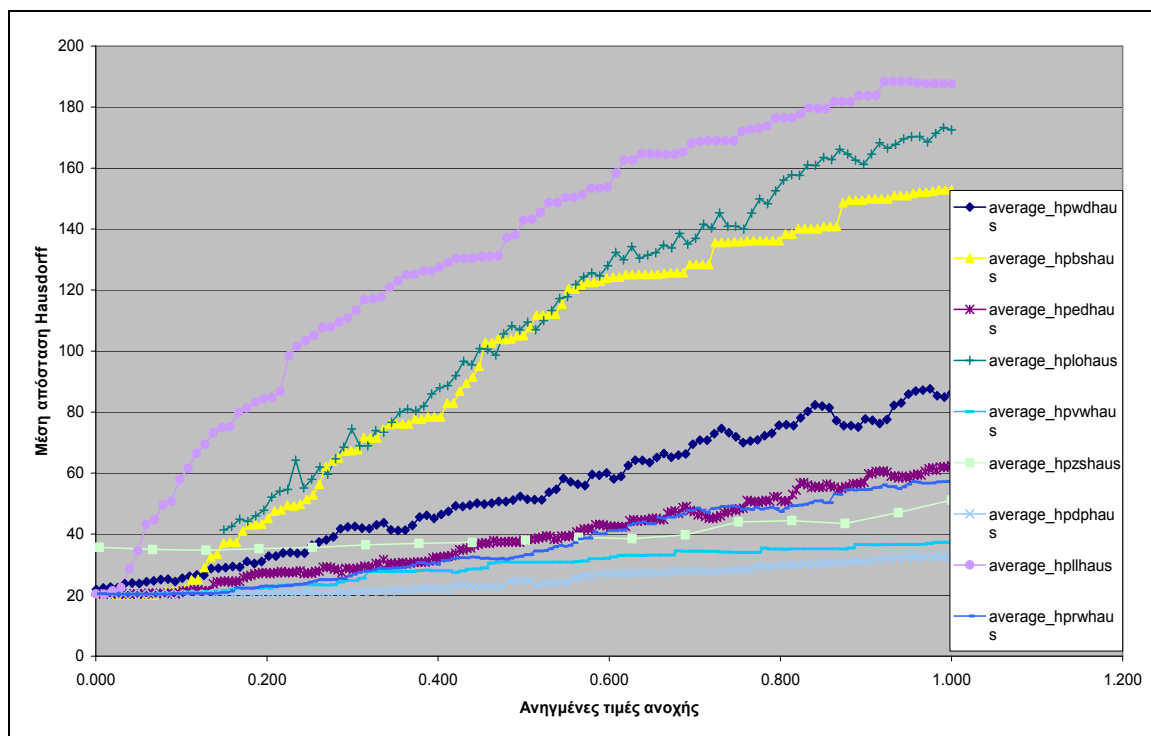
Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή										
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd	
Ελάχιστη τιμή	4.51	4.48	4.50	11.32	4.51	8.13	4.51	4.51	4.51	4.74
Μέγιστη τιμή	14.00	36.97	15.99	62.46	9.78	13.98	9.14	43.00	23.88	
Μέση τιμή	8.38	20.86	9.62	38.42	7.27	10.18	6.44	28.77	13.60	
Τυπική απόκλιση	3.03	10.90	3.70	15.57	1.58	1.81	1.50	11.74	5.90	
Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή										
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd	
Ελάχιστη τιμή	0.00	0.00	0.00	5.45	0.00	5.35	0.00	0.00	0.20	
Μέγιστη τιμή	9.91	20.14	10.30	38.67	5.10	11.11	5.66	30.92	15.10	
Μέση τιμή	4.40	8.62	4.83	22.49	2.80	7.45	2.47	18.43	7.68	
Τυπική απόκλιση	3.22	5.85	3.17	10.01	1.45	1.79	1.77	9.25	4.43	
Επιφανειακή μετάθεση										
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd	
Ελάχιστη τιμή	1.91	1.90	1.91	6.38	1.91	6.42	1.91	1.91	1.91	2.10
Μέγιστη τιμή	10.99	25.93	11.38	41.63	6.12	11.92	6.78	53.99	16.63	
Μέση τιμή	5.79	11.82	6.04	24.39	4.09	8.39	3.95	28.93	9.03	
Τυπική απόκλιση	2.93	7.32	2.94	10.63	1.25	1.70	1.53	16.67	4.39	
Μέση απόσταση Hausdorff										
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd	
Ελάχιστη τιμή	20.28	20.00	20.28	41.37	20.24	34.73	20.28	20.28	21.83	
Μέγιστη τιμή	57.91	152.84	62.49	173.30	45.76	51.16	32.62	188.44	87.58	
Μέση τιμή	36.52	95.63	38.88	115.64	33.86	39.55	25.06	131.45	53.49	
Τυπική απόκλιση	12.52	44.62	12.86	40.68	7.81	4.81	4.27	47.89	19.98	
Μέγιστη απόσταση Hausdorff										
Αλγόριθμοι	rw	bs	ed	lo	vw	zs	dp	ll	wd	
Ελάχιστη τιμή	56.58	56.58	56.35	124.26	56.58	81.24	56.41	56.58	57.32	
Μέγιστη τιμή	157.03	317.09	149.72	317.30	159.23	123.45	69.71	317.55	317.41	
Μέση τιμή	93.03	272.17	98.01	262.78	124.60	95.68	61.93	289.73	175.00	
Τυπική απόκλιση	38.55	85.53	27.46	65.32	40.04	18.73	4.88	62.12	93.75	

Πίνακας 6-14: Συνοπτική παρουσίαση των μεταβολών της οριζοντιογραφικής θέσης για όλους τους αλγορίθμους ανά μέτρο υπολογισμού της μεταβολής για την κλίμακα 1:250.000

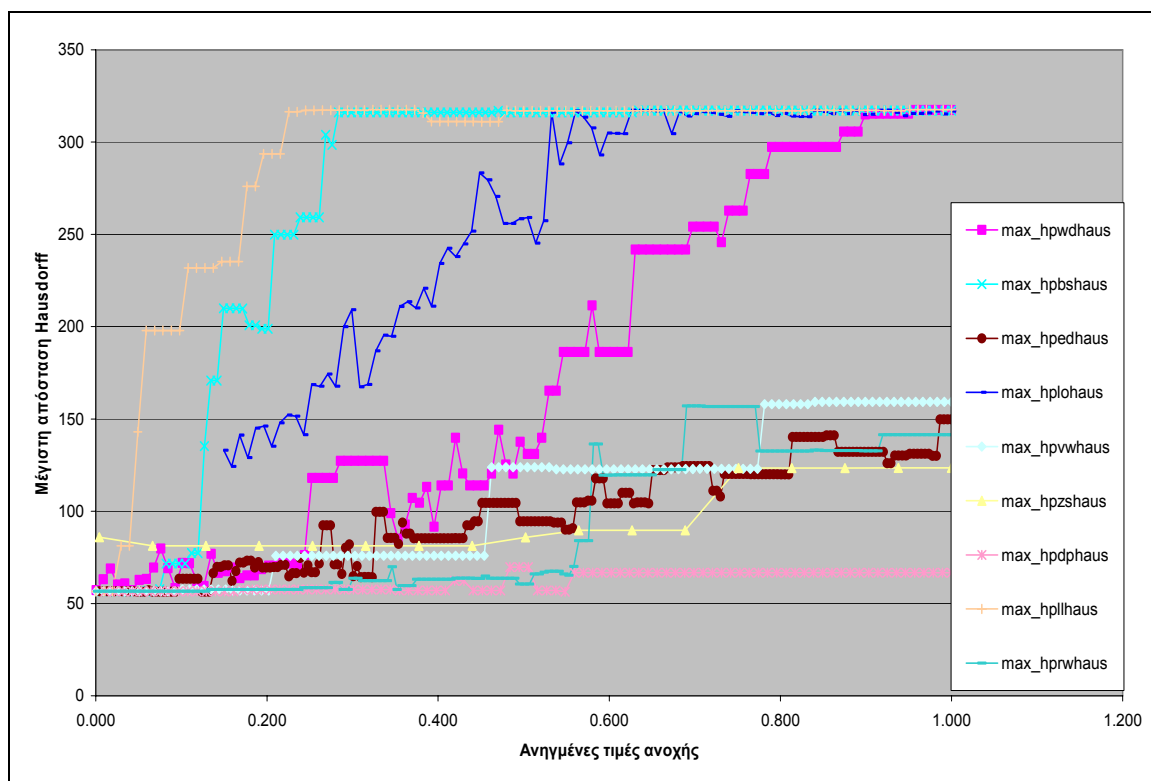
Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα στοιχεία του ανωτέρω συνοπτικού πίνακα είναι όμοια με τα στοιχεία που προκύπτουν από τους πίνακες (6-11) για ενιαία κλίμακα, (6-12) για την κλίμακα 1:100.000 και (6-13) για την κλίμακα 1:200.000.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν επιχειρείται οπτικοποίηση των τιμών της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης των γραμμικών οντοτήτων ως προς τις ανηγμένες τιμές ανοχής για την κλίμακα 1:250.000.

Από τα διαγράμματα (6-25, 6-27, 6-28 και 6-29) επιβεβαιώνεται, για ακόμα μια φορά, πως ο αλγόριθμος Latecki Lakamper παρουσιάζει τη μέγιστη ενώ ο αλγόριθμος Douglas Peucker παρουσιάζει τη μικρότερη οριζοντιογραφική μετάθεση.

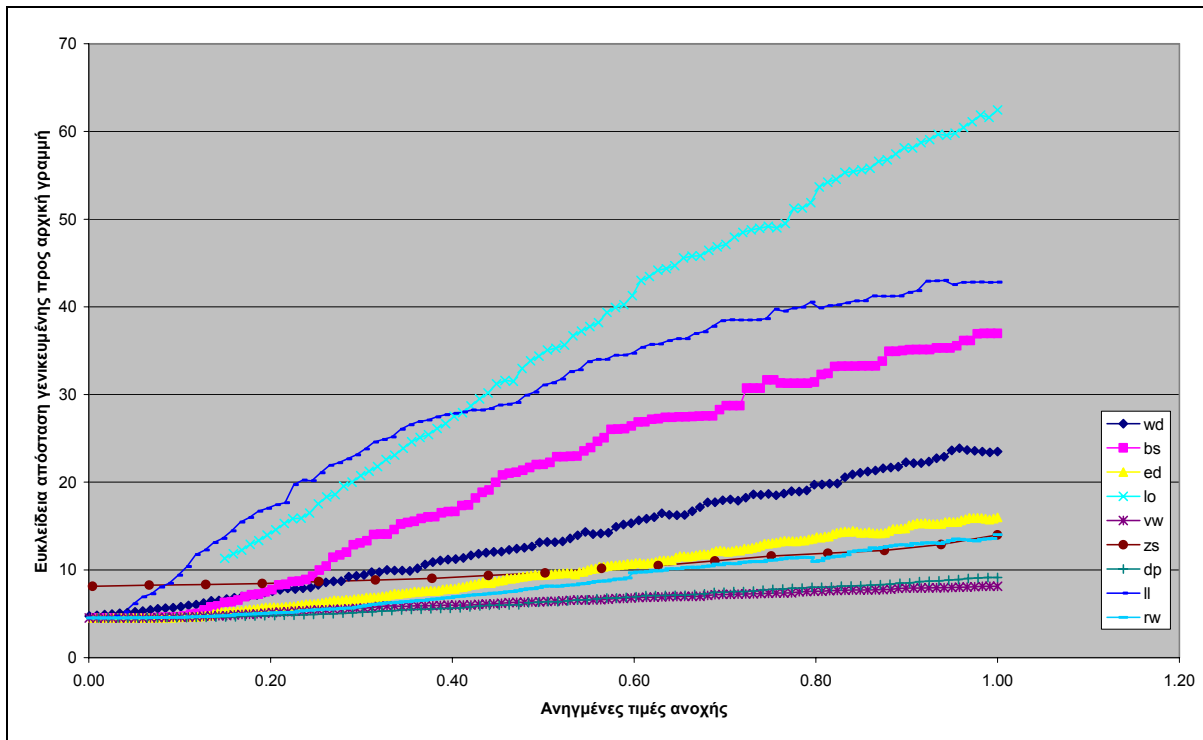


Διάγραμμα 6-25: Μέση απόσταση Hausdorff ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:250.000



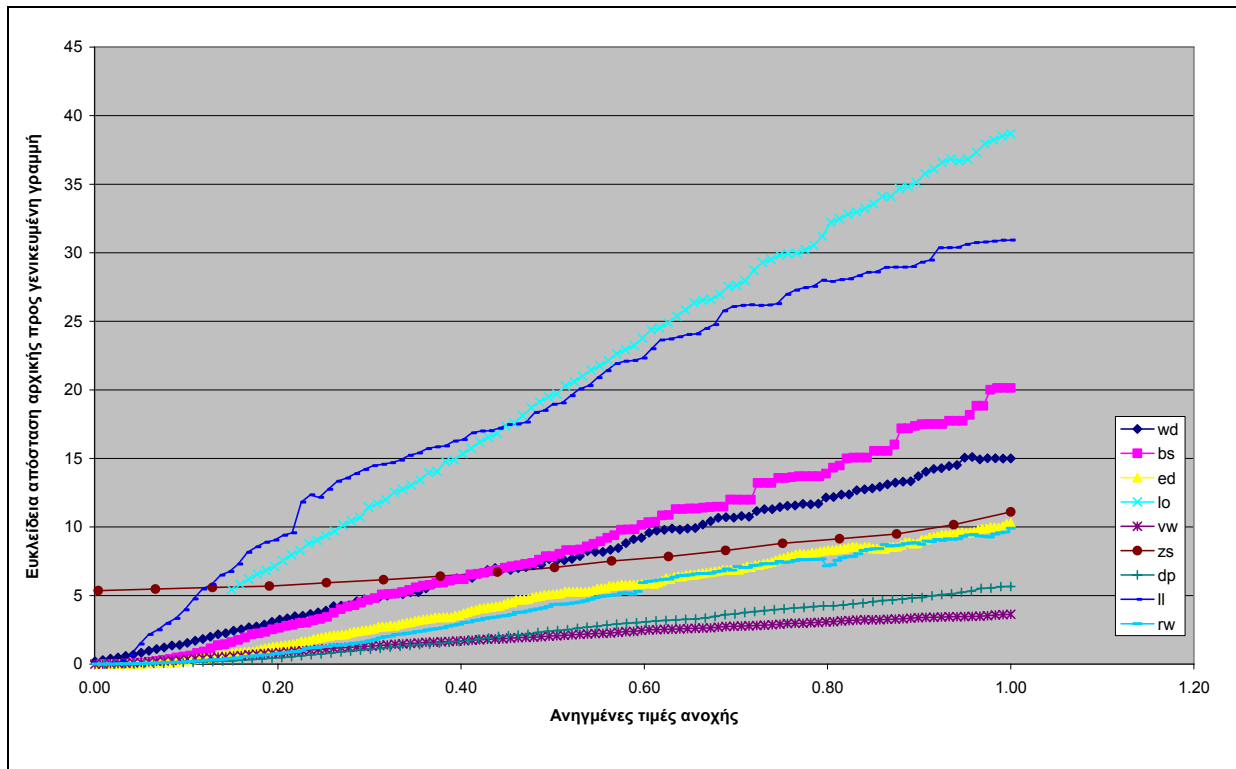
Διάγραμμα 6-26: Μέγιστη τιμή της απόστασης Hausdorff ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:250.000

Η κατάταξη των αλγορίθμων, από τον αλγόριθμο που προκαλεί τη μικρότερη μεταβολή προς αυτόν που προκαλεί τη μέγιστη, όπως προκύπτει από το διάγραμμα βάσει της μέσης τιμής της απόστασης Hausdorff είναι ακριβώς η ίδια με αυτή που πραγματοποιήθηκε βάσει των διαγραμμάτων (6-10) για ενιαία κλίμακα και (6-15) για κλίμακα 1:100.000 και (6-20) για κλίμακα 1:200.000.

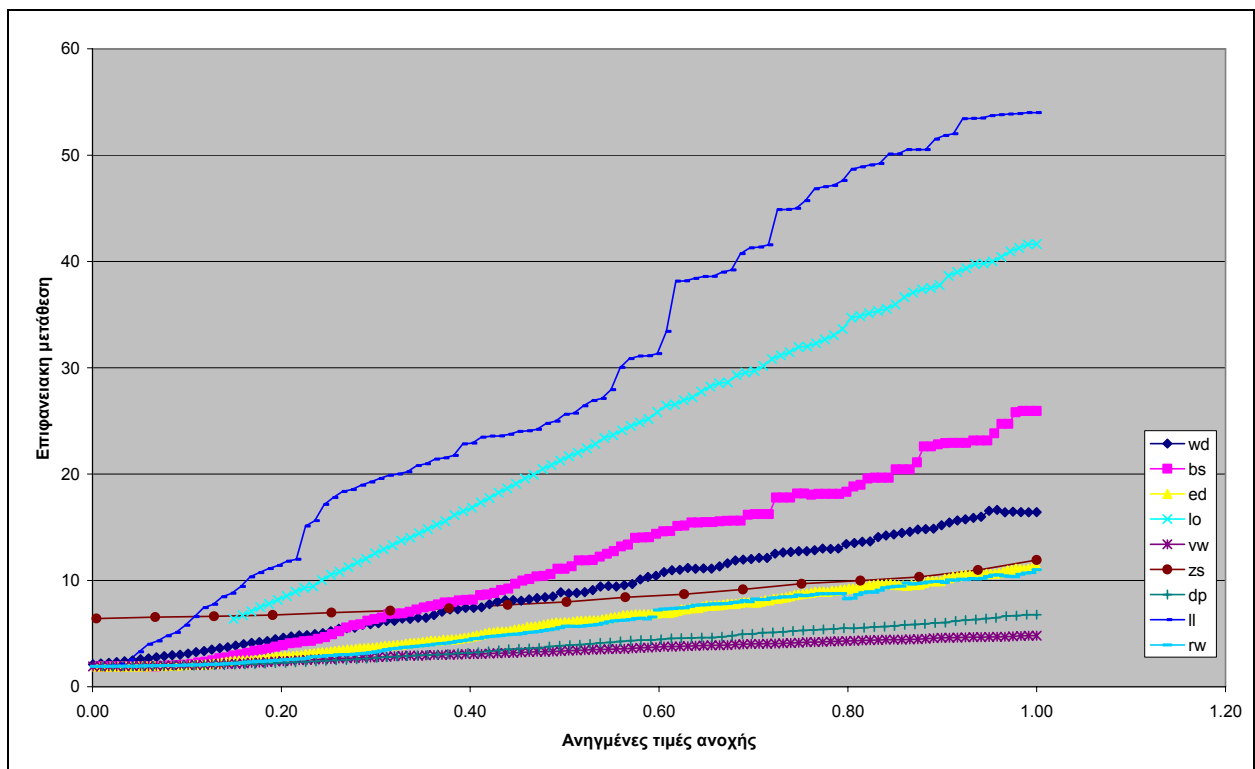


Διάγραμμα 6-27: Ευκλείδεια απόσταση γενικευμένης προς αρχική γραμμή ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:250.000





Διάγραμμα 6-28: Ευκλείδεια απόσταση αρχικής προς γενικευμένη γραμμή ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:250.000

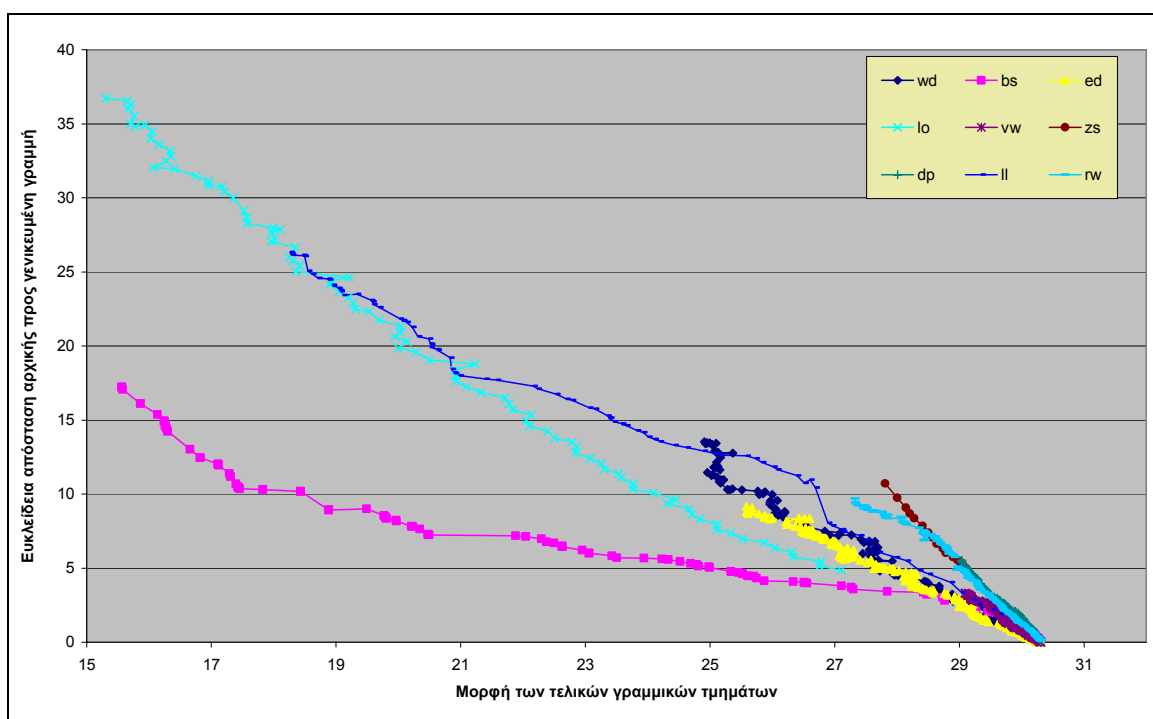


Διάγραμμα 6-29: Επιφανειακή μετάθεση για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τις ανηγμένες τιμές ανοχής για κλίμακα 1:250.000

## 6.7 Υπολογισμός της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης σε σχέση με τη μορφή και τη μεταβολή της μορφής των τελικών γραμμικών τμημάτων

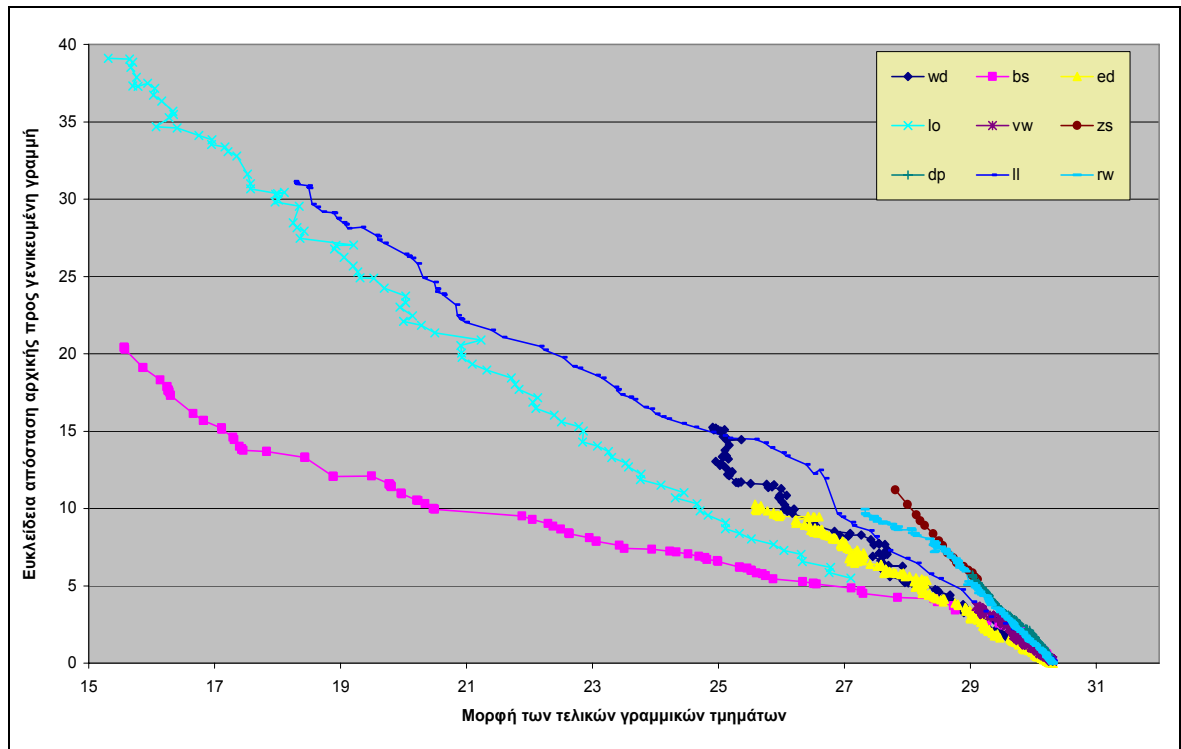
Στα διαγράμματα που ακολουθούν οπτικοποιείται η μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης των γραμμικών τμημάτων ανάλογα με την τελική μορφή τους τους βάσει της Ευκλείδειας απόστασης από την γενικευμένη προς την αρχική γραμμή. Κατά αυτόν τον τρόπο συνδυάζονται οι δυο παράμετροι οι οποίες είναι καθοριστικές για την επιλογή των βέλτιστων αλγορίθμων απλοποίησης.

Αρχικά μελετάται η μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης ως προς τη μορφή των τελικών γραμμικών τμημάτων διατηρώντας την αρχική κλίμακα.



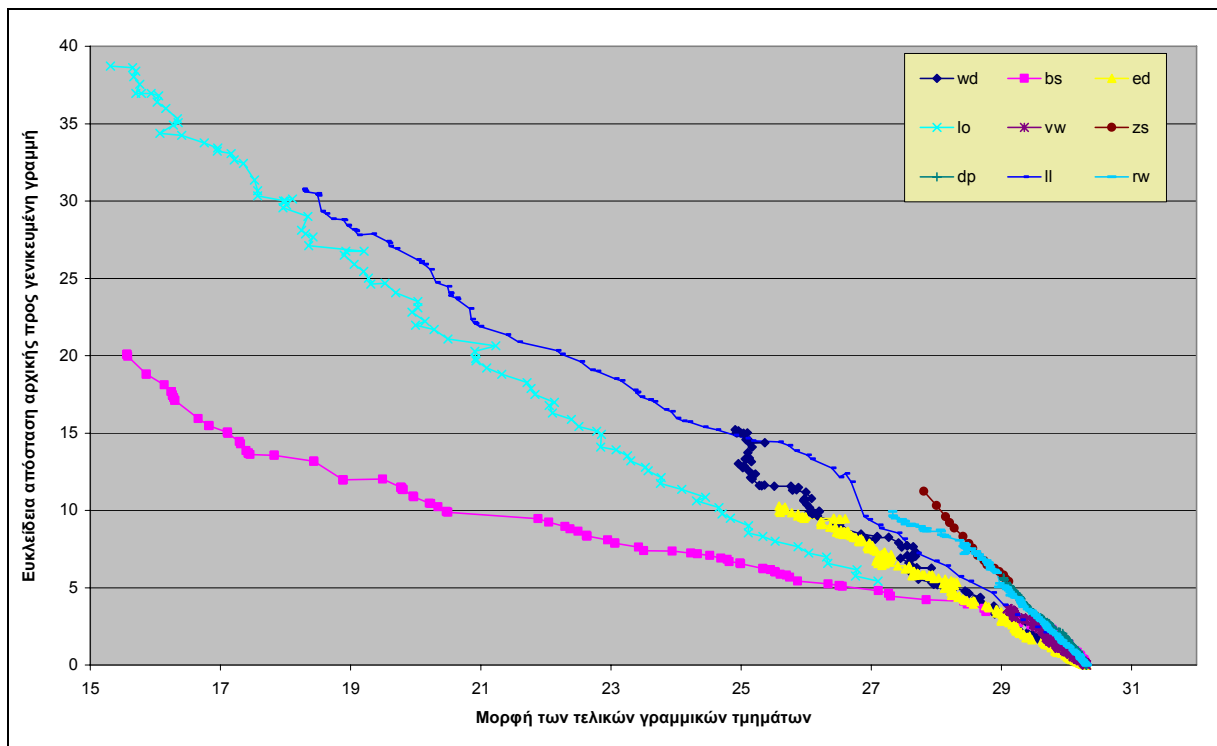
Διάγραμμα 6-30: Οριζοντιογραφική μετάθεση για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τη μορφή των γραμμικών τμημάτων σε ενιαία κλίμακα

Στη συνέχεια, παρατίθενται τα διαγράμματα μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης σε σχέση με τη μορφή των γραμμικών τμημάτων που προκύπτουν για τις κλίμακες 1:100.000, 1:200.000 και 1:250.000.



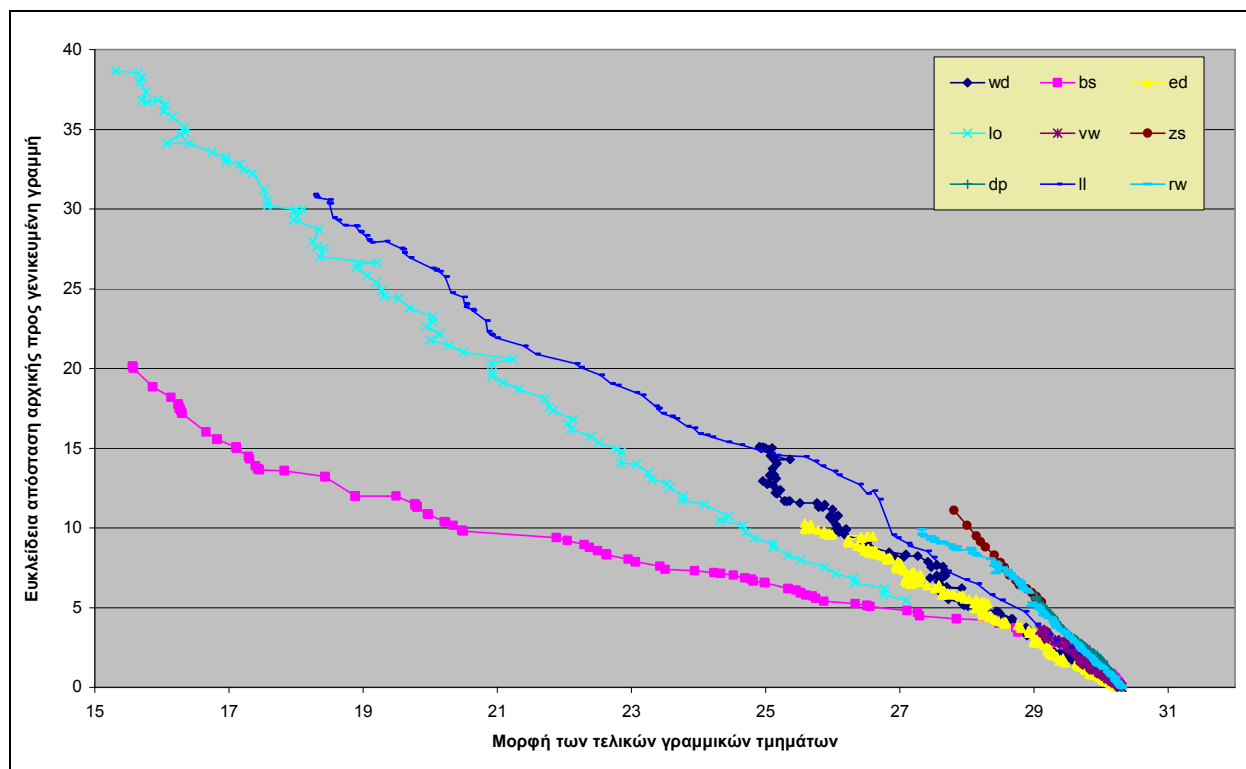
Διάγραμμα 6-31: Οριζοντιογραφική μετάθεση για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τη μορφή των γραμμικών τμημάτων σε κλίμακα 1:100.000

Επόμενο βήμα αποτελεί η μελέτη της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης ως προς τη μορφή των τελικών γραμμικών τμημάτων για μετάβαση στην κλίμακα 1:200.000.



Διάγραμμα 6-32: Οριζοντιογραφική μετάθεση για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τη μορφή των γραμμικών τμημάτων σε κλίμακα 1:200.000

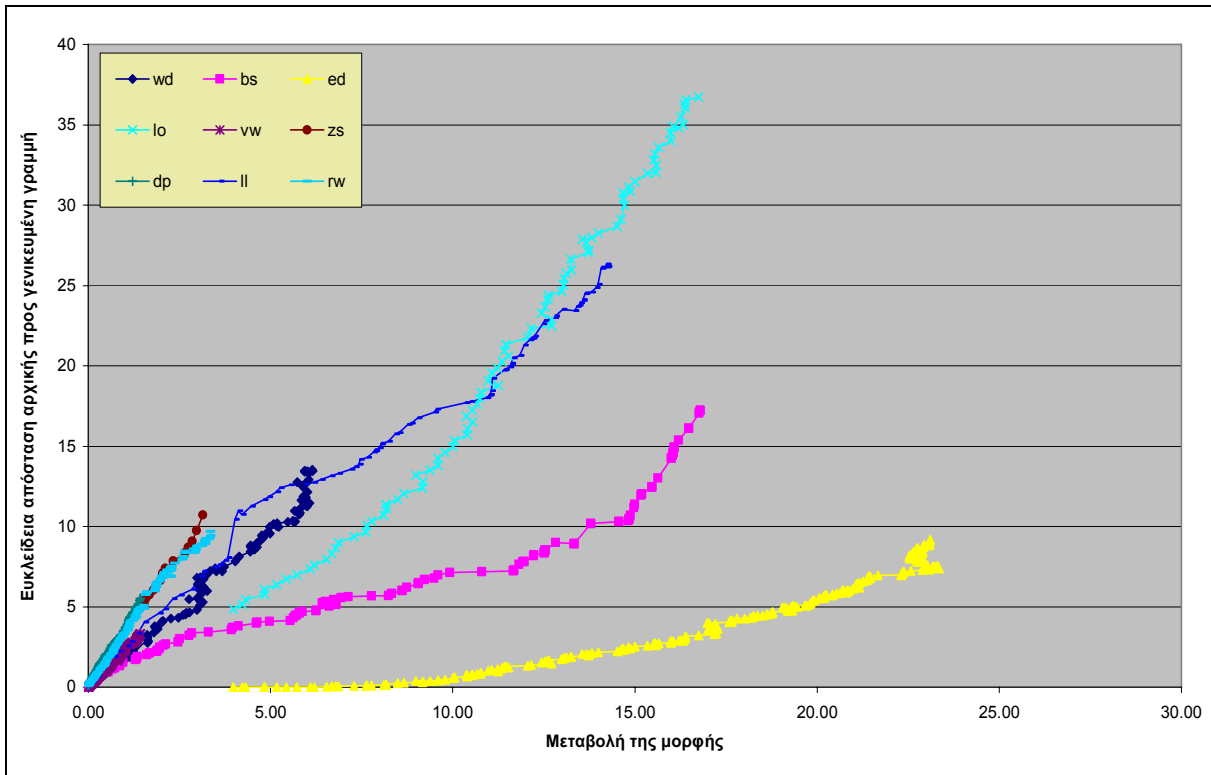
Τέλος, παρουσιάζεται η μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης ως προς τη μορφή των τελικών γραμμικών τμημάτων για μετάβαση στην κλίμακα 1:200.000.



Διάγραμμα 6-33: Οριζοντιογραφική μετάθεση για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τη μορφή των γραμμικών τμημάτων σε κλίμακα 1:250.000

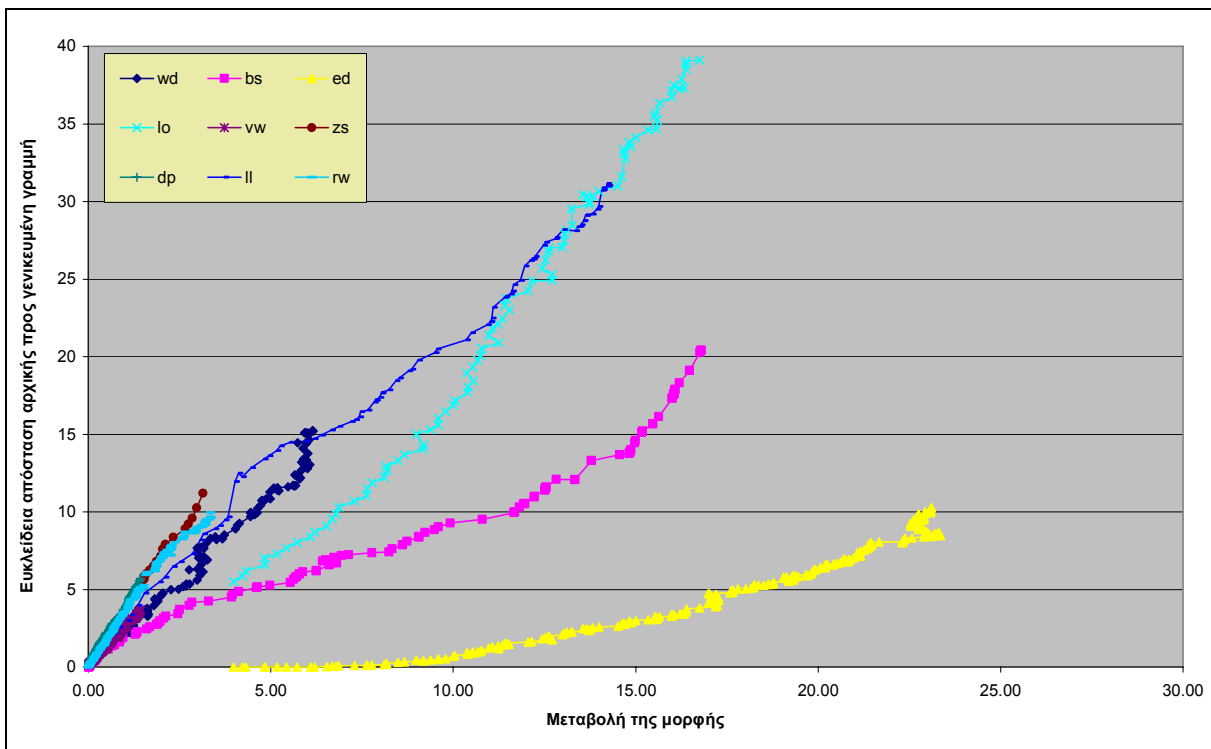
Παρατηρείται πως τα ανωτέρω διαγράμματα (6-30, 6-31, 6-32 και 6-33) χαρακτηρίζονται από μεγάλο βαθμό ομοιότητας. Οι αλγόριθμοι Bend simplify, Li & Openshaw και Latecki Lakampfer καταλαμβάνουν μεγάλο εύρος τιμών τόσο ως προς τη μορφή τους ( άξονας των  $\chi$ ), όσο και ως προς τη μεταβολή της οριζοντιογραφικής τους θέσης (άξονας των  $\psi$ ). Επομένως, εξάγεται το συμπέρασμα πως οι αλγόριθμοι αυτοί μεταβάλλουν σε μεγάλο βαθμό τη μορφή και την οριζοντιογραφική θέση των γραμμών κατά την απλοποίηση. Αντίθετα, οι υπόλοιποι αλγόριθμοι δεν προκαλούν μεγάλη μεταβολή τόσο της μορφής όσο και της οριζοντιογραφικής θέσης των γραμμικών οντοτήτων.

Η παρατήρηση αυτή επιβεβαιώνεται και από το ακόλουθα διαγράμματα, στα οποία απεικονίζεται η μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης ως προς τη μεταβολή της μορφής των γραμμικών οντοτήτων για τις αντίστοιχες κλίμακες. Βέβαια, στα ακόλουθα διαγράμματα πρέπει να παρατηρηθεί πως ο αλγόριθμος Ευκλείδειας απόστασης μεταβάλλει την μορφή των γραμμών σε μεγαλύτερο βαθμό από την οριζοντιογραφική θέση καθώς καταλαμβάνει μεγάλο εύρος τιμών στον άξονα των  $\chi$  και περιορισμένο εύρος τιμών στον άξονα των  $\psi$ .

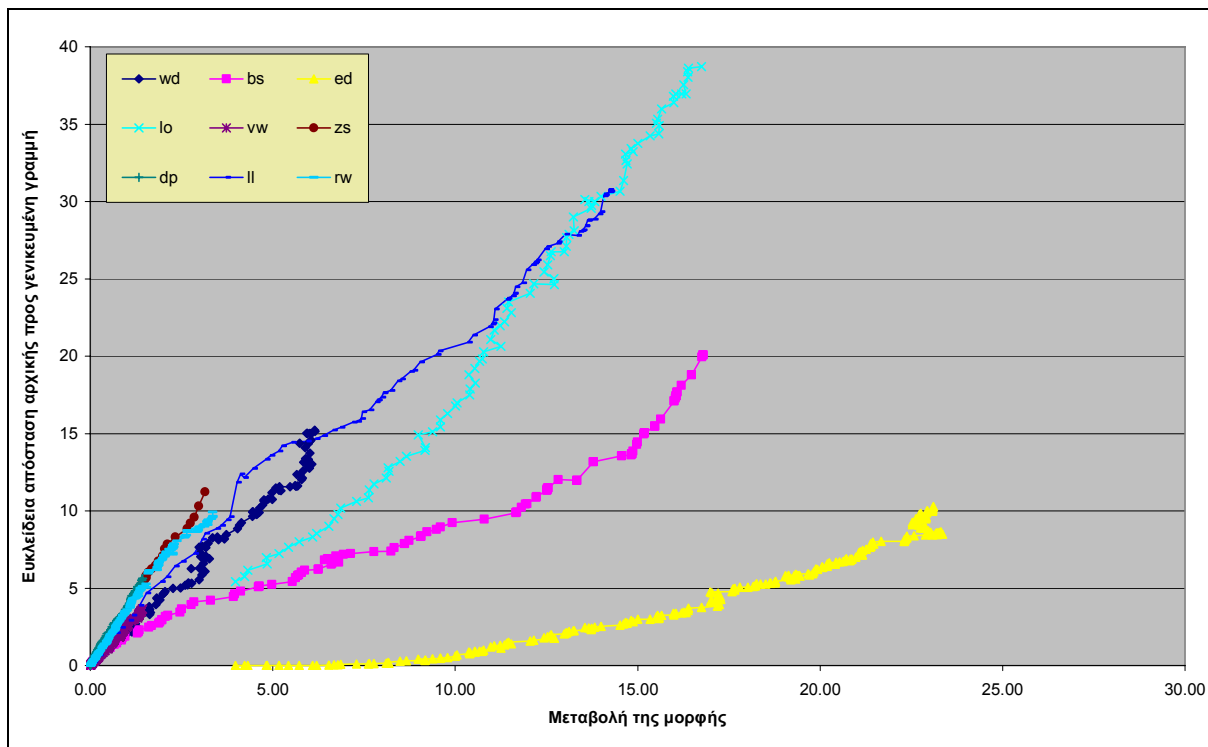


Διάγραμμα 6-34: Οριζοντιογραφική μετάθεση για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τη μεταβολή της μορφής των γραμμικών τμημάτων σε ενιαία κλίμακα

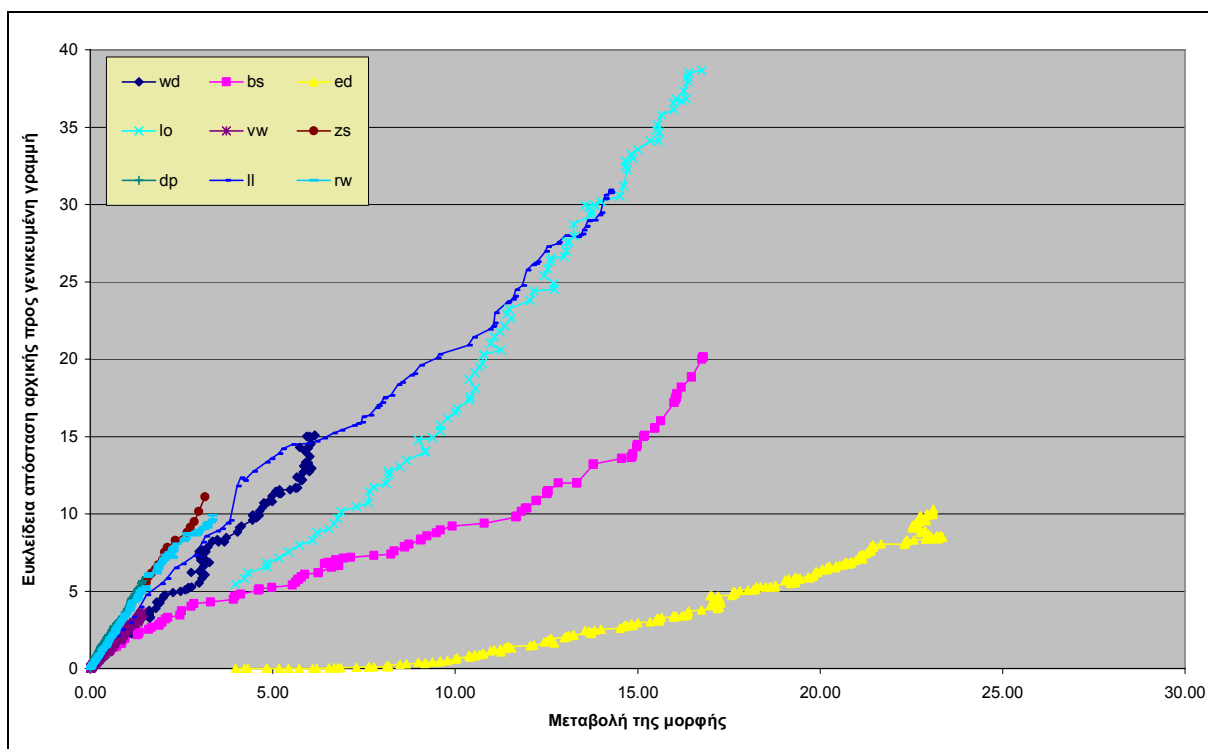
Κατ' αναλογία, προκύπτουν τα ακόλουθα διάγραμματα (6-35, 6-36 και 6-37) για μετάβαση αντίστοιχα στις κλίμακες 1:100.000, 1:200.000 και 1:250.000.



Διάγραμμα 6-35: Οριζοντιογραφική μετάθεση για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τη μεταβολή της μορφής των γραμμικών τμημάτων σε κλίμακα 1:100.000



Διάγραμμα 6-36: Οριζοντιογραφική μετάθεση για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τη μεταβολή της μορφής των γραμμικών τμημάτων σε κλίμακα 1:200.000



Διάγραμμα 6-37: Οριζοντιογραφική μετάθεση για όλους τους αλγορίθμους ανάλογα με τη μεταβολή της μορφής των γραμμικών τμημάτων σε κλίμακα 1:250.000

## 7 ΣΥΝΟΨΗ- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 7.1 Γενικά

Η χαρτογραφική γενίκευση συνιστά έναν από τους βασικότερους χαρτογραφικούς μετασχηματισμούς. Η πλήρης αυτοματοποίησή της αποτελεί ένα «ανοιχτό» ερευνητικό αντικείμενο, το οποίο απαιτεί πλήρη κατανόηση τόσο του θεωρητικού όσο και του διαδικαστικού της υποβάθρου.

Η παρούσα εργασία, ασχολείται πιο συγκεκριμένα με την απλοποίηση των φυσικών χαρτογραφικών γραμμικών οντοτήτων. Κύριος στόχος της είναι η σύνδεση της διαδικαστικής γνώσης (επιλογή κατάλληλων αλγορίθμων απλοποίησης, παραμέτρων ανοχής) με την δομική γνώση (π.χ. γεωμορφολογική σημασία). Η επιλογή των φυσικών γραμμικών οντοτήτων (π.χ. ακτογραμμή) οφείλεται στο γεγονός ότι παρουσιάζουν μεγαλύτερη ποικιλία μορφών από τις τεχνητές γραμμικές οντότητες (π.χ. δρόμοι) και σε κάθε περίπτωση συνιστούν την πλέον συχνά εμφανιζόμενη στους χάρτες οντότητα.

Πιο συγκεκριμένα, μέσω των διαφόρων σεναρίων της γενίκευσης που υιοθετούνται κατά την πειραματική διαδικασία, επιχειρείται η εξαγωγή συμπερασμάτων για την επίδραση κάθε αλγορίθμου, ορίζοντας διάφορες τιμές ανοχής σε ποικίλα ως προς τη μορφή φυσικά χαρτογραφικά γραμμικά τμήματα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της μελέτης τόσο της μεταβολής της μορφής όσο και της οριζοντιογραφικής θέσης.

Για τη μελέτη της επίδρασης των αλγορίθμων απλοποίησης στη μορφή και την οριζοντιογραφική θέση των γραμμικών τμημάτων πραγματοποιήθηκε αρχικά βιβλιογραφική μελέτη των διαθέσιμων αλγορίθμων απλοποίησης και έγινε μέσω αυτής επιλογή των εννέα πλέον αξιόπιστων : Douglas Peucker, Euclidean distance, Visvalingam Whyatt, Zhao Saalfeld, Latecki Lakamper, Rewmann Witkam, Li & Openshaw, Bend simplify και Wall Danileson οι οποίοι υλοποιήθηκαν σε περιβάλλον Visual Basic.

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε επιλογή 37 γραμμικών οντοτήτων, οι οποίες προέκυψαν από κατάτμηση σε ομοιογενή τμήματα. Οι γραμμικές αυτές οντότητες, παρουσιάζουν ποικιλία ως προς τη μορφή τους και μπορούν να ταξινομηθούν οπτικά σε τέσσερις διακριτές ομάδες: έντονα ημιτονοειδείς, ημιτονοειδείς, με έντονη καμπυλότητα, προσομοιάζουσες με ευθείες.

Στο επόμενο στάδιο, επιλέγονται οι βέλτιστες παράμετροι περιγραφής της μορφής, της μεταβολής της μορφής των γραμμικών τμημάτων και της μεταβολής της οριζοντιογραφικής τους θέσης. Οι παράμετροι περιγραφής της μορφής των γραμμικών τμημάτων και της μεταβολής της είναι οι εξής: η μέση γωνιότητα, η μέση απόλυτη γωνιότητα και η διακύμανση

σφάλματος. Ως παράμετροι περιγραφής της μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης επιλέγονται η μέγιστη και η μέση τιμή της απόστασης Hausdorff, η Ευκλείδεια απόσταση της αρχικής προς τη γενικευμένη γραμμή, η Ευκλείδεια απόσταση της γενικευμένης προς την αρχική γραμμή και η επιφανειακή μετάθεση.

Τέλος, πραγματοποιείται απλοποίηση των γραμμικών τμημάτων μέσω των προαναφερθέντων εννέα αλγορίθμων απλοποίησης με διάφορες τιμές της παραμέτρου ανοχής και υπολογίζονται με βάση τις τιμές αυτές:

α) Η μορφή των νέων γραμμικών τμημάτων

β) Η μεταβολή της μορφής και

γ) Η μεταβολή της οριζοντιογραφικής θέσης των γραμμικών τμημάτων ως προς τα αρχικά. Μέσω αυτών των μέτρων προκύπτουν τα προς αξιολόγηση αποτελέσματα σχετικά με την επίδραση των διαφόρων αλγορίθμων στα γραμμικά τμήματα.

## 7.2 Σύνοψη των αποτελεσμάτων

Διαπιστώνεται τόσο μέσω της μορφής των γραμμικών τμημάτων που προκύπτουν μέσω της απλοποίησης όσο και της μεταβολής της μορφής τους εν συγκρίσει με τα αρχικά, διατηρώντας κοινή την κλίμακα απεικόνισης, πως οι αλγόριθμοι μπορούν να ιεραρχηθούν ως προς την αποτελεσματικότητά τους: Douglas Peucker, Zhao & Saalfeld, Visvalingam & Whyatt, Reumann Witkam, Euclidean Distance, Wall Danielson, Latecki Lakamper, Bend Simplify και Li & Openshaw.

Μέσω της μορφής των γραμμών και της μεταβολής της στην κλίμακα 1:100.000 παρατηρείται η ίδια κατάταξη με εναλλαγή της σειράς των αλγορίθμων Zhao & Saalfeld και Visvalingam & Whyatt, οι οποίοι όμως παρουσιάζουν συγγενείς τιμές.

Μέσω της μορφής των γραμμών και της μεταβολής της στην κλίμακα 1:200.000 παρατηρείται η ίδια κατάταξη για τους επτά αλγορίθμους που προκαλούν την μικρότερη μεταβολή της μορφής με μόνη τη διαφορά της εναλλαγής μεταξύ των αλγορίθμων Li & Openshaw και Bend Simplify.

Κατά τη μελέτη της μορφής των γραμμών και της μεταβολής της στην κλίμακα 1:250.000 παρατηρείται η ίδια κατάταξη με αυτήν κατά την διατήρηση ενιαίας κλίμακας με εναλλαγή των Li & Openshaw και Bend Simplify.

Έτσι, θα μπορούσαμε να ιεραρχήσουμε τους αλγορίθμους βάσει της μεταβολής της μορφής που προκαλούν στις γραμμικές οντότητες, ξεκινώντας από αυτόν προκαλεί τη μικρότερη μεταβολή και καταλήγοντας σε αυτόν που προκαλεί την μεγαλύτερη ως εξής:



- i) Douglas Peucker
- ii) Zhao & Saalfeld- Visvlingam & Whyatt
- iii) Reumann Witkam
- iv) Ευκλείδειας απόστασης
- v) Wall Danielson
- vi) Latecki Lakamper
- vii) Bend Simplify- Li Openshaw

Βάσει της μέσης τιμής της απόστασης Hausdorff οι αλγόριθμοι κατατάσσονται από αυτόν που προκαλεί τη μικρότερη επιφανειακή μετάθεση προς αυτόν που προκαλεί την μεγαλύτερη ως εξής :

- i) Douglas Peucker
- ii) Visvlingam & Whyatt
- iii) Reumann Witkam
- iv) Zhao & Saalfeld
- v) Ευκλείδειας απόστασης
- vi) Wall Danielson
- vii) Bend Simplify
- viii) Li Openshaw
- ix) Latecki Lakamper

Τέλος, μέσω του διαγράμματος μεταβολής της οριζοντιογραφικής θέσης σε σχέση με τη μορφή και τη μεταβολή της μορφής των τελικών γραμμικών τμημάτων, επιβεβαιώνεται πως όλοι οι αλγόριθμοι εκτός των Li Openshaw, Bend Simplify και Latecki Lakamper, προκαλούν μικρή μεταβολή τόσο στην οριζοντιογραφική θέση όσο και την μορφή.

### 7.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Προκειμένου να επιτευχθεί η πλήρης αυτοματοποίηση της γενίκευσης των γραμμικών οντοτήτων, απαιτείται εκτενέστερη έρευνα στα παρακάτω θέματα:

- Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της απλοποίησης μέσω μεγαλύτερου πλήθους δείγματος και για μεγαλύτερο εύρος κλιμάκων.
- Προκειμένου να αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα της μελέτης που οδηγούν στον προσδιορισμό της σχέσης της μεταβολής της μορφής των χαρτογραφικών γραμμών και των μετασχηματισμών που εφαρμόζονται σε αυτές, πρέπει να τυποποιηθούν και να ενσωματωθούν σε ένα έμπειρο σύστημα με τη μορφή κανόνων. Το έμπειρο σύστημα οφείλει να διαχειρίζεται τις γραμμές ανάλογα με τη μορφή τους και η

εκτίμηση του αποτελέσματος θα μπορούσε να ενσωματωθεί στο έμπειρο σύστημα με υπολογισμό των διαφόρων μέτρων ανάμεσα στην αρχική και τη γενικευμένη γραμμή. Κατ' αυτόν τον τρόπο θα ελαχιστοποιηθεί η παρέμβαση του χαρτογράφου στη διαδικασία της γενίκευσης.

## 8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Σκοπελίτη Ανδριανή, 2002. Αναγνώριση , εκτίμηση και συμπεριφορά του σφάλματος στις βάσεις χαρτογραφικών δεδομένων.
2. Jasinski M. J., 1990. The comparison of complexity measures for cartographic lines.
3. McMaster R. B., 1986. A statistical analysis of mathematical measures for linear simplification.
4. Bernhardt M. C., 1992. Quantitative characterization of cartographic lines for generalization.
5. Plazanet C., 1995. Measurement, characterization and classification for automated line feature generalization.
6. Ruas A. & Plazanet C., 1996. Strategies for automated generalization.
7. Plazanet C., Affholder J. G. , Fritsch E. , .The importance of geometric modeling in linear feature generalization.
8. Jenks G.F, 1989. Geographic Logic in line generalization.
9. McMaster R. B., 1989. The integration of simplification and smoothing algorithms in line generalization. *Cartographica* pp 101- 121.
10. McMaster R. B., 1989. Automated line generalization. *Cartographica* pp 74- 111.
11. Buttenfield B., 1985. Treatment of the cartographic line.
12. Buttenfield B., 1989. Scale- dependence and Self- similarity in cartographic lines.
13. Buttenfield B., 1991. A rule for describing line feature geometry. In B. Buttenfield and R. McMaster, (Eds) *Map generalization: Making rules for knowledge representation*, Hallow, Essex, U.K.: Longman Scientific, pp 150-171
14. Namini N. S., 2002. A new approach for simplification of linear vector data for internet based GIS applications.
15. Weibel, R. & Dutton, G., 1999. Generalising spatial data and dealing with multiple representations. *Geographic Information Systems – Principles and Technical Issues*, volume 1. pp 125– 155.
16. Muller, J. C., R. Weibel, J. P Lagrange and F. Salge, 1995. Generalization: State of the art and issues. In Muller, J. C., Lagrange, J. - P., Weibel, R. (Eds.) *GIS and Generalization: Methodology and Practice*, London: Taylor and Francis, pp. 3-18.
17. Weibel, R., 1997. Generalization of spatial data: Principles and Selected Algorithms. In M. K. Kreveld, J. Nievergelt, T. Roos and P. Widmayer (Eds.), *Lecture notes in computer Science*, pp. 99-152
18. Ruas, A. and Plazanet, C. , 1996. Strategies for automated generalization. *Spatial data handling 1996*
19. S. Kazemi, S. Lim, C. Rizos School of Surveying & Spatial Information Systems, the University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia, ISPRS 2004 . A

review of map and spatial database generalization for developing a generalization framework

20. McMaster, R. B., Shea, K. S., 1989. Cartographic generalization in digital environment: a framework for implementation in a geographic information system. Proceedings of the American Congress of Surveying and Mapping.
21. Weibel, R., 1996. A Typology of Constraints to Line Simplification. In Kraak, M.J. and Molenaar, M. (Eds.) *Advances in GIS Research II (7th International Symposium on Spatial Data Handling)*, London: Taylor & Francis, pp. 533-546.
22. McMaster, R. B., Shea, K. S., 1992. Generalization in Digital Cartography. Association of American Geographers, 134 pages [pp.18-69]
23. Joao, E. M., 1995. The importance of quantifying the effects of generalization. In Muller, J. C., Lagrange, J. - P., Weibel, R. (Eds.), *GIS and Generalization: Methodology and Practice*, London: Taylor and Francis, pp.183-193.
24. Ruas, A., Lagrange, J. P. 1995. Data and knowledge modeling for generalization. In Muller, J.C., Lagrange, J.-P., Weibel, R. (Eds.). *GIS and generalization: Methodology and Practice*. London, Taylor and Francis, pp. 73-90.
25. AGENT 1999, AGENT project report «Constraint Analysis» (DA2), pp.70
26. Joao, E. M., 1998. Causes and consequences of generalization. Taylor and Francis, 248 pages.(Chapters 1,2,3,7)
27. Abbas, I, Grussenmeyer, P & Hottier, P 1995, 'Controle de la planimetrie d' une base de donnees vectorielles: une nouvelle methode basee sur la distance de Hausdorff: la methode du controle lineaire' *Bulletin S.F.T.P.* no. 137 (1995-1), pp. 6-11.
28. Douglas, D & Peucker, T 1973, 'Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature', *The Canadian Cartographer*, vol. 10, pp. 112–122.
29. Latecki, L J & Lakamper, R 1999, 'Polygon evolution by vertex deletion' in Nielsen, M Johansen P, Olsen, O F & Weickert, J Editors, 1999, '*Scale-Space Theories in Computer Vision, Proceedings of International Conference on Scale-Space'99*', vol. LNCS 1682.
30. Li, Z & Openshaw, S 1992, 'Algorithms for automated line generalization based on a natural principle of objective generalization', *IJGIS*, 6 (5), pp. 373-389.
31. Reumann, K. & Witkam, A P M 1974, 'Optimizing curve segmentation in computer graphics', *In Proceedings of International Computing Symposium*, North- Holland Publishing Company, Amsterdam, pp. 467–472.
32. Shi & Cheung 2006, 'Performance Evaluation of Line Simplification Algorithms for Vector Generalization', *The Cartographic Journal*, vol. 43 no. 1, pp. 27–44.
33. Skopeliti, A. & Tsoulos, L, 'A Methodology for the Assessment of Generalization Accuracy', *Fourth Workshop on Progress in Automated Map Generalization*, August 2-4, 2001, Beijing, China.

34. Skopeliti, A Tsoulos, L & Tzamakou T, 'The Shape of linear features – Structure Definition and Processing Over the Web', in *Proceedings GIS PLANET 2005*, ISBN 972-97367-5-8, Estoril Portugal, 30 May – 2 June, 2005.
35. Visvalingam, M & Whyatt, J D 1993, 'Line generalization by repeated elimination of points', *The Cartographic Journal*, 30 (1), pp. 46-51.
36. Wall, K & Danielsson, P E 1984, 'A Fast Sequential Method for Polygonal Approximation of Digitized Curves', *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, vol. 28, pp. 220-227.
37. Wang, Z & Muller, J C 1998, 'Line generalization based on analysis of shape characteristics', *Cartography and GIS*, vol. 25 (1).
38. Zhao, Z & Saalfeld, A 1997, 'Linear-time sleeve-fitting polyline', In *Autocarto 13*, ACSM/ASPRS'97 Technical Papers, Seattle, Washington, April 1997, vol. 5, pp. 214–223.
39. Skopeliti, A Tsoulos, L & Tzamakou T, ' A Comparative study of the Influence of Simplification algorithms on Linear Features' Shape and Position' in *Proceedings ICA 2007*, Moscow, 3 August– 10 August, 2007.