

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
Εργαστήριο Οδοποιίας



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
«Ανάπτυξη αλγορίθμου αναγνώρισης  
της γεωμετρίας υφιστάμενης οδού»

Φοιτητής: Καραογλάνης Γαβριήλ  
Επιβλέποντες : Ηλιού Νικόλαος, Καθηγητής  
Καλιαμπέτσος  
Γεώργιος, Επιστημονικός  
Συνεργάτης



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 13296/1  
Ημερ. Εισ.: 23-03-2015  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΠΜ  
2014  
ΚΑΡ

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας το ταξίδι μου ως φοιτητής τελειώνει.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου κ.Ηλιού και κ.Καλιαμπέτσο για την επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας, για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια αυτής. Σε όλη την διάρκεια της διπλωματικής ήταν παρόντες και τους ευχαριστώ για την υπομονή τους.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου, που σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου αλλά και κατά την σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, μου παρείχαν πολύτιμη βοήθεια.

Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Γρηγορία Καραχρήστου και Ιωάννη Καραογλάνη για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην οικογένεια μου.

Οκτώβριος 2014

Γαβριήλ Καραογλάνης

ΓΑΒΡΙΗΛ ΚΑΡΑΟΓΛΑΝΗΣ  
Επιβλέπων καθηγητής: Ν.ΗΛΙΟΥ

## ΣΥΝΟΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εύρεση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών υφιστάμενων οδών και συγκεκριμένα η εύρεση της οριζοντιογραφίας μέσω των συντεταγμένων  $(X,Y)$  τοπογραφικής αποτύπωσης, με σκοπό την υποβοήθηση του ελέγχου της οδικής ασφάλειας. Έτσι, δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα σε κώδικα FORTRAN που δέχεται και επεξεργάζεται τις πληροφορίες του τοπογραφικού υποβάθρου της υφιστάμενης οδού (σημεία  $X,Y$ ) και με την βοήθεια της στατιστικής μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης και της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων σε κύκλο παράγεται η οριζοντιογραφία με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη αλγορίθμων με μελλοντικό σκοπό την δημιουργία ενός προγράμματος Η/Υ το οποίο θα παράγει την οριζοντιογραφία της οδού (έχοντας και τις συντεταγμένες  $Z$ , θα μπορούσαμε να υπολογίσουμε και τα στοιχεία της μηκοτομής). Τα στοιχεία αυτά θα δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη του προγράμματος να αξιολογεί τη χάραξη των υφιστάμενων οδών απο άποψη ασφάλειας.

Πριν την ανάπτυξη των αλγορίθμων γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση όπου συγκεντρώνονται και σχολιάζονται οι διατάξεις των σύγχρονων οδηγιών οδοποιίας (RAA 2008, ΟΜΟΕ-Χ ) που αφορούν στη γεωμετρική χάραξη των οδών.

Εν συνεχεία , παρουσιάζονται νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν οι ερευνητές για την αποτύπωση υφυστάμενων οδών καθώς και το πρόγραμμα οδοποιίας πάνω στο οποίο θα γίνεται η γραφική αποτύπωση των αποτελεσμάτων του αλγορίθμου.

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της μεθόδου , παρουσιάζονται οι δυνατότητες της επέκτασης του αλγορίθμου , επισημαίνονται οι παραδοχές και οι απλοποιήσεις που έγιναν για τις ανάγκες της σύνταξής του.

Μετά απο την παρουσίαση της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε και την περιγραφή της επέκτασης του λογισμικού , αναπτύσσεται η πορεία της έρευνας που πραγματοποιήθηκε και η επεξήγηση του αλγορίθμου.

Μετα το πέρας της επεξήγησης του αλγορίθμου , επεξεργάζεται , με την βοήθεια του κώδικα , οδικό τμήμα και εξάγονται τα αποτελέσματα που θα χρησιμοποιηθούν απο τον χρήστη για τον έλεγχο της οδικής ασφάλειας

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, διατυπώνονται τα κυριότερα συμπεράσματα αυτής και προτείνονται θέματα για περαιτέρω έρευνα.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	1
ΣΥΝΟΨΗ .....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	11
2.1 Γενικές αρχές σχεδιασμού. ....	12
2.2 Ορισμοί .....	13
2.2.1 Ταχύτητα $V_{\text{επιτρ}}$ .....	13
2.2.2 Ταχύτητα μελέτης $V_e$ .....	13
2.2.3 Λειτουργική ταχύτητα $V_{85}$ .....	14
2.3 Γενικές αρχές χάραξης. ....	16
2.4 Στοιχεία οριζοντιογραφίας .....	22
2.4.1 Γερμανικές οδηγίες RAA2008.....	22
Α) Ευθυγραμμία.....	22
Β) Κυκλικά τόξα .....	23
Ελληνικές οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ.....	25
Α) Ευθυγραμμία.....	25
Β) Κυκλικά τόξα .....	33
Στοιχεία Μηκοτομής.....	38
Γερμανικές οδηγίες RAA2008.....	38
Α) Κατά μήκος κλίσεις.....	38
Β) Στρογγύλευση κυρτωμάτων και κοιλωμάτων .....	40
Ελληνικές οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ.....	42
Α) Κατά μήκος κλίση.....	42
Β) Κοίλες και κυρτές κατακόρυφες καμπύλες συναρμογής .....	47
2.6 Μέθοδοι αποτύπωσης των οδών πάνω σε ψηφιακά μοντέλα εδάφους (τοπογραφική αποτύπωση).....	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΣΥΝΤΑΞΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ .....	60
3.1 Γενικά.....	60
3.2 Αναπτυξη επιλεχθείσας μεθόδου για την σύνταξη του νέου λογισμικού.....	61
3.3 Θεωρητικό υπόβαθρο για την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.) .....	64
3.3.1 Προσαρμογή καμπυλών .....	64
3.3.2 Παλινδρόμηση.....	66
3.3.3 Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων .....	66
3.3.4 Η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων .....	69
3.3.5 Ο κύκλος των ελαχίστων τετραγώνων.....	73
3.3.6 Τυπικό σφάλμα εκτιμήσεως.....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ .....	81
4.1 Περιβάλλον εργασίας.....	81
<i>Αρχείο εισόδου(input) στον αλγόριθμο (δεδομένα X, Y) .....</i>	<i>82</i>
4.2 Βήματα Υπολογισμών στον Κώδικα.....	85
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5– ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΟΔΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ .....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6– ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....	101
6.1 Συμπεράσματα .....	101
6.2 Προτάσεις.....	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	105



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 – ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το οδικό δίκτυο συνιστά ένα μείζονος σημασίας τμήμα της συγκοινωνιακής υποδομής μιας χώρας. Στόχος και ευθύνη του μηχανικού είναι να μελετά και να κατασκευάζει οδούς που θα εξυπηρετούν την κυκλοφορία εξασφαλίζοντας στους οδηγούς την απαραίτητη ασφάλεια, άνεση και σταθερότητα των οχημάτων τους. Κάποια από τα βασικά στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη στον σχεδιασμό και την κατασκευή μίας οδού είναι τα χαρακτηριστικά των οχημάτων που θα εξυπηρετεί η οδός, η υπάρχουσα τοπογραφία του εδάφους και η ελαχιστοποίηση του κόστους. Συνεπώς ο μηχανικός καλείται να σχεδιάσει μία οδό που να παρέχει ασφάλεια και λειτουργικότητα στους χρήστες, αλλά συγχρόνως να αποτελεί ένα οικονομικά ανταγωνιστικό εγχείρημα.

Στην πραγματικότητα, η χάραξη ενός αυτοκινητόδρομου αποτελεί ένα πολύπλοκο τρισδιάστατο πρόβλημα, που δεν μπορεί να εκφραστεί με απλές μαθηματικές σχέσεις. Οι μηχανικοί έχουν αντιμετωπίσει το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζοντας την πολύπλοκη τρισδιάστατη χάραξη ως δύο ξεχωριστές δισδιάστατες χαράξεις (οριζοντιογραφία και μηκοτομή). Σε κάθε μία από αυτές, η χάραξη συνίσταται σε γεωμετρικά στοιχεία, τα οποία είναι εύκολο να υπολογιστούν και στη συνέχεια να κατασκευαστούν.

Παρ' όλα αυτά, είναι απαραίτητο ο μηχανικός να είναι βέβαιος πως η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή συνδυάζονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή δεν πρέπει να σχεδιάζονται ανεξάρτητα και ο συνδυασμός τους δεν πρέπει να αφήνεται στην τύχη. Οι δύο αυτές χαράξεις συμπληρώνουν η μία την άλλη, με αποτέλεσμα ανεπιτυχείς συνδυασμοί τους να υποβαθμίζουν τα καλά στοιχεία και να επιδεινώνουν τα ελαττώματα καθεμιάς τους. Αντίθετα, η άρτια μελέτη και ο σωστός συνδυασμός τους αυξάνει τη λειτουργικότητα και την ασφάλεια, επιτρέπει τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας και προσαρμόζει καλά την οδό στο περιβάλλον, σχεδόν πάντα χωρίς επιπλέον κόστος.

Υπάρχουν περιπτώσεις όμως, όπου η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή σχεδιάζονται ανεξάρτητα, ή ο συνδυασμός τους σε μία οδό δεν είναι επιτυχής και σαν συνέπεια αυτού, σε κάποια σημεία, παρατηρείται αύξηση των οδικών ατυχημάτων. Επίσης, σε λίγες περιπτώσεις η ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής μίας οδού επιτυγχάνεται εις βάρος της ασφάλειας του χρήστη με αποτέλεσμα το ποσοστό των οδικών ατυχημάτων να αυξάνεται.

Ακόμα, παρατηρούνται οδοί οι οποίες έχουν κατασκευαστεί πολύ παλιά με διαφορετικούς κανονισμούς (ή ακόμα και χωρίς κανονισμούς), για διαφορετικούς φόρτους επιβατηγών ή φορτηγών αυτοκινήτων και το κυριότερο με μικρότερες ταχύτητες μελέτης. Ειδικά στην χώρα μας το εθνικό δίκτυο αποτελείται από τέτοιου είδους οδούς σε αρκετά μεγάλο ποσοστό.

Η ανάγκη για άμεση αξιολόγηση του εθνικού οδικού δικτύου με σκοπό τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και την ελαχιστοποίηση των οδικών ατυχημάτων αποτελεί εθνικό στόχο. Ταυτόχρονα αποτελεί και μια πρόκληση για τον τεχνικό κόσμο που καλείται να καταγράψει, να αξιολογήσει και τελικά να προτείνει και να υλοποιήσει μέτρα βελτίωσης για τα χαρακτηριστικά του οδικού δικτύου που αποτελούν εν δυνάμει αιτίες οδικών ατυχημάτων. Η πρόκληση αυτή φέρνει τους υπεύθυνους μηχανικούς αντιμέτωπους με πολλές δυσκολίες (λόγω της φύσης του αντικειμένου) ενώ ταυτόχρονα στοχεύει στην προσδοκώμενη βελτίωση του οδικού δικτύου και την αποτελεσματική μείωση των οδικών ατυχημάτων

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία έχει ως στόχο την άμεση επισήμανση στοιχείων της γεωμετρίας της οδού που δεν πληρούν τους ισχύοντες κανονισμούς (ΟΜΟΕ-Χ, RAA-2008) και αποτελούν εν δυνάμει αιτίες ατυχημάτων. Η μέθοδος στηρίζεται στη χρήση τοπογραφικής αποτύπωσης του άξονα της οδού (συντεταγμένες X,Y,Z) από την οποία αντλούνται οι απαραίτητες πληροφορίες προκειμένου να εξαχθούν η οριζοντιογραφία.

Προκειμένου να επιταχυνθεί η διαδικασία επεξεργασίας της τοπογραφικής πληροφορίας δημιουργήθηκε ένας κώδικας, με τη βοήθεια στατιστικών μεθόδων (χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων τόσο για την εύρεση της βέλτιστης ευθείας όσο και για την εύρεση του βέλτιστου κύκλου σε μία ομάδα σημείων), εξάγει την οριζοντιογραφία της οδού με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση. Ο κώδικας είναι γραμμένος σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran.

Στα επόμενα κεφάλαια και συγκεκριμένα στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται μία βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπου συγκεντρώνονται και σχολιάζονται οι διατάξεις των σύγχρονων οδηγιών οδοποιίας που αφορούν στην γεωμετρική χάραξη των οδών. Εν συνεχεία, παρουσιάζονται νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν οι ερευνητές για την αποτύπωση υφισταμένων οδών καθώς και το πρόγραμμα οδοποιίας πάνω στο οποίο θα γίνει η γραφική αποτύπωση της οριζοντιογραφίας της οδού .

Στο **Κεφάλαιο 3** ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της τελικής μεθόδου, παρουσιάζονται οι δυνατότητες του νέου προγράμματος, ενώ, παράλληλα, επισημαίνονται οι παραδοχές και οι απλοποιήσεις που έγιναν για τις ανάγκες της σύνταξής του.

Στη συνέχεια, στο **Κεφάλαιο 4** μετά από την παρουσίαση της μεθόδου που τελικά χρησιμοποιήθηκε , έπεται μία αναλυτική περιγραφή και επεξήγηση του κώδικα που δημιουργήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Στο **Κεφάλαιο 5** , παρουσιάζονται δύο παραδείγματα όπου χρησιμοποιούμε τα δεδομένα  $x,y$  των υφιστάμενων οδών και παραθέτονται γραφικά στο ανάδελτα τα αποτελέσματα του κώδικα.

Τέλος , στο **Κεφάλαιο 6** γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και βελτιστοποίηση του προγράμματος και αναφέρονται τα συμπεράσματα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στο κεφάλαιο που ακολουθεί επιχειρείται μια παρουσίαση και ανάλυση των υποδείξεων των γερμανικών (RAA 2008), και των ελληνικών (ΟΜΟΕ-Χ) κανονισμών-οδηγιών σχεδιασμού αυτοκινητοδρόμων που αφορούν τη γεωμετρική χάραξη μιας οδού και συγκεκριμένα τα στοιχεία της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής. Η παρουσίαση αυτή επιλέχθηκε να γίνει είτε με ταυτόχρονη παρουσίαση στοιχείων από όλες τις διαθέσιμες πηγές - για τα γενικά χαρακτηριστικά - είτε ξεχωριστά για τα σημαντικότερα στοιχεία που ενδιαφέρουν την παρούσα διπλωματική, κυρίως από τους γερμανικούς κανονισμούς οι οποίοι έχουν εφαρμογή στον ελλαδικό χώρο.

Για τη σαφέστερη απόδοση των διατάξεων αυτών, παρατίθενται σκαριφήματα εικόνων καθώς και πίνακες ελάχιστων και μέγιστων τιμών που έχουν ληφθεί από τα κείμενα των ίδιων των οδηγιών,

Στη συνέχεια παρουσιάζονται νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν από τους ερευνητές τα τελευταία χρόνια στην προσπάθειά τους να αποτυπώσουν ψηφιακά τις οδούς και να δημιουργήσουν πολύτιμα εργαλεία για τους μελετητές.

Τέλος, παρουσιάζονται συνοπτικά οι δυνατότητες γραφικής απεικόνισης και επεξεργασίας των οδών των κυριότερων προγραμμάτων οδοποιίας που κυκλοφορούν στην ελληνική αγορά και χρησιμοποιούνται ευρέως από τους Έλληνες μελετητές.

## 2.1 Γενικές αρχές σχεδιασμού.

Οι βασικοί στόχοι που πρέπει να επιτυγχάνονται με το γεωμετρικό σχεδιασμό της οδού, είναι:

- α. η λειτουργία – ασφάλεια
- β. η ποιότητα κυκλοφορίας
- γ. η οικονομία
- δ. η αισθητική

Παράλληλα με αυτούς τους στόχους πρέπει οπωσδήποτε να επιτυγχάνεται και ο στόχος της εναρμόνισης της οδού με το περιβάλλον. Σε ό,τι αφορά τους στόχους οικονομίας και αισθητικής, αυτοί μπορούν να ανακατατάσσονται ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες του έργου.

Από την προαναφερόμενη ιεράρχηση γίνεται εμφανές ότι ουσιαστικά είναι αδύνατη η επίτευξη ενός από τους στόχους χωρίς να υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις στην προσπάθεια προσέγγισης των υπολοίπων. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι εφικτή η ταυτόχρονη επίτευξη όλων των προαναφερόμενων στόχων με την «απόλυτα βέλτιστη» χάραξη μίας οδού και κατά συνέπεια ο γεωμετρικός σχεδιασμός της οδού αποβλέπει στην εύρεση μίας «αποδεκτής συμβιβαστικής» λύσης.

Αυτό είναι απαραίτητο, αν ληφθεί υπόψη ότι οι παράγοντες που αφορούν τον οδηγό, το όχημα και την ίδια την οδό επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα τα στοιχεία της μελέτης της οδού που σχετίζονται με το οδικό δίκτυο, τη διατομή της οδού, την οριζοντιογραφία, την μηκοτομή, την ορατότητα και τη χάραξη της οδού στο χώρο

## 2.2 Ορισμοί

Παρακάτω παρατίθενται ορισμοί και συνοπτική περιγραφή ορισμένων μεγεθών που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της οδικής ασφάλειας, σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ - Χ. Επίσης παρουσιάζονται μεγέθη που χρησιμοποιήθηκαν σε παλαιότερες έρευνες, ώστε αυτές να γίνουν περισσότερο κατανοητές.

### 2.2.1 Ταχύτητα $V_{\text{επιτρ}}$

Η επιτρεπόμενη ταχύτητα  $V_{\text{επιτρ}}$  είναι το τοπικό ή σχετικά ισχύον μέγιστο όριο ταχύτητας. Η επιτρεπόμενη ταχύτητα διαφέρει ανάλογα με την κατηγορία της οδού. Η ταχύτητα αυτή θεωρείται καθοριστική, διότι η ταχύτητα μελέτης, η οποία σχετίζεται άμεσα με τα στοιχεία της μελέτης της οδού, πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση με την επιτρεπόμενη ταχύτητα.

### 2.2.2 Ταχύτητα μελέτης $V_e$

Η ταχύτητα μελέτης  $V_e$  προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τα περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια, που ανταποκρίνονται στον προβλεπόμενο λειτουργικό χαρακτήρα της οδού, στο οδικό δίκτυο και την επιδιωκόμενη ποιότητα κυκλοφοριακής ροής, με βάση τον λειτουργικό χαρακτήρα της οδού. Στην ταχύτητα μελέτης αντιστοιχούν οριακές και προτεινόμενες τιμές για τα περισσότερα στοιχεία μελέτης καθώς και οι αποδεκτές τιμές για τη συσχέτιση των μεμονωμένων στοιχείων μελέτης.

Ειδικότερα για ένα οδικό τμήμα η ταχύτητα μελέτης καθορίζει:

- τις ελάχιστες ακτίνες των οριζόντιων καμπυλών
- τις ελάχιστες παραμέτρους των κλωθοειδών τις μέγιστες κατά μήκος κλίσεις
- τις ελάχιστες ακτίνες των κυρτών και κοίλων κατακόρυφων καμπυλών.

Με τον τρόπο αυτό η  $V_e$  επηρεάζει, μεταξύ άλλων, αποφασιστικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός οδικού τμήματος, ιδιαίτερα αυτών της ομάδας A, το επίπεδο εξυπηρέτησης της οδού και την οικονομικότητα. Συμπερασματικά, η ταχύτητα μελέτης  $V_e$  πρέπει να μείνει σταθερή κατά το δυνατόν σε οδικά τμήματα μεγάλου μήκους, που αποτελούν χαρακτηριστικές ενότητες και αλληλεξαρτώνται.

### 2.2.3 Λειτουργική ταχύτητα V85

Η λειτουργική ταχύτητα V85 είναι ένα μέγεθος που χρησιμοποιείται στο γεωμετρικό σχεδιασμό μεμονωμένων στοιχείων μελέτης της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και της διατομής και έχει άμεση σχέση με τη δυναμική της κίνησης των οχημάτων. Στις οδούς της ομάδας A (υπεραστικές οδοί με βασική λειτουργία τη σύνδεση) η ταχύτητα V85 αντιστοιχεί στην ταχύτητα, με την οποία θα κινηθεί ανεμπόδιστα το 85% των επιβατηγών οχημάτων σε καθαρό και υγρό οδόστρωμα. Η ταχύτητα V85 μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ποιότητας σχεδιασμού των οδικών τμημάτων όσον αφορά την ασφάλειά τους.



Αναφορικά με τη μέτρηση της ταχύτητας V85 σε υγρά οδοστρώματα, σχετικές έρευνες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η ταχύτητα V85 σε στεγνό οδόστρωμα, δεν διαφέρει ουσιαστικά από την ταχύτητα V85 σε υγρό οδόστρωμα, εφόσον η ένταση της βροχής είναι τέτοια, ώστε το μήκος ορατότητας των οδηγών να είναι τουλάχιστον ίσο με 150 m. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα V85 που αναφέρεται στην κρίσιμη περίπτωση του υγρού οδοστρώματος, ισχύει τόσο σε υγρά όσο και σε στεγνά οδοστρώματα.

Σύμφωνα με τους Ελληνικούς Κανονισμούς, η ταχύτητα V85 για τις οδούς ομάδας A με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, περίπτωση στην οποία υπάγονται οι υπό μελέτη οδοί, είναι συνάρτηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού. Η V85 προσδιορίζεται για κάθε μεμονωμένο γεωμετρικό στοιχείο (καμπύλη ή ευθυγραμμία) καθώς επίσης και για ένα οδικό τμήμα με ενιαία χαρακτηριστικά.

Οι καθοριστικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την τιμή της ταχύτητας V85 είναι η ελκτικότητα ΚΕ της μεμονωμένης καμπύλης και το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας b. Η ταχύτητα V85 υπολογίζεται χωριστά για κάθε μία καμπύλη χάραξης της οδού ως συνάρτηση της τιμής της ελκτικότητας ΚΕ της κάθε μεμονωμένης καμπύλης, καθώς επίσης και για κάθε “Ανεξάρτητη Ευθυγραμμία” (ΚΕ = 0 gon/km).

Η ταχύτητα V85 σε οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας της ομάδας A προσδιορίζεται ως η μέση τιμή των ταχυτήτων και για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας, σε συνάρτηση με το τεταμένο της καμπύλης ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του οδικού τμήματος (κατά μήκος κλίση, μήκος εφαρμογής της κλίσης και πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας).

Βέβαια για την εξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων σχετικά με την ταχύτητα V85 στον Ελλαδικό χώρο χρειάζεται περαιτέρω έρευνα.

### 2.3 Γενικές αρχές χάραξης.

#### Γερμανικές οδηγίες RAA 2008

Η διαστασιολόγηση των στοιχείων μελέτης για τη χάραξη αυτοκινητοδρόμων γίνεται βάσει στάθμισης παραγόντων ασφάλειας και υπολογισμών που αφορούν την δυναμική της κίνησης των οχημάτων.

Τα στοιχεία μελέτης για τα ελεύθερα οδικά τμήματα των αυτοκινητοδρόμων της ΤΜΑ1 Α βασίζονται στην απαίτηση της ασφαλούς κίνησης με ταχύτητα 130 km/h σε βρεγμένο οδόστρωμα. Στους αυτοκινητοδρόμους της ΤΜΑ 2 συνήθως το ζητούμενο είναι η καλύτερη προσαρμογή στο φυσικό τοπίο και, συνεπώς, η οικονομικότερη χάραξη. Οι αυτοκινητόδρομοι της ΤΜΑ 3 υπόκεινται σε διαφορετικές μελετητικές-τεχνικές και κυκλοφοριακές οριακές συνθήκες. Καταρχήν λειτουργούν βάσει κάποιας επιτρεπόμενης μέγιστης ταχύτητας.

Οι βασιζόμενες σε παράγοντες δυναμικής της κίνησης των οχημάτων, οριακές ή ελάχιστες τιμές των στοιχείων μελέτης διαστασιολογήθηκαν με τις παρακάτω ταχύτητες για βρεγμένο οδόστρωμα:

- για αυτοκινητοδρόμους μεγάλων αποστάσεων (ΤΜΑ 1 Α) 130 km/h
- για υπερτοπικούς αυτοκινητοδρόμους (ΤΜΑ 1 Β) 120 km/h
- για οδούς παρόμοιες με αυτοκινητοδρόμους (ΤΜΑ 2) 100 km/h
- για αστικούς αυτοκινητοδρόμους (ΤΜΑ 3) 80 km/h

Πρέπει να γίνεται αμοιβαία προσαρμογή της οριζοντιογραφίας και μηκοτομής και, κατά τη διαδικασία αυτή, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι αρχές της χάραξης στο χώρο. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίδεται στην αμοιβαία προσαρμογή κατά την αναβάθμιση/επέκταση ήδη υφιστάμενων αυτοκινητοδρόμων. Σε αυτούς τους αυτοκινητοδρόμους, κυρίως όταν το φυσικό τοπίο παρουσιάζει εναλλαγές, τυχόν βελτιώσεις των κατά μήκος κλίσεων έχουν κατά κανόνα ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες ταχύτητες κίνησης των οχημάτων, οι οποίες απαιτούν συχνά και τροποποίηση της οριζοντιογραφίας.

Επίσης, μετά τον καθορισμό του άξονα και της κατά μήκος κλίσης, η χάραξη πρέπει να ελέγχεται όσον αφορά την τήρηση του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση (ΜΟΣ). Στο μήκος ορατότητας για στάση έχουν αντιστοιχηθεί επίσης τιμές σε συνάρτηση με την ταχύτητα αναφοράς ή την επιτρεπόμενη μέγιστη ταχύτητα που ενδεχομένως πρέπει να καθορισθεί.

### Ελληνικές οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ

Η μελέτη χάραξης περιλαμβάνει τη μελέτη:

- οριζοντιογραφίας,
- μηκοτομής,
- διατομών,
- ορατότητας,

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στις σύγχρονες μελέτες οδοποιίας συγκεντρώνει η έννοια της αρμονίας και της συνέχειας μεταξύ των στοιχείων της μελέτης. Κατά κανόνα η ταχύτητα μελέτης  $V_e$  πρέπει να παραμένει σταθερή για οδικά τμήματα μεγάλου μήκους. Με αυτό τον τρόπο τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά κατά μήκος του οδικού τμήματος καθίστανται ομοιόμορφα για τον οδηγό.

Αν σε ένα οδικό τμήμα μεγάλου μήκους εξαιτίας των τοπογραφικών συνθηκών απαιτηθεί η αλλαγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού και επιβάλλεται η αλλαγή της ταχύτητας μελέτης, τότε είναι απαραίτητη η συσχέτιση των στοιχείων μελέτης σε ένα μήκος σύναρμογής μεταξύ των δύο τμημάτων με διαφορετικές ταχύτητες μελέτης, έτσι ώστε η μεταβολή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών να είναι σταδιακή. Αυτό εξασφαλίζεται με την ικανοποίηση του Κριτηρίου Ασφαλείας I: «Επίτευξη αρμονίας και συνέχειας στην μελέτη της οδού»

Επίσης η λειτουργική ταχύτητα  $V_{85}$  πρέπει να παρουσιάζει συνέχεια κατά μήκος της οδού. Αυτό επιτυγχάνεται με το Κριτήριο Ασφαλείας II: «επίτευξη αρμονίας και συνέχειας στην λειτουργική ταχύτητα» καθώς επίσης και με διατήρηση της σχέσης των διαδοχικών ακτίνων κυκλικών τόξων.

Η αρμονική ακολουθία των δυναμικών δεδομένων της κίνησης των οχημάτων στα διαδοχικά στοιχεία μελέτης, ενός οδικού τμήματος με σταθερή ταχύτητα μελέτης, ιδιαίτερα στις οδούς της ομάδας Α, δημιουργεί τις προϋποθέσεις για ένα ομοιόμορφο και οικονομικό τρόπο οδήγησης. Αυτό εξασφαλίζεται με το Κριτήριο Ασφαλείας III: «Επίτευξη αρμονίας και συνέχειας στην δυναμική κίνηση των οχημάτων» (βλ. Πίνακα 1). Η αρχή της αρμονίας και της συνέχειας μεταξύ των διαδοχικών στοιχείων μελέτης ισχύει επίσης για τις οδούς της ομάδας Β, στις οποίες ο τρόπος οδήγησης επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από το όριο ταχύτητας παρά από τη δυναμική της κίνησης των οχημάτων, εφόσον με τον τρόπο αυτό δεν παρεμποδίζεται η επίτευξη των άλλων στόχων της μελέτης που αφορούν π.χ. στην πολεοδομία, στην προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς κτλ.

Σε έργα ανακατασκευής και βελτίωσης υφισταμένων οδών πρέπει να εξετάζονται τα στοιχεία μελέτης των τμημάτων που ακολουθούν (πριν και μετά) το βελτιούμενο ή ανακατασκευαζόμενο τμήμα, ώστε όταν διαπιστώνονται αισθητές διαφορές στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού να παρεμβάλλονται οδικά τμήματα που να πληρούν τα διατυπωθέντα Κριτήρια Ασφαλείας.

Τα κριτήρια ασφαλείας I και II που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα θεωρούνται αρκετά εξεζητημένα για την Ελλάδα σε σχέση με τους γερμανικούς κανονισμούς RAA 2008 και τους αμερικάνικους AASHTO 2004. Παρόλα αυτά θα χρησιμοποιηθούν στον έλεγχο ΟΜΟΕ που θα γίνει στο τέλος της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Πίνακας 1: Οριακές τιμές ισχύος των Κριτηρίων Ασφαλείας I, II και III για καλή, μέτρια και μη αποδεκτή ποιότητα σχεδιασμού για οδούς των ομάδων A και B.

Κριτήριο Ασφαλείας	Ποιότητα Σχεδιασμού		
	Καλή	Μέτρια	Μη αποδεκτή
I	$ V_{85} - V_e  \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} <  V_{85} - V_e  \leq 20 \text{ km/h}$	$20 \text{ km/h} <  V_{85} - V_e $
II	$ V_{85_i} - V_{85_{i+1}}  \leq 10 \text{ km/h}$	$10 \text{ km/h} <  V_{85_i} - V_{85_{i+1}}  \leq 20 \text{ km/h}$	$20 \text{ km/h} <  V_{85_i} - V_{85_{i+1}} $
III	$0,00 \leq f_R - f_{RA}$	$-0,04 \leq f_R - f_{RA} < 0,00$	$f_R - f_{RA} < -0,04$

όπου :

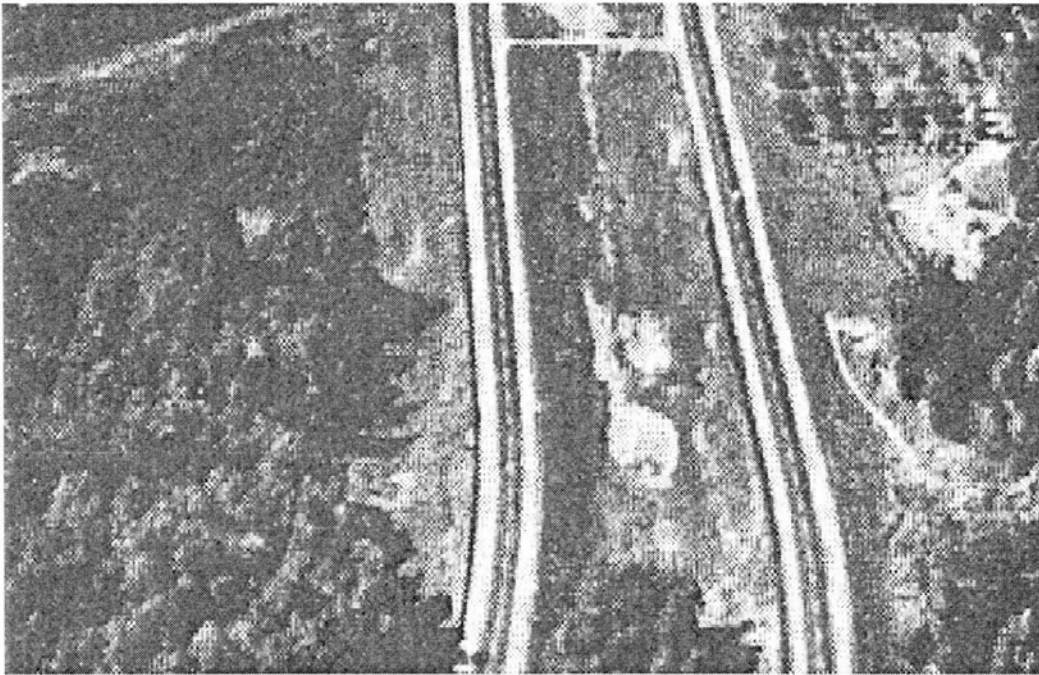
$V_{85}$  [km/h] = λειτουργική ταχύτητα 85%

$V_e$  [km/h] = ταχύτητα μελέτης

$f_R$  [-] = διατιθέμενος συντελεστής πλευρικής τριβής σε καμπύλη

$f_{RA}$  [-] = απαιτούμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής σε καμπύλη

Ακολουθούν παραδείγματα χάραξης οδού στο φυσικό περιβάλλον έτσι ώστε ο αναγνώστης να μπορεί να ξεχωρίσει μία καλά προσαρμοσμένη χάραξη από μία όχι καλή χάραξη. (Εικόνες 2.1 και 2.2)



*Εικόνα 2.1 Χάραξη καλά προσαρμοσμένη στο φυσικό περιβάλλον[9]*



*Εικόνα 2.2: Χάραξη όχι καλά προσαρμοσμένη στο φυσικό περιβάλλον[9]*

## 2.4 Στοιχεία οριζοντιογραφίας

### 2.4.1 Γερμανικές οδηγίες RAA2008

#### A) Ευθυγραμμία

Σύμφωνα με τις γερμανικές οδηγίες, οι μεγάλοι μήκους ευθυγραμμίες στην οριζοντιογραφία, ειδικά όταν έχουν σταθερή κατά μήκος κλίση, πρέπει να αποφεύγονται καθώς συνοδεύονται από έναν αριθμό μειονεκτημάτων:

- Σπάνια παρέχουν τη δυνατότητα αρμονικής και σταθερής χάραξης, προσαρμοσμένης στο τοπίο.
- Δυσχεραίνουν την εκτίμηση των αποστάσεων και ταχυτήτων των προπορευόμενων και επόμενων καθώς και των αντίθετα κινούμενων οχημάτων.
- Παρασύρουν τον οδηγό σε πολύ υψηλές ταχύτητες.
- Μειώνουν την κυκλοφοριακή ασφάλεια καθώς προκαλούν μονοτονία, ενδεχομένως και κόπωση.
- Ακόμη ενδέχεται να οδηγήσουν σε θάμβωση του οδηγού από τους προβολείς των αντίθετα κινούμενων οχημάτων κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Για τον λόγο αυτό συνιστάται το μήκος των ευθυγραμμιών να περιορίζεται σε  $\max L=2.000m$  Όσο μεγαλύτερα στοιχεία μελέτης επιλέγονται που γειτνιάζουν με μεγάλες ευθυγραμμίες, τόσο αρμονικότερη είναι η συναρμογή μεταξύ των στοιχείων.



Θα πρέπει να αποφεύγεται η διάταξη μικρών ενδιάμεσων ευθυγραμμιών ανάμεσα σε ομόρροπες καμπύλες. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, το ελάχιστο μήκος πρέπει να ανέρχεται σε  $\min L = 400 \text{ m}$  έτσι ώστε η ενδιάμεση ευθυγραμμία να αναδεικνύεται ως αυτόνομο στοιχείο μελέτης.

Για να αμβλυθεί λοιπόν η δυσμενής εντύπωση που προκαλείται από την πολλές φορές επιβεβλημένη για άλλους λόγους οριζοντιογραφική ευθυγραμμία, συνιστάται αυτή να συνοδεύεται από κοίλωμα με μεγάλη ακτίνα τόξου στρογγύλευσης στη μηκοτομή. Ακόμη, ενδέχεται να είναι προτιμότερη η χρήση οριζοντιογραφικής καμπύλης με ιδιαίτερα μεγάλη ακτίνα.

Ακόμη, στις RAA 2008 επισημαίνεται ότι η διάταξη μικρών ενδιάμεσων ευθυγραμμιών μεταξύ δύο ομόρροπων κυκλικών τόξων πρέπει να αποφεύγεται. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, προτείνεται ένα ελάχιστο μήκος για την ενδιάμεση ευθυγραμμία έτσι ώστε αυτή να αναδεικνύεται ως αυτόνομο στοιχείο μελέτης.

## **B) Κυκλικά τόξα**

Οι RAA 2008 αναφέρουν πως οι ακτίνες των κυκλικών τόξων πρέπει να είναι τόσο μεγάλες ώστε το μέγεθος και η σειρά τους να εναρμονίζονται με το φυσικό τοπίο και τα χαρακτηριστικά στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου και, κατά περίπτωση, να προσαρμόζονται προσεκτικά στις απαιτήσεις των παρόδων χρήσεων γης και της αρμονικής χάραξης στο χώρο.

Ακόμη, επισημαίνουν τη σημασία της προσαρμογής διαδοχικών ακτίνων κυκλικών τόξων, καθώς αυτή προάγει τη διατήρηση σταθερής ταχύτητας και, συνεπώς, έναν ασφαλή τρόπο οδήγησης. Γι' αυτό συνιστούν στις διαδοχικές ακτίνες κυκλικών τόξων, εφόσον  $R1 \leq 1500m$ , να τηρείται η προϋπόθεση:  $R1/R2 \leq 1,5$ .

Τα κυκλικά τόξα πρέπει να έχουν ένα ελάχιστο μήκος (Πίνακας 2), έτσι ώστε οι οδηγοί να μην χρειάζεται μετά την περιστροφή του τιμονιού προς μία κατεύθυνση να το περιστρέψουν αμέσως προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Πίνακας 2: Ελάχιστες ακτίνες (για  $q = 6,0 \%$ ) και ελάχιστα μήκη κυκλικών τόξων

ΤΑΞΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	Min R [m]	Max L [m]
TMA 1 A	900	75
TMA 1 B	720	
TMA 2	470	55
TMA 3	280	

Σε αυτοκινητοδρόμους χωρίς περιορισμό της επιτρεπόμενης ταχύτητας οι μεγάλες ευθυγραμμίες έχουν ως αποτέλεσμα πολύ μεγάλες ταχύτητες κίνησης. Γι' αυτόν τον λόγο μετά από ευθυγραμμίες μήκους  $LG > 500 m$  θα πρέπει να τηρείται ελάχιστη ακτίνα,  $minR = 1.300 m$ .

Και στις αμερικανικές οδηγίες επισημαίνεται ότι θα πρέπει να αποφεύγονται απότομες μεταβάσεις από μεγάλες σε μικρές ακτίνες και να επιδιώκεται βαθμιαία μείωσή τους, ώστε να δίνεται η δυνατότητα στους οδηγούς να προσαρμόσουν την ταχύτητά τους στις νέες συνθήκες με ασφάλεια.

## Ελληνικές οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ

### A) Ευθυγραμμία

Ως στοιχείο μελέτης, η ευθυγραμμία μπορεί να θεωρηθεί ότι υπερτερεί

- στην περίπτωση των οδών της ομάδας A:

σε εδάφη με ανάγλυφο, που ευνοεί την εφαρμογή ευθυγραμμιών, όπως σε πεδιάδες, οροπέδια, κοιλάδες κτλ.

σε περιοχές ισόπεδων και ανισόπεδων κόμβων,

προκειμένου να εξασφαλισθούν τα αναγκαία μήκη ορατότητας για προσπέραση σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας και ιδιαίτερα σε κοίλες κατακόρυφες καμπύλες,

προκειμένου να προσαρμοσθεί η χάραξη σε τμήματα σιδηροδρομικών γραμμών, σε αγωγούς και σε άλλα τεχνικά έργα.

- στην περίπτωση των οδών της ομάδας B:

προκειμένου να ικανοποιηθούν απαιτήσεις του πολεοδομικού σχεδιασμού,

σε περιοχές ισόπεδων και ανισόπεδων κόμβων.

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα πλεονεκτήματα, η εφαρμογή μεγάλων ευθυγραμμιών με σταθερή κατά μήκος κλίση, ιδιαίτερα στις οδούς της ομάδας Α, παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα :

- δυσχεραίνεται η εκτίμηση των αποστάσεων και των ταχυτήτων των κινούμενων οχημάτων τόσο στην ίδια όσο και στην αντίθετη κατεύθυνση
- αυξάνεται ο κίνδυνος θάμβωσης από τα φώτα των αντίθετα κινουμένων οχημάτων κατά τη διάρκεια της νύκτας,
- προκαλούν κόπωση στους οδηγούς και
- προσαρμόζονται δύσκολα στο ανάγλυφο των λοφωδών και ορεινών εδαφών.

Για τους υπόψη λόγους σε νέες κατασκευές οδών της ομάδας Α πρέπει να αποφεύγονται οι μεγάλες ευθυγραμμίες με σταθερή κατά μήκος κλίση. Ακόμη μεταξύ ομορρόπων καμπυλών πρέπει να αποφεύγονται οι μικρές ευθυγραμμίες, κυρίως για αισθητικούς λόγους. Αν είναι αναπόφευκτη η διάταξη τέτοιου είδους ευθυγραμμιών, τότε η αισθητική της οδού μπορεί να βελτιωθεί με την εφαρμογή μίας κοίλης κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής.

#### *Τυπικές τιμές*

Λόγω της πιθανότητας θάμβωσης από τα φώτα και της κόπωσης των οδηγών το μέγιστο μήκος της ευθυγραμμίας με σταθερή κατά μήκος κλίση  $\max L$  [m] δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει το 20πλάσιο της ταχύτητας μελέτης  $V_e$  [km/h] .

Για τις οδούς της ομάδας Α, οι ευθυγραμμίες μικρού μήκους μεταξύ ομορρόπων καμπυλών πρέπει να αποφεύγονται. Αν αυτό δεν είναι δυνατό, τότε το ελάχιστο μήκος της ευθυγραμμίας  $\min L$  [m] κυρίως για λόγους αισθητικής θα πρέπει να είναι ίσο τουλάχιστον με το δπλάσιο της ταχύτητας μελέτης  $V_e$  [km/h].

Για τις οδούς της ομάδας Α οι ευθυγραμμίες μικρού μήκους πρέπει να συνδυάζονται με κυκλικά τόξα και τόξα συναρμογής κατά τέτοιο τρόπο, ώστε σε σχέση με τα στοιχεία της μηκοτομής να επιτυγχάνεται τελικά μία ικανοποιητική, σύμφωνα με τις υποδείξεις και βασικές αρχές, χάραξη στο χώρο.

Αξιολόγηση ευθυγραμμιών κατά την εκπόνηση μελετών

Στις παρούσες Οδηγίες οδοποιίας η ευθυγραμμία θεωρείται ως «δυναμικό στοιχείο μελέτης» λαμβανομένων υπόψη των αναγκαίων επιταχύνσεων και επιβραδύνσεων των οδηγών. Σημειώνεται, ότι σε αντίθεση με την ευθυγραμμία το κυκλικό τόξο θεωρείται δυναμικό στοιχείο μελέτης ήδη από τη δεκαετία του '20 με την μελέτη της εγκάρσιας (φυγόκεντρης) επιτάχυνσης.

Ενώ για την αξιολόγηση των κυκλικών τόξων με ή χωρίς τόξα συναρμογής έχουν ουσιαστική σημασία τα Κριτήρια I και III για την αξιολόγηση της ευθυγραμμίας καθοριστική σημασία έχει το Κριτήριο Ασφαλείας II «επίτευξη αρμονίας και συνέχειας στην λειτουργική ταχύτητα», προκειμένου να αξιολογηθεί η μετάβαση από την ευθυγραμμία στην καμπύλη ως καλός, μέτριος, ή μη αποδεκτός σχεδιασμός

Για την υπόψη ανάλυση απαιτείται ο ορισμός δύο τύπων ευθυγραμμιών:

1. «Εξαρτημένες ευθυγραμμίες»: είναι εκείνες οι ευθυγραμμίες, οι οποίες έχουν σχετικά μικρό μήκος με αποτέλεσμα η διαφορά μεταξύ των διαδοχικών ταχυτήτων  $V_{85}$  να μην μπορεί να υπερβεί την επιτρεπόμενη, σύμφωνα με το Κριτήριο Ασφαλείας II (Πίνακας 1) για καλή ποιότητα σχεδιασμού ( $\Delta V_{85} \leq 10$  km/h) ή ακόμη και για μέτρια ποιότητα σχεδιασμού ( $\Delta V_{85} \leq 20$  km/h) κατά τη διάρκεια επιταχυνόμενων ή επιβραδυνόμενων κινήσεων των οχημάτων. Στην περίπτωση αυτή, η διαδικασία αξιολόγησης της αλληλουχίας των στοιχείων μελέτης από την άποψη της ασφαλείας καθορίζεται από την αλληλουχία καμπύλη – καμπύλη και αγνοείται η ύπαρξη της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας.

2. «Ανεξάρτητες ευθυγραμμίες»: Είναι εκείνες οι ευθυγραμμίες, οι οποίες έχουν επαρκές μήκος, ώστε η διαφορά μεταξύ των διαδοχικών ταχυτήτων  $V_{85}$  να μπορεί ενδεχομένως να υπερβεί την επιτρεπόμενη διαφορά σύμφωνα με το Κριτήριο Ασφαλείας II (Πίνακας 1) για μη αποδεκτή ποιότητα σχεδιασμού ( $\Delta V_{85} > 20$  km/h) κατά τη διάρκεια επιταχυνόμενων ή επιβραδυνόμενων κινήσεων των οχημάτων.

Στην περίπτωση αυτή η διαδικασία αξιολόγησης της αλληλουχίας των στοιχείων μελέτης καθορίζεται από την αλληλουχία στοιχείων ευθυγραμμία – καμπύλη (η ύπαρξη της ευθυγραμμίας δεν αγνοείται).

Με βάση τις τεχνικές που μπορούν να ακολουθούν τα οχήματα η μέση τιμή ( $\alpha$ ) επιβράδυνσης ή επιτάχυνσης των οχημάτων προσδιορίζεται ίση με  $0.85$  m/s<sup>2</sup>.

Κατά συνέπεια η σχέση που δίδει το μήκος συναρμογής ταχυτήτων (μήκος ευθυγραμμίας TL μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών είναι:

$$TL = \frac{V_{85,1}^2 - V_{85,2}^2}{2 \cdot a \cdot 3,6^2} = \frac{V_{85,1}^2 - V_{85,2}^2}{22,03}$$

όπου:

$V_{85,1}$  [km/h] = λειτουργική ταχύτητα 85% στην καμπύλη

TL [m] = μήκος ευθυγραμμίας μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών

$a$  [m/s<sup>2</sup>] = τυπική επιτάχυνση / επιβράδυνση οχημάτων

Προκειμένου να αποφευχθεί η υιοθέτηση πολύ συντηρητικών τιμών, τα μήκη των ευθυγραμμιών μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών που αντιστοιχούν σε μέτριο σχεδιασμό οδών χαρακτηρίζονται «εξαρτημένες ευθυγραμμίες».

Οι αντίστοιχες τιμές αυτών των ευθυγραμμιών περιβάλλονται από έντονη γραμμή πλαισίου στον Πίνακα 3. Μέχρι τις τιμές αυτές οι μεταβολές της ταχύτητας  $V_{85}$  μεταξύ διαδοχικών καμπυλών μελετώνται αγνοώντας την ύπαρξη των ευθυγραμμιών μεταξύ των καμπυλών, προκειμένου να εφαρμοσθεί το Κριτήριο Ασφαλείας II (Πίνακας 1). Έτσι καλύπτεται η κρίσιμη περίπτωση της μέτριας ποιότητας σχεδιασμού μίας οδού ( $\Delta V_{85} = 20$  km/h), ιδιαίτερα όσον αφορά τις επιβραδύνσεις.

Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις ( $\Delta V_{85} < 20$  km/h) τα μήκη των ευθυγραμμιών δεν επαρκούν, προκειμένου ο μέσος οδηγός να επιβραδύνει ή να επιταχύνει κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να γίνει υπέρβαση των ορίων μεταβολής της λειτουργικής ταχύτητας που χαρακτηρίζουν τον μέτριο ή ακόμη και τον καλό σχεδιασμό οδών.

Αντίθετα, τα μήκη ευθυγραμμίων μεταξύ διαδοχικών καμπυλών που υπερβαίνουν προς τα άνω τις τιμές με το έντονο πλαίσιο στον Πίνακα 3 χαρακτηρίζονται ως «ανεξάρτητες ευθυγραμμίες». Στις περιπτώσεις αυτές ο μέσος οδηγός έχει τη δυνατότητα να επιταχύνει ή να επιβραδύνει το όχημά του, ώστε τελικά να υπερβεί τα μέγιστα όρια μεταβολής της ταχύτητας V85 που χαρακτηρίζουν την μέτρια ποιότητα σχεδιασμού ( $10 \text{ km/h} < \Delta V85 < 20 \text{ km/h}$ ), με αποτέλεσμα την πολύ πιθανή εμφάνιση κρίσιμων καταστάσεων από την άποψη της ασφαλούς κυκλοφορίας των οχημάτων.

Διακρίνονται οι ακόλουθες τρεις περιπτώσεις:

**Περίπτωση 1 – Εξαρτημένη ευθυγραμμία :** Το μήκος της ευθυγραμμίας TL μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών είναι μικρότερο από την τιμή TLs (έντονη γραμμή πλαισίου) των ευθυγραμμίων μικρού μήκους του Πίνακα 3 ( $TL < TLs$ ) που αντιστοιχεί στην πλησιέστερη ταχύτητα V85 της καμπύλης με τη μεγαλύτερη τιμή ελκτότητας KE, όπως αυτή προκύπτει από το διάγραμμα. Στην περίπτωση αυτή η ευθυγραμμία θεωρείται «εξαρτημένη» και αγνοείται κατά την αξιολόγηση της χάραξης, δηλαδή αξιολογείται μόνο η σχέση μεταξύ των δύο διαδοχικών καμπυλών.

**Περίπτωση 2 - Ανεξάρτητη ευθυγραμμία:** Το μήκος της ευθυγραμμίας TL είναι τουλάχιστον το διπλάσιο της τιμής TLL της «μεγάλης ευθυγραμμίας» που δίδεται στην στήλη 8 του Πίνακα 3 ( $TL > 2 \cdot TLL$ ) και η οποία αντιστοιχεί στην πλησιέστερη τιμή της ταχύτητας V85 της καμπύλης με τη μεγαλύτερη τιμή ελκτότητας KE. Στην περίπτωση αυτή η ευθυγραμμία θεωρείται «ανεξάρτητη» και δεν αγνοείται κατά την αξιολόγηση της χάραξης. Στην περίπτωση αυτή η ακολουθία «ευθυγραμμία-καμπύλη» καθορίζει τη διαδικασία αξιολόγησης.



Περίπτωση 3 – Μερικώς ανεξάρτητη ευθυγραμμία : Το μήκος της ευθυγραμμίας TL κυμαίνεται μεταξύ των μηκών, που αντιστοιχούν στις περιπτώσεις 1 και 2 ( $TL_1 < TL < 2 \cdot TL_1$ ). Στην περίπτωση αυτή η λειτουργική ταχύτητα στην ανεξάρτητη ευθυγραμμία πρέπει να υπολογισθεί σύμφωνα με το Σχήμα. Η αλληλουχία «ευθυγραμμία-καμπύλη» είναι και σ'αυτή την περίπτωση καθοριστική για την αξιολόγηση της χάραξης

$V_{85K}$ σε καμπύλη [km/h]	Τιμές $TL_L$ και $TL_S$ .						
	$V_{85T}$ σε ευθυγραμμία [km/h]						
	70	75	80	85	90	95	100
1	2	3	4	5	6	7	8
50	<b>110</b>	145	180	215	255	300	<b>345</b>
55		<b>120</b>	155	195	230	275	<b>320</b>
60			<b>130</b>	165	205	250	<b>295</b>
65				<b>140</b>	175	220	<b>265</b>
70					<b>145</b>	190	<b>235</b>
75						<b>155</b>	<b>200</b>
80							<b>165</b>

### *Εξαρτημένες ευθυγραμμίες*

TLs [m] Μικρά μήκη ευθυγραμμιών TLs που είναι τα μέγιστα επιτρεπόμενα μήκη ευθυγραμμιών, και χαρακτηρίζονται ως «εξαρτημένες ευθυγραμμίες»

V85K, (km/h) Λειτουργική ταχύτητα 85% σε καμπύλη (V85K) ή ευθυγραμμία (V85T) εξαρτωμένη V85T από την τιμή KE. Στις ευθυγραμμίες KE=0 gon/km

### *Ανεξάρτητες ευθυγραμμίες*

TL [m] Μεγάλα μήκη ευθυγραμμιών TLL. Στα μήκη ευθυγραμμιών της στήλης 8 (ή σε μεγαλύτερα) αναμένεται η ανάπτυξη της μέγιστης ταχύτητας V85.

Οι τιμές της στήλης 8 συνιστώνται για τον προσδιορισμό των μεγάλων σε μήκος ευθυγραμμιών TLL.

Οι τιμές με πλάγια γραφή παρουσιάζονται μόνο για την αντίληψη της μεταβολής των τιμών

## Β) Κυκλικά τόξα

Για τα κυκλικά τόξα των οδών της ομάδας Α, θα επιλέγονται οι μεγαλύτερες δυνατές ακτίνες ιδιαίτερα στις περιπτώσεις των μικρών επίκεντρων γωνιών και όταν ακολουθούν ευθυγραμμίες, προκειμένου να επιτευχθούν:

- κατά κανόνα συνολικώς μικρά μήκη καμπυλών,
- επαρκή μήκη ορατότητας για προσπέραση
- αρμονία και συνέχεια στην οδική συμπεριφορά.

Παράλληλα με τους προαναφερθέντες σκοπούς, η επιλογή των ακτίνων θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε:

- η οδός να προσαρμόζεται κατά μορφή και μέγεθος με το ανάγλυφο του εδάφους και το τοπίο,
- όσον αφορά τα μεγέθη και την αλληλουχία των καμπυλών, να εξασφαλίζεται η συμβατότητα μεταξύ οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, και να επιτυγχάνεται η καλή ανάπτυξη της οδού στο χώρο,
- να εξασφαλίζεται η αρμονική σχέση μεταξύ ταχύτητας μελέτης  $V_e$  και λειτουργικής ταχύτητας  $V_{85}$  σύμφωνα με την Περίπτωση 1 του Κριτηρίου Ασφαλείας I (βλ. Πίνακα1).

Επιτρέπεται η θλάση του άξονα της χάραξης χωρίς εφαρμογή οριζόντιας καμπύλης όταν η γωνία θλάσης  $\gamma$  είναι μικρότερη από την τιμή που προκύπτει

(ανάλογα με την ταχύτητα μελέτης  $V_e$ ) από τις σχέσεις:

- όταν  $V_e < 70\text{km/h}$ ,  $\gamma = \arctan (1,6/V_e)$
- όταν  $V_e > 70\text{km/h}$ ,  $\gamma = \arctan (155/V_e^2)$

Τυπικές και οριακές τιμές

Για τις οδούς των ομάδων Α και Β οι ελάχιστες ακτίνες των καμπυλών  $R_{min}$  δίδονται στον Πίνακα 4. Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από την ταχύτητα μελέτης όταν  $V_e$ , τον βαθμό εκμετάλλευσης του συντελεστή εγκάρσιας τριβής  $n$ , και τις οριακές τιμές της επίκλισης  $q$ . Για λόγους καλύτερης προσαρμογής στις κλιματολογικές και τις τοπογραφικές συνθήκες της Ελλάδας, η επιλογή των τιμών  $R_{min}$  εξαρτάται εκτός από την ομάδα, στην οποία ανήκει η οδός, και από την κατηγορία του εδάφους (πεδινό, λοφώδες ή ορεινό).

**Πίνακας 4: Ελάχιστες ακτίνες καμπυλών για οδούς των ομάδων Α και Β**

$V_e$ [km/h]	$R_{min}$ [m]					
	Ομάδα οδών Α				Ομάδα οδών Β	
	πεδινά εδάφη		λοφώδη και ορεινά εδάφη		όλες οι κατηγορίες εδαφών	
	$q_{max}=8 (9)^\circ$	$q_{min}=2,5\%$	$q_{max}=7\%$	$q_{min}=2,5\%$	$q_{max}=6\%$	$q_{min}=2,5\%$
	$n=45\%$	$n=10\%$	$n=40\%$	$n=10\%$	$n=60\%$	$n=30\%$
1	2	3	4	5	6	7
50	80	325	95	325	70	150
60	125 (120)	490	140	490	110	230
70	180 (170)	700	200	700	160	335
80	250 (235)	960	280	960	220	470
90	330 (310)	1.260	370	1.260	300	630
100	420 (400)	1.620	480	1.620	-	-
110	530 (500)	2.020	600	2.020	-	-
120	650 (620)	2.470	740	2.470	-	-
(130)	790 (740)	2.970	890	2.970	-	-

Οι τιμές σε ( ) εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις

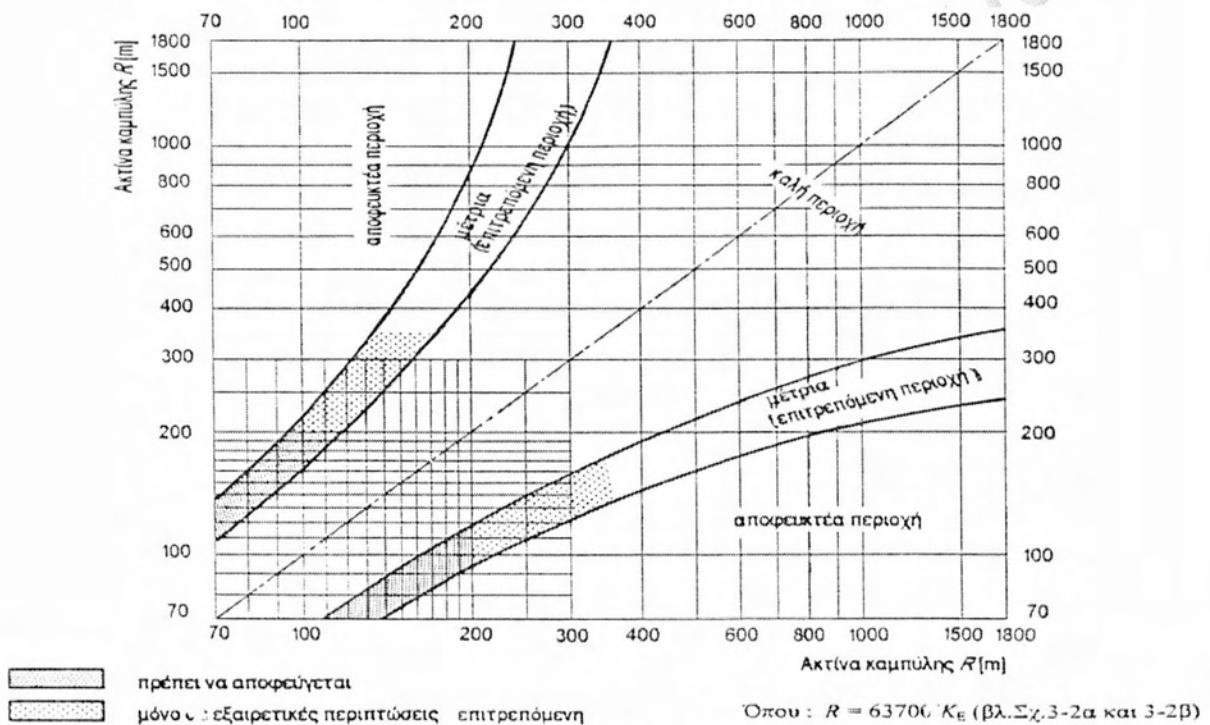
Σε οδούς με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας, εφόσον υπάρχουν εμπόδια στην κεντρική νησίδα που παρεμποδίζουν την ορατότητα, απαιτείται η επιλογή μεγαλύτερων ακτίνων από τις ελάχιστες ακτίνες που δίδονται στον Πίνακα 5, ή η διαπλάτυνση της κεντρικής νησίδας. Σε αριστερόστροφες καμπύλες πρέπει να εξετάζεται αν διατίθεται το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση στην αριστερή λωρίδα (λωρίδα προσπέρασης).

Σε εξαιρετικές περιπτώσεις οδών της ομάδας A, υπάρχει η δυνατότητα αύξησης της μέγιστης τιμής της επίκλισης κατά 1%, μόνο για τις τιμές εντός παρένθεσης. Τα κυκλικά τόξα πρέπει να έχουν μήκος τουλάχιστον ίσο με εκείνο που διανύεται σε 2 δευτερόλεπτα από όχημα κινούμενο με την ταχύτητα μελέτης.

#### *Σχέση διαδοχικών καμπυλών*

Οι ακτίνες των ομόροπων ή αντίροπων διαδοχικών κυκλικών τόξων, μεταξύ των οποίων υπάρχει ευθύγραμμο τμήμα μήκους από καθόλου μέχρι TLS, σε οδούς της ομάδας A ή κατηγορίας BI και BII πρέπει να παρουσιάζουν μία αρμονική σχέση για λόγους κυκλοφοριακής ασφάλειας. Επίσης η αρμονική σχέση μεταξύ διαδοχικών κυκλικών τόξων είναι επιθυμητή στις οδούς κατηγορίας B III, καθώς και στις οδούς κατηγορίας B IV, εφόσον είναι εφικτό. Αυτή η απαίτηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός, ότι δεν πρέπει να μεταβάλλεται απότομα η λειτουργική ταχύτητα V85 μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών. Στην περίπτωση των υπεραστικών οδών με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας αυτό εξασφαλίζεται με την εφαρμογή του Κριτηρίου Ασφαλείας II.

Ο σχεδιασμός με βάση την αρμονική σχέση των διαδοχικών στοιχείων μελέτης έχει την έννοια, ότι τα στοιχεία μελέτης με ελάχιστες ή μέγιστες τιμές των παραμέτρων τους δεν διαδέχονται το ένα το άλλο αυθαίρετα, αλλά αντίθετα, δημιουργούνται ακολουθίες στοιχείων μελέτης, στις οποίες ένα στοιχείο μελέτης έχει συγκεκριμένη σχέση με το προηγούμενο και το επόμενο. Η επιτρεπόμενη σχέση των ακτίνων διαδοχικών κυκλικών τόξων δίδεται .



Σχήμα 2.3. Σχέση διαδοχικών ακτίνων κυκλικών τόξων για οδούς της ομάδας A και της κατηγορίας BI και BII (Επιθυμητή για τις κατηγορίες BIII και BIV)

Στις κατηγορίες οδών A I έως AIV και B I και B II η αλληλουχία των ακτίνων πρέπει να βρίσκεται στην καλή περιοχή. Στις κατηγορίες οδών B III και B IV η αλληλουχία των ακτίνων μπορεί να βρίσκεται και στη μέτρια περιοχή. Η αρμονική σχέση μεταξύ διαδοχικών καμπυλών πρέπει να εφαρμόζεται κατά κύριο λόγο στη μελέτη νέων οδών, επειδή ενδεχόμενα η εφαρμογή της υποχρέωσης αυτής κατά την βελτίωση ή την ανακατασκευή υφιστάμενων οδών είναι πολύ δύσκολη για λόγους κόστους, περιβαλλοντικών επιπτώσεων, ή πολεοδομικών περιορισμών. Όμως σ' αυτές τις περιπτώσεις (βελτίωσης ή ανακατασκευής υφιστάμενων οδών) επιβάλλεται κατά την επιλογή των διαδοχικών ακτίνων, η απαίτηση του Κριτηρίου Ασφαλείας II για μεταβολή της ταχύτητας V85 στα επιλεγόμενα τόξα, να μην υπερβαίνει τα 15 km/h

Για την αλληλουχία «ανεξάρτητη ευθυγραμμία - τόξο συναρμογής – κυκλικό τόξο» πρέπει να εφαρμόζονται κυκλικά τόξα με ακτίνα  $R > 400$  m. Επειδή όμως η ακτίνα των 400 m βρίσκεται στο όριο μεταξύ καλής και επιτρεπόμενης περιοχής, για λόγους πρόσθετης ασφάλειας της κυκλοφορίας των οχημάτων κατά την αλληλουχία «ανεξάρτητη ευθυγραμμία– καμπύλη» πρέπει να εφαρμόζονται κυκλικά τόξα με ελάχιστη ακτίνα  $R_{min} = 500$  m.

Επισημαίνεται ότι κατά την εναρμόνιση των διαδοχικών ακτίνων πρέπει να τηρείται η ελάχιστη τιμή της ακτίνας που αντιστοιχεί στην ταχύτητα μελέτης.

Σε περιπτώσεις βελτίωσης / ανακατασκευής υφιστάμενων οδών η διατήρηση της μέτριας 13

## Στοιχεία Μηκοτομής

### Γερμανικές οδηγίες RAA2008

#### A) Κατά μήκος κλίσεις

Οι μικρές κατά μήκος κλίσεις:

- βελτιώνουν την κυκλοφοριακή ασφάλεια (εξαίρεση: περιοχές προσαρμογής των επικλίσεων με στροφή του οδοστρώματος γύρω από τον άξονα περιστροφής, όπου η επίκλιση διέρχεται από την οριζόντια θέση),
- βελτιώνουν την ποιότητα της κυκλοφοριακής ροής,
- μειώνουν τις δαπάνες λειτουργίας, καθώς και τις δαπάνες για τους χρήστες της οδού και - μειώνουν τις εκπομπές.

Αντίθετα, με τις μεγαλύτερες κατά μήκος κλίσεις:

- βελτιώνεται η προσαρμογή στο φυσικό τοπίο,
- μενώνονται οι παρεμβάσεις στο περιβάλλον και το φυσικό τοπίο και
- μειώνεται το κόστος κατασκευής.



Οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις αναφέρονται στον Πίνακα 5.

ΤΑΞΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	maxs[%]
ΤΜΑ 1 Α	4
ΤΜΑ 1 Β	4,5
ΤΜΑ 2	4,5
ΤΜΑ 3	6

Σε ανωφέρεις μήκους  $L > 500$  m και επικλίσεις  $s > 2,0\%$ , πρέπει να ελέγχεται αν απαιτείται η διάταξη πρόσθετων λωρίδων κυκλοφορίας (ΠΛΚ)

Σε τμήματα συναρμογής της επίκλισης ανάμεσα σε αντίρροπες επικλίσεις πρέπει να επιδιώκεται η τυπική τιμή

$$s \geq 1,0 \% \text{ (εξαιρέση } s \geq 0,7 \% \text{)}$$

, για την αποφυγή της δημιουργίας ζωνών κακής απορροής των νερών.

Ακόμη και στα τμήματα αυτοκινητοδρόμων, όπου η αποστράγγιση γίνεται μέσω ρείθρου, συνιστάται ελάχιστη κατά μήκος κλίση  $s = 0,7\%$ , προς εξασφάλιση της ροής των υδάτων εντός των αγωγών αποχέτευσης

## **B) Στρογγύλευση κυρτωμάτων και κοιλωμάτων**

Οι ακτίνες κυρτωμάτων και κοιλωμάτων θα πρέπει να επιλέγονται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε

- σε συνδυασμό με τα στοιχεία της οριζοντιογραφίας να παράγεται μια ισορροπημένη χάραξη στον χώρο,
- να παρέχουν κυκλοφοριακή ασφάλεια μέσω τήρησης των μηκών ορατότητας για στάση (ΜΟΣ), - να προσαρμόζονται όσο το δυνατόν καλύτερα στην τοπογραφία και να διατηρούν κατά το δυνατόν ανέπαφη την εικόνα του φυσικού τοπίου ή
- να λαμβάνονται υπόψη τα πολεοδομικά δεδομένα (ΤΜΑ 3).

Η στρογγύλευση των κυρτωμάτων και κοιλωμάτων γίνεται με κυκλικά τόξα και υπολογίζονται κατά προσέγγιση ως τετραγωνική παραβολή. Χαρακτηριστική για το μέγεθος του κατακόρυφου τόξου συναρμογής είναι η ακτίνα καμπυλότητας  $H$  στην κορυφή της τετραγωνικής παραβολής.

Οι ελάχιστες τιμές ακτίνων κυρτωμάτων και κοιλωμάτων περιλαμβάνονται στον Πίνακα 6

ΤΑΞΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	MinHk [m]	MinHw [m]
ΤΜΑ 1 Α	13000	8800
ΤΜΑ 1 Β	10000	5700
ΤΜΑ 2	5000	4000
ΤΜΑ 3	3000	2600

Οι ελάχιστες ακτίνες κυρτώματος λαμβάνουν υπόψη την απαίτηση τήρησης του μήκους ορατότητας στάσης (ΜΟΣ) για την αναγνωρισιμότητα του τερματικού σημείου τμήματος κυκλοφοριακής συμφόρησης (μποτιλιαρίσματος) και επίσης εξασφαλίζουν το μήκος ορατότητας στάσης (ΜΟΣ) σε ευθυγραμμίες της οριζοντιογραφίας. Σε καμπύλες της οριζοντιογραφίας, καθώς και κατά την υπέρβαση προς τα κάτω των ελάχιστων τιμών πρέπει να καταδεικνύεται μελετητικά στο χώρο η τήρηση του μήκους ορατότητας για στάση.

Οι ελάχιστες ακτίνες κοιλώματος εξασφαλίζουν την τήρηση του μήκους ορατότητας για στάση (ΜΟΣ) ακόμη και κάτω από τεχνικά έργα. Για λόγους αρμονικής χάραξης πρέπει κατά το δυνατό να μην επιλεγούν μικρότερες τιμές από το ήμισυ των ακτίνων κυρτώματος

$$HW \geq 0,5 \cdot HK$$

Όσον αφορά το μήκος των εφαιπτομένων πρέπει να τηρούνται οι ελάχιστες τιμές του Πίνακα 7.

ΤΑΞΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	MinT [m]
TMA 1 A	150 120(*)
TMA 1 B	120
TMA 2	100
TMA 3	100

(\*) τιμή εξαίρεσης κατά την κατασκευαστική τροποποίηση και την επέκταση

## **Ελληνικές οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ**

### **A) Κατά μήκος κλίση**

Οι κατά μήκος κλίσεις πρέπει για λόγους κυκλοφοριακής ασφάλειας, λειτουργικού κόστους, εξοικονόμησης ενέργειας, μειωμένης ρύπανσης και κυκλοφοριακής ποιότητας να διατηρούνται κατά το δυνατόν μικρές. Ακόμη, οι κλίσεις της οδού πρέπει κατά το δυνατόν να προσαρμόζονται στο ανάγλυφο του εδάφους, προκειμένου να προστατευθούν οι οικιστικές περιοχές και το περιβάλλον και οι να μειωθεί το κόστος κατασκευής.

#### Οριακές και τυπικές τιμές

##### Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις

Για λόγους ασφαλείας οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές του Πίνακα 8. Οι μικρότερες τιμές, που ισχύουν για τις οδούς της ομάδας Β, αποβλέπουν στην ικανοποίηση των ειδικών απαιτήσεων και περιορισμών στις δομημένες περιοχές (υψηλό ποσοστό μη μηχανοκίνητης κυκλοφορίας, στάση και στάθμευση).

Ειδικά για οδούς κατηγορίας Β Ι (αστικοί αυτο/δρομοί), η τιμή της επιτρεπόμενης μέγιστης κατά μήκος κλίσης προσδιορίζεται σε σχέση με το μήκος εφαρμογής της, από τον Πίνακα 9».

Οι τιμές που βρίσκονται μέσα σε παρένθεση στον Πίνακα 8, εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις για οδούς της ομάδας Α και Β. Επίσης εφαρμόζονται στις περιπτώσεις ειδικών τοπογραφικών ή πολεοδομικών περιορισμών και εφόσον η αλλαγή των στοιχείων μελέτης της διατομής ή της χάραξης της οδού είναι αδύνατη ή το εναπομένον ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ κοίλης και κυρτής κατακόρυφης καμπύλης είναι ιδιαίτερα μικρό.

Στις περιοχές ισόπεδων κόμβων πρέπει να αποφεύγονται κατά μήκος κλίσεις μεγαλύτερες από 4% για λόγους σωστής μελέτης των συμβόλων/διασταυρώσεων και της κυκλοφοριακής τεχνικής (περιορισμός μήκους ορατότητας για στάση).

Εντός σηράγγων σε οδούς της ομάδας Α οι κατά μήκος κλίσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν την τιμή 4%. Ιδιαίτερα σε σήραγγες μεγάλου μήκους, πρέπει να επιδιώκεται η τιμή της μέγιστης κατά μήκος κλίσης να είναι  $s_{max} = 2,5\%$ . Εντονότερες κατά μήκος κλίσεις έχουν τα εξής μειονεκτήματα:

- υψηλότερη ρύπανση
- μεγαλύτερη πιθανότητα ατυχημάτων
- διασπορά εύφλεκτων υλικών με μεγάλη ταχύτητα και
- μείωση της ταχύτητας των βαρέων οχημάτων.

Αν δεν είναι δυνατόν να αναπτυχθούν οι αναμενόμενες λειτουργικές ταχύτητες σε ορισμένα ανωφερικά τμήματα στις οδούς της ομάδας Α, πρέπει να διερευνείται η πιθανότητα διάταξης μίας επιπλέον λωρίδας για τα βαρέα οχήματα (πρόσθετη λωρίδα) ή αλλαγής της χάραξης της οδού

Πίνακας 8: Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις

$V_e$ [km/h]	$s_{max}$ [%] για τις οδούς της ομάδας			
	Α			Β (πλ.ην ΒΙ)
	Πεδινά εδάφη	Λοφώδη εδάφη	Ορεινά Εδάφη	Όλες οι κατηγορίες εδαφών
50	7 (8)	8 (9)	10 (11)	8 (12)
60	6 (8)	7 (9)	9 (10)	7 (10)
70	5 (7)	6 (8)	8 (9)	6 (9)
80	4 (6)	5 (7)	7 (9)	5 (7)
90	4 (5)	5 (6)	7 (8)	-
100	3 (5)	4 (6)	6 (8)	-
110	3 (5)	4 (6)	5 (6)	-
120	3 (5)	4 (6)	-	-
130	3 (4)	-	-	-

Οι τιμές σε ( ) εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις

Επιπλέον κατ'εξαιρέση επιτρέπεται κλίση μέχρι και 20% για οδούς κατηγορίας ΑV, εφόσον αφορούν προσβάσεις μήκους  $\leq 50m$ .

Το αποδεκτό μήκος εφαρμογής των κλίσεων εξετάζεται σε σχέση με τις απαιτήσεις πρόσθετων λωρίδων.

Πίνακας 9: Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις οδών κατηγορίας ΒΙ (αστικών αυτο/δρομων)

$V_e$ [km/h]	$s_{max}$ [%]	Μέγιστο μήκος $L_{max}$
50	8 (12)	100
60	7	200
70	6	300
80	5	600

Ελάχιστες κατά μήκος κλίσεις σε περιοχές συναρμογής αντίρροπων επικλίσεων

Σε οδούς των ομάδων Α και Β, που δεν διαθέτουν κράσπεδα, στις περιοχές συναρμογής των αντίρροπων επικλίσεων πρέπει να επιλέγεται ελάχιστη κατά μήκος κλίση  $s_{min} \geq 0,7\%$  ή καλύτερα  $s_{min} \geq 1,0\%$ , ώστε να αποφεύγονται ζώνες κακής απορροής των ομβρίων. Σε κάθε περίπτωση η κατά μήκος κλίση της οδού δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την πρόσθετη κλίση των οριογραμμών. Για την πλήρη εξασφάλιση της απορροής των ομβρίων της οδού η διαφορά μεταξύ της κατά μήκος κλίσης και της πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών πρέπει να είναι  $0,2\%$  (καλύτερα  $0,5\%$ )

$$s - \Delta s \geq 0,0 \dots 0,2\% \text{ (καλύτερα } 0,5\%)$$

όπου:

$s$  [%] = κατά μήκος κλίση της οδού

$\Delta s$  [%] = πρόσθετη κλίση των οριογραμμών

Εφόσον πληρούνται οι προηγούμενοι περιορισμοί, εξασφαλίζεται ότι καμία από τις οριογραμμές του οδοστρώματος δεν εμφανίζει αντίθετη κλίση από αυτή του άξονα περιστροφής της οδού. Η τιμή  $0,5\%$  είναι επιθυμητή εξαιτίας των κατασκευαστικών ανοχών του οδοστρώματος.

Σε οδούς με κράσπεδα η κατά μήκος κλίση πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5% στις περιοχές όπου υπάρχουν κρασπεδόρειθρα. Γι' αυτό το λόγο η κατά μήκος κλίση του άξονα της οδού στην περιοχή της προσαρμογής της επίκλισης πρέπει να είναι μεγαλύτερη κατά 0,5% από την πρόσθετη κλίση των οριογραμμών, εφόσον η απαγωγή των επιφανειακών υδάτων δεν είναι δυνατόν να εξασφαλισθεί με ιδιαίτερα αποχετευτικά μέτρα, όπως π.χ. με την κατασκευή ρείθρων τριγωνικής διατομής:

$$s - \Delta s \geq 0,5\%$$

όπου:

$s$  [%] = κατά μήκος κλίση της οδού

$\Delta s$  [%] = πρόσθετη κλίση των οριογραμμών



**B) Κοίλες και κυρτές κατακόρυφες καμπύλες συναρμογής**

Συνήθως τα τόξα συναρμογής που διατάσσονται στα κυρτώματα και τα κοιλώματα είναι τετραγωνικές παραβολές ως προσέγγιση κυκλικών τόξων, δεδομένου ότι για τις κατά κανόνα εφαρμοζόμενες μεγάλες ακτίνες και την επιδιωκόμενη ακρίβεια το κυκλικό τόξο και η τετραγωνική παραβολή συμπίπτουν. Καθοριστικό γεωμετρικό μέγεθος της κατακόρυφης καμπύλης είναι η ακτίνα καμπυλότητας  $H$  στη θέση αλλαγής προσήμου της κατά μήκος κλίσης ( $s=0\%$ ).

Οι κυρτές και οι κοίλες καμπύλες συνδέονται κατά κανόνα με ευθυγραμμίες. Είναι προτιμότερη η άμεση επαφή των κατακόρυφων καμπυλών χωρίς παρεμβολή ευθυγραμμίας. Η σύνδεση δύο κυρτών ή δύο κοίλων κατακόρυφων καμπυλών συναρμογής με ένα μικρό ενδιάμεσο ευθύγραμμο τμήμα υπόκειται στους κανόνες μελέτης της οδού στον χώρο.

Η επιλογή των ακτίνων των κυρτών και των κοίλων κατακόρυφων καμπυλών πρέπει να γίνεται έτσι, ώστε σε συνδυασμό με τα στοιχεία μελέτης της οριζοντιογραφίας:

- να προκύπτει μία αρμονική χάραξη στο χώρο,
- να εξασφαλίζεται το ελάχιστο επίπεδο ασφαλείας με τα απαραίτητα μήκη ορατότητας σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μήκος της οδού
- να προστατεύεται το περιβάλλον και
- να προσαρμόζεται η οδός όσο το δυνατόν καλύτερα στο ανάγλυφο του εδάφους, ώστε το κόστος κατασκευής της οδού να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα.

Οι απαιτήσεις αυτές έχουν μεγαλύτερη σημασία στις οδούς της ομάδας Α και μικρότερη στις οδούς της ομάδας Β, όπου προέχει η διατήρηση του οικιστικού ιστού.

Αν σε βελτιώσεις και ανακατασκευές υφισταμένων οδών της ομάδας Β, οι ακτίνες των κυρτών κατακόρυφων καμπυλών είναι μικρότερες από την ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή και δεν υπάρχει δυνατότητα αλλαγής τους λόγω πολεοδομικών περιορισμών, τότε πρέπει να εξετάζεται για λόγους ασφαλείας, η επιβολή κατάλληλου ορίου ταχύτητας (με ισχύ ενδεχομένως μόνο σε υγρό οδόστρωμα) με ή χωρίς πρόσθετη προειδοποιητική σήμανση.

#### Οριακές και τυπικές τιμές

Οι ελάχιστες ακτίνες κυρτών κατακόρυφων καμπυλών παρέχουν επαρκή περιθώρια ασφαλείας. Με την εφαρμογή αυτών των ακτίνων δεν προκύπτουν μεγάλα ορύγματα, η δε μηκοτομή μπορεί να προσαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό στο ανάγλυφο του εδάφους.

Ιδιαίτερη σημασία για τα κυρτώματα έχει η ορατότητα. Μεταξύ της ελάχιστης ακτίνας της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης ΗΚ, του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση Sh ή για προσπέραση Su του ύψους των οφθαλμών του οδηγού hA και του ύψους του εμποδίου hz ισχύει η σχέση

$$\text{Min } H_k = \frac{S^2}{2 \cdot (\sqrt{h_A} + \sqrt{h_z})^2}$$

Όπου:

Min HK [ m ] = ελάχιστη ακτίνα κυρτής κατακόρυφης καμπύλης

S [ m ] = απαιτούμενο μήκος ορατότητας :

για στάση Sh,

για προσπέραση Su

hA [ m ] = ύψος οφθαλμού

hz [ m ] = ύψος εμποδίου \

Οι ελάχιστες τιμές των ακτίνων των κοίλων καμπυλών του Πίνακα 10 παρέχουν επαρκή μήκη ορατότητας:

σε κάτω διαβάσεις (ελάχιστο ελεύθερο ύψος = 4,50 m και ύψος οφθαλμών οδηγού φορτηγού οχήματος = 2,50 m)

κατά τη νυκτερινή οδήγηση.

Ειδικά στις κατηγορίες οδών Β IV επιτρέπεται η εφαρμογή μικρότερων τιμών από εκείνες του Πίνακα 10, εάν πρόκειται για ανακατασκευή ή βελτίωση οδού ή όταν υφίστανται πολεοδομικοί περιορισμοί, εφόσον για την επιλεγείσα καμπύλη αποδειχθεί ότι έχει εξασφαλισθεί το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση.

Ve [km/h]	Hw min [m]
50	1350
60	1900
70	2500
80	3300
90	4200
100	5200
110	6300
120	7500
130	10000

Προκειμένου να αποφεύγεται η οπτική εικόνα θλάσης της χάραξης της μηκοτομής στα κυρτώματα ή κοιλώματα, το μήκος της επαπτόμενης  $T$  πρέπει να είναι:

- για οδούς της ομάδας A:  $T_{\min} = V_e$
- για οδούς της ομάδας B:  $T_{\min} = 0,75 \cdot V_e$

όπου:

$T_{\min}$  [m] = ελάχιστο μήκος επαπτόμενης

$V_e$  [km/h] = ταχύτητα μελέτης

Σε περιοχές με μικρές μεταβολές της κατά μήκος κλίσης επιτρέπεται η παράλειψη καμπύλης συναρμογής όταν η μέγιστη διαφορά των διαδοχικών κατά μήκος κλίσεων είναι:

$$D_{\max} = 0,3 / V_e^2$$

Όπου  $D_{\max}$  [m/m] = η διαφορά κλίσεων

Η ελάχιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ διαδοχικών θλάσεων της χάραξης της μηκοτομής χωρίς καμπύλη συναρμογής είναι:

- για  $V_e > 70$  km/h, 30 m
- για  $V_e \leq 70$  km/h, 15 m

Όταν η αλλαγή της κλίσης γίνεται χωρίς καμπύλη συναρμογής στην πραγματικότητα στο σημείο θλάσης γίνεται στρογγύλευση από τον κατασκευαστή. Η παράλειψη της καμπύλης συναρμογής συνιστάται να αποφεύγεται στις εξής περιπτώσεις:

- σε θέσεις γεφυρών (περιλαμβάνονται και τα άκρα των γεφυρών)
- σε θέσεις ιρλανδικών ρείθρων (ροή επάνω στην οδό)
- σε άλλες θέσεις όπου απαιτείται προσεκτική διαμόρφωση των κλίσεων.

Τέλος, πρέπει να δίδεται προσοχή στον κατάλληλο συνδυασμό των στοιχείων μελέτης της μηκοτομής με εκείνα της οριζοντιογραφίας, έτσι ώστε να πληρούνται οι κανόνες χάραξης της οδού στο χώρο.

Κρίσιμες κατά μήκος κλίσεις

Σε περιοχές εκατέρωθεν του σημείου αλλαγής του προσήμου της κατά μήκος κλίσης στις κυρτές ή στις κοίλες κατακόρυφες καμπύλες και για μήκος  $L = H/100$  όπου:

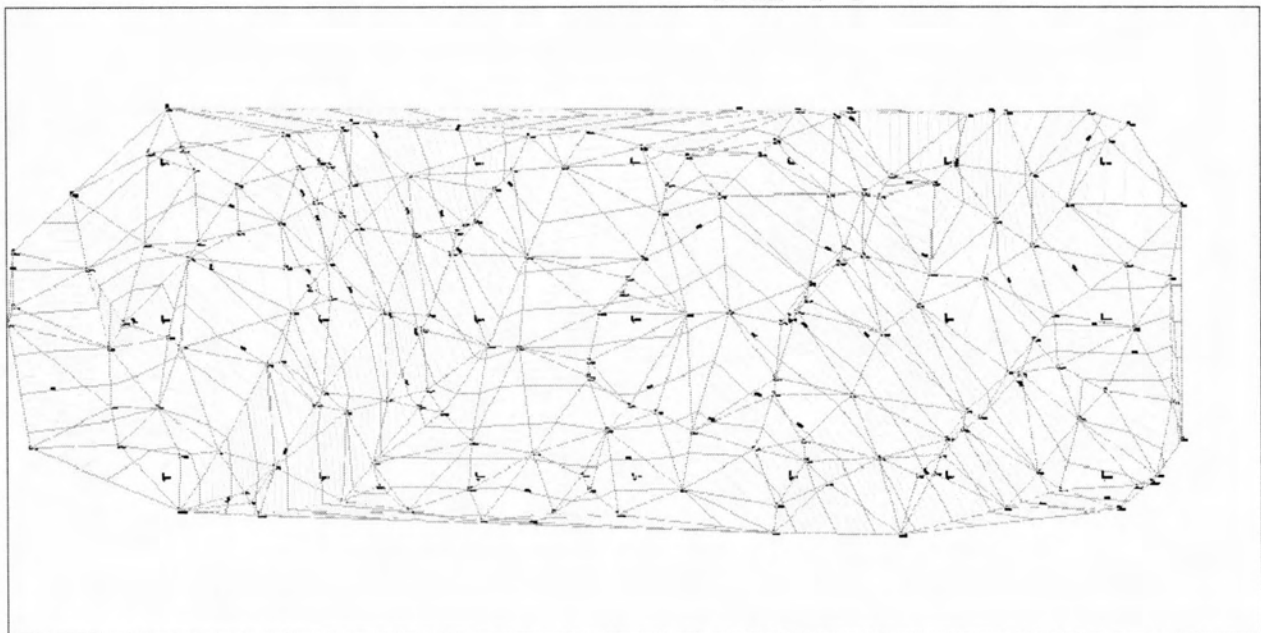
$L$  [m] = μήκος καμπύλης στην περιοχή με μικρή κατά μήκος κλίση εκατέρωθεν του σημείου αλλαγής του προσήμου της κατά μήκος κλίσης

$H$  [m] = ακτίνα κοίλης/κυρτής κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής

μπορεί να εμφανίζονται κατά μήκος κλίσεις  $s \leq 0,5\%$ . Σε αυτές τις περιπτώσεις όταν η οδός έχει κράσπεδα, πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια ώστε τα ρείθρα (π.χ. με εφαρμογή μεταβλητής εγκάρσιας κλίσης) να διατηρούν την ελάχιστη αποδεκτή κατά μήκος κλίση. Διαφορετικά είναι απαραίτητα δύσκολα πρόσθετα μέτρα για την αποχέτευση της οδού.

## 2.6 Μέθοδοι αποτύπωσης των οδών πάνω σε ψηφιακά μοντέλα εδάφους (τοπογραφική αποτύπωση)

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Digital Terrain Models - DTM) κατασκευάζονται στον υπολογιστή και βασίζονται σε συντεταγμένες σημείων στο έδαφος που έχουν λάβει οι μελετητές από την αποτύπωση και στις ισοϋψείς του εδάφους. Μέσω μιας ειδικής επεξεργασίας η οποία ονομάζεται τριγωνισμός επιδιώκεται η δημιουργία ενός μοναδικού συνόλου τριγώνων, κατά το δυνατόν ισόπλευρων και με μικρές πλευρές, με κορυφές τα συλλεγόμενα σημεία. Τα τρίγωνα αυτά φαίνονται στο σχήμα 2.4



Σχήμα 2.4 Παράδειγμα τριγωνοποίησης εδάφους για την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου.

Έχοντας λοιπόν το έδαφος σε ψηφιακή μορφή μπορούμε να εργαστούμε εύκολα και γρήγορα στον υπολογιστή καλύπτοντας οτιδήποτε μπορεί να μας ζητηθεί σε μια μελέτη κατασκευής οδού.

Για την αποτύπωση μίας υφιστάμενης οδού σε ψηφιακό μοντέλο έχουν κατασκευαστεί ειδικά 'σκάнер' (road scanner) που τοποθετούνται στην οροφή οχημάτων τα οποία οδηγούνται στον δρόμο ο οποίος πρέπει να αποτυπωθεί ψηφιακά. Αυτόματα τα σκάнер εξάγουν πληροφορίες όπως ολικές συντεταγμένες σημείων της οδού, υψόμετρο ερυθράς, πλάτος οδού, ενδιάμεσο new jersey, επικλήσεις, στηθαία ασφαλείας, οριογραμμές, κτλ.

Οι εξαγόμενες πληροφορίες τοποθετούνται στο μοντέλο εδάφους, ώστε οι μελετητές να έχουν μία ολοκληρωμένη ψηφιακή εικόνα της οδού (Σχήμα 2.5). Στην συγκεκριμένη εργασία ο χρήστης θα μπορέσει με αυτόν τον τρόπο να πάρει τις συντεταγμένες XYZ που χρειάζεται πάνω στον άξονα της οδού για να την επεξεργαστεί με τον τρόπο που περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο.



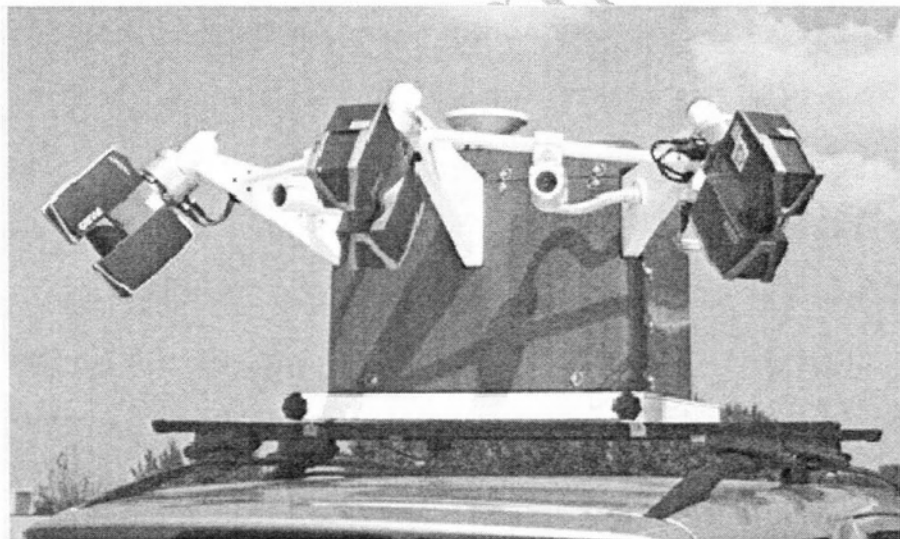
Σχήμα 2.5 Ψηφιακή αποτύπωση οδού



Παρακάτω παρατίθενται εικόνες οχημάτων που χρησιμοποιούνται για την αποτύπωση της οδού.



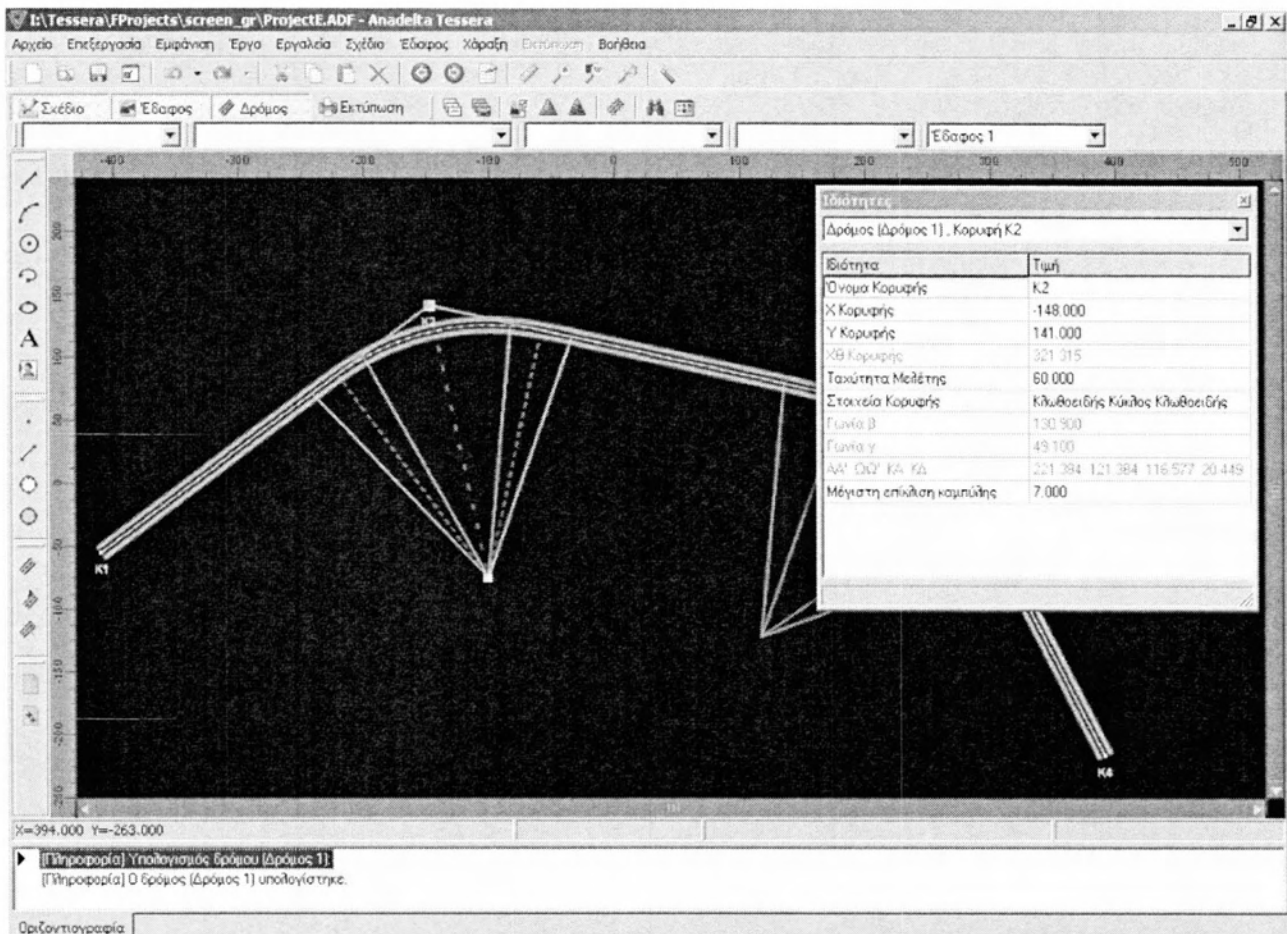
Εικόνα 2.5 Όχημα την ώρα που σκανάρει την οδό



Εικόνα 2.6 Συσκευή σκάνερ τοποθετημένη στην οροφή οχήματος (road scanner 3)

## Συνοπτική παρουσίαση των δυνατοτήτων του προγράμματος οδοποιίας ευρείας χρήσης Anadelta 4

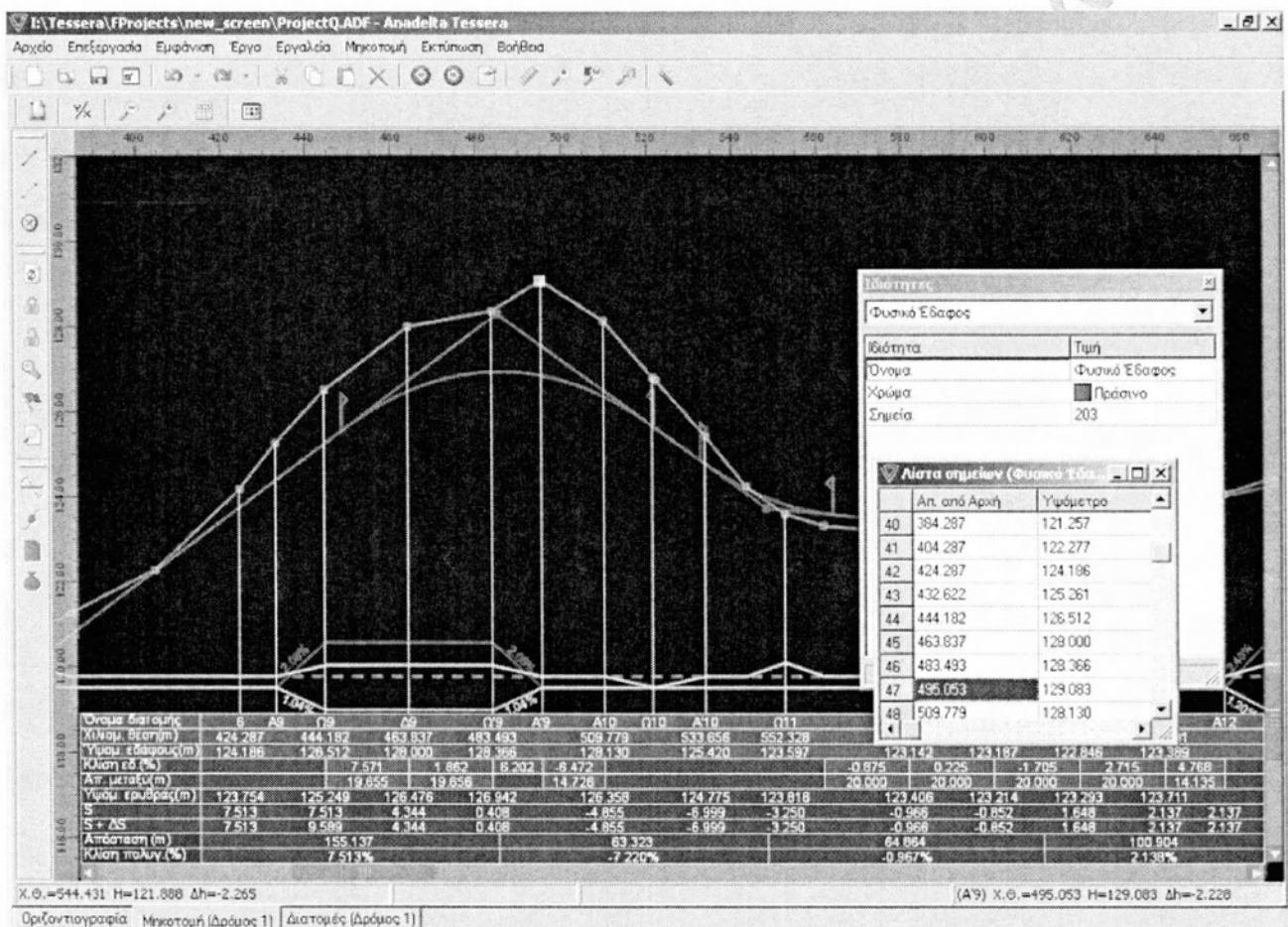
Στο Tesserα μπορεί να εισαχθεί και να επεξεργαστεί απεριόριστος αριθμός οδών. Για κάθε δρόμο (σε οποιοδήποτε στάδιο της μελέτης) μπορούν να μεταβληθούν οι αρχικές παράμετροι, που έχουν προταθεί από το πρόγραμμα, όπως η ταχύτητα μελέτης, τα αρχικά πλάτη ή ο τρόπος υπολογισμού των επικλίσεων. Η εισαγωγή της πολυγωνικής της οριζόντιας χάραξης γίνεται με πολλούς τρόπους: γραφικά με το ποντίκι, με ανάγνωση αρχείου ASCII, ή με πληκτρολόγηση σε φύλλο εργασίας του προγράμματος. Στη γραφική εισαγωγή ή στη διόρθωση/μετακίνηση στοιχείων βοηθάει ιδιαίτερα το snap (η πρσαρμογή) σε υπάρχοντα σχέδια (ευθείες ή καμπύλες) ή χαρακτηριστικά σημεία. Το πρόγραμμα προτείνει αρχικές τιμές στα στοιχεία συναρμογής των κορυφών. Στην οθόνη εμφανίζονται συνεχώς τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της στροφής με πολλά βοηθητικά στοιχεία όπως ακτίνες, διχοτόμους και κέντρα, αρχή και τέλος καμπυλών (κλωθοειδών, κύκλων, παραβολών κλπ). Η επικάλυψη των καμπυλών ή οι μη αποδεκτές παράμετροι εμφανίζονται, κατά τη μετακίνηση, με αλλαγή των χρωμάτων των στοιχείων στην περιοχή του προβλήματος. Μετά τη μετακίνηση και εάν το πρόβλημα συνεχίζει να υφίσταται, εμφανίζεται αντίστοιχο μήνυμα προειδοποίησης ή λάθους. Αν τα αρχεία ASCII, πέρα από τις συντεταγμένες, περιέχουν επιπλέον στοιχεία για τη γεωμετρία του δρόμου (ακτίνες καμπυλότητας, στοιχεία κλωθοειδών κλπ) αυτά αναγνωρίζονται από το πρόγραμμα και εισάγονται αυτόματα.



Εικόνα 2.8 Περιβάλλον επικοινωνίας χρήστη Αναδελτα Τεσσера (Οριζοντιογραφία)

Αμέσως μετά τον ορισμό των θέσεων των διατομών στην οριζόντια χάραξη, προκύπτει η μηκοτομή του εδάφους. Μετά από οποιοσδήποτε μεταβολές της οριζόντιας χάραξης προκύπτει μια νέα μηκοτομή. Η εισαγωγή της ερυθράς γίνεται με το ποντίκι, με πίνακες ή με εισαγωγή αρχείων κειμένου. Κατά την εισαγωγή ή τη διόρθωση εμφανίζονται στο ίδιο παράθυρο βοηθητικά στοιχεία όπως η υψομετρική διαφορά ερυθράς εδάφους, οι κατά μήκος κλίσεις ερυθράς και εδάφους, το διάγραμμα καμπυλότητας, το διάγραμμα επικλίσεων κ.α.

Η πολυγωνική της κατακόρυφης χάραξης και οι ακτίνες καμπυλότητας μπορούν να αλλάζουν και γραφικά παρουσιάζοντας τα τυχόν προβλήματα με αλλαγή χρώματος των σχετικών στοιχείων. Οι κορυφές της κατακόρυφης χάραξης τοποθετούνται αυτόματα από το πρόγραμμα στο χώρο. Οι μεταβολές στην οριζόντια χάραξη οδηγούν στην αυτόματη αναμόρφωση της πολυγωνικής της κατακόρυφης χάραξης, η οποία μπορεί να χρειαστεί μόνο τοπικές ρυθμίσεις.



Εικόνα 2.9 Περιβάλλον επικοινωνίας χρήστη Αναδελτα Τεσσερα (Μηκοτομή)

Το Tesserα έχει εξελιγμένες δυνατότητες CAD μειώνοντας την ανάγκη χρήσης τρίτων προγραμμάτων. Ο συνδυασμός λειτουργιών CAD και λειτουργιών Χάραξης, μέσα στο ίδιο πρόγραμμα, διευρύνει την ευχέρεια σχεδιασμού, αφού δίνει τη δυνατότητα στο μελετητή να επινοήσει εύκολες εναλλακτικές τεχνικές σχεδιασμού χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει περιβάλλον.

Το πρόγραμμα διαθέτει πληθώρα σχεδιαστικών αντικειμένων, όπως polylines, κύκλους, ελλείψεις, κλωθοειδείς παραβολές, true type κείμενα, εικόνες, ενώ παράλληλα υποστηρίζονται linetypes (.lin) και hatches (.pat). Τα αντικείμενα ταξινομούνται σε ενότητες (layers) και μπορούν να παίρνουν τις ιδιότητές τους από αυτά. Υποστηρίζονται επίσης κλασσικές λειτουργίες CAD όπως Copy/Paste, περιστροφή, μεγέθυνση, snap σε αντικείμενα ή κάνναβο κ.α.

Πάνω σε αυτό το πρόγραμμα θα γίνεται και η γραφική αποτύπωση του δρόμου. Το εξαγόμενο αρχείο απο τον αλγόριθμο είναι σε τέτοια μορφή ώστε να αναγνωρίζεται απο το Anadelta4 , αποτυπώνοντας κατευθείαν την υφιστάμενη οδό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΣΥΝΤΑΞΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

### 3.1 Γενικά

Ακολουθεί η αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε στην εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας για την σύνταξη ενός αλγόριθμου με σκοπό την εξαγωγή της οριζοντιογραφίας μίας υφισταμένης οδού, μέσω των συντεταγμένων (X,Y) τοπογραφικής αποτύπωσης, με σκοπό την υποβοήθηση του ελέγχου οδικής ασφάλειας υφιστάμενης οδού. Ο αλγόριθμος αυτός προορίζεται να αποτελέσει μέρος του λογισμικού οδοποιίας Anadelta4(έχει κατάλληλη μορφή εισόδου στο Anadelta4) . Παράλληλα αναφέρονται κάποιες παραδοχές και απλοποιήσεις που έγιναν κατά την σύνταξή του. Στο τέλος του κεφαλαίου επισημαίνονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του νέου αυτού προγράμματος, που το καθιστούν ιδιαίτερα χρήσιμο όχι μόνο για τους σπουδαστές του Π.Θ αλλά και για οποιονδήποτε μελετητή οδοποιίας.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιχειρείται η δημιουργία ενός αλγόριθμου που θα εξάγει τις απαραίτητες πληροφορίες της γεωμετρίας της οδού (οριζοντιογραφία και μηκοτομή), μέσω των συντεταγμένων (X,Y,Z) τοπογραφικής αποτύπωσης, με σκοπό την υποβοήθηση του ελέγχου οδικής ασφάλειας υφιστάμενης οδού.

### 3.2 Αναπτυξη επιλεχθείσας μεθόδου για την σύνταξη του νέου λογισμικού

Η ανάπτυξη του νέου αυτού αλγορίθμου βασίζεται στις βασικές αρχές της Γεωμετρίας και στην έκφρασή τους μέσω μαθηματικών σχέσεων. Συγκεκριμένα η βασική ιδέα στην οποία στηρίζεται ο αλγόριθμος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εύρεση των σημείων αρχής-τέλους ευθυγραμμίων και των κυκλικών τόξων. Χρησιμοποιώντας μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία για διαδοχικά σημεία πάνω σε κάθε οριογραμμή της οδού υπολογίζονται οι γωνίες διεύθυνσης των δημιουργημένων χορδών σε γεωδαιτικό δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς (αζιμούθια). Με κριτήριο που ορίσαμε εμείς για την αλλαγή της γωνίας κατεύθυνσης, γίνεται ο διαχωρισμός της κάθε ευθυγραμμίας και του κάθε κυκλικού τόξου της οδού. Δηλαδή, όταν το αζιμούθιο παραμένει σταθερό ή σχεδόν σταθερό τότε είναι ευθυγραμμία, ενώ όταν ακολουθεί μια γραμμική ή σχεδόν γραμμική μεταβολή τότε είναι κυκλικό τόξο.

$$t_{i-1}^i = a \tan \frac{x_i - x_{i-1}}{y_i - y_{i-1}}$$

$$t_i^{i+1} = a \tan \frac{x_{i+1} - x_i}{y_{i+1} - y_i}$$

$$t_{i-1}^{i+1} = a \tan \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{y_{i+1} - y_{i-1}}$$

Συνοπτικά , σαν πρώτο βήμα χρησιμοποιήσαμε την μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων για κάθε ομάδα σημείων ανά 10μέτρα οδικού τμήματος.

Έπειτα βρήκαμε το αζιμούθιο που σχηματίζουν αυτά τα ευθύγραμμα τμήματα και την μεταξύ τους διαφορά.

Με κριτήρια που θα αναφέρθούν στη συνέχεια, έγινε ο διαχωρισμός των ευθυγραμμίων και των κυκλικών τόξων της οδού.

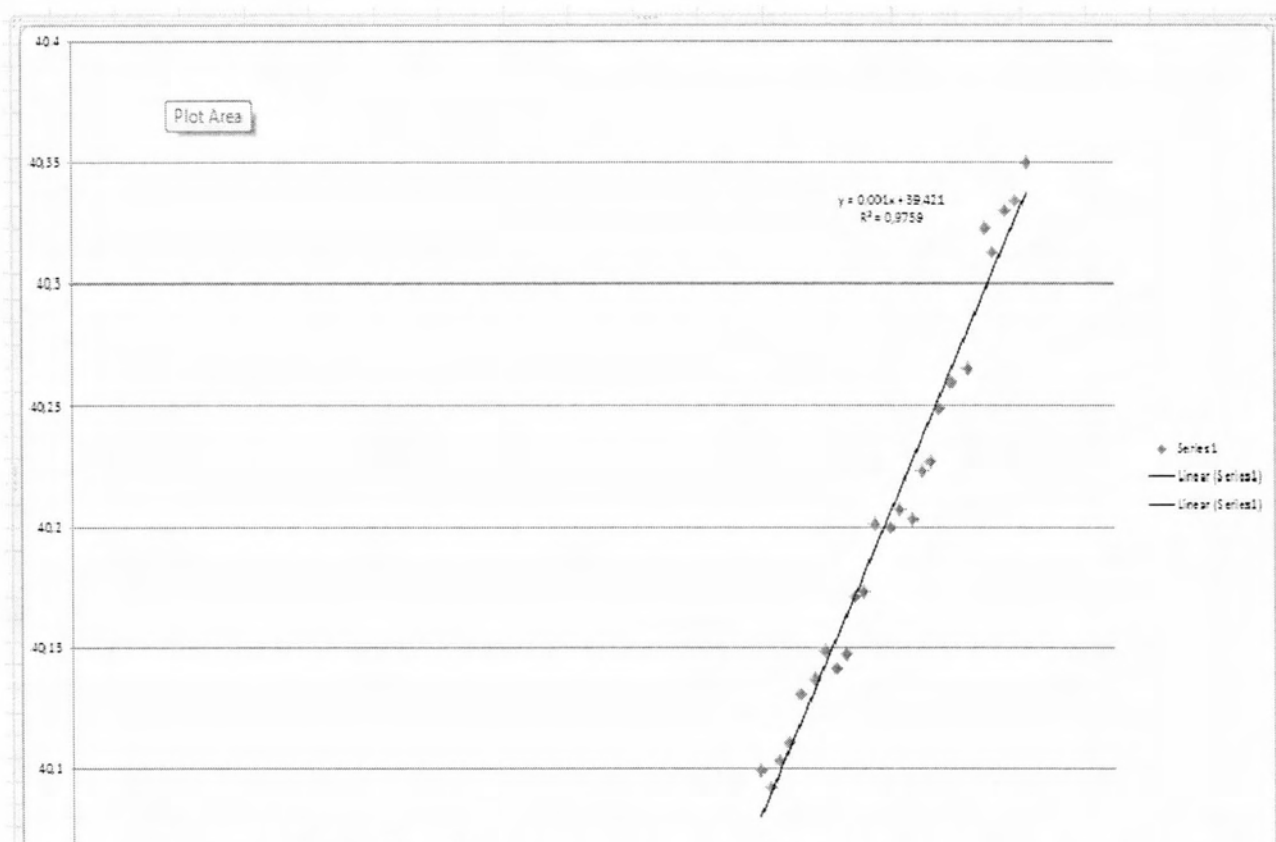
Και τέλος γνωρίζοντας την πολυγωνική , υπολογίστηκαν τα απαραίτητα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		ΟΝΟΜΑ ΣΗΜΕΙΟΥ	x'	y'	t		Δt						
2			248	432073,1747	4361604,908	98,9211448							ΤΕΛΟΣ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΤΟΞΟΥ ΑΡΧΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑΣ
3			271	432071,7643	4361613,893		0,24045041						
4			272	432072,1345	4361614,367	99,1615952							
5			296	432070,5544	4361624,164		0,98283918						
6			297	432070,3892	4361624,574	100,144434							
7			317	432068,723	4361633,886		-3,72464938						
8			318	432068,7049	4361634,379	96,419785							
9			337	432067,6606	4361643,66		1,80753668						
10			338	432067,6508	4361644,15	98,2273216							
11			356	432066,3101	4361653,423		0,5645785						
12			357	432066,2055	4361653,959	98,7919001							
13			375	432064,6933	4361663,736		-0,94526205						
14			376	432064,6283	4361664,294	97,8466381							
15			392	432063,3545	4361673,537		-0,05698969						
16			393	432063,1626	4361674,117	97,7896484							
17			409	432061,8764	4361683,518		0,94419956						
18			410	432062,0714	4361684,165	98,733848							
19			425	432060,6609	4361693,346		1,38660784						
20			426	432060,4402	4361693,961	100,120456							
21			441	432058,7619	4361603,364		3,84136131						
22			442	432058,6284	4361603,979	103,961817							
23			458	432056,4233	4361612,849		0,76340952						ΤΕΛΟΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑΣ ΑΡΧΗ ΚΥΚΛΙΚΟΥ ΤΟΞΟΥ
24			459	432056,149	4361613,337	104,725227							
25			477	432053,782	4361622,343		4,57907616						
26			478	432053,9182	4361622,901	109,304303							
27			497	432050,8361	4361631,7		17,7579073						
28			498	432050,6801	4361632,201	127,06221							
29			517	432044,9259	4361639,82		13,8093707						
30			518	432044,485	4361640,142	140,871581							
31			537	432036,9314	4361646,286		8,90510196						
32			538	432036,5012	4361646,616	149,776683							
33			556	432028,1973	4361651,454		9,01388467						
34			557	432027,689	4361651,659	158,790567							
35			576	432018,985	4361655,037		12,3092564						
36			577	432018,4979	4361655,111	171,099824							

Σχήμα 3.1 Παράδειγμα υπολογισμών για την αναγνώριση ευθυγραμμίων/κυκλικών τόξων κάνοντας χρήση του Excel



Στο κεφάλαιο που ακολουθεί περιγράφεται αναλυτικά η Μ.Ε.Τ. και παρουσιάζονται δύο παραδείγματα την μεθόδου, ώστε ο αναγνώστης να αποκτήσει το θεωρητικό υπόβαθρο που χρειάζεται για την ανάγνωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 3.2 Παράδειγμα ευθείας ελαχίστων τετραγώνων κάνοντας χρήση του Excel από το παραπάνω κυκλικό τόξο

### 3.3 Θεωρητικό υπόβαθρο για την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.)

#### 3.3.1 Προσαρμογή καμπυλών

Στην πράξη είναι συχνό δύο ή περισσότερες μεταβλητές να συνδέονται με κάποια σχέση και είναι επιθυμητή η διατύπωση της σχέσης αυτής με μαθηματική μορφή προσδιορίζοντας μια εξίσωση που συνδέει τις μεταβλητές.

Το πρώτο βήμα για το σκοπό αυτό είναι η συλλογή δεδομένων με αντίστοιχες τιμές των μεταβλητών. Έτσι, εάν  $X$  και  $Y$  είναι αντίστοιχα το ύψος και το βάρος ενός ενήλικου, τότε ένα δείγμα από  $n$  ενήλικους θα δώσει ύψη  $X_1, X_2, \dots, X_n$  με αντίστοιχα βάρη  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ .

Το επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός των σημείων  $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$  σ' ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Έτσι παίρνουμε ένα σύνολο διασπαρμένων σημείων, (ένα σμήνος σημείων), που συχνά καλείται διάγραμμα διασποράς.

Από το διάγραμμα διασποράς είναι συχνά εύκολο να σχεδιαστεί μία ομαλή καμπύλη που να προσεγγίζει τα δεδομένα, δηλαδή να περνάει κοντά από τα σημεία αυτά. Μια τέτοια καμπύλη καλείται προσεγγιστική καμπύλη. Έτσι, στο Σχήμα 3.4 τα δεδομένα έχουν προσεγγιστεί από μια ευθεία και θεωρείται ότι υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Στο Σχήμα 3.5 οι δύο μεταβλητές φαίνεται να συνδέονται, αλλά όχι γραμμικά και θεωρείται ότι υπάρχει μια μη γραμμική σχέση (πχ. κύκλος).

Το γενικό πρόβλημα του προσδιορισμού των εξισώσεων των προσεγγιστικών καμπυλών που προσαρμόζονται σε ορισμένα δεδομένα καλείται προσαρμογή καμπύλης. Στην πράξη το είδος της καμπύλης υποδεικνύεται συχνά από το σύνολο των σημείων.

Έτσι, στο Σχήμα 3.4 θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μία ευθεία

$$y = a + bx$$

ενώ στο Σχήμα 3.5 θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μια δευτεροβάθμια καμπύλη (κύκλος)

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2$$

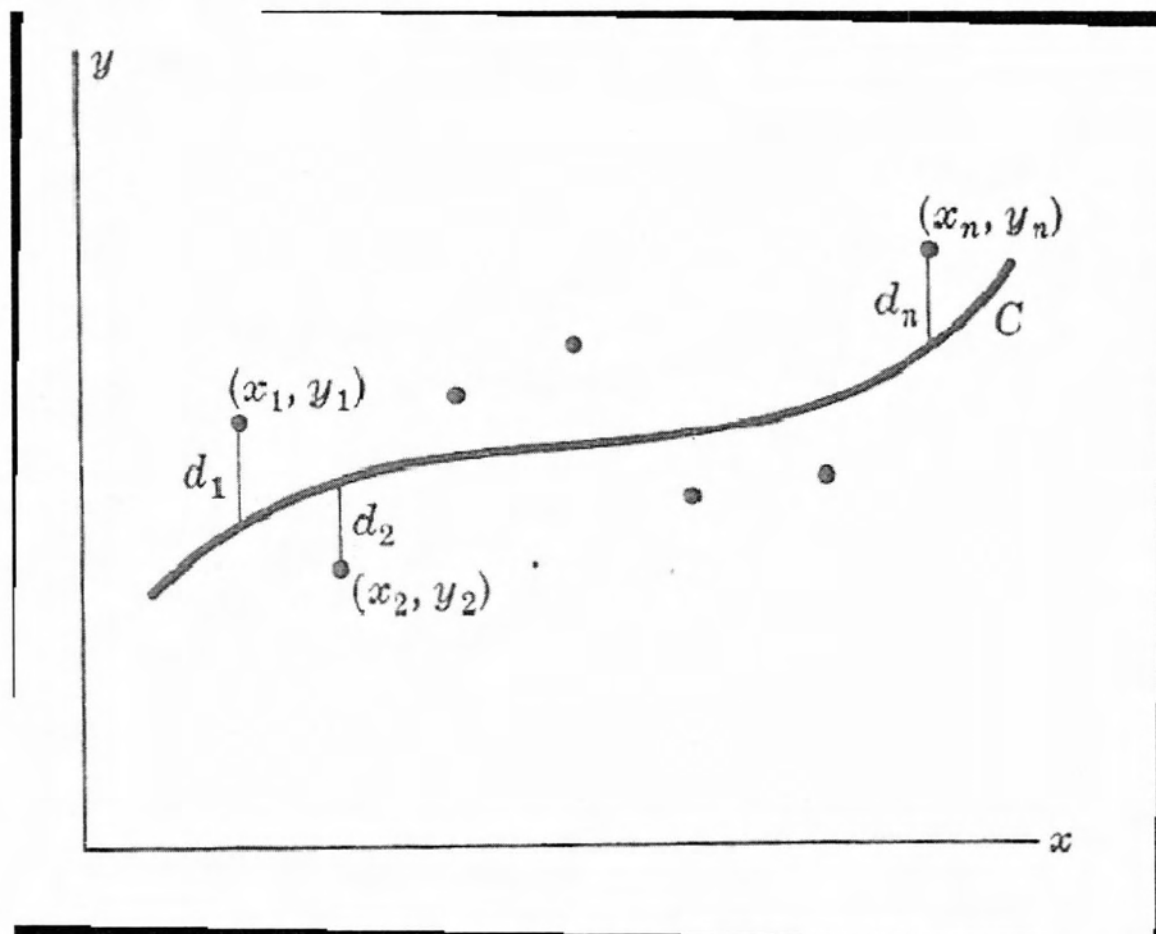
Μερικές φορές είναι σκόπιμο να ληφθούνμε τα σημεία σε διαφορετικούς άξονες, δηλαδή να μετασχηματιστούν οι μεταβλητές. Π.χ., εάν ο  $\log Y$  ως συνάρτηση του  $X$  φαίνεται να παριστάνεται από ευθεία, μπορεί να ληφθεί η  $\log Y = a + bx$  ως εξίσωση της προσεγγιστικής καμπύλης.

### 3.3.2 Παλινδρόμηση

Ένας από τους κύριους σκοπούς της προσαρμογής καμπυλών είναι η εκτίμηση μιας από τις μεταβλητές, της εξαρτημένης μεταβλητής, από την άλλη, την ανεξάρτητη μεταβλητή. Η μέθοδος ή αλλιώς διαδικασία εκτιμήσεως καλείται συχνά παλινδρόμηση. Εάν η  $Y$  πρόκειται να εκτιμηθεί από την  $X$  με βάση μια εξίσωση, η εξίσωση αυτή καλείται «εξίσωση παλινδρομήσεως» της  $Y$  ως προς (ή επί την)  $X$  και η καμπύλη που παριστάνει «καμπύλη παλινδρομήσεως» της  $Y$  ως προς (ή επί την)  $X$ .

### 3.3.3 Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων

Γενικά, σ' ένα σμήνος σημείων μπορούν να προσαρμοστούν περισσότερες από μια καμπύλες μιας ορισμένης μορφής. Για να αποφευχθούν υποκειμενικές κρίσεις στην κατασκευή τέτοιων ευθειών, παραβολών και άλλων προσεγγιστικών καμπυλών, είναι απαραίτητο να δοθούν οι ορισμοί «ευθεία με την καλύτερη προσαρμογή», «κύκλος με την καλύτερη προσαρμογή» κτλ.



Σχήμα 3.3 Δεδομένα σημεία  $(x,y)$  με αποστάσεις  $d$  από μια καμπύλη

Για να δικαιολογηθεί ορισμός που θα δοθεί, θεωρούνται στο Σχήμα 3.9 τα δεδομένα σημεία  $(X_1, Y_1), \dots, (X_n, Y_n)$ . Για κάποια τιμή του  $X$ , έστω  $X_1$ , θα υπάρχει μια διαφορά μεταξύ της τιμής  $Y_1$  και της αντίστοιχης τιμής της καμπύλης  $C$ . Έστω  $d_1$  η διαφορά αυτή, που καλείται συχνά απόκλιση, σφάλμα ή υπόλοιπο και μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή μηδέν. Όμοια, ας είναι  $d_2, \dots, d_n$  οι διαφορές που αντιστοιχούν στις τιμές  $X_2, \dots, X_n$ .

Ένα μέτρο του πόσο καλή είναι η προσαρμογή της καμπύλης C στα δεδομένα δίνεται από την ποσότητα  $d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2$ . Εάν η ποσότητα αυτή είναι μικρή, η προσαρμογή είναι καλή, εάν είναι μεγάλη, δεν είναι καλή. Έτσι δίνεται ο εξής ορισμός:

**Ορισμός:** Από όλες τις προσεγγιστικές καμπύλες για ένα δεδομένο σμήνος σημείων η καμπύλη με την ιδιότητα

$$d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2 = \text{ελάχιστο}$$

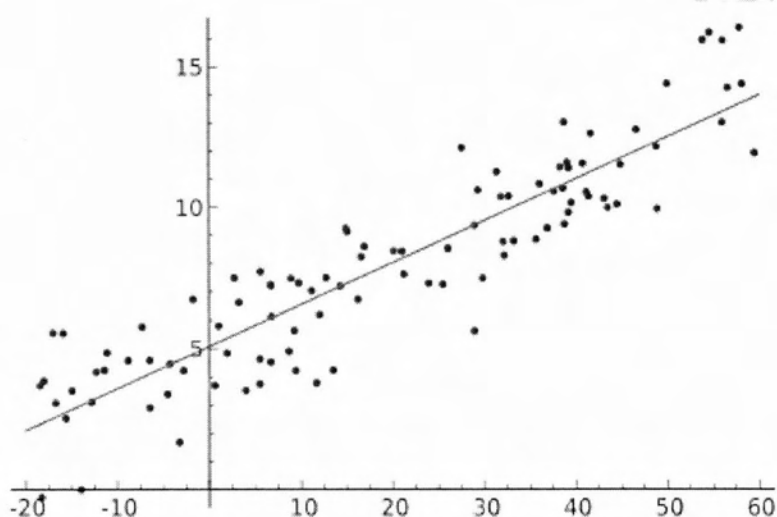
είναι η καμπύλη με την καλύτερη προσαρμογή.

Μια τέτοια καμπύλη θεωρείται ότι έχει προσαρμοστεί στα δεδομένα με βάση την αρχή των ελάχιστων τετραγώνων και καλείται καμπύλη παλινδρομήσεως ελάχιστων τετραγώνων ή απλά καμπύλη ελάχιστων τετραγώνων. Μια ευθεία με την ιδιότητα αυτή καλείται ευθεία ελάχιστων τετραγώνων, μια παραβολή με την ιδιότητα αυτή καλείται παραβολή ελάχιστων τετραγώνων, ένας κύκλος με την ιδιότητα αυτή καλείται κύκλος ελάχιστων τετραγώνων, κτλ.

Ο προηγούμενος ορισμός ισχύει όταν X είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή και Y η εξαρτημένη. Εάν X είναι η εξαρτημένη μεταβλητή, τροποποιείται ο ορισμός θεωρώντας οριζόντιες αντί για κατακόρυφες αποκλίσεις, πράγμα που σημαίνει ουσιαστικά ότι έγινε αμοιβαία αλλαγή των αξόνων. Οι δύο αυτοί ορισμοί δίνουν γενικά δύο διαφορετικές καμπύλες ελάχιστων τετραγώνων. Εκτός εάν δηλώνεται με σαφήνεια το αντίθετο, γίνεται δεκτό ότι Y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή και X η ανεξάρτητη.

Είναι δυνατό να οριστεί μια άλλη καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων παίρνοντας τις κάθετες αποστάσεις των σημείων του σμήνους από την καμπύλη αντί για τις κατακόρυφες ή οριζόντιες αποστάσεις. Αυτή η εκλογή, όμως, δεν χρησιμοποιείται συχνά.

### 3.3.4 Η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων



Σχήμα 3.8 Προσεγγιστική ευθεία – γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών  $X$  και  $Y$

Χρησιμοποιώντας τον προηγούμενο ορισμό μπορεί ναδειχθεί ότι η ευθεία ελάχιστων

τετραγώνων που προσεγγίζει το σμήνος των σημείων  $(x_1, y_1) \dots, (x_n, y_n)$  έχει εξίσωση

$$y = a + bx \quad (3)$$

όπου οι σταθερές  $a$  και  $b$  ικανοποιούν τις εξισώσεις

$$\begin{aligned} \sum y &= an + b \sum x \\ \sum xy &= a \sum x + b \sum x^2 \end{aligned}$$

Οι εξισώσεις αυτές καλούνται κανονικές εξισώσεις για την ευθεία ελάχιστων τετραγώνων.

Ας σημειωθεί ότι για συντομία γράφουμε

$$\sum x \sum y \text{ αντί για } \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i$$

Εύκολα θυμάται κανείς τις κανονικές εξισώσεις (4) εάν παρατηρήσει ότι η πρώτη εξίσωση προκύπτει τυπικά από άθροιση της (3), ενώ η δεύτερη προκύπτει τυπικά από πολλαπλασιασμό της (3) επί και άθροιση.  $x$  Λύνοντας τις (4) οι τιμές των  $a$  και  $b$  είναι:

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad b = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (5)$$



Αριθμητικό παράδειγμα

Ευθεία ελαχίστων τετραγώνων

Δεδομένα(x,y)

a/a	x	y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	xy
0	1	1	1	1	1
1	3	2	9	4	6
2	4	4	16	16	16
3	6	4	36	16	24
4	8	5	64	25	40
5	9	7	81	49	63
6	11	8	121	64	88
7	14	9	196	81	126
<b>Αθροίσματα</b>	56	40	524	256	364

Έχουμε 8 ζεύγη τιμών x και y. Άρα n=8

$$8\alpha + 56b = 40$$

$$56\alpha + 524b = 364$$

Οι εξισώσεις (4) γράφονται

$$8\alpha + 56b = 40$$

$$56\alpha + 524b = 364$$

Λύνοντας το παραπάνω σύστημα έχουμε

$$\alpha = 0,545$$

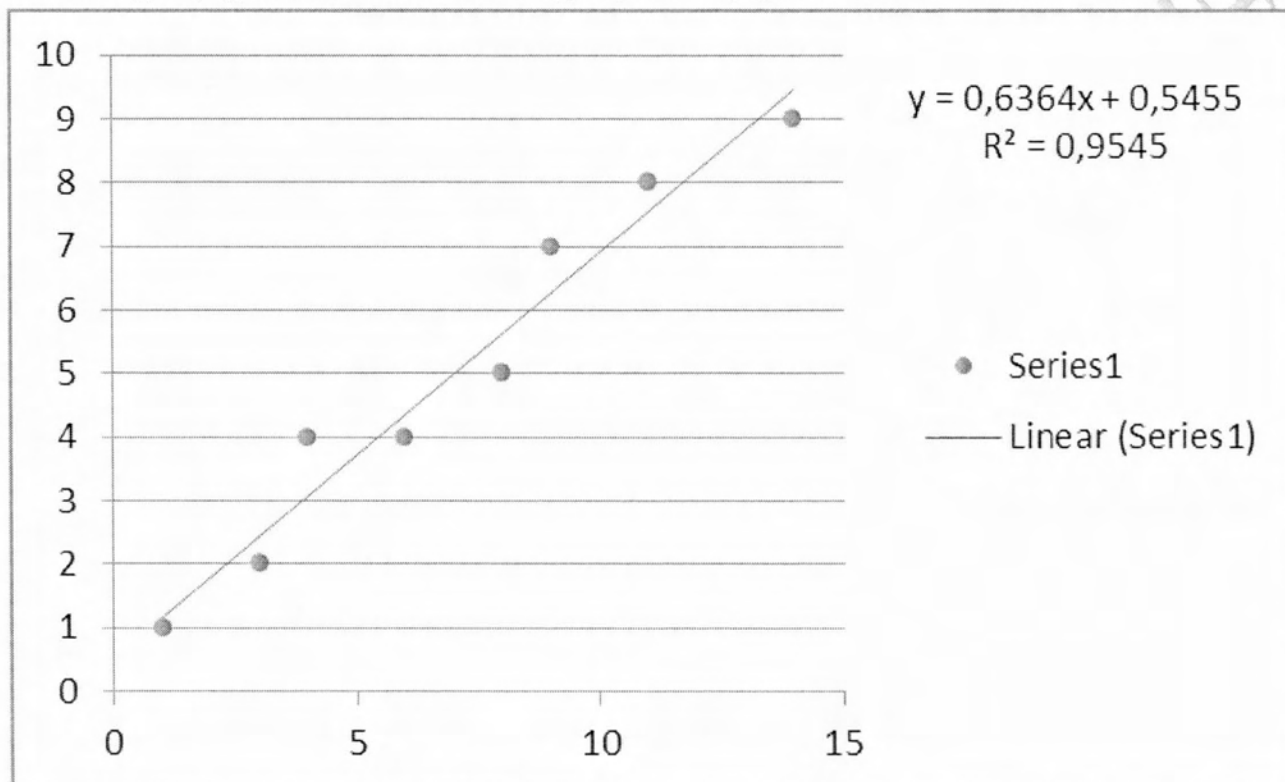
$$b = 0,636$$

Η ζητούμενη ευθεία ελαχίστων τετραγώνων είναι

$$y = 0,545 + 0,636x$$

θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε απευθείας τους τύπους (5) για άμεση εξαγωγή των  $a$  και  $b$  της ευθείας

Έτσι προκύπτει η παρακάτω ευθεία ελαχίστων τετραγώνων όπου υπολογίζεται στο γράφημα και ο συντελεστής προσδιορισμού  $r^2$



### 3.3.5 Ο κύκλος των ελαχίστων τετραγώνων

Οι προηγούμενες ιδέες μπορούν να επεκταθούν εύκολα. Έτσι ο κύκλος έχει εξίσωση της μορφής

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (12)$$

όπου  $x_0, y_0$  οι συντεταγμένες του κέντρου και  $R$  η ακτίνα.

Αναλυτικότερα, ας ορίσουμε τη μέση τιμή των  $N$  σε πλήθος σημείων  $x, y$  ως

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i \quad (13)$$

και ας ορίσουμε τις μεταβλητές  $u$  και  $v$  ως  $u_i = x_i - \bar{x}$  και  $v_i = y_i - \bar{y}$  για  $0 \leq i \leq N$ .

Αρχικά, θα λύσουμε το πρόβλημα με αγνώστους τα  $u, v$  και μετά θα υπολογίσουμε και τα  $x, y$ .

Ας υποθέσουμε κύκλο με κέντρο το και ακτίνα  $R$ . Στόχος μας είναι αν ελαχιστοποιήσουμε τη συνάρτηση

$$S = \sum_{i=1}^n (g(u_i, v_i))^2 \quad (14)$$

όπου

$$g(u, v) = (u - u_c)^2 + (v - v_c)^2 - a \quad \text{με } a = R^2 \quad (15)$$

Για να γίνει αυτό παραγωγίζουμε τη συνάρτηση  $S(a, u_c, v_c)$  ως προς  $a, u_c, v_c$ , και

$$\frac{dS}{da} = \frac{dS}{dg} \frac{dg}{da} = 2 \sum_{i=1}^n g(u_i, v_i) \frac{dg}{da}(u_i, v_i) = -2 \sum_{i=1}^n g(u_i, v_i)$$

αντίστοιχα έχουμε:

$$\text{Θέλουμε } \frac{dS}{da} = 0 \text{ άρα } \sum_{i=1}^n g(u_i, v_i) = 0 \quad (16)$$

Παραγωγίζουμε ως προς  $u_c$  και έχουμε

$$\begin{aligned} \frac{dS}{du_c} &= \frac{dS}{dg} \frac{dg}{du_c} = 2 \sum_{i=1}^n g(u_i, v_i) \frac{d(u_i^2 - 2u_i u_c + u_c^2)}{du_c} = 2 \sum_{i=1}^n g(u_i, v_i) (-2(u_i - u_c)) = \\ &= -4 \sum_{i=1}^n g(u_i, v_i) (u_i - u_c) = -4 \sum_{i=1}^n u_i g(u_i, v_i) + 4u_c \sum_{i=1}^n g(u_i, v_i) \end{aligned}$$

Όμως από την (16) γνωρίζουμε ότι

$$\sum_{i=1}^n g(u_i, v_i) = 0 \quad \text{Άρα} \quad \frac{dS}{du_c} = -4 \sum_{i=1}^n u_i g(u_i, v_i)$$

$$\text{Θέλουμε} \quad \frac{dS}{du_c} = 0 \quad \text{οπότε} \quad \sum_{i=1}^n u_i g(u_i, v_i) = 0 \quad (17)$$

Όμοια προκύπτει παραγωγίζοντας ως προς  $v_c$  ότι

$$\sum_{i=1}^n v_i g(u_i, v_i) = 0 \quad (18)$$

Υπολογίζοντας το ανάπτυγμα της σχέσης (17) προκύπτει

$$\sum_{i=1}^n u_i [u_i^2 - 2u_i u_c + u_c^2 + v_i^2 - 2v_i v_c + v_c^2 - a] = 0 \quad (19)$$

$$\text{όπου εάν ορίσουμε ως} \quad S_u = \sum_{i=1}^n u_i, S_{uu} = \sum_{i=1}^n u_i^2, S_{uuu} = \sum_{i=1}^n u_i^3, S_{uv} = \sum_{i=1}^n u_i v_i,$$

$$S_{uvv} = \sum_{i=1}^n u_i v_i^2, S_{vvv} = \sum_{i=1}^n v_i^3, S_{vv} = \sum_{i=1}^n v_i^2, S_v = \sum_{i=1}^n v_i, S_{vuu} = \sum_{i=1}^n v_i u_i^2$$

μπορούμε να επαναδιατυπώσουμε τη σχέση (19) ως

$$S_{uuu} - 2u_c S_{uu} + u_c^2 S_u + S_{uvv} - 2v_c S_{uv} + v_c^2 S_u - a S_u = 0 \quad (20)$$

και καθώς  $S_u=0$ , η σχέση (20) μπορεί να γραφτεί στην παρακάτω απλή μορφή

$$u_c S_{uu} + v_c S_{uv} = \frac{1}{2}(S_{uuu} + S_{uvv}) \quad (21)$$

Ομοίως από τη σχέση (18) προκύπτει

$$u_c S_{uv} + v_c S_{vv} = \frac{1}{2}(S_{vvv} + S_{vuuv}) \quad (22)$$

Λύνοντας τις εξισώσεις (21) και (22) προκύπτουν τα  $(u_c, v_c)$  και εν συνεχεία

υπολογίζεται το κέντρο του κύκλου  $(x_c, y_c) = (u_c, v_c) + (\bar{x} + \bar{y})$ .

Προκειμένου να βρούμε την ακτίνα του κύκλου χρησιμοποιούμε τη σχέση (16) και προκύπτει ότι

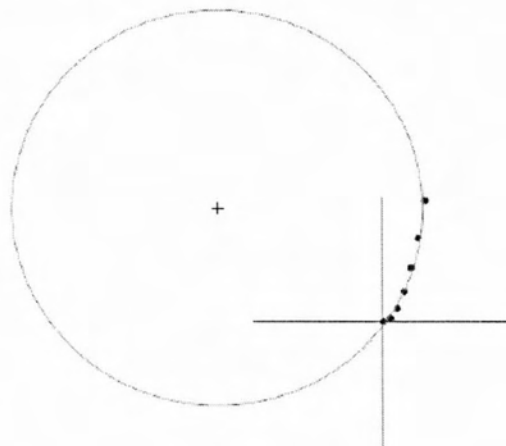
$$N(u_c^2 + v_c^2 - a) + S_{uu} + S_{vv} = 0 \quad (23)$$

και κατά συνέπεια

$$a = u_c^2 + v_c^2 + \frac{S_{uu} + S_{vv}}{N} \quad (24)$$

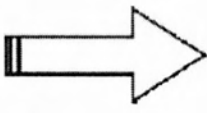
οπότε η ακτίνα του κύκλου  $R = \sqrt{a}$ .

Έτσι, προκύπτει ο κύκλος ελαχίστων τετραγώνων



Σχήμα 3.9 Κύκλος ελαχίστων τετραγώνων

*Αριθμητικό παράδειγμα  
Κύκλος ελαχίστων τετραγώνων*

i/a	Δεδομένα(x,y)		Μετασχηματίζουμε (u,v) συντεταγμένες			
	xi	yi	Average X	Average Y	ui=xi-av.x	vi=yi-av.y
0	0	0	1,5	3,25	-1,5	-3,25
1	0,5	0,25			-1	-3
2	1	1			-0,5	-2,25
3	1,5	2,25			0	-1
4	2	4			0,5	0,75
5	2,5	6,25			1	3
6	3	9			1,5	5,75

**Βρίσκουμε τις ποσότητες**

$S_u = \sum u_i = 0$  (ή αλλιώς  $\chi$ )  
 $S_{uu} = \sum u_i^2 = 7$  (ή αλλιώς  $\chi^2$ )  
 $S_{uuu} = \sum u_i^3 = 0$  (ή αλλιώς  $\chi^3$ )

$S_v = \sum v_i = 0$  (ή αλλιώς  $\gamma$ )  
 $S_{vv} = \sum v_i^2 = 68,25$  (ή αλλιώς  $\gamma^2$ )  
 $S_{vvv} = \sum v_i^3 = 143,8125$  (ή αλλιώς  $\gamma^3$ )

$S_{uv} = \sum u_i v_i = 21$  (ή αλλιώς  $\chi\gamma$ )  
 $S_{uuv} = \sum u_i v_i^2 = 31,5$  (ή αλλιώς  $\chi\gamma^2$ )  
 $S_{uuu} = \sum u_i^2 v_i = 5,25$  (ή αλλιώς  $\chi^2\gamma$ )

Λύνοντας τις εξισώσεις (21) και (22) προκύπτουν τα ( $u_c, v_c$ )

$$\begin{cases} u_c \cdot S_{uu} + v_c \cdot S_{uv} = 0.5(S_{uuu} + S_{uuv}) \\ u_c \cdot S_{uv} + v_c \cdot S_{vv} = 0.5(S_{vvv} + S_{vuv}) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 7u_c + 21v_c = 15.75 \\ 21u_c + 68.25v_c = 74.531 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} u_c = -13.339 \\ v_c = 5.1964 \end{cases}$$

Εν συνεχεία υπολογίζετε το κέντρο του κύκλου  $(x_c, y_c) = (u_c, v_c) + (av.x, av.y)$

$x_c =$	-11.839
$y_c =$	8.4464

Για να βρούμε την ακτίνα του κύκλου χρησιμοποιούμε τη σχέση (24) και προκύπτει  $a = 215.69$  οπότε η ακτίνα  $R = a^{1/2}$

Άρα  $R = 14.686$  Με αυτόν τον τρόπο βρήκαμε τον κύκλο ελαχίστων τετραγώνων

Στο παράδειγμα που έχουμε λύσει παραπάνω η εξίσωση του κύκλου παίρνει τη μορφή  $(x + 11,84)^2 + (y - 8,45)^2 = 215,69$

Λύνοντας προκύπτει  $x^2 + 23,68x + 140,19 + y^2 - 16,9y + 70,56 = 215,69$  και για κάθε  $x$  έχουμε

$$\text{Για } x = 0 \rightarrow y_{σκ} = -0,288 \quad \text{και} \quad (y_{σκ} - \bar{y})^2 = 12,517$$

$$\text{Για } x = 0,5 \rightarrow y_{σκ} = 0,433 \quad = 7,932$$

$$\text{Για } x = 1 \rightarrow y_{σκ} = 1,26 \quad = 3,96$$

$$\text{Για } x = 1,5 \rightarrow y_{σκ} = 2,24 \quad = 1,02$$

$$\text{Για } x = 2 \rightarrow y_{σκ} = 3,45 \quad = 0,04$$

$$\text{Για } x = 2,5 \rightarrow y_{σκ} = 5,146 \quad = 3,59$$

$$\text{Οπότε} \quad r^2 = 1 - \frac{\sum (y_{σκ} - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} = 1 - \frac{29,064}{68,25} = 1 - 0,43 = 0,5657 \quad \text{και} \quad r = 0,75$$

Χρησιμοποιώντας την σχέση (36) υπολογίσαμε τον συντελεστή προσδιορισμού  $r^2$  που για τον παραπάνω κύκλο είναι  $r^2 = 0,57$  και τον συντελεστή συσχέτισης  $r = 0,75$ . Είναι λογικό ο συντελεστής συσχέτισης να μην βρίσκεται κοντά στη μονάδα καθώς χρησιμοποιήσαμε σημεία από μία παραβολή και βρήκαμε τον καλύτερο κύκλο που χωράει στα σημεία αυτά υπό την έννοια των ελαχίστων τετραγώνων. Επειδή η εξίσωση είναι δευτέρου βαθμού ως προς  $y$  βγαίνουν 2 τιμές σε κάθε επίλυση. Επιλέγουμε κάθε φορά την τιμή που βρίσκεται πιο κοντά στα  $y$  των σημείων των δεδομένων.

### 3.3.6 Τυπικό σφάλμα εκτιμήσεως

Εάν  $y_{εκ}$  είναι η εκτίμηση της τιμής του  $y$  για δεδομένο  $x$  από την καμπύλη παλινδρόμησης της  $y$  ως προς  $x$ , τότε ένα μέτρο του πόσο διασπαρμένα είναι τα σημεία γύρω από την καμπύλη είναι η ποσότητα

$$s_{y,x} = \sqrt{\frac{\sum (y - y_{εκ})^2}{n}} \quad (25)$$

που καλείται τυπικό σφάλμα της εκτιμήσεως της  $y$  από την  $x$ .

Επειδή  $\sum (y - y_{εκ})^2 = \sum d^2$  απ όλες τις δυνατές καμπύλες παλινδρόμησης η καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων έχει το μικρότερο τυπικό σφάλμα εκτιμήσεως.

Στην περίπτωση της ευθείας παλινδρόμησης, όπου τα  $a$  και  $b$  πληρούν τις σχέσεις (4), έχουμε

$$s_{y,x}^2 = \frac{\sum y^2 - a \sum y - b \sum xy}{n} \quad (26)$$

$$s_{y,x}^2 = \frac{\sum (y - \bar{y})^2 - b \sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{n} \quad (27)$$

Το  $S^2(y,x)$  για την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της διασποράς και του συντελεστή συσχέτισης

$$s_{y,x}^2 = s_y^2 (1 - r^2) \quad (28)$$

Σαν συνέπεια αυτής της σχέσης έχουμε  $r^2 \leq 1$  δηλαδή  $-1 \leq r \leq 1$ .

Το τυπικό σφάλμα εκτιμήσεως έχει ιδιότητες ανάλογες με αυτές της τυπικής απόκλισης



Ακολουθούν εικόνες εφαρμογής της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων στο excel

1	A	B	C	D	E	H	I	J
	ονομα σημείου	γνωστά χ	γνωστά γ	Δs	ΧΘ	N	ΣΧ	ΣΥ
38	72	432062,0135	4351435,107	0,014369207	0,198793867	37	15.986.291,89	161.003.099,13
39	73	432062,0137	4351435,125	0,018497329	0,217291196	38	16.418.353,90	165.354.534,26
40	74	432062,0282	4351435,143	0,023422766	0,240713962	39	16.850.415,93	169.705.969,40
41	75	432062,0285	4351435,18	0,036994658	0,27770862	40	17.282.477,96	174.057.404,58
42	76	432062,0288	4351435,217	0,036994649	0,314703269	41	17.714.539,99	178.408.839,80
43	77	432062,0434	4351435,236	0,023422765	0,338126034	42	18.146.602,03	182.760.275,03
44	78	432062,0439	4351435,291	0,055491988	0,393618022	43	18.578.664,07	187.111.710,32
45	79	432062,0443	4351435,347	0,055491988	0,449110009	44	19.010.726,12	191.463.145,67
46	80	432062,045	4351435,421	0,073989326	0,523099335	45	19.442.788,16	195.814.581,09
47	81	432062,0458	4351435,513	0,092486656	0,615585991	46	19.874.850,21	200.166.016,60
48	82	432062,0468	4351435,624	0,110983975	0,726569967	47	20.306.912,25	204.517.452,23
49	83	432062,0479	4351435,754	0,129481314	0,85605128	48	20.738.974,30	208.868.887,98
50	84	432062,0492	4351435,902	0,147978644	1,004029924	49	21.171.036,35	213.220.323,88
51	85	432062,0503	4351436,031	0,129481314	1,133511237	50	21.603.098,40	217.571.759,91
52	86	432062,0517	4351436,198	0,166475972	1,29998721	51	22.035.160,45	221.923.196,11
53	87	432062,0533	4351436,383	0,184973301	1,484960511	52	22.467.222,51	226.274.632,49
54	88	432062,0407	4351436,586	0,203977388	1,688937899	53	22.899.284,55	230.626.069,08
55	89	432062,0424	4351436,771	0,184973302	1,873911202	54	23.331.346,59	234.977.505,85
56	90	432062,0588	4351437,011	0,240894231	2,114805432	55	23.763.408,65	239.328.942,86
57	91	432062,0753	4351437,252	0,24089424	2,355699672	56	24.195.470,72	243.680.380,11
58	92	432062,0775	4351437,511	0,258962627	2,6146623	57	24.627.532,80	248.031.817,63
59	93	432062,0798	4351437,77	0,258962618	2,873624918	58	25.059.594,88	252.383.255,40
60	94	432062,0967	4351438,065	0,296305908	3,169930825	59	25.491.656,98	256.734.693,46
61	95	432062,0993	4351438,361	0,295957296	3,465888122	60	25.923.719,08	261.086.131,82
62	96	432062,102	4351438,676	0,314454606	3,780342728	61	26.355.781,18	265.437.570,50
63	97	432062,1049	4351439,009	0,332951954	4,113294682	62	26.787.843,28	269.789.009,51
64	98	432062,1078	4351439,342	0,332951945	4,446246627	63	27.219.905,39	274.140.448,85
65	99	432062,1251	4351439,675	0,333261868	4,779508495	64	27.651.967,52	278.491.888,52
66	100	432062,1281	4351440,026	0,351449284	5,130957779	65	28.084.029,65	282.843.328,55
67	101	432062,1456	4351440,377	0,351742899	5,482700678	66	28.516.091,79	287.194.768,93
68	102	432062,1775	4351440,747	0,371061175	5,853761853	67	28.948.153,97	291.546.209,67
69	103	432062,2095	4351441,117	0,371061164	6,224823017	68	29.380.216,18	295.897.650,79
70	104	432062,2416	4351441,505	0,389505577	6,614328594	69	29.812.278,42	300.249.092,29
71	105	432062,2879	4351441,874	0,372449671	6,986778265	70	30.244.340,71	304.600.534,17

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

Όπου βρίσκουμε τα νέα  $x, y$  σημεία μετά τη γραμμική παλινδρόμηση (προβολές των αρχικών σημείων στην ευθεία της γραμμικής παλινδρόμησης)

K	L	M	N	O	P	Q	R
$\Sigma(X^2)$	$\Sigma(X*Y)$	a	b	-1/a	c	$x'$	$y'$
6.907.068.331.805,15	69.563.311.819.081	-6,15384615	7010277,84	0,1625	4281225,03	432061,946	4351435,1
7.093.745.915.466,37	71.443.401.641.569	-5,33333333	6655765,48	0,1875	4270423,5	432061,945	4351435,11
7.280.423.511.682,87	73.323.491.535.218	-4,19047619	6161980,41	0,23863636	4248329,43	432061,944	4351435,12
7.467.101.108.177,31	75.203.581.446.251	-3,52	5872293,17	0,28409091	4228690,29	432061,938	4351435,15
7.653.778.704.949,70	77.083.671.374.667	-2,93333333	5618816,84	0,34090909	4204141,34	432061,928	4351435,18
7.840.456.314.277,37	78.963.761.374.244	-2,37837838	5379041,93	0,42045455	4169772,79	432061,925	4351435,19
8.027.133.924.021,96	80.843.851.399.896	-1,71428571	5092112,76	0,58333333	4099399,1	432061,905	4351435,21
8.213.811.534.183,46	82.723.941.451.623	-1,33333333	4927517,74	0,75	4027388,81	432061,884	4351435,23
8.400.489.144.900,85	84.604.031.538.115	-1,01818182	4791352,77	0,98214286	3927088,77	432061,859	4351435,24
8.587.166.756.313,10	86.484.121.668.066	-0,51612903	4574434,87	1,9375	3514315,3	432061,877	4351435,19
8.773.844.368.559,18	88.364.211.850.165	0	4351435,15	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
8.960.521.981.778,05	90.244.302.093.104	0,519480519	4126987,39	-1,925	5183155,2	432062,27	4351435,33
9.147.199.596.108,70	92.124.392.405.576	1,129411765	3863459,31	-0,88541667	4733990,84	432062,36	4351435,63
9.333.877.211.412,15	94.004.482.778.888	1,720430108	3608102,78	-0,58125	4602572,1	432062,351	4351435,86
9.520.554.827.966,34	95.884.573.230.424	2,24	3383616,41	-0,44642857	4544321,04	432062,348	4351436,07
9.707.232.445.910,25	97.764.663.768.875	2,990654206	3059287,29	-0,334375	4495907,13	432062,323	4351436,29
9.893.910.052.966,53	99.644.754.340.462	3,428571429	2870079,93	-0,29166667	4477454,68	432062,333	4351436,5
10.080.587.661.412,50	101.524.844.998.964	4,168067227	2550571,94	-0,23991935	4455096,82	432062,313	4351436,71
10.267.265.284.081,50	103.404.935.832.926	4,952380952	2211699,83	-0,20192308	4438680,31	432062,306	4351436,96
10.453.942.920.973,30	105.285.026.842.348	5,797101449	1846728,24	-0,1725	4425967,96	432062,297	4351437,21
10.640.620.559.810,80	107.165.117.973.451	6,736842105	1440702,06	-0,1484375	4415571,73	432062,288	4351437,48
10.827.298.200.593,90	109.045.209.226.236	7,609756098	1063549,15	-0,13141026	4408215,16	432062,284	4351437,74
11.013.975.856.016,80	110.925.300.680.554	8,719101124	584243,364	-0,11469072	4400991,58	432062,277	4351438,04
11.200.653.513.663,30	112.805.392.273.937	9,731958763	146626,113	-0,10275424	4395834,57	432062,274	4351438,34
11.387.331.173.672,30	114.685.484.015.076	11	-401246,27	-0,09090909	4390717,05	432062,266	4351438,66
11.574.008.836.182,80	116.565.575.912.661	11,96460177	-818013,995	-0,08357988	4387550,71	432062,269	4351439
11.760.686.501.194,80	118.445.667.966.694	13,1147541	-1314951,06	-0,07625	4384384,08	432062,267	4351439,33
11.947.364.181.124,60	120.325.760.239.644	14,2556391	-1807884,07	-0,07014768	4381747,83	432062,266	4351439,66
12.134.041.863.694,80	122.205.852.677.733	15,33333333	-2273514,76	-0,06521739	4379617,99	432062,268	4351440,02
12.320.719.561.321,80	124.085.945.343.431	16,35220126	-2713728,84	-0,06115385	4377862,64	432062,271	4351440,37
12.507.397.286.560,80	125.966.038.307.900	17,43820225	-3182948,57	-0,05734536	4376217,51	432062,273	4351440,74
12.694.075.039.411,90	127.846.131.571.140	18,18536585	-3505769,55	-0,05498927	4375199,9	432062,282	4351441,11
12.880.752.820.014,00	129.726.225.141.842	18,8907563	-3810541,94	-0,05293594	4374313,13	432062,291	4351441,5
13.067.430.640.644,50	131.606.319.073.786	19,07692308	-3890977,53	-0,05241935	4374090,3	432062,307	4351441,87

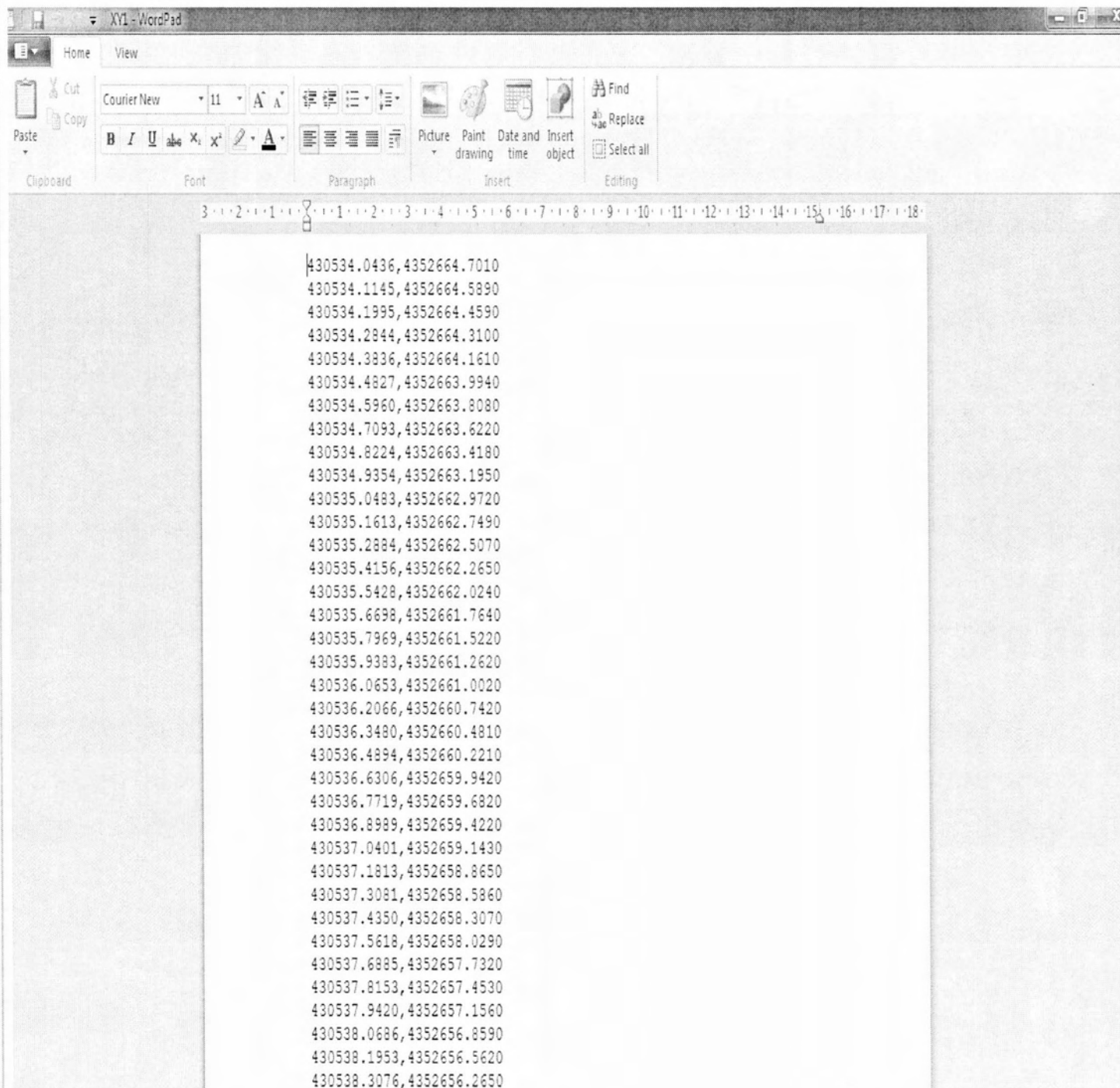
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

### 4.1 Περιβάλλον εργασίας

Σαν πρώτο στάδιο δοκιμάσαμε την μέθοδο με ένα παράδειγμα στο Excel , για να βρούμε πιο εύκολα τα σφάλματα που τυχόν θα υπήρχαν και γενικότερα τις ειδικότερες περιπτώσεις που θα αντιμετωπίζαμε.

Έτσι, σε επόμενο στάδιο , και αφού καταλήξαμε στη μέθοδο που θα χρησιμοποιήσουμε και τα διάφορα κριτήρια που θα ακολουθήσουμε , ξεκίνησε η σύνταξη του αλγόριθμου με την βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN . Η διαδικασία σύνταξης του προγράμματος έγινε μέσω του compiler Microsoft Visual Studio 10. Όλος ο κώδικας είναι γραμμένος σε αρχείο \*.f90. Το αρχείο αυτό έχει πολύ μικρό μέγεθος και , επιπλέον, διαθέτει λειτουργίες εγγράφου οπότε απλοποιεί πολύ τη σύνταξη. Το πρόγραμμα, μόλις ολοκληρωθεί, δημιουργεί κάποια αρχεία αλφαριθμητικών αποτελεσμάτων της μορφής .XYV τα οποία αποθηκεύονται στο φάκελο εργασίας του χρήστη και μπορούν να αναγνωστούν και να εισαχθούν στο Anadelta 4 σαν πολυγωνική δρόμου

Αρχείο εισόδου(input) στον αλγόριθμο (δεδομένα X, Y)



Αρχείο εξαγωγής(output) σε μορφή .XYV για απ'ευθείας εισαγωγή στο Anadelta 4 για την γραφική αποτύπωση της πολυγωνικής

1,K1,	430535.834363131	,	4352665.46951230			
1,K,	430588.033947740	,	4352496.13466671	,	0,	1351.00023232792
1,K,	430630.220773892	,	4352436.98046493	,	0,	2034.74877921642
1,K,	430925.892129468	,	4352253.99805003	,	0,	89.6754218979949
1,K,	431169.928773117	,	4352292.29857522	,	0,	122.306009014885
1,K,	431238.594022700	,	4352352.07763074	,	0,	61.1838348776023
1,K,	431255.066990790	,	4352461.31022792	,	0,	14.9936841064521
1,K,	431392.389123735	,	4352448.94263620	,	0,	119.283906722325
1,K,	431452.794607099	,	4352437.62612368	,	0,	20.8727223535903
1,K,	431493.179300293	,	4352358.96766908	,	0,	1180.39170509537
1,K,	431478.531901937	,	4352134.27854606	,	0,	329.447715437727
1,K,	431585.353918547	,	4351867.85706358	,	0,	72.0329906072481
1,K,	431713.037806599	,	4351833.46702809	,	0,	57.3015045027639
1,K,	431801.619975559	,	4351753.31132463	,	0,	841.682117173984
1,K,	431888.511280581	,	4351631.46989425	,	0,	52.0079294015103
1,K,	432038.723906279	,	4351655.72366120	,	0,	16.8055119851015
1,K,	432068.616304350	,	4351442.43658413			

Περιβάλλον Σύνταξης του Κώδικα ( Compiler)

LinearRegression.f90

```

PROGRAM LinearRegression
  IMPLICIT NONE

  CHARACTER(100) :: XY1, XY2

  WRITE(*, '(A)', ADVANCE = "NO") "Enter the left line XY.DAT: "
  READ(*, *) XY1
  WRITE(*, '(A)', ADVANCE = "NO") "Enter the right line XY.DAT: "
  READ(*, *) XY2

  OPEN(2,FILE=XY1,STATUS='OLD') ! δεξια oriogrammh XY
  OPEN(3,FILE='GAMA.DAT',STATUS='UNKNOWN') ! allagh kateu8hnhshs meta3y eu8ugrammh tmhmatwn
  OPEN(4,FILE='FINAL_COORDINATES.RLN',STATUS='UNKNOWN') ! eu8ugramma tmhmeta ana 10 metra (tolbig)
  OPEN(5,FILE='AZIMOUTHIO.DAT',STATUS='UNKNOWN') ! azimou8io ana eu8ugrammo tmhna
  OPEN(6,FILE='EUTHUGRAMMIA.DAT',STATUS='UNKNOWN') ! arxika-telika shmeia (x,y) eu8ugrammh tmhmatwn (tolbig) pou anhkoun se eu8ugrammia
  OPEN(7,FILE='KUKLIKOTOXO.DAT',STATUS='UNKNOWN') ! arxika-telika shmeia (x,y) eu8ugrammh tmhmatwn (tolbig) pou anhkoun se kykliko to3o
  OPEN(8,FILE='ARXIKATELIKALINES.DAT',STATUS='UNKNOWN') ! au3ontes aris8moi arxhs-telous eu8ugrammias (sxedio ETLINES.RLN)
  OPEN(9,FILE='ARXIKATELIKACURVE.DAT',STATUS='UNKNOWN') ! au3ontes aris8moi arxhs-telous kuklikou to3ou (sxedio ETCURVES.RLN)
  OPEN(10,FILE='ETLINES.RLN',STATUS='UNKNOWN') ! syntetagmenes arxhs-telous eu8ugrammiwn
  OPEN(11,FILE='ETCURVES.DAT',STATUS='UNKNOWN') ! syntetagmenes kentrou-aktinas kyklikwn to3wn
  OPEN(12,FILE='POLIGONIKI.XY1',STATUS='UNKNOWN') ! arxeio gia eisodo poligonikis sto Anadelta4 (de3ia oriogrammh)
  OPEN(13,FILE='ARCS.RLN',STATUS='UNKNOWN') ! arxh-kentro-telos kyklikwn to3wn
  OPEN(15,FILE='TEST.DAT',STATUS='UNKNOWN')
  OPEN(16,FILE=XY2,STATUS='OLD') ! aristerh oriogrammh XY
  OPEN(17,FILE='POLIGONIKI.XY2',STATUS='UNKNOWN') ! arxeio gia eisodo poligonikis sto Anadelta4 (aristerh oriogrammh)

  CALL MAIN(2,12)
  CALL MAIN(16,17)

CONTAINS

!*****
SUBROUTINE MAIN(FD_INPUT, FD_OUTPUT)
!*****
  IMPLICIT NONE
  
```

0 Errors 0 Warnings 0 Messages

Description	File	Line	Column	Project

Ln 4 Col 9 Ch 9

## 4.2 Βήματα Υπολογισμών στον Κώδικα

Ο κώδικας έχει τέτοια σύνταξη που το μόνο που χρειάζεται είναι η εισαγωγή των δεδομένων , δηλαδή των συντεταγμένων των σημείων (X,Y) της τοπογραφικής αποτύπωσης της οδού ή του οδικού τμήματος. Μετά απο υπολογισμούς , εξάγει ένα αρχείο σε μορφή .XYV που είναι τα απαραίτητα στοιχεία για την ανάγνωση και την γραφική αποτύπωση της οδού ή του οδικού τμήματος στο πρόγραμμα Anadelta 4 .Ακολουθούν τα βήματα των υπολογισμών :

A) Υπολογισμός του αριθμού των σημείων (X,Y) (εισαγώμενα δεδομένα) για κάθε οριογραμμή

```
DO
  NODES=NODES+1
  I=I+1
  READ(FD_INPUT,*) NAME(I),XY(I,1),XY(I,2),Z(I)
  XY(I,3)=1
  IF( XY(I,1)==0) EXIT
END DO
```

Β) Για κάθε δεκάμετρα απόστασης διαδοχικών σημείων , εύρεση ευθυγραμμίας με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης (παράμετροι  $\alpha, \beta$  απο εξίσωση ευθείας  $y = \alpha \cdot x + \beta$  ) και εύρεση αρχικού και τελικού σημείου κάθε δεκάμετρης ευθυγραμμίας

Προσοχή : για τμήματα(10μέτρων) με αζιμούθιο κοντά στις 90 ή 270 μοίρες γίνεται αλλαγή των  $x, y$  (χρησιμοποίηση της υπορουτίνας REGRESSION2) για μεγαλύτερη ακρίβεια στην προσέγγιση της ευθείας

Γ)Υπολογισμός αζιμουθίου για κάθε δεκάμετρο ευθύγραμμο τμήμα

$$T(K) = \text{ATAN}((YF - YIN) / (XF - XIN)) * 180 / \text{PI}$$

Όπου  $(XF, YF)$  = τελικό σημείο  
 $(XIN, YIN)$  = αρχικό σημείο

Απαραίτητες αλλαγές των αζιμουθίων για κοινό άξονα αναφοράς

```
IF (XX2-XX1<0) THEN
  T(K)=T(K)+180
END IF
```

```
IF (T(K)<0) THEN
  T(K)=T(K)+360
END IF
```



Δ)Υπολογισμός αλλαγής κατεύθυνσης ανα διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα

$GAMA(I)=T(I+1)-T(I)$

IF ( DABS(GAMA(I))>180 ) THEN

GAMA(I)=360-DABS(GAMA(I))

IF ( T(I+1)>T(I) ) THEN

GAMA(I)=-GAMA(I)

END IF

END IF

Ε)Αναγνώριση και διαχωρισμός των σημείων που βρίσκονται σε ευθυγραμμία και των σημείων που βρίσκονται σε κυκλικά τόξα βάση κριτηρίων που θέσαμε σύμφωνα με την αλλαγή αζιμουθίων

Πιο συγκεκριμένα, για ομόσημες γωνίες κατεύθυνσης :

-αν η αλλαγή γωνίας κατεύθυνσης είναι μικρότερη απο 3 ή η επόμενη αλλαγή γωνίας κατεύθυνσης είναι μικρότερη απο 3 και το άθροισμα τους είναι μικρότερο απο  $2*3$  τότε ανήκουν σε ευθυγραμμία ( η κρίσιμη αλλαγή γωνίας είναι διαφορετική για κάθε δρόμο που ελέγχουμε και είναι στο χέρι του χρήστη να το κρίνει )

αλλιώς ανήκουν σε κυκλικό τόξο

Παραδοχές:

-10μετρα ευθύγραμμα τμήματα με ετερόσημες γωνίες κατεύθυνσης ανήκουν σε ευθύγραμμα τμήματα

-Ο δρόμος ή το οδικό τμήμα που ελέγχουμε ξεκινάει πάντα με ευθυγραμμία

-Ο δρόμος ή το οδικό τμήμα που ελέγχουμε τελειώνει πάντα με ευθυγραμμία

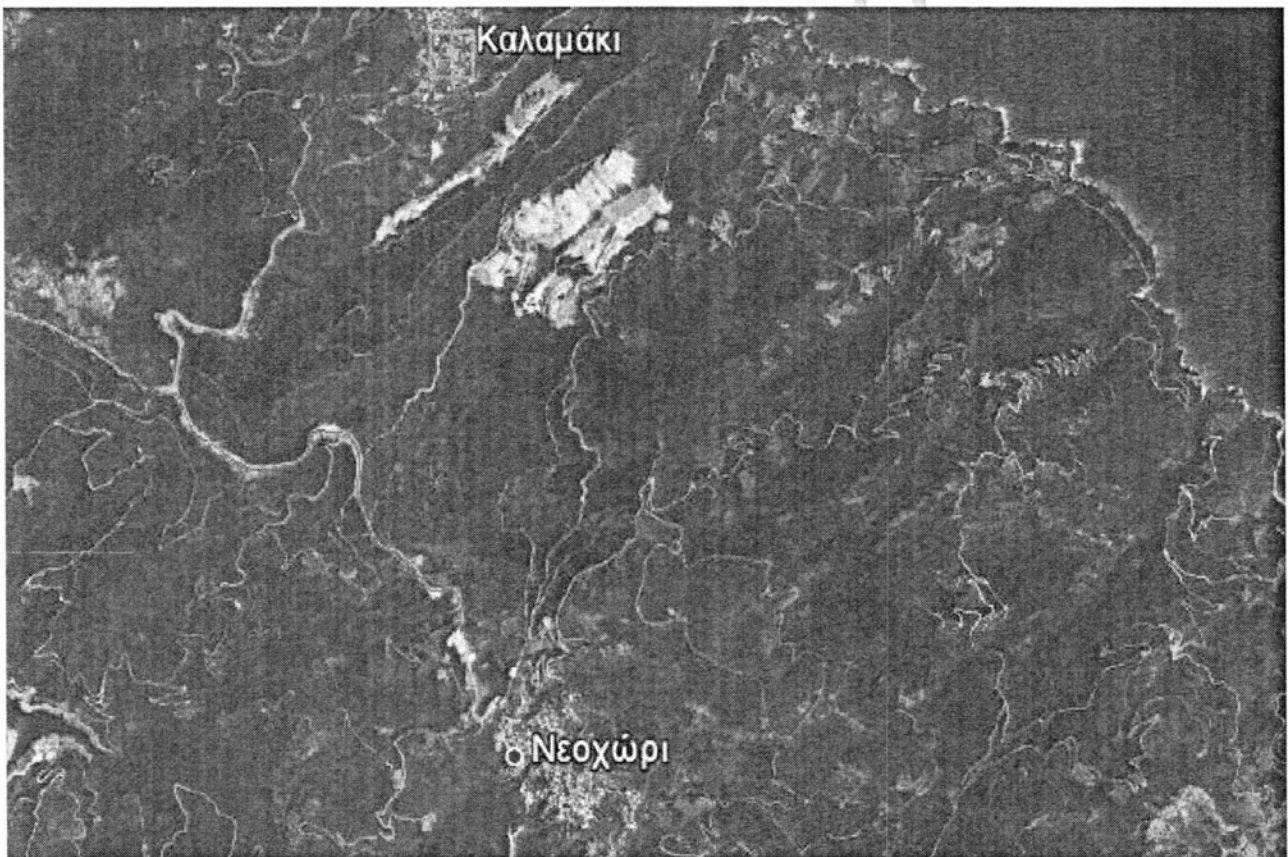
ΣΤ)Εφαρμογή μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης στα νέα ευθύγραμμα τμήματα και μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων κύκλου για τα σημεία που ανήκουν σε κυκλικά τόξα □ υπολογισμός αρχής και τέλους ευθυγραμμίας καθώς και κέντρου κύκλου και ακτίνας

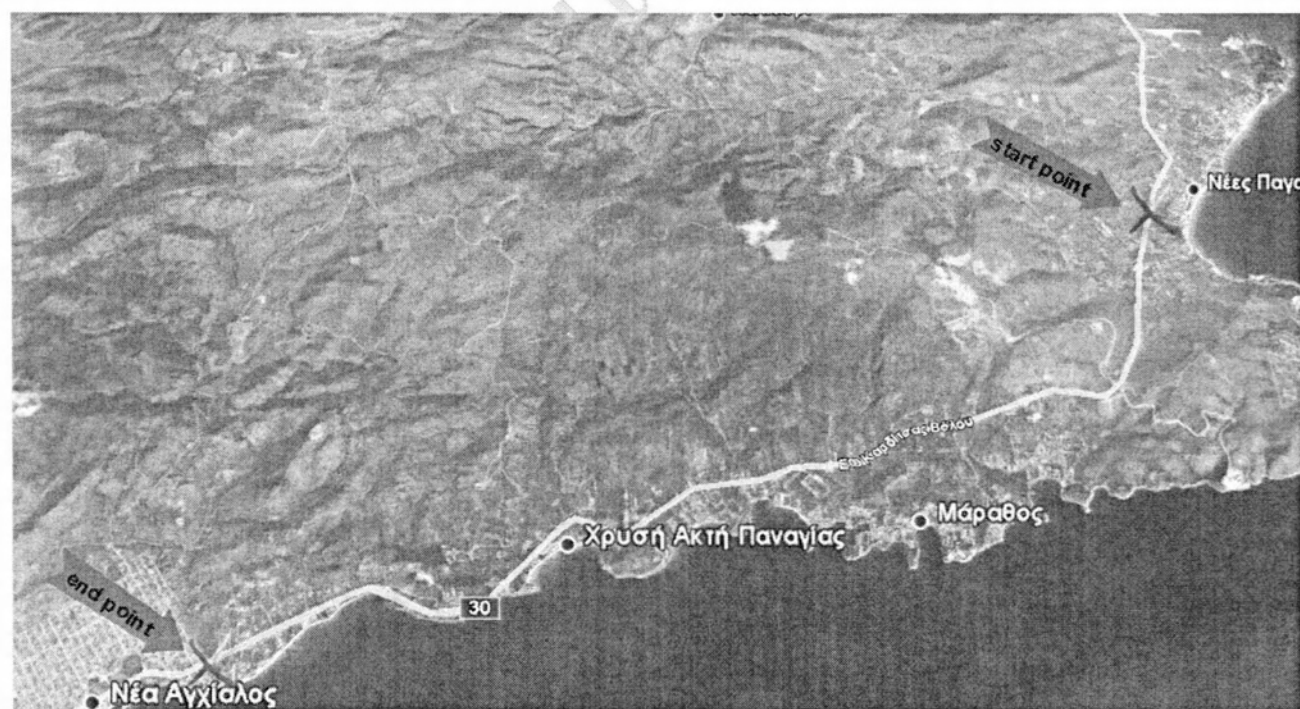
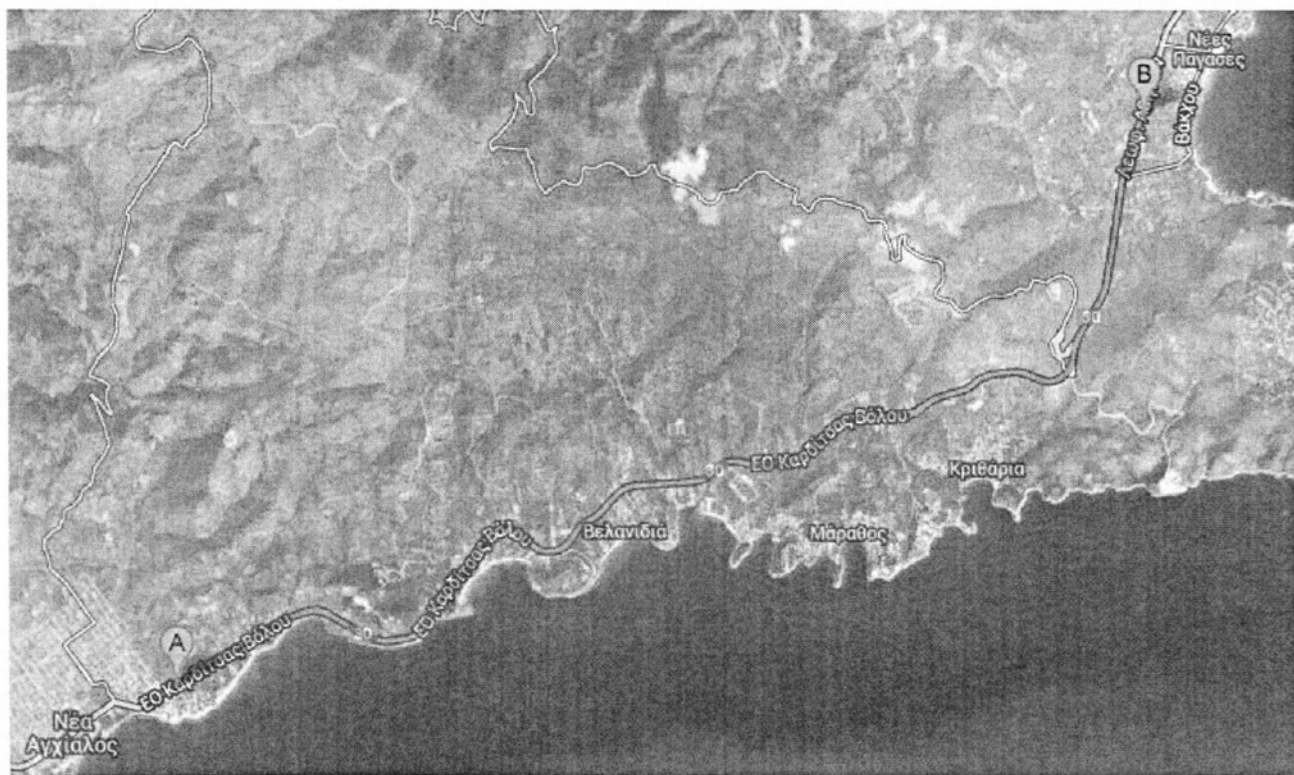
Ζ)Εξαγωγή πολυγωνικής για κάθε οριογραμμή

Στο παράρτημα υπάρχει ολοκληρος ο κώδικας που εφαρμόζει όλους τους παραπάνω υπολογισμούς

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5- ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΟΔΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ

Η διαδικασία παραγωγής της οριζοντιογραφίας πραγματοποιήθηκε για τμήμα της υφιστάμενης οδού Νεοχώρι-Καλαμάκι με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, μιας λωρίδας ανά κατεύθυνση, καθώς επίσης και σε υφιστάμενο οδικό τμήμα στην Ε.Ο Καρδίτσας-Βόλου. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται μέσω δορυφόρου ( με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth) οι υφιστάμενες οδοί και οι γύρω περιοχές.





Εφαρμόσαμε τη μέθοδο σε 2 παραδείγματα υφιστάμενων οδικών τμημάτων  
(Νεοχώρι-Καλαμάκι , και Ε.Ο Καρδίτσας-Βόλου )

1° Παράδειγμα

Κρίσιμη Γωνία=  $3^\circ$

Αριστερή οριογραμμή :  
κορυφές=17 ,  
τυπικό σφάλμα=0,36m

Δεξιά οριογραμμή :  
κορυφές =17  
τυπικό σφάλμα=0,39m

2° Παράδειγμα

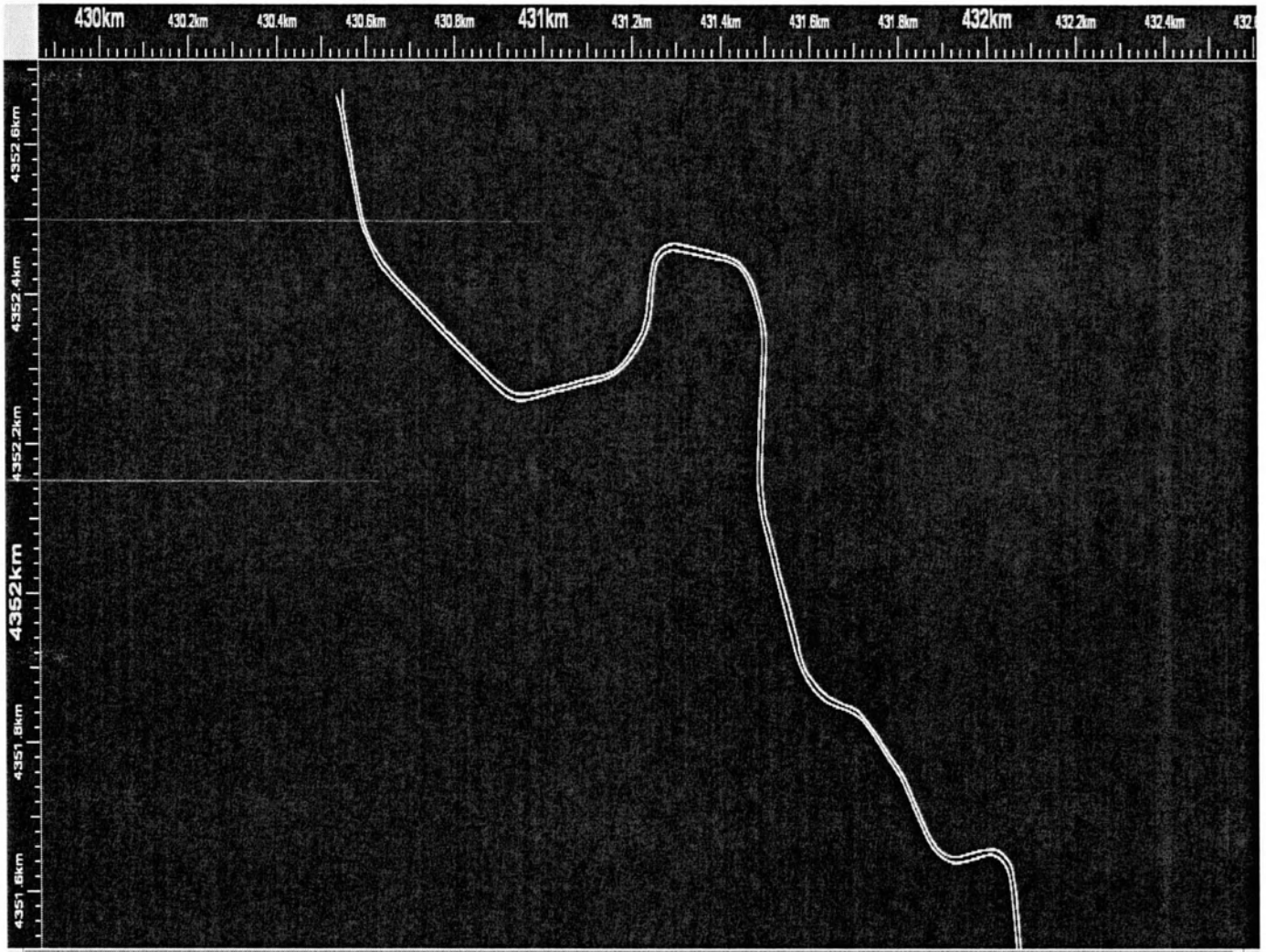
Κρίσιμη Γωνία=  $0,5^\circ$

Αριστερή οριογραμμή :  
κορυφές=36  
τυπικό σφάλμα=0,29m

Δεξιά οριογραμμή :  
κορυφές =33  
τυπικό σφάλμα=0,26m

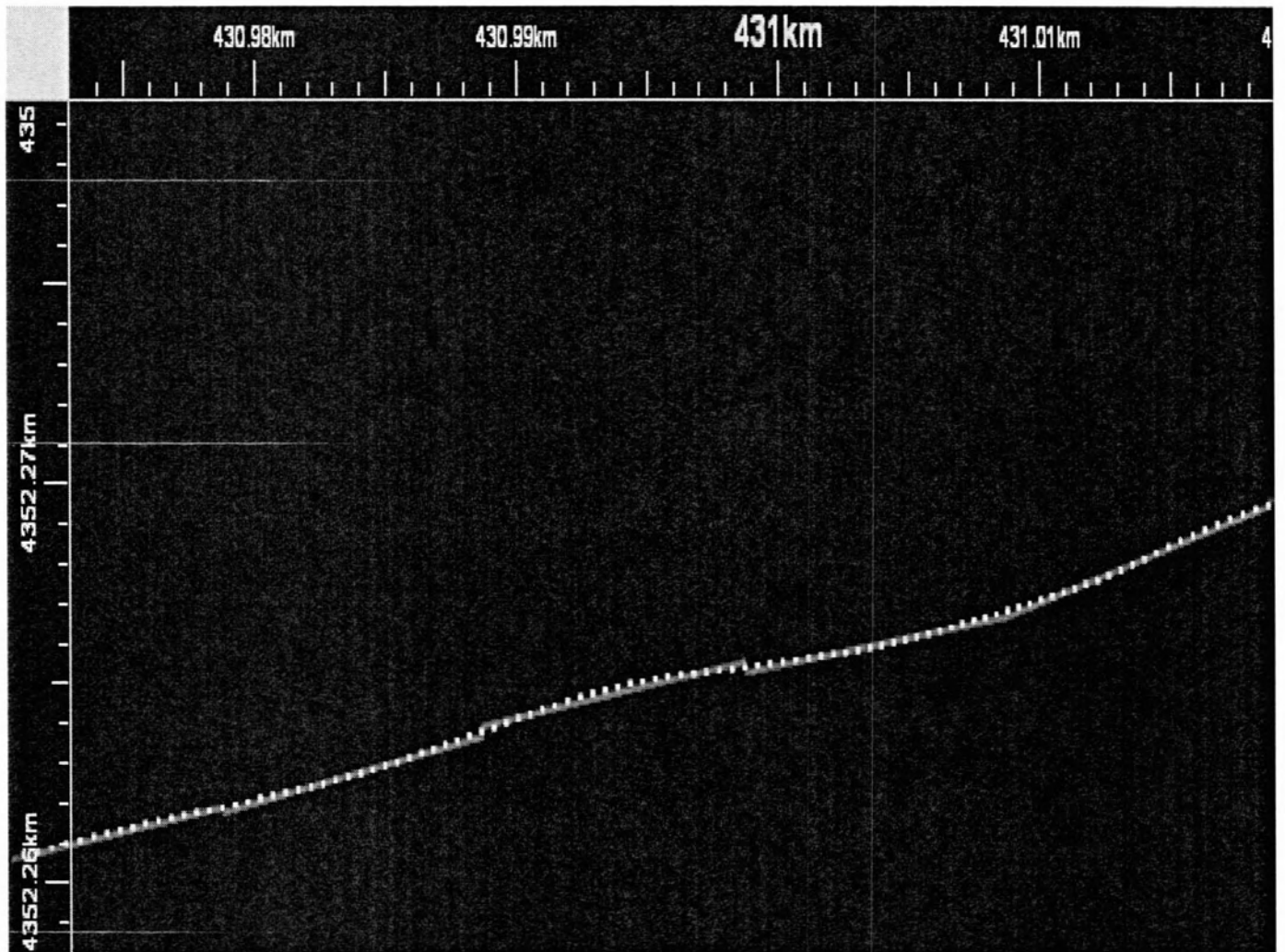
Ο υπολογισμός του άξονα με βάση τις πολυγωνικές των οριογραμμών και τα κριτήρια ασφαλείας υπολογίζονται στο Anadelta 4

-Γραφική αναπαράσταση στο Anadelta4 των συντεταγμένων που έχουμε συλλέξει μέσω GPS στο οδικό τμήμα Νεοχώρι-Καλαμάκι :



Πανεπι

-Εφαρμογή μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης για κάθε δέκα μέτρα απόσταση σημείων( σε zoom ) :



Πανεπιστήμιο

-Στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός των αζιμουθίων και οι γωνίες αλλαγής κατεύθυνσης ανά διαδοχικά ευθύγραμμα τμήματα και χωρίζεται με κριτήρια που προαναφέραμε το οδικό τμήμα σε ευθύγραμμα τμήματα και κυκλικά τόξα.

EUTHUGRAMMIA.DAT

430534.025154702 1	4352664.92787539	0	1
430538.693839215 40	4352655.73854039	0	2
430538.563732598 40	4352655.67215072	0	3
430542.441194000 71	4352646.12746601	0	4
430542.464951887 71	4352646.13445015	0	5
430546.021736046 101	4352636.42399686	0	6
430545.940903385 101	4352636.39133708	0	7
430548.250084572 127	4352626.48177663	0	8
430548.233597561 127	4352626.47559499	0	9
430551.089953863 150	4352616.73257281	0	10
430551.109068369 150	4352616.73779838	0	11
430553.855632365 171	4352606.75817390	0	12
430553.838994952 171	4352606.75348293	0	13
430556.792270294 192	4352596.81547702	0	14
430556.768345289 192	4352596.80771221	0	15
430559.971759207 214	4352587.15093884	0	16
430559.896377559 214	4352587.12300506	0	17
430563.491726884	4352577.55421026	0	18



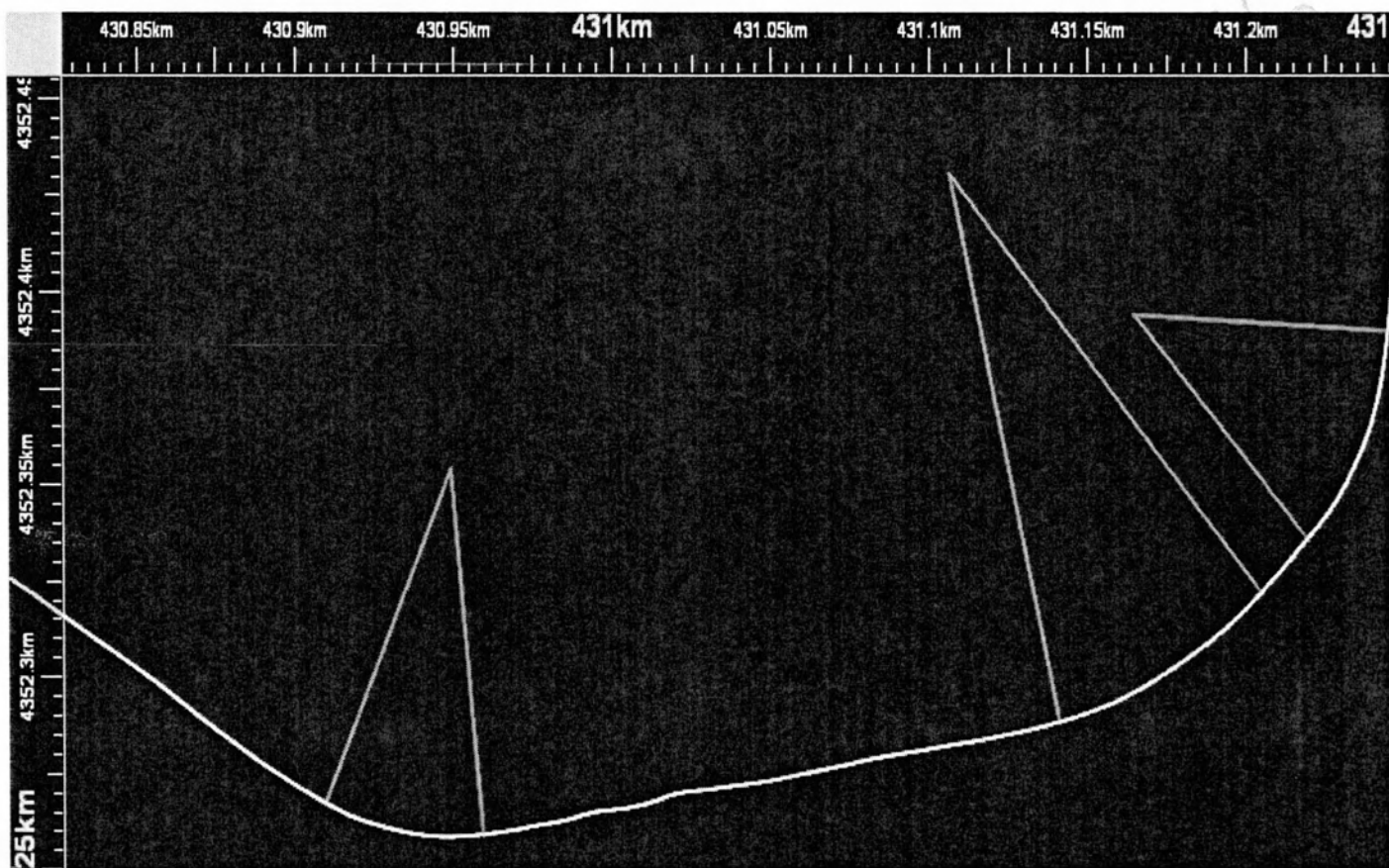
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

KUKLIKOTOXO.DAT

430580.906930530 383	4352518.48672798	0	31
430584.178825724 402	4352508.50995698	0	32
430584.156497445 402	4352508.50017039	0	33
430587.807166625 423	4352498.82510258	0	34
430587.796428032 423	4352498.81294755	0	35
430592.349380603 446	4352489.45862807	0	36
430616.351262640 526	4352456.47603752	0	45
430622.669258751 542	4352448.58407934	0	46
430622.653906849 542	4352448.57005611	0	47
430629.410576619 557	4352440.71654290	0	48
430629.393699249 557	4352440.67921558	0	49
430637.072636761 572	4352434.12669726	0	50
430899.668153295 1164	4352271.66924716	0	111
430908.796522071 1182	4352267.22482614	0	112
430908.782473603 1182	4352267.18551591	0	113
430918.061778759 1199	4352263.33782961	0	114
430918.083145919 1199	4352263.36090049	0	115
430927.879750353 1217	4352260.81787593	0	116

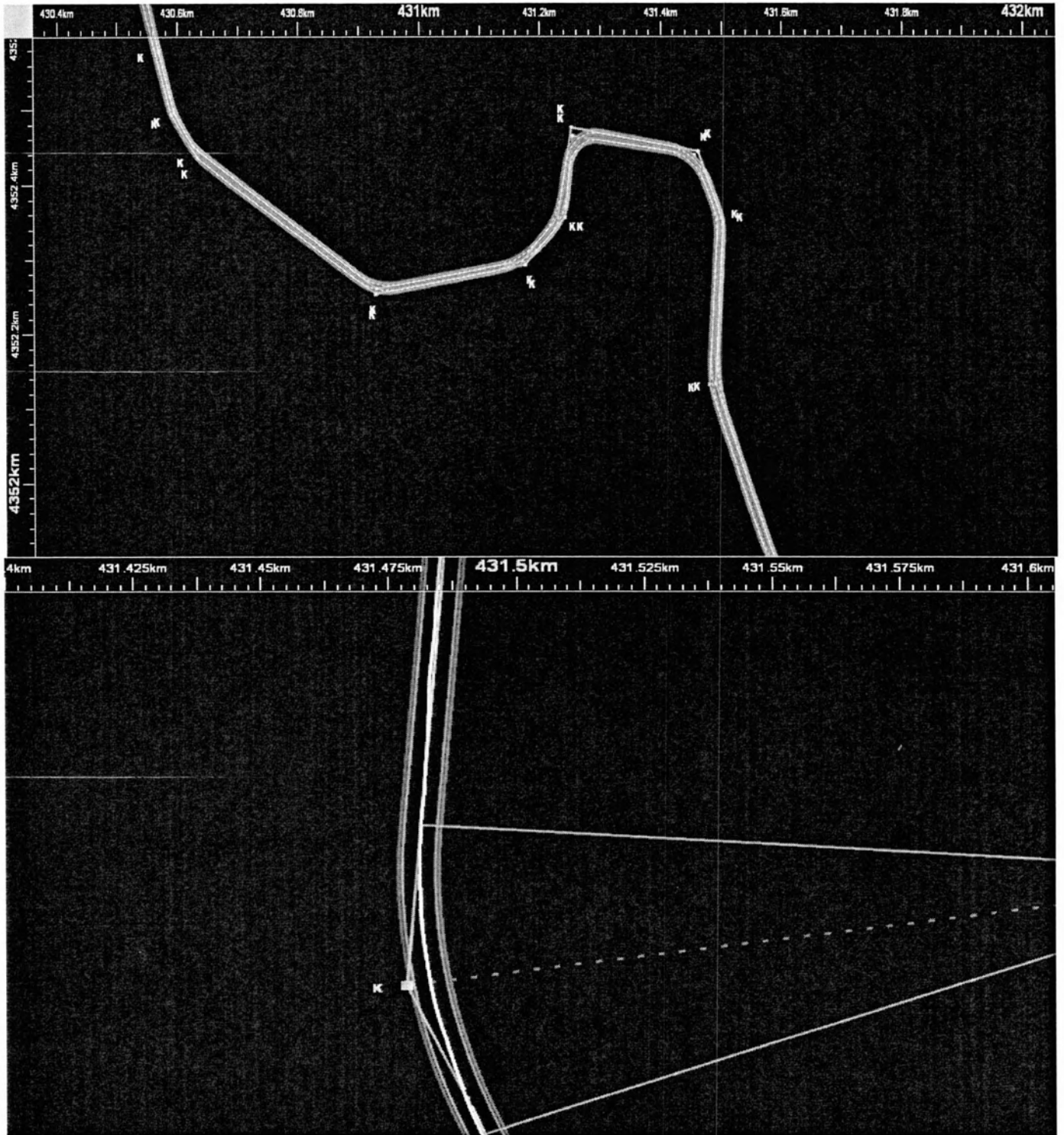
-Εφαρμόζουμε πάλι την μέθοδο γραμμικής παλινδρόμησης για τα σημεία που μετέχουν σε ευθύγραμμα τμήματα και την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων σε κύκλο για τα σημεία που μετέχουν σε κυκλικά τόξα.

Γραφικά φαίνονται τα αποτελέσματα της μεθόδου (αρχή-τέλος ευθυγραμμίας και κέντρο και ακτίνα κυκλικού τόξου )

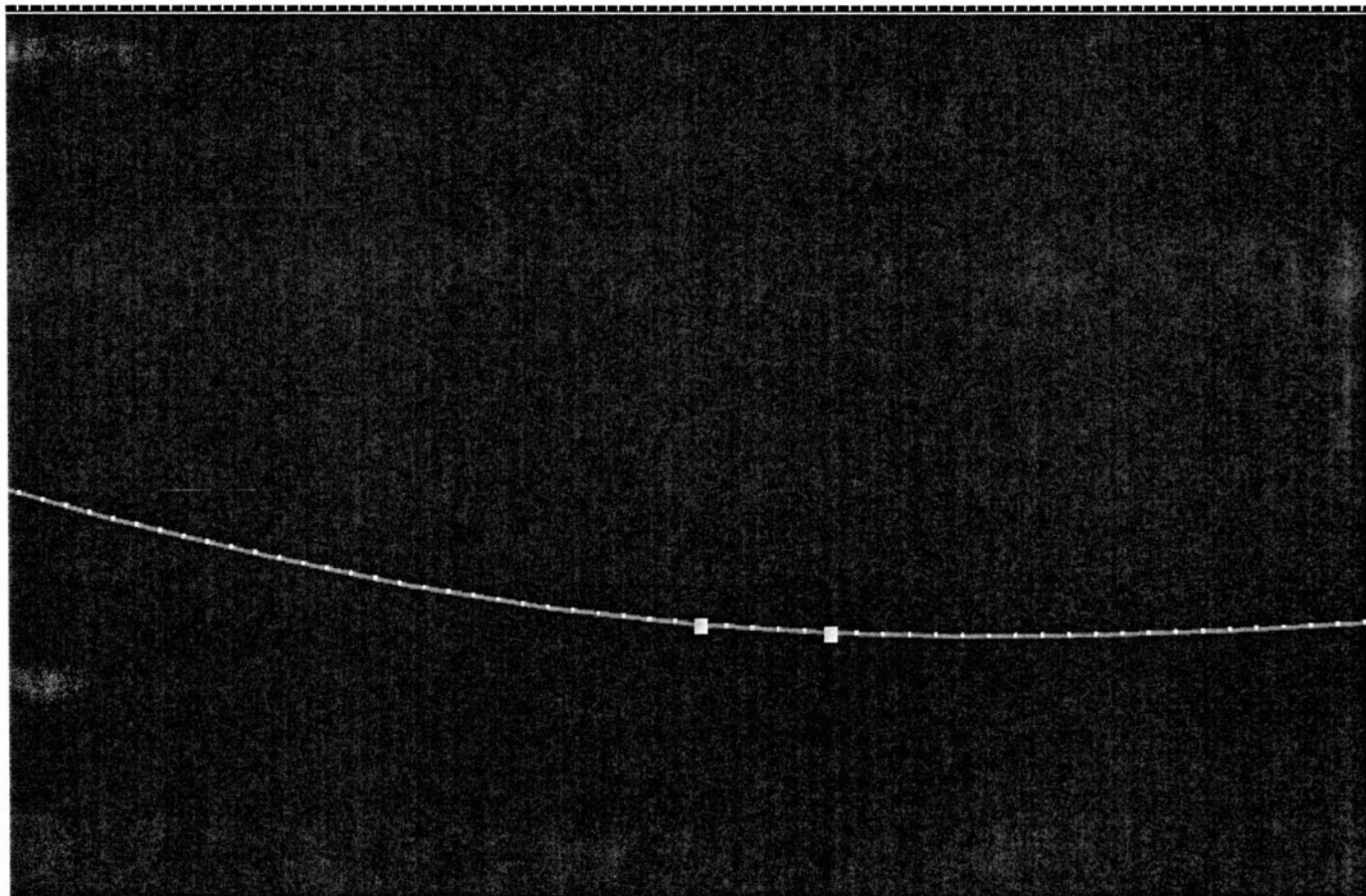


# ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

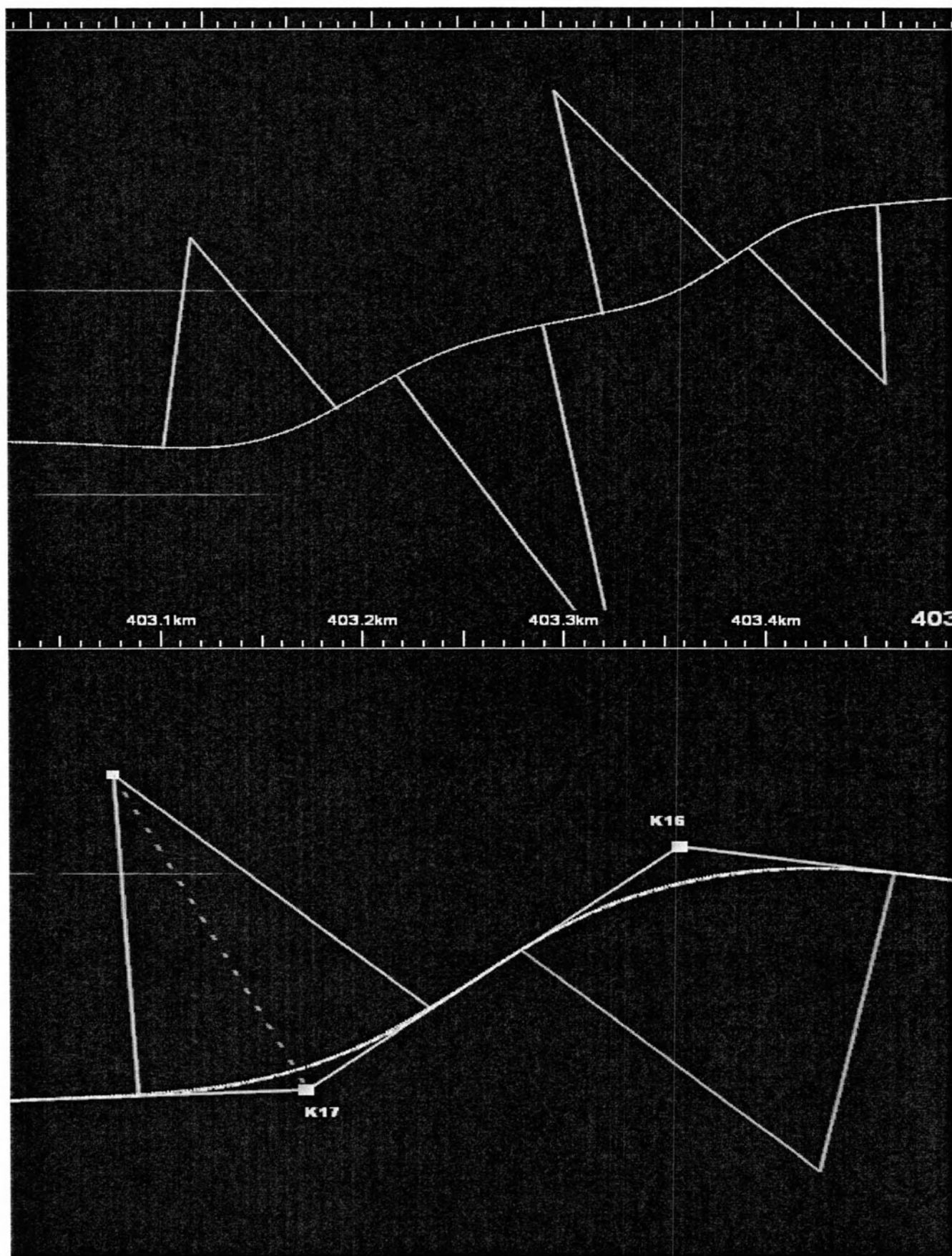
-Τέλος γίνεται ο υπολογισμός της πολυγωνικής του οδικού τμήματος Νεοχώρι-Καλαμάκι και παρακάτω φαίνεται η γραφική αποτύπωση της στο πρόγραμμα Anadelta 4 . (και για τις 2 οριογραμμές)



Ομοίως και για το υφισταμενο οδικό τμήμα της Ε.Ο Καρδίτσας-Βόλου , παρατίθενται γραφικά τα αποτελέσματα :



Πανεπισ



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6- ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 6.1 Συμπεράσματα

Στα προηγούμενα κεφάλαιο αναλύθηκαν και σχολιάστηκαν οι διατάξεις των σύγχρονων οδηγιών οδοποιίας (ΟΜΟΕ-Χ, RAA 2008) που αφορούν στην γεωμετρική χάραξη των οδών. Για εμβάθυνση σε ορισμένες από αυτές, αναζητήθηκαν πληροφορίες από συναφείς δημοσιευμένες εργασίες. Ακόμα επιχειρήθηκε μία συνοπτική παρουσίαση νέων τεχνολογιών των οποίων έχουν κάνει χρήση ερευνητές με στόχο την ψηφιακή αποτύπωση υφιστάμενων οδών.

Έπειτα έγινε μια αναλυτική περιγραφή της τελικής μεθόδου που ακολουθήσαμε ενώ παράλληλα, επισημάνθηκαν οι παραδοχές και οι απλοποιήσεις που έγιναν για τις ανάγκες της σύνταξής του νέου προγράμματος. Στη συνέχεια έγινε αναλυτική περιγραφή και επεξήγηση του συνόλου των αλγορίθμων που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Ακολούθησε ένα παράδειγμα υπάρχουσας οδού με συντεταγμένες που συλλέχθηκαν από GPS.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μία επιτυχής προσπάθεια παραγωγής της οριζοντιογραφίας μίας υφιστάμενης οδού.

Το πρόγραμμα που αναπτύξαμε είναι πάρα πολύ εύκολο στη χρήση. Το μόνο που χρειάζεται να έχει ο χρήστης σαν δεδομένο είναι οι συντεταγμένες των σημείων της οδού σε ένα αρχείο μορφής .dat

Η γεωμετρία της οδού δεν είναι η μοναδική αιτία που σχετίζεται με την πρόκληση ατυχημάτων. Όμως είναι αδιαμφισβήτητο ότι η κακή γεωμετρία ενός οδικού τμήματος συμβάλει αρνητικά στην ασφάλεια ενός οδικού έργου και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες (καιρικές συνθήκες, ύπαρξη αντικειμένου στο οδόστρωμα, απόσπαση προσοχής οδηγού κ.α.) οδηγεί σε αύξηση των οδικών ατυχημάτων.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει απλοποιήσει πολύ τη διαδικασία δημιουργίας τοπογραφικών υποβάθρων και έχει βελτιώσει σε σημαντικό βαθμό την ακρίβεια που μπορούμε να επιτύχουμε κατά την ψηφιοποίηση της υφιστάμενης κατάστασης ενός οδικού έργου. Στο πλαίσιο αυτό, η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων για την παραπάνω ανάλυση είναι εύκολη, γρήγορη και οικονομική, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα να αξιολογηθεί ένα υφιστάμενο οδικό τμήμα σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα, με σκοπό να επισημανθούν και να βελτιωθούν σημεία που αποτελούν εν δυνάμει θέσεις οδικών ατυχημάτων.



## 6.2 Προτάσεις

Η παρούσα εργασία αποτελεί την αφετηρία σε μία προσπάθεια με στόχο την παραγωγή της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής ενός υφιστάμενου οδικού έργου μέσω ψηφιακής τοπογραφικής αποτύπωσης.

Στο πλαίσιο αυτό, στοιχεία που μπορούν να αποτελέσουν σημεία για περαιτέρω έρευνα μπορούν να είναι τα ακόλουθα:

- 1) Υπολογισμός κατάλληλων παραμέτρων καμπύλων συναρμογής (κλωθειδών) προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απόκλιση της παραγόμενης οριζοντιογραφίας σε σχέση με την αποτυπωμένη.
- 2) Υπολογισμός μηκοτομής (χρησιμοποιώντας φυσικά και τις συντεταγμένες στον άξονα z )
- 3) Εξαγωγή πολυγωνικής του άξονα της οδού με βάση τις πολυγωνικές από τις οριογραμμές (στο στάδιο αυτό γίνεται μέσα από το γραφικό περιβάλλον του Anadelta 4 )

4) Λεπτομερέστερος έλεγχος στις οριακές καταστάσεις αρχής και τέλους κυκλικού τόξου

5) Μετατόπιση στην αρχή της διαδρομής , εφαρμογή της μεθόδου από την αρχή, σύγκριση των αποτελεσμάτων και με βάση αυτή, απαλοιφή προβληματικών περιοχών

6) Σύγκριση αποτελεσμάτων από την εφαρμογή της μεθόδου σε αντίθετες κατευθύνσεις και με βάση αυτή, απαλοιφή προβληματικών περιοχών

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Κανελλαΐδης Γ. - Μαλέρδος Γ. - Καλτσούνης Α. - Γλαρός Γ.,  
Σημειώσεις για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών, 2012
2. Κοφίτσας, Ι. 'Στοιχεία οδοποιίας', Αθήνα 2001
3. Κοφίτσας, Ι. "Αισθητικοί κανόνες για το σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων", Αθήνα 1986.
4. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), Τεύχος 1: Λειτουργική Κατάταξη Οδικού Δικτύου, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, 2001.
5. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), Τεύχος 3: Χαράξεις, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, 2001.
6. AASHTO (2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

7. Αγγελος Βασίλας “ Ανάπτυξη Λογισμικού για Ψηφιακή Απόδοση της Χάραξης Υφιστάμενης οδού”, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π Αθήνας, τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα, Μάρτιος 2013
  
8. Schaum’s Outline Series, Murray R. Spiegel, Mcgraw-hill, New York, Μετάφραση: Σωτήριος Κ. Περσίδης, Πιθανότητες και Στατιστική, ΕΣΠΙ, Αθήνα
  
9. Least Squares Fitting of Circles, N. Chernov and C. Lesort, Department of Mathematics, University of Alabama at Birmingham, Birmingham, AL 35294, USA, November 18, 2008
  
10. <http://www.anadelta.com>
  
11. [www.google.gr](http://www.google.gr)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

```
PROGRAM LinearRegression
```

```
  IMPLICIT NONE
```

```
  CHARACTER(100) :: XY1, XY2
```

```
  DOUBLE PRECISION :: CRANGLE
```

```
  WRITE(*, '(A)', ADVANCE = "NO") "Enter the left line XY.DAT: "
```

```
  READ(*, *) XY1
```

```
  WRITE(*, '(A)', ADVANCE = "NO") "Enter the right line XY.DAT: "
```

```
  READ(*, *) XY2
```

```
  WRITE(*, '(A)', ADVANCE = "NO") "Enter the Critical Angle : "
```

```
  READ(*, *) CRANGLE
```

```
  OPEN(2, FILE=XY1, STATUS='OLD') ! de3ia oriogrammh XY
```

```
  OPEN(3, FILE='GAMA.DAT', STATUS='UNKNOWN') !allagh kateu8hnshts meta3y  
eu8ugrammwn tmhmatwn
```

```
  OPEN(4, FILE='FINAL_COORDINATESright.RLN', STATUS='UNKNOWN') !eu8ugramma tmhma-  
ta ana 10 metra (tolbig)
```

```
  OPEN(5, FILE='AZIMOUTHIO.DAT', STATUS='UNKNOWN')!azimou8io ana eu8ugrammo tmhma
```

```
  OPEN(6, FILE='EUTHUGRAMMIA.DAT', STATUS='UNKNOWN')!arxika-telika shmeia (x,y)  
eu8ugrammwn tmhmatwn (tolbig) pou anhkoun se eu8ugrammia
```

```
  OPEN(7, FILE='KUKLIKOTOXO.DAT', STATUS='UNKNOWN')!arxika-telika shmeia (x,y)  
eu8ugrammwn tmhmatwn (tolbig) pou anhkoun se kykliko to3o
```

```
  OPEN(8, FILE='ARXIKATELIKALINES.DAT', STATUS='UNKNOWN')!au3ontes ari8moi arxhs-  
telous eu8ugrammias (sxedio ETLINES.RLN)
```

```
  OPEN(9, FILE='ARXIKATELIKACURVE.DAT', STATUS='UNKNOWN')!au3ontes ari8moi arxhs-  
telous kuklikou to3ou (sxedio ETCURVES.RLN)
```

```
  OPEN(10, FILE='ETLINES.RLN', STATUS='UNKNOWN')!syntetagmenes arxhs-telous  
eu8ugrammiwn
```

```
  OPEN(11, FILE='ETCURVES.DAT', STATUS='UNKNOWN')!syntetagmenes kentrou-aktinas  
kyklikwn to3wn
```

```
  OPEN(12, FILE='POLIGONIKI1.XYV', STATUS='UNKNOWN')!arxeio gia eisodo poligoni-  
kis sto Anadelta4 (de3ia oriogrammh)
```

```
  OPEN(13, FILE='ARCSright.RLN', STATUS='UNKNOWN')!arxh-kentro-telos kyklikwn  
to3wn
```

```
  OPEN(14, FILE='T_TEST.DAT', STATUS='UNKNOWN')
```

```
  OPEN(15, FILE='TEST.DAT', STATUS='UNKNOWN')
```

```
  OPEN(16, FILE=XY2, STATUS='OLD')! aristerh oriogrammh XY
```

```
  OPEN(17, FILE='POLIGONIKI2.XYV', STATUS='UNKNOWN')!arxeio gia eisodo poligoni-  
kis sto Anadelta4 (aristerh oriogrammh)
```

```
  OPEN(18, FILE='DOUBLELINE.DAT', STATUS='UNKNOWN')
```

```
WRITE(3,*) "ARISTERI ORIOGRAMMI"
WRITE(5,*)"ARISTERI ORIOGRAMMI"
WRITE(10,*)"ARISTERI ORIOGRAMMI"
WRITE(14,*) "ARISTERI ORIOGRAMMI"
WRITE(11,*)"ARISTERI ORIOGRAMMI"
WRITE(13,*)"ARISTERI ORIOGRAMMI"
WRITE(15,*) "ARISTERI ORIOGRAMMI"
WRITE(4,*) "ARISTERI ORIOGRAMMI"
```

```
CALL MAIN(2,12,CRANGLE)
```

```
CLOSE(4)
CLOSE(13)
```

```
OPEN(13,FILE='ARCSleft.RLN',STATUS='UNKNOWN')
OPEN(4,FILE='FINAL_COORDINATESleft.RLN',STATUS='UNKNOWN')
WRITE(3,*) "DEKSIA ORIOGRAMMI"
WRITE(5,*)"DEKSIA ORIOGRAMMI"
WRITE(14,*)"DEKSIA ORIOGRAMMI"
WRITE(10,*)"DEKSIA ORIOGRAMMI"
WRITE(11,*) "DEKSIA ORIOGRAMMI"
WRITE(13,*) "DEKSIA ORIOGRAMMI"
WRITE(15,*) "DEKSIA ORIOGRAMMI"
WRITE(4,*) "DEKSIA ORIOGRAMMI"
```

```
CALL MAIN(16,17,CRANGLE)
```

```
CONTAINS
```

```
!*****
SUBROUTINE MAIN(FD_INPUT,FD_OUTPUT,CRANGLE)
!*****
  IMPLICIT NONE

  INTEGER FD_INPUT, FD_OUTPUT
  INTEGER I,J,J1,NODES,ARXIKO,TELIKO,KSEGMENT,IT,NUMOFBP,J2
  INTEGER ILINE,ICUR,NLINES,NARCS,IC1,IC2,IL1,IL2,N1,I1,I2,STARTLINE,
  ENDLINE,MIDLINE
  DOUBLE PRECISION TOLBIG,
DIST,A,B,PI,XPREV,YPREV,XIN,YIN,XF,YF,XX1,XX2,YY1,YY2,
Xc,Yc,CRANGLE,C,DISTRATIO,DISTLINE,DISPL,TNEW1,TNEW2,TNEW
  DOUBLE PRECISION, ALLOCATABLE, DIMENSION(:) :: T(:),GAMA(:),TPOL(:)
  DOUBLE PRECISION, ALLOCATABLE :: TELPOL(:,:), neaXY(:,:), EUTHUGRAM-
MIA(:,:), KUKLIKOTOXO(:,:), POL(:,:), XY(:,:)
  DOUBLE PRECISION, ALLOCATABLE, DIMENSION(:) :: R(:), RINIT(:)
  INTEGER, ALLOCATABLE, DIMENSION(:) ::
ICOUNT(:),ICURVE(:),LFIRST(:),LLAST(:),CFIRST(:),CLAST(:),NAME(:),Z(:),NBPOINT(
:)
  DOUBLE PRECISION :: FIRSTLASTPOL(1:2,1:2)
  LOGICAL INLINE,INSCURVE
```

```

ALLOCATE(XY(1:10000,1:3))
ALLOCATE(T(1:1000),neaXY(1:1000,1:2),GAMA(1:1000),TPOL(1:1000))
ALLOCATE(EUTHUGRAMMIA(1:1000,1:2), KUKLIKOTOXO(1:1000,1:2))
ALLOCATE( ICOUNT(1:1000),ICURVE(1:1000),LFIRST(1:1000),LLAST(1:1000),
CFIRST(1:1000),CLAST(1:1000),NAME(1:1000),Z(1:1000),NBPOINT(1:1000))
ALLOCATE( POL(1:1000,1:2),TELPOL(1:1000,1:2))
ALLOCATE( R(1:1000),RINIT(1:1000) )

neaXY=0
T=0
PI=DACOS(-1.0D0)
!CRANGLE=3
TOLBIG=10
!metraw to plh8os tw n shmeiwn (x,0) pou exw san input
NODES=-1
I=0
C=1
XY=0

DO
  NODES=NODES+1
  I=I+1
  READ(FD_INPUT,*) NAME(I),XY(I,1),XY(I,2),Z(I)
  XY(I,3)=1
  IF( XY(I,1)==0) EXIT
  IF (I>2) THEN
    DIST=DSQRT((XY(I,1)-XPREV)**2+(XY(I,2)-YPREV)**2)
    IF (DIST>2*TOLBIG) THEN
      WRITE(15,*) NAME(I)
      I=I-1
      NODES=NODES-1
    ELSE
      XPREV=XY(I,1)
      YPREV=XY(I,2)
    END IF
  ELSE
    XPREV=XY(I,1)
    YPREV=XY(I,2)
  END IF
END DO

```

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

```

DIST=0.0D0+00 ;
XIN=0.0D+00 ; YIN=0.0D+00
XF=0.0D+00 ; YF=0.0D+00 ; ARXIKO=0 ; TELIKO=1 ; NLINES=0 ;NARCS=0
;KSEGMENT=0

DO I=2,NODES-1
! apostash meta3y twn shmeiwn
DIST=DIST+DSQRT((XY(I,1)-XY(I-1,1))**2+(XY(I,2)-XY(I-1,2))**2)

!krithrio gia xwrismo tou odikou tmhmatos se eu8ugramma tmhmata twn "tol-
big" metrwn
IF ( DIST>TOLBIG ) THEN
KSEGMENT=KSEGMENT+1
ARXIKO=TELIKO
TELIKO=I
XIN=XY(ARXIKO,1) ; XF=XY(TELIKO,1)
YIN=XY(ARXIKO,2) ; YF=XY(TELIKO,2)

IF ((DABS(XF-XIN)<1.E-6) .AND. (YF-YIN>0)) THEN
T(KSEGMENT)=90
ELSE IF ((DABS(XF-XIN)<1.E-6) .AND. (YF-YIN<0) ) THEN
T(KSEGMENT)=270
ELSE IF ((DABS(XF-XIN)<1.E-6) .AND. (DABS(YF-YIN)<1.E-6) ) THEN
T(KSEGMENT)=720
ELSE IF ((DABS(YF-YIN)<1.E-6)) THEN
IF ((XF-XIN<0)) THEN
T(KSEGMENT)=180
ELSE
T(KSEGMENT)=0
END IF
ELSE
T(KSEGMENT)=ATAN((YF-YIN)/(XF-XIN))*180/PI
IF (XF-XIN<0) THEN
T(KSEGMENT)=T(KSEGMENT)+180
END IF

IF (T(KSEGMENT)<0) THEN
T(KSEGMENT)=T(KSEGMENT)+360
END IF
IF (T(KSEGMENT)<360) THEN
T(KSEGMENT)=T(KSEGMENT)-360
END IF
END IF

WRITE(5, '(1x,F14.5,I5)') T(KSEGMENT)

```



ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

```

IF ((T(KSEGMENT)>80 .AND. T(KSEGMENT)<100 ) .OR. (T(KSEGMENT)>260 .AND.
T(KSEGMENT)<280 ))THEN
    CALL REGRESSION2(ARXIKO,TELIKO,XY,A,B)
    CALL NEWXY(A,B,YIN,XIN,YF,XF,YY1,XX1,YY2,XX2)

ELSE

    CALL REGRESSION(ARXIKO,TELIKO,XY,A,B) ! vriskei parametrous a,b
    grammikhs palindromhshs twn tolbig eu8ugrammwv tmhmatwn

    ! XIN=XY(ARXIKO,1) ; XF=XY(TELIKO,1)
    ! YIN=XY(ARXIKO,2) ; YF=XY(TELIKO,2)

    CALL NEWXY(A,B,XIN,YIN,XF,YF,XX1,YY1,XX2,YY2) ! vriskei suntetag-
    menes x,y arxikou kai telikou twv "tolbig" eu8ugrammwv tmhmatwn

END IF

T(KSEGMENT)=ATAN((YY2-YY1)/(XX2-XX1))*180/PI ! azimou8io kathe
eu8ugrammwv tmhmatos tolbig
IF (XX2-XX1<0) THEN
    T(KSEGMENT)=T(KSEGMENT)+180
END IF

IF (T(KSEGMENT)<0) THEN
    T(KSEGMENT)=T(KSEGMENT)+360
END IF

neaXY(2*KSEGMENT-1,1)=XX1
neaXY(2*KSEGMENT-1,2)=YY1
neaXY(2*KSEGMENT,1)=XX2
neaXY(2*KSEGMENT,2)=YY2

ICOUNT(2*KSEGMENT-1)=ARXIKO
ICOUNT(2*KSEGMENT)=TELIKO

WRITE(5,'(1x,F14.5,I5)') T(KSEGMENT) ,KSEGMENT
WRITE(4,*) 1
WRITE (4,'(1x,F14.3,A1,F14.3,A1,2I5)') XX1," ",YY1," ",KSEGMENT,ARXIKO
WRITE (4,'(1x,F14.3,A1,F14.3,A1,2I5)') XX2," ",YY2," ",KSEGMENT,TELIKO
WRITE(4,*) ""

DIST=0.0D+00
ENDIF
ENDDO

```

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

```

GAMA=0
DO I=1,KSEGMENT-1
  GAMA(I)=T(I+1)-T(I) ! allagh kateu8unshs meta3u eu8ugrammw n tmhmatwn
  IF ( DABS(GAMA(I))>180 ) THEN
    GAMA(I)=360-DABS(GAMA(I))
    IF ( T(I+1)>T(I) ) THEN
      GAMA(I)=-GAMA(I)
    END IF
  END IF
  WRITE(3, '(1x,F14.5,I5)') GAMA(I),I
END DO
GAMA(KSEGMENT)=GAMA(KSEGMENT-1) !paradoxh

!*****xwrizw tin odo
mou se eu8ugramma tmhmata kai kyklika to3a( arxh)
DO I=1,KSEGMENT-1 !na elegx8ei h oriakh timh tou I
  INLINE= .FALSE.
  INLINE=INLINE .OR. (I==1) .OR. (I==KSEGMENT-1) .OR. (I==2) .OR. GA-
MA(I)*GAMA(I+1)<0

  IF (GAMA(I)*GAMA(I+1)<0) THEN
    INLINE=.TRUE.
    IF ((DABS(GAMA(I))>2*CRANGLE) .AND. (DABS(GAMA(I+1))<CRANGLE/4.0))
THEN
      INLINE=.FALSE.
      WRITE(15,*) GAMA(I),GAMA(I+1),I,NAME( ICOUNT(2*I-1)), "*"
    END IF
    IF ((DABS(GAMA(I+1))>2*CRANGLE) .AND. (DABS(GAMA(I))<CRANGLE/4.0))
THEN
      INLINE=.FALSE.
      WRITE(15,*) GAMA(I),GAMA(I+1),I,NAME(I)
    END IF
  END IF

  IF (.NOT.INLINE) THEN
    INLINE=( DABS(GAMA(I))<CRANGLE .OR. DABS(GAMA(I+1))<CRANGLE ) .AND.
( DABS(GAMA(I)+GAMA(I+1))<2*CRANGLE )
    IF (.NOT.INLINE) THEN
      INLINE=( DABS(GAMA(I))<CRANGLE/4.0 .OR.
DABS(GAMA(I+1))<CRANGLE/4.0 )
    END IF
  END IF
  ! WRITE(15,*) I,GAMA(I),GAMA(I+1),INLINE

```

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

```

!eu8ugrammia
IF (INLINE) THEN
  NLINES=NLINES+1
  ICURVE(I+1)=0 ! +1 after 2.9.2014
  WRITE(6, '(1x,2F14.3,4I5)') (neaXY(2*I-1,J),J=1,2),0,2*I-1,ICOUNT(2*I-
1),0
  WRITE(6, '(1x,2F14.3,3I5)') (neaXY(2*I,J),J=1,2),0,2*I,ICOUNT(2*I)
  ! WRITE(7, '(1x,2F14.3,4I5)') (neaXY(2*I-1,J),J=1,2),0,2*I-1,ICOUNT(2*I-
1),0
  ! WRITE(7, '(1x,2F14.3,3I5)') (neaXY(2*I,J),J=1,2),0,2*I,ICOUNT(2*I)
ELSE !kykliko to3o
  NARCS=NARCS+1
  ICURVE(I+1)=1 ! +1 after 2.9.2014
  IF( (GAMA(I) + GAMA(I+1))>0 ) THEN
    ICURVE(I+1)=-1
  END IF
  WRITE(7, '(1x,2F14.3,4I5)') (neaXY(2*I-1,J),J=1,2),0,2*I-1,ICOUNT(2*I-
1),ICURVE(I+1) !arxika telika kykliko to3o (10metra)
  WRITE(7, '(1x,2F14.3,3I5)') (neaXY(2*I,J),J=1,2),0,2*I,ICOUNT(2*I)
END IF
END DO

!*****xwrizw
tin odo mou se eu8ugramma tmhmata kai kyklika to3a(telos)
IL1=1;IL2=1;IC1=1;IC2=1
ILINE=1;ICUR=0
ICURVE(1)=0
ICURVE(2)=0
INSCURVE=.FALSE.

```

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

```

DO I=2,KSEGMENT-1
  IF (ICURVE(I)==0) THEN
    IF (ABS(ICURVE(I-1))==1) THEN !arxh eu8ugrammias(telos kuklikou to3ou)
      IL1=ICOUNT(2*I-1)
      ILINE=ILINE+1
      WRITE(15, '(1x,3I5,F8.2,A3)') I,ILINE,NAME(IL1),GAMA(I), "***"
      IF (I>2) THEN !e3airesh mikrou kyklikou to3ou (eu8ugrammia-kukliko
to3o-eu8ugrammia)
        IF ((ICURVE(I-2)==0) .AND. (INSCURVE)) THEN
          DO J=CFIRST(ICUR),CLAST(ICUR)
            XY(J,3)=-1
          END DO
          ! WRITE(15,*) ICUR,ILINE
          ICUR=ICUR-1
          ! IF (INSCURVE) THEN
            ILINE=ILINE-1
            IL1=LFIRST(ILINE)
          ! END IF
          END IF
        END IF !
      END IF
      IL2=ICOUNT(2*I)
      LFIRST(ILINE)=IL1
      LLAST(ILINE)=IL2
      WRITE(15, '(1x,4I5,A5,F8.2)')
I, ILINE, NAME(IL1), NAME(IL2), ICURVE(I), GAMA(I)
    ELSE ! ABS(ICURVE(I))==1
      IF (ICURVE(I-1)==0) THEN !arxh kyklikou to3ou (telos eu8ugrammias)
        IC1=ICOUNT(2*I-1)
        ICUR=ICUR+1
        INSCURVE=.TRUE.
        IF ( (I>2) .AND. (ILINE>1) ) THEN !this block after 12.9.2014
          IF ( (ABS(ICURVE(I-2))==1) .AND. (ICURVE(I-2)==ICURVE(I)) ) THEN
!enopoihsh kyklikou to3ou me to prohgomeno omorropo ( e3airesh mikrhs
eu8ugrammias)
            !WRITE(15,*) ICUR,ILINE,ICURVE(I-2),ICURVE(I)
            ICUR=ICUR-1
            ILINE=ILINE-1
            IC1=CFIRST(ICUR)
            INSCURVE=.FALSE.

```

```

ELSE
  IF ( (I>4) .AND. (ICUR>1) .AND. (ICURVE(I-2)==0) .AND.
(ABS(ICURVE(I-3))==1) .AND. (ICURVE(I-3)==ICURVE(I)) &
  .AND. (ICURVE(I-4)==ICURVE(I)) .AND. (ICURVE(I-
4)==ICURVE(I)) .AND. (RINIT(ICUR-1)>300.0) ) THEN
  !enopoihsh kyklikou to3ou me to prohghoumeno omorropo (
e3airesh mikrhs diplhs eu8ugrammias)
  I1=CFIRST(ICUR-1)
  I2=CLAST(ICUR-1)
  DISTRATIO=DSQRT((XY(I1,1)-XY(I2,1))**2+(XY(I1,2)-
XY(I2,2))**2)/RINIT(ICUR-1)
  IF (DISTRATIO<0.2) THEN
    ICUR=ICUR-1
    ILINE=ILINE-1
    IC1=CFIRST(ICUR)
    INSCURVE=.FALSE.
    WRITE(15, '(1x,4I5,A5,F8.2)') ICUR,ILINE,ICURVE(I-
3),ICURVE(I),NAME(IC1),GAMA(I)
  END IF
  END IF
  END IF
  END IF
  IC2=ICOUNT(2*I)
  CFIRST(ICUR)=IC1
  CLAST(ICUR)=IC2
  CALL ETCURVES(CFIRST(ICUR),CLAST(ICUR),XY,Xc,Yc,RINIT(ICUR)) !vriskei
kentra kyklwn kai aktines
  WRITE(15, '(1x,5I5,F8.2,A2)')
I,ICUR,NAME(IC1),NAME(IC2),ICURVE(I),GAMA(I),"*"
  END IF
END DO

NLINES=ILINE
NARCS=ICUR
POL=0
FIRSTLASTPOL=0

```

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

```

DO I=1,NLINES
  CALL REGRESSION(LFIRST(I),LLAST(I),XY,A,B) ! vriskei ta nea a,b grammikhs
palindromhshs
  CALL
NEWXY(A,B,XY(LFIRST(I),1),XY(LFIRST(I),2),XY(LLAST(I),1),XY(LLAST(I),2),XX1,YY1
,XX2,YY2) !vriskei ta nea x,y eu8ugrammias
  POL(I,1)=A
  POL(I,2)=B
  TPOL(I)=ATAN((YY2-YY1)/(XX2-XX1))*180/PI

  IF (XX2-XX1<0) THEN
    TPOL(I)=TPOL(I)+180
  END IF

  IF (TPOL(I)<0) THEN
    TPOL(I)=TPOL(I)+360
  END IF

  ! WRITE(8,'(1x,3I5)') I,LFIRST(I),LLAST(I) !au3ontes ari8moi arxhs-telous
eu8ugrammias
  ! WRITE(10,*) 1
  ! WRITE(10,'(1x,F14.5,A1,F14.5,A1,I5)') XX1,",",YY1,",",LFIRST(I) !synte-
tagmenes arxhs-telous eu8ugrammiwn
  ! WRITE(10,'(1x,F14.5,A1,F14.5,A1,I5)') XX2,",",YY2,",",LLAST(I)
  ! WRITE(10,*) "*"
  IF (I==1) THEN
    FIRSTLASTPOL(I,1)=XX1
    FIRSTLASTPOL(I,2)=YY1
  END IF
  IF (I==NLINES) THEN
    FIRSTLASTPOL(2,1)=XX2
    FIRSTLASTPOL(2,2)=YY2
  END IF
END DO

```

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

```

!*****
MOFBP=0
DO I=1,NLINES

    DISTLINE=DSQRT((XY(LLAST(I),1)-XY(LFIRST(I),1))**2+(XY(LLAST(I),2)-
XY(LFIRST(I),2))**2)

    IF ( (DISTLINE>6*TOLBIG) ) THEN

        MIDLINE=( LLAST(I)+LFIRST(I) )/2
        STARTLINE=LFIRST(I)+J1  !((LLAST(I)-LFIRST(I))/20
        DISPL=0
        J1=0
        CALL REGRESSION(LFIRST(I),MIDLINE,XY,A,B)
        CALL
NEWXY(A,B,XY(LFIRST(I),1),XY(LFIRST(I),2),XY(MIDLINE,1),XY(MIDLINE,2),XX1,YY1,X
X2,YY2)

        TNEW1=ATAN((YY2-YY1)/(XX2-XX1))*180/PI

        IF (XX2-XX1<0) THEN
            TNEW1=TNEW1+180
        END IF

        IF (TNEW1<0) THEN
            TNEW1=TNEW1+360
        END IF

        CALL REGRESSION(MIDLINE,LLAST(I),XY,A,B)
        CALL
NEWXY(A,B,XY(MIDLINE,1),XY(MIDLINE,2),XY(LLAST(I),1),XY(LLAST(I),2),XX1,YY1,XX2
,YY2)

        TNEW2=ATAN((YY2-YY1)/(XX2-XX1))*180/PI

        IF (XX2-XX1<0) THEN
            TNEW2=TNEW2+180
        END IF

        IF (TNEW2<0) THEN
            TNEW2=TNEW2+360
        END IF
        WRITE(18,*) TNEW1,TNEW2,ABS(TNEW2-TNEW1),I
        IF ( ABS(TNEW2-TNEW1)>2*CRANGLE ) THEN
            NUMOFBP=NUMOFBP + 1
            NBPOINT(NUMOFBP)=I
            WRITE(18,*) "CORRECTED 1" ! 8esh I , plh8os extra korufwn
        END IF

    END IF

END DO

!*****

```

```

DO J1=NUMOFBP,1,-1
  DO J2=NLINES,NBPOINT(J1),-1      !eu8ugrammies
    LFIRST(J2+1)=LFIRST(J2)
    LLAST(J2+1)=LLAST(J2)
  END DO
  J2=NBPOINT(J1)
  LFIRST(J2+1)=( LFIRST(J2+1) + LLAST(J2+1) )/2
  LLAST(J2)=( LFIRST(J2) + LLAST(J2) )/2
  LLAST(J2)=LFIRST(J2+1)
  NLINES=NLINES+1

DO J2=NARCS,NBPOINT(J1),-1        !kuklika to3a  afairesh -1
  IF ( J2>0 ) THEN
    CFIRST(J2+1)=CFIRST(J2)
    CLAST(J2+1)=CLAST(J2)
  ELSE
    CFIRST(J2+1)=0
    CLAST(J2+1)=0
  END IF
END DO
J2=NBPOINT(J1)
CFIRST(J2)=LLAST(J2)
CLAST(J2)=LLAST(J2)
NARCS=NARCS+1

END DO
!*****

DO I=1,NLINES
  DISTLINE=DSQRT((XY(LLAST(I),1)-XY(LFIRST(I),1))**2+(XY(LLAST(I),2)-
XY(LFIRST(I),2))**2)
  IF ( (DISTLINE>6*TOLBIG) .AND. (I>1) .AND. (I<NLINES) ) THEN
    DISPL=0
    J1=0
    DO J=LFIRST(I),LLAST(I)-1
      DISPL=DISPL+DSQRT((XY(J+1,1)-XY(J,1))**2+(XY(J+1,2)-XY(J,2))**2)
      J1=J1+1
    IF ( DISPL>TOLBIG ) THEN
      EXIT
    END IF
  END DO

  STARTLINE=LFIRST(I)+J1      !((LLAST(I)-LFIRST(I))/20

  DISPL=0
  J1=0
  DO J=LLAST(I)-1,LFIRST(I),-1
    DISPL=DISPL+DSQRT((XY(J+1,1)-XY(J,1))**2+(XY(J+1,2)-XY(J,2))**2)
    J1=J1+1
  IF ( DISPL>TOLBIG ) THEN
    EXIT
  END IF
END DO

```



ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

```

        ENDLINE=LLAST(I)-J1          !19*(LLAST(I)-LFIRST(I))/20

        CALL REGRESSION(LFIRST(I),STARTLINE,XY,A,B)
        CALL
NEWXY(A,B,XY(LFIRST(I),1),XY(LFIRST(I),2),XY(STARTLINE,1),XY(STARTLINE,2),XX1,YY1,XX2,YY2)

        TNEW=ATAN((YY2-YY1)/(XX2-XX1))*180/PI

        IF (XX2-XX1<0) THEN
            TNEW=TNEW+180
        END IF

        IF (TNEW<0) THEN
            TNEW=TNEW+360
        END IF
        WRITE(14,*) ABS(TNEW-TPOL(I)),I
        IF ( ABS(TNEW-TPOL(I))>CRANGLE/4 ) THEN
            LFIRST(I)=STARTLINE
            WRITE(14,*) "CORRECTED 1"
        END IF

        CALL REGRESSION(ENDLINE,LLAST(I),XY,A,B)
        CALL
NEWXY(A,B,XY(ENDLINE,1),XY(ENDLINE,2),XY(LLAST(I),1),XY(LLAST(I),2),XX1,YY1,XX2,YY2)

        TNEW=ATAN((YY2-YY1)/(XX2-XX1))*180/PI

        IF (XX2-XX1<0) THEN
            TNEW=TNEW+180
        END IF

        IF (TNEW<0) THEN
            TNEW=TNEW+360
        END IF
        WRITE(14,*) ABS(TNEW-TPOL(I)),I
        IF ( ABS(TNEW-TPOL(I))> CRANGLE/4 ) THEN
            LLAST(I)=ENDLINE
            WRITE(14,*) "CORRECTED 2"
        END IF
    END IF

```

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

```

CALL REGRESSION(LFIRST(I),LLAST(I),XY,A,B) ! vriskei ta nea a,b grammikhs
palindromhshs
CALL
NEWXY(A,B,XY(LFIRST(I),1),XY(LFIRST(I),2),XY(LLAST(I),1),XY(LLAST(I),2),XX1,YY1
,XX2,YY2) !vriskei ta nea x,y eu8ugrammias
POL(I,1)=A
POL(I,2)=B

WRITE(8,'(1x,3I5)') I,LFIRST(I),LLAST(I) !au3ontes ari8moi arxhs-telous
eu8ugrammias
WRITE(10,*) 1
WRITE(10,'(1x,F14.5,A1,F14.5,A1,I5)') XX1,",",YY1,",",LFIRST(I) !synte-
tagmenes arxhs-telous eu8ugrammiwn
WRITE(10,'(1x,F14.5,A1,F14.5,A1,I5)') XX2,",",YY2,",",LLAST(I)
WRITE(10,*) "*"
IF (I==1) THEN
FIRSTLASTPOL(I,1)=XX1
FIRSTLASTPOL(I,2)=YY1
END IF
IF (I==NLINES) THEN
FIRSTLASTPOL(2,1)=XX2
FIRSTLASTPOL(2,2)=YY2
END IF
END DO

! *****

DO I=1,NARCS
IF ( CFIRST(I)==CLAST(I) ) THEN
Xc=0
Yc=0
R(I)=0
ELSE
CALL ETCURVES(CFIRST(I),CLAST(I),XY,Xc,Yc,R(I)) !vriskei kentra kyklwn
kai aktines
WRITE(13,*) 1 !arxh-kentro-telos kyklikwn to3wn
WRITE(13,'(1x,F14.5,A1,F14.5,A1,I2)')
XY(CFIRST(I),1),",",XY(CFIRST(I),2),",",0
WRITE(13,'(1x,F14.5,A1,F14.5,A1,I2)') Xc,",",Yc,",",0
WRITE(13,'(1x,F14.5,A1,F14.5,A1,I2)')
XY(CLAST(I),1),",",XY(CLAST(I),2),",",0
WRITE(13,*) "*"
END IF
WRITE(9,'(1x,3I5)') I,CFIRST(I),CLAST(I) !au3ontes ari8moi arxhs-telous
kyklikwn to3wn
WRITE(11,'(1x,3F14.5)') Xc,Yc,R(I) !syntetagmenes kentro kyklou kai akti-
nas

END DO

```

## ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

```

TELPOL=0
TELPOL(1,1)=FIRSTLASTPOL(1,1)
TELPOL(1,2)=FIRSTLASTPOL(1,2)
TELPOL(NLINES+1,1)=FIRSTLASTPOL(2,1)
TELPOL(NLINES+1,2)=FIRSTLASTPOL(2,2)
!WRITE(FD_OUTPUT,*) "1,K1," , TELPOL(1,1)," ,",TELPOL(1,2)
WRITE(FD_OUTPUT,'(1x,A5,F14.3,A1,F14.3)') "1,K1," , TEL-
POL(1,1)," ,",TELPOL(1,2)
!WRITE(FD_OUTPUT,'(1x,5H1,K1,,2x,F12.3,1x,1H,,1x,F12.3)') TEL-
POL(1,1),TELPOL(1,2)

DO I=2,NLINES
  TELPOL(I,1)=(POL(I,2)-POL(I-1,2))/(POL(I-1,1)-POL(I,1))
  TELPOL(I,2)=(POL(I-1,1)*TELPOL(I,1))+POL(I-1,2)
  ! WRITE(FD_OUTPUT,*) "1,K",",",TELPOL(I,1)," ,",TELPOL(I,2)," ,",0," ,",R(I-
1)," ,",0
  WRITE(FD_OUTPUT,'(1x,A3,I2,A1,F14.3,A1,F14.3,A1,I1,A1,F14.3,A1,I1)')
"1,K",I," ,",TELPOL(I,1)," ,",TELPOL(I,2)," ,",0," ,",R(I-1)," ,",0
END DO

! WRITE(FD_OUTPUT,*) "1,K",",",TELPOL(NLINES+1,1)," ,",TELPOL(NLINES+1,2)
WRITE(FD_OUTPUT,'(1x,A3,I2,A1,F14.3,A1,F14.3)')
"1,K",NLINES+1," ,",TELPOL(NLINES+1,1)," ,",TELPOL(NLINES+1,2)
END SUBROUTINE MAIN

!*****
SUBROUTINE REGRESSION(ARXIKO,TELIKO,XY,A,B)
!*****
  IMPLICIT NONE

  INTEGER J,N,ARXIKO,TELIKO
  DOUBLE PRECISION A,B,SX,SY,SXY,SXX
  DOUBLE PRECISION XY(1:10000,1:3)

  SX=0.0D+00 ; SY=0.0D+00 ; SXY=0.0D+00 ; SXX=0.0D+00
  N=0
  DO J=ARXIKO,TELIKO
    IF ( XY(J,3)>0) THEN
      N=N+1
      SY=SY+XY(J,2)
      SX=SX+XY(J,1)
      SXY=SXY+XY(J,1)*XY(J,2)
      SXX=SXX+XY(J,1)*XY(J,1)
    END IF
  ENDDO

  !N=TELIKO-ARXIKO+1
  A=(N*SXY-SX*SY)/(N*SXX-SX**2.0)
  B=(SY-A*SX)/N

END SUBROUTINE REGRESSION

!*****

```

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

SUBROUTINE ETCURVES(ARXIKO,TELIKO,XY,Xc,Yc,R) ! kanei elaxista tetragwna sta kuklika to3a kai vriskei kentro kai aktina kyklwn  
!\*\*\*\*\*

IMPLICIT NONE

INTEGER J,ARXIKO,TELIKO,N

DOUBLE PRECISION

Uc,Vc,Xc,Yc,R,Xm,Ym,U,SU,SUU,SUUU,V,SV,SVV,SVVU,SUUV,SVVU,SX,SY,SUV,ANGLE

DOUBLE PRECISION XY(1:10000,1:3)

U=0 ;V=0 ; SU=0 ; SUU=0 ;SUUU=0 ; SV=0 ; SVV=0 ; SVVU=0 ; SUUV=0 ;

Xm=0 ; Ym=0 ;Uc=0 ;Vc=0;Xc=0;Yc=0;R=0;SX=0;SY=0 ; ANGLE=0

DO J=ARXIKO,TELIKO

SX=SX+XY(J,1)

SY=SY+XY(J,2)

END DO

N=TELIKO-ARXIKO+1

Xm=SX/N

Ym=SY/N

DO J=ARXIKO,TELIKO

U=XY(J,1)-Xm

SU=SU+U

SUU=SUU+U\*\*2

SUUU=SUUU+U\*\*3

V=XY(J,2)-Ym

SV=SV+V

SVV=SVV+V\*\*2

SVVU=SVVU+V\*\*3

SUV=SUV+U\*V

SUUV=SUUV+(U\*\*2)\*V

SVVU=SVVU+(V\*\*2)\*U

END DO

Vc=((0.5\*SVV+0.5\*SUV)-((SUU\*SUV\*0.5+0.5\*SVVU\*SUV)/SUV))/((SVV-((SUV\*\*2)/SUV))

Uc=(((SUU+SVVU)/2)-Vc\*SUV)/SUV

Xc=Uc+Xm

Yc=Vc+Ym

R=DSQRT(Uc\*\*2 + Vc\*\*2 + ((SUV+SVV)/N))

ANGLE=0

END SUBROUTINE

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

```

!*****
SUBROUTINE NEWXY(A,B,X1,Y1,X2,Y2,XX1,YY1,XX2,YY2)
!*****
  IMPLICIT NONE

  DOUBLE PRECISION A,B,X1,Y1,X2,Y2,XX1,XX2,YY1,YY2

  XX1=(Y1+X1/A-B)/(A+1.0/A)
  YY1=-XX1/A+Y1+X1/A
  XX2=(Y2+X2/A-B)/(A+1.0/A)
  YY2=-XX2/A+Y2+X2/A

  END SUBROUTINE NEWXY

!*****
SUBROUTINE REGRESSION2(ARXIKO,TELIKO,XY,A,B)
!*****
  IMPLICIT NONE

  INTEGER J,N,ARXIKO,TELIKO
  DOUBLE PRECISION A,B,SX,SY,SXY,SXX
  DOUBLE PRECISION XY(1:10000,1:3)

  SX=0.0D+00 ; SY=0.0D+00 ; SXY=0.0D+00 ; SXX=0.0D+00
  N=0
  DO J=ARXIKO,TELIKO
    IF ( XY(J,3)>0) THEN
      N=N+1
      SY=SY+XY(J,1)
      SX=SX+XY(J,2)
      SXY=SXY+XY(J,2)*XY(J,1)
      SXX=SXX+XY(J,2)*XY(J,2)
    END IF
  ENDDO

  !N=TELIKO-ARXIKO+1
  A=(N*SXY-SX*SY)/(N*SXX-SX**2.0)
  B=(SY-A*SX)/N

  END SUBROUTINE REGRESSION2

END PROGRAM

```



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000124455