



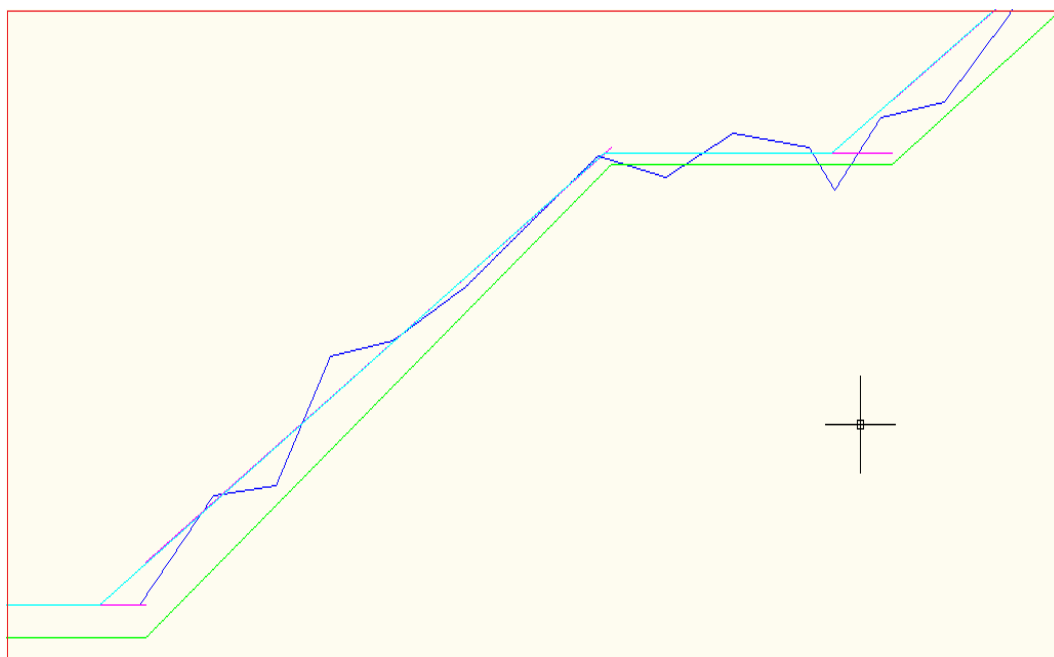
**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Γ. ΚΑΝΕΛΛΑΪΔΗΣ**

**ΣΥΝΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Φ. ΜΕΡΤΖΑΝΗΣ**

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ**  
**ΧΑΡΑΞΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΓΓΕΛΟΣ ΒΑΣΙΛΑΣ**

**ΑΘΗΝΑ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2013**



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας το ταξίδι μου ως φοιτητής τελειώνει. Δεν μπορώ να πω ότι ήταν εύκολο, και αν δεν υπήρχαν κοντινοί μου άνθρωποι που με στήριζαν όλα αυτά τα χρόνια ίσως και να μην έφτανε μέχρι εδώ.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Κανελλαΐδη, για την ανάθεση αλλά και επίβλεψη της διπλωματικής εργασίας, για την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε σε όλη τη διάρκεια αυτής αλλά και για τις στοχευμένες παρεμβάσεις του. Επίσης, δεν θα μπορούσα παρά να ευχαριστήσω τον κ. Μερτζάνη για την απεριόριστη υποστήριξη και καθοδήγηση που μου προσέφερε. Σε όλη την διάρκεια της διπλωματικής ήταν παρών και τον ευχαριστώ για την υπομονή του.

Ευχαριστώ, επίσης, θερμά την οικογένεια μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχε όλα αυτά τα χρόνια, πρώτα σαν μαθητή και μετά σαν φοιτητή, κάνοντας εμένα κυρίως καλύτερο άνθρωπο.

Τέλος, 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.

Μάρτιος 2013

Άγγελος Βασιλάς

## ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΧΑΡΑΞΗΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ

ΑΓΓΕΛΟΣ ΒΑΣΙΛΑΣ

Επιβλέπων καθηγητής: Γ. Κανελλαΐδης

### ΣΥΝΟΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών υφιστάμενης οδού και συγκεκριμένα η εύρεση της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής αυτής, μέσω των συντεταγμένων (X,Y,Z) τοπογραφικής αποτύπωσης, με σκοπό την υποβοήθηση του ελέγχου της οδικής ασφάλειας. Δημιουργήθηκε ένα νέο πρόγραμμα σε κώδικα FORTRAN που επεξεργάζεται την τρισδιάστατη πληροφορία του τοπογραφικού υποβάθρου της υφιστάμενης οδού και με τη βοήθεια στατιστικών μεθόδων (μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης) παράγεται η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή της, με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση. Το πρόγραμμα αυτό αποτελεί επέκταση του λογισμικού οδοποιίας H12 και η λειτουργία του βασίζεται στις βασικές αρχές του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών, καθώς και σε έναν αριθμό απλοποιήσεων και παραδοχών.

### ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Γωνιακό διάγραμμα, γραμμική παλινδρόμηση, τοπογραφική αποτύπωση οδού, οδική ασφάλεια, γεωμετρία οδού, λογισμικό οδοποιίας

## **SOFTWARE DEVELOPMENT FOR THE DIGITAL PROCESSING OF EXISTING'S ROADS GEOMETRIC ALIGNMENT**

AGGELOS VASSILAS

Supervising professor: G. Kanellaidis

### **ABSTRACT**

The object of this paper is to find the existing road geometric characteristics, namely to find the horizontal and vertical alignment, through the road surveying coordinates (X, Y, Z) in order to assist the road safety audit. A new program in FORTRAN code, which processes the information of three-dimensional topographic background of an existing road, extracts the horizontal and vertical alignment, approached as accurate as possible by using statistical methods (linear regression). This program is an extension of the road design software H12 and its operation is based on the principles of geometric road design, as well as a number of simplifications and assumptions.

### **KEYWORDS:**

Angle diagram, linear regression, road surveying, road safety, road geometry, computer aided highway design programs.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη αλγορίθμων για τη δημιουργία ενός προγράμματος Η/Υ το οποίο θα παράγει την οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή της οδού. Τα στοιχεία αυτά θα δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη του προγράμματος να αξιολογεί τη χάραξη των υφιστάμενων οδών από 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 στην γεωμετρική χάραξη των οδών.

Εν συνεχεία, παρουσιάζονται νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν οι ερευνητές για την αποτύπωση υφισταμένων οδών καθώς και τα κυριότερα προγράμματα οδοποιίας που χρησιμοποιούν οι Έλληνες μελετητές για τη γεωμετρική χάραξη των οδών.

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. Μετά από την παρουσίαση της μεθόδου που τελικά χρησιμοποιήθηκε και την αναλυτική περιγραφή του νέου λογισμικού αναπτύσσεται η πορεία της έρευνας που πραγματοποιήθηκε και παρουσιάζονται οι κώδικες που οδήγησαν σε αναξιόπιστα αποτελέσματα.

Στη συνέχεια, γίνεται μία σύντομη παρουσίαση του λογισμικού οδοποιίας H12, στο περιβάλλον του οποίου λειτουργεί το νέο πρόγραμμα ελέγχου των οδών. Της παρουσίασης αυτής, έπεται μία αναλυτική περιγραφή και επεξήγηση του συνόλου των αλγορίθμων που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Μετά το πέρας της επεξήγησης των αλγορίθμων, επεξεργάζονται, με τη βοήθεια του H12, 2 οδικά τμήματα και εξάγονται τα αποτελέσματα που θα χρησιμοποιηθούν από 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

<b>ΣΥΝΟΨΗ.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>4</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....</b>	<b>i</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>iii</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....</b>	<b>v</b>
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....</b>	<b>vi</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>5</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Γενικές αρχές σχεδιασμού. ....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Ορισμοί .....</b>	<b>9</b>
2.2.1 Ταχύτητα $V_{\text{επιτρ}}$ .....	9
2.2.2 Ταχύτητα μελέτης $V_e$ .....	9
2.2.3 Λειτουργική ταχύτητα $V_{85}$ .....	10
<b>2.3 Γενικές αρχές χάραξης. ....</b>	<b>11</b>
<b>2.4 Στοιχεία οριζοντιογραφίας .....</b>	<b>15</b>
2.4.1 Γερμανικές οδηγίες RAA2008 .....	15
Α) Ευθυγραμμία.....	15
Β) Κυκλικά τόξα.....	18
2.4.2 Ελληνικές οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ .....	20
Α) Ευθυγραμμία.....	20
Β) Κυκλικά τόξα.....	25
<b>2.5 Στοιχεία Μηκοτομής.....</b>	<b>29</b>
2.5.1 Γερμανικές οδηγίες RAA2008.....	29
2.5.2 Ελληνικές οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ .....	31

<b>2.6 Μέθοδοι αποτύπωσης των οδών πάνω σε ψηφιακά μοντέλα εδάφους (τοπογραφική αποτύπωση) .....</b>	<b>39</b>
<b>2.7 Συνοπτική παρουσίαση των δυνατοτήτων άλλων προγραμμάτων οδοποιίας ευρείας χρήσης .....</b>	<b>41</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ..... 47**

<b>3.1 Γενικά.....</b>	<b>47</b>
<b>3.2 Αναπτυξη επιλεχθείσας μεθόδου για την σύνταξη του νέου λογισμικού.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3 Θεωρητικό υπόβαθρο για την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.) .....</b>	<b>54</b>
3.3.1 Προσαρμογή καμπυλών .....	54
3.3.2 Παλινδρόμηση .....	55
3.3.3 Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων .....	55
3.3.4 Η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων .....	57
3.3.5 Ο κύκλος των ελαχίστων τετραγώνων.....	60
3.3.6 Τυπικό σφάλμα εκτιμήσεως.....	64
3.3.7 Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης .....	65
3.3.8 Ο συντελεστής μη γραμμικής συσχέτισης - Γενικευμένος .....	66
<b>3.4 Στάδια παραγωγής γωνιακού διαγράμματος.....</b>	<b>67</b>
<b>3.5 Παραδοχές και απλοποιήσεις .....</b>	<b>68</b>
<b>3.6 Παρουσίαση διαφορετικών μεθοδολογιών που κατέληξαν σε αναξιόπιστα αποτελέσματα ..</b>	<b>69</b>
<b>3.7 Χαρακτηριστικά και δυνατότητες του νέου προγράμματος.....</b>	<b>71</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ..... 71**

<b>4.1 Πακέτο προγραμμάτων οδοποιίας H12 .....</b>	<b>71</b>
4.1.1 Περιβάλλον εργασίας.....	71
4.1.2 Εγκατάσταση και εκκίνηση .....	75
4.1.3 Εισαγωγή δεδομένων .....	75
4.1.4 Προγράμματα.....	77
4.1.5 Αρχεία εξαγωγής αποτελεσμάτων και παραγόμενα σχέδια .....	78
4.1.6 Διαγραφή αρχείων.....	79
<b>4.2 Το πρόγραμμα.....</b>	<b>80</b>
4.2.1 Γενικά.....	80
4.2.2. Λειτουργία του προγράμματος.....	82
4.2.3. Παραγωγή οριζοντιογραφίας .....	89
4.2.4 Παραγωγή μηκοτομής.....	94
4.2.5 Επεξήγηση αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική.....	100



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ..... 103**

### **5.1 Παραγωγή οριζοντιογραφίας και μηκοτομής της οδού σε υφιστάμενες οδούς .....103**

5.1.1 Παραγωγή γωνιακού διαγράμματος..... 106

5.1.2 Παραγωγή Οριζοντιογραφίας ..... 111

5.1.3 Παραγωγή Μηκοτομής ..... 118

### **5.2 Ακρίβεια στην προσέγγιση της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής.....124**

5.2.1 Οριζοντιογραφία ..... 124

5.2.2 Μηκοτομή..... 126

### **5.3 Έλεγχος οριζοντιογραφίας και μηκοτομής με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς .....128**

### **5.4. Επισήμανση προβληματικών θέσεων .....130**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ..... 131**

### **6.1 Συμπεράσματα.....131**

### **6.2 Προτάσεις .....133**

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ..... 134**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ..... 136**

### **1. Αλγόριθμος VASI.....136**

### **2. Αλγόριθμος V1.....141**

### **3. Προγράμματα σχεδίασης στο AutoCAD - βοηθητικά .....148**

### **4. Αλγόριθμος εύρεσης καλύτερου κύκλου που ‘χωράει’ σε ένα σμήνος σημείων (M.E.T.) .....156**

### **5. Αλγόριθμοι διαφορετικής προσέγγισης της μεθόδου.....158**

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Σχήμα 2.1 Στοιχεία στο χώρο που προκύπτουν από την επικάλυψη των στοιχείων μελέτης στην οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή (οριζοντιογραφική ευθυγραμμία)..... 17

Σχήμα 2.2 Στοιχεία στο χώρο που προκύπτουν από την επικάλυψη των στοιχείων μελέτης στην οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή (οριζοντιογραφική καμπύλη)..... 19

Σχήμα 2.3 Σχέση διαδοχικών ακτίνων κυκλικών τόξων.....27

Σχήμα 2.4 Παράδειγμα τριγωνοποίησης εδάφους για την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου.....39

Σχήμα 2.5 Ψηφιακή αποτύπωση οδού.....40

Σχήμα 3.1	Μεγέθη κύκλου διερχόμενα από 3 διαδοχικά σημεία πύκνωσης του άξονα της οδού.....	49
Σχήμα 3.2	Παράδειγμα υπολογισμών για τη δημιουργία του γωνιακού διαγράμματος κάνοντας χρήση του Excel.....	51
Σχήμα 3.3	Παράδειγμα παραγωγής γωνιακού διαγράμματος στο excel.....	52
Σχήμα 3.4	Επισήμανση ενός κυκλικού τόξου.....	52
Σχήμα 3.5	Επισήμανση ενός ευθύγραμμου τμήματος.....	52
Σχήμα 3.6	Παράδειγμα ευθείας ελαχίστων τετραγώνων από το παραπάνω κυκλικό τόξο.....	53
Σχήμα 3.7	Δεδομένα σημεία – αποστάσεις από μία τυχαία καμπύλη.....	55
Σχήμα 3.8	Προσεγγιστική ευθεία – γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών X και Y.....	57
Σχήμα 3.9	Κύκλος ελαχίστων τετραγώνων.....	62
Σχήμα 4.1	Περιβάλλον εργασίας μορφής ΕΜΠ.....	73
Σχήμα 4.2	Περιβάλλον εργασίας μορφής MENU.....	74
Σχήμα 4.3	Πλαίσια αρχείων εισαγωγής δεδομένων.....	76
Σχήμα 4.4	Παράδειγμα αρχείου εισαγωγής δεδομένων.....	76
Σχήμα 4.5	Κουμπί έναρξης προγράμματος.....	77
Σχήμα 4.6	Κουμπί λειτουργίας βοηθητικών εργασιών.....	77
Σχήμα 4.7	Παράδειγμα παραθύρου Command Prompt.....	78
Σχήμα 4.8	Παράδειγμα αρχείου εξαγωγής αποτελεσμάτων (*.dat) ανοιγμένου με Notepad).....	79
Σχήμα 4.9	Πλήκτρα διαγραφής αρχείων.....	80
Σχήμα 4.10	Περιβάλλον εργασίας του νέου προγράμματος.....	82
Σχήμα 4.11	Γωνιακό διάγραμμα βάσει αποτύπωσης- λεπτομέρεια φαίνεται στο κόκκινο πλαίσιο.....	84
Σχήμα 4.12	Πολυγωνική που εισάγει ο χρήστης στο γωνιακό διάγραμμα - λεπτομέρεια φαίνεται στο κόκκινο πλαίσιο.....	85
Σχήμα 4.13	Χρήση της Μ.Ε.Τ. στο γωνιακό διάγραμμα.....	86
Σχήμα 4.14	Τελικό αζιμουθιακό διάγραμμα – Η λεπτομέρεια φαίνεται με κόκκινο πλαίσιο.....	87
Σχήμα 4.15	Περιβάλλον εργασίας AutoCAD – Στάδια επεξεργασίας γωνιακού διαγράμματος.....	88
Σχήμα 4.16	Οριζοντιογραφία βάσει αποτύπωσης.....	89
Σχήμα 4.17	Καταγραφή συντεταγμένων των κορυφών του αζιμουθιακού διαγράμματος.....	90
Σχήμα 4.18	Αποτύπωση ευθύγραμμων τμημάτων στην οριζοντιογραφία βάση αποτύπωσης.....	90
Σχήμα 4.19	Χρήση της Μ.Ε.Τ. στην παραγωγή της οριζοντιογραφίας.....	91
Σχήμα 4.20	Τελική πολυγωνική της οριζοντιογραφίας.....	92
Σχήμα 4.21	Τελικός άξονας της οδού.....	93
Σχήμα 4.22	Σχεδίαση κάθε σημείου σε άξονες χιλιομέτρηση – υψόμετρο (μηκοτομή αποτύπωσης).....	94
Σχήμα 4.23	Μηκοτομή χρήστη.....	95
Σχήμα 4.24	Χρήση της Μ.Ε.Τ. στην παραγωγή της μηκοτομής.....	96
Σχήμα 4.25	Βέλτιστη πολυγωνική της μηκοτομής.....	97
Σχήμα 4.26	Τελική ερυθρά της οδού.....	98
Σχήμα 4.27	Παράδειγμα αποτελεσμάτων του κώδικα V1.....	102

Σχήμα 5.1	Στάδια παραγωγής γωνιακού διαγράμματος της εθνικής οδού Αντιρρίου - Ιωαννίνων.....	107
Σχήμα 5.2	Στάδια παραγωγής γωνιακού διαγράμματος της εθνικής οδού Κοζάνης - Καστοριάς.....	109
Σχήμα 5.3	Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής οριζοντιογραφίας της εθνικής οδού Αντιρρίου - Ιωαννίνων.....	112
Σχήμα 5.4	Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής οριζοντιογραφίας της εθνικής οδού Κοζάνης - Καστοριάς.....	115
Σχήμα 5.5	Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της μηκοτομής. (Ε.Ο. Αντιρρίου – Ιωαννίνων (Κλίμακα υψών) = 100 x (Κλίμακα μηκών)).....	119
Σχήμα 5.6	Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της μηκοτομής. (Ε.Ο. Κοζάνης – Καστοριάς, (Κλίμακα υψών) = 20 x (Κλίμακα μηκών)).....	121
Σχήμα 5.7	Πλήθος σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν στην οριζοντιογραφία (Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων).....	124
Σχήμα 5.8	Πλήθος σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν στην οριζοντιογραφία (Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς).....	125
Σχήμα 5.9	Πλήθος σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν στη μηκοτομή (Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων).....	126
Σχήμα 5.10	Πλήθος σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν στη μηκοτομή (Ε.Ο. Κοζάνης-Καστοριάς).....	127

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1	Χάραξη καλά προσαρμοσμένη στο φυσικό περιβάλλον.....	14
Εικόνα 2.2	Χάραξη όχι καλά προσαρμοσμένη στο φυσικό περιβάλλον.....	15
Εικόνα 2.3	Μικρή ενδιάμεση ευθυγραμμία μεταξύ δύο ομόροπων κυκλικών τόξων.....	16
Εικόνα 2.4	Φαινόμενο του λούνα παρκ (στη δεξιά εικόνα).....	16
Εικόνα 2.5	Όχημα την ώρα που σκανάρει την οδό.....	40
Εικόνα 2.6	Συσκευή σκάνερ τοποθετημένη στην οροφή οχήματος (road scanner 3).....	41
Εικόνα 2.7	Περιβάλλον επικοινωνίας χρήστη του ΟΔΟΣ V8.....	42
Εικόνα 2.8	Περιβάλλον εργασίας Anadelta tessera – οριζοντιογραφία.....	43
Εικόνα 2.9	Περιβάλλον εργασίας Anadelta tessera – μηκοτομή.....	44
Εικόνα 2.10	Περιβάλλον εργασίας DIOLKOS – οριζοντιογραφία.....	45
Εικόνα 2.11	Περιβάλλον εργασίας DIOLKOS – μηκοτομή.....	46

Εικόνα 4.1	Περιβάλλον εργασίας AutoCAD – Παράδειγμα Οριζοντιογραφίας.....	93
Εικόνα 4.2	Περιβάλλον εργασίας AutoCAD – Παράδειγμα Μηκοτομής.....	99
Εικόνα 5.1	Τοποθέτηση των οδικών έργων στον Ελλαδικό χώρο.....	103
Εικόνα 5.2	Τρισδιάστατη απεικόνιση τμήματος της Ε.Ο. Αντιρρίου – Ιωαννίνων.....	104
Εικόνα 5.3	Δισδιάστατη απεικόνιση τμήματος της Ε.Ο. Αντιρρίου – Ιωαννίνων.....	104
Εικόνα 5.4	Τρισδιάστατη απεικόνιση τμήματος της Ε.Ο. Κοζάνης–Καστοριάς.....	105
Εικόνα 5.5	Δισδιάστατη απεικόνιση τμήματος της Ε.Ο. Κοζάνης – Καστοριάς.....	105

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1	Οριακές τιμές ισχύος των Κριτηρίων Ασφαλείας Ι, ΙΙ και ΙΙΙ για καλή, μέτρια και μη αποδεκτή ποιότητα σχεδιασμού για οδούς των ομάδων Α και Β.....	14
Πίνακας 2	Ελάχιστες ακτίνες (για $q = 6,0 \%$ ) και ελάχιστα μήκη κυκλικών τόξων.....	18
Πίνακας 3	Σχέση μεταξύ μηκών ευθυγραμμίας και μεταβολής της ταχύτητας $V_{85}$ κατά την αλληλουχία ευθυγραμμία - καμπύλη.....	24
Πίνακας 4	Ελάχιστες ακτίνες καμπυλών για οδούς των ομάδων Α και Β.....	26
Πίνακας 5	Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις.....	29
Πίνακας 6	Ελάχιστες ακτίνες κυρτωμάτων και κοιλωμάτων.....	30
Πίνακας 7	Ελάχιστα μήκη εφαπτομένων.....	31
Πίνακας 8	Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις.....	33
Πίνακας 9	Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις οδών κατηγορίας ΒΙ (αστικών αυτο/δρομων).....	33
Πίνακας 10	Ελάχιστες τιμές ακτίνων κοίλων κατακόρυφων καμπυλών.....	36
Πίνακας 11	Πίνακας κορυφών της καινούργιας οριζοντιογραφίας της εθνικής οδού Αντιρρίου – Ιωαννίνων.....	114

## 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 και η μηκοτομή αυτής. Προκειμένου να επιταχυνθεί η διαδικασία επεξεργασίας της τοπογραφικής πληροφορίας δημιουργήθηκε ένα νέο λογισμικό το οποίο, 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 και τη μηκοτομή της οδού με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση.

Ο κώδικας του νέου λογισμικού είναι γραμμένος σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran ενώ χρησιμοποιούνται και μακροεντολές που βασίζονται στη Visual Basic. Όλο το περιβάλλον στο οποίο εργάζεται ο χρήστης είναι το Excel, τα αποτελέσματα του οποίου διαβάζονται από το Σημειωματάριο των Windows (Notepad) ενώ τα σχέδια διαβάζονται από το AutoCAD.

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 τα κυριότερα προγράμματα οδοποιίας που χρησιμοποιούν οι Έλληνες μελετητές για τη γεωμετρική χάραξη των οδών.

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. Μετά από την παρουσίαση της

μεθόδου που τελικά χρησιμοποιήθηκε και την αναλυτική περιγραφή του νέου λογισμικού αναπτύσσεται όλη η πορεία της έρευνας που πραγματοποιήθηκε και παρουσιάζονται οι αλγόριθμοι που οδήγησαν σε αναξιόπιστα αποτελέσματα.

Μετά το σημείο αυτό το πρόγραμμα μπορεί να πραγματοποιεί ελέγχους με βάση τους σύγχρονους ισχύοντες κανονισμούς, οι οποίοι αποτελούν μέρος του ελέγχου οδικής ασφάλειας, επισημαίνοντας τις περιοχές του οδικού τμήματος που αποτελούν εν δυνάμει θέσεις οδικών ατυχημάτων.

Στη συνέχεια, στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται μία σύντομη παρουσίαση του λογισμικού οδοποιίας H12, στο περιβάλλον του οποίου λειτουργεί το νέο πρόγραμμα ελέγχου των οδών. Της παρουσίασης αυτής, έπεται μία αναλυτική περιγραφή και επεξήγηση του συνόλου των αλγορίθμων που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Μετά το πέρας της σύνταξης των αλγορίθμων, στο **Κεφάλαιο 5** επεξεργάζονται, με τη βοήθεια του H12, 2 οδικά τμήματα και εξάγονται τα αποτελέσματα που θα χρησιμοποιηθούν από τον χρήστη για τον έλεγχο της οδικής ασφάλειας. Για την αξιολόγηση της λειτουργίας του λογισμικού καθώς επίσης και των παραγόμενων αποτελεσμάτων, έγινε επεξεργασία και ανάλυση σε δύο τμήματα του εθνικού οδικού δικτύου της χώρας μήκους περίπου 5 χιλιομέτρων το καθένα, αρχικά σε τμήμα της υφιστάμενης Εθνικής Οδού Αντιρρίου - Ιωαννίνων (πεδινό τμήμα) και εν συνεχεία σε τμήμα της υφιστάμενης Εθνικής Οδού Κοζάνης - Καστοριάς (ορεινό τμήμα).

Για τα δύο παραπάνω παραδείγματα παρουσιάζονται τα στάδια επεξεργασίας του τοπογραφικού υποβάθρου για την παραγωγή της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής του οδικού έργου, ενώ για την αξιολόγηση του παραγόμενου αποτελέσματος υπολογίζεται το σφάλμα μεταξύ της τοπογραφικής αποτύπωσης και των παραγόμενων γεωμετρικών στοιχείων της κάθε οδού. Με τη χρήση του προγράμματος H12 διενεργείται σημαντικός αριθμός ελέγχων και επισημαίνονται οι θέσεις του οδικού τμήματος στις οποίες υπάρχει εν δυνάμει πρόβλημα οδικής ασφάλειας.

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, στο **Κεφάλαιο 6** διατυπώνονται τα κυριότερα συμπεράσματά της και προτείνονται θέματα για περαιτέρω έρευνα.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζεται επιγραμματικά όλη η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## 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, από τη διπλωματική εργασία της Β. Χατζή και του Ν. Ρουσιαμμάνη, από τις σημειώσεις, του Ε.Μ.Π για τα μαθήματα της Οδοποιίας και από συναφείς δημοσιευμένες εργασίες.

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 Α, 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 $V_{85}$

Η λειτουργική ταχύτητα  $V_{85}$  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 Α (υπεραστικές οδοί με βασική λειτουργία τη σύνδεση) η ταχύτητα  $V_{85}$  αντιστοιχεί στην ταχύτητα, με την οποία θα κινηθεί ανεμπόδιστα το 85% των επιβατηγών οχημάτων σε καθαρό και υγρό οδόστρωμα. Η ταχύτητα  $V_{85}$  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  $V_{85}$  σε υγρά οδοστρώματα, σχετικές έρευνες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η ταχύτητα  $V_{85}$  σε στεγνό οδόστρωμα, δεν διαφέρει ουσιαστικά από την ταχύτητα  $V_{85}$  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  $V_{85}$  που αναφέρεται στην κρίσιμη περίπτωση του υγρού οδοστρώματος, ισχύει τόσο σε υγρά όσο και σε στεγνά οδοστρώματα.

Σύμφωνα με τους Ελληνικούς Κανονισμούς, η ταχύτητα  $V_{85}$  για τις οδούς ομάδας Α με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, περίπτωση στην οποία υπάγονται οι υπό μελέτη οδοί, είναι συνάρτηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού. Η  $V_{85}$  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  $V_{85}$  είναι η ελκτικότητα  $KE$  της μεμονωμένης καμπύλης και το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας  $b$ . Η ταχύτητα  $V_{85}$  υπολογίζεται χωριστά για κάθε μία καμπύλη χάραξης της οδού ως συνάρτηση

της τιμής της ελκτότητας  $KE$  της κάθε μεμονωμένης καμπύλης, καθώς επίσης και για κάθε “Ανεξάρτητη Ευθυγραμμία” ( $KE = 0$  gon/km).

Η ταχύτητα  $V_{85}$  σε οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας της ομάδας Α 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  $V_{85}$  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 καθοριστεί.

### **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 συναρμογής 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 Ι: «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 Α και Β.**

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

#### Α) 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 αμβλυνθεί 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 (Εικόνα 2.3) 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.

Τέλος, όπως τονίζουν οι Αυστραλιανές οδηγίες, οι μεγάλου μήκους ευθυγραμμίες είναι επιρρεπείς στο φαινόμενο «λούνα παρκ» (roller coaster) το οποίο φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 2.4).

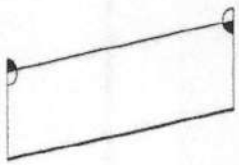

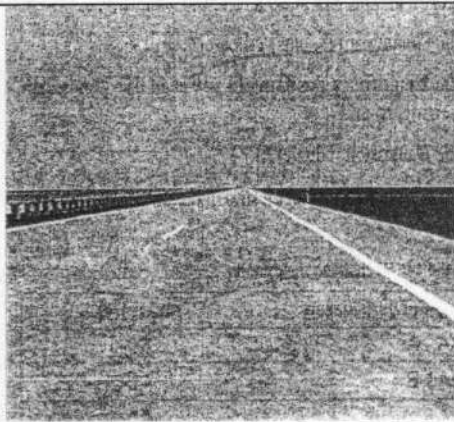
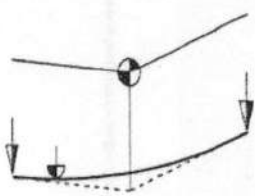

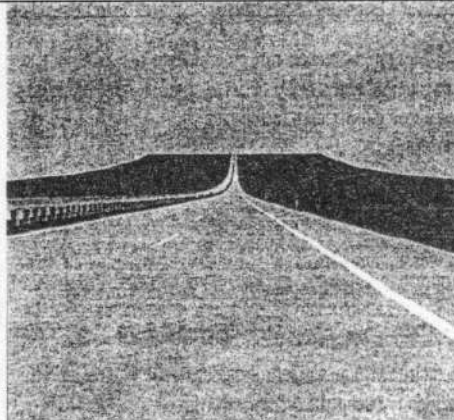
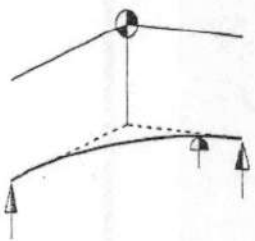

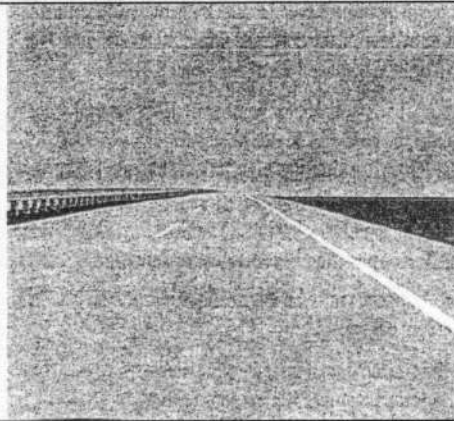


**Εικόνα 2.3:** Μικρή ενδιάμεση ευθυγραμμία μεταξύ δύο ομόρροπων κυκλικών τόξων.[9]



**Εικόνα 2.4** Φαινόμενο του λούνα παρκ.[21]



Οριζοντιογραφία/Μηκοτομή	Προοπτική εικόνα
<p data-bbox="272 322 683 360">Ευθεία με σταθερή κατά μήκος κλίση</p> <p data-bbox="293 456 395 495">Μηκοτομή</p>  <p data-bbox="293 689 459 728">Οριζοντιογραφία</p> 	
<p data-bbox="272 792 794 831">Κατακόρυφη κοίλη καμπύλη στις ευθυγραμμίες</p> <p data-bbox="293 927 395 965">Μηκοτομή</p>  <p data-bbox="293 1160 459 1198">Οριζοντιογραφία</p> 	
<p data-bbox="272 1263 799 1301">Κατακόρυφη κυρτή καμπύλη στις ευθυγραμμίες</p> <p data-bbox="293 1397 395 1435">Μηκοτομή</p>  <p data-bbox="293 1630 459 1668">Οριζοντιογραφία</p> 	

**Σχήμα 2.1:** Στοιχεία στο χώρο που προκύπτουν από την επικάλυψη των στοιχείων μελέτης στην οριζοντιογραφία και τη μηχανοτομή (οριζοντιογραφική ευθυγραμμία) [17]

**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:  $R1/R2 \leq 1,5$ .

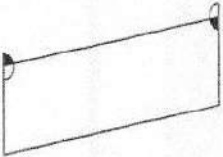

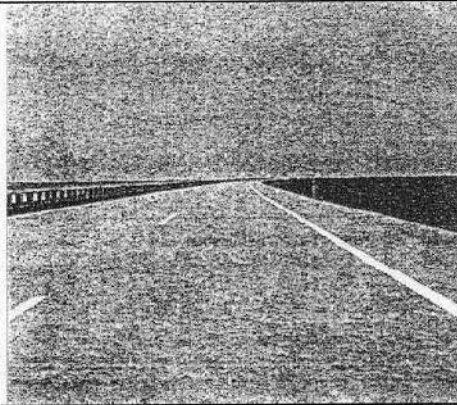
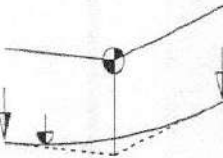

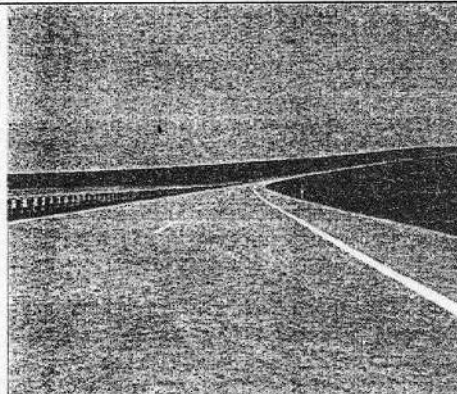
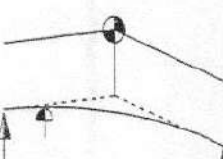

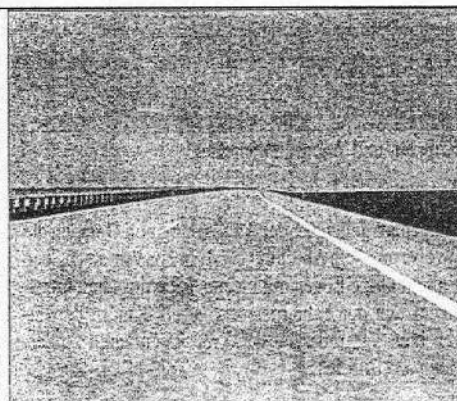
Τα κυκλικά τόξα πρέπει να έχουν ένα ελάχιστο μήκος (Πίνακας 2), έτσι ώστε οι οδηγοί να μην χρειάζεται μετά την περιστροφή του τιμονιού προς μία κατεύθυνση να το περιστρέψουν αμέσως προς την αντίθετη κατεύθυνση.

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

Τάξη μελέτης	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.

Οριζοντιογραφία/Μηκοτομή	Προοπτική εικόνα
<p data-bbox="260 349 767 383">Οριζόντια καμπύλη με σταθερή κατά μήκος κλίση</p> <div data-bbox="284 483 387 517">Μηκοτομή</div>  <div data-bbox="284 645 451 678">Οριζοντιογραφία</div> 	
<p data-bbox="260 797 855 864">Οριζόντια καμπύλη σε συνδυασμό με κατακόρυφη κοίλη καμπύλη</p> <div data-bbox="284 965 387 999">Μηκοτομή</div>  <div data-bbox="284 1126 451 1160">Οριζοντιογραφία</div> 	
<p data-bbox="260 1256 855 1323">Οριζόντια καμπύλη σε συνδυασμό με κατακόρυφη κυρτή καμπύλη</p> <div data-bbox="284 1424 387 1458">Μηκοτομή</div>  <div data-bbox="284 1597 451 1630">Οριζοντιογραφία</div> 	

Σχήμα 2.2: Στοιχεία στο χώρο που προκύπτουν από την επικάλυψη των στοιχείων μελέτης στην οριζοντιογραφία και τη μηχανοτομή (οριζοντιογραφική καμπύλη)[17]

## 2.4.2 Ελληνικές οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ

### Α) Ευθυγραμμία

Ως στοιχείο μελέτης, η ευθυγραμμία μπορεί να θεωρηθεί ότι υπερτερεί

- στην περίπτωση των οδών της ομάδας Α:
  - 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 Β:
  - 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 6πλάσιο 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 Ι και ΙΙΙ για την αξιολόγηση της ευθυγραμμίας καθοριστική σημασία έχει το Κριτήριο Ασφαλείας ΙΙ «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 ( $a$ ) επιβράδυνσης ή επιτάχυνσης των οχημάτων προσδιορίζεται ίση με  $0.85 \text{ m/s}^2$ . 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 ( $\Delta V_{85} = 20 \text{ km/h}$ ), ιδιαίτερα όσον αφορά τις επιβραδύνσεις. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις ( $\Delta V_{85} < 20 \text{ km/h}$ ) 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 ευθυγραμμιών 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  $V_{85}$  που χαρακτηρίζουν την μέτρια ποιότητα σχεδιασμού ( $10 \text{ km/h} < \Delta V_{85} \leq 20 \text{ km/h}$ ), 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  $TL_s$  (έντονη γραμμή πλαισίου) των ευθυγραμμιών μικρού μήκους του Πίνακα 3 ( $TL < TL_s$ ) που αντιστοιχεί στην πλησιέστερη ταχύτητα  $V_{85}$  της καμπύλης με τη μεγαλύτερη τιμή ελκτότητας  $K_E$ , 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  $TL_L$  της «μεγάλης ευθυγραμμίας» που δίδεται στην στήλη 8 του Πίνακα 3 ( $TL \geq 2 \cdot TL_L$ ) και η οποία αντιστοιχεί στην πλησιέστερη τιμή της ταχύτητας  $V_{85}$  της καμπύλης με τη μεγαλύτερη τιμή ελκτότητας  $K_E$ . 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 ( $TL_s < TL < 2 \cdot TL_L$ ). 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.

**Πίνακας 3: Σχέση μεταξύ μηκών ευθυγραμμίας και μεταβολής της ταχύτητας  $V_{85}$  κατά την αλληλουχία ευθυγραμμία – καμπύλη**

$V_{85K}$ 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*

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

$V_{85K}$ , (km/h) Λειτουργική ταχύτητα 85% σε καμπύλη ( $V_{85K}$ ) ή ευθυγραμμία ( $V_{85T}$ ) εξαρτωμένη  $V_{85T}$  από την τιμή  $K_E$ . Στις ευθυγραμμίες  $K_E=0$  gon/km

*Ανεξάρτητες ευθυγραμμίες*

**$TL$**  [m] Μεγάλα μήκη ευθυγραμμιών  $TL_L$ . Στα μήκη ευθυγραμμιών της στήλης 8 (ή σε μεγαλύτερα) αναμένεται η ανάπτυξη της μέγιστης ταχύτητας  $V_{85}$ .



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

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

## **B) 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  $V_e \geq 70\text{km/h}$ ,  $\gamma = \arctan (155/V_e^2)$

### 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)‰	$q_{\min}=2,5\%$	$q_{\max}=7\%$	$q_{\min}=2,5\%$	$q_{\max}=6\%$	$q_{\min}=2,5\%$
	$n=45\%$	$n=10\%$	$n=40\%$	$n=10\%$	$n=60\%$	$n=30\%$
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).

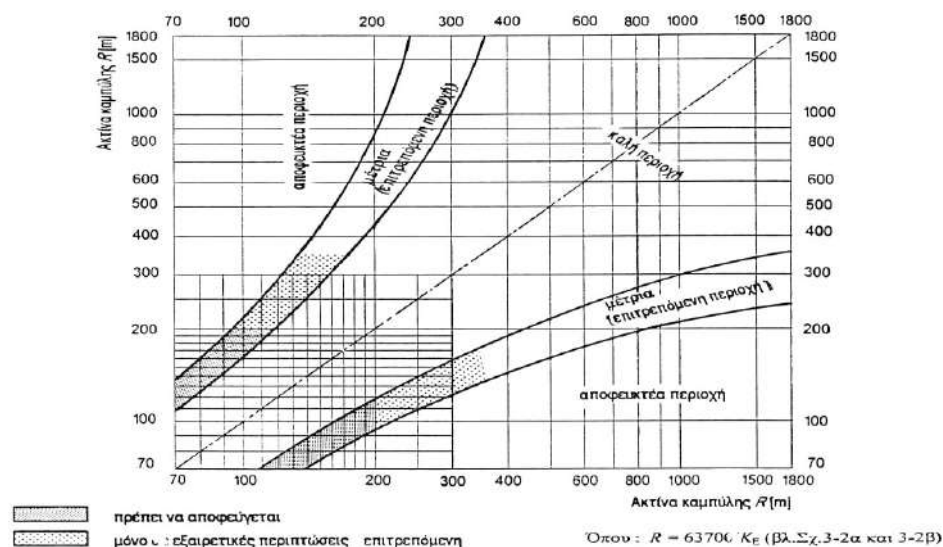
Σε εξαιρετικές περιπτώσεις οδών της ομάδας Α, υπάρχει η δυνατότητα αύξησης της μέγιστης τιμής της επίκλισης κατά 1%, μόνο για τις τιμές εντός παρένθεσης.

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  $TL_S$ , σε οδούς της ομάδας Α ή κατηγορίας ΒΙ και ΒΙΙ πρέπει να παρουσιάζουν μία αρμονική σχέση για λόγους κυκλοφοριακής ασφάλειας. Επίσης η αρμονική σχέση μεταξύ διαδοχικών κυκλικών τόξων είναι επιθυμητή στις οδούς κατηγορίας Β ΙΙΙ, καθώς και στις οδούς κατηγορίας Β ΙV, εφόσον είναι εφικτό. Αυτή η απαίτηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός, ότι δεν πρέπει να μεταβάλλεται απότομα η λειτουργική ταχύτητα  $V_{85}$  μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών. Στην περίπτωση των υπεραστικών οδών με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας αυτό εξασφαλίζεται με την εφαρμογή του Κριτηρίου Ασφαλείας ΙΙ.

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 Α και της κατηγορίας ΒΙ και ΒΙΙ (Επιθυμητή για τις κατηγορίες ΒΙΙΙ και ΒΙV)

Στις κατηγορίες οδών A I έως A IV 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  $V_{85}$  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 σχέσης μεταξύ των διαδοχικών ακτίνων οδηγεί συχνά στην υιοθέτηση λύσεων που αντιβαίνουν στην προσπάθεια ικανοποίησης των στόχων του περιβαλλοντικού ή του πολεοδομικού σχεδιασμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις επιτρέπεται να μην υιοθετηθεί η οριακά παραδεκτή σχέση μεταξύ των διαδοχικών ακτίνων στις κατηγορίες οδών A III, A IV και B I, B II, επειδή η τήρηση της οριακά παραδεκτής σχέσης των διαδοχικών ακτίνων προκαλεί δυσμενείς επιπτώσεις στον πολεοδομικό ή περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Παράλληλα όμως με τη μη τήρηση της οριακά παραδεκτής σχέσης πρέπει να λαμβάνονται ειδικά κυκλοφοριακά μέτρα, που θα επισημαίνουν στους οδηγούς την ύπαρξη ασυνέχειας και απότομης αλλαγής των ακτίνων, τα οποία μέτρα θα επιδρούν διορθωτικά στην οδική συμπεριφορά (κατάλληλη οριζόντια και κατακόρυφη σήμανση, ειδική δεντροφύτευση κτλ)

## 2.5 Στοιχεία Μηκοτομής

### 2.5.1 Γερμανικές οδηγίες RAA2008

#### A) Κατά μήκος κλίσεις

Οι μικρές κατά μήκος κλίσεις:

- βελτιώνουν την κυκλοφοριακή ασφάλεια (εξαιρέση: 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.

**Πίνακας 5: Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις**

Τάξη μελέτης	max s [%]
TMA 1 A	4,0
TMA 1 B	4,5
TMA 2	4,5
TMA 3	6,0

Σε ανωφέρειες 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

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

, 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

**Πίνακας 6: Ελάχιστες ακτίνες κυρτωμάτων και κοιλωμάτων**

Τάξη μελέτης	$\min H_K$ [m]	$\min H_W$ [m]
TMA 1 A	13.000	8.800
TMA 1 B	10.000	5.700
TMA 2	5.000	4.000
TMA 3	3.000	2.600

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

$$H_W \geq 0,5 \cdot H_K$$

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

**Πίνακας 7: Ελάχιστα μήκη εφαπτομένων**

Τάξη μελέτης	min T [m]
TMA 1 A	150 120 <sup>(*)</sup>
TMA 1 B	120
TMA 2	100
TMA 3	100

<sup>(\*)</sup> τιμή εξαίρεσης κατά την κατασκευαστική τροποποίηση και την επέκταση

## 2.5.2 Ελληνικές οδηγίες ΟΜΟΕ-X

### 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 B, 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 διερευνάται η πιθανότητα διάταξης μίας επιπλέον λωρίδας για τα βαρέα οχήματα (πρόσθετη λωρίδα) ή αλλαγής της χάραξης της οδο



**Πίνακας 8: Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις**

$V_e$ [km/h]	$s_{max}$ [%] για τις οδούς της ομάδας			
	Α			Β (πλην 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'εξαίρεση επιτρέπεται κλίση μέχρι και 20% για οδούς κατηγορίας AV, 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 μηχανοτομή 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  $H_K$ , του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για στάση  $S_h$  ή για προσπέραση  $S_u$  του ύψους των οφθαλμών του οδηγού  $h_A$  και του ύψους του εμποδίου  $h_z$  ισχύει η σχέση

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

Όπου:

$\text{Min } H_K [\text{ m}]$  = ελάχιστη ακτίνα κυρτής κατακόρυφης καμπύλης

$S [\text{ m}]$  = απαιτούμενο μήκος ορατότητας :  
για στάση  $S_h$ , για προσπέραση  $S_u$

$h_A [\text{ m}]$  = ύψος οφθαλμού

$h_z [\text{ m}]$  = 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.

**Πίνακας 10: Ελάχιστες τιμές ακτίνων κοίλων κατακόρυφων καμπυλών για οδούς των ομάδων Α κ Β.**

$V_e [\text{ km/h}]$	$H_W \text{ min } [\text{ m}]$
50	1.350
60	1.900
70	2.500
80	3.300
90	4.200
100	5.200
110	6.300
120	7.500
130	10.000

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

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

όπου:

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

$V_e$  [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:

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

Όπου  $Ds_{\max}$  [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:

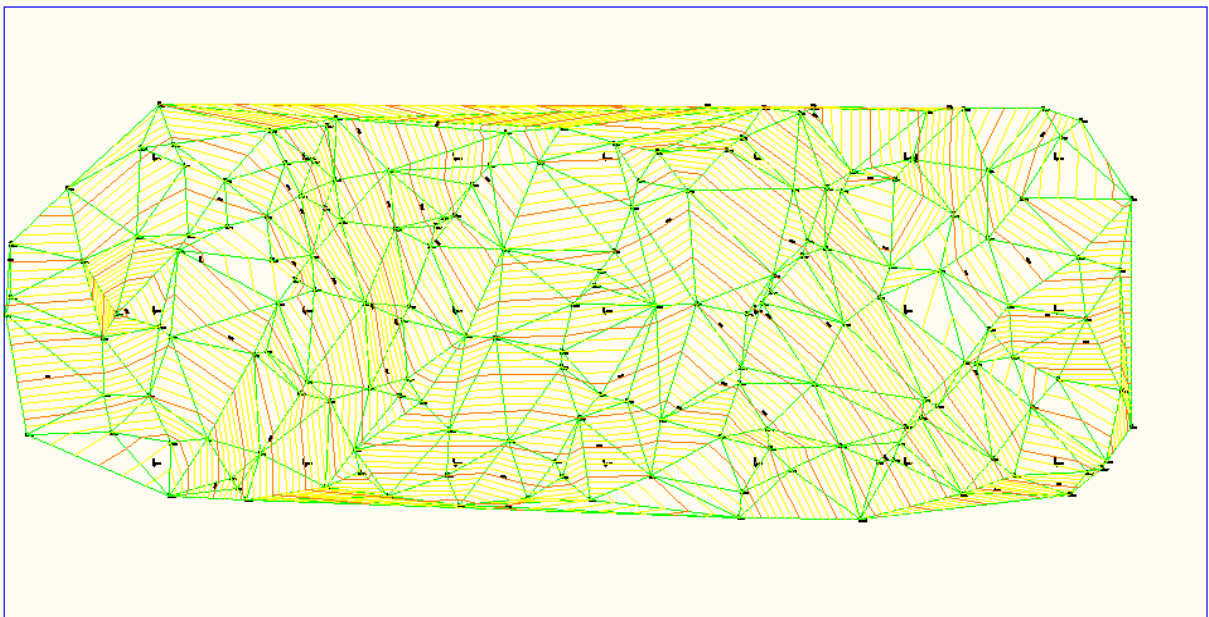
$L$  [m] = μήκος καμπύλης στην περιοχή με μικρή κατά μήκος κλίση εκατέρωθεν του σημείου αλλαγής του προσήμου της κατά μήκος κλίσης

$H$  [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



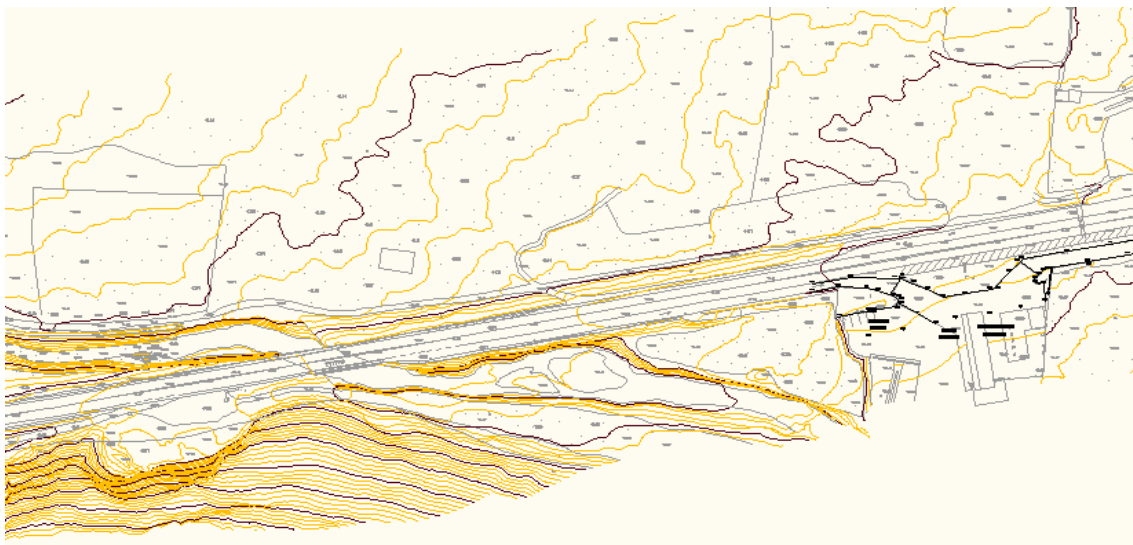
**Σχήμα 2.4** Παράδειγμα τριγωνοποίησης εδάφους για την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου.

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.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, που σκοπός είναι η εύρεση της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής μίας υφιστάμενης οδού, το έργο πρέπει να γίνει σε ψηφιακό μοντέλο εδάφους μαζί με την οδό. Αυτό δημιουργεί κάποια προβλήματα καθώς τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους δεν αποτυπώνουν τις οδούς που έχουν κατασκευαστεί παρά μόνο το έδαφος.

Για την αποτύπωση μίας υφιστάμενης οδού σε ψηφιακό μοντέλο έχουν κατασκευαστεί ειδικά ‘σκάνερ’ (road scanner) που τοποθετούνται στην οροφή οχημάτων τα οποία οδηγούνται στον δρόμο ο οποίος πρέπει να αποτυπωθεί ψηφιακά. Αυτόματα τα σκάνερ 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.



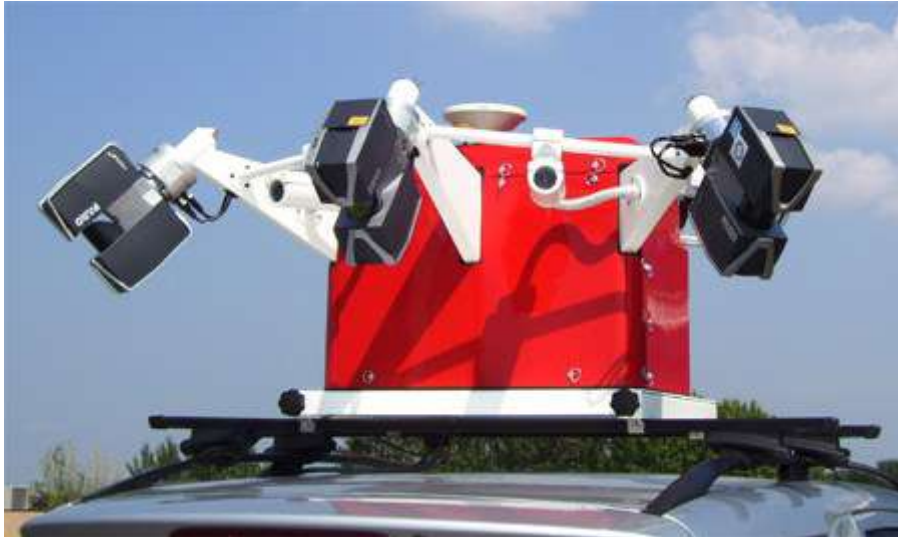
*Σχήμα 2.5 Ψηφιακή αποτύπωση οδού*

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)*

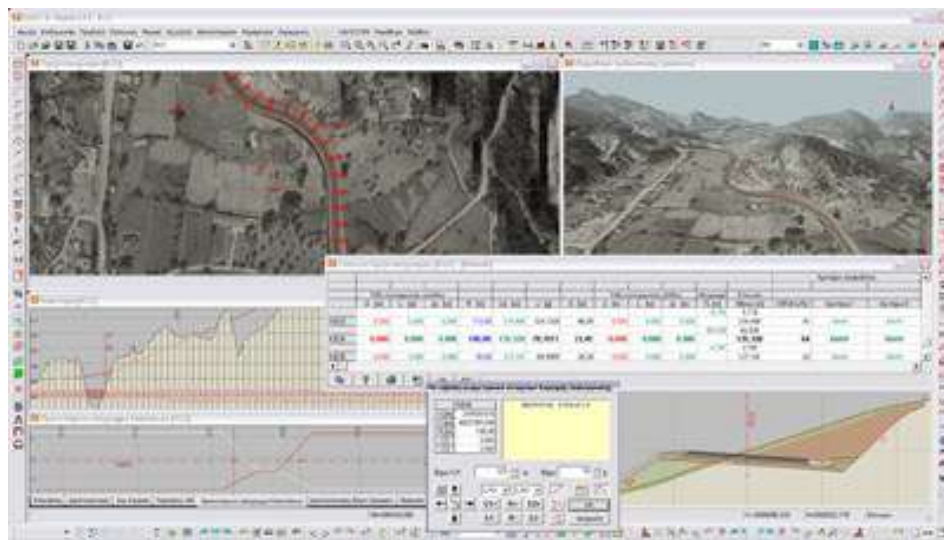
## **2.7 Συνοπτική παρουσίαση των δυνατοτήτων άλλων προγραμμάτων οδοποιίας ευρείας χρήσης**

### **ΟΔΟΣ V8**

Η τελευταία έκδοση του ελληνικού πακέτου προγραμμάτων **ΟΔΟΣ (V8)** δημιουργεί αυτόματα ένα τρισδιάστατο μοντέλο του έργου λαμβάνοντας υπόψη το φυσικό έδαφος, όλες τις οδούς του έργου και την προκαθορισμένη χρονική σειρά κατασκευής των επί μέρους οδικών τμημάτων. Μετά τη μεταβολή οποιουδήποτε στοιχείου σχεδιασμού, το ΟΔΟΣ 8 ενημερώνει σε πραγματικό χρόνο το μοντέλο του έργου. Το μοντέλο οδού του ΟΔΟΣ 8, δεν είναι απλουστευμένο. Αντίθετα, αφενός λαμβάνει υπόψη όλες τις πληροφορίες που απορρέουν από την επεξεργασία των διατομών, αφετέρου ομαλοποιεί την εικόνα του μοντέλου, πυκνώνοντας αυτόματα τις διατομές, ανάλογα με την καμπυλότητα της οδού. Επίσης, υπολογίζει αναλυτικά τα τρισδιάστατα στερεά όλων των υλικών που ανιχνεύει σε κάθε οδό, καθώς και τρισδιάστατες λεπτομέρειες, όπως απολήξεις των πλατυσμάτων των αναβαθμών ευστάθειας (μπαγγινών), κώνους σε περιπτώσεις τοίχων και ακροβάθρων γεφυρών και μέτωπα σηράγγων. Το ΟΔΟΣ 8 έχει τη δυνατότητα να παράγει, αυτοδύναμα πλέον, φωτορεαλιστικές προοπτικές εικόνες της οδού τόσο από τη θέση του οδηγού όσο και από οποιοδήποτε σημείο επιθυμεί ο χρήστης, καθώς και βίντεο που προσομοιώνουν τη διαδικασία της οδήγησης στο εξεταζόμενο οδικό τμήμα, χωρίς να απαιτείται η χρήση των εργαλείων τρισδιάστατης σχεδίασης του AutoCAD και η εισαγωγή του μοντέλου σε άλλα προγράμματα (όπως π.χ. στο 3D Studio MAX της Autodesk) όπως απαιτείτο στις προηγούμενες εκδόσεις του προγράμματος.

Τα κυριότερα χαρακτηριστικά του ΟΔΟΣ V8 είναι:

- Αυτόματη ανάγνωση ψηφιακών τοπογραφικών υποβάθρων σε μορφή DWG.
- Βιβλιοθήκη τυπικών διατομών και λεπτομερειών του Παραρτήματος 1 των ΟΜΟΕ-Δ και των ΠΚΕ της ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ ΑΕ. Ελεύθερος παραμετρικός σχεδιασμός οποιασδήποτε λεπτομέρειας τυπικής διατομής με δυνατότητες χρήσης strings (τρισδιάστατων γραμμών ελέγχου).
- Πολύ ισχυρά εργαλεία σχεδιασμού (Εισαγωγή/μεταβολή κορυφών/ κλάδων πολυγωνικής, οριζοντίων/κατακόρυφων καμπυλών) με δυνατότητα καθορισμού δεσμεύσεων (διέλευση από σημεία ελέγχου, διατήρηση θέσης κλάδων/ κυκλικών τόξων, κλπ.).

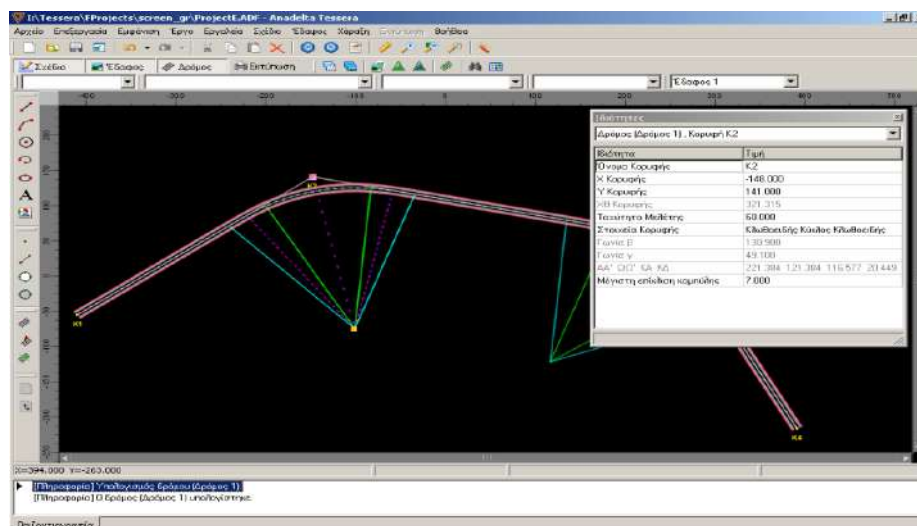


*Εικόνα 2.7 Περιβάλλον επικοινωνίας χρήστη του ΟΔΟΣ V8*

- Πλήρης αναλυτικός έλεγχος σε πραγματικό χρόνο, του γεωμετρικού σχεδιασμού κάθε οδού του έργου κατά ΟΜΟΕ-X.
- Αυτόματος σχεδιασμός διατομών. Δυνατότητα επεξεργασίας διατομών ανά διατομή ή οδικό τμήμα. Αναλυτικός υπολογισμός στοιχείων προμέτρησης.
- Προσομοίωση οδήγησης, τρισδιάστατος δυναμικός έλεγχος ορατότητας
- Αυτόματη και αυτόνομη (χωρίς την απαίτηση προγραμματιζόμενου CAD λογισμικού) παραγωγή σχεδίων σε μορφή DWG

*Anadelta Tessera*

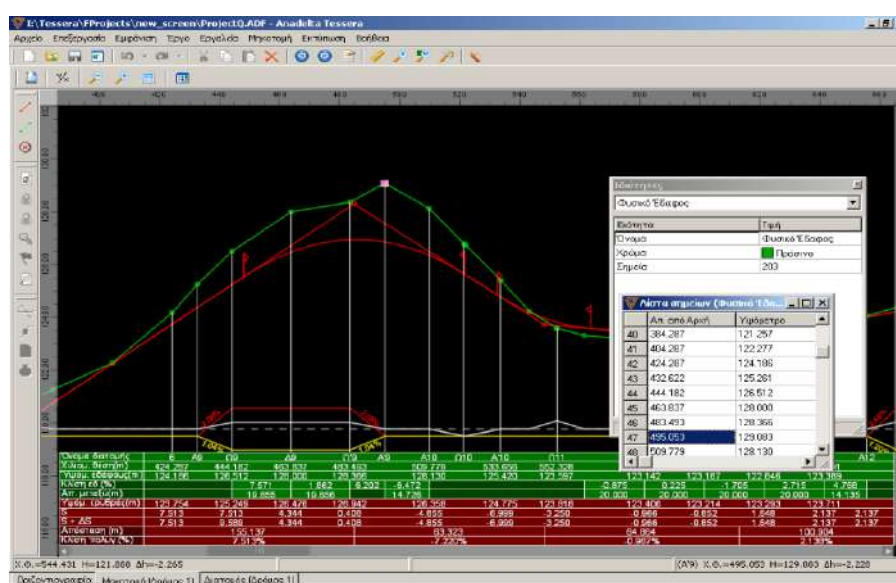
Στο **Tessera** μπορεί να εισαχθεί και να επεξεργαστεί απεριόριστος αριθμός οδών. Για κάθε δρόμο (σε οποιοδήποτε στάδιο της μελέτης) μπορούν να μεταβληθούν οι αρχικές παράμετροι, που έχουν προταθεί από το πρόγραμμα, όπως η ταχύτητα μελέτης, τα αρχικά πλάτη ή ο τρόπος υπολογισμού των επικλίσεων. Η εισαγωγή 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 προσαρμογή) 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 Τεσσερα (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.

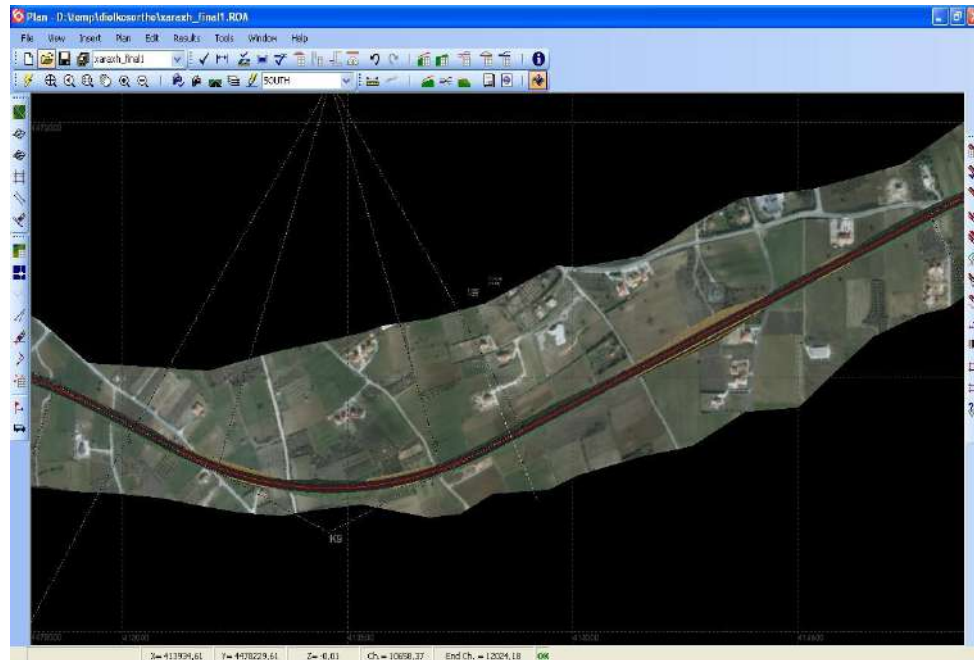


**Εικόνα 2.9** Περιβάλλον επικοινωνίας χρήστη Αναδελτα Τεσσέρα (Μηκοτομή)

Το TesserA 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, truetype 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.

## DIOLKOS

Στο πρόγραμμα **DIOLKOS** γίνεται εισαγωγή της πολυγωνικής της χάραξης από το AutoCAD. Ο χρήστης μπορεί να χειρίζεται γραφικά στην οθόνη τις κορυφές της χάραξης (εισαγωγή, μετακίνηση, διαγραφή). Μπορεί επίσης να οριστεί οποιαδήποτε χιλιομετρική θέση ως αρχή της χάραξης. Παράλληλα ο χρήστης μπορεί να εισάγει το υπόβαθρο της μελέτης και να το οργανώσει σε σχεδιαστικά επίπεδα (layers). Οι πάσσαλοι εισάγονται είτε αυτόματα από το πρόγραμμα κατά μήκος της οδού ή χειροκίνητα από τον χρήστη. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει ή να διαγράψει πασσάλους με το πληκτρολόγιο ή γραφικά στην οθόνη με το ποντίκι. Προβλέπεται αυτόματη εισαγωγή πασσάλων κατά μήκος του άξονα ανά συγκεκριμένη απόσταση και στις χαρακτηριστικές θέσεις (Α, Ω, Δ, Ω' Α'). Μπορούν να εισαχθούν μαζικά πάσσαλοι στις τομές του άξονα της χάραξης με το TIN. Επίσης μπορεί να γίνει μαζική εισαγωγή πασσάλων στις τομές μεταξύ του άξονα και των γραμμών υποβάθρου κάποιου δεδομένου layer ή να γίνει προβολή των πασσάλων άλλου οδικού άξονα. Με τους τρόπους αυτούς μπορούν να εισαχθούν αυτόματα όλοι οι απαιτούμενοι πάσσαλοι της μελέτης, αλλά και να επανεισάγονται αυτόματα σε κάθε αλλαγή της χάραξης.



*Εικόνα 2.10 Περιβάλλον επικοινωνίας χρήστη DIOLKOS (Οριζοντιογραφία)*



Η ανάγνωση του εδάφους γίνεται αυτόματα από το TIN που προηγουμένως έχουμε εισάγει στο πρόγραμμα. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει γραφικά επί της οθόνης την πολυγωνική της μηκοτομής και να τροποποιεί τα δεδομένα των κορυφών ( $X, Y, Z, H_{ερ}$ ) εύκολα και εποπτικά. Η βάση του DIOLKOS είναι ο τρόπος οργάνωσης και ανάγνωσης του ανάγλυφου του εδάφους. Το DIOLKOS «διαβάζει» το έδαφος από το TIN που έχει αποθηκευμένο στην βάση δεδομένων του, το οποίο αποτελείται από τρίγωνα που σχηματίζουν ένα δίκτυο ακανόνιστων τριγώνων. Εναλλακτικά το DIOLKOS μπορεί να διαβάσει το ανάγλυφο του εδάφους από ένα σύνολο τρισεδιάστατων γραμμών που περιγράφουν ικανοποιητικά το ανάγλυφο (π.χ από ισοϋψείς). Σε κάποιες περιπτώσεις μελέτης έργων, αυτός ο τρόπος είναι πιο πρόσφορος σε σχέση με το κλασικό TIN που αποτελείται από ακανόνιστα τρίγωνα. Όπως και με τις κορυφές της οριζοντιογραφίας, ο χρήστης μπορεί να χειρίζεται γραφικά επί της οθόνης τις σημαίες της μηκοτομής (εισαγωγή, τροποποίηση, διαγραφή). Επίσης μπορεί να εισάγει και να διαχειριστεί βοηθητικά σημεία ελέγχου της μηκοτομής. Ενώ σε κάθε τροποποίηση των σημαιών, ο χρήστης βλέπει ταυτόχρονα στην οθόνη τις ενημερωμένες τιμές της κλίσης και της υψομετρικής διαφοράς με το έδαφος σε κάθε πάσσαλο.



**Εικόνα 2.11** Περιβάλλον επικοινωνίας χρήστη DIOLKOS (Μηκοτομή)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

### 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 και της μηκοτομής μίας υφισταμένης οδού, μέσω των συντεταγμένων (X,Y,Z) τοπογραφικής αποτύπωσης, με σκοπό την υποβοήθηση του ελέγχου οδικής ασφάλειας υφιστάμενης οδού. Ο αλγόριθμος αυτός θα αποτελέσει μέρος του λογισμικού οδοποιίας H12. Παράλληλα αναφέρονται κάποιες παραδοχές και απλοποιήσεις που έγιναν κατά την σύνταξή του. Παρουσιάζονται επίσης και οι προσπάθειες ανάπτυξης άλλων αλγόριθμων οι οποίοι όμως οδήγησαν σε αναξιόπιστα αποτελέσματα και δεν χρησιμοποιήθηκαν στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής. 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 Ε.Μ.Π. αλλά και για οποιονδήποτε μελετητή οδοποιίας.

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

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιχειρείται η επέκταση του πακέτου προγραμμάτων οδοποιίας H12 με ένα πρόγραμμα 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.

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 σχεδίαση του γωνιακού διαγράμματος της οδού. Χρησιμοποιώντας μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία για κάθε τρία διαδοχικά σημεία που έχει επιλέξει ο χρήστης πάνω στον άξονα της οδού υπολογίζονται οι γωνίες διεύθυνσης των δημιουργημένων χορδών σε γεωδαιτικό δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς (αξιμούθια) καθώς και η χιλιομετρική θέση του κάθε σημείου.

Από την πρόσθεση των μηκών των χορδών όλων των σημείων υπολογίζεται προσεγγιστικά το συνολικό μήκος της οδού.

Το γωνιακό διάγραμμα επιτρέπει την επόπτευση της οδού με τον καλύτερο δυνατό τρόπο καθώς φαίνονται εύκολα με μια «πρώτη ματιά» οι χιλιομετρικές θέσεις που παρατηρούνται ευθυγραμμίες και κυκλικά τόξα, οι θέσεις, δηλαδή, όπου το αζιμούθιο παραμένει σταθερό ή ακολουθεί γραμμική μεταβολή αντίστοιχα.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως για να ευρεθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της οριζοντιογραφίας δηλαδή οι ακτίνες των κυκλικών τόξων, οι ευθυγραμμίες και η χιλιομετρική θέση των τμημάτων μιας οδού, πρέπει πρώτα να γίνει ο προσδιορισμός του γωνιακού διαγράμματος μέσω των συντεταγμένων XYZ των σημείων πύκνωσης. Η αρχή που περιγράφηκε συνοπτικά παραπάνω, στην οποία στηρίζεται ο προσδιορισμός του γωνιακού διαγράμματος, φαίνεται στο Σχήμα 3.1.

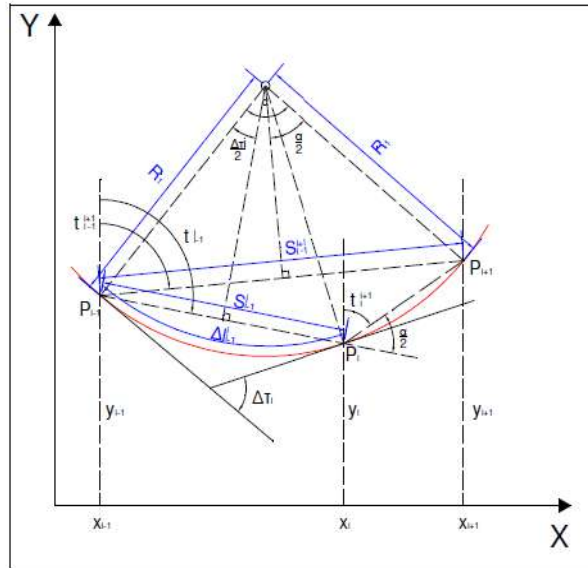
Για τον υπολογισμό της χιλιομετρικής θέσης και της γωνίας διεύθυνσης σε κάθε σημείο πύκνωσης του άξονα, υπολογίζεται η ακτίνα του κύκλου που διέρχεται από 3 διαδοχικά σημεία με την χρήση των εξισώσεων που παρατίθενται παρακάτω.

*Αξίωμα: Για κάθε 3 μη συνευθειακά σημεία μπορεί να κατασκευαστεί μοναδικός κύκλος που διέρχεται και από τα τρία σημεία. (Adrien-Marie Legendre , Farkas Bolyai , αρχές 19<sup>ου</sup> αιώνα)*

Για την απλοποίηση της διαδικασίας αντί να υπολογίζεται το μήκος του κυκλικού τόξου που δημιουργείται σε κάθε 3 διαδοχικά σημεία, μετράται το μήκος των χορδών (ευθύγραμμων τμημάτων) ανάμεσα σε αυτά. Η απόκλιση από το πραγματικό μήκος του κύκλου είναι μικρή καθώς οι χορδές αυτές έχουν πολύ μικρό μήκος και δεν επηρεάζει σημαντικά το συνολικό μήκος της οδού.

Γνωρίζοντας το συνολικό μήκος της οδού και τα μήκη στα οποία τα αζιμούθια των σημείων παραμένουν σταθερά (παράλληλα με τον άξονα των  $\chi$  στο γωνιακό διάγραμμα) μπορούν εύκολα να εξαχθούν πληροφορίες σχετικά με τις υπάρχουσες ευθυγραμμίες της υπό επεξεργασία οδού. Στην συνέχεια με την παραδοχή ότι η οδός αποτελείται μόνο από κυκλικά τόξα και ευθυγραμμίες και με τη χρήση των στατιστικών μεθόδων που θα αναλυθούν παρακάτω εξάγονται οι απαραίτητες πληροφορίες για το κάθε κυκλικό τόξο της οδού.

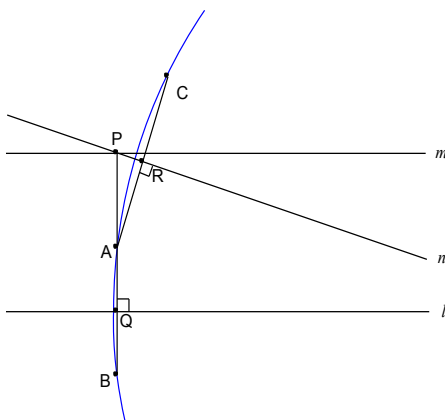




**Σχήμα 3.1:** Μεγέθη κύκλου διερχόμενα από τρία διαδοχικά σημεία πύκνωσης του άξονα της οδού

*Farkas Bolyai (1775-1856)*

Δεδομένου σημείου  $P$  εκτός της ευθείας  $l$ ,  $\overrightarrow{PQ}$  κάθετη στο σημείο  $Q$ , και ευθεία  $m$  κάθετη στη  $\overrightarrow{PQ}$ . Έστω  $n$  κάθε γραμμή που περνάει από το σημείο  $P$  και διαφέρει από την ευθεία  $m$  και  $\overrightarrow{PQ}$ . Πρέπει να δείξουμε ότι η  $n$  συναντά την  $l$ . Έστω  $A$  οποιοδήποτε σημείο μεταξύ  $P$  και  $Q$ . Έστω  $B$  το μοναδικό σημείο τέτοιο ώστε  $A*Q*B$  και  $AQ \cong QB$ . Έστω  $R$  το πόδι της καθέτου από το  $A$  έως  $n$ . Έστω  $C$  το μοναδικό σημείο τέτοιο ώστε  $A*R*C$  και  $AQ \cong QB$



Τότε  $A$ ,  $B$ , και  $\Gamma$  δεν είναι συγγραμμικά (αλλιώς  $R=P$ ) Επομένως υπάρχει ένας μοναδικός κύκλος που διέρχεται μέσω αυτών. Δεδομένου η  $l$  είναι η κάθετη διχοτόμος της χορδής  $AB$  και η  $n$  είναι η κάθετη διχοτόμος της χορδής  $AC$ , οι ευθείες  $l$  και  $n$  συναντώνται στο κέντρο του κύκλου. Αυτό μπορεί να γίνει για οποιαδήποτε ευθεία  $n$ , και ως εκ τούτου η ευθεία  $m$  είναι η μοναδική παράλληλη στην ευθεία  $l$  που διέρχεται από το σημείο  $P$ .

Με βάση τα διαδοχικά κυκλικά τόξα που διέρχονται από τρία σημεία πύκνωσης, ο υπολογισμός της Χ.Θ. και της γωνίας διεύθυνσης σε κάθε σημείο πύκνωσης γίνεται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις σε γεωδαιτικό δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς:

Υπολογισμός των γωνιών διεύθυνσης των δημιουργηθεισών χορδών:

$$t_{i-1}^i = a \tan \frac{x_i - x_{i-1}}{y_i - y_{i-1}} \quad 3.1$$

$$t_i^{i+1} = a \tan \frac{x_{i+1} - x_i}{y_{i+1} - y_i} \quad 3.2$$

$$t_{i-1}^{i+1} = a \tan \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{y_{i+1} - y_{i-1}} \quad 3.3$$

Υπολογισμός της επίκεντρης γωνίας α:

$$\frac{a}{2} = t_{i-1}^i - t_i^{i+1} \quad 3.4$$

Υπολογισμός των μηκών των χορδών s:

$$s_{i-1}^i = \frac{x_i - x_{i-1}}{\sin t_{i-1}^i} \quad 3.5$$

$$s_{i-1}^{i+1} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{\sin t_{i-1}^{i+1}} \quad 3.6$$

Υπολογισμός της ακτίνας R του κυκλικού τόξου:

$$R_i = \frac{s_{i-1}^{i+1}}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \quad 3.7$$

Υπολογισμός της μεταβολής Δτ της γωνίας διεύθυνσης:

$$\Delta \tau_i = 2 \cdot a \sin \frac{s_{i-1}^i}{2R_i} \quad 3.8$$

Υπολογισμός της γωνίας διεύθυνσης στο ενδιάμεσο σημείο:

$$\tau_i = \sum_{i=0}^t \Delta \tau_i \quad 3.9$$

Υπολογισμός του μήκους του τόξου μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου σημείου του κυκλικού τόξου :

$$\ell_i = \sum_{t=0}^i \Delta \ell_{t-1} \quad 3.10$$

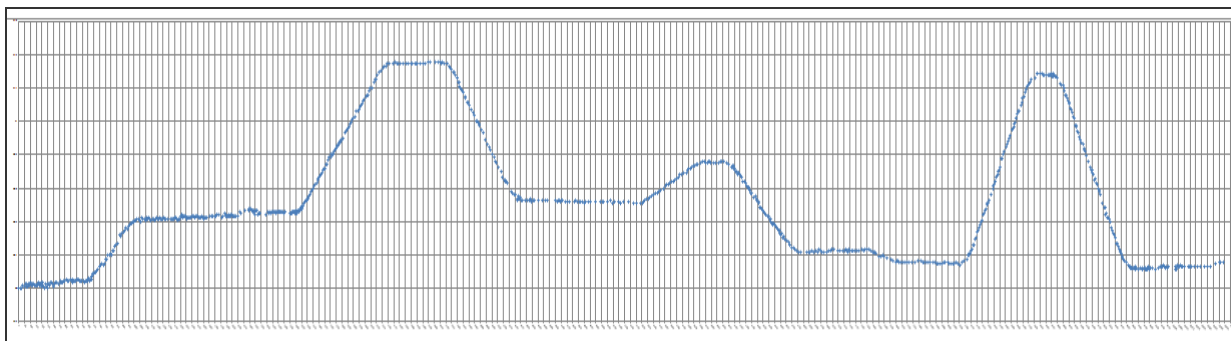
Υπολογισμός της Χ.Θ. του μεσαίου σημείου του κυκλικού τόξου:

$$\Delta \ell_i = \frac{R_i \cdot \Delta \tau_i}{\rho}, \text{ όπου } \rho = 63.6620 \quad 3.11$$

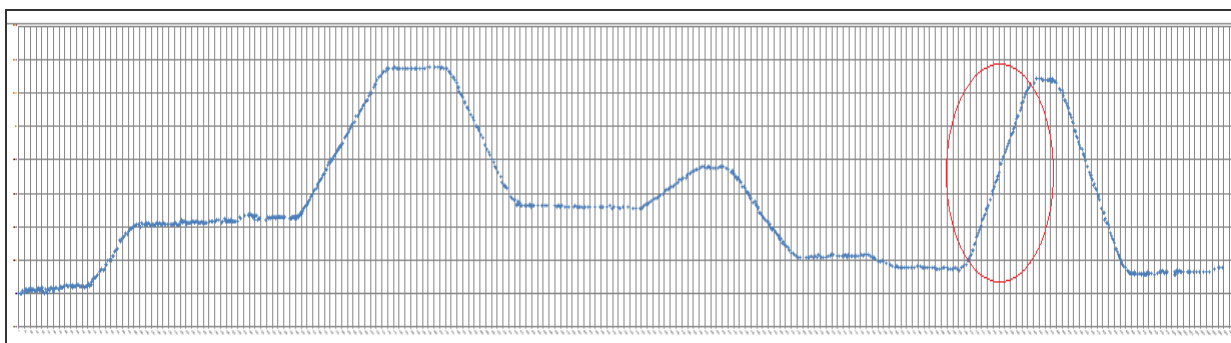
Η παραπάνω διαδικασία θα διαμορφώσει ένα διακριτό γωνιακό διάγραμμα (σχήματα 3.2 και 3.3), η μορφή του οποίου θα οδηγήσει στην αναγνώριση των γεωμετρικών στοιχείων και στη συνέχεια στον αναλυτικό προσδιορισμό των παραμέτρων του κάθε τόξου ξεχωριστά (π.χ. ακτίνα, μήκος κλπ). Η συγκεκριμένη έρευνα περιορίζεται στον προσδιορισμό της ακτίνας του κυκλικού τόξου κάθε καμπύλης, στην εύρεση των ευθυγραμμίων της υπό επεξεργασία οδού καθώς και στον υπολογισμό του μήκους αυτής. (σχήματα 3.4 και 3.5)

E5		=IF((B5-B40)*AND(C5-C40);(ATAN(B5-B4)/(C5-C4));IF((B5-B40)*AND(C5-C40)^2*PI()-(ABS(ATAN((B5-B4)/(C5-C4)))));IF((B5-B40)*AND(C5-C40);PI()+ABS(ATAN((B5-B4)/(C5-C4))))																												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T										
1	Αριθμ	X	Y		AZ1(-1)	T1(-1)	AZ1(+1)	T1(+1)	AZ1(-1,+1)	T1(-1,+1)	a/2	S1(-1)	S1(-1,+1)	Ri	DTi	Ti	D1i	Li	TiFin											
2	1	402789,881	4194095,33	863809977											0	0	0	0	0	0										
3	2	107585,074	4194085,43	87,0027332	226,773975	28,7739752	229,042052	29,0420517	238,914822	28,914822	0,00421094	11,0055226	23,1888867	2753,42099	0,00399704	0,003997	11,00552	11,00552997	0,00399704	1000										
4	3	402779,707	4194074,49	87,329071	229,042052	29,0420517	228,936671	28,9366709	228,990526	28,9905265	-0,0016522	12,1834153	23,88307	-7227,76435	-0,00168564	0,0023114	12,1834167	23,18894669	0,0023114	-1000										
5	4	402774,57	4194063,96	87,5874638	228,998671	28,9368709	229,681711	29,2442085	29,4242048	29,4242048	-0,00145757	11,8996826	24,641939	845,4128916	0,0138391	0,0161505	11,6997562	34,8887029	0,0161505	845,4129										
6	5	402768,719	4194052,43	87,8150635	228,964717	28,9467171	229,618716	29,7449265	29,7495626	29,7495626	-0,0038704	12,9431837	24,9647738	-3227,63391	-0,00401012	0,0121404	12,9431924	47,83189529	0,01214038	-1000										
7	6	402763,316	4194041,67	88,0589294	229,618317	29,6183166	230,522356	30,5223583	29,9028175	29,9028175	-0,01420065	12,0149058	27,6192686	618,6868899	0,0194635	0,0316038	12,0147808	59,87367614	0,03160383	618,6869										
8	7	402760,766	4194035,77	88,1602173	230,522358	30,5223583	229,047773	29,0477731	229,78145	29,78145	-0,0227386	5,5297136	11,0651507	-243,33249	-0,0227274	0,05298635	5,52983635	65,40351249	0,05298638	243,3328										
9	8	402758,324	4194031,8	88,2626114	229,047773	29,0477731	230,405862	30,4058625	229,759894	229,759894	0,01988334	5,53614657	11,070332	278,4005016	0,01988588	0,0287643	5,53627995	70,93975228	0,02876431	278,4005										
10	9	402755,785	4194026,88	88,413794	230,405862	30,4058625	229,4269323	29,4269323	229,883401	229,883401	-0,0134612	5,5397317	11,070467	-385,4429	-0,01435953	0,0140446	5,53972925	76,4745314	0,0140446	-385,4429										
11	10	402753,316	4194021,92	88,5538559	229,4269323	29,4269323	230,139659	30,1396586	229,782943	29,782943	0,01120505	5,53620275	11,0703802	494,0011516	0,01120655	0,0256113	5,53604972	82,01058126	0,02561134	494,0012										
12	11	402750,793	4194017,06	88,6745377	230,139659	30,1396586	229,958747	29,9587437	230,049195	230,049195	-0,0028418	5,5345352	11,0697972	-1947,67327	-0,00284161	0,0226797	5,53453506	87,54511362	0,02267972	-1947,67327										
13	12	402748,283	4194012,06	88,8167596	229,958747	29,9587437	229,526768	29,526768	229,742714	229,742714	-0,0067855	5,53257513	11,0712267	-815,81595	-0,006785	0,0159847	5,5325875	93,08402007	0,01598472	-815,8116										
14	13	402745,807	4194007,11	88,9663849	229,526768	29,526768	230,712066	30,712066	230,1194225	230,1194225	0,01861862	5,53601524	11,071653	297,3446682	0,0186184	0,0346032	5,53609052	98,61649727	0,03460316	297,3447										
15	14	402743,238	4194002,21	89,0116806	230,712066	30,712066	229,0397023	29,0397023	230,395629	230,395629	-0,009941	5,53611757	11,0722121	-55,903778	-0,00994093	0,0246622	5,53614036	104,1526376	0,0246622	-55,9038										
16	15	402740,719	4193997,28	89,1184485	230,0792	30,0792003	229,707598	29,707598	229,98347	229,98347	-0,0058371	5,53621216	11,0713507	-48,36434	-0,00583717	0,0182846	5,53623912	109,6888768	0,01828456	-48,3643										
17	16	402738,219	4193992,34	89,2450152	229,707598	29,7075984	230,289745	30,289745	229,986774	229,986774	0,00914434	5,53516659	11,0740947	505,245796	0,00914454	0,0279657	5,53518856	115,2240606	0,0279657	505,2456										
18	17	402735,691	4193987,41	89,3833606	230,289745	30,2897453	237,433406	37,433406	230,298797	230,298797	0,11221236	5,5390493	5,54604176	24,7641964	0,22144035	0,2521061	5,55065573	120,7747183	0,25210606	24,7642										
19	20	402735,686	4193987,41	89,3833695	237,434306	37,434306	29,6157235	29,6157235	400	0	-3,26399746	0,00704209	0,0019532	0,00787329	0,92725952	1,1794013	0,00730087	120,7820192	1,17940128	0,007873										
20	21	402735,691	4193987,41	89,3833297	29,6157235	29,6157235	29,6157235	29,6157235	29,652632	29,652632	1,3471256	0,00837464	9,89595267	-2301,86093	-3,774606	1,1793975	0,00873464	120,7907539	1,17939748	-1000										
21	22	402731,277	4193976,38	89,7073341	29,652511	29,6525114	29,182465	29,1824658	29,880077	29,8800771	0,00848158	9,89233469	9,98704056	1001,40779	0,00981414	1,1892116	9,8827933	130,6193032	1,18921162	1000										
22	23	402728,008	4193972,26	89,8163818	230,192466	30,1924658	29,147843	29,1478431	229,826772	229,826772	-0,0110749	5,53911497	11,0747743	-65,828611	-0,01075252	1,17958197	5,53914973	137,7788384	1,17958197	-65,8286										
24	24	402724,617	4193965,47	90,1334839	229,487413	29,4874132	229,466609	29,466609	229,477691	229,477691	-0,0003236	5,5386565	14,2462014	-2197,2038	-0,00034815	1,1781109	5,53865654	145,3670389	1,17811095	-1000										
25	22	402721,645	4193959,52	90,2707937	229,466609	29,4666092	230,04343	30,04343	229,332799	229,332799	-0,0041197	6,65754058	13,998501	-19580,6129	-0,00403338	1,1740776	6,65754959	152,0245885	1,17407757	-1000										
26	26	402716,57	4193953,29	90,582016	229,204343	29,2043434	230,150925	30,1509247	229,685922	229,6859218	0,01468866	6,94237508	14,1318248	475,23281	0,0146085	1,1886861	6,94243761	158,9670261	1,18868606	475,2329										
27	27	402715,291	4193946,88	90,8020696	230,150925	30,1509247	230,632605	30,6326058	29,9204575	29,9204575	-0,0081413	1,18893398	12,946746	-795,13194	-0,00940235	1,1796437	1,18893868	166,15689	1,17964371	-795,1319										
28	28	402712,707	4193941,96	90,9426119	230,632631	30,6326305	229,733594	29,733594	230,1824	230,1823996	0,0197322	5,5710112	11,101967	308,002002	0,0185729	1,182166	5,57079387	171,9139839	1,18216631	308,0027										
29	29	402710,219	4193937,01	91,0943541	230,733594	30,733594	229,76038	29,76038	229,649027	229,649027	-0,015696	5,53631106	11,3575235	-82,419328	-0,01477195	1,1834447	5,53631107	177,2673636	1,18344466	-82,4129										
30	30	402707,512	4193932,91	91,2567291	229,76038	29,760377	229,494144	29,494144	229,649003	229,6490037	-0,004428	6,00442172	10,93296793	13,214,6768	-0,00485602	1,1785396	6,00427464	183,2119112	1,17853964	-1000										
31	31	402705,311	4193927,24	91,4138794	229,494144	29,4941444	229,972777	29,9727768	229,738761	229,7387615	-0,0051834	9,2546441	10,290354	384,6539552	0,00719724	1,1857769	9,25054774	188,197386	1,18577698	384,6536										
32	32	402702,877	4193922,46	91,6204147	229,972777	29,9727768	230,01683	30,016834	229,738781	229,7387815	-0,0183955	3,59649838	10,7305281	-291,67832	-0,01839965	1,1673832	3,596502951	193,5624155	1,16738323	-291,6783										
33	33	402700,531	4193917,64	91,780996	228,01683	28,0168334	230,72829	30,728293	229,837641	229,8376412	0,03025583	5,36602815	11,6093582	191,8025163	0,02796609	1,1953499	5,36620302	198,9286185	1,19534992	191,8825										
34	34	402697,633	4193912,11	91,9375992	230,72829	30,728293	229,914671	29,9146712	230,354428	230,354428	0,0127773	6,24485103	11,5548087	452,304451	-0,01808641	1,1815429	6,24099125	205,1733911	1,18154291	-452,3045										
35	35	402695,229	4193907,37	92,1300064	229,914671	29,9146712	230,728072	30,728072	230,406687	230,406687	0,02177697	3,90398172	13,9538199	515,7274627	0,01009616	1,1916422	3,90374429	210,0433284	1,19164217	515,72724										
36	36	402691,457	4193900,17	92,494111	230,728072	30,728072	229,950597	29,9505987	230,24392	230,2439204	-0,0178675	8,1255601	14,466733	-395,895814	-0,02052471	1,1711175	8,12520702	228,6089631	1,17111746	-395,8986										
37	37	402688,758	4193894,79	92,7337646	229,950597	29,9505987	229,09179	29,0917969	229,314595	229,314595	-0,0078356	6,02166524	5,4802387	860,203368	0,00700003	1,1641172	6,02167754	224,6036137	1,16411716	-860,2036										
38	38	402685,467	4193888,1	92,9046818	229,091779	29,0917699	229,318564	29,3185638	229,620478	229,620478	0,01928095	7,45867753	14,5895254	378,1695947	0,01972341	1,1838406	7,45879662	232,0894103	1,18384057	378,169597										
39	39	402682,197	4193881,76	93,2527128	230,318564	30,3185636	428,485394	38,485394	229,930567	229,9305673	-0,013078	7,13152804	24,30196	-242,84934	-0,01313731	1,1731793	7,13157932	239,2208986	1,17317937	-242,8494										
40	40	402679,025	4193875,41	93,6159515	229,485394	29,4853938	230,604293	30,6042932	230,030693	230,030693	0,01175763	7,09951669	13,8483034	393,9840194	0,01802002	1,1887233	7,09961275	246,3206024	1,18872328	393,9848										
Ready																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									
ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ																					ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ									

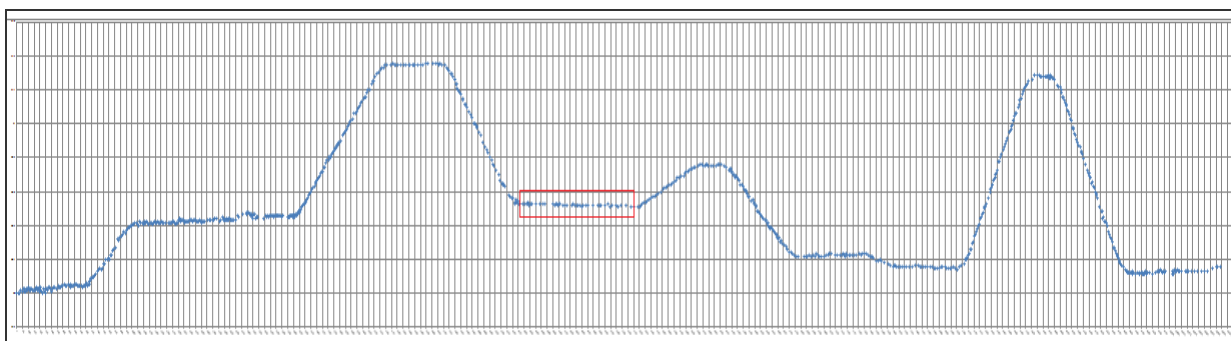
*Σχήμα 3.2 Παράδειγμα υπολογισμών για τη δημιουργία του γωνιακού διαγράμματος κάνοντας χρήση του Excel*



**Σχήμα 3.3** Παράδειγμα παραγωγής γωνιακού διαγράμματος στο Excel



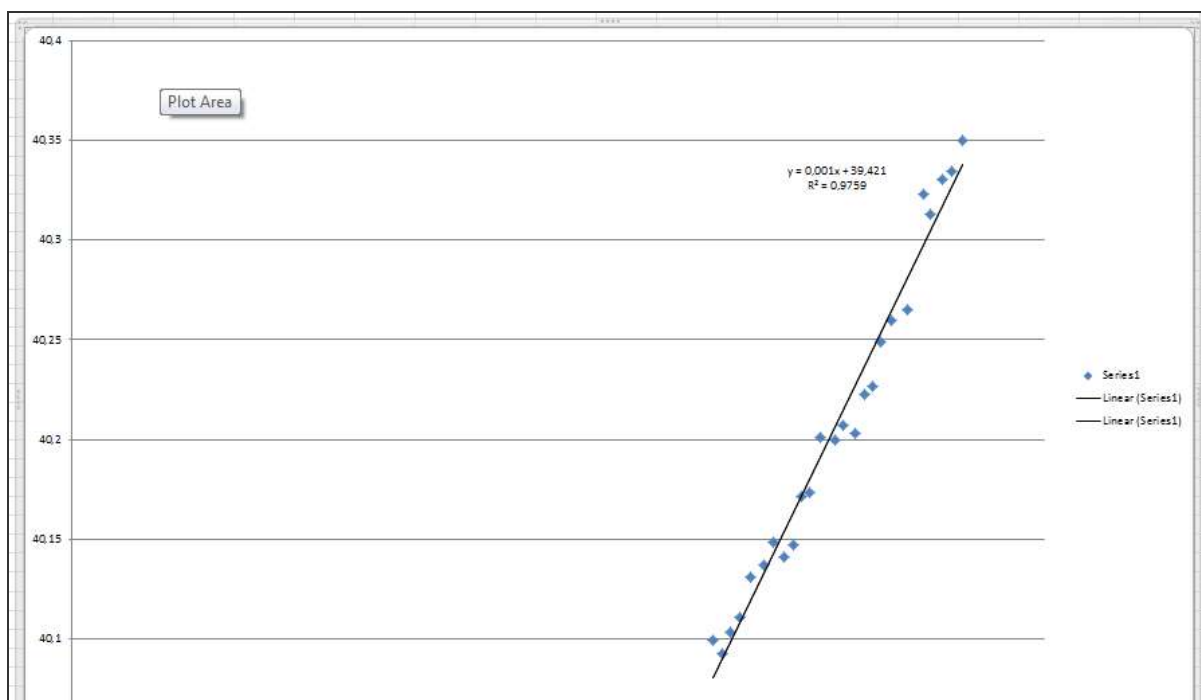
**Σχήμα 3.4** Επισημάνση ενός κυκλικού τόξου όπως φαίνεται στο γωνιακό διάγραμμα κάνοντας χρήση του Excel



**Σχήμα 3.5** Επισημάνση ενός ευθύγραμμου τμήματος όπως φαίνεται στο γωνιακό διάγραμμα κάνοντας χρήση του Excel

Ο αναλυτικός προσδιορισμός της ακτίνας του κυκλικού τόξου καθώς και οι ακτίνες των κοίλων και κυρτών καμπυλών της μηκοτομής θα πραγματοποιηθεί με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων ύστερα από γραφική προσαρμογή που κάνει ο χρήστης. Ο προσδιορισμός της ακτίνας καμπυλότητας επιλέγεται να γίνεται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, διότι με αυτό τον τρόπο επιλέγεται η ομάδα των σημείων που ορίζουν το κυκλικό τόξο και εφαρμόζεται σε αυτή γραμμική παρεμβολή. Ως ακτίνα του κυκλικού τόξου θεωρείται η αντίστροφη τιμή του συντελεστή της ανεξάρτητης μεταβλητής ή αλλιώς, η αντίστροφη τιμή της κλίσης με την προϋπόθεση ότι είναι στατιστικά σημαντική

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 3.6** 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 3.8 τα δεδομένα έχουν προσεγγιστεί από μια ευθεία και θεωρείται ότι υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Στο Σχήμα 3.9 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 3.8 θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μία ευθεία

$$y = a + bx \quad (1)$$

ενώ στο Σχήμα 3.9 θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μια δευτεροβάθμια καμπύλη (κύκλος)

$$(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2 = R^2 \quad (2)$$

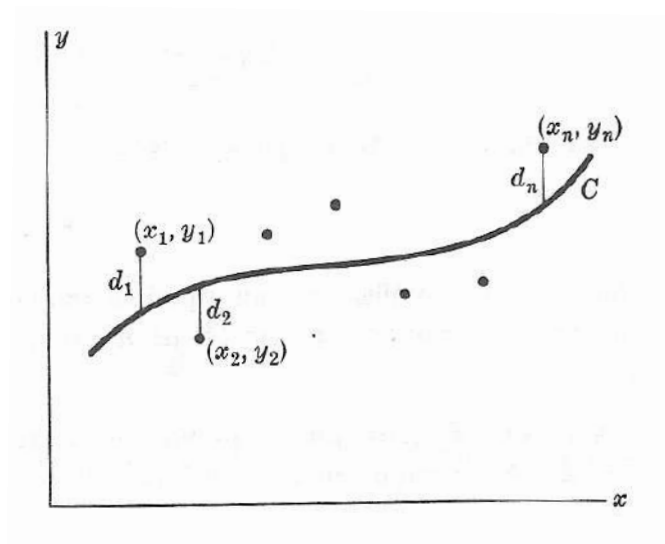
Μερικές φορές είναι σκόπιμο να λαηφθούνμε τα σημεία σε διαφορετικούς άξονες, δηλαδή να μετασχηματιστούν οι μεταβλητές. Π.χ., εάν ο  $\log Y$  ως συνάρτηση του  $X$  φαίνεται να παριστάνεται από ευθεία, μπορεί να ληφθεί η  $\log Y = a + bx$  ως εξίσωση της προσεγγιστικής καμπύλης.

### 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 3.7 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.

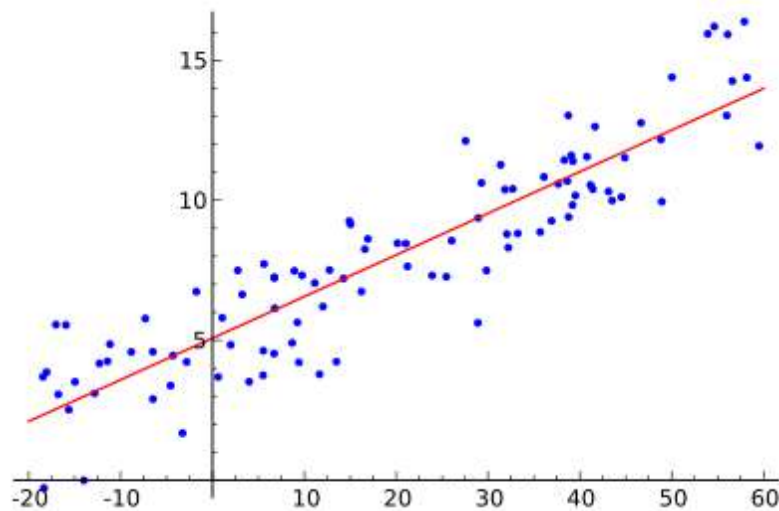
Μια τέτοια καμπύλη θεωρείται ότι έχει προσαρμοστεί στα δεδομένα με βάση την αρχή των ελάχιστων τετραγώνων και καλείται καμπύλη παλινδρομήσεως ελάχιστων τετραγώνων ή απλά καμπύλη ελάχιστων τετραγώνων. Μια ευθεία με την ιδιότητα αυτή καλείται ευθεία ελάχιστων τετραγώνων, μια παραβολή με την ιδιότητα αυτή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

$$\begin{aligned} \sum y &= an + b \sum x \\ \sum xy &= a \sum x + b \sum x^2 \end{aligned} \quad (4)$$

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

Ας σημειωθεί ότι για συντομία γράφουμε  $\sum x, \sum y$  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  $x$  και άθροιση.

Λύνοντας τις (4) οι τιμές των  $a$  και  $b$  είναι:

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

Η έκφραση για το  $b$  γράφεται και 
$$b = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} \quad (6)$$

Όπου όπως συνήθως η γραμμή πάνω από ένα γράμμα σημαίνει μέση τιμή, δηλ.  $\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$

Διαιρώντας την πρώτη από τις (4) με  $n$  έχουμε 
$$\bar{y} = a + b\bar{x} \quad (7)$$

Αρα μπορεί να ευρεθεί το  $b$  από την (5) ή την (6) και μετά το  $a$  από την (7). Αυτό ισοδυναμεί με το να γραφεί η ευθεία των ελαχίστων τετραγώνων στη μορφή

$$y - \bar{y} = b(x - \bar{x}) \quad \text{ή} \quad y - \bar{y} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sum (x - \bar{x})^2} (x - \bar{x}) \quad (8)$$

Από την (8) φαίνεται ότι η σταθερή  $b$  που είναι η κλίση της ευθείας (3) είναι η βασική σταθερή για τον ορισμό της ευθείας. Από την (8) φαίνεται ακόμα ότι η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων περνάει από το κέντρο βάρους των δεδομένων.

Η κλίση  $b$  της ευθείας παλινδρόμησης είναι ανεξάρτητη από την αρχή των συντεταγμένων. Αυτό σημαίνει ότι ο μετασχηματισμός (που καλείται μεταφορά των αξόνων)

$$x = \bar{x} + h \quad y = \bar{y} + k \quad (9)$$

με  $h$  και  $k$  σταθερές, δε μεταβάλει το  $b$ , που δίνεται και από τη σχέση

$$b = \frac{n \sum x'y' - (\sum x')(\sum y')}{n \sum x'^2 - (\sum x')^2} = \frac{\sum (x' - \bar{x}')(y' - \bar{y}')}{\sum (x' - \bar{x}')^2} \quad (10)$$

όπου τα  $x$  και  $y$  έχουν αντικατασταθεί από τα  $x'$  και  $y'$ . Επειδή συμβαίνει αυτό λέμε ότι η  $b$  είναι αμετάβλητη ή αναλλοίωτη κάτω από τον μετασχηματισμό (9). Η  $a$  όμως, που ορίζει την τομή της ευθείας με τον άξονα των  $x$  δεν είναι αμετάβλητη.

Στην ειδική περίπτωση όπου  $h = \bar{x}$ ,  $k = \bar{y}$ , η (10) γίνεται 
$$b = \frac{\sum x'y'}{\sum x'^2} \quad (11)$$

Οι σχέσεις (10) και (11) χρησιμοποιούνται συχνά για να απλουστευτούν οι υπολογισμοί του προσδιορισμού της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων.

Ακολουθεί αναλυτικό αριθμητικό παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας εύρεσης της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων.

### 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**

Οι εξισώσεις (4) γράφονται

$$\begin{cases} 8\alpha + 56b = 40 \\ 56\alpha + 524b = 364 \end{cases}$$

Λύνοντας το παραπάνω σύστημα έχουμε

$$\alpha = 0,545$$

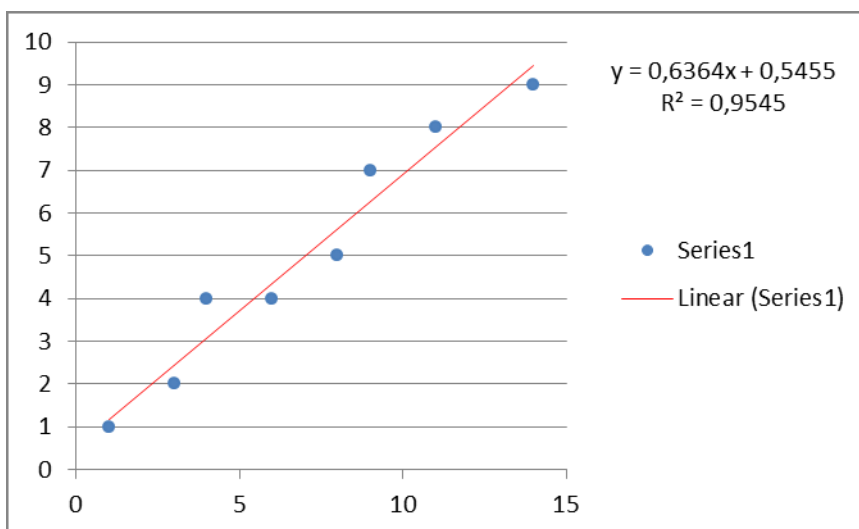
$$b = 0,636$$

Η ζητούμενη ευθεία ελαχίστων τετραγώνων είναι

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

Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε απευθείας τους τύπους (5) για άμεση εξαγωγή των α 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

$$(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2 = R^2 \quad (12)$$

όπου  $x_o, y_o$  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  $(u_c, v_c)$  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  $a, u_c$  και  $v_c$  αντίστοιχα

έχουμε:

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

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

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

$$\text{Όμοια προκύπτει παραγωγίζοντας ως προς } v_c \text{ ότι } \sum_{i=1}^n v_i g(u_i, v_i) = 0 \quad (18)$$

Υπολογίζοντας το ανάπτυγμα της σχέσης (17) προκύπτει

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

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

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

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 αν 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

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

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

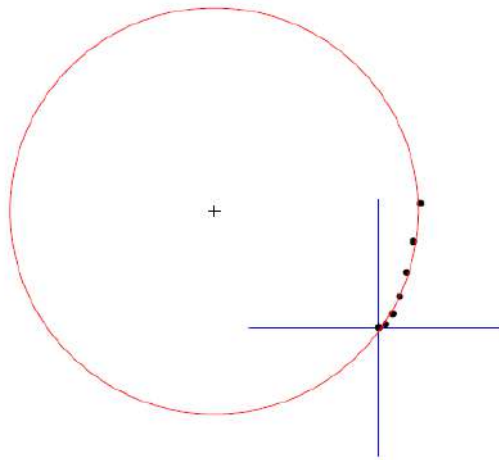
$$N(u_c^2 + v_c^2 - a) + S_{uu} + S_{vv} = 0 \quad (23)$$

και κατά συνέπεια

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

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

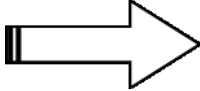
Έτσι, προκύπτει ο κύκλος ελαχίστων τετραγώνων.



**Σχήμα 3.9** Κύκλος ελαχίστων τετραγώνων

Ακολουθεί αναλυτικό αριθμητικό παράδειγμα για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας εύρεσης του κύκλου των 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  $\chi\gamma^2$ )  
 $S_{uuvv} = \sum u_i^2 v_i = 5,25$  (ή αλλιώς  $\gamma\chi^2$ )

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

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

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  $\chi$  έχουμε

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

$$\text{Για } \chi = 0,5 \rightarrow y_{\varepsilon\kappa} = 0,433 \quad = 7,932$$

$$\text{Για } \chi = 1 \rightarrow y_{\varepsilon\kappa} = 1,26 \quad = 3,96$$

$$\text{Για } \chi = 1,5 \rightarrow y_{\varepsilon\kappa} = 2,24 \quad = 1,02$$

$$\text{Για } \chi = 2 \rightarrow y_{\varepsilon\kappa} = 3,45 \quad = 0,04$$

$$\text{Για } \chi = 2,5 \rightarrow y_{\varepsilon\kappa} = 5,146 \quad = 3,59$$

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

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

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

που καλείται τυπικό σφάλμα της εκτιμήσεως της  $y$  από την  $\chi$ .

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



Στην περίπτωση της ευθείας παλινδρόμησης  $y_{εκ} = a + bx$ , 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  $S_{y,x}^2$  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

### 3.3.7 Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης

Ερχόμαστε τώρα να εξετάσουμε τη σημασία του συντελεστή συσχέτισεως που ορίσαμε τυπικά προηγουμένως. Από τη σχέση (28) και τους ορισμούς των  $s_{y,x}$  και  $s_y$  έχουμε

$$r^2 = 1 - \frac{\sum (y - y_{εκ})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \quad (29)$$

Είναι όμως 
$$\sum (y - \bar{y})^2 = \sum (y - y_{εκ})^2 + \sum (y_{εκ} - \bar{y})^2 \quad (30)$$

Η ποσότητα στο αριστερό μέρος καλείται συνήθως ολική μεταβολή, ενώ ο πρώτος όρος του δεξιού μέλους καλείται υπόλοιπη μεταβολή και ο δεύτερος παλινδρομική ή παραγοντική μεταβολή. Από τις (29) και (30) έχουμε

$$r^2 = 1 - \frac{\sum (y_{εκ} - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} = \frac{\text{Παλινδρομική μεταβολή}}{\text{Ολική μεταβολή}} \quad (31)$$

Άρα το  $r^2$  παριστάνει το κλάσμα της ολικής μεταβολής που μπορεί να εξηγηθεί με την ευθεία παλινδρόμησης των ελαχίστων τετραγώνων. Με άλλα λόγια το  $r^2$  μας λέει πόσο καλά η ευθεία παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων προσαρμόζεται στα δεδομένα. Εάν όλη η ολική μεταβολή μπορεί να εξηγηθεί με την ευθεία παλινδρόμησης, δηλαδή εάν  $r^2=1$  ή  $r = 1$  ή  $r = -1$ , λέμε ότι έχουμε πλήρη γραμμική συσχέτιση ( και πλήρη γραμμική παλινδρόμηση). Εάν η ολική μεταβολή ισούται με την υπόλοιπη μεταβολή, τότε η παλινδρομική μεταβολή

ισούνται με το μηδέν και  $r = 0$ . Στην πράξη η ποσότητα  $r^2$ , που μερικές φορές καλείται συντελεστής προσδιορισμού βρίσκεται μεταξύ 0 και 1.

Ο συντελεστής συσχέτισεως μπορεί να βρεθεί από τη σχέση

$$r = \frac{s_{xy}}{s_x s_y} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2} \sqrt{\sum (y - \bar{y})^2}} \quad (32)$$

ή από την 
$$r^2 = 1 - \frac{\sum (y_{εκ} - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} = \frac{\text{Παλινδρομική μεταβολή}}{\text{Ολική μεταβολή}} \quad (33)$$

οι οποίες για γραμμική παλινδρόμηση είναι ισοδύναμες. Ο τύπος (33) καλείται συχνά τύπος του γινομένου ροπών για γραμμική συσχέτιση.

Στην πράξη χρησιμοποιούνται συχνά οι ισοδύναμοι τύποι

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (34)$$

και 
$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2)(\overline{y^2} - \bar{y}^2)}} \quad (35)$$

Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης  $r$  μπορεί να είναι θετικός ή αρνητικός. Εάν είναι θετικός το  $y$  τείνει να αυξηθεί, όταν αυξάνεται το  $x$  (η κλίση της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων είναι θετική), ενώ αν είναι αρνητικός, το  $y$  τείνει να μειωθεί, όταν αυξάνεται το  $x$  (η κλίση είναι αρνητική).

### 3.3.8 Ο συντελεστής μη γραμμικής συσχέτισης - Γενικευμένος

Ο ορισμός του συντελεστή συσχέτισεως (32) περιλαμβάνει μόνο δειγματικές τιμές  $x$ ,  $y$ . Συνεπώς δίνει τον ίδιο αριθμό για όλες τις μορφές καμπυλών παλινδρομής και δεν είναι χρήσιμος σαν μέτρο προσαρμογής εκτός από την περίπτωση της γραμμικής παλινδρόμησης, οπότε και ταυτίζεται με την τιμή από τη σχέση (33).

Ο ορισμός όμως 
$$r^2 = 1 - \frac{\sum (y_{εκ} - \bar{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} = \frac{\text{Παλινδρομική μεταβολή}}{\text{Ολική μεταβολή}} \quad (36)$$

περιλαμβάνει και τη μορφή της καμπύλης παλινδρόμησης (μέσα στο  $y_{εκ}$ ) και συνεπώς είναι κατάλληλος για ορισμός του γενικευμένου συντελεστή συσχέτισεως  $r$ . Η (36)

χρησιμοποιείται για να υπολογίσουμε συντελεστές μη γραμμικής συσχέτισης, που εκφράζουν πόσο καλά μια καμπύλη μη γραμμικής παλινδρόμησης προσαρμόζεται σε ορισμένο σμήνος σημείων. Η σχέση (28) μεταξύ του συντελεστή συσχέτισεως και του τυπικού σφάλματος εκτιμήσεως εξακολουθεί να ισχύει για μη γραμμική συσχέτιση.

Το  $y_{εκ}$  βρίσκεται από την εξίσωση του κύκλου  $(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2 = R^2$  λύνοντας ως προς  $y$  για κάθε συντεταγμένη  $x$  των σημείων στα οποία θέλουμε να προσαρμόσουμε τον καλύτερο κύκλο. Υπολογίζουμε λοιπόν την δευτεροβάθμια εξίσωση και λύνουμε ως προς  $y_{εκ}$ .

Στην συνέχεια βρίσκουμε το άθροισμα  $\sum (y_{εκ} - \bar{y})^2$  το οποίο ονομάζεται παλινδρομική μεταβολή ενώ έχουμε ήδη υπολογίσει την ολική μεταβολή από προηγούμενες πράξεις για την εύρεση του κύκλου ελαχίστων τετραγώνων. Έχοντας αυτές τις δύο ποσότητες μπορούμε να υπολογίσουμε τον συντελεστή μη γραμμικής συσχέτισης που στην περίπτωση μας είναι συντελεστής συσχέτισης κύκλου.

### 3.4 Στάδια παραγωγής γωνιακού διαγράμματος

Προκειμένου να γίνει η παραγωγή του γωνιακού διαγράμματος της οδού ακολουθούνται τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας των δεδομένων της τοπογραφικής αποτύπωσης του άξονα:

Αρχικά, γίνεται υπολογισμός του μήκους κάθε ευθύγραμμου τμήματος που ορίζουν δύο διαδοχικά σημεία της τοπογραφικής αποτύπωσης. Από το άθροισμα όλων των ευθύγραμμων τμημάτων προκύπτει και το συνολικό μήκος της οδού (Στάδιο 1).

Συγχρόνως, γίνεται υπολογισμός του αζιμούθιου του κάθε ευθύγραμμου τμήματος και εν συνεχεία γίνεται αποτύπωση κάθε παραγόμενου σημείου σε άξονες χιλιομέτρηση - αζιμούθιο. Ενώνοντας τα παραγόμενα σημεία με ευθείες προκύπτει το γωνιακό διάγραμμα βάση αποτύπωσης (Στάδιο 2).

Με τη βοήθεια της παραπάνω αποτύπωσης έγινε προσπάθεια για την αυτοματοποιημένη παραγωγή του γωνιακού διαγράμματος της οδού αλλά το αποτέλεσμα δεν ήταν ικανοποιητικό. Για τον λόγο αυτό ορίζονται από τον χρήστη γραφικά τα σημεία όπου είναι εμφανής η θλάση του διαγράμματος βάση της αποτύπωσης και ορίζεται με τον τρόπο αυτό η "πολυγωνική" του γωνιακού διαγράμματος (Στάδιο 3).

Έπειτα, γίνεται χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων προκειμένου κάθε θλάση της "πολυγωνικής" να προσεγγίζει με το μικρότερο δυνατό σφάλμα τα αποτυπωμένα σημεία. Σημειώνεται ότι στις περιοχές όπου δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή αζιμούθιου (αποτελούν δηλαδή τμήμα οριζοντιογραφικής ευθυγραμμίας) προσπαθούμε να βρούμε την καλύτερη προσέγγιση ευθειών που να έχουν σταθερό αζιμούθιο (Στάδιο 4).

Η τομή των βέλτιστων αυτών ευθειών δίνει και το τελικό γωνιακό διάγραμμα της οδού το οποίο καλείται αζιμουθιακό διάγραμμα (Στάδιο 5).

Από το τελικό γωνιακό - αζιμουθιακό διάγραμμα προκύπτουν οι περιοχές της οδού όπου υπάρχει ευθυγραμμία (τα τμήματα εκείνα όπου το αζιμούθιο παραμένει σταθερό παράλληλα με τον άξονα των  $\chi$ ) και οι περιοχές όπου υπάρχει κυκλικό τόξο (τα τμήματα εκείνα όπου παρατηρείται γραμμική μεταβολή του αζιμούθιου, είτε θετική είτε αρνητική).

### 3.5 Παραδοχές και απλοποιήσεις

- Επειδή από την αποτύπωση των αζιμουθίων δεν ήταν σαφείς οι περιοχές εφαρμογής τόξων συναρμογής (τμήματα με μη γραμμική μεταβολή του αζιμούθιου), έγινε η θεώρηση ότι ο άξονας της οδού αποτελείται μόνο από ευθυγραμμίες και κυκλικά τόξα.
- Τα σημεία από τα οποία λαμβάνονται οι συντεταγμένες XYZ είναι σημεία που βρίσκονται πάνω στον άξονα της οδού και ο χρήστης τα κλικάρει ανά κάποια λογική απόσταση πχ περίπου ανά 10-20 μέτρα. Πρέπει να αποφεύγει ο χρήστης να παίρνει σημεία πολύ κοντινά για την αποφυγή λάθους στο προσδιορισμό του αζιμούθιου. (Υπάρχει έλεγχος για διπλά σημεία πριν από τον προσδιορισμό του αζιμούθιου των δημιουργούμενων χορδών ανάμεσα στα διαδοχικά σημεία)
- Για απλοποίηση της διαδικασίας τα σημεία λαμβάνονται στον άξονα της οδού και όχι στις οριογραμμίες. Από την τοπογραφική αποτύπωση του άξονα της οδού παράγεται η απαραίτητη πληροφορία σχετικά με την οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή της οδού. Από την τοπογραφική αποτύπωση των οριογραμμών του οδικού έργου (σε συνδυασμό με την πληροφορία του άξονα της οδού) θα μπορούσε να παραχθεί η απαραίτητη πληροφορία σχετικά με τις επικλίσεις και τις διαπλατύνσεις της οδού, κάτι που δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

- Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι υπολογισμοί για την δημιουργία του γωνιακού διαγράμματος γίνονται σε γεωδαιτικό δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς. Αυτό μας αναγκάζει να βάλουμε έναν έλεγχο ο οποίος θα επαναλαμβάνεται κάθε φορά που το πρόγραμμα θα πηγαίνει να βρίσκει τη δεξιόστροφη γωνία διεύθυνσης των δημιουργούμενων χορδών ανάμεσα στα διαδοχικά σημεία.
- Αντί να λαμβάνεται υπόψη το μήκος του κυκλικού τόξου που δημιουργείται από κάθε 3 διαδοχικά σημεία, υπολογίζεται το μήκος των χορδών (ευθύγραμμων τμημάτων) ανάμεσα από αυτά. Η απόκλιση από το πραγματικό μήκος του κύκλου είναι μικρή καθώς οι χορδές αυτές έχουν μικρό μήκος και ουσιαστικά δεν επηρεάζει το συνολικό μήκος της οδού σημαντικά.

Να σημειωθεί ότι όλη η διαδικασία δημιουργίας του γωνιακού διαγράμματος καθώς και ο έλεγχος της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων γράφτηκε σε κώδικα FORTRAN. Τα αποτελέσματα εξάχθηκαν σε αρχείο \*.dat, το οποίο διαβάζεται από το Notepad των windows και τα σχέδια εξάχθηκαν σε αρχείο \*.dwg, το οποίο διαβάζεται αυτόματα από το AUTOCAD όπου και ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί γραφικά την οδό. Η όλη διαδικασία περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

### 3.6 Παρουσίαση διαφορετικών μεθοδολογιών που κατέληξαν σε αναξιόπιστα αποτελέσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εκτός από την μέθοδο που περιγράφηκε, έγιναν προσπάθειες εξαγωγής του επιθυμητού αποτελέσματος - πού στη συγκεκριμένη εργασία είναι η εύρεση των ακτίνων των κυκλικών τόξων και των περιοχών της οδού με ευθυγραμμία τόσο στην οριζοντιογραφία όσο και στην μηκοτομή- με διαφορετικό τρόπο. Οι προσπάθειες αυτές δεν είχαν το επιθυμητό αποτέλεσμα ή δεν ήταν τόσο εύκολα επεξεργάσιμες όσο αυτή που τελικά χρησιμοποιήθηκε και θα αρκεστούμε σε μια απλή αναφορά αυτών σ αυτό το κεφάλαιο.

Η πρώτη προσπάθεια εύρεσης της ακτίνας του κύκλου που διέρχεται από τρία διαδοχικά σημεία με σκοπό την σχεδίαση του γωνιακού διαγράμματος της υπό επεξεργασίας οδού, έγινε με χρήση της ίδιας της **εξίσωσης του κύκλου** μέσω μαθηματικών εκφράσεων. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιελάμβανε επίλυση συστήματος 3 εξισώσεων με 3 αγνώστους τις συντεταγμένες  $X_0$  και  $Y_0$  του κέντρου του κύκλου και την ακτίνα του  $R$ . Η επίλυση αυτού του

μη γραμμικού συστήματος δεν ήταν εύκολη και έγινε με βοήθεια της βιβλιοθήκης IMSL της FORTRAN, καλώντας την κατάλληλη υπορουτίνα. Εξαιτίας της μεθόδου επίλυσης η οποία είναι προσεγγιστική τα αποτελέσματα σε ορισμένα σημεία ήταν μη αναμενόμενα (πχ. υπολογιζόταν ακτίνα κυκλικού τόξου 20000 μέτρα και στα αμέσως επόμενα 3 σημεία 500 ). Η ιδέα σε αυτή την μέθοδο ήταν υπολογίζοντας την ακτίνα των κυκλικών τόξων ανά 3 διαδοχικά σημεία και βάζοντας σαν παραδοχή ότι ακτίνες πάνω από 2000 μέτρα να θεωρούνται ευθυγραμμίες να μπορέσει ο χρήστης να έχει μια εποπτεία της οδού για το που βρίσκονται οι ευθυγραμμίες και που τα κυκλικά τόξα και ποιιά είναι η τιμή τους. Προφανώς και προηγουμένως έχει βρεθεί το μήκος της οδού αθροίζοντας τα ευθύγραμμα τμήματα που δημιουργούνται ανάμεσα στα διαδοχικά σημεία που λαμβάνει ο χρήστης πάνω στον άξονα της οδού. Αντίστοιχα χρησιμοποιήθηκε η ίδια διαδικασία για την εύρεση της μηκοτομής μόνο που οι άγνωστοι αυτή τη φορά ήταν  $X_0$  και  $Z_0$  του κέντρου του κύκλου και η ακτίνα  $R$ . Ο κώδικας παρατίθεται στο παράρτημα που ακολουθεί την παρούσα διπλωματική εργασία για περαιτέρω έρευνα.

Η δεύτερη προσπάθεια εύρεσης της ακτίνας του κύκλου που διέρχεται από τρία διαδοχικά σημεία με σκοπό την σχεδίαση του γωνιακού διαγράμματος της υπό επεξεργασία οδού, έγινε με κατάλληλη χρήση της γεωμετρίας και των μαθηματικών εκφράσεων της για την **γραφική κατασκευή κύκλου**, χρησιμοποιώντας τις μεσοκαθέτους των ευθύγραμμων τμημάτων που δημιουργήθηκαν ενώνοντας τα διαδοχικά σημεία που είχαμε πάρει πάνω στον άξονα της οδού. Πάλι έγινε χρήση της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN για να γραφτεί ο κώδικας ο οποίος αφού διαβάσει τα δεδομένα  $X, Y$  των σημείων βρίσκει τις εξισώσεις των μεσοκαθέτων των ευθύγραμμων τμημάτων (του πρώτου και του δεύτερου ανοίγματος) και το σημείο τομής αυτών. Το κέντρο του κύκλου είναι το σημείο τομής των μεσοκαθέτων και η ακτίνα του είναι η απόσταση από το αρχικό ή μεσαίο ή τελευταίο σημείο σε κάθε επανάληψη. Τέλος υπολογίστηκε η χιλιομετρική θέση κάθε σημείου και το συνολικό μήκος της οδού αθροίζοντας τα μήκη των ευθύγραμμων τμημάτων που δημιουργήθηκαν . Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήσαμε και για την εύρεση της μηκοτομής μόνο που εδώ τα δεδομένα του προγράμματος ήταν οι συντεταγμένες  $X, Z$  των σημείων που είχε επιλέξει ο χρήστης. Ο κώδικας παρατίθεται στο παράρτημα που ακολουθεί την παρούσα διπλωματική εργασία

### 3.7 Χαρακτηριστικά και δυνατότητες του νέου προγράμματος

Το κυριότερο χαρακτηριστικό του νέου προγράμματος είναι ότι το μοναδικό δεδομένο που απαιτείται να εισαχθεί στο λογισμικό είναι οι συντεταγμένες (X,Y,Z) του οδικού έργου που ο μηχανικός θέλει να επεξεργαστεί. Από την τοπογραφική αποτύπωση του άξονα της οδού και τα κατάλληλα βήματα που περιγράφονται αναλυτικά στο παρακάτω κεφάλαιο ο συγκοινωνιολόγος μηχανικός παράγει την απαραίτητη πληροφορία σχετικά με την οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή της οδού που έχει επιλέξει να επεξεργαστεί. Εφόσον υπάρχει δυνατότητα αποτύπωσης γραμμικών πλευρικών εμποδίων (όπως π.χ. στηθαία ασφαλείας, πόδια/φρύδια πρανών ορυγμάτων κ.α.) ίσως να είναι δυνατή πρόσθετη επεξεργασία με σκοπό τον έλεγχο ορατότητας για στάση σε υγρό οδόστρωμα καθώς επίσης και έλεγχος ορατότητας για προσπέραση.

Η διαδικασία που ακολουθείται για την παραγωγή της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής της οδού είναι απλή και ο χρήστης - μελετητής έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί με ευκολία σχεδόν οποιαδήποτε οδό θελήσει. Ακολουθώντας τα βήματα που περιγράφονται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο θα μπορέσει να βγάλει συμπεράσματα σχετικά με την ασφάλεια των χρηστών της οδού καθώς και να επισημάνει πιθανές θέσεις οδικών ατυχημάτων, πραγματοποιώντας έλεγχο με τις υπάρχουσες οδηγίες πχ ΟΜΟΕ-Χ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

### 4.1 Πακέτο προγραμμάτων οδοποιίας H12

#### 4.1.1 Περιβάλλον εργασίας

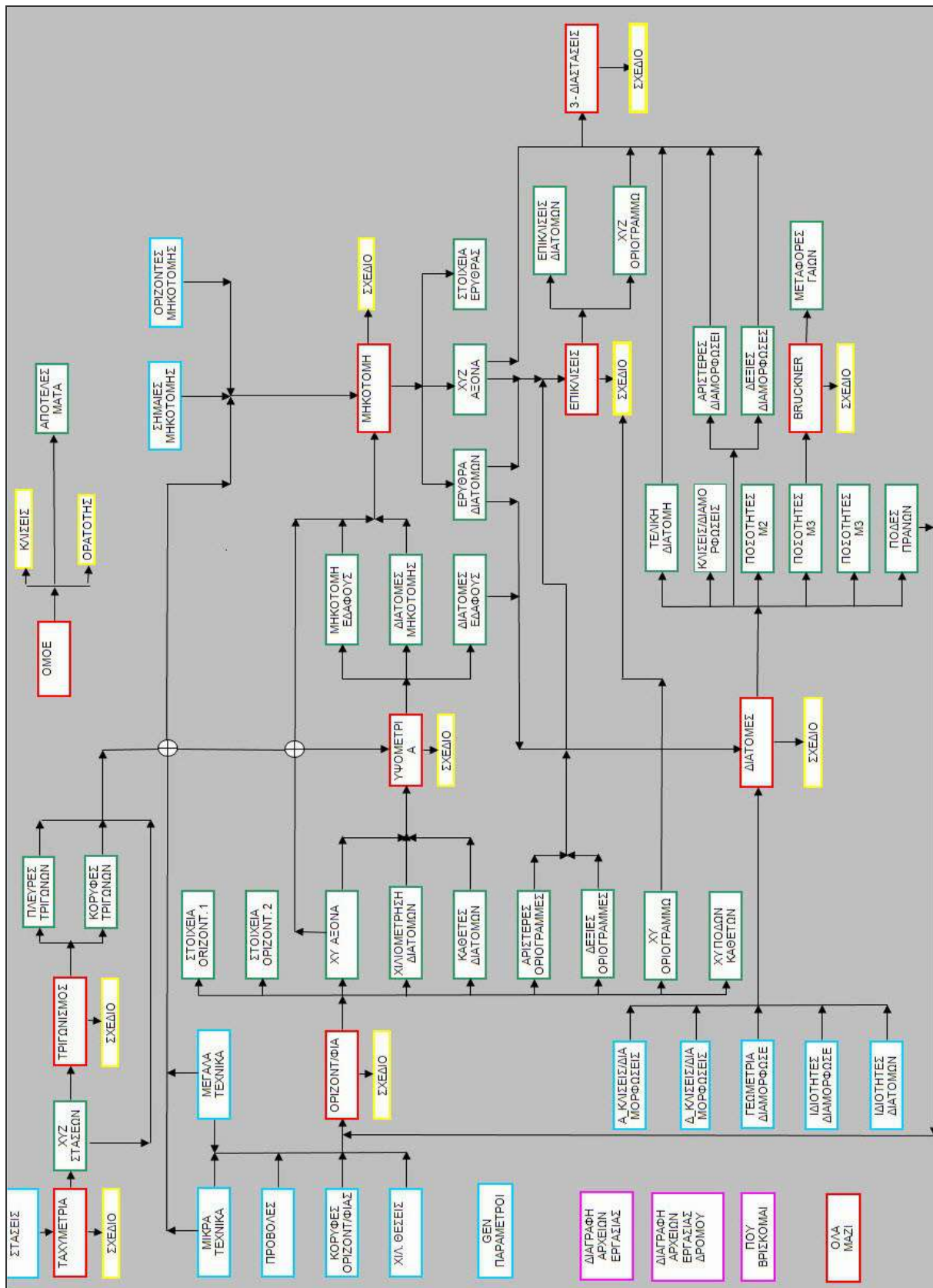
Το H12 είναι ένα πακέτο προγραμμάτων, καθένα από τα οποία συνδέεται με την εκτέλεση μιας αυτοτελούς διαδικασίας, στο πλαίσιο της μελέτης μιας οδού (π.χ. οριζοντιογραφίας, μηκοτομής, διατομών κ.ο.κ) και τα οποία λειτουργούν ενημερώνοντας μία κοινή βάση δεδομένων που αποτελείται από μία σειρά αρχείων. Το H12 έχει πρωταρχικό στόχο να βοηθήσει τους σπουδαστές του Ε.Μ.Π με στοιχειώδεις γνώσεις ηλεκτρονικών υπολογιστών και βασικές γνώσεις οδοποιίας να μελετήσουν ένα δρόμο και να παράγουν τα βασικά σχέδιά του, ενώ δεν παύει να αποτελεί χρήσιμο εργαλείο και για πραγματικές μελέτες οδοποιίας. Τα προγράμματά του, που για τη σύνταξή τους έχει χρησιμοποιηθεί η γλώσσα προγραμματισμού

Fortran, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για μελέτες Σιδηροδρομικών Γραμμών αλλά και Αεροδρομίων.

Κατά τη μελέτη Οδών, για παράδειγμα, ο χρήστης εισάγει αρχικά στο H12, σε διάφορα αρχεία, τα δεδομένα που θέλει για τον υπό μελέτη δρόμο αλλά και τα απαραίτητα δεδομένα για το έδαφος της περιοχής. Στη συνέχεια, με το “τρέξιμο” των αντίστοιχων προγραμμάτων, αφού ελέγξει διαδοχικά τα δεδομένα αυτά ως προς τη γεωμετρική τους ορθότητα, το H12 εξάγει όλα τα απαραίτητα στοιχεία και σχέδια της υπό μελέτη οδού που χρειάζεται ο μηχανικός προκειμένου να κάνει τις απαραίτητες επεμβάσεις, με βάση τις γνώσεις του στην Οδοποιία και την κριτική του σκέψη, έτσι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι το επιθυμητό. Τέλος, ο μηχανικός, έχει τη δυνατότητα να ελέγξει το έργο του με βάση τις βασικές διατάξεις των ΟΜΟΕ, απλά “τρέχοντας” το αντίστοιχο πρόγραμμα “ΟΜΟΕ” του H12.

Το περιβάλλον εργασίας του H12 είναι ένα αρχείο τύπου \*.xls (Microsoft Excel Worksheet), ένα λογιστικό φύλλο που αποτελεί το κυρίως μενού και παρουσιάζει γραφικά όλο το πακέτο των προγραμμάτων που απαρτίζουν το H12, αλλά και το σύνολο των αρχείων με τα δεδομένα εισαγωγής, των αρχείων με τα εξαγόμενα στοιχεία καθώς και το πακέτο των σχεδίων που προκύπτουν. Το φύλλο αυτό έχει δύο δυνατές μορφές, την ΕΜΠ (Σχήμα 4.1) και την MENU (Σχήμα 4.2), οι οποίες δε διαφέρουν σε τίποτα άλλο πέρα από τη μορφή τους. Η πρώτη, παρουσιάζει τις λειτουργίες του H12 υπό μορφή διαγράμματος ροής και δείχνει ξεκάθαρα τις διάφορες ακολουθίες δεδομένων - προγράμματος - παραγόμενου σχεδίου - αποτελεσμάτων, γεγονός που την καθιστά ιδανική για τους σπουδαστές. Η δεύτερη μορφή, δεν αναπαριστά σχηματικά την ακριβή πορεία του αλγόριθμου του H12 αλλά παρουσιάζει όλα τα αρχεία εισαγωγής δεδομένων, τα προγράμματα, τα παραγόμενα σχέδια και τα αρχεία εξαγωγής αποτελεσμάτων συγκεντρωμένα σε ξεχωριστές ομάδες. Η μορφή αυτή, επιτρέπει καλύτερο χειρισμό των προγραμμάτων, απαιτεί όμως πολύ καλή γνώση της λειτουργίας του H12. Στη συνέχεια της παραγράφου αυτής, θα επιχειρηθεί μία συνοπτική παρουσίαση των αρχών λειτουργίας του H12.





*Σχήμα 4.1 Περιβάλλον εργασίας μορφής ΕΜΠ*

Παράμετροι	Κορυφές	Σημείες	Πιχτή	Κλίσεις Διαμορ. Αρ	Απολιπτήρη	Ακτινοληκ	Γραφικά	Διαγράμμιση
Κύριος Άξονας	Προβολές	Οριζόντιες	Κλίσεις	Κλίσεις Διαμορ. Δε	Οδοστρώμα	Εξομείωση	Γραφ. Αρ. Οριζογρ.	
Στάσεις	Χ.Θ.		Στάθμιση	Γεωμετρικά Διαμορ.	Στάθμιση	Κατηγορίες Εξομείωσης	Γραφ. Δεξ. Οριζογρ.	
Εκκοπές	Μεγάλα Τεχνικά	Προβολές Μηκοτ.	Οριζογραμμές	Ιδιότητες Διαμορφώσεων	Εξομείωση	Προκή Αρσπασιά	Γραφ. Αρ. Στάθμ.	
Τελεματρικά Σημεία	Μικρά Τεχνικά		Αρσπ. Αρσπασιά	Ιδιότητες Διαμορ.	φυσικά Προκλή	Προκή Δεξιά	Γραφ. Δεξ. Στάθμ.	
Διασυνδέσεις			Δεξιάς Αρσπασιάς	Διεύθυνση Διαμορ.		Ενδεσση Διαμορ.	Γραφ. Άξονα	
Τοχομετρία-1	ταχυ	XYZ Στάσεων /	Διατομές	Διατομές Μηκοτμή		Κλίσεις & Διαμορφώσεις	MicroStation	
Τριγωνισμός-2	τήρη	Πλευρές Τριγώνων	Στοιχεία Οριζοντιογραφίας 1	Μηκοτομή Εξομείωσης		Οδούς Διαμορ.	AutoCad	
Οριζοντιογραφία-3	οριζ	Κορυφές Τριγώνων	Στοιχεία Οριζοντιογραφίας 2	Διατομές Εξομείωσης		Πόδες Προκλή		
Υψομετρία-4	υψο	CRS	Στοιχεία Οριζοντιογραφίας 3	Ανεμφαρές Εξομείωσης		Διαμορφωμένη Διατομή		
Μηκοτομή-5	μηκ	PRF	XYZ Διαμορ.			Ποσότητες m2		
Επικλίση-6	επκ	Ι01-31	Προβόλες	Στοιχεία Επικλίσης		Ποσότητες m3		
Μηκοτ. & Επικλ.-6B	ME	Ι02-32	Αλληλοτομίες	Επικλίση Διαμορ.		Ποσότητες m3 καθαριστικά		
Διατομές-7	χοτ	IM0-50	Προβόλες Μηκοτμή	ΜΗΚ7 ASC				
Βυθύσεις-8	βυθ	Ι03-70	HOPE ASC					
ΟΙΜΟ-9	dim3	Ι01-71	Κλίσεις Διαμορ.					
ΟΙΜΟ-10	cmo	Ι03-75	Αρσπασιά Οριζογραμμές	Μεταμορφ. Γυάν				
Οριζοτμή-11	orat	IM0-66	Δεξιάς Οριζογραμμές					
Διασυνδέσεις-12	chek	IM07-67	XY Άξονα					
			Χαρακτηριστικά	Οικ. - Κύριος			Γράφη	
			Εισαγωγή ΟΙΜΟ	Οικ. - Δευτερεύον			Διεργασία	

Σχήμα 4.2 Περιβάλλον εργασίας μορφής MENU

#### 4.1.2 Εγκατάσταση και εκκίνηση

Η εγκατάσταση του λογισμικού συνίσταται στην απλή αντιγραφή του φακέλου H12 στο σκληρό δίσκο (C:\) του υπολογιστή, ενώ η έναρξή του στο άνοιγμα του αρχείου H12.xls. Εφόσον ο χρήστης το επιθυμεί, μπορεί να μετονομάσει αυτό το αρχείο και να το αποθηκεύσει με τη νέα ονομασία σε φάκελο της επιλογής του.

Η λειτουργία της εφαρμογής, προϋποθέτει να είναι εγκατεστημένα στον υπολογιστή τα εξής προγράμματα:

- Microsoft Office Excel
- AutoCAD (της Autodesk) ή MicroStation (της Bentley)
- Σημειωματάριο των Windows (Notepad)

Επιπλέον, για να μπορέσει ο χρήστης να εργαστεί στο φύλλο εργασίας του Excel, πρέπει να θέσει το επίπεδο ασφαλείας των μακροεντολών του Excel στο χαμηλότερο δυνατό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ακολουθίας Tools → Macro → Security → Low. Τα πλαίσια (πλήκτρα) του κυρίως μενού (περιβάλλον εργασίας) είναι συνδεδεμένα με μακροεντολές της γλώσσας προγραμματισμού Visual Basic της Microsoft. Η παρουσία των προαναφερθέντων προγραμμάτων στον υπολογιστή, καθιστά αυτόματο το άνοιγμα όλων των αρχείων και των σχεδίων και το “τρέξιμο” όλων των προγραμμάτων με το πάτημα του αντίστοιχου πλαισίου.

#### 4.1.3 Εισαγωγή δεδομένων

Τα δεδομένα εισάγονται σε απλά λογιστικά φύλλα excel. Για τη μετάβαση στο επιθυμητό φύλλο, ο χρήστης πρέπει απλώς να πατήσει το αντίστοιχο κουμπί με πλαίσιο μπλε χρώματος, που βρίσκεται στην κεντρική επιφάνεια εργασίας. Στο σχήμα 4.3 φαίνονται τέτοιου είδους κουμπιά ενώ το Σχήμα 4.4 παρουσιάζει, ενδεικτικά, ένα τέτοιο αρχείο, συγκεκριμένα αυτό στο οποίο εισάγονται οι σημαίες της μηκοτομής.



Σχήμα 4.3: Πλαίσια αρχείων εισαγωγής δεδομένων

Microsoft Excel - vivi1 (version 2).xls

File Edit View Insert Format Tools Data Window Help

Type a question for help

Arial 10 B I U

Go to Office Live Open Save

B17

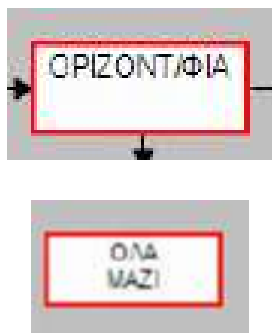
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Σημεία	XΘ	Υψόμετρο	Ακτίνα	X	Y	Κατά Μήκος Κλίση	MENU						
2	Vertical Point of Intersection	Chainage	Elevation	Radius	X	Y	Longitudinal Slope							
3	1	0,000	230	0	0	0								
4	2	890,000	261	5000	0	0	3,483%							
5	3	1500,000	247	2500	0	0	-2,295%							
6	4	1981,000	265	4500	0	0	3,742%							
7	5	2500,000	250	2500	0	0	-2,890%							
8	6	3000,000	267	5000										
9	7	3600,000	250	2000										
10	8	4000,000	270	5000										
11	9	4450,900	247	0										
12														
13														

Σχήμα 4.4: Παράδειγμα αρχείου εισαγωγής δεδομένων

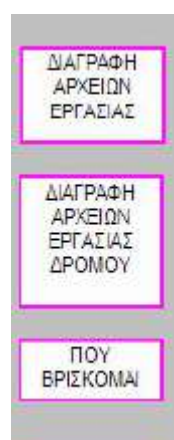
Με το πάτημα του πλήκτρου MENU που υπάρχει σε κάθε τέτοιο αρχείο, ενεργοποιούνται οι μακροεντολές της Visual Basic και τα αλφαριθμητικά δεδομένα αποθηκεύονται αυτόματα και σε αρχεία της μορφής ascii, τα οποία αποθηκεύονται μέσα στο φάκελο εργασίας του χρήστη και μπορούν να αναγνωστούν μέσω του Notepad.

#### 4.1.4 Προγράμματα

Η έναρξη της λειτουργίας ενός προγράμματος πραγματοποιείται με το πάτημα του αντίστοιχου πλήκτρου με πλαίσιο κόκκινου χρώματος της κεντρικής επιφάνειας εργασίας, το οποίο είναι συνδεδεμένο με μακροεντολές της Visual Basic, ενώ υπάρχει και πλήκτρο που μπορεί να καλέσει ταυτόχρονα όλα τα προγράμματα. Το πακέτο των πλαισίων που αντιστοιχούν στα βασικά προγράμματα του H12 το αντιλαμβάνεται ο χρήστης λόγω του κόκκινου πλαισίου, ενώ υπάρχουν και κάποια βοηθητικά προγράμματα, τα οποία καλούνται μέσω των πλαισίων μωβ χρώματος της κεντρικής επιφάνειας εργασίας.



**Σχήμα 4.5** Κουμπί έναρξης προγράμματος



**Σχήμα 4.6** Κουμπί λειτουργίας βοηθητικών εργασιών

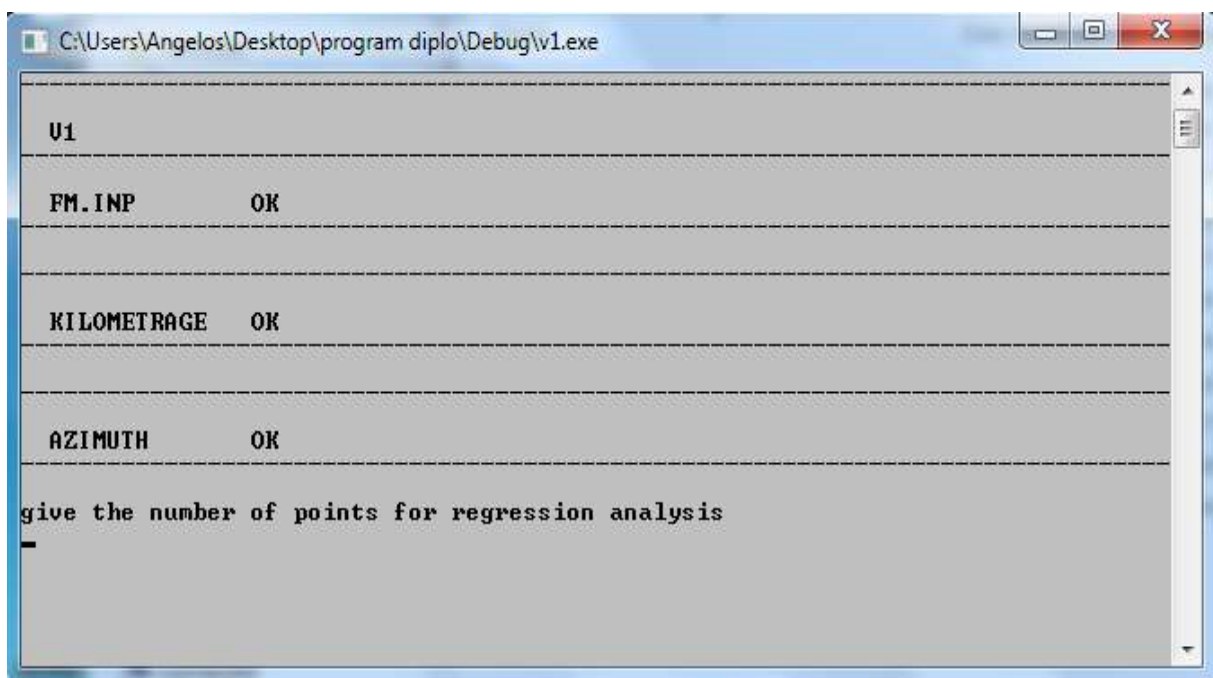
Τα προγράμματα έχουν γραφτεί με γλώσσα προγραμματισμού Fortran. Κάθε πρόγραμμα, μόλις ολοκληρωθεί, δημιουργεί κάποια αρχεία αλφαριθμητικών αποτελεσμάτων της μορφής \*.dat (§4.1.5), τα οποία αποθηκεύονται στο φάκελο εργασίας του χρήστη και μπορούν να αναγνωστούν μέσω του Notepad, καθώς και ένα σχέδιο, το οποίο αποθηκεύεται με τη μορφή \*.dxf και μπορεί να αναγνωστεί είτε από το AutoCAD είτε από το MicroStation. (Σημείωση: Στη μορφή ΕΜΠ, τα σχέδια μπορούν να ανοιχτούν μόνο με AutoCAD)

Κάθε πρόγραμμα, για να “τρέξει” και να εξάγει τα αποτελέσματά του, διαβάζει κάποια αρχεία fm.\* που έχουν προκύψει από τα δεδομένα εισαγωγής, ή και κάποια αρχεία \*.dat που έχουν προκύψει από προγράμματα που έχουν “τρέξει” πριν από αυτό. Φυσικά, υπάρχει μία λογική στη διαδοχή των προγραμμάτων, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα ροής στην επιφάνεια εργασίας (Σχήμα 4.1). Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κάθε πρόγραμμα του H12 εκτελεί μία αυτοτελή διαδικασία. Είναι, επομένως, δυνατή και η αυτόνομη λειτουργία καθενός,



ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα, εφόσον εξασφαλιστεί από το χρήστη η τροφοδοσία του με τα απαραίτητα δεδομένα.

Βασική προϋπόθεση για να είναι σίγουρος ο χρήστης ότι το εκάστοτε πρόγραμμα έφτασε επιτυχώς σε πέρας τη λειτουργία του, είναι να εμφανιστεί στο τέλος της λειτουργίας του στο αντίστοιχο παράθυρο (παράθυρο Command Prompt των MS-DOS) το μήνυμα “Άντε Γεια!” (Σχήμα 4.7). Αν αυτό δεν εμφανιστεί, σημαίνει ότι υπάρχει κάποιο λάθος στα δεδομένα εισαγωγής και ο χρήστης πρέπει να επέμβει. Στο παράθυρο αναγράφεται ακριβώς το σημείο και ο λόγος για τον οποίο το πρόγραμμα δεν μπορεί να προχωρήσει.



Σχήμα 4.7: Παράδειγμα παραθύρου Command Prompt

#### 4.1.5 Αρχεία εξαγωγής αποτελεσμάτων και παραγόμενα σχέδια

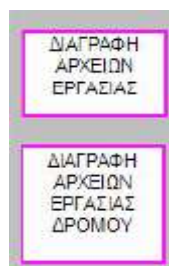
Τα αλφαριθμητικά δεδομένα και τα σχέδια που εξάγονται από τα διάφορα προγράμματα, αποθηκεύονται σε μορφή \*.dat και \*.dxf μέσα στο φάκελο εργασίας όπως ήδη έχει αναφερθεί. Τα αρχεία αυτά, μπορούν να ανοιχτούν με το πάτημα του αντίστοιχου πλήκτρου του κεντρικού μενού, με πλαίσιο πράσινου και κίτρινου χρώματος αντίστοιχα ή μέσω του Notepad (Σχήμα 4.8) και του Autocad αντίστοιχα. Η μελέτη τους είναι απαραίτητη για τη λήψη αποφάσεων για επεμβάσεις και τροποποιήσεις στα δεδομένα εισαγωγής από το χρήστη.

File	Edit	Format	View	Help
10	4288.000	387.000	4287.640	387.514
11	4419.000	368.000	4419.237	368.254
12	5033.512	368.000	5033.512	368.024
-----				
HORIZONTAL BEST FIT LINES 1				
-----				
1	-.133	4290861.269		1.000
2	-1.817	4748985.929		.116
3	-401.730	113463918.358		.989
4	-1.390	4633990.069		.908
5	-5.091	5635695.929		.968
6	-1.819	4750579.882		.246
-----				
HORIZONTAL BEST FIT LINES 2				
-----				
1	272162.490	4254595.774		
2	272050.133	4254610.746		
3	271846.922	4254980.026		
4	271843.750	4256254.041		
5	270658.728	4257900.670		
6	270555.403	4258426.647		
7	270224.110	4259029.285		
-----				
RADIOUS FROM AZIMUTH DIAGRAM				
-----				
1	272162.490	4254595.774	.000	.000
2	272050.133	4254610.746	.000	160.216
3	271846.922	4254980.026	.000	310.352
4	271843.750	4256254.041	.000	354.916
5	270658.728	4257900.670	.000	469.212
6	270555.403	4258426.647	.000	438.933
7	270224.110	4259029.285	.000	.000
-----				
KILOMETRAGE				
-----				
8	.000	272162.490	4254595.830	11.130

Σχήμα 4.8: Παράδειγμα αρχείου εξαγωγής αποτελεσμάτων (\*.dat) ανοιγμένου με Notepad

#### 4.1.6 Διαγραφή αρχείων

Στην κεντρική επιφάνεια εργασίας του H12, υπάρχουν δύο πλήκτρα με τα οποία ο χρήστης μπορεί να διαγράψει αρχεία που έχουν δημιουργηθεί μέχρι τη δεδομένη στιγμή (Σχήμα 4.9). Με το πρώτο, διαγράφονται όλα τα αρχεία που έχουν αποθηκευτεί στο φάκελο εργασίας, ενώ με το δεύτερο διαγράφονται όλα τα αρχεία εκτός από αυτά που έχουν δημιουργηθεί από τη λειτουργία των προγραμμάτων Ταχυμετρία και Τριγωνισμός, χρησιμοποιείται δηλαδή στην περίπτωση που ο χρήστης θέλει να αλλάξει κάτι στα δεδομένα του δρόμου, όχι όμως τα δεδομένα του εδάφους.



Σχήμα 4.9: Πλήκτρα διαγραφής αρχείων

## 4.2 Το πρόγραμμα

### 4.2.1 Γενικά

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών υφιστάμενης οδού και συγκεκριμένα η εύρεση της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής αυτής, μέσω των συντεταγμένων (X,Y,Z) τοπογραφικής αποτύπωσης, με σκοπό την υποβοήθηση του ελέγχου της οδικής ασφάλειας. Δημιουργήθηκε ένα νέο πρόγραμμα σε κωδικα FORTRAN που επεξεργάζεται την τρισδιάστατη πληροφορία του τοπογραφικού υποβάθρου της υφιστάμενης οδού και με τη βοήθεια στατιστικών μεθόδων (μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης) παράγεται η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή της, με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση. Το πρόγραμμα αυτό αποτελεί επέκταση του λογισμικού οδοποιίας H12 και η λειτουργία του βασίζεται στις βασικές αρχές του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών, καθώς και σε έναν αριθμό απλοποιήσεων και παραδοχών.

Το κύριο πρόγραμμα ονομάζεται VASI και είναι υπεύθυνο για την σχεδίαση του γωνιακού διαγράμματος, με δεδομένο τις συντεταγμένες τοπογραφικής αποτύπωσης του άξονα της υπο επεξεργασίας οδού. Μαζί, αναπτύχθηκαν και άλλα 4 προγράμματα (βοηθητικά) τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω και είναι αναγκαία για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων από το χρήστη. Η σύνταξη του αλγορίθμου, έγινε με τη βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN, με την οποία άλλωστε έχει συνταχθεί και όλο το πακέτο των προγραμμάτων του H12. Η διαδικασία σύνταξης του προγράμματος έγινε μέσω του περιβάλλοντος Command Prompt (γραμμή εντολών) του MS-DOS, όπου παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να ανοίξει ένα αρχείο \*.for μέσω του Notepad ή ένα αρχείο \*.f90 μέσω του περιβάλλοντος εργασίας Microsoft Developer Studio. Το αρχείο αυτό έχει πολύ μικρό μέγεθος και, επιπλέον, διαθέτει λειτουργίες εγγράφου οπότε απλοποιεί πολύ τη σύνταξη.

Για τις ανάγκες επεξεργασίας των δεδομένων αναπτύχθηκαν 5 προγράμματα. Τα προγράμματα 1 έως 4 είναι βοηθητικά και αναπτύχθηκαν για την γραφική σχεδίαση – επεξεργασία, σε πρόγραμμα CAD. Μέσω αυτών των προγραμμάτων η γραφική επεξεργασία που κάνει ο χρήστης μετατρέπεται σε συντεταγμένες X,Y και μπορεί εύκολα να τις χρησιμοποιήσει στη συνέχεια της επεξεργασίας η οποία περιλαμβάνει στατιστικές μεθόδους με σκοπό την εύρεση της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής της οδού που έχει επιλέξει.



Η λειτουργία του κάθε προγράμματος περιγράφεται ξεχωριστά παρακάτω.

### **1. Προετοιμασία Αζιμουθιακής Πολυγωνικής**

Προετοιμάζει τις γραφικές παραμέτρους (συμβολισμός, χρώμα, πάχος και επίπεδο γραμμής), που χρειάζονται για τη γραφική εισαγωγή από τον χρήστη της κατά προσέγγιση πολυγωνικής του αζιμουθιακού διαγράμματος.

### **2. Εισαγωγή Αζιμουθιακής Πολυγωνικής**

Μετατρέπει την πολυγωνική που ο χρήστης έχει εισάγει γραφικά σε συντεταγμένες X,Y των κορυφών της. Το X αντιστοιχεί στη χιλιομετρική θέση (X.Θ.) και το Y στην τιμή του αζιμούθιου της συγκεκριμένης X.Θ.

### **3. Προετοιμασία Πολυγωνικής Ερυθράς**

Προετοιμάζει τις γραφικές παραμέτρους (συμβολισμός, χρώμα, πάχος και επίπεδο γραμμής), που χρειάζονται για τη γραφική εισαγωγή από τον χρήστη της κατά προσέγγιση πολυγωνικής της ερυθράς.

### **4. Εισαγωγή Πολυγωνικής Ερυθράς**

Μετατρέπει την πολυγωνική που ο χρήστης έχει εισάγει γραφικά σε συντεταγμένες X,Y των κορυφών της. Το X αντιστοιχεί στη X.Θ. και το Y στο υψόμετρο της ερυθράς της συγκεκριμένης X.Θ.

### **5. Κορυφές – Σημαίες**

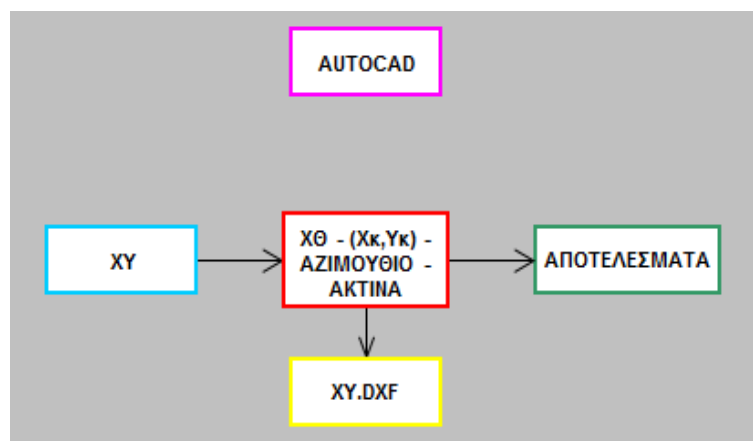
Το πρόγραμμα αυτό δημιουργεί από τα δεδομένα και τις εκτιμήσεις του χρήστη τα αρχεία των Κορυφών της Οριζοντιογραφίας και των Σημαιών της Μηκοτομής με κατάλληλη επεξεργασία που περιγράφεται στα παρακάτω βήματα

- 5.1 Σχεδίαση Γωνιακού-Αζιμουθιακού Διαγράμματος και Οριζοντιογραφίας.
- 5.2 Εισαγωγή Πολυγωνικής Αζιμουθιακού Διαγράμματος από το χρήστη.
- 5.3 Εύρεση με τη ΜΕΤ (Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων) των βέλτιστων ευθειών στις περιοχές που υποδηλώνονται από τις X.Θ. του βήματος 5.2.
- 5.4 Εύρεση των σημείων τομής των ευθειών του βήματος 5.3.
- 5.5 Εύρεση των Ακτίνων της Πολυγωνικής της Οριζοντιογραφίας.

- 5.6 Μεταφορά των Χ.Θ. των οριζοντίων ευθειών του βήματος 5.4 στην Οριζοντιογραφία και εύρεση των Χ,Y των ευθειών της Πολυγωνικής της Οριζοντιογραφίας με τη MET.
- 5.7 Εύρεση των σημείων τομής των ευθειών του βήματος 5.6 που είναι πλέον οι Χ,Y συντεταγμένες των Κορυφών της Πολυγωνικής της Οριζοντιογραφίας.
- 5.8 Σχεδίαση Μηκοτομής.
- 5.9 Εισαγωγή Πολυγωνικής Ισοκλινών Ευθειών Ερυθράς.
- 5.10 Εύρεση με τη MET των βέλτιστων Ευθειών της Ερυθράς.
- 5.11 Εύρεση των σημείων τομής των Ευθειών του βήματος 5.10, που δίνουν τις Χ.Θ. της Πολυγωνικής της Ερυθράς.
- 5.12 Εύρεση με την MET των βέλτιστων κύκλων που ταιριάζουν στα καμπύλα τμήματα της Ερυθράς (ακτίνες κοίλων και κυρτών καμπύλων).

#### 4.2.2. Λειτουργία του προγράμματος

Το πρόγραμμα VASI με μοναδικό δεδομένο τις συντεταγμένες των σημείων του άξονα της οδού που ο χρήστης έχει εισάγει, σχεδιάζει το γωνιακό διάγραμμα της οδού στο AutoCAD όπου και ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί γραφικά αλλά και να κατανοήσει πιο εύκολα. Επίσης βρίσκει την ακτίνα του κάθε ένα κύκλου που παράγεται από τα 3 διαδοχικά σημεία καθώς και τις συντεταγμένες των κέντρων αυτών των κύκλων. Ο χρήστης μπορεί να αξιολογήσει τα αποτελέσματα του κώδικα στο Notepad των Windows πατώντας το κατάλληλο κουμπάκι πράσινου χρώματος.



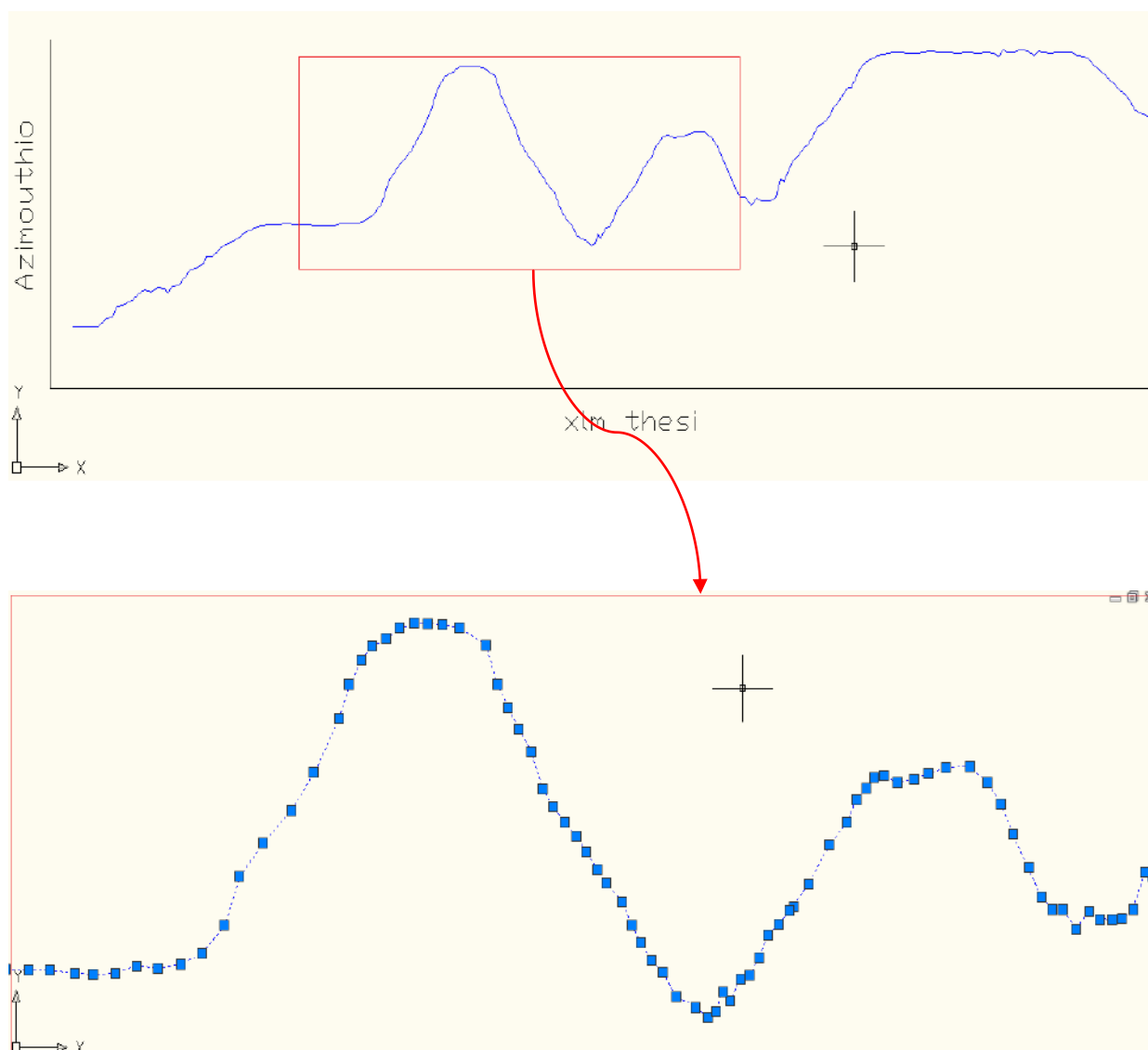
*Σχήμα 4.10 Περιβάλλον εργασίας του νέου προγράμματος*

Σε αυτό το σημείο ο χρήστης επεξεργάζεται γραφικά το γωνιακό ή αλλιώς αζιμουθιακό διάγραμμα και στη συνέχεια, μέσω των βοηθητικών προγραμμάτων, γίνεται χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων. Ωστόσο έγινε προσπάθεια αυτόματης εξαγωγής των ακτίνων των κύκλων κάνοντας χρήση της M.E.T. για το αντίστοιχο μήκος όπου ο συντελεστής συσχέτισης  $r^2$  ήταν στατιστικά σημαντικός (δηλαδή η τιμή του ήταν κοντά στη μονάδα). Τα αποτελέσματα σε μερικές δοκιμές αποδείχθηκαν αναξιόπιστα καθώς εισάγεται σε αυτά ο υποκειμενικός παράγοντας σε μεγάλο βαθμό. Για να γίνει περισσότερο κατανοητή η προηγούμενη πρόταση η παραπάνω διαδικασία θα εξηγηθεί αναλυτικά μαζί με τον αλγόριθμο σε επόμενο κεφάλαιο.

Αναλυτικά τα βήματα του αλγορίθμου για την δημιουργία του γωνιακού διαγράμματος περιγράφονται παρακάτω:

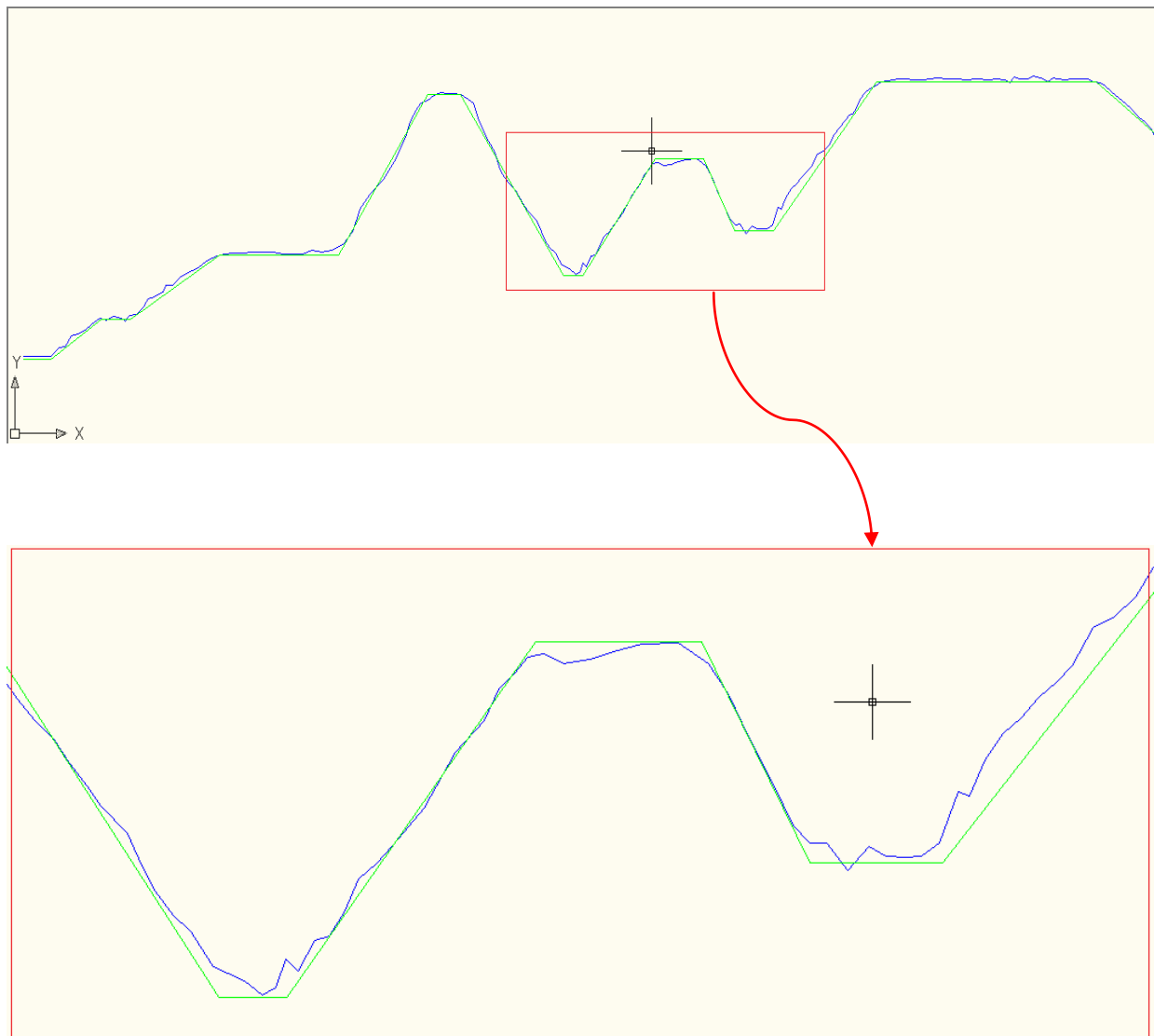
- Στο AutoCAD ανοίγουμε το ψηφιακό αρχείο \*.dwg της τοπογραφικής αποτύπωσης της οδού που θέλουμε να επεξεργαστούμε
- Κλικάροντας τα σημεία που επιλέγουμε πάνω στον άξονα της υφιστάμενης οδού δημιουργείται μια γραμμή (polyline) του άξονα της οδού, από την οποία μέσω visual basic εξάγονται σε φύλλο excel οι συντεταγμένες των σημείων της που θα αποτελέσουν τα δεδομένα του προγράμματος. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται το αρχείο fm.inp .
- Το πρόγραμμα διαβάζει το αρχείο fm.inp όπου βρίσκονται οι συντεταγμένες XYZ των σημείων του άξονα της οδού.
- Ελέγχει αν όλα τα σημεία είναι διαδοχικά και διαγράφει τυχόν διπλά σημεία.
- Ελέγχει τον αριθμό των σημείων έτσι ώστε να λειτουργεί το πρόγραμμα.
- Βρίσκει τα αζιμούθια των ευθύγραμμων τμημάτων (χορδών) που δημιουργούνται ανάμεσα στα διαδοχικά σημεία βάση δεξιόστροφου συστήματος αναφοράς.
- Υπολογίζει τη χιλιομετρική απόσταση του ενός σημείου από το άλλο και στη συνέχεια τα προσθέτει για να υπολογίσει το μήκος της οδού.
- Δημιουργεί το αρχείο VASI.dxf με το γωνιακό διάγραμμα της αποτύπωσης σε άξονες χλμ θέση – Αζιμούθιο το οποίο διαβάζεται από το AutoCAD. (Σχήμα 4.11)
- Επίσης, το πρόγραμμα δημιουργεί και το αρχείο fm.out στο οποίο εμφανίζονται όλα τα αποτελέσματα της επαναληπτικής διαδικασίας για τη δημιουργία του γωνιακού διαγράμματος και μπορεί να διαβαστεί από το Notepad.

Το γωνιακό διάγραμμα, που σχεδιάζεται στο AutoCAD, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα όπου διακρίνουμε και μια λεπτομέρεια για να γίνει πιο κατανοητή η διαδικασία από τους αναγνώστες της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



**Σχήμα 4.11** Γωνιακό διάγραμμα βάσει αποτύπωσης- λεπτομέρεια φαίνεται στο κόκκινο πλαίσιο

Στη συνέχεια ο χρήστης ορίζει γραφικά (φαίνεται με ανοιχτό πράσινο χρώμα στο σχήμα 4.12) τα σημεία όπου είναι εμφανής η θλάση του διαγράμματος βάση της αποτύπωσης και ορίζεται με τον τρόπο αυτό η "πολυγωνική χρήση" του γωνιακού διαγράμματος. (Σχήμα 4.12) Μέσω του βοηθητικού προγράμματος 2 οι κορυφές της πολυγωνικής αυτής μετατρέπονται σε συντεταγμένες  $X, Y$ . Σε αυτό το σημείο, δηλαδή, ο χρήστης ορίζει χωρίς μεγάλη ακρίβεια τις περιοχές εκείνες όπου διακρίνει σχεδόν σταθερό αζιμούθιο, το οποίο ορίζεται με ευθεία παράλληλη στον άξονα των  $X$  και τις περιοχές εκείνες με γραμμική μεταβολή του αζιμούθιου η οποία ορίζεται πάλι με ευθεία αλλά αυτή τη φορά με κλίση, είτε θετική είτε αρνητική. Στο παρακάτω σχήμα διακρίνουμε μια λεπτομέρεια για καλύτερη κατανόηση του συγκεκριμένου σταδίου επεξεργασίας.



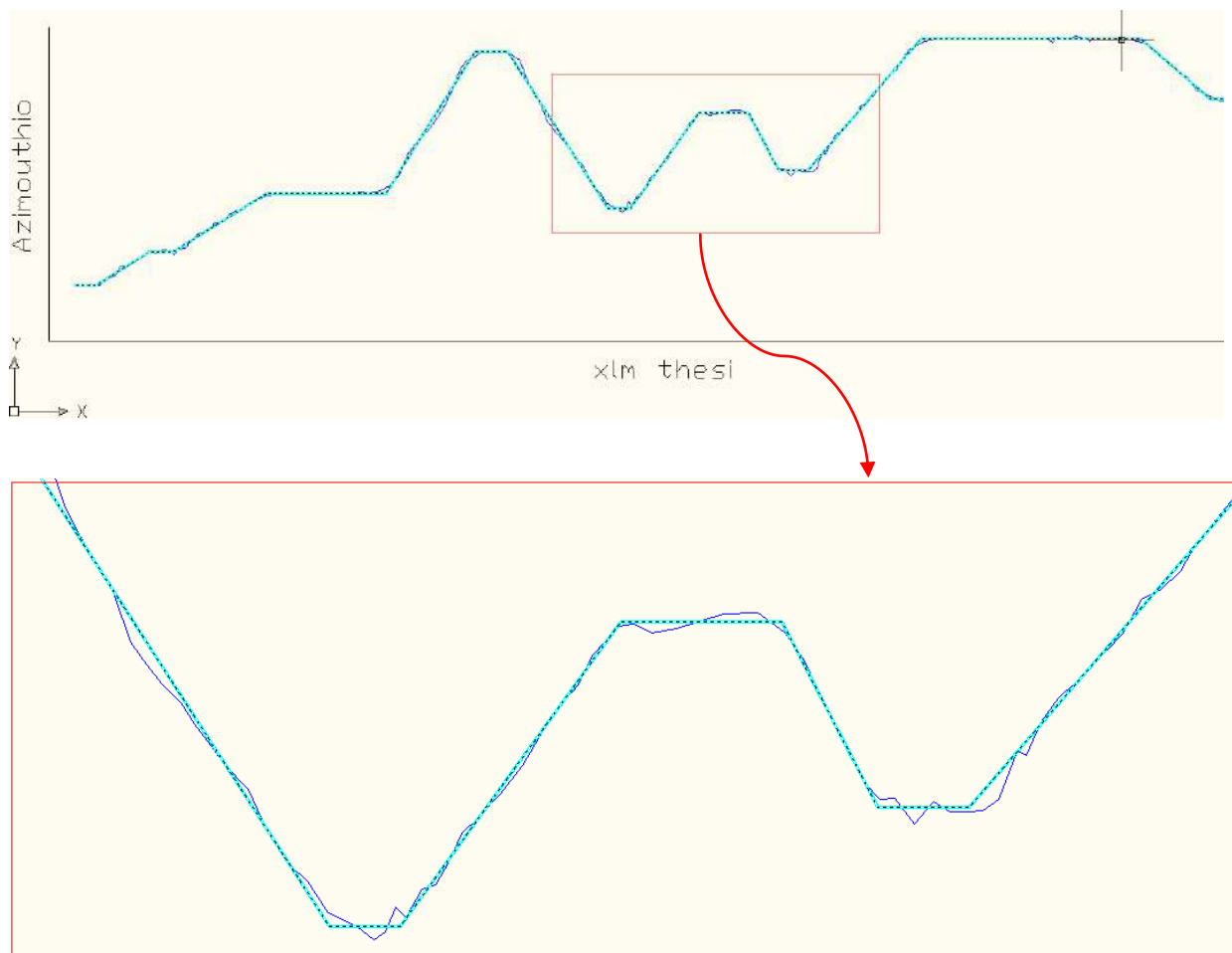
**Σχήμα 4.12** Πολυγωνική που εισάγει ο χρήστης στο γωνιακό διάγραμμα - λεπτομέρεια φαίνεται στο κόκκινο πλαίσιο

Έπειτα, γίνεται χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων (φαίνεται με ανοιχτό ροζ χρώμα στο σχήμα) προκειμένου κάθε θλάση της "πολυγωνικής" να προσεγγίζει με το μικρότερο δυνατό σφάλμα τα αποτυπωμένα σημεία. (Σχήμα 4.13) Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων έγινε στις περιοχές εκείνες που υποδηλώθηκαν από τις Χ.Θ. του προγράμματος 2 και περιγράφηκε αναλυτικά στο κεφάλαιο 3 (§3.3). Στο παρακάτω σχήμα διακρίνονται καθαρά οι ευθείες ελαχίστων τετραγώνων ή αλλιώς βέλτιστες ευθείες καθώς και μια λεπτομέρεια για περαιτέρω κατανόηση αυτού του σταδίου επεξεργασίας.



**Σχήμα 4.13** Χρήση της Μ.Ε.Τ. στο γωνιακό διάγραμμα. Η λεπτομέρεια φαίνεται στο κόκκινο πλαίσιο

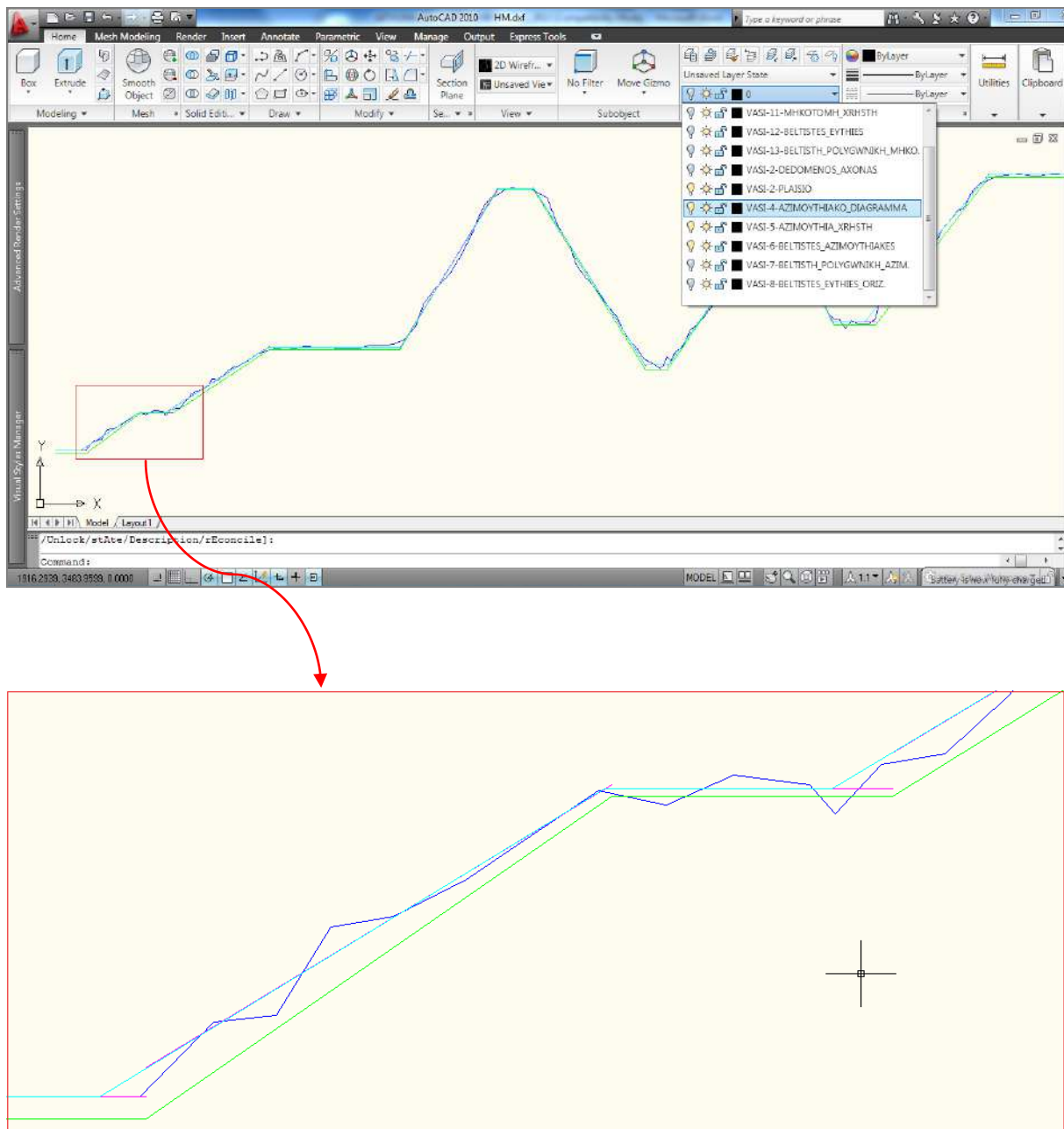
Στις περιοχές όπου δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή αζιμούθιου (αποτελούν δηλαδή τμήμα οριζοντιογραφικής ευθυγραμμίας) ο χρήστης αναζητά την καλύτερη προσέγγιση ευθειών με σταθερό αζιμούθιο. Η τομή των ευθειών αυτών με τις ευθείες ελαχίστων τετραγώνων (των κυκλικών τόξων) δίνει και το τελικό γωνιακό - αζιμουθιακό διάγραμμα της οδού (Σχήμα 4.14, φαίνεται με ανοιχτό μπλε χρώμα - διακεκομμένη γραμμή). Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το αζιμουθιακό διάγραμμα καθώς και μία λεπτομέρεια κόκκινου πλαισίου σε μεγέθυνση για καλύτερη κατανόηση.



**Σχήμα 4.14** Τελικό αζιμουθιακό διάγραμμα – Η λεπτομέρεια φαίνεται με κόκκινο πλαίσιο

Από το αζιμουθιακό διάγραμμα προκύπτουν με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια που προσδίδει η Μ.Ε.Τ., οι περιοχές της οδού όπου υπάρχει ευθυγραμμία (τα τμήματα εκείνα όπου το αζιμούθιο παραμένει σταθερό παράλληλα με τον άξονα των X) και οι περιοχές όπου υπάρχει κυκλικό τόξο (τα τμήματα εκείνα όπου παρατηρείται γραμμική μεταβολή του αζιμούθιου, είτε θετική είτε αρνητική) με ακτίνα τον αντίστροφο της κλίσης της ευθείας των ελαχίστων τετραγώνων.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το περιβάλλον εργασίας στο AutoCAD όπου και πραγματοποιήθηκαν όλα τα προηγούμενα στάδια σχεδίασης του αζιμουθιακού διαγράμματος. Διακρίνουμε όλα τα επίπεδα γραμμών (τα αντίστοιχα layers για το αζιμουθιακό διάγραμμα είναι ανοιχτά) και στη λεπτομέρεια με κόκκινο πλαίσιο γίνεται μεγέθυνση όπου και διακρίνεται καθαρά η επεξεργασία του αρχικού γωνιακού διαγράμματος με τα αντίστοιχα στάδια που περιγράφηκαν παραπάνω (τα χρώματα των γραμμών αντιστοιχούν στα παραπάνω στάδια).



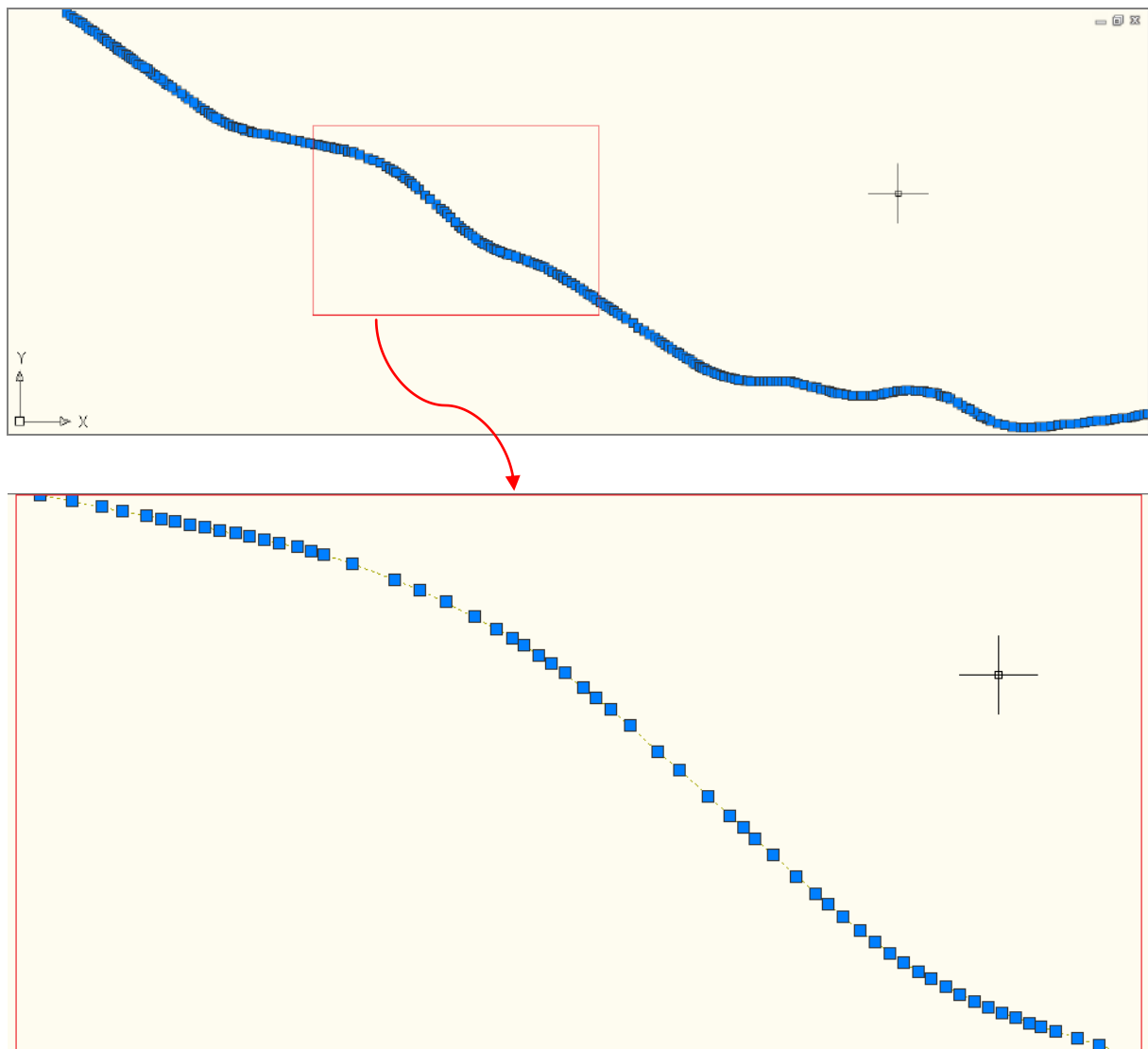
**Σχήμα 4.15** Περιβάλλον εργασίας AutoCAD - Στάδια επεξεργασίας γωνιακού διαγράμματος



#### 4.2.3. Παραγωγή οριζοντιογραφίας

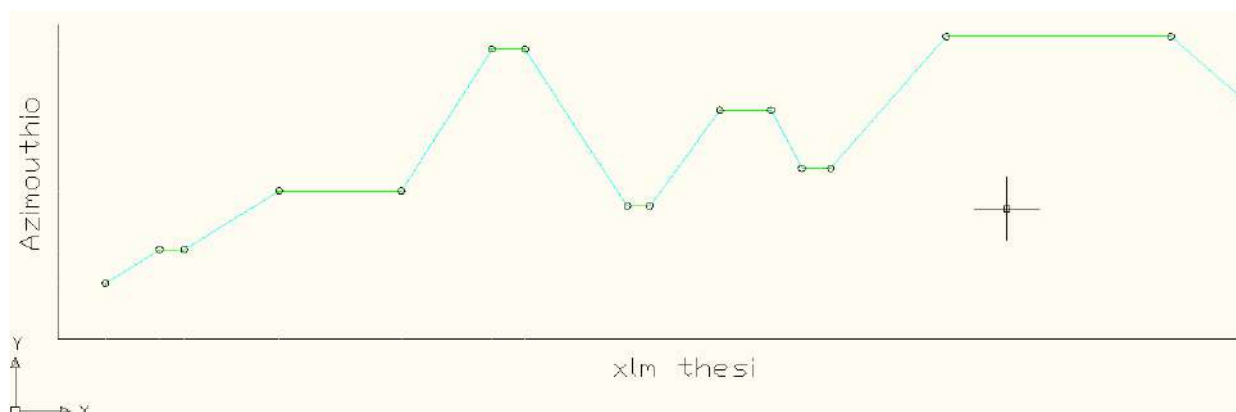
Προκειμένου να γίνει η οριζοντιογραφία της οδού χρησιμοποιούμε το αξιμουθιακό διάγραμμα (η διαδικασία παραγωγής του αξιμουθιακού διαγράμματος περιγράφηκε αναλυτικά παραπάνω) από το οποίο εξάγουμε με ευκολία πολύτιμες πληροφορίες για την προς επεξεργασία οδό.

Για την παραγωγή της οριζοντιογραφίας της υπό επεξεργασία οδού, αρχικά γίνεται αποτύπωση κάθε σημείου με βάση τις συντεταγμένες του X και Y. Ενώνοντας τα παραγόμενα σημεία με ευθείες προκύπτει η οριζοντιογραφία της οδού σύμφωνα με την αποτύπωση. (Σχήμα 4.16)



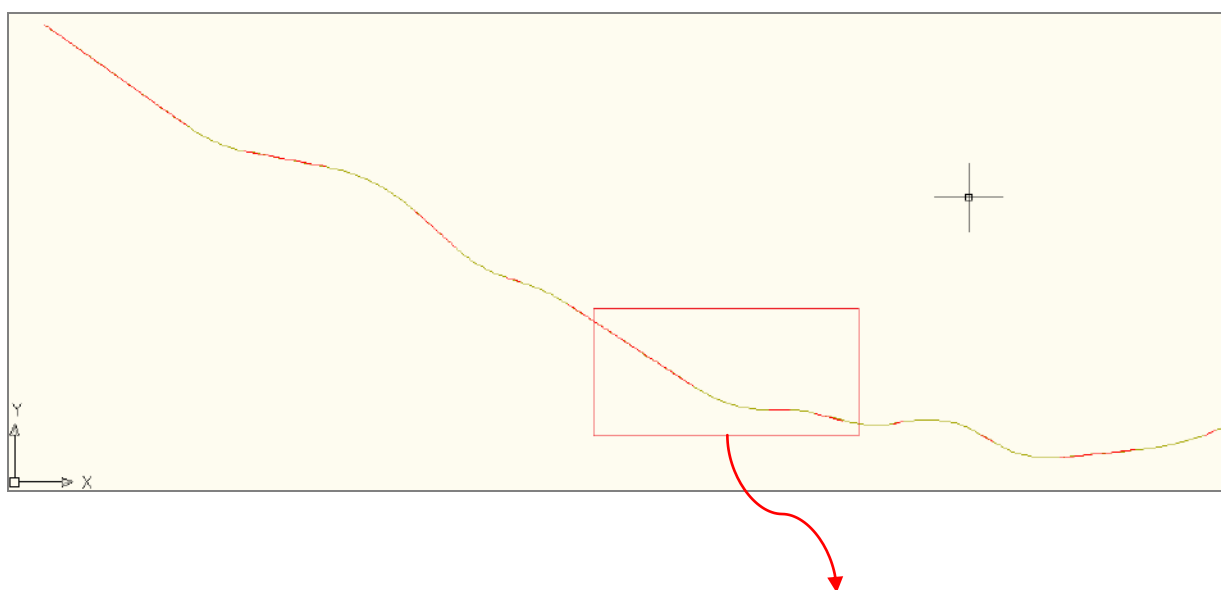
Σχήμα 4.16 Οριζοντιογραφία βάσει αποτύπωσης

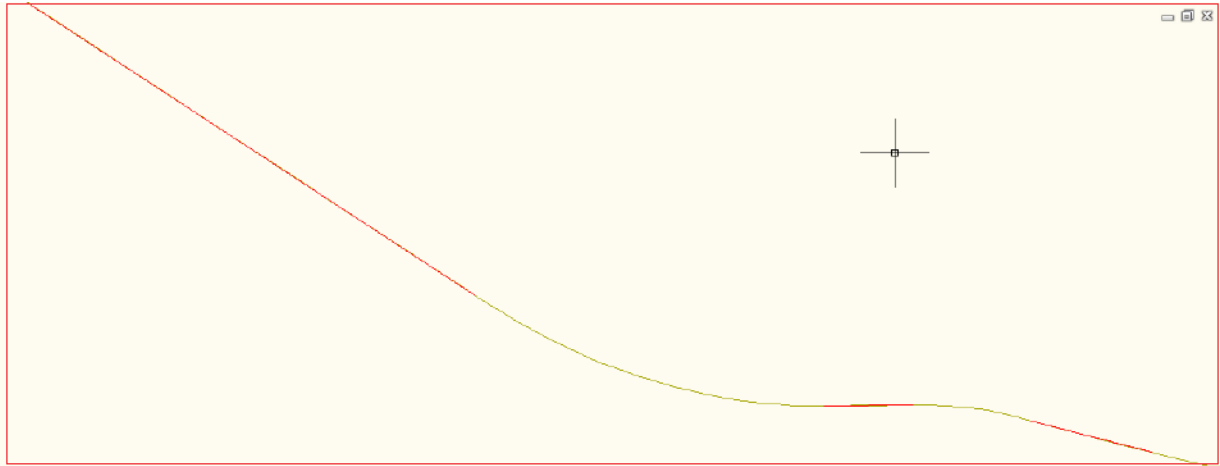
Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση του βοηθητικού προγράμματος 2, καταγράφουμε τις συντεταγμένες των κορυφών X,Y του αζιμουθιακού διαγράμματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.17 με ανοιχτό πράσινο χρώμα (χιλιόμετρηση και αζιμούθιο αντίστοιχα). Με αυτόν τον τρόπο επισημαίνονται τα ευθύγραμμα τμήματα της οδού.



**Σχήμα 4.17** Καταγραφή συντεταγμένων των κορυφών του αζιμουθιακού διαγράμματος

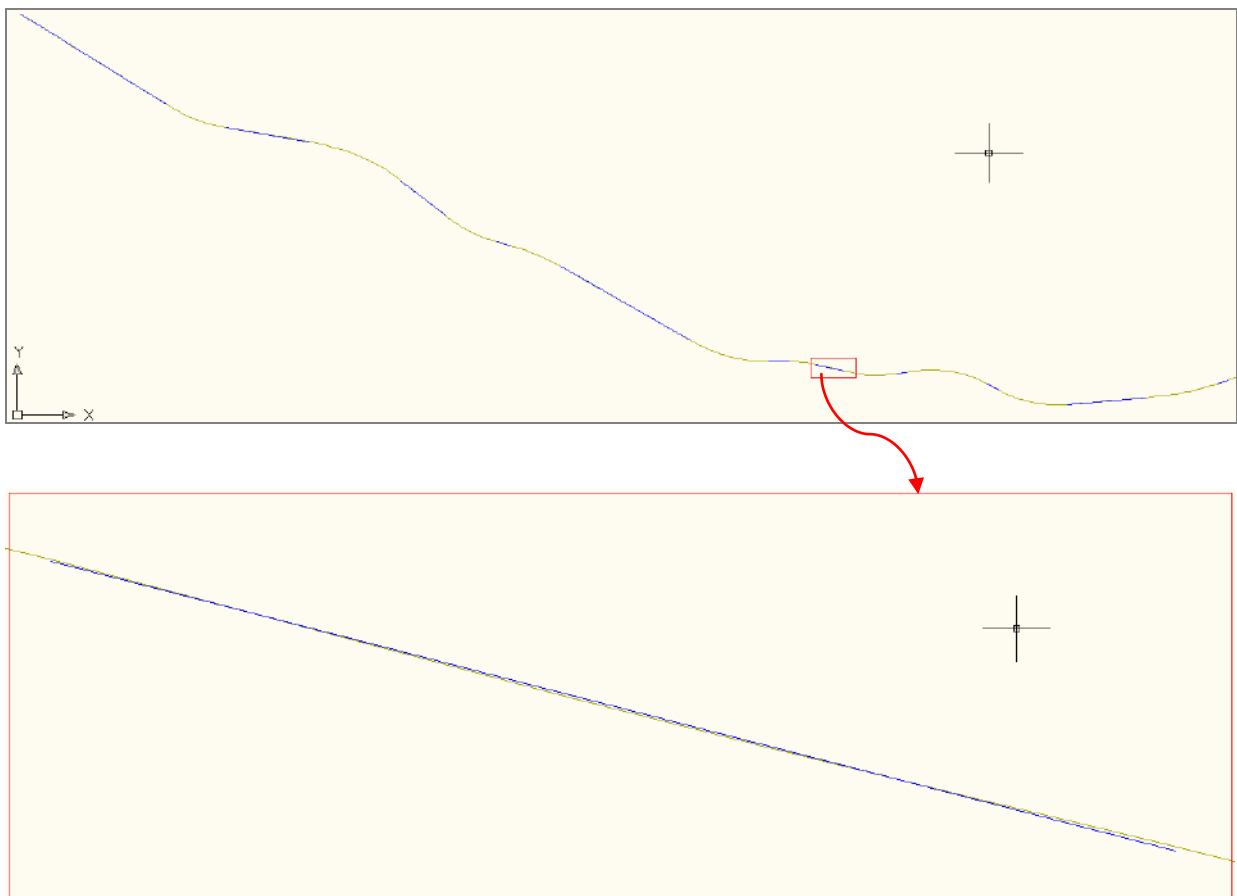
Πλέον, παίρνοντας την χιλιομετρική θέση κάθε κορυφής, γνωρίζουμε τα τμήματα της οδού όπου υπάρχει ευθυγραμμία (χιλιομετρική θέση σταθερών αζιμούθιων) και αποτυπώνουμε γραφικά στην οριζοντιογραφία (φαίνεται με κόκκινο χρώμα στο σχήμα 4.18) τα ευθύγραμμα τμήματα.





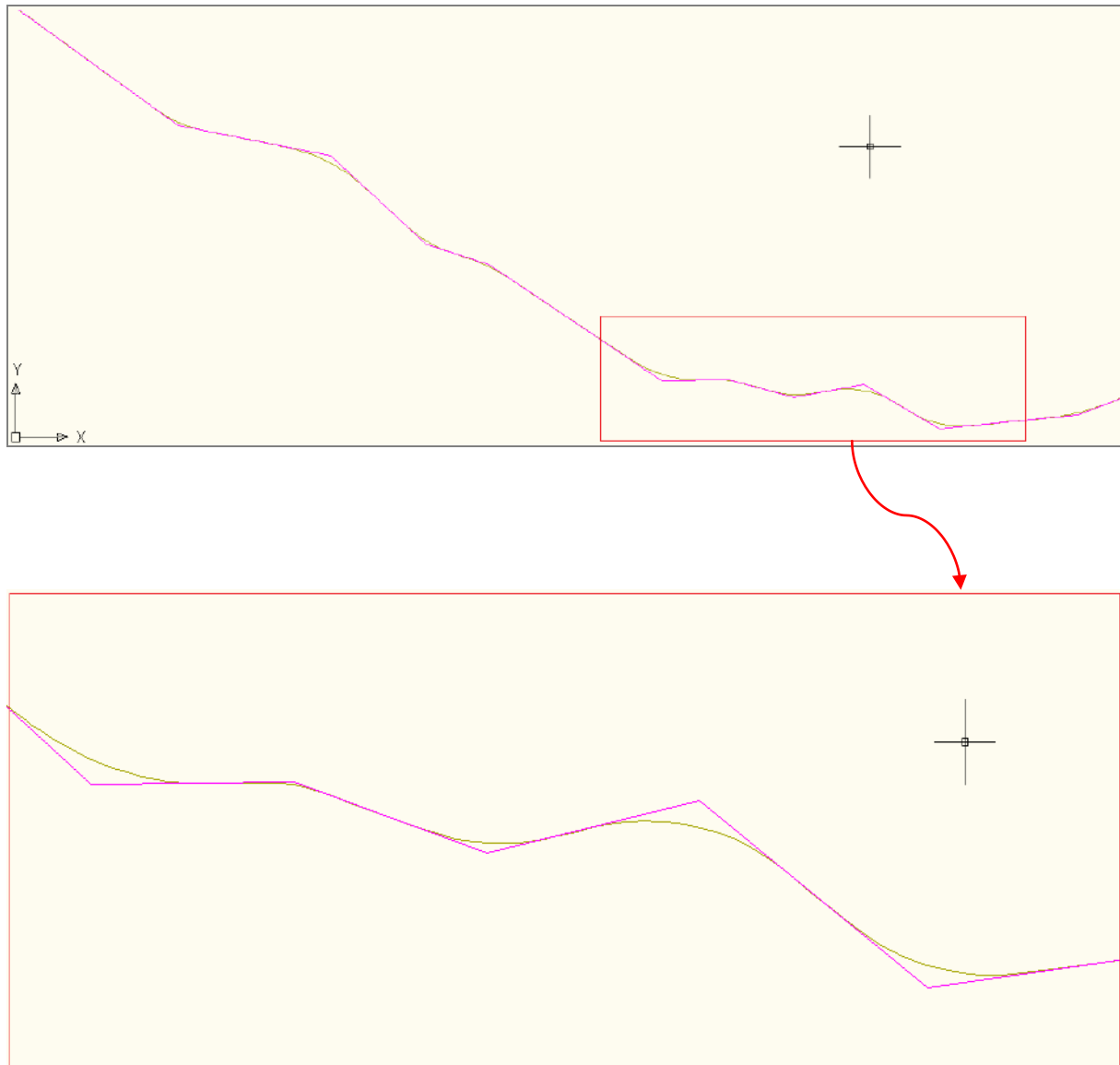
**Σχήμα 4.18** Αποτύπωση ευθύγραμμων τμημάτων στην οριζοντιογραφία βάση αποτύπωσης

Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα μεταξύ του αποτυπωμένου άξονα και της τελικής οριζοντιογραφίας γίνεται εκ νέου χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων (φαίνεται με μπλε χρώμα στο σχήμα 4.19) έτσι ώστε κάθε ευθύγραμμο τμήμα να προσεγγίζει με το μικρότερο δυνατό σφάλμα τα σημεία της τοπογραφικής αποτύπωσης.



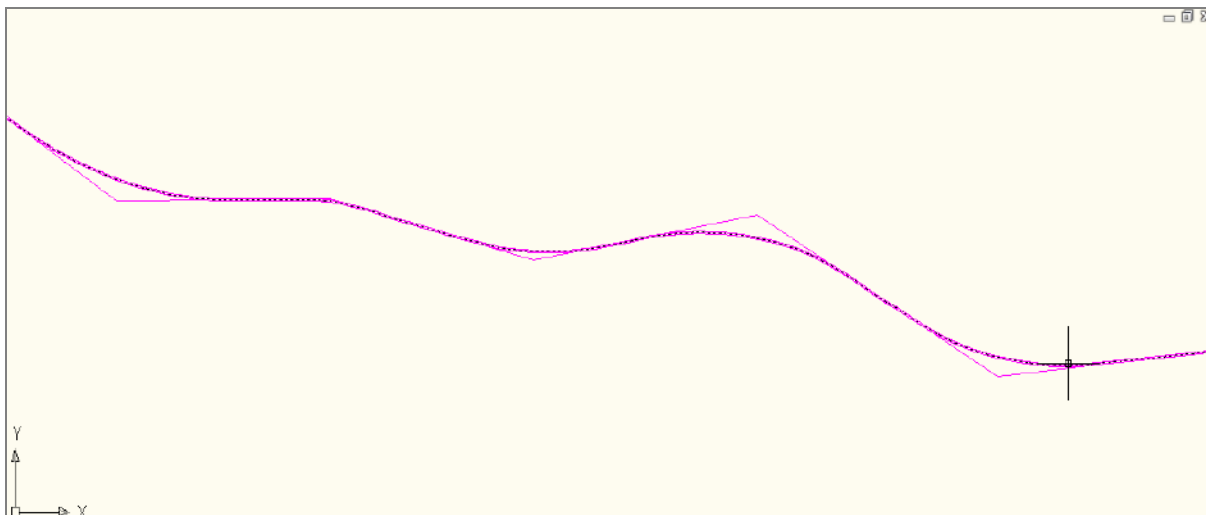
**Σχήμα 4.19** Χρήση της Μ.Ε.Τ.

Η τομή των βέλτιστων αυτών ευθειών δίνει και την τελική πολυγωνική της οριζοντιογραφίας της οδού. (φαίνεται στο σχήμα 4.20 με μωβ χρώμα)

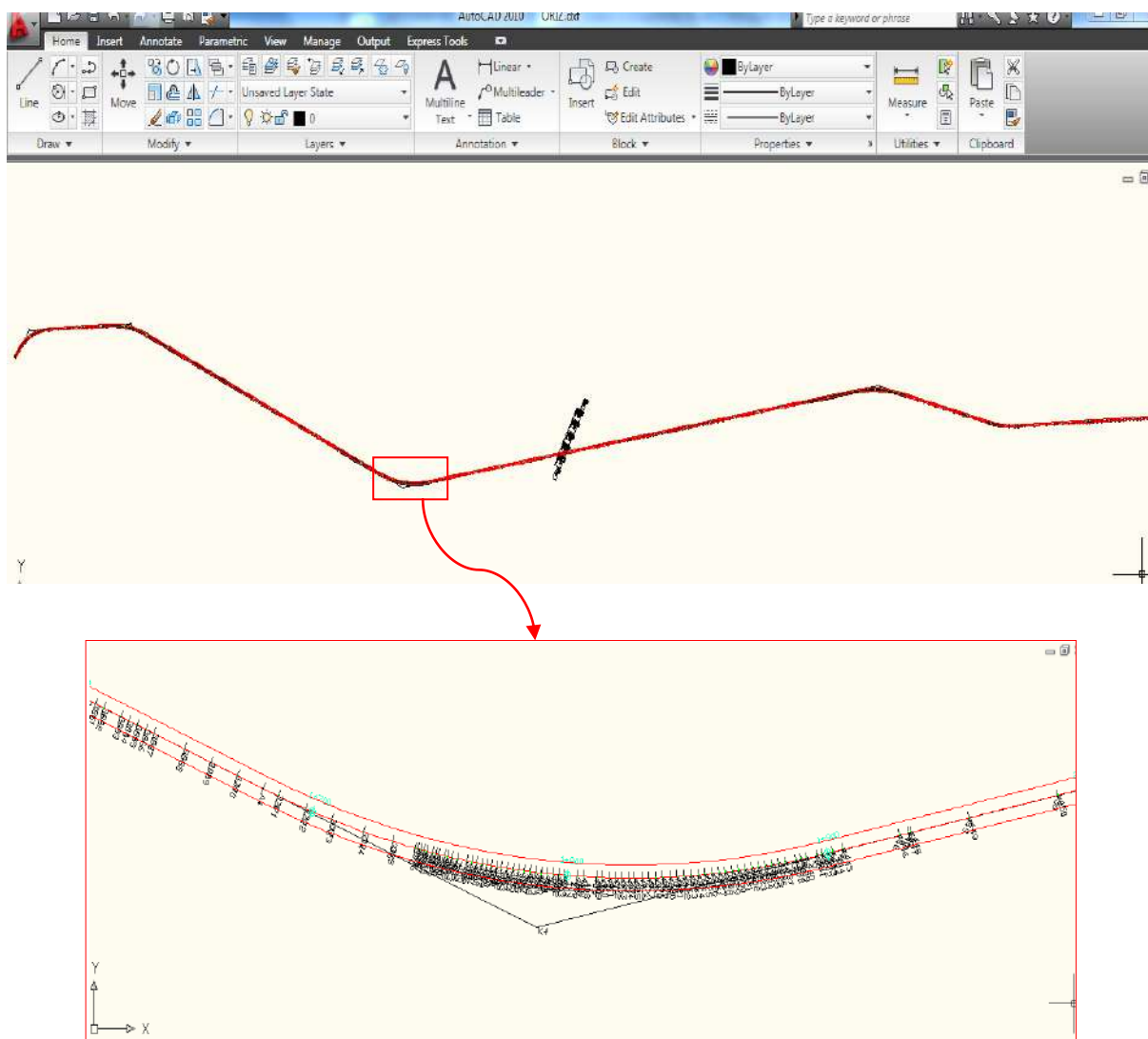


**Σχήμα 4.20** Τελική πολυγωνική της οριζοντιογραφίας

Τέλος, από τις κορυφές της πολυγωνικής και την τιμή των ακτίνων των κυκλικών τόξων, οι οποίες έχουν βρεθεί μέσω γραμμικής παλινδρόμησης από το αζιμουθιακό διάγραμμα, γίνεται ο υπολογισμός όλων των στοιχείων της οριζοντιογραφίας και σχεδιάζεται ο τελικός άξονας της οδού κάνοντας χρήση του προγράμματος H12. Ένα τμήμα της οριζοντιογραφίας της οδού φαίνεται στο σχήμα 4.21 σε μεγέθυνση και στο σχήμα 4.22 φαίνεται.



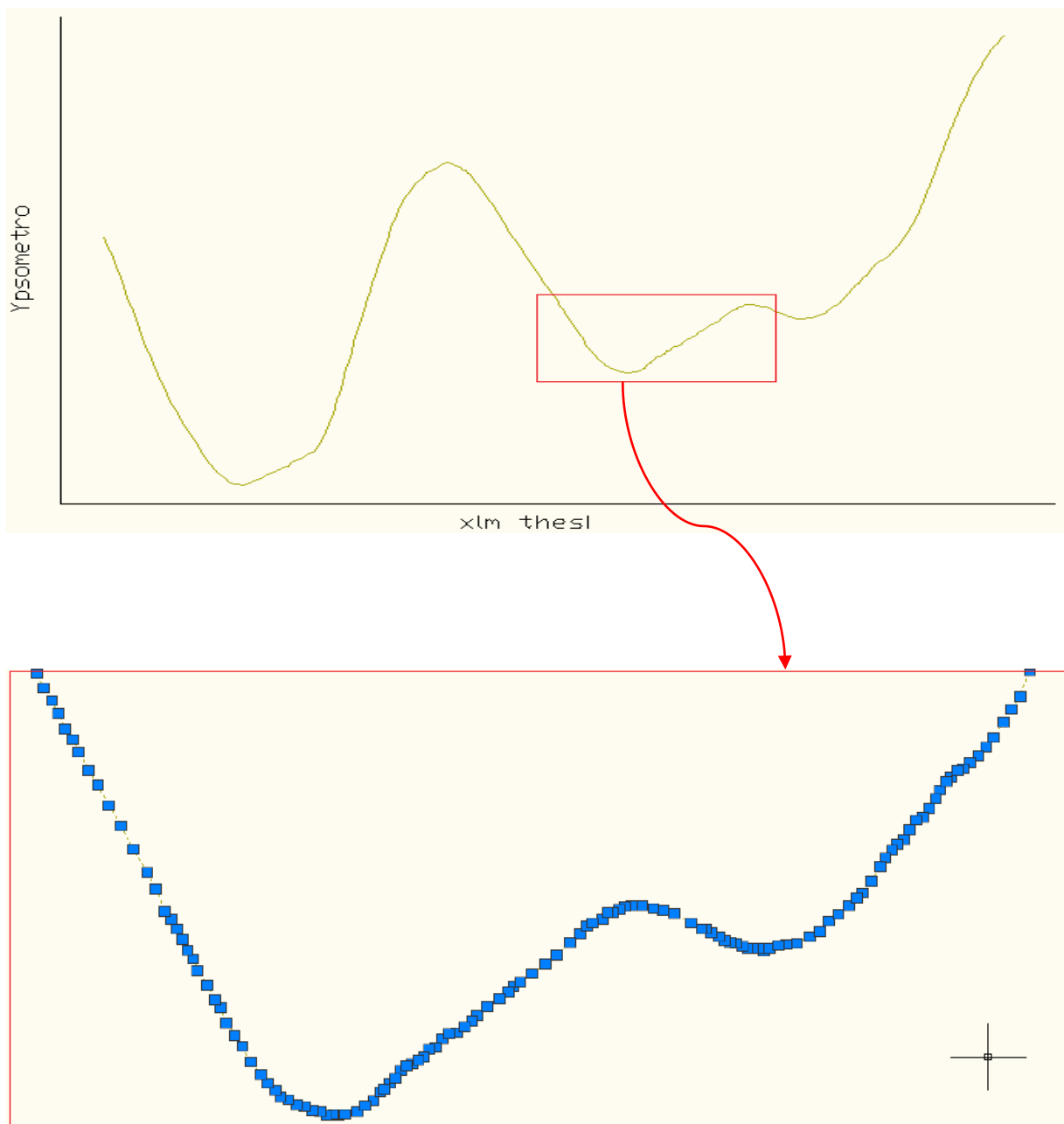
Σχήμα 4.21 Τελικός άξονας της οδού



Εικόνα 4.1 Περιβάλλον εργασίας AutoCAD – Παράδειγμα Οριζοντιογραφίας

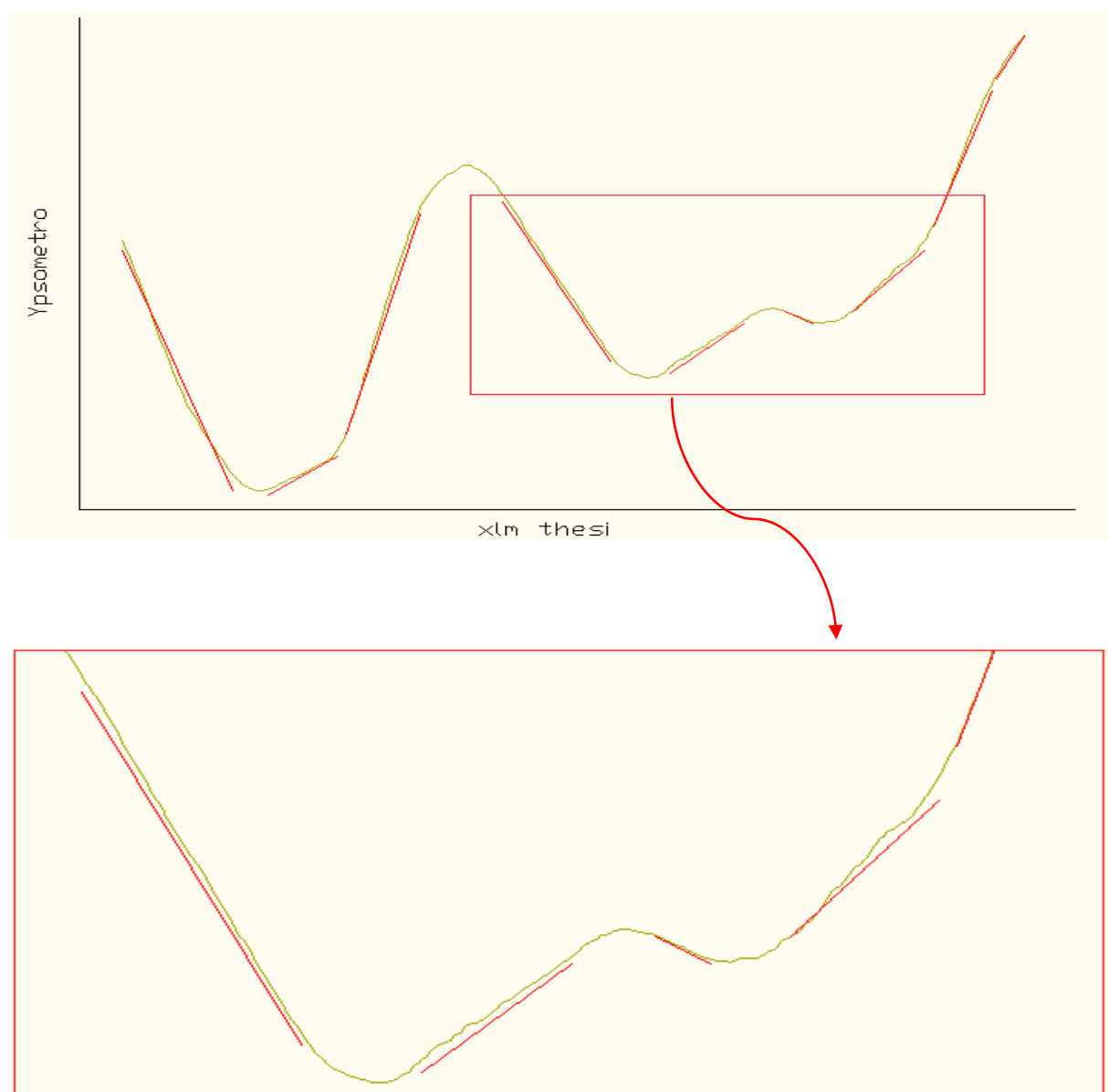
#### 4.2.4 Παραγωγή μηκοτομής

Προκειμένου να γίνει η παραγωγή της μηκοτομής της οδού πραγματοποιούνται αντίστοιχα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων της τοπογραφικής αποτύπωσης του άξονα. Αρχικά γίνεται η σχεδίαση κάθε σημείου της τοπογραφικής αποτύπωσης σε άξονες χιλιομέτρηση – υψόμετρο. Χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες των σημείων αποτύπωσης X,Z σχεδιάζουμε την μηκοτομή αποτύπωσης (Σχήμα 4.22) Σχεδιάζεται και μια λεπτομέρεια για να γίνει περισσότερο κατανοητό από τους αναγνώστες.



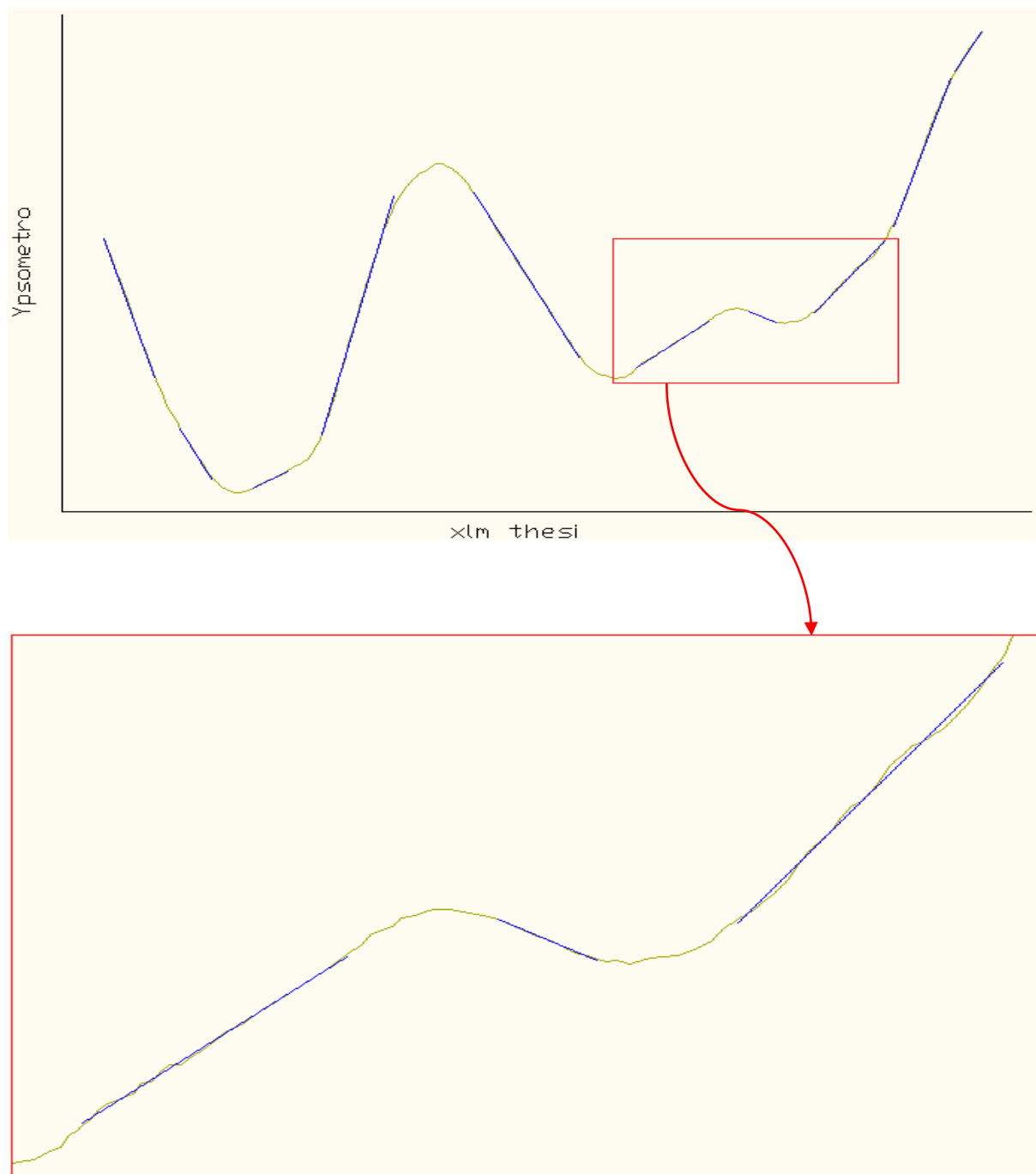
**Σχήμα 4.22** Σχεδίαση κάθε σημείου σε άξονες χιλιομέτρηση – υψόμετρο (μηκοτομή αποτύπωσης)

Με τη βοήθεια της παραπάνω σχεδίασης έγινε προσπάθεια για την αυτοματοποιημένη παραγωγή της μηκοτομής της οδού αλλά το αποτέλεσμα δεν ήταν το αναμενόμενο και δεν συμπεριλαμβάνεται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Για τον λόγο αυτό ορίζονται χειρωνακτικά από τον χρήστη σύμφωνα με την κρίση του τα τμήματα που η μηκοτομή παρουσιάζει σταθερή κατά μήκος κλίση τα οποία φαίνονται στο σχήμα με κόκκινο χρώμα και στη λεπτομέρεια με κόκκινο πλαίσιο για καλύτερη κατανόηση. (σχήμα 4.23) Με την χρήση του βοηθητικού προγράμματος 4 εξάγονται οι συντεταγμένες της αρχής και του τέλους των ευθειών αυτών και με αυτόν τον τρόπο ορίζονται τα τμήματα όπου και θα γίνει γραμμική παλινδρόμηση.



**Σχήμα 4.23** Μηκοτομή χρήστη

Στη συνέχεια γίνεται χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων (γραμμική παλινδρόμηση) προκειμένου οι ευθυγραμμίες που έχει ορίσει ο χρήστης να προσεγγίσουν με το μικρότερο δυνατό σφάλμα τα αποτυπωμένα σημεία. Η Μ.Ε.Τ. έχει αναλυθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στο σχήμα 4.24 φαίνονται οι ευθυγραμμίες με μπλε χρώμα και σε κόκκινο πλαίσιο μια λεπτομέρεια.



**Σχήμα 4.24** Χρήση της Μ.Ε.Τ. στην παραγωγή της μηκοτομής



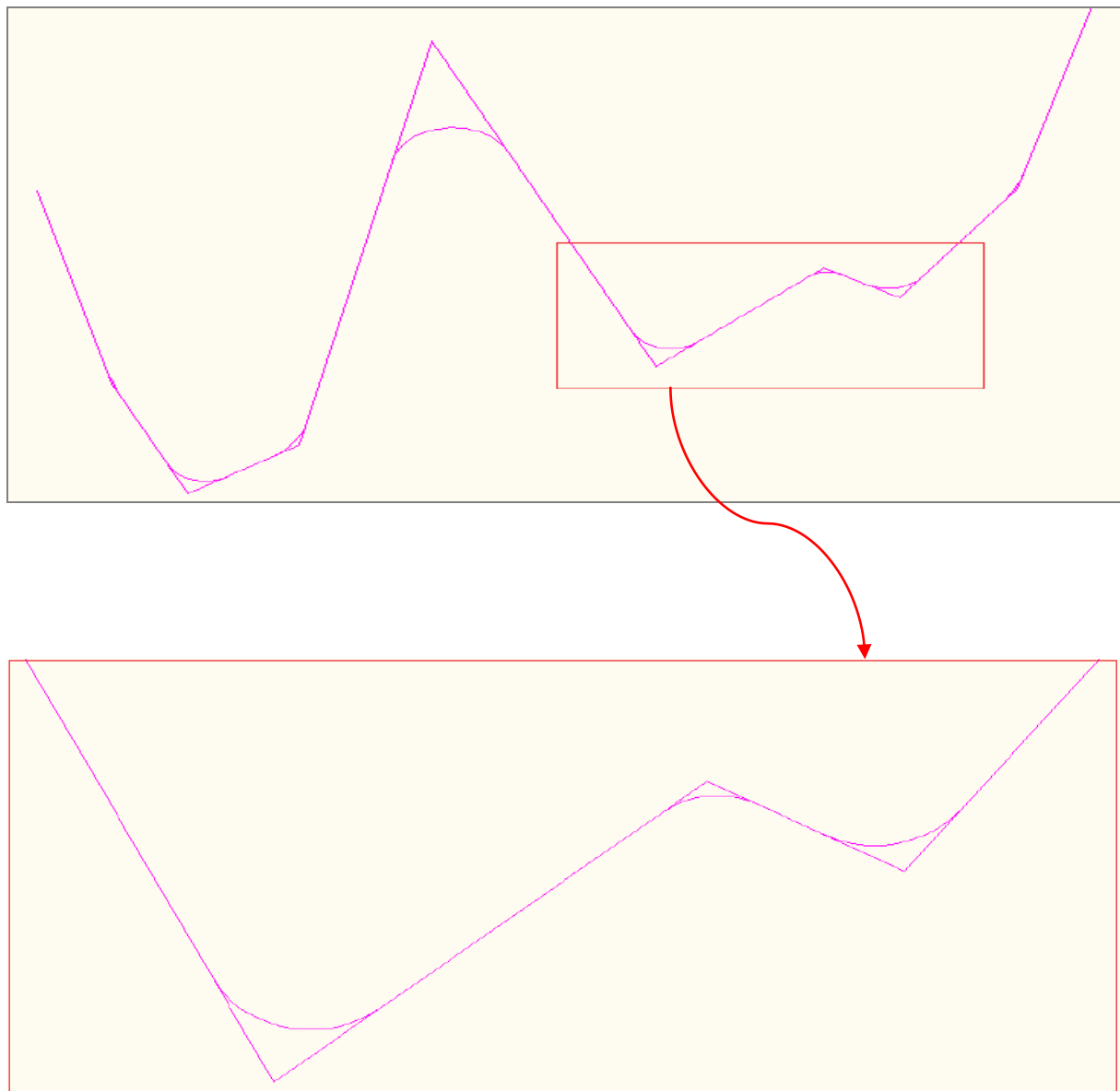
Η τομή των βέλτιστων αυτών ευθειών (φαίνεται στο σχήμα 4.25 με μωβ χρώμα) δίνει και την τελική πολυγωνική της μηκοτομής της οδού. (σχήμα 4.25)



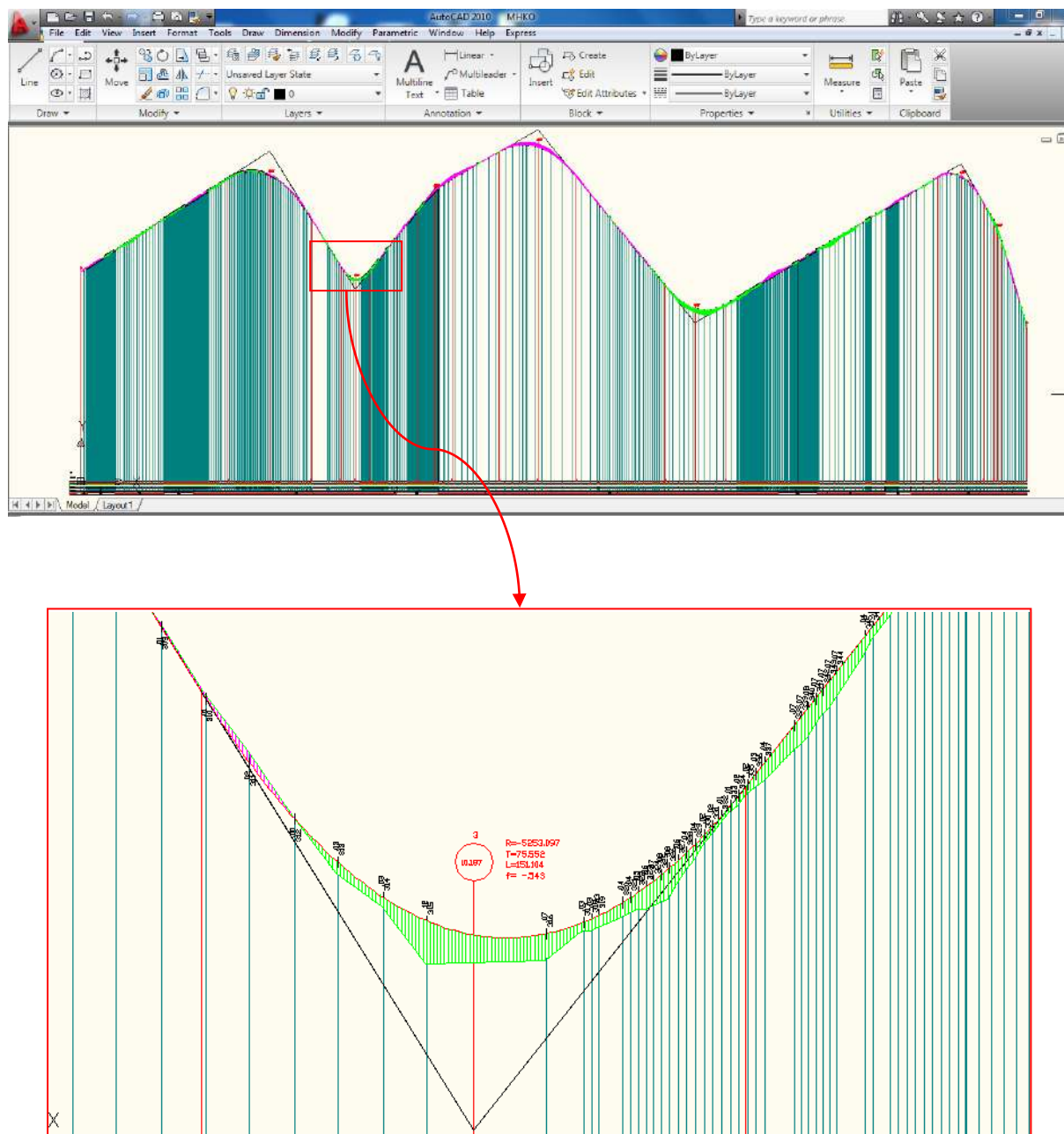
**Σχήμα 4.25** Βέλτιστη πολυγωνική της μηκοτομής

Με βάση την τελική πολυγωνική της μηκοτομής γίνεται χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων προκειμένου να υπολογιστούν οι βέλτιστοι κύκλοι που εφάπτονται στην πολυγωνική και προσεγγίζουν με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια τα αποτυπωμένα σημεία.

Από την πολυγωνική και την τιμή των ακτίνων στρογγύλευσης, κάνοντας χρήση του προγράμματος H12, ορίζονται οι σημαίες και γίνεται ο υπολογισμός όλων των στοιχείων της μηκοτομής και αποδίδεται η τελική ερυθρά της οδού (σχήμα 4.26).



**Σχήμα 4.26** Τελική ερυθρά της οδού



Εικόνα 4.2 Περιβάλλον εργασίας AutoCAD – Παράδειγμα Μηκοτομής

#### 4.2.5 Επεξήγηση αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική

Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής είναι γραμμένοι σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN και γράφθηκαν εξ ολοκλήρου από την αρχή.

Αναφέρονται επιγραμματικά οι αλγόριθμοι και τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν:

✓ Αλγόριθμος VASI

Είναι ο κύριος αλγόριθμος του προγράμματος και είναι υπεύθυνος για την δημιουργία του γωνιακού διαγράμματος το οποίο εξάγεται σε μορφή \*.dwg και μπορεί να διαβαστεί από σχεδιαστικό πρόγραμμα CAD, όπως το AutoCAD. Για την εξαγωγή του αρχείου \*.dwg στο AutoCAD καλούνται τα παρακάτω προγράμματα μέσα από τον κύριο αλγόριθμο και είναι υπεύθυνα για την σχεδίαση στο AutoCAD.

✓ Πρόγραμμα SYMBOL

Υποδεικνύει τον συμβολισμό των γραμμών στο AutoCAD

✓ Πρόγραμμα PZS

Κάνει παύση για 5 δευτερόλεπτα και μετά σταματάει

✓ Πρόγραμμα POINT

Σχεδιάζει έναν σημείο στο AutoCAD

✓ Πρόγραμμα LEVEL

Υποδεικνύει τα στρώματα που θέλει ο χρήστης στο AutoCAD

✓ Πρόγραμμα LINE

Σχεδιάζει μια γραμμή στο AutoCAD

✓ Πρόγραμμα COLOR

Ρουτίνα που αναγνωρίζει τα χρώματα των γραμμών στο AutoCAD.

✓ Πρόγραμμα CIRCLE

Σχεδιάζει έναν κύκλο στο AutoCAD.

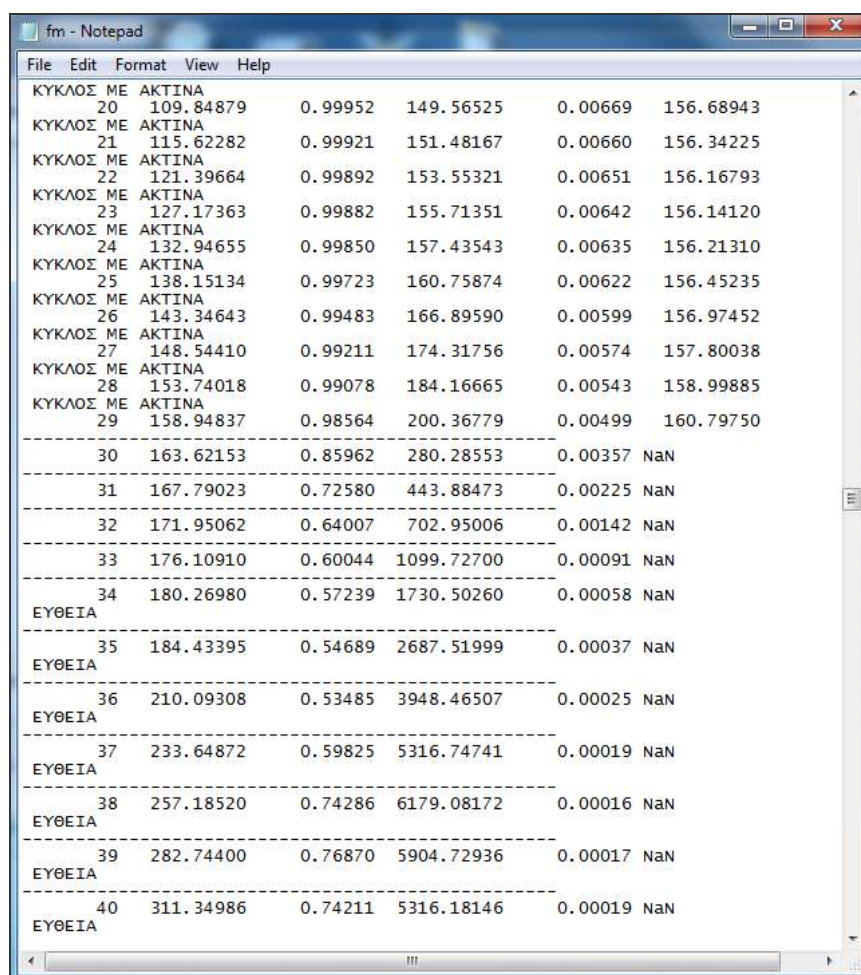
✓ Αλγόριθμος MainLeastSquaresCircleFit

Αυτός ο αλγόριθμος βρίσκει με χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων τον καλύτερο κύκλο που διέρχεται από δοσμένα σημεία. Αυτόν τον αλγόριθμο χρησιμοποιήσαμε για να προσεγγίσουμε όσον το δυνατόν καλύτερα τις καμπύλες στρογγύλευσης, κυρτές ή κοίλες, στην παραγωγή της μηκοτομής. Με δεδομένο τις συντεταγμένες των σημείων  $X, Z$  της περιοχής που ο χρήστης έχει επιλέξει μέσω της πολυγωνικής της μηκοτομής, ο αλγόριθμος αυτός βρίσκει την ακτίνα του κύκλου που «περνάει» καλύτερα από τα σημεία αυτά, με την έννοια πάντα των ελαχίστων τετραγώνων. Γνωρίζοντας την ακτίνα των καμπυλών και τα ευθύγραμμα τμήματα μπορούμε να εξάγουμε, με πολύ μικρό σφάλμα, την ερυθρά της οδού που επεξεργαζόμαστε.

✓ Αλγόριθμος V1

Αυτός ο αλγόριθμος είναι συνέχεια του αλγόριθμου VASI, κάνει χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων και προσπαθεί να υπολογίσει αυτόματα από το γωνιακό διάγραμμα σε ποια χιλιομετρική θέση βρίσκονται οι ευθείες, σε ποια χλμ θέση βρίσκονται τα κυκλικά τόξα καθώς και την τιμή των ακτίνων τους. Προσπαθεί δηλαδή να σχεδιάσει την πολυγωνική του γωνιακού διαγράμματος ή της μηκοτομής αυτόματα, χωρίς ο χρήστης να φέρει με το χέρι τις ευθείες όπως περιγράφηκε παραπάνω. Ο χρήστης απλά εισάγει τον αριθμό των σημείων που θεωρεί ότι είναι ικανός να εξάγουν μία καλή προσέγγιση και το συντελεστή  $r^2$  που στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία η τιμή 0,96 θεωρήθηκε καλή για να γίνουν κάποιες δοκιμές. Να υπενθυμίσουμε ότι ο συντελεστής  $r^2$  παριστάνει το κλάσμα της ολικής μεταβολής που μπορεί να εξηγηθεί με την ευθεία παλινδρόμησης των ελαχίστων τετραγώνων. Μας λέει δηλαδή πόσο καλά η ευθεία παλινδρόμησης ελαχίστων τετραγώνων προσαρμόζεται στα δεδομένα. Εάν όλη η ολική μεταβολή μπορεί να εξηγηθεί με την ευθεία παλινδρόμησης, δηλαδή εάν  $r^2=1$  ή  $r = 1$  ή  $-1$ , λέμε ότι έχουμε πλήρη γραμμική συσχέτιση ( και πλήρη γραμμική παλινδρόμηση). Εάν η ολική μεταβολή ισούται με την υπόλοιπη μεταβολή, τότε η παλινδρομική μεταβολή ισούται με το μηδέν και  $r = 0$ . Στην πράξη η ποσότητα  $r^2$ , που μερικές φορές καλείται συντελεστής προσδιορισμού βρίσκεται μεταξύ 0 και 1. Τα αποτελέσματα αυτά εξάγονται σε αρχείο fm.out και μπορεί ο χρήστης να το χρησιμοποιήσει για περαιτέρω επεξεργασία, ενώ το σχέδιο εξάγεται σε αρχείο \*.dwg που είναι αναγνώσιμο από το AutoCAD.

Ο αλγόριθμος αυτός αν και δοκιμάστηκε, τελικά δεν χρησιμοποιήθηκε και η χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων έγινε σε περιοχές που επιλέχθηκαν από τον χρήστη και όχι αυτόματα. Ο λόγος είναι ότι σε μερικές δοκιμές τα αποτελέσματα που παράχθηκαν δεν ήταν αξιόπιστα καθώς υπεισέρχεται σε αυτά ο υποκειμενικός παράγοντας του μελετητή. Δίνοντας στο πρόγραμμα σαν δεδομένο τον αριθμό των σημείων που θα επιλεγούν για τη γραμμική παλινδρόμηση και τον συντελεστή συσχέτισης, πρέπει ο χρήστης να επιλέξει εκείνος, στην ουσία «με το μάτι», πόσα σημεία αρκούν για να γίνει πιο σωστά η γραμμική παλινδρόμηση στο σύνολο του γωνιακού διαγράμματος. Εκτελώντας κάποιες δοκιμές σε μία οδό, πήραμε σε κάθε δοκιμή διαφορετικό αριθμό σημείων για γραμμική παλινδρόμηση και τα αποτελέσματα διέφεραν πολύ μεταξύ τους και γι' αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιήθηκε ο συγκεκριμένος αλγόριθμος. Αφήνεται για περαιτέρω έρευνα από συμφοιτητές μου.



Label	Number	Value 1	Value 2	Value 3	Value 4	Value 5
ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ	20	109.84879	0.99952	149.56525	0.00669	156.68943
ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ	21	115.62282	0.99921	151.48167	0.00660	156.34225
ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ	22	121.39664	0.99892	153.55321	0.00651	156.16793
ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ	23	127.17363	0.99882	155.71351	0.00642	156.14120
ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ	24	132.94655	0.99850	157.43543	0.00635	156.21310
ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ	25	138.15134	0.99723	160.75874	0.00622	156.45235
ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ	26	143.34643	0.99483	166.89590	0.00599	156.97452
ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ	27	148.54410	0.99211	174.31756	0.00574	157.80038
ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ	28	153.74018	0.99078	184.16665	0.00543	158.99885
ΚΥΚΛΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ	29	158.94837	0.98564	200.36779	0.00499	160.79750
ΕΥΘΕΙΑ	30	163.62153	0.85962	280.28553	0.00357	NaN
ΕΥΘΕΙΑ	31	167.79023	0.72580	443.88473	0.00225	NaN
ΕΥΘΕΙΑ	32	171.95062	0.64007	702.95006	0.00142	NaN
ΕΥΘΕΙΑ	33	176.10910	0.60044	1099.72700	0.00091	NaN
ΕΥΘΕΙΑ	34	180.26980	0.57239	1730.50260	0.00058	NaN
ΕΥΘΕΙΑ	35	184.43395	0.54689	2687.51999	0.00037	NaN
ΕΥΘΕΙΑ	36	210.09308	0.53485	3948.46507	0.00025	NaN
ΕΥΘΕΙΑ	37	233.64872	0.59825	5316.74741	0.00019	NaN
ΕΥΘΕΙΑ	38	257.18520	0.74286	6179.08172	0.00016	NaN
ΕΥΘΕΙΑ	39	282.74400	0.76870	5904.72936	0.00017	NaN
ΕΥΘΕΙΑ	40	311.34986	0.74211	5316.18146	0.00019	NaN

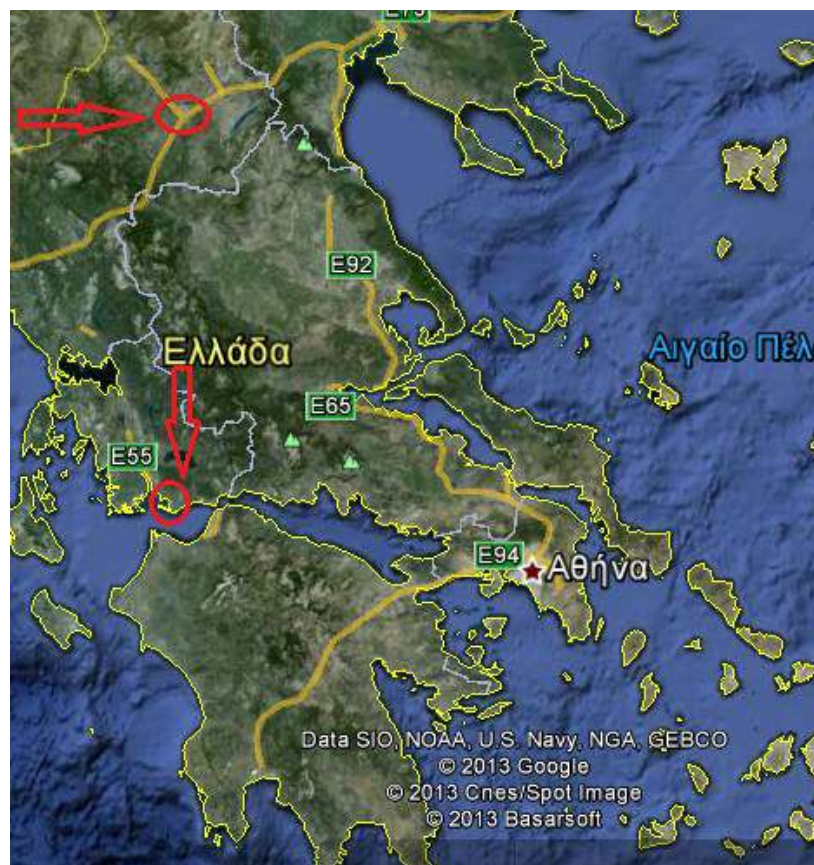
Σχήμα 4.27 Παράδειγμα αποτελεσμάτων του κώδικα V1

Όλοι οι παραπάνω αλγόριθμοι γράφτηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού FORTRAN και φαίνονται στο παράρτημα που ακολουθεί την παρούσα διπλωματική εργασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

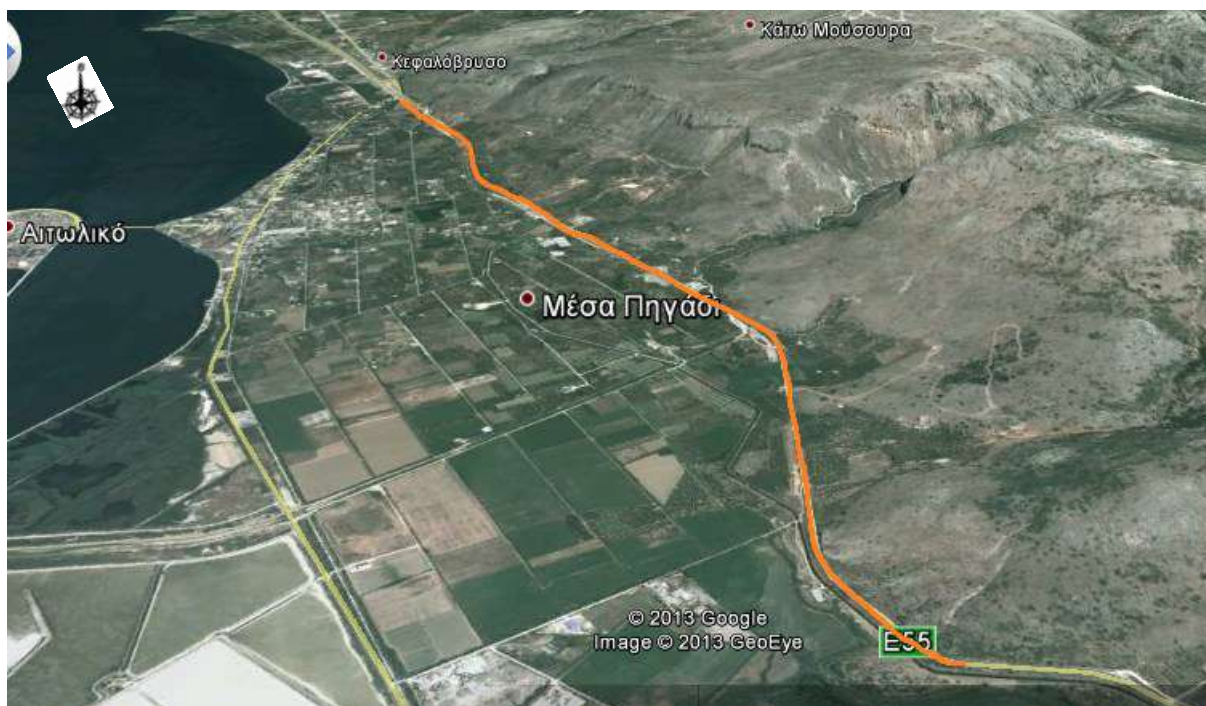
### 5.1 Παραγωγή οριζοντιογραφίας και μηκοτομής της οδού σε υφιστάμενες οδούς

Η διαδικασία παραγωγής της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής πραγματοποιήθηκε για τμήμα της υφιστάμενης εθνικής οδού Αντιρρίου – Ιωαννίνων (μήκους περίπου 5,0 χιλιομέτρων ανάμεσα στις πόλεις του Μεσολογγίου και του Κεφαλόβρυσου) και για τμήμα της υφιστάμενης εθνικής οδού Κοζάνης – Καστοριάς (μήκους περίπου 5,3 χιλιομέτρων, κάτω από τα Σιάτιστα και πάνω από το Μεσοπόταμο), με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, μιας λωρίδας ανά κατεύθυνση. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται μέσω δορυφόρου ( με τη βοήθεια του προγράμματος Google Earth) οι υφιστάμενες οδοί και οι γύρω περιοχές. Οι οδοί αυτές εμφανίζονται και σε τρεις διαστάσεις για να μπορέσουν οι αναγνώστες να κατανοήσουν ευκολότερα την περιοχή που βρίσκονται.

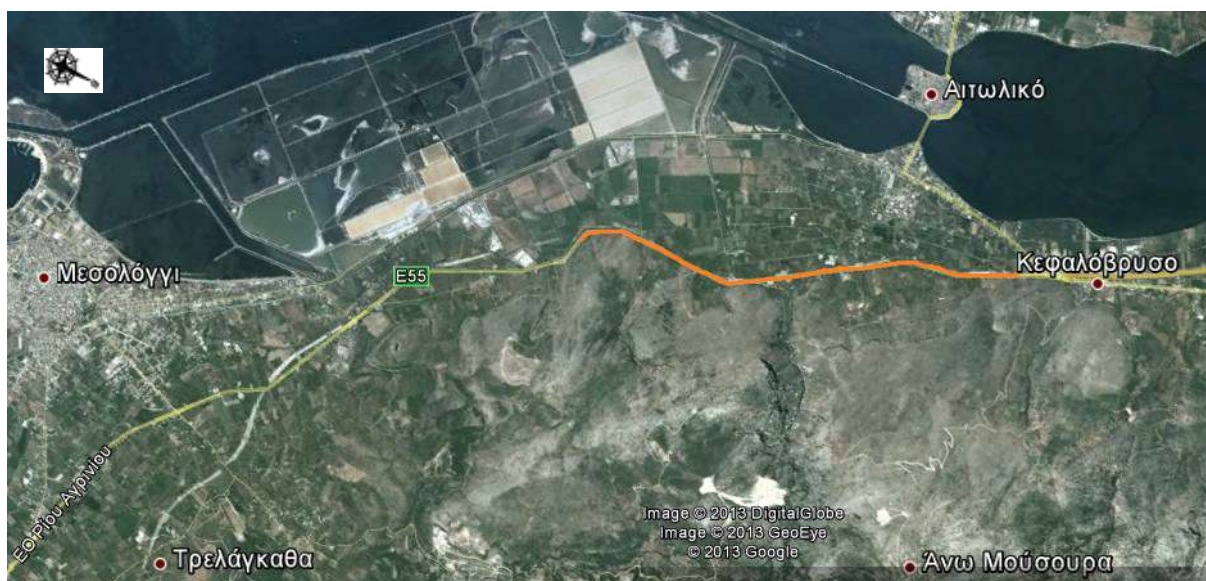


*Εικόνα 5.1 Τοποθέτηση των οδικών έργων στον Ελλαδικό χώρο*





*Εικόνα 5.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση τμήματος της εθνικής οδού Αντιρρίου – Ιωαννίνων (μήκος 5 χλμ)*



*Εικόνα 5.3 Δυσδιάστατη απεικόνιση τμήματος της εθνικής οδού Αντιρρίου – Ιωαννίνων (μήκος 5 χλμ)*





*Εικόνα 5.4 Τρισδιάστατη απεικόνιση τμήματος της εθνικής οδού Κοζάνης – Καστοριάς  
(μήκος 5,3 χλμ)*



*Εικόνα 5.5 Δυσδιάστατη απεικόνιση τμήματος της εθνικής οδού Κοζάνης – Καστοριάς  
(μήκος 5,3 χλμ)*

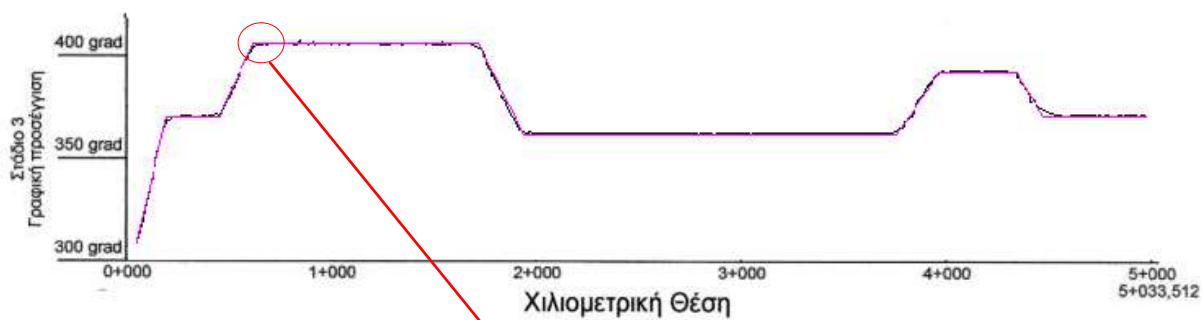
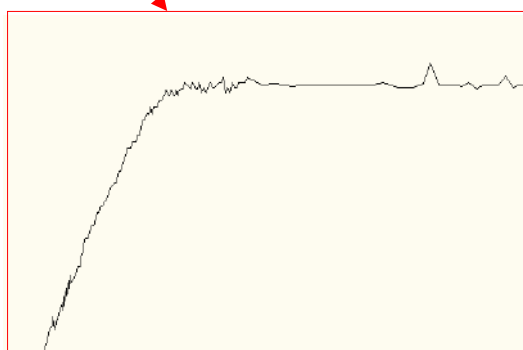
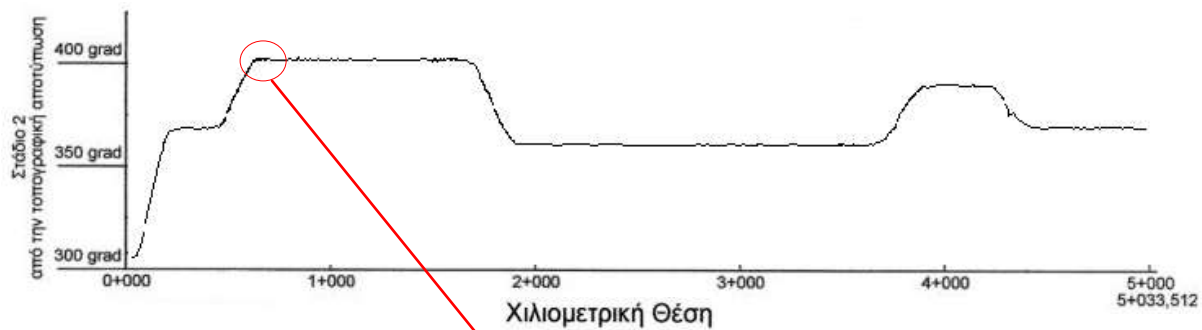
Παρουσιάζονται και για τα δύο έργα αναλυτικά σχήματα και λεπτομέρειες με τα στάδια παραγωγής του γωνιακού διαγράμματος, της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής.

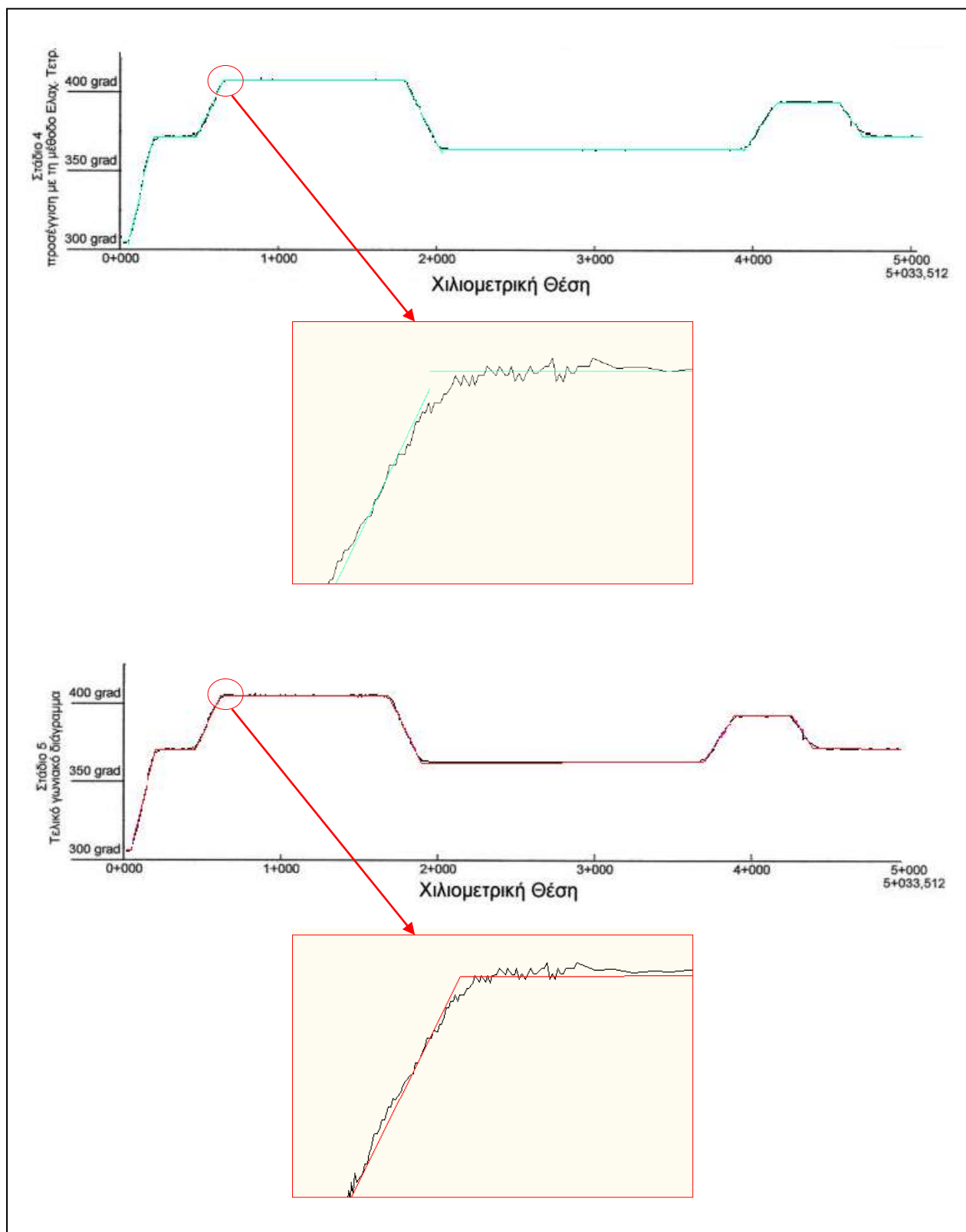
### 5.1.1 Παραγωγή γωνιακού διαγράμματος

Προκειμένου να γίνει η παραγωγή του γωνιακού διαγράμματος της οδού πραγματοποιήθηκαν τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας των δεδομένων της τοπογραφικής αποτύπωσης του άξονα:

1. Έγινε υπολογισμός του μήκους κάθε ευθύγραμμου τμήματος που ορίζουν δύο διαδοχικά σημεία της τοπογραφικής αποτύπωσης. Από το άθροισμα όλων των ευθύγραμμων τμημάτων προέκυψε και το συνολικό μήκος της οδού (Στάδιο 1).
2. Έγινε υπολογισμός του αζιμούθιου του κάθε ευθύγραμμου τμήματος και εν συνεχεία έγινε αποτύπωση κάθε παραγόμενου σημείου σε άξονες χιλιομέτρηση - αζιμούθιο. Ενώνοντας τα παραγόμενα σημεία με ευθείες προκύπτει το γωνιακό διάγραμμα σύμφωνα με την αποτύπωση της οδού (Σχήματα 5.1,5.2 – Στάδιο 2).
3. Με τη βοήθεια της παραπάνω αποτύπωσης έγινε προσπάθεια για την αυτοματοποιημένη παραγωγή του γωνιακού διαγράμματος της οδού αλλά το αποτέλεσμα δεν ήταν ικανοποιητικό. Για τον λόγο αυτό ορίστηκαν γραφικά τα σημεία όπου ήταν εμφανής η θλάση του διαγράμματος βάση της αποτύπωσης και ορίστηκε με τον τρόπο αυτό η "πολυγωνική χρήστη" του γωνιακού διαγράμματος (Σχήματα 5.1,5.2 – Στάδιο 3).
4. Έγινε χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων προκειμένου κάθε θλάση της "πολυγωνικής χρήστη" να προσεγγίζει με το μικρότερο δυνατό σφάλμα τα αποτυπωμένα σημεία. Σημειώνεται ότι στις περιοχές όπου δεν υπάρχει σημαντική μεταβολή αζιμούθιου (αποτελούν δηλαδή τμήμα οριζοντιογραφικής ευθυγραμμίας) αναζητήθηκε η καλύτερη προσέγγιση ευθειών που να έχουν σταθερό αζιμούθιο (Σχήματα 5.1,5.2 - Στάδιο 4).
5. Η τομή των βέλτιστων αυτών ευθειών έδωσε και το τελικό γωνιακό διάγραμμα της οδού, το οποίο ονομάσαμε αζιμουθιακό διάγραμμα (Σχήματα 5.1,5.2 - Στάδιο 5).
6. Από το αζιμουθιακό διάγραμμα προέκυψαν οι περιοχές της οδού όπου υπάρχει ευθυγραμμία (τα τμήματα όπου υπάρχει σταθερό αζιμούθιο) και οι περιοχές όπου υπάρχει κυκλικό τόξο (τα τμήματα όπου υπάρχει γραμμική μεταβολή του αζιμούθιου).

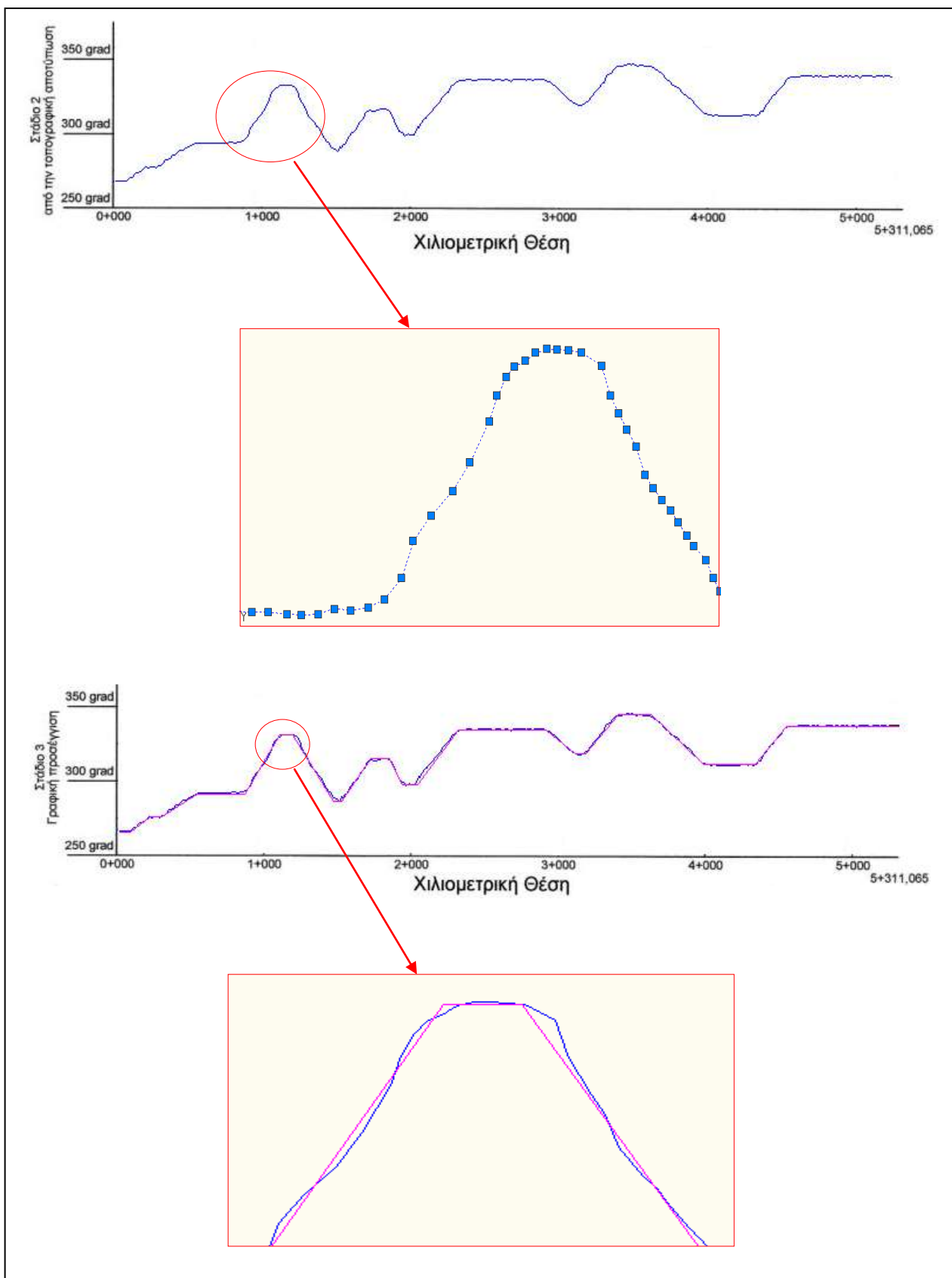
Τα στάδια παραγωγής του γωνιακού διαγράμματος της Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα.

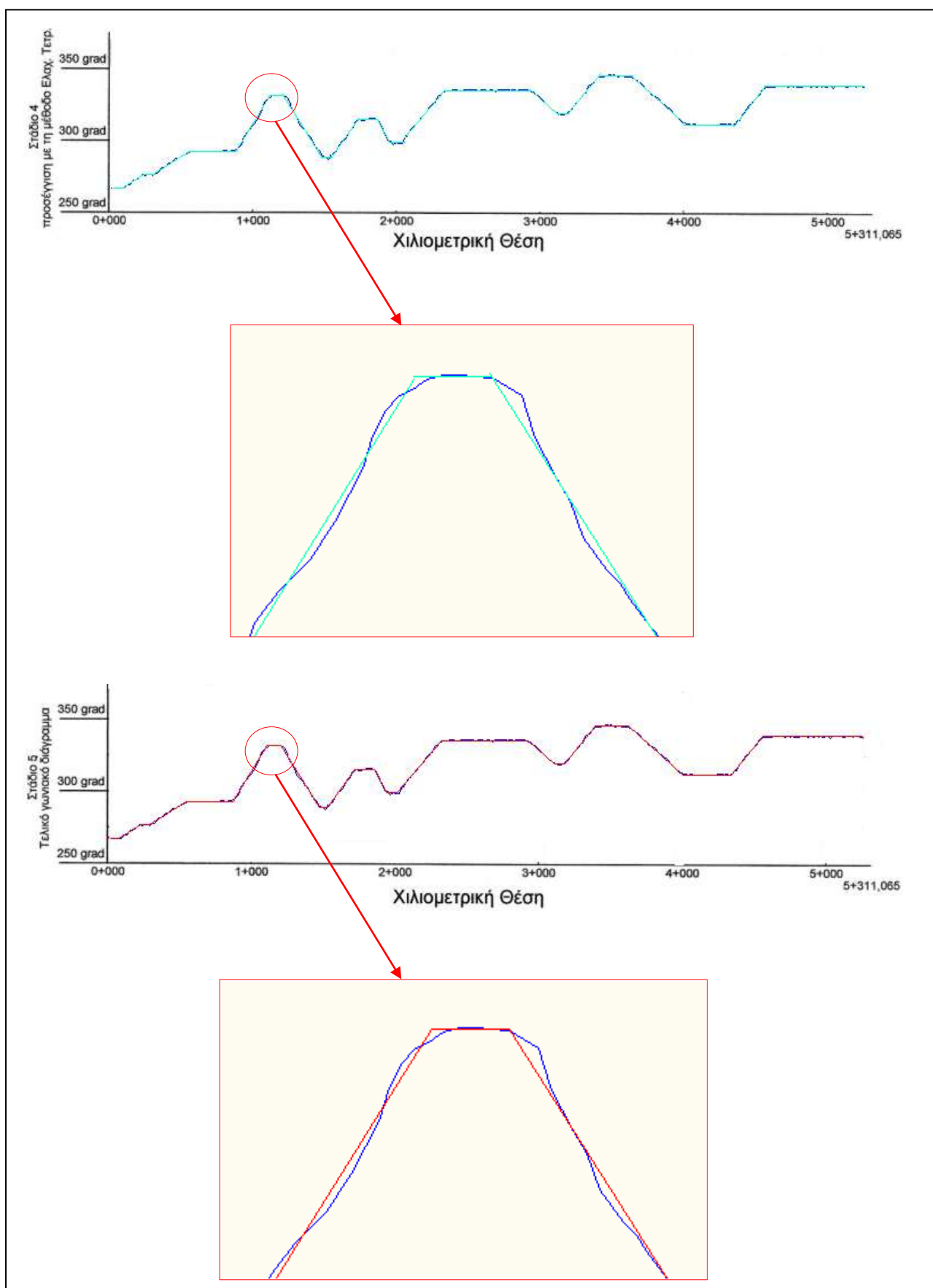




*Σχήμα 5.1* Στάδια παραγωγής γωνιακού διαγράμματος της εθνικής οδού Αντιρρίου - Ιωαννίνων

Τα στάδια παραγωγής του γωνιακού διαγράμματος της Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα.





Σχήμα 5.2 Στάδια παραγωγής γωνιακού διαγράμματος της εθνικής οδού Κοζάνης – Καστοριάς

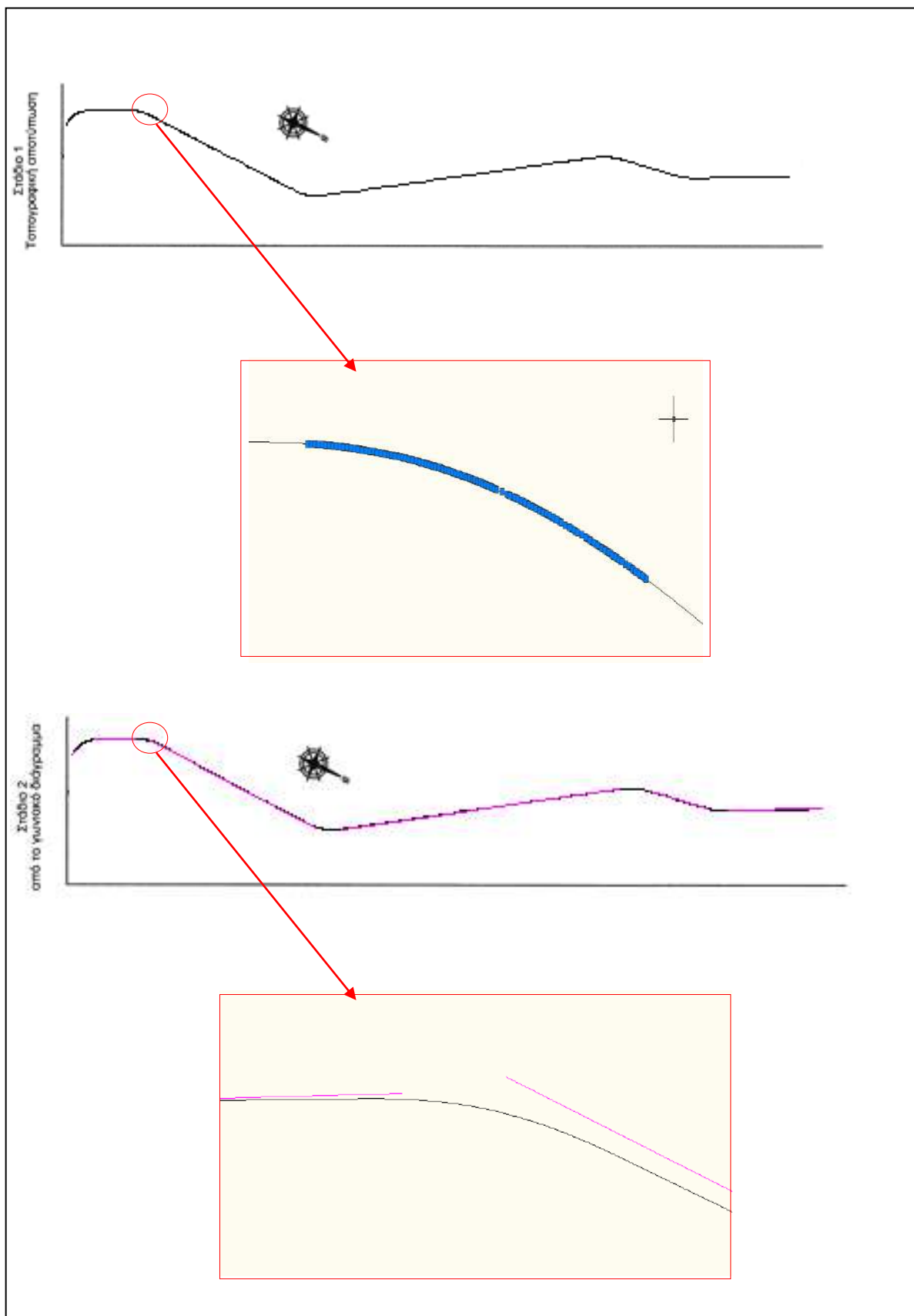
### 5.1.2 Παραγωγή Οριζοντιογραφίας

Προκειμένου να γίνει η παραγωγή της οριζοντιογραφίας της οδού πραγματοποιήθηκαν τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας:

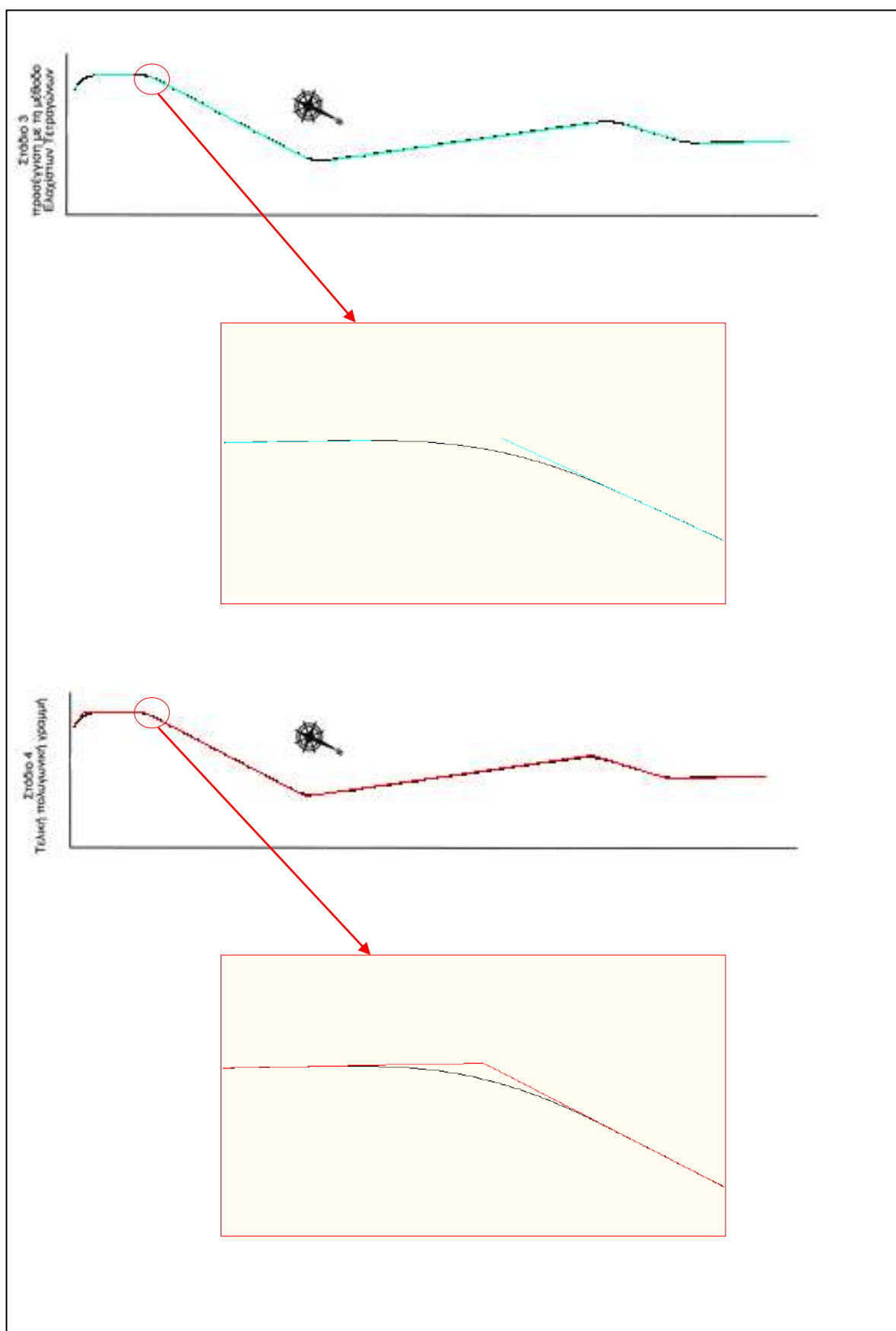
1. Έγινε αποτύπωση κάθε σημείου με βάση τις συντεταγμένες του X και Y. Ενώνοντας τα παραγόμενα σημεία με ευθείες προκύπτει η οριζοντιογραφία της οδού βάσει αποτύπωσης (Σχήματα 5.3, 5.4 - Στάδιο 1).
2. Από τις κορυφές του γωνιακού διαγράμματος (αζιμούθιο και χιλιομέτρηση) αποτυπώθηκαν στην οριζοντιογραφία τα ευθύγραμμα τμήματα (Σχήματα 5.3, 5.4 – Στάδιο 2).
3. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα μεταξύ του αποτυπωμένου άξονα και της τελικής οριζοντιογραφίας έγινε εκ νέου χρήση της Μ.Ε.Τ. έτσι ώστε κάθε ευθύγραμμο τμήμα να προσεγγίζει με το μικρότερο δυνατό σφάλμα τα σημεία της τοπογραφικής αποτύπωσης (Σχήματα 5.3, 5.4 – Στάδιο 3).
4. Η τομή των βέλτιστων αυτών ευθειών έδωσε και την τελική πολυγωνική της οριζοντιογραφίας της οδού (Σχήματα 5.3,5.4 – Στάδιο 4).
5. Από την πολυγωνική και την τιμή των ακτίνων έγινε υπολογισμός όλων των στοιχείων της οριζοντιογραφίας και σχεδιάστηκε ο τελικός άξονας της οδού (Σχήματα 5.3,5.4 – Στάδιο 5)

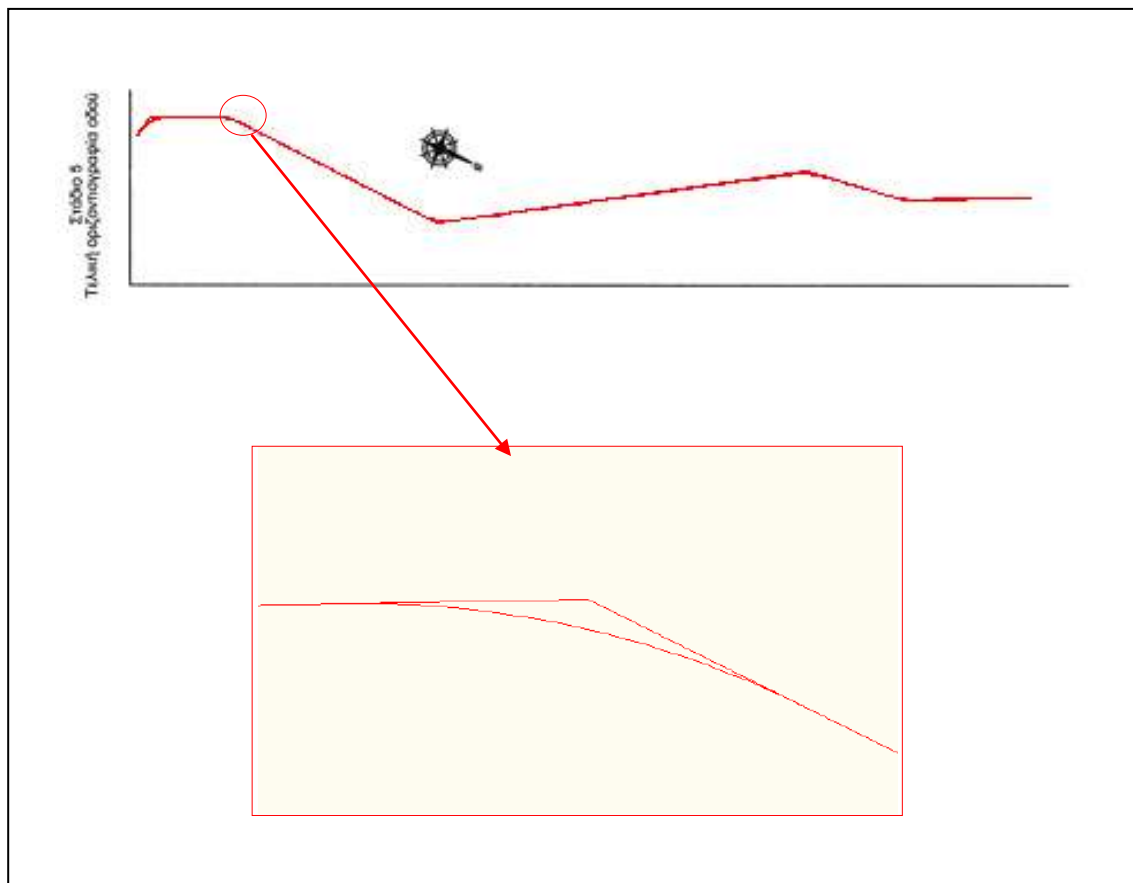
Τα στάδια παραγωγής της οριζοντιογραφίας των τμημάτων των δύο εθνικών οδών παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα.









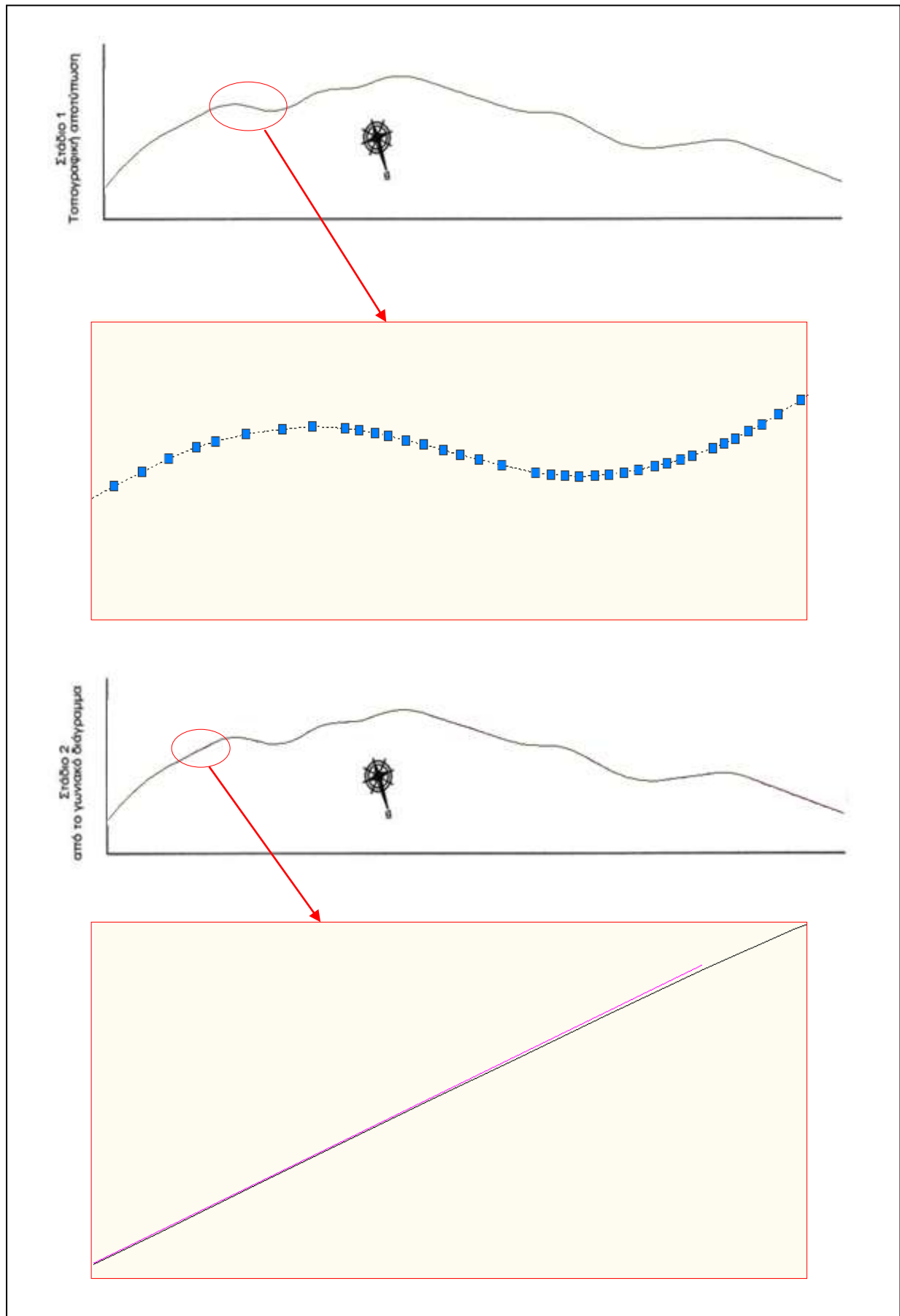


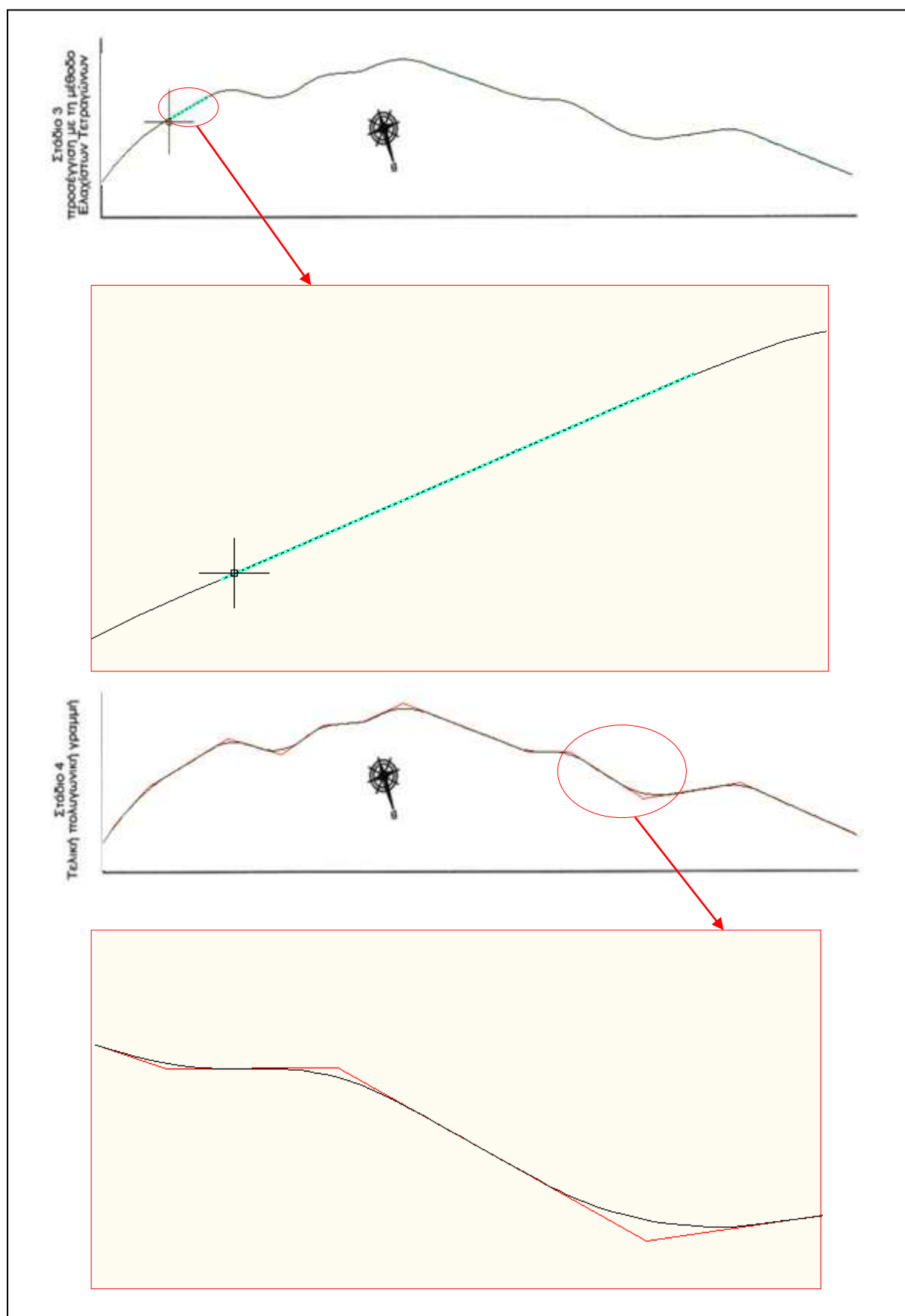
**Σχήμα 5.3** Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της οριζοντιογραφίας της εθνικής οδού Αντιρρίου – Ιωαννίνων

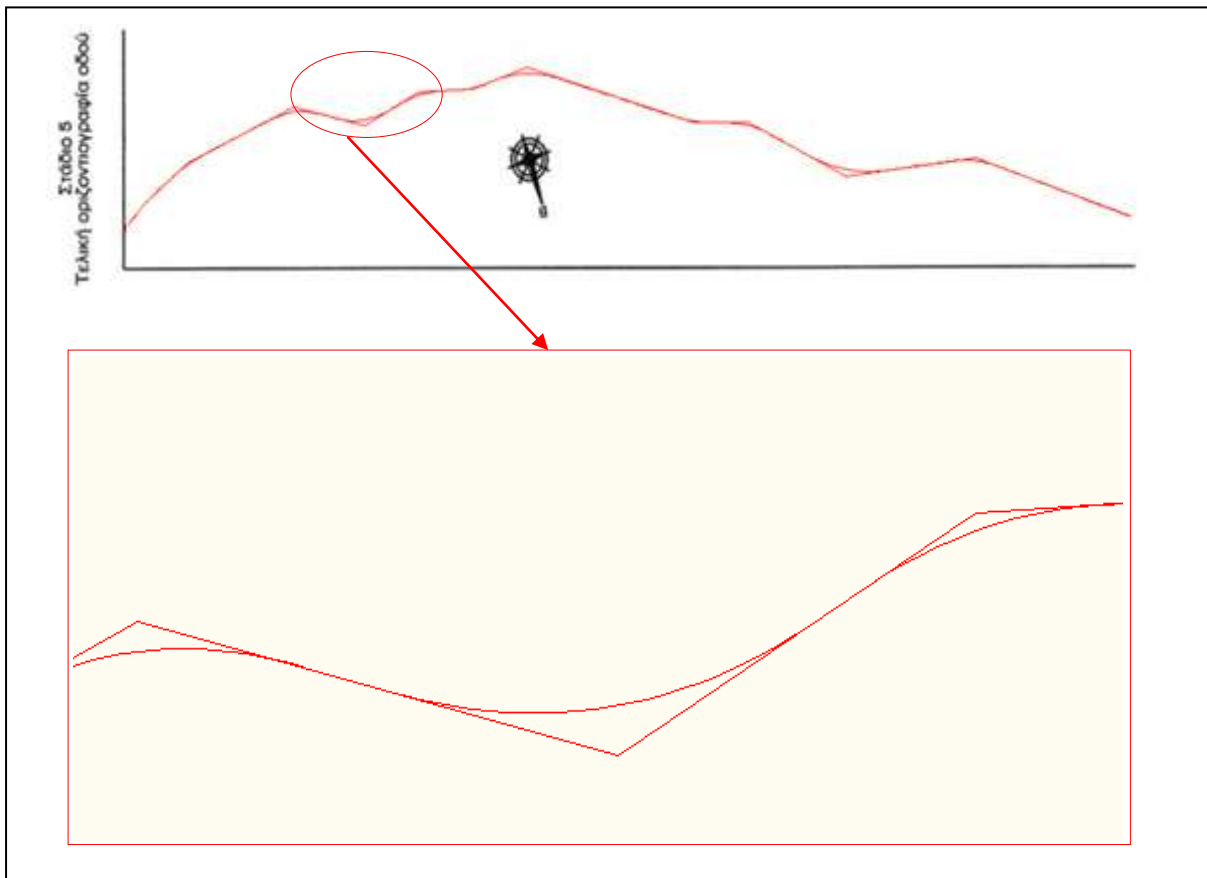
**Πίνακας 11** Πίνακας κορυφών της καινούργιας οριζοντιογραφίας της εθνικής οδού Αντιρρίου - Ιωαννίνων

ΙΟΝΙΑ	ΙΟΝΙΑ	ΙΟΝΙΑ	ΙΟΝΙΑ	ΙΟΝΙΑ	ΙΟΝΙΑ	ΙΟΝΙΑ
K1 X=272162.4900 Y=4254595.7740	K2 X=272050.1330 Y=4254610.7460 B=140.4597grad R=160.22 AK=80.9L KD=19.27 ΑΥΑΚΥΚ=149.84	K3 X=271846.9820 Y=4254980.0260 B=168.1323grad R=310.35 AK=79.34 KD=9.98 ΑΥΑΚΥΚ=155.35	K4 X=271843.7500 Y=4256254.0410 B=160.4460grad R=354.92 AK=113.95 KD=17.84 ΑΥΑΚΥΚ=220.51	K5 X=270658.7280 Y=4257900.6700 B=172.6362grad R=469.21 AK=102.42 KD=11.05 ΑΥΑΚΥΚ=201.63	K6 X=270555.4030 Y=4258426.6470 B=180.3496grad R=438.93 AK=68.29 KD=6.28 ΑΥΑΚΥΚ=135.49	K7 X=270224.1100 Y=4259029.2850

Αντίστοιχα φαίνονται με λεπτομέρειες και τα στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της οριζοντιογραφίας για το τμήμα μήκους 5 χλμ περίπου της εθνικής οδού Κοζάνης – Καστοριάς στο παρακάτω σχήμα.







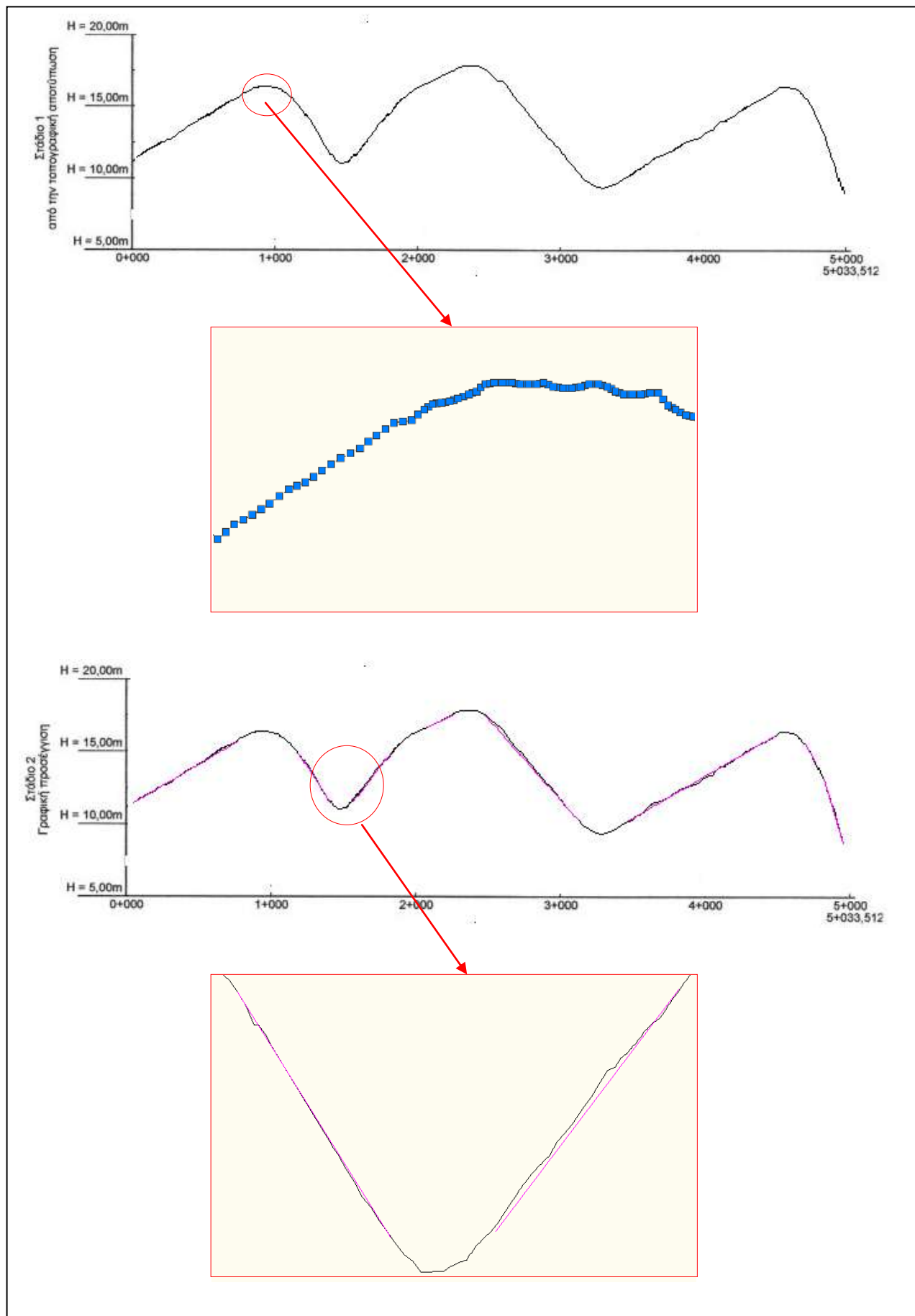
**Σχήμα 5.4** Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της οριζοντιογραφίας της εθνικής οδού Κοζάνης - Καστοριάς

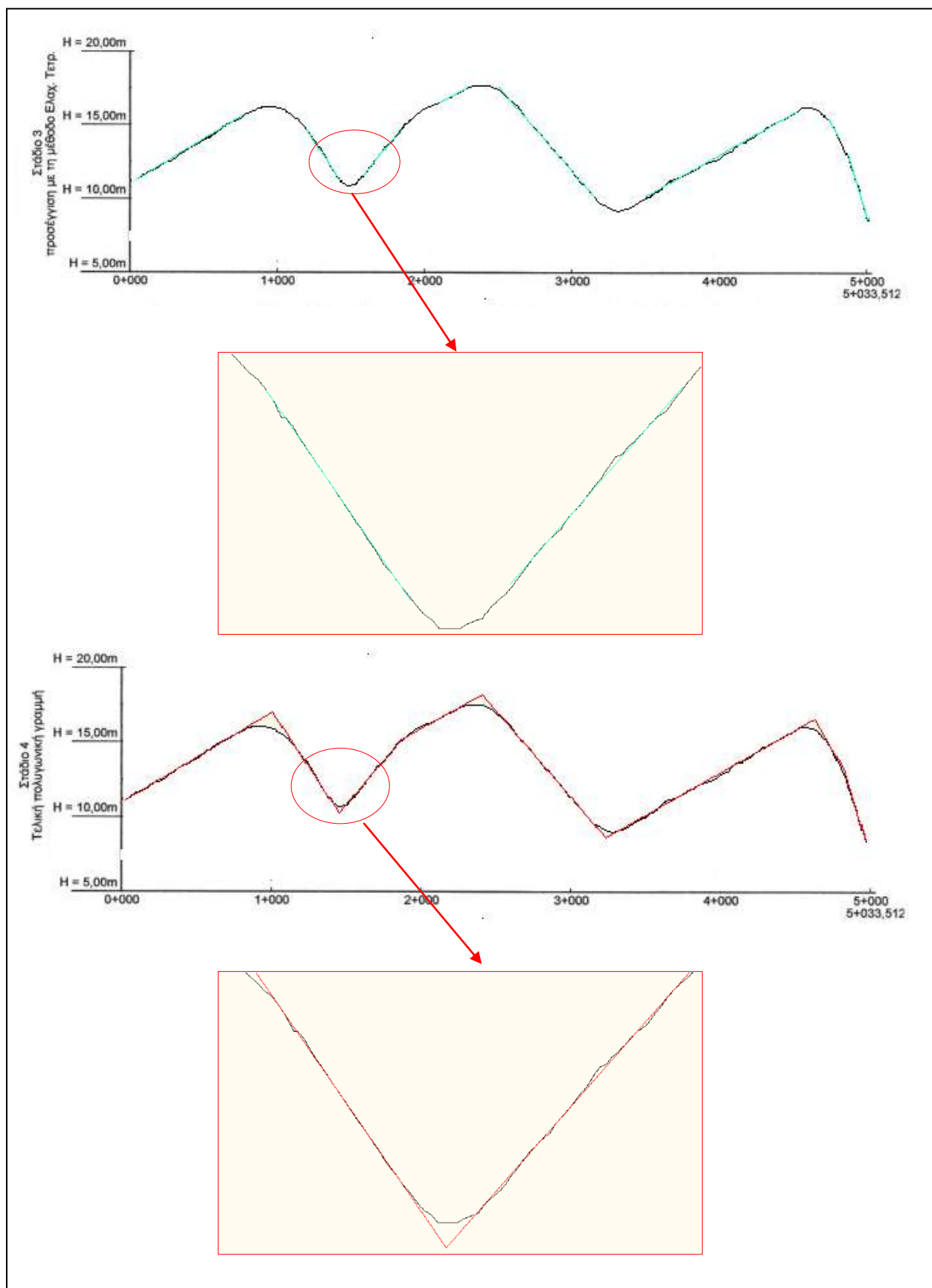
### 5.1.3 Παραγωγή Μηκοτομής

Προκειμένου να γίνει η παραγωγή της μηκοτομής της οδού πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχα στάδια επεξεργασίας των δεδομένων της τοπογραφικής αποτύπωσης του άξονα:

1. Έγινε σχεδίαση κάθε σημείου της τοπογραφικής αποτύπωσης σε άξονες χιλιομέτρηση - υψόμετρο (Σχήματα 5.5, 5.6 – Στάδιο 1).
2. Με τη βοήθεια της παραπάνω σχεδίασης έγινε προσπάθεια για την αυτοματοποιημένη παραγωγή της μηκοτομής της οδού αλλά το αποτέλεσμα δεν ήταν το αναμενόμενο. Για τον λόγο αυτό ορίσθηκαν χειρωνακτικά τα τμήματα που η μηκοτομή παρουσίαζε σταθερή κατά μήκος κλίση (Σχήματα 5.5,5.6 – Στάδιο 2).
3. Έγινε χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων προκειμένου οι ευθυγραμμίες του δεύτερου σταδίου να προσεγγίσουν με το μικρότερο δυνατό σφάλμα τα αποτυπωμένα σημεία (Σχήματα 5.5,5.6 – Στάδιο 3).
4. Η τομή των βέλτιστων αυτών ευθειών έδωσε και την τελική πολυγωνική της μηκοτομής της οδού (Σχήματα 5.5,5.6 – Στάδιο 4).
5. Με βάση την τελική πολυγωνική της μηκοτομής έγινε χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων προκειμένου να υπολογιστούν οι βέλτιστοι κύκλοι που εφάπτονται στην πολυγωνική και προσεγγίζουν με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια τα αποτυπωμένα σημεία. Από την πολυγωνική και την τιμή των ακτίνων στρογγύλευσης, έγινε υπολογισμός όλων των στοιχείων της μηκοτομής και αποδόθηκε η τελική ερυθρά της οδού (Σχήματα 5.5,5.6 – Στάδιο 5).

Τα στάδια παραγωγής της μηκοτομής των δύο τμημάτων των εθνικών οδών παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχήματα.

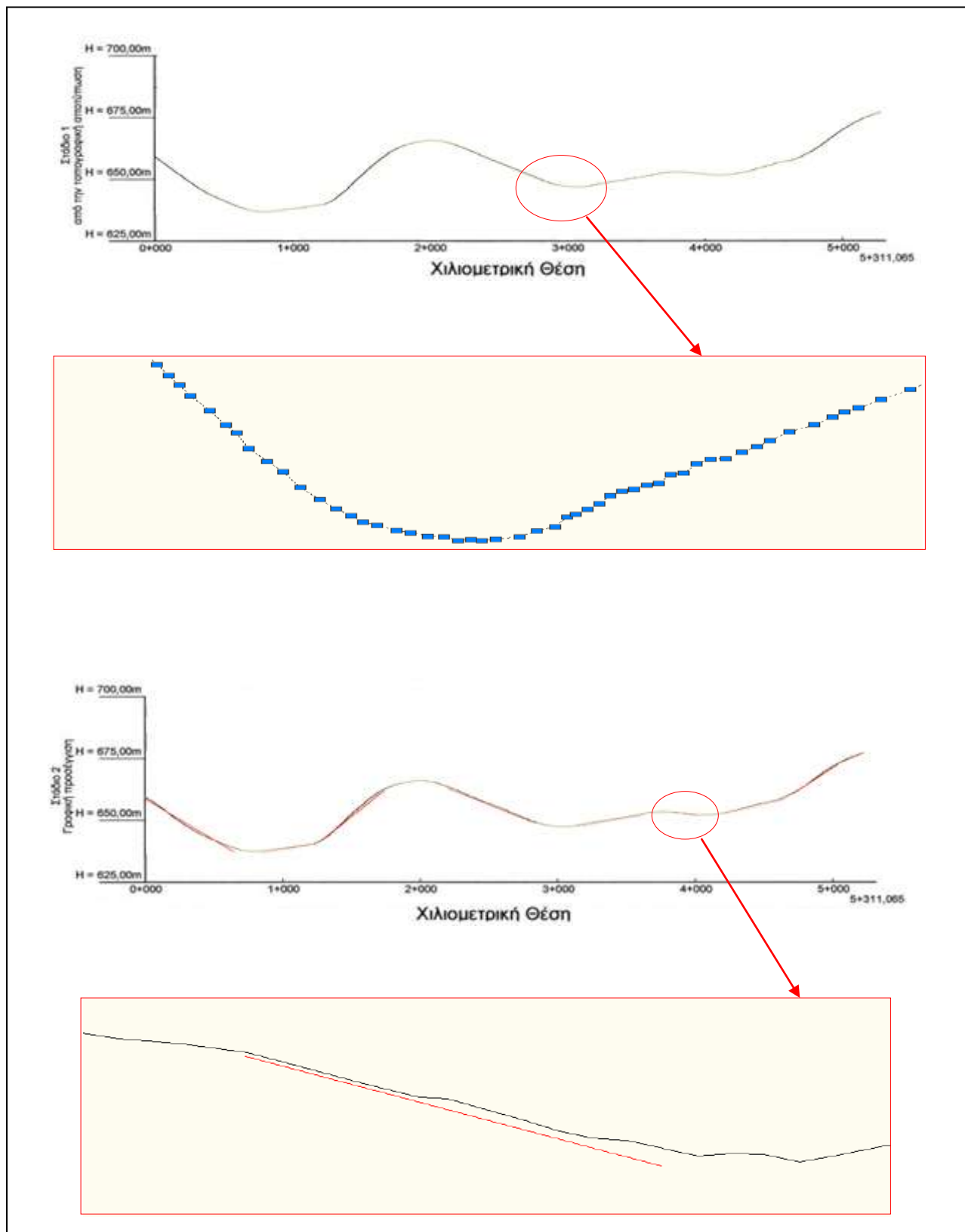


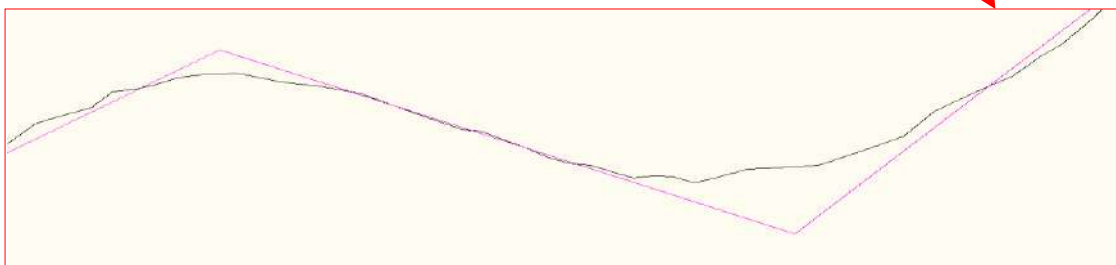
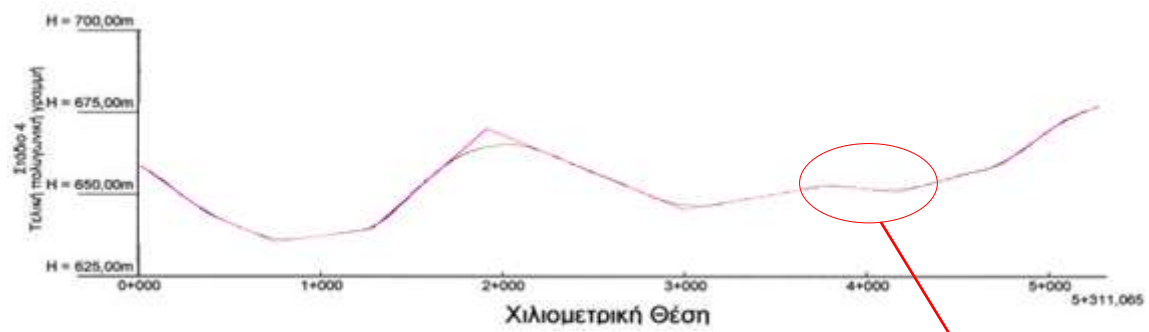
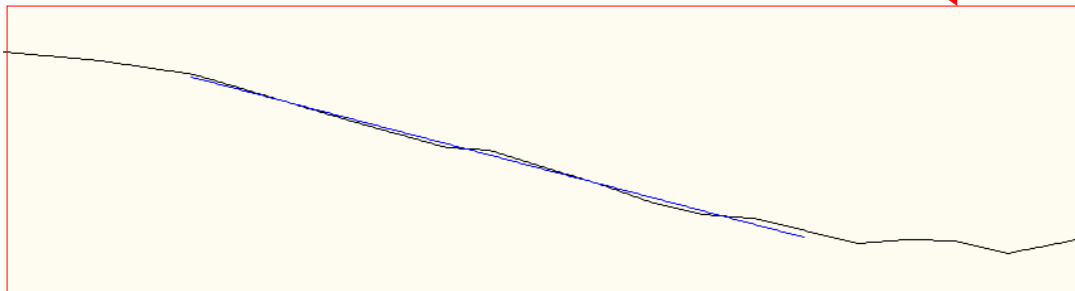
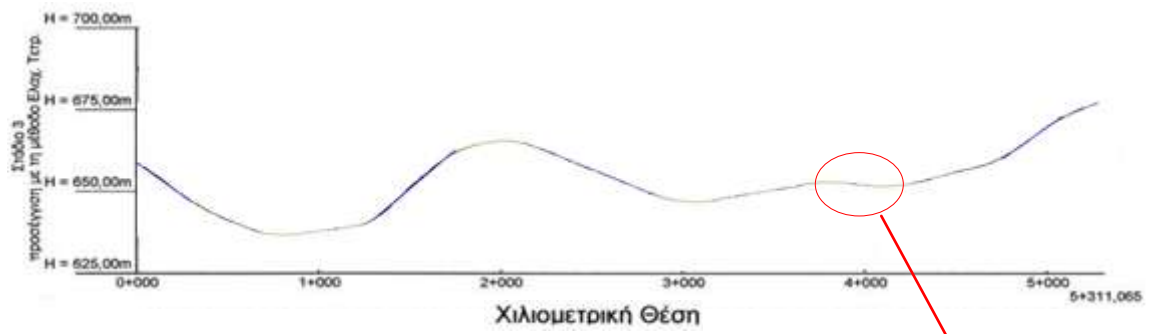


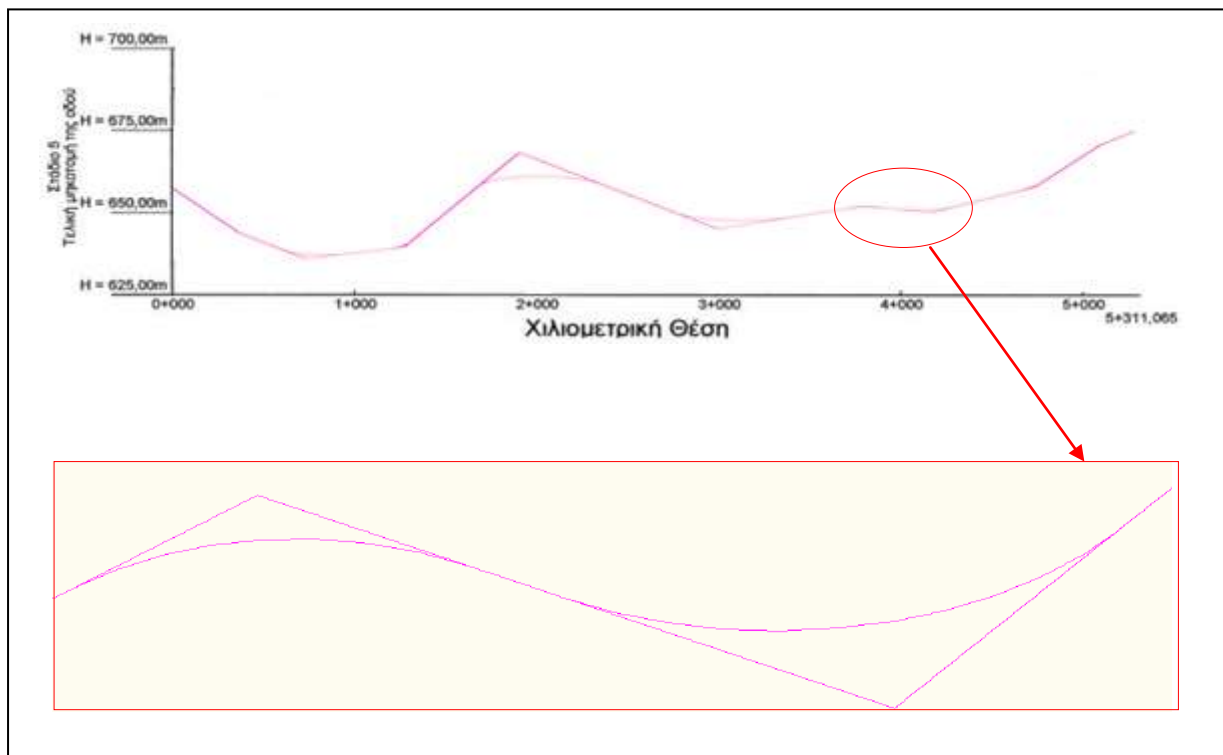
Σχήμα 5.5 Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της μηκοτομής. (Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων, (Κλίμακα υψών) = 100 x (Κλίμακα μηκών))



Αντίστοιχα φαίνονται με λεπτομέρειες και τα στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της μηκοτομής για το τμήμα μήκους περίπου 5 χλμ της εθνικής οδού Κοζάνης – Καστοριάς στο παρακάτω σχήμα.







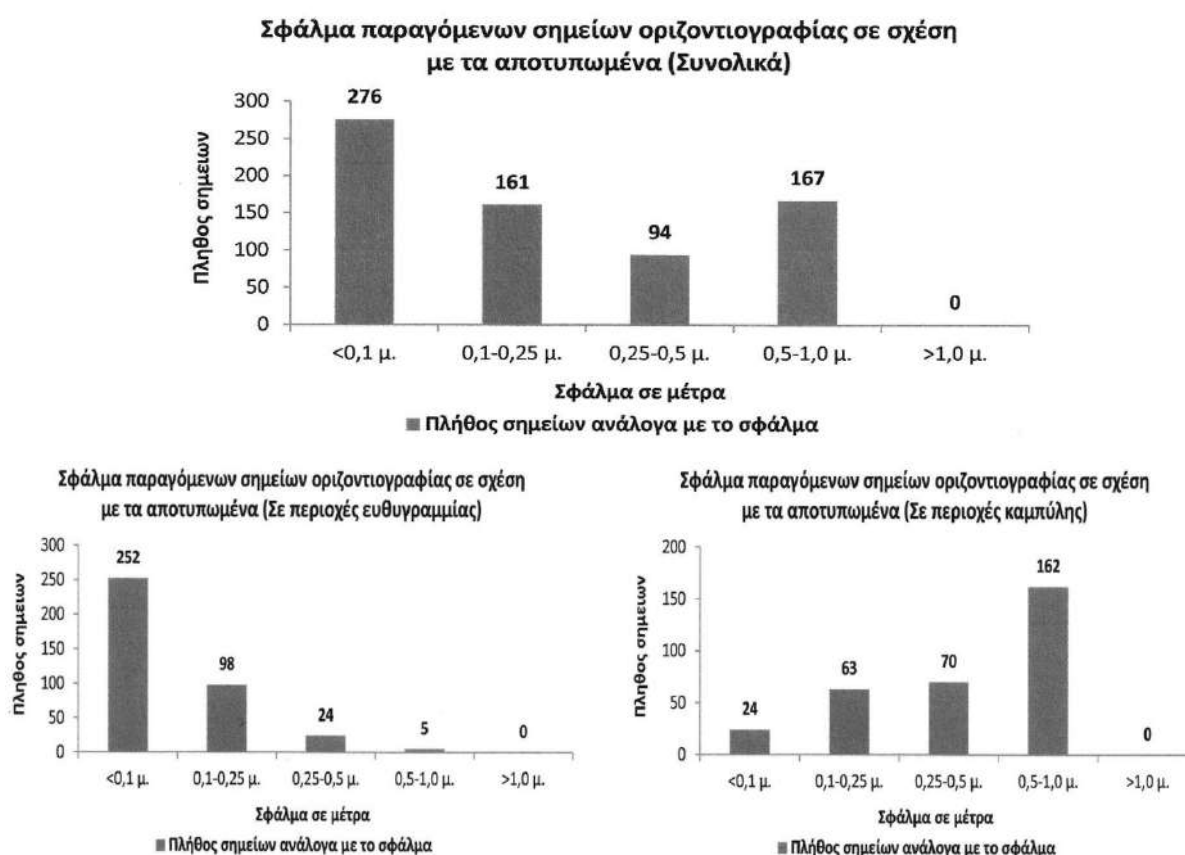
**Σχήμα 5.6** Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της μηκοτομής. (Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς, (Κλίμακα υψών) = 20 x (Κλίμακα μηκών))

## 5.2 Ακρίβεια στην προσέγγιση της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής

Με βάση την παραπάνω διαδικασία είναι εφικτή η μαθηματική προσέγγιση του άξονα της οριζοντιογραφίας και της ερυθράς της μηκοτομής όμως είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε την ακρίβεια που επιτυγχάνεται από την προσέγγιση αυτή.

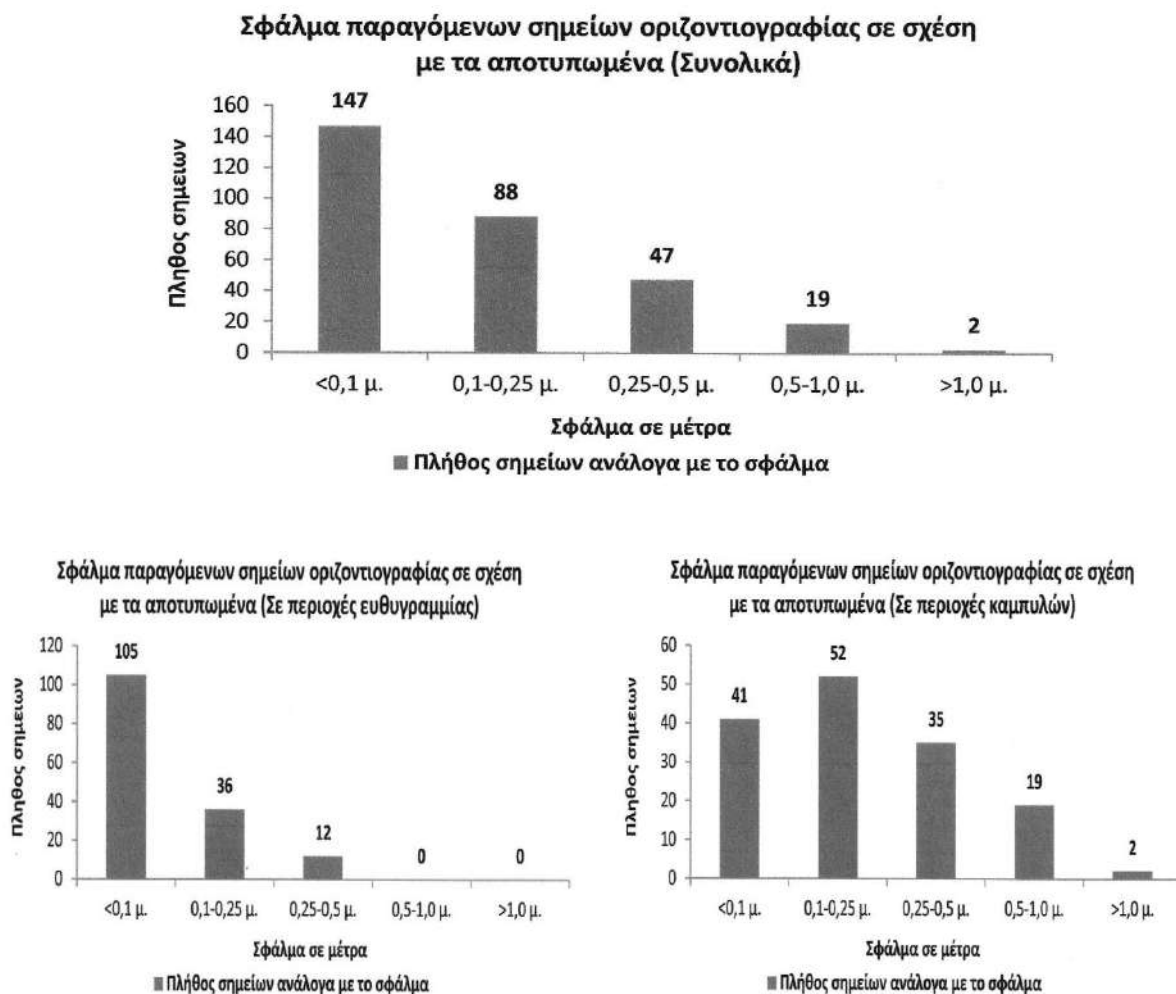
### 5.2.1 Οριζοντιογραφία

Ο άξονας της οριζοντιογραφίας του τμήματος της Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων προέκυψε με βάση τον άξονα τοπογραφικού υποβάθρου αποτελούμενο από 698 σημεία και η μέση απόκλιση των παραπάνω σημείων σε σχέση με τον παραγόμενο άξονα είναι 27εκ. Πάντως παρατηρείται (όπως και αναμενόταν) ότι η απόκλιση στις περιοχές ευθυγραμμίων περιορίζεται σε 10εκ., ενώ σε περιοχές καμπυλών αυξάνει σε 48εκ. Το σφάλμα αυτό είναι πιθανό να περιοριστεί σε περίπτωση που εξαχθεί κατάλληλη πληροφορία σχετικά με τις παραμέτρους των καμπύλων συναρμογής. Στο Σχήμα 5.7 αποτυπώνεται το πλήθος των σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν (για το σύνολο του οδικού τμήματος, σε ευθυγραμμίες, σε καμπύλες).



**Σχήμα 5.7** Πλήθος σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν στην οριζοντιογραφία (Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων)

Ο άξονας της οριζοντιογραφίας του τμήματος της Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς προέκυψε με βάση τον άξονα τοπογραφικού υποβάθρου αποτελούμενο από 303 σημεία και η μέση απόκλιση των παραπάνω σημείων σε σχέση με τον παραγόμενο άξονα είναι 17εκ. Σημειώνεται και πάλι ότι η απόκλιση στις περιοχές ευθυγραμμίων περιορίζεται σε 9εκ., ενώ σε περιοχές καμπυλών αυξάνει σε 26εκ. Στα ακόλουθα διαγράμματα αποτυπώνεται το πλήθος των σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν (για το σύνολο του οδικού τμήματος, σε ευθυγραμμίες, σε καμπύλες).

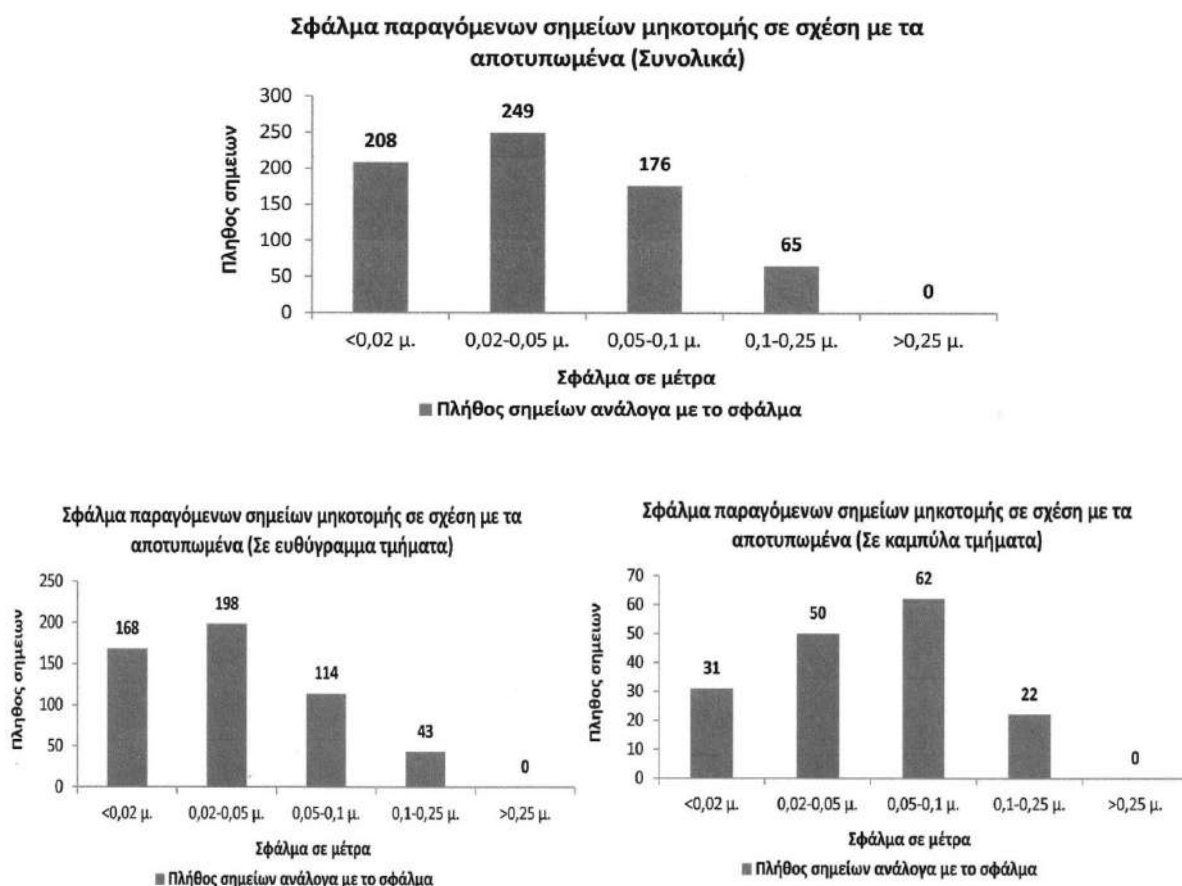


**Σχήμα 5.8** Πλήθος σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν στην οριζοντιογραφία (Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς)

Το σφάλμα και στις δύο περιπτώσεις κρίνεται ικανοποιητικό ενώ μπορεί να περιοριστεί ακόμα περισσότερο στην περίπτωση που εξαχθεί κατάλληλη πληροφορία σχετικά με τις καμπύλες συναρμογής (κλωθοειδείς).

### 5.2.2 Μηκοτομή

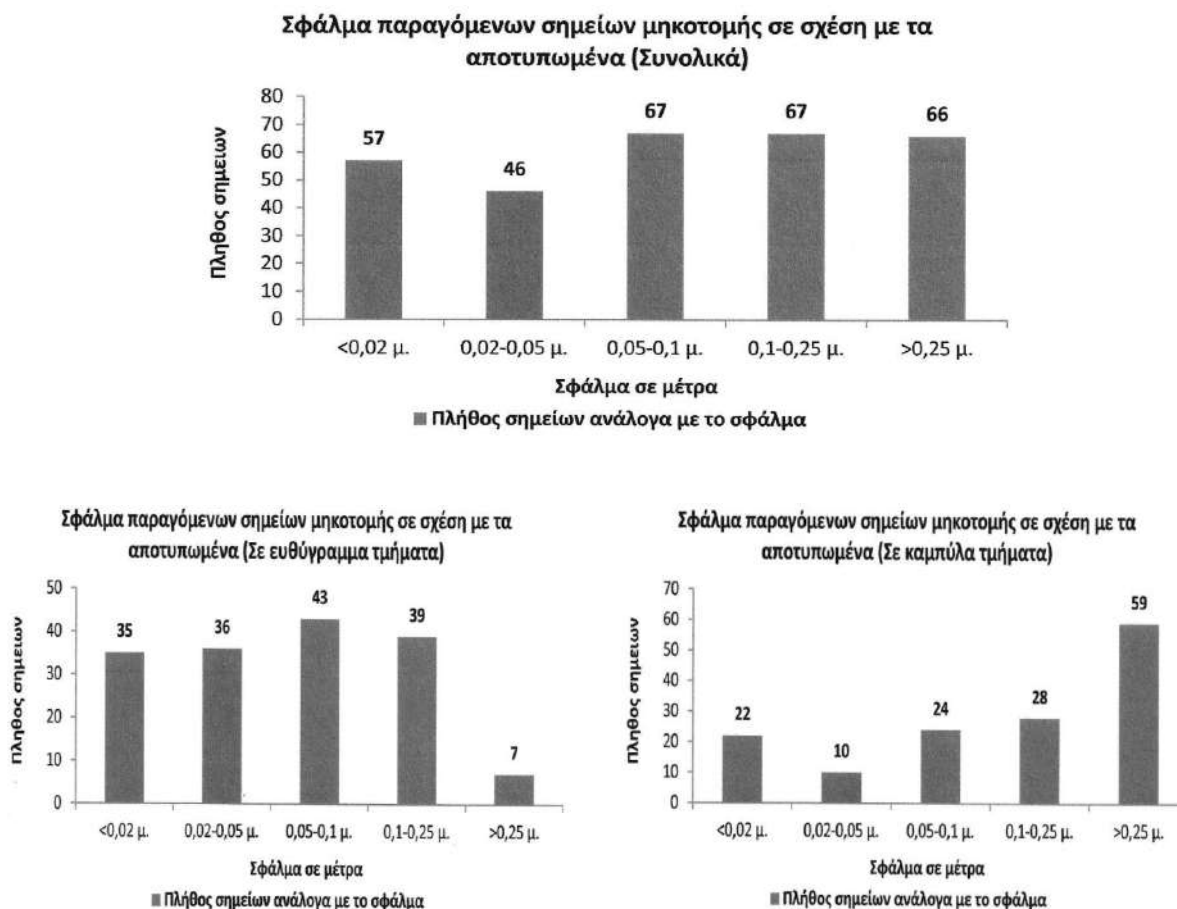
Η ερυθρά της μηκοτομής του τμήματος της Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων προέκυψε με βάση τα υψόμετρα των 698 σημείων του τοπογραφικού και η μέση απόκλιση των παραπάνω σημείων σε σχέση με την παραγόμενη ερυθρά είναι 4,5εκ. Η απόκλιση παρουσιάζεται περίπου ίδια στα τμήματα με σταθερή κατά μήκος κλίση σε σχέση με τα καμπύλα τμήματα (4,2εκ. και 5,7εκ. αντίστοιχα). Στο Σχήμα 5.9 αποτυπώνεται το πλήθος των σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν (για το σύνολο του οδικού τμήματος, σε ευθύγραμμα τμήματα, σε καμπύλες).



**Σχήμα 5.9** Πλήθος σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν στη μηκοτομή (Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων)

Η ερυθρά της μηκοτομής του τμήματος της Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς προέκυψε με βάση τα υψόμετρα των 303 σημείων του τοπογραφικού και η μέση απόκλιση των παραπάνω σημείων

σε σχέση με την παραγόμενη ερυθρά είναι 16εκ. Η απόκλιση παρουσιάζει σημαντική διαφορά στα τμήματα με σταθερή κατά μήκος κλίση σε σχέση με τα καμπύλα τμήματα (8εκ. και 25εκ. αντίστοιχα). Στο Σχήμα 5.10 αποτυπώνεται το πλήθος των σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν (για το σύνολο του οδικού τμήματος, σε ευθύγραμμα τμήματα, σε καμπύλες).



**Σχήμα 5.10** Πλήθος σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν στη μηκοτομή (Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς)

Το σφάλμα και στις δύο περιπτώσεις κρίνεται ικανοποιητικό. Αξίζει να σημειωθεί ότι το σφάλμα που προκύπτει από την επεξεργασία του πεδινού οδικού τμήματος (Ε.Ο Αντιρρίου - Ιωαννίνων) είναι σημαντικά μικρότερο σε σχέση με το σφάλμα που προκύπτει από την επεξεργασία του ορεινού οδικού τμήματος (Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς).

### 5.3 Έλεγχος οριζοντιογραφίας και μηκοτομής με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς

Με τη βοήθεια της διαδικασίας που περιγράφηκε στα προηγούμενα εδάφια παράγονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία που ορίζουν την οριζοντιογραφία και την ερυθρά της μηκοτομής της οδού. Ταυτόχρονα επισημαίνεται η ακρίβεια που έχει επιτευχθεί από την παραπάνω διαδικασία προκειμένου να αξιολογηθεί το παραγόμενο αποτέλεσμα. Τελικά πραγματοποιείται αξιολόγηση της γεωμετρίας του οδικού δικτύου με σκοπό την επισήμανση περιοχών που αποκλίνουν από τα όρια που έχουν τεθεί στους σύγχρονους ισχύοντες κανονισμούς (ΟΜΟΕ) και επομένως θεωρείται ότι αποτελούν εν δυνάμει σημεία οδικών ατυχημάτων.

Προκειμένου το πρόγραμμα να πραγματοποιήσει τους ελέγχους αναφορικά με τη γεωμετρία της οδού ζητείται από το χρήστη η εισαγωγή των ακόλουθων γενικών στοιχείων:

1. Ταχύτητα μελέτης
2. Κατηγορία Οδού
3. Μορφολογία εδάφους

Το πρόγραμμα πραγματοποιεί 19 αυτοματοποιημένους ελέγχους που περιγράφονται συνοπτικά ακολούθως:

1. Συνδυασμός ταχύτητας και κατηγορίας οδού
2. Μέγιστο μήκος ευθυγραμμίας
3. Ελάχιστο μήκος ευθυγραμμίας ομόρροπων καμπυλών
4. Ύπαρξη ακτίνας
5. Ακτίνα οριζοντιογραφίας
6. Μήκος κυκλικού τόξου
7. Αλληλουχία ακτίνων οριζοντιογραφίας
8. Ύπαρξη κλωθοειδών
9. Παράμετρος κλωθοειδούς
10. Ελάχιστη εκτροπή σε μεγάλες ακτίνες οριζοντιογραφίας
11. Χρήση τόξου συναρμογής
12. Μέγιστη κατά μήκος κλίση μηκοτομής
13. Ελάχιστη κατά μήκος κλίση μηκοτομής
14. Απαίτηση κοίλης ή κυρτής καμπύλης



15. Απαιτούμενη απόσταση κορυφών πολυγωνικής μηκοτομής
16. Ακτίνα κοίλων και κυρτών καμπυλών
17. Απαιτούμενο μήκος εφαπτομένης
18. Κριτήριο ασφαλείας I
19. Κριτήριο ασφαλείας II

Στα δύο τμήματα που πραγματοποιήθηκε έλεγχος παρουσιάστηκαν οι ακόλουθες αποκλίσεις από τους κανονισμούς:

**E.O. Αντίρριο - Ιωάννινα**

1. Υπέρβαση μέγιστου μήκους ευθυγραμμίας (1662μ. αντί για 1600μ.)
2. Ανεπαρκές μήκος ευθύγραμμου τμήματος μεταξύ ομόρροπων οριζοντιογραφικών καμπυλών (262μ. αντί για 480μ.)
3. Ακτίνα κυρτής καμπύλης κάτω από το επιτρεπόμενο όριο (2370μ. αντί για 4500μ)
4. Μήκος εφαπτομένης T της μηκοτομής μικρότερο από το επιτρεπόμενο όριο (20μ. αντί για 80μ.)
5. Κριτήριο II (σύγκριση  $V_{85}$ ) απαράδεκτο μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών.

**E.O. Κοζάνης - Καστοριά**

1. Ανεπαρκές μήκος ευθύγραμμου τμήματος μεταξύ ομόρροπων οριζοντιογραφικών καμπυλών (66μ. και 327μ. αντί για 480μ.)
2. Μήκος εφαπτομένης T της μηκοτομής μικρότερο από το επιτρεπόμενο όριο (72μ. αντί για 80μ.)

#### 5.4. Επισήμανση προβληματικών θέσεων

Από τα αποτελέσματα των ελέγχων που πραγματοποιούνται μέσω του προγράμματος, επισημαίνονται οι περιοχές του οδικού δικτύου που αποτελούν εν δυνάμει θέσεις οδικών ατυχημάτων. Δεδομένου ότι η απόκλιση από τους κανονισμούς μπορεί να είναι σημαντική (π.χ. ακτίνα κυρτής καμπύλης 2.370μ. αντί για 4.500μ.) ή οριακή (π.χ. μήκος ευθύγραμμου τμήματος 1.662μ. με μέγιστο όριο τα 1.600μ.), είναι σημαντικό σε κάθε περιοχή να επισημαίνεται και το μέγεθος της απόκλισης.

Η αναφορά αυτή μπορεί να γίνεται με ένα ανηγμένο μέγεθος όπως π.χ. η ακόλουθη μαθηματική σχέση :

$$\left| \frac{\text{ΤιμήΠροκύπτουσα} - \text{ΤιμήΚανονισμού}}{\text{ΤιμήΚανονισμού}} \right|$$

Στα δύο παραπάνω παραδείγματα προκύπτει ότι :

$$\left| \frac{2370 - 4500}{4500} \right| = 0,4733 \quad \text{ή } 47,33\% \quad \text{και} \quad \left| \frac{1662 - 1600}{1600} \right| = 0,03875 \quad \text{ή } 3,875\%$$

Ο αριθμός αυτός δίνει το μέγεθος της απόκλισης και επομένως την κρισιμότητα της μη συμμόρφωσης προς τους κανονισμούς.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - 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 καθώς και από παλαιότερες διπλωματικές εργασίες του Ε.Μ.Π. Ακόμα επιχειρήθηκε μία συνοπτική παρουσίαση νέων τεχνολογιών των οποίων έχουν κάνει χρήση ερευνητές με στόχο την ψηφιακή αποτύπωση υφιστάμενων οδών. Εν συνεχεία, παρουσιάστηκαν νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούν οι ερευνητές για την αποτύπωση υφιστάμενων οδών καθώς και τα κυριότερα προγράμματα οδοποιίας που χρησιμοποιούν οι Έλληνες μελετητές για τη γεωμετρική χάραξη των 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 σύνταξης του νέου προγράμματος. Στη συνέχεια, έγινε μία σύντομη παρουσίαση του λογισμικού οδοποιίας H12, στο περιβάλλον του οποίου λειτουργεί το νέο πρόγραμμα ελέγχου των οδών. Της παρουσίασης αυτής, ακολούθησε μία αναλυτική περιγραφή και επεξήγηση του συνόλου των αλγορίθμων που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Μετά το πέρας της σύνταξης των αλγορίθμων, επεξεργάστηκαν, με τη βοήθεια του H12, 2 οδικά τμήματα και εξάχθηκαν τα αποτελέσματα που χρησιμοποιήθηκαν από τον γράφοντα για τον έλεγχο της οδικής ασφάλειας.

- ✓ Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε μία επιτυχής προσπάθεια παραγωγής της μηκοτομής και της οριζοντιογραφίας μίας υφιστάμενης οδού. Αναπτύχθηκε ένα πρόγραμμα που, με γνώμονα τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας και με βάση τους ελέγχους που περιγράφονται στην προηγούμενη παράγραφο, είναι δυνατή και ευχερής η επισήμανση των θέσεων του οδικού δικτύου όπου δεν πληρούνται οι σχετικοί κανονισμοί και αποτελούν εν δυνάμει θέσεις οδικών ατυχημάτων.

- ✓ Το πακέτο προγραμμάτων οδοποιίας H12, το οποίο προορίζεται κατά κύριο λόγο για την εξοικείωση των σπουδαστών του Ε.Μ.Π με ένα λογισμικό οδοποιίας και με τη λογική που διέπει τις μελέτες των οδών, αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στα χέρια των σπουδαστών, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορεί να αποδειχθεί πολύτιμο εργαλείο για τη μελέτη οποιασδήποτε οδού. Πρόκειται για ένα λογισμικό πολύ εύκολο στη χρήση, γεγονός που δίνει τη δυνατότητα σε ανθρώπους μη έμπειρους και χωρίς ιδιαίτερες γνώσεις Η/Υ να το χρησιμοποιήσουν. Η συχνή χρήση παραθύρων διαλόγου και εμφάνισης αποτελεσμάτων καθιστούν το ίδιο πολύ φιλικό προς το χρήστη και τα αποτελέσματά του άμεσα κατανοητά. Η χρήση ελληνικής γλώσσας αποτελεί ένα επιπλέον σημαντικό στοιχείο του λογισμικού αυτού. Το H12 διαθέτει ένα πολύ φιλικό περιβάλλον εργασίας. Η εισαγωγή των δεδομένων γίνεται σε απλά αρχεία τύπου \*.xls, ενώ όλο το κεντρικό μενού συνίσταται σε ένα απλό λογιστικό φύλλο. Το άνοιγμα όλων των αρχείων δεδομένων ή αποτελεσμάτων, το άνοιγμα των σχεδίων καθώς και το “τρέξιμο” όλων των προγραμμάτων γίνεται αυτόματα με ένα απλό πάτημα του αντίστοιχου πλήκτρου στο κεντρικό μενού. Τέλος, το H12 συνεργάζεται με δύο σχεδιαστικά προγράμματα, το AutoCAD της Autodesk και το Microstation της Bentley, καλύπτοντας έτσι ένα ευρύ πεδίο χρηστών από πλευράς γνώσεων σχεδιαστικών προγραμμάτων και ένα ευρύ πεδίο σχεδιαστικών δυνατοτήτων.
- ✓ 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. Πλήρως αυτοματοποιημένη εξαγωγή του γωνιακού διαγράμματος και της ερυθράς της μηκοτομής. Για την αυτοματοποιημένη εξαγωγή του γωνιακού διαγράμματος έγινε προσπάθεια και στην παρούσα διπλωματική εργασία με αμφίβολα αποτελέσματα και για τον λόγο αυτό δεν χρησιμοποιήθηκε.
2. Υπολογισμός κατάλληλων παραμέτρων καμπύλων συναρμογής (κλωθοειδών) προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απόκλιση της παραγόμενης οριζοντιογραφίας σε σχέση με την αποτυπωμένη.
3. Αυτόματος τρόπος εξαγωγής της πληροφορίας για τα τόξα συναρμογής (κλωθοειδής) από το αξιμουθιακό διάγραμμα.
4. Εξαγωγή των επικλήσεων και των διαπλατύνσεων του οδικού τμήματος από την τοπογραφική πληροφορία των οριογραμμών της οδού.
5. Επιλογή των σημείων από τις οριογραμμές της οδού και όχι από τον άξονα για εισαγωγή των συντεταγμένων τους (X,Y,Z) στο πρόγραμμα.(Παραγωγή διατομών)
6. Εξαγωγή πληροφορίας πλευρικών εμποδίων από πρόσθετη τοπογραφική πληροφορία (αποτύπωση στηθαίων ασφαλείας, αποτύπωση άκρων πρανών ορυγμάτων κ.α.) με σκοπό τον αυτοματοποιημένο έλεγχο της ορατότητας για στάση σε υγρό οδόστρωμα και της ορατότητας για προσπέραση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Schaum's Outline Series, Murray R. Spiegel, Mcgraw-hill, New York, Μετάφραση: Σωτήριος Κ. Περσίδης, Πιθανότητες και Στατιστική, ΕΣΠΙ, Αθήνα
2. Bullock R., Least Squares Circle Fit, 2006
3. Maisnobe L., Finding the Circle That Best Fits a Set of Points, 2007
4. 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
5. Least-Squares Fitting of Circles and Ellipses, Walter Gander, Gene H. Golub, Rolf Strebel, Computer Science Department, Stanford University, Stanford, California
6. Simpson D.G., Linear Regression, Department of Physical Sciences and Engineering, Prince George's Community College, 2010
7. Κανελλαΐδης Γ. - Μαλέρδος Γ. - Καλτσούνης Α. - Γλαρός Γ., Σημειώσεις για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών, 2012
8. Κοφίτσας, Ι. 'Στοιχεία οδοποιίας', Αθήνα 2001
9. Κοφίτσας, Ι. "Αισθητικοί κανόνες για το σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων", Αθήνα 1986.
10. Χατζή Β. 'Δημιουργία προγράμματος προοπτικής απεικόνισης των οδών', Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ιούλιος 2010
11. Λογισμικό Οδοποιίας H11, Αθήνα, 2012.
12. 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.

13. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), Τεύχος 3: Χαράξεις, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, 2001.
14. Ψαριανός Β., Σημειώσεις Οδοποιία Ι (Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών), 2005
15. AASHTO (2004), A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
16. AUSTROADS (2009), Guide to Road Design : Geometric Design, AUSTROADS, Sydney, NSW
17. Richtlinien für die Anlage von Autobahnen, RAA (Έκδοση 2008). (Ελληνική μετάφραση)
18. Brilon, W, Lippold, C (2005), 'A New Concept for Highway Design Guidelines in Germany', 3<sup>rd</sup> International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, IL.
19. Ευαγγελιδάκη Θ., Δημητριάδης Μ., Ζαφειράκης Κ. “Προσδιορισμός στοιχείων χάραξης με βάση το γωνιακό διάγραμμα οδού”, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Αθήνας, Σ.Τ.ΕΦ, τμήμα τοπογραφίας, Αθήνα, Ιούνιος 2007
20. Σιώρα Ε. “Διερεύνηση πραγματικής καμπυλότητας τροχιάς οχημάτων σε σχέση με την καμπυλότητα σχεδιασμού υπεραστικών οδών δύο λωρίδων κυκλοφορίας”, Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Μάρτιος 2009
21. [www.google.gr](http://www.google.gr)
22. <http://www.imola.odos.gr>
23. <http://www.anadelta.com>
24. <http://www.diolkos3d.com>
25. <http://www.sitecoinf.it>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ - ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ

### 1. Αλγόριθμος VASI

```

c*****
c
c  VASI.FOR
c
c  Διπλωματική Αγγελου Βασιλά - 5/5/2012
c
c*****

c-----
c      program vasi
c-----

c-----
c  VARIABLES
c-----
      real*8      z
      real*8      pi
      real*8      x(10000),y(10000)
      real*8      klm(10000)
      real*8      azm(10000)
      real*8      rad(10000),a(10000)

      real*8      xs(5),ys(5),zs(5)

      real*8      a12,a23,am,an
      real*8      b12,b23,bm,bn
      real*8      xk,yk
      real*8      x1,y1,x2,y2

c-----
c  START PROGRAM
c-----
      write(*,'(80("-"))')
      write(*,'(" VASI")')

c-----
c  INITIAL VALUES
c-----
      pi=3.14159265
    
```



```

c-----
c  OPEN FILES
c-----
    open(0,file='c:\h12\vasi\vasi.dxf',status='unknown')
    open(1,file='c:\h12\vasi\fm.inp' ,status='unknown')
    open(2,file='c:\h12\vasi\fm.out' ,status='unknown')

c-----
c  START DXF
c-----
    write(0,(' 0'))
    write(0,('SECTION'))
    write(0,(' 2'))
    write(0,('ENTITIES'))
    write(0,(' 0'))

c-----
c  FM.INP
c-----
    write(*,('80("-)'))
    write(*,(' XY'))
    write(*,('80("-)'))

    i=1

    do while(.not.eof(1))
    read(1,*) x(i),y(i)
c  x(i)=x(i)-390000
c  y(i)=y(i)-4190000
    write(*,('2f12.3')) x(i),y(i)
    call point(1,3,0,0,x(i),y(i),z)
    i=i+1
    end do

    iinp=i-1

c-----
c  AZIMUTH
c-----
    write(*,('80("-)'))
    write(*,(' AZIMUTH'))
    write(*,('80("-)'))

    klm=0

    do i=2,iinp
    dx=x(i)-x(i-1)

```

```

dy=y(i)-y(i-1)

if(int(dy*10000000).eq.0) dy=0.00000001

azm(i)=atan(abs(dx)/abs(dy))*200/pi

if(dx.gt.0.and.dy.gt.0) azm(i)=azm(i)
if(dx.gt.0.and.dy.lt.0) azm(i)=200-azm(i)
if(dx.lt.0.and.dy.lt.0) azm(i)=200+azm(i)
if(dx.lt.0.and.dy.gt.0) azm(i)=400-azm(i)

if(azm(i).lt.0) az=az+400
if(azm(i).gt.400) az=az-400

klm(i)=klm(i-1)+sqrt(dx*dx+dy*dy)

write(*,'(2f12.3)') klm(i),azm(i)

call point(2,10,0,0,klm(i),azm(i)*10,z)

end do

c-----
c  RADIOUS
c-----
write(*,'(80("-"))')
write(*,'(" RADIOUS")')
write(*,'(80("-"))')

do i=2,iinp-1

c  write(*,'(4f12.3)') klm(i-1),x(i-1),y(i-1),azm(i-1)
c  write(*,'(4f12.3)') klm(i) ,x(i) ,y(i) ,azm(i)
c  write(*,'(4f12.3)') klm(i+1),x(i+1),y(i+1),azm(i+1)

a12=(y(i)-y(i-1))/(x(i)-x(i-1))
b12=y(i)-a12*x(i)

c  write(*,'(2f12.3)') a12,b12

a23=(y(i+1)-y(i))/(x(i+1)-x(i))
b23=y(i)-a23*x(i)

c  write(*,'(2f12.3)') a23,b23

am=-1/a12
an=-1/a23

```

```

c   write(*,'(2f12.3)') am,an

bm=(y(i)+y(i-1))/2-am*(x(i)+x(i-1))/2
bn=(y(i+1)+y(i))/2-an*(x(i+1)+x(i))/2

c   write(*,'(2f12.3)') bm,bn

x1=0
y1=bm
y2=0
x2=-bm/am

c   call line(1,3,0,0,x1,y1,z,x2,y2,z)

x1=0
y1=bn
y2=0
x2=-bn/an

c   call line(1,1,0,0,x1,y1,z,x2,y2,z)

xk=(bn-bm)/(am-an)
yk=am*xk+bm

c   write(*,'(2f12.3)') xk,yk

rad(i)=sqrt((x(i)-xk)**2+(y(i)-yk)**2)

c   if(azm(i).lt.azm(i-1)) rad(i)=-rad(i)

if(rad(i).gt.1000) then
rad(i)=1000

else
c   call circle(1,4,0,0,0,xk,yk,z,rad(i))

end if

a(i)=100./rad(i)
write(2,'(6f12.3)') klm(i),x(i),y(i),azm(i),rad(i),a(i)
write(*,'(6f12.3)') klm(i),x(i),y(i),azm(i),rad(i),a(i)

c   call line(1,4,0,0,xk,yk,z,x(i),y(i),z)

call line(4,2,0,0,klm(i-1),rad(i-1),z,klm(i),rad(i),z)

end do

```

```

c-----
c  FRAME
c-----
    xs(1)=0
    ys(1)=0
    zs(1)=0
    xs(2)=klm(iinp)
    ys(2)=0
    zs(2)=0
    xs(3)=klm(iinp)
    ys(3)=400*10
    zs(3)=0
    xs(4)=0
    ys(4)=400*10
    zs(4)=0
    xs(5)=0
    ys(5)=0
    zs(5)=0

    call string(3,0,0,0,0,5,xs,ys,zs)

c-----
c  FINISH DXF
c-----
    write(0,('ENDSEC'))
    write(0,(' 0'))
    write(0,('EOF'))
    close (0)

c-----
c  CLOSE FILES
c-----
    close (0)
    close (1)
    close (2)

c-----
c  FINISH PROGRAM
c-----
    write(*,('80("-)'))
    write(*,(' €««□ ,□ α VASI'))

c-----
end
c-----

```

## 2. Αλγόριθμος V1

```

c*****
c
c V1.FOR
c
c Διπλωματική Αγγελου Βασιλά - 22/5/2012
c
c*****

program v1
c-----

c-----
c FM.INP
c-----
real*8    k1(100000),dl(100000),l(100000)      ! Kilometrage
real*8    x1(100000)                          ! X
real*8    y1(100000),dt(100000),t(100000)      ! Y
real*8    z1(100000),Rf(100000)                ! Z
real*8    x1new(100000),y1new(100000),z1new(100000)
real*8    a1(100000),a2(100000),a(100000)      ! Azimuth
real*8    d1(100000),s1(100000),s2(100000)      ! Azimuth Differences
real*8    g1(100000)                          ! Grade
real*8    r1(100000),R(100000)                 ! Curvature
real*8    err,Rsum,sum
c-----
c FM.AZM
c-----
real*8    ah(100000),tol                      ! a Coefficient
real*8    bh(100000)                         ! b Coefficient
real*8    rh(100000)                         ! r Coefficient
c-----
c REGRESSION
c-----
integer*2 POINTS

real*8    sx                                ! ΣX
real*8    sy                                ! ΣY
real*8    sxy                               ! ΣXY
real*8    sx2,sy2                           ! ΣX2,ΣY2
real*8    smxy                              ! Σ(X-Xμ)*(Y-Yμ)
real*8    smx2                              ! Σ(X-Xμ)**2
real*8    smy2                              ! Σ(Y-Yμ)**2

real*8    km                                ! Kilometrage_Mean

```

```

real*8    am                ! Azimuth_Mean
real*8    zm                ! Z_Mean

real*8    xm                ! X_Mean
real*8    ym                ! Y_Mean

c-----
c  START PROGRAM
c-----

write(*,'(80("-"))')
write(*,'(" V1")')

open(0,file='c:\h12\VASI\vasi.dxf',status='unknown')
open(1,file='c:\h12\VASI\fm.inp',status='unknown')
open(2,file='c:\h12\VASI\fmout.out',status='unknown')
c-----
c  START DXF
c-----

write(0,'(" 0")')
write(0,'("SECTION")')
write(0,'(" 2")')
write(0,'("ENTITIES")')
write(0,'(" 0")')
c-----
c  FM.INP
c-----

i=1
k=1

do while(.not.eof(1))
  read(1,*) x1(i),y1(i),z1(i)
c  if(i.eq.1) write(2,'(" ",i8,3f15.6)') i,x1(i),y1(i),z1(i)
c  if(i.ne.1) write(2,'(" ",i8,3f15.6)') i,x1(i),y1(i),z1(i)
  i=i+1
end do

i1=i-1

a1(i)=0
a2(i)=0
L(i)=0
a(i)=0

do i=2,i1-1

  a1(i)=atan(abs(x1(i)-x1(i-1))/abs(y1(i)-y1(i-1)))*200/3.14159265

  if(x1(i)-x1(i-1).ge.0.and.y1(i)-y1(i-1).ge.0) a1(i)=a1(i)

```

```

if(x1(i)-x1(i-1).ge.0.and.y1(i)-y1(i-1).le.0) a1(i)=200-a1(i)
if(x1(i)-x1(i-1).le.0.and.y1(i)-y1(i-1).le.0) a1(i)=200+a1(i)
if(x1(i)-x1(i-1).le.0.and.y1(i)-y1(i-1).ge.0) a1(i)=400-a1(i)

if(x1(i)-x1(i-1).eq.0.and.y1(i)-y1(i-1).gt.0) a1(i)=400
if(x1(i)-x1(i-1).eq.0.and.y1(i)-y1(i-1).lt.0) a1(i)=200
if(x1(i)-x1(i-1).lt.0.and.y1(i)-y1(i-1).eq.0) a1(i)=300
if(x1(i)-x1(i-1).gt.0.and.y1(i)-y1(i-1).eq.0) a1(i)=100

a2(i)=atan(abs(x1(i+1)-x1(i))/abs(y1(i+1)-y1(i)))*200/3.14159265

if(x1(i+1)-x1(i).ge.0.and.y1(i+1)-y1(i).ge.0) a2(i)=a2(i)
if(x1(i+1)-x1(i).ge.0.and.y1(i+1)-y1(i).le.0) a2(i)=200-a2(i)
if(x1(i+1)-x1(i).le.0.and.y1(i+1)-y1(i).le.0) a2(i)=200+a2(i)
if(x1(i+1)-x1(i).le.0.and.y1(i+1)-y1(i).ge.0) a2(i)=400-a2(i)

if(x1(i+1)-x1(i).eq.0.and.y1(i+1)-y1(i).gt.0) a2(i)=400
if(x1(i+1)-x1(i).eq.0.and.y1(i+1)-y1(i).lt.0) a2(i)=200
if(x1(i+1)-x1(i).lt.0.and.y1(i+1)-y1(i).eq.0) a2(i)=300
if(x1(i+1)-x1(i).gt.0.and.y1(i+1)-y1(i).eq.0) a2(i)=100

a(i)=(a2(i)-a1(i))*3.14159265/200

c   write(2,(' ',1f12.3)) a(i)

end do

x1new(1)=x1(1) ; y1new(1)=y1(1) ; z1new(1)=z1(1)

do i=2,i1
c   s1(i)=sqrt((x1(i)-x1(i-1))**2+(y1(i)-y1(i-1))**2)
   if ( a1(i).eq.a2(i)) then
else
       k=k+1
       y1new(k)=y1(i)
       x1new(k)=x1(i)
       z1new(k)=z1(i)
   end if
end do

x1=x1new ; y1=y1new ; z1=z1new
i1=k

if(i1.gt.100000) then
    write(*,('80("-)"))
    write(*,(' i > 100000 ---> fm.inp'))
end if

```

```

if(i1.le.1) then
    write(*,'(80("-"))')
    write(*,'(" i < 1 ---> fm.inp)")')

end if

    write(*,'(80("-"))')
    write(*,'(" FM.INP OK")')
    write(*,'(80("-"))')

c-----
c  KILOMETRAGE FRAME
c-----
    write(2,'(80("-"))')

    k1(i)=0

    write(2,'(" ",i8,4f12.3)') 1,k1(1),x1(1),y1(1),z1(1)

do i=2,i1

    k1(i)=k1(i-1)+sqrt((x1(i)-x1(i-1))**2+(y1(i)-y1(i-1))**2)

    write(2,'(" ",i8,4f12.3)') i,k1(i),x1(i),y1(i),z1(i)

end do

    write(*,'(80("-"))')
    write(*,'(" KILOMETRAGE OK")')
    write(*,'(80("-"))')

c-----
c  AZIMUTH
c-----

    a1(i)=0
    dt(i)=0
    dl(i)=0
    L(i)=0
    t(i)=0
    s1(i)=0
    s2(i)=0
    R(i)=0
    a(i)=0

do i=2,i1-1

```



```

a1(i)=atan(abs(x1(i)-x1(i-1))/abs(y1(i)-y1(i-1)))*200/3.14159265

if(x1(i)-x1(i-1).ge.0.and.y1(i)-y1(i-1).ge.0) a1(i)=a1(i)
if(x1(i)-x1(i-1).ge.0.and.y1(i)-y1(i-1).le.0) a1(i)=200-a1(i)
if(x1(i)-x1(i-1).le.0.and.y1(i)-y1(i-1).le.0) a1(i)=200+a1(i)
if(x1(i)-x1(i-1).le.0.and.y1(i)-y1(i-1).ge.0) a1(i)=400-a1(i)

if(x1(i)-x1(i-1).eq.0.and.y1(i)-y1(i-1).gt.0) a1(i)=400
if(x1(i)-x1(i-1).eq.0.and.y1(i)-y1(i-1).lt.0) a1(i)=200
if(x1(i)-x1(i-1).lt.0.and.y1(i)-y1(i-1).eq.0) a1(i)=300
if(x1(i)-x1(i-1).gt.0.and.y1(i)-y1(i-1).eq.0) a1(i)=100

a2(i)=atan(abs(x1(i+1)-x1(i))/abs(y1(i+1)-y1(i)))*200/3.14159265

if(x1(i+1)-x1(i).ge.0.and.y1(i+1)-y1(i).ge.0) a2(i)=a2(i)
if(x1(i+1)-x1(i).ge.0.and.y1(i+1)-y1(i).le.0) a2(i)=200-a2(i)
if(x1(i+1)-x1(i).le.0.and.y1(i+1)-y1(i).le.0) a2(i)=200+a2(i)
if(x1(i+1)-x1(i).le.0.and.y1(i+1)-y1(i).ge.0) a2(i)=400-a2(i)

if(x1(i+1)-x1(i).eq.0.and.y1(i+1)-y1(i).gt.0) a2(i)=400
if(x1(i+1)-x1(i).eq.0.and.y1(i+1)-y1(i).lt.0) a2(i)=200
if(x1(i+1)-x1(i).lt.0.and.y1(i+1)-y1(i).eq.0) a2(i)=300
if(x1(i+1)-x1(i).gt.0.and.y1(i+1)-y1(i).eq.0) a2(i)=100

a(i)=(a2(i)-a1(i))*3.14159265/200

s1(i)=sqrt((x1(i)-x1(i-1))**2+(y1(i)-y1(i-1))**2)
s2(i)=sqrt((x1(i+1)-x1(i))**2+(y1(i+1)-y1(i))**2)

R(i)=s2(i)/(2*dsin(a(i)))

dt(i)=2*dasin(s1(i)/(2*R(i)))

T(i)=T(i-1)+dt(i)

dl(i)=R(i)*dt(i)

L(i)=L(i-1)+dl(i)

c  call point(1,4,0,0,k1(i),a(i),z)

call point(2,10,0,0,k1(i),a(i),z)

end do

write(*,'(80("-"))')
write(*,'(" AZIMUTH   OK")')

```

```

        write(*,'(80("-"))')

a1(1)=a1(2)
t(1)=t(2)

c-----
c  LINEAR REGRESSION
c-----

write(2,'(80("-"))')

Write (*,'("give the number of points for regression analysis")'
Read (*,*) points

Write (*,'("give the r2 coefficient for regression analysis <1")'
Read (*,*) tol

do i=points,i1-points
  sx=0
  sy=0
  sxy=0
  sx2=0
  sy2=0
  smxy=0
  smx2=0
  smy2=0
  km=0
  am=0

  do j=i-(points-1),i+points

    sx=sx+L(j)

    sy=sy+t(j)

    sxy=sxy+L(j)*t(j)

    sx2=sx2+L(j)*L(j)

    sy2=sy2+t(j)*t(j)

  end do

  ah(i)=(2*points*sxy-sx*sy)/(2*points*sx2-sx*sx)

  bh(i)=(sy*sx2-sx*sxy)/(2*points*sx2-sx*sx)

  rh(i)=((2*points*sxy-(sx*sy))/((sqrt(2*points*sx2-sx**2))*(sqrt(2*
```

```

1points*sy2-sy**2))))**2

Write(2,*) "NUMBER OF REGRESSION POINTS: ", POINTS
write(2,(' " ",i8,5f12.5)') i,k1(i),ah(i),bh(i),rh(i)

end do

write(2,('80("-)")'))

sum=0
Rsum=0
err=0.0008

do i=1,i1

if (rh(i).gt.(tol)) then

c      write(2,(' " ",i8,4f12.3)') i,k1(i),1/ah(i),rh(i)
      sum=sum+1
      Rsum=Rsum+(1/ah(i))
      write(2,(' KYKΛΟΣ ME AKTINA "))'
      else
      write(2,('50("-)")'))
c      write(2,(' -ΚΛΩΘΟΕΙΔΗΣ-- "))'
      sum=0
      Rsum=0
end if

      Rf(i)=Rsum/sum
      write(2,(' " ",i8,6f12.5)') i,k1(i),rh(i),1/ah(i),ah(i),Rf(i)

if (abs(ah(i)).le.err) then
      write(2,(' EΥΘΕΙΑ "))'
      else
c      write(2,(' ΚΛΩΘΟΕΙΔΗΣ "))'

end if

end do

      write(*,('80("-)")'))
      write(*,(' LINEAR REGRESSION      OK"))'
      write(*,('80("-)")'))

c-----
c  FINISH DXF
c-----
write(0,('ENDSEC'))

```

```
write(0,(' 0'))
write(0,('EOF'))
close (0)
```

```
c-----
c  FINISH PROGRAM
c-----

        close(1)
        close(0)
        close(2)

write(*, '(80("-"))')
write(*, (' €««□ ,□ α V1'))

c-----
c  end
c-----
```

### 3. Προγράμματα σχεδίασης στο AutoCAD - βοηθητικά

```
c*****
c
c  LINE.FOR
c
c  Draw a Line - 3/12/2011
c
c*****

c-----
c  subroutine line(lv,cl,sm,wg,xa,ya,za,xb,yb,zb)
c-----

c-----
c  CALL
c-----

integer*4 lv          ! Level
integer*4 cl          ! Color
integer*4 sm          ! Symbology
integer*4 wg          ! Weight
real*8   xa,ya,za     ! Point_a_XYZ
real*8   xb,yb,zb     ! Point_b_XYZ
```

```

c-----
c  LINE
c-----
  write(0,('LINE'))
  call level(lv)
  call color(cl)
  call symbol(sm)
  write(0,(' 10'))
  write(0,(f15.6)) xa
  write(0,(' 20'))
  write(0,(f15.6)) ya
  write(0,(' 30'))
  write(0,(f15.6)) za
  write(0,(' 11'))
  write(0,(f15.6)) xb
  write(0,(' 21'))
  write(0,(f15.6)) yb
  write(0,(' 31'))
  write(0,(f15.6)) zb
  write(0,(' 0'))

c-----
  end
c-----

```

```

c*****
c
c  INTERVAL.FOR
c
c  Interval for 2 sec - 7/1/2011
c
c*****

```

```

c-----
  subroutine interval
c-----

```

```

c-----
c  VARIOUS
c-----
  integer*4  ihr1,ihr2          ! Hour
  integer*4  imin1,imin2        ! Minute
  integer*4  isec1,sec2          ! Second
  integer*4  i100th1,i100th2    ! 100th_of_Second

```

```

c-----
c  MAIN
c-----
    i=0

    call gettim (ihr1,imin1,isecl,i100th1)

    do while(i.eq.0)

    call gettim (ihr2,imin2,isecl,i100th2)

    if(abs(isecl-isecl1).gt.1.0) return

    end do

c-----
    end
c-----

c*****
c
c  COLOR.FOR
c
c  Defines Acad Color No - 7/1/2011
c
c*****

    subroutine color(cl)

c-----
c  CALL
c-----
    integer*4  cl          ! Color

c-----
c  START
c-----
    write(0,(' 62"))

c-----
c  ACAD COLOR NO
c-----
    if(cl.eq.0) write(0,('i3')) 0
    if(cl.eq.1) write(0,('i3')) 5
    if(cl.eq.2) write(0,('i3')) 3
    if(cl.eq.3) write(0,('i3')) 1

```

```

if(cl.eq.4) write(0,'(i3)') 2
if(cl.eq.5) write(0,'(i3)') 6
if(cl.eq.6) write(0,'(i3)') 30
if(cl.eq.7) write(0,'(i3)') 120
if(cl.eq.8) write(0,'(i3)') 29
if(cl.eq.9) write(0,'(i3)') 253
if(cl.eq.10) write(0,'(i3)') 230
if(cl.eq.11) write(0,'(i3)') 62
if(cl.eq.12) write(0,'(i3)') 110
if(cl.eq.13) write(0,'(i3)') 204
if(cl.eq.14) write(0,'(i3)') 253
if(cl.eq.15) write(0,'(i3)') 130

```

```

if(cl.eq.80) write(0,'(i3)') 253
if(cl.eq.81) write(0,'(i3)') 172
if(cl.eq.82) write(0,'(i3)') 92
if(cl.eq.83) write(0,'(i3)') 12
if(cl.eq.84) write(0,'(i3)') 52
if(cl.eq.85) write(0,'(i3)') 212
if(cl.eq.86) write(0,'(i3)') 32
if(cl.eq.87) write(0,'(i3)') 134
if(cl.eq.88) write(0,'(i3)') 253
if(cl.eq.89) write(0,'(i3)') 170
if(cl.eq.90) write(0,'(i3)') 94
if(cl.eq.91) write(0,'(i3)') 12
if(cl.eq.92) write(0,'(i3)') 54
if(cl.eq.93) write(0,'(i3)') 212
if(cl.eq.94) write(0,'(i3)') 32
if(cl.eq.95) write(0,'(i3)') 134

```

```

if(cl.eq.144) write(0,'(i3)') 251
if(cl.eq.145) write(0,'(i3)') 174
if(cl.eq.146) write(0,'(i3)') 96
if(cl.eq.147) write(0,'(i3)') 14
if(cl.eq.148) write(0,'(i3)') 46
if(cl.eq.149) write(0,'(i3)') 226
if(cl.eq.150) write(0,'(i3)') 26
if(cl.eq.151) write(0,'(i3)') 126
if(cl.eq.152) write(0,'(i3)') 251
if(cl.eq.153) write(0,'(i3)') 176
if(cl.eq.154) write(0,'(i3)') 94
if(cl.eq.155) write(0,'(i3)') 14
if(cl.eq.156) write(0,'(i3)') 56
if(cl.eq.157) write(0,'(i3)') 206
if(cl.eq.158) write(0,'(i3)') 44
if(cl.eq.159) write(0,'(i3)') 136

```

```

c-----
c  RETURN
c-----
    if(cl.ge.0 .and.cl.le.15) return
    if(cl.ge.80 .and.cl.le.95) return
    if(cl.ge.144.and.cl.le.159) return

c-----
c  CL <> 0-15 , 80-95 , 144-159
c-----
    write(*,'(80("-"))')
    print *,'••t£□ = ',cl
    write(*,'(80("-"))')
    print *,'€ΑΑ□□γ ©«| color.for'
    call pzs

c-----
    end
c-----

c*****
c
c  SYMBOL.FOR
c
c  Defines Acad Line Symbology No - 3/12/2011
c
c*****

c-----
    subroutine symbol(sm)
c-----

c-----
c  CALL
c-----
    integer*4  sm          ! Symbology

c-----
c  START
c-----
    write(0,(' 6"))

c-----
c  ACAD SYMBOLOGY NO
c-----
    if(sm.eq.0) write(0,('CONTINUOUS'))

```



```

if(sm.eq.1) write(0,('DOT'))
if(sm.eq.2) write(0,('HIDDEN'))
if(sm.eq.3) write(0,('DASHED'))
if(sm.eq.4) write(0,('DASHDOT'))
if(sm.eq.5) write(0,('BORDER'))
if(sm.eq.6) write(0,('PHANTOM'))
if(sm.eq.7) write(0,('CENTER'))

```

```

c-----
c   RETURN
c-----
      if(sm.ge.0.and.sm.le.7) return

```

```

c-----
c   SM < 0 OR SM > 7
c-----
c
      write(*,'(80("-"))')
      print *, ' -fTM|A|□ε□ = ',sm
      write(*,'(80("-"))')
      print *, '€AA□□γ ©<| symbol.for'
      call pzs

```

end

```

c*****
c
c  STRING.FOR
c
c  Draw a String - 18/12/2011
c
c*****

```

```

c-----
      subroutine string(lv,cl,sm,wg,as,is,xs,ys,zs)
c-----

```

c-----  
c CALL  
c-----

```
integer*4 lv      ! Level
integer*4 cl      ! Color
integer*4 sm      ! Symbology
integer*4 wg      ! Weight
integer*4 as      ! Area Status
```

```
integer*4 is                               ! No_String_Vertices
real*8   xs(200000),ys(200000),zs(200000) ! XYZ_String
```

```
c-----
c  STRING
c-----
```

```
write(0,('POLYLINE'))
call level(lv)
call color(cl)
call symbol(sm)
write(0,(' 66'))
write(0,('  1'))
write(0,('10'))
write(0,('0.0'))
write(0,('20'))
write(0,('0.0'))
write(0,('30'))
write(0,('0.0'))
write(0,(' 70'))
write(0,('  8'))
write(0,('  0'))
do j=1,is
write(0,('VERTEX'))
call level(lv)
write(0,(' 10'))
write(0,(f15.6)) xs(j)
write(0,(' 20'))
write(0,(f15.6)) ys(j)
write(0,(' 30'))
write(0,(f15.6)) zs(j)
write(0,('  0'))
end do
write(0,('SEQEND'))
write(0,('  8'))
write(0,('0'))
write(0,(' 0'))
```

```
c-----
c  end
c-----
```

```

c*****
c
c  POINT.FOR
c
c  Draw a Point - 7/1/2011
c
c*****

c-----
  subroutine point(lv,cl,sm,wg,xp,yp,zp)
c-----

c-----
c  CALL
c-----
      integer*4 lv          ! Level
      integer*4 cl          ! Color
      integer*4 sm          ! Symbology
      integer*4 wg          ! Weight
      real*8   xp,yp,zp      ! Point_XYZ

c-----
c  POINT
c-----
      call line(lv,cl,sm,wg,xp,yp,zp,xp,yp,zp)

c-----
      end
c-----

```

#### 4. Αλγόριθμος εύρεσης καλύτερου κύκλου που ‘χωράει’ σε ένα σμήνος σημείων (M.E.T.)

Program MainLeastSquareCircleFit

Implicit None

```
! -- DILOSI METAVLITON -----!
!
Integer:: i ,iinp
!
Real*8:: Xc, Yc, Uc, Vc, Rc , a, Xav, Yav
!
Real*8:: Suu, Suuu, Suv, Svv, Svvv, Suvv, Svuu
!
Real*8:: x(10000),y(10000)
!
!
Character(len=45):: INPUTFILE,OUTPUTFILE
!
!-----!
! 1. ANAGNOSI DEDOMENON
!-----!
! -- DILOSI IN / Out ARXEION ----- !
!
Write (*,'(A)') Name of the INPUTFILE (max.45 characters)'
!
Read (*,'(A)') INPUTFILE
!
Write (*,'(A)') Name of the OUTPUTFILE (max.45 characters)'
!
Read (*,'(A)') OUTPUTFILE
!
!
OPEN (1, FILE=INPUTFILE)
!
OPEN (2, FILE=OUTPUTFILE) !; Write(2,*) "INPUT FILE NAME: ", INPUTFILE !
!
! -- TELOS DILOSIS ----- !

i=1
Suu=0. ; Suuu=0. ; Suv=0. ;
Svv=0. ; Svvv=0. ; Suvv=0. ; Svuu=0.

!-----!
! FM.INP
!-----!

do while(.not.eof(1))
  read(1,*) x(i),y(i)
  write(*,'(2f12.3)') x(i),y(i)
  i=i+1
end do
```

```

iinp=i-1
!-----
!   MESOI OROI Xav, Yav
!-----

do i=1,iinp
  Xav=Xav+x(i)
  Yav=Yav+y(i)
end do

Xav=(1./iinp)*Xav
Yav=(1./iinp)*Yav


!-----
!   ATHROISMATA
!-----

do i=1,iinp
  Suu = Suu + ((x(i)-Xav)**2.)
  Suuu= Suuu + ((x(i)-Xav)**3.)

  Svv = Svv + ((y(i)-Yav)**2.)
  Svuv= Svuv + ((y(i)-Yav)**3.)

  Suv = Suv + ((x(i)-Xav)*(y(i)-Yav))

  Suvv= Suvv + ( (x(i)-Xav)* ((y(i)-Yav)**2.) )
  Svuu= Svuu + ( (y(i)-Yav)* ((x(i)-Xav)**2.) )
end do


!-----
!   EPILYSI 2 EKSISOSEON ME 2 AGNVSTOYS TA Uc, Vc KAI a
!-----

Vc= ( (0.5*(Svuv+Svuu)) - ((0.5*(Suuu+Suvv))*Suv/Suu) )/( Svv - Suv*Suv/Suu )
Uc= ( (0.5*(Suuu+Suvv))-Vc*Suv )/Suu

a= ( (Uc**2.) + (Vc**2.) + ((Suu+Svv)/iinp) )


!-----
!   EPISTROFI STIS KANONIKES SYNTETAGMENES Xc, Yc KAI Rc
!-----

Xc= Uc+Xav
Yc= Vc+Yav
Rc = DSQRT(a)

```

```
! -----
!-- ΤΕΛΟΣ --
!-----
write (*,*) Xc, Yc, Rc
write (2,*) Xc, Yc, Rc

End Program MainLeastSquareCircleFit
```

## 5. Αλγόριθμοι διαφορετικής προσέγγισης της μεθόδου

### 5.1.1 Αλγόριθμος εύρεσης κύκλου 3 σημείων με χρήση μεσοκαθέτων

```
Program MainLines
Implicit None

! -- Δήλωση μεταβλητών ----- !
!
Integer:: NoPoints, iNPoints !
!
Real*8 :: Lin1a, Lin1b, Lin2c, Lin2d ! Lin->Line !
Real*8 :: Xmid1, Ymid1, Xmid2, Ymid2 ! mid->Middle !
Real*8 :: MK1alfa, MK1bita, MK2gamma, MK2delta ! MK->Μέσο-Κάθετος !
Real*8 :: Fline, ErrTolerance, YcircTest, Rcirc1, Rcirc2, Dist, DTi, DL !
!
Real*8, Allocatable, Dimension(:):: Xcoord, Ycoord !
Real*8, Allocatable, Dimension(:):: Xcirc, Ycirc, RcircA, RcircB, RcircC !
Real*8, Allocatable, Dimension(:):: L !
!
Character(len=45):: INPUTFILE, OUTPUTFILE !
!

! -----
! 1. ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
! -----
! -- Δήλωση IN / Out Αρχείων -----!
!
Write (*,'(A)') Name of the INPUTFILE (max.45 characters)' !
Read (*,'(A)') INPUTFILE !
Write (*,'(A)') Name of the OUTPUTFILE (max.45 characters)' !
Read (*,'(A)') OUTPUTFILE !
!

OPEN (1, FILE=INPUTFILE) !
OPEN (2, FILE=OUTPUTFILE) ; Write(2,*) "INPUT FILE NAME: ", INPUTFILE !
!
```

```

! -- Ανάγνωση του Πλήθους των Δεδομένων από .txt Αρχείο ----- !*
                                                                    !*
Read(1,*) NoPoints                                                                    !*
                                                                    !*
! -- Τέλος Δήλωσης ----- !*

!----- Ορισμός Διαστάσεων των Πινάκων -----
Allocate ( Xcoord(NoPoints), Ycoord(NoPoints) )
Allocate ( Xcirc(NoPoints-2), Ycirc(NoPoints-2), RcircA(NoPoints-2), RcircB(NoPoints-2),
RcircC(NoPoints-2) )
Allocate ( L(NoPoints) )

!---- Τέλος Ορισμού Διαστάσεων των Πινάκων -----

! -- Αρχικοποίηση / Initialization --
! -----
Xcoord=0. ; Ycoord=0.
Xcirc=0 ; Ycirc=0 ; RcircA=0. ; RcircB=0. ; RcircC=0.
DL=0 ; DTi=0 ; L=0
ErrTolerance = 10.**(-3.)

! -- Ανάγνωση των Δεδομένων από .txt Αρχείο --
! -----
Write(2,1)
Do iNPoints=1,NoPoints
    Read(1,*) Xcoord(iNPoints), Ycoord(iNPoints)
    Write(2,*) Xcoord(iNPoints), Ycoord(iNPoints)
End Do
Write(2,2)
! -----

!-----
2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΥΘΕΙΩΝ
! -----

Do iNPoints=1, NoPoints-2

! Έλεγχος αν τα 3 διαδοχικά σημεία ανήκουν σε ευθεία
Lin1a= ( (Ycoord(iNPoints+1)-Ycoord(iNPoints))/(Xcoord(iNPoints+1)-Xcoord(iNPoints)) )
Lin1b= Ycoord(iNPoints) -Lin1a *Xcoord(iNPoints)
Fline= Ycoord(iNPoints+2)-Lin1a *Xcoord(iNPoints+2)-Lin1b

If ( abs(Fline) < ErrTolerance ) Then
    Xcirc(iNPoints)= 1000.
    Ycirc(iNPoints)= 1000.

```

RcircA(iNPoints)=1000. ; RcircB(iNPoints)=1000. ; RcircC(iNPoints)=1000.

Else

! Τα 2 πρώτα σημεία δημιουργούν μια ευθεία  $y=ax+b$  όπου:  $a=(y_2-y_1)/(x_2-x_1)$  και  $b=y_1-ax_1$

Lin1a= (Ycoord(iNPoints+1)-Ycoord(iNPoints))/(Xcoord(iNPoints+1)-Xcoord(iNPoints))

Lin1b= Ycoord(iNPoints)-Lin1a\*Xcoord(iNPoints)

! Τα 2 δεύτερα σημεία δημιουργούν μια ευθεία  $y=cx+d$  όπου:  $c=(y_3-y_2)/(x_3-x_2)$  και  $d=y_2-cx_2$

Lin2c= (Ycoord(iNPoints+2)-Ycoord(iNPoints+1))/(Xcoord(iNPoints+2)-Xcoord(iNPoints+1))

Lin2d= Ycoord(iNPoints+1)-Lin2c\*Xcoord(iNPoints+1)

! Το μέσο του πρώτου ανοίγματος είναι  $X_{mid}=(x_1+x_2)/2$ ,  $Y_{mid}=(y_1+y_2)/2$

$X_{mid1} = (Xcoord(iNPoints) + Xcoord(iNPoints+1))/2$ .

$Y_{mid1} = (Ycoord(iNPoints) + Ycoord(iNPoints+1))/2$ .

! Το μέσο του δεύτερου ανοίγματος είναι  $X_{mid}=(x_1+x_2)/2$ ,  $Y_{mid}=(y_1+y_2)/2$

$X_{mid2} = (Xcoord(iNPoints+1) + Xcoord(iNPoints+2))/2$ .

$Y_{mid2} = (Ycoord(iNPoints+1) + Ycoord(iNPoints+2))/2$ .

! Η ευθεία που περνάει από το κέντρο του πρώτου ευθύγραμμου τμήματος και είναι

! κάθετη σε αυτό (Μέσο-Κάθετος -1) έχει κλίση ίση με το  $-1/a$  και εξίσωση:

!  $y=(-1/a)x+[(1/a)X_{mid1}+Y_{mid1}] = MK1alfa*x+MK1bita$

$MK1alfa = -1*(1./Lin1a)$

$MK1bita = (1./Lin1a)*X_{mid1} + Y_{mid1}$

! Η ευθεία που περνάει από το κέντρο του δεύτερου ευθύγραμμου τμήματος και είναι ! κάθετη σε αυτό (Μέσο-Κάθετος -2) έχει κλίση ίση με το  $-1/c$  και εξίσωση:

!  $y=(-1/c)x+[(1/c)X_{mid2}+Y_{mid2}] = MK2gamma*x+MK2delta$

$MK2gamma = -1*(1./Lin2c)$

$MK2delta = (1./Lin2c)*X_{mid2} + Y_{mid2}$

! Το σημείο τομής των μέσοκαθέτων MK1 και MK2 είναι εκεί όπου τα X,Y των ευθειών τους ταυτίζονται (Xcirc,Ycirc)

! Δηλαδή:  $Y\_MK1=Y\_MK2$  '  $MK1alfa*x+MK1bita = MK2gamma*x+MK2delta$  και ! βρίσκω το X και μετά από την εξίσωση ευθείας βρίσκω το Y

$X_{circ}(iNPoints) = (MK2delta-MK1bita)/(MK1alfa-MK2gamma)$

$Y_{circ}(iNPoints) = MK1alfa * X_{circ}(iNPoints) + MK1bita$

$Y_{circTest} = MK2gamma*X_{circ}(iNPoints) + MK2delta$

! Η ακτίνα του κύκλου είναι ο μέσος όρος από τις 2 ακτίνες που προκύπτουν

!  $R_{circ1} = \sqrt{(Y_{circ}(iNPoints)-Y_{mid1})^2 + (X_{circ}(iNPoints)-X_{mid1})^2}$  )

!  $R_{circ2} = \sqrt{(Y_{circ}(iNPoints)-Y_{mid2})^2 + (X_{circ}(iNPoints)-X_{mid2})^2}$  )

!  $R_{circ}(iNPoints) = (R_{circ1}+R_{circ2})/2$



! Η ακτίνα του κύκλου είναι η απόσταση από το αρχικό - μεσαίο - τελευταίο (ανα τρία σημεία) σημείο

```
!RcircA(iNPoints) = sqrt( (Ycirc(iNPoints)-Ycoord(iNPoints) )**2. + (Xcirc(iNPoints)-
Xcoord(iNPoints) )**2. )
RcircB(iNPoints) = sqrt( (Ycirc(iNPoints)-Ycoord(iNPoints+1))**2. + (Xcirc(iNPoints)-
Xcoord(iNPoints+1))**2. )
!RcircC(iNPoints) = sqrt( (Ycirc(iNPoints)-Ycoord(iNPoints+2))**2. + (Xcirc(iNPoints)-
Xcoord(iNPoints+2))**2. )
End If

End Do
```

! -----

!4. Ευρεση χιλιομετρικής θέσης

! -----

```
Do iNPoints=1, (NoPoints-3)
Dist=sqrt( ((Xcoord(iNPoints+1)-Xcoord(iNPoints))**2.)+(Ycoord(iNPoints+1)-
Ycoord(iNPoints))**2. ) )
DTi=2.*( dasin( Dist/(2.*RcircB(iNPoints)) ) ) !ο τύπος λέει Δτι=2*asin(si-1,i/2Ri) οπότε κανονικά
DL =DTi*RcircB(iNPoints) !θα έπρεπε να έχω βάλει Ri=RcircB(iNPoints+1) αλλά
L(iNPoints+1)=L(iNPoints)+DL !το σφάλμα βγαίνει πολύ μικρότερο αν
χρησιμοποιήσουμε το Ri-1=RcircB(iNPoints)
End Do !Το ίδιο συμβαίνει και στο DL τύπος λέει RcircB(iNPoints+1)
εγώ έβαλα Ri-1=RcircB(iNPoints)
```

```
Dist=sqrt( ((Xcoord(NoPoints-1)-Xcoord(NoPoints-2))**2.)+(Ycoord(NoPoints-1)-
Ycoord(NoPoints-2))**2. ) )
DTi=2.*( dasin( Dist/(2.*RcircB(NoPoints-2)) ) )
DL =DTi*RcircB(NoPoints-2)
L(NoPoints-1)=L(NoPoints-2)+DL
```

```
Dist=sqrt( ((Xcoord(NoPoints)-Xcoord(NoPoints-1))**2.)+(Ycoord(NoPoints)-Ycoord(NoPoints-
1))**2. ) )
L(NoPoints)=L(NoPoints-1)+Dist
```

!-----

!3. ΤΥΠΩΣΕ ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ : Xcirc - Ycirc - Rcirc

! -----

```
Write(2,3)
Do iNPoints=1,(NoPoints-2)
Write(2,10) (iNPoints+1.), Xcirc(iNPoints), Ycirc(iNPoints), RcircB(iNPoints)
End Do
```

```
Write(2,3)
Do iNPoints=1,(NoPoints)
Write(2,10) (iNPoints*1.), L(iNPoints)
```

End Do

```
! -----
!-- ΤΕΛΟΣ --
! -----
1 Format(/,"===== DATA =====",/)
2 Format(/,"===== END DATA =====",/)
3 Format(/,"===== RESULTS =====",/)

10 Format(10(F20.8,2x))

End Program
```

### 5.1.2 Αλγόριθμος εύρεσης κύκλου 3 σημείων με χρήση της εξίσωσης κύκλου

(Επίλυση μη γραμμικού συστήματος 3 εξισώσεων με χρήση της βιβλιοθήκης IMSL της FORTRAN)

```
Program EbresiKuklou
  Use numerical_libraries
  Use DataModule
  Implicit None

! ----- Data -----
EXTERNAL FCN
Character(len=45):: INPUTFILE,OUTPUTFILE

!----- Variables mono mesa ston MAIN CODE-----
Real*8 ::      ERRREL,FNORM
Real*8,Allocatable::XGUESS(:),X(:)
Integer ::      ITMAX

! -----End Data -----

! -----
! 1. READ DATA FROM THE INPUT FILE COMPUTE THE CIRCLES
! -----

Write (*,'(A)') Name of the INPUTFILE (max.45 characters)'
Read (*,'(A)') INPUTFILE
Write (*,'(A)') Name of the OUTPUTFILE (max.45 characters)'
Read (*,'(A)') OUTPUTFILE

OPEN (1, FILE=INPUTFILE)
OPEN (2, FILE=OUTPUTFILE) ; Write(2,*) "INPUT FILE NAME: ", INPUTFILE
```

```

Read(1,*) NoPoints

! -----
Allocate ( Xcoord(NoPoints), Ycoord(NoPoints) )
Allocate ( Xcirc(NoPoints-2), Ycirc(NoPoints-2), Rcirc(NoPoints-2) )
Allocate ( XGUESS(3),X(3) )
Allocate ( Li(NoPoints) )
! -----
! -- Initialization -
! -----
Xcoord=0. ; Ycoord=0.
Xcirc=0. ; Ycirc=0. ; Rcirc=0.
X=0. ; Li=0 ; dDist=0.
ErrIn= 10.**(-2.)
! -----
Do iNPoints=1,NoPoints
    Read(1,*) Xcoord(iNPoints), Ycoord(iNPoints)
    Write(2,*) Xcoord(iNPoints), Ycoord(iNPoints)
End Do
! -----

! -----
! 2. COMPUTE THE CIRCLE VECTORS: Xcirc - Ycirc - Rcirc
! -----
Do iNPoints=1,NoPoints-1
    dDist=sqrt( ((Xcoord(iNPoints+1)-Xcoord(iNPoints))**2.)+((Ycoord(iNPoints+1)-
Ycoord(iNPoints))**2.) )
    Li(iNPoints+1)=Li(iNPoints)+dDist
End Do
Do iNPoints=1,(NoPoints-2)

    LinA= ( (Ycoord(iNPoints+1)-Ycoord(iNPoints))/(Xcoord(iNPoints+1)-Xcoord(iNPoints)) )
    LinB= Ycoord(iNPoints)-LinA*Xcoord(iNPoints)
    Fline= Ycoord(iNPoints+2)-LinA*Xcoord(iNPoints+2)-LinB

    If ( abs(Fline) < ErrIn ) Then

        Xcirc(iNPoints)=0.
        Ycirc(iNPoints)=0.
        Rcirc(iNPoints)=0.

    Else

        !* - Call dneqnf na lisei to sustima ton 3 eksisoseon - *!

        ERRREL=10.**(-4.) ; ITMAX=10000 ; XGUESS(:)=0. ; FNORM=99.
        Call DNEQNF(FCN, ERRREL, 3, ITMAX, XGUESS, X, FNORM)
        Write(*,*) FNORM

```

```

!* - OUTPUT ta VECTOR X(3) & FNORM -
!= - Dino sta Dianismata toy kathe (iNpoints-2) kuklou ta dedomena tou, opos exoyn prokupsei
apo
!= - ti lusi toy mi grammikou sistimatos 3eksisoseon me 3 agnostous Xcirc - Ycirc - Rcirc.

      Xcirc(iNPoints)=X(1)
      Ycirc(iNPoints)=X(2)
      Rcirc(iNPoints)=X(3)

      !Write(2,10) Xcirc(iNPoints), Ycirc(iNPoints),Rcirc(iNPoints), Li(iNPoints)

      End If

      End Do

! -----
! 3. WRITE CIRCLE VECTORS: Xcirc - Ycirc - Rcirc
! -----

      Do iNPoints=1,(NoPoints-2)
      Write(2,10) , Xcirc(iNPoints), Ycirc(iNPoints), Rcirc(iNPoints), Li(iNPoints),
      End Do

! -----
!-- END --
! -----
10 Format(5(F20.8,2x))

End Program EbresiKuklou

Module DataModule
  Implicit None

  !----- Data (Metablipes pou thelo na einai gnostes se oles tis Subroutines se olo to programma)-----

  Integer:: NoPoints, iNPoints
  Real*8,Allocatable,Dimension(:):: Xcoord, Ycoord
  Real*8,Allocatable,Dimension(:):: Xcirc, Ycirc, Rcirc
  Real*8,Allocatable,Dimension(:):: Li

  Real*8:: dDist
  Real*8:: LinA, LinB           ! Oi syntelestes eutheias y=ax+b
  Real*8:: Fline, ErrIn         ! H timh tis eutheias gia to 3o shmeio / Anoxh-Err

  !Logical:: PointsInLine
  !----- End Data -----
End Module

```

SUBROUTINE FCN(X, F, Neqns)

Use DataModule

Implicit None

Integer:: Neqns ! Synoliko plithos eksisoseon = 3

Real\*8,Dimension(Neqns):: X ! Oi agnostoi (Xcirc - Ycirc - Rcirc) ton mi  
grammikon eksisoseon

Real\*8,Dimension(Neqns),Intent(INOUT):: F ! Oi mi grammikes eksisoseis tou provlimatos

!##### #!

! (1) Η εξίσωση κυκλου για το πρωτο σημειο

$F(1) = ((X_{coord}(iNPoints) - X(1))^2 + (Y_{coord}(iNPoints) - X(2))^2 - (X(3))^2)$

! (2) Η εξίσωση κυκλου για το δευτερο σημειο

$F(2) = ((X_{coord}(iNPoints+1) - X(1))^2 + (Y_{coord}(iNPoints+1) - X(2))^2 - (X(3))^2)$

! (3) Η εξίσωση κυκλου για το τριτο σημειο

$F(3) = ((X_{coord}(iNPoints+2) - X(1))^2 + (Y_{coord}(iNPoints+2) - X(2))^2 - (X(3))^2)$

END SUBROUTINE FCN