

Σύλλογος Ελλήνων Συγκοινωνιολόγων - Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας  
5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδικής Ασφάλειας  
11-12 Οκτωβρίου 2012, Βόλος

## **ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ ΩΣ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΟΔΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ**

Άγγελος Βασιλάς, Σπουδαστής ΕΜΠ  
Κωνσταντίνος Αποστολέρης<sup>1</sup>, Πολιτικός Μηχανικός, MSc  
Σοφία Βαρδάκη, Δρ. Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός  
Φώτιος Μερτζάνης, Αγρονόμος-Τοπογράφος Μηχανικός, MSc

<sup>1</sup>Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 15773, Ζωγράφου, Αθήνα,  
e-mail: pydj79@hotmail.com

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η αυτοματοποιημένη εξαγωγή των απαραίτητων πληροφοριών αναφορικά με τη γεωμετρία της οδού (οριζοντιογραφία, μηκοτομή, διαγράμματα επικλίσεων και διαπλατύνσεων κτλ), μέσω των συντεταγμένων (X,Y,Z) τοπογραφικής αποτύπωσης, με σκοπό την υποβοήθηση του ελέγχου οδικής ασφάλειας. Δημιουργήθηκε ένα νέο λογισμικό που επεξεργάζεται την τρισδιάστατη πληροφορία του τοπογραφικού υποβάθρου και με τη βοήθεια στατιστικών μεθόδων εξάγει όλα τα στοιχεία αναφορικά με τη γεωμετρία της οδού με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση. Για καθένα από τα παραγόμενα στοιχεία το πρόγραμμα πραγματοποιεί ελέγχους με βάση σύγχρονες οδηγίες για τον Έλεγχο Οδικής Ασφάλειας, κρατών με υψηλό επίπεδο οδικής ασφάλειας, με στόχο την επισήμανση των περιοχών του οδικού δικτύου που αποτελούν εν δυνάμει θέσεις οδικών ατυχημάτων.

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 πραγματοποιείται σημαντικός αριθμός ελέγχων και επισημαίνονται οι θέσεις του οδικού τμήματος στις οποίες υπάρχει εν δυνάμει πρόβλημα οδικής ασφάλειας.

### **ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:**

Γωνιακό διάγραμμα, τοπογραφική αποτύπωση, οδική ασφάλεια, γεωμετρία οδού.

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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 αντιμετώπους με πολλές δυσκολίες (λόγω της φύσης του αντικειμένου) ενώ ταυτόχρονα "ζητάει" η προσδοκώμενη βελτίωση του οδικού δικτύου και η μείωση των οδικών ατυχημάτων να είναι αποτελεσματική.

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 κτλ) και αποτελούν εν δυνάμει αιτίες ατυχημάτων. Η μεθοδολογία στηρίζεται στη χρήση τοπογραφικής αποτύπωσης τόσο του άξονα όσο και των οριογραμμών της οδού (συντεταγμένες X,Y,Z) από την οποία αντλείται η απαραίτητη πληροφορία προκειμένου να εξαχθούν όλα τα γεωμετρικά στοιχεία του οδικού έργου (οριζοντιογραφία, μηκοτομή, επικλίσεις, διατομές, διαπλατύνσεις κτλ). Προκειμένου να επιταχυνθεί η διαδικασία επεξεργασίας της τοπογραφικής πληροφορίας δημιουργήθηκε ένα νέο λογισμικό όπου με τη βοήθεια στατιστικών μεθόδων εξάγει όλα τα στοιχεία αναφορικά με τη γεωμετρία της οδού με την καλύτερη δυνατή προσέγγιση. Εν συνεχεία το πρόγραμμα 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.

## 2. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ Η12

Για τις ανάγκες επεξεργασίας των δεδομένων αναπτύχθηκαν τα παρακάτω 5 προγράμματα

### **1. Προετοιμασία Αξιμουθιακής 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 αξιμουθιακού διαγράμματος.

### **2. Εισαγωγή Αξιμουθιακής Πολυγωνικής**

Μετατρέπει την πολυγωνική που ο χρήστης έχει εισάγει γραφικά σε συντεταγμένες X,Y των κορυφών της. Το X αντιστοιχεί στη χιλιομετρική θέση (Χ.Θ.) και το Y στην τιμή του αξιμουθίου της συγκεκριμένης Χ.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 Χ.Θ. και το Y στο υψόμετρο ης ερυθράς της συγκεκριμένης Χ.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 Αξιμουθιακού Διαγράμματος και Οριζοντιογραφίας.

- 5.2 Εισαγωγή Πολυγωνικής Αζιμουθιακού Διαγράμματος.
- 5.3 Εύρεση με τη MET (Μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων) των βέλτιστων ευθειών στις περιοχές που υποδηλώνονται από τις Χ.Θ. του βήματος 5.2.
- 5.4 Εύρεση των αλληλοτομιών των ευθειών του βήματος 5.3.
- 5.5 Εύρεση των Ακτίων της Πολυγωνικής της Οριζοντιογραφίας.
- 5.6 Μεταφορά των Χ.Θ. των οριζοντίων ευθειών του βήματος 5.4 στη Οριζοντιογραφία και εύρεση των X,Y των ευθειών της Πολυγωνικής της Οριζοντιογραφίας με τη MET.
- 5.7 Εύρεση των αλληλοτομιών των ευθειών του βήματος 5.6 που είναι πλέον οι X,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 αλληλοτομιών 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).

### **3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ**

Το μοναδικό δεδομένο που απαιτείται να εισαχθεί στο λογισμικό είναι οι συντεταγμένες (X,Y,Z) του οδικού έργου. Από την τοπογραφική αποτύπωση του άξονα της οδού παράγεται η απαραίτητη πληροφορία σχετικά με την οριζοντιογραφία και τη μηκοτομή της οδού, ενώ από την τοπογραφική αποτύπωση των οριογραμμών του οδικού έργου (σε συνδυασμό με την πληροφορία του άξονα της οδού) παράγεται η απαραίτητη πληροφορία σχετικά με τις επικλίσεις και τις διαπλατύνσεις της οδού. Εφόσον υπάρχει δυνατότητα αποτύπωσης γραμμικών πλευρικών εμποδίων (όπως π.χ. στηθαία ασφαλείας, πόδια/φρύδια πρηνών ορυγμάτων κ.α.) είναι δυνατή πρόσθετη επεξεργασία με σκοπό τον έλεγχο ορατότητας για στάση σε υγρό οδόστρωμα καθώς επίσης και έλεγχος ορατότητας για προσπέραση.

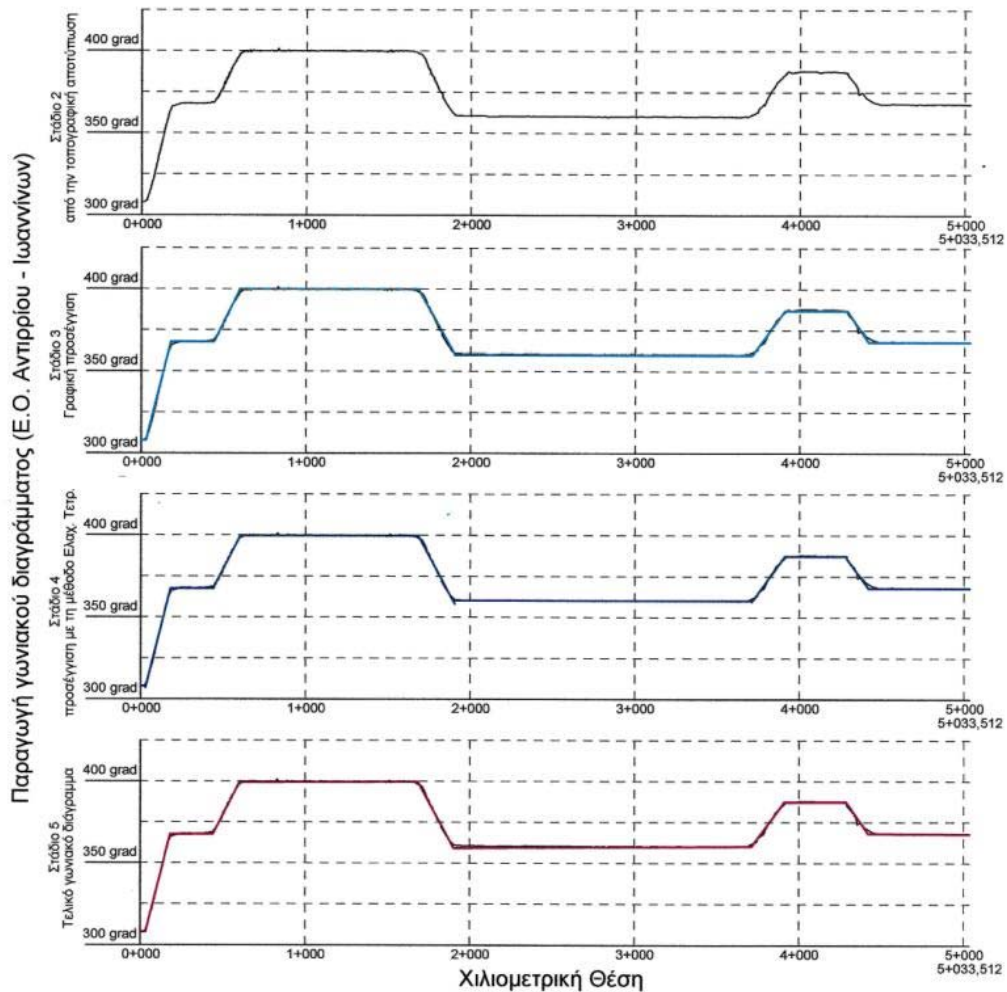
### **4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΜΗΚΟΤΟΜΗΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ**

Η διαδικασία παραγωγής της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής πραγματοποιήθηκε για τμήμα της υφιστάμενης εθνικής οδού Αντιρρίου – Ιωαννίνων (μήκους περίπου 5,0 χιλιομέτρων) και για τμήμα της υφιστάμενης εθνικής οδού Κοζάνης – Καστοριάς (μήκους περίπου 5,3 χιλιομέτρων), με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, μιας λωρίδας ανά κατεύθυνση. Η τοπογραφική αποτύπωση του τμήματος της Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας, ενώ η τοπογραφική πληροφορία για το τμήμα της Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς προήλθε από επίγεια (ταχυμετρική) αποτύπωση. Αναλυτικά η διαδικασία περιγράφεται στις παραγράφους που ακολουθούν, ενώ για την καλύτερη κατανόηση κάθε βήματος παρουσιάζονται και για τα δύο έργα αναλυτικά σχήματα με τα στάδια παραγωγής.

#### **4.1 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:

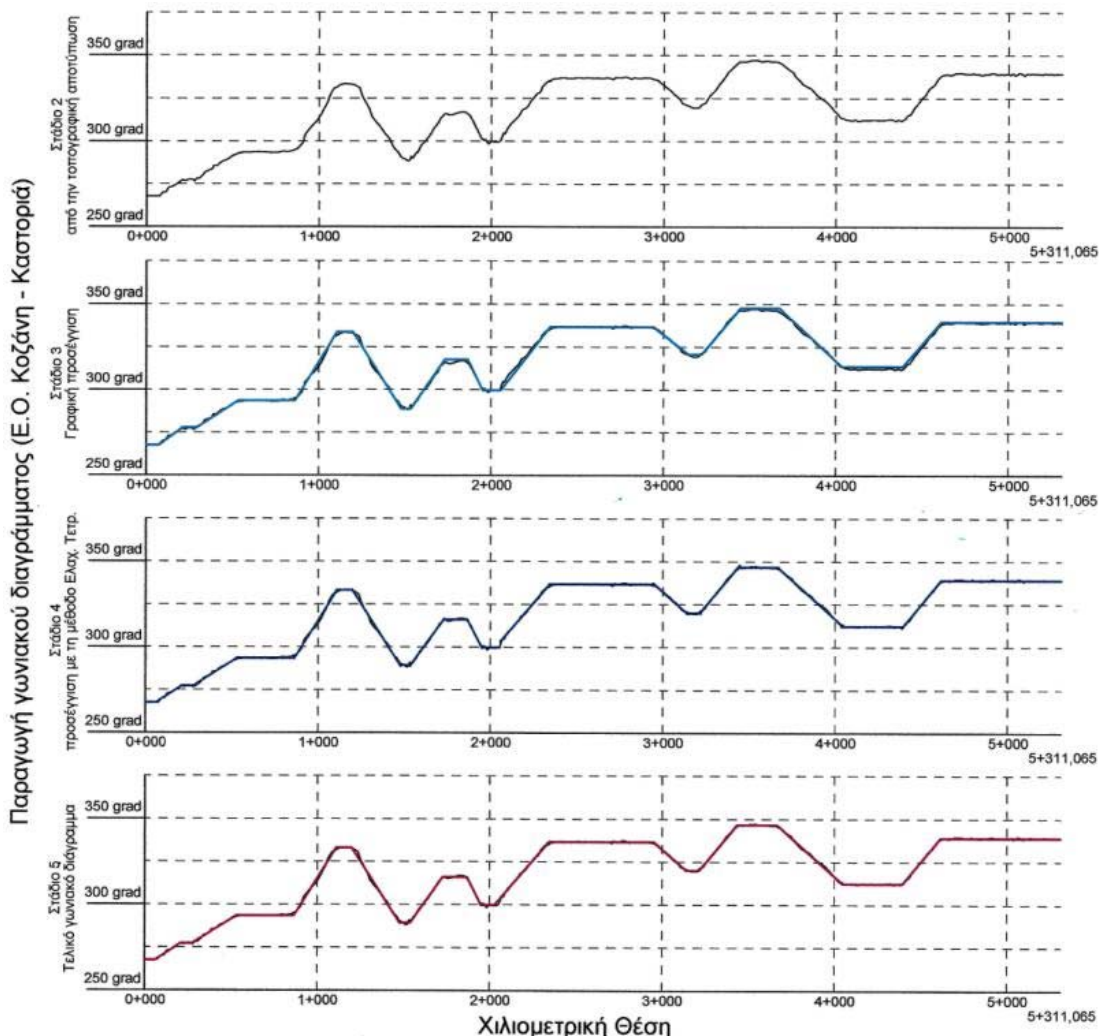
1. Έγινε υπολογισμός του μήκους κάθε ευθύγραμμου τμήματος που ορίζουν δύο διαδοχικά σημεία της τοπογραφικής αποτύπωσης. Από το άθροισμα όλων των ευθύγραμμων τμημάτων προέκυψε και το συνολικό μήκος της οδού (Στάδιο 1).
2. Έγινε υπολογισμός του αζιμούθιου του κάθε ευθύγραμμου τμήματος και εν συνεχεία έγινε αποτύπωση κάθε παραγόμενου σημείου σε άξονες χιλιομέτρηση - αζιμούθιο. Ενώνοντας τα παραγόμενα σημεία με ευθείες προκύπτει το γωνιακό διάγραμμα βάση αποτύπωσης (Σχήματα 1α,1β – 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" του γωνιακού διαγράμματος (Σχήματα 1α,1β – Στάδιο 3).
4. Έγινε 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) αναζητήθηκε η καλύτερη προσέγγιση ευθειών που να έχουν σταθερό αζιμούθιο (Σχήματα 1α,1β – Στάδιο 4).



**Σχήμα 1α:** Στάδια παραγωγής γωνιακού διαγράμματος (Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων)

5. Η τομή των βέλτιστων αυτών ευθειών έδωσε και το τελικό γωνιακό διάγραμμα της οδού (Σχήματα 1α, 1β – Στάδιο 5).
6. Από το τελικό γωνιακό 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). Σημειώνεται ότι 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 στάδια παραγωγής του γωνιακού διαγράμματος παρουσιάζονται στα σχήματα 1α και 1β.



**Σχήμα 1β:** Στάδια παραγωγής γωνιακού διαγράμματος (Ε.Ο. Κοζάνη - Καστοριά)

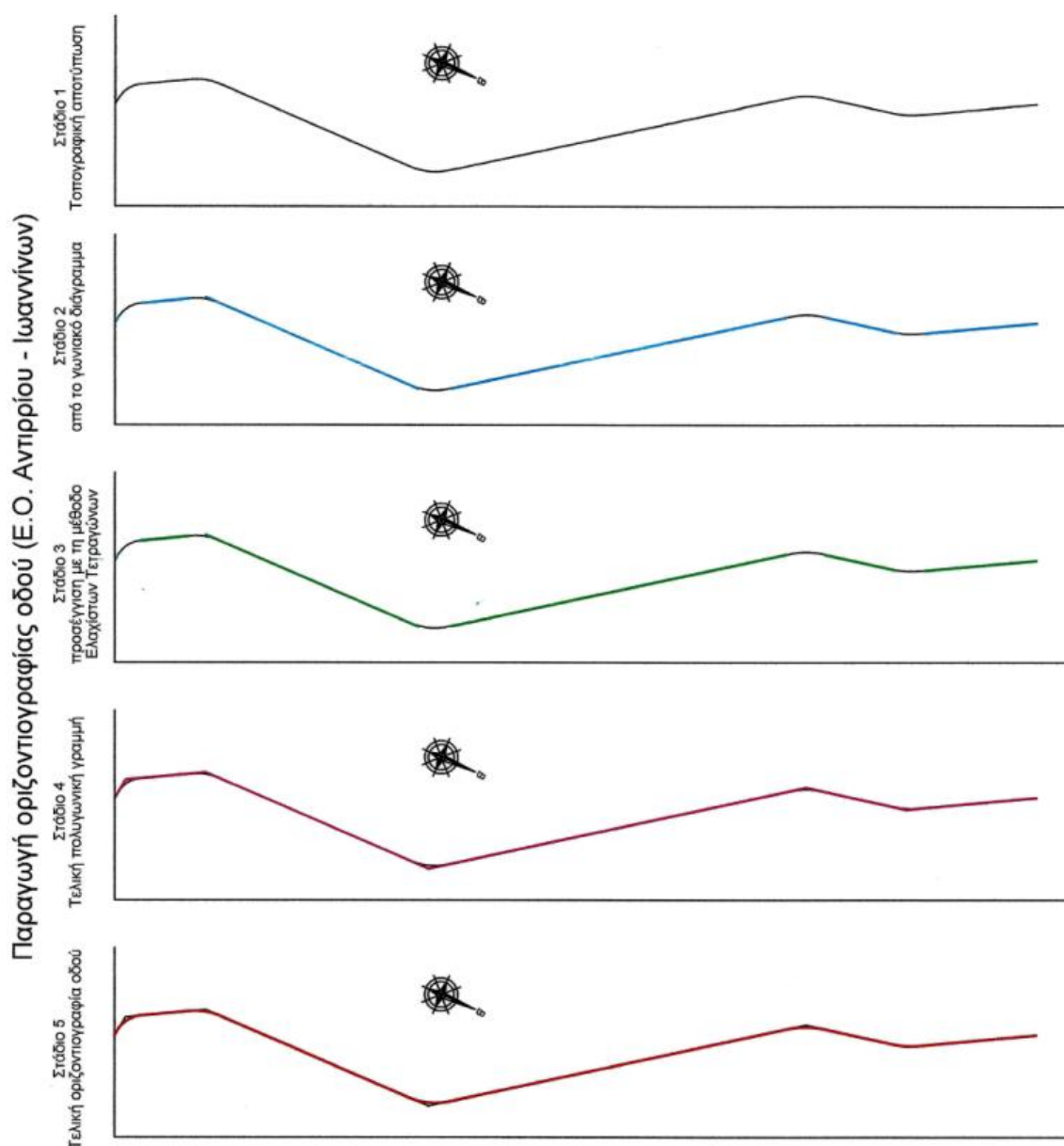
#### 4.2 Παραγωγή Οριζοντιογραφίας

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

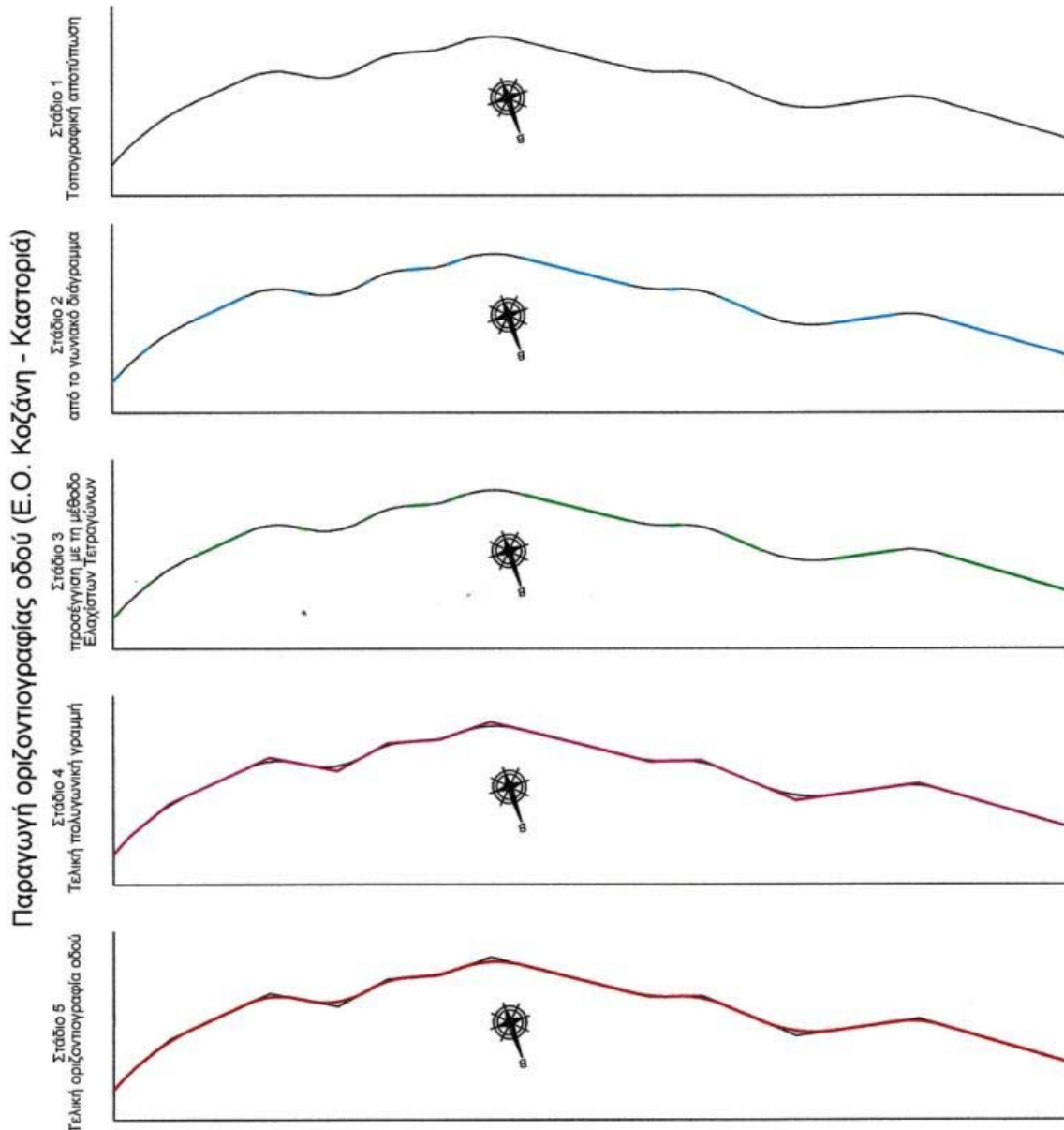
1. Έγινε αποτύπωση κάθε σημείου με βάση τις συντεταγμένες του Χ και Υ. Ενώνοντας τα παραγόμενα σημεία με ευθείες προκύπτει η οριζοντιογραφία της οδού βάσει αποτύπωσης (Σχήματα 2α, 2β – Στάδιο 1).
2. Από τις κορυφές του γωνιακού διαγράμματος (αζιμούθιο και χλιομέτρηση) αποτυπώθηκαν στην οριζοντιογραφία τα ευθύγραμμα τμήματα (Σχήματα 2α, 2β – Στάδιο 2).

3. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα μεταξύ του αποτυπωμένου άξονα και της τελικής οριζοντιογραφίας έγινε εκ νέου χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων προκειμένου κάθε ευθύγραμμο τμήμα να προσεγγίζει με το μικρότερο δυνατό σφάλμα τα σημεία της τοπογραφικής αποτύπωσης (Σχήματα 2α, 2β – Στάδιο 3).
4. Η τομή των βέλτιστων αυτών ευθειών έδωσε και την τελική πολυγωνική της οριζοντιογραφίας της οδού (Σχήματα 2α,2β – 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 2α, 2β – Στάδιο 5)

Τα στάδια παραγωγής της οριζοντιογραφίας παρουσιάζονται στα σχήματα 2α και 2β.



**Σχήμα 2α:** Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της οριζοντιογραφίας (Ε.Ο.  
Αντιρρίου - Ιωαννίνων)



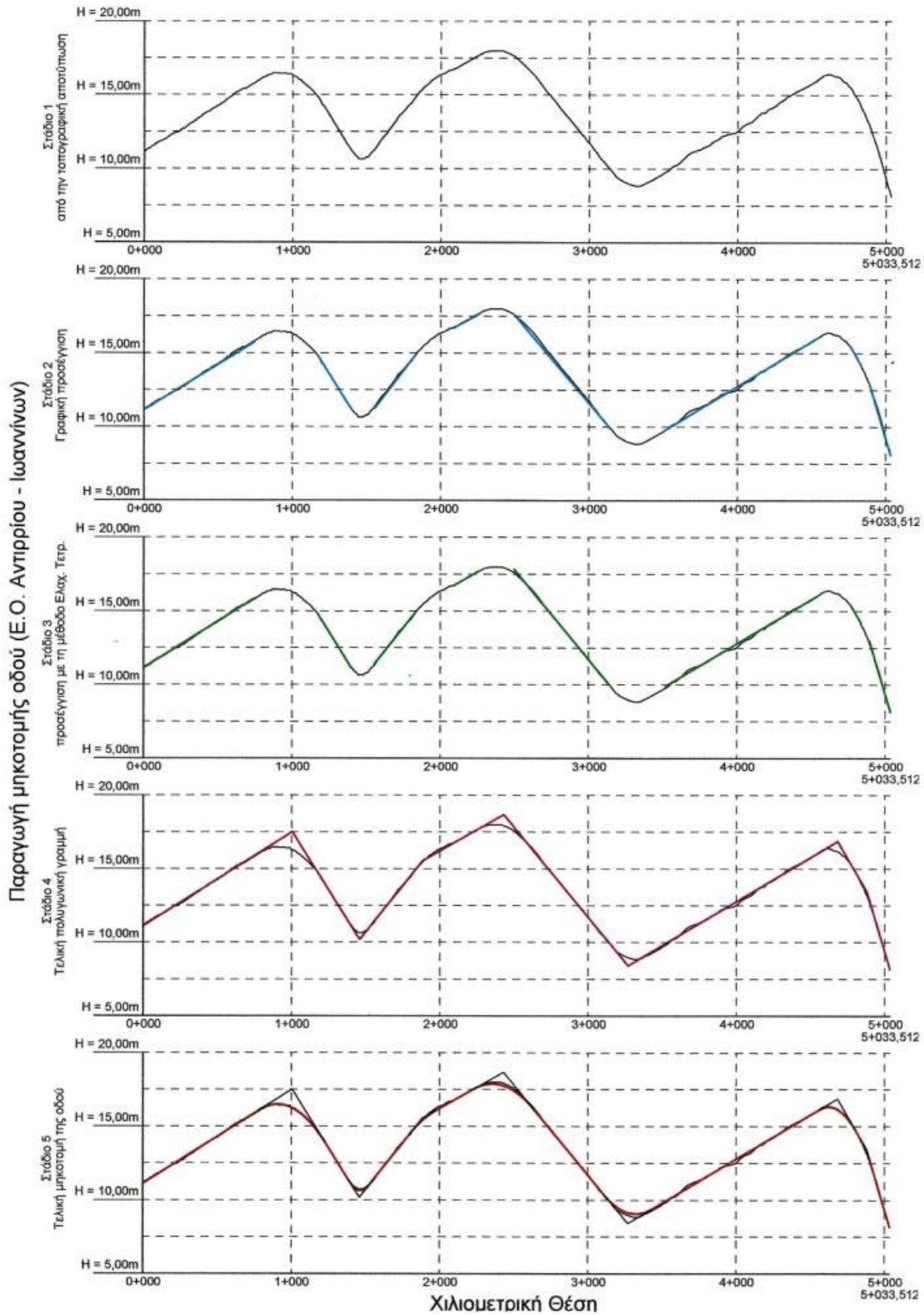
**Σχήμα 2β:** Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της οριζοντιογραφίας (Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς)

### 4.3 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 3α, 3β – 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 ορίστηκαν χειρωνακτικά τα τμήματα που η μηκοτομή παρουσίαζε σταθερή κατά μήκος κλίση (Σχήματα 3α, 3β – 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 3α, 3β – Στάδιο 3).
4. Η τομή των βέλτιστων αυτών ευθειών έδωσε και την τελική πολυγωνική της μηκοτομής της οδού (Σχήματα 3α, 3β – Στάδιο 4).

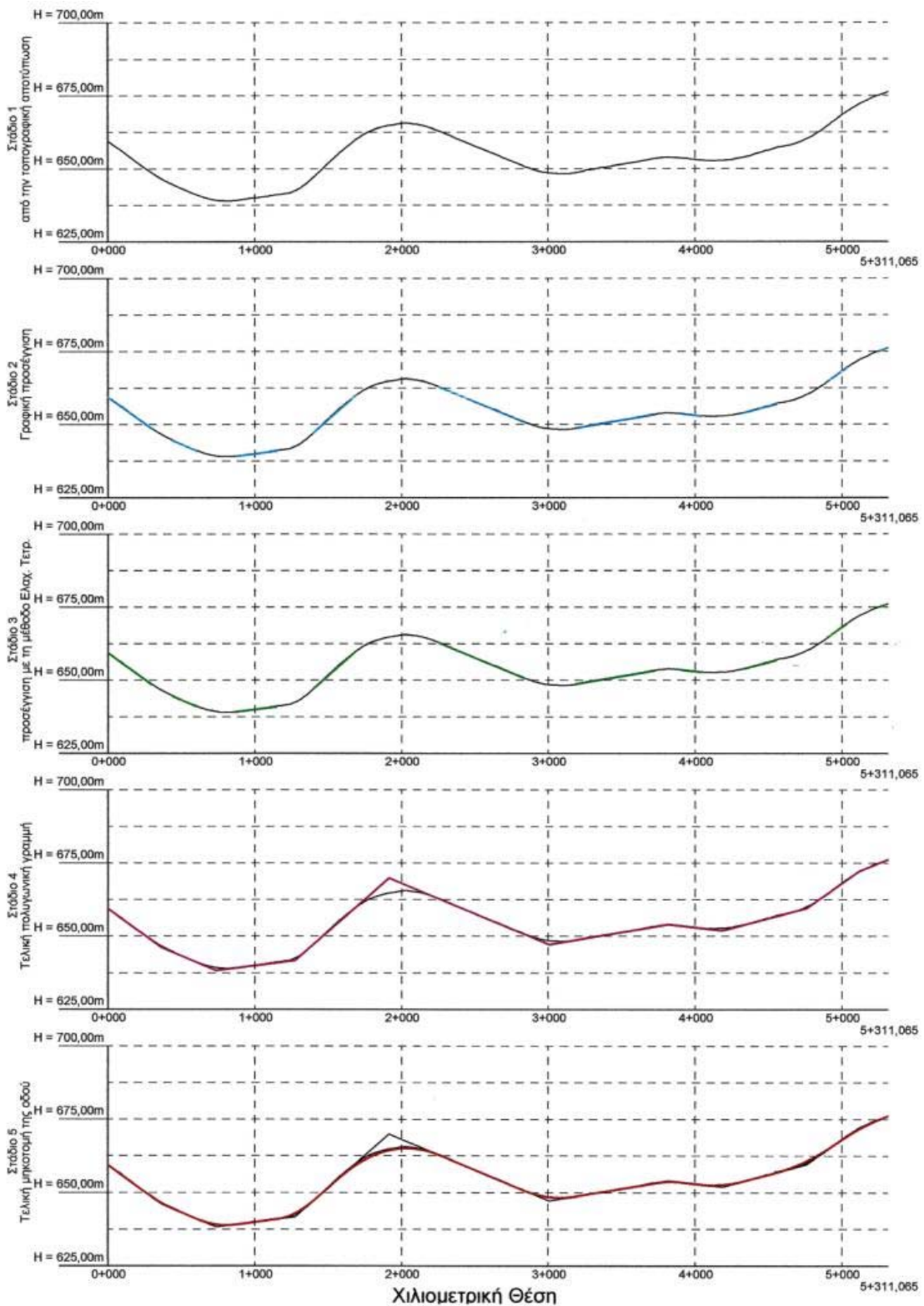
5. Με βάση την τελική πολυγωνική της μηκοτομής έγινε χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων προκειμένου να υπολογιστούν οι βέλτιστοι κύκλοι που εφαρμόζονται στην πολυγωνική και προσεγγίζουν με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια τα αποτυπωμένα σημεία. Από την πολυγωνική και την τιμή των ακτίνων στρωγγύλευσης, έγινε υπολογισμός όλων των στοιχείων της μηκοτομής και αποδόθηκε η τελική ερυθρά της οδού (Σχήματα 3α, 3β – Στάδιο 5).



**Σχήμα 3α :** Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της μηκοτομής. (Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων, (Κλίμακα υψών) = 100 x (Κλίμακα μηκών))



Παραγωγή μηκοτομής οδού (Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς)



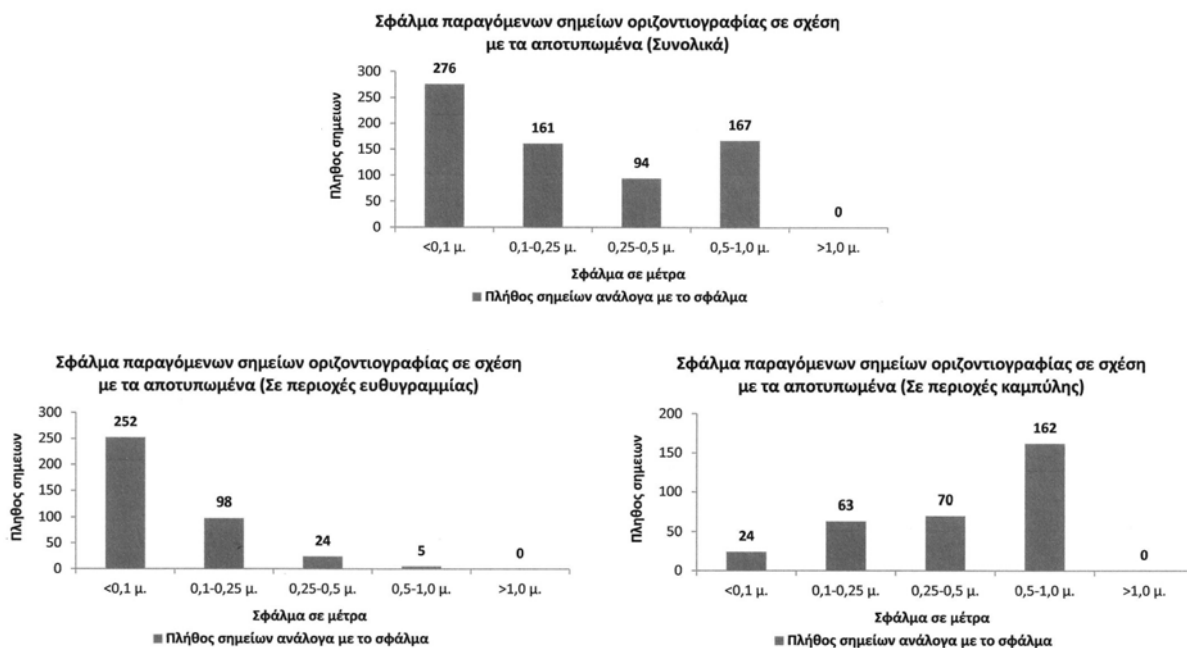
**Σχήμα 3β :** Στάδια παραγωγής της πολυγωνικής της μηκοτομής. (Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς, (Κλίμακα υψών) = 20 x (Κλίμακα μηκών))

## 5. ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΤΗΣ ΜΗΚΟΤΟΜΗΣ

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.

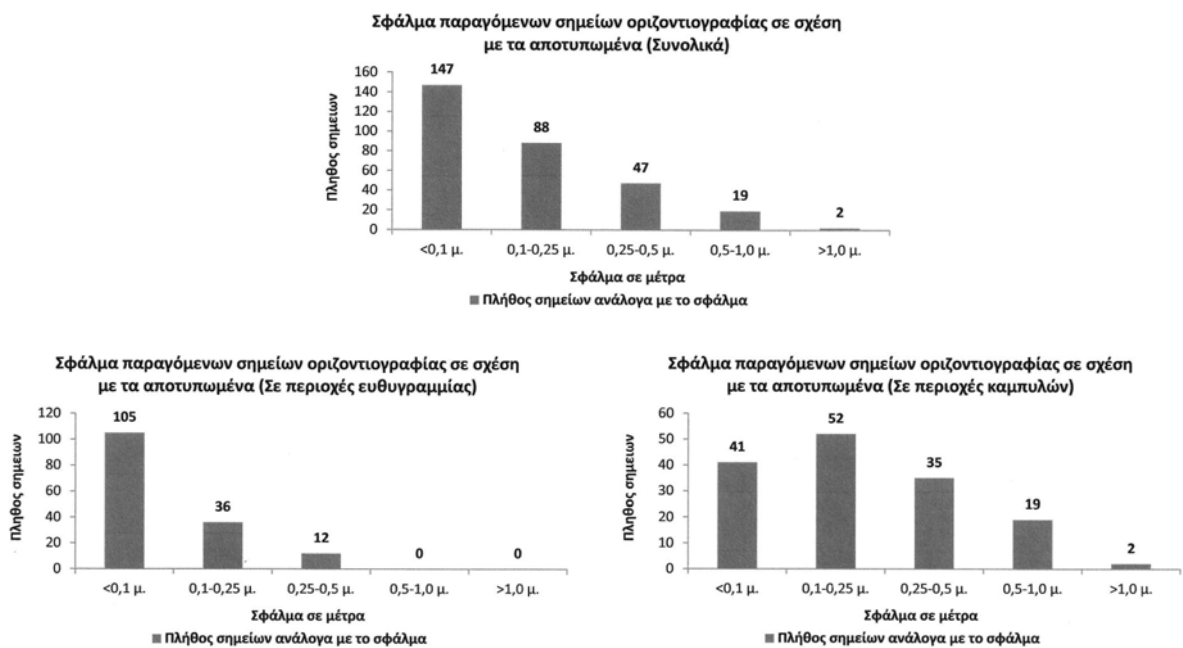
### 5.1 Οριζοντιογραφία

Ο άξονας της οριζοντιογραφίας του τμήματος της Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων προέκυψε με βάση τον άξονα τοπογραφικού υποβάθρου, το οποίο έγινε με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας, 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 4 αποτυπώνεται το πλήθος των σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν (για το σύνολο του οδικού τμήματος, σε ευθυγραμμίες, σε καμπύλες).



**Σχήμα 4:** 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, το οποίο έγινε με επίγεια αποτύπωση, 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).



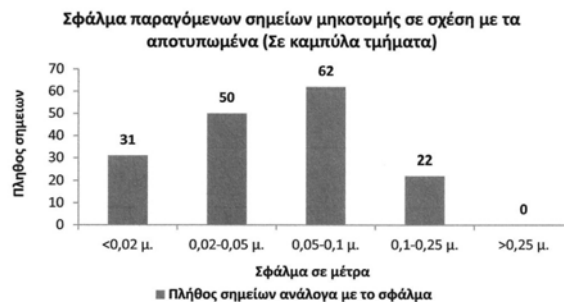
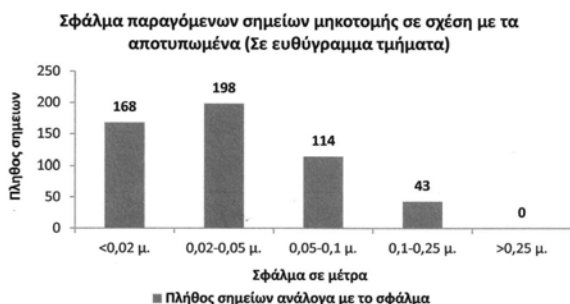
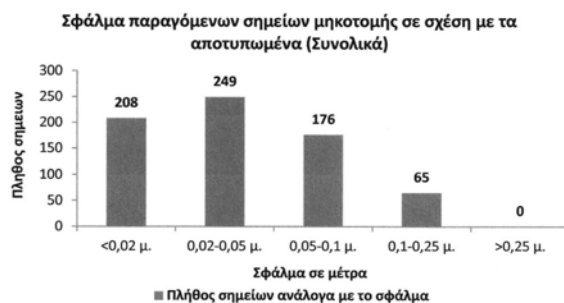
**Σχήμα 5: Πλήθος σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν στην οριζοντιογραφία (Ε.Ο. Κοζάνης - Καστοριάς)**

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). Τονίζεται επίσης ότι σε περίπτωση που η επεξεργασία του τοπογραφικού υποβάθρου υποδείξει κάποια περιοχή του οδικού δικτύου με σημαντικά μεγαλύτερο σφάλμα από το μέσο όρο, τότε πρέπει στο συγκεκριμένο τμήμα να γίνει συμπληρωματική αποτύπωση με σκοπό να επιβεβαιωθεί η ορθότητα της τοπογραφικής πληροφορίας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η απόκλιση που προκύπτει από την επεξεργασία του οδικού τμήματος της Ε.Ο Κοζάνης - Καστοριάς είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με την απόκλιση που προκύπτει από την επεξεργασία του οδικού τμήματος της Ε.Ο. Αντιρρίου - Ιωαννίνων. Το γεγονός αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στην ακρίβεια που προσφέρει η τοπογραφική μέθοδος αποτύπωσης του οριζοντιογραφικού άξονα.

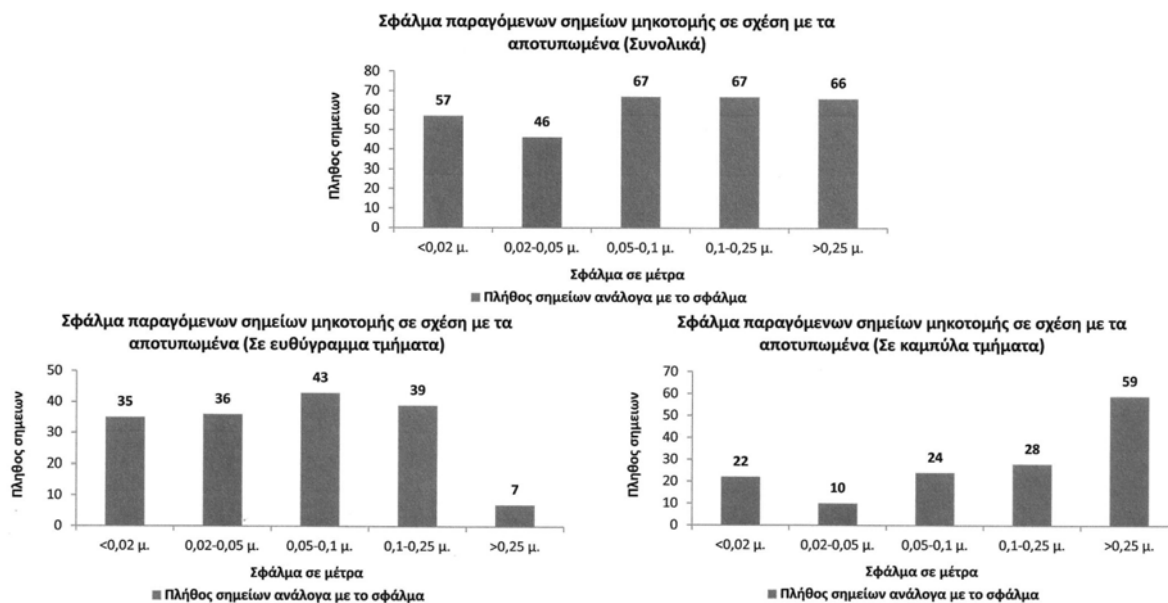
## **5.2 Μηκοτομή**

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 6 αποτυπώνεται το πλήθος των σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν (για το σύνολο του οδικού τμήματος, σε ευθύγραμμα τμήματα, σε καμπύλες).



**Σχήμα 6:** 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 7 αποτυπώνεται το πλήθος των σημείων ανάλογα με το σφάλμα που παρουσιάζουν (για το σύνολο του οδικού τμήματος, σε ευθύγραμμα τμήματα, σε καμπύλες).



**Σχήμα 7:** 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).

## **6. ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΜΗΚΟΤΟΜΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ** **ΙΣΧΥΟΝΤΕΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ**

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, RAA-2008, RAS-L κ.α.) 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 ομόροπων 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.)

## **7. ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΩΝ ΘΕΣΕΩΝ**

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 2370μ. αντί για 4500μ.) ή οριακή (π.χ. μήκος ευθύγραμμου τμήματος 1662μ. με μέγιστο όριο τα 1600μ.), είναι σημαντικό σε κάθε περιοχή να επισημαίνεται και το μέγεθος της απόκλισης. Η αναφορά αυτή μπορεί να γίνεται με ένα ανοιγμένο μέγεθος όπως π.χ. η ακόλουθη μαθηματική σχέση :

$$\left| \frac{\text{ΤιμήΠροκύπτουσα} - \text{ΤιμήΚανονισμού}}{\text{ΤιμήΚανονισμού}} \right| \quad (i)$$

Στα δύο παραπάνω παραδείγματα προκύπτει ότι :

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

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

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 (κακές καιρικές συνθήκες, ύπαρξη αντικειμένου στο οδόστρωμα, απόσπαση προσοχής οδηγού κ.α.) οδηγεί σε αύξηση των οδικών ατυχημάτων. 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.

## **8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Η προσπάθεια που έγινε στην παρούσα έρευνα έχει ως στόχο τη δημιουργία ενός προγράμματος μέσω του οποίου να πραγματοποιούνται αυτοματοποιημένα όλοι οι ενδεδειγμένοι έλεγχοι σχετικά με την ασφάλεια της χάραξης ενός οδικού τμήματος με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει απλοποιήσει πολύ τη διαδικασία δημιουργίας τοπογραφικών υποβάθρων και έχει βελτιώσει σε σημαντικό βαθμό την ακρίβεια που μπορούμε να έχουμε 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 βελτιωθούν σημεία που αποτελούν εν δυνάμει θέσεις οδικών ατυχημάτων.

## **9. ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ**

Η παρούσα εργασία αποτελεί την αφετηρία σε μία προσπάθεια με στόχο την αυτοματοποιημένη εξαγωγή όλων των απαραίτητων στοιχείων που διαμορφώνουν τη χάραξη κάθε οδικού έργου μέσω τοπογραφικής αποτύπωσης. Στο πλαίσιο αυτό, στοιχεία που μπορούν να αποτελέσουν για σημεία περαιτέρω έρευνα μπορεί να είναι τα ακόλουθα:

1. Πλήρως αυτοματοποιημένη εξαγωγή του γωνιακού διαγράμματος και της ερυθράς της μηκοτομής.
2. Υπολογισμός κατάλληλων παραμέτρων καμπύλων συναρμογής (κλωθοειδών) προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η απόκλιση της παραγόμενης οριζοντιογραφίας σε σχέση με την αποτυπωμένη.
3. Εξαγωγή των επικλίσεων και των διαπλατύνσεων του οδικού τμήματος από την τοπογραφική πληροφορία των οριογραμμών της οδού.
4. 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.

## **10. ΑΝΑΦΟΡΕΣ - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

1. Bullock R., Least Squares Circle Fit, 2006
2. Maisonneuve L., Finding the circle that best fits a set of points, 2007
3. Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Linienführung (RAS-L), Bonn, 1995
4. Simpson D.G., Linear Regression, Department of Physical Sciences and Engineering, Prince George's Community College, 2010
5. Κανελλαΐδης Γ. - Μαλέρδος Γ. - Καλτσούνης Α. - Γλαρός Γ., Σημειώσεις για τον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών, 2012
6. Λογισμικό Οδοποιίας H11. Αθήνα 2012.
7. 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.
8. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), Τεύχος 2: Διατομές, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, 2001.

9. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), Τεύχος 3: Χαράξεις, Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας, 2001.
10. Ψαριανός Β., Σημειώσεις Οδοποιία Ι (Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών), 2005