



## Εντοπισμός δυνητικών θέσεων τροχαίων ατυχημάτων σε υφιστάμενο οδικό δίκτυο αναφορικά με τη γεωμετρία της οδού

Κωνσταντίνος Αποστολέρης<sup>1</sup>, Πολιτικός Μηχανικός, MSc  
Φώτης 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,  
Email: pydj79@hotmail.com

6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδικής Ασφάλειας  
12-13 Μαρτίου 2015, Αθήνα

### Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η επισήμανση εν δυνάμει θέσεων τροχαίων οδικών ατυχημάτων στο υφιστάμενο οδικό δίκτυο που σχετίζονται με τη γεωμετρία της οδού. Το ερευνητικό αυτό έργο περιλαμβάνει τη δημιουργία μίας μεγάλης βάσης δεδομένων, η οποία εμπλουτίζεται διαρκώς και σήμερα αποτελείται από αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα οδών όλων των κατηγοριών. Ένα πολύ μεγάλο μέρος από τη βάση αυτή έχει διερευνηθεί και αξιολογηθεί στην προσπάθεια να προσδιοριστούν περιοχές που παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις από τους σύγχρονους κανονισμούς γεωμετρίας της Οδού στην Ελλάδα, την Γερμανία και την Αμερική.

Αρχικά, αποτυπώθηκαν οι συντεταγμένες (X, Y, Z) του άξονα και των οριογραμμών σε ένα μεγάλο μέρος του Εθνικού και Επαρχιακού οδικού δικτύου της Χώρας. Οι συντεταγμένες αποτυπώθηκαν μέσω GPS το οποίο τοποθετήθηκε στην οροφή ενός κινούμενου οχήματος και το οποίο συγχρονίστηκε να καταγράφει ένα σημείο κάθε περίπου 3 μέτρα. Εν συνεχεία έγινε επεξεργασία των συντεταγμένων (X, Y, Z) και παράχθηκε η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή κάθε οδού με τη χρήση ενός εξειδικευμένου λογισμικού πακέτου που δημιουργήθηκε από ερευνητική ομάδα εντός του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Επιπρόσθετα χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλες στατιστικές μέθοδοι προκειμένου να υπάρχει όσο το δυνατό μικρότερη απόκλιση της παραγόμενης γεωμετρίας σε σχέση με την αποτύπωση.

Τελικά παράχθηκε η οριζοντιογραφία και η μηκοτομή κάθε οδού και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά συγκρίθηκαν με τα προβλεπόμενα στους κανονισμούς που ισχύουν σήμερα. Με τη χρήση κατάλληλων παραμέτρων προσδιορίστηκαν οι θέσεις όπου υπάρχει σημαντική απόκλιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών σε σχέση με τους ισχύοντες κανονισμούς. Οι θέσεις αυτές αρχικά κατηγοριοποιήθηκαν και ταξινομήθηκαν ανάλογα με τη σπουδαιότητα τους και ακολούθως εντοπίστηκαν αυτές με την μεγαλύτερη σοβαρότητα.

**Λέξεις Κλειδιά:** Γεωμετρία Οδού, επικίνδυνες θέσεις, οδική ασφάλεια

### Abstract

This paper deals with the identification of potential hazardous locations on existing roads as related to road alignment. The project aims to create a large data base, to be continuously updated, containing several hundreds of road kilometers of all road categories. A large part has been investigated aiming to identify locations that present significant deviations from current geometric design guidelines in Greece, Germany and USA.

Initially, coordinates (X, Y, Z) have been taken in order to survey axis and side-lines in a large part of national and local network in Greece. The coordinates have been taken with a GPS placed on the roof of a moving vehicle that was scheduled to record one point every about 3 meters. Coordinates (X,Y,Z) were processed and horizontal and vertical alignment were generated, using a specific software package which was developed by a research team at the

National Technical University of Athens (NTUA). Additionally appropriate statistical methods were adopted in order to approach as closely as possible the existing alignment.

The produced alignment of each road has been evaluated and compared with existing guidelines. Using appropriate parameters in software, the locations where geometry had critical deviations from guidelines were identified. These locations were initially categorized and classified according to their order of importance and finally those with the greatest severity for road safety were identified.

**Keywords:** *Road geometric design, hazardous locations, road safety hazards*

## **1. Εισαγωγή**

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.

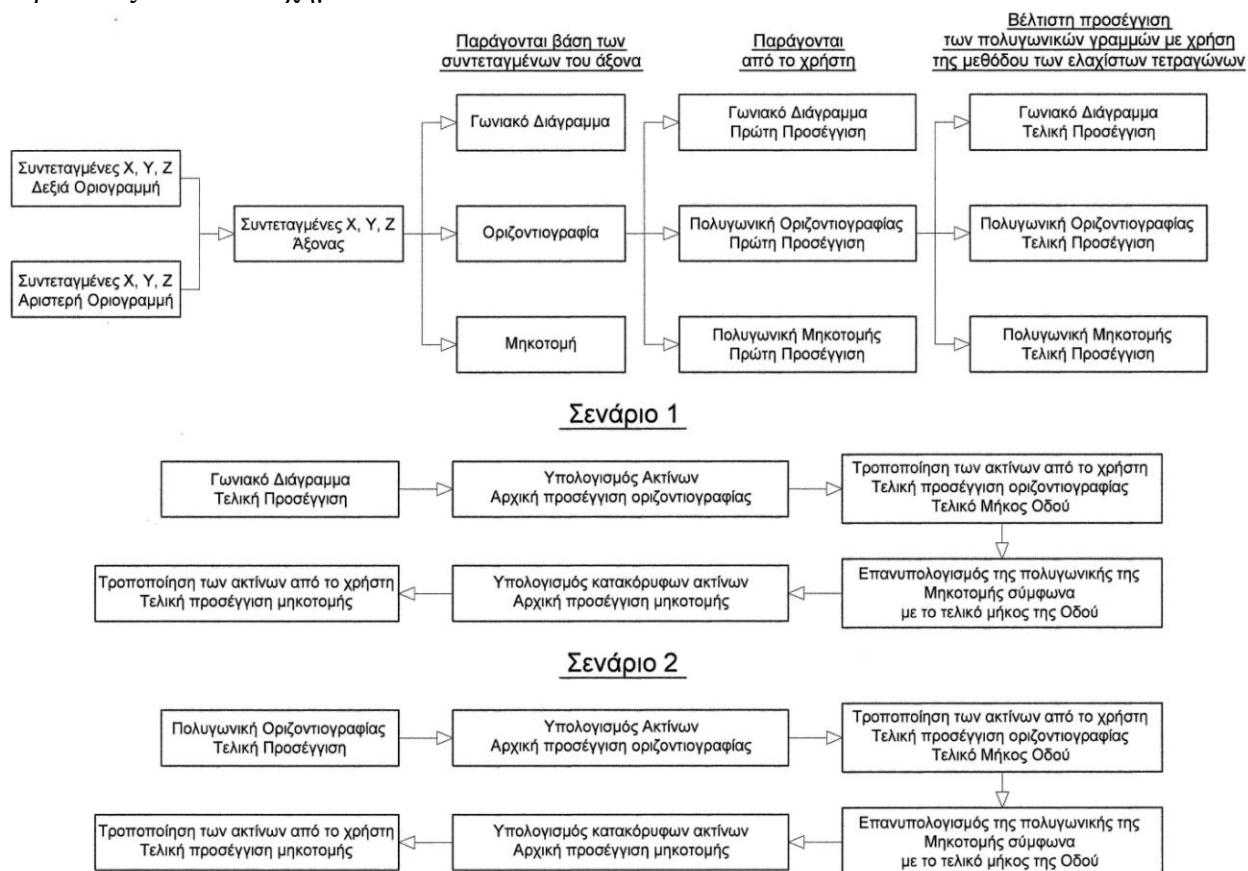
## **2. Συλλογή και επεξεργασία δεδομένων**

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει την επεξεργασία τοπογραφικής αποτύπωσης των οριογραμμών ή/και του άξονα περίπου 1000 χιλιομέτρων εθνικού και επαρχιακού οδικού δικτύου της Ελλάδας με σκοπό την παραγωγή της γεωμετρίας του κάθε οδικού έργου (οριζοντιογραφία και μηκοτομή).

Η τοπογραφική αποτύπωση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση κατάλληλων οργάνων τα οποία τοποθετήθηκαν στην οροφή κινούμενου οχήματος και συγχρονίστηκαν ώστε να λαμβάνουν στίγμα κάθε 3-5 περίπου μέτρα. Το όχημα πραγματοποίησε σε κάθε οδικό τμήμα μετάβαση και επιστροφή με σκοπό να αποτυπωθούν η δεξιά και η αριστερή οριογραμμή της κάθε οδού. Με κατάλληλη επεξεργασία των συντεταγμένων X,Y,Z παράχθηκε ο άξονας της οδού ως το γεωμετρικό μέσο των δύο οριογραμμών. Τελικά μέσω των παραγόμενων συντεταγμένων X, Y, Z έγινε εξαγωγή των στοιχείων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής.

### 3. Συνοπτική περιγραφή του λογισμικού H12

Για την επιτάχυνση της επεξεργασίας της τοπογραφικής πληροφορίας και την εξαγωγή της γεωμετρίας στο λιγότερο δυνατό χρόνο και με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια, δημιουργήθηκε ένα νέο λογισμικό από ερευνητική ομάδα του Ε.Μ.Π. το οποίο και ονομάστηκε H12. Στην παράγραφο αυτή περιγράφονται συνοπτικά τα βήματα προσέγγισης και ένα διάγραμμα ροής που παρουσιάζονται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1: Διάγραμμα ροής λογισμικού H12.

Τα βήματα περιγράφονται συνοπτικά ακολούθως:

1. Εισάγονται στο πρόγραμμα οι συντεταγμένες X, Y, Z της αριστερής και της δεξιάς οριογραμμής της οδού, όπως αυτές έχουν ληφθεί από την τοπογραφική αποτύπωση. Στην περίπτωση που έχει γίνει αποτύπωση και του άξονα της οδού, τότε εισάγονται ταυτόχρονα και αυτές οι συντεταγμένες.
2. Εφόσον δεν έχει εισαχθεί τοπογραφική πληροφορία για τον άξονα τότε αυτός παράγεται ως ο γεωμετρικός μέσος των δύο οριογραμμών.
3. Γίνεται αυτόματη επεξεργασία των συντεταγμένων και εξάγεται σε αρχείο DXF (Autocad, Microstation format) η οριζοντιογραφία, η μηκοτομή και το γωνιακό διάγραμμα της οδού όπως αυτό προκύπτει από την αποτύπωση (δηλαδή σαν πολυτεθλασμένη γραμμή με πλευρές μήκους 3-5μ.).

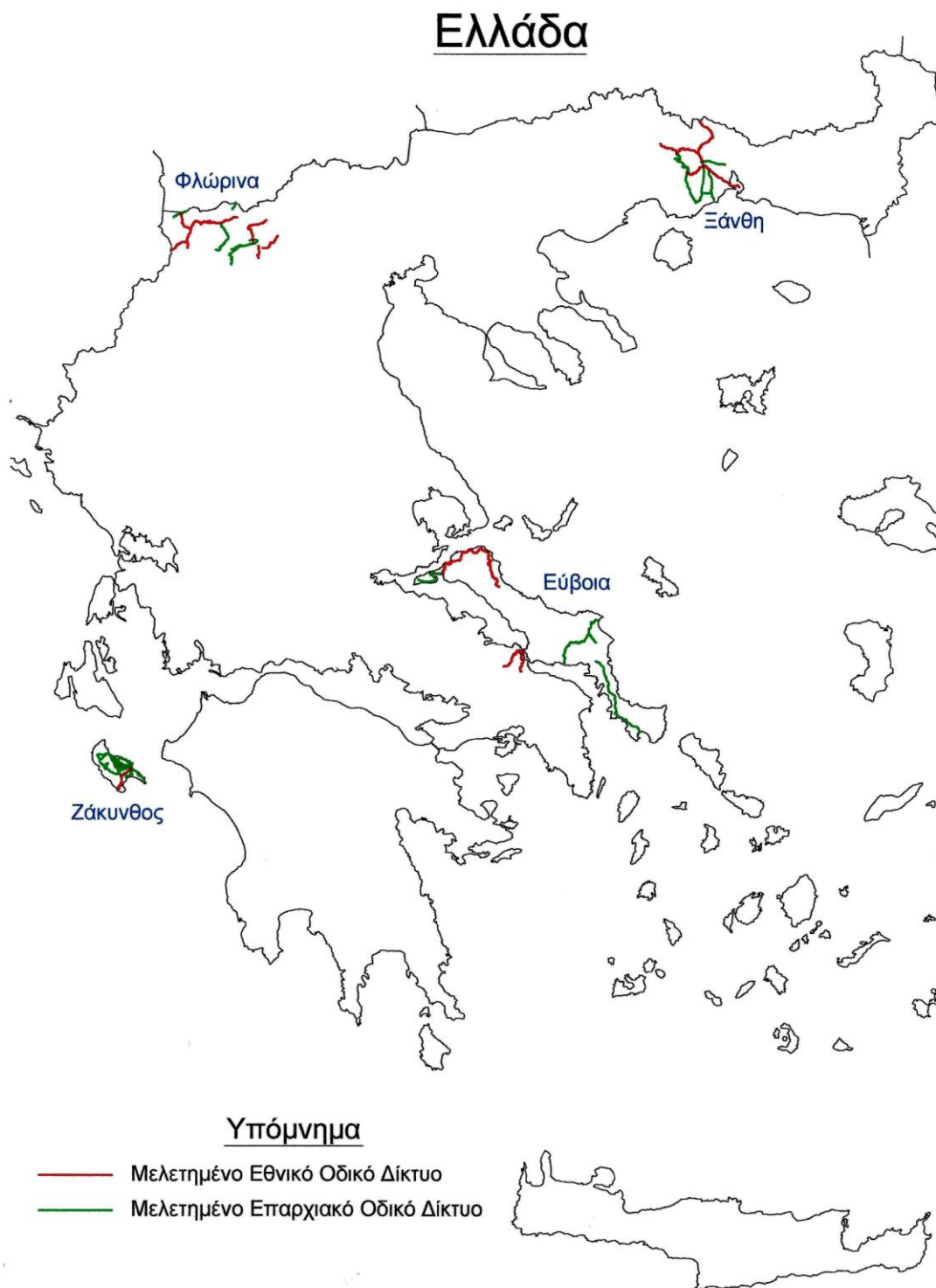
4. Γίνεται επεξεργασία από το χρήστη του αρχείου DXF με σκοπό να δημιουργηθεί σε μία πρώτη προσέγγιση η πολυγωνική της οριζοντιογραφίας, η πολυγωνική της μηκοτομής και το γωνιακό διάγραμμα. Τελικά οι τεθλασμένες αυτές γραμμές εισάγονται στο πρόγραμμα.
5. Γίνεται αυτόματη επεξεργασία και διόρθωση των τεθλασμένων γραμμών, με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, προκειμένου να προσεγγίζουν όσο το δυνατό καλύτερα την τοπογραφικά αποτύπωση.
6. Ταυτόχρονα προσεγγίζονται οι ακτίνες της οριζοντιογραφίας με δύο τρόπους. Αρχικά από το γωνιακό διάγραμμα και κατά δεύτερον από την πολυγωνική της οριζοντιογραφίας με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων προκειμένου τα παραγόμενα κυκλικά τόξα να έχουν όσο το δυνατό μικρότερη απόκλιση από την τοπογραφικά αποτύπωση. Με τον ίδιο τρόπο προσεγγίζονται και οι ακτίνες στις καμπύλες συναρμογής της μηκοτομής.
7. Τελικά το πρόγραμμα παράγει δύο σενάρια. Μέσω του γωνιακού διαγράμματος παράγεται μία προσέγγιση της οριζοντιογραφίας της οδού και με βάση το συνολικό μήκος της οδού αναπροσαρμόζεται και δημιουργείται η τελική μηκοτομή της οδού. Αντίστοιχα παράγεται μία δεύτερη προσέγγιση της οριζοντιογραφίας μέσω της πολυγωνικής και με βάση το συνολικό μήκος της οδού αναπροσαρμόζεται και δημιουργείται η τελική μηκοτομή της οδού.
8. Επειδή και στις δυο περιπτώσεις το 10% περίπου των παραγόμενων ακτίνων της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής εξακολουθούν να έχουν σημαντική απόκλιση από την τοπογραφική αποτύπωση, οι ακτίνες αυτές επαναπροσεγγίζονται γραφικά από το χρήστη.
9. Τελικά το πρόγραμμα ξανατρέχει τα δύο σενάρια και παράγει την τελική οριζοντιογραφία και μηκοτομή της οδού. Ταυτόχρονα υπολογίζει την ακρίβεια προσέγγισης που έχει επιτύχει κάθε ένα σενάριο ώστε ο χρήστης επιλέξει με ποιό από τα δύο να προχωρήσει στον έλεγχο της γεωμετρίας της οδού.
10. Τέλος, ορίζοντας ο χρήστης την ταχύτητα μελέτης κάθε τμήματος της οδού, το πρόγραμμα πραγματοποιεί έλεγχο των γεωμετρικών στοιχείων της οδού με βάση ισχύοντες κανονισμούς και επισημαίνει θέσεις όπου τα γεωμετρικά στοιχεία υπολείπονται των κανονισμών.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η τοπογραφική αποτύπωση πραγματοποιήθηκε με αδρανειακό GPS και η ακρίβεια που επετεύχθη τελικά είναι της τάξης των 20εκ. στην οριζοντιογραφία και των 10 εκ. στη μηκοτομή. Επίσης για ένα δρόμο περίπου 50 χλμ (όπου η πολυγωνική της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής περιλαμβάνει περίπου 200 κορυφές σε κάθε μία) ο χρόνος που διαρκούν τα βήματα 1 έως 10 όπως περιγράφηκαν παραπάνω είναι της τάξης των 10 ωρών, γεγονός που δείχνει πόσο άμεση, οικονομική και αποτελεσματική μπορεί να είναι αξιολόγηση της γεωμετρίας ενός τμήματος οδικού δικτύου. Αν πραγματοποιηθεί μόνο ένα από τα δύο σενάρια που περιγράφηκαν παραπάνω (βήμα 7), τότε ο χρόνος περιορίζεται περίπου στις 6 ώρες επιταχύνοντας ακόμα περισσότερο τη διαδικασία αξιολόγησης.

Επισημαίνεται ότι ταυτόχρονα με όλα τα παραπάνω, και εφόσον έχουμε αποτυπώσει και τον άξονα της οδού εκτός από τις οριογραμμές, το πρόγραμμα παράγει και το διάγραμμα επικλίσεων και διαπλατυνσεων. Απαραίτητη όμως προϋπόθεση για να υπάρχει μία καλή εικόνα στα διαγράμματα αυτά είναι το σφάλμα της τοπογραφικής αποτύπωσης να είναι πολύ μικρό.

#### 4. Οδικό δίκτυο που μελετήθηκε

Αποτυπώθηκαν και επεξεργάστηκαν 913 χιλιόμετρα Εθνικού και Επαρχιακού οδικού δικτύου. Το δίκτυο αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 2.



*Σχήμα 2: Εθνικό και Επαρχιακό οδικό δίκτυο που μελετήθηκε*

## 5. Ακρίβεια στην προσέγγιση της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής

Η αποτύπωση έγινε παντού με αδρανειακό GPS και αποτυπώθηκαν μόνο οι οριογραμμές του κάθε οδικού δικτύου από τις οποίες έγινε αυτόματα η εξαγωγή των συντεταγμένων του άξονα της οδού (Βήμα 2). Πραγματοποιήθηκαν και τα δύο σενάρια (Βήμα 7), ενώ διαπιστώθηκε ότι το σενάριο κατά το οποίο εισάγεται από το χρήστη η πολυγωνική της οριζοντιογραφίας παρουσιάζει σημαντικά μικρότερη απόκλιση από το αντίστοιχο σενάριο που εισάγεται από το χρήστη το γωνιακό διάγραμμα. Συνοπτικά η ακρίβεια προσέγγισης που επετεύχθη παρουσιάζεται στον πίνακα 1.

### Πίνακας 1: Κείμενο τίτλου πίνακα

#### Πίνακας 1: Μέση απόκλιση στην προσέγγιση οριζοντιογραφίας και μηκοτομής οδικού έργου

Είδος οδικού δικτύου	Εθνικό	Επαρχιακό
Εξεταζόμενο Μήκος (χλμ)	384,5	528,5
Μέση απόκλιση στην Οριζοντιογραφία (μ.)	0,24	0,18
Μέση απόκλιση στη Μηκοτομή (μ.)	0,12	0,09

Όπως φαίνεται στον πίνακα 1 η μέση απόκλιση που παρουσιάζει το Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο είναι ελαφρώς μικρότερη από αυτή που παρουσιάζει το Εθνικό Οδικό Δίκτυο. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στο γεγονός ότι τα μεμονωμένα γεωμετρικά στοιχεία (ευθείες και κυκλικά τόξα) είναι μικρότερα στο Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο και προσεγγίζεται καλύτερα η τοπογραφική αποτύπωση.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι οι συντεταγμένες X, Y, Z του άξονα της οδού προέκυψαν ως το γεωμετρικό μέσο των οριογραμμών. Συνεπώς δεν έχουν ληφθεί υπόψη οι επικλίσεις της οδού, γεγονός που οδηγεί σε κάποιο σφάλμα της συντεταγμένης Z. Το σφάλμα αυτό έχει επίδραση στην παραγωγή της μηκοτομής του οδικού έργου και μπορεί να οδηγήσει σε παραποιημένο αποτέλεσμα. Συνεπώς για την ορθότερη-ρεαλιστικότερη προσέγγιση της μηκοτομής είναι επιθυμητή η απ' ευθείας τοπογραφική αποτύπωση του άξονα της οδού. Είναι βέβαια σημαντικό να αναφέρουμε ότι η διαφοροποίηση των παραγόμενων γεωμετρικών στοιχείων της οριζοντιογραφίας είναι πρακτικά ασήμαντη δεδομένου ότι ο γεωμετρικός μέσος των οριογραμμών της οδού ανταποκρίνεται στον πραγματικό άξονα της οδού, με εξαίρεση τις περιοχές σημαντικών διαπλατυνσεων (πχ. περιοχές ισόπεδων κόμβων).

## 6. Συμμόρφωση της γεωμετρίας της οδού με τους ισχύοντες κανονισμούς

Προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση των γεωμετρικών στοιχείων του κάθε οδικού τμήματος είναι κρίσιμο να επιλεγεί μία κατάλληλη ταχύτητα μελέτης για κάθε τμήμα της οδού βάση της οποίας θα πραγματοποιηθεί ο έλεγχος. Στην παρούσα έρευνα ορίστηκε ως ταχύτητα αναφοράς το όριο ταχύτητας που αναγράφουν οι υφιστάμενες πινακίδες σήμανσης, το οποίο θεωρητικά πρέπει να τηρεί και η πλειοψηφία των οδηγών. Παρόλ' αυτά κρίνεται σκόπιμο να εξεταστεί και η επάρκεια των γεωμετρικών στοιχείων της οδού με αφετηρία τη λειτουργική ταχύτητα  $V_{85}$ , που αποτελεί μία ρεαλιστικότερη προσέγγιση των πραγματικών ταχυτήτων, γεγονός που θα διερευνηθεί στο άμεσο μέλλον.

Τελικά για κάθε οδικό τμήμα το πρόγραμμα πραγματοποιεί σημαντικό αριθμό αυτοματοποιημένων ελέγχων, οι σημαντικότεροι από τους οποίους περιγράφονται συνοπτικά ακολούθως:

1. Ακτίνα οριζοντιογραφίας ( $R$ )
2. Μέγιστο μήκος ευθυγραμμίας ( $Max L_T$ )
3. Ελάχιστο μήκος ευθυγραμμίας ομόρροπων καμπυλών ( $Min L_T$ )
4. Ελάχιστο μήκος κυκλικού τόξου ( $Min L_c$ )
5. Αλληλουχία ακτίνων οριζοντιογραφίας ( $R_i - R_{i+1}$ )
6. Ακτίνα κοίλων και κυρτών καμπυλών ( $H_k - H_w$ )
7. Μέγιστη κατά μήκος κλίση μηκοτομής ( $Max S$ )
8. Ελάχιστη κατά μήκος κλίση μηκοτομής ( $Min S$ )
9. Απαιτούμενο μήκος επαπτομένης ( $Min T$ )

Οι κανονισμοί βάσει των οποίων πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος των γεωμετρικών στοιχείων της οδού είναι κυρίως οι Ελληνικοί Κανονισμοί ΟΜΟΕ-Χ (έκδοση 2001), ενώ λήφθηκαν υπόψη και στοιχεία που περιγράφονται στους Γερμανικούς Κανονισμούς RAS-L και τους Αμερικάνικους Κανονισμούς AASHTO. Οι οριακές τιμές που αναγράφονται στους κανονισμούς που χρησιμοποιούνται σήμερα σε συνάρτηση με την ταχύτητα μελέτης παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 2:

**Πίνακας 2: Οριακές τιμές παραμέτρων σχεδιασμού σύμφωνα με τους κανονισμούς που εφαρμόζονται σήμερα σε συνάρτηση με την ταχύτητα μελέτης**

A/A Ελέγχου *		Ταχύτητα Μελέτης**							
		30	40	50	60	70	80	90	
1) R	m.	25	40	95	140	200	280	370	
2) Max L <sub>T</sub>	m.	Ίση με το 20πλάσιο της ταχύτητας μελέτης (σε χλμ/ώρα)							
		600	800	1.000	1.200	1.400	1.600	1.800	
3) Min L <sub>T</sub>	m.	Ίση με το 6πλάσιο της ταχύτητας μελέτης (σε χλμ/ώρα)							
		180	240	300	360	420	480	540	
4) Min L <sub>c</sub>	m.	Ίσο με το διανυθέν μήκος σε χρόνο 2 δευτ.							
		16,67	22,22	27,78	33,33	38,89	44,44	50,00	
5) R <sub>i</sub> - R <sub>i+1</sub>		Σύμφωνα με τους ΟΜΟΕ-Χ, Έκδοση 2001, Σχήμα 7-4							
6)	H <sub>k</sub>	m.	150	250	1.350	1.900	2.500	3.300	4.200
	H <sub>w</sub>	m.	400	450	800	2.000	3.000	4.500	6.200
7) Max S	%	13	12	10	9	8	7	7	
8) Min S	%	0,5							
9) Min T	m.	Ίσο με την ταχύτητα μελέτης							
		30	40	50	60	70	80	90	

\* A/A Ελέγχου: Αναφέρεται στην παραπάνω αρίθμηση

\*\* Ταχύτητα 50-90 χαω: Σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Χ, Έκδοση 2001,  
 Ταχύτητα 40 χαω: Σύμφωνα με τους Γερμανικούς Κανονισμούς RAS-L, Έκδοση 1984,  
 Ταχύτητα 30 χαω: Σύμφωνα με Ελληνικές Οδηγίες για οδούς χαμηλών ταχυτήτων



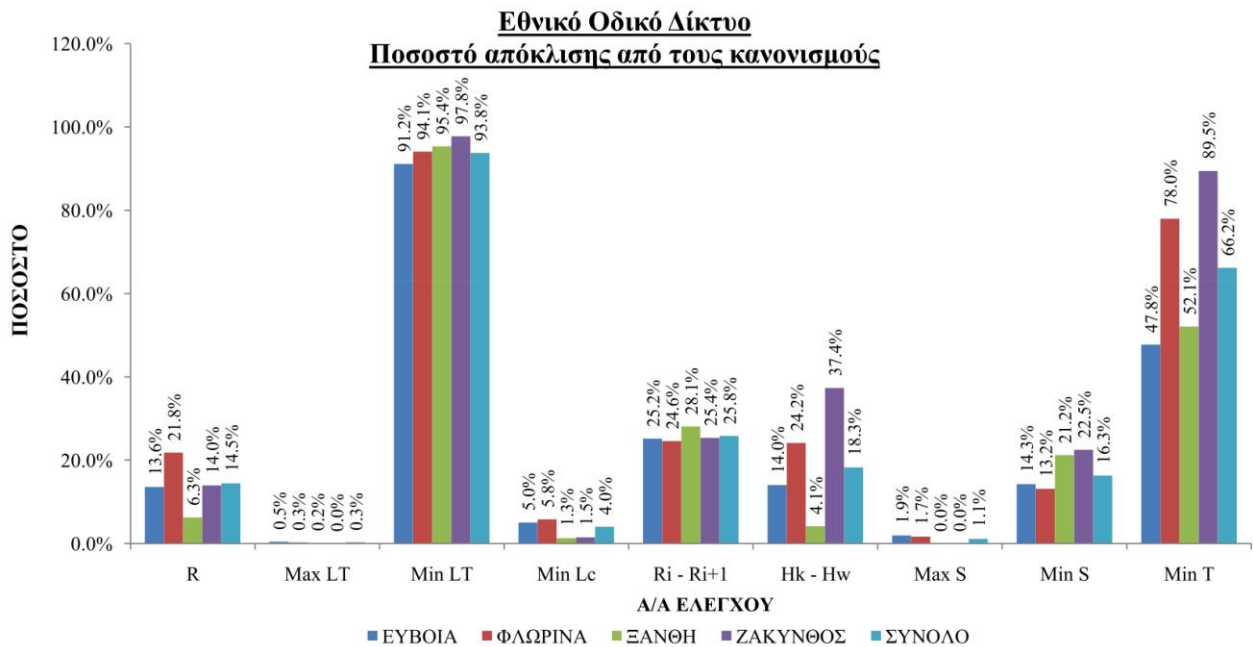
Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 3.

**Πίνακας 3: Θέσεις που παρουσιάζουν απόκλιση από τους Κανονισμούς**

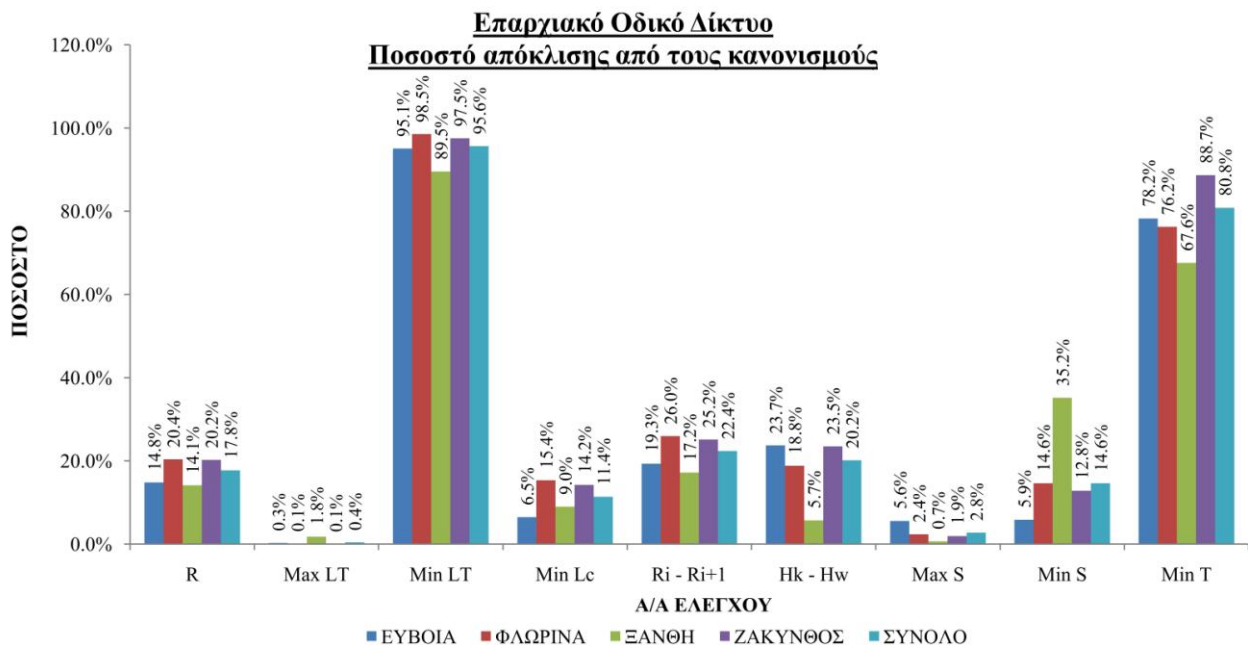
Α/Α Ελέγχου *	Εθνικό Οδικό Δίκτυο		Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο	
	Αριθμός θέσεων	Θέσεις / χλμ	Αριθμός θέσεων	Θέσεις / χλμ
1) R	312 από 2.158 <b>(14,5%)</b>	0,8	814 από 4.585 <b>(17,8%)</b>	1,5
2) Max L <sub>T</sub>	6 από 2.178 <b>(0,3%)</b>	0,0	19 από 4.620 <b>(0,4%)</b>	0,0
3) Min L <sub>T</sub>	663 από 707 <b>(93,8%)</b>	1,7	1.185 από 1.239 <b>(95,6%)</b>	2,2
4) Min L <sub>c</sub>	87 από 2.158 <b>(4,0%)</b>	0,2	522 από 4.585 <b>(11,4%)</b>	1,0
5) R <sub>i</sub> - R <sub>i+1</sub>	547 από 2.118 <b>(25,8%)</b>	1,4	1.010 από 4.515 <b>(22,4%)</b>	2,0
6) H <sub>k</sub> - H <sub>w</sub>	350 από 1.914 <b>(18,3%)</b>	0,9	774 από 3.837 <b>(20,2%)</b>	1,5
7) Max S	22 από 1.934 <b>(1,1%)</b>	0,1	107 από 3.872 <b>(2,8%)</b>	0,2
8) Min S	316 από 1.934 <b>(16,3%)</b>	0,8	566 από 3.872 <b>(14,6%)</b>	1,1
9) Min T	1.267 από 1.914 <b>(66,2%)</b>	3,3	3.101 από 3.837 <b>(80,8%)</b>	5,9
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>3.385</b>	<b>8,8</b>	<b>7.794</b>	<b>14,8</b>

\* Α/Α Ελέγχου: Αναφέρεται στην παραπάνω αρίθμηση

Ο πίνακας 3 καταδεικνύει αρκετές χιλιάδες θέσεις όπου δεν υπάρχει συμμόρφωση με τους ισχύοντες κανονισμούς. Δεδομένου ότι οι ταχύτητες μελέτης στο Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο είναι εν γένει μικρότερες από τις αντίστοιχες στο Εθνικό Οδικό Δίκτυο, είναι φυσικό το πρώτο να παρουσιάζει σημαντικά περισσότερες δυνητικές θέσεις οδικών ατυχημάτων. Το γεγονός αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στα μειωμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του Επαρχιακού Οδικού Δικτύου. Τα ποσοστά απόκλισης κατά Νομό που εξετάστηκαν παρουσιάζονται στα σχήματα 3 και 4



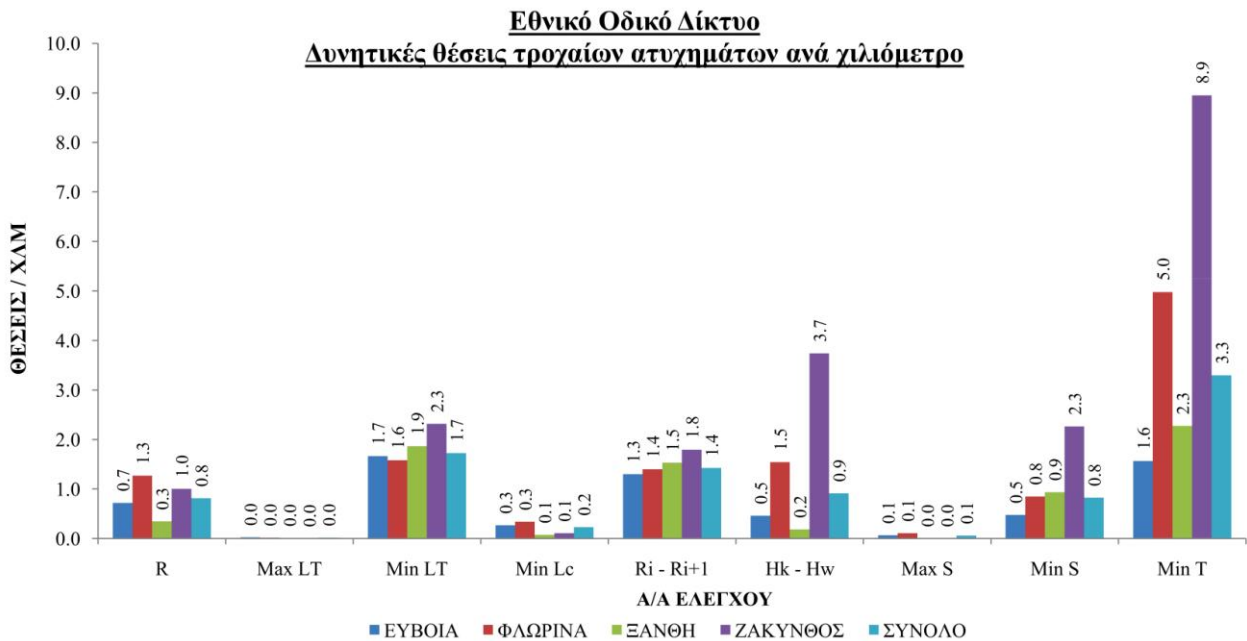
**Σχήμα 3:** Ποσοστό απόκλισης από τους κανονισμούς - Εθνικό Οδικό Δίκτυο



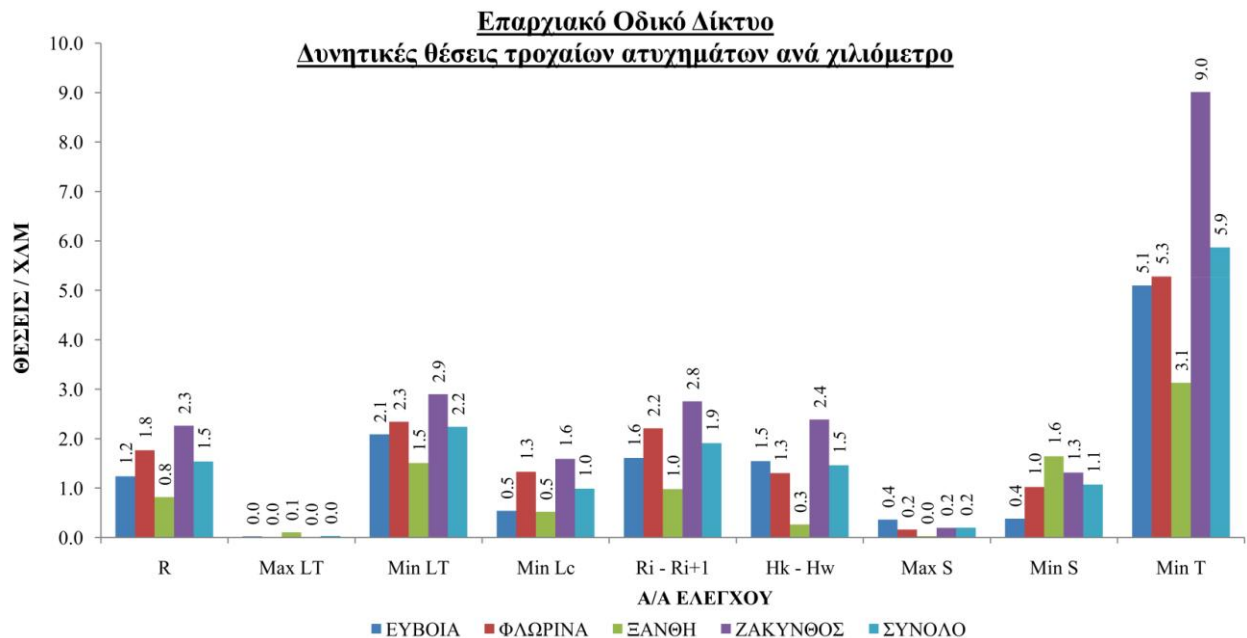
**Σχήμα 4:** Ποσοστό απόκλισης από τους κανονισμούς - Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο

Τα αποτελέσματα φαίνονται να είναι παρόμοια. Το δίκτυο του νομού Ζακύνθου δείχνει να παρουσιάζει ελαφρώς μειωμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τους άλλους τρεις νομούς. Από την άλλη μεριά το δίκτυο του Νομού Ξάνθης φαίνεται να παρουσιάζει καλύτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

Ο αριθμός των θέσεων που αποκλίνουν από τους κανονισμούς ανά χιλιόμετρο οδικού δικτύου παρουσιάζονται στα σχήματα 5 και 6.



**Σχήμα 5:** Δυνητικές θέσεις τροχαίων ατυχημάτων - Εθνικό Οδικό Δίκτυο



**Σχήμα 6:** Δυνητικές θέσεις τροχαίων ατυχημάτων - Επαρχειακό Οδικό Δίκτυο

Στον νομό Ζακύνθου φαίνεται να παρουσιάζονται περισσότερες θέσεις που αποκλίνουν από τους κανονισμούς ανά χιλιόμετρο οδικού δικτύου, ενώ η γεωμετρία του οδικού δικτύου του νομού Ξάνθης φαίνεται να αποκλίνει σε σημαντικά λιγότερες θέσεις σε σχέση με τους υπόλοιπους νομούς. Τα παραπάνω στοιχεία δείχνουν ότι σημαντικό μέρος του οδικού δικτύου της Χώρας παρουσιάζει μειωμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά καταδεικνύοντας πληθώρα περιοχών που μπορεί να αποτελούν δυνητικές θέσεις οδικών ατυχημάτων.

Είναι επίσης πολύ σημαντικό να προσδιοριστεί το ποσοστό απόκλισης από τους κανονισμούς προκειμένου να αξιολογηθεί η σπουδαιότητα αναφορικά με την οδική ασφάλεια. Στην παρούσα

έρευνα προσδιορίστηκε το ποσοστό απόκλισης από τους κανονισμούς με στόχο τα αποτελέσματα να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες:

1. Γεωμετρικά στοιχεία όπου παρουσιάζουν απόκλιση μικρότερη από 10%.
2. Γεωμετρικά στοιχεία όπου παρουσιάζουν απόκλιση μεταξύ 10% και 40%.
3. Γεωμετρικά στοιχεία όπου παρουσιάζουν απόκλιση μεταξύ 40% και 70%.
4. Γεωμετρικά στοιχεία όπου παρουσιάζουν απόκλιση μεγαλύτερη από 70%.

Τα αποτελέσματα από την κατηγοριοποίηση αυτή παρουσιάζονται στους πίνακες 4 και 5.

**Πίνακας 4: Εθνικό Οδικό Δίκτυο**

*Δυναμικές Θέσεις τροχαίων ατυχημάτων ανάλογα με το ποσοστό της απόκλισης από τους κανονισμούς*

Εθνικό Οδικό Δίκτυο								
Θέσεις ανάλογα με το ποσοστό της απόκλισης από τους κανονισμούς								
A/A Ελέγχου *	< 10%		Μεταξύ 10% και 40%		Μεταξύ 40% και 70%		>70%	
1) R	56	(17,9%)	177	(56,8%)	74	(23,7%)	5	(1,6%)
2) Max L <sub>T</sub>	1	(16,7%)	4	(66,6%)	1	(16,7%)	0	(0,0%)
3) Min L <sub>T</sub>	7	(1,1%)	56	(8,4%)	159	(24,0%)	441	(66,5%)
4) Min L <sub>c</sub>	22	(25,3%)	41	(47,2%)	19	(21,8%)	5	(5,7%)
6) H <sub>k</sub> - H <sub>w</sub>	57	(16,3%)	141	(40,2%)	114	(32,6%)	38	(10,9%)
7) Max S	10	(45,5%)	10	(45,5%)	1	(4,5%)	1	(4,5%)
8) Min S	28	(8,9%)	103	(32,6%)	92	(29,1%)	93	(29,4%)
9) Min T	81	(6,4%)	358	(28,3%)	520	(41,0%)	308	(24,3%)
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	262	(9,2%)	890	(31,4%)	980	(34,5%)	706	(24,9%)

\* A/A Ελέγχου: Αναφέρεται στην παραπάνω αρίθμηση

**Πίνακας 5: Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο**

*Δυναμικές Θέσεις τροχαίων ατυχημάτων ανάλογα με το ποσοστό της απόκλισης από τους κανονισμούς*

Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο								
Θέσεις ανάλογα με το ποσοστό της απόκλισης από τους κανονισμούς								
A/A Ελέγχου *	< 10%		Μεταξύ 10% και 40%		Μεταξύ 40% και 70%		>70%	
1) R	145	(17,8%)	398	(48,9%)	231	(28,4%)	40	(4,9%)
2) Max L <sub>T</sub>	3	(15,8%)	13	(68,4%)	2	(10,5%)	1	(5,3%)
3) Min L <sub>T</sub>	7	(0,6%)	57	(4,8%)	205	(17,3%)	916	(77,3%)
4) Min L <sub>c</sub>	140	(26,8%)	242	(46,4%)	101	(19,3%)	39	(7,5%)
6) H <sub>k</sub> - H <sub>w</sub>	97	(12,5%)	307	(39,7%)	268	(34,6%)	102	(13,2%)
7) Max S	48	(44,9%)	50	(46,7%)	6	(5,6%)	3	(2,8%)
8) Min S	43	(7,6%)	147	(26,0%)	154	(27,2%)	222	(39,2%)
9) Min T	144	(4,6%)	690	(22,3%)	1.378	(44,4%)	889	(28,7%)
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	627	(9,2%)	1.904	(28,1%)	2.345	(34,6%)	1.908	(28,1%)

\* A/A Ελέγχου: Αναφέρεται στην παραπάνω αρίθμηση

Οι παραπάνω πίνακες δείχνουν ότι υπάρχει ένα μικρό ποσοστό (περίπου 9%) όπου η απόκλιση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών είναι μικρότερη από 10% σε σχέση με τις προβλεπόμενες τιμές στους κανονισμούς και συνεπώς μπορούν να αγνοηθούν. Από την άλλη μεριά όμως υπάρχει ένα πολύ σημαντικό ποσοστό (περίπου 60%) όπου η απόκλιση είναι ιδιαίτερα υψηλή (πάνω από 40%).

Αναφορικά με την οριζοντιογραφική χάραξη των οδικών τμημάτων που διερευνήθηκαν, επισημαίνονται τα ακόλουθα:

1. Οι υφιστάμενες οριζοντιογραφικές ακτίνες δεν είναι επαρκής.
2. Είναι περιορισμένος ο αριθμός των ευθύγραμμων τμημάτων όπου το μήκος τους είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο επιτρεπόμενο.
3. Τα υφιστάμενα μήκη ευθυγραμμίων μεταξύ ομόροπων καμπυλών είναι ανεπαρκή.
4. Τα μήκη των κυκλικών τόξων είναι μικρότερα από τα απαιτούμενα.
5. Η αλληλουχία των καμπυλών είναι συχνά εκτός προδιαγραφών.

Αναφορικά με τη γεωμετρία της μηκοτομής στα οδικά τμήματα που διερευνήθηκαν, επισημαίνονται τα ακόλουθα:

1. Τα υφιστάμενα κατακόρυφα τόξα συναρμογής παρουσιάζουν συχνά ακτίνες μικρότερες από τις προβλεπόμενες στους κανονισμούς. Είναι σημαντικό να διερευνηθεί περαιτέρω σε ποιές θέσεις υπάρχει επάρκεια ορατότητας για στάση.
2. Η κατά μήκος κλίση είναι γενικά μικρότερη από την προβλεπόμενη στους κανονισμούς.
3. Υπάρχουν αρκετές περιοχές όπου η τιμή της ελάχιστης κατά μήκος κλίσης είναι μικρότερη από την ελάχιστη απαιτούμενη για υδραυλικούς λόγους. Πρέπει να γίνει περαιτέρω αξιολόγηση αναφορικά με θέματα απορροής ομβρίων.
4. Τα μήκη των κατακόρυφων τόξων συναρμογής είναι στην πλειοψηφία τους εκτός προδιαγραφών. (4.368 περιπτώσεις όπου αποκλίνουν σε σύνολο 5.751)

Όλα τα παραπάνω δημιουργούν συνθήκες ανασφάλειας στους χρήστες του οδικού δικτύου. Είναι λογικό κάθε γεωμετρικό στοιχείο που αποκλίνει από τους κανονισμούς να μην έχει την ίδια βαρύτητα αναφορικά με την οδική ασφάλεια. Είναι λοιπόν σημαντικό να αξιολογηθεί η βαρύτητα κάθε κατηγορίας λαμβάνοντας υπόψη καταγεγραμμένα οδικά ατυχήματα καθώς επίσης και άλλους παράγοντες όπως είναι η κατακόρυφη και οριζόντια σήμανση, τα στηθαία ασφαλείας, η κατάσταση του οδοστρώματος κ.α.

Το παρόν άρθρο εξετάζει μόνο τη γεωμετρία του άξονα της οδού και αποτελεί ένα μικρό, όμως σημαντικό, κομμάτι στην προσπάθεια αναβάθμισης της οδικής ασφάλειας ενός οδικού δικτύου με στόχο τη μείωση των τροχαίων ατυχημάτων. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι τα φτωχά γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός οδικού τμήματος έχουν αρνητική επιρροή στην οδική ασφάλεια, ενώ σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες (π.χ. φθαρμένο οδόστρωμα, κακές καιρικές συνθήκες, εμπόδια εντός οδοστρώματος, απόσπαση προσοχής του οδηγού κ.α.) μπορεί να οδηγήσουν σε αυξημένα οδικά ατυχήματα.

Το παρόν ερευνητικό έργο παρουσιάζει κάποια εργαλεία για τον γρήγορο εντοπισμό περιοχών όπου η υφιστάμενη γεωμετρία παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις από τους κανονισμούς και μπορεί να αποτελέσουν δυνητικές θέσεις τροχαίων ατυχημάτων.

## **7. Συμπεράσματα**

Η παρούσα έρευνα έχει δύο στόχους:

- Τη δημιουργία ενός λογισμικού που να παράγει τη γεωμετρία ενός υφιστάμενου οδικού τμήματος εύκολα, γρήγορα και αξιόπιστα.
- Την αξιολόγηση της παραγόμενης γεωμετρίας σε σύγκριση με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Έγινε έρευνα σε περίπου 1000 χιλιόμετρα Εθνικού και Επαρχιακού Οδικού Δικτύου της Χώρας και τα βασικά συμπεράσματα είναι:

1. Η μέση απόκλιση που επετεύχθη με τη χρήση του λογισμικού είναι περίπου 20εκ. αναφορικά με την οριζοντιογραφία της οδού και 10εκ. αναφορικά με τη μηκοτομή της οδού. Η απόκλιση αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί μικρή, ειδικά αν ληφθεί υπόψη και η μέθοδος που πραγματοποιήθηκε η τοπογραφική αποτύπωση.
2. Υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός οδικών τμημάτων όπου παρουσιάζουν πτωχά γεωμετρικά χαρακτηριστικά τα οποία και πρέπει να αναβαθμιστούν λαμβάνοντας υπόψη και άλλους παράγοντες οδικής ασφάλειας.
3. Το Εθνικό Οδικό Δίκτυο παρουσιάζει σημαντικά καλύτερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το Επαρχιακό Οδικό Δίκτυο.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν μέρος μίας σημαντικής βάσης δεδομένων για περαιτέρω χρήση και επεξεργασία. Στόχος είναι η βάση αυτή να διευρυνθεί και να συσχετιστούν τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας με άλλους παράγοντες οδικής ασφάλειας όπως είναι η κατάσταση του οδοστρώματος, η απορροή τη οδού, η οριζόντια και κατακόρυφη σήμανση, τα στηθαία ασφαλείας κ.α. Τέλος θα ήταν σημαντικός ο συσχετισμός με τον κυκλοφοριακό φόρτο και τα καταγεγραμμένα τροχαία ατυχήματα.

## **8. Αντικείμενο για περαιτέρω έρευνα**

Η παρούσα εργασία αποτελεί την αφετηρία σε μία προσπάθεια με στόχο την εξαγωγή όλων των απαραίτητων στοιχείων που διαμορφώνουν τη χάραξη κάθε οδικού έργου μέσω τοπογραφικής αποτύπωσης. Η μικρή αλλά σημαντική βάση δεδομένων που έχει διαμορφωθεί μπορεί να αποτελέσει πηγή πληροφόρησης για ευρύτερη έρευνα με στόχο την εκτίμηση της παρεχόμενης οδικής ασφάλειας ενός οδικού δικτύου Στο πλαίσιο αυτό, στοιχεία που μπορούν να αποτελέσουν σημεία για περαιτέρω έρευνα μπορεί να είναι τα ακόλουθα:

1. Αποτύπωση του υφιστάμενου οδικού άξονα με κατάλληλη τοπογραφική μέθοδο που να παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια, με στόχο την εξαγωγή διαγραμμάτων επικλίσεων και διαπλατύνσεων του οδικού τμήματος. Συνδυασμένος έλεγχος οριζοντιογραφίας, μηκοτομής και διαγράμματος επικλίσεων με στόχο την καλύτερη εκτίμηση της παρεχόμενης οδικής ασφάλειας αναφορικά με τη γεωμετρία της οδού.
2. Αποτύπωση πρόσθετης τοπογραφικής πληροφορίας πλευρικών εμποδίων (αποτύπωση στηθαίων ασφαλείας, αποτύπωση άκρων πρανών ορυγμάτων κ.α.) με σκοπό την πραγματοποίηση ελέγχου ορατότητας για στάση σε υγρό οδόστρωμα και ορατότητας για προσπέραση.
3. Συλλογή και επεξεργασία τοπογραφικής αποτύπωσης περισσότερων χιλιομέτρων οδικού δικτύου με στόχο τη διεύρυνση της βάσης δεδομένων.
4. Συσχετισμός των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την επεξεργασία της γεωμετρίας της οδού, όπως περιγράφηκε στο παρόν άρθρο, με άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την

παρεχόμενη οδική ασφάλεια (όπως κατάσταση οδοστρώματος, έλεγχος απορροής ομβρίων, σήμανση-ασφάλιση κ.α.), καθώς επίσης και με την πληροφορία των τροχαίων ατυχημάτων. Από το συσχετισμό αυτό είναι καταρχήν δυνατή μία εκτίμηση της βαρύτητας που έχει ο κάθε γεωμετρικός έλεγχος στην παρεχόμενη οδική ασφάλεια και αφετέρου επιτυγχάνεται μία πληρέστερη εικόνα της υφιστάμενης κατάστασης και συνεπώς ορθότερη αξιολόγηση της.

## 9. Θέματα για συζήτηση

Τα ακόλουθα θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενο προς συζήτηση:

1. Οι συντεταγμένες  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  του άξονα της οδού προέκυψαν ως το γεωμετρικό μέσο των οριογραμμών. Συνεπώς η τοπογραφική πληροφορία του άξονα (βάση της οποίας γίνεται και η περαιτέρω ανάλυση) εμπεριέχει μία ακόμα μέση απόκλιση επιπρόσθετα της ακρίβειας που πετυχαίνει το τοπογραφικό μέσο αποτύπωσης. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό ειδικά στην παραγωγή της μηκοτομής του οδικού έργου και μπορεί να οδηγήσει σε παραποιημένο αποτέλεσμα. Συνεπώς για την ορθότερη-ρεαλιστικότερη προσέγγιση της μηκοτομής είναι επιθυμητή η απ' ευθείας τοπογραφική αποτύπωση του άξονα της οδού.
2. Η ταχύτητα των οχημάτων βάση της οποίας πραγματοποιήθηκαν οι έλεγχοι της γεωμετρίας, θεωρήθηκε ότι είναι η ταχύτητα που αναγράφουν οι υφιστάμενες πινακίδες σήμανσης. Μία ρεαλιστικότερη θεώρηση της πραγματικής λειτουργικής ταχύτητας των οχημάτων πρέπει να εξεταστεί. Μία ικανοποιητική προσέγγιση θα μπορούσε να είναι η ταχύτητα  $V_{85}$  όμως οι μαθηματικές σχέσεις που την προσεγγίζουν πρέπει να επαναξιολογηθούν. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι και οι κανονισμοί που εφαρμόζονται σήμερα χρήζουν αναθεώρησης, δεδομένης της εξέλιξης της τεχνολογίας και της χρήσης ποιοτικότερων ασφαλικών που οδηγούν σε αύξηση του συντελεστή τριβής και ανάπτυξη μεγαλύτερων ταχυτήτων με πολύ καλή παρεχόμενη οδική ασφάλεια.
3. Οι έλεγχοι της γεωμετρίας της οδού βασίσθηκαν στους περιορισμούς που αναφέρουν οι Ελληνικοί κανονισμοί ΟΜΟΕ-Χ, οι Γερμανικοί κανονισμοί RAS-L και οι Αμερικάνικοι κανονισμοί (AASHTO). Σαφώς όλοι οι περιορισμοί που αναφέρονται στους κανονισμούς αυτούς πρέπει να πληρούνται, όμως είναι σημαντικό να γνωρίζουμε σε περίπτωση μη εφαρμογής τους για οποιοδήποτε λόγο την επιρροή της κάθε απόκλισης στην παρεχόμενη οδική ασφάλεια. Πρέπει λοιπόν να γίνουν οι απαραίτητες έρευνες προκειμένου να προσδιοριστούν κάποιοι συντελεστές βαρύτητας για την ορθότερη αξιολόγηση και ταξινόμηση αναφορικά με την παρεχόμενη οδική ασφάλεια.
4. Θα ήταν σημαντικό να αξιολογηθεί τοπογραφική πληροφορία και από άλλες Χώρες προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα με αυτά που φαίνεται να παρουσιάζει η Ελλάδα.

## 10. Βιβλιογραφία

1. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), “*A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*”, Washington D.C., 2004.
2. Bullock R., *Least Squares Circle Fit*, 2006.
3. *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, ΟΜΟΕ-Χ*, Έκδοση 2001, Αθήνα.
4. Maisonobe L., *Finding the circle that best fits a set of points*, 2007.
5. *Richtlinien für die Anlage von Straßen – Teil: Linienführung (RAS-L)*, Bonn, 1995.
6. Simpson D.G., *Linear Regression*, Department of Physical Sciences and Engineering, Prince George’s Community College, 2010.