

Βελτίωση της Οδικής Ασφάλειας Υφιστάμενων Οδών με Χρήση Ολοκληρωμένου Συστήματος Κινηματικής Χαρτογράφησης με Γεω-αναφορά (Mobile Mapping System)

Road Safety Improvement of Existing Roads Using Mobile Mapping Technology

ΠΑΠΑΤΖΙΚΟΥ ΕΛΕΝΗ, Τοπογράφος Συγκοινωνιολόγος Μηχανικός MSc, NAMA ΑΕ, Υπ.Διδ. ΕΜΠ
ΚΑΤΣΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ, Τοπογράφος Συγκοινωνιολόγος Μηχανικός, Εταίρος NAMA ΑΕ
ΓΚΙΚΑΣ ΒΑΣΙΛΗΣ, Τοπογράφος Μηχανικός, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο του άρθρου αποτελεί η παρουσίαση μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας που αποβλέπει στη βελτίωση του επιπέδου της οδικής ασφάλειας σε υφιστάμενες οδούς, με την υποστήριξη καινοτόμου τεχνολογίας κινηματικής χαρτογράφησης με γεω-αναφορά. Η προτεινόμενη μεθοδολογία υλοποιήθηκε στα πλαίσια πιλοτικής εφαρμογής για το ΥΠΥΜΕΔΙ. Η εφαρμογή αυτή απέδειξε τη χρησιμότητα του συστήματος στη λεπτομερή, αξιόπιστη και συστηματική καταγραφή, καταχώρηση και επεξεργασία των κρίσιμων στοιχείων του οδικού περιβάλλοντος που καθορίζουν το επίπεδο της οδικής ασφάλειας, καθώς και τη σπουδαιότητα της διαθεσιμότητας ενός συστηματικά επικαιροποιημένου μητρώου οδών ως βασικό εργαλείο για ελέγχους οδικής ασφάλειας.

ABSTRACT

This paper deals with the fast growing technology of mobile mapping systems (MMS) for road asset inventory and its application in road safety inspection programs. It provides a system-methodology of MMS data collection and processing and, a method for analyzing MMS processed data in relation to vehicular accident catalogue. Also, the results obtained from the implementation of the proposed method in a pilot project in the greater area of Athens (Greece) are presented and discussed.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Επιθεώρηση Οδικής Ασφάλειας (ΕΠΟΑ) αφορά σε υφιστάμενες οδούς και στηρίζεται κυρίως σε δεδομένα ατυχημάτων για τον εντοπισμό ζητημάτων ασφαλείας πεζών και οχημάτων. Σκοπός μιας ΕΠΟΑ σε υφιστάμενη οδό είναι (TRB Executive Committee, 2004, Kirkevold et. al., 2006, Transport for London, 2009, National Roads Authority, 2004, Department of Transport, 2003):

- η αξιολόγηση των χαρακτηριστικών της οδού και του παρόδιου περιβάλλοντος, των στοιχείων σχεδιασμού και των τοπικών συνθηκών, που θα μπορούσαν να αυξήσουν την πιθανότητα και σοβαρότητα ενός ατυχήματος,
- η επισκόπηση της επίδρασης μεταξύ των διαφόρων στοιχείων σχεδιασμού και του περιβάλλοντος του οδικού δικτύου,
- η επισκόπηση της επιρροής της οδικής υποδομής στη συμπεριφορά των χρηστών,
- ο προσδιορισμός του βαθμού επάρκειας και κάλυψης σε ικανοποιητικό επίπεδο ασφαλείας

των αναγκών όλων των χρηστών της οδικής υποδομής,

- η διερεύνηση των αναδυόμενων λειτουργικών τάσεων και ζητημάτων ασφαλείας κατά μήκος της οδικής υποδομής.

Η εφαρμογή της ΕΠΟΑ σε υφιστάμενες οδούς απαιτεί την απόκτηση της ακριβούς εικόνας της οδικής υποδομής με την καταγραφή των κρίσιμων χαρακτηριστικών, που επηρεάζουν τη λειτουργία της οδού. Η ολοκληρωμένη και ακριβής εικόνα των συνθηκών λειτουργίας της οδού αποκτάται με τη χρήση ειδικής τεχνολογίας καταγραφής της φυσικής κατάστασης και των χαρακτηριστικών της οδικής υποδομής και μέσω της εφαρμογής επιλεγμένης μεθοδολογίας επεξεργασίας των δεδομένων του μητρώου ατυχημάτων. Συγκεκριμένα η απόκτηση ακριβούς εικόνας της οδικής υποδομής περιλαμβάνει:

- καταγραφή επιλεγμένων στοιχείων της φυσικής κατάστασης της οδικής υποδομής, μέσω βιντεοσκόπησης με γεωαναφορά. Μέρος των στοιχείων, που αυτή προσφέρει, είναι εκείνα τα οποία πρέπει να περιλαμβάνονται στα σχέδια «ως κατασκευάστηκε», τα οποία

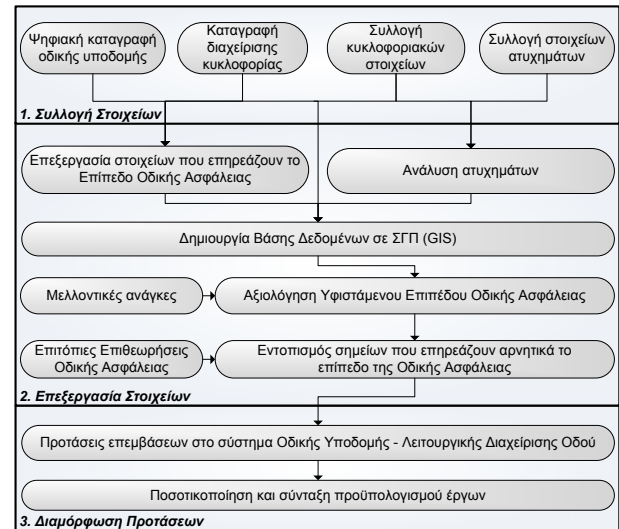
- τα αντικείμενα στα οποία επικεντρώθηκε η καταγραφή της υφιστάμενης φυσικής και λειτουργικής κατάστασης της εξεταζόμενης οδικής υποδομής,
- τα μέσα με τα οποία έγινε η καταγραφή και ανάλυση / τεκμηρίωση των ευρημάτων που προέκυψαν.

- καταγραφή του δείκτη τραχύτητας του οδοστρώματος (δείκτης IRI), που προσδιορίζει την ποιότητα του οδοστρώματος,
- αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης του οδοστρώματος μέσω συστηματικής επεξεργασίας εικόνων (με γεωαναφορά), με την εφαρμογή προτύπων και μεθοδολογιών όπως ορίζονται στον κανονισμό ΟΜΟΕ-ΚΚΟ (Κατάταξη Κατάστασης Οδοστρωμάτων),
- επεξεργασία των δεδομένων των ατυχημάτων, ώστε να διευκολυνθεί η συστηματική διερεύνηση των αιτιών που τα προκαλούν,
- επιτόπου επιθεωρήσεις των συνθηκών λειτουργίας της οδού σε ώρες εκτός και εντός κυκλοφοριακής αιχμής, διαφορετικών καιρικών συνθηκών, ώστε να στοιχειοθετηθούν οι αιτίες ατυχημάτων που έχουν συμβεί σε συγκεκριμένες θέσεις, ή μπορεί να συμβούν και σε άλλες θέσεις,
- κυκλοφοριακοί φόρτοι, σύνθεση, καταγεγραμμένες ταχύτητες που αναπτύσσονται κατά μήκος της οδού,
- προγράμματα φωτεινής σηματοδότησης,
- λειτουργική κατάταξη της οδού,
- υπάρχουσες πολιτικές και στα ισχύοντα πρότυπα και οδηγίες σχεδιασμού της οδικής υποδομής.

Η ΕπΟΑ μπορεί να ποικίλει ως προς το σκοπό (μεμονωμένες θέσεις, τμήμα μιας οδού ή οδικού δικτύου), αλλά και να αφορά συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ή στοιχεία σχεδιασμού μέσα σε ένα τμήμα οδού ή οδικού δικτύου (Kirkevold et. al., 2006, Transport for London, 2009). Επίσης προσφέρει τη δυνατότητα παρατήρησης όχι μόνο της φυσικής κατάστασης της οδικής υποδομής, αλλά και της δι-επίδρασης όλων των στοιχείων αυτής και των χρηστών της οδού, με σκοπό η ανάλυση της συμπεριφοράς των χρηστών να «υποδείξει» προβλήματα στο περιβάλλον της οδού που οδηγούν σε λανθασμένες ενέργειες.

Στην παρούσα εργασία περιλαμβάνονται τα αποτελέσματα της πιλοτικής εφαρμογής της Επιθεώρησης Οδικής Ασφάλειας. Ειδικότερα, παρουσιάζονται:

- η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε,



Σχήμα 1. Ενότητες δραστηριοτήτων ΕπΟΑ
Figure 1. Pilot Program of Road Safety Audit

Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τρεις ενότητες δραστηριοτήτων, οι οποίες είναι (βλ. Σχήμα 1):

1. Η συλλογή των απαραίτητων στοιχείων, που περιλάμβανε (α) τη συλλογή των στοιχείων από το μητρώο ατυχημάτων, των κυκλοφοριακών στοιχείων, των προγραμμάτων σηματοδότησης κλπ. μέσω των αρμόδιων Υπηρεσιών, και (β) τη ψηφιακή καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης των οδικών αξόνων με χρήση συστήματος ψηφιακής καταγραφής του οδικού δικτύου (βιντεοσκόπηση με γεωαναφορά), με παράλληλη διεξαγωγή μετρήσεων μέσω εξειδικευμένου εξοπλισμού (μετρήσεις IRI, φθορές οδοστρώματος) εγκατεστημένου σε ειδικά εξοπλισμένο όχημα.
2. Η επεξεργασία των συλλεχθέντων δεδομένων με σκοπό τον εντοπισμό των ελλείψεων και των προβλημάτων, που επηρεάζουν αρνητικά την οδική ασφάλεια, και η καταχώρησή των πρωτογενών και δευτερογενών στοιχείων σε βάση δεδομένων ΓΣΠ (GIS). Η ενότητα αυτή περιλάμβανε (α) την ανάλυση των στοιχείων των ατυχημάτων σε συνδυασμό με τα κυκλοφοριακά δεδομένα των οδικών αξόνων για τον εντοπισμό των επικίνδυνων θέσεων και τη διερεύνηση των πλέον πιθανών αιτιών ατυχημάτων, (β) την επεξεργασία των στοιχείων που προέκυψαν από την ψηφιακή καταγραφή τα οποία επηρεάζουν το επίπεδο

της οδικής ασφάλειας, με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού, (γ) τη δημιουργία κατάλληλης βάσης δεδομένων σε ΣΓΠ (GIS), στην οποία περιλαμβάνονται όλα τα στοιχεία της ψηφιακής καταγραφής της οδού, της κατάστασης του οδοστρώματος, των κυκλοφοριακών δεδομένων, των στοιχείων ατυχημάτων, καθώς και τα αποτελέσματα της ανάλυσης των ατυχημάτων, και (δ) την αξιολόγηση του υφιστάμενου επιπέδου οδικής ασφάλειας με βάση το σύνολο των στοιχείων από τα προηγούμενα βήματα.

3. Η διαμόρφωση προτάσεων για επεμβάσεις που θα βελτιώσουν το επίπεδο οδικής ασφάλειας, με ποσοτικοποίηση και προϋπολογισμό των προτεινόμενων επεμβάσεων για τον προγραμματισμό και την κατανομή των διαθέσιμων πόρων.

2. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΟΔΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

2.1 Γενική περιγραφή και οφέλη

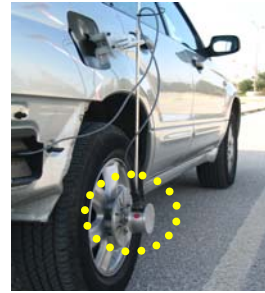
Ένα επίγειο σύστημα κινητής χαρτογράφησης αποτελείται από δύο βασικά μέρη: (α) όχημα κατάλληλα εξοπλισμένο με αισθητήρες (βλ. Εικόνα 1) για τη συλλογή δεδομένων της οδικής υποδομής και του περιβάλλοντος χώρου και, (β) συστήματα εργαλείων λογισμικού για την επεξεργασία, ανάλυση και διαχείριση (βλ. Εικόνες 2-6) των χαρακτηριστικών που αφορούν στη λειτουργία της οδικής υποδομής (Kingston et. al., 2007, Gikas, 2008).



Εικόνα 1. Όχημα καταγραφής της NAMA ΑΕ
Figure 1. Equipped vehicle of NAMA SA



Εικόνα 2. Διάταξη κεραιών συστήματος GPS
Figure 2. GPS antennas setup



Εικόνα 3. Ψηφιακό οδόμετρο
Figure 3. Digital odometer



Εικόνα 4. Διάταξη συστήματος οπτικού εντοπισμού και σαρωτή Laser
Figure 4. Setup of CCD cameras and 2D laser scanner



Εικόνα 5. Προφιλόμετρο
Figure 5. Pavement laser profilometer



Εικόνα 6. Αδρανειακό σύστημα εντοπισμού
Figure 6. INS navigation system

Η επιθεώρηση ενός οδικού έργου στηρίζεται σε τρεις βασικούς τύπους πρωτογενών δεδομένων:

- στη λήψη εικόνων βίντεο, από τις οποίες προκύπτουν πληροφορίες σχετικά με θεματικά

στοιχεία της οδού (οδικός εξοπλισμός, σήμανση, κ.α.), καθώς και οπτική επισκόπηση της κατάστασης του οδοστρώματος,

- στη συλλογή νεφών σημείων σάρωσης laser, που παρέχουν με ακρίβεια τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού (στοιχεία χάραξης οριζοντιογραφίας, μηκοτομής, διατομών) και κάθε είδους μετρητικής πληροφορίας που αφορά σε διαστασιολόγηση των χαρακτηριστικών της οδικής υποδομής,
- στη συλλογή μετρήσεων που αφορούν στην κατάσταση του οδοστρώματος και συνίστανται στον υπολογισμό της τραχύτητας του, την αποτύπωση ρηγματώσεων, κ.α.

Είναι φανερό ότι προκειμένου τα δεδομένα αυτά να είναι αξιοποιήσιμα θα πρέπει να είναι γνωστή με ακρίβεια η θέση λήψης τους (γεωαναφορά) σε κάποιο σύστημα αναφοράς. Για το σκοπό αυτό το όχημα καταγραφής φέρει προηγμένο εξοπλισμό δορυφορικού (GNSS) και αδρανειακού (INS) εντοπισμού. Στον Πίνακα 1 συνοψίζονται οι βασικοί τύποι αισθητήρων και τα χαρακτηριστικά που φέρουν τα σύγχρονα συστήματα ψηφιακής καταγραφής.

Πίνακας 1. Βασικοί τύποι αισθητήρων επίγειων συστημάτων ψηφιακής καταγραφής
Table 1. Basic sensor types of terrestrial mapping systems

	Είδος Αισθητήρα	Χαρακτηριστικά
Γεωμετρική Πληροφορία	GNSS positioning	υψηλής ακρίβειας απόλυτος εντοπισμός και προσανατολισμός
	INS positioning	χαμηλής έως υψηλής ακρίβειας σχετικός εντοπισμός και προσανατολισμός
	Digital odometer	χιλιομέτρηση
Περιγραφική / Γεωμετρική Πληροφορία	CCD cameras	ψηφιακές εικόνες
	2D laser scanner	γωνία σάρωσης και απόσταση αισθητήρα αντικειμένου
	Pavement roughness profiler	τραχύτητα οδοστρώματος
	Geo-radar	πάχος στρώσεων οδοστρώματος

2.2 Κινητά συστήματα χαρτογράφησης και οδική ασφάλεια

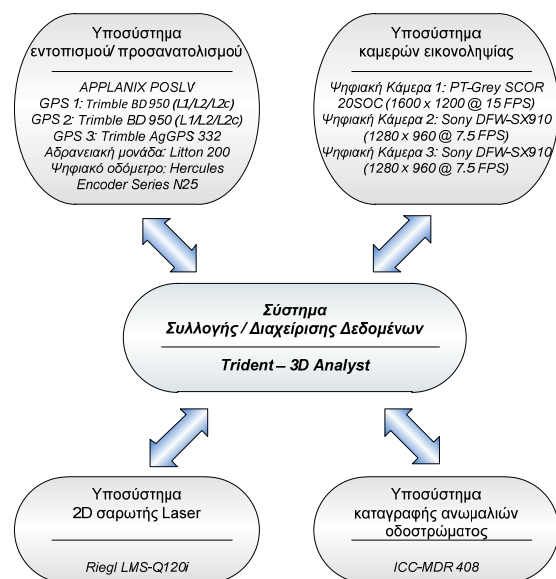
Προγράμματα επιθεώρησης της οδικής ασφάλειας μπορεί να διενεργηθούν με δύο τρόπους: (α) μετά την αναφορά ενός ατυχήματος για την διακρίβωση των συγκεκριμένων αιτιών που το προκάλεσαν και (β) στα πλαίσια στρατηγικού σχεδιασμού της πολιτείας για τον εντοπισμό επικίνδυνων θέσεων / συνθηκών που μπορεί να συμβάλλουν στο μέλλον στην πρόκληση τροχαίων ατυχημάτων (TRB Executive Committee, 2004). Ανάλογα με τους στόχους ενός έργου επιθεώρησης οδικής ασφάλειας,

λαμβάνονται στοιχεία για τα χαρακτηριστικά της οδικής υποδομής που σχετίζονται με τις επιδιώξεις του έργου.

Σε αυτό το πλαίσιο, τα δεδομένα βιντεοληψίας βοηθούν κυρίως στην εικονιστική απεικόνιση της περιοχής ενδιαφέροντος, ενώ τα στοιχεία που παρέχουν είναι κυρίως ποιοτικού χαρακτήρα. Ενδεικτικά αναφέρεται η δυνατότητα αναπαράστασης (από διαφορετικές οπτικές γωνίες) και η αναγνώριση τυχόν εμποδίων (ιστοί σήμανσης, ταμπέλες, κ.α.) που μπορεί να ευθύνονται για την πρόκληση ατυχημάτων. Αντίθετα, τα δεδομένα σάρωσης laser παρέχουν ποσοτικά (μετρητικά) στοιχεία που αφορούν στον προσδιορισμό της θέσης, του σχήματος και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδικής υποδομής (Gikas and Daskalakis, 2008, Stratakos et. al., 2009). Χαρακτηριστικά αναφέρεται η δυνατότητα υπολογισμού της οριζόντιας και κατακόρυφης γεωμετρίας του υπό έλεγχο οδικού άξονα, η εξαγωγή της επίκλισης σε κάθε διατομή της οδού και ο υπολογισμός συνθηκών ορατότητας για οδηγούς και πεζούς. Με αυτό τον τρόπο παρέχεται η δυνατότητα ιεράρχησης των προβλημάτων και σύνταξη ανάλογων μελετών βελτίωσης του επιπέδου οδικής ασφάλειας.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ

Το όχημα ψηφιακής καταγραφής συντίθεται από τέσσερα διακριτά υποσυστήματα διασυνδεδεμένων αισθητήρων (Kingston et. al, 2007).



Σχήμα 2. Σύστημα καταγραφής
Figure 2. Mobile mapping system layout

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του εξοπλισμού των επιμέρους υποσυστημάτων δίνονται στο Σχήμα 2, ενώ η διαχείριση του συστήματος αισθητήρων γίνεται κεντρικά μέσω του λογισμικού πακέτου Trident-3D Analyst (Geo-3D®, 2007). Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η συγχρονισμένη (με χρήση του παλμού PPS του συστήματος GPS) λειτουργία των αισθητήρων, διασφαλίζοντας την απόδοση γεωαναφοράς στα δεδομένα, με ακρίβεια και αξιοπιστία.

4. ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΟΔΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΣΤΟΥΣ ΟΔΙΚΟΥΣ ΑΞΟΝΕΣ Λ. ΚΑΒΑΛΑΣ & Λ. ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Η πιλοτική εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε στους υφιστάμενους οδικούς άξονες Λ. Αθηνών και Πειραιώς. Το αντικείμενο της εφαρμογής περιλάμβανε την καταγραφή της φυσικής και λειτουργικής κατάστασης των υπόψη οδικών αξόνων, καθώς και τη διατύπωση προτάσεων για διορθωτικές επεμβάσεις στην υφιστάμενη οδική υποδομή, με σκοπό τη βελτίωση του επιπέδου οδικής ασφαλείας.

4.1 Περιγραφή εξεταζόμενων οδικών τμημάτων

Η Λ. Αθηνών (Καβάλας) αποτελεί κύρια οδική αρτηρία και τμήμα της Ε.Ο. Αθηνών-Κορίνθου. Το υπό εξέταση οδικό τμήμα βρίσκεται μεταξύ της Πλατείας Καραϊσκάκη και της Μονής Δαφνίου. Ο άξονας της Λ. Αθηνών ανήκει στο Δευτερεύον Εθνικό Οδικό Δίκτυο και στο Πρωτεύον Οδικό Δίκτυο του νομού Αττικής. Είναι οδός ταχείας κυκλοφορίας με διατομή που ξεκινά από 2+2 λωρίδες κυκλοφορίας και διαχωριστική νησίδα (Λ. Αχιλλέως) και εξελίσσεται σε 4+4 λωρίδες κυκλοφορίας με διαχωριστική νησίδα. Από την Πλ. Καραϊσκάκη μέχρι το Δαφνί διαθέτει 21 σηματοδοτούμενους κόμβους από τους οποίους, οι 3 είναι ανισόπεδοι (κόμβοι με Λ. Κωνσταντινουπόλεως, Λ.Κηφισού και Θηβών).

Η οδός Πειραιώς είναι ο μεγάλος κεντρικός οδικός άξονας μήκους περίπου 8 km που συνδέει την Αθήνα με τον Πειραιά. Το υπό εξέταση οδικό τμήμα ευρίσκεται μεταξύ της Πλατείας Ομονοίας και της οδού Πλαταιών στον Πειραιά. Η οδός Πειραιώς ανήκει στο Δευτερεύον Εθνικό Οδικό Δίκτυο και στο Πρωτεύον Οδικό Δίκτυο του νομού Αττικής. Είναι οδός ταχείας κυκλοφορίας με 2+2 λωρίδες κυκλοφορίας,

ενώ έχει διαχωριστική νησίδα στο μεγαλύτερο τμήμα. Από την Πλ. Ομονοίας μέχρι τον Πειραιά διαθέτει 26 σηματοδοτούμενους κόμβους από τους οποίους, οι 2 είναι ανισόπεδοι (κόμβοι με οδό Χαμοστέρνας και Λ. Κηφισού).

4.2 Καταγραφή Υφιστάμενης Κατάστασης – Συλλογή Στοιχείων

Οι εργασίες καταγραφής των δεδομένων της κατάστασης της υφιστάμενης οδικής υποδομής προγραμματίστηκαν με τον καθορισμό των δρομολογίων του ειδικά εξοπλισμένου οχήματος της NAMA ΑΕ, σε κατάλληλες ώρες, ώστε να αποφεύγονται εμπλοκές με τη συνήθη κυκλοφορία βαρέων οχημάτων που κινείται στους υπόψη οδικούς άξονες. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε συλλογή στοιχείων (κυκλοφοριακοί φόρτοι, προγράμματα σηματοδοτούμενων κόμβων, στοιχεία καταγεγραμμένων ατυχημάτων) από τις αρμόδιες Υπηρεσίες.

Κατά μήκος των υπό εξέταση αξόνων καταγράφηκε η υφιστάμενη φυσική κατάσταση της οδικής υποδομής, περιλαμβανομένων του εξοπλισμού της οδού και λοιπόν στοιχείων που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια, όπως π.χ. διαφημιστικές πινακίδες. Όλα τα στοιχεία που βρίσκονται επί του οδοστρώματος, της κεντρικής νησίδας (όπου υπάρχει), καθώς και επί των πεζοδρομίων εντοπίστηκαν και καταγράφηκαν σε βάση δεδομένων διαχειρίσιμη από ΣΓΠ (GIS). Συγκεκριμένα τα στοιχεία που καταγράφηκαν, συλλέχθηκαν και εισήχθηκαν στη Βάση Δεδομένων είναι:

- φθορές (12 είδη) της επιφάνειας κυκλοφορίας, με κατάταξη αυτών ανά λωρίδα,
- δείκτης IRI, που χαρακτηρίζει την ποιότητα της επιφάνειας του οδοστρώματος,
- πινακίδες (ρυθμιστικές, κινδύνου, πληροφοριακές και διαφημιστικές),
- ιστοί οδοφωτισμού,
- δένδρα με κορμό διαμέτρου >10 cm,
- στηθαία ασφαλείας,
- κιγκλιδώματα πεζών και άλλα στοιχεία που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια των πεζών,
- σηματοδότες οχημάτων και πεζών,
- προσβάσεις παρόδιων εγκαταστάσεων,
- στάσεις λεωφορείων,
- πλάτος πεζοδρομίων και οι θέσεις πρόσβασης ΑΜΕΑ σε πεζοδιαβάσεις,
- λοιπά στοιχεία που κρίθηκαν αναγκαία να καταγραφούν, όπως κάδοι απορριμμάτων,
- μορφή των κόμβων (ισόπεδος, ανισόπεδος σηματοδοτούμενος), περιλαμβανομένων των

προγραμμάτων σηματοδότησης που χορήγησε το αρμόδιο τμήμα της ΔΜΕΟ,

- στοιχεία κυκλοφοριακού φόρτου κατά μήκος των αξόνων που χορήγησε το αρμόδιο τμήμα της ΔΜΕΟ. Σε αυτά πραγματοποιήθηκε αναγωγή των φόρτων σε αντιπροσωπευτική τιμή των συλλεγμένων στοιχείων ατυχημάτων,
- τα στοιχεία ατυχημάτων (βλ. επόμενη §4.4).

4.3 Αξιολόγηση δεδομένων φυσικής κατάστασης υφιστάμενης οδικής υποδομής

Η αξιολόγηση της φυσικής κατάστασης της υφιστάμενης οδικής υποδομής γίνεται με κριτήριο το παρεχόμενο επίπεδο εξυπηρέτησης σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά που επηρεάζουν το επίπεδο της οδικής ασφάλειας. Καθοριστική παράμετρος θεωρείται η παρουσία συνθηκών συγχωρητικού περιβάλλοντος για τους οδηγούς και τους λοιπούς χρήστες της οδού. Για την αξιολόγηση χρησιμοποιούνται κατάλογοι ελέγχων στις οποίες εξετάζεται το παρεχόμενο επίπεδο οδικής ασφάλειας σχετικά με τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου σημείου ή τμήματος, την ορατότητα, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, την κατάσταση του οδοστρώματος, τον οδικό εξοπλισμό, την κίνηση των πεζών, την κίνηση των ποδηλάτων, τη στάση και στάθμευση οχημάτων, την οριζόντια και κατακόρυφη σήμανση.

4.4 Ανάλυση ατυχημάτων

Η ανάλυση των ατυχημάτων αποτελεί ένα θεμελιώδες σημασία εργαλείο σε οποιαδήποτε προσπάθεια βελτίωσης της οδικής ασφάλειας, καθώς δίνει πληροφορίες που αφορούν σε ήδη πραγματοποιηθέντα ατυχήματα. Αποτελεί, δε, τον ενδεδειγμένο τρόπο για την αξιολόγηση «πριν-και-μετά», που προσφέρει πολύ χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τη «συμπεριφορά των χαρακτηριστικών της οδικής ασφάλειας» σε θέσεις που έγιναν επιλεγμένες επεμβάσεις, για το βαθμό της θετικής επίδρασης.

Η ανάλυση των ατυχημάτων πραγματοποιήθηκε με στόχο τον εντοπισμό των αιτίων των ατυχημάτων που έχουν συμβεί σε 3 έτη (2006-2008) στους εξεταζόμενους άξονες, την αξιολόγηση των παραγόντων που ενδεχομένως αποτελούν αιτίες μελλοντικών ατυχημάτων, λόγω αδυναμιών της φυσικής και λειτουργικής κατάστασης της υφιστάμενης οδικής υποδομής, καθώς και την επιλογή των θέσεων με τη μέγιστη επικινδυνότητα.

Η επίσημη εθνική βάση δεδομένων οδικών ατυχημάτων στην Ελλάδα είναι εκείνη της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, η οποία βασίζεται στα στοιχεία που συλλέγει η Τροχαία και αποτέλεσαν τη βασική πηγή στοιχείων της παρούσας εργασίας.

Οι μέθοδοι προσδιορισμού επικίνδυνων θέσεων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις αριθμητικές και τις στατιστικές μεθόδους (Φραντζεσκάκης και Γκόλιας, 1994).

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεθόδων ποικίλουν και έχουν παρουσιαστεί αναλυτικά στη βιβλιογραφία (Babkov, 1975, Mahier and Mountain, 1988, Renshaw, and Carter, 1980, Silcock and Smyth, 1984, Tsohos and Kokkalis, 1988). Σε κάθε περίπτωση κρίνεται απαραίτητο να συνυπολογίζεται η πολυπλοκότητα και η ακρίβεια της μεθόδου σε σχέση με τη διαθεσιμότητα των απαραίτητων στοιχείων για την εφαρμογή της. Είναι προφανές ότι, όσο πιο σύνθετη και ακριβής είναι μια μέθοδος, τόσο περισσότερα στοιχεία απαιτούνται για την εφαρμογή της, ιδιαίτερα όσον αφορά στις στατιστικές μεθόδους.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας αναπτύχθηκε κατάλληλη μεθοδολογία προσδιορισμού επικίνδυνων θέσεων, με βασικές αρχές την πλήρη αξιοποίηση των διαθέσιμων στοιχείων (που χορηγήθηκαν από τη ΔΜΕΟ και την ΕΣΥΕ), την αποτελεσματική προσέγγιση του προβλήματος, καθώς και την απαραίτητη στατιστική τεκμηρίωση της διαδικασίας εντοπισμού των επικίνδυνων θέσεων.

Το σύνολο των επικίνδυνων θέσεων επιλέχθηκε μετά από σύνθεση των επιμέρους αποτελεσμάτων, όπως περιγράφεται αναλυτικά στη συνέχεια βάσει της μεθόδου ποιοτικού ελέγχου, η οποία είναι μία στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιεί πρόσθετα στοιχεία έκθεσης σε κίνδυνο (κυκλοφοριακοί φόρτοι ή οχηματοχιλιόμετρα). Ειδικότερα, η προτεινόμενη μεθοδολογία προσδιορισμού επικίνδυνων θέσεων περιλαμβάνει τέσσερα διακριτά στάδια:

- α. υπολογισμός του δείκτη ατυχημάτων βάσει του πλήθους των ατυχημάτων και των νεκρών και παθόντων την τελευταία 3ετία,
- β. κατάταξη των θέσεων με βάση τον δείκτη ατυχημάτων,
- γ. κατάταξη των θέσεων με βάση τον δείκτη νεκρών και παθόντων, επειδή η κατάταξη αυτή είναι χρήσιμη, αφού οι θέσεις με αυξημένο αριθμό ατυχημάτων δεν συμπίπτουν πάντα με τις θέσεις με αυξημένο αριθμό νεκρών,
- δ. προσδιορισμός των επικίνδυνων θέσεων βάσει του δείκτη ατυχημάτων, νεκρών και παθόντων, βάσει του ανώτατου ορίου ελέγχου για

τους δείκτες ατυχημάτων, νεκρών και παθόντων και προσδιορισμός των επικίνδυνων θέσεων που έχουν μεγαλύτερο δείκτη από το ανώτατο όριο.

Πίνακας 2. Επικίνδυνα τμήματα βάσει ανάλυσης ατυχημάτων στην Λ. Αθηνών και την οδό Πειραιώς

Table 2. Sections with high accident rates along Athinon Av. and Peiraios Str.

Οδ. Άξονας	Τμήματα	Επικίνδυνο τμήμα βάσει		
		Ατυχημάτων	Νεκρών	Παθόντων
Λ. Αθηνών	Πλ. Καραϊσκάκη - Κολωνού	√		√
	Κολωνού - Λένορμαν	√		√
	Λένορμαν - Μυλλέρου	√		√
	Μυλλέρου - Θερμοπυλών	√		√
	Κων/πόλεως - Σπ. Πάτση		√	
	Σπ. Πάτση - Μητροδώρου	√		√
	Μητροδώρου - Πιπινέλη		√ (*)	
	Αντιγόνης - Λ.Κηφισού			√
	Λ. Κηφισού - Δομοκού		√ (*)	
	Δομοκού - Θηβών		√ (*)	
	Θηβών - Γοργοποτάμου		√	
	Γοργοποτάμου - Ηρακλείτου		√ (*)	
Έλλης - Φαβιέρου	√			
Οδός Πειραιώς	Πλ. Ομονοίας - Σωκράτους			√
	Σωκράτους - Μενάνδρου	√		√
	Μενάνδρου - Δεληγιώργη	√		√
	Δεληγιώργη - Κολωνού	√		√
	Κολωνού - Κολοκυνθούς	√		√
	Μυλλέρου - Θερμοπυλών	√		√
	Θερμοπυλών - Πλαταιών	√		√
	Ιερά Οδός - Περσεφόνης		√ (*)	
	Περσεφόνης - Ηρακλειδών	√		√
	Ηρακλειδών - Π. Ράλλη		√ (*)	
	Π. Ράλλη - Αιγηίδων	√	√	√
	Αιγηίδων - Χαμοστέρνας	√		√
	Χαμοστέρνας - Μακεδονίας	√	√	√
	Μακεδονίας - Χρ. Σμύρνης	√		√
	Χρ. Σμύρνης - Άρτης		√ (*)	
	Άρτης - Πύργου		√ (*)	
	Κονδύλη - Γιαννίδη		√ (*)	

√ (*): τα τμήματα αυτά προέκυψαν ως «επικίνδυνα» από την καταγραφή με το όχημα

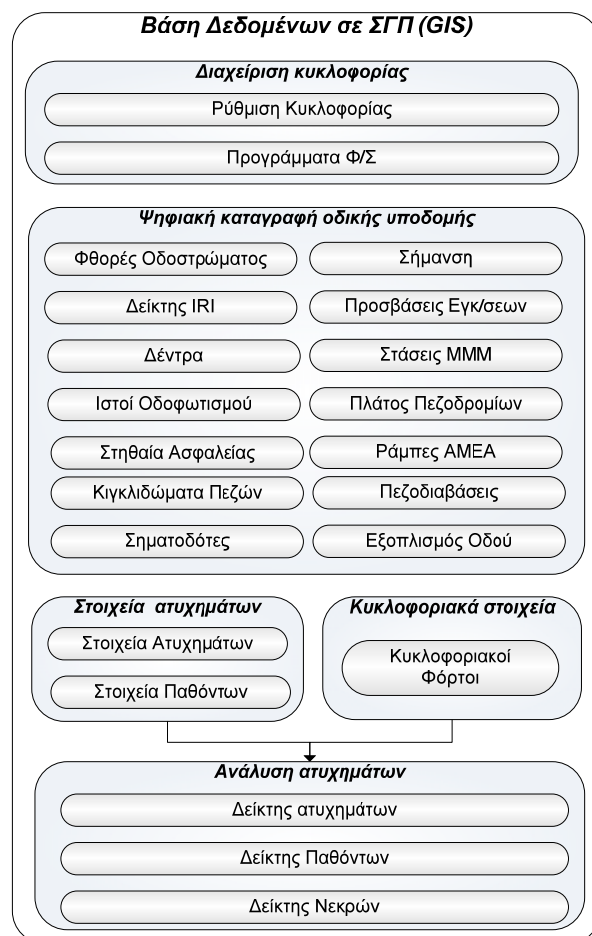
Από την ανάλυση ατυχημάτων προέκυψαν τα επικίνδυνα τμήματα (Πίνακας 2) στους δύο άξονες βάσει των ατυχημάτων, των νεκρών,

των παθόντων, αλλά και βάσει τον παρατηρήσεων από τους ελέγχους οδικής ασφάλειας από την καταγραφή με το σύστημα ψηφιακής καταγραφής και τις επιτόπιες αξιολογήσεις.

Στα πλαίσια των αναγκών για οργανωμένη συλλογή, καταγραφή και αποθήκευση των δεδομένων ατυχημάτων στους οδικούς άξονες ενδιαφέροντος, πραγματοποιήθηκε εισαγωγή των διαθέσιμων στοιχείων στη Βάση Δεδομένων του κάθε άξονα. Τα στοιχεία που καταχωρήθηκαν αφορούν στα πλήρη στοιχεία ατυχημάτων, δηλαδή ημερομηνίες συμβάντων, συνθήκες φωτισμού, γεωμετρία και κατευθύνσεις οδού, αλλά και οι υπολογισμένοι δείκτες.

4.5 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων - Υποβάθρων Οριζοντιογραφίας

Όλα τα στοιχεία που συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν, εισήχθησαν σε βάση δεδομένων στην οποία αναφέρονται πληροφορίες σχετικά με την γεωγραφική θέση του κάθε στοιχείου, αλλά και επιπλέον στοιχείων για την αξιολόγηση των πιθανών κινδύνων σχετικά με την οδική ασφάλεια (βλ. Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Περιγραφή Βάσης Δεδομένων
Figure 3. Database Layout

Επίσης, από δορυφορικές εικόνες δημιουργήθηκαν εποπτικά υπόβαθρα οριζοντιογραφίας, στα οποία επισημάνθηκαν οι άξονες των υπόψη δύο οδικών τμημάτων, περιλαμβανομένης και της γεωμετρίας αυτών, όπως προέκυψαν από την κινηματική χαρτογράφηση (βλ. Σχήμα 5).

4.6 Προτεινόμενες επεμβάσεις

Σημαντικό στοιχείο στη διαμόρφωση προτάσεων για τη βελτίωση των επικίνδυνων σημείων είναι η αντιμετώπιση των αδυναμιών κάθε θέσης, οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά το επίπεδο οδικής ασφάλειας, καθώς και η εξασφάλιση ομοιογένειας του οδικού περιβάλλοντος κατά μήκος των οδικών αξόνων. Σκοπός είναι το οδικό περιβάλλον των αξόνων να γίνει ευκολότερα αντιληπτό από τους χρήστες της οδού, χωρίς να δημιουργείται σύγχυση σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας τους. Σε αυτό το πλαίσιο μπορεί να εξεταστούν διάφορες λύσεις που εφαρμόζονται με επιτυχία σε άλλες περιοχές ή ακόμα και σε άλλες χώρες, ώστε να επιλεγούν αυτές που κρίνονται περισσότερο αποτελεσματικές με βάση τις συνθήκες, τη συμπεριφορά και τη δεκτικότητα των χρηστών στην Ελλάδα. Σε κάθε περίπτωση, ο σκοπός είναι να διαμορφωθεί ένα κατανοητό και τυποποιημένο οδικό περιβάλλον, ώστε αυτό να μη δημιουργεί προϋποθέσεις λανθασμένων ενεργειών από τους χρήστες της οδού και να λειτουργεί «συγχωρετικά» μετά από οποιοδήποτε λάθος, ελαχιστοποιώντας κατά το δυνατό τις επιπτώσεις ενός πιθανού λάθους.

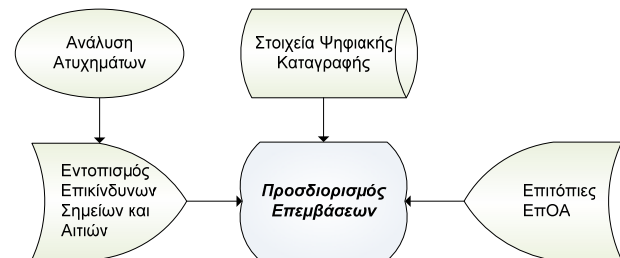
Προκειμένου να υπάρχει συστηματική αντιμετώπιση των επικίνδυνων θέσεων, οι προτεινόμενες επεμβάσεις προσδιορίστηκαν ανάλογα με το είδος και τα χαρακτηριστικά των οδικών τμημάτων, την κατηγορία του οδικού τμήματος, τη διατομή της οδού, τις παρόδιες χρήσεις γης, τον κυκλοφοριακό φόρτο, την κίνηση πεζών και την παρουσία φωτεινής σηματοδότησης.

Οι προτεινόμενες επεμβάσεις αφορούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

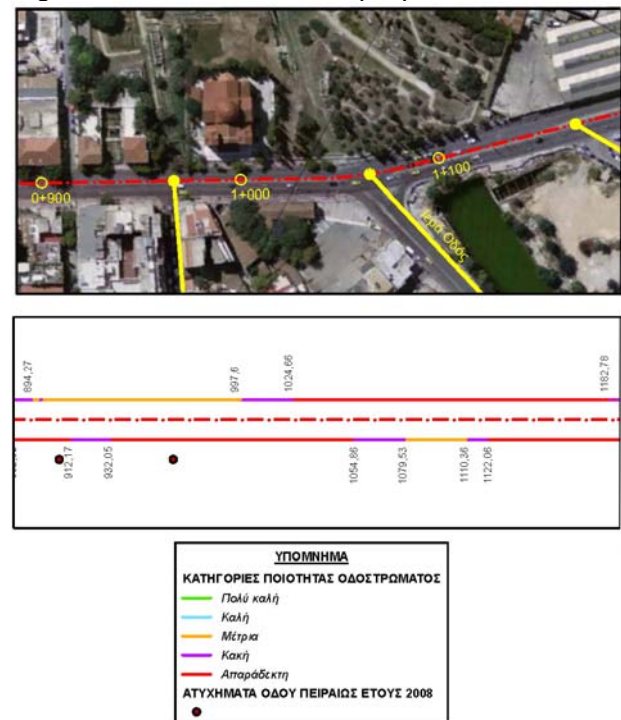
- ρυθμιστικές επεμβάσεις που αφορούν στη διαχείριση της κυκλοφορίας και στάθμευσης,
- χρήση οδικού εξοπλισμού, ώστε να ενισχυθεί η επιβολή των ρυθμιστικών επεμβάσεων,
- γεωμετρικές επεμβάσεις, ώστε να εξασφαλισθούν κριτήρια ορατότητας, διαχωρισμού κατευθύνσεων, καθοδήγησης οχημάτων κ.α.,
- φωτεινή σηματοδότηση, για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας, αλλά και της κυκλοφοριακής λειτουργίας,

- οδοστρώματα, ώστε να εξασφαλισθεί η ασφαλής κίνηση των χρηστών των οδών,
- οδοφωτισμός, σε περιπτώσεις που παρατηρείται σημαντικός αριθμός ατυχημάτων τις νυχτερινές ώρες,
- ασφάλιση, με σκοπό τη μείωση των συνεπειών σε περίπτωση εκτροπής οχήματος,
- ηλεκτρονικές διατάξεις επιτήρησης παραβάσεων σε επικίνδυνες θέσεις, ώστε να ελέγχονται οι παραβάσεις,
- οριζόντια και κατακόρυφη σήμανση, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί η ορθή και ασφαλής λειτουργία της οδού.

Οι επεμβάσεις που προτάθηκαν για τα επικίνδυνα σημεία προέκυψαν από τον συνδυασμό των στοιχείων που συλλέχθηκαν, καταγράφηκαν και επεξεργάστηκαν όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Προσδιορισμός επεμβάσεων
Figure 4. Determination of proposed measures



Σχήμα 5. Παράδειγμα συνδυασμού πληροφοριών από τη ψηφιακή καταγραφή και την ανάλυση ατυχημάτων σε χάρτη του οδικού άξονα
Figure 5. Example of combination of mobile mapping data and accident analysis

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα συνδυασμού των αναλύσεων για τον προσδιορισμό των επεμβάσεων, στο οποίο αποτυπώνεται με γεωαναφορά η κατάταξη της ποιότητας του οδοστρώματος και τα ατυχήματα σε τμήμα της Οδού Πειραιώς, με σκοπό την εύρεση σημείων στα οποία η χαμηλή ποιότητα οδοστρώματος έχει συμβάλει σε ατυχήματα.

Στον Πίνακα 3 συνοψίζονται οι προτεινόμενες κατασκευαστικές επεμβάσεις χαμηλού κόστους που μπορούν άμεσα να υλοποιηθούν στα υπό εξέταση τμήματα, οι οποίες θα συμβάλλουν ουσιαστικά στην αύξηση του επιπέδου οδικής ασφάλειας.

Πίνακας 3. Σύνοψη εργασιών άμεσων κατασκευαστικών επεμβάσεων

Table 3. Summary of high priority construction works interventions

#	Είδη εργασιών σε θέσεις επί των αξόνων	Λ. Αθηνών	Πειραιώς
1	Αποξήλωση/ κατασκευή κρασπέδων (*)	205	132
2	Αφαίρεση/επανατοποθέτηση πινακίδων (Κ,Ρ,Πρ,Π)	4	-
3	Αφαίρεση/επανατοποθέτηση πινακίδων (Π μετ. πεδ.)	44	45
4	Αφαίρεση διαφημιστικών πινακίδων	32	93
5	Κατασκευή στηθαίου οδού τύπου ΜΣΟ-1	2	-
6	Κατασκευή στηθαίου οδού τύπου ΜΣΟ-2	-	4
7	Κατασκευή στηθαίου οδού με απόσταση ορθοστατών 1,33 m	-	5
8	Κατασκευή στηθαίου οδού τύπου ΜΣΟ-4	10	-
9	Κατασκευή στηθαίων τεχνικών έργων τύπου ΣΤΕ-1	-	1
10	Κατασκευή στηθαίου τεχνικών έργων τύπου ΣΤΕ-6	9	-
11	Αποξήλωση χαλύβδινου στηθαίου ασφαλείας	6	4
12	Κατασκευή χαλύβδινου χειρολισθήρα Φ140/4 mm σε ΣΤΕ-10 και κατασκευή απόληξης στηθαίου NJ από C20/25	-	1
13	Αποκατάσταση λακκουβών (**)	14	19
14	Κατασκευή πρόσβασης ΑΜΕΑ σε πεζοδρόμια	315	270

* Λ. Αθηνών 3,7km και Πειραιώς 2 km

**Λ. Αθηνών 3,5 m² και Πειραιώς 3,1 m²

5. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή ολοκληρωμένου συστήματος κινηματικής χαρτογράφησης της υφισταμένης κατάστασης ως προϋπόθεση για τη μελέτη βελτίωσης του επιπέδου οδικής ασφάλειας στους άξονες Λ. Αθηνών και Πειραιώς, αποτέλεσε ένα χρήσιμο εργαλείο στην αντικειμενική, αξιόπιστη, ασφαλή, γρήγορη, οικονομική και αποτελεσματική καταγραφή όλων των στοιχείων του οδικού περιβάλλοντος που καθορίζουν

το επίπεδο της οδικής ασφάλειας. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η σπουδαιότητα της διαθεσιμότητας ενός συστηματικά επικαιροποιημένου μητρώου οδών ως βασικό εργαλείο για τους ελεγχούς οδικής ασφάλειας.

Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους καταγραφής (πεζοπόρα συνεργεία, δεδομένα από χάρτες, κ.α.) τα σύγχρονα συστήματα κινητής χαρτογράφησης υπερέρχουν δεδομένου ότι παρέχουν:

- *ασφάλεια*: το όχημα καταγραφής διατρέχει το οδικό δίκτυο με τη ροή της οδικής κυκλοφορίας και σε καμία περίπτωση τα μέλη της ομάδας δεν εκτίθενται άμεσα στους κινδύνους της οδικής κυκλοφορίας,
- *ταχύτητα*: εξασφαλίζεται η συλλογή δεδομένων έως και 50 φορές γρηγορότερα σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους καταγραφής,
- *ακρίβεια*: εξασφαλίζεται υψηλή ακρίβεια σε όλο το μήκος καταγραφής (μέσω της χρήσης συστημάτων GNSS/INS/DIM),
- *διαχείριση και απόδοση δεδομένων*: αποτελεσματική διαχείριση /απόδοση των πρωτογενών και επεξεργασμένων δεδομένων με αποτέλεσμα τη σωστή και έγκαιρη λήψη αποφάσεων. Αυτό εξασφαλίζεται με τη βοήθεια εργαλείων λογισμικών που παρέχουν την ικανότητα επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων με διαφορετικά χαρακτηριστικά μορφοποίησης (βάσεις δεδομένων, CAD, κ.α.),
- *κόστος*: η γρήγορη, ασφαλής και με πληρότητα καταγραφή διασφαλίζει μειωμένο κόστος σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Babkov, V.F. (1975), "Road Conditions and Traffic Safety", MIR Publishers, Moscow.
- Department of Transport (2003), "Design Manual for Roads and Bridges. Volume 5. Section 2", London, U.K.
- Φραντζεσκάκης, Ι.Μ. και Γκόλιας, Ι.Κ. (1994), "Οδική Ασφάλεια", Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- Geo-3D (2007) Trdent - 3D Analyst Software version 4.1, Canada
- Gikas V. and Stratakos J. (2011) "A Novel Geodetic Engineering Method for the Extraction of Road/Railway Alignments Based on the Bearing Diagram and Fractal Behavior", Transactions of Intelligent Transportation Systems, IEEE, DOI 10.1109/TITS.2011.2163186 (accepted July 11, 2011)
- Gikas, V. and Daskalakis, S. (2008) "Determining Rail Track Axis Geometry

- Using Satellite and Terrestrial Geodetic Data", Survey Review, Vol. 40, pp 392-405
- Gikas, V., Laflamme, C., Larouse, C., Kasapi, E., Soilemezoglou, G., Paradissis, D. (2008) "Development of Advanced Positioning and Videography Tools for Mobile Mapping: Implementation in 1000 km of Roads in Greece" 10th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation, NTUA/ASCE/TRB, Athens, May 27-31
- Kingston, T., Gikas, V., Laflamme, C., Larouche, C., (2007) "An Integrated Mobile Mapping System for Data Acquisition and Automated Asset Extraction", 5th Int. Symposium on Mobile Mapping Technology Conference, ISPRS, Padua, Italy, May 28-31
- Kirkevold, A., Bones, T., Ringen, S. (2006) "Road Safety Audits and Inspections. Guidelines", Public Roads Administration, Norway (www.vegvesen.no)
- Mahier M. J. and Mountain L.J. (1988), "The Identification of Accident Blackspots: A Comparison of Current Methods", Accident Analysis and Prevention.
- National Roads Authority (2004), "Road Safety Audit Guidelines", Dublin, Ireland
- Renshaw, D.L. and Carter, E.C. (1980), "Identification of High-Hazard Locations in the Baltimore County Road-Rating Project", Transportation Research Record 753, TRB, Washington DC.
- Silcock, D. and Smyth, A. W. (1984), "The methods used by British highway authorities to identify accident blackspots", Traffic Engineering and Control.
- Stratakos J., Gikas V., Fragos K. (2009) "A Multi-Scale Curve Matching Technique for the Assessment of Road Alignments Using GPS/INS Data", 6th International Symposium on Mobile Mapping Technology, Sao Paulo, Brazil, July 21 – 24
- Transfund New Zealand (2004), "Road Safety Audit Procedures for Projects", New Zealand.
- Transport for London (2009), "Road Safety Audit", London, U.K.
- TRB Executive Committee (2004) "National Cooperative Highway Research Program. Synthesis 336. Road Safety Audits. A Synthesis of Highway Practice", Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C.
- Tsohos, G. and Kokkalis, A. (1988), "Determination of Black Spots. A comparative and correlation study of existing methods", Amsterdam, The Netherlands.
- University of New Brunswick (1999), "Road Safety Audit Guidelines", Canada