

# Αξιολόγηση Επάρκειας Ορατότητας για Στάση σε Τρισδιάστατο Οδικό Περιβάλλον

## StoppingSightDistanceEvaluationon 3D Road Environment

ΜΑΥΡΟΜΑΤΗΣ ΣΤΕΡΓΙΟΣ, Επίκουρος Καθηγητής, ΤΕΙ Αθήνας  
ΨΑΡΙΑΝΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, Καθηγητής ΕΜΠ  
ΜΕΡΤΖΑΝΗΣ ΦΩΤΗΣ, Επιστημονικός Συνεργάτης, ΕΜΠ  
ΓΙΩΡΓΟΣ ΤΣΙΟΥΓΚΟΣ, Καθηγητής Εφαρμογών, ΤΕΙ Αθήνας  
ΣΟΥΠΙΩΝΑΣ ΓΙΩΡΓΟΣ, Τοπογράφος Μηχανικός ΤΕ

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Στην παρούσα εργασία περιγράφεται μεθοδολογία αξιολόγησης της επάρκειας Μήκους Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ), η οποία στηρίζεται στη διαφορά μεταξύ του διατιθέμενου και του απαιτούμενου ΜΟΣ. Η έρευνα αφορά εφαρμογή σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας, σε ευρύ φάσμα ταχυτήτων μελέτης κατά την εφαρμογή ελάχιστων προτεινόμενων τιμών γεωμετρικών παραμέτρων σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Χ 2001, σε συνδυασμούς κυρτού τόξου στη μηκοτομή με δεξιόστροφη καμπύλη στην οριζοντιογραφία. Εξετάστηκε επίσης και η επιρροή του στηθαίου ασφαλείας. Τα αποτελέσματα έδειξαν γενικά ικανοποιητική επάρκεια ΜΟΣ στην περίπτωση εξέτασης μόνο του οδικού χώρου, ενώ αντίθετα η παρουσία στηθαίου αποκρύπτει το εμπόδιο από το οπτικό πεδίο του οδηγού σε οποιοδήποτε συνδυασμό οριζοντιογραφικής καμπύλης με κυρτό τόξο στη μηκοτομή.

**ABSTRACT:** In the present paper a methodology for the evaluation of Stopping Sight Distance (SSD) is delivered which is based in defining the difference between available and demanded SSD. The research refers to two lane rural roads, for a wide range of design speed values and minimum design parameters according to ΟΜΟΕ-Χ 2001 Design Guidelines, when combinations of overlapped crest vertical curves with right turned horizontal curves are applied. The influence of the safety barrier was examined as well. The results revealed in general satisfying SSD adequacy when examining exclusively the road environment, where the presence of the safety barrier blocks the driver's field of vision when horizontal curved alignments are overlapped with crest vertical curves.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι προφανές ότι σε οποιαδήποτε οδικό περιβάλλον η ασφάλεια των χρηστών αποτελεί κυρίαρχο ζητούμενο. Υπό αυτήν την έννοια, κατά τη διαδικασία σχεδιασμού νέων οδών καθώς και στις προτάσεις βελτίωσης υφιστάμενων χαράξεων, η εξασφάλιση υψηλού επιπέδου οδικής ασφαλείας και κυρίως η ενίσχυση της αίσθησης ασφαλείας προς τον ίδιο τον οδηγό, σε όλο το μήκος μιας οδού, αποτελούν στόχους ιδιαίτερης σημασίας, ιδιαίτερα δε, όταν ο οδηγός είναι αναγκασμένος να προβαίνει σε απροσδόκητους ελιγμούς.

Η λανθασμένη θεώρηση του οδικού περιβάλλοντος εκ μέρους του οδηγού, αλλά κυρίως οι απότομες μεταβολές στην λειτουργική ταχύτητα των οχημάτων, οι οποίες, τουλάχιστον όσον αφορά σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας, γενικά οφείλονται σε προβληματικό συνδυασμό γεωμετρικών χαρακτηριστικών, αυξάνουν την πιθανότητα πρόκλησης ατυχημάτων. Η πιο κρίσιμη ίσως παράμετρος που σχετίζεται άμεσα με τη δυνατότητα ασφαλούς και αποτελεσματικής ολοκλήρωσης αιφνίδιων ελιγμών είναι θεωρητικά τουλάχιστον το Μήκος Ορατότητας.

## 2. ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΣΤΑΣΗ

Το ελάχιστο Μήκος Ορατότητας, γνωστό ως Μήκος Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ), αποτελεί τη βάση για την επιλογή κρίσιμων γεωμετρικών παραμέτρων όπως τις ακτίνες κυρτών και κοίλων κατακόρυφων καμπυλών, το πλάτος της εσωτερικής λωρίδας καθοδήγησης σε αριστερόστροφες καμπύλες οδών με διαχωρισμένο οδόστρωμα καθώς και το πλάτος του ελεύθερου οπτικών εμποδίων χώρου σε δεξιόστροφες καμπύλες λόγω παρουσίας πρανών, στηθαίων ή δένδρων φύτευσης. Ως εκ τούτου το ΜΟΣ πρέπει να επαρκεί σε οποιοδήποτε σημείο μιας οδού ώστε όχημα κινούμενο με τη λειτουργική ταχύτητα να δύναται να ακινητοποιηθεί πριν προσκρούσει σε απροσδόκητο σταθερό εμπόδιο (AASHTO, 2004).

Υπάρχουν δύο είδη Μήκους Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ) κάτω από τις ίδιες συνθήκες φωτισμού:

- απαιτούμενο, το οποίο αφορά στη δυνατότητα στάσης του οχήματος και εξαρτάται από
  - ✓ την οδό, ως προς την γεωμετρία της
  - ✓ τον οδηγό, ως προς την ικανότητα αντίληψης – αντίδρασης
  - ✓ το όχημα, ως προς τα δυναμικά χαρακτηριστικά του
- διατιθέμενο, το οποίο σχετίζεται με το εμπρόσθιο οπτικό πεδίο το οποίο είναι ορατό από τον οδηγό και σχετίζεται κυρίως με
  - ✓ το οδικό περιβάλλον (εμπόδια, βλάστηση κλπ.)
  - ✓ τη γεωμετρία της οδού

Το απαιτούμενο ΜΟΣ είναι το άθροισμα δύο επιμέρους μηκών: του διαστήματος που διανύει το όχημα κατά το χρόνο αντίληψης αντίδρασης του οδηγού έως τη στιγμή που αρχίζει η διαδικασία πέδησης με ακινητοποιημένους τροχούς (θεωρώντας ως αντίστοιχο χρόνο 2,0sec – 2,5sec για υπεραστικές οδούς) και της απόστασης που διανύει το όχημα έως την πλήρη στάση του (μήκος πέδησης). Έτσι, η σχέση η οποία εκφράζει τους παραπάνω δύο όρους (ΟΜΟΕ-Χ, 2001) είναι:

$$\text{ΜΟΣ} = V \cdot t_R + \frac{1}{g} \int_0^{V_{85}} \frac{V}{f_T(V) + \frac{s}{100} + \frac{A_d}{mg}} dv \quad (1)$$

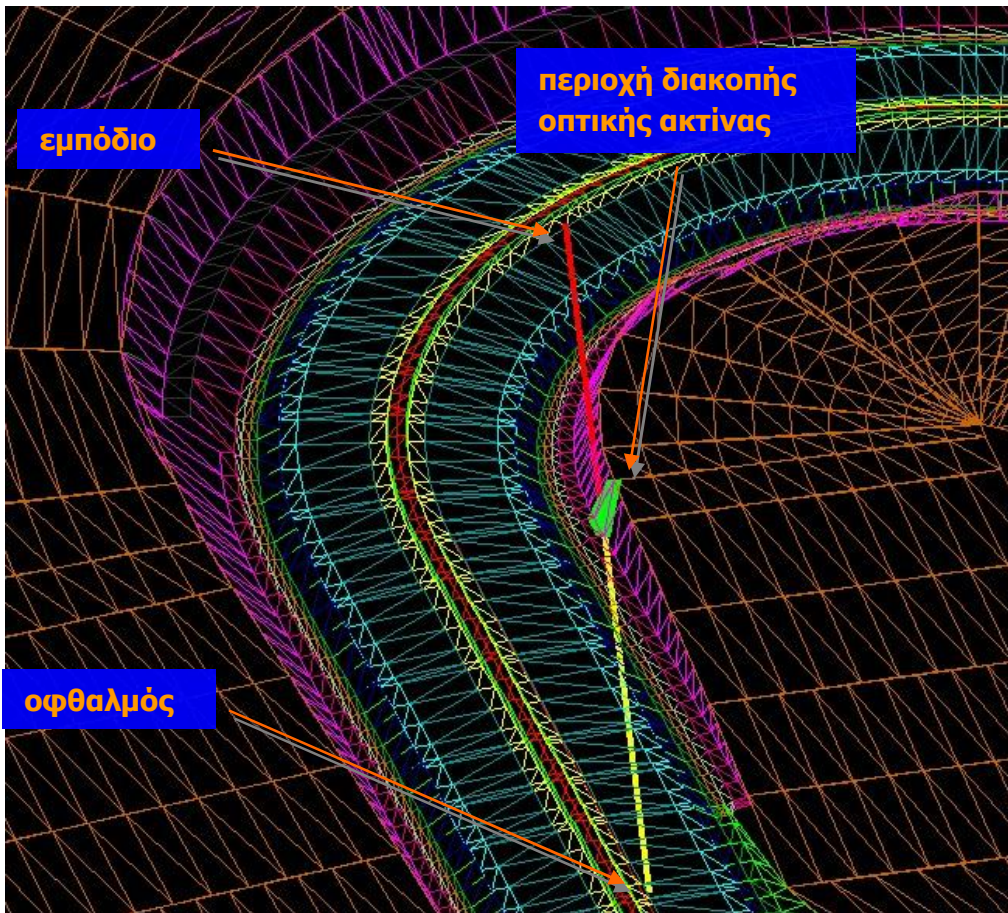
όπου:

- $V$  (m/sec) : ταχύτητα οχήματος  
 $t_{R(\text{sec})}$  : χρόνος αντίληψης αντίδρασης οδηγού [ $t_R = 2,0\text{sec}$ ]  
 $g$  (m/sec<sup>2</sup>): παγκόσμια σταθερά βαρύτητας ( $g=9,81\text{m/sec}^2$ )  
 $f_T(V)$  : συντελεστής πρόσφυσης στη διαμήκη διεύθυνση ως συνάρτηση της ταχύτητας για το ελληνικό οδικό περιβάλλον  
 $f_T(V) = 0,59 - 4,85 \times 10^{-3} \times V + 1,5 \times 10^{-5} \times V^2$   
 $s$  (%): κλίση οδού [(+) ανωφέρεια, (-) κατωφέρεια]  
 $m$  (kg): μάζα οχήματος  
 $A_d$  (N): εμπρόσθια (μετωπική) αερααντίσταση [ $A_d/mg = 0,327 \times 10^{-4} \times V^2$ ]

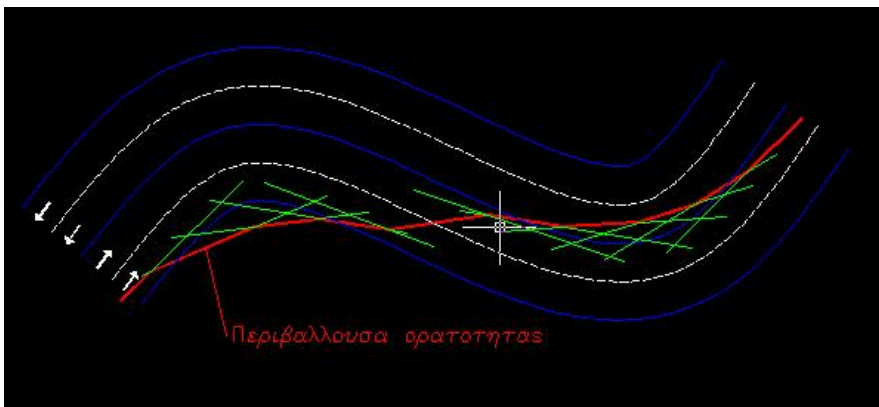
Το διατιθέμενο μήκος ορατότητας για στάση περιγράφεται με τη βοήθεια της οριακής οπτικής ακτίνας μεταξύ οφθαλμού οδηγού και εμποδίου όπου το τυπικό ύψος οφθαλμού είναι 1,00m στα επιβατηγά και 2,00m στα φορτηγά, ενώ το τυπικό ύψος εμποδίου κυμαίνεται από 0,50m έως 1,00m. Στο Σχήμα 1 φαίνεται παράδειγμα διακοπής της γραμμής ορατότητας σε δεξιόστροφη καμπύλη οδού.

Η διερεύνηση της επάρκειας ΜΟΣ σε μια οδό βασίζεται σε πρότυπα δύο διαστάσεων (2D) ή τριών διαστάσεων (3D). Η πρώτη προσέγγιση (2D), κρίνεται ιδιαίτερα επισφαλής δεδομένου ότι είναι ελλιπής και δύναται με την ίδια ευκολία να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση ή, πολύ χειρότερα, σε υποεκτίμηση της επάρκειας ορατότητας και άρα της παρεχόμενης ασφάλειας στον οδηγό (Hassanetal, 1997).

Για παράδειγμα, η επάρκεια ορατότητας με βάση την οριζόντια χάραξη ελέγχεται με στοιχεία αναφοράς από την οριζόντια γεωμετρία, την ταχύτητα του οχήματος και τις εγκάρσιες αποστάσεις οφθαλμού – εμποδίου από τον άξονα της οδού (Σχήμα 2), όπου είναι σαφές ότι παράμετροι όπως η μεταβλητή κλίση (κατακόρυφη καμπύλη), καθώς και τα ύψη οδηγού και εμποδίου αγνοούνται. Κατά συνέπεια, ο πλευρικός ελεύθερος οπτικών εμποδίων χώρος που ορίζεται μεταξύ των χορδών μήκους ορατότητας για στάση στο Σχήμα 2 είναι θεωρητικός.



Σχήμα 1. Παράδειγμα διακοπής της γραμμής ορατότητας σε δεξιόστροφη καμπύλη.  
 Figure 1. Example of sight distance discontinuation in a right turn curve



Σημείωση: Οι πράσινες γραμμές αφορούν στην οπτική ακτίνα οφθαλμών – εμποδίου.  
 Note: The green lines indicate the sight distance between driver – object.  
 Σχήμα 2. Έλεγχος ορατότητας με βάση την οριζόντια χάραξη οδού.  
 Figure 2. Available sight distance control based on roadway's plan view.

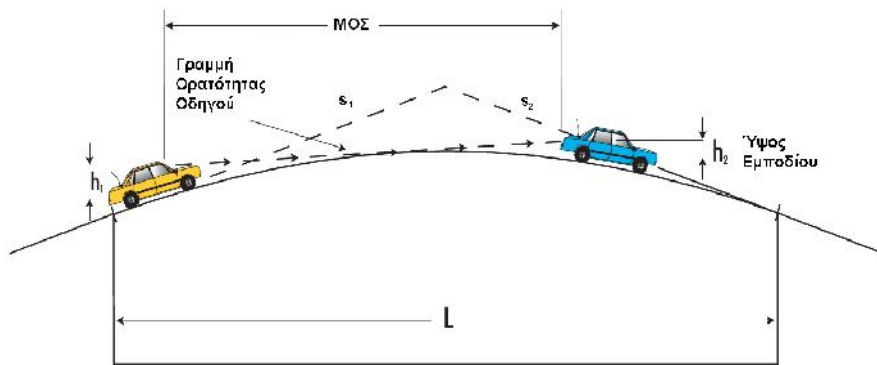
Κατά τον ίδιο τρόπο, ο έλεγχος της επάρκειας ορατότητας με βάση την κατακόρυφη γεωμετρία (Σχήμα 3) είναι και πάλι ελλιπής, καθώς ενώ απαιτούνται στοιχεία της μηκοτομής, της ταχύτητας του οχήματος καθώς και τα ύψη οφθαλμού – εμποδίου, η οριζόντια γεωμετρία θεωρείται ευθύγραμμη, ενώ σημαντική είναι και η

επιρροή της εγκάρσιας στροφής του οδοστρώματος (Morenoetal, 2010).

Απλοποιημένη και αποσπασματική προσέγγιση υιοθετείται και στην υφιστάμενη πρακτική όπου οι Οδηγίες Σχεδιασμού Οδών (πχ.ΟΜΟΕ-Χ 2001, RAA 2008, AASHTO 2004,Trazado 2000) εξετάζουν την επάρκεια ΜΟΣ ανεξάρτητα στην οριζόντια με την

κατακόρυφη χάραξη. Ως αποτέλεσμα, οι προτάσεις για τη διασφάλιση επάρκειας ΜΟΣ, μέσω της επιλογής κρίσιμων παραμέτρων για το συνδυασμένο σχεδιασμό οριζόντιας και κατακόρυφης γεωμετρίας, δίδονται μόνο σε εμπειρικό επίπεδο και χωρίς επιστημονική τεκμηρίωση. Σε αυτό το

πλαίσιο, σύμφωνα με την υφιστάμενη πρακτική (AASHTO 2004, Trazado 2000), ο σχεδιασμός οδού από άποψη επάρκειας ορατότητας, γενικά θεωρείται ικανοποιητικός όταν υπάρχει (η μεγαλύτερη δυνατή) επικάλυψη μεταξύ οριζόντιας και κατακόρυφης γεωμετρίας.



Σχήμα 3. Έλεγχος ορατότητας με βάση τη μηκοτομή οδού.

Figure 3. Available sight distance control based on roadway's longitudinal profile.

Τα τελευταία χρόνια, στη διαδικασία ελέγχου επάρκειας ορατότητας, έχουν αναπτυχθεί πρότυπα τα οποία λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση της οριζόντιας με την κατακόρυφη γεωμετρία της οδού (Hassan 1996, Lovell 2001, Garcia 2004, Ismail 2007, Romero 2007, Yan 2008, Zimmerman 2005, Moreno 2010, Altamira 2010, DiVito 2010, Kim 2010),

παρέχουν τη δυνατότητα ανάπτυξης τρισδιάστατων προτύπων έργου τα οποία προκύπτουν από το συνδυασμό του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με την επιφάνεια της οδού αλλά και του περιβάλλοντος οδικού χώρου. Το παραγόμενο τρισδιάστατο μοντέλο μπορεί να αποδώσει με ακρίβεια την περίπτωση σύνθετου οδικού περιβάλλοντος όπου πιθανόν συνυπάρχει ανεπιτυχής συνδυασμός οριζοντιογραφίας, μηκοτομής και στοιχείων του παρόδιου χώρου και να επιτρέψει τον προσδιορισμό του πραγματικού οπτικού πεδίου του οδηγού και συνεπώς να εξεταστεί με αξιοπιστία η ύπαρξη των ελάχιστα απαιτούμενων μηκών ορατότητας για στάση.

Σε επίπεδο διερεύνησης της επάρκειας ορατότητας, με βάση την προοπτική απεικόνιση της οδού, τον προσδιορισμό των αναγκαίων ΜΟΣ (διατιθέμενου και απαιτούμενου), αλλά λαμβάνοντας υπόψη και τη δυνατότητα του οδηγού να κατανοήσει το τρισδιάστατο οδικό περιβάλλον, σχετική έρευνα (HViSt, 2008) υποδεικνύει με μορφή κριτηρίων τις αναγκαίες αποστάσεις ώστε :

- να αποφεύγεται το πολύ επικίνδυνο φαινόμενο απόκρυψης της καμπύλης της οδού από την κυρτότητα της στην μηκοτομή
- να αποφεύγεται η δημιουργία σκιερών περιοχών (δηλαδή τμήματα οδού τα οποία αν και βρίσκονται εντός της οπτικής ακτίνας του οδηγού εντούτοις δεν είναι ορατά σε αυτόν)
- να εξασφαλίζεται η δυνατότητα τρισδιάστατης εποπτείας της καμπυλότητας μιας καμπύλης στην οριζοντιογραφία προκειμένου αυτή να γίνει κατανοητή, καθώς, η αρχή της καμπύλης, πέρα του να βρίσκεται εντός της ζώνης ορατότητας του οδηγού, απαιτείται να παρουσιάζει και κάποια καμπυλότητα

Το πρώτο από τα παραπάνω κριτήρια θεωρείται ιδιαίτερα κρίσιμο από άποψη ασφάλειας, δεδομένου ότι η κατανόηση, εκ μέρους του οδηγού ενός οχήματος, της περιοχής στην οποία αρχίζει η καμπύλη, αποτελεί ιδιαίτερα κρίσιμη προϋπόθεση για την ασφαλεία διέλευσης του οχήματος, γεγονός το οποίο επιδεινώνεται κατά την νυκτερινή οδήγηση όπου οι προβολείς, έχοντας εφαιπτομενική διεύθυνση, αποκρύπτουν πλήρως την καμπύλη (Hassan, 1998).

Οι περισσότερες έρευνες όμως, εστιάζουν το ενδιαφέρον τους στον καθορισμό προτάσεων άρσης της επικινδυνότητας μιας χάραξης, εξετάζοντας αποκλειστικά την τρισδιάστατη επιφάνεια της οδού στο χώρο χωρίς να

ληφθούν υπόψη στοιχεία από το παρόδιο περιβάλλον.

Στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η διερεύνηση της επάρκειας ορατότητας κατά την εφαρμογή ελάχιστων προτεινόμενων τιμών γεωμετρικών παραμέτρων κατά ΟΜΟΕ-Χ 2001. Επιπλέον, πέρα από την επιφάνεια της οδού, εξετάζεται και η πιθανή επιρροή στοιχείων από τον παρόδιο χώρο. Η

μεθοδολογία διερεύνησης της επάρκειας ορατότητας αφορά διαδικασία τρισδιάστατης θεώρησης των επιμέρους στοιχείων μελέτης μιας οδού, με τον εντοπισμό περιοχών όπου η οπτική ακτίνα μεταξύ οφθαλμών οδηγού – εμποδίου προσκρούει σε εμπόδιο, το οποίο βρίσκεται σε σημείο τέτοιο ώστε να παραβιάζεται η ασφάλεια της οδού.

### 3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΟΥ ΜΟΣ

Στις Αμερικάνικες (AASHTO, 2004) και Γερμανικές (RAA, 2008) Οδηγίες Σχεδιασμού Οδών, η χρήση της Εξίσωσης (1), για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου ΜΟΣ, υιοθετείται ελαφρά τροποποιημένη καθώς προτείνονται πιο ρεαλιστικές τιμές πρόσφυσης, ενώ δεν υπεισέρχεται ο προσδιορισμός της μετωπικής αερανίστασης. Εντούτοις τόσο στις ΟΜΟΕ-Χ 2001, όσο και στις προηγούμενες δύο Οδηγίες, δεν αναφέρεται πουθενά με ποιο τρόπο λαμβάνονται υπόψη οι περιοχές με καμπύλα τόσο οριζόντια όσο και κατακόρυφα τμήματα, δεδομένου ότι αφενός μεταξύ του διαμήκη και του εγκάρσιου συντελεστή πρόσφυσης υπάρχει αλληλοδέσμευση, όπου το μέτρο του απαιτούμενου εφαπτομενικού εξαρτάται από το ποσοστό χρησιμοποίησης του εγκάρσιου και αντίστροφα, αφετέρου δε, αγνοείται η επιρροή της μεταβλητής κατά μήκος κλίσης σε κυρτά και κοίλα κατακόρυφα τόξα.

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η επιρροή των παραπάνω παραμέτρων, στην παρούσα έρευνα προτείνεται ένα εμπλουτισμένο μοντέλο προσδιορισμού του απαιτούμενου ΜΟΣ, βάσει του οποίου προκύπτει πιο ακριβές μήκος πέδησης.

Συγκεκριμένα, με βάση τον κύκλο πρόσφυσης (Krempel, 1965), σύμφωνα με τον οποίο κατά την κίνηση οχήματος σε καμπύλη τροχιά, τα αποθέματα των συνιστωσών πρόσφυσης είναι δυνατόν να διατεθούν ταυτόχρονα και στις δύο διευθύνσεις ισχύει :

$$f_T = \sqrt{f_T(V)^2 - \left(\frac{V^2}{gR} - e\right)^2} \quad (2)$$

όπου :

- $V_{(m/sec)}$  : ταχύτητα οχήματος
- $R_{(m)}$  : οριζόντια ακτίνα
- $g_{(m/sec^2)}$  : παγκόσμια σταθερά βαρύτητας ( $g=9,81m/sec^2$ )

$f_T(V)$  : συντελεστής πρόσφυσης στη διαμήκη διεύθυνση ως συνάρτηση της ταχύτητας

$$f_T(V) = 0,59 - 4,851 \cdot 10^{-4} V + 1,511 \cdot 10^{-6} V^2$$

$e_{(%)}$  : επίκλιση οδού

$f_T$  : απαίτηση πρόσφυσης στη διαμήκη διεύθυνση

Έτσι λοιπόν, κατά την κίνηση οχήματος σε καμπύλη τροχιά, η πραγματική απαίτηση σε διαμήκη πρόσφυση δίδεται από την Εξίσωση 2.

Η επιρροή της μεταβλητής κατά μήκος κλίσης ελήφθη υπόψη με εφαρμογή απλών εξισώσεων από τη μηχανική, όπου προσδιορίστηκαν η στιγμιαία ταχύτητα καθώς και το μήκος καθαρής πέδησης σε προκαθορισμένο χρονικό πλαίσιο (το οποίο ελήφθη 0,01sec):

$$V_{i+1} = V_i - g(f_T + s)t \quad (3)$$

$$BD_i = V_i t - \frac{1}{2} g(f_T + s)t^2 \quad (4)$$

όπου :

$V_{i(m/sec)}$  : ταχύτητα οχήματος στη θέση i

$V_{i+1(m/sec)}$  : ταχύτητα οχήματος μετά από 0,01sec

$g_{(m/sec^2)}$  : παγκόσμια σταθερά βαρύτητας ( $g=9,81m/sec^2$ )

$f_T$  : απαίτηση πρόσφυσης στη διαμήκη διεύθυνση στη θέση i

$s_{(%)}$  : κλίση οδού στη θέση i [(+ ανωφέρεια, (-) κατωφέρεια)]

$BD_{i(m)}$  : μήκος καθαρής πέδησης

$t_{(sec)}$  : χρονικό πλαίσιο (0,01sec)

Το συνολικό μήκος πέδησης προκύπτει από την ολοκλήρωση των επιμέρους τμημάτων έως ότου η ταχύτητα του οχήματος μηδενιστεί,

οπότε και το όχημα θα έχει πλήρως ακινητοποιηθεί ( $V_{i+1}=0$ ).

Το ψηφιακό μοντέλο έργου (τρισδιάστατη θεώρηση), η δημιουργία του οποίου βασίζεται σε εξισώσεις από την αναλυτική γεωμετρία και συνίσταται από επιμέρους τρίγωνα, αποτελεί τη βάση για τον προσδιορισμό του διατιθέμενου ΜΟΣ το οποίο αφορά στην οπτική ακτίνα μεταξύ οφθαλμών και εμποδίου σε προκαθορισμένη εγκάρσια απόσταση από τον άξονα της οδού (συνήθως το ήμισυ της λωρίδας).

Είναι σαφές ότι η επάρκεια ορατότητας εξασφαλίζεται όταν :

$$MOΣ_{DEMAND} \leq MOΣ_{PROVIDED} (5)$$

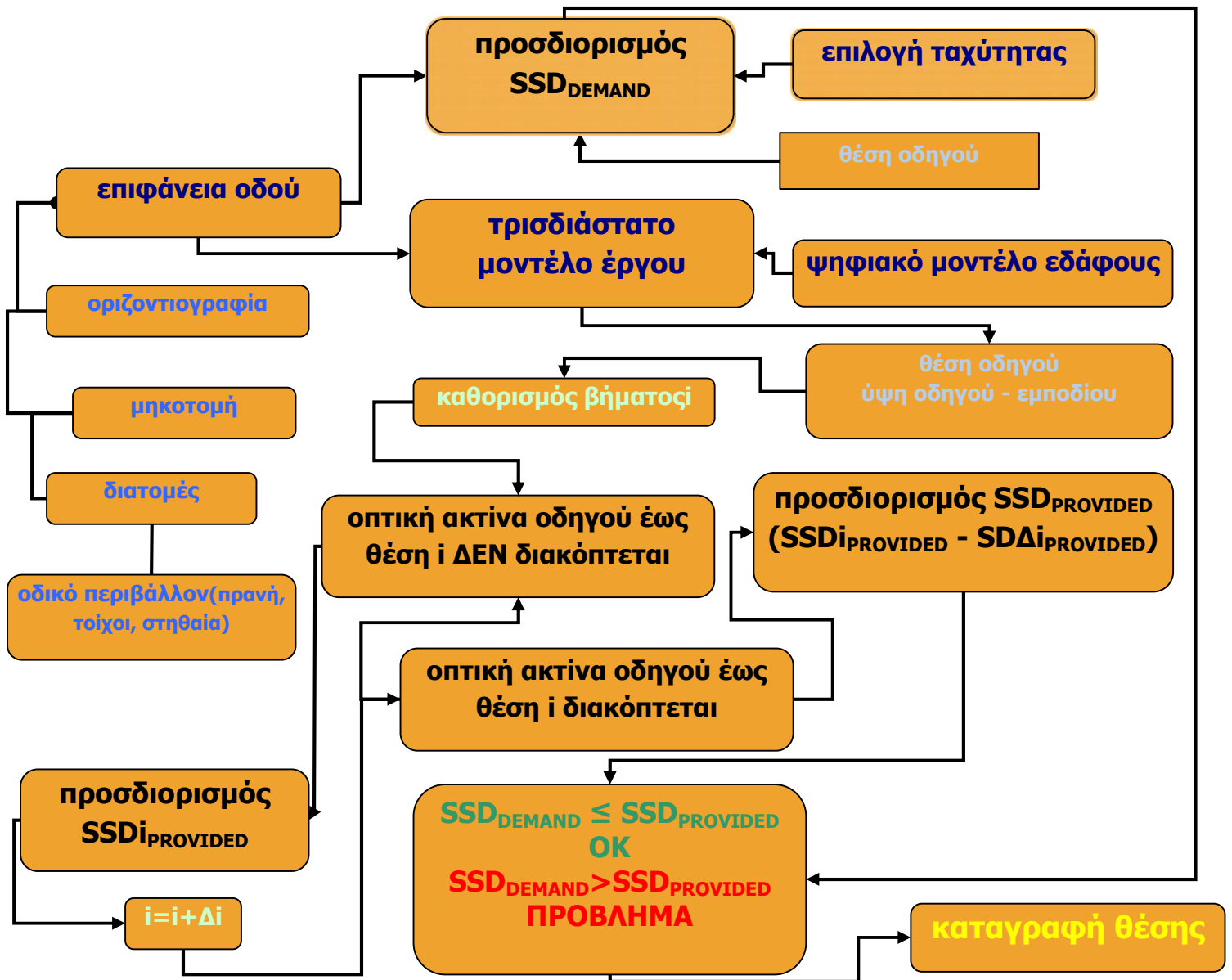
όπου:

$MOΣ_{DEMAND}$  : απαιτούμενο ΜΟΣ

$MOΣ_{PROVIDED}$  : διατιθέμενο ΜΟΣ

Τόσο το απαιτούμενο όσο και το διατιθέμενο ΜΟΣ μετρώνται με βάση τις διαφορές των χιλιομετρικών θέσεων σε εγκάρσια απόσταση από τον άξονα της οδού ίση με το ήμισυ του πλάτους της λωρίδας.

Τα απαιτούμενα δεδομένα για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου και διατιθέμενου ΜΟΣ καθώς και η διαδικασία ελέγχου της επάρκειας ορατότητας περιγράφεται στο διάγραμμα ροής που φαίνεται στο Σχήμα 4, το οποίο αποτελεί τμήμα του λογισμικού H11 (H11, 2010) με βάση το οποίο έγιναν και οι έλεγχοι που θα ακολουθήσουν.



Σχήμα 4. Διάγραμμα ροής ελέγχου της επάρκειας ορατότητας.

Figure 4. Flowchart of Stopping Sight Distance adequacy evaluation.

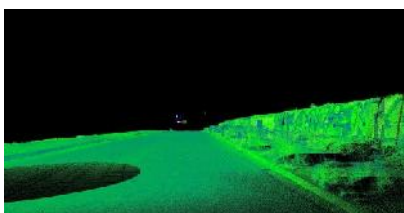
#### 4. ΕΠΙΒΕΒΑΙΩΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ο έλεγχος αξιοπιστίας της προτεινόμενης μεθοδολογίας έγινε με βάση παρόμοια εργασία σε υφιστάμενη οδό (Μαυρομάτης, 2009), στην οποία η συσχέτιση του διατιθέμενου μήκους ορατότητας με το απαιτούμενο ελέγχθηκε με επίγεια σάρωση.

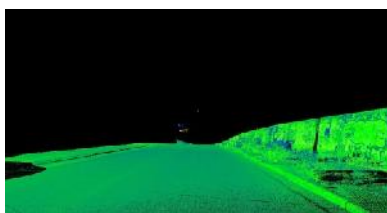
Το υπόψη οδικό τμήμα περιλάμβανε ανεπιτυχή συνδυασμό οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης, όπου η κατακόρυφη καμπύλη που προηγείται, παρέχει στον οδηγό μειωμένη δυνατότητα αναγνώρισης της δεξιάς οριζόντιας καμπύλης που ακολουθεί.

Ο εντοπισμός των περιοχών με μειωμένη διατιθέμενη ορατότητα, κατέστη δυνατός με βήμα προς βήμα μετακίνηση του οδηγού στο γραφικό περιβάλλον του σαρωτή (Leica, 2008) και ταυτόχρονο εντοπισμό των περιοχών όπου η οπτική ακτίνα μεταξύ οφθαλμών οδηγού και εμποδίου διακοπτόταν.

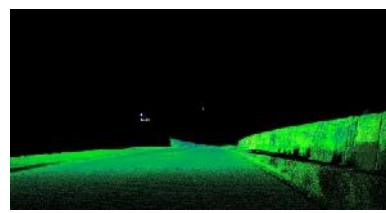
Στο Σχήμα 5 φαίνεται το ορατό πεδίο στον οδηγό σε διάφορες θέσεις, όπου είναι σαφής η μείωση του διατιθέμενου μήκους ορατότητας (τοπική απόκρυψη οδού) όσο πλησιάζει το όχημα στη δεξιόστροφη καμπύλη.



XΘ.0+054,93



XΘ.0+074,89



XΘ.0+094,89

Σχήμα 5. Τρισδιάστατη απεικόνιση διατομών.

Figure 5. 3D cross section illustration.

Η συσχέτιση των αποτελεσμάτων μεταξύ της προτεινόμενης μεθοδολογίας σε σχέση με

την παραπάνω εργασία σε υφιστάμενη χάραξη έδειξε πλήρη ταύτιση.

#### 5. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΜΟΣ ΚΑΤΑ ΟΜΟΕ-Χ

Προκειμένου να εξεταστεί ενδεχόμενη παραβίαση της ασφάλειας κατά ΟΜΟΕ-Χ (2001), εξετάστηκαν συνδυασμοί οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης σε δεξιόστροφη οδό δύο λωρίδων κυκλοφορίας, καθώς σχετική έρευνα (Moreno, 2010) έδειξε ότι αυτή η περίπτωση αποτελεί την κρίσιμη, για ευρύ φάσμα ταχυτήτων σχεδιασμού.

Η διερεύνηση αφορά οδό τυπικής διατομής "β2" (3,75m λωρίδα κυκλοφορίας + 0,25m εξωτερική λωρίδα καθοδήγησης), ενώ προκειμένου να αξιολογηθεί η ενδεχόμενη επιρροή του παρόδιου χώρου, εξετάστηκε και η περίπτωση οδού σε επίχωμα με έρεισμα 1,50m, κλίσης 12%, με στηθαίο ασφαλείας ύψους 0,65m και σε απόσταση 0,50m από την οριογραμμή του οδοστρώματος.

Δεδομένου ότι η υπέρβαση κατά 10km/h - 20km/h της ταχύτητας μελέτης αποτελεί εν γένει μια αποδεκτή πρακτική (McLean, 1981),

εξετάστηκε η πιθανή επιρροή και αυτής της περίπτωσης.

Ως προς το ύψος του εμποδίου, πρέπει να σημειωθεί ότι τα τελευταία χρόνια έχει επικρατήσει διαφορετική φιλοσοφία ως προς τον προσδιορισμό του. Ενώ σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Χ (2001) ως ύψος εμποδίου ορίζεται η υψομετρική διαφορά του ΜΟΣ σε γωνία  $(5/60)^\circ$  από την επιφάνεια του οδοστρώματος, πιο ρεαλιστική προσέγγιση ορίζει ότι το υπόψη μέγεθος πρέπει να αφορά στο ύψος των οπίσθιων φανών στάσης (taillights) των οχημάτων. Κατά συνέπεια, το ύψος εμποδίου είναι είτε 0,50m είτε 0,60m σύμφωνα με τις Γερμανικές (RAA, 2008) και Αμερικάνικες (AASHTO, 2004) Οδηγίες Μελετών αντίστοιχα. Στην παρούσα εργασία, ως ύψος εμποδίου ελήφθη 0,50m.

Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί, φαίνονται ελάχιστες τιμές σχεδιασμού κρίσιμων

γεωμετρικών παραμέτρων, που προκύπτουν από την αντίστοιχη επιλεγείσα ταχύτητα

σχεδιασμού οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στη διερεύνηση επάρκειας του ΜΟΣ που έπεται.

$V_e$ (km/h)	$R_{min}$ (m)	$L$ (m)	$H_{kmin}$ (m)	$S_{range}$ (%)
60	140	25	2000	-7 - +7
70	200	25	3000	-6 - +6
80	280	40	4500	-5 - +5
90	370	42	6200	-5 - +5

Σημείωση: Ως επίκλιση οδοστρώματος στο κυκλικό τόξο ελήφθη 7% σε όλες τις περιπτώσεις.

Note: The cross slope inside the circular curve was set to 7% for all cases.

Πίνακας 1. Ελάχιστες παράμετροι σχεδιασμού ανά ταχύτητα μελέτης.

Table 1. Minimum design values based on design speed.

όπου :

$V_e$  (km/h): ταχύτητα μελέτης

$R_{min}$  (m): ελάχιστη οριζόντια ακτίνα

$L$  (m): ελάχιστο μήκος κλωθοειδούς

$H_{kmin}$  (m): ελάχιστο ακτίνα κυρτού τόξου

$S_{range}$  (%): ελάχιστη – μέγιστη κατά μήκος κλίση

Στα δύο Σχήματα που ακολουθούν (Σχήμα 6 και Σχήμα 7), στον άξονα των τετμημένων εμφανίζεται η χιλιομετρική αύξηση της οδού (όπου φαίνονται τα γραμμικά διαγράμματα οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης), ενώ στον κάθετο άξονα εμφανίζονται τριών ειδών ΜΟΣ.

Στο Σχήμα 6 φαίνεται παράδειγμα χάραξης με  $V_e=70$  km/h και  $V_{ox}=70+10$  km/h, χωρίς την παρουσία στηθαίου ασφαλείας, ενώ στο Σχήμα 7 παράδειγμα χάραξης με  $V_e=80$  km/h και  $V_{ox}=80+10$  km/h, με την παρουσία στηθαίου ασφαλείας.

Στο Σχήμα 6, όπου παρατίθεται η περίπτωση οδού χωρίς στηθαίο ασφαλείας και η ταχύτητα οχήματος υπερβαίνει την ταχύτητα μελέτης κατά 10km/h, είναι σαφές ότι υπάρχει επάρκεια ΜΟΣ, καθώς το απαιτούμενο ΜΟΣ (μπλε γραμμή) δεν τέμνει το αντίστοιχο διατιθέμενο τόσο αυτό με τρισδιάστατη (κίτρινη γραμμή), όσο και αυτό με δισδιάστατη θεώρηση (πράσινη γραμμή). Ως προς το τελευταίο, το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο δεδομένου ότι ο προσδιορισμός των ελάχιστων κυρτών τόξων κατά ΟΜΟΕ-Χ έχει προκύψει με περιθώριο ασφάλειας ως προς την ταχύτητα μελέτης (δηλαδή η ταχύτητα υπολογισμού έχει προκύψει από την ταχύτητα μελέτης

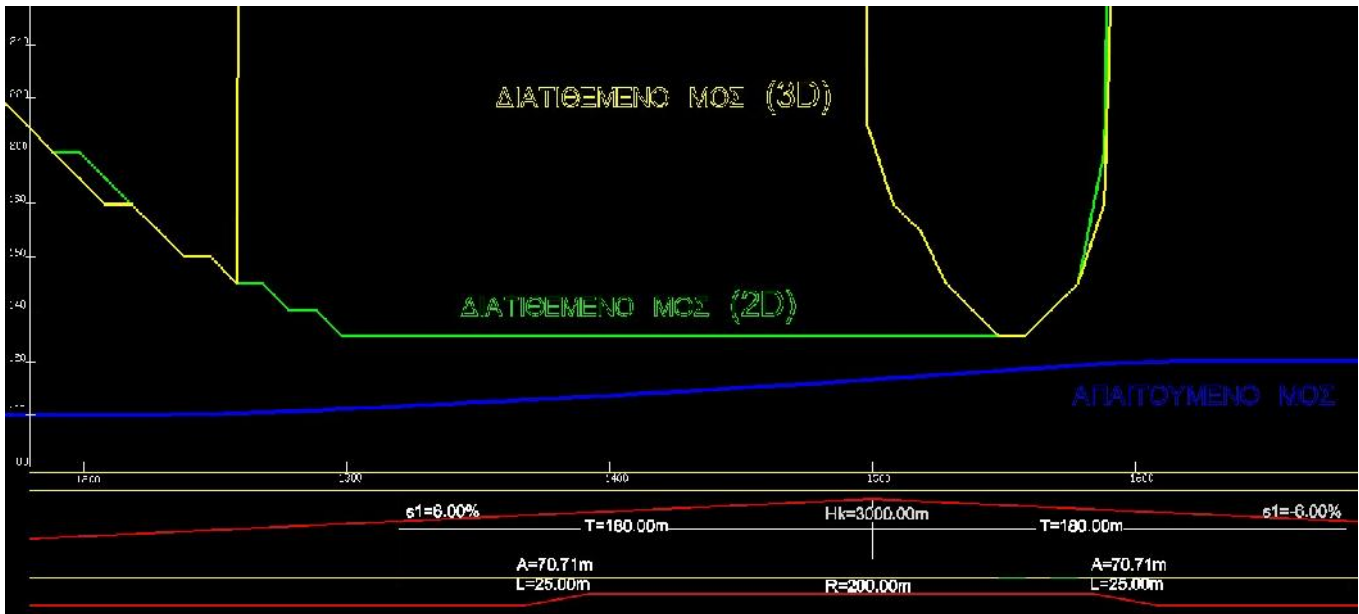
προσαυξημένη κατά 10km/h σε οδούς με συνεχές οδόστρωμα και κατά 20km/h σε οδούς με διαχωρισμένο οδόστρωμα).

Στο Σχήμα 7, όπου παρατίθεται η περίπτωση οδού με στηθαίο ασφαλείας και η ταχύτητα οχήματος υπερβαίνει την ταχύτητα μελέτης κατά 10km/h, φαίνεται αρκετά μεγάλο τμήμα της οδού στο οποίο το εμπόδιο δεν είναι ορατό από τον οδηγό και το οποίο προκύπτει από τη διαφορά θέσεων στα σημεία τομής της κίτρινης με τη μπλε γραμμή.

Συγκρίνοντας το Σχήμα 6 με το Σχήμα 7, είναι εμφανής η αρνητική επιρροή του στηθαίου ασφαλείας στη δυνατότητα αναγνώρισης του εμπόδιου από τον οδηγό, η οποία μάλιστα προκύπτει σε τέτοιο συνδυασμό οριζόντιας – κατακόρυφης χάραξης όπου, τουλάχιστον εμπειρικά, αναμενόταν δεδομένη η επάρκεια ορατότητας.

Προκειμένου να είναι πλήρης αλλά ταυτόχρονα και πιο εποπτική η διερεύνηση της επάρκειας ΜΟΣ σε τρισδιάστατο οδικό περιβάλλον, τα Διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζουν στον άξονα των τετμημένων την “ολίσθηση” του σημείου αλλαγής κλίσης στην ίδια οριζόντια χάραξη και στον άξονα των τεταγμένων το μήκος οδού για το οποίο αποκρύπτεται το εμπόδιο από τον οδηγό.



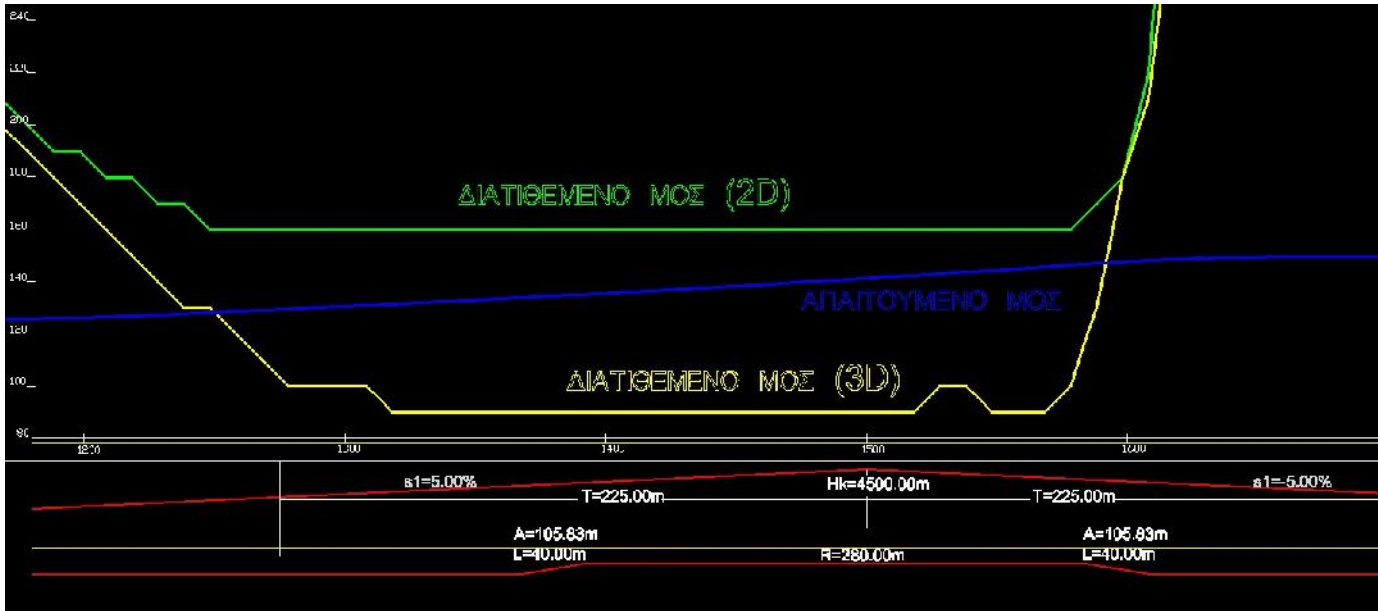


Σημείωση: Διατιθέμενο ΜΟΣ (2D) : Διατιθέμενο ΜΟΣ με βάση τη μηκοτομή της οδού.

Note: Provided SSD (2D) : Provided SSD based on roadway's longitudinal profile.

Σχήμα 6. Διερεύνηση επάρκειας ΜΟΣ σε οδό με  $V_e=70$  km/h και  $V_{ox}=70+10$  km/h, χωρίς την παρουσία στηθαίου ασφαλείας.

Figure 6. SSD adequacy investigation on roadway assuming  $V_e=70$  km/h and  $V_{veh}=70+10$  km/h, without the presence of safety barriers.

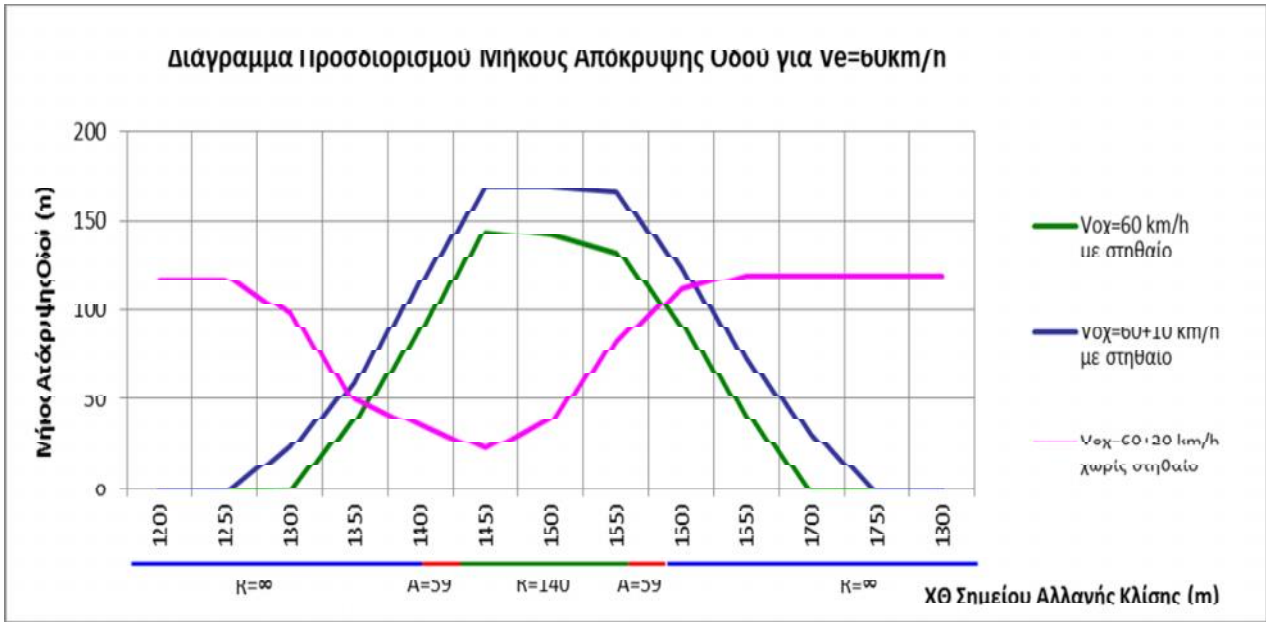


Σημείωση: Διατιθέμενο ΜΟΣ (2D) : Διατιθέμενο ΜΟΣ με βάση τη μηκοτομή της οδού.

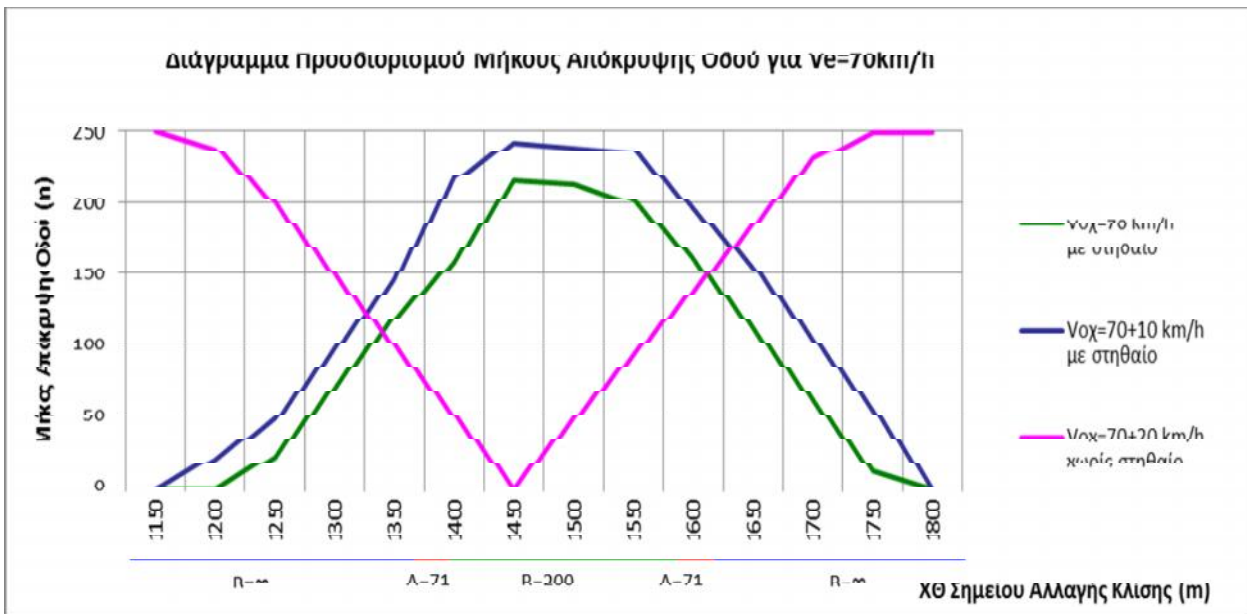
Note: Provided SSD (2D) : Provided SSD based on roadway's longitudinal profile.

Σχήμα 7. Διερεύνηση επάρκειας ΜΟΣ σε οδό με  $V_e=80$  km/h και  $V_{ox}=80+10$  km/h, με την παρουσία στηθαίου ασφαλείας.

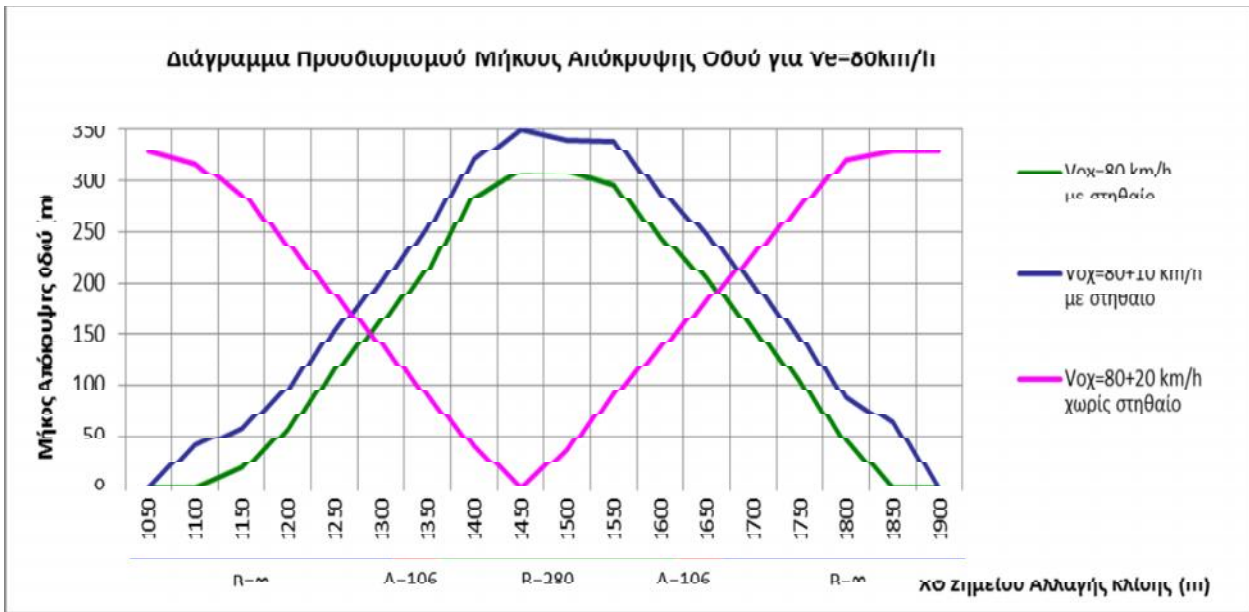
Figure 7. SSD adequacy investigation on roadway assuming  $V_e=80$  km/h and  $V_{veh}=80+10$  km/h, with the presence of safety barriers.



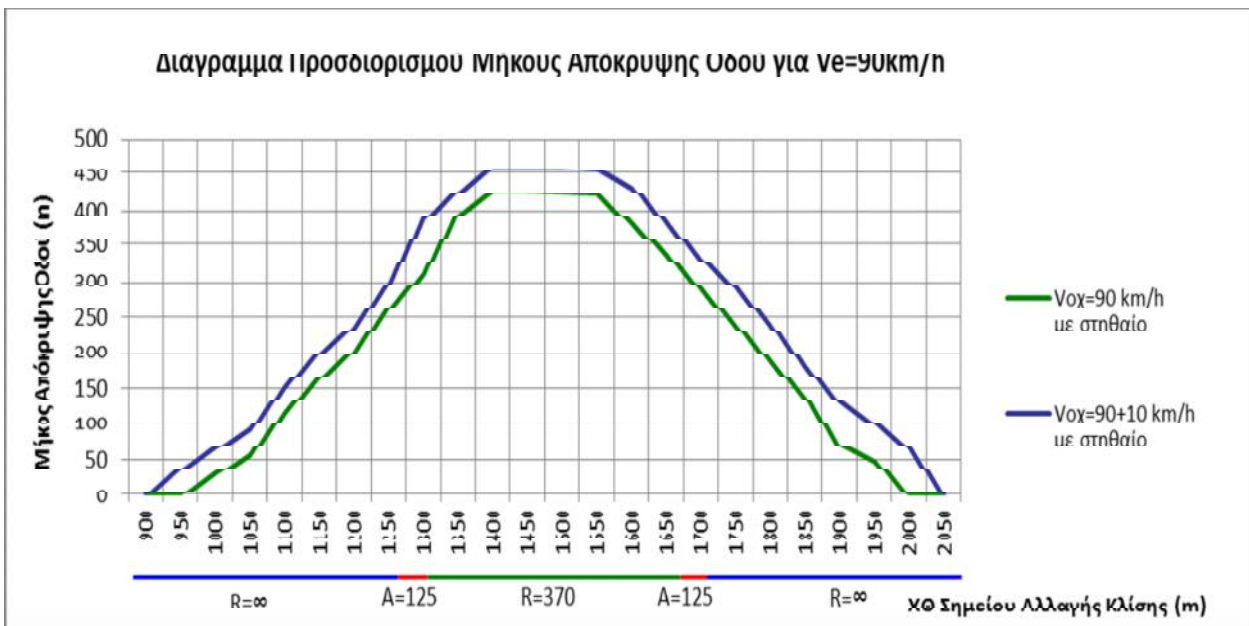
Σχήμα 8. Διάγραμμα προσδιορισμού μήκους απόκρυψης οδού ( $V_e=60\text{km/h}$ ).  
 Figure 8. Road concealing determination ( $V_e=60\text{km/h}$ ).



Σχήμα 9. Διάγραμμα προσδιορισμού μήκους απόκρυψης οδού ( $V_e=70\text{km/h}$ ).  
 Figure 9. Road concealing determination ( $V_e=70\text{km/h}$ ).



Σχήμα 10. Διάγραμμα προσδιορισμού μήκους απόκρυψης οδού ( $V_e=80\text{km/h}$ ).  
 Figure 10. Road concealing determination ( $V_e=80\text{km/h}$ ).



Σχήμα 11. Διάγραμμα προσδιορισμού μήκους απόκρυψης οδού ( $V_e=90\text{km/h}$ ).  
 Figure 11. Road concealing determination ( $V_e=90\text{km/h}$ ).

Από την γενική επισκόπηση των παραπάνω Διαγραμμάτων απόκρυψης του εμποδίου από το οπτικό πεδίο του οδηγού, το γενικό συμπέρασμα είναι ότι η παρουσία του στηθαίου ασφαλείας έχει αντιστρόφως ανάλογη επιρροή στην επάρκεια ορατότητας σε σχέση με την περίπτωση διερεύνησης αποκλειστικά του οδικού χώρου.

Για την περίπτωση οδού χωρίς στηθαίο, από το Σχήμα 9 και Σχήμα 10 επιβεβαιώνεται

και σχετικά πρόσφατη έρευνα (Moreno, 2010) σύμφωνα με την οποία το σημείο της βέλτιστης επάρκειας ορατότητας βρίσκεται λίγο πριν το μέσο του κυκλικού τόξου. Ειδικότερα στο Σχήμα 8, η ανεπάρκεια ορατότητας, ακόμα και στην περιοχή κοντά στο μέσο του κυκλικού τόξου οφείλεται στο μικρό του μήκος. Σε όλες τις εξετασθείσες ταχύτητες μελέτης ( $V_e=60\text{km/h}$ ,  $V_e=70\text{km/h}$ ,  $V_e=80\text{km/h}$ ), στις περιπτώσεις κατά τις οποίες οι ταχύτητες οχημάτων υπερέβαιναν

την  $V_e$  κατά 20km/h, το βέλτιστο σημείο ορατότητας βρέθηκε σε περιοχή τέτοια ώστε το σημείο αλλαγής κλίσης να προηγείται του μέσου του κυκλικού τόξου κατά 33m έως 40m.

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η μεθοδολογία προσδιορισμού της επάρκειας ΜΟΣ, όπως αυτή περιγράφεται στην παρούσα εργασία στηρίζεται στον προσδιορισμό της διαφοράς μεταξύ του διατιθέμενου και του απαιτούμενου ΜΟΣ. Όσον αφορά στο απαιτούμενο ΜΟΣ, προτείνεται η υφιστάμενη προσέγγιση, εμπλουτισμένη με την επιρροή της στιγμιαίας κλίσης αφενός και της πραγματικής απαίτησης σε διαμήκη πρόσφυση αφετέρου. Το δε διατιθέμενο προκύπτει από το μοντέλο έργου δηλαδή την οπτική ακτίνα μεταξύ οφθαλμών και εμποδίου σε τρισδιάστατο οδικό περιβάλλον.

Με βάση την προτεινόμενη προσέγγιση, υπάρχει η δυνατότητα διερεύνησης της επάρκειας ΜΟΣ σε οποιοδήποτε οδικό ή/και παρόδιο περιβάλλον στο οποίο πέρα από απλές πλευρικές διαμορφώσεις ορυγμάτων – επιχωμάτων δύνανται να περιληφθούν οποιασδήποτε μορφής πλευρικά εμπόδια όπως τοίχοι, κτίσματα κλπ.

Η έρευνα έδειξε ότι όταν εξετάζεται μόνο η επιρροή της οδού στην επάρκεια ορατότητας, οι Εθνικές Οδηγίες, τουλάχιστον ως προς τις οριακές τιμές γεωμετρικών παραμέτρων, εγγυώνται ικανοποιητικό ΜΟΣ, ακόμα και όταν η ταχύτητα των οχημάτων υπερβαίνει κατά 10km/h την ταχύτητα σχεδιασμού. Στην περίπτωση υπέρβασής της ταχύτητας σχεδιασμού κατά 20km/h, απαιτείται το σημείο αλλαγής κλίσης να προηγείται του μέσου του κυκλικού τόξου κατά 33m έως 40m περίπου. Αντίθετα, η παρουσία του στηθαίου ασφαλείας αποκρύπτει το εμπόδιο από το οπτικό πεδίο του οδηγού σε οποιοδήποτε συνδυασμό επικάλυψης της οριζόντιας με την κατακόρυφη γεωμετρία.

Το ερευνητικό πεδίο της παρούσας εργασίας περιορίστηκε στη διερεύνηση της

Στην περίπτωση της οδού όπου υπάρχει στηθαίο ασφαλείας, είναι εμφανές ότι επάρκεια ορατότητας υπάρχει μόνο στην περίπτωση κατά την οποία δεν επικαλύπτεται η οριζόντια με την κατακόρυφη γεωμετρία.

επάρκειας ΜΟΣ με βάση τις ελάχιστες τιμές γεωμετρικών παραμέτρων για ευρύ φάσμα τιμών ταχυτήτων μελέτης. Απαιτείται πιο ποιοτική έρευνα στην αξιολόγηση της επιρροής της κάθε παραμέτρου ξεχωριστά, όπως επίσης και διερεύνηση του ΜΟΣ σε αριστερόστροφες καμπύλες οδών με διαχωρισμένο οδόστρωμα αλλά και αντίστοιχη διερεύνηση του μήκους ορατότητας για προσπέραση.

Επίσης, πρέπει να υπογραμμιστεί το γεγονός ότι οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα, (ταχύτητες, χρόνοι αντίδρασης κλπ.) αναφέρονται σε συνθήκες φωτισμού ημέρας, καθώς οι ταχύτητες των οχημάτων σε συνθήκες νυχτερινής οδήγησης είναι 6km/h-15km/h μικρότερες (Μαλακάτας, 2012).

Όσον αφορά στην άρση της ανεπάρκειας ορατότητας για στάση, κατά τον συνδυασμό οριζόντιας - κατακόρυφης γεωμετρίας αλλά και στηθαίου ασφαλείας, στον Πίνακα 2 και Πίνακα 3 δίδονται προτεινόμενες τιμές διεύρυνσης της απόστασης στηθαίου – οδοστρώματος και κυρτής κατακόρυφης καμπύλης αντίστοιχα. Βέβαια στην περίπτωση αυτή απαιτείται πρόσθετη διερεύνηση για τις επιπτώσεις της εν λόγω διεύρυνσης στην οδική ασφάλεια, λαμβάνοντας υπόψη ότι το στηθαίο ασφαλείας (με τους ανακλαστήρες που τοποθετούνται επί αυτού) αποτελεί σημαντικό στοιχείο οπτικής καθοδήγησης του οδηγού, ειδικά κατά τη διάρκεια της νύχτας, και επομένως τοπική (στην περιοχή της καμπύλης) διεύρυνση της απόστασης στηθαίου - οδοστρώματος ενδέχεται να δημιουργήσει λανθασμένες εντυπώσεις στον οδηγό αναφορικά με την πορεία της χάραξης και την καμπυλότητα της οριζοντιογραφικής καμπύλης.

$V_e(\text{km/h})$	60	70	80	90
$V_{ox}=V_e$	1,4	1,6	1,7	2,3
$V_{ox}=V_e+10$	2,9	3,2	3,5	4,3

Πίνακας 2. Προτεινόμενη απόσταση (m) οριογραμμής οδού – όψης στηθαίου για επάρκεια ΜΟΣ κατά την επικάλυψη οριζόντιας – κατακόρυφης χάραξης.

Table 2. Suggested horizontal offset (m) between pavement – safety barrier for SSD adequacy on combined horizontal – vertical alignment.

$V_e(\text{km/h})$	60	70	80	90
$V_{ox}=V_e$	2500	4500	8000	18000
$V_{ox}=V_e+10$	5000	12000	22000	-

Πίνακας 3. Προτεινόμενη τιμή κυρτής κατακόρυφης καμπύλης (m) για επάρκεια ΜΟΣ κατά την επικάλυψη οριζόντιας – κατακόρυφης χάραξης.

Table 3. Suggested crest vertical curve (m) for SSD adequacy on combined horizontal – vertical alignment.

Οι παραπάνω προτεινόμενες τιμές είναι καθαρά ενδεικτικές και είναι προφανές ότι περιβαλλοντικές, ιδιοκτησιακές αλλά κυρίως οικονομικές δεσμεύσεις επιβάλλουν συνδυασμό των παραπάνω προκειμένου να εφαρμοστούν στο σχεδιασμό. Επιπλέον οποιαδήποτε αδυναμία εφαρμογής μεγαλύτερης διατομής στα κρίσιμα σημεία θα απαιτήσει σχετικό όριο ταχύτητας, η υλοποίηση όμως του οποίου υπόκειται σε κανόνες και περιορισμούς (συχνότητα, πυκνότητα, μήκος

ισχύος, αλληλουχία τιμών, υπό βροχή μόνο κλπ.)

Τέλος, δεν πρέπει να παραβλεφθεί το γεγονός ότι κατά τη διαδικασία πέδησης, ο ανθρώπινος παράγοντας, δύναται να εισάγει πρόσθετους περιορισμούς σε βάρος τόσο του χρόνου αντίληψης αντίδρασης όσο και της δυνατότητας εκμετάλλευσης της πρόσφυσης στη διαμήκη διεύθυνση, με συνέπεια την επιμήκυνση του διαστήματος πέδησης μέχρι πλήρους στάσης του οχήματός του.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Altamira A., J. Marcet, A. Graffigna and A. Gomez. Assessing Available Sight Distance: An Indirect Tool to Evaluate Geometric Design Consistency. Paper presented and published on the 4<sup>th</sup> International Symposium on Highway Geometric Design TRB, Valencia Spain, 2010.
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, Fifth Edition. Washington, DC., 2004.
- DiVito M., G. Cantisani. D.I.T.S.: A Software for Sight Distance Verification and Optical Defectiveness Recognition. Paper presented and published on the 4<sup>th</sup> International Symposium on Highway Geometric Design TRB, Valencia Spain, 2010.
- Ed. German Road and Transportation Research Association, Committee, Geometric Design Standards. *Guidelines for the Design of Roads, (RAA)*, Germany, 2008.
- García, A. Optimal Vertical Alignment Analysis for Highway design – Discussion. *Journal of Transportation Engineering*, 2004, Vol. 130, Issue 1, pp 138.
- Hassan, Y., Easa, S.M., and A.O. Abd El Halim. Analytical Model for Sight Distance Analysis On Three-7 Dimensional Highway Alignments. . In *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1523, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., 1996, pp. 1-10.
- Hassan, Y., Easa, S.M., and A.O. Abd El Halim. Design Considerations for Combined Highway alignments. *Journal of Transportation Engineering*, 1997, Vol 123, No.1, pp 60-68.
- Hassan Y. and S. Easa. Design Considerations of Sight Distance Red Zones on Crest Curves. Paper published on the *Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers*, Volume 124, No. 4, July 1998.
- Hinweise zur Visualisierung von Entwürfen für außerörtliche Straßen. H ViSt. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 2008.
- Ismail, K., and T. Sayed. New algorithm for calculating 3D available sight distance. *Journal of Transportation Engineering*, 2007, Vol. 133, No.10, pp. 572-581.
- Kim D. and D. Lovell. A Procedure for 3-D Sight Distance Evaluation Using Thin Plate Splines. Paper presented and published on the 4<sup>th</sup> International Symposium on Highway Geometric Design TRB, Valencia Spain, 2010.
- Krempel G. Experimenteller Beitrag zu Untersuchungen an Kraftfahrzeugreifen. *Dissertation*. Karlsruhe 1965.
- Leica Cyclone, *3D point Cloud Processing Software*, Leica Inc. 2008.
- Λογισμικό Οδοποιίας H11. Αθήνα 2010.
- Lovell, D., Jong, J.C., and P. Chang. Improvements to Sight Distance Algorithm. *Journal of Transportation Engineering*, 2001, Vol. 127, No.4, pp. 283-288.
- Malakatas, K., B. Psarianos. Operating Speed Predicting Model On Two-Lane Rural Roads During Night-Time. Paper to be presented and published on the Transport Research Arena– Europe 2012, Athens, Greece, April 2012.

Mavromatis S., V. Pagounis, S. Palaskas and D. Maroudas. Stopping Sight Distance Assessment via 3-D Road Scanning. Paper presented and published on the 4<sup>th</sup> National Conference in Highway Safety, Athens Greece, November 2009.

McLean. Driver Speed Behavior and Rural Alignment Design. *Traffic Engineering and Control*, Vol.22, no.4, April 1981, pp.208-211.

Ministerio de Fomento, *Instrucción de Carreteras, Norma 3.1 – IC “Trazado”*, Madrid, 2000.

Ministry of Environment, Regional Planning and Public Works. *Guidelines for the Design of Road Projects, Part 3, Alignment (OMOE-X)*, Greece, 2001.

Moreno Chou A., V. Perez, A. Garcia and M. Rojas. Optimal 3D Coordination to Maximize the Available Stopping Sight Distance in Two – Lane Roads. Paper presented and published on the 4<sup>th</sup> International Symposium on Highway Geometric Design TRB, Valencia Spain, 2010.

Romero, M.A., and A. García. Optimal Overlapping of Horizontal and Vertical Curves Maximizing Sight 17 Distance by Genetic Algorithms. Presented at 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2007.

Yan, X., Radwan, E., Zhang, F., and J.C. Parker. Evaluation of Dynamic Passing Sight Distance Problem Using a Finite - Element Model. *Journal of Transportation Engineering*, 2008, Vol. 134, No.6, 21 pp. 225-235.

Zimmermann M. Increased Safety Resulting from Quantitative Evaluation of Sight Distances and Visibility Conditions of Two-Lane Rural Roads. Paper presented and published on the 3<sup>rd</sup> International Symposium on Highway Geometric Design TRB, Chicago USA, 2005.