



Διερεύνηση Επιρροής της Κατά Μήκος Κλίσης στον Προσδιορισμό Μήκους Ορατότητας για Στάση

Μάρθα Χαμηλοθώρη¹ Επιστημονικός Συνεργάτης
Στέργιος Μαυρομάτης¹ Επίκουρος Καθηγητής
Φώτης Μερτζάνης² Επιστημονικός Συνεργάτης

¹ Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ
& Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής ΤΕ
marthalothori@gmail.com, stemavro@teiath.gr

² Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
fmertz@central.ntua.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία προσδιορίζεται το Μήκος Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ), μέσω τρισδιάστατης συνδυασμένης προσέγγισης, με στόχο την αξιολόγηση της ορατότητας της οδού ως προς την επάρκεια ΜΟΣ και την επίδραση της κατά μήκος κλίσης σε αυτή. Η επάρκεια ορατότητας ελέγχεται βάσει της διαφοράς του διατιθέμενου έναντι του απαιτούμενου ΜΟΣ. Η έρευνα υλοποιείται σε οδό δύο λωρίδων κυκλοφορίας, δεξιόστροφης οριζοντιογραφικής καμπύλης που συνδυάζεται με κυρτή υψομετρική καμπύλη για συγκεκριμένη ταχύτητα. Ο σχεδιασμός γίνεται σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ-Χ, 2001) με εφαρμογή των ελάχιστων προτεινόμενων τιμών γεωμετρικών παραμέτρων για ευρύ φάσμα κατά μήκος κλίσεων, με ορισμό του σημείου αλλαγής κλίσης σε διάφορες θέσεις επί του άξονα της οδού. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα μήκη ορατότητας περιορίζονται όσο αυξάνει η κλίση της οδού. Η επάρκεια ορατότητας εξασφαλίζεται όταν το σημείο αλλαγής κλίσης ορίζεται εντός του κυκλικού τόξου οριζοντιογραφίας, ενώ το βέλτιστο σημείο ορισμού του ξεκινά λίγο πριν το μέσον της οριζοντιογραφικής καμπύλης.

Λέξεις κλειδιά: *Μήκος Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ), τρισδιάστατη χάραξη, κατά μήκος κλίση.*

Abstract

In the present paper Stopping Sight Distance (SSD) is defined via three-dimensional combined approach, in order to evaluate the adequacy of SSD and determine the effect of the road grade at the sight distance. The SSD adequacy investigation is based on the difference between available and demanded SSD. The research refers to two-lane road which combines right-turned horizontal curve with crest vertical curve for a specific speed. The road alignment is designed according to "OMOE-X, 2001" design guidelines applying control geometric design parameters for a wide range of road grades, while setting the vertex of vertical curve in several positions along the horizontal alignment. The results of the present research revealed that Stopping Sight Distances are diminishing as the road grade is increasing. SSD adequacy is granted, when the vertex of vertical curve is lying inside the horizontal curve; where its optimal position begins just before the vertex of horizontal curve.

Keywords: *Stopping Sight Distance (SSD), three-dimensional alignment, road grade.*

1. Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός της οδού έχει ως βασικό στόχο την επίτευξη ασφαλούς κυκλοφορίας και ομαλής κυκλοφοριακής ροής. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά θα πρέπει να συνδυάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνεται στον οδηγό η δυνατότητα ορθής εκτίμησης της πορείας του δρόμου με τη μικρότερη διανοητική κόπωση (workload). Η παράμετρος που –μεταξύ άλλων– καθιστά προβλέψιμη την οδό και καθορίζει τη λήψη αποφάσεων των χρηστών της είναι το Μήκος Ορατότητας, το τμήμα –δηλαδή– της οδού που εκτίθεται ανά πάσα στιγμή στο οπτικό πεδίο του οδηγού.

Το ελάχιστο Μήκος Ορατότητας, προκειμένου να είναι εφικτή η έγκαιρη ακινητοποίηση ενός οχήματος προ της πρόσκρουσής του σε σταθερό εμπόδιο, είναι γνωστό ως Μήκος Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ). Ως εκ τούτου, για οχήματα κινούμενα με τη λειτουργική ταχύτητα, το ΜΟΣ πρέπει να επαρκεί σε οποιοδήποτε σημείο μιας οδού.

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας αποτελεί ο προσδιορισμός της επάρκειας ΜΟΣ σε τρισδιάστατο οδικό περιβάλλον, όπου διερευνάται η επιρροή της κατά μήκος κλίσης οδού. Η υπόψη προσέγγιση εξασφαλίζει ακριβέστερα αποτελέσματα, σε σχέση με την υφιστάμενη πρακτική κατά την οποία η επάρκεια ΜΟΣ προσδιορίζεται μέσω δισδιάστατων διαχωρισμένων προτύπων με βάση την οριζόντια και κατακόρυφη χάραξη.

Πιο συγκεκριμένα σε δεδομένη οριζόντια γεωμετρία οδού, θα εφαρμοστούν όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί κατά μήκος κλίσεων κυρτών καμπυλών, προκειμένου να αξιολογηθεί η επιρροή της θέσης του σημείου αλλαγής κλίσης ως προς την επάρκεια ορατότητας.

2. Προσδιορισμός ΜΟΣ σε Τρισδιάστατο Μοντέλου Έργου

Στο σχεδιασμό οδικών έργων, κάτω από τις ίδιες συνθήκες φωτισμού συναντώνται δύο είδη Μήκους Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ):

- 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

Είναι σαφές ότι η επάρκεια ορατότητας εξασφαλίζεται όταν :

$$\text{ΜΟΣ}_{\text{ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ}} \leq \text{ΜΟΣ}_{\text{ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΟ}} \quad (1)$$

Το απαιτούμενο ΜΟΣ προκύπτει ως 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).

Με βάση την παραπάνω προσέγγιση προσδιορισμού του απαιτούμενου ΜΟΣ, δεν 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. Για το λόγο αυτό ο προσδιορισμός του απαιτούμενου ΜΟΣ βασίστηκε σε προηγούμενη εργασία (Manromatis et.al., 2012), όπου ελήφθησαν υπόψη οι παραπάνω παράμετροι.

Η μεθοδολογία προσδιορισμού του διατιθέμενου ΜΟΣ σε τρισδιάστατα μοντέλα έργου έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνών, όπου σε κάθε μια από αυτές επιδιώκεται από διαφορετική σκοπιά ο ακριβέστερος προσδιορισμός του μήκους ορατότητας της οδού. Σε μια από τις πρώτες προσεγγίσεις αξιολόγησης του διατιθέμενου ΜΟΣ (Sanchez 1994), μελετήθηκε η αλληλεπίδραση του μήκους ορατότητας και της τρισδιάστατης – συνδυασμένης χάραξης, βάσει δικτύου τριγώνων. Οι Hassan et.al. (1996) παρουσίασαν ένα αναλυτικό μοντέλο για τον υπολογισμό του διατιθέμενου ΜΟΣ σε συνδυασμένες οριζόντιες και κατακόρυφες χαράξεις οδών, χρησιμοποιώντας παραμετρικά πεπερασμένα στοιχεία για την απεικόνιση σημείων επί της οδού όπου δεν υπάρχει επάρκεια ορατότητας.

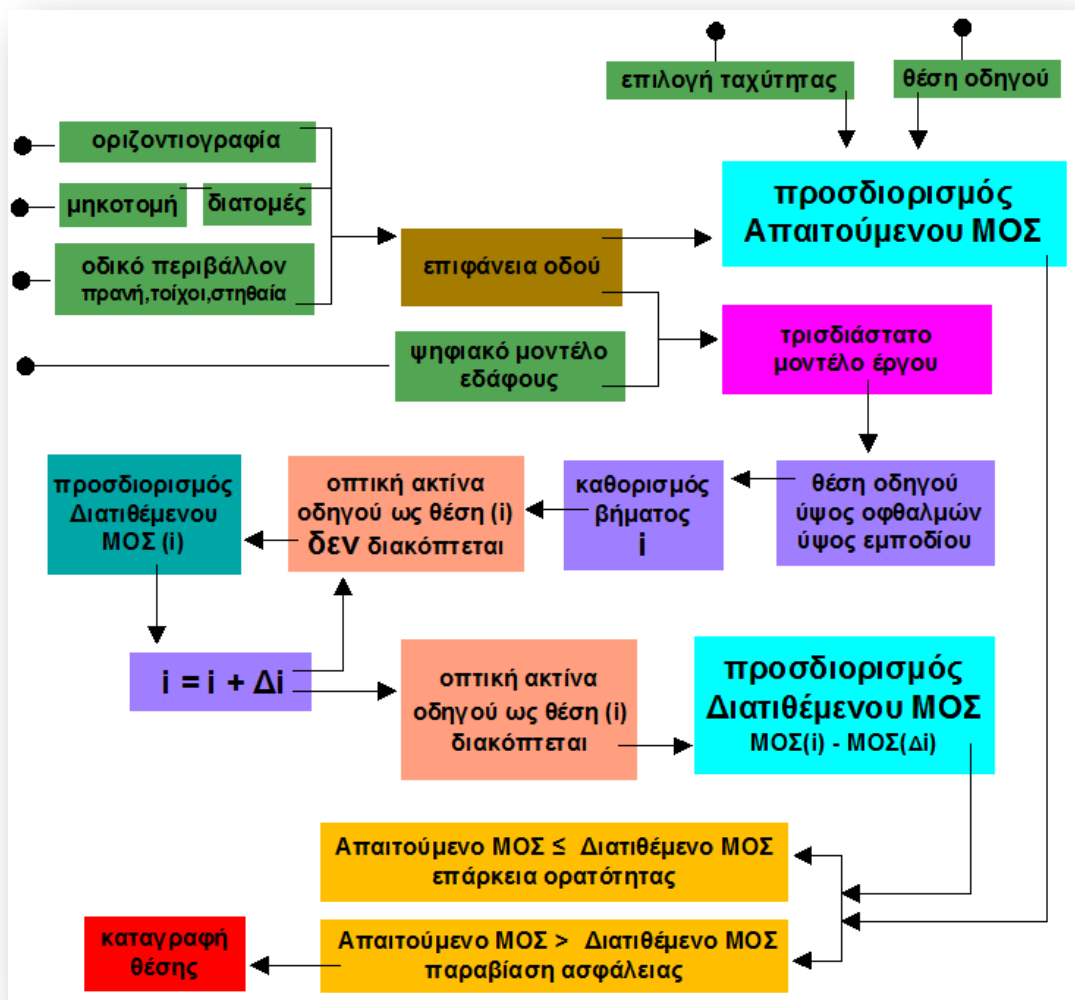
Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί τρισδιάστατα μοντέλα που συσχετίζουν την επιφάνεια της οδού με το ανάγλυφο του εδάφους και το παρόδιο περιβάλλον [πχ. Garcia (2004), Zimmerman (2005), Ismail et.al. (2007), Romero et.al. (2007), Yan et.al. (2008), Moreno et.al. (2010), Di Vito (2010)]. Σε γενικές γραμμές τα προαναφερθέντα τρισδιάστατα μοντέλα έχουν τη δυνατότητα να προσομοιώνουν με ακρίβεια οποιοδήποτε σύνθετο οδικό περιβάλλον, στο οποίο πιθανόν να εμφανίζεται ανεπιτυχής συνδυασμός οριζόντιας-κάθετης χάραξης, επιτρέποντας έτσι τον καθορισμό του πραγματικού οπτικού πεδίου του οδηγού.

Τα μοντέλα αυτά όμως έχουν ως προτεραιότητα τη βελτιστοποίηση κυρίως του διατιθέμενου ΜΟΣ και όχι τη συσχέτισή του με το απαιτούμενο, προκειμένου να αξιολογηθούν οι πραγματικές συνθήκες ορατότητας επί της οδού.

Στόχος της παρούσας εργασίας, είναι η διερεύνηση της επάρκειας ορατότητας κατά την εφαρμογή ελάχιστων προτεινόμενων τιμών γεωμετρικών παραμέτρων κατά ΟΜΟΕ-Χ 2001. 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.

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 1, το οποίο αποτελεί τμήμα του λογισμικού FM12 (FM12, 2012) με βάση το οποίο έγιναν και οι έλεγχοι που θα ακολουθήσουν.



Σχήμα 1: Διάγραμμα Ροής – Λογισμικό “FM12”

3. Διερεύνηση Επάρκειας ΜΟΣ κατά ΟΜΟΕ-Χ 2001 σε Τρισδιάστατο Μοντέλο Έργου

3.1 Επιλογή Παραμέτρων Οδού - Οχήματος

Η διερεύνηση έλαβε χώρα σε δεξιόστροφη οδό με ενιαίο οδόστρωμα για την ίδια οριζόντια και κατακόρυφη καμπυλότητα (κυρτή καμπύλη), όπου η διερεύνηση του οδικού περιβάλλοντος περιορίστηκε στην επιφάνεια της οδού.

Η επιλογή της συγκεκριμένης κατηγορίας οδού έγινε δεδομένης της κρισιμότητας που παρουσιάζει η αλληλουχία μεταξύ οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης σε σχέση με τα μήκη ορατότητας, όπως επισημαίνεται στις οδηγίες μελετών AASHTO (2011) και Trazado (2000) καθώς και σε σχετικές έρευνες (H Vist 2008, Moreno 2010).

Ειδικότερα, έχει παρατηρηθεί ότι σε οδούς στις οποίες η καμπύλη της οριζοντιογραφίας συνυπάρχει με κυρτή καμπύλη στη μηκοτομή, οι οδηγοί δύνανται να εκτιμήσουν λανθασμένα τη χάραξη της οδού, ιδιαίτερα όταν η κατακόρυφη καμπύλη προηγείται της αντίστοιχης οριζόντιας.

Αυτή η περίπτωση αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα ανεπιτυχούς γεωμετρικού σχεδιασμού, όπου η δισδιάστατη προσέγγιση για τον προσδιορισμό του ΜΟΣ αποδίδει ανακριβή αποτελέσματα. Ενώ δηλαδή η επάρκεια ορατότητας φαίνεται να εξασφαλίζεται σε οριζοντιογραφία και μηκοτομή, ο συνδυασμός των χαράξεων στο χώρο δεν παρέχει τα απαιτούμενα ΜΟΣ στους οδηγούς, δημιουργώντας τους εσφαλμένες οπτικές εντυπώσεις.

Η υπό εξέταση οδός αξιολογείται αφενός με εφαρμογή όλων των τιμών κατά μήκος κλίσεων καθώς και των συνδυασμών τους, αφετέρου δε, ορίζοντας το σημείο αλλαγής κλίσης σε διάφορες θέσεις επί του άξονα της (συνδυασμοί οριζόντιας κατακόρυφης γεωμετρίας).

Σημειώνεται ότι, εκτός από τα συμπεράσματα που εξάγονται αναφορικά με την επιρροή της κλίσης στην ορατότητα της οδού, τα οποία αποτελούν τον κύριο στόχο της εργασίας, προσδιορίζεται το διάστημα εντός του οποίου δύναται να ορίζεται η αλλαγή κλίσης ώστε η οδός να παρέχει επάρκεια ΜΟΣ.

Η διερεύνηση αφορά υπεραστική οδό, με εφαρμογή των ελάχιστων κρίσιμων γεωμετρικών στοιχείων σχεδιασμού κατά ΟΜΟΕ-Χ για ταχύτητα σχεδιασμού $V_e=80\text{Km/h}$:

$R_{\min} = 280\text{m}$ (ελάχιστη οριζόντια ακτίνα)

$L = 40\text{m}$ (μήκος οριζόντιου τόξου συναρμογής)

$H_{k\min} = 4500\text{m}$ (ελάχιστη ακτίνα κυρτού τόξου)

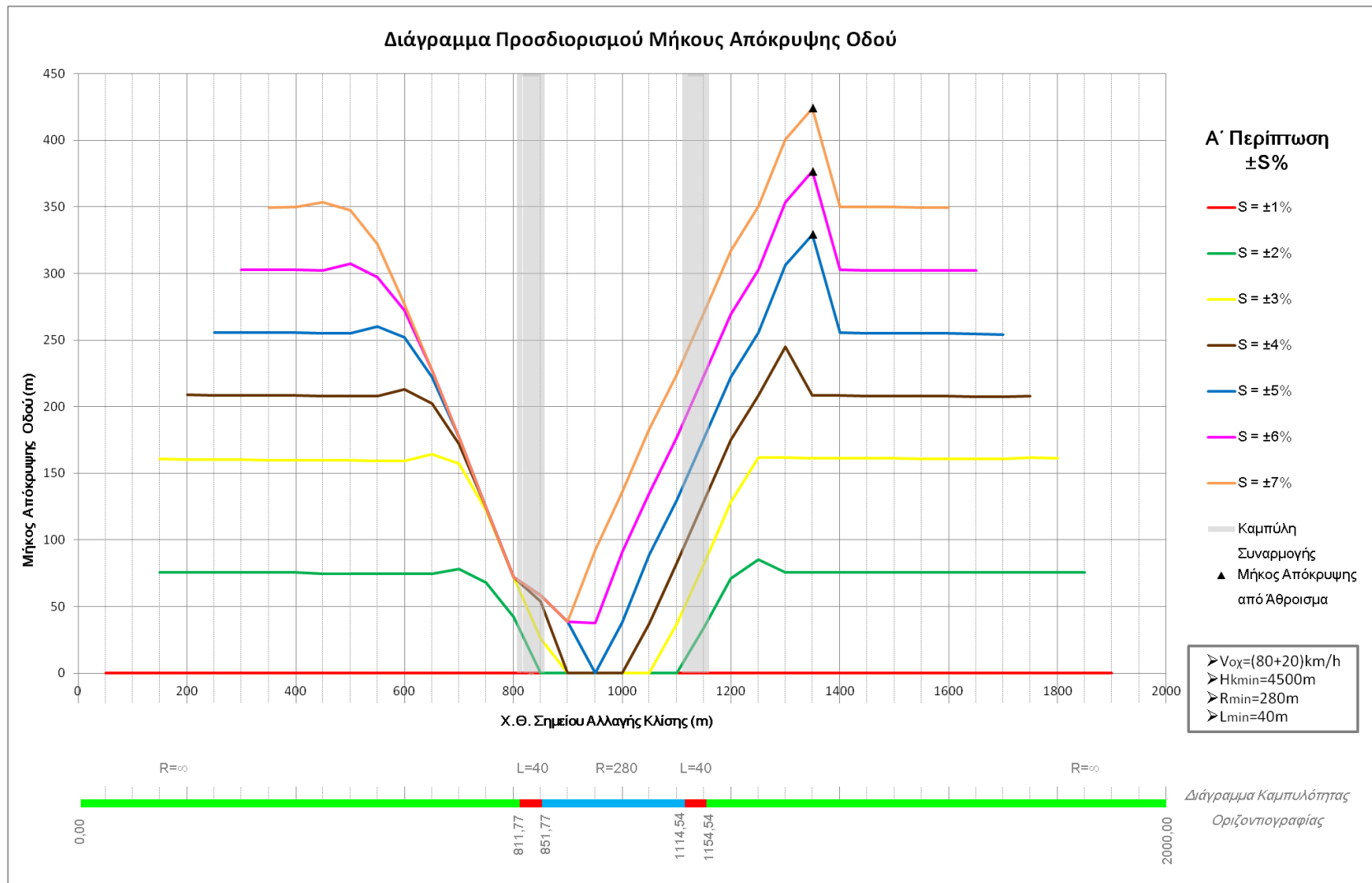
$S_{\text{range}} \pm 1\%$ ως και $\pm 7\%$, (εύρος κλίσεων)

Η τυπική διατομή θεωρήθηκε τύπου $\beta 2$ (πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας + εξωτερική λωρίδα καθοδήγησης = $3,75\text{m}+0,25\text{m}$ αντίστοιχα), ενώ τέλος η επίκλιση στις ευθυγραμμίες και το κυκλικό τόξο ελήφθη $2,5\%$ και $7,0\%$ αντίστοιχα.

Η διερεύνηση αφορά σε ταχύτητα οχήματος $80+20\text{km/h}$, καθώς η υπόψη υπέρβαση αποτελεί αποδεκτή πρακτική στο σχεδιασμό των οδικών έργων, τουλάχιστον κατά ΟΜΟΕ-Χ. Κατά συνέπεια, για τον προσδιορισμό του ΜΟΣ λαμβάνεται επιβράδυνση πέδησης με τιμή $d=3,40\text{m/sec}^2$, με χρόνο αντίληψης-αντίδρασης του οδηγού $t=2\text{sec}$. Τέλος, ενώ το ύψος των οφθαλμών του οδηγού λαμβάνεται $h_A=1,06\text{m}$ (σύμφωνα με ΟΜΟΕ-Χ), το ύψος εμποδίου θεωρείται $h_Z=0,50\text{m}$, δεδομένου ότι τα τελευταία χρόνια έχει επικρατήσει διαφορετική φιλοσοφία ως προς την επιλογή του, καθώς πιο ρεαλιστική προσέγγιση, ορίζει ότι το υπόψη μέγεθος πρέπει να αφορά στο ύψος των οπίσθιων φανών στάσης (tail lights) των οχημάτων [AASHTO (2011), RAA (2008)].

Η έρευνα υλοποιείται για την ίδια οριζόντια χάραξη σε ευρύ φάσμα κατά μήκος κλίσεων αλλά και όλων των πιθανών συνδυασμών που δύνανται να εφαρμόζονται. Προς τούτο ελέγχεται η ορατότητα αφενός για την περίπτωση που η οδός φέρει αντίρροπη κλίση ίδιας τιμής ανά σκέλος [Α΄ Περίπτωση ($\pm S$)] με την Κατά Μήκος Κλίση S να κυμαίνεται από 1% ως και 7% , αφετέρου για την περίπτωση που φέρει αντίρροπη κλίση διαφορετικής τιμής ανά σκέλος [Β΄ Περίπτωση ($+S_1, -S_2$)] με τη μέγιστη συνδυαζόμενη κλίση S_{\max} να κυμαίνεται επίσης από 1% ως και 7% .

Η επιρροή της κατά μήκος κλίσης σε κάθε ένα από τους παραπάνω συνδυασμούς ελήφθη υπόψη με μετατόπιση ανά 50m του σημείου αλλαγής κλίσης στον άξονα της οδού. Σε κάθε θέση, σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται στο διάγραμμα ροής του Σχήματος 1, μετρήθηκε το μήκος απόκρυψης της οδού βάσει της διαφοράς ΜΟΣ_{ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ} - ΜΟΣ_{ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΟ}, σε τρισδιάστατο περιβάλλον και ανηγμένο στον άξονα της οδού.



Σχήμα 2: Διάγραμμα Προσδιορισμού Μήκους Απόκρυψης Οδού Κλίσης $\pm S$

Σχεδιάστηκαν συνολικά 269 διαγράμματα ορατότητας για την Α΄ Περίπτωση ($\pm S$) και 1605 για τη Β΄ Περίπτωση ($+S_1, -S_2$), που αντιστοιχούν σε χαράξεις οι οποίες διαφοροποιούνται μεταξύ τους - ανά περίπτωση - μόνο ως προς την κατά μήκος κλίση και τη ΧΘ του σημείου αλλαγής κλίσης.

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της έρευνας και για τις δύο περιπτώσεις, γίνεται βάσει των συντασσόμενων για αυτό το σκοπό διαγραμμάτων προσδιορισμού μήκους απόκρυψης (Σχήμα 2 και Σχήμα 3 αντίστοιχα). Στα διαγράμματα αυτά παριστάνεται γραφικά, η “ολίσθηση” του σημείου αλλαγής κλίσης στην ίδια οριζόντια χάραξη ανά 50m και στον άξονα των τεταγμένων το μήκος οδού για το οποίο αποκρύπτεται το εμπόδιο από τον οδηγό, για κάθε εφαρμοζόμενη κατά μήκος κλίση. Για πιο εποπτικό έλεγχο γραμμοσκιάστηκε εντός του Διαγράμματος Προσδιορισμού η περιοχή της καμπύλης συναρμογής της οριζοντιογραφίας και προστέθηκε – συσχετισμένο με τον άξονα των ΧΘ – το διάγραμμα καμπυλότητας οριζοντιογραφίας. Είναι προφανές ότι μηδενικά μήκη απόκρυψης αντιστοιχούν σε χαράξεις με επάρκεια ΜΟΣ.

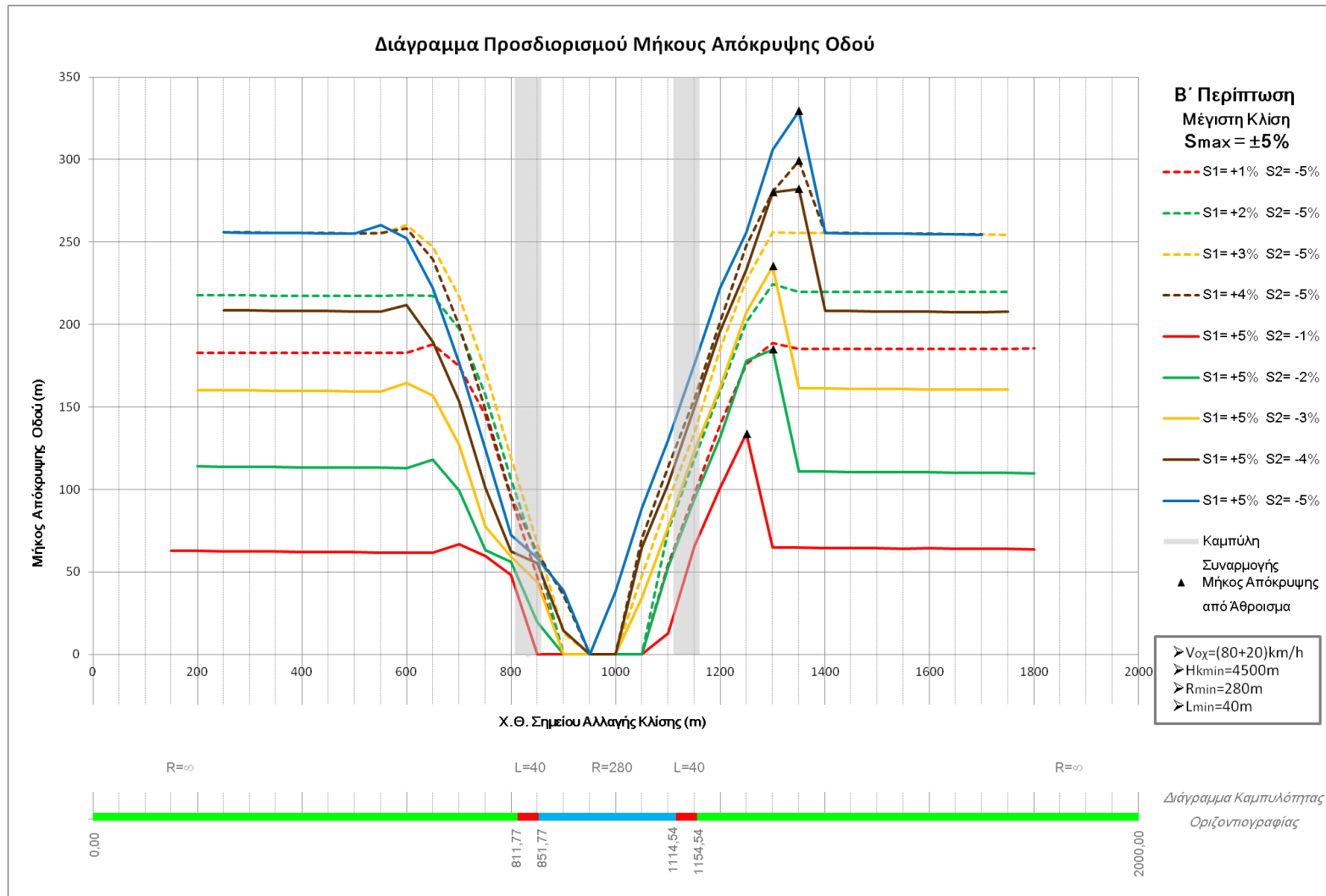
3.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων - Αντίρροπη Κατά Μήκος Κλίση Ίδιας Τιμής ανά Σκέλος

Στο Σχήμα 2 φαίνεται ότι η γραφική απεικόνιση του μήκους απόκρυψης, για κάθε κλίση, παρουσιάζει σχετική συμμετρία ως προς τον κάθετο άξονα που διέρχεται λίγο πριν τη ΧΘ του μέσου της οριζοντιογραφικής καμπύλης. Οι περιοχές μετά την οριζόντια καμπύλη που παρουσιάζουν έντονες πτυχώσεις οφείλονται στο γεγονός ότι η παραβίαση της συνθήκης επάρκειας εμφανίζεται σε περισσότερα του ενός τμήματα. Εκτενέστερη αναφορά σε αυτές τις περιπτώσεις υπάρχει σε επόμενο εδάφιο.

Παρατηρείται δε, ότι όσο αυξάνει η κλίση της οδού ο άξονας συμμετρίας απομακρύνεται από το μέσο της οριζοντιογραφικής καμπύλης, παραμένοντας σε κάθε περίπτωση εντός του κυκλικού τόξου. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν βάσει του παραπάνω άξονα, που ορίζεται ως άξονας αναφοράς.

Εξετάζοντας το μήκος απόκρυψης σε σχέση με τη ΧΘ του σημείου αλλαγής κλίσης (σημαία), συμπεραίνεται ότι οι μεταβολές που υφίσταται –ανά τιμή κλίσης– είναι ίδιας τάξης εκατέρωθεν του άξονα αναφοράς. Επιπλέον, παρατηρείται ότι όσο πλησιέστερα στον άξονα αναφοράς ορίζεται η σημαία της μηκοτομής, καταγράφονται μικρότερες τιμές μήκους απόκρυψης. Αντίστοιχα, οι τιμές μήκους απόκρυψης αυξάνουν όσο απομακρύνεται από τον άξονα αναφοράς το σημείο αλλαγής κλίσης και τελικά σταθεροποιούνται – παίρνοντας τις μεγαλύτερες τιμές τους – όταν η σημαία ορίζεται πέρα της επιρροής της οριζοντιογραφικής καμπύλης στη διαδικασία πέδησης. Έτσι, από τα αποτελέσματα της έρευνας που αφορούν σε ευθυγραμμία στην οριζοντιογραφία, προκύπτει ανεπάρκεια ΜΟΣ όταν η λειτουργική ταχύτητα υπερβαίνει κατά 20km/h την ταχύτητα σχεδιασμού. Αντίθετα, όσο το σημείο αλλαγής κλίσης πλησιάζει την οριζόντια καμπύλη, τα διαστήματα ανεπαρκούς ορατότητας μειώνονται σημαντικά. Αντίστοιχες υποδείξεις συνδυασμού της κατακόρυφης με την οριζόντια καμπύλη, αλλά και επισημάνσεις επικινδυνότητας στην αντίθετη περίπτωση, συναντώνται στις Αμερικάνικες (AASHTO 2011) και στις Ισπανικές (Trazado 2000) οδηγίες σχεδιασμού.

Ακόμα πιο κρίσιμες - ως προς την παραβίαση της ασφάλειας - είναι οι χαράξεις στις οποίες το σημείο αλλαγής κλίσης ορίζεται λίγο πριν ή μετά από την καμπύλη της οριζοντιογραφίας (η απόσταση αυτή, το πόσο πριν ή μετά, επηρεάζεται από την κλίση της οδού), όπως επισημαίνεται κι από άλλες σχετικές μελέτες σε τρισδιάστατα μοντέλα οδού (Hassan 1998, H Vist 2008) δεδομένου ότι σε αυτές τις περιοχές καταγράφονται τα μεγαλύτερα διαστήματα ανεπαρκούς ΜΟΣ.



Σχήμα 3: Διάγραμμα Προσδιορισμού Μήκους Απόκρυψης Οδού Συνδυασμού Κλίσεων $(+)S_1(-)S_2$

Κατά τη σύγκριση των μηκών απόκρυψης επί αντιστοιχών σημείων αλλαγής κλίσης, διαπιστώνεται, όπως άλλωστε είναι αναμενόμενο, ότι τα διαστήματα ανεπαρκούς ΜΟΣ αυξάνουν όσο η τιμή κλίσης γίνεται πιο έντονη, εμφανίζοντας μια “παράλληλη” ανοδική μετατόπιση ως προς τον οριζόντιο άξονα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, τα οποία έρχονται σε συμφωνία με αντίστοιχες εμπειρικές υποδείξεις στις οδηγίες σχεδιασμού, για να παρέχει η οδός επάρκεια ΜΟΣ, θα πρέπει η κυρτή μηκοτομική καμπύλη να σχεδιάζεται εντός της οριζοντιογραφικής καμπύλης ειδικότερα δε, το σημείο αλλαγής κλίσης θα πρέπει να βρίσκεται εντός του κυκλικού τόξου της οριζοντιογραφίας (εξαιρείται στην παρούσα διερεύνηση η κλίση $\pm 1\%$). Όσο η κλίση της οδού αυξάνει τόσο πλησιέστερα στο μέσον του κυκλικού τόξου θα πρέπει να ορίζεται το σημείο αλλαγής κλίσης, για την ακρίβεια λίγο πριν από αυτό.

Πιο συγκεκριμένα συμπεραίνεται ότι το βέλτιστο σημείο για να υλοποιηθεί η αλλαγή κλίσης (ΧΘ σημαίας) ώστε η οδός να παρέχει επάρκεια ορατότητας, για οποιαδήποτε από τις εξεταζόμενες κλίσεις (εξαιρείται η περίπτωση $\pm 6\%$ και $\pm 7\%$), ορίζεται εντός της οριζοντιογραφικής καμπύλης και αρχίζει λίγο πριν το μέσον αυτής. Σημειώνεται ότι η παραπάνω διαπίστωση ταυτίζεται με τα αποτελέσματα αντίστοιχης έρευνας σε τρισδιάστατο μοντέλο (Moreno et.al., 2010), σύμφωνα με την οποία ο βέλτιστος συνδυασμός των καμπυλών οριζοντιογραφίας - μηκοτομής (όπου η οδός παρέχει το μεγαλύτερο διατιθέμενο ΜΟΣ), εξασφαλίζεται όταν το μέσον της κυρτής υψομετρικής καμπύλης (ΧΘ σημαίας μηκοτομής) βρίσκεται λίγο πριν το μέσον της οριζοντιογραφικής καμπύλης.

3.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων - Αντίρροπη Κλίση Διαφορετικής Τιμής ανά Σκέλος

Για την υψομετρική χάραξη της οδού στη Β΄ Περίπτωση εφαρμόστηκαν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί κλίσεων, με την εκάστοτε μέγιστη τιμή κλίσης (S_{max}) να παίρνει τιμές από $(\pm)1\%$ ως και $(\pm)7\%$. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, φαίνεται ότι η επιλογή του σκέλους στο οποίο εφαρμόζεται η μεγαλύτερη από τις κλίσεις επιδρά περισσότερο στην επάρκεια ΜΟΣ.

Στο Σχήμα 3 για τις χαράξεις στις οποίες η μέγιστη κλίση εφαρμόζεται στην ανωφέρεια ($+S_{max}$) η γραφική παράσταση των μηκών απόκρυψης απεικονίζεται με συνεχή γραμμή, ενώ όταν η μέγιστη κλίση εφαρμόζεται στην κατωφέρεια ($-S_{max}$) η γραφική παράσταση απεικονίζεται με διακεκομμένη γραμμή. Οι γραφικές παραστάσεις που εμφανίζονται με το ίδιο χρώμα – αλλά διαφορετικό τύπο γραμμής – αντιστοιχούν σε χαράξεις με αντίστροφους συνδυασμούς κλίσεων (S_1, S_2 και S_2, S_1).

Παρατηρείται ότι, για όλες τις εξεταζόμενες κατά μήκος κλίσεις και σε όλες τις πιθανές ΧΘ του σημείου αλλαγής κλίσης (εξαιρουμένης της περιοχής επάρκειας που εξετάζεται χωριστά παρακάτω), οι γραφικές παραστάσεις συνεχούς γραμμής βρίσκονται πάντα “χαμηλότερα” από τις αντίστοιχες - ίδιου χρώματος - με διακεκομμένη γραμμή. Συμπεραίνεται επομένως ότι οι οπτικές παρεμποδίσεις είναι μικρότερης τάξεως, όταν η μεγαλύτερη από τις συνδυαζόμενες κλίσεις ορίζεται στην ανωφέρεια ($+S_{max}$), από τις αντίστοιχες του αντίστροφου συνδυασμού κλίσεων, όπου η μεγαλύτερη των κλίσεων εφαρμόζεται στην κατωφέρεια της οδού ($-S_{max}$). Όσο λιγότερο αποκλίνουν οι κλίσεις μεταξύ τους, η διαφορά των μηκών απόκρυψης τείνει να μειώνεται (“πύκνωμα” γραφικών παραστάσεων ίδιου χρώματος)

Από τα διαγράμματα προσδιορισμού διαπιστώνεται -μεταξύ άλλων- ότι για τις χαράξεις συνδυασμού κλίσεων, όπου η μεγαλύτερη ορίζεται στο πρώτο σκέλος της οδού [$(+)S_{max}\%$ και $(-)S\%$], οι παρεμποδίσεις ορατότητας είναι πάντα μικρότερες σε σχέση με τις αντίστοιχες που καταγράφονται σε χαράξεις κλίσης $(\pm)S_{max}\%$. Το παραπάνω γεγονός κρίνεται αναμενόμενο,

καθώς οι υψομετρικές καμπύλες με κλίση $(\pm)S_{\max}\%$ απαιτούν μεγαλύτερο ΜΟΣ στην περιοχή της αρνητικών κλίσεων.

Δε φαίνεται όμως να συμβαίνει το ίδιο, για όλους τους συνδυασμούς, όταν η μεγαλύτερη κλίση εφαρμόζεται στο δεύτερο σκέλος της οδού $[(+)S\%$ και $(-)S_{\max}\%$]. Συγκεκριμένα, όταν η μέγιστη κλίση (S_{\max}) παίρνει τιμές $(-)4\%$ έως και $(-)7\%$ και το σημείο αλλαγής κλίσης ορίζεται σε μια ζώνη πριν την οριζοντιογραφική καμπύλη ως το μέσον της περίπου – εξαιρουμένης της περιοχής επάρκειας – οι οπτικές παρεμποδίσεις που καταγράφονται είναι ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΕΣ των αντιστοίχων, σε χαράξεις με κλίση $(\pm)4\%$ ως $(\pm)7\%$. Οι περιπτώσεις αυτές παρουσιάζονται στο Σχήμα 4, όπου οι γραμμοσκιασμένες περιοχές επισημαίνουν τις χαράξεις με μεγαλύτερα μήκη απόκρυψης οδού. Για τις υπόλοιπες οριζόμενες ΧΘ του σημείου αλλαγής κλίσης, τα μήκη απόκρυψης παραμένουν μικρότερα. (Για $S_{\max} -2\%$ και -3% δεν καταγράφονται αυξημένα μήκη απόκρυψης).

Οι αυξημένες παρεμποδίσεις ορατότητας για τις χαράξεις $[(+)S\%$ και $(-)S_{\max}\%$] σε σχέση με τις αντίστοιχες των χαράξεων κλίσης $(\pm)S_{\max}\%$, προκύπτουν – μεταξύ άλλων – λόγω της “μετατόπισης” του σημείου αλλαγής προσήμου της κατακόρυφης καμπύλης “όπισθεν” του μέσου της (αντίστοιχα στις χαράξεις κλίσης $\pm S_{\max}\%$ το σημείο αλλαγής προσήμου βρίσκεται επί αυτού). Ενώ, δηλαδή, το μήκος της μηκοτομικής καμπύλης κατά το συνδυασμό κλίσεων $[(+)S\%$ και $(-)S_{\max}\%$] είναι μικρότερο, η “μετατόπιση” προς την αρχή της κατακόρυφης καμπύλης του σημείου μηδενικής κλίσης, αποκρύπτει –όπως αποδεικνύεται για κάποιες περιπτώσεις- την οριζοντιογραφική καμπύλη σε μεγαλύτερο βαθμό.

S _{max} %	Συνδυασμοί Κλίσεων	ΧΘ Σημείου Αλλαγής Κλίσης										
		450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950
(-) 4%	(+) 2% (-) 4%											
	(+) 3% (-) 4%											
(-) 5%	(+) 1% (-) 5%											
	(+) 2% (-) 5%											
	(+) 3% (-) 5%											
	(+) 4% (-) 5%											
(-) 6%	(+) 1% (-) 6%											
	(+) 2% (-) 6%											
	(+) 3% (-) 6%											
	(+) 4% (-) 6%											
	(+) 5% (-) 6%											
(-) 7%	(+) 1% (-) 7%											
	(+) 2% (-) 7%											
	(+) 3% (-) 7%											
	(+) 4% (-) 7%											
	(+) 5% (-) 7%											
	(+) 6% (-) 7%											

Σχήμα 4: Χαράξεις συνδυασμού κλίσεων $(-S_{\max})$ αυξημένων Μηκών Απόκρυψης

Επισημαίνεται ότι σε κάποιες χαράξεις ανεπαρκούς ορατότητας, παρατηρήθηκε παραβίαση της συνθήκης επάρκειας σε περισσότερα, του ενός, τμήματα της οδού (ανεπαρκής ορατότητα κατά μήκος δύο διαφορετικών διαστημάτων). Διαπιστώνεται ότι οι πολλαπλές παρεμποδίσεις ορατότητας εμφανίζονται σε χαράξεις με μεγάλες κλίσεις και όταν η αλλαγή κλίσης υλοποιείται στην ευθυγραμμία που ακολουθεί μετά την οριζοντιογραφική καμπύλη. Για τις χαράξεις αυτές καταχωρήθηκε ως μήκος απόκρυψης οδού το άθροισμα όλων των επιμέρους μηκών, συμπεριλαμβανομένου και του ενδιάμεσου διαστήματος επάρκειας.

3.4 Επάρκεια Ορατότητας

Δεδομένου ότι η επάρκεια ΜΟΣ αποτελεί ζητούμενο κατά το σχεδιασμό των οδών, δημιουργήθηκε το διάγραμμα επάρκειας (Σχήμα 5) στο οποίο παρουσιάζονται συνολικά οι χαράξεις με μηδενικά μήκη απόκρυψης, για όλους τους εξεταζόμενους συνδυασμούς κλίσεων στις αντίστοιχες οριζόμενες ΧΘ του σημείου αλλαγής κλίσης. Για καλύτερη εποπτεία του συνδυασμού καμπυλών οριζοντιογραφίας – μηκοτομής, τα σημεία αλλαγής κλίσης εμφανίζονται συσχετισμένα με το διάγραμμα καμπυλότητας οριζοντιογραφίας. Σημειώνεται ότι στο Σχήμα 5 δεν περιλαμβάνονται οι χαράξεις με κλίση $\pm 1\%$, οι οποίες παρέχουν επαρκή ορατότητα για κάθε οριζόμενο σημείο αλλαγής κλίσης.

Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα επάρκειας, κατά το συνδυασμό κλίσεων διαφορετικής τιμής ανά σκέλος (S_1 , S_2) παρέχεται επαρκές ΜΟΣ για μεγαλύτερο εύρος ορισμού του σημείου αλλαγής κλίσης, συγκριτικά με τις αντίστοιχες χαράξεις όπου εφαρμόζεται ίδια τιμή κατά μήκος κλίσης ($\pm S$) στο κάθε σκέλος της. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το μήκος της κατακόρυφης καμπύλης για την πρώτη περίπτωση (S_1 , S_2) είναι μικρότερο, γεγονός που - σύμφωνα και με τα αποτελέσματα της έρευνας- διευρύνει το διάστημα όπου οι καμπύλες οριζοντιογραφίας-μηκοτομής μπορούν να συσχετίζονται και ταυτόχρονα να εξασφαλίζουν επάρκεια ορατότητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι χαράξεις με κλίση $\pm 6\%$ και $\pm 7\%$ οι οποίες δεν παρέχουν επαρκή ορατότητα (οπουδήποτε κι αν υλοποιείται η αλλαγή κλίσης), ενώ αντίστοιχα στις χαράξεις όπου συνδυάζονται με μικρότερες κλίσεις, επιτυγχάνεται επάρκεια ΜΟΣ.

Ο τρόπος που συνδυάζονται οι κατά μήκος κλίσεις επιδρά στο διάστημα που δύναται να υλοποιείται η αλλαγή κλίσης, ώστε η οδός να παρέχει επαρκή ορατότητα για στάση, με το φαινόμενο να εντείνεται όσο αυξάνει η διαφορά μεταξύ των συνδυαζόμενων κλίσεων.

Τέλος, σχετικά με τη θέση ορισμού της αλλαγής κλίσης ώστε η οδός να παρέχει επαρκές ΜΟΣ επιβεβαιώνονται οι υποδείξεις των οδηγιών σχεδιασμού (AASHTO 2011, Trazado 2000) σύμφωνα με τις οποίες η μηκοτομική καμπύλη θα πρέπει να “περιέχεται” εντός της οριζόντιας καμπύλης. Το σημείο αλλαγής κλίσης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να ορίζεται εντός του κυκλικού τόξου της οριζοντιογραφικής καμπύλης.

Επάρκεια Ορατότητας

Κλίση (±)1% :
 Η ορατότητα είναι ΕΠΑΡΚΗΣ για οποιαδήποτε ΧΘ του Σημείου Αλλαγής Κλίσης

(±) Smax %
 Κλίση ίδιας τιμής ανά σκέλος

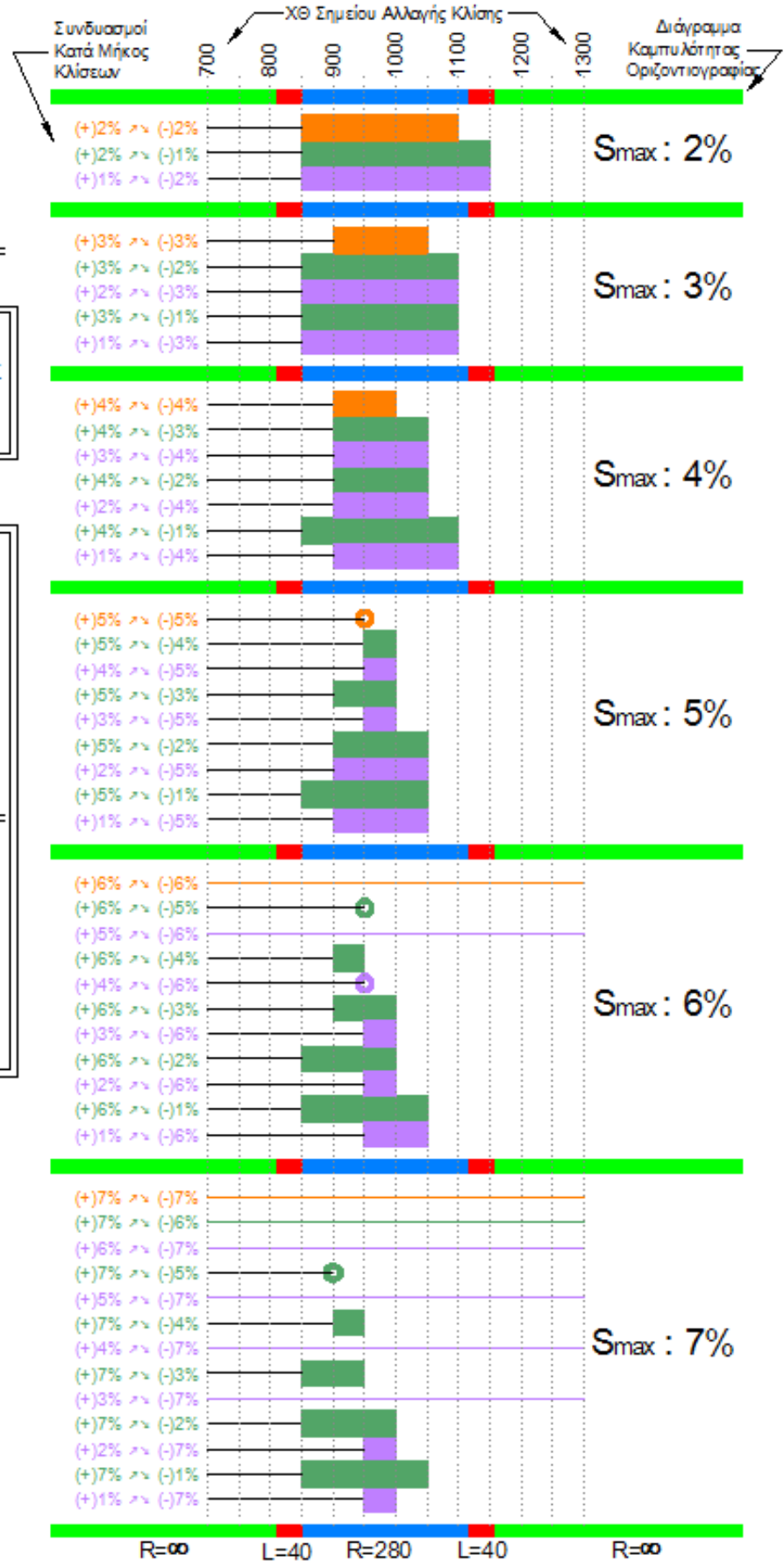
(+) Smax %
 Συνδυασμός Κλίσεων
 Μέγιστη Κλίση σε Ανωφέρεια

(-) Smax %
 Συνδυασμός Κλίσεων
 Μέγιστη Κλίση σε Κατωφέρεια

Διάστημα ορισμού Σημείου Αλλαγής Κλίσης

Αλλαγή Κλίσης σε μια μόνο ΧΘ

Ανεπαρκής Ορατότητα για κάθε ΧΘ του Σημείου Αλλαγής Κλίσης



4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επιρροή της κατακόρυφης γεωμετρίας στην επάρκεια ορατότητας σε δεξιόστροφη καμπύλη οδού με ενιαίο οδόστρωμα και συγκεκριμένη οριζόντια γεωμετρία όπου η ταχύτητα του οχήματος υπερβαίνει την ταχύτητα σχεδιασμού κατά 20km/h.

Αν και η διερεύνηση αφορά στη μεταβολή του σημείου αλλαγής κλίσης στη μηκοτομή μόνο, εντούτοις προέκυψαν αρκετά ενδιαφέροντα αποτελέσματα τα οποία συνοψίζονται παρακάτω.

Από την παρούσα έρευνα διαπιστώνεται ότι το μέγεθος της κατά μήκος κλίσης και η θέση του σημείου αλλαγής προσήμου της κυρτής υψομετρικής καμπύλης - που σχετίζεται με το πρόσημο της μεγαλύτερης από τις συνδυαζόμενες κλίσεις - επηρεάζουν το παρεχόμενο ΜΟΣ.

Στην περίπτωση που η οδός φέρει ίδια τιμή κλίσης στο κάθε σκέλος της ($\pm S$), τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν ότι όσο αυξάνει η κατά μήκος κλίση μεγαλύτερα τμήματα της αποκρύπτονται από τον οδηγό.

Στην περίπτωση που η οδός φέρει διαφορετική τιμή κλίσης ανά σκέλος ($+S_1, -S_2$), παρατηρείται ότι - εκτός του μεγέθους - επιδρά στην επάρκεια ορατότητας της οδού και η επιλογή του σκέλους εφαρμογής της μεγαλύτερης από τις συνδυαζόμενες κατά μήκος κλίσεις (S_{max}). Όταν η μεγαλύτερη από τις κλίσεις εφαρμόζεται στην ανωφέρεια της κυρτής μηκοτομικής καμπύλης (1^ο σκέλος), καταγράφονται μικρότερες παρεμποδίσεις ορατότητας από τις αντίστοιχες του αντίστροφου συνδυασμού κλίσεων ($+S_2, -S_1$) με την S_{max} σε κατωφέρεια (2^ο σκέλος). Το φαινόμενο εντείνεται όσο περισσότερο διαφέρουν οι συνδυαζόμενες κλίσεις μεταξύ τους. Σημειώνεται ότι το σκέλος στο οποίο εφαρμόζεται η S_{max} καθορίζει τη μετατόπιση του σημείου αλλαγής προσήμου κλίσης, “έμπροσθεν” ή “όπισθεν” του μέσου της κυρτής υψομετρικής καμπύλης, ενώ η διαφορά των συνδυαζόμενων κλίσεων καθορίζει την απόσταση του σημείου αλλαγής προσήμου από το μέσον της κυρτής καμπύλης. Συμπεραίνεται ότι τα διαστήματα που η οδός αποκρύπτεται από τον οδηγό μεγαλώνουν αφενός όσο αυξάνει η κατά μήκος κλίση, αφετέρου όσο μετατοπίζεται το σημείο αλλαγής προσήμου της κυρτής υψομετρικής καμπύλης “όπισθεν” του μέσου της (XΘ σημαίας).

Τα αποτελέσματα της έρευνας ως προς τις περιοχές με επάρκεια ΜΟΣ είναι συμβατά με τις εμπειρικές υποδείξεις των οδηγιών σχεδιασμού, σύμφωνα με τις οποίες η μηκοτομική καμπύλη θα πρέπει να “περιέχεται” στην καμπύλη της οριζοντιογραφίας, προκειμένου να μην παραβιάζεται η ασφάλεια της οδού. Όπως προκύπτει από τη διερεύνηση για όλες τις εξεταζόμενες κατά μήκος κλίσεις, οι συσχετισμοί καμπυλών οριζοντιογραφίας-μηκοτομής που εξασφαλίζουν επάρκεια ΜΟΣ, επιτυγχάνονται όταν η XΘ της σημαίας στη μηκοτομή ορίζεται εντός του οριζοντιογραφικού κυκλικού τόξου (εξαιρούνται, η κλίση $\pm 1\%$ για την οποία εξασφαλίζεται επάρκεια σε κάθε XΘ, καθώς επίσης οι κλίσεις $\pm 6\%$ και $\pm 7\%$ για τις οποίες δεν εξασφαλίζεται επάρκεια οπουδήποτε κι αν ορίζεται η σημαία μηκοτομής). Ειδικότερα, η έρευνα έδειξε ότι κατά τη συνύπαρξη δεξιάς οριζοντιογραφικής καμπύλης με κυρτή υψομετρική καμπύλη και για οποιοδήποτε συνδυασμό κλίσεων, το βέλτιστο σημείο για να υλοποιηθεί η αλλαγή κλίσης (XΘ σημαίας μηκοτομής) ώστε η οδός να παρέχει επάρκεια ΜΟΣ, ξεκινά λίγο πριν το μέσον της οριζοντιογραφικής καμπύλης.

Η παρούσα εργασία αποτελεί έναυσμα για περαιτέρω έρευνα και είναι ενδεικτική του μεγέθους εμβάθυνσης και ανάλυσης που απαιτείται προκειμένου να αξιολογηθεί η επάρκεια ΜΟΣ σε τρισδιάστατο οδικό περιβάλλον.

5. Βιβλιογραφία

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).(2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 6th Edition*. Washington, DC.
- DiVito,M. & Cantisani,G..(2010).*D.I.T.S.: A Software for Sight Distance Verification and Optical Defectiveness Recognition*. 4th International Symposium on Highway Geometric Design TRB, Valencia Spain.
- FGSV-Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.(2008). *Hinweise zur Visualisierung von Entwürfen für außerörtliche Straßen*. FGSV, Köln: *H ViSt*.
- García,A.(2004). *Optimal Vertical Alignment Analysis for Highway design – Discussion*. Journal of Transportation Engineering, Vol. 130, Issue 1, pp 138.
- Hassan,Y., Easa,S. & Abd El Halim,A.(1996). *Analytical Model for Sight Distance Analysis On Three Dimensional Highway Alignments*. Transportation Research Record, No. 1523, pp. 1-10.
- Hassan,Y. & Easa,S.(1998). *Design Considerations of Sight Distance Red Zones on Crest Curves*. Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, Volume 124, No. 4.
- Ismail,K. & Sayed,T.(2007). *New algorithm for calculating 3D available sight distance*. Journal of Transportation Engineering, Vol. 133, No.10, pp. 572-581.
- Mavromatis S., Palaskas S. and Psarianos B. *Continuous Three-Dimensional Stopping Sight Distance Control on Crest Vertical Curves*. Paper published on the Advances in Transportation Studies (ATS), XXVIII issue, 2012, pp.17-30.
- Malakatas,K. & Psarianos,B.(2012). *Operating Speed Predicting Model On Two-Lane Rural Roads During Night-Time*. Transport Research Arena – Europe 2012. Athens, Greece.
- Ministerio de Fomento.(2000). *“Trazado” Instrucción de Carreteras Norma 3.1 – IC*. Madrid, Spain.
- Moreno,Chou A., Perez,V., Garcia,A. & Rojas,M.(2010). *Optimal 3D Coordination to Maximize the Available Stopping Sight Distance in Two–Lane Roads*. 4th International Symposium on Highway Geometric Design TRB. Valencia, Spain.
- Romero,M.A. & García,A.(2007). *Optimal Overlapping of Horizontal and Vertical Curves Maximizing Sight Distance by Genetic Algorithms*. The 86th Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, D.C.
- Sanchez,E.(1994). *Three-Dimensional Analysis of Sight Distance on Interchange Connectors*. Transportation Research Record 1445, pp. 101–108.
- Yan,X., Radwan,E., Zhang,F. & Parker,J.C.(2008). *Evaluation of Dynamic Passing Sight Distance Problem Using a Finite - Element Model*. Journal of Transportation Engineering, Vol. 134, No.6, pp. 225-235.
- Zimmermann,M.(2005). *Increased Safety Resulting from Quantitative Evaluation of Sight Distances and Visibility Conditions of Two-Lane Rural Roads*. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design TRB. Chicago, USA.
- Μερτζάνης,Φ.(2012). *Λογισμικό Οδοποιίας FM12*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα, Ελλάδα.
- ΥΠΕΧΩΔΕ, Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας,(2001). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων Τεύχος 3: Χαράξεις (ΟΜΟΕ–X)*, ΥΠΕΧΩΔΕ. Αθήνα, Ελλάδα.