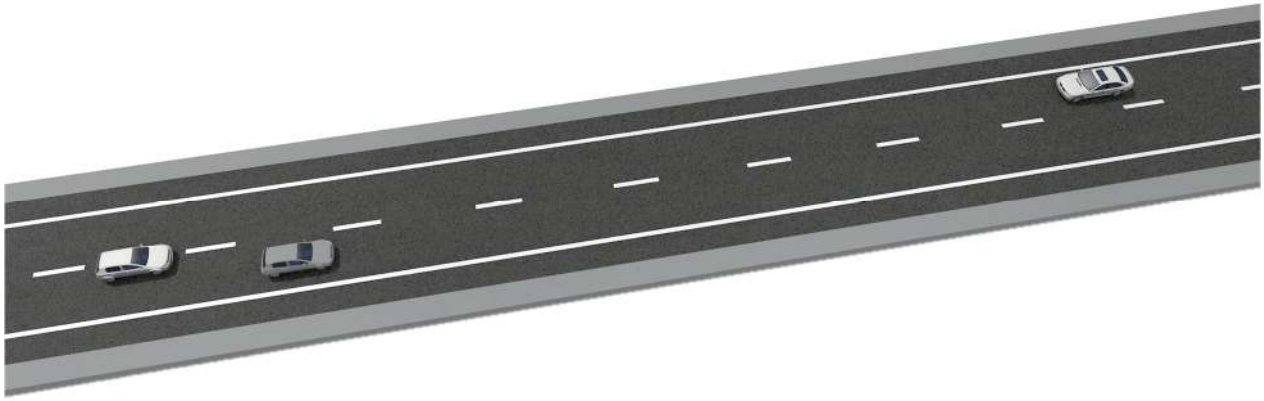
ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ ΣΕ ΟΔΙΚΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΜΕ ΚΥΡΤΗ ΚΑΜΠΥΛΗ



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ
ΜΑΡΚΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΛΟΪΖΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΑΘΗΝΑ
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2018

ΣΥΝΟΨΗ

Κύριος στόχος της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση επάρκειας ορατότητας για προσπέραση σε οδικά τμήματα υπεραστικών οδών με κυρτή καμπύλη. Πιο συγκεκριμένα, με χρήση αλγορίθμου που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, ελέγχονται περιοχές με μειωμένο διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση. Η διερεύνηση περιλαμβάνει έξι διαφορετικές περιπτώσεις όπου ελέγχεται η υψομετρική διαφορά μεταξύ της ευθείας οφθαλμών οδηγού και εμποδίου και της ερυθράς της οδού, για ευρύ φάσμα τιμών κυρτών κατακόρυφων καμπύλων, καθώς και τιμών κατά μήκος κλίσεων. Τα ευρήματα της έρευνας οργανώνονται σε κατάλληλα διαγράμματα και αποτελούν ένα ιδιαίτερα εύχρηστο εργαλείο κατά το σχεδιασμό των οδών. Ως αποτέλεσμα, στον μηχανικό δίνονται συγκεκριμένοι επιτρεπόμενοι συνδυασμοί –έτοιμων προς χρήση– κρίσιμων γεωμετρικών παραμέτρων, καθώς και μία πιο εποπτική εικόνα της αλληλεπίδρασης που υπάρχει μεταξύ της υψομετρικής διαμόρφωσης της οδού και της επάρκειας Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση από τα πρώτα στάδια της μελέτης. Κατά συνέπεια, παρέχεται η δυνατότητα πληρέστερης αξιολόγησης του επιπέδου ασφάλειας και λειτουργικότητας της χάραξης, ώστε να λαμβάνονται οι κατάλληλες αποφάσεις.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (ΜΟΠ), υπεραστική οδός, κυρτή καμπύλη, δισδιάστατη και τρισδιάστατη θεώρηση

ABSTRACT

The main objective of this diploma thesis is the investigation of passing sight distance sufficiency in rural roads with vertical curve. Specifically, with the use of algorithm been developed for this thesis, the goal is to find intervals with low available passing sight distance. The investigation splits to six different cases, each of whom calculates the height difference between driver's eyes – obstacle line and road height, for a variety of values of vertical curves and grades. The research's findings are organized into tables and graphs, that are a very useful tool for road design. As a result, the engineer can manage a specific number of geometrical parameter combinations and has a complete image of the interaction between road altitude conformation and passing sight distance sufficiency. In conclusion, there is the ability for a more complete evaluation of safety level and road functionality, in order to receive the appropriate decisions.

KEY WORDS:

Passing sight distance (PSD), rural road, vertical curve, two-dimensional and three-dimensional model

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κύριος στόχος κάτα το σχεδιασμό κάθε μελέτης μηχανικού είναι η επίτευξη ενός ικανού επιπέδου ασφαλείας. Η οδική ασφάλεια απαιτεί κύριο στοιχείο διερεύνησης στα συγκοινωνιακά έργα, η οποία εκτός των άλλων επιτυγχάνεται με την εξασφάλιση του απαιτούμενου Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση (ΜΟΠ).

Στις οδηγίες σχεδιασμού οδικών έργων δεν εξετάζεται επαρκώς η επιρροή των γεωμετρικών παραμέτρων στο ΜΟΠ. Επειδή, η εξασφάλιση του απαιτούμενου ΜΟΠ οδηγεί σε αντιοικονομικές χαράξεις, δίδεται βαρύτητα σε αυτή του Μήκους Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ). Επομένως, βασικός στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η διερεύνηση τους εύρους επάρκειας του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση κατά την εφαρμογή των ελάχιστων κυρτών κατακόρυφων καμπυλών, οι οποίες εξασφαλίζουν το αναγκαίο ΜΟΣ.

Στην αρχή της εργασίας, γίνεται εισαγωγή στην έννοια του Μήκους Ορατότητας, σε ποιες περιπτώσεις εξετάζεται, ποια μεγέθη το επηρεάζουν και ποια ζητήματα προκύπτουν σχετικά με την επάρκεια του κατά μήκος ενός οδικού τμήματος. Επίσης, γίνεται μία αναφορά στη μεθοδολογία και στη δομή της Διπλωματικής Εργασίας.

Έπειτα, εξετάζονται τόσο οι Ελληνικές οδηγίες, όσο και οι ξενόγλωσσες και ειδικότερα οι Γερμανικές και οι Αμερικάνικες. Καταγράφονται όλα τα στοιχεία και οι γεωμετρικές παράμετροι που σχετίζονται, άμεσα ή έμμεσα, με το αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας. Επιπλέον, αναφέρονται μελέτες σχετικές με το Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση, με συνοπτική παρουσίαση της μεθοδολογίας και των αποτελεσμάτων τους. Η ανάλυση των προηγούμενων δίνει τις βάσεις για πιο ολοκληρωμένη και στοχευμένη διερεύνηση της επάρκειας του ΜΟΠ.

Στη συνέχεια, εξηγείται η επιρροή της χάραξη της οδού, των θέσεων του οχήματος και του εμποδίου στη μεταβολή του διατιθέμενου ΜΟΠ. Παρατηρείται ότι δεν υφίσταται ολοκληρωμένη πρακτική, η οποία εξετάζει αυτήν την αλληλεπίδραση και διερευνά τα εύρη με ανεπάρκεια ΜΟΠ. Για την επίλυση αυτού του ζητήματος, αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και εξετάζονται δύο διαφορετικές θεωρήσεις προσέγγισης του προβλήματος. Με τη βοήθεια αλγορίθμου, εξάγονται αποτελέσματα, εξετάζεται η απόκλιση των δύο θεωρήσεων και παρατηρείται ποια παρουσιάζει

συντηρητικότερα αποτελέσματα. Με βάση αυτή τη θεώρηση, κατασκευάζονται κατάλληλα διαγράμματα, για διάφορα εύρη γεωμετρικών παραμέτρων, τα οποία ορίζουν τις θέσεις μη επάρκειας ΜΟΠ σε κυρτή καμπύλη.

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Κυριότερο συμπέρασμα είναι η συμβολή της εργασίας στην βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Εξετάστηκε σε βάθος η αλληλεπίδραση της υψομετρικής διαμόρφωσης της οδού και της επάρκειας του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση και οπτικοποιήθηκαν καλύτερα οι περιοχές στις οποίες απαγορεύεται η προσπέραση. Τα αποτελέσματα της εργασίας αποτελούν χρήσιμο εργαλείο για τον σχεδιασμό οδικών έργων και την οδική σήμανση. Δεδομένου ότι τοποθετήθηκαν οι βάσεις για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο αυτό, καταγράφονται ορισμένες προτάσεις για επόμενες εργασίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΥΝΟΨΗ i

ABSTRACT iii

ΠΕΡΙΛΗΨΗ v

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ vii

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ix

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ xi

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1

1.1. ΓΕΝΙΚΑ 1

1.2. ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 2

1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ 2

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ 5

2.1. ΓΕΝΙΚΑ 5

2.2. ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ 5

2.3. ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ 7

2.3.1. ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (RAL) 7

2.3.1.1. ΜΗΚΟΤΟΜΗ 11

2.3.1.2. ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ 13

2.3.2. ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (ΟΜΟΕ-Χ) 13

2.3.2.1. ΜΗΚΟΤΟΜΗ 13

2.3.2.2. ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ 15

2.3.3. ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (AASHTO) 17

2.4. ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΜΕΛΕΤΕΣ 18

2.5. ΣΥΝΟΨΗ 19

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ 21

3.1. ΓΕΝΙΚΑ 21

3.2. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ 21

3.3. ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ 22

3.3.1. ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΘΕΩΡΗΣΗ 22

3.3.2. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΘΕΩΡΗΣΗ 42

3.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΕΩΝ ΜΗ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ 45

3.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ 47

3.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ RAL 2012 49

3.6.1. EKL2 – 100 km/h 50

3.6.2. EKL3 – 90 km/h 52

3.6.3. EKL4 – 70 km/h 55

3.6.4. ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 58

3.7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΟΜΟΕ-Χ 2001 64

3.7.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ V_{85} = 100 ΚΜ/Η 64

3.7.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ V_{85} = 110 ΚΜ/Η 68

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ 73

4.1. ΓΕΝΙΚΑ 73

4.2. ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 73

4.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 78

4.4. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ 79

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ 81

Α. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α-3

Α.1. ΓΕΝΙΚΑ Α-3

Α.2. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ Α-3

Α.3. ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΘΕΩΡΗΣΗ Α-5

Α.4. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΘΕΩΡΗΣΗ Α-8

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1-1: Στάδια Διπλωματικής Εργασίας 3
Σχήμα 2-1: Ορισμός Μήκους Ορατότητας 5
Σχήμα 2-2: Θέση οχήματος και εμποδίου για Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση...6
Σχήμα 2-3: Κυρτή καμπύλη σε μηκοτομή και πως επηρεάζει το Μήκος Ορατότητας.6
Σχήμα 2-4: τυπική διατομή RQ 15,5 7
Σχήμα 2-5: τυπική διατομή RQ 11,5+ α) με επιπρόσθετη λωρίδα προσπέρασης b1) με διπλή συνεχή διαχωριστική γραμμή b2) με διπλή διακεκομμένη διαχωριστική γραμμή 9
Σχήμα 2-6: τυπική διατομή RQ 11 10
Σχήμα 2-7: τυπική διατομή RQ 9 11
Σχήμα 2-8: Διαδικασία προσπέρασης.....16
Σχήμα 2-9: Διαδικασία προσπέρασης και επιμέρους μήκη 19
Σχήμα 3-1: Αναπαράσταση των οχημάτων πριν την έναρξη της προσπέρασης 22
Σχήμα 3-2: Παράδειγμα απεικόνισης ύψους οδηγού h_A και εμποδίου h_Z και κατά μήκος κλίσης s_{line} 23
Σχήμα 3-3: Υψομετρική διαφορά Δh σε τυχαίο σημείο j επί της κυρτής καμπύλης...24
Σχήμα 3-4: Διάταξη οχημάτων 1ης περίπτωσης.....24
Σχήμα 3-5: Διάταξη οχημάτων 2ης περίπτωσης.....26
Σχήμα 3-6: Διάταξη οχημάτων 3ης περίπτωσης.....30
Σχήμα 3-7: Διάταξη οχημάτων 4ης περίπτωσης.....35
Σχήμα 3-8: Διάταξη οχημάτων 5ης περίπτωσης.....37
Σχήμα 3-9: Διάταξη οχημάτων 6ης περίπτωσης.....40
Σχήμα 3-10: Διάταξη οχημάτων τρισδιάστατης θεώρησης.....43
Σχήμα 3-11: Διάγραμμα ορατότητας στην περιοχή της κυρτής καμπύλης 46
Σχήμα 3-12: Αποτύπωση μηκών L_1, L_2 και L_3 47
Σχήμα 3-13: Διατομή οδού 48
Σχήμα 3-14: Οριζοντιογραφία οδού 49
Σχήμα 3-15: Μηκοτομή οδού 49

Σχήμα 3-16: Διαφορά τρισδιάστατης θεώρησης από δισδιάστατη για κλάση μελέτης ΕΚL2 51
Σχήμα 3-17: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης ΕΚL2 52
Σχήμα 3-18: Διαφορά τρισδιάστατης θεώρησης από δισδιάστατη για κλάση μελέτης ΕΚL3 54
Σχήμα 3-19: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης ΕΚL3 55
Σχήμα 3-20: Διαφορά τρισδιάστατης θεώρησης από δισδιάστατη για κλάση μελέτης ΕΚL4 57
Σχήμα 3-21: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης ΕΚL4 58
Σχήμα 3-22: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 600 m) 63
Σχήμα 3-23: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 625 m) 67
Σχήμα 3-24: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 675 m) 71
Σχήμα 4-1: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης ΕΚL2 75
Σχήμα 4-2: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης ΕΚL3 75
Σχήμα 4-3: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης ΕΚL4 76
Σχήμα 4-4: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 600 m) 76
Σχήμα 4-5: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 625 m) 77
Σχήμα 4-6: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 675 m) 77
Σχήμα Α-1: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου A-4
Σχήμα Α-2: Περιβάλλον αλγορίθμου στο MS Excel για τη δισδιάστατη θεώρηση A-5
Σχήμα Α-3: Μακροεντολές για τα σημεία Α και Β για τη δισδιάστατη θεώρηση A-6
Σχήμα Α-4: Κώδικας μακροεντολών σε VBA (α) για το σημείο Α, (β) για το σημείο Β για τη δισδιάστατη θεώρηση A-8
Σχήμα Α-5: Περιβάλλον αλγορίθμου στο MS Excel για τη τρισδιάστατη θεώρηση A-9
Σχήμα Α-6: Μακροεντολές για τα σημεία Α και Β για το τρισδιάστατο μοντέλο A-11
Σχήμα Α-7: Κώδικας μακροεντολής σε VBA για το σημείο Α A-12
Σχήμα Α-8: Κώδικας μακροεντολής σε VBA για το σημείο Β A-13
Σχήμα Α-9: Κώδικας μακροεντολής σε VBA για τα σημεία Α και Β A-14

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά RAL 11
Πίνακας 2.2: Ελάχιστες ακτίνες κυρτωμάτων και κοιλωμάτων και ελάχιστα μήκη εφαπτόμενων κατά RAL 12
Πίνακας 2.3: Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά ΟΜΟΕ-Χ 14
Πίνακας 2.4: Ελάχιστες ακτίνες κυρτωμάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ 15
Πίνακας 2.5: Απαιτούμενο ΜΟΠ κατά ΟΜΟΕ-Χ 16
Πίνακας 2.6: Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά AASHTO (περίπτωση υπεραστικών αρτηριών) 17
Πίνακας 2.7: Ελάχιστες ακτίνες στρογγύλευσης και ΜΟΠ κατά AASHTO 18
Πίνακας 3.1: Χιλιομετρικές θέσεις σημείων Α και Β για κλάση μελέτης ΕΚL2 50
Πίνακας 3.2: Χιλιομετρικές θέσεις σημείων Α και Β για κλάση μελέτης ΕΚL3 53
Πίνακας 3.3: Χιλιομετρικές θέσεις σημείων Α και Β για κλάση μελέτης ΕΚL4 56
Πίνακας 3.4: Σημεία Α και Β σύμφωνα με τις Γερμανικές Οδηγίες 59
Πίνακας 3.5: Μήκος L_1 σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες 60
Πίνακας 3.6: Μήκος L_3 σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες 60
Πίνακας 3.7: Μήκος L_2 σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες 61
Πίνακας 3.8: Διαφοροποίηση για Δs = 2% σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες 61
Πίνακας 3.9: Σημεία Α και Β σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 625 m65
Πίνακας 3.10: Μήκος L_1 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 625 m..... 65
Πίνακας 3.11: Μήκος L_3 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 625 m 66
Πίνακας 3.12: Μήκος L_2 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 625 m..... 66
Πίνακας 3.13: Διαφοροποίηση περιπτώσης Δs = 2% σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 625 m 66
Πίνακας 3.14: Σημεία Α και Β σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 675 m 69
Πίνακας 3.15: Μήκος L_1 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 675 m..... 69
Πίνακας 3.16: Μήκος L_3 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 675 m..... 70
Πίνακας 3.17: Μήκος L_2 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 675 m..... 70

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Ο βασικός στόχος κατά τη μελέτη κάθε συγκοινωνιακού έργου, είναι η επίτευξη ικανού επιπέδου ασφαλείας για τους χρήστες. Ένα βασικό στοιχείο που απαιτείται να διερευνηθεί προς την κατεύθυνση αυτή είναι η εξασφάλιση του απαιτούμενου μήκους ορατότητας σε μία οδό.

Το Μήκος Ορατότητας ορίζεται από το τμήμα της οδού που εκτίθεται στο οπτικό πεδίο του οδηγού σε κάθε χρονική στιγμή. Εξετάζεται σε διάφορες περιπτώσεις, όπως για την έγκαιρη ακινητοποίηση ενός οχήματος (απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση), την ασφαλή προσπέραση (απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση) καθώς και την ασφαλή εξέλιξη της απόφασης του οδηγού για αλλαγή πορείας (μήκος ορατότητας για απόφαση). Στη συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία εξετάζεται το **Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (ΜΟΠ)**.

Σε ικανό τμήμα της οδού (τουλάχιστον 25%) είναι απαραίτητη η ύπαρξη ελάχιστων μηκών ορατότητας για την ασφαλή προσπέραση. Κατά συνέπεια, κρίθηκε απαραίτητο να διερευνηθεί η επιρροή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού, ως προς την εξασφάλιση αυτού του ελάχιστου απαιτούμενου μήκους. Πέραν της ταχύτητας, οι παράμετροι που επηρεάζουν το μήκος ορατότητας αφορούν κυρίως στη χάραξη της οδού (καμπύλα τμήματα στην οριζοντιογραφία, κοίλη ή κυρτή καμπύλη στη μηκοτομή), στα πρανή των επιχωμάτων και των ορυγμάτων, στο φυσικό ανάγλυφο της περιοχής, καθώς και στην ύπαρξη στηθαίων ασφαλείας, στύλων οδοφωτισμού και τεχνικών έργων γενικότερα. Στις διάφορες οδηγίες γεωμετρικού σχεδιασμού οδών παρατηρείται προσπάθεια προσδιορισμού του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για προσπέραση, αγνοώντας την επιρροή των γεωμετρικών παραμέτρων της οδού και εξετάζοντας μόνο τις ταχύτητες των εμπλεκόμενων οχημάτων. Υπάρχουν, όμως, περιπτώσεις, στις οποίες αξιολογείται η γεωμετρία της οδού ως προς την δυνατότητα προσπέρασης. Δεδομένου όμως ότι κάτι τέτοιο οδηγεί σε αντιοικονομικές χαράξεις, στην υφιστάμενη πρακτική γενικά δίδεται ιδιαίτερα βαρύτητα στην πιο κρίσιμη περίπτωση, δηλαδή στην εξασφάλιση του Μήκους Ορατότητας για Στάση (ΜΟΣ).

Μια τέτοια περίπτωση όπου εξετάζεται η επάρκεια των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού ως προς τη δυνατότητα προσπέρασης, αναφέρεται στις οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ, όπου προτείνονται ιδιαίτερα αυξημένα κυρτά τόξα στρογγύλευσης στη μηκοτομή. Λαμβάνοντας όμως υπόψη το έντονο ανάγλυφο στην ελληνική επικράτεια, οι υπόψη προτεινόμενες τιμές συνήθως κρίνονται απαγορευτικές. Επομένως, γεννάται το ερώτημα ποιο είναι το επιτρεπόμενο εύρος προσπέρασης στις περιπτώσεις εφαρμογής των ελάχιστων κυρτών κατακόρυφων καμπυλών οι οποίες εξασφαλίζουν τα αναγκαία μήκη ορατότητας για στάση.

1.2. ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ένα οδικό τμήμα χαρακτηρίζεται από επάρκεια ΜΟΠ όταν:

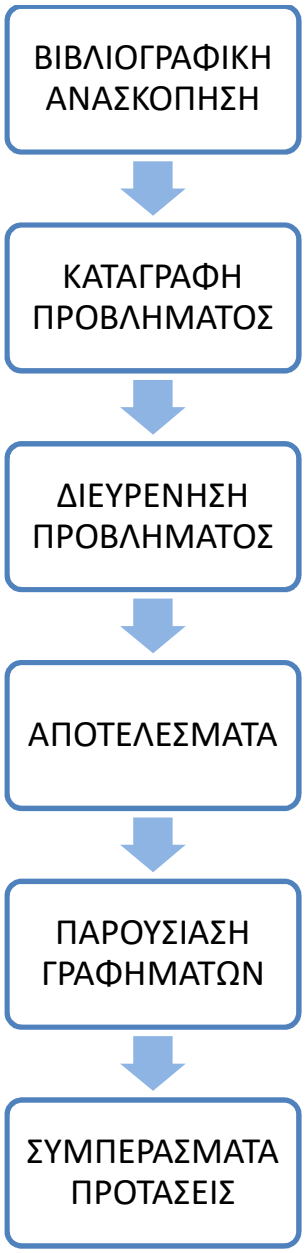
$$\text{ΜΟΠ διατιθέμενο} \geq \text{ΜΟΠ απαιτούμενο}$$

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι διερεύνηση του εύρους επάρκειας ΜΟΠ κατά την εφαρμογή κυρτών κατακόρυφων καμπυλών στη μηκοτομή. Σε οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, για ευρύ φάσμα ταχυτήτων και συνδυασμών παραμέτρων κυρτών κατακόρυφων καμπυλών και κατά μήκος κλίσεων, βάσει τόσο των Γερμανικών οδηγιών (RAL 2012) όσο και των Ελληνικών (ΟΜΟΕ-Χ 2001), θα εξαχθούν διαγράμματα που θα προσδιορίζουν τις θέσεις επάρκειας ΜΟΠ. Επίσης θα εξαχθεί ένα συγκεντρωτικό διάγραμμα, το οποίο λαμβάνοντας υπόψη τους συνδυασμούς παραμέτρων κυρτών κατακόρυφων καμπυλών και κατά μήκος κλίσεων, θα προσδιορίζει τις θέσεις με ανεπάρκεια ΜΟΠ. Με αυτό τον τρόπο, η παρούσα Διπλωματική Εργασία επιχειρεί να διευκολύνει το μελετητή οδικών έργων, τόσο στη μελέτη σήμανσης, όσο και στην αξιολόγηση της χάραξης ως προς την επάρκεια ΜΟΠ, στη φάση σχεδιασμού.

1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, **η μεθοδολογία της διπλωματικής εργασίας** χωρίζεται ως εξής. Αρχικά, γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση, με σκοπό να παρουσιαστεί το θεωρητικό υπόβαθρο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη του προβλήματος της εργασίας. Έπειτα καταγράφεται το κύριο πρόβλημα της εργασίας και όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα για την επίλυση του, όπως επιλεχθείσα διατομή οδού, τα ύψη οδηγού και εμποδίου κ.α.. Στη συνέχεια, πραγματοποιούνται δοκιμές για τις διάφορες περιπτώσεις του προβλήματος, μέσω αλγορίθμου στο πρόγραμμα MS EXCEL. Όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από

τις δοκιμές οργανώνονται σε πίνακες και παρουσιάζονται σε κατάλληλα γραφήματα, για διάφορες ακτίνες στρογγύλευσης της μηκοτομής και συνδυασμούς κατά μήκος κλίσεων. Τέλος καταγράφονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα. Όλη η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχήμα 1-1.



Σχήμα 1-1: Στάδια Διπλωματικής Εργασίας

Η δομή της διπλωματικής εργασίας κινείται στο πλαίσιο της παραπάνω μεθοδολογίας. Επομένως το δεύτερο κεφάλαιο είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση. Εδώ αναφέρονται οι οδηγίες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία, καθώς και σχετικές εργασίες που έχουν εκπονηθεί αναφορικά με το μήκος ορατότητας για προσπέραση. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, καθώς και κάποιες βασικές παραδοχές που έγιναν. Έπειτα, στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για κάθε βήμα της εργασίας, τα οποία οργανώνονται σε πίνακες και αναπαρίστανται σε κατάλληλα γραφήματα και διαγράμματα. Τέλος, στο πέμπτο και κυριότερο κεφάλαιο, γίνεται μία σύνοψη των αποτελεσμάτων και πάνω σε αυτά εξάγονται τα συμπεράσματα της εργασίας, ενώ αναφέρονται και ορισμένες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρών κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση του συνόλου της βιβλιογραφίας που αξιοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Παρατίθενται οι οδηγίες έργων Οδοποιίας των ΗΠΑ, Γερμανίας, Ελλάδας. Επιπροσθέτως γίνεται αναφορά σε διάφορες έρευνες σχετικές με το αντικείμενο της εργασίας, με συνοπτική παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και των αποτελεσμάτων αυτής.

2.2. ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Ένα από τα βασικά στοιχεία κατά τη μελέτη μιας οδού, προκειμένου να υπάρχει ασφάλεια στην κυκλοφορία, είναι η εξασφάλιση επαρκούς **Μήκους Ορατότητας**, δηλαδή της δυνατότητας του οδηγού να βλέπει ελεύθερα εμπρός του κατά τη διαδρομή, σε επαρκές μήκος. Το Μήκος Ορατότητας επηρεάζεται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, όπως τις καμπύλες στην οριζοντιογραφία και τις καμπύλες κατακόρυφων συναρμογών στη μηκοτομή. Για να εξασφαλίζεται το απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας, κατά το στάδιο της μελέτης, πρέπει αυτά τα στοιχεία της οδού να κυμαίνονται εντός ορισμένων ορίων.

Για τον υπολογισμό του μήκους ορατότητας απαιτείται να γίνουν κάποιες παραδοχές. Το Μήκος Ορατότητας μετριέται κατά κανόνα από τους οφθαλμούς του οδηγού μέχρι το εμπόδιο που εμφανίζεται στο οδόστρωμα (Σχήμα 2-1). Επομένως το ύψος των οφθαλμών h_A και το ύψος του εμποδίου h_Z αποτελούν βασικά χαρακτηριστικά του υπολογισμού του Μήκους Ορατότητας.

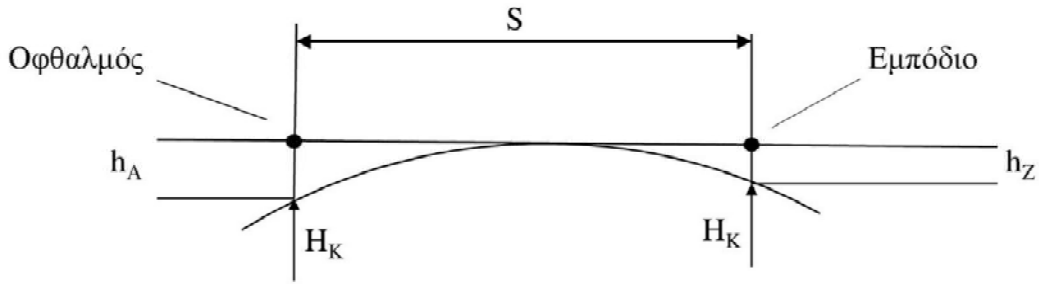
Σχήμα 2-1: Ορισμός Μήκους Ορατότητας

Συγκεκριμένα στην περίπτωση του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση, το εμπόδιο είναι ένα άλλο όχημα που κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση, οπότε έτσι ορίζεται η

θέση των οχημάτων στο οδόστρωμα. Τα οχήματα τοποθετούνται στον άξονα της λωρίδας στην οποία κινούνται, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2-2.

Σχήμα 2-2: Θέση οχήματος και εμποδίου για Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση

Στα έργα Οδοποιίας η στρογγύλευση της μηκοτομής γίνεται με τη χρήση καμπύλης με ακτίνα Η. Αυτή η καμπύλη μπορεί να είναι κυρτή ή κοίλη, ανάλογα τη σχεδίαση της οδού. Η επιλογή των κατακόρυφων αυτών καμπυλών πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε, εκτός των άλλων, να εξασφαλίζεται και η οδική ασφάλεια με όσο το δυνατόν καλύτερες συνθήκες ορατότητας. Όσο αφορά στην οδική ασφάλεια, η κυρτή καμπύλη είναι δυσμενέστερη από την κοίλη. Το Μήκος Ορατότητας S μέσα στην κυρτή καμπύλη επηρεάζεται σημαντικά από την ακτίνα στρογγύλευσης H_K, καθώς και από τις τιμές των κατά μήκος κλίσεων εκατέρωθεν του σχετικού σημείου καμπής αυτών (σημαία) (Σχήμα 2-3).



Σχήμα 2-3: Κυρτή καμπύλη σε μηκοτομή και πως επηρεάζει το Μήκος Ορατότητας

Τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά σε γενικές γραμμές δεν διαφέρουν μεταξύ των διαφόρων οδηγιών σχεδιασμού οδών. Στα εδάφια που ακολουθούν, παρουσιάζονται

βασικά χαρακτηριστικά διαφόρων οδηγιών, τα οποία κατά κύριο λόγο σχετίζονται με την παρούσα εργασία.

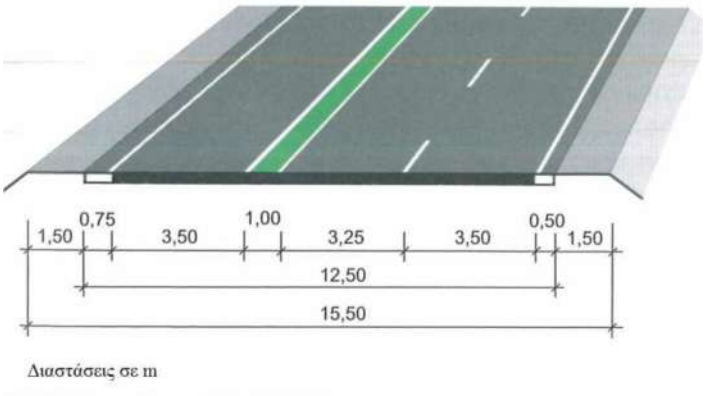
2.3. ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ

2.3.1. ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (RAL)

Το 2012 κυκλοφόρησαν οι νέες Γερμανικές οδηγίες (RAL), οι οποίες εισάγουν νέα δεδομένα στη σχεδίαση των υπεραστικών οδών. Στις RAL 2012 ορίζονται 4 κλάσεις μελέτης (EKL1, EKL2, EKL3, EKL4) με αντίστοιχες ταχύτητες σχεδιασμού της οδού.

Οδοί κλάσης μελέτης EKL 1 είναι οδοί τριών λωρίδων κυκλοφορίας με διατομή RQ 15,5. Λόγω της χρήσης τους σε δίκτυα όπου διανύονται μεγάλες έως πολύ μεγάλες αποστάσεις, συνίσταται **ταχύτητα μελέτης 110 km/h**.

Η τυπική διατομή RQ 15,5 (Σχήμα 2-4) είναι μια διατομή ενιαίου οδοστρώματος, που λόγω των λωρίδων προσπέρασης, οι οποίες μπορεί να αναπτυχθούν και στις δυο κατευθύνσεις εναλλάξ, διαθέτει τρεις λωρίδες συνολικά. Έτσι, στο τμήμα αυτό παρέχεται δυνατότητα προσπέρασης της τάξης του 40%. Οι δυο κατευθύνσεις κυκλοφορίας χωρίζονται με διαγράμμιση ή διαχωριστική νησίδα.



Σχήμα 2-4: τυπική διατομή RQ 15,5

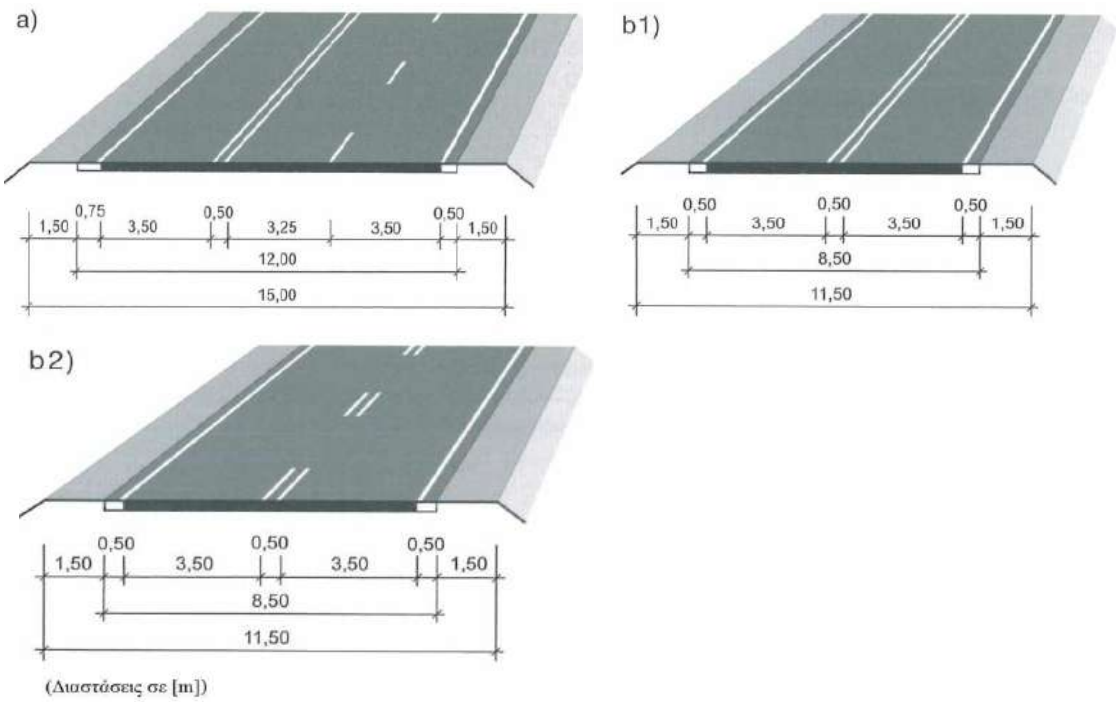
Οδοί κλάσης μελέτης EKL 2 είναι οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας με διατομή RQ 11,5+, στις οποίες κατασκευάζονται κατά τμήματα λωρίδες προσπέρασης και για τις

δυο κατευθύνσεις. Αυτό γίνεται με σκοπό η διαδικασία προσπέρασης να πραγματοποιείται σε ελεγχόμενα τμήματα και να αποφεύγεται η χρήση της αντίθετης λωρίδας κατά την διαδικασία της προσπέρασης. Και οι δυο κατευθύνσεις κυκλοφορίας στα τμήματα των τριών λωρίδων πάντα χωρίζονται μεταξύ τους μέσω διπλής συνεχόμενης διαχωριστικής γραμμής. Η εφαρμογή διπλής συνεχόμενης διαχωριστικής γραμμής ισχύει και για τα τμήματα δυο λωρίδων, όπου λόγω μεγάλης επικινδυνότητας, θα πρέπει να απαγορευτεί η προσπέραση. Στα υπόλοιπα τμήματα οι δυο αντίθετες κατευθύνσεις χωρίζονται μέσω διπλών διακεκομμένων διαχωριστικών γραμμών. Επειδή χρησιμοποιούνται σε οδικά δίκτυα όπου διανύονται μεγάλες αποστάσεις, συνίσταται **ταχύτητα μελέτης 100 km/h**.

Η τυπική διατομή RQ 11,5+ (Σχήμα 2-5) είναι μια διατομή ενιαίου οδοστρώματος με μια λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, η οποία κατά τμήματα προσαυξάνεται σε τρεις λωρίδες συνολικά, λόγω της επιπρόσθετης λωρίδας προσπέρασης. Η διαδικασία προσπέρασης θα πρέπει να πραγματοποιείται σε κατάλληλα διαμορφωμένα τμήματα, ώστε να αποφεύγεται η χρήση της λωρίδας των αντίθετα κινούμενων οχημάτων.

Οι αντίθετες κατευθύνσεις θα πρέπει να διαχωρίζονται με συνεχόμενη διαγράμμιση στα τμήματα τριών λωρίδων. Αυτή η πρακτική εφαρμόζεται και σε τμήματα όπου επιβάλλεται απαγόρευση της προσπέρασης (π.χ. ανεπάρκεια ορατότητας). Στα υπόλοιπα τμήματα οι αντίθετες κατευθύνσεις διαχωρίζονται με διπλή διακεκομμένη γραμμή. Οι τυπικές διαστάσεις παραμένουν σταθερές.

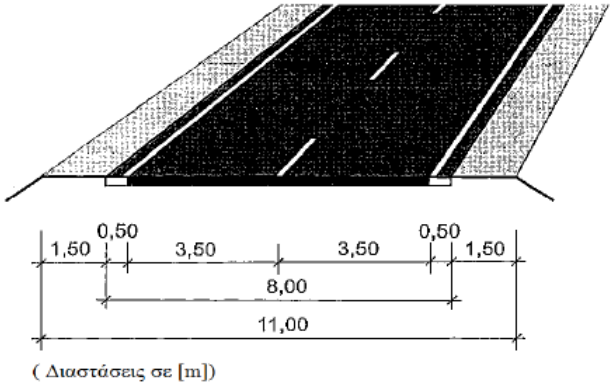
Μέσω της υλοποίησης επαρκούς συχνότητας τμημάτων για προσπέραση, πρέπει να παρέχεται τουλάχιστον 20% δυνατότητα για ασφαλή προσπέραση. Η προσαύξηση αυτού του ποσοστού έχει προφανή οφέλη στην οδική ασφάλεια και την ομαλή κυκλοφοριακή ροή. Εάν δεν είναι εφικτή η κατασκευή επαρκών τμημάτων προσπέρασης, θα πρέπει είτε να εξετάζεται, εάν σε τμήματα δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση είναι εφικτή η διαδικασία προσπέρασης, με ικανοποιητικό Μήκος Ορατότητας μέσω χρήσης της αντίθετης λωρίδας είτε να απαγορεύεται η προσπέραση σε τμήματα με μη επαρκές Μήκος Ορατότητας.



Σχήμα 2-5: τυπική διατομή RQ 11,5+ α) με επιπρόσθετη λωρίδα προσπέρασης b1) με διπλή συνεχή διαχωριστική γραμμή b2) με διπλή διακεκομμένη διαχωριστική γραμμή

Οδοί κλάσης μελέτης EKL 3 είναι οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας με διατομή RQ 11. Οι λωρίδες κυκλοφορίας διαχωρίζονται μέσω οριζόντιας διαχωριστικής σήμανσης κατευθύνσεων, όπου επιτρέπεται η προσπέραση, εάν το επιτρέπουν τα γεωμετρικά και κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά κάθε φορά. Οι λωρίδες κυκλοφορίας διαχωρίζονται μέσω μιας συνεχόμενης διαχωριστικής λωρίδας στη μέση, όπου δεν επιτρέπεται η προσπέραση, λόγω μη επαρκούς μήκους ορατότητας. Σε περιπτώσεις μεγάλου κυκλοφοριακού φόρτου, δύναται να προταθεί πρόσθετη λωρίδα προσπέρασης. Λόγω της χρήσης τους σε δίκτυα όπου διανύονται μεσαίες αποστάσεις, συνίσταται **ταχύτητα μελέτης 90 km/h**. Με βάση αυτή την ταχύτητα μπορούν να σχεδιαστούν άνετες καμπύλες στην οριζοντιογραφία.

Η τυπική διατομή RQ 11 (Σχήμα 2-6) είναι μια διατομή ενιαίου οδοστρώματος με δυο λωρίδες κυκλοφορίας. Στα τμήματα όπου επιτρέπεται η προσπέραση, οι δυο κατευθύνσεις διαχωρίζονται μεταξύ τους μέσω της οριζόντιας διαχωριστικής σήμανσης κατευθύνσεων. Στα τμήματα όπου απαγορεύεται η προσπέραση με χρήση της λωρίδας της αντίθετης κατεύθυνσης, οι αντίθετες κατευθύνσεις διαχωρίζονται με τη βοήθεια κατάλληλης διαγράμμισης.



Σχήμα 2-6: τυπική διατομή RQ 11

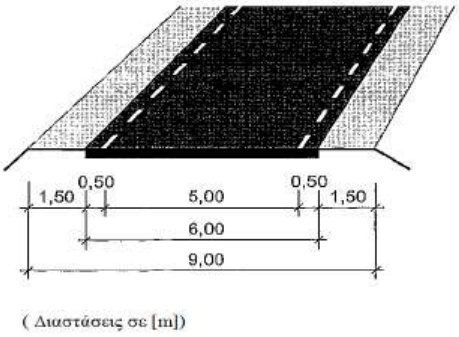
Οδοί κλάσης μελέτης ΕΚL 4 είναι οδοί ενιαίου οδοστρώματος με διατομή RQ 9 και χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση της τοπικής κυκλοφορίας. Λόγω της χαμηλής κυκλοφοριακής ζήτησης και τις σπάνιες διασταυρώσεις, η οδός διαμορφώνεται με σταθερό πλάτος, όπου όμως δεν είναι δυνατή η ανάπτυξη δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Αντί μίας κεντρικής διαγράμμισης, σχεδιάζονται δυο λωρίδες καθοδήγησης στην άκρη της οδού. Σε περίπτωση προσπέρασης, τα οχήματα καταλαμβάνουν το συνολικό πλάτος της οδού. Η πλευρική διαγράμμιση και η έλλειψη κεντρικής διαγράμμισης προειδοποιούν τον οδηγό, πως θα πρέπει να οδηγεί με μεγάλη προσοχή, σε περίπτωση συνάντησης με άλλο όχημα. Είναι προφανές, ότι σε αυτή τη περίπτωση, είναι απαραίτητη η μείωση της ταχύτητας, η οποία είναι σε συμφωνία με τον γενικότερο χαρακτήρα τήρησης χαμηλών τιμών ταχυτήτων στις οδούς αυτές.

Αυτή η κατηγορία οδών χρησιμοποιείται σε δίκτυα όπου διανύονται μικρές αποστάσεις, οπότε συνίσταται **ταχύτητα μελέτης 70 km/h**. Για τον λόγο αυτό στη χάραξη μπορούν να εφαρμοστούν άνετες οδεύσεις.

Στις οδούς της κλάσης ΕΚL4, λόγω της προσαρμοσμένης, στο ανάγλυφο, χάραξης και της δυσκολίας κατά την προσπέραση, η οποία οφείλεται στο μικρό σχετικά πλάτος της οδού είναι ωφέλιμο για την ασφάλεια της κυκλοφορίας, να μην αναπτύσσονται ταχύτητες μεγαλύτερες από την συνιστώμενη ταχύτητα των 70 km/h. Γι` αυτό θα πρέπει να ελεγχθεί, εάν για λόγους ασφάλειας της κυκλοφορίας, απαιτείται η μείωση της επιτρεπόμενης μέγιστης ταχύτητας.

Η τυπική διατομή RQ 9 (Σχήμα 2-7) είναι μια διατομή ενιαίου οδοστρώματος χωρίς διαγράμμιση για τον διαχωρισμό των διαφορετικών κατευθύνσεων κυκλοφορίας.

Η μη τοποθέτηση διαγράμμισης στο μέσο της οδού προειδοποιεί τον οδηγό ότι σε περίπτωση συνάντησης, ιδιαίτερα με βαρύ όχημα, διατίθεται ελάχιστος χώρος επιπλέον των πλευρικών διαγραμμίσεων.



Σχήμα 2-7: τυπική διατομή RQ 9

2.3.1.1. ΜΗΚΟΤΟΜΗ

Για κάθε κλάση μελέτης ορίζονται οι επιτρεπόμενες τιμές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών απαραίτητων για την κατασκευή της μηκοτομής της οδού.

Για λόγους κυκλοφοριακής ασφάλειας θα πρέπει οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις να μην υπερβαίνουν τις τιμές του Πίνακας 2.1.

Κλάση μελέτης	**max s [%]**
ΕΚL 1	4,5
ΕΚL2	5,5
ΕΚL3	6,5
ΕΚL4	8,0

Πίνακας 2.1: Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά RAL

Εάν σε τεκμηριωμένες εξαιρέσεις γίνεται υπέρβαση των μέγιστων κατά μήκος κλίσεων, θα πρέπει η σύνθετη (λοξή) κλίση να μην έχει τιμή άνω του 10,0%.

Για την αποφυγή περιοχών με κακή απορροή όμβριων υδάτων θα πρέπει σε περιοχές όπου υπάρχει περιστροφή οδοστρώματος να τηρούνται κατά μήκος κλίσεις s≥1,0% (καλύτερα 1,5%). Εάν σε τεκμηριωμένες εξαιρέσεις αυτό δεν είναι δυνατόν, θα πρέπει η ελάχιστη κατά μήκος κλίση να είναι s= 0,7 %.

Οι αλλαγές στις κατά μήκος κλίσεις στην μηκοτομή στρογγυλεύονται. Οι ακτίνες κυρτωμάτων και κοιλωμάτων θα πρέπει να επιλέγονται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε

- σε συνδυασμό με τα στοιχεία της οριζοντιογραφίας, να παράγεται μια ισορροπημένη χάραξη στον χώρο
- να εξασφαλίζεται το απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας
- να προσαρμόζονται στην τοπογραφία
- να προστατεύεται το περιβάλλον.

Η στρογγύλευση των κυρτωμάτων και κοιλωμάτων γίνεται με κυκλικό τόξο και υπολογίζεται κατά προσέγγιση ως τετραγωνική παραβολή.

Ο Πίνακας 2.2 απεικονίζει τις προτεινόμενες τιμές ανά κλάση μελέτης των ακτινών κυρτωμάτων, κοιλωμάτων και τις ελάχιστες τιμές των μηκών των αντίστοιχων εφαπτόμενων.

Κλάση μελέτης	**Ακτίνες κυρτωμάτων H_K (m)**	**Ακτίνες κοιλωμάτων H_W (m)**	**Ελάχιστα μήκη εφαπτόμενων T (m)**
EKL 1	≥8.000	≥4.000	100
EKL 2	≥6.000	≥3.500	85
EKL 3	≥5.000	≥3.000	70
EKL 4	≥3.000	≥2.000	55

Πίνακας 2.2: Ελάχιστες ακτίνες κυρτωμάτων και κοιλωμάτων και ελάχιστα μήκη εφαπτόμενων κατά RAL

Οι προτεινόμενες τιμές του Πίνακας 2.2 μπορούν σε τεκμηριωμένες εξαιρέσεις να παρεκκλίνουν κατά 15%. Σε τέτοια περίπτωση, θα πρέπει να εναρμονίζονται οριζοντιογραφικά και υψομετρικά μεταξύ τους. Δεν θα πρέπει, επίσης, να αλληλεπικαλύπτονται μικρές ακτίνες κοιλωμάτων και μικρές ακτίνες καμπύλων τμημάτων.

Σε λοφώδεις περιοχές πρέπει η ακτίνα των κυρτωμάτων να είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα των κοιλωμάτων. Ωστόσο, για λόγους αναγνωρισιμότητας της χάραξης πρέπει η ακτίνα των κοιλωμάτων να μην επιλέγεται μικρότερη από την ακτίνα του κυρτώματος που ακολουθεί. Σε περιπτώσεις ελάχιστων υψομετρικών διαφορών και σε επίπεδες περιοχές θα πρέπει οι ακτίνες των κοιλωμάτων για λόγους ομαλής πορείας να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις ακτίνες των κυρτωμάτων.

2.3.1.2. ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Στις RAL 2012 ορίζεται ως ελάχιστο απαιτούμενο **Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση** (ΜΟΠ) τα 600 m. Το μήκος αυτό προφανώς αφορά στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται η λωρίδα αντίθετης κατεύθυνσης από το όχημα που προσπερνά. Για τον υπολογισμό του ΜΟΠ θεωρείται ύψος οφθαλμών 1 m και ύψος εμποδίου 1 m.

2.3.2. ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (ΟΜΟΕ-Χ)

Οι τελευταίες Ελληνικές οδηγίες (Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων-Χαράξεις - ΟΜΟΕ-Χ) εκδόθηκαν το 2001. Δεδομένων των πιο σύγχρονων αντιλήψεων στο χώρο του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών, οι ΟΜΟΕ-Χ αποτελούν ένα σχετικά ικανοποιητικό εργαλείο για τους μελετητές αν και υπάρχουν αρκετά σημεία, τα οποία χρήζουν αναθεώρησης. Ένα από αυτά είναι η πληθώρα πληροφοριών, η οποία δύναται να προκαλέσει σύγχυση στο μελετητή μηχανικού. Για παράδειγμα, αναφέρονται πολλές διαφορετικές κατηγορίες οδών, ως προς την ταχύτητα μελέτης, τη χρήση καθώς και το περιβάλλον στο οποίο εντάσσονται. Παρακάτω αναγράφονται τα στοιχεία των οδηγιών, που σχετίζονται με το αντικείμενο της εργασίας.

Στις Ελληνικές οδηγίες προβλέπονται πέντε κατηγορίες οδών (Α,Β,Γ,Δ,Ε) με ταχύτητες μελέτης από 50 km/h έως 120 km/h. Οι οδοί κατηγορίας Α είναι υπεραστικές οδοί και ιδιαίτερα οι κατηγορίες **ΑΙΙ**, **ΑΙΙΙ**, **ΑΙV** είναι οδοί με ενιαίο οδόστρωμα και ταχύτητες μελέτης από **60 km/h** έως και **100 km/h**. Αυτές οι οδοί προσφέρονται για προσπέραση με χρήση της αντίθετης λωρίδας και για αυτές παρουσιάζονται ακολούθως τα βασικότερα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

2.3.2.1. ΜΗΚΟΤΟΜΗ

Για λόγους ασφαλείας οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές του Πίνακας 2.3. Εντονότερες κατά μήκος κλίσεις έχουν τα εξής μειονεκτήματα:

- Υψηλότερα ποσοστά ρύπανσης,
- μεγαλύτερη πιθανότητα ατυχημάτων,
- διασπορά εύφλεκτων υλικών με μεγάλη ταχύτητα και
- μείωση της ταχύτητας των βαρέων οχημάτων.

Αν δεν είναι δυνατόν να αναπτυχθούν οι αναμενόμενες λειτουργικές ταχύτητες σε ορισμένα ανωφερικά τμήματα στις οδούς της ομάδας Α, πρέπει να διερευνάται η

πιθανότητα διάταξης μίας επιπλέον λωρίδας για τα βαρέα οχήματα (πρόσθετη λωρίδα) ή αλλαγής της χάραξης της οδού.

S_{MAX}(%)			
Ταχύτητα μελέτης (km/h)	**Πεδινά εδάφη**	**Λοφώδη εδάφη**	**Ορεινά εδάφη**
60	6 (8)	7 (9)	9 (10)
70	5 (7)	6 (8)	8 (9)
80	4 (6)	5 (7)	7 (9)
90	4 (5)	5 (6)	7 (8)
100	3(5)	4(6)	6(8)

Πίνακας 2.3: Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά ΟΜΟΕ-Χ

Οι τιμές σε ( ) εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις.

Οι κυρτές και οι κοίλες καμπύλες συνδέονται κατά κανόνα με τμήματα σταθερής κλίσης. Είναι προτιμότερη όμως η άμεση επαφή των κατακόρυφων καμπύλων. Η σύνδεση δύο κυρτών ή δύο κοίλων κατακόρυφων καμπυλών συναρμογής με ένα μικρό ενδιάμεσο τμήμα σταθερής κλίσης υπόκειται στους κανόνες μελέτης της οδού στον χώρο.

Η επιλογή των ακτινών των κυρτών και των κοίλων κατακόρυφων καμπύλων πρέπει να γίνεται έτσι, ώστε σε συνδυασμό με τα στοιχεία μελέτης της οριζοντιογραφίας :

- να προκύπτει μία αρμονική χάραξη στο χώρο,
- να εξασφαλίζεται το ελάχιστο επίπεδο ασφάλειας με τα απαραίτητα μήκη ορατότητας σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μήκος της οδού,
- να προστατεύεται το περιβάλλον και
- να προσαρμόζεται η οδός όσο το δυνατόν καλύτερα στο ανάγλυφο του εδάφους, ώστε το κόστος κατασκευής της οδού να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα.

Οι απαιτήσεις αυτές έχουν μεγαλύτερη σημασία στις οδούς της ομάδας Α και μικρότερη σημασία στις οδούς της ομάδας Β, όπου προέχει η διατήρηση του οικιστικού ιστού.

Οι ελάχιστες ακτίνες κυρτών κατακόρυφων καμπύλων του Πίνακας 2.4 παρέχουν επαρκή περιθώρια ασφάλειας. Με την εφαρμογή αυτών των ακτινών δεν προκύπτουν μεγάλα ορύγματα, η δε μηκοτομή μπορεί να προσαρμοστεί σε μεγάλο βαθμό στο ανάγλυφο του εδάφους. Επίσης, ιδιαίτερη σημασία για τα κυρτώματα έχει η ορατότητα για στάση ή για προσπέραση.

Με εφαρμογή των τιμών της στήλης 3 του Πίνακας 2.4 εξασφαλίζεται ένα μέρος μόνο του απαιτούμενου Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση, και ως εκ τούτου οι τιμές αυτές πρέπει να αποφεύγονται. Στην περίπτωση αυτή το Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση που διατίθεται είναι μεγαλύτερο από το ήμισυ αλλά και μικρότερο από το συνολικά απαιτούμενο, έτσι η διαδικασία προσπέρασης είναι κρίσιμη. Εάν οι τοπογραφικές συνθήκες επιβάλλουν την εφαρμογή αυτών των τιμών τότε πρέπει να απαγορεύεται η προσπέραση με τοποθέτηση κατάλληλης σήμανσης. Το απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση εξασφαλίζεται με την εφαρμογή των τιμών της στήλης 4 του Πίνακας 2.4.

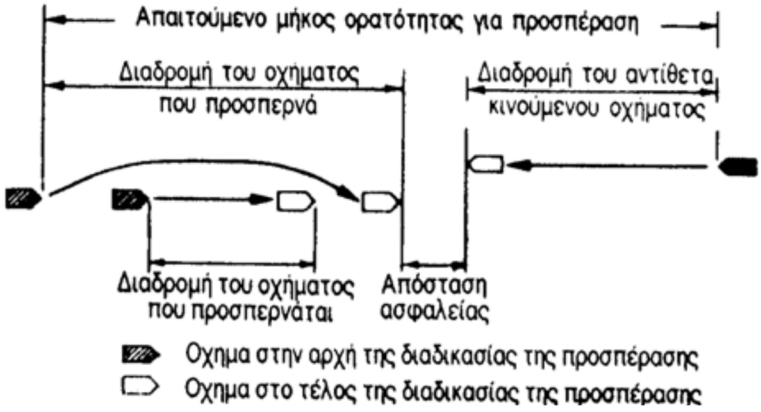
V_e [km/h]	Ορατότητα για στάση	Ορατότητα για προσπέραση	
	Επιτρεπόμενη περιοχή H_K Διατίθεται το απαραίτητο μήκος ορατότητας για στάση [m]	Αποφευκτέα περιοχή H_K Δεν διατίθεται το απαραίτητο μήκος ορατότητας για προσπέραση [m]	Επιτρεπόμενη περιοχή H_K Διατίθεται το απαραίτητο μήκος ορατότητας για προσπέραση [m]
1	2	3	4
Οδοί ενιαίας επιφάνειας κυκλοφορίας			
50	800 έως 7.000	7.000 έως 27.000	≥ 27.000
60	2.000 έως 7.600	7.600 έως 30.000	≥ 30.000
70	3.000 έως 8.400	8.400 έως 34.000	≥ 34.000
80	4.500 έως 10.000	10.000 έως 40.000	≥ 40.000
90	6.200 έως 12.000	12.000 έως 48.000	≥ 48.000
100	8.500 έως 14.000	14.000 έως 55.000	≥ 55.000

Πίνακας 2.4: Ελάχιστες ακτίνες κυρτωμάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ

2.3.2.2. ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Το **Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση** S_u είναι το μήκος, που απαιτείται για την ασφαλή διαδικασία προσπέρασης εμποδίου ή βραδυπορούντος οχήματος και είναι

συνάρτηση της λειτουργικής ταχύτητας V_{85}. Συνίσταται δε από το μήκος που διανύει το όχημα κατά τη διαδικασία της προσπέρασης, το μήκος που διανύει στο ίδιο χρονικό διάστημα το αντίθετα κινούμενο όχημα, και την απόσταση ασφαλείας μεταξύ των δύο αντίθετα κινουμένων οχημάτων στο τέλος της διαδικασίας της προσπέρασης.



Σχήμα 2-8: Διαδικασία προσπέρασης

Στον Πίνακας 2.5 αναγράφεται το απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση για οδούς κατηγορίας Α με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας.

V_{85} [km/h]	S_u [m]
60	475
70	500
80	525
90	575
100	625
110	675

Πίνακας 2.5: Απαιτούμενο ΜΟΠ κατά ΟΜΟΕ-Χ

Στα οδικά τμήματα που δεν διαθέτουν επαρκές Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση, η διαχωριστική γραμμή μεταξύ των δύο κατευθύνσεων πρέπει να διαμορφώνεται με διπλή συνεχή γραμμή.

Σημειώνεται ότι για τις V_{85}, που συνδέονται με το απαιτούμενο ΜΟΠ, ισχύει

$$V_{85} = V_e + 10 \text{ (km/h)}$$

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου ΜΟΠ χρησιμοποιείται ύψος οφθαλμού 1,06 m και ύψος εμποδίου 1 m.

2.3.3. ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (AASHTO)

Οι τελευταίες Αμερικανικές οδηγίες (American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO) εκδόθηκαν το 2011. Αντίστοιχα με τις προηγούμενες οδηγίες, ακολούθως παρατίθενται τα στοιχεία που κατά κύριο λόγο σχετίζονται με την παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Στις AASHTO ορίζεται ένα εύρος ταχυτήτων σχεδιασμού από **60 km/h** έως **100 km/h**, ανάλογα με τη χρήση της οδού, την περιοχή που κατασκευάζεται και τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτή.

Για οδούς που σχεδιάζονται σε περιοχές με σχετικά επίπεδο έδαφος οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις Smax δεν πρέπει να ξεπερνούν τις τιμές του Πίνακας 2.6, ενώ μία κατάλληλη ελάχιστη κατά μήκος κλίση είναι συνήθως η 0,5 %.

S_{MAX}(%)			
Ταχύτητα σχεδιασμού (km/h)	**Πεδινά εδάφη**	**Λοφώδη εδάφη**	**Ορεινά εδάφη**
60	5	6	8
70	5	6	7
80	4	5	7
90	4	5	6
100	3	4	6

Πίνακας 2.6: Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά AASHTO (περίπτωση υπεραστικών αρτηριών)

Το ελάχιστο **Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση** (Passing Sight Distance - PSD) παρουσιάζεται στον Πίνακας 2.7. Για την εξασφάλιση του ελάχιστου ΜΟΠ απαιτείται ελάχιστη ακτίνα στογγύλευσης της μηκοτομής όπως φαίνεται στην τρίτη στήλη του Πίνακας 2.7.

Για τη μέτρηση του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση, το ύψος των οφθαλμών θεωρείται 1,08 m και το ύψος του εμποδίου 1,08 m.

Ταχύτητα σχεδιασμού (km/h)	**Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (m)**	**Ακτίνα Στρογγύλευσης (m)**
60	180	1100
70	210	1700
80	245	2600
90	280	3900
100	320	5200

Πίνακας 2.7: Ελάχιστες ακτίνες στρογγύλευσης και ΜΟΠ κατά AASHTO

Από τα παραπάνω είναι σαφές ότι, οι Γερμανικές οδηγίες (RAL 2012) σχεδιασμού οδών είναι οι πιο πρόσφατες και πιο ολοκληρωμένες και γενικά στην Ελληνική πραγματικότητα, σε πολλές περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται συμπληρωματικά με τις Ελληνικές. Ως εκ τούτου, δε θα μπορούσαν παρά να αποτελέσουν τον κεντρικό άξονα και της παρούσας εργασίας.

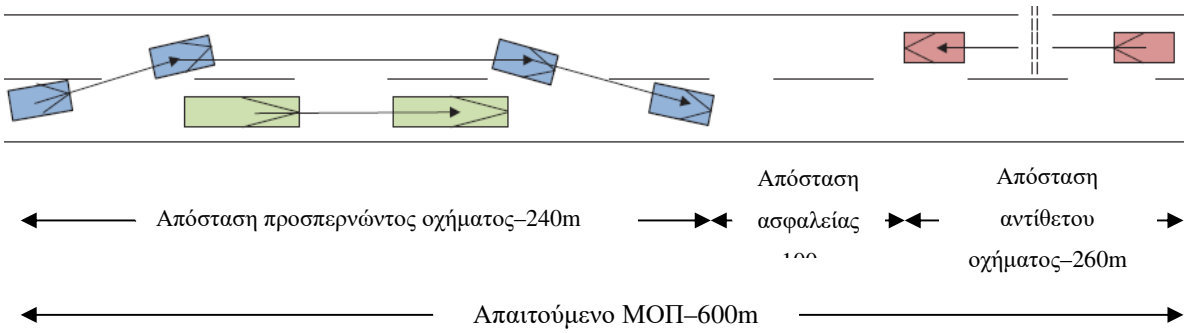
2.4. ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Με την έκδοση των νέων Γερμανικών οδηγιών το 2012, ορίστηκαν νέοι τύποι οδών και εισήχθησαν νέες αρχές για προσπέραση. Μέχρι τότε το Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση υπολογιζόταν με τη χρήση ενός γεωμετρικού μοντέλου, το οποίο προέκυψε βάσει εμπειρικής έρευνας του 1986. Επομένως, κρίθηκε απαραίτητο να ενημερωθεί το μοντέλο υπολογισμού του ΜΟΠ, ώστε να προσαρμοστεί στα τωρινά δεδομένα.

Σε έρευνα που διεξήχθη το 2015 από τους Dipl.-Ing. Anne Vetters και Dr.-Ing. Thomas Jaehrig υπολογίστηκε ότι το απαιτούμενο ΜΟΠ για οδούς δύο λωρίδων είναι 600 m. Για την πραγματοποίηση της έρευνας καταγράφηκαν 1100 προσπάθειες προσπέρασης, με τη βοήθεια drone. Από όλες τις προσπεράσεις που καταγράφηκαν, ελήφθησαν υπόψη μόνο μονές προσπεράσεις (ένα όχημα προσπερνάει ένα όχημα). Επιπλέον, ελήφθησαν υπόψη οι προσπεράσεις με αντίθετη κυκλοφορία, στις οποίες ένα επιβατικό όχημα προσπερνάει ένα φορτηγό, με απόσταση ασφαλείας στο τέλος της προσπέρασης

(clearance distance) μικρότερη ή ίση των 200 m, ώστε να υπάρχει επιρροή από το αντίθετο όχημα.

Το απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση ορίζεται ως το άθροισμα των αποστάσεων που διανύει το προσπερνών όχημα, το αντίθετα κινούμενο όχημα και μιας απόσταση ασφαλείας (clearance distance). Από τη συγκεκριμένη έρευνα προέκυψαν αυτά τα επιμέρους μήκη και συγκεκριμένα, η απόσταση του προσπερνώντος οχήματος υπολογίστηκε 240 m, η απόσταση του αντίθετα κινούμενου οχήματος 260 m και η απόσταση ασφαλείας 100 m. Συνεπώς, το απαιτούμενο ΜΟΠ προέκυψε ίσο με 600 m. Στο Σχήμα 2-9 φαίνεται το απαιτούμενο ΜΟΠ σύμφωνα με την έρευνα και τα επιμέρους μήκη του.



Σχήμα 2-9: Διαδικασία προσπέρασης και επιμέρους μήκη

2.5. ΣΥΝΟΨΗ

Με βάση τα παραπάνω, παρατηρείται ότι δεν έχει γίνει έρευνα για την αλληλεπίδραση των γεωμετρικών παραμέτρων της μηκοτομής με την επάρκεια του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση και πως αυτή επηρεάζει τον οδηγό. Επομένως, κρίνεται αναγκαία μία τέτοια διερεύνηση, η οποία θα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα των γεωμετρικών παραμέτρων.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1. ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο, αρχικά αναλύεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε και στη συνέχεια, δίδονται τα αποτελέσματα τα οποία οργανώνονται σε συγκεντρωτικούς πίνακες και έπειτα σε κατάλληλα διαγράμματα, έτοιμα για χρήση από τον κάθε μηχανικό.

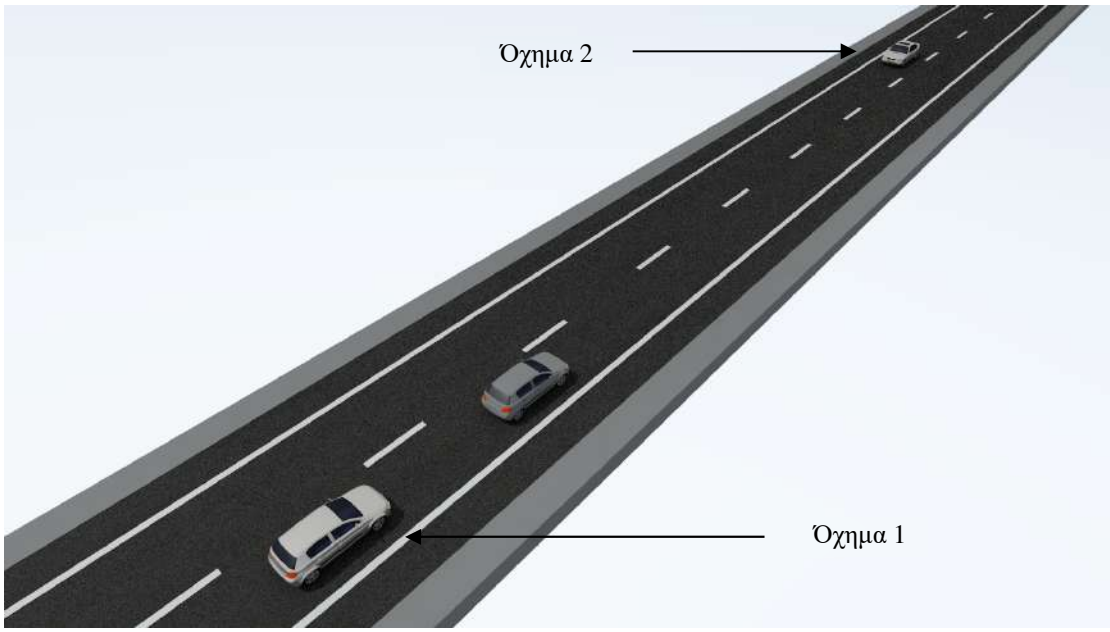
3.2. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η χάραξη της οδού αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα επιρροής του Μήκους Ορατότητας. Στην περίπτωση της ευθυγραμμίας με κυρτή καμπύλη, που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, το διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας εξαρτάται από την τιμή των κατά μήκος κλίσεων και την ακτίνα της κατακόρυφης καμπύλης. Με βάση τις ΟΜΟΕ-Χ, προκειμένου να διατίθεται επαρκές ΜΟΠ, απαιτείται η χρήση αυξημένων τιμών στις κυρτές κατακόρυφες καμπύλες, γεγονός το οποίο, στις περισσότερες περιπτώσεις, οδηγεί σε αντιοικονομικές χαράξεις, ιδιαίτερα αν ληφθεί υπόψη το έντονο ανάγλυφο που παρατηρείται στην Ελληνική επικράτεια.

Πέραν των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού, το διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας επηρεάζεται επίσης από τη θέση του οδηγού (όχημα 1) καθώς και τη θέση του εμποδίου (Σχήμα 3-1). Στην περίπτωση του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση (ΜΟΠ) ως εμπόδιο θεωρείται ένα άλλο όχημα, το οποίο κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση (όχημα 2). Για ορισμένους συνδυασμούς γεωμετρικών παραμέτρων και θέσεις οχήματος-εμποδίου δεν διατίθεται επαρκές ΜΟΠ και συνεπώς πρέπει, μέσω οριζόντιας σήμανσης στην οδό, να απαγορεύεται η προσπέραση. Στην υφιστάμενη πρακτική όμως δεν υπάρχει κάποια ολοκληρωμένη πρακτική βάσει της οποίας να παρέχεται ένα εργαλείο -έτοιμο προς χρήση- εντοπισμού των περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ.

Προφανώς επάρκεια ΜΟΠ υπάρχει όταν οποιοδήποτε σημείο επί της νοητής ευθείας οφθαλμών οδηγού-εμποδίου βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Στην παρούσα έρευνα εξετάστηκε η οριακή περίπτωση, σύμφωνα με την οποία η υπόψη ευθεία εφάπτεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος, δηλαδή η μεταξύ τους υψομετρική διαφορά είναι ίση με το μηδέν.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται δύο διαφορετικές προσεγγίσεις του προβλήματος, μία δισδιάστατη και μία τρισδιάστατη θεώρηση. Στη δισδιάστατη θεώρηση (μοντέλο), αγνοείται η επιρροή της επίκλισης καθώς γίνεται η παραδοχή ότι η ευθεία οφθαλμών εμποδίου είναι στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο με αυτό του άξονα της οδού. Στη τρισδιάστατη θεώρηση προσεγγίζεται το πρόβλημα όπως είναι στην πραγματικότητα (Σχήμα 3-1).



Σχήμα 3-1: Αναπαράσταση των οχημάτων πριν την έναρξη της προσπέρασης

3.3. ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

3.3.1. ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Η δισδιάστατη θεώρηση αφορά στον προσδιορισμό της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ του υψομέτρου οποιουδήποτε σημείου επί της ευθείας οφθαλμών – εμποδίου (h_{xline}) και του υψομέτρου που προκύπτει από την προβολή του ίδιου σημείου στην ερυθρά της οδού (h_x). Προφανώς επάρκεια ορατότητας υφίσταται όταν $h_{xline} - h_x \geq 0$, ενώ οριακή επάρκεια ορατότητας υπάρχει εκεί όπου η διαφορά αυτή μηδενίζεται. Επισημαίνεται ότι ως εμπόδιο θεωρείται όχημα που κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση κυκλοφορίας.

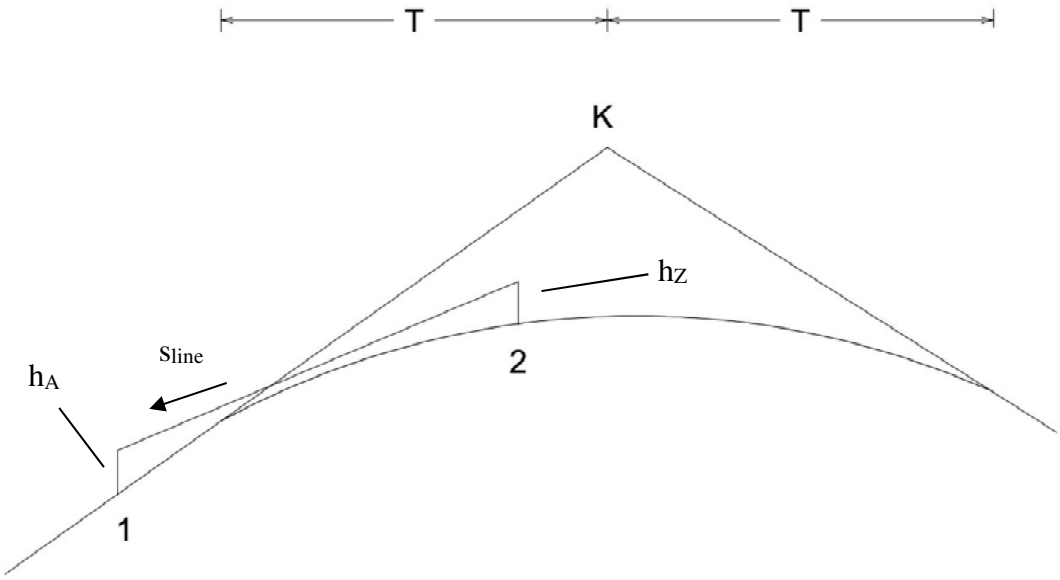
Διερευνήθηκαν συνολικά έξι περιπτώσεις ανάλογα με τη θέση των οχημάτων στο οδόστρωμα, ως προς την κυρτή καμπύλη. Σε κάθε περίπτωση, προσδιορίζεται η διαφορά $h_{xline} - h_x$ και καταγράφεται η σχετική θέση.

Σε όλες τις περιπτώσεις που διερευνήθηκαν, καταγράφονται ορισμένες κοινές συνθήκες οι οποίες έχουν ως εξής:

Η κατά μήκος κλίση της ανωφέρειας είναι s_1(%), της κατωφέρειας s_2(%), η κυρτή καμπύλη έχει ακτίνα στρογγύλευσης Η (για κυρτή καμπύλη μπαίνει με αρνητικό πρόσημο) και η κορυφή της πολυγωνικής Κ έχει υψόμετρο h_K. Ως Τ ορίζεται το μήκος των εφαπτομένων της κυρτής καμπύλης και ισχύει,

$$T = (s_2 - s_1)\frac{H}{2} \tag{1}$$

Επίσης h_A ορίζεται το ύψος των οφθαλμών του οδηγού, h_Z το ύψος του εμποδίου και s_{line} η κατά μήκος κλίση της ευθείας οφθαλμών-εμποδίου (Σχήμα 3-2).



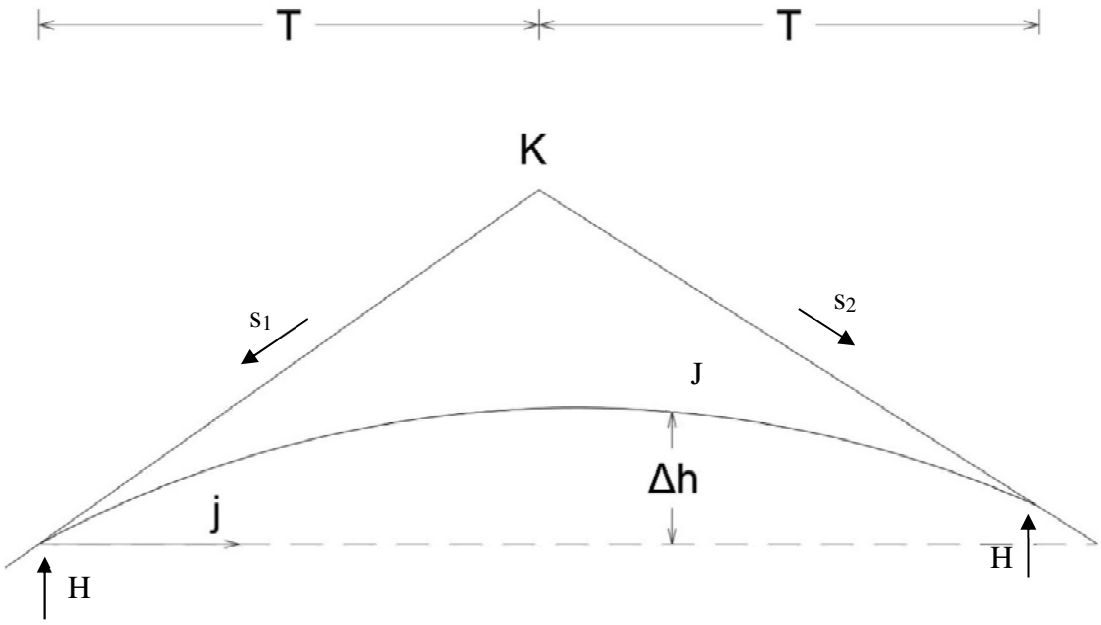
Σχήμα 3-2: Παράδειγμα απεικόνισης ύψους οδηγού h_A και εμποδίου h_Z και κατά μήκος κλίσης s_{line}

Σε όλες τις περιπτώσεις ορίζεται ως D η απόσταση του οχήματος 1 από την αρχή ή το τέλος του.

Υπενθυμίζεται ότι η υψομετρική διαφορά σε τυχαίο σημείο J επί της κυρτής καμπύλης από την αρχή της δίνεται από τη σχέση,

$$\Delta h = \frac{s_1}{100} j + \frac{j^2}{2H} \qquad (2)$$

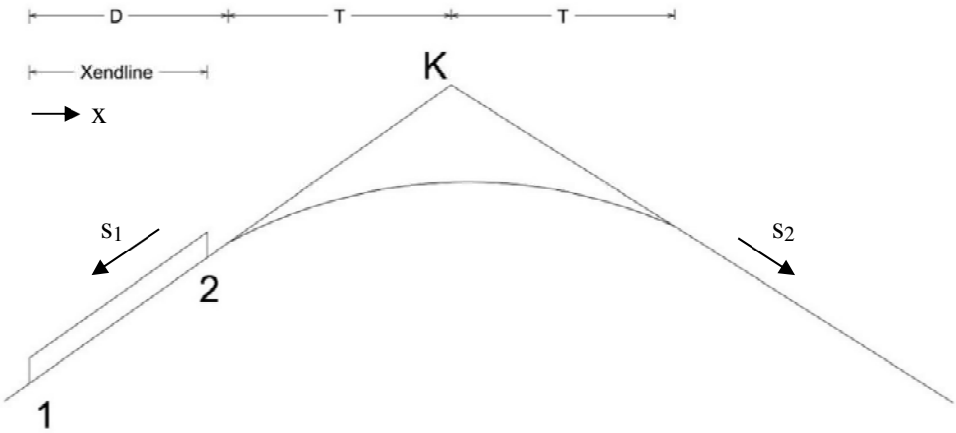
όπου j η απόσταση του σημείου J από την αρχή της καμπύλης (Σχήμα 3-3).



Σχήμα 3-3: Υψομετρική διαφορά Δh σε τυχαίο σημείο j επί της κυρτής καμπύλης

- **<u>1η περίπτωση:</u>**

Το όχημα 1 και το όχημα 2 βρίσκονται εκτός και αριστερά της κυρτής καμπύλης (Σχήμα 3-4).



Σχήμα 3-4: Διάταξη οχημάτων 1ης περίπτωσης

Με βάση την γεωμετρία της πολυγωνικής ορίζονται τα υψόμετρα των 1 και 2.

$$h_1 = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) \tag{3}$$

$$h_2 = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + \frac{s_1}{100}x_{endline} \tag{4}$$

Όπου:

$x_{endline}$: απόσταση των σημείων 1 και 2 (m).

Για τον υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς των οχημάτων 1 και 2 γίνεται αφαίρεση των εξισώσεων (3) και (4). Συνεπώς προκύπτει,

$$h_2 - h_1 = \frac{s_1}{100}x_{endline} \tag{5}$$

Η κατά μήκος κλίση της ευθείας των οφθαλμών προκύπτει από το λόγο του αθροίσματος της υψομετρικής διαφοράς των 2 οχημάτων και της διαφοράς των υψών οφθαλμού και εμποδίου προς τη συνολική απόσταση των 1 και 2, οπότε,

$$s_{line} = \frac{\frac{s_1}{100}x_{endline} + (h_Z - h_A)}{x_{endline}} \tag{6}$$

Ως h_x στη συγκεκριμένη περίπτωση, ορίζεται το υψόμετρο σε κάθε θέση της ερυθράς, με αφετηρία τη θέση του οχήματος 1. Άρα,

$$h_x = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + \frac{s_1}{100}x \tag{7}$$

Όπου:

x: απόσταση από το σημείο 1 και παίρνει τιμές μέσα στο διάστημα $x_{endline}$ (m).

Αντίστοιχα, ορίζεται και το υψόμετρο οφθαλμού h_{xline} σε κάθε θέση μετά τη θέση του οχήματος 1, οπότε,

$$h_{xline} = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + h_A + \frac{\frac{s_1}{100}x_{endline} + (h_Z - h_A)}{x_{endline}}x \tag{8}$$

Η υψομετρική διαφορά της ευθείας των οφθαλμών από την ερυθρά προκύπτει από την αφαίρεση των εξισώσεων (7) και (8). Συνεπώς,

$$h_{xline} - h_x = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + h_A + \frac{\frac{s_1}{100}x_{endline} + (h_Z - h_A)}{x_{endline}}x - \left[h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + \frac{s_1}{100}x\right]$$

Απαλείφοντας τους ίδιους παράγοντες της εξίσωσης εξάγεται η τελική εξίσωση,

$$\boxed{\mathbf{h_{xline} - h_x = h_A + \frac{(h_Z - h_A)}{x_{endline}}x}} \quad (9)$$

Όπου:

h_{xline}: υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου σε τυχαία θέση x (m),

h_x: υψόμετρο ερυθράς σε τυχαία θέση x (m),

x: απόσταση από το σημείο 1 (m),

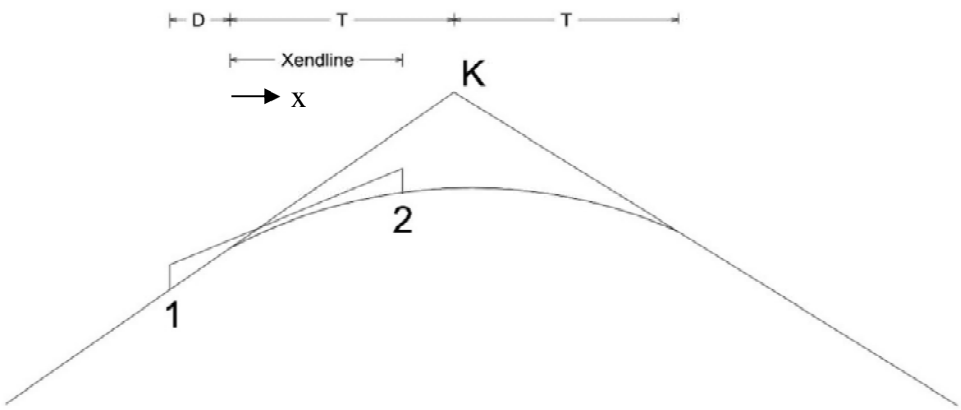
h_A: ύψος οφθαλμών του οδηγού (m),

h_Z: ύψος του εμποδίου (m) και

$x_{endline}$: απόσταση των σημείων 1 και 2 (m).

- **<u>2η περίπτωση:</u>**

Το όχημα 1 βρίσκεται αριστερά και εκτός της κυρτής καμπύλης, ενώ το όχημα 2 εντός της (Σχήμα 3-5).



Σχήμα 3-5: Διάταξη οχημάτων 2ης περίπτωσης

Αντίστοιχα με την προηγούμενη περίπτωση, ακολουθείται η ίδια διαδικασία.

$$h_1 = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) \tag{10}$$

$$h_2 = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + \frac{s_1}{100}D + \frac{s_1}{100}x_{endline} + \frac{{x_{endline}}^2}{2H} \tag{11}$$

Όπου:

$x_{endline}$: απόσταση της αρχής της κυρτής καμπύλης και του σημείου 2 (m).

Επομένως, η υψομετρική διαφορά των δύο οχημάτων είναι,

$$h_2 - h_1 = \frac{s_1}{100}(D + x_{endline}) + \frac{{x_{endline}}^2}{2H} \tag{12}$$

Με βάση την εξίσωση (12) προκύπτει η κατά μήκος κλίση της ευθείας οφθαλμών εμποδίου. Οπότε,

$$s_{line} = \frac{\frac{s_1}{100}(D + x_{endline}) + \frac{{x_{endline}}^2}{2H} + (h_z - h_A)}{D + x_{endline}} \tag{13}$$

Όπου:

$D + x_{endline}$: συνολικό μήκος της ευθείας οφθαλμών εμποδίου (m).

- <u>2^A Η ευθεία οφθαλμών εμποδίου εφάπτεται στο οδόστρωμα εντός της κυρτής καμπύλης</u>

Έπειτα, υπολογίζεται το υψόμετρο στην ερυθρά, στην περιοχή που βρίσκεται μέσα στην κυρτή καμπύλη,

$$h_x = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + \frac{s_1}{100}D + \frac{s_1}{100}x + \frac{x^2}{2H} \tag{14}$$

και το υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου,

$$h_{xline} = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + h_A + \frac{\frac{s_1}{100}(D + x_{endline}) + \frac{{x_{endline}}^2}{2H} + (h_z - h_A)}{D + x_{endline}}(D + x) \tag{15}$$

Όπου:

x: απόσταση από την αρχή της κυρτής καμπύλης και παίρνει τιμές στο διάστημα $x_{endline}$ (m).

Από τη διαφορά των εξισώσεων (14) και (15) εξάγεται η ζητούμενη υψομετρική διαφορά,

$$h_{xline} - h_X = h_A + \frac{\frac{s_1}{100}(D + x_{endline}) + \frac{{x_{endline}}^2}{2H} + (h_z - h_A)}{D + x_{endline}}(D + x) - \frac{s_1}{100}D - \frac{s_1}{100}x - \frac{x^2}{2H}$$

Με απαλοιφή των ίδιων παραγόντων προκύπτει,

$$\boxed{\mathbf{h_{xline} - h_X = h_A - \frac{x^2}{2H} + \frac{\left[\frac{{x_{endline}}^2}{2H} + (h_z - h_A)\right]}{D + x_{endline}}(D + x)}} \qquad (16)$$

Όπου:

h_{xline}: υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου σε τυχαία θέση x (m),

h_x: υψόμετρο ερυθράς σε τυχαία θέση x (m),

x: απόσταση από την αρχή της κυρτής καμπύλης (m),

h_A: ύψος οφθαλμών του οδηγού (m),

h_Z: ύψος του εμποδίου (m),

$x_{endline}$: απόσταση της αρχής της κυρτής καμπύλης και του σημείου 2 (m),

H: ακτίνα της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης (m) και

D: απόσταση του σημείου 1 από την αρχή της κυρτής καμπύλης (m).

- 2^B <u>Η ευθεία οφθαλμών εμποδίου εφάπτεται στο οδόστρωμα εκτός της κυρτής καμπύλης</u>

Για το διάστημα D το υψόμετρο της ερυθράς είναι,

$$h_x = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + \frac{s_1}{100}x \qquad (17)$$

Όπου x η απόσταση από το σημείο 1 και παίρνει τιμές στο διάστημα D.

Και το υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου,

$$h_{xline} = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + h_A + \frac{\frac{s_1}{100}(D + x_{endline}) + \frac{{x_{endline}}^2}{2H} + (h_z - h_A)}{D + x_{endline}}x \qquad (18)$$

Οπότε η υψομετρική διαφορά προκύπτει,

$$h_{xline} - h_x = -\frac{s_1}{100}(D + T) + h_A + \frac{\frac{{x_{endline}}^2}{2H} + (h_z - h_A)}{D + x_{endline}}x + \frac{s_1}{100}x + \frac{s_1}{100}(D + T) - \frac{s_1}{100}x \qquad (19)$$

Και τελικώς,

$$\boxed{\mathbf{h_{xline} - h_x = h_A + \frac{\frac{{x_{endline}}^2}{2H} + (h_z - h_A)}{D + x_{endline}}x}} \qquad (20)$$

Όπου:

h_{xline}: υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου σε τυχαία θέση x (m),

h_x: υψόμετρο ερυθράς σε τυχαία θέση x (m),

x: απόσταση από το σημείο 1 (m),

h_A: ύψος οφθαλμών του οδηγού (m),

h_Z: ύψος του εμποδίου (m),

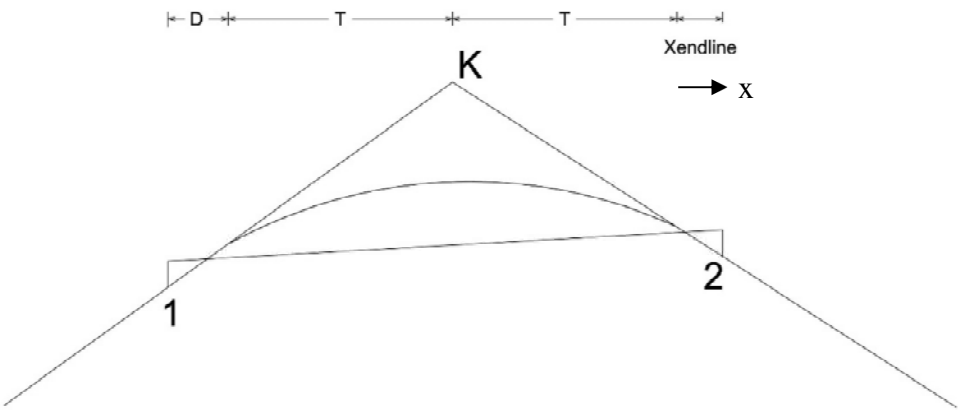
$x_{endline}$: απόσταση της αρχής της κυρτής καμπύλης και του σημείου 2 (m),

H: ακτίνα της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης (m) και

D: απόσταση του σημείου 1 από την αρχή της κυρτής καμπύλης (m).

- **<u>3η περίπτωση:</u>**

Το όχημα 1 βρίσκεται αριστερά και εκτός της κυρτής καμπύλης και το όχημα 2 δεξιά και εκτός της κυρτής καμπύλης (Σχήμα 3-6).



Σχήμα 3-6: Διάταξη οχημάτων 3ης περίπτωσης

$$h_1 = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) \tag{21}$$

$$h_2 = h_K + \frac{s_2}{100}(T + x_{endline}) \tag{22}$$

Όπου:

$x_{endline}$: απόσταση του πέρατος της κυρτής καμπύλης και του σημείου 2 (m).

Από την διαφορά των εξισώσεων (21) και (22) προκύπτει,

$$h_2 - h_1 = \frac{s_1 + s_2}{100}T + \frac{s_1}{100}D + \frac{s_2}{100}x_{endline} \tag{23}$$

Η εξίσωση (23) είναι συνάρτηση των κατά μήκος κλίσεων s_1 και s_2. Πρέπει, λοιπόν, να μετατραπεί σε εξίσωση με τη μία από τις δύο κατά μήκος κλίσεις. Με λύση της εξίσωσης (1) ως προς s_2,

$$T = (s_2 - s_1)\frac{H}{2} \rightarrow s_2 = s_1 + \frac{2T}{H} \tag{24}$$

Στη συνέχεια, αντικαθιστώντας το s_2 στην εξίσωση (23),

$$h_2 - h_1 = \frac{\left(2s_1 + \frac{2T}{H}\right)}{100} T + \frac{s_1}{100} D + \frac{s_1 + \frac{2T}{H}}{100} x_{endline} =$$

$$= \frac{s_1}{100}(D + 2T + x_{endline}) + \frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) \qquad (25)$$

Παράλληλα, απαιτείται μετατροπή και στο h_2, καθώς είναι συνάρτηση του s_2. Οπότε,

$$h_2 = h_K + \frac{s_2}{100}(T + x_{endline}) = h_K + \frac{s_1 + \frac{2T}{H}}{100}(T + x_{endline}) =$$

$$= h_K + \frac{s_1}{100}(T + x_{endline}) + \frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) \qquad (26)$$

Συνεπώς, η κατά μήκος κλίση της ευθείας οφθαλμών εμποδίου είναι,

$$s_{line} = \frac{\frac{s_1}{100}(D + 2T + x_{endline}) + \frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}} =$$

$$= \frac{\frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}} + \frac{s_1}{100} \qquad (27)$$

Όπου $D + 2T + x_{endline}$ είναι το συνολικό μήκος της ευθείας οφθαλμών εμποδίου.

- 3^A Η ευθεία οφθαλμών εμποδίου εφάπτεται στο οδόστρωμα μετά την κυρτή καμπύλη

Έπειτα, το υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου προκύπτει,

$$h_{xline} = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + h_A + \left(\frac{\frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}} + \frac{s_1}{100}\right)(D + 2T + x) \qquad (28)$$

Όπου:

x: απόσταση από το πέρας της κυρτής καμπύλης και παίρνει τιμές στο διάστημα $x_{endline}$ (m).

Και το υψόμετρο της ερυθράς,

$$h_x = h_K + \frac{s_2}{100}(T + x) = h_K + \frac{s_1}{100}(T + x) + \frac{2T}{100H}(T + x) \qquad (29)$$

Επομένως, η υψομετρική διαφορά εξάγεται από τη διαφορά των εξισώσεων (28) και (29).

$$\begin{aligned} h_{xline} - h_x = {} & h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + h_A \\ & + \left(\frac{\frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}} + \frac{s_1}{100} \right)(D + 2T + x) - h_K - \frac{s_1}{100}(T + x) \\ & - \frac{2T}{100H}(T + x) \end{aligned}$$

Τελικώς, με απαλοιφές των ίδιων παραγόντων προκύπτει,

$$\boxed{\mathbf{h_{xline} - h_x = h_A + \frac{\frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}}(D + 2T + x) - \frac{2T}{100H}(T + x)}} \qquad (30)$$

Όπου:

h_{xline}: υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου σε τυχαία θέση x (m),

h_x: υψόμετρο ερυθράς σε τυχαία θέση x (m),

x: απόσταση από το πέρας της κυρτής καμπύλης (m),

h_A: ύψος οφθαλμών του οδηγού (m),

h_Z: ύψος του εμποδίου (m),

$x_{endline}$: απόσταση του περάτος της κυρτής καμπύλης και του σημείου 2 (m),

H: ακτίνα της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης (m),

D: απόσταση του σημείου 1 από την αρχή της κυρτής καμπύλης (m) και

T: μήκος εφαπτομένης κυρτής καμπύλης (m).

- 3^B Η ευθεία οφθαλμών εμποδίου εφάπτεται στο οδόστρωμα εντός της κυρτής καμπύλης

Για το διάστημα 2T το υψόμετρο της ερυθράς είναι,

$$h_x = h_K - \frac{s_1}{100}(T - x) + \frac{x^2}{2H} \tag{31}$$

Όπου:

x: απόσταση από το πέρας της κυρτής καμπύλης και παίρνει τιμές στο διάστημα 2T (m).

Και το υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου,

$$h_{xline} = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + h_A + \left(\frac{\frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}} + \frac{s_1}{100}\right)(x + D) \tag{32}$$

Οπότε η υψομετρική διαφορά προκύπτει,

$$\boxed{\mathbf{h_{xline} - h_x = h_A + \frac{\frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}}(x + D) - \frac{x^2}{2H}}} \tag{33}$$

Όπου:

h_{xline}: υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου σε τυχαία θέση x (m),

h_x: υψόμετρο ερυθράς σε τυχαία θέση x (m),

x: απόσταση από την αρχή της κυρτής καμπύλης (m),

h_A: ύψος οφθαλμών του οδηγού (m),

h_Z: ύψος του εμποδίου (m),

$x_{endline}$: απόσταση του περάτος της κυρτής καμπύλης και του σημείου 2 (m),

H: ακτίνα της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης (m),

D: απόσταση του σημείου 1 από την αρχή της κυρτής καμπύλης (m) και

T: μήκος εφαπτομένης κυρτής καμπύλης (m).

- 3Γ Η ευθεία οφθαλμών εμποδίου εφάπτεται στο οδόστρωμα πριν την κυρτή καμπύλη

Για το διάστημα D το υψόμετρο της ερυθράς είναι (το x μετράει από την αρχή της καμπύλης και δεξιά, μέχρι το πέρας της καμπύλης),

$$h_x = h_K - \frac{s_1}{100}(T + D - x) \tag{34}$$

Όπου:

x: απόσταση από το σημείο 1 και παίρνει τιμές στο διάστημα D (m).

Και το υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου,

$$h_{xline} = h_K - \frac{s_1}{100}(D + T) + h_A + \left(\frac{\frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}} + \frac{s_1}{100}\right)x \tag{35}$$

Οπότε η υψομετρική διαφορά προκύπτει,

$$\boxed{\mathbf{h_{xline} - h_x = h_A + \frac{\frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}}x}} \tag{36}$$

Όπου:

h_{xline}: υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου σε τυχαία θέση x (m),

h_x: υψόμετρο ερυθράς σε τυχαία θέση x (m),

x: απόσταση από σημείο 1 (m),

h_A: ύψος οφθαλμών του οδηγού (m),

h_Z: ύψος του εμποδίου (m),

$x_{endline}$: απόσταση του πέρατος της κυρτής καμπύλης και του σημείου 2 (m),

H: ακτίνα της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης (m),

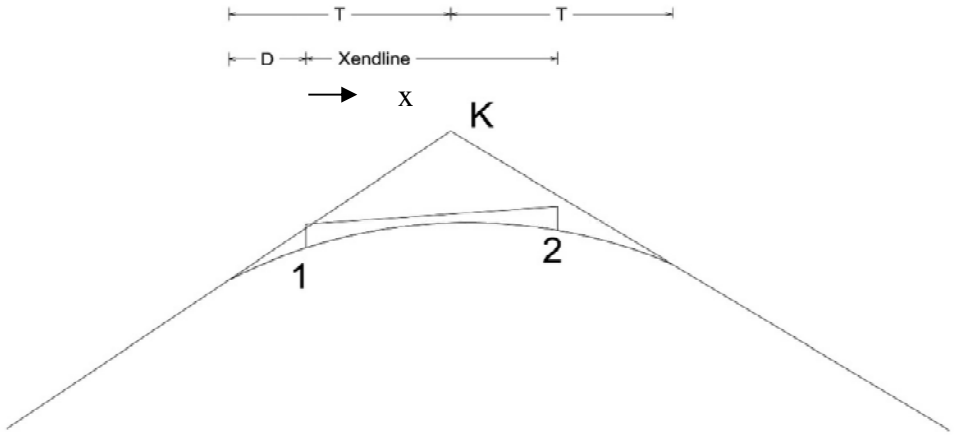
D: απόσταση του σημείου 1 από την αρχή της κυρτής καμπύλης (m) και

T: μήκος εφαπτομένης κυρτής καμπύλης (m).

- **4η περίπτωση:**

Το όχημα 1 και το όχημα 2 βρίσκονται μέσα στην κυρτή καμπύλη (Σχήμα 3-7).

Αρχικά, υπολογίζονται τα υψόμετρα των οχημάτων 1 και 2.



Σχήμα 3-7: Διάταξη οχημάτων 4ης περίπτωσης

$$h_1 = h_K + \frac{s_1}{100}(D - T) + \frac{D^2}{2H} \tag{37}$$

$$h_2 = h_K + \frac{s_1}{100}(x_{endline} + D - T) + \frac{(x_{endline} + D)^2}{2H} \tag{38}$$

Όπου:

$x_{endline}$: απόσταση του σημείου 1 και του σημείου 2 (m).

Σημειώνεται ότι το h_2 θα μπορούσε να γραφεί και ως συνάρτηση του s_2, ωστόσο για διευκόλυνση των πράξεων προτιμητέα είναι η παραπάνω διατύπωση της εξίσωσης.

Έπειτα, υπολογίζεται η υψομετρική διαφορά των 1 και 2.

$$h_2 - h_1 = \frac{s_1}{100} x_{endline} + \frac{(x_{endline} + D)^2 - D^2}{2H} \tag{39}$$

Με βάση την εξίσωση (39) εξάγεται η κατά μήκος κλίση της ευθείας οφθαλμών εμποδίου.

$$s_{line} = \frac{\frac{(x_{endline} + D)^2 - D^2}{2H} + (h_z - h_A)}{x_{endline}} + \frac{s_1}{100} \tag{40}$$

Το υψόμετρο της ερυθράς στην περιοχή που εξετάζεται προσδιορίζεται από την εξίσωση,

$$h_x = h_K + \frac{s_1}{100}(x - T) + \frac{x^2}{2H} \tag{41}$$

Όπου:

x: απόσταση από το σημείο 1 και παίρνει τιμές στο διάστημα $x_{endline}$ (m).

και το υψόμετρο της ευθείας των οφθαλμών εμποδίου,

$$h_{xline} = h_K + \frac{s_1}{100}(x - T) + \frac{D^2}{2H} + h_A + \left(\frac{\frac{(x_{endline} + D)^2 - D^2}{2H} + (h_z - h_A)}{x_{endline}}\right)(x - D) \tag{42}$$

Από τη διαφορά των εξισώσεων (42) και (41) συνάγεται το ζητούμενο αποτέλεσμα.

$$\boxed{\mathbf{h_{xline} - h_x = \frac{D^2 - x^2}{2H} + h_A + \left(\frac{\frac{(x_{endline} + D)^2 - D^2}{2H} + (h_z - h_A)}{x_{endline}}\right)(x - D)}} \tag{43}$$

Όπου:

h_{xline}: υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου σε τυχαία θέση x (m),

h_x: υψόμετρο ερυθράς σε τυχαία θέση x (m),

x: απόσταση από σημείο 1 (m),

h_A: ύψος οφθαλμών του οδηγού (m),

h_Z: ύψος του εμποδίου (m),

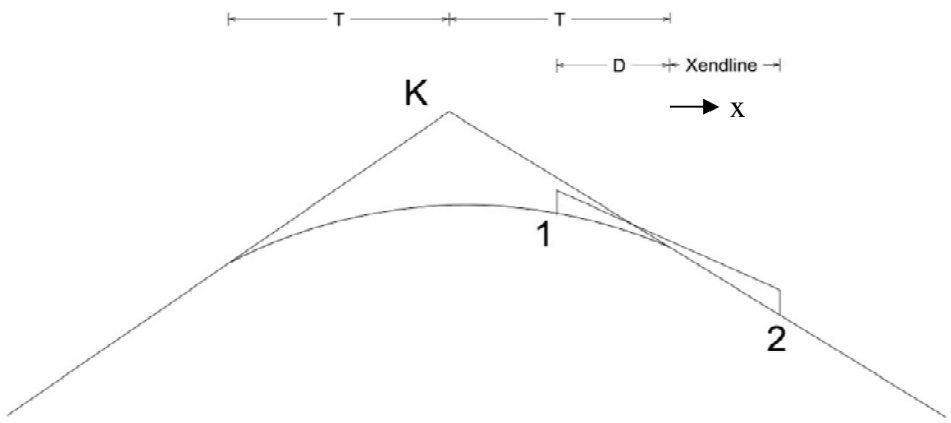
$x_{endline}$: απόσταση του σημείου 1 και του σημείου 2 (m),

H: ακτίνα της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης (m) και

D: απόσταση του σημείου 1 από την αρχή της κυρτής καμπύλης (m).

- **<u>5η περίπτωση:</u>**

Το όχημα 1 βρίσκεται εντός της κυρτής καμπύλης και το όχημα 2 δεξιά και εκτός της κυρτής καμπύλης (Σχήμα 3-8).



Σχήμα 3-8: Διάταξη οχημάτων 5ης περίπτωσης

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

$$h_1 = h_K + \frac{s_1}{100}(T - D) + \frac{(2T - D)^2}{2H} \tag{44}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= h_K + \frac{s_2}{100}(T + x_{endline}) \\ &= h_K + \frac{s_1}{100}(T + x_{endline}) + \frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) \end{aligned} \tag{45}$$

Διότι ισχύει,

$$T = (s_2 - s_1)\frac{H}{2} \rightarrow s_2 = s_1 + \frac{2T}{H}$$

Όπου:

$x_{endline}$: απόσταση του πέρατος της κυρτής καμπύλης και του σημείου 2 (m).

Με αφαίρεση των εξισώσεων (44) και (45) προκύπτει,

$$h_2 - h_1 = -\frac{D^2}{2H} + \frac{s_1}{100}(x_{endline} + D) + \frac{2T}{100H}(x_{endline} + D) \qquad (46)$$

Εν συνεχεία, υπολογίζεται η κατά μήκος κλίση της ευθείας οφθαλμών εμποδίου.

$$s_{line} = \frac{-\frac{D^2}{2H} + (h_z - h_A)}{x_{endline} + D} + \frac{s_1}{100} + \frac{2T}{100H} \qquad (47)$$

Όπου $x_{endline} + D$ είναι το μήκος της ευθείας οφθαλμών εμποδίου.

- <u>5^A Η ευθεία οφθαλμών εμποδίου εφάπτεται στο οδόστρωμα εκτός της κυρτής καμπύλης</u>

Το υψόμετρο της ερυθράς προκύπτει,

$$h_x = h_K + \frac{s_1}{100}(T + x) + \frac{2T}{100H}(T + x) \qquad (48)$$

Όπου:

x: απόσταση από το πέρας της κυρτής καμπύλης και παίρνει τιμές στο διάστημα $x_{endline}$ (m).

και το υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου,

$$h_{xline} = h_K + \frac{s_1}{100}(T - D) + \frac{(2T - D)^2}{2H} + h_A + \left(\frac{-\frac{D^2}{2H} + (h_z - h_A)}{x_{endline} + D} + \frac{s_1}{100} + \frac{2T}{100H}\right)(x + D) \qquad (49)$$

Με αφαίρεση των εξισώσεων (48) και (49) εξάγεται η ζητούμενη υψομετρική διαφορά,

$$\boxed{\mathbf{h_{xline} - h_x = h_A + \frac{-\frac{D^2}{2H} + (h_z - h_A)}{x_{endline} + D}(x + D) + \frac{D^2}{2H}}} \quad (50)$$

Όπου:

h_{xline}: υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου σε τυχαία θέση x (m),

h_x: υψόμετρο ερυθράς σε τυχαία θέση x (m),

x: απόσταση από το πέρας της κυρτής καμπύλης (m),

h_A: ύψος οφθαλμών του οδηγού (m),

h_Z: ύψος του εμποδίου (m),

$x_{endline}$: απόσταση πέρατος κυρτής καμπύλης και του σημείου 2 (m),

H: ακτίνα της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης (m) και

D: απόσταση του σημείου 1 από το πέρας της κυρτής καμπύλης (m).

- <u>5^B Η ευθεία οφθαλμών εμποδίου εφάπτεται στο οδόστρωμα εντός της κυρτής καμπύλης</u>

Για το διάστημα D το υψόμετρο της ερυθράς είναι,

$$h_x = h_K + \frac{s_1}{100}(T - D + x) + \frac{(2T - D + x)^2}{2H} \quad (51)$$

Όπου:

x: απόσταση από το σημείο 1 και παίρνει τιμές στο διάστημα D (m).

Και το υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου,

$$h_{xline} = h_K + \frac{s_1}{100}(T - D) + \frac{(2T - D)^2}{2H} + h_A + \left(\frac{-\frac{D^2}{2H} + (h_z - h_A)}{x_{endline} + D} + \frac{s_1}{100} + \frac{2T}{100H}\right)x \quad (52)$$

Οπότε η υψομετρική διαφορά προκύπτει,

$$\boxed{\mathbf{h_{xline} - h_x = h_A + \frac{2Dx - x^2}{2H} + \frac{-\frac{D^2}{2H} + (h_z - h_A)}{x_{endline} + D} x}} \quad (53)$$

Όπου:

h_{xline}: υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου σε τυχαία θέση x (m),

h_x: υψόμετρο ερυθράς σε τυχαία θέση x (m),

x: απόσταση από το σημείο 1 (m),

h_A: ύψος οφθαλμών του οδηγού (m),

h_Z: ύψος του εμποδίου (m),

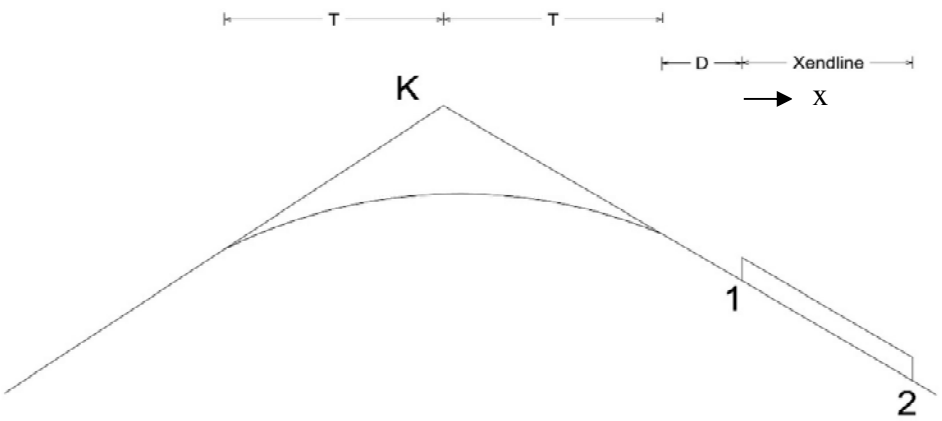
$x_{endline}$: απόσταση πέρατος κυρτής καμπύλης και του σημείου 2 (m),

H: ακτίνα της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης (m) και

D: απόσταση του σημείου 1 από το πέρας της κυρτής καμπύλης (m).

- **<u>6η περίπτωση:</u>**

Το όχημα 1 και το όχημα 2 είναι δεξιά και εκτός της κυρτής καμπύλης (Σχήμα 3-9).



Σχήμα 3-9: Διάταξη οχημάτων 6ης περίπτωσης

Ομοίως με τις παραπάνω περιπτώσεις, αρχικά υπολογίζονται τα υψόμετρα των οχημάτων 1 και 2.

$$h_1 = h_K + \frac{s_2}{100}(T + D) \quad (54)$$

$$h_2 = h_K + \frac{s_2}{100}(T + D + x_{endline}) \tag{55}$$

Όπου:

$x_{endline}$: απόσταση του σημείου 1 και του σημείου 2 (m).

Από την αφαίρεση των εξισώσεων (54) και (55) προκύπτει η υψομετρική διαφορά των 1 και 2.

$$h_2 - h_1 = \frac{s_2}{100} x_{endline} \tag{56}$$

Ακολούθως, υπολογίζεται η κατά μήκος κλίση της ευθείας οφθαλμών εμποδίου,

$$s_{line} = \frac{h_z - h_A}{x_{endline}} + \frac{s_2}{100} \tag{57}$$

Το υψόμετρο της ερυθράς στην περιοχή που μελετάται δίνεται από την εξίσωση,

$$h_x = h_K + \frac{s_2}{100}(T + D) + \frac{s_2}{100} x \tag{58}$$

Όπου:

x: απόσταση από το σημείο 1 και παίρνει τιμές στο διάστημα $x_{endline}$ (m).

και το υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου από την εξίσωση,

$$h_{xline} = h_K + \frac{s_2}{100}(T + D) + h_A + \left(\frac{h_z - h_A}{x_{endline}} + \frac{s_2}{100}\right) x \tag{59}$$

Τελικώς, η υψομετρική διαφορά στην περιοχή μελέτης προκύπτει από τις εξισώσεις (58) και (59).

$$\boxed{\mathbf{h_{xline} - h_x = h_A + \frac{h_z - h_A}{x_{endline}} x}} \tag{60}$$

Όπου:

h_{xline}: υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου σε τυχαία θέση x (m),

h_x: υψόμετρο ερυθράς σε τυχαία θέση x (m),

x: απόσταση από το σημείο 1 (m),

h_A: ύψος οφθαλμών του οδηγού (m),

h_Z: ύψος του εμποδίου (m) και

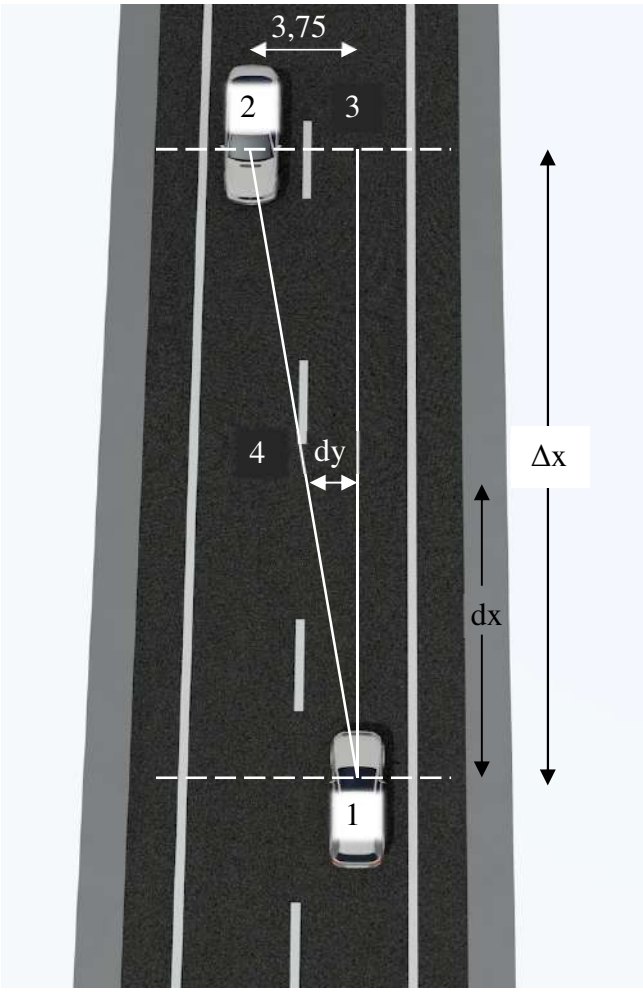
$x_{endline}$: απόσταση των σημείων 1 και 2 (m).

3.3.2. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Στη τρισδιάστατη θεώρηση λαμβάνεται υπόψη η επίκλιση 2.50% της οδού καθώς και η πραγματική απόσταση μεταξύ οδηγού και εμποδίου. Δηλαδή, υπολογίζονται τα πραγματικά υψόμετρα για τις θέσεις οδηγού και εμποδίου, τόσο επί της επιφάνειας της οδού, όσο και επί της αντίστοιχης οπτικής ακτίνας (απόσταση 1-2), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-10. Στη συνέχεια, ακολουθείται η ίδια διαδικασία που περιεγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3-10, το όχημα 1 (σημείο 1) κινείται στην δεξιά λωρίδα, ενώ το όχημα 2 (σημείο 2) κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση. Το σημείο 3 ορίζει την απόσταση μεταξύ οδηγού και εμποδίου επί του άξονα της οδού και αφορά στο διατιθέμενο μήκος ορατότητας (Δx) . Το σημείο 4 προκύπτει από την τομή της ευθείας 1-2 και του άξονα της οδού. Δεδομένης της παραδοχής ότι τα οχήματα κινούνται στο μέσο της λωρίδας τους, η απόσταση 2-3 είναι $2 * 3{,}75/_2 = 3{,}75$ m. Ορίζεται ως h'_1 το υψόμετρο της προβολής του οχήματος 1 στον άξονα και h'_2 το υψόμετρο της προβολής του οχήματος 2 στον άξονα. Επίσης η θέση κάθε σημείου επί της ευθείας 1-2 ορίζεται ως το διανυσματικό άθροισμα της εφαπτομενικής απόστασης (dx) και της εγκάρσιας (dy) από τον άξονα, αντίστοιχα.

Τα υψόμετρα h'_1 και h'_2 δεν θα υπολογιστούν σε αυτό το μοντέλο, καθώς έχουν ήδη οριστεί στη δισδιάστατη θεώρηση (βλ. h_1 και h_2 σε κάθε περίπτωση).



Σχήμα 3-10: Διάταξη οχημάτων τρισδιάστατης θεώρησης

Αρχικά υπολογίζονται τα υψόμετρα των σημείων 1 και 2.

$$h_1 = h_1' - 0{,}025 * 0{,}5 * 3{,}75 = h_1' - 0{,}047 \tag{61}$$

$$h_2 = h_3 = h_2' - 0{,}025 * 0{,}5 * 3{,}75 = h_2' - 0{,}047 \tag{62}$$

Η απόσταση 1-2 είναι $\sqrt{\Delta x^2 + 3.75^2}$ (από το τρίγωνο 1-2-3),

οπότε η κατά μήκος κλίση της ευθείας 1-2 είναι,

$$s_{12line} = \frac{h_2 - h_1 + (h_z - h_A)}{\sqrt{\Delta x^2 + 3.75^2}} \tag{63}$$

Το υψόμετρο σε κάθε σημείο της ευθείας 1-2 είναι,

$$h_{x12line} = h_1 + ha + \frac{h_2 - h_1 + (h_z - h_A)}{\sqrt{\Delta x^2 + 3.75^2}}\sqrt{dx^2 + dy^2}$$

Το dy όμως μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση των Δx και dx.

$$\frac{\Delta x}{3{,}75} = \frac{dx}{dy} \rightarrow dy = \frac{dx}{\Delta x}3{,}75 \qquad (64)$$

Με βάση την εξίσωση (64) προκύπτει,

$$h_{x12line} = h_1 + h_A + \frac{h_2 - h_1 + (h_z - h_A)}{\sqrt{\Delta x^2 + 3{,}75^2}}\sqrt{dx^2 + \left(\frac{dx}{\Delta x}3{,}75\right)^2} =$$

$$= h_1 + h_A + \frac{h_2 - h_1 + (h_z - h_A)}{\sqrt{\Delta x^2 + 3{,}75^2}}\sqrt{dx^2\frac{\Delta x^2 + 3{,}75^2}{\Delta x^2}} =$$

$$= h_1 + h_A + [h_2 - h_1 + (h_z - h_A)]\frac{dx}{\Delta x} \qquad (65)$$

Το υψόμετρο ερυθράς χωρίζεται σε δύο περιπτώσεις, από το σημείο 1 έως το 4 και από το 4 έως το 2.

Για το τμήμα 1-4,

$$h_{x14} = h_x - 0{,}025 * 0{,}5 * 3{,}75 + 0{,}025\frac{dx}{\Delta x}3{,}75 \qquad (66)$$

Και για το τμήμα 4-2,

$$h_{x42} = h_x - 0{,}025 * 0{,}5 * 3{,}75 + 0{,}025\left(3{,}75 - \frac{dx}{\Delta x}3{,}75\right) \qquad (67)$$

Όπου h_x είναι το υψόμετρο του άξονα σε κάθε θέση.

Με αφαίρεση των εξισώσεων (65) και (66) ή (67) προκύπτει το ζητούμενο αποτέλεσμα.

Οι εξισώσεις της τρισδιάστατης θεώρησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά με αυτές τις δισδιάστατης. Όπως θα παρουσιαστεί στη συνέχεια, παρέχουν συντηρητικότερα για τον οδηγό αποτελέσματα, καθώς προκύπτουν μεγαλύτερα εύρη απαγόρευσης προσπέρασης.

3.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΕΩΝ ΜΗ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

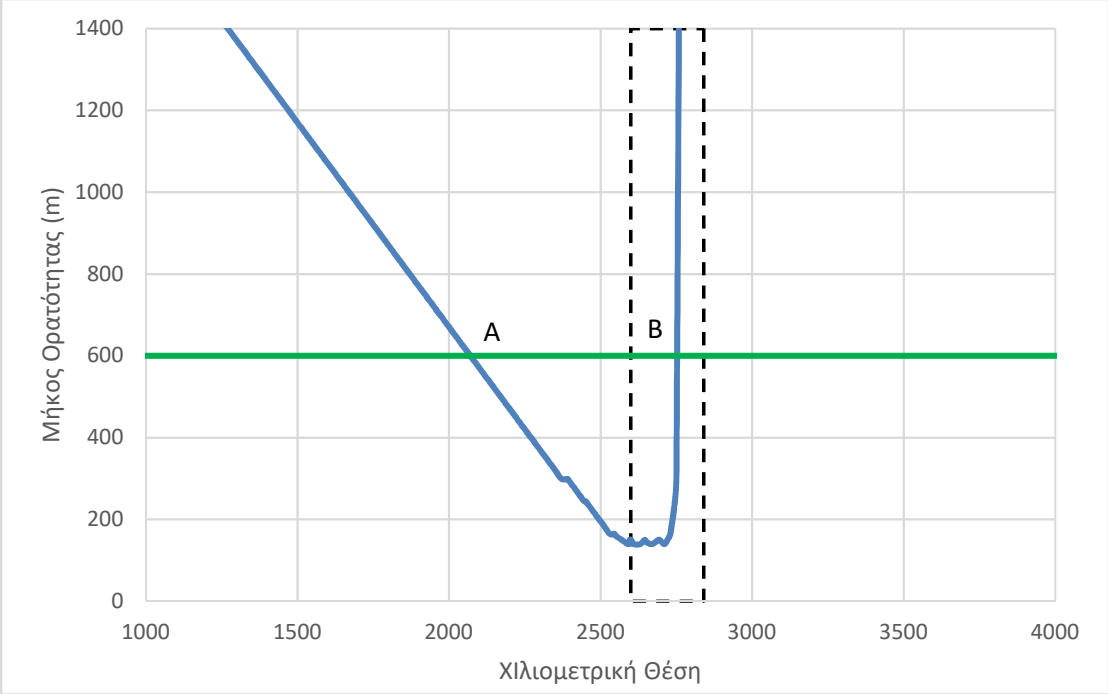
Με τη βοήθεια των μοντέλων που αναλύθηκαν προηγουμένως, υπολογίζονται οι θέσεις, κοντά στην περιοχή της κυρτής καμπύλης, στα οποία το διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση είναι μικρότερο η ίσο του απαιτούμενου. Για την ακριβή εύρεση αυτού του διαστήματος απαιτούνται πολλές επαναλήψεις για διάφορους συνδυασμούς των στοιχείων της μηκοτομής. Επομένως, για την εξοικονόμηση υπολογιστικού χρόνου είναι απαραίτητη η δημιουργία αλγορίθμου, ο οποίος θα εξάγει σαν αποτέλεσμα το ζητούμενο διάστημα.

Πριν την ανάλυση του αλγορίθμου, διατυπώνονται ορισμένες παραδοχές του προβλήματος.

Η οδός που εξετάζεται είναι ευθυγραμμία σε όλο της το μήκος στην οποία εφαρμόζεται μία κυρτή καμπύλη. Οι παράμετροι που μεταβάλλονται είναι η ακτίνα της κυρτής καμπύλης H και οι εκατέρωθεν της σημαίας κατά μήκος κλίσεις s_1 και s_2. Η διερεύνηση του ΜΟΠ που ακολουθεί αφορά σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων απ' όπου προκύπτει η παράμετρος της κυρτής καμπύλης.

Στο Σχήμα 3-11, φαίνεται παράδειγμα γραμμικού διαγράμματος ορατότητας στην περιοχή της κυρτής καμπύλης, το οποίο απεικονίζει το διατιθέμενο ΜΟΠ σε κάθε θέση της οδού που εξετάζεται. Με μπλε χρώμα φαίνεται η διατιθέμενη ορατότητα κατά την εφαρμογή της κυρτής καμπύλης, τα όρια της οποίας απεικονίζονται με μαύρη διακεκομμένη γραμμή. Αντίστοιχα, με πράσινο χρώμα φαίνεται το ελάχιστο απαιτούμενο ΜΟΠ, το οποίο με βάση τις Γερμανικές οδηγίες σχεδιασμού υπεραστικών οδών RAL 2012, ελήφθη ίσο με 600 m. Όπως παρατηρείται, το διάγραμμα ορατότητας τέμνεται σε δύο σημεία με το απαιτούμενο ΜΟΠ, τα σημεία A και B. Εξετάζοντας πιο λεπτομερώς το Σχήμα 3-11, είναι φανερό ότι ανεπάρκεια ορατότητας υφίσταται στην περιοχή όπου η πράσινη γραμμή βρίσκεται πάνω από τη μπλε, δηλαδή μεταξύ των θέσεων A και B.

Επομένως, στόχος του αλγόριθμου είναι ο προσδιορισμός των σημείων Α και Β, για όλες τις προς εξέταση περιπτώσεις.



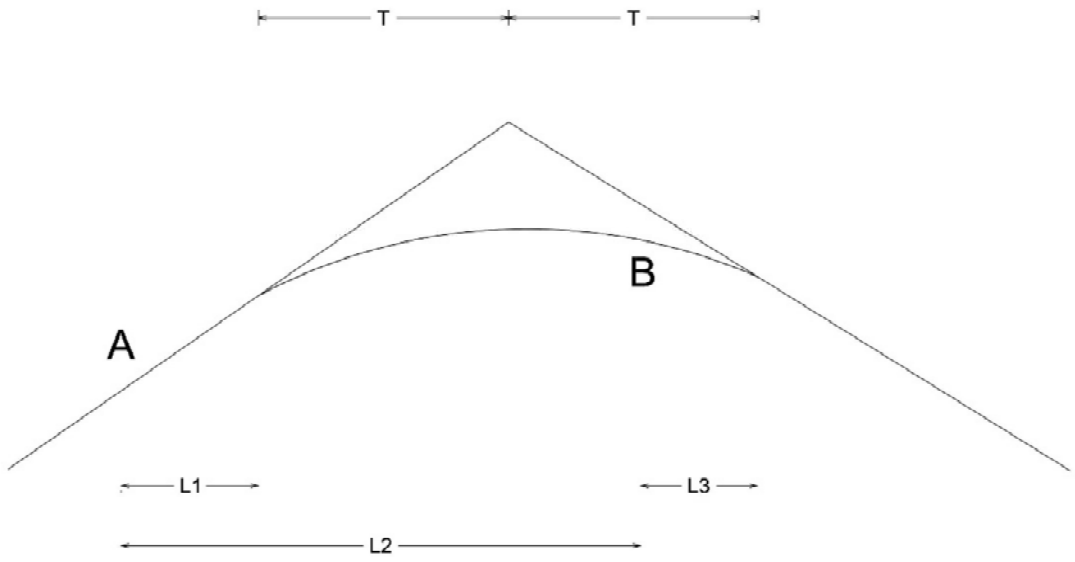
Σχήμα 3-11: Διάγραμμα ορατότητας στην περιοχή της κυρτής καμπύλης

Η διερεύνηση, σχεδόν για όλες τις περιπτώσεις, έδειξε ότι ανεπάρκεια ΜΟΠ, δηλαδή διατιθέμενο ΜΟΠ<600 m, υφίσταται σε περιοχή, η οποία αρχίζει πριν την κατακόρυφη καμπύλη και περατώνεται εντός αυτής.

Απώτερος σκοπός αυτής της μελέτης είναι ο υπολογισμός τριών μηκών, του L_1, L_2, L_3 (Σχήμα 3-12), τα οποία καθορίζουν την περιοχή, σε σχέση με την κυρτή καμπύλη, στην οποία το ΜΟΠ είναι μικρότερο του απαιτούμενου. Το L_2 είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων Α και Β, δηλαδή το διάστημα στο οποίο υπάρχει ανεπάρκεια ορατότητας. Επιπλέον, L_1 είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου Α από την αρχή της κυρτής καμπύλης και L_3 είναι η απόσταση του σημείου Β από το πέρας της κυρτής καμπύλης.

Μεταξύ των σημείων L_1, L_2, L_3 ισχύει η σχέση,

$$L_2 = 2T - L_3 + L_1$$



Σχήμα 3-12: Αποτύπωση μηκών L_1, L_2 και L_3

3.5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Σε αυτό το εδάφιο παρατίθενται συνοπτικά ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε, αναλυτική περιγραφή του οποίου υπάρχει στο Παράρτημα Α.

Ο αλγόριθμος υλοποιήθηκε με τη χρήση του MS Excel και της Visual Basic (VBA). Βασίζεται στον υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ της οπτικής ακτίνας οδηγού – εμποδίου και της προβολής της στην ερυθρά της οδού. Εισάγονται ως δεδομένα, οι κατά μήκος κλίσεις s_1 και s_2, η παράμετρος της κυρτής καμπύλης Η, καθώς και η χιλιομετρική θέση και το υψόμετρο της σημαίας της μηκοτομής. Επίσης, προκαθορίζεται πλάτος οδού, ύψος οφθαλμών και ύψος εμποδίου.

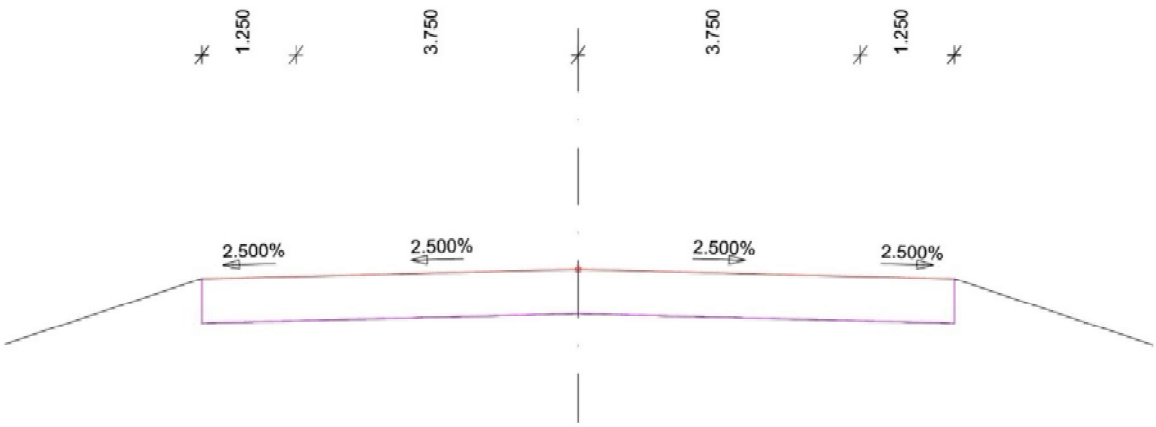
Ο χρήστης προεπιλέγει ένα διάστημα χιλιομετρικών θέσεων, για καθένα από τα σημεία Α και Β, καθώς και ένα βήμα υπολογισμών (ακρίβειας), το οποίο στην παρούσα εργασία έχει τεθεί 1 m. Αυτό το διάστημα αντιστοιχεί στη χιλιομετρική θέση του οδηγού, ενώ η χιλιομετρική θέση του εμποδίου υπολογίζεται ως η χιλιομετρική θέση του οδηγού συν το απαιτούμενο ΜΟΠ, σύμφωνα με τις εκάστοτε οδηγίες. Ο αλγόριθμος εκτελεί επαναλήψεις μέσα στο διάστημα που δόθηκε και βρίσκει το σημείο που ζητήθηκε. Για το σημείο που βρέθηκε, ισχύει ότι η υψομετρική διαφορά της ερυθράς και της ευθείας οφθαλμών εμποδίου είναι οριακά μεγαλύτερη από το μηδέν, ώστε να έχει επαρκή ορατότητα ο οδηγός. Επιπλέον, προσθέτοντας το βήμα υπολογισμών στην παραπάνω χιλιομετρική θέση του οδηγού και του εμποδίου, ισχύει

ότι η υψομετρική διαφορά της ευθείας οφθαλμών εμποδίου με την ερυθρά, είναι μικρότερη ή ίση του μηδέν, ώστε ο οδηγός να μην έχει επαρκή ορατότητα. Με τη συνθήκη αυτή, εξασφαλίζεται ότι δεν υπάρχει άλλη θέση με μικρότερη υψομετρική διαφορά από αυτή που προέκυψε.

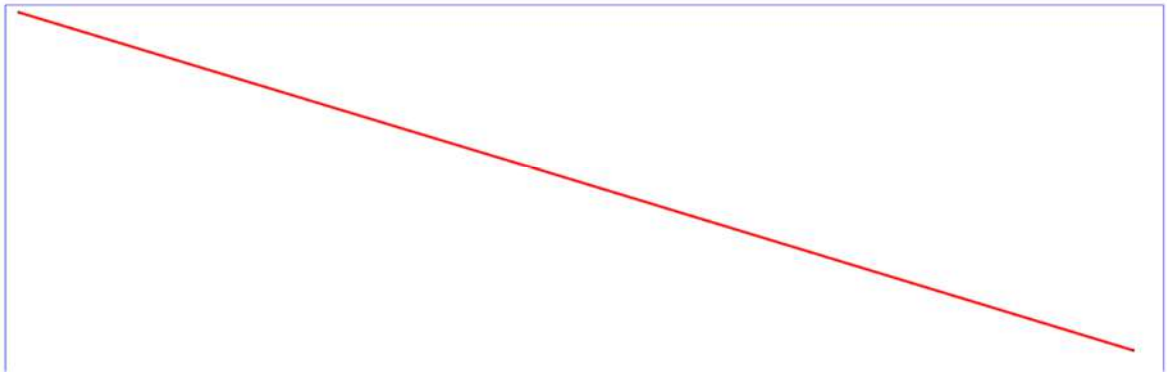
Με τη χρήση μακροεντολής, ο αλγόριθμος εκτελείται επαναλαμβανόμενα, από όπου προκύπτει η θέση των σημείων Α και Β. Στη συνέχεια τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε πίνακες και διαγράμματα.

Για όλες τις περιπτώσεις, χρησιμοποιήθηκε η ίδια οδός, μήκους 5440 m. Η σημαία της κυρτής καμπύλης εφαρμόστηκε στη μέση της απόστασης της οδού Χ.Θ. 2+720 m. Ο σχεδιασμός της οδού έγινε με τη χρήση του προγράμματος FM17.

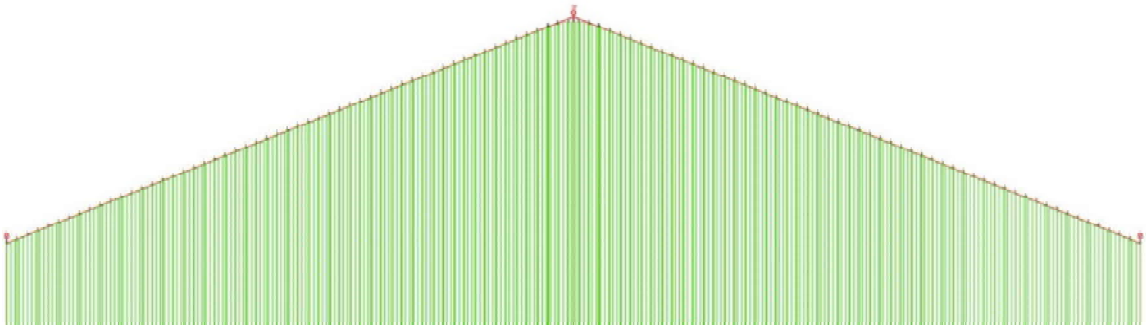
Στο Σχήμα 3-13 φαίνεται η διατομή που χρησιμοποιήθηκε για της εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, παράδειγμα του συνδυασμού οριζοντιογραφίας – μηκοτομής, για κατά μήκος κλίσεις s_1 και s_2, 4% και -4% αντίστοιχα και H = 3000 m, φαίνεται στο Σχήμα 3-14 και Σχήμα 3-15.



Σχήμα 3-13: Διατομή οδού



Σχήμα 3-14: Οριζοντιογραφία οδού



Σχήμα 3-15: Μηκοτομή οδού

3.6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ RAL 2012

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, η επάρκεια ΜΟΠ θα γίνει με βάση τις Γερμανικές οδηγίες, λόγω της πρόσφατης και πιο ολοκληρωμένης έκδοσης τους.

Στις Γερμανικές οδηγίες ορίζονται τέσσερις κλάσεις μελέτης EKL1, EKL2, EKL3, EKL4 με ταχύτητες μελέτης 110 km/h, 100 km/h, 90 km/h και 70 km/h αντίστοιχα. Στην κλάση μελέτης EKL1, στις περιπτώσεις όπου προβλέπεται διατομή ενιαίου οδοστρώματος, για τη διαδικασία προσπέρασης εφαρμόζεται πρόσθετη λωρίδα. Επομένως δεν είναι δυνατή η προσπέραση με χρήση της αντίθετης λωρίδας κατεύθυνσης και άρα η κλάση EKL1 δεν θα εξεταστεί στην παρούσα έρευνα. Για τις άλλες τρεις κλάσεις μελέτης επιτρέπεται, έστω και υπό προϋποθέσεις, η προσπέραση με χρήση αντίθετης λωρίδας και οπότε θα παρουσιαστούν αποτελέσματα για αυτές, με χρήση και των δύο μοντέλων που αναλύθηκαν προηγουμένως.

Για τις τρεις αυτές ταχύτητες θα παρουσιαστούν και για τις δύο κατευθύνσεις της οδού, με τη μορφή γραφήματος, τα διαστήματα κοντά στην περιοχή της κυρτής καμπύλης, στα οποία απαγορεύεται η προσπέραση.

3.6.1. EKL2 – 100 km/h

Στην κλάση μελέτης EKL2 με ταχύτητα μελέτης 100 km/h, υπάρχουν περιπτώσεις που οι δύο λωρίδες κατεύθυνσης χωρίζονται με διπλή διακεκομμένη γραμμή, οπότε επιτρέπεται η προσπέραση με χρήση της αντίθετης λωρίδας. Με βάση τις RAL, ορίζεται ως μέγιστη κατά μήκος κλίση 5,5 %, ελάχιστη ακτίνα κυρτής καμπύλης 6000 m και ελάχιστο μήκος εφαπτομένης 85 m.

Το μέγιστο αλγεβρικό άθροισμα κατά μήκος κλίσεων είναι Δs = |5,50-(-5,50)|% = 11,00 %. Θα εξεταστούν περιπτώσεις μέχρι Δs = 2,00 %.

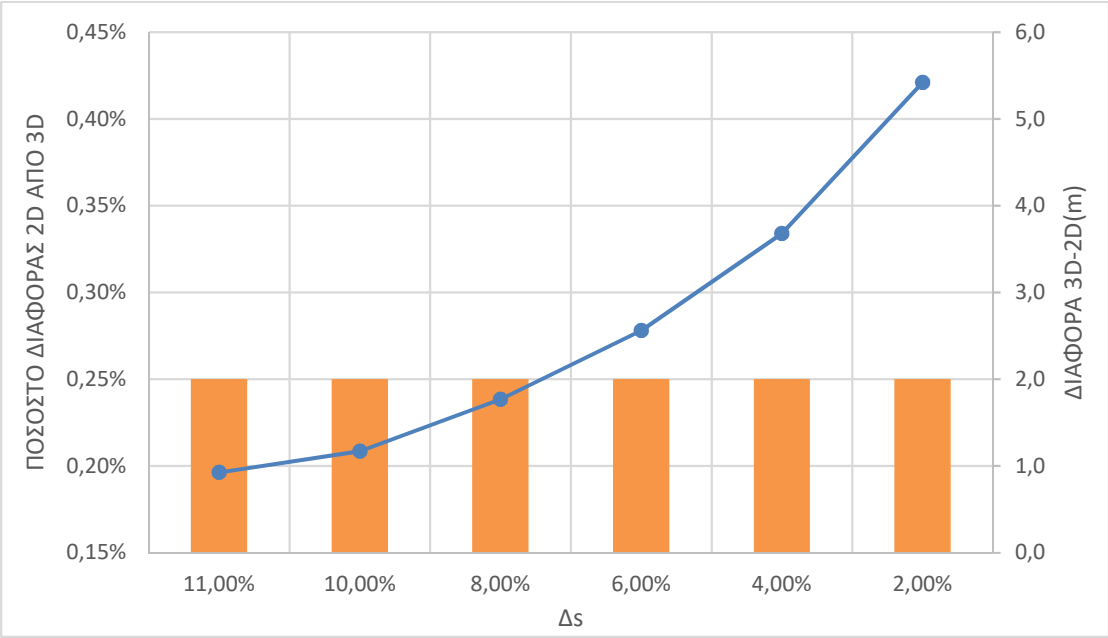
Στον Πίνακας 3.1 παρουσιάζονται, για κάθε περίπτωση, η ακτίνα H_K, οι κατά μήκος κλίσεις s_1 και s_2 με τις οποίες εκτελέστηκαν οι δοκιμές, το Δs και το μήκος της εφαπτόμενης T. Επιπλέον, αναγράφονται η αρχή και το τέλος της κυρτής καμπύλης και τα σημεία A και B από το τρισδιάστατο και το δισδιάστατο μοντέλο, τα οποία θα παρουσιάζονται και στο γράφημα.

EKL2 - 100 km/h							
ΚΥΡΤΗ ΚΑΜΠΥΛΗ	Hk	6000	6000	6000	6000	6000	8500
	s1	5.50%	5.50%	5.50%	5.50%	2.50%	1.00%
	s2	-5.50%	-4.50%	-2.50%	-0.50%	-1.50%	-1.00%
	Δs	11.00%	10.00%	8.00%	6.00%	4.00%	2.00%
	T	330	300	240	180	120	85
	ΑΡΧΗ	2390	2420	2480	2540	2600	2635
	ΤΕΛΟΣ	3050	3020	2960	2900	2840	2805
	ΜΗΚΟΣ	660	600	480	360	240	170
ΜΟΝΤΕΛΟ 3D	A	1910	1940	2000	2060	2120	2182
	B	2929	2899	2839	2779	2719	2657
	ΔΙΑΦΟΡΑ	1019	959	839	719	599	475
ΜΟΝΤΕΛΟ 2D	A	1911	1941	2001	2061	2121	2183
	B	2928	2898	2838	2778	2718	2656
	ΔΙΑΦΟΡΑ	1017	957	837	717	597	473

Πίνακας 3.1: Χιλιομετρικές θέσεις σημείων A και B για κλάση μελέτης EKL2

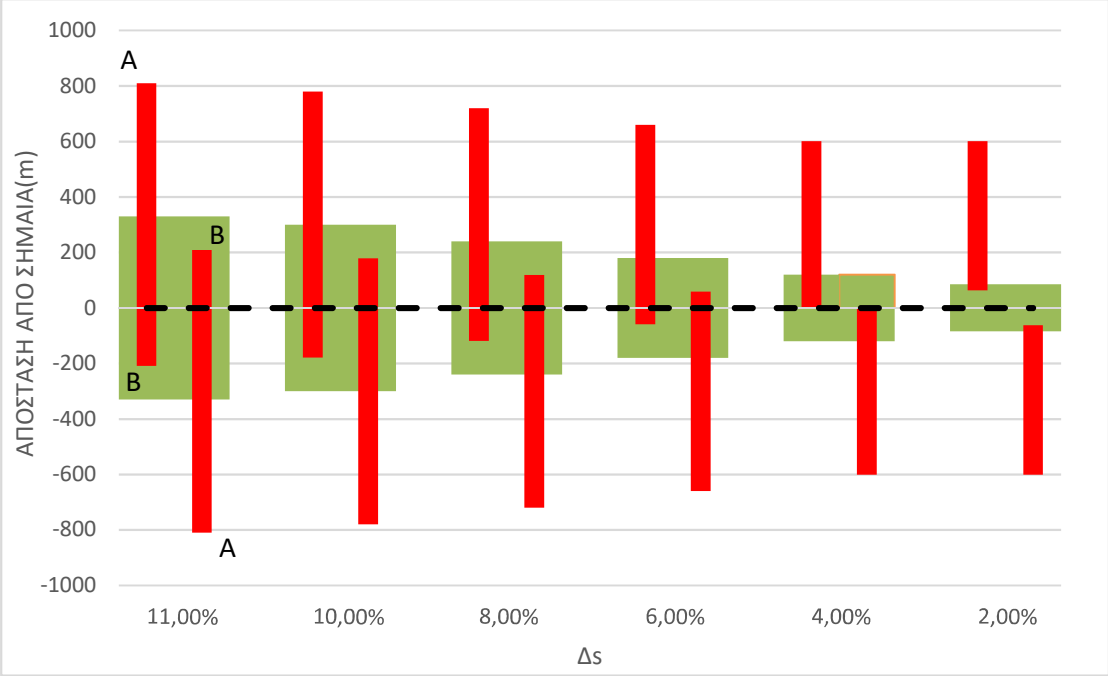
Στην περίπτωση του Δs = 2%, χρησιμοποιήθηκε H_K = 8500 m, ώστε να εξασφαλίζεται και η συνθήκη του T, το οποίο πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο των 85 m.

Από τα δύο μοντέλα, επιλέχθηκε ως καταλληλότερο το τρισδιάστατο, καθώς αν και προκύπτουν σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα το τρισδιάστατο είναι πιο δυσμενές (+2m). Στο Σχήμα 3-16, παρουσιάζεται με πορτοκαλί χρώμα η διαφορά μεταξύ τρισδιάστατου και δισδιάστατου μοντέλου ως προς το μήκος της περιοχής με ανεπάρκεια ορατότητας (Χ.Θ. Β – Χ.Θ. Α). Με μπλε γραμμή απεικονίζεται το ποσοστό της διαφοράς αυτής ως προς το τρισδιάστατο μοντέλο ($\frac{3D-2D}{3D}$%).



Σχήμα 3-16: Διαφορά τρισδιάστατης θεώρησης από δισδιάστατη για κλάση μελέτης EKL2

Επομένως, τα αποτελέσματα του τρισδιάστατου μοντέλου είναι αυτά που θα επεξεργαστούν περαιτέρω σε διάγραμμα. Στο Σχήμα 3-17 απεικονίζονται οι περιοχές με ανεπάρκεια ΜΟΠ ως προς τη θέση του σημείου αλλαγής κλίσης στη μηκοτομή (σημαία), για όλες τις περιπτώσεις Δs που εξετάστηκαν, με βάση τις οριακές τιμές της κλάσης EKL2. Συγκεκριμένα, με πράσινο χρώμα απεικονίζεται το εύρος της κυρτής καμπύλης, με κόκκινο χρώμα το διάστημα που απαγορεύεται η προσπέραση (ανεπάρκεια ΜΟΠ), για κάθε μία από τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας και με μαύρη διακεκομμένη γραμμή η θέση της σημαίας.



Σχήμα 3-17: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης EKL2

Για παράδειγμα, στην περίπτωση με Δs = 11%, φαίνονται με κόκκινο χρώμα οι περιοχές με ανεπάρκεια ΜΟΠ (η δεξιά γραμμή αντιστοιχεί στη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας και η αριστερή αντίστοιχα στην αντίθετη κατεύθυνση). Παρατηρήθηκε ότι σε όλες τις περιπτώσεις η θέση της σημαίας αποτελεί άξονα συμμετρίας για τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας. Με βάση την αναπαράσταση αυτή, ο εντοπισμός περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ είναι πιο εποπτικός. Για τη μόνη τιμή Δs που, εντός της κυρτής καμπύλης, επιτρέπεται η προσπέραση ταυτόχρονα και στις δύο κατευθύνσεις, είναι αυτή με Δs = 2%. Δηλαδή, μπορεί να ισχύει s_1 = 1% και s_2 = -1%, s_1 = -1% και s_2 = -3%, κλπ.

3.6.2. EKL3 – 90 km/h

Στην κλάση μελέτης EKL3 με ταχύτητα μελέτης 90 km/h, οι δύο λωρίδες κυκλοφορίας διαχωρίζονται μέσω οριζόντιας διαχωριστικής σήμανσης κατευθύνσεων και είναι δυνατή η προσπέραση με χρήση της αντίθετης λωρίδας. Ορίζεται ως μέγιστη κατά μήκος κλίση 6,5 %, ελάχιστη ακτίνα κυρτής καμπύλης 5000 m και ελάχιστο μήκος εφαπτομένης 70 m. Το μέγιστο αλγεβρικό άθροισμα κατά μήκος κλίσεων είναι Δs = |6,50-(-6,50)|% = 13,00 %. Θα εξεταστούν περιπτώσεις για τιμές Δs μέχρι 2,00 %.

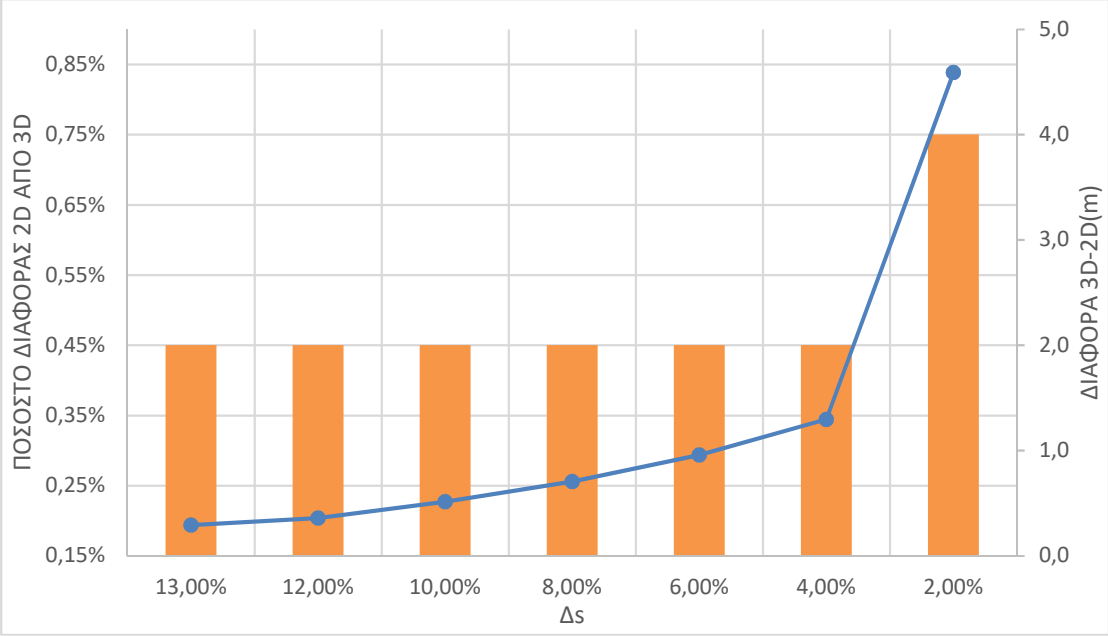
Στον Πίνακας 3.2 παρουσιάζονται, για κάθε περίπτωση, η ακτίνα H_K, οι κατά μήκος κλίσεις s_1 και s_2 με τις οποίες εκτελέστηκαν οι δοκιμές, το Δs και το μήκος της εφαπτόμενης Τ. Επιπλέον, αναγράφονται η αρχή και το τέλος της κυρτής καμπύλης και τα σημεία Α και Β από το τρισδιάστατο και το δισδιάστατο μοντέλο, τα οποία θα παρουσιάζονται και στο γράφημα.

Στην περίπτωση του Δs = 2%, χρησιμοποιήθηκε H_K = 7000 m, ώστε να εξασφαλίζεται και η συνθήκη του Τ, το οποίο πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο των 70 m.

EKL3 - 90 km/h								
	Hk	5000	5000	5000	5000	5000	5000	7000
	s1	6.50%	6.50%	6.50%	6.50%	2.50%	2.50%	1.00%
	s2	-6.50%	-5.50%	-3.50%	-1.50%	-3.50%	-1.50%	-1.00%
	|s1-s2|	13.00%	12.00%	10.00%	8.00%	6.00%	4.00%	2.00%
	T	325	300	250	200	150	100	70
ΚΥΡΤΗ ΚΑΜΠΥΛΗ	ΑΡΧΗ	2395	2420	2470	2520	2570	2620	2650
	ΤΕΛΟΣ	3045	3020	2970	2920	2870	2820	2790
	ΜΗΚΟΣ	650	600	500	400	300	200	140
ΜΟΝΤΕΛΟ 3D	Α	1904	1929	1979	2029	2079	2129	2181
	Β	2935	2910	2860	2810	2760	2710	2658
	ΔΙΑΦΟΡΑ	1031	981	881	781	681	581	477
ΜΟΝΤΕΛΟ 2D	Α	1905	1930	1980	2030	2080	2130	2183
	Β	2934	2909	2859	2809	2759	2709	2656
	ΔΙΑΦΟΡΑ	1029	979	879	779	679	579	473

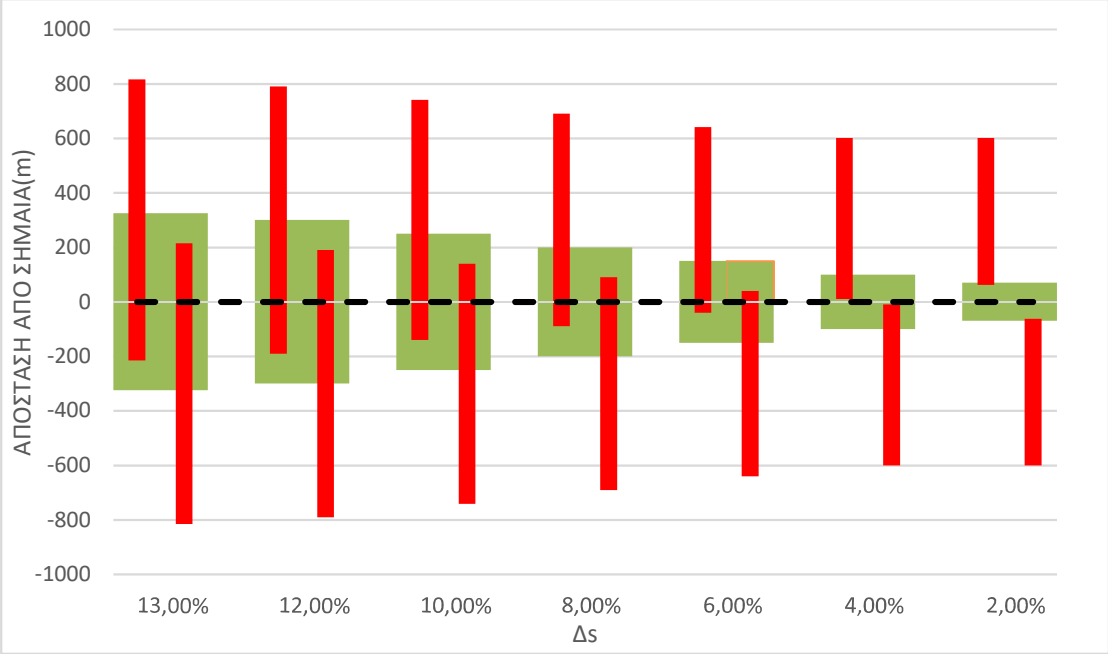
Πίνακας 3.2: Χιλιομετρικές θέσεις σημείων Α και Β για κλάση μελέτης EKL3

Και σε αυτή την κλάση, από τα δύο μοντέλα, επιλέχθηκε ως καταλληλότερο το τρισδιάστατο, καθώς αν και προκύπτουν σχεδόν τα ίδια αποτελέσματα το τρισδιάστατο είναι πιο δυσμενές (+4m). Στο Σχήμα 3-18, παρουσιάζεται με πορτοκαλί χρώμα η διαφορά μεταξύ τρισδιάστατου και δισδιάστατου μοντέλου ως προς το μήκος της περιοχής με ανεπάρκεια ορατότητας (Χ.Θ. Β – Χ.Θ. Α). Με μπλε γραμμή απεικονίζεται το ποσοστό της διαφοράς αυτής ως προς το τρισδιάστατο μοντέλο ($\frac{3D-2D}{3D}$%).



Σχήμα 3-18: Διαφορά τρισδιάστατης θεώρησης από δισδιάστατη για κλάση μελέτης EKL3

Επομένως, τα αποτελέσματα του τρισδιάστατου μοντέλου είναι αυτά που θα επεξεργαστούν περαιτέρω σε διάγραμμα. Στο Σχήμα 3-19 απεικονίζονται οι περιοχές με ανεπάρκεια ΜΟΠ ως προς τη θέση του σημείου αλλαγής κλίσης στη μηκοτομή (σημαία), για όλες τις περιπτώσεις Δs που εξετάστηκαν, με βάση τις οριακές τιμές της κλάσης EKL3. Συγκεκριμένα, με πράσινο χρώμα απεικονίζεται το εύρος της κυρτής καμπύλης, με κόκκινο χρώμα το διάστημα που απαγορεύεται η προσπέραση (ανεπάρκεια ΜΟΠ), για κάθε μία από τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας και με μαύρη διακεκομμένη γραμμή η θέση της σημαίας.



Σχήμα 3-19: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης EKL3

Το διάγραμμα είναι δομημένο όπως και της κλάσης EKL2, οπότε δεν αναλύεται περαιτέρω.

3.6.3. EKL4 – 70 km/h

Στην κλάση μελέτης EKL4 με ταχύτητα μελέτης 70 km/h, οι δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας δεν διαχωρίζονται με διαγράμμιση και επομένως η προσπέραση είναι εφικτή, αλλά πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή . Ορίζεται ως μέγιστη κατά μήκος κλίση 8,0 %, ελάχιστη ακτίνα κυρτής καμπύλης 3000 m και ελάχιστο μήκος εφαπτομένης 55 m.

Το μέγιστο αλγεβρικό άθροισμα κατά μήκος κλίσεων είναι Δs = |5,50-(-5,50)|% = 11,00 %. Θα εξεταστούν περιπτώσεις μέχρι Δs = 2,00 %.

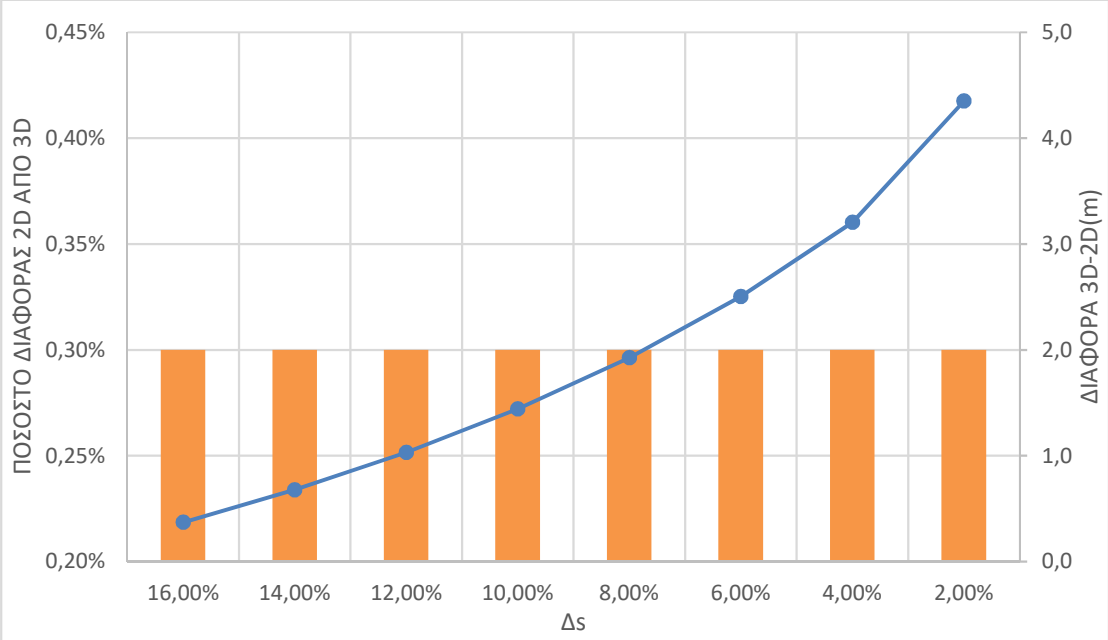
Στον Πίνακας 3.3 παρουσιάζονται, για κάθε περίπτωση, η ακτίνα H_K, οι κατά μήκος κλίσεις s_1 και s_2 με τις οποίες εκτελέστηκαν οι δοκιμές, το Δs και το μήκος της εφαπτόμενης T. Επιπλέον, αναγράφονται η αρχή και το τέλος της κυρτής καμπύλης και τα σημεία A και B από το τρισδιάστατο και το δισδιάστατο μοντέλο, τα οποία θα παρουσιάζονται και στο γράφημα.

EKL4 - 70 km/h									
	Hk	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	5500
	s1	8.00%	8.00%	8.00%	8.00%	8.00%	4.00%	2.00%	1.00%
	s2	-8.00%	-6.00%	-4.00%	-2.00%	0.00%	-2.00%	-2.00%	-1.00%
	|s1-s2|	16.00%	14.00%	12.00%	10.00%	8.00%	6.00%	4.00%	2.00%
	T	240	210	180	150	120	90	60	55
ΚΥΡΤΗ ΚΑΜΠΥΛΗ	ΑΡΧΗ	2480	2510	2540	2570	2600	2630	2660	2665
	ΤΕΛΟΣ	2960	2930	2900	2870	2840	2810	2780	2775
	ΜΗΚΟΣ	480	420	360	300	240	180	120	110
ΜΟΝΤΕΛΟ 3D	A	1962	1992	2022	2052	2082	2112	2142	2180
	B	2877	2847	2817	2787	2757	2727	2697	2659
	ΔΙΑΦΟΡΑ	915	855	795	735	675	615	555	479
ΜΟΝΤΕΛΟ 2D	A	1963	1993	2023	2053	2083	2113	2143	2181
	B	2876	2846	2816	2786	2756	2726	2696	2658
	ΔΙΑΦΟΡΑ	913	853	793	733	673	613	553	477

Πίνακας 3.3: Χιλιομετρικές θέσεις σημείων Α και Β για κλάση μελέτης EKL4

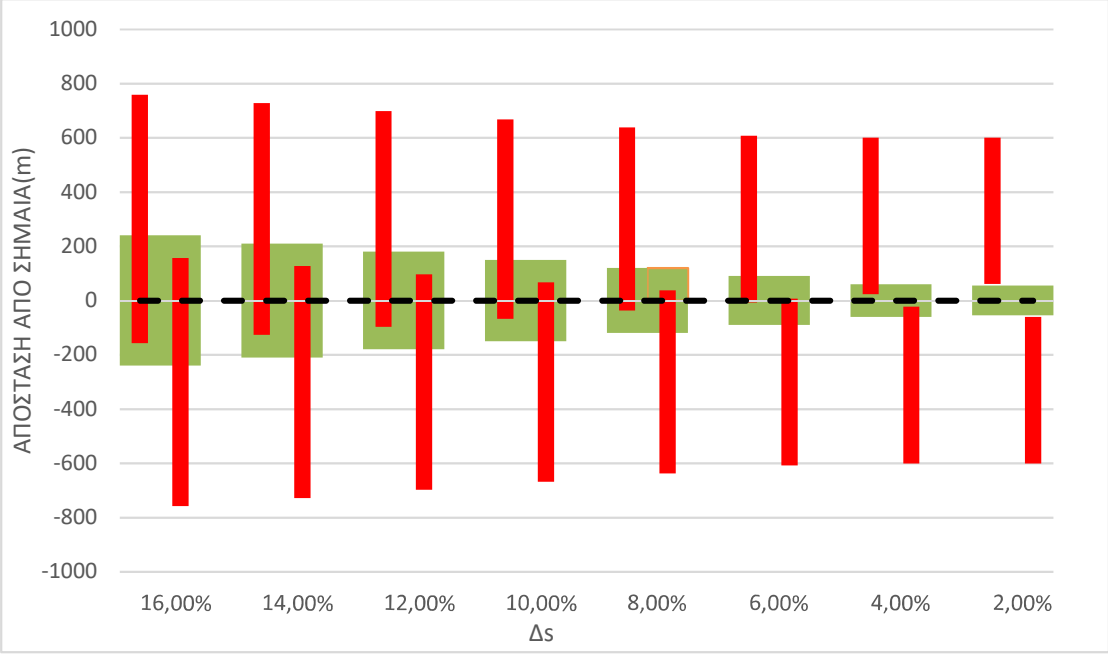
Στην περίπτωση του Δs = 2%, χρησιμοποιήθηκε H_K = 5500 m, ώστε να εξασφαλίζεται και η συνθήκη του T, το οποίο πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο των 55 m.

Και σε αυτή την κλάση μελέτης, επειδή δεν διαχωρίζονται ξεκάθαρα οι δύο κατευθύνσεις, θα ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί το δισδιάστατο μοντέλο, ώστε να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα. Ωστόσο, τα δύο μοντέλα παρουσιάζουν απόκλιση μεταξύ τους της τάξης των 2 m, η οποία είναι αμελητέα. Εκτός αυτού, και για την ευκολότερη σύγκριση με άλλες κλάσεις μελέτης, θα εφαρμοστεί το τρισδιάστατο μοντέλο. Στο Σχήμα 3-20, παρουσιάζεται με πορτοκαλί χρώμα η διαφορά μεταξύ τρισδιάστατου και δισδιάστατου μοντέλου ως προς το μήκος της περιοχής με ανεπάρκεια ορατότητας (Χ.Θ. Β – Χ.Θ. Α). Με μπλε γραμμή απεικονίζεται το ποσοστό της διαφοράς αυτής ως προς το τρισδιάστατο μοντέλο ($\frac{3D-2D}{3D}$ %).



Σχήμα 3-20: Διαφορά τρισδιάστατης θεώρησης από δισδιάστατη για κλάση μελέτης EKL4

Επομένως, τα αποτελέσματα του τρισδιάστατου μοντέλου είναι αυτά που θα αναπαρασταθούν στο διάγραμμα (Σχήμα 3-21). Επομένως, τα αποτελέσματα του τρισδιάστατου μοντέλου είναι αυτά που θα επεξεργαστούν περαιτέρω σε διάγραμμα. Στο Σχήμα 3-17 απεικονίζονται οι περιοχές με ανεπάρκεια ΜΟΠ ως προς τη θέση του σημείου αλλαγής κλίσης στη μηκοτομή (σημαία), για όλες τις περιπτώσεις Δs που εξετάστηκαν, με βάση τις οριακές τιμές της κλάσης EKL2. Συγκεκριμένα, με πράσινο χρώμα απεικονίζεται το εύρος της κυρτής καμπύλης, με κόκκινο χρώμα το διάστημα που απαγορεύεται η προσπέραση (ανεπάρκεια ΜΟΠ), για κάθε μία από τις δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας και με μαύρη διακεκομμένη γραμμή η θέση της σημαίας.



Σχήμα 3-21: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης EKL4

3.6.4. ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Στα προηγούμενα εδάφια, παρουσιάστηκαν αποτελέσματα για κάθε κλάση μελέτης σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες, χρησιμοποιώντας τις ελάχιστές δυνατές ακτίνες κυρτής καμπύλης H_K. Υπάρχουν, όμως, περιπτώσεις στις οποίες ο μελετητής μηχανικός θέλει να χρησιμοποιήσει μεγαλύτερες ακτίνες H_K. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται αποτελέσματα για όλους τους δυνατούς συνδυασμούς H_K και Δs, ανεξάρτητα από τις ταχύτητες μελέτης, διότι σε όλες ορίζεται ως ελάχιστο διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση τα 600 m.

Η ελάχιστη ακτίνα H_K, στις Γερμανικές οδηγίες, ορίζεται ίση με 3000 m και μέγιστη κατά μήκος κλίση 8%, άρα μέγιστο Δs = 16%. Επομένως, οι ακτίνες H_K που θα εξεταστούν κυμαίνονται από 3000 m έως μία εφαρμόσιμη ακτίνα των 20000 m και Δs από 16% έως 2%.

Στον Πίνακας 3.4 φαίνονται τα σημεία Α και Β για κάθε διαφορετικό συνδυασμό H_K και Δs. Οι τέσσερις πρώτες ακτίνες που ελέγχθηκαν, είναι σύμφωνα με τις ελάχιστες ακτίνες που ορίζονται στις Γερμανικές οδηγίες, για κάθε μία από τις τέσσερις κλάσεις μελέτης αντίστοιχα. Στον Πίνακα, επίσης, παρουσιάζονται τα μήκη εφαπτόμενων Τ για κάθε συνδυασμό. Παρατηρείται ότι για Δs = 2%, τα Τ που αντιστοιχούν στις τέσσερις

πρώτες ακτίνες H_K είναι μικρότερα των ελάχιστων μηκών, 55 m, 70 m, 85 m και 100 m αντίστοιχα και επομένως σημειώνονται με κόκκινο χρώμα.

Δs	H	3000	5000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	T	240	400	480	640	800	960	1120	1280	1440	1600
	A	1962	1829	1760	1622	1481	1340	1197	1054	911	768
	B	2877	3010	3079	3217	3358	3499	3642	3785	3928	4071
14%	T	210	350	420	560	700	840	980	1120	1260	1400
	A	1992	1879	1820	1702	1581	1460	1337	1214	1091	968
	B	2847	2960	3019	3137	3258	3379	3502	3625	3748	3871
12%	T	180	300	360	480	600	720	840	960	1080	1200
	A	2022	1929	1880	1782	1681	1580	1477	1374	1271	1168
	B	2817	2910	2959	3057	3158	3259	3362	3465	3568	3671
10%	T	150	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
	A	2052	1979	1940	1862	1781	1700	1617	1534	1451	1368
	B	2787	2860	2899	2977	3058	3139	3222	3305	3388	3471
8%	T	120	200	240	320	400	480	560	640	720	800
	A	2082	2029	2000	1942	1881	1820	1757	1694	1631	1568
	B	2757	2810	2839	2897	2958	3019	3082	3145	3208	3271
6%	T	90	150	180	240	300	360	420	480	540	600
	A	2112	2079	2060	2022	1981	1940	1897	1854	1811	1768
	B	2727	2760	2779	2817	2858	2899	2942	2985	3028	3071
4%	T	60	100	120	160	200	240	280	320	360	400
	A	2142	2129	2120	2102	2081	2060	2037	2014	1991	1968
	B	2697	2710	2719	2737	2758	2779	2802	2825	2848	2871
2%	T	30	50	60	80	100	120	140	160	180	200
	A	2177	2179	2180	2182	2181	2180	2177	2174	2171	2168
	B	2662	2660	2659	2657	2658	2659	2662	2665	2668	2671

Πίνακας 3.4: Σημεία Α και Β σύμφωνα με τις Γερμανικές Οδηγίες

Έπειτα, υπολογίζονται τα μήκη L_1, L_2 και L_3.

Το L_1 όπως έχει ήδη αναφερθεί αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ της αρχής της περιοχής με ανεπάρκεια ΜΟΠ (σημείο Α) και της αρχής της κυρτής καμπύλης (Πίνακας 3.5).

Δs\H	3000	5000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	518	491	480	458	439	420	403	386	369	352
14%	518	491	480	458	439	420	403	386	369	352
12%	518	491	480	458	439	420	403	386	369	352
10%	518	491	480	458	439	420	403	386	369	352
8%	518	491	480	458	439	420	403	386	369	352
6%	518	491	480	458	439	420	403	386	369	352
4%	518	491	480	458	439	420	403	386	369	352
2%	513	491	480	458	439	420	403	386	369	352

Πίνακας 3.5: Μήκος L_1 σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες

Όπως φαίνεται, το L_1 είναι ανεξάρτητο της μεταβολής του Δs και εξαρτάται μόνο από την ακτίνα H. Βέβαια, υπάρχει μία διαφοροποίηση της τιμής L_1 για H=3000 m και Δs=2%, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι το σημείο B βρίσκεται πριν την κυρτή καμπύλη. Δηλαδή η περιοχή με ανεπάρκεια ορατότητας βρίσκεται πριν την αρχή της κυρτής καμπύλης και για τις δύο κατευθύνσεις. Άρα ο προσδιορισμός της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ της ευθείας οφθαλμών οδηγού-εμποδίου και οδοστρώματος, υπόκεινται στην περίπτωση 3, η οποία εξαρτάται από την εφαπτόμενη T, άρα και από το Δs.

Το L_3 παρουσιάζει ίδια συμπεριφορά με το L_1, για τους ίδιους ακριβώς λόγους (Πίνακας 3.6). Και σε αυτή την περίπτωση ισχύει η ίδια αιτιολόγηση στην περιοχή για H=3000 m και Δs=2%.

Δs\H	3000	5000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	83	110	121	143	162	181	198	215	232	249
14%	83	110	121	143	162	181	198	215	232	249
12%	83	110	121	143	162	181	198	215	232	249
10%	83	110	121	143	162	181	198	215	232	249
8%	83	110	121	143	162	181	198	215	232	249
6%	83	110	121	143	162	181	198	215	232	249
4%	83	110	121	143	162	181	198	215	232	249
2%	88	110	121	143	162	181	198	215	232	249

Πίνακας 3.6: Μήκος L_3 σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες

Το L_2 υπολογίζεται ως η διαφορά του σημείου B από το σημείο A (Πίνακας 3.7).

Δs\H	3000	5000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	915	1181	1319	1595	1877	2159	2445	2731	3017	3303
14%	855	1081	1199	1435	1677	1919	2165	2411	2657	2903
12%	795	981	1079	1275	1477	1679	1885	2091	2297	2503
10%	735	881	959	1115	1277	1439	1605	1771	1937	2103
8%	675	781	839	955	1077	1199	1325	1451	1577	1703
6%	615	681	719	795	877	959	1045	1131	1217	1303
4%	555	581	599	635	677	719	765	811	857	903
2%	485	481	479	475	477	479	485	491	497	503

Πίνακας 3.7: Μήκος L_2 σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία θα κατασκευαστεί διάγραμμα με τη βοήθεια του οποίου, με δεδομένα το Δs και την H_K, θα υπολογίζονται τα L_1 και L_2. Η εύρεση της περιοχής όπου απαγορεύεται η προσπέραση μπορεί να γίνει με την εύρεση δύο από τα τρία μήκη L_1, L_2 και L_3. Θεωρήθηκε πιο χρήσιμη η εύρεση των δύο πρώτων.

Για την κατασκευή του διαγράμματος για Δs = 2% απαιτείται να υπολογιστούν εκ νέου οι ακτίνες κυρτής καμπύλης για τα ελάχιστα μήκη εφαπτόμενων Τ. Όπως έχει αναφερθεί, στην περίπτωση αυτή (Δs = 2%), τα Τ για παραμέτρους κυρτής καμπύλης Η 3000 m, 5000 m, 6000 m και 8000 m αντίστοιχα είναι μικρότερα από τα απαιτούμενα, για την κλάση μελέτης που αντιστοιχούν. Επομένως, στην κλάση EKL4, καθώς T_{min} = 55 m, προκύπτει H_{min} =5500 m. Αντίστοιχα, στην κλάση EKL3 ισχύει T_{min} = 70 m, άρα H_{min}=7000 m και τέλος στην κλάση EKL3 ισχύει T_{min} = 85 m, άρα H_{min}=8500 m, με. Στον Πίνακας 3.8 φαίνεται με έντονο χρώμα, η προσθήκη στα μήκη L_1 και L_2, που επιφέρει η παραπάνω διαδικασία.

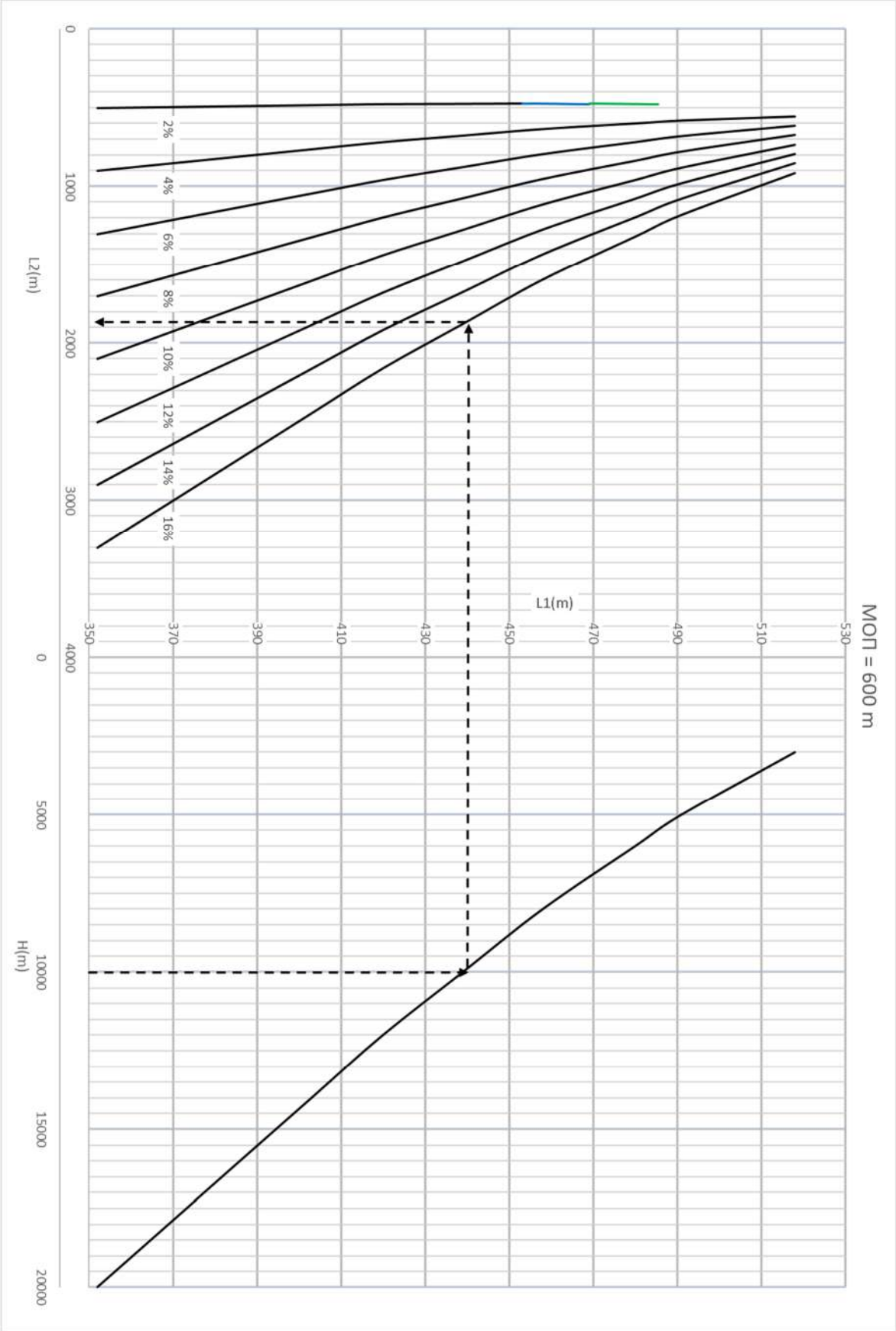
Δs\H		5500	6000	7000	8000	8500	10000	12000	14000	16000	18000	20000
2%	L1	**486**	480	**469**	458	**453**	439	420	403	386	369	352
	L2	**480**	479	**477**	475	**475**	477	479	485	491	497	503

Πίνακας 3.8: Διαφοροποίηση για Δs = 2% σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες

Όπως θα παρουσιαστεί και στη συνέχεια, το διάγραμμα για Δs = 2% θα χωριστεί σε ζώνες, ανάλογα σε ποια κλάση μελέτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Στο Σχήμα 3-22 διακρίνονται δύο διαγράμματα, το δεξί χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του L1 και το αριστερό για τον υπολογισμό του L_2. Με μαύρη διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η πορεία ανάγνωσης του διαγράμματος. Με δεδομένα

τα H_K και Δs, ξεκινώντας από το δεξί διάγραμμα, ο αναγνώστης επιλέγει το H_K στον άξονα, τέμνει την καμπύλη και βρίσκει το L_1. Έπειτα με δεδομένο, πλέον, το L_1 και επιλέγοντας το επιθυμητό Δs, βρίσκει και το L_2. Σημειώνεται ότι η καμπύλη για Δs = 2% χωρίζεται σε τρία τμήματα, με διαφορετικό χρώμα το κάθε ένα. Το τμήμα με πράσινο χρώμα ισχύει μόνο για κλάση μελέτης EKL4 (70 km/h), με μπλε χρώμα επιπλέον και για κλάση μελέτης EKL3 (90 km/h) και με μαύρο χρώμα επιπλέον και για κλάση μελέτης EKL2 (100 km/h). Με γραμμική παρεμβολή ο αναγνώστης μπορεί να βρει τα μήκη L_1 και L_2 για Δs που δεν φαίνεται στο διάγραμμα.



Σχήμα 3-22: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 600 m)

3.7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΟΜΟΕ-Χ 2001

Στις Γερμανικές οδηγίες, ορίζεται απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση τα 600 m, για όλες τις ταχύτητες μελέτης. Στις Ελληνικές οδηγίες, όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, ορίζονται διαφορετικά ΜΟΠ ανάλογα με την ταχύτητα V_{85}. Μέχρι την ταχύτητα των 90 km/h ορίζεται ΜΟΠ μικρότερο από τα 600 m και επομένως προτείνεται να χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα του Σχήμα 3-22. Στις ταχύτητες 100 km/h και 110 km/h, ορίζονται ΜΟΠ 625 m και 675 m, αντίστοιχα. Επομένως, κρίνεται αναγκαία η δημιουργία διαγράμματος για αυτές τις δύο ταχύτητες.

3.7.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ V_{85} = 100 ΚΜ/Η

Για την κατασκευή του διαγράμματος για V_{85} = 100 km/h, με ΜΟΠ 625 m, θα χρησιμοποιηθούν τα χαρακτηριστικά της οδού για ταχύτητα μελέτης V_e = 90 km/h, διότι ισχύει $V_{85} = V_e + 10$.

Επομένως, για V_e = 90 km/h ορίζεται ελάχιστη ακτίνα H_K τα 6200 m, ελάχιστο μήκος εφαπτόμενης T = 90 m και μέγιστη κατά μήκος κλίση 8%, άρα μέγιστο Δs = 16%.

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με το προηγούμενο διάγραμμα, πρώτα υπολογίζονται τα σημεία Α και Β για κάθε διαφορετικό συνδυασμό των H_K και Δs. Οι ακτίνες H_K κυμαίνονται από 6200 m έως 20000 m και το Δs από 2% έως 16%. Στον Πίνακας 3.9 παρουσιάζονται τα σημεία Α και Β, καθώς και τα μήκη των εφαπτόμενων Τ.

Δs	H	6200	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	T	496	640	800	960	1120	1280	1440	1600
	A	1722	1597	1456	1315	1172	1030	886	743
	B	3090	3214	3355	3496	3638	3781	3924	4068
14%	T	434	560	700	840	980	1120	1260	1400
	A	1784	1677	1556	1435	1312	1190	1066	943
	B	3028	3134	3255	3376	3498	3621	3744	3868
12%	T	372	480	600	720	840	960	1080	1200
	A	1846	1757	1656	1555	1452	1350	1246	1143
	B	2966	3054	3155	3256	3358	3461	3564	3668
10%	T	310	400	500	600	700	800	900	1000
	A	1908	1837	1756	1675	1592	1510	1426	1343
	B	2904	2974	3055	3136	3218	3301	3384	3468
8%	T	248	320	400	480	560	640	720	800
	A	1970	1917	1856	1795	1732	1670	1606	1543
	B	2842	2894	2955	3016	3078	3141	3204	3268
6%	T	186	240	300	360	420	480	540	600
	A	2032	1997	1956	1915	1872	1830	1786	1743
	B	2780	2814	2855	2896	2938	2981	3024	3068
4%	T	124	160	200	240	280	320	360	400
	A	2094	2077	2056	2035	2012	1990	1966	1943
	B	2718	2734	2755	2776	2798	2821	2844	2868
2%	T	62	80	100	120	140	160	180	200
	A	2156	2157	2156	2155	2152	2150	2146	2143
	B	2656	2654	2655	2656	2658	2661	2664	2668

Πίνακας 3.9: Σημεία Α και Β σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 625 m

Όπως παρατηρείται για Δs = 2%, για ακτίνες 6200 m και 8000 m, προκύπτουν Τ μικρότερα από το απαιτούμενο που είναι 90 m. Επομένως, τα αποτελέσματα από αυτές τις μετρήσεις δεν θα συμπεριληφθούν στο τελικό διάγραμμα.

Το L_1 αντιστοιχεί στην απόσταση μεταξύ της αρχής της περιοχής με ανεπάρκεια ΜΟΠ (σημείο Α) και της αρχής της κυρτής καμπύλης (Πίνακας 3.10).

Δs\H	6200	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	502	483	464	445	428	410	394	377
14%	502	483	464	445	428	410	394	377
12%	502	483	464	445	428	410	394	377
10%	502	483	464	445	428	410	394	377
8%	502	483	464	445	428	410	394	377
6%	502	483	464	445	428	410	394	377
4%	502	483	464	445	428	410	394	377
2%	502	483	464	445	428	410	394	377

Πίνακας 3.10: Μήκος L_1 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 625 m

Και σε αυτή την περίπτωση, το L_1 είναι ανεξάρτητο από τη μεταβολή του Δs και εξαρτάται μόνο από το H_K.

Έπειτα υπολογίζεται το L_3, το οποίο εμφανίζει ίδιες ιδιότητες με το L_1 (Πίνακας 3.11).

Δs\H	6200	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	126	146	165	184	202	219	236	252
14%	126	146	165	184	202	219	236	252
12%	126	146	165	184	202	219	236	252
10%	126	146	165	184	202	219	236	252
8%	126	146	165	184	202	219	236	252
6%	126	146	165	184	202	219	236	252
4%	126	146	165	184	202	219	236	252
2%	126	146	165	184	202	219	236	252

Πίνακας 3.11: Μήκος L_3 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 625 m

Τέλος, το L_2 υπολογίζεται ως η διαφορά του σημείου Β από το σημείο Α (Πίνακας 3.12).

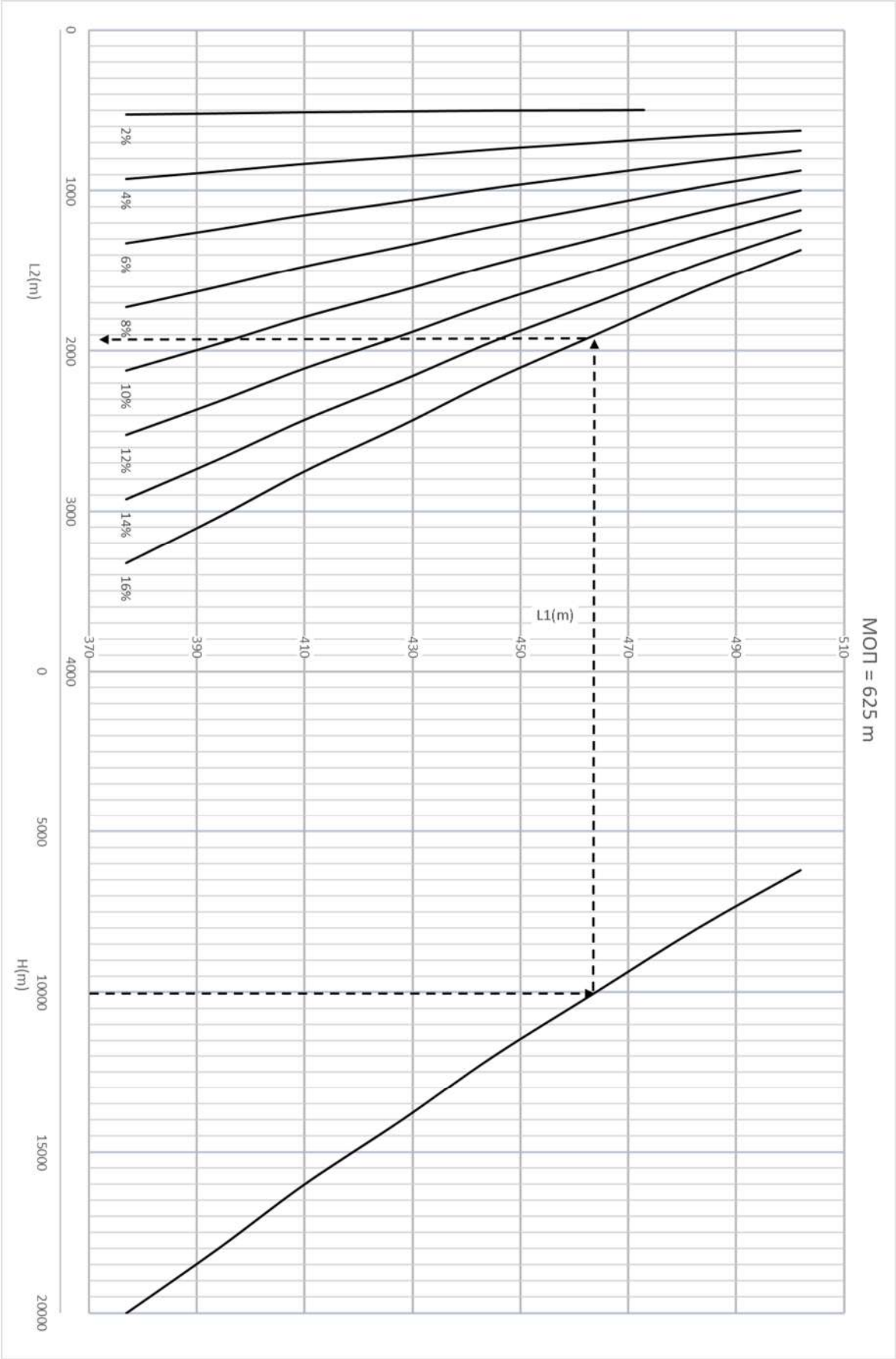
Δs\H	6200	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	1368	1617	1899	2181	2466	2751	3038	3325
14%	1244	1457	1699	1941	2186	2431	2678	2925
12%	1120	1297	1499	1701	1906	2111	2318	2525
10%	996	1137	1299	1461	1626	1791	1958	2125
8%	872	977	1099	1221	1346	1471	1598	1725
6%	748	817	899	981	1066	1151	1238	1325
4%	624	657	699	741	786	831	878	925
2%	500	497	499	501	506	511	518	525

Πίνακας 3.12: Μήκος L_2 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 625 m

Για την περίπτωση του Δs = 2%, απαιτείται να υπολογιστούν εκ νέου οι ακτίνες κυρτής καμπύλης για τα ελάχιστα μήκη εφαπτόμενων Τ. Όπως έχει αναφερθεί, στην περίπτωση αυτή (Δs = 2%), τα Τ για παραμέτρους κυρτής καμπύλης Η 6200 m και 8000 m αντίστοιχα είναι μικρότερα από τα απαιτούμενα. Υπολογίζεται, επομένως, με T_{min} = 90 m, ακτίνα H_{min}=9000 m. Στον Πίνακας 3.13 φαίνεται με έντονο χρώμα, η προσθήκη στα μήκη L_1 και L_2, που επιφέρει η παραπάνω διαδικασία.

Δs\H		9000	10000	12000	14000	16000	18000	20000
2%	L1	**473**	464	445	428	410	394	377
	L2	**497**	499	501	506	511	518	525

Πίνακας 3.13: Διαφοροποίηση περιπτώσης Δs = 2% σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 625 m



Σχήμα 3-23: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 625 m)

Στο Σχήμα 3-23 φαίνεται το διάγραμμα, με τη βοήθεια του οποίου υπολογίζονται τα μήκη L_1 και L_2. Η μαύρη διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η πορεία ανάγνωσης του διαγράμματος. Με δεδομένα τα H_K και Δs, ξεκινώντας από το δεξί διάγραμμα, ο αναγνώστης επιλέγει το H_K στον άξονα, τέμνει την καμπύλη και βρίσκει το L_1. Έπειτα με δεδομένο, πλέον, το L_1 και επιλέγοντας το επιθυμητό Δs, βρίσκει και το L_2. Με γραμμική παρεμβολή ο αναγνώστης μπορεί να βρει τα μήκη L_1 και L_2 για Δs που δεν φαίνεται στο διάγραμμα.

3.7.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ V_{85} = 110 ΚΜ/Η

Για την κατασκευή του διαγράμματος για V85 = 110 km/h, με ΜΟΠ 675 m, θα χρησιμοποιηθούν τα χαρακτηριστικά της οδού για ταχύτητα μελέτης Ve = 100 km/h, διότι ισχύει V85 = Ve + 10.

Επομένως, για Ve = 100 km/h ορίζεται ελάχιστη ακτίνα ΗΚ τα 8500 m, ελάχιστο μήκος εφαπτόμενης Τ τα 100 m και μέγιστη κατά μήκος κλίση 8%, άρα και μέγιστο Δs = 16%.

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία, πρώτα υπολογίζονται τα σημεία Α και Β για κάθε διαφορετικό συνδυασμό των ΗΚ και Δs. Οι ακτίνες ΗΚ κυμαίνονται από 8500 m έως 20000 m και το Δs από 2% έως 16%. Στον Πίνακας 3.14 παρουσιάζονται τα σημεία Α και Β, καθώς και τα μήκη των εφαπτόμενων Τ.

Όπως παρατηρείται στον Πίνακας 3.14, για Δs = 2%, για την ακτίνα 8500 m, προκύπτει Τ μικρότερο από το απαιτούμενο που είναι 100 m και τα αποτελέσματα αυτής της περίπτωσης δεν θα παρουσιαστούν στο διάγραμμα.

Αρχικά, υπολογίζεται το μήκος L1 ως η διαφορά της χιλιομετρικής θέσης της σημαίας μείον το σημείο Α και το Τ (Πίνακας 3.15). Έπειτα το L3 ως η διαφορά της χιλιομετρικής θέσης της σημαίας συν το Τ μείον το σημείο Β (Πίνακας 3.16). Τέλος υπολογίζεται το μήκος L2 ως η διαφορά του σημείου Β από το σημείο Α (Πίνακας 3.17).

Δs	H	8500	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	T	680	800	960	1120	1280	1440	1600
	A	1510	1404	1262	1119	976	832	687
	B	3251	3356	3498	3641	3785	3929	4073
14%	T	595	700	840	980	1120	1260	1400
	A	1595	1504	1382	1259	1136	1012	887
	B	3166	3256	3378	3501	3625	3749	3873
12%	T	510	600	720	840	960	1080	1200
	A	1680	1604	1502	1399	1296	1192	1087
	B	3081	3156	3258	3361	3465	3569	3673
10%	T	425	500	600	700	800	900	1000
	A	1765	1704	1622	1539	1456	1372	1287
	B	2996	3056	3138	3221	3305	3389	3473
8%	T	340	400	480	560	640	720	800
	A	1850	1804	1742	1679	1616	1552	1487
	B	2911	2956	3018	3081	3145	3209	3273
6%	T	255	300	360	420	480	540	600
	A	1935	1904	1862	1819	1776	1732	1687
	B	2826	2856	2898	2941	2985	3029	3073
4%	T	170	200	240	280	320	360	400
	A	2020	2004	1982	1959	1936	1912	1887
	B	2741	2756	2778	2801	2825	2849	2873
2%	T	85	100	120	140	160	180	200
	A	2105	2104	2102	2099	2096	2092	2087
	B	2656	2656	2658	2661	2665	2669	2673

Πίνακας 3.14: Σημεία Α και Β σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 675 m

Δs\H	8500	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	530	516	498	481	464	448	433
14%	530	516	498	481	464	448	433
12%	530	516	498	481	464	448	433
10%	530	516	498	481	464	448	433
8%	530	516	498	481	464	448	433
6%	530	516	498	481	464	448	433
4%	530	516	498	481	464	448	433
2%	530	516	498	481	464	448	433

Πίνακας 3.15: Μήκος L_1 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 675 m

Παρατηρείται ότι, το μήκος L_1 είναι ανεξάρτητο από τη μεταβολή του Δs και εξαρτάται μόνο από το H_K. Ομοίως το ίδιο προκύπτει και για το μήκος L_3.

Δs\H	8500	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	149	164	182	199	215	231	247
14%	149	164	182	199	215	231	247
12%	149	164	182	199	215	231	247
10%	149	164	182	199	215	231	247
8%	149	164	182	199	215	231	247
6%	149	164	182	199	215	231	247
4%	149	164	182	199	215	231	247
2%	149	164	182	199	215	231	247

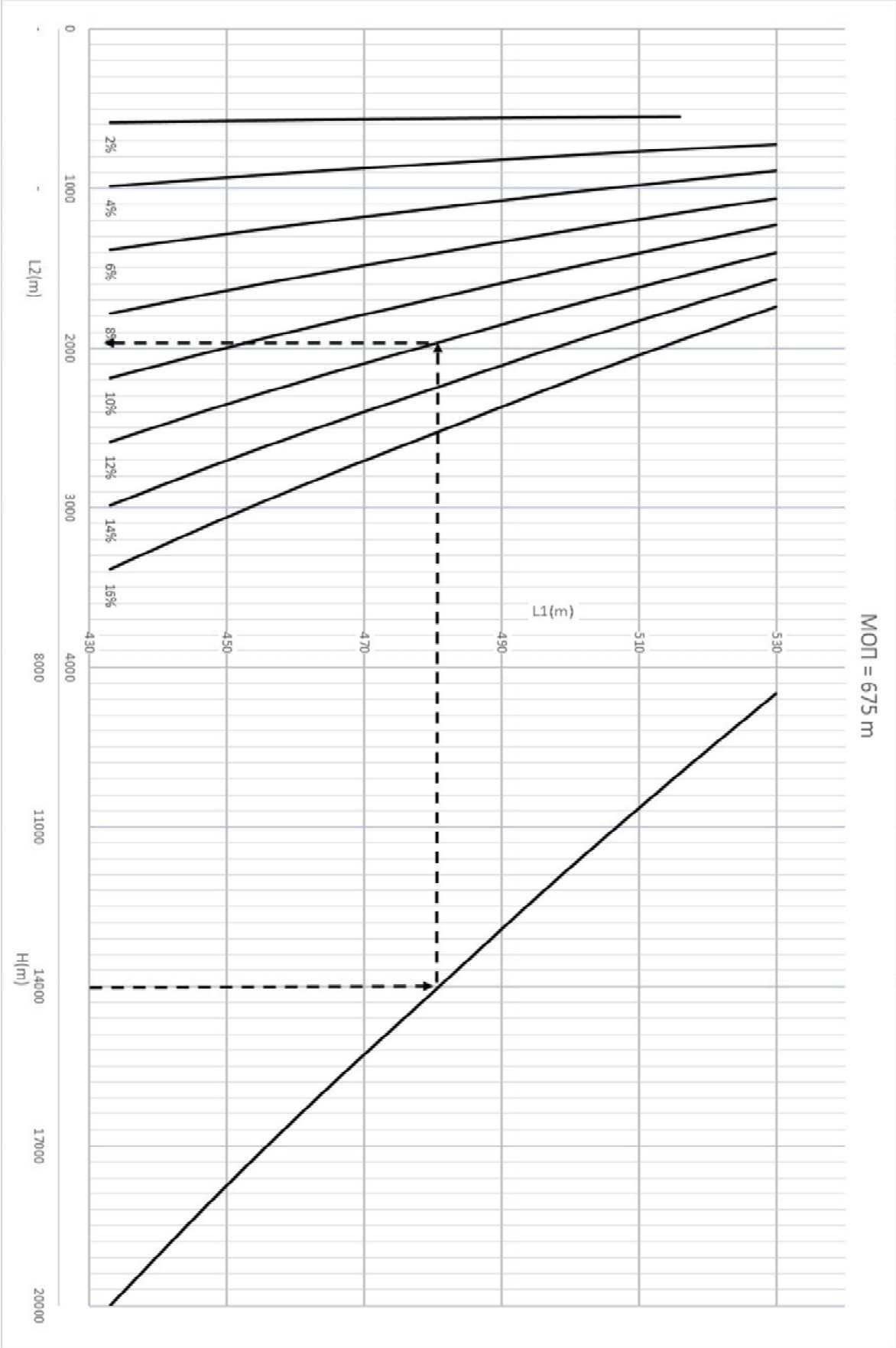
Πίνακας 3.16: Μήκος L_3 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 675 m

Δs\H	8500	10000	12000	14000	16000	18000	20000
16%	1741	1952	2236	2522	2809	3097	3386
14%	1571	1752	1996	2242	2489	2737	2986
12%	1401	1552	1756	1962	2169	2377	2586
10%	1231	1352	1516	1682	1849	2017	2186
8%	1061	1152	1276	1402	1529	1657	1786
6%	891	952	1036	1122	1209	1297	1386
4%	721	752	796	842	889	937	986
2%	551	552	556	562	569	577	586

Πίνακας 3.17: Μήκος L_2 σύμφωνα με τις Ελληνικές οδηγίες για ΜΟΠ = 675 m

Για την περίπτωση του Δs = 2%, δεν χρειάζονται να γίνουν περαιτέρω υπολογισμοί. Στο διάγραμμα παριστάνονται οι ακτίνες μεγαλύτερες αυτής των 10000 m, για την οποία προκύπτει T_{min} = 100 m, το οποίο είναι το ελάχιστο επιτρεπόμενο μήκος εφαπτόμενης για αυτή την ταχύτητα.

Στο Σχήμα 3-24 που ακολουθεί, φαίνεται το διάγραμμα, με τη βοήθεια του οποίου υπολογίζονται τα μήκη L_1 και L_2. Η μαύρη διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η πορεία ανάγνωσης του διαγράμματος. Με δεδομένα τα H_K και Δs, ξεκινώντας από το δεξί διάγραμμα, ο αναγνώστης επιλέγει το H_K στον άξονα, τέμνει την καμπύλη και βρίσκει το L_1. Έπειτα με δεδομένο, πλέον, το L_1 και επιλέγοντας το επιθυμητό Δs, βρίσκει και το L_2. Με γραμμική παρεμβολή ο αναγνώστης μπορεί να βρει τα μήκη L_1 και L_2 για Δs που δεν φαίνεται στο διάγραμμα.



Σχήμα 3-24: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 675 m)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1. ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται μία σύνοψη των αποτελεσμάτων, που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Επίσης αναφέρονται τα συνολικά συμπεράσματα της Διπλωματικής εργασίας, όπως αυτά εξάχθηκαν από τα διάφορα στάδια της εργασίας. Τέλος, παρουσιάζονται προτάσεις εφαρμογής των αποτελεσμάτων και περαιτέρω έρευνας.

4.2. ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Γενικότερος στόχος της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι η εύρεση των ζωνών κοντά στην περιοχή της κυρτής καμπύλης, στις οποίες το διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας για προσπέραση είναι μικρότερο από το απαιτούμενο. Για αυτό τον σκοπό αναπτύχθηκαν δύο θεωρήσεις, τα οποία στηρίζονται στον υπολογισμό της υψομετρικής διαφοράς της ευθείας οφθαλμών εμποδίου και της ερυθράς.

Στη δισδιάστατη θεώρηση γίνεται η παραδοχή ότι η ευθεία οφθαλμών-εμποδίου είναι στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο με αυτό του άξονα της οδού. Επομένως, για κάθε διαφορετική θέση του οδηγού και του εμποδίου, προκύπτει η ζητούμενη υψομετρική διαφορά με την ερυθρά της οδού.

Το δισδιάστατο μοντέλο χαρακτηρίζεται από τις έξι παρακάτω περιπτώσεις.

1. $h_{xline} - h_x = h_A + \frac{(h_Z - h_A)}{x_{endline}} x$

2. A. $h_{xline} - h_X = h_A - \frac{x^2}{2H} + \frac{\frac{x_{endline}{}^2}{2H} + (h_z - h_A)}{D + x_{endline}} (D + x)$

   B. $h_{xline} - h_x = h_A + \frac{\frac{x_{endline}{}^2}{2H} + (h_z - h_A)}{D + x_{endline}} x$

3. A. $h_{xline} - h_x = h_A - \frac{2T}{100H}(D + T) + \frac{\frac{2T}{100H}(T + D) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}} (D + 2T + x)$

   B. $h_{xline} - h_x = h_A + \frac{\frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}} (x + D) - \frac{x^2}{2H}$

   Γ. $h_{xline} - h_x = h_A + \frac{\frac{2T}{100H}(T + x_{endline}) + (h_z - h_A)}{D + 2T + x_{endline}} x$

4. $h_{xline} - h_x = \frac{D^2 - x^2}{2H} + h_A + \frac{\frac{(x_{endline} + D)^2 - D^2}{2H} + (h_z - h_A)}{x_{endline}} (x - D)$

5. A. $h_{xline} - h_x = h_A + \frac{D^2}{2H} + \frac{-\frac{D^2}{2H}+(h_z-h_A)}{x_{endline}+D}(x+D)$

   B. $h_{xline} - h_x = h_A + \frac{2Dx-x^2}{2H} + \frac{-\frac{D^2}{2H}+(h_z-h_A)}{x_{endline}+D}x$

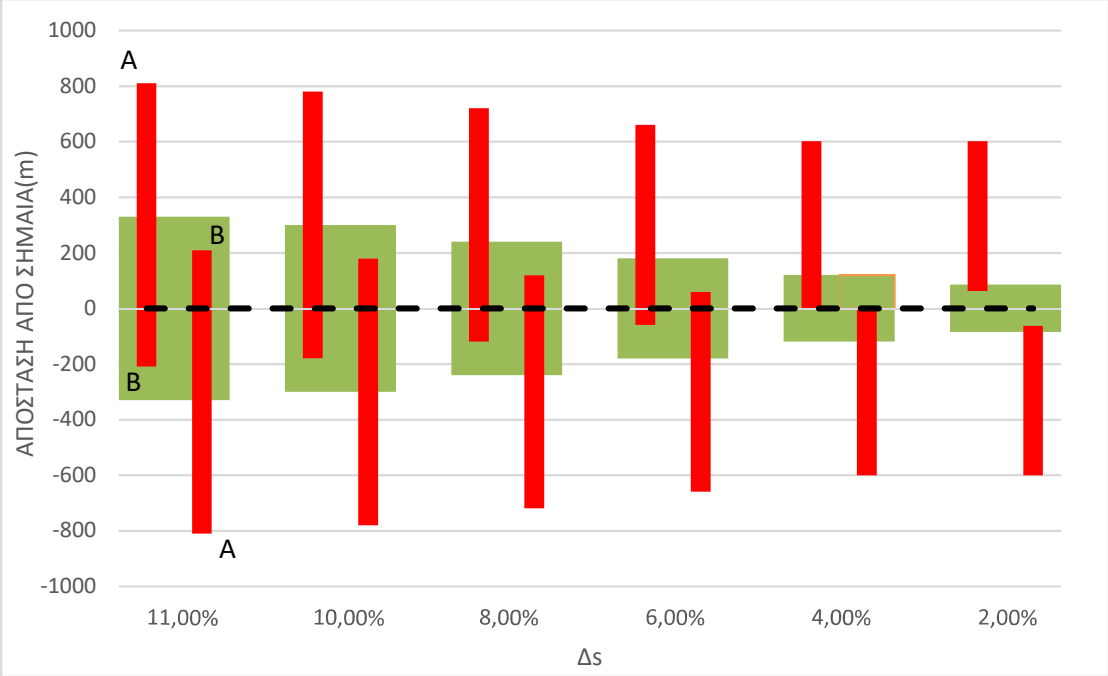
6. $h_{xline} - h_x = h_A + \frac{h_z-h_A}{x_{endline}}x$

Παρατηρείται ότι και στις έξι περιπτώσεις, εκτός της περίπτωσης 3, η υψομετρική διαφορά μεταξύ της ευθείας οφθαλμών-εμποδίου και της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι ανεξάρτητη των κατά μήκος κλίσεων s_1 και s_2 και επομένως και του αλγεβρικού αθροίσματος τους Δs και εξαρτάται μόνο από την ακτίνα της κυρτής καμπύλης H. Επομένως, οι χιλιομετρικές θέσεις των σημείων A και B θα είναι ανεξάρτητες από τις κατά μήκος κλίσεις και του αλγεβρικού αθροίσματος αυτών.

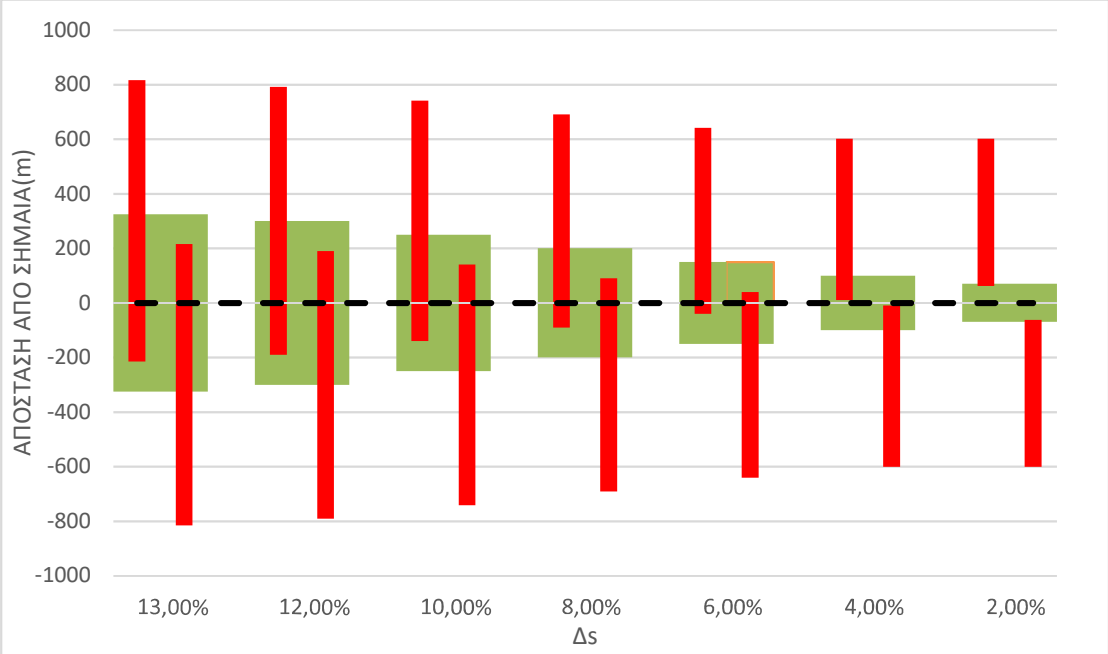
Στη τρισδιάστατη θεώρηση ο οδηγός και το εμπόδιο βρίσκονται σε διαφορετικές λωρίδες κατεύθυνσης, το οποίο προσομοιάζει καλύτερα τις συνθήκες που επικρατούν στην πραγματικότητα. Οι εξισώσεις που προέκυψαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν συμπληρωματικά με αυτές του δισδιάστατου. Επομένως, προκύπτει ότι και σε αυτή την περίπτωση, το αποτέλεσμα του μοντέλου να είναι ανεξάρτητο των κατά μήκος κλίσεων και να εξαρτάται μόνο από την ακτίνα της κυρτής καμπύλης.

Μετά από υπολογισμούς, για διάφορες περιπτώσεις, η διαφορά των δύο μοντέλων είναι της τάξης των λίγων μέτρων, δηλαδή σχεδόν αμελητέα. Για το τρισδιάστατο μοντέλο προκύπτουν μεγαλύτερα συνολικά διαστήματα απαγόρευσης προσπέρασης, και άρα είναι πιο συντηρητικά για τον οδηγό. Επομένως όλα τα τελικά αποτελέσματα έχουν προκύψει με τον τρισδιάστατο μοντέλο.

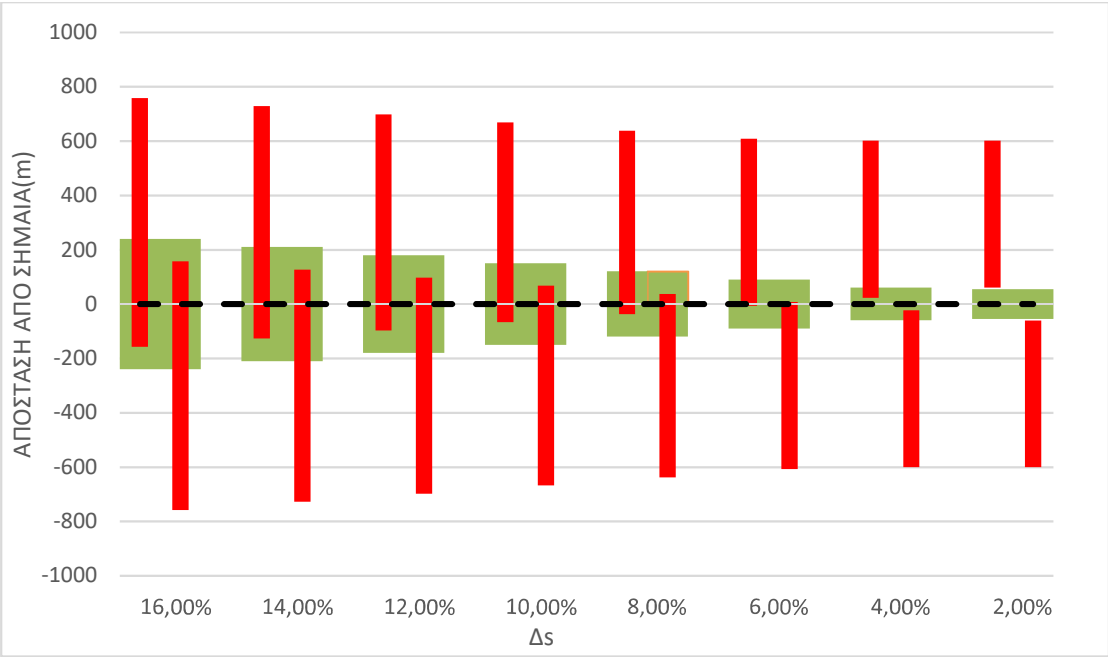
Η διερεύνηση έγινε με βάση τις Γερμανικές οδηγίες υπεραστικών οδών RAL και για κάθε μία από τις τρεις κλάσεις μελέτης (εξαιρείται η κλάση μελέτης EKL1), δημιουργήθηκαν γραφήματα τα οποία απεικονίζουν τις ζώνες στις οποίες απαγορεύεται η προσπέραση.



Σχήμα 4-1: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης EKL2

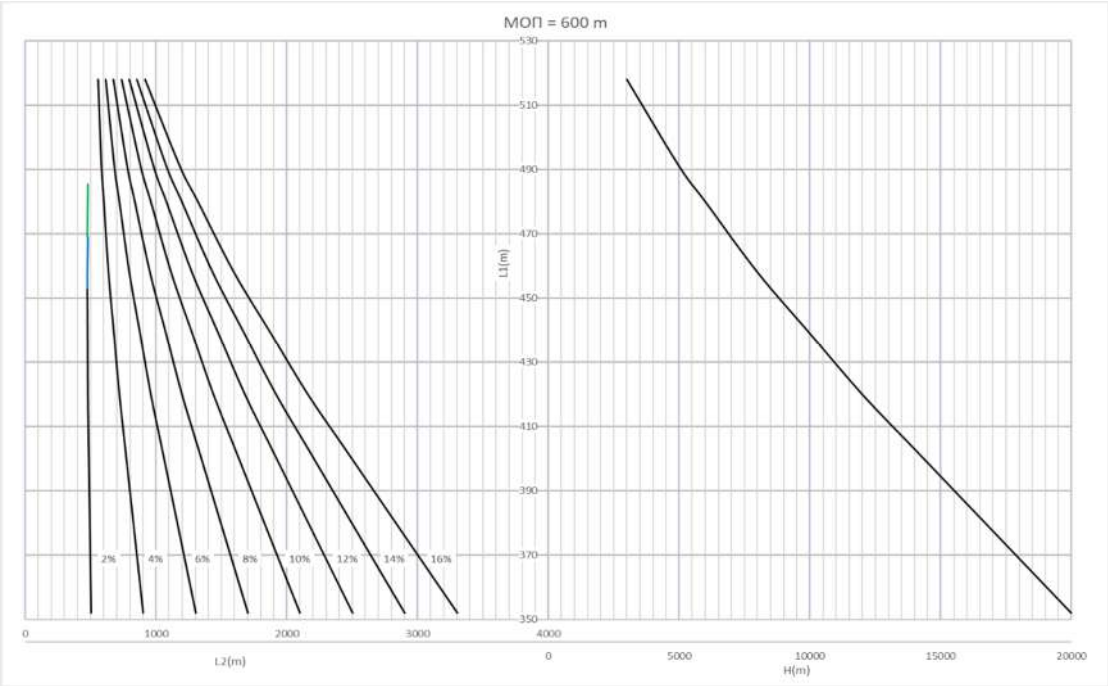


Σχήμα 4-2: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης EKL3

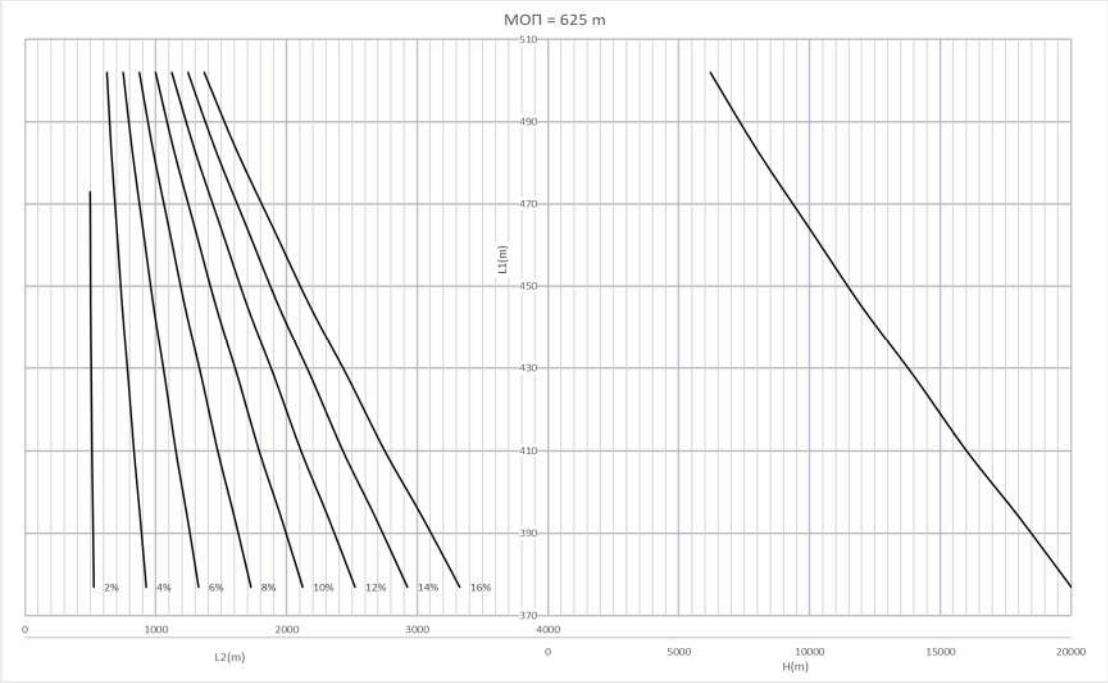


Σχήμα 4-3: Ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης για κλάση μελέτης EKL4

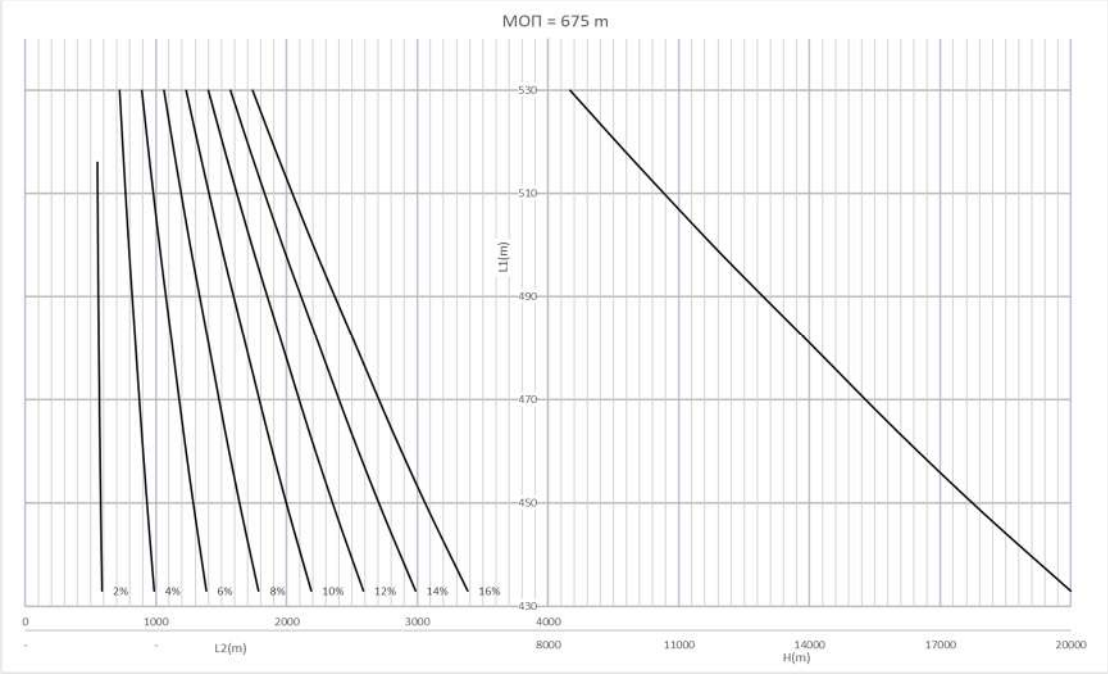
Εκτός από αυτές τις περιπτώσεις, που αφορούν στις οριακές τιμές εφαρμογής, κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή και γενικότερων διαγραμμάτων, τα οποία δίνουν έτοιμες προς χρήση επιλογές στον μηχανικό.



Σχήμα 4-4: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 600 m)



Σχήμα 4-5: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 625 m)



Σχήμα 4-6: Διάγραμμα προσδιορισμού περιοχών με ανεπάρκεια ΜΟΠ (ΜΟΠ = 675 m)

Στα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται τα μήκη L_1 και L_2, που απαιτούνται για τον ακριβή προσδιορισμό της ζώνης απαγόρευσης προσπέρασης. Εκτός από τις Γερμανικές οδηγίες, με ΜΟΠ = 600 m (Σχήμα 4-4), εξετάστηκαν και οι Ελληνικές οδηγίες, στις περιπτώσεις όπου ορίζεται ΜΟΠ μεγαλύτερο των 600 m(Σχήμα 4-5 & Σχήμα 4-6).

4.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κύριος στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ήταν ο προσδιορισμός ζωνών, στις οποίες απαγορεύεται η προσπέραση με χρήση της αντίθετης λωρίδας κατεύθυνσης, κατά την εφαρμογή κυρτής καμπύλης στην μηκοτομή. Με κατάλληλα γραφήματα (π.χ. Σχήμα 4-1) καθορίζονται οι υπόψη ζώνες και για τις δύο λωρίδες κυκλοφορίας. Με τα γενικά διαγράμματα (π.χ. Σχήμα 4-4) ο μελετητής μηχανικός μπορεί με μεγάλη ευκολία να αποτυπώσει τα διαστήματα στα οποία θα τοποθετείται διπλή διαχωριστική γραμμή. Αν κριθεί απαραίτητο, υπάρχει η δυνατότητα εύρεσης των χαρακτηριστικών μηκών και για μεγαλύτερες ακτίνες, μέσω του αλγορίθμου που έχει αναπτυχθεί.

Εκτός από τον κύριο στόχο της εργασίας, στην πορεία της μελέτης προέκυψαν ορισμένα ενδιαφέροντα στοιχεία. Κατά τη διαδικασία της μελέτης, παρατηρήθηκε ότι συνδυασμοί κατά μήκος κλίσεων, με ίδιο αλγεβρικό άθροισμα Δs, παρουσίαζαν ίδιο διάγραμμα ορατότητας και ίδιες χιλιομετρικές θέσεις των σημείων Α και Β, για ίδια τιμή ακτίνας Η της κυρτής καμπύλης. Επίσης, μετά από παρατήρηση των αποτελεσμάτων, το σημείο που αρχίζει η ζώνη απαγόρευσης προσπέρασης (απέχει μήκος L1 πριν την αρχή της κυρτής καμπύλης) και το σημείο πέρατος της ζώνης απαγόρευσης της προσπέρασης (απέχει μήκος L3 από το πέρας της κυρτής καμπύλης), παραμένουν αμετάβλητα για διάφορες τιμές του αλγεβρικού αθροίσματος Δs, ενώ η τιμή τους μεταβάλλεται μόνο με την αντίστοιχη μεταβολή της ακτίνας Η.

Με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την έρευνα στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, εξακριβώθηκαν και ταξινομήθηκαν καλύτερα οι περιοχές στις οποίες απαγορεύεται η προσπέραση, δίνοντας νέα προσέγγιση για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση. Τα διαγράμματα της εργασίας αποτελούν ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο στο σχεδιασμό οδικών έργων, καθώς η μελέτη σήμανσης καθίσταται πλέον πιο εύκολη. Η πιο σημαντική όμως ωφέλεια που απορρέει μέσω των προτεινόμενων διαγραμμάτων, είναι η άμεση εξάρτηση, καθώς και η αλληλεπίδραση ζωνών όπου διερευνάται η επάρκεια προσπέρασης, με το σχεδιασμό της μηκοτομής της οδού. Παρέχεται δηλαδή στον μελετητή η δυνατότητα να καθορίζει με ακρίβεια τα επιθυμητά ΜΟΠ τροποποιώντας ανάλογα την υψομετρική διαμόρφωση της χάραξης. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προβλέπεται να συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

4.4. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Με την παρούσα εργασία ερευνάται μόνο ένα τμήμα του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση. Υπάρχει η δυνατότητα διερεύνησης επιπλέον παραμέτρων κατά τη διαδικασία προσπέρασης.

Η εργασία εστίασε στην περίπτωση της ευθυγραμμίας με μία κυρτή καμπύλη. Κρίνεται απαραίτητο να μελετηθεί η επιρροή της οριζοντιογραφικής καμπύλης στην προτεινόμενη μεθοδολογία. Αυτό αποτελεί δυσκολότερο πρόβλημα καθώς εκτός από το οδόστρωμα, τα πρανή και τα στηθαία ασφαλείας εμποδίζουν περαιτέρω την ορατότητα του οδηγού. Επίσης πρέπει να διερευνηθεί ποια μορφή οριζοντιογραφικής καμπύλης είναι δυσμενέστερη (αριστερόστροφη ή δεξιόστροφη).

Επιπλέον πρέπει να διερευνηθεί πιο ολοκληρωμένα η επάρκεια ΜΟΠ και στην περίπτωση κοίλων κατακόρυφων καμπυλών, με την έννοια να προσδιοριστεί πιο ολοκληρωμένα το πεδίο ορατότητας του οδηγού κατά την νυκτερινή οδήγηση.

Όπως έχει αναφερθεί, και αναλύεται εκτενώς στο Παράρτημα, έχει αναπτυχθεί αλγόριθμος για τον υπολογισμό των σημείων Α και Β. Απαιτείται η βελτιστοποίησή του για την εξοικονόμηση υπολογιστικού χρόνου και η προσθήκη νέων αλγορίθμων προκειμένου το όλο ζήτημα του ΜΟΠ να αντιμετωπιστεί πιο ολοκληρωμένα. Επιπλέον, κρίνεται σκόπιμο το σχετικό λογισμικό να αναπτυχθεί, με γνώμονα τις εκάστοτε απαιτήσεις της μελέτης (π.χ. ύψος στηθαίων, κλίση πρανών, κλπ.).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών, Σ. Μαυρομάτης, Αθήνα, ΕΜΠ, 2018.
- Μήκος Ορατότητας Προσπέρασης, Κυργιαννάκη Βιολέττα, Αθήνα, ΤΕΙ Αθήνας, 2016.
- Οδηγίες Για την Ετοιμασία Της Διπλωματικής Εργασίας, Γιαννής Γιώργος, Αθήνα, ΕΜΠ, 2010.
- Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) Τεύχος 3: Χαράξεις, ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΛΕΤΩΝ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ, Αθήνα, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ & ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ, 2001.
- Οδηγίες Χρήσης Λογισμικού Οδοποιίας FM17, Μερτζάνης Φώτης και συν, Αθήνα, ΕΜΠ, 2017.
- Οδοποιία Ι – Χαράξεις & Υπολογισμός χωματισμών Θεωρία και Πρακτική, Αναστάσιος Κ. Αποστολέρης, Αθήνα, 2015.
- Σημειώσεις Γεωμετρικού Σχεδιασμού των Οδών, Γ. Κανελλαΐδης - Φ. Μερτζάνης - Γ. Γλαρός - Σ. Βαρδάκη, Αθήνα, ΕΜΠ, 2017.
- A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Washington D.C., U.S.A., American Association of State Highway and Transportation Officials, 2001.
- Austroads, Guide to Road Design, Part 3: Geometric Design, Syndey, Australia, 2009.
- RAL, Οδηγίες για την Κατασκευή Υπεραστικών Οδών, Γερμανία, 2012.
- Verification of the Existing Model for Passing Sight Distance on Single Two-Lane Rural Carriageways, Dipl.-Ing. Anne Vetters, Dr.-Ing. Thomas Jaehrig, Györ, Hungary, 2015.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Α. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α.1. ΓΕΝΙΚΑ

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, με σκοπό την περαιτέρω κατασκευή γραφημάτων και διαγραμμάτων, κρίθηκε αναγκαία η ανάπτυξη αλγορίθμου. Σε αυτό το κεφάλαιο, αναλύονται η λογική του αλγορίθμου, σε ποιες σχέσεις βασίστηκε και τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για την συγγραφή και υλοποίηση του.

Α.2. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Κύριο πρόβλημα της παρούσας εργασίας είναι η εύρεση των περιοχών, στις οποίες το διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση είναι μικρότερο του απαιτούμενου, με άλλα λόγια σε ποιες περιοχές απαγορεύεται η προσπέραση, με χρήση της αντίθετης λωρίδας κατεύθυνσης. Όπως έχει αναφερθεί, η οδός η οποία εξετάζεται είναι ευθυγραμμία σε όλο της το μήκος, με μία κυρτή καμπύλη στο μέσο αυτής.

Για την αποτύπωση αυτών των περιοχών, επαρκεί η εύρεση δύο σημείων, Α και Β, στα οποίο το διατιθέμενο ΜΟΠ είναι ίσο με το απαιτούμενο. Στη συνέχεια, ο κάθε μελετητής μπορεί να τα χρησιμοποιήσει, ώστε με περαιτέρω επεξεργασία, να καταλήξει στο αποτέλεσμα που αυτός επιθυμεί.

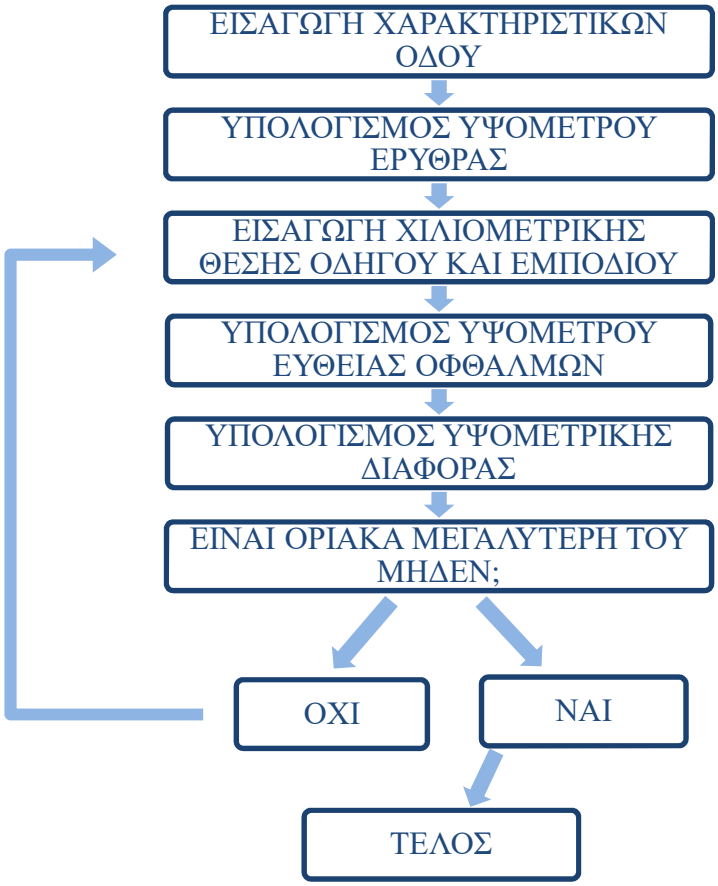
Ο οδηγός για να μπορεί να βλέπει ένα εμπόδιο στην οδό, θα πρέπει η ευθεία που συνδέει τους οφθαλμούς του με το εμπόδιο να μην διακόπτεται από το οδόστρωμα της οδού. Με βάση τις εξισώσεις του τρισδιάστατου και δισδιάστατου μοντέλου, που αποδείχθηκαν στο κεφάλαιο 4, υπολογίζεται η υψομετρική διαφορά της ευθείας των οφθαλμών και της ερυθράς της οδού. Αν αυτή η υψομετρική διαφορά είναι μεγαλύτερη του μηδέν, ο οδηγός έχει ορατότητα, ενώ αν είναι μικρότερη ή ίση του μηδέν, το οδόστρωμα εμποδίζει τον οδηγό και επομένως δεν έχει ορατότητα.

Η υψομετρική διαφορά είναι το κύριο εργαλείο του αλγορίθμου. Ανάμεσα στα δύο μοντέλα υπάρχουν μικρές διαφορές, αλλά ο η λογική του αλγορίθμου παραμένει η ίδια.

Αρχικά ορίζονται τα χαρακτηριστικά της μηκοτομής της οδού, οι κατά μήκος κλίσεις, η ακτίνα της κατακόρυφης καμπύλης, η χιλιομετρική θέση και το υψόμετρο της σημαίας. Επίσης, εισάγονται το ύψος των οφθαλμών και το ύψος του εμποδίου.

Έπειτα, υπολογίζεται το υψόμετρο σε κάθε σημείο της οδού, με τα χαρακτηριστικά που δόθηκαν. Στον αλγόριθμο δίδεται μία χιλιομετρική θέση οδηγού και μία χιλιομετρική θέση εμποδίου και υπολογίζει το υψόμετρο της ευθείας οφθαλμών εμποδίου. Τέλος με μία αφαίρεση των δύο υψομέτρων προκύπτει η ζητούμενη υψομετρική διαφορά, για όλο το μήκος της απόστασης από τον οδηγό μέχρι το εμπόδιο. Ο αλγόριθμος με μία λογική εντολή ψάχνει, σε αυτό το διάστημα, όλα τα αποτελέσματα και ανάλογα εξάγει ως συμπέρασμα αν οδηγός έχει ορατότητα ή όχι. Αυτή η διαδικασία μπορεί να πραγματοποιηθεί αρκετές φορές, ώστε να βρεθεί το ζεύγος οδηγού και εμποδίου, για το οποίο η υψομετρική διαφορά είναι οριακά μεγαλύτερη του μηδέν.

Προφανώς, η απόσταση του οδηγού από το εμπόδιο είναι το Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση. Αν, για παράδειγμα, οριστεί ΜΟΠ = 600 m, μπορεί να τεθεί η χιλιομετρική θέση του εμποδίου ως η χιλιομετρική θέση του οδηγού συν 600 m. Σε αυτή την περίπτωση, αν για αυτό το ζεύγος οδηγού και εμποδίου, βρεθεί υψομετρική διαφορά οριακά μεγαλύτερη του μηδέν, τότε η χιλιομετρική θέση του οδηγού είναι το σημείο Α ή Β.



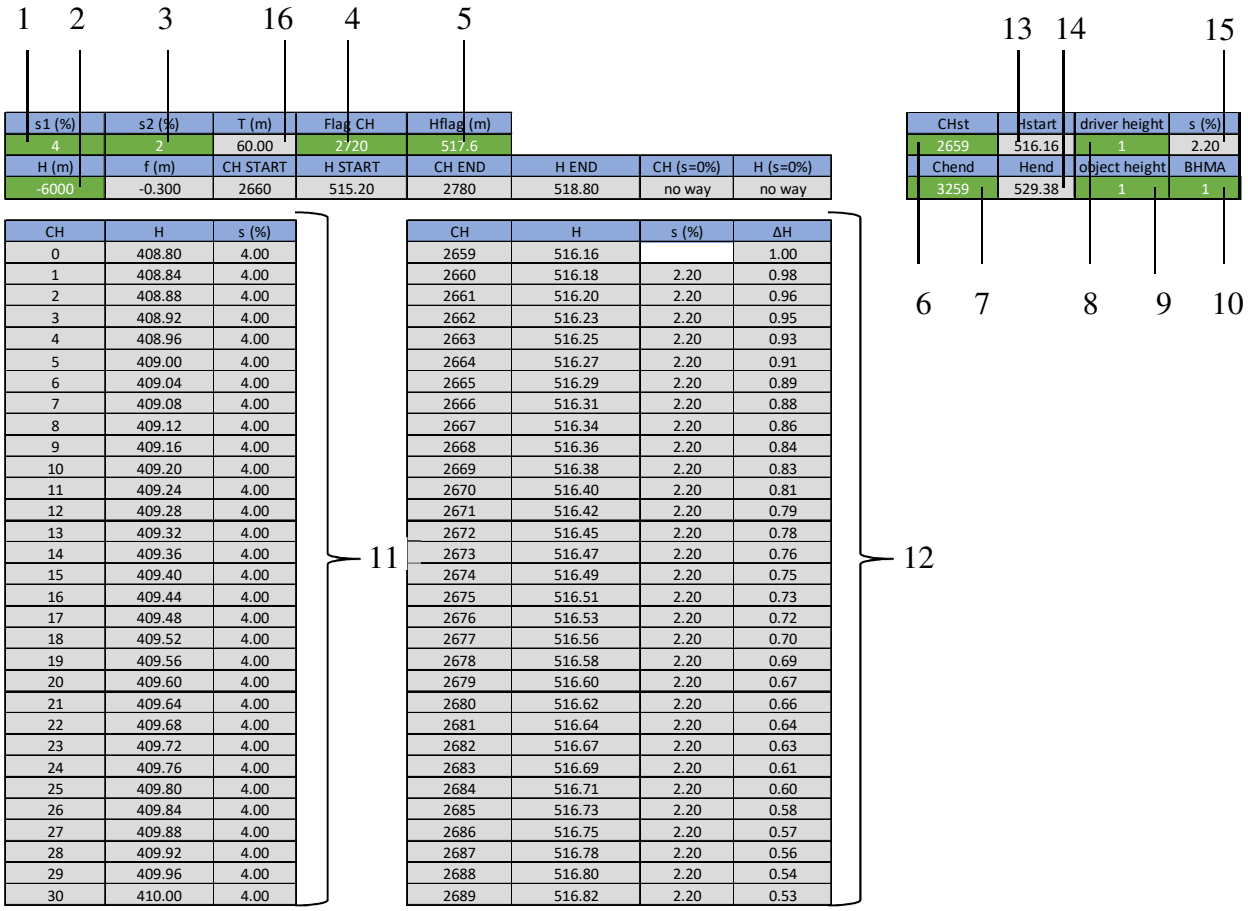
Σχήμα Α-1: Διάγραμμα ροής αλγορίθμου

Στο Σχήμα Α-1 φαίνεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου, το οποίο ισχύει και για τις δύο θεωρήσεις.

Η εκτέλεση του αλγορίθμου απαιτεί αρκετές επαναλήψεις για την εύρεση των επιθυμητών σημείων Α και Β και για την εξοικονόμηση υπολογιστικού χρόνου χρησιμοποιήθηκε γλώσσα προγραμματισμού για την εκτέλεσή του. Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MS Excel σε συνδυασμό με τη γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic (VBA), μέσω μακροεντολών.

Α.3. ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Για τον υπολογισμό με της δισδιάστατης θεώρησης, δεν χρησιμοποιήθηκαν οι σχέσεις που έχουν αποδειχθεί, αλλά υπολογίζονται τα δύο υψόμετρα ερυθράς και ευθείας οφθαλμών εμποδίου και ύστερα αφαιρούνται, καθώς ισχύει για όλες τις περιπτώσεις.



s1 (%)	s2 (%)	T (m)	Flag CH	Hflag (m)
4	2	60.00	2720	517.6

H (m)	f (m)	CH START	H START	CH END	H END	CH (s=0%)	H (s=0%)
-6000	-0.300	2660	515.20	2780	518.80	no way	no way

CHst	Hstart	driver height	s (%)
2659	516.16	1	2.20
Chend	Hend	object height	BHMA
3259	529.38	1	1

CH	H	s (%)
0	408.80	4.00
1	408.84	4.00
2	408.88	4.00
3	408.92	4.00
4	408.96	4.00
5	409.00	4.00
6	409.04	4.00
7	409.08	4.00
8	409.12	4.00
9	409.16	4.00
10	409.20	4.00
11	409.24	4.00
12	409.28	4.00
13	409.32	4.00
14	409.36	4.00
15	409.40	4.00
16	409.44	4.00
17	409.48	4.00
18	409.52	4.00
19	409.56	4.00
20	409.60	4.00
21	409.64	4.00
22	409.68	4.00
23	409.72	4.00
24	409.76	4.00
25	409.80	4.00
26	409.84	4.00
27	409.88	4.00
28	409.92	4.00
29	409.96	4.00
30	410.00	4.00

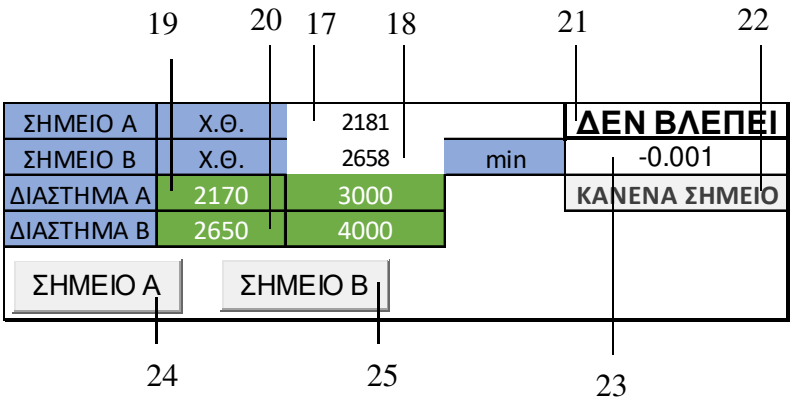
CH	H	s (%)	ΔH
2659	516.16		1.00
2660	516.18	2.20	0.98
2661	516.20	2.20	0.96
2662	516.23	2.20	0.95
2663	516.25	2.20	0.93
2664	516.27	2.20	0.91
2665	516.29	2.20	0.89
2666	516.31	2.20	0.88
2667	516.34	2.20	0.86
2668	516.36	2.20	0.84
2669	516.38	2.20	0.83
2670	516.40	2.20	0.81
2671	516.42	2.20	0.79
2672	516.45	2.20	0.78
2673	516.47	2.20	0.76
2674	516.49	2.20	0.75
2675	516.51	2.20	0.73
2676	516.53	2.20	0.72
2677	516.56	2.20	0.70
2678	516.58	2.20	0.69
2679	516.60	2.20	0.67
2680	516.62	2.20	0.66
2681	516.64	2.20	0.64
2682	516.67	2.20	0.63
2683	516.69	2.20	0.61
2684	516.71	2.20	0.60
2685	516.73	2.20	0.58
2686	516.75	2.20	0.57
2687	516.78	2.20	0.56
2688	516.80	2.20	0.54
2689	516.82	2.20	0.53

Σχήμα Α-2: Περιβάλλον αλγορίθμου στο MS Excel για τη δισδιάστατη θεώρηση

Στο Σχήμα Α-2, φαίνεται το περιβάλλον του MS Excel, στο οποίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει διάφορα δεδομένα και να λάβει ορισμένα αποτελέσματα, όπως,

1. Κατά μήκος κλίση s_1 (%)
2. Κατά μήκος κλίση s_2 (%)
3. Ακτίνα κατακόρυφης καμπύλης H_K (με πρόσημο μείον για κυρτή καμπύλη και με πρόσημο συν για κοίλη καμπύλη) (m)
4. Χιλιομετρική θέση σημαίας
5. Υψόμετρο σημαίας (m)
6. Χιλιομετρική θέση οδηγού
7. Χιλιομετρική θέση εμποδίου
8. Ύψος οφθαλμών οδηγού (m)
9. Ύψος εμποδίου (m)
10. Βήμα εκτέλεσης της δοκιμής (m)
11. Υψόμετρο ερυθράς και κατά μήκος κλίση για κάθε χιλιομετρική θέση
12. Υψόμετρο και κατά μήκος κλίση της ευθείας οφθαλμών εμποδίου και υψομετρική διαφορά
13. Υψόμετρο στη θέση του οδηγού
14. Υψόμετρο στη θέση του εμποδίου
15. Κατά μήκος κλίση ευθείας οφθαλμών εμποδίου
16. Μήκος εφαπτόμενης Τ (m)

Με αυτούς τους υπολογισμούς μπορεί να ελεγχθεί, για κάθε θέση οδηγού και εμποδίου, η υψομετρική διαφορά. Για την εύρεση των σημείων Α και Β, δημιουργήθηκε επιπλέον μακροεντολή.



Σχήμα Α-3: Μακροεντολές για τα σημεία Α και Β για τη δισδιάστατη θεώρηση

Κύρια χαρακτηριστικά της μακροεντολής είναι τα εξής (Σχήμα Α-3),

17. Χιλιομετρική θέση σημείου Α
18. Χιλιομετρική θέση σημείου Β
19. Εισαγόμενο διάστημα χιλιομετρική θέσης οδηγού για το σημείο Α
20. Εισαγόμενο διάστημα χιλιομετρική θέσης οδηγού για το σημείο Β
21. Λογική εντολή (ΒΛΕΠΕΙ, ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ) που εξετάζει αν ο οδηγός έχει ορατότητα στον δοθέν διάστημα, με βάση την υψομετρική διαφορά
22. Λογική εντολή (ΚΑΝΕΝΑ ΣΗΜΕΙΟ) που εξετάζει αν βρέθηκε σημείο στο δοθέν διάστημα
23. Ελάχιστη υψομετρική διαφορά (m)
24. Μακροεντολή για το σημείο Α
25. Μακροεντολή για το σημείο Β

Η κάθε μακροεντολή αντιστοιχεί σε έναν από τους κώδικες που φαίνονται στο Σχήμα Α-4. Και στους δύο κώδικες εφαρμόζεται η ίδια λογική εύρεσης του σημείου. Ο χρήστης εισάγει το διάστημα για το σημείο που επιθυμεί από μία ΧΘ1 έως μία ΧΘ2. Η μακροεντολή ξεκινάει παίρνοντας τη ΧΘ1 και την θέτει ως χιλιομετρική θέση του οδηγού. Ως χιλιομετρική θέση του εμποδίου θέτει την χιλιομετρική θέση του οδηγού συν 600 m, το οποίο είναι το απαιτούμενο ΜΟΠ σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες. Έπειτα υπολογίζεται η υψομετρική διαφορά και ανάλογα αλλάζει η λογική εντολή. Για την περίπτωση του σημείου Α, αν η λογική εντολή δίνει ως αποτέλεσμα «ΒΛΕΠΕΙ», τότε η μακροεντολή συνεχίζει. Προσθέτει και στις δύο χιλιομετρικές θέσεις ένα βήμα και ελέγχει αν η λογική εντολή δείχνει «ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ». Αν είναι αυτό το αποτέλεσμα, τότε το σημείο Α βρίσκεται στην αρχική χιλιομετρική θέση του οδηγού και η μακροεντολή τελειώνει. Αν όχι, η μακροεντολή πηγαίνει στην επόμενη ΧΘ του διαστήματος και κάνει του ίδιους ελέγχους, μέχρι να βρεθεί το σημείο. Αν στον αρχικό έλεγχο της λογικής εντολής, προκύπτει «ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ», τότε το σημείο δεν βρίσκεται στο δοθέν διάστημα, η μακροεντολή εξάγει ως αποτέλεσμα «ΚΑΝΕΝΑ ΣΗΜΕΙΟ», τελειώνει και ο χρήστης πρέπει να εισάγει νέο διάστημα. Προτείνεται ως ΧΘ2 να θέτεται μια μεγάλη χιλιομετρική θέση μακριά από την κυρτή καμπύλη.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για το σημείο Β, μόνο που σε αυτή την περίπτωση οι έλεγχοι απαιτούν τις αντίθετες συνθήκες.

(α)

```
Private Sub CommandButton1_Click()
Dim i As Integer
Range("N8").Value = ""
Range("L6").Value = ""
For i = Range("K8").Value To Range("L8").Value
    Range("J2").Value = Cells(i, 1)
    Range("J4").Value = Cells(i + 600, 1)
    If Range("N6").Value = "ΒΛΕΠΕΙ" Then
        Range("J2").Value = Cells(i + 1, 1)
        Range("J4").Value = Cells(i + 601, 1)
        If Range("N6").Value = "ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ" Then
            Range("L6").Value = Cells(i, 1)
            GoTo line15
        End If
    Else
    Range("N8").Value = "ΚΑΝΕΝΑ ΣΗΜΕΙΟ"
    GoTo line15
    End If
Next i
line15:
End Sub
```

(β)

```
Private Sub CommandButton2_Click()
Dim i As Integer
Range("N8").Value = ""
Range("L7").Value = ""
For i = Range("K9").Value To Range("L9").Value
    Range("J2").Value = Cells(i, 1)
    Range("J4").Value = Cells(i + 600, 1)
    If Range("N6").Value = "ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ" Then
       Range("J2").Value = Cells(i + 1, 1)
       Range("J4").Value = Cells(i + 601, 1)
        If Range("N6").Value = "ΒΛΕΠΕΙ" Then
            Range("L7").Value = Cells(i, 1)
            GoTo line30
        End If
    Else
    Range("N8").Value = "ΚΑΝΕΝΑ ΣΗΜΕΙΟ"
    GoTo line30
    End If
Next i
line30:
End Sub
```

Σχήμα Α-4: Κώδικας μακροεντολών σε VBA (α) για το σημείο Α, (β) για το σημείο Β για τη δισδιάστατη θεώρηση

Α.4. ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΘΕΩΡΗΣΗ

Για τον υπολογισμό με τη τρισδιάστατη θεώρηση, χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις που έχουν αποδειχθεί στο κεφάλαιο 4. Με τη βοήθεια του MS Excel υπολογίζονται βήμα-βήμα όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την εύρεση της υψομετρικής διαφοράς της ερυθράς με την ευθεία οφθαλμών εμποδίου.

1 3 2 12 4 5 13 6 7 8 9 10 11 14

s1 (%)	s2 (%)	T (m)	Flag CH	Hflag (m)	Δs	ΒΗΜΑ	ΠΛΑΤΟΣ	CHst	Hstart	H'start	river heigh	Δx
1	-1	200.00	2720	517.6	2.00%	1	3.75	2672	516.54	516.50	1	600.00
H (m)	f (m)	CH START	H START	CH END	H END	CH (s=0%)	H (s=0%)	Chend	Hend	H'end	bject heigh	s (%)
-20000	-1.000	2520	515.60	2920	515.60	2720	516.6	3272	512.08	512.03	1	-0.74

CH	H	s (%)	H'
0	490.40	1.00	490.35
1	490.41	1.00	490.36
2	490.42	1.00	490.37
3	490.43	1.00	490.38
4	490.44	1.00	490.39
5	490.45	1.00	490.40
6	490.46	1.00	490.41
7	490.47	1.00	490.42
8	490.48	1.00	490.43
9	490.49	1.00	490.44
10	490.50	1.00	490.45
11	490.51	1.00	490.46
12	490.52	1.00	490.47
13	490.53	1.00	490.48
14	490.54	1.00	490.49
15	490.55	1.00	490.50
16	490.56	1.00	490.51
17	490.57	1.00	490.52
18	490.58	1.00	490.53
19	490.59	1.00	490.54
20	490.60	1.00	490.55
21	490.61	1.00	490.56
22	490.62	1.00	490.57
23	490.63	1.00	490.58
24	490.64	1.00	490.59
25	490.65	1.00	490.60
26	490.66	1.00	490.61
27	490.67	1.00	490.62
28	490.68	1.00	490.63
29	490.69	1.00	490.64
30	490.70	1.00	490.65

15

LINE	dx	dy	Hxline	sxline	hx	Hx	**ΔH**
2672	0.000	0.000	517.50		516.50	516.50	1.000
2673	1.000	0.006	517.49	-0.74	516.50	516.50	0.990
2674	2.000	0.013	517.48	-0.74	516.50	516.50	0.980
2675	3.000	0.019	517.47	-0.74	516.50	516.50	0.970
2676	4.000	0.025	517.47	-0.74	516.50	516.51	0.960
2677	5.000	0.031	517.46	-0.74	516.51	516.51	0.951
2678	6.000	0.038	517.45	-0.74	516.51	516.51	0.941
2679	7.000	0.044	517.44	-0.74	516.51	516.51	0.931
2680	8.000	0.050	517.44	-0.74	516.51	516.51	0.922
2681	9.000	0.056	517.43	-0.74	516.52	516.52	0.912
2682	10.000	0.063	517.42	-0.74	516.52	516.52	0.903
2683	11.000	0.069	517.41	-0.74	516.52	516.52	0.893
2684	12.000	0.075	517.41	-0.74	516.52	516.52	0.884
2685	13.000	0.081	517.40	-0.74	516.52	516.52	0.874
2686	14.000	0.088	517.39	-0.74	516.52	516.53	0.865
2687	15.000	0.094	517.38	-0.74	516.53	516.53	0.856
2688	16.000	0.100	517.38	-0.74	516.53	516.53	0.847
2689	17.000	0.106	517.37	-0.74	516.53	516.53	0.837
2690	18.000	0.113	517.36	-0.74	516.53	516.53	0.828
2691	19.000	0.119	517.35	-0.74	516.53	516.54	0.819
2692	20.000	0.125	517.35	-0.74	516.53	516.54	0.810
2693	21.000	0.131	517.34	-0.74	516.53	516.54	0.801
2694	22.000	0.138	517.33	-0.74	516.54	516.54	0.792
2695	23.000	0.144	517.32	-0.74	516.54	516.54	0.783
2696	24.000	0.150	517.32	-0.74	516.54	516.54	0.775
2697	25.000	0.156	517.31	-0.74	516.54	516.54	0.766
2698	26.000	0.163	517.30	-0.74	516.54	516.55	0.757
2699	27.000	0.169	517.29	-0.74	516.54	516.55	0.748
2700	28.000	0.175	517.29	-0.74	516.54	516.55	0.740
2701	29.000	0.181	517.28	-0.74	516.54	516.55	0.731
2702	30.000	0.188	517.27	-0.74	516.55	516.55	0.723

16

Σχήμα Α-5: Περιβάλλον αλγορίθμου στο MS Excel για τη τρισδιάστατη θεώρηση

Αναλυτικά στο MS Excel μπορούν να εισαχθούν και κατ' επέκταση να υπολογιστούν τα εξής χαρακτηριστικά (Σχήμα Α-5),

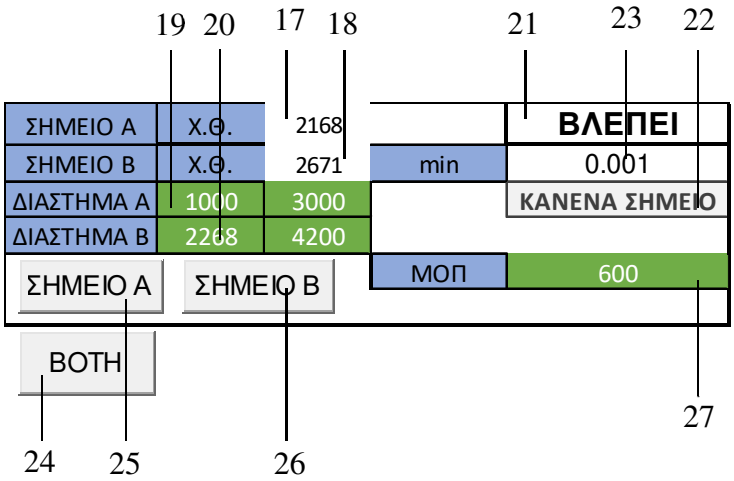
1. Κατά μήκος κλίση s_1 (%)
2. Κατά μήκος κλίση s_2 (%)
3. Ακτίνα κατακόρυφης καμπύλης H_K (με πρόσημο μείον για κυρτή καμπύλη και με πρόσημο συν για κοίλη καμπύλη) (m)
4. Χιλιομετρική θέση σημαίας
5. Υψόμετρο σημαίας (m)
6. Βήμα εκτέλεσης της δοκιμής (m)
7. Πλάτος οδού (m)
8. Χιλιομετρική θέση οδηγού

9. Χιλιομετρική θέση εμποδίου
10. Ύψος οφθαλμών οδηγού (m)
11. Ύψος εμποδίου (m)
12. Μήκος εφαπτόμενης Τ (m)
13. Αλγεβρικό άθροισμα κατά μήκος κλίσεων
14. Κατά μήκος κλίση ευθείας οφθαλμών εμποδίου
15. Υψόμετρο ερυθράς και κατά μήκος κλίση για κάθε χιλιομετρική θέση
16. Υψόμετρο και κατά μήκος κλίση της ευθείας οφθαλμών εμποδίου και υψομετρική διαφορά

Αντίστοιχα με το δισδιάστατο μοντέλο δημιουργήθηκε μακροεντολή για τον υπολογισμό των σημείων Α και Β. Επειδή με το τρισδιάστατο μοντέλο προέκυψαν τα περισσότερα αποτελέσματα και γραφήματα, προστέθηκαν ορισμένα επιπλέον χαρακτηριστικά, τόσο στα δεδομένα που εισάγονται όσο και στον κώδικα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των μακροεντολών φαίνονται στο Σχήμα Α-6 και είναι τα εξής,

17. Χιλιομετρική θέση σημείου Α
18. Χιλιομετρική θέση σημείου Β
19. Εισαγόμενο διάστημα χιλιομετρική θέσης οδηγού για το σημείο Α
20. Εισαγόμενο διάστημα χιλιομετρική θέσης οδηγού για το σημείο Β
21. Λογική εντολή (ΒΛΕΠΕΙ, ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ) που εξετάζει αν ο οδηγός έχει ορατότητα στον δοθέν διάστημα, με βάση την υψομετρική διαφορά
22. Λογική εντολή (ΚΑΝΕΝΑ ΣΗΜΕΙΟ) που εξετάζει αν βρέθηκε σημείο στο δοθέν διάστημα
23. Ελάχιστη υψομετρική διαφορά (m)
24. Μακροεντολή για τα σημεία Α και Β
25. Μακροεντολή για το σημείο Α
26. Μακροεντολή για το σημείο Β
27. Απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση



Σχήμα Α-6: Μακροεντολές για τα σημεία Α και Β για το τρισδιάστατο μοντέλο

Δημιουργήθηκαν τρεις μακροεντολές, δύο για τον υπολογισμό των σημείων Α και Β και μία για τον ταυτόχρονο υπολογισμό τους, για την εξοικονόμηση υπολογιστικού χρόνου. Κάθε μακροεντολή αντιστοιχεί σε έναν από τους κώδικες σε VBA που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια. Η διαδικασία και οι έλεγχοι είναι ίδιοι με αυτούς του δισδιάστατου μοντέλου, αλλά έχουν προστεθεί κάποιες επιπλέον συνθήκες. Μπορεί να επιλεχθεί απαιτούμενο ΜΟΠ, ώστε να ελεγχθούν διαφορετικές περιπτώσεις ορατότητας. Επιπροσθέτως, προστέθηκαν δύο συνθήκες, οι οποίες καθιστούν πιο γρήγορη της εύρεση των σημείων. Αν η ελάχιστη υψομετρική διαφορά είναι μεγάλη, τότε σημαίνει η ΧΘ που βρίσκεται η μακροεντολή είναι μακριά από το εκάστοτε ζητούμενο σημείο και προσθέτει 15 m. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης μπορεί να μην αλλάζει κάθε φορά το διάστημα των χιλιομετρικών θέσεων του οδηγού. Τέλος οι πράξεις για την εύρεση του σημείου, γίνονται μόνο όταν η ελάχιστη υψομετρική διαφορά είναι αρκετά μικρή, δηλαδή η ΧΘ που βρίσκεται η μακροεντολή είναι κοντά στο εκάστοτε ζητούμενο σημείο.

Αυτοί οι έλεγχοι είναι κοινοί και στις τρεις μακροεντολές, Στην μακροεντολή για τον ταυτόχρονο υπολογισμό των σημείων, χρησιμοποιεί τον ίδιο κώδικα και από τις δύο μακροεντολές για τα σημεία Α και Β. Η μόνη διαφορά είναι ότι μετά τον υπολογισμό του σημείου Α, θέτει ως αρχή του διαστήματος της χιλιομετρικής θέσης του οδηγού, για το σημείο Β, το σημείο Α. Έτσι ο χρήστης είναι υποχρεωμένος να εισάγει μόνο ένα διάστημα, αυτό του σημείου Α.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τρεις κώδικες των μακροεντολών.

```
Private Sub Shmeio1_Click()
Dim i As Integer
Range("S3").Value = ""
Range("Q1").Value = ""
For i = Range("P3").Value To Range("Q3").Value
    Range("I2").Value = Cells(i, 1)
    Range("I4").Value = Cells(i + Range("S5"), 1)
    If Range("S1").Value = "ΒΛΕΠΕΙ" Then
        If Range("S2").Value > 0.3 Then
            i = i + 15
            If Range("S2").Value < 0.1 Then
                Range("I2").Value = Cells(i + 1, 1)
                Range("I4").Value = Cells(i + Range("S5") + 1, 1)
                If Range("S1").Value = "ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ" Then
                    Range("Q1").Value = Cells(i, 1)
                    GoTo line16
                End If
            End If
        Else
            If Range("S2").Value < 0.1 Then
                Range("I2").Value = Cells(i + 1, 1)
                Range("I4").Value = Cells(i + Range("S5") + 1, 1)
                If Range("S1").Value = "ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ" Then
                    Range("Q1").Value = Cells(i, 1)
                    GoTo line16
                End If
            End If
        End If
    Else
    Range("S3").Value = "ΚΑΝΕΝΑ ΣΗΜΕΙΟ1"
    GoTo line16
    End If
Next i
line16:
End Sub
```

Σχήμα Α-7: Κώδικας μακροεντολής σε VBA για το σημείο Α

```
Private Sub Shmeio2_Click()
Dim i As Integer
Range("S3").Value = ""
Range("Q2").Value = ""
For i = Range("P4").Value To Range("Q4").Value
    Range("I2").Value = Cells(i, 1)
    Range("I4").Value = Cells(i + Range("S5"), 1)
    If Range("S1").Value = "ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ" Then
        If Range("S2").Value < -0.3 Then
            i = i + 15
            If Range("S2").Value > -0.1 Then
                Range("I2").Value = Cells(i + 1, 1)
                Range("I4").Value = Cells(i + Range("S5") + 1, 1)
                 If Range("S1").Value = "ΒΛΕΠΕΙ" Then
                     Range("Q2").Value = Cells(i, 1)
                     GoTo line32
                 End If
            End If
        Else
            If Range("S2").Value > -0.1 Then
                Range("I2").Value = Cells(i + 1, 1)
                Range("I4").Value = Cells(i + Range("S5") + 1, 1)
                 If Range("S1").Value = "ΒΛΕΠΕΙ" Then
                     Range("Q2").Value = Cells(i, 1)
                     GoTo line32
                 End If
            End If
        End If
    Else
    Range("S3").Value = "ΚΑΝΕΝΑ ΣΗΜΕΙΟ2"
    GoTo line32
    End If
Next i
line32:
End Sub
```

Σχήμα Α-8: Κώδικας μακροεντολής σε VBA για το σημείο Β

```
Private Sub CommandButton2_Click()
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Range("S3").Value = ""
Range("Q1").Value = ""
Range("Q2").Value = ""
For i = Range("P3").Value To Range("Q3").Value
    Range("I2").Value = Cells(i, 1)
    Range("I4").Value = Cells(i + Range("S5"), 1)
    If Range("S1").Value = "ΒΛΕΠΕΙ" Then
        If Range("S2").Value > 0.3 Then
            i = i + 15
            If Range("S2").Value < 0.1 Then
                Range("I2").Value = Cells(i + 1, 1)
                Range("I4").Value = Cells(i + Range("S5") + 1, 1)
                If Range("S1").Value = "ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ" Then
                    Range("Q1").Value = Cells(i, 1)
                    GoTo line16
                End If
            End If
        Else
            If Range("S2").Value < 0.1 Then
                Range("I2").Value = Cells(i + 1, 1)
                Range("I4").Value = Cells(i + Range("S5") + 1, 1)
                If Range("S1").Value = "ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ" Then
                    Range("Q1").Value = Cells(i, 1)
                    GoTo line16
                End If
            End If
        End If
    Else
    Range("S3").Value = "ΚΑΝΕΝΑ ΣΗΜΕΙΟ1"
    GoTo line16
    End If
Next i
line16:
Range("P4").Value = Range("Q1").Value + 100
For j = Range("P4").Value To Range("Q4").Value
    Range("I2").Value = Cells(j, 1)
    Range("I4").Value = Cells(j + Range("S5"), 1)
    If Range("S1").Value = "ΔΕΝ ΒΛΕΠΕΙ" Then
        If Range("S2").Value < -0.3 Then
            j = j + 15
            If Range("S2").Value > -0.1 Then
                Range("I2").Value = Cells(j + 1, 1)
                Range("I4").Value = Cells(j + Range("S5") + 1, 1)
                 If Range("S1").Value = "ΒΛΕΠΕΙ" Then
                     Range("Q2").Value = Cells(j, 1)
                     GoTo line32
                 End If
            End If
        Else
            If Range("S2").Value > -0.1 Then
                Range("I2").Value = Cells(j + 1, 1)
                Range("I4").Value = Cells(j + Range("S5") + 1, 1)
                 If Range("S1").Value = "ΒΛΕΠΕΙ" Then
                     Range("Q2").Value = Cells(j, 1)
                     GoTo line32
                 End If
            End If
        End If
    Else
    Range("S3").Value = "ΚΑΝΕΝΑ ΣΗΜΕΙΟ2"
    GoTo line32
    End If
Next j
line32:
End Sub
```

Σχήμα Α-9: Κώδικας μακροεντολής σε VBA για τα σημεία Α και Β