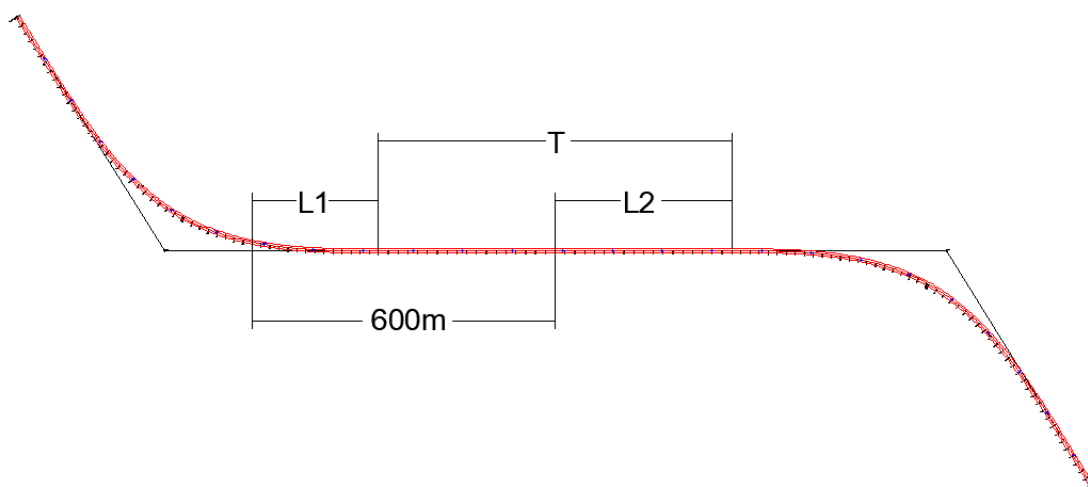




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΧΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ
ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ ΣΕ ΔΙΑΔΟΧΙΚΕΣ ΑΝΤΙΠΡΟΠΕΣ
ΚΑΜΠΥΛΕΣ**



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΠΑΠΑΜΙΧΑΗΛ ΑΡΤΕΜΙΣ

ΜΑΥΡΟΜΑΤΗΣ ΣΤΕΡΓΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ

ΙΟΥΛΙΟΣ 2020

ΣΥΝΟΨΗ

Κύριος στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η διερεύνηση για επάρκεια ορατότητας για προσπέραση σε διαδοχικές αντίρροπες καμπύλες. Πιο συγκεκριμένα, με χρήση του προγράμματος FM που αναπτύχθηκε από τον κ. Φώτη Μερτζάνη, ελέγχεται η περιοχή με ελάχιστο απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση. Η διερεύνηση περιλαμβάνει μεγάλο πλήθος περιπτώσεων όπου ελέγχεται η επάρκεια της ευθυγραμμίας μεταξύ των δυο καμπυλών ώστε να επιτευχθεί το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ευθυγραμμίας. Τα ευρήματα της έρευνας οργανώνονται σε κατάλληλα διαγράμματα και αποτελούν ένα εύχρηστο εργαλείο κατά το σχεδιασμό οδών. Ως αποτέλεσμα, δίνονται στο μηχανικό συγκεκριμένοι επιτρεπόμενοι συνδυασμοί –έτοιμων προς χρήση- κρίσιμων γεωμετρικών παραμέτρων, καθώς και μία πιο εποπτική εικόνα της αλληλεπίδρασης που υπάρχει μεταξύ των ακτινών της οδού και της επάρκειας Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση. Κατά συνέπεια, παρέχεται η δυνατότητα πληρέστερης αξιολόγησης του επιπέδου ασφαλείας και λειτουργικότητας της χάραξης, ώστε να λαμβάνονται οι κατάλληλες αποφάσεις.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (ΜΟΠ),υπεραστική οδός, ευθυγραμμία, σιγμοειδής καμπύλη, διάγραμμα ορατότητας

ABSTRACT

The main objective of this diploma thesis is the investigation of passing sight distance sufficiency in rural roads with two consecutive curves. Specifically, with the use of FM program developed by mr. Fotis Mertzanis, the goal is to find the minimum available passing sight distance. The investigation splits to a wide range of different cases, each of whom calculates the sufficiency of tangent between two curves in order to achieve a minimum available passing sight distance. 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 the road curves and the 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, tangent, sigmoid curve, visibility diagram

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κύριος στόχος κατά 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 κατά ΟΜΟΕ-Χ, το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση είναι συνάρτηση της λειτουργικής ταχύτητας V_{85} (km/h). Επειδή όμως υπάρχει μια γενική τάση υιοθέτησης των Γερμανικών κανονισμών RAL 2012, στην παρούσα εργασία θεωρούμε ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση τα 600m. Επομένως, βασικός στόχος της Διπλωματικής Εργασίας είναι η διερεύνηση της ευθυγραμμίας ώστε να επιτευχθεί το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση.

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 χάραξης της οδού, των ακτινών και της κλωθοειδούς στη μεταβολή του διατιθέμενου ΜΟΠ. Παρατηρείται ότι δεν υφίσταται κάποιο εργαλείο υπολογισμού το οποίο εξετάζει αυτή την αλληλεπίδραση και διερευνά τα εύρη με επάρκεια ΜΟΠ. Για την επίλυση αυτού του ζητήματος, αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και εξετάζονται διαφορετικοί συνδυασμοί γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Με τη βοήθεια του προγράμματος FM, εξάγονται μέσω των διαγραμμάτων τα απαραίτητα αποτελέσματα, τα οποία ορίζουν τις θέσεις επάρκειας ΜΟΠ σε ευθυγραμμία με αντίρροπες διαδοχικές καμπύλες.

Τέλος, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Κυριότερο συμπέρασμα είναι η συμβολή της εργασίας στην βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Εξετάστηκε λεπτομερώς η αλληλεπίδραση των ακτινών, της κλωθοειδούς και του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση και οπτικοποιήθηκαν επαρκώς οι περιοχές στις οποίες επιτρέπεται η προσπέραση. Τα αποτελέσματα της εργασίας αποτελούν χρήσιμο εργαλείο για το σχεδιασμό οδικών έργων και την οδική σήμανση. Δεδομένου ότι τοποθετήθηκαν οι βάσεις για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο αυτό, καταγράφονται ορισμένες προτάσεις για επόμενες εργασίες.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω από καρδιάς την οικογένεια μου και τους φίλους για την αμέριστη στήριξη και συμπαράσταση που μου έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια στην επιτυχή ολοκλήρωση των σπουδών μου.

Ευχαριστώ πολύ τον υπεύθυνο επίκουρο καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κ. Στέργιο Μαυρομάτη για τη συνεργασία μας, καθώς και τον κ. Φώτη Μερτζάνη για τη πολύτιμη βοήθεια του και τον συμφοιτητή μου Κωνσταντίνο Μάρκο.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΣΥΝΟΨΗ.....	3
ABSTRACT.....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	7
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	9
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	10
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	12
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	14
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
1.1 ΓΕΝΙΚΑ	15
1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	16
1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	16
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	19
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	19
2.2 ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	19
2.3 ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ.....	22
2.3.1 ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (RAL)	22
2.3.1.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ	26
2.3.1.2 ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	36
2.3.2 ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (ΟΜΟΕ-Χ).....	36
2.3.2.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ	37
2.3.2.2 ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ.....	39
2.3.2.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΥΠΟΥ S	42
2.3.2.4 ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	44
2.3.3 ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (AASHTO)	45
2.4 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ.....	47
2.5 ΣΥΝΟΨΗ	48
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ	49
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	49

3.2	ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	49
3.3	ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	51
3.4	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΕΩΝ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	60
3.5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ RAL 2012	63
3.5.1	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ R1,R2 ΜΕ ΜΗΚΗ L1,L2.....	63
3.5.1.1	EKL2-100km/h.....	64
3.5.1.2	EKL3 – 90 km/h	65
3.5.1.3	EKL4 – 70 km/h	66
3.5.1.4	ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	66
3.5.2	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ R1,R2 ΜΕ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑ Τ	68
3.5.2.1	EKL2-100km/h.....	69
3.5.2.2	EKL3-90km/h.....	70
3.5.2.3	EKL4-70km/h.....	70
3.5.2.4	ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ	71
3.5.3	ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ R1, R2, L1, L2 ΜΕ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑ Τ.....	74
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	82
4.1	ΓΕΝΙΚΑ	82
4.2	ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	82
4.3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	88
4.4	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	89
5.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	91

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1-1:Στάδια διπλωματικής εργασίας.....	17
Σχήμα 2-1:Ορισμός Μήκους Ορατότητας.....	20
Σχήμα 2-2: Θέση οχήματος και εμποδίου για Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση.....	20
Σχήμα 2-3: τυπική διατομή RQ 15,5	22
Σχήμα 2-4: τυπική διατομή RQ 11,5+ α) με επιπρόσθετη λωρίδα προσπέρασης b1) με διπλή συνεχή διαχωριστική γραμμή b2) με διπλή διακεκομμένη διαχωριστική γραμμή	24
Σχήμα 2-5: τυπική διατομή RQ 11	25
Σχήμα 2-6: τυπική διατομή RQ 9	26
Σχήμα 2-7: Ελάχιστες τιμές ακτινών στο τμήμα σύνδεσης ευθυγραμμίας-κυκλικού τόξου.	30
Σχήμα 2-8: Σχέση μεταξύ ακτίνας οριζοντιογραφικής καμπύλης και δείκτη ατυχημάτων.....	32
Σχήμα 2-9: Σχέση διαδοχικών ακτινών κατά RAL	33
Σχήμα 2-10: Εφαρμογή του τόξου συναρμογής	34
Σχήμα 2-11: Ελάχιστες τιμές παραμέτρου κλωθοειδούς σε συνάρτηση της ακτίνας και της επίκεντρης γωνίας κυκλικού τόξου	35
Σχήμα 2-12: Σχέση διαδοχικών ακτινών κυκλικών τόξων κατά ΟΜΟΕ-Χ (2001)....	40
Σχήμα 2-13: Σιγμοειδής καμπύλη.....	43
Σχήμα 2-14: Διαδικασία προσπέρασης.....	44
Σχήμα 2-15: Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση.....	46
Σχήμα 2-16: Διαδικασία προσπέρασης και επιμέρους μήκη	48
Σχήμα 3-1: Απαιτούμενο μήκος ορατότητας κατά την διαδικασία της προσπέρασης.....	49
Σχήμα 3-2: Αναπαράσταση των οχημάτων πριν την έναρξη της προσπέρασης	51
Σχήμα 3-3: Συνδυασμός ακτινών με παράμετρο κλωθοειδούς $A=R$	52
Σχήμα 3-4: Συνδυασμός ακτινών με παράμετρο κλωθοειδούς $A=R/3$	52
Σχήμα 3-5: Τυπική διατομή β2 σε ευθυγραμμία.	55
Σχήμα 3-6: Οριζοντιογραφία της οδού με τα υπό μελέτη μεγέθη.	56
Σχήμα 3-7: Λεπτομέρεια της οριζοντιογραφίας	57
Σχήμα 3-8: Διάγραμμα ορατότητας συναρτήσει διαγράμματος καμπυλότητας.....	59
Σχήμα 3-9: Οριζοντιογραφία οδού με τα υπό μελέτη μεγέθη.	59

Σχήμα 3-10: Διάγραμμα ορατότητας για επαρκές ΜΟΠ.....	61
Σχήμα 3-11: Αποτύπωση μηκών L1, L2 και T.	62
Σχήμα 3-12: Μήκη L1 και L2 σύμφωνα με τις Γερμανικές Οδηγίες.	67
Σχήμα 3-13: Διάγραμμα προσδιορισμού ευθυγραμμίας T.	72
Σχήμα 3-14: Σχέση διαδοχικών ακτίνων κατά RAL.....	73
Σχήμα 3-15: Διάγραμμα προσδιορισμού μήκους L1 και ευθυγραμμίας T.....	80
Σχήμα 4-1: Μήκη L1 και L2 σύμφωνα με τις Γερμανικές Οδηγίες	84
Σχήμα 4-2: Διάγραμμα προσδιορισμού ευθυγραμμίας T	85
Σχήμα 4-3: Διάγραμμα προσδιορισμού μήκους L1 και ευθυγραμμίας T.....	87

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1: Ελάχιστα και μέγιστα μήκη ευθυγραμμίων σύμφωνα με τις Οδηγίες RAL.....	27
Πίνακας 2.2: Προτεινόμενες τιμές ακτινών κυκλικών τόξων κατά RAL	28
Πίνακας 2.3: Ελάχιστα μήκη κυκλικών τόξων	30
Πίνακας 2.4: Ελάχιστα μήκη κυκλικού τόξου κατά RAA, RAL και OMOE-X.	39
Πίνακας 2.5: Απαιτούμενο ΜΟΠ κατά OMOE-X και RAL	44
Πίνακας 2.6: Ελάχιστο ΜΟΠ κατά AASHTO 2011	46
Πίνακας 3.1: Προτεινόμενες τιμές ακτινών κυκλικών τόξων.	51
Πίνακας 3.2: Ευθυγραμμία για κλάση μελέτης EKL4.	57
Πίνακας 3.3: Μήκη L1 και L2 για κλάση μελέτης EKL2.	64
Πίνακας 3.4: Μήκη L1 και L2 για κλάση μελέτης EKL3.	65
Πίνακας 3.5: Μήκη L1 και L2 για κλάση μελέτης EKL4.	66
Πίνακας 3.6: Ευθυγραμμία για κλάση μελέτης EKL2.	69
Πίνακας 3.7: Ευθυγραμμία για κλάση μελέτης EKL3.	70
Πίνακας 3.8: Ευθυγραμμία για κλάση μελέτης EKL4.	70
Πίνακας 3.9: Ευθυγραμμία για άθροισμα ακτινών R1+R2.	71
Πίνακας 3.10: Ακτίνα R1 με μήκος L1 για A=R.....	74
Πίνακας 3.11: Ευθυγραμμία T με βάση τις ακτίνες R1 και R2 για A=R	75
Πίνακας 3.12: Μήκη L2 που προκύπτουν από τη σχέση $600=T+L1-L2$ για A=R.....	75
Πίνακας 3.13: Μήκη L2 που προέκυψαν από λογισμικό FM και απόκλιση από τα παραχθέντα για A=R.....	76
Πίνακας 3.14 Ακτίνα R1 με μήκος L1 για A=R/3.....	76
Πίνακας 3.15: Ευθυγραμμία T με βάση τις ακτίνες R1 και R2 για A=R/3.....	77
Πίνακας 3.16: Μήκη L2 που προκύπτουν από τη σχέση $600=T+L1-L2$ για A=R/3..	77
Πίνακας 3.17: Μήκη L2 που προέκυψαν από λογισμικό FM και απόκλιση από τα παραχθέντα για A=R/3.....	78

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)**.

Κατά ΟΜΟΕ-Χ, γενικά είναι επιθυμητό, στις οδούς κατηγορίας Α και Β, να διατίθενται συνθήκες ορατότητας για προσπέραση συνολικά τουλάχιστον σε ένα ποσοστό 20-25% του μήκους της οδού με ομοιόμορφη κατανομή των τμημάτων αυτών. Επομένως, είναι απαραίτητη η διερεύνηση της επιρροής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού, ως προς την εξασφάλιση αυτού του ελάχιστου απαιτούμενου μήκους. Οι παράμετροι που επηρεάζουν το μήκος ορατότητας αφορούν κυρίως στη χάραξη της οδού (καμπύλα τμήματα στην οριζοντιογραφία, κοίλες ή κυρτές καμπύλες στη μηκοτομή), στα πρηνή των ορυγμάτων και επιχωμάτων, στο φυσικό ανάγλυφο της περιοχής, 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. Μια τέτοια χάραξη όμως κρίνεται ιδιαίτερα αντισυμβατική επομένως, στη συγκεκριμένη έρευνα θα θεωρήσουμε ως επιτρεπόμενο μήκος για προσπέραση το ελάχιστο δυνατό επιτρεπόμενο, δηλαδή τα 600m σύμφωνα με τις γερμανικές οδηγίες RAL 2012.

Στην περίπτωση όπου εξετάζουμε την επάρκεια των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού ως προς τη δυνατότητα προσπέρασης, αναφέρεται στις γερμανικές οδηγίες ότι θα πρέπει να παρέχεται ένα μήκος ορατότητας τουλάχιστον ίσο με 600m. Δεδομένου του ιδιαίτερα πολυσχιδούς ανάγλυφου της Ελλάδας, γεννάται το ερώτημα ποιες είναι οι ελάχιστες επιτρεπόμενες ευθυγραμμίες μεταξύ των καμπύλων ώστε να επιτευχθούν τα αναγκαία μήκη ορατότητας για προσπέραση.

1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στη διαδικασία διερεύνησης της επάρκειας μήκους ορατότητας για προσπέραση ισχύει η απαίτηση:

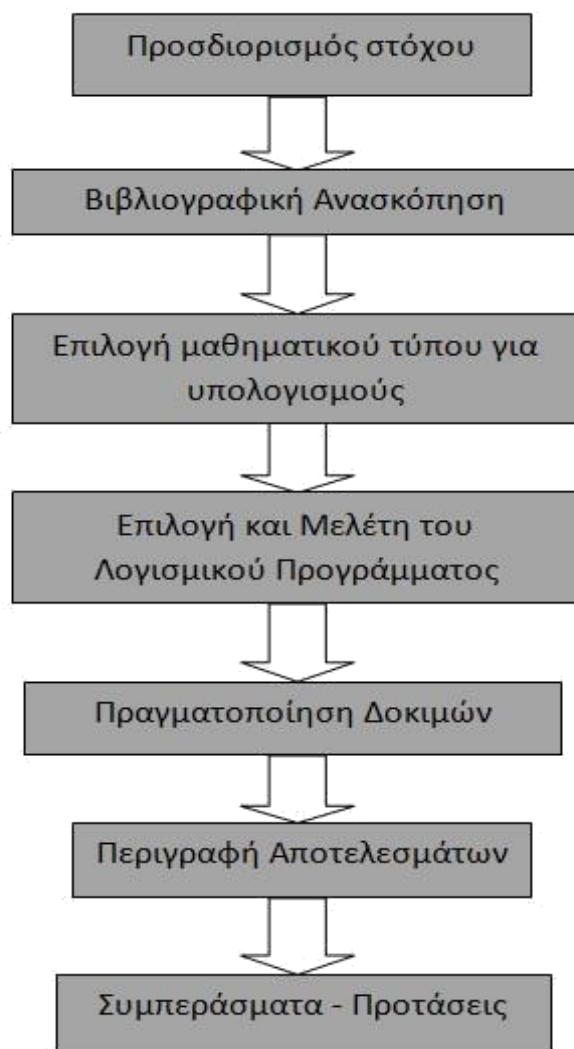
$$ΜΟΠ_{\text{διατιθέμενο}} - ΜΟΠ_{\text{απαιτούμενο}} \geq 0$$

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση του εύρους επάρκειας ΜΟΠ σε σιγμοειδή καμπύλη. Η μορφή της οδού που έχει επιλεγεί είναι η ακόλουθη. Η πρώτη καμπύλη είναι αριστερόστροφη και ακολουθεί ένα μήκος ευθυγραμμίας μέχρι την επόμενη καμπύλη η οποία είναι δεξιόστροφη. Σε οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, για ταχύτητες μελέτης έως και 100km/h και συνδυασμό παραμέτρων ακτινών και κλωθοειδών, βάσει των Γερμανικών οδηγιών (RAL 2012), θα εξαχθούν διαγράμματα που προσδιορίζουν τις θέσεις επάρκειας ΜΟΠ. Με αυτό τον τρόπο, η παρούσα Διπλωματική Εργασία αποτελεί ένα χρήσιμο εγχειρίδιο για το μελετητή οδικών έργων, τόσο στη μελέτη σήμανσης της οδού, 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 επιλεγείσα 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 διάφορους συνδυασμούς ακτινών και κλωθοειδών. 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 στα πλαίσια 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 περαιτέρω έρευνα.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση του συνόλου της βιβλιογραφίας που αξιοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Παρατίθενται οι οδηγίες έργων οδοποιίας των ΗΠΑ (AASHTO), Γερμανίας (RAL 2012) και Ελλάδας (ΟΜΟΕ-X). Επιπλέον, 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

Βασικό κριτήριο κατά τη μελέτη κατασκευής μιας οδού ώστε να παρέχεται επαρκείς οδική ασφάλεια είναι η εξασφάλιση επαρκούς **Μήκους Ορατότητας**, δηλαδή η ικανότητα του οδηγού να βλέπει ανεμπόδιστα 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

Για λόγους κυκλοφοριακής ασφάλειας, με βάση τις Ελληνικές Οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ 2001, σε οδούς της ομάδας Α ή κατηγορίας ΒΙ και ΒΙΙ, οι τιμές ακτινών μεταξύ διαδοχικών ομόρροπων ή αντίρροπων καμπυλών πρέπει να είναι μεταξύ τους εναρμονισμένες. Η ίδια εναρμόνιση είναι επιθυμητή στις οδούς κατηγορίας ΒΙΙΙ, καθώς και στις οδούς κατηγορίας ΒΙΥ, εφόσον είναι εφικτό. Η απαίτηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι δεν πρέπει να μεταβάλλεται απότομα η λειτουργική ταχύτητα V_{85} μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών και συνεπώς υπό αυτή την έννοια να

ενισχύεται ένας ασφαλής τρόπος οδήγησης. Η επιτρεπόμενη σχέση μεταξύ των ακτινών διαδοχικών κυκλικών τόξων δίδεται σε επόμενο εδάφιο.

Στις κατηγορίες οδών AI έως AIV και BI έως BII η αλληλουχία των ακτινών πρέπει να βρίσκεται στην “καλή” περιοχή. Στις κατηγορίες οδών BIII και BIV η αλληλουχία των ακτινών μπορεί να βρίσκεται και στη “μέτρια” περιοχή.

Στις οδηγίες RAA 2008, συνιστάται στις διαδοχικές ακτίνες κυκλικών τόξων να τηρείται η προϋπόθεση $R1/R2 \leq 1.5$, εφόσον $R1 \leq 1500$ m.

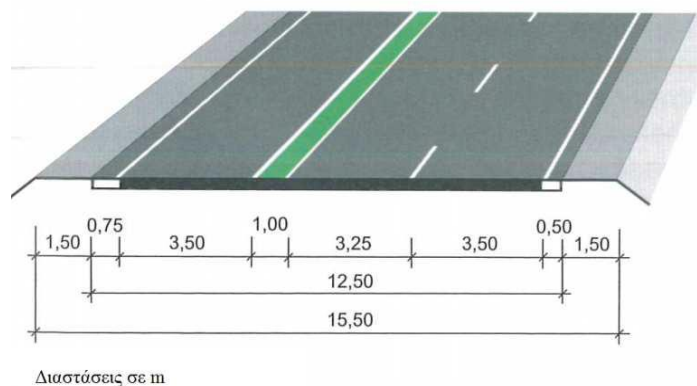
2.3 ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

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 2-3: τυπική διατομή RQ 15,5

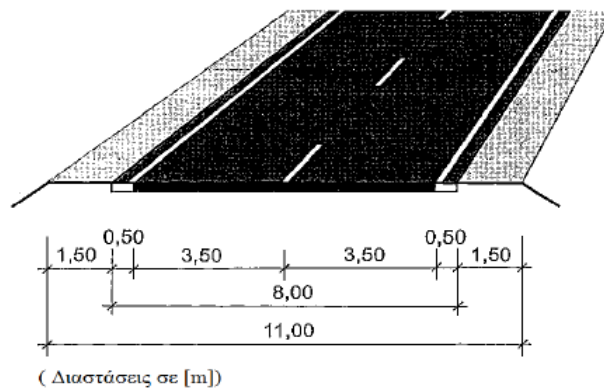
Οδοί κλάσης μελέτης EKL 2 είναι οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας με διατομή RQ 11,5+, στις οποίες κατασκευάζονται κατά τμήματα λωρίδες προσπέρασης και για τις δυο κατευθύνσεις. Αυτό γίνεται με σκοπό η διαδικασία προσπέρασης να πραγματοποιείται σε ελεγχόμενα τμήματα και να αποφεύγεται η χρήση της αντίθετης 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 προσανξάνεται 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 μήκος οδού τουλάχιστον 20% για δυνατότητα πραγματοποίησης ασφαλούς προσπέρασης. 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

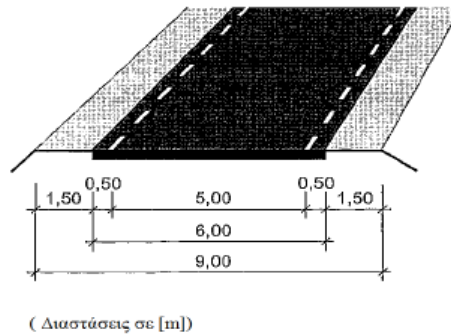
Οδοί κλάσης μελέτης EKL 4 είναι οδοί ενιαίου οδοστρώματος με διατομή RQ 9 και χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση της τοπικής κυκλοφορίας. Λόγω της χαμηλής κυκλοφοριακής ζήτησης και τις σπάνιες διασταυρώσεις, η οδός διαμορφώνεται με σταθερό πλάτος, όπου όμως δεν είναι δυνατή η ανάπτυξη δύο λωρίδων κυκλοφορίας. 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 σε αυτές τις οδούς.

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 EKL4, 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 2-6: τυπική διατομή RQ 9

2.3.1.1 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η οριζοντιογραφία της οδού συνίσταται από τα εξής τρία στοιχεία μελέτης:

- Ευθυγραμμίες
- Κυκλικά τόξα
- Τόξα συναρμογής

Σε ότι αφορά στα στοιχεία αυτά άλλα κα στις μεταξύ τους συνδέσεις, ισχύουν κανόνες οι οποίοι περιγράφονται στη συνέχεια.

• ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑ

Οι ευθυγραμμίες γενικότερα παρουσιάζουν πλεονεκτήματα, καθώς είναι εύκολη η διαδικασία της χάραξης σε τοπογραφίες όπως πεδινά εδάφη ή κοιλάδες. Επίσης προσφέρουν μεγαλύτερα ασφάλεια σε περιοχές με περιορισμένη ορατότητα για προσπέραση. Από την άλλη πλευρά, οι μεγάλες ευθυγραμμίες δυσχεραίνουν την εκτίμηση των αποστάσεων και ταχυτήτων, παρασύρουν τον οδηγό σε υψηλές ταχύτητες, προκαλούν προβλήματα θάμβωσης από τα φώτα των οχημάτων και για το λόγο αυτό οι Οδηγίες Οδοποιίας προσδιορίζουν μέγιστες αλλά και ελάχιστες τιμές

ευθυγραμμίων. Ωστόσο, ο τρόπος προσδιορισμού αυτών των τιμών έχει τροποποιηθεί ριζικά στις νεότερες Οδηγίες Οδοποιίας.

Στις Γερμανικές οδηγίες υπεραστικών οδών οι αντίστοιχες τιμές για το μέγιστο και ελάχιστο μήκος ευθυγραμμίας είναι παρόμοιες για όλες τις κλάσεις μελέτης (EKL 1 έως EKL 4) και δίδονται με βάση τη κλάση μελέτης της οδού:

Κλάση μελέτης [EKL]	min L [m]	max L [m]
EKL 1	600	1500
EKL 2		
EKL 3		
EKL 4	400	

Πίνακας 2.1: Ελάχιστα και μέγιστα μήκη ευθυγραμμίων σύμφωνα με τις Οδηγίες RAL

Σε μεμονωμένες περιπτώσεις και για την καλύτερη προσαρμογή της χάραξης στο τοπίο επιτρέπεται κατά ελάχιστο η υπέρβαση της άνω τιμής.

Με βάση πιο σύγχρονες αντιλήψεις στο γεωμετρικό σχεδιασμό οδών, η ευθυγραμμία θεωρείται δυναμικό στοιχείο μελέτης. Αυτό σημαίνει πως το μήκος της ευθυγραμμίας επηρεάζει άμεσα την ταχύτητα κίνησης των οχημάτων και άρα την παρεχόμενη ασφάλεια της οδού. Η αποφυγή απότομων εναλλαγών στην ταχύτητα κίνησης και η συμμόρφωση των οδηγών με τα όρια ταχυτήτων είναι περισσότερο εμφανείς πρακτικές όταν δεν σχεδιάζονται μεγάλα μήκη ευθυγραμμίων, ιδιαίτερα όταν αυτά προηγούνται από τόξα μεγάλης καμπυλότητας.

Άρα, οι ευθυγραμμίες αποτελούν βασικό στοιχείο για την επίτευξη μιας ομοιογένειας στις τιμές ταχυτήτων μεταξύ διαδοχικών στοιχείων μελέτης. Προς την κατεύθυνση αυτή οι νεότερες Οδηγίες για τις υπεραστικές οδούς καθορίζουν συγκεκριμένες τιμές για τις ευθυγραμμίες σε συνδυασμό με τις κλάσεις μελέτης, όπως προαναφέρθηκε, με απώτερο σκοπό να εκκλείψει το φαινόμενο της ανομοιομορφίας των οδών. Αυτό συνέβαινε καθώς ο μελετητής μηχανικός προσδιόριζε τα μήκη των ευθυγραμμίων χωρίς συγκεκριμένη ταχύτητα μελέτης, με άμεσο αποτέλεσμα ο χρήστης της οδού να υποχρεούται να προσαρμόζει συνεχώς την ταχύτητα του, πράγμα μη επιθυμητό στις

νεότερες Οδηγίες των RAL. Πλέον οι τιμές είναι πιο συγκεκριμένες και δημιουργείται μια μεγαλύτερη ομοιογένεια στις χαράξεις, σημείο που αντικατοπτρίζει τη γενικότερη φιλοσοφία των RAL.

- **ΚΥΚΛΙΚΑ ΤΟΞΑ**

Τα κυκλικά τόξα και συγκεκριμένα οι ακτίνες κυκλικών τόξων θα πρέπει να επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να:

- προσαρμόζεται η οδός κατάλληλα στην τοπογραφία και το περιβάλλον, επηρεάζοντάς το στο ελάχιστο δυνατό
- εξασφαλίζεται συμβατότητα μεταξύ οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, ώστε να επιτυγχάνεται καλή ανάπτυξη της οδού στο χώρο.

Τρία είναι τα βασικά στοιχεία που ελέγχονται κατά τον σχεδιασμό και χάραξη ενός κυκλικού τόξου. Αυτά είναι τα εξής:

1. Ακτίνα κυκλικού τόξου
2. Ελάχιστο μήκος κυκλικού τόξου
3. Αλληλουχία ακτινών διαδοχικών καμπυλών.

Ακτίνα κυκλικού τόξου

Τα κυκλικά τόξα και πιο συγκεκριμένα οι ακτίνες τους θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχεται η δυνατότητα ομαλής κίνησης εντός του τόξου με την επιτρεπόμενη ταχύτητα που ορίζεται από την εκάστοτε κλάση μελέτης. Επίσης, θα πρέπει οι ακτίνες να εναρμονίζονται με την τοπογραφία της περιοχής. Οι συνιστώμενες τιμές παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2.

Κλάσεις Μελέτης	Εύρος τιμών ακτινών R [m]
EKL 1	≥ 500
EKL 2	400 - 900
EKL 3	300 - 600
EKL 4	200 - 400

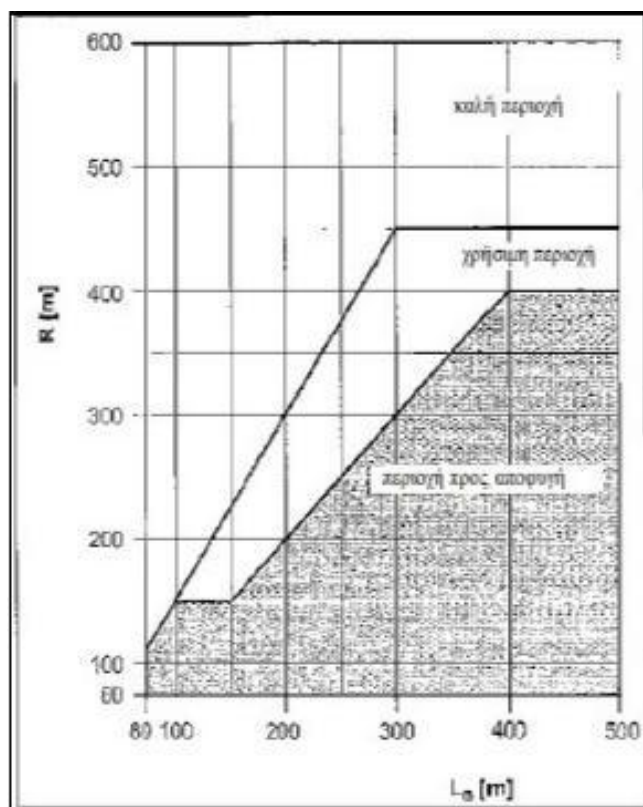
Πίνακας 2.2: Προτεινόμενες τιμές ακτινών κυκλικών τόξων κατά RAL .

Παρατηρώντας προσεκτικά το προτεινόμενο εύρος των τιμών σχετικά με τις ακτίνες των κυκλικών τόξων, διακρίνεται η αρχική φιλοσοφία που θέλουν να μεταδώσουν οι Οδηγίες RAL, μιας πιο ευθυτενούς χάραξης κυρίως σε οδούς της EKL 1 και κατά επέκταση της EKL 2, όπου οι επιτρεπόμενες ταχύτητες είναι και πιο υψηλές. Εκτός αυτού, τα μικρότερα εύρη ακτινών σε οδούς των κλάσεων EKL 3 και EKL 4, αποτρέπουν και αποθαρρύνουν τον χρήστη της οδού από την διαδικασία της προσπέρασης, σε αντίθεση με τις μεγάλες ακτίνες που μπορεί να αλλοιώσουν την κλάση μελέτης και να οδηγήσουν το χρήστη σε λανθασμένη εκτίμηση απόστασης και ταχύτητας.

Σε τεκμηριωμένες περιπτώσεις μπορεί να επιλεγούν μεγαλύτερες ακτίνες, εάν κατά αυτό τον τρόπο παρέχεται καλύτερη εναρμόνιση με το περιβάλλον. Ωστόσο το όριο ανοχής στις κατώτερες τιμές ανέρχεται πλέον στο 15 % σε σύγκριση με παλαιότερες Οδηγίες, που ανερχόταν στο 25 %. Με αυτό τον τρόπο θεμελιώνεται πιο έντονα ο στόχος απόδοσης συγκεκριμένης χάραξης της οδού, χωρίς να δίνονται πολύ μεγάλα περιθώρια στον μελετητή και να αλλοιώνεται ο προσδοκώμενος χαρακτήρας της οδού.

Στις RAS-L για λόγους καλύτερης προσαρμογής στις κλιματολογικές συνθήκες της Ελλάδας, η επιλογή των τιμών R_{min} εξαρτάται εκτός από την ομάδα στην οποία ανήκει η οδός και από την κατηγορία του εδάφους (πεδινό, λοφώδες ή ορεινό), μεθοδολογία που δεν εφαρμόζεται στις νεότερες Οδηγίες.

Στις Γερμανικές οδηγίες για υπεραστικές οδούς, προτείνονται ελάχιστες τιμές ακτινών στις περιοχές σύνδεσης του κυκλικού τόξου με την ευθυγραμμία. Οι συγκεκριμένες ακτίνες θα πρέπει να βρίσκονται τουλάχιστον στη «χρήσιμη περιοχή». Στις οδούς τις κλάσεις EKL 1 μέχρι EKL 3 θα πρέπει να επιδιώκεται η «καλή περιοχή» (Σχήμα 2-8).



Σχήμα 2-7: Ελάχιστες τιμές ακτινών στο τμήμα σύνδεσης ευθυγραμμίας-κυκλικού τόξου.

Ελάχιστο μήκος κυκλικού τόξου

Για να αντιλαμβάνονται οι χρήστες τις οδοú τα κυκλικά τόξα ως ανεξάρτητα στοιχεία εντός της καμπύλης, θα πρέπει να υπάρχουν τα ελάχιστα μήκη κυκλικών τόξων σύμφωνα με τον Πίνακα 2.3, που προσδιορίζονται σε συνδυασμό με την κλάση μελέτης.

Κλάσεις Μελέτης	Ελάχιστα μήκη κυκλικών τόξων min L [m]
EKL 1	70
EKL 2	60
EKL 3	50
EKL 4	40

Πίνακας 2.3: Ελάχιστα μήκη κυκλικών τόξων

Αντίθετα, στις παλαιότερες Οδηγίες RAS-L τα ελάχιστα μήκη των κυκλικών τόξων επιλέγονταν βάσει της ταχύτητας μελέτης και πιο συγκεκριμένα, θα έπρεπε να έχουν μήκος τουλάχιστον ίσο με εκείνο που διανύεται σε 2 δευτερόλεπτα από όχημα κινούμενο με την ταχύτητα μελέτης, δηλαδή:

$$\min b = 2 / (3.6 * V_e)$$

όπου :

$\min b$: ελάχιστο μήκος κυκλικού τόξου (m)

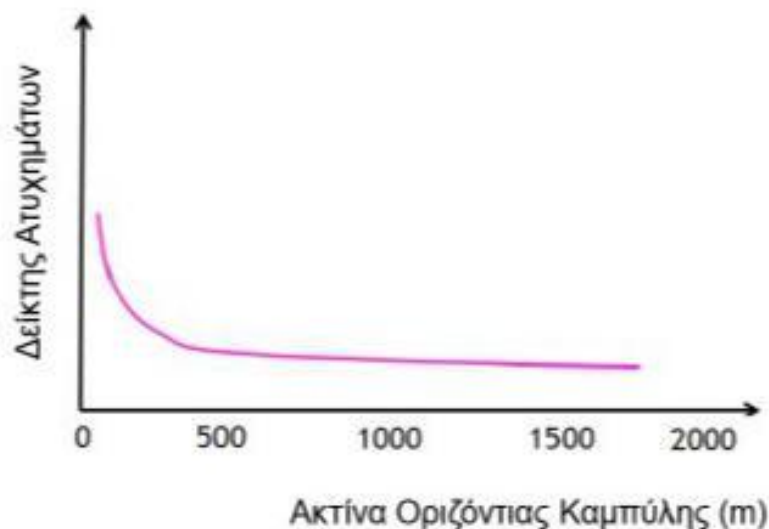
V_e : ταχύτητα μελέτης οδού (km/h).

Αλληλουχία ακτινών διαδοχικών καμπυλών

Αναλύσεις ατυχημάτων τα τελευταία 50 έτη έχουν δείξει ότι ένα πολύ σημαντικό ποσοστό ατυχημάτων συμβαίνει σε καμπύλα οδικά τμήματα. Πιο συγκεκριμένα, έρευνες έδειξαν ότι η επικινδυνότητα σε οριζοντιογραφικές καμπύλες είναι 1.5 - 4 φορές υψηλότερη απ' ότι σε ευθυγραμμίες και ότι υπάρχει μια αντιστρόφως ανάλογη σχέση μεταξύ του δείκτη ατυχημάτων και της ακτίνας μιας καμπύλης (Σχήμα 2-9).

Επιπλέον:

- 25 - 30% του συνόλου των θανατηφόρων ατυχημάτων συμβαίνουν σε καμπύλα τμήματα
- Το δευτερεύων οδικό δίκτυο παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό ατυχημάτων σε καμπύλες (πιο έντονη καμπυλότητα)
- 60% όλων των ατυχημάτων σε οριζοντιογραφικές καμπύλες αφορούν εκτροπές οχημάτων
- Το ποσοστό ατυχημάτων σε υγρό οδόστρωμα είναι υψηλό
- Κατά βάση ατυχήματα παρατηρούνται στα σημεία αρχής και πέρατος των καμπυλών

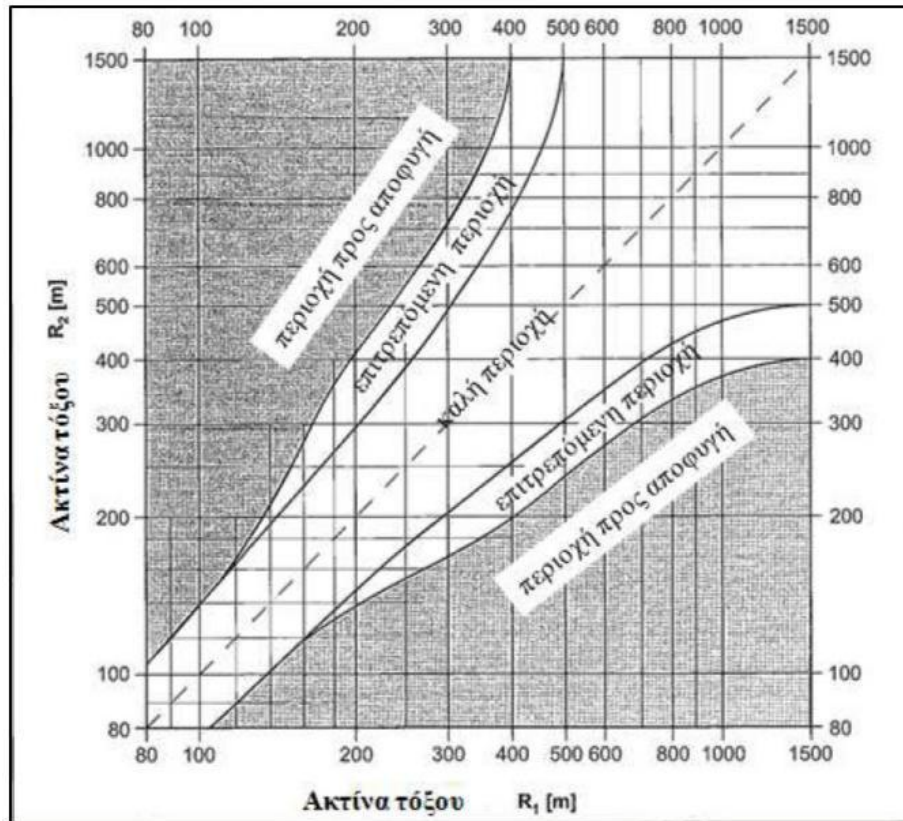


Σχήμα 2-8: Σχέση μεταξύ ακτίνας οριζοντιογραφικής καμπύλης και δείκτη ατυχημάτων

Σύμφωνα με το Σχήμα 2-9, οι οριζοντιογραφικές καμπύλες με $R < 500$ m περίπου παρουσιάζουν μεγάλη επικινδυνότητα. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί αυτό το κρίσιμο ζήτημα, κατά το σχεδιασμό σύγχρονων οδικών έργων, έχουν υιοθετηθεί κάποια κριτήρια, βάσει των οποίων ελέγχεται η παρεχόμενη ασφάλεια σε μία οδό.

Ένα από τα βασικά σημεία αυτής της προσέγγισης αποτελεί η έννοια της συνοχής (ομοιογένειας) μεταξύ διαδοχικών στοιχείων μελέτης, η οποία επιτυγχάνεται με την αποφυγή απότομων εναλλαγών και αξιολογείται με τη συσχέτιση μεταξύ των λειτουργικών ταχυτήτων ή μεταξύ ταχύτητας μελέτης και λειτουργικών ταχυτήτων των διαδοχικών στοιχείων σχεδιασμού.

Για λόγους κυκλοφοριακής ασφάλειας πρέπει οι διαδοχικές ακτίνες των καμπυλών να είναι εναρμονισμένες. Στο Σχήμα 2-10 παρουσιάζεται η σχέση μεταξύ διαδοχικών καμπυλών. Γενικότερη επιδίωξη είναι να εντάσσονται στην «καλή περιοχή» του Σχήματος. Στις κλάσεις μελέτης EKL 1 μέχρι EKL 4 θα πρέπει να επιδιώκεται η «καλή περιοχή».

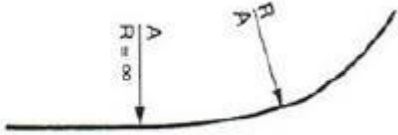


Σχήμα 2-9: Σχέση διαδοχικών ακτινών κατά RAL

Σημειώνεται ωστόσο στις Γερμανικές Οδηγίες των RAL, πως αν επιλεγούν διαδοχικές ακτίνες καμπυλών εκτός της «επιτρεπόμενης περιοχής» του ανωτέρω Σχήματος 2-10, τότε ο χρήστης της οδού θα πρέπει να ενημερώνεται με κατάλληλη σήμανση.

- **ΤΟΞΑ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ**

Τα τόξα συναρμογής (Σχήμα 2-11) είναι απαραίτητα σε όλους τους αυτοκινητόδρομους και τοποθετούνται μεταξύ κυκλικών τόξων καθώς επίσης και μεταξύ ευθυγραμμίων και κυκλικών τόξων.

Σύνδεση	
Ευθυγραμμία με κυκλικό τόξο	Απλή κλωθοειδής 

Σχήμα 2-10: Εφαρμογή του τόξου συναρμογής

Η ύπαρξη των τόξων συναρμογών, τα οποία στην Οδοποιία διαμορφώνονται ως κλωθοειδείς, έχουν ως στόχο:

- Να καλύπτουν την περιοχή συναρμογής ανάμεσα στις διαφορετικές εγκάρσιες κλίσεις
- Να καθιστούν δυνατή μια βαθμιαία είσοδο / έξοδο από την ευθυγραμμία
- Να προκαλούν μια αδιάλειπτη μεταβολή της φυγόκεντρης επιτάχυνσης κατά την στροφή στην οδήγηση
- Μέσω μιας σταδιακής μεταβολής της κυρτότητας να εξασφαλίζουν μια συνεχόμενη και οπτικά ικανοποιητική χάραξη.

Αντίστοιχα με τις παλαιότερες Οδηγίες Οδοποιίας, εξίσου και στις νεότερες ισχύει η παρακάτω σχέση για την παράμετρο της κλωθοειδούς:

$$A^2 = R L$$

Όπου:

$A(m)$ = παράμετρος κλωθοειδούς

$R(m)$ = ακτίνα στο πέρας του τμήματος της κλωθοειδούς

$L (m)$ = μήκος του τόξου της κλωθοειδούς από την αρχή ως την ακτίνα R

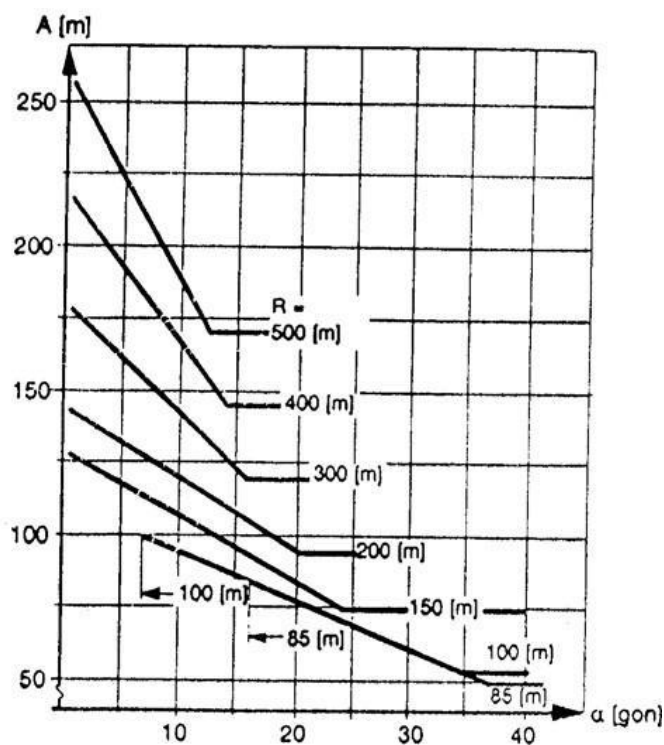
Οι τιμές της παραμέτρου της κλωθοειδούς θα πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ:

$$R/3 \leq A \leq R$$

Προκειμένου η κλωθοειδής να γίνει αντιληπτή από τον οδηγό, θα πρέπει η γωνία αλλαγής της διεύθυνσης να είναι ίση τουλάχιστον με 3,50 gon, το οποίο ισούνται με

$R/3$. Για λόγους ασφαλείας, η μέγιστη τιμή ισούται με $A_{\max} = R$, που ισούται με γωνία αλλαγής της διεύθυνσης ίση με $31,8$ gon. Στις νεότερες Οδηγίες RAL θα πρέπει να αποφεύγονται τιμές των παραμέτρων $A < 100$ m.

Για λόγους δυναμικής της κίνησης των οχημάτων και μιας επίσης οπτικά ικανοποιητικής διαμόρφωσης της οδού, στις Οδηγίες RAS-L η ελάχιστη παράμετρος της κλωθοειδούς δίδεται από το Σχήμα 2-12 ως συνάρτηση της ακτίνας του κυκλικού τόξου και της επίκεντρης γωνίας του.



Σχήμα 2-11: Ελάχιστες τιμές παραμέτρων κλωθοειδούς σε συνάρτηση της ακτίνας και της επίκεντρης γωνίας κυκλικού τόξου

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-X)

Οι τελευταίες Ελληνικές οδηγίες (Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων-Χαράξεις - ΟΜΟΕ-X) εκδόθηκαν το 2001. Δεδομένων των πιο σύγχρονων αντιλήψεων στο χώρο του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών, οι ΟΜΟΕ-X 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 μηχανικό. 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 **ΑII**, **ΑIII**, **ΑIV** 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 ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η ευθυγραμμία αποτελεί το πιο απλό και διαδεδομένο ιστορικά στοιχείο μελέτης οδών. Η χρήση ευθυγραμμίας υπερτερεί στις εξής περιπτώσεις:

- Οδοί ομάδας Α
 - σε εδάφη με ήπιο ανάγλυφο
 - σε περιοχές με ισόπεδους και ανισόπεδους κόμβους
 - σε οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας με κατακόρυφη καμπυλότητα, προκειμένου να εξασφαλιστούν τα αναγκαία μήκη ορατότητας για στάση και προσπέραση
 - σε περιοχές προσαρμογής της χάραξης με σιδηροδρομικές γραμμές, αγωγούς καθώς και άλλα μεγάλα τεχνικά έργα
- Οδοί ομάδας Β
 - προκειμένου να ικανοποιηθούν πολεοδομικές δεσμεύσεις
 - σε περιοχές με ισόπεδους και ανισόπεδους κόμβους

Ταυτόχρονα, η χρήση ευθυγραμμιών μεγάλου μήκους με σταθερή κατά μήκος κλίση πρέπει επίσης να αποφεύγεται καθώς:

- δυσχεραίνεται η εκτίμηση αποστάσεων και των ταχυτήτων των οχημάτων
- αυξάνεται ο κίνδυνος θάμβωσης από τους προβολείς των αντίθετα κινούμενων οχημάτων κατά τη νυκτερινή οδήγηση
- ενισχύεται το αίσθημα κόπωσης στους οδηγούς
- προσαρμόζονται δύσκολα στα εδάφη με έντονα ανάγλυφα

Ως εκ τούτου, οι μέγιστες τιμές μηκών ευθυγραμμιών με σταθερή κατά μήκος κλίση κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001 είναι:

$$\max L_{\text{ευθ}} = 20 V_e$$

όπου :

$\max L_{\text{ευθ}}$: μέγιστο μήκος ευθυγραμμίας (m)

V_e : ταχύτητα μελέτης οδού (km/h)

Επίσης, μεταξύ ομόρροπων καμπυλών, προκειμένου ο οδηγός να αντιλαμβάνεται επαρκώς την μετάβαση από την πρώτη καμπύλη στη δεύτερη, πρέπει να αποφεύγονται οι μικρές ευθυγραμμίες. Το ελάχιστο μήκος ευθυγραμμίας κατά ΟΜΟΕ-Χ 2001 σε αυτές τις περιπτώσεις είναι:

$$\min L_{\text{ευθ}} = 6 V_e$$

όπου :

$\min L_{\text{ευθ}}$: ελάχιστο μήκος ευθυγραμμίας μεταξύ ομόρροπων καμπυλών (m)

V_e : ταχύτητα μελέτης οδού (km/h)

Με βάση πιο σύγχρονες αντιλήψεις στο γεωμετρικό σχεδιασμό οδών, η ευθυγραμμία θεωρείται δυναμικό στοιχείο μελέτης. Δηλαδή το μήκος της ευθυγραμμίας επηρεάζει άμεσα την ταχύτητα κίνησης των οχημάτων και άρα την παρεχόμενη ασφάλεια της οδού. Έρευνες έχουν δείξει ότι τόσο η αποφυγή απότομων εναλλαγών στην ταχύτητα κίνησης, όσο και η συμμόρφωση των οδηγών με τα όρια ταχυτήτων είναι περισσότερο εμφανείς πρακτικές όταν δεν σχεδιάζονται μεγάλα μήκη ευθυγραμμιών, ιδιαίτερα όταν αυτά προηγούνται από τόξα μεγάλης καμπυλότητας.

Άρα, οι ευθυγραμμίες αποτελούν βασικό στοιχείο για την επίτευξη μιας ομοιογένειας στις τιμές ταχυτήτων μεταξύ διαδοχικών στοιχείων μελέτης. Προς την κατεύθυνση αυτή οι οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ έχουν υιοθετήσει συγκεκριμένα ποσοτικά κριτήρια (Κριτήρια Ασφάλειας), μέσω των οποίων αξιολογείται το μήκος της ευθυγραμμίας.

Κυκλικό τόξο

Η ακτίνα του κυκλικού τόξου επιλέγεται με βάση την ταχύτητα μελέτης με τέτοιο τρόπο ώστε η οδός να προσαρμόζεται κατά μορφή και μέγεθος με το ανάγλυφο. Γενικά θα πρέπει να αποφεύγεται η επιλογή οριακών τιμών ακτίνων.

Σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Χ 2001 τα κυκλικά τόξα πρέπει επίσης να έχουν μήκος τουλάχιστον ίσο με εκείνο που διανύεται σε 2 δευτερόλεπτα από όχημα κινούμενο με την ταχύτητα μελέτης. Δηλαδή ισχύει:

$$\min b = 2 / (3.6 V_e)$$

όπου :

$\min b$: ελάχιστο μήκος κυκλικού τόξου (m)

V_e : ταχύτητα μελέτης οδού (km/h)

Στον Πίνακα 2.4 δίδονται τα ελάχιστα μήκη κυκλικού τόξου κατά RAA (2008), RAL (2012) και ΟΜΟΕ-Χ (2001).

V (km/h)	RAA, 2008		RAL, 2012		ΟΜΟΕ-Χ, 2001
	Κλάση οδού	$\min b$ (m)	Κλάση οδού	$\min b$ (m)	$\min b$ (m)
130	EKA 1A	75			72
120	EKA 1B	75			67
110			EKL 1	70	61
100	EKA 2	55	EKL 2	60	56
90			EKL 3	50	50
80	EKA 3	55			44
70			EKL 4	40	39

Σημείωση. $\min b$.: ελάχιστο μήκος κυκλικού τόξου

Πίνακας 2.4: Ελάχιστα μήκη κυκλικού τόξου κατά RAA, RAL και ΟΜΟΕ-Χ.

2.3.2.2 ΑΛΛΗΛΟΥΧΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ

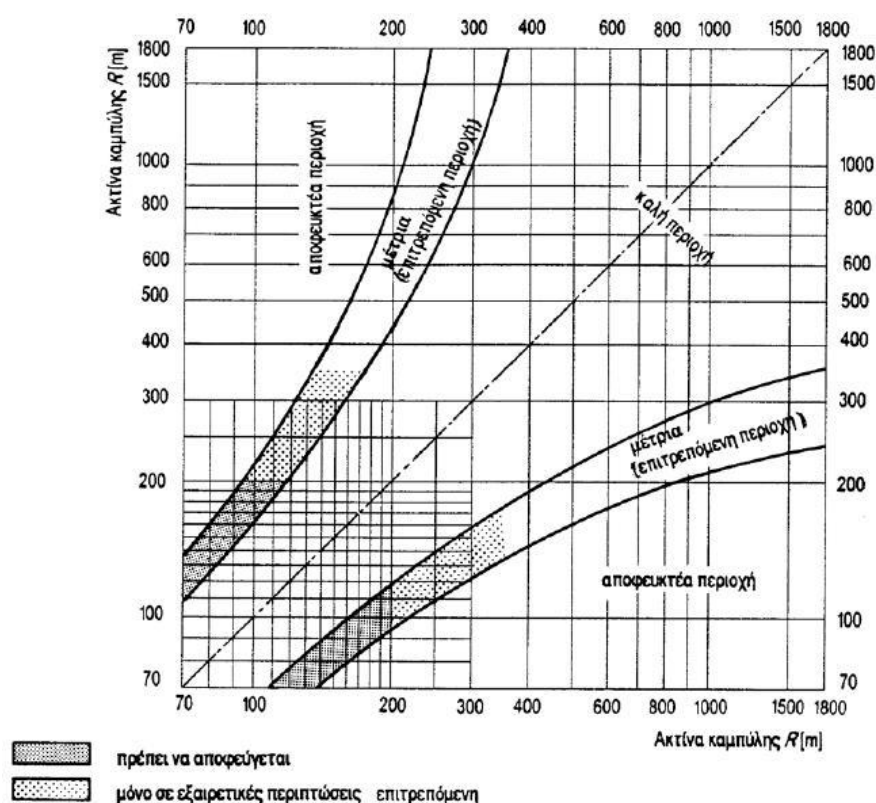
Για λόγους κυκλοφοριακής ασφάλειας, σύμφωνα με τις Ελληνικές Οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ 2001, σε οδούς της ομάδας Α ή κατηγορίας ΒΙ και ΒΙΙ, οι τιμές ακτίνων μεταξύ διαδοχικών ομόρροπων ή αντίρροπων καμπυλών πρέπει να είναι μεταξύ τους εναρμονισμένες. Η ίδια εναρμόνιση είναι επιθυμητή στις οδούς κατηγορίας ΒΙΙΙ, καθώς και στις οδούς κατηγορίας ΒΙV, εφόσον είναι εφικτό.

Η απαίτηση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι δεν πρέπει να μεταβάλλεται απότομα η λειτουργική ταχύτητα V_{85} μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών και συνεπώς υπό αυτήν την έννοια να ενισχύεται ο ασφαλής τρόπος οδήγησης.

Η επιτρεπόμενη σχέση μεταξύ των ακτίνων διαδοχικών κυκλικών τόξων δίδεται στο Σχήμα 2-13.

Στις κατηγορίες οδών AI έως AIV και BI έως BII η αλληλουχία των ακτινών πρέπει να βρίσκεται στην “καλή” περιοχή. Στις κατηγορίες οδών BIII και BIV η αλληλουχία των ακτινών μπορεί να βρίσκεται και στη “μέτρια” περιοχή.

Στις οδηγίες RAA 2008 συνιστάται στις διαδοχικές ακτίνες κυκλικών τόξων να τηρείται η προϋπόθεση $R1/R2 \leq 1.5$, εφόσον $R1 \leq 1500$ m.



Σχήμα 2-12: Σχέση διαδοχικών ακτινών κυκλικών τόξων κατά ΟΜΟΕ-Χ (2001)

Τόξο συναρμογής

Το τόξο συναρμογής είναι καμπύλη η οποία χρησιμεύει:

- για την ομαλή μετάβαση από μια καμπυλότητα σε άλλη εξυπηρετώντας γραμμική μεταβολή της φυγόκεντρης δύναμης και άρα εξασφάλιση κατά το δυνατό πιο ομοιόμορφης V85
- ως μήκος συναρμογής για τη μεταβολή της επίκλισης

Η εφαρμογή τόξων συναρμογής επιβάλλεται στις οδούς κατηγορίας ΑΙ – ΑΙV και ΒΙ – ΒΙΙ και είναι επιθυμητή στην κατηγορία οδών ΒΙΙΙ και ΒΙV.

Στην οδοποιία, ως τόξο συναρμογής χρησιμοποιείται η κλωθοειδής καμπύλη.

Η κλωθοειδής καμπύλη σε πολλά συγγράμματα αναφέρεται ως σπειροειδής καμπύλη (spiral curve). Σε κάθε περίπτωση, η κλωθοειδής είναι μια καμπύλη με μεταβαλλόμενη καμπυλότητα, όπου η μαθηματική της έκφραση έχει ως εξής:

$$A^2=RL$$

όπου :

A : παράμετρος κλωθοειδούς (m)

R : ακτίνα καμπυλότητας στο πέρας του τμήματος της κλωθοειδούς (m)

L : μήκος του τόξου της κλωθοειδούς από την αρχή του ($R=\infty$) μέχρι την ακτίνα R (m)

Η **ελάχιστη τιμή της παραμέτρου A**, υπόκειται σε έναν περιορισμό, ο οποίος αφορά στη χρήση της κλωθοειδούς ως μήκος συναρμογής για τη μεταβολή της επίκλισης μεταξύ ευθυγραμμίας και κυκλικού τόξου ή μεταξύ διαδοχικών κυκλικών τόξων. Συγκεκριμένα πρέπει το μήκος της κλωθοειδούς να είναι επαρκές ώστε η μεταβολή της επίκλισης να γίνεται ομαλά μέσα στο τόξο συναρμογής, με την έννοια να μην υπάρχει υπέρβαση στη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της πρόσθετης κατά μήκος κλίσης των οριογραμμών και λαμβάνεται ίσο με:

$$A_{\min}=R/3$$

Για λόγους ασφαλείας της κυκλοφορίας, ως μέγιστη τιμή της παραμέτρου της κλωθοειδούς λαμβάνεται:

$$A_{\max}=R$$

2.3.2.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΥΠΟΥ S

Η καμπύλη τύπου “S” (σιγμοειδής καμπύλη) αποτελείται από δύο αντίρροπες κλωθοειδείς χωρίς ενδιάμεση ευθυγραμμία και κοινό σημείο επαφής την αρχή τους. Για την αλληλουχία των ακτίνων των κυκλικών τόξων μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται η σιγμοειδής καμπύλη καθώς και για την κάθε κλωθοειδή ισχύουν οι περιορισμοί που αναφέρονται στα προηγούμενα εδάφια.

Επιπλέον, για λόγους αρμονίας της χάραξης και ομοιομορφίας στη μεταβολή των επικλίσεων, οι δύο κλάδοι κλωθοειδών που σχηματίζουν τη σιγμοειδή καμπύλη πρέπει να έχουν περίπου ίσες παραμέτρους.

Κατά ΟΜΟΕ-X και RAL, όταν δεν μπορεί να είναι ίσες οι δύο παράμετροι A_1 και A_2 , για $A_2 \leq 200\text{m}$ ($A_2 \leq 300\text{m}$ κατά RAA, 2008) πρέπει να ισχύει η σχέση:

$$A_1 \leq 1.50A_2$$

όπου:

A_1 : η μεγαλύτερη παράμετρος (m)

A_2 : η μικρότερη παράμετρος (m)

Επιπλέον, στις οδηγίες ΟΜΟΕ-X και RAL αναφέρεται ότι προκειμένου να είναι δυνατή η προσαρμογή σε τοπικά υποχρεωτικά σημεία, επιτρέπεται η διάταξη ευθυγραμμίας μικρού μήκους μεταξύ των δύο σημείων αρχής των κλωθοειδών. Προκειμένου όμως να διατηρηθεί η οπτική εντύπωση της S-καμπύλης ώστε να μην θεωρούνται ανεξάρτητες καμπύλες, πρέπει η τιμή του μήκους της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας να μην υπερβαίνει την τιμή:

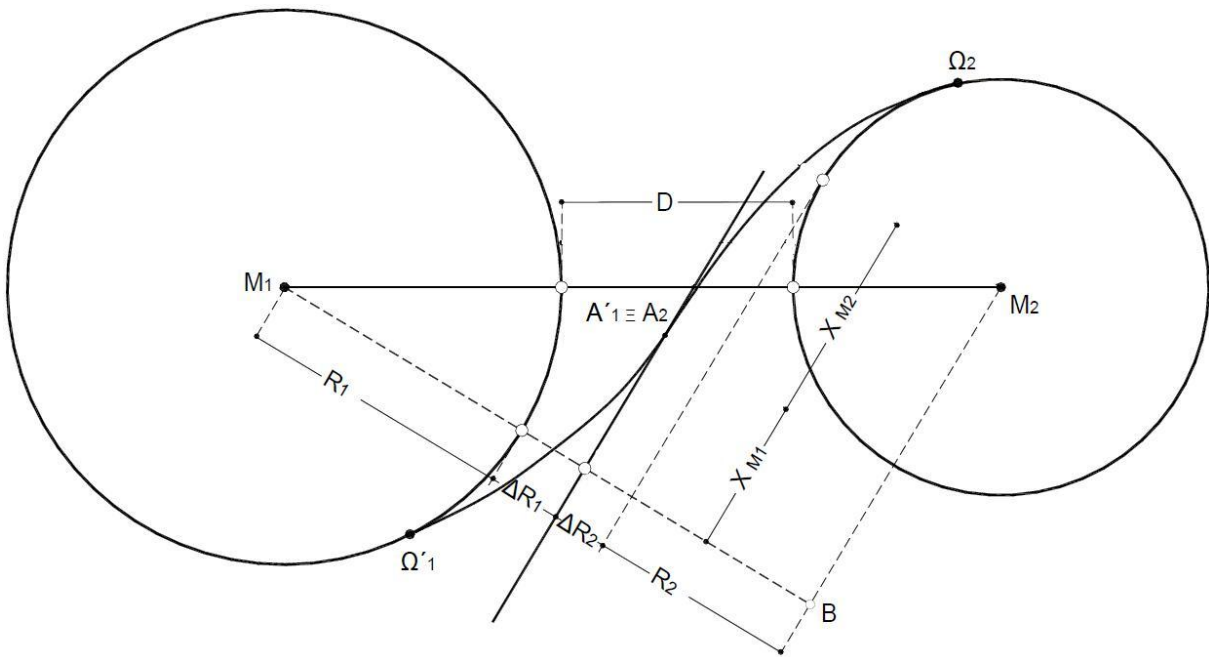
$$L_z \leq 0.08(A_1 + A_2)$$

όπου:

A_1, A_2 : παράμετροι κλωθοειδούς (m)

L_z : μήκος ενδιάμεσης ευθυγραμμίας (m)

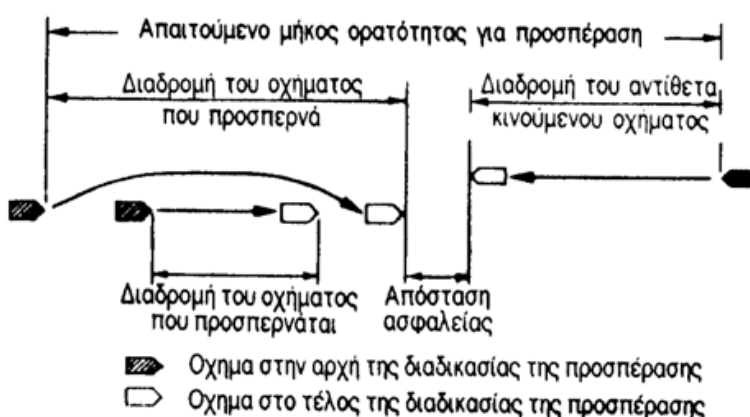
Παράδειγμα σιγμοειδούς καμπύλης δίδεται από το Σχήμα 2-14.



Σχήμα 2-13: Συγμοειδής καμπύλη

2.3.2.4 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 2-15).



Σχήμα 2-14: Διαδικασία προσπέρασης

Στον Πίνακα 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 και RAL

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 m και ύψος εμποδίου 1 m.

2.3.3 ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (AASHTO)

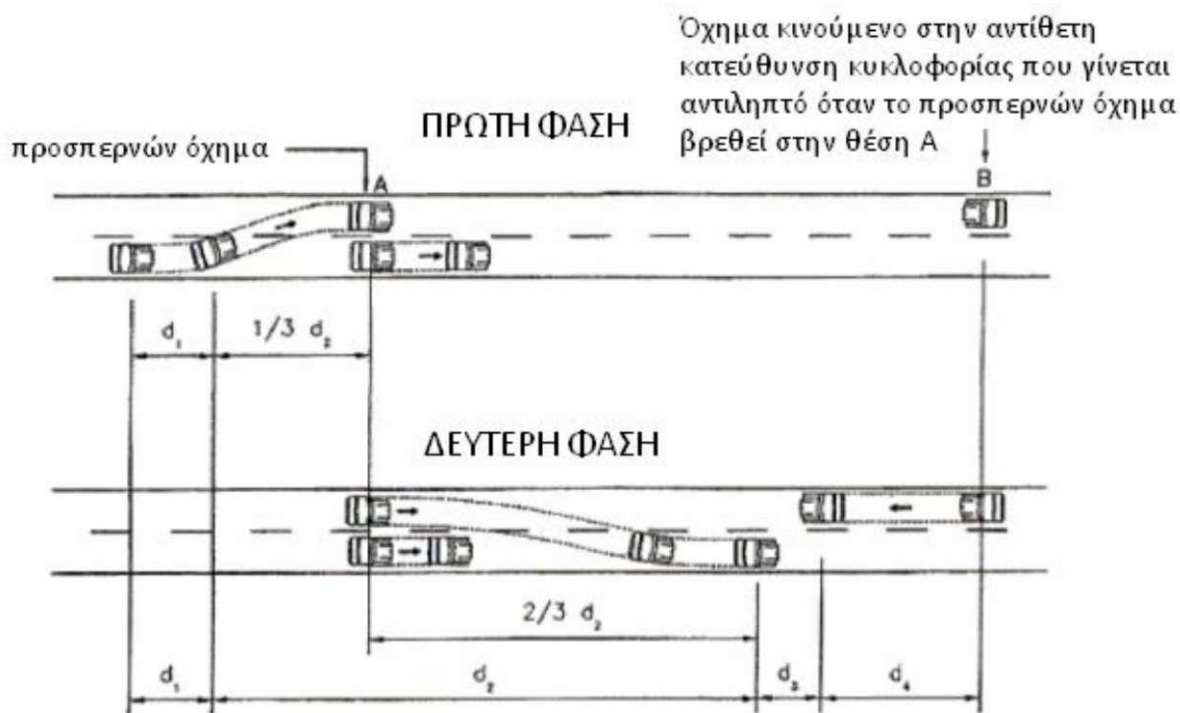
Οι τελευταίες Αμερικανικές οδηγίες (American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO) εκδόθηκαν το 2011. Αντίστοιχα με τις προηγούμενες οδηγίες, ακολούθως παρατίθενται τα στοιχεία που κατά κύριο λόγο σχετίζονται με την παρούσα Διπλωματική Εργασία.

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.

Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση ενός οχήματος είναι το άθροισμα τεσσάρων μηκών (βλ. Σχήμα 2-16) και ισχύει η σχέση:

$$PSD = d1 + d2 + d3 + d4$$

- d_1 : Η διαδρομή του προσπερνώντος οχήματος μέχρι ο οδηγός να αντιληφθεί και να αντιδράσει στην υπάρχουσα κατάσταση και να αρχίσει να επιταχύνει ως το σημείο που θα συναντήσει τον άξονα της οδού
- d_2 : Η διαδρομή του προσπερνώντος οχήματος κατά τη διάρκεια κατάληψης της λωρίδας της αντίθετης κυκλοφορίας
- d_3 : Η ελάχιστη απόσταση ασφαλείας που απαιτείται να υπάρχει μεταξύ του προσπερνώντος και του αντίθετα ερχόμενου οχήματος
- d_4 : Η διαδρομή που διανύει το αντίθετα κινούμενο όχημα, που ισούται με τα δύο τρίτα της απόστασης που διανύει το όχημα που προσπερνάται κατά τη διάρκεια κατάληψης της λωρίδας της αντίθετης κυκλοφορίας, ή τα δύο τρίτα του d_2



Σχήμα 2-15: Απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση

Το ελάχιστο **Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (Passing Sight Distance – PSD)**, παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.6. Στον πίνακα αυτό φαίνονται και οι ταχύτητες του οχήματος που προπορεύεται αλλά και του οχήματος που προσπερνά, του οποίου η ταχύτητα δεν ξεπερνά την ταχύτητα σχεδιασμού.

Ταχ. Σχεδιασμού (km/h)	Προπορευόμενο όχημα (km/h)	Προσπερνών όχημα (km/h)	ΜΟΠ (m)
30	11.0	30.0	120.0
40	21.0	40.0	140.0
50	31.0	50.0	160.0
60	41.0	60.0	180.0
70	51.0	70.0	210.0
80	61.0	80.0	245.0
90	71.0	90.0	280.0
100	81.0	100.0	320.0
110	91.0	110.0	355.0
120	101.0	120.0	395.0
130	111.0	130.0	440.0

Πίνακας 2.6: Ελάχιστο ΜΟΠ κατά AASHTO 2011

Οι παραπάνω τιμές του ΜΟΠ, δεν έχουν μεγάλη απόκλιση με τα αποτελέσματα από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν, οι οποίες βασίστηκαν στην παραδοχή ότι το απαιτούμενο μήκος ορατότητας ξεκινά από μία **κρίσιμη θέση**. Σύμφωνα με το μοντέλο Glenon η θέση αυτή ορίζεται ως η θέση, όπου το μήκος ορατότητας για την ολοκλήρωση του ελιγμού προσπέρασης είναι ίσο με το μήκος ορατότητας που χρειάζεται για την ματαίωση του ελιγμού προσπέρασης και την επιστροφή του οχήματος που προσπερνά στη λωρίδα του πίσω από το προπορευόμενο όχημα. Οι Hassan et. al ορίζουν ως κρίσιμη θέση, εκείνη όπου το μήκος ορατότητας για την ολοκλήρωση του ελιγμού προσπέρασης είναι ίσο με το μήκος ορατότητας που χρειάζεται για την ματαίωση του ελιγμού προσπέρασης ή το σημείο όπου το όχημα που προσπερνάται και το προπορευόμενο όχημα κινούνται το ένα δίπλα στο άλλο.

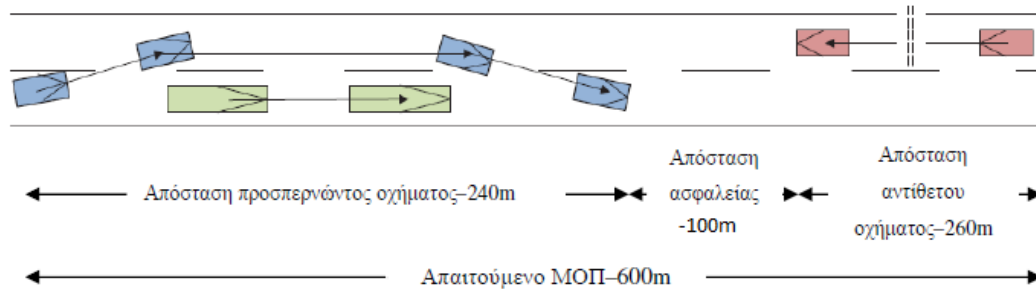
2.4 ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

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 σύγχρονα δεδομένα.

Σε έρευνα που διεξήχθη το 2015 από τους Dipl.-Ing. Anne Vettters 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 όχημα που προσπερνάται, 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 2-17 φαίνεται το απαιτούμενο ΜΟΠ σύμφωνα με την έρευνα και τα επιμέρους μήκη του.



Σχήμα 2-16: Διαδικασία προσπέρασης και επιμέρους μήκη

2.5 ΣΥΝΟΨΗ

Με βάση τις παραπάνω οδηγίες και μελέτες που έχουν διεξαχθεί και ισχύουν, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει κάποια συσχέτιση ή κάποια διαδικασία που να συσχετίζει τις γεωμετρικές παραμέτρους της οριζοντιογραφίας με την επάρκεια του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση. Επομένως, κρίνεται αναγκαία μία τέτοια διερεύνηση, η οποία θα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα γεωμετρικών παραμέτρων.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

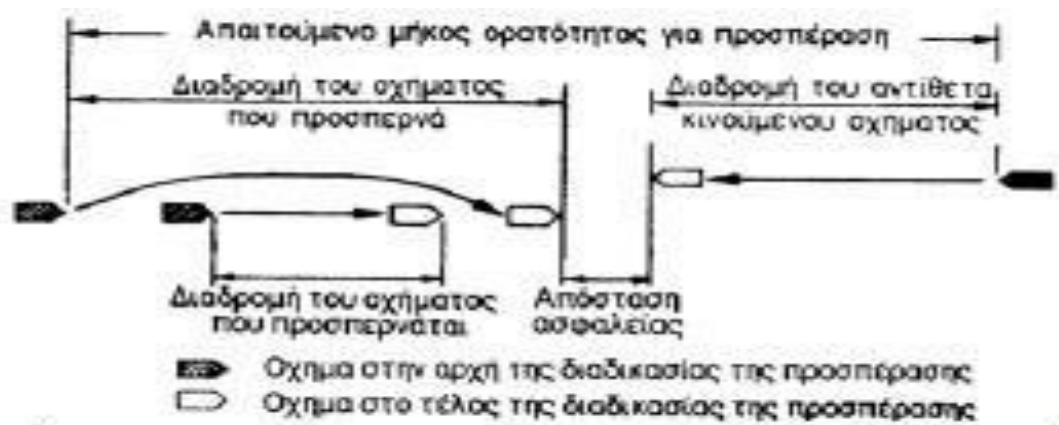
3.1 ΓΕΝΙΚΑ

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

3.2 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η χάραξη της οδού αποτελεί τον κυριότερο παράγοντα επιρροής του Μήκους Ορατότητας. Στην περίπτωση της ευθυγραμμίας ανάμεσα σε δυο αντίρροπες διαδοχικές καμπύλες, το διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση εξαρτάται από τις ακτίνες των καμπυλών και από τις παραμέτρους των κλωθοειδών τους.

Η προσπέραση γίνεται, κατά κανόνα, με την χρήση της λωρίδας κυκλοφορίας της αντίθετης κατεύθυνσης. Για να γίνει η προσπέραση με ασφάλεια πρέπει ο οδηγός να έχει αρκετή απόσταση μπροστά του ώστε να μπορεί να ολοκληρώσει τον ελιγμό της προσπέρασης, αλλά σε αντίθετη περίπτωση να μπορεί να ματαιώσει τη διαδικασία προσπέρασης και να επιστρέψει στην λωρίδα του.



Σχήμα 3-1: Απαιτούμενο μήκος ορατότητας κατά την διαδικασία της προσπέρασης

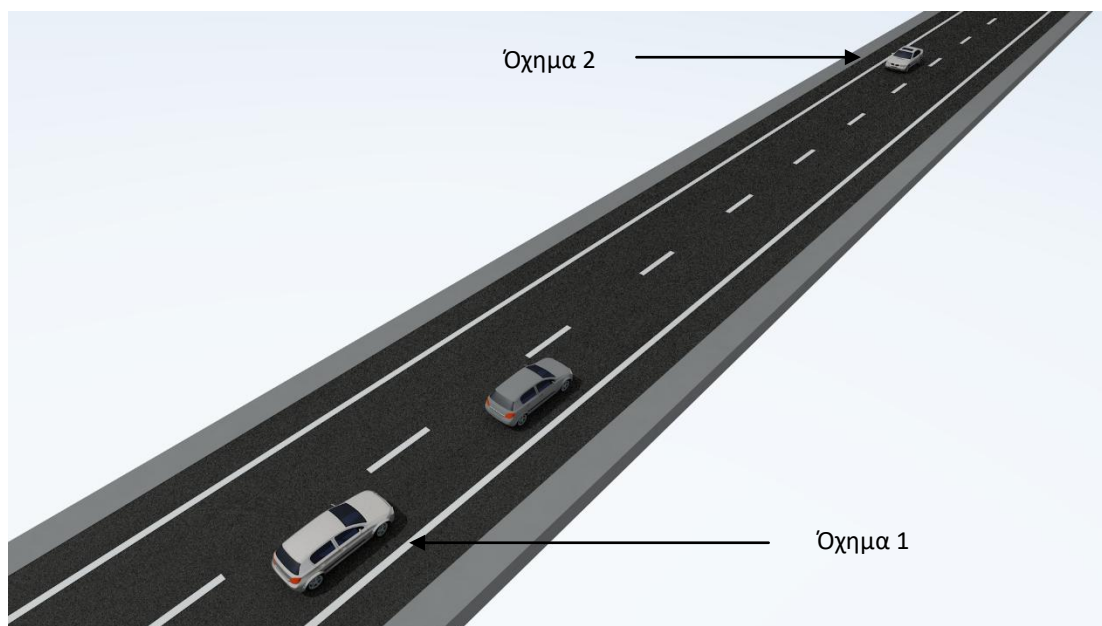
Σύμφωνα με τους RAL, για να πραγματοποιηθεί μια διαδικασία προσπέρασης ενός βαρέου οχήματος με ασφάλεια, θα πρέπει να παρέχεται μήκος ορατότητας τουλάχιστον ίσο με 600m.

Εάν το διατιθέμενο μήκος ορατότητας σε τμήματα δυο λωρίδων είναι μεταξύ 300m – 600m, δε μπορεί να πραγματοποιηθεί με απόλυτη ασφάλεια η διαδικασία της προσπέρασης, καθώς ο οδηγός δε βρίσκεται σε θέση να υπολογίσει με ακρίβεια την επάρκεια της απόστασης. Σε τέτοια περίπτωση θα πρέπει είτε να απαγορευτεί η προσπέραση με κατάλληλη σήμανση είτε να επιτρέπεται η προσπέραση οχημάτων που κινούνται με χαμηλότερη ταχύτητα με την χρήση συμπληρωματικής σήμανσης και διατιθέμενο μήκος ορατότητας τουλάχιστον 300m.

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 3-2). 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 ο οδηγός έχει ορατότητα 600 μέτρων, για μήκος 600 μέτρων. Δηλαδή, για να υπάρχει ασφάλεια στη διαδικασία της προσπέρασης, πρέπει ο οδηγός να βλέπει εμπρός του ανεμπόδιστα για τουλάχιστον 600 m και για μήκος τουλάχιστον 600m.

Στο παραπάνω πρόβλημα, χρήσιμο εργαλείο αποτέλεσε η χρήση του λογισμικού FM, που με τα κατάλληλα δεδομένα μας παρείχε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά ποσοτικοποιήθηκαν και μορφώθηκαν σε κατάλληλα διαγράμματα ώστε να είναι έτοιμα προς χρήση για το μελετητή μηχανικό.



Σχήμα 3-2: Αναπαράσταση των οχημάτων πριν την έναρξη της προσπέρασης

3.3 ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Όπως έχει προαναφερθεί, οι υπολογισμοί της μελέτης πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό FM. Η διαδικασία αναπαραγωγής των αποτελεσμάτων είναι η εξής. Θεωρήσαμε τρεις κλάσεις μελέτης, τις EKL2, EKL3 και EKL4. Για κάθε κλάση, συνδυάσαμε τις ακτίνες R1 και R2 έτσι ώστε να προκύπτουν μόνο επιτρεπόμενοι συνδυασμοί. Τα εύρη των κλάσεων είναι:

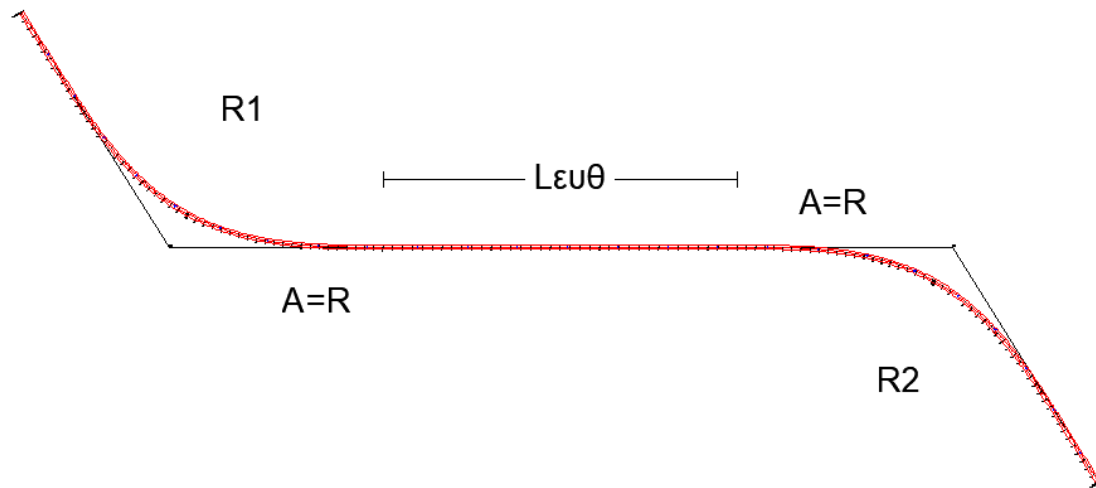
Κλάσεις Μελέτης	Εύρος τιμών ακτινών R [m]
EKL 1	≥ 500
EKL 2	400 - 900
EKL 3	300 - 600
EKL 4	200 - 400

Πίνακας 3.1: Προτεινόμενες τιμές ακτινών κυκλικών τόξων.

Ακόμη, πραγματοποιήθηκαν οι συνδυασμοί αυτοί για δύο περιπτώσεις. Μια περίπτωση για παράμετρο κλωθοειδούς $A=R$ και μία για $A=R/3$.

1^η Περίπτωση

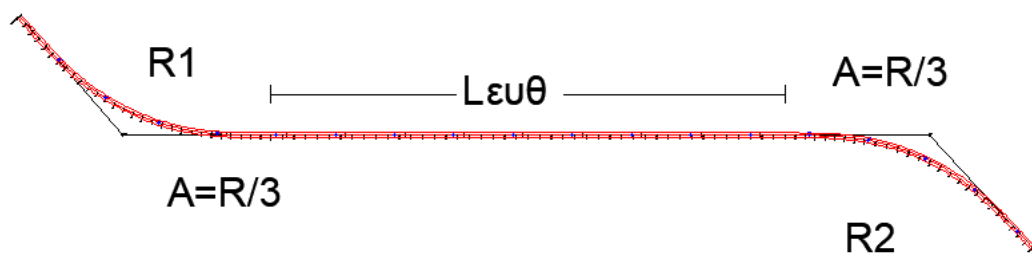
$A=R$



Σχήμα 3-3: Συνδυασμός ακτίνων με παράμετρο κλωθοειδούς $A=R$.

2^η Περίπτωση

$A=R/3$



Σχήμα 3-4: Συνδυασμός ακτίνων με παράμετρο κλωθοειδούς $A=R/3$.

Παρατηρείται ότι υπάρχει μια γενική τάση υιοθέτησης των γερμανικών οδηγιών. Οι ελληνικοί κανονισμοί ΟΜΟΕ-Χ (2001) έχουν μορφωθεί με γνώμονα τους παλιούς γερμανικούς κανονισμούς RAS-L (1995) οι οποίοι βρίσκονται υπό αναθεώρηση και για το λόγο αυτό παρατηρούνται πολλές ομοιότητες. Παρόλα αυτά, οι ελληνικές οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ 2001 έχουν ορισμένες αστοχίες. Δεν υπάρχει σαφής περιγραφή στη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων προς χρήση και θεωρούμε πως έχουν δοθεί ορισμένες προσεγγιστικές τιμές σε συνεργασία με τις γερμανικές οδηγίες. Ακόμα, στις ελληνικές οδηγίες δεν συσχετίζονται τα μήκη με τις ταχύτητες λόγω κακής εφαρμογής από τις γερμανικές στις ελληνικές οδηγίες. Για το λόγο αυτό, επειδή δεν υπάρχει μια καθολική μελέτη που να διέπει τις ελληνικές οδηγίες οι οποίες έχουν υιοθετήσει στοιχεία των γερμανικών οδηγιών, κρίνεται απαραίτητη η μελέτη για επικαιροποίηση των ελληνικών οδηγιών με βάση τις νέες γερμανικές οδηγίες RAL (2012). Η παρούσα μελέτη έχει πραγματοποιηθεί εξ ολοκλήρου με βάση τις γερμανικές οδηγίες RAL (2012).

Η υπό μελέτη οδός έχει μέγιστο όριο ταχύτητας τα 100km/h μιας και αυτή είναι η μέγιστη ταχύτητα κυκλοφορίας για μη διαχωρισμένες οδούς για κλάση μελέτης EKL2.

Τα ύψη οφθαλμών οδηγού h_1 και εμποδίου h_z έχουν ληφθεί αμφότερα στο 1m σύμφωνα με τις γερμανικές οδηγίες. Το ύψος του στηθαίου ασφαλείας είναι 0.90m επομένως δεν αποτελεί οπτικό εμπόδιο για τον οδηγό.

Το λειτουργικό πλάτος της οδού είναι $w=1,30m$. Το έρεισμα έχει πλάτος 0,50m και ξεκινάει από την παρειά της οδού. Η οδός βρίσκεται σε όρυγμα με κλίση πρανών 1 προς 1, επομένως η γραμμή της ορατότητας του οδηγού εμποδίζεται μόνο από το πρανές, αφού το ύψος του στηθαίου ασφαλείας βρίσκεται χαμηλότερα από το ύψος οφθαλμών του οδηγού.

Σε όλο το μήκος της οδού η κλίση είναι σταθερή (είτε μηδενική, είτε σταθερή) και δεν έχουν ληφθεί υπόψη κατακόρυφες καμπύλες και συγκεκριμένα κυρτές καμπύλες που θα προκαλούσαν πρόβλημα στην ορατότητα.

Η διατομή της οδού που έχει επιλεγεί για τη μελέτη του μήκους ορατότητας για προσπέραση καθορίζεται με βάση τα λειτουργικά δεδομένα του ευρύτερου οδικού δικτύου, λειτουργικά δεδομένα της κυκλοφορίας (ταχύτητα, φόρτος, σύνθεση

κυκλοφορίας), τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, τη σχέση της οδού με τον παρόδιο χώρο, καθώς και διάφορες απαιτήσεις που εμφανίζονται στον οδικό χώρο.

Στην παρούσα μελέτη η διατομή που έχει χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του ΜΟΠ είναι η Διατομή β2 η οποία είναι η πιο τυπική διατομή με βάσει τις ελληνικές οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ 2001, για οδούς ταχείας κυκλοφορίας, ταχύτητας έως 100km/h.

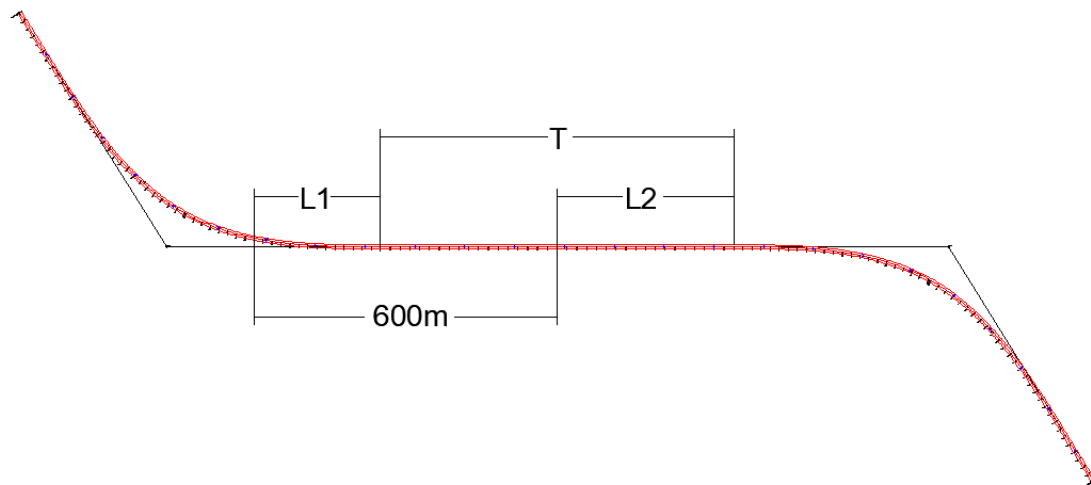
Για να γίνει πιο κατανοητός ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, παρατίθεται η οριζοντιογραφία της οδού με τα υπό μελέτη μεγέθη.

Η διερεύνηση για όλες τις περιπτώσεις, έδειξε ότι η ορατότητα για προσπέραση ξεκινάει πάντα μέσα στην καμπύλη της ακτίνας R1. Συγκεκριμένα, για να ξεκινήσει η διαδικασία της ασφαλούς προσπέρασης, η ορατότητα αρχίζει από το κυκλικό τόξο της καμπύλης για την περίπτωση όπου ισχύει $A=R/3$ και από την κλωθοειδή καμπύλη για την περίπτωση $A=R$.

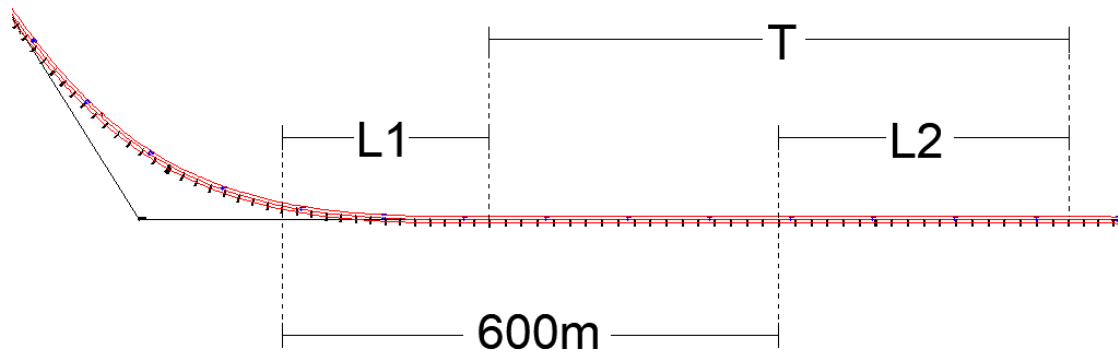
Απώτερος σκοπός αυτής της μελέτης είναι ο υπολογισμός τριών μηκών, των L1, L2, T (Σχήμα 3-6), τα οποία καθορίζουν την περιοχή σε σχέση με τις ακτίνες και την παράμετρο της κλωθοειδούς, στην οποία το ΜΟΠ είναι επαρκές και μεγαλύτερο ή ίσο των 600m. Το μήκος T είναι η ευθυγραμμία μεταξύ των δύο καμπυλών. Το L1 είναι το μήκος από το σημείο εκκίνησης της ορατότητας έως το σημείο εκκίνησης της ευθυγραμμίας T μεταξύ των καμπυλών. Επιπλέον, L2 είναι το μήκος από το οποίο σταματά η υπάρχουσα και διατιθέμενη ορατότητα για προσπέραση έως το τέλος της ευθυγραμμίας T.

Μεταξύ των μηκών L1, L2, T ισχύει η σχέση:

$$600=T+L1-L2$$



Σχήμα 3-6: Οριζοντιογραφία της οδού με τα υπό μελέτη μεγέθη.



Σχήμα 3-7: Λεπτομέρεια της οριζοντιογραφίας

Από τα Σχήματα 3-6 και 3-7 είναι εμφανές ότι η εκκίνηση της ορατότητας ξεκινάει πριν την ευθυγραμμία T, σε σημείο μέσα στην καμπύλη. Αυτό είναι λογικό δεδομένου ότι σε σημείο της καμπύλης κοντά στην ευθυγραμμία η καμπυλότητα είναι ήπια και τείνει να γίνει ευθεία. Παρόλα αυτά, παρατηρούμε ότι απαιτείται ένα μήκος ευθυγραμμίας T διαφορετικό των 600m. Ενδεικτικά, παρατίθεται ο Πίνακας 3.2 ο οποίος περιέχει συνδυασμούς ακτινών κλάσης EKL4 με τις αντίστοιχες ευθυγραμμίες T.

A=R			A=R/3		
R1(m)	R2(m)	T(m)	R1(m)	R2(m)	T(m)
200	200	898,3	200	200	990,67
200	300	852,44	200	300	959,76
200	400	803,25	200	400	926
300	200	849,2	300	200	958,62
300	300	800,1	300	300	927,7
300	400	754,5	300	400	893,9
400	200	804	400	200	929
400	300	756,5	400	300	895,3
400	400	709,47	400	400	868,56

Πίνακας 3.2: Ευθυγραμμία για κλάση μελέτης EKL4.

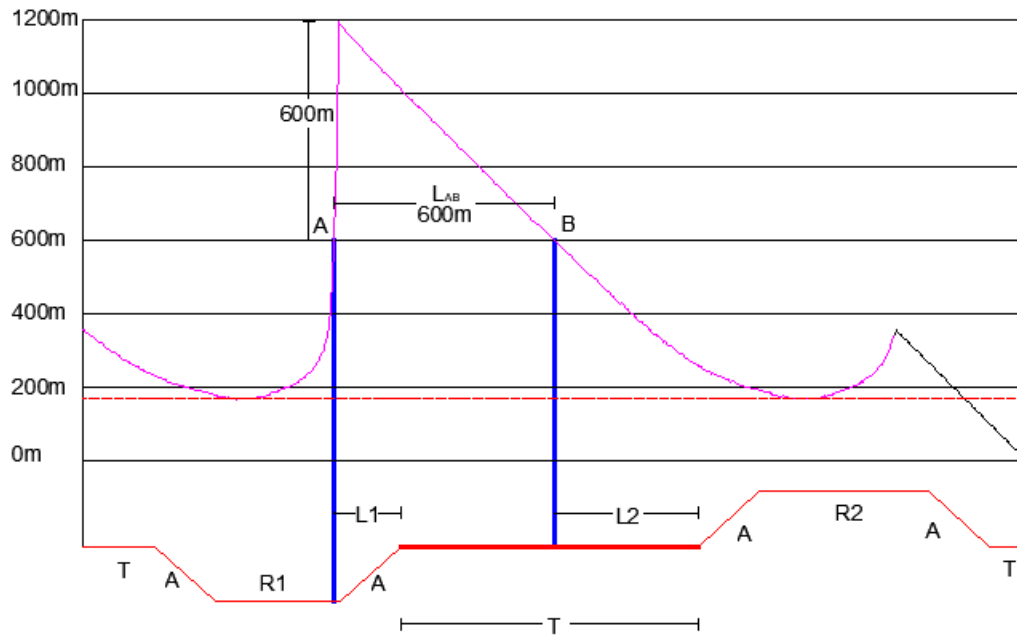
Παρατηρούμε ότι η ευθυγραμμία T ποικίλει ανάλογα με τις τιμές των ακτινών αλλά και τις παραμέτρους της κλωθοειδούς.

Η λωρίδα προσπέρασης θα πρέπει να έχει μήκος 600m. Τα τμήματα της οδού που διατίθενται για προσπέραση, θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ομοιόμορφα κατανεμημένα και να είναι έγκαιρα αντιληπτά από τον οδηγό. Οι λωρίδες προσπέρασης μπορούν να έχουν μικρότερο μήκος από εκείνες σε οδούς της EKL 1, σε περίπτωση χαμηλών κυκλοφοριακών φόρτων. Δε θα πρέπει να είναι ωστόσο μικρότερες από 600m και κατά κανόνα όχι μεγαλύτερες από 1500m.

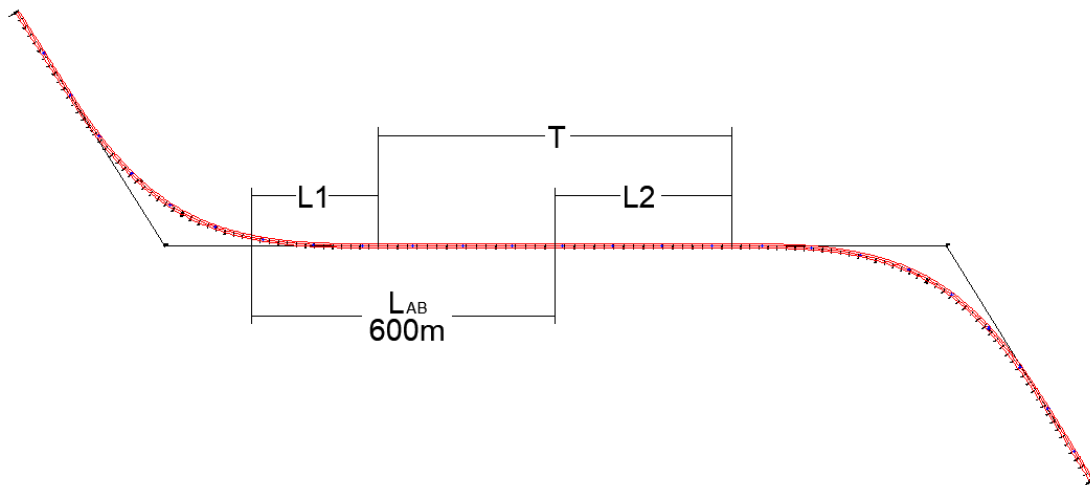
Στο Σχήμα 3-8, φαίνεται ότι η περιοχή στην οποία υπάρχουν τα 600m ορατότητας ξεκινάει από το σημείο A και τελειώνει στο σημείο B. Αυτή η απόσταση L_{AB} στην οποία υπάρχει επάρκεια ορατότητας για 600m, δεν πρέπει να συγχέεται με το μήκος T της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας. Το μήκος της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας T αναφέρεται στο μήκος το οποίο απαιτείται μεταξύ δύο καμπυλών ούτως ώστε να υπάρχουν 600m ορατότητας, για μήκος $L_{AB}=600m$. Παρατηρείται ότι μέχρι και το σημείο B, παρέχεται μήκος ορατότητας 600m. Από το σημείο B και μετά, η ορατότητα είναι μικρότερη των 600m, άρα δεν είναι εφικτό να ξεκινήσει η διαδικασία προσπέρασης μετά το σημείο αυτό. Αυτό συμβαίνει διότι το μήκος L_2 είναι μικρότερο των 600m τα οποία απαιτούνται για να πραγματοποιηθεί ασφαλής προσπέραση. Μετά το σημείο B υπάρχει μήκος ευθυγραμμίας, όμως δεν είναι επαρκές και τουλάχιστον ίσο με 600m σύμφωνα με τις γερμανικές οδηγίες RAL 2012, ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία της προσπέρασης.

Στο διάστημα L_{AB} έχω ορατότητα 600m, για ελάχιστο απαιτούμενο μήκος οδού $L_{AB}=600m$ (Σχήμα 3-8). Στην παρούσα εργασία εξετάζεται ποιες είναι οι απαιτήσεις ώστε να εξασφαλίζεται αυτό το ελάχιστο μήκος ορατότητας των 600m. Το μήκος ευθυγραμμίας T παράγεται συναρτήσει των παραμέτρων που συσχετίζονται με το μήκος $L_{AB}=600m$.

Από τα Σχήματα 3-8 και 3-9 είναι εμφανές ότι η εκκίνηση της ορατότητας εμφανίζεται μέσα στην καμπύλη, λίγο πριν την αρχή του μήκους ευθυγραμμίας T.



Σχήμα 3-8: Διάγραμμα ορατότητας συναρτήσει διαγράμματος καμπυλότητας.

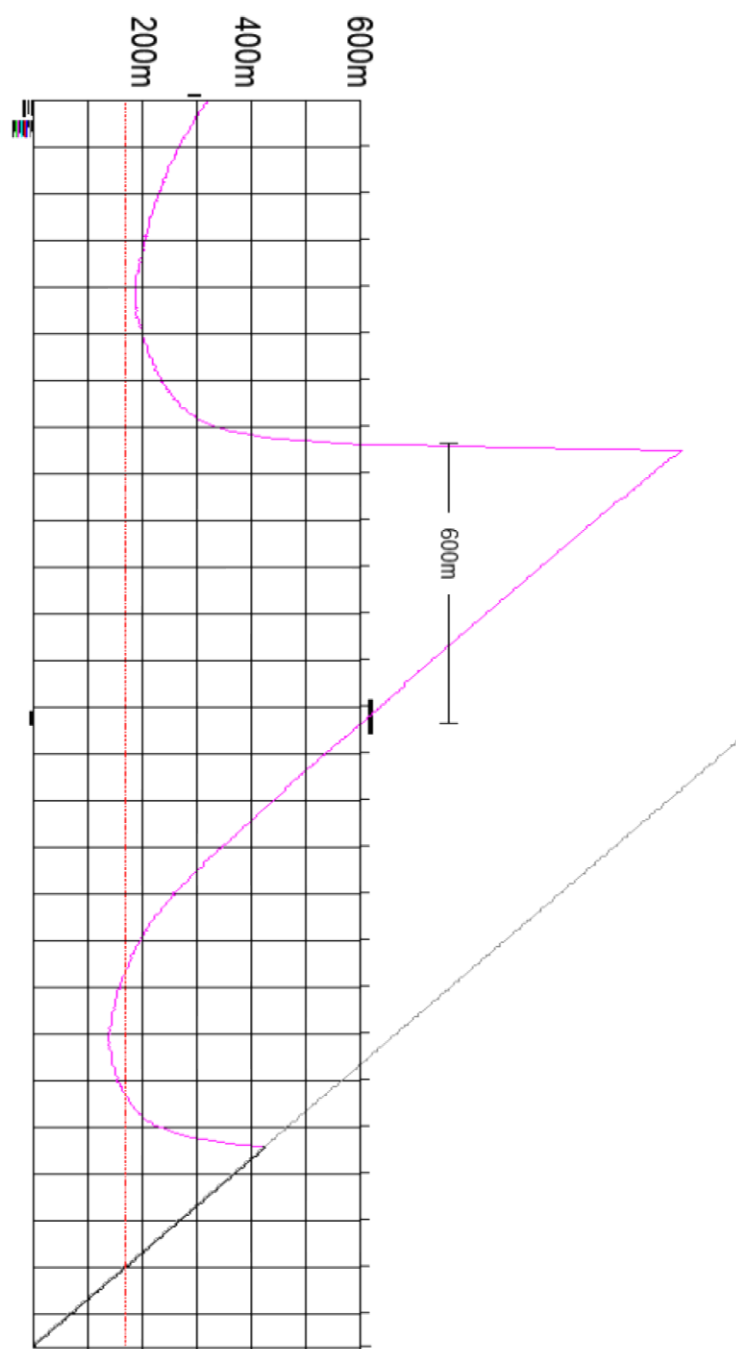


Σχήμα 3-9: Οριζοντιογραφία οδού με τα υπό μελέτη μεγέθη.

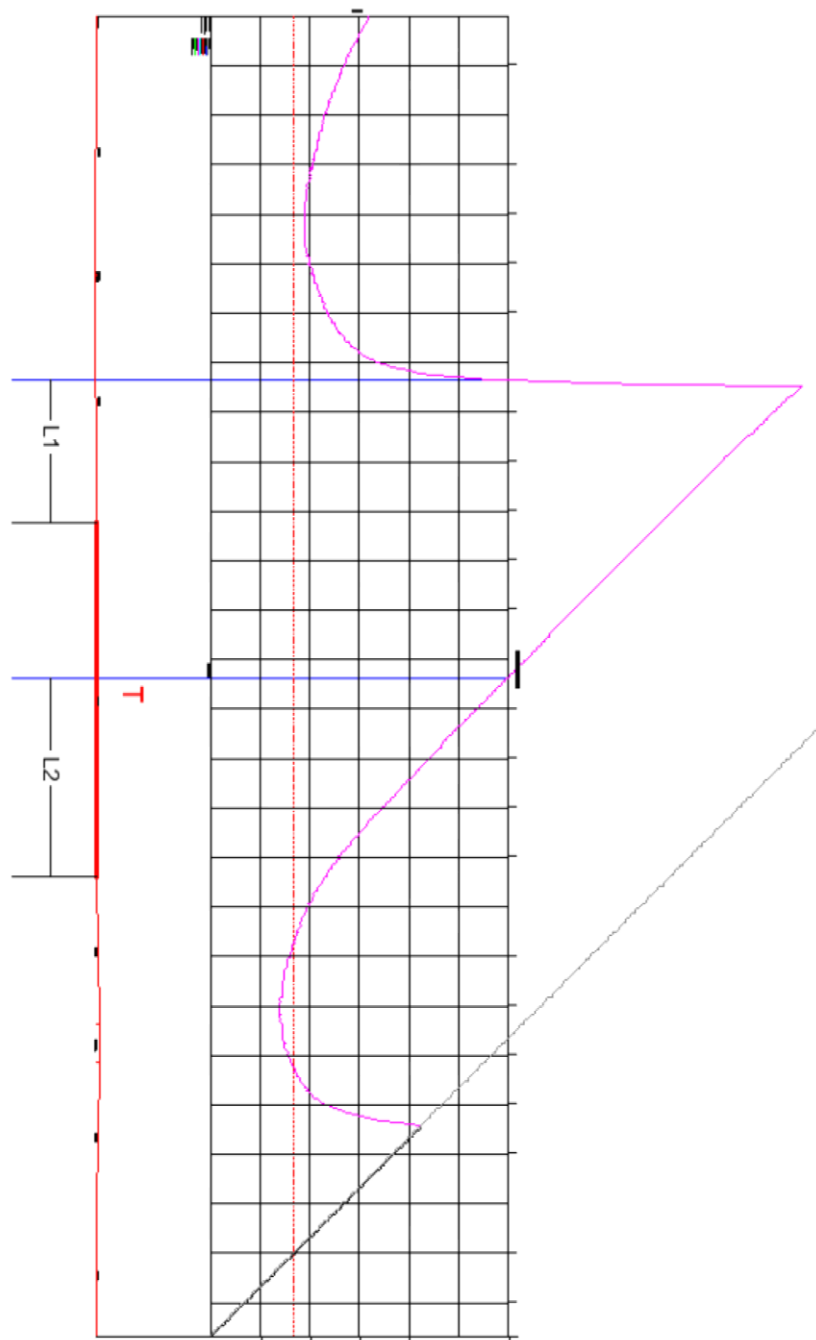
3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΣΕΩΝ ΕΠΑΡΚΟΥΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

Με τη βοήθεια των μοντέλων που αναπτύχθηκαν προηγουμένως, υπολογίζονται οι θέσεις στις οποίες το διατιθέμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση είναι τουλάχιστον ίσο με 600m. Για την ακριβή εύρεση αυτού του διαστήματος απαιτούνται πολλές αλλαγές των συντεταγμένων των κορυφών της οδού αλλά και επαναλήψεις του προγράμματος έως ότου επιτευχθούν τα 600m ορατότητας, για 600m μήκος.

Στο Σχήμα 3-10, φαίνεται παράδειγμα γραμμικού διαγράμματος ορατότητας, στο οποίο απεικονίζεται το διατιθέμενο ΜΟΠ σε κάθε θέση της οδού. Με μωβ χρώμα συμβολίζεται η διατιθέμενη ορατότητα σε κάθε σημείο της οδού. Με γκρι χρώμα συμβολίζεται η ορατότητα λόγω μηκοτομής. Το πλέγμα μας δείχνει την υπάρχουσα ορατότητα σε μέτρα, για κάθε χιλιομετρική θέση, οπότε, η επιθυμητή κατάσταση είναι να βρισκόμαστε πάνω από τα 600m του πλέγματος, για ένα μήκος τουλάχιστον ίσο με 600m σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς RAL 2012. Δηλαδή, με βάση το διάγραμμα ορατότητας και τις γερμανικές οδηγίες, επάρκεια ορατότητας για ασφαλή προσπέραση έχουμε όταν η μωβ γραμμή τμήσει τη γραμμή των 600 μέτρων και βρίσκεται πάνω από αυτή για μήκος τουλάχιστον 600 μέτρων. Η δυνατότητα εκκίνησης της διαδικασίας προσπέρασης δεν υφίσταται από τη στιγμή που η κάθοδος της μωβ γραμμής (διατιθέμενη ορατότητα) θα τμήσει ξανά τη γραμμή των 600 μέτρων και θα συνεχίσει να φθίνει. Στο Σχήμα 3-11, φαίνεται η αλληλεπίδραση των υπό μελέτη μεγεθών πάνω στο διάγραμμα ορατότητας.



Σχήμα 3-10: Διάγραμμα ορατότητας για επαρκές ΜΟΠ.



Σχήμα 3-11: Αποτόπωση μηκών $L1$, $L2$ και T .

3.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ RAL 2012

3.5.1 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ R1,R2 ΜΕ ΜΗΚΗ L1,L2

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, 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 οπότε και θα παρουσιαστούν αποτελέσματα για αυτές.

Για τις τρεις αυτές κλάσεις, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα με τη μορφή πινάκων και ενιαίο αθροιστικό διάγραμμα για όλες τις κλάσεις μαζί. Το διάγραμμα αυτό δίνει τις σχέσεις μεταξύ των R1, R2 και L1, L2.

3.5.1.1 EKL2-100km/h

A=R				A=R/3			
R1(m)	R2(m)	L1(m)	L2(m)	R1(m)	R2(m)	L1(m)	L2(m)
400	400	245,85	358,5	400	400	167,93	432,46
400	500	245,84	311,53	400	500	167,2	408
400	600	245,85	269,7	400	600	168	380,57
400	700	247	229,1	400	700	167,97	358
400	800	245,84	197	400	800	167,97	330,46
400	900	245,85	148,9	400	900	167,97	307,8
500	400	288,89	356,7	500	400	196	436,1
500	500	288,81	311,53	500	500	196	407
500	600	288,87	270	500	600	196	377,67
500	700	288,89	229,13	500	700	196	358
500	800	288,81	197	500	800	196	330,46
500	900	288,87	148,9	500	900	196	307,82
600	400	330,88	356,17	600	400	222,88	436,19
600	500	330,8	311,53	600	500	222,88	407
600	600	330,8	270	600	600	222,9	380,64
600	700	330,88	229,13	600	700	222,9	358
600	800	330,88	197	600	800	222,93	330,53
600	900	330,88	148,9	600	900	222,9	307,86
700	400	371,82	356,23	700	400	249,48	432,59
700	500	371,82	311,56	700	500	249,48	408,03
700	600	371,82	270	700	600	249,48	380,57
700	700	371,82	230,55	700	700	249,48	358,66
700	800	371,82	197	700	800	249,48	330,46
700	900	371,82	148,9	700	900	249,48	307,8
800	400	412,8	356,14	800	400	275	432,46
800	500	412,85	311,53	800	500	275	408
800	600	412,83	270,07	800	600	275	380,52
800	700	412,85	229,13	800	700	275	358,76
800	800	412,84	197	800	800	275	330,35
800	900	412,85	148,9	800	900	275	307,88
900	400	452,73	356,14	900	400	298,78	432,59
900	500	452,8	311,46	900	500	298,78	408,27
900	600	452,88	270,23	900	600	298,78	380,54
900	700	452,64	229,13	900	700	298,78	358,53
900	800	452,88	197,11	900	800	298,78	330,38
900	900	452,88	148,9	900	900	298,78	307,88

Πίνακας 3.3:Μήκη L1 και L2 για κλάση μελέτης EKL2.

3.5.1.2 EKL3 – 90 km/h

A=R			
R1(m)	R2(m)	L1(m)	L2(m)
300	300	201,04	402,53
300	400	200,87	356,66
300	500	200,75	311,53
300	600	201,04	270,66
400	300	245,88	402,3
400	400	245,85	358,5
400	500	245,84	311,53
400	600	245,85	269,7
500	300	288,82	400,93
500	400	288,89	356,7
500	500	288,81	311,53
500	600	288,87	270
600	300	330,8	402,3
600	400	330,88	356,17
600	500	330,8	311,53
600	600	330,8	270

A=R/3			
R1(m)	R2(m)	L1(m)	L2(m)
300	300	138,32	465,05
300	400	138,32	432,76
300	500	138,32	407
300	600	138,3	380,85
400	300	167,92	464,35
400	400	167,93	432,46
400	500	167,2	408
400	600	168	380,57
500	300	195,97	465,5
500	400	196	436,1
500	500	196	407
500	600	196	377,67
600	300	223	465,22
600	400	222,88	436,19
600	500	222,88	407
600	600	222,9	380,64

Πίνακας 3.4:Μήκη L1 και L2 για κλάση μελέτης EKL3.

3.5.1.3 EKL4 – 70 km/h

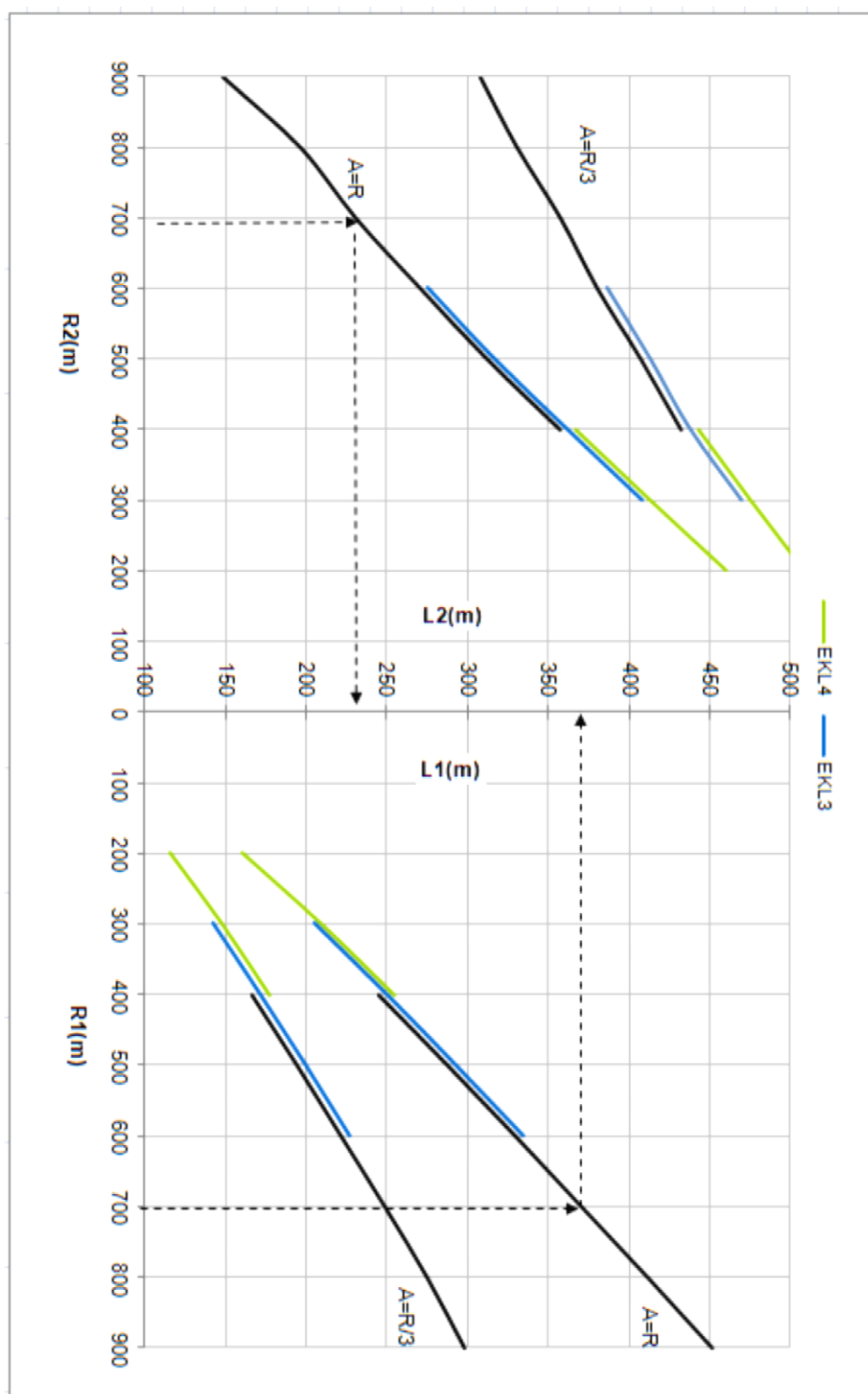
A=R				A=R/3			
R1(m)	R2(m)	L1(m)	L2(m)	R1(m)	R2(m)	L1(m)	L2(m)
200	200	151,69	450	200	200	106,29	497,25
200	300	151,65	401,24	200	300	106,24	465,07
200	400	151,14	356,27	200	400	106,32	433,62
300	200	200,6	449	300	200	138,32	496,11
300	300	201,04	402,53	300	300	138,32	465,05
300	400	200,87	356,66	300	400	138,32	432,76
400	200	245,89	450	400	200	167,95	495,46
400	300	245,88	402,3	400	300	167,92	464,35
400	400	245,85	358,5	400	400	167,93	432,46

Πίνακας 3.5: Μήκη L1 και L2 για κλάση μελέτης EKL4.

Σε όλες τις κλάσεις παρατηρούμε ότι για συγκεκριμένη τιμή των ακτινών R1 και R2 έχουμε αντίστοιχα συγκεκριμένες τιμές στα μήκη L1 και L2 με πολύ μικρές αποκλίσεις. Το γεγονός αυτό, αποτελεί από μόνο του ένα χρήσιμο εργαλείο καθώς γίνεται σαφές ότι υπάρχει μια αναλογία και ταυτόχρονα μια γραμμική σχέση που συνδέει τα αποτελέσματα. Υπάρχει δηλαδή μια γενική εικόνα στην αλληλεπίδραση των τεσσάρων αυτών μεγεθών.

3.5.1.4 ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Τα αποτελέσματα των παραπάνω πινάκων χρησιμοποιήθηκαν για τη μόρφωση του ενιαίου αθροιστικού διαγράμματος, σύμφωνα με το οποίο ο μελετητής μηχανικός επιλέγοντας τις ακτίνες της οδού, έχει άμεσα τα μήκη L1, L2 έτοιμα για εφαρμογή στο έργο. Το διάγραμμα έχει μορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να περιορίζει τους συνδυασμούς των διαφορετικών EKL αλλά ταυτόχρονα να δίνει τη μορφή και τη σχέση των αποτελεσμάτων με επάρκεια. Επομένως, για να γίνει εύκολα αναγνώσιμο το διάγραμμα, αποτυπώσαμε τις κλάσεις με διαφορετικά χρώματα και επιτρέπεται μόνο ο συνδυασμός των ίδιων χρωμάτων των συνδυασμών R1-L1 και R2-L2 για να βρισκόμαστε στην “καλή” περιοχή.



Σχήμα 3-12: Μήκη $L1$ και $L2$ σύμφωνα με τις Γερμανικές Οδηγίες.

Το μήκος L1 όπως έχει αναφερθεί είναι η απόσταση μεταξύ της αρχής της περιοχής με επάρκεια ΜΟΠ και της αρχής της ευθυγραμμίας. Το μήκος L2 είναι η απόσταση μεταξύ του τέλους της περιοχής με επάρκεια ΜΟΠ και του τέλους της ευθυγραμμίας.

Όπως φαίνεται, το L1 εξαρτάται μόνο από την ακτίνα R1 και την παράμετρο της κλωθοειδούς A. Αντίστοιχα, το L2 εξαρτάται από την ακτίνα R2 και την παράμετρο της κλωθοειδούς A. Επομένως, τα μήκη L1 και L2 είναι ασυσχέτιστα άρα και ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Η ανάγνωση του διαγράμματος στο Σχήμα 3-12 γίνεται με τον εξής τρόπο. Επιλέγουμε την ακτίνα R1 της πρώτης καμπύλης και διαλέγουμε με ποια παράμετρο κλωθοειδούς θα γίνει ο σχεδιασμός της οδού. Σε κάθε καμπύλη υπάρχουν τρία διαφορετικά χρώματα τα οποία αντιστοιχούν σε διαφορετική κλάση μελέτης ΕΚΛ (Πίνακας 2.2). Επιλέγω την κλάση μελέτης, δηλαδή το χρώμα καμπύλης με την οποία θα γίνει η χάραξη. Αφού τμήσω την καμπύλη της επιθυμητής παραμέτρου, κινώντας προς τα αριστερά, στον κατακόρυφο άξονα βρίσκω την τιμή του μήκους L1. Αντίστοιχα, στα αριστερά του διαγράμματος επιλέγω την ακτίνα R2 της δεύτερης καμπύλης και κινώντας κατακόρυφα επιλέγω ίδια παράμετρο κλωθοειδούς και ίδια κλάση μελέτης με πριν. Κινώντας προς τα δεξιά, ο κατακόρυφος άξονας θα δώσει την τιμή του μήκους L2. Το διάγραμμα αυτό μας δίνει μια εικόνα τις συσχέτισης και συμπεριφοράς των τεσσάρων μεγεθών που εμφανίζονται σ' αυτό, αλλά δε συσχετίζει την καλή περιοχή για προσπέραση που επιδιώκεται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

3.5.2 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ R1,R2 ΜΕ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑ Τ

Στο συγκεκριμένο εδάφιο εξετάζεται η αλληλεπίδραση των ακτινών R1,R2 σε συνάρτηση με την ενδιάμεση ευθυγραμμία Τ. Η ανάλυση είναι ξανά δομημένη με βάση τις κλάσεις που προβλέπουν οι Γερμανικές Οδηγίες.

3.5.2.1 EKL2-100km/h

A=R		
R1(m)	R2(m)	T(m)
400	400	709,47
400	500	665,5
400	600	627,6
400	700	582,62
400	800	548
400	900	502,5
500	400	666,8
500	500	622,4
500	600	582,7
500	700	541,7
500	800	507,3
500	900	461,4
600	400	625,5
600	500	580,7
600	600	540,4
600	700	499,4
600	800	465,6
600	900	418,9
700	400	590,1
700	500	539,2
700	600	502,9
700	700	459,5
700	800	425,8
700	900	378,1
800	400	549,6
800	500	498,7
800	600	461,5
800	700	417,5
800	800	382,8
800	900	336,8
900	400	502,1
900	500	457,8
900	600	422,5
900	700	376,9
900	800	341,8
900	900	295,22

A=R/3		
R1(m)	R2(m)	T(m)
400	400	868,56
400	500	837,5
400	600	809,8
400	700	790
400	800	764
400	900	743,2
500	400	839,7
500	500	810,7
500	600	781,5
500	700	756,3
500	800	734,1
500	900	712
600	400	813
600	500	783,33
600	600	754,6
600	700	729,5
600	800	704,5
600	900	678,8
700	400	788
700	500	764,4
700	600	731,2
700	700	710,11
700	800	683,4
700	900	657,4
800	400	766,1
800	500	734,2
800	600	704,6
800	700	679,4
800	800	653,22
800	900	634,5
900	400	739,1
900	500	706,8
900	600	682,6
900	700	653,3
900	800	633,1
900	900	609

Πίνακας 3.6: Ευθυγραμμία για κλάση μελέτης EKL2.

3.5.2.2 EKL3-90km/h

A=R		
R1(m)	R2(m)	T(m)
300	300	800,1
300	400	754,5
300	500	710,5
300	600	671,6
400	300	756,5
400	400	709,47
400	500	665,5
400	600	627,6
500	300	712,85
500	400	666,8
500	500	622,4
500	600	582,7
600	300	672,3
600	400	625,5
600	500	580,7
600	600	540,4

A=R/3		
R1(m)	R2(m)	T(m)
300	300	927,7
300	400	893,9
300	500	867,4
300	600	839,2
400	300	895,3
400	400	868,56
400	500	837,5
400	600	809,8
500	300	869,5
500	400	839,7
500	500	810,7
500	600	781,5
600	300	841,3
600	400	813
600	500	783,33
600	600	754,6

Πίνακας 3.7: Ευθυγραμμία για κλάση μελέτης EKL3.

3.5.2.3 EKL4-70km/h

A=R		
R1(m)	R2(m)	T(m)
200	200	898,3
200	300	852,44
200	400	803,25
300	200	849,2
300	300	800,1
300	400	754,5
400	200	804
400	300	756,5
400	400	709,47

A=R/3		
R1(m)	R2(m)	T(m)
200	200	990,67
200	300	959,76
200	400	926
300	200	958,62
300	300	927,7
300	400	893,9
400	200	929
400	300	895,3
400	400	868,56

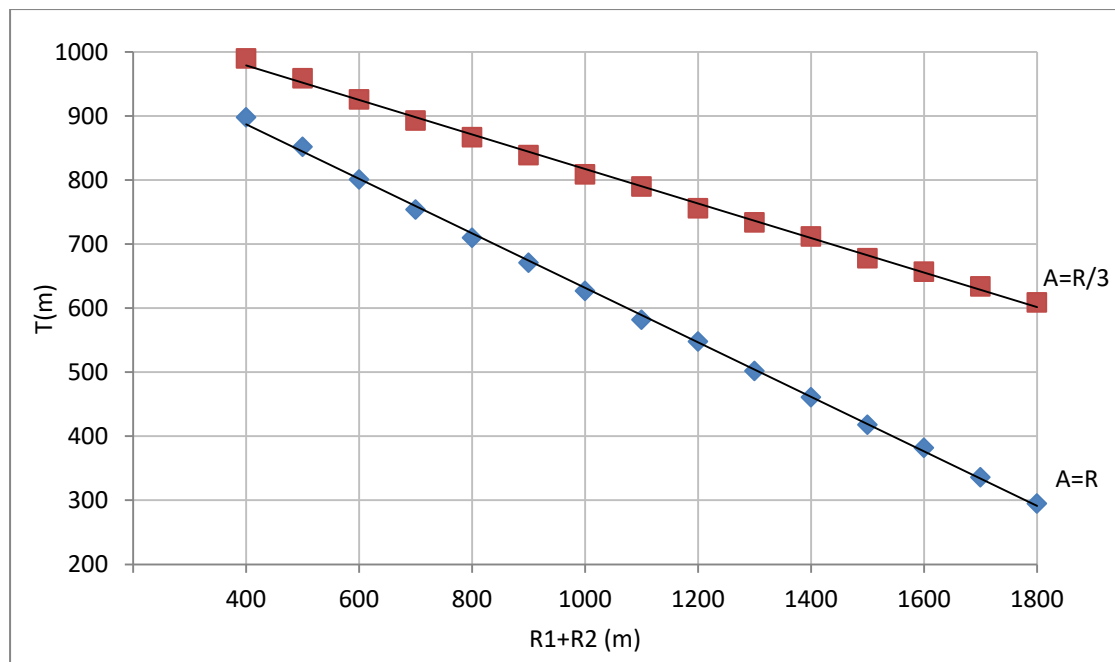
Πίνακας 3.8: Ευθυγραμμία για κλάση μελέτης EKL4.

3.5.2.4 ΓΕΝΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

Στους παραπάνω πίνακες παρατηρούμε ότι η ευθυγραμμία T μεταβάλλεται ανάλογα με τις μεταβολές των ακτινών $R1$ και $R2$. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι για συγκεκριμένη τιμή του αθροίσματος $R1+R2$, όποιες κι αν είναι οι τιμές των $R1$ και $R2$, το μήκος της ευθυγραμμίας προκύπτει ίδιο, με μικρές αποκλίσεις. Για παράδειγμα, ο συνδυασμός ακτινών $R1=500m-R2=700m$ δίνει $R1+R2=1200m$ και προκύπτει ελάχιστη απαιτούμενη ευθυγραμμία $T=756.3m$. Ο συνδυασμός $R1=600m-R2=600m$ δίνει επίσης $R1+R2=1200m$ και ελάχιστη απαιτούμενη ευθυγραμμία $T=754.6m$. Με βάση τα παραπάνω, για λόγους ευκολίας και απλότητας του διαγράμματος ώστε να είναι φιλικό προς τον αναγνώστη, επιλέχθηκαν ως άξονες του διαγράμματος οι $R1+R2$ και T .

A=R/3		A=R	
R1+R2 (m)	T(m)	R1+R2 (m)	T(m)
400	990	400	898
500	959	500	852
600	926	600	801
700	893	700	754
800	867	800	710
900	839	900	671
1000	809	1000	627
1100	790	1100	582
1200	756	1200	548
1300	734	1300	502
1400	712	1400	461
1500	678	1500	418
1600	657	1600	382
1700	634	1700	336
1800	609	1800	295

Πίνακας 3.9: Ευθυγραμμία για άθροισμα ακτινών $R1+R2$.



Σχήμα 3-13: Διάγραμμα προσδιορισμού ευθυγραμμίας T.

Για τις καμπύλες του διαγράμματος $R1+R2 - T$ έχει επιλεγεί γραμμικός τύπος τάσης ο οποίος απεικονίζει τα δεδομένα αποδοτικότερα. Με βάση το άθροισμα $R1+R2$ και ανάλογα την παράμετρο της κλωθοειδούς, επιλέγεται η απαιτούμενη ευθυγραμμία. Από τη γραμμή τάσης της κάθε ευθείας προέκυψαν δυο εξισώσεις. Για την καθεμία ισχύει:

- Για **A=R**:

$$y = -0,4257x + 1057,4 \quad (3.1)$$

$$R^2 = 0,9992$$

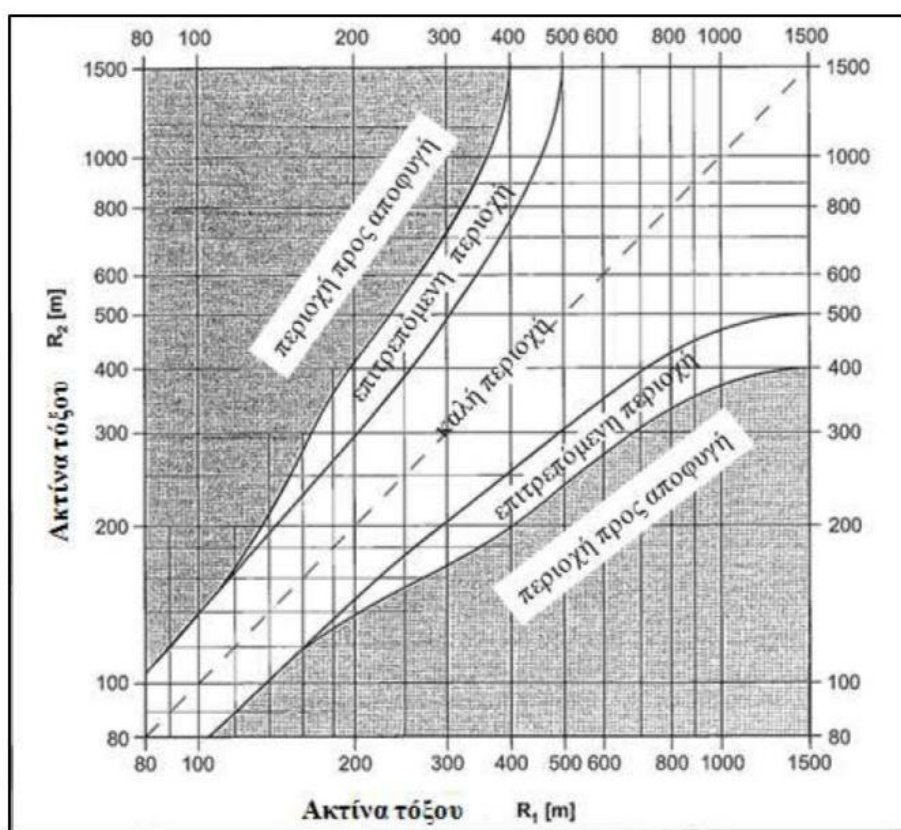
- Για **A=R/3**:

$$y = -0,2696x + 1086,8 \quad (3.2)$$

$$R^2 = 0,9976$$

Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης R^2 και στις δύο περιπτώσεις είναι σχεδόν μονάδα, άρα υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των υπό μελέτη μεγεθών και επομένως η θεώρηση που έγινε ότι η ενδιάμεση ευθυγραμμία T συσχετίζεται με τις ακτίνες R1 και R2 των καμπυλών είναι σωστή. Επομένως, αυτή η συσχέτιση είναι ισχυρή και είναι γραμμική.

Απαιτείται ωστόσο να ισχύουν κατάλληλα εύρη ακτίνων έτσι ώστε ο συνδυασμός τους να βρίσκεται πάντα στην “καλή” περιοχή (οριακά και στην “επιτρεπόμενη” περιοχή) με βάση τις γερμανικές οδηγίες RAL 2012. Υπενθυμίζεται ότι οι συνδυασμοί των ακτίνων που παρέχονται για ασφαλή προσπέραση είναι αυτοί που εμφανίζονται στο Πίνακα 2.2.



Σχήμα 3-14: Σχέση διαδοχικών ακτίνων κατά RAL

3.5.3 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ R1, R2, L1, L2 ΜΕ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΑ Τ

Σύμφωνα με τα παραπάνω, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη να συνδυαστούν και να μορφωθούν τα αποτελέσματα σε ένα ενιαίο διάγραμμα. Το διάγραμμα αυτό θα αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο για το μελετητή μηχανικό, κατά το οποίο με δεδομένα μόνο τις ακτίνες τις οδού, δίνεται η δυνατότητα να υπολογιστούν άμεσα τα μήκη L1 και L2 καθώς και την ευθυγραμμία Τ έτσι ώστε να προκύπτει το ελάχιστο απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση στην υπό μελέτη οδό.

Στους πίνακες παρουσιάζονται τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη μόρφωση του διαγράμματος. Για τα παρακάτω ισχύει η σχέση:

$$600 = T + L1 - L2 \quad (3.3)$$

- Για A=R:

Στον Πίνακα 3.10 παρουσιάζονται τα μήκη L1 σε συνάρτηση με την ακτίνα R1 της πρώτης καμπύλης.

A=R	
R1(m)	L1(m)
200	151
300	200
400	245
500	288
600	330
700	371
800	412
900	452

Πίνακας 3.10: Ακτίνα R1 με μήκος L1 για A=R

Στον Πίνακα 3.11 παρουσιάζονται οι τιμές της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας Τ που έχουν προκύψει απ' την εξίσωση (3.1) με βάση τη γραμμική εξίσωση που χαρακτηρίζει την καμπύλη του διαγράμματος για A=R στο Σχήμα 3-13. Λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή συσχέτισης R^2 ο οποίος είναι σχεδόν μονάδα, συμπεραίνεται ότι η θεώρηση που έγινε ότι τα μεγέθη συσχετίζονται, είναι σωστή. Παρατηρείται ότι ορισμένοι συνδυασμοί ακτινών δε δίνονται και είναι γραμμοσκιασμένοι. Αυτό συμβαίνει διότι σύμφωνα με τις Γερμανικές Οδηγίες και τις κλάσεις μελέτης EKL (Πίνακας 3.1) είναι απαγορευτικός ο συνδυασμός τους.

	L1(m)	151	200	245	288	330	371	412	452
	R1(m)	200	300	400	500	600	700	800	900
R2(m)	200	887	845	802					
	300	845	802	759	717	674			
	400	802	759	717	674	632	589	547	504
	500		717	674	632	589	547	504	461
	600		674	632	589	547	504	461	419
	700			589	547	504	461	419	376
	800			547	504	461	419	376	334
	900			504	461	419	376	334	291

Πίνακας 3.11: Ευθυγραμμία T με βάση τις ακτίνες R1 και R2 για A=R

Στον Πίνακα 3.12 εμφανίζονται οι τιμές των μηκών L2 τα οποία παράχθηκαν σύμφωνα με τα σενάρια των χαράξεων και την εξίσωση (3.3) από τη γραφική απεικόνιση που αποδείχθηκε ότι διέπει τα μεγέθη αυτά.

L2(m)	438	445	447					
	396	402	404	405	404			
	353	359	362	362	362	360	359	356
		317	319	320	319	318	316	313
		274	277	277	277	275	273	271
			234	235	234	232	231	228
			192	192	191	190	188	186
			149	149	149	147	146	143

Πίνακας 3.12: Μήκη L2 που προκύπτουν από τη σχέση $600=T+L1-L2$ για A=R

Στον Πίνακα 3.13 παρουσιάζονται οι τιμές των μηκών L2 που προέκυψαν μέσω των μετρήσεων με το λογισμικό FM. Στη δεξιά στήλη του Πίνακα φαίνεται η ποσοστιαία διαφορά του μήκους L2 που προέκυψε από το λογισμικό FM, από το μήκος L2 που προέκυψε από τη θεώρηση που έγινε και την εξίσωση (3.3), δηλαδή $L2=600-T+L1$. Η τάξη μεγέθους της διαφοράς αυτής σε κάθε περίπτωση είναι αμελητέα. Δηλαδή, η θεώρηση που έγινε ότι τα υπό μελέτη μεγέθη συσχετίζονται και περιγράφονται με αυτή τη γραμμική εξίσωση είναι σωστή, αφού τα αποτελέσματα που δίνουν και οι δύο τρόποι υπολογισμού του μήκους L2 συγκλίνουν.

Calculated L2(m)	Difference
450	1,51%
403	0,20%
357	-0,59%
312	-1,74%
271	-1,42%
231	-0,59%
197	3,65%
149	1,19%

Πίνακας 3.13: Μήκη L2 που προέκυψαν από λογισμικό FM και απόκλιση από τα παραχθέντα για $A=R$

- Για $A=R/3$:

Στον Πίνακα 3.14 παρουσιάζονται τα μήκη L1 σε συνάρτηση με την ακτίνα R1 της πρώτης καμπύλης.

A=R/3	
R1(m)	L1(m)
200	106
300	138
400	167
500	195
600	222
700	249
800	275
900	298

Πίνακας 3.14 Ακτίνα R1 με μήκος L1 για $A=R/3$

Στον Πίνακα 3.15 παρουσιάζονται οι τιμές της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας T που έχουν προκύψει απ' την εξίσωση (3.2) με βάση τη γραμμική εξίσωση που χαρακτηρίζει την καμπύλη του διαγράμματος για $A=R/3$ στο Σχήμα 3-13. Λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή συσχέτισης R^2 ο οποίος είναι σχεδόν μονάδα, συμπεραίνεται ότι η θεώρηση που έγινε ότι τα μεγέθη συσχετίζονται, είναι σωστή. Ισχύει ξανά ότι ορισμένοι συνδυασμοί ακτινών δε δίνονται και είναι γραμμοσκιασμένοι διότι σύμφωνα με τις Γερμανικές Οδηγίες και τις κλάσεις μελέτης EKL (Πίνακας 3.1) είναι απαγορευτικός ο συνδυασμός τους.

	L1(m)	106	138	167	195	222	249	275	298
	R1(m)	200	300	400	500	600	700	800	900
R2(m)	200	979	952	925					
	300	952	925	898	871	844			
	400	925	898	871	844	817	790	763	736
	500		871	844	817	790	763	736	709
	600		844	817	790	763	736	709	682
	700			790	763	736	709	682	655
	800			763	736	709	682	655	628
	900			736	709	682	655	628	602

Πίνακας 3.15: Ευθυγραμμία T με βάση τις ακτίνες R1 και R2 για $A=R/3$

Στον Πίνακα 3.16 εμφανίζονται οι τιμές των μηκών L2 τα οποία παράχθηκαν σύμφωνα με τα σενάρια των χαράξεων και την εξίσωση (3.3) από τη γραφική απεικόνιση που αποδείχθηκε ότι διέπει τα μεγέθη αυτά.

L2(m)	485	490	492					
	458	463	465	466	466			
	431	436	438	439	439	439	438	434
		409	411	412	412	412	411	407
		382	384	385	385	385	384	380
			357	358	358	358	357	353
			330	331	331	331	330	326
			303	304	304	304	303	300

Πίνακας 3.16: Μήκη L2 που προκύπτουν από τη σχέση $600=T+L1-L2$ για $A=R/3$

Στον Πίνακα 3.17 παρουσιάζονται οι τιμές των μηκών L2 που προέκυψαν μέσω των μετρήσεων με το λογισμικό FM. Στη δεξιά στήλη του Πίνακα φαίνεται η ποσοστιαία διαφορά του μήκους L2 που προέκυψε από το λογισμικό FM, από το μήκος L2 που προέκυψε από τη θεώρηση που έγινε και την εξίσωση (3.3), δηλαδή $L2=600-T+L1$. Η τάξη μεγέθους της διαφοράς αυτής σε κάθε περίπτωση είναι αμελητέα. Δηλαδή, η θεώρηση που έγινε ότι τα υπό μελέτη μεγέθη συσχετίζονται και περιγράφονται με

αυτή τη γραμμική εξίσωση είναι σωστή, αφού τα αποτελέσματα που δίνουν και οι δύο τρόποι υπολογισμού του μήκους L2 συγκλίνουν.

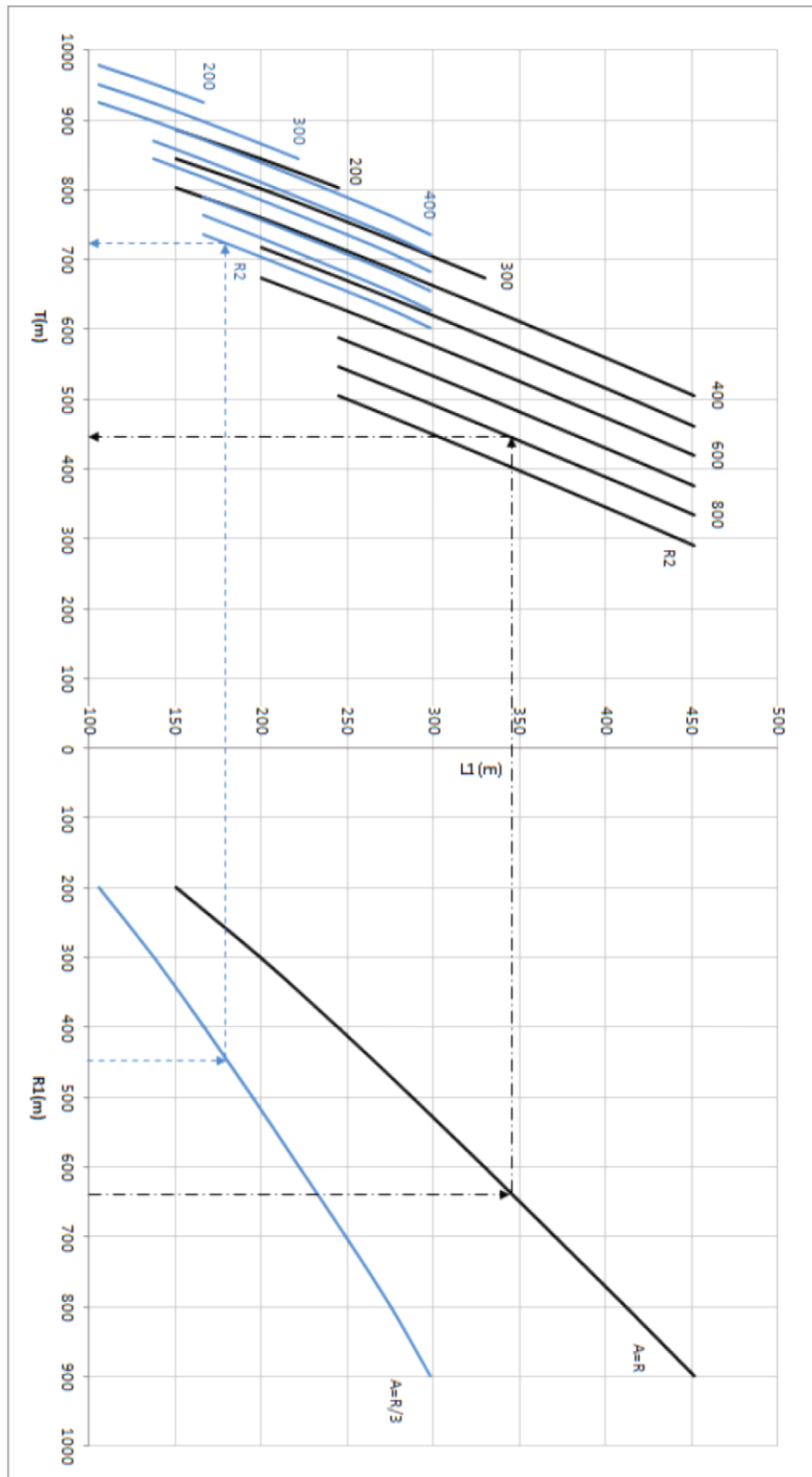
Calculated L2(m)	Difference
498	1,81%
465	0,28%
433	-0,91%
408	-0,69%
381	-0,75%
358	0,23%
331	0,24%
308	1,54%

Πίνακας 3.17: Μήκη L2 που προέκυψαν από λογισμικό FM και απόκλιση από τα παραχθέντα για $A=R/3$

Στο διάγραμμα του Σχήματος 3-15 απεικονίζεται η συσχέτιση των υπό μελέτη μεγεθών. Με δεδομένες τις ακτίνες R1 και R2, μπορούμε εύκολα να προσδιορίσουμε τις τιμές του μήκους L1 και της ευθυγραμμίας T. Επιπλέον, μέσω της σχέσης $600=T+L1-L2$ υπολογίζεται άμεσα η τιμή του μήκους L2.

Το διάγραμμα έχει μορφωθεί για παραμέτρους κλωθοειδούς $A=R$ και $A=R/3$. Τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί για παράμετρο κλωθοειδούς $A=R$ συμβολίζονται με μαύρο χρώμα και τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί για παράμετρο κλωθοειδούς $A=R/3$ συμβολίζονται με μπλε χρώμα. Το συγκεκριμένο διάγραμμα λειτουργεί για διαδοχικές καμπύλες που έχουν ίδιες παραμέτρους κλωθοειδούς δηλαδή είτε $A=R$ και στις δύο καμπύλες, είτε $A=R/3$. Δεν μπορεί να γίνει συνδυασμός αυτών των δύο. Αν για παράδειγμα έχουμε σχεδιάσει την πρώτη καμπύλη (R1) για $A=R$ τότε και για τη δεύτερη καμπύλη (R2) θα επιλέξουμε τις καμπύλες όπου ισχύει $A=R$. Το ίδιο ισχύει και για $A=R/3$. Για να γίνει η διαδικασία της ανάγνωσης πιο εύκολη προς το χρήστη του διαγράμματος, επιλέχθηκαν διαφορετικά χρώματα για την κάθε παράμετρο κλωθοειδούς. Ακόμα, λόγω των περιορισμών στο συνδυασμό ακτίνων σύμφωνα με τις κλάσεις μελέτης EKL, το διάγραμμα είναι έτσι δομημένο ώστε να μην επιτρέπει τους απαγορευτικούς συνδυασμούς.

Η ανάγνωση του διαγράμματος γίνεται ως εξής. Ξεκινώντας από τα δεξιά του διαγράμματος, ο μελετητής μηχανικός επιλέγει την ακτίνα R1 της πρώτης καμπύλης. Στη συνέχεια, κινώντας ανοδικά κατακόρυφα επιλέγει ποια παράμετρο κλωθοειδούς επιθυμεί να έχουν οι καμπύλες της οδού. Έπειτα, κινώντας προς τα αριστερά, στον κατακόρυφο άξονα "συναντά" το μήκος L1 απ' το οποίο ξεκινάει η ορατότητα. Συνεχίζοντας αριστερά, επιλέγει την τιμή της ακτίνας R2. Κάθε καμπύλη αντιστοιχεί σε μία τιμή ακτίνας με εύρος από 200m έως 900m. Αφού "ακουμπήσει" την επιθυμητή τιμή ακτίνας R2, κινώντας καθοδικά κατακόρυφα, το μήκος T που θα προκύψει είναι η ελάχιστη ενδιάμεση ευθυγραμμία μεταξύ των δύο καμπυλών ούτως ώστε να υπάρχουν 600m ορατότητας, για 600m μήκος, που απαιτούνται σύμφωνα με τις Γερμανικές Οδηγίες για ασφαλή προσπέραση.



Σημείωση:

- i) οι μαύρες καμπύλες αναφέρονται στην κλωθοειδή με παράμετρο $A=R$
- ii) οι μπλε καμπύλες αναφέρονται στην κλωθοειδή με παράμετρο $A=R/3$

Σχήμα 3-15: Διάγραμμα προσδιορισμού μήκους $L1$ και ευθυγραμμίας T

Από τους πίνακες και το διάγραμμα του παρόντος κεφαλαίου απορρέουν οι τιμές των ευθυγραμμίων T και η γίνεται αντιληπτή η συμπεριφορά τους σε σχέση με τα υπόλοιπα μεγέθη. Παρατηρείται ότι οι τιμές της ευθυγραμμίας T είναι εν γένει μικρότερες για παράμετρο κλωθοειδούς $A=R$ απ' ό τι για $A=R/3$. Για λόγους οικονομίας, ο μελετητής μηχανικός επιδιώκει τα μικρότερα δυνατά μήκη οδού, άρα και ευθυγραμμίας, τα οποία προκύπτουν για παράμετρο κλωθοειδούς $A=R$.

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 έχουν παραχθεί από τα διάφορα στάδια της εργασίας. Τέλος, παρουσιάζονται προτάσεις εφαρμογής των αποτελεσμάτων και περαιτέρω έρευνας.

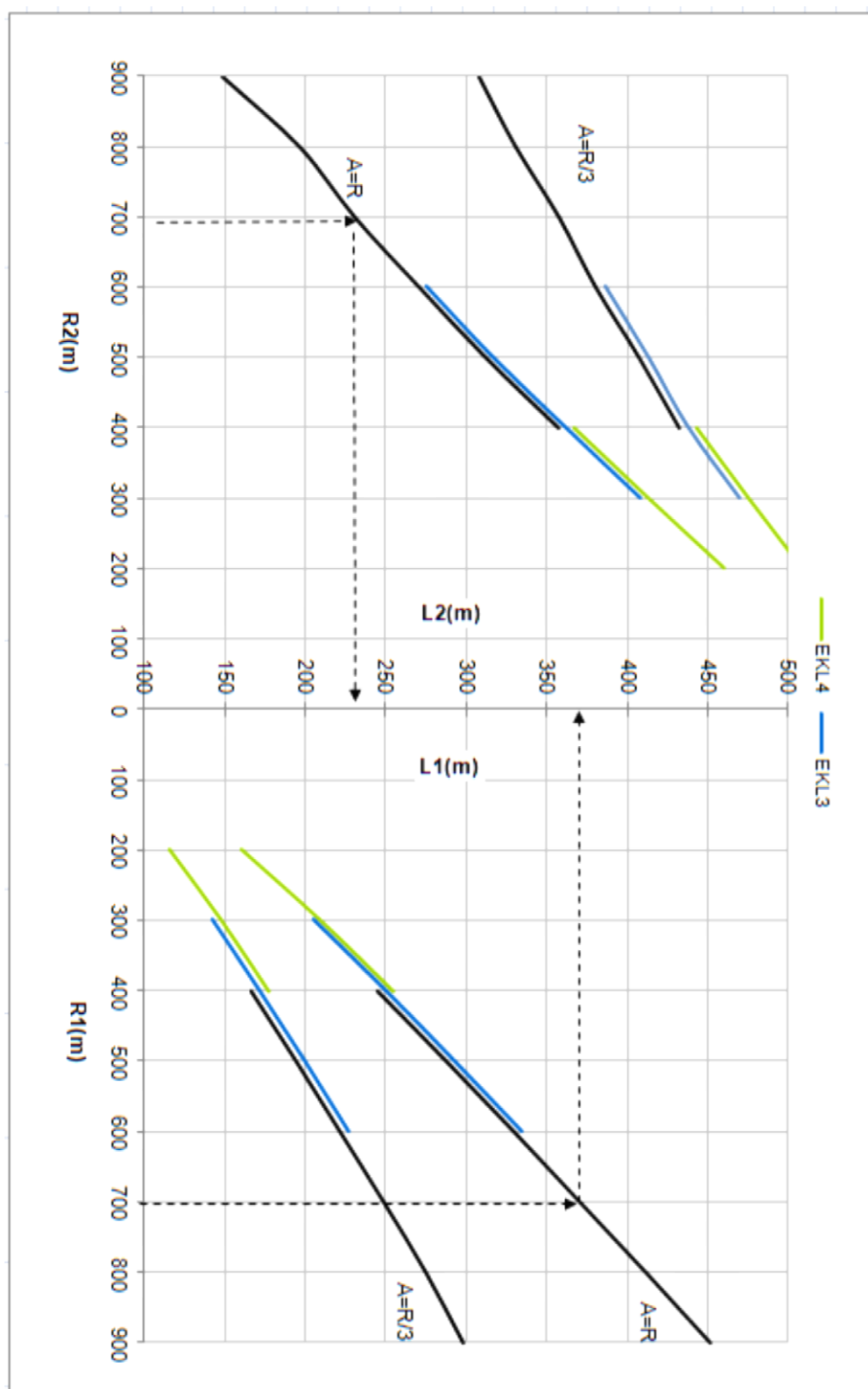
4.2 ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η εύρεση του ελάχιστου διατιθέμενου μήκους για προσπέραση, κατά το οποίο το Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση είναι οριακά ίσο ή μεγαλύτερο από 600m με βάση τις Γερμανικές Οδηγίες RAL 2012. Για το σκοπό αυτό, μελετήθηκαν δυο περιπτώσεις, οι $A=R$ και $A=R/3$, οι οποίες είναι τα μέγιστα και ελάχιστα επιτρεπτά όρια τιμής της κλωθοειδούς.

Επιπλέον, η παρούσα εργασία δίνει τη δυνατότητα να έχουμε μια πιο εποπτική εικόνα όσον αφορά την ορατότητα εν γένει σε μια οδό με καμπύλες αλλά και συγκεκριμένα τα σημεία εκκίνησης και πέρατος της ορατότητας σε μία οδό με διαδοχικές αντίρροπες καμπύλες με σταθερή κατά μήκος κλίση.

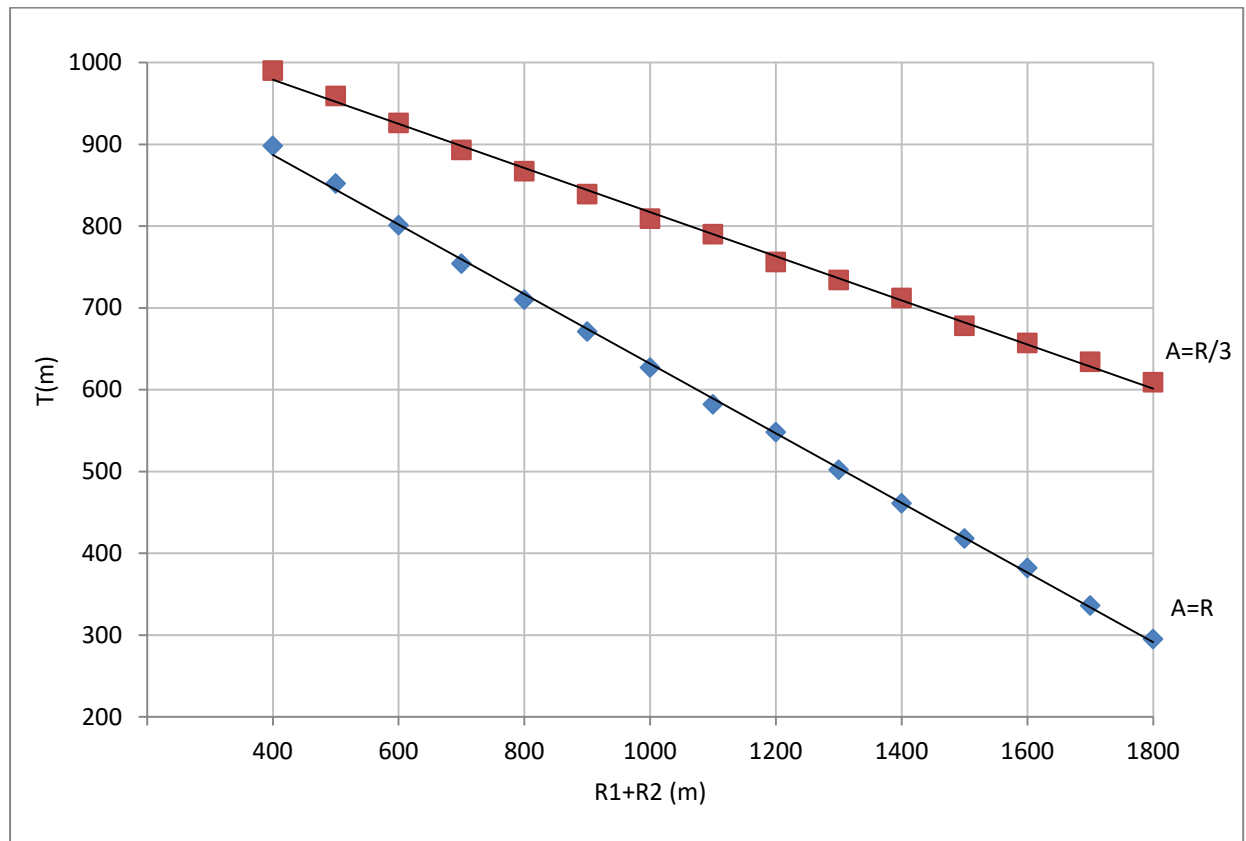
Η διερεύνηση έγινε με βάση τις Γερμανικές οδηγίες υπεραστικών οδών RAL και για κάθε μία από τις τρεις κλάσεις μελέτης (εξαιρείται η κλάση μελέτης EKL1), δημιουργήθηκαν γραφήματα τα οποία απεικονίζουν τις περιοχές στις οποίες υπάρχει επάρκεια ορατότητας για προσπέραση.

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3, στο διάγραμμα του Σχήματος 4-1 προκύπτουν τα μήκη L_1, L_2 με βάση τις ακτίνες των καμπυλών, την κλάση μελέτης EKL και την παράμετρο κλωθοειδούς A . Στο διάγραμμα αυτό φαίνεται η συσχέτιση των μεγεθών R_1, R_2, L_1, L_2 συναρτήσει των παραμέτρων που έχουν επιλεγεί. Το διάγραμμα δίνει μια γενική εικόνα της συμπεριφοράς των μεγεθών, παρόλα αυτά δε συσχετίζει την “καλή” περιοχή. Τέλος, το διάγραμμα αυτό είναι εποπτικό και παρουσιάζει τις τιμές των μηκών L_1 και L_2 χωρίς να περιλαμβάνει το μήκος της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας T . Η συσχέτιση όλων των μεγεθών παρουσιάζεται σε επόμενο διάγραμμα.



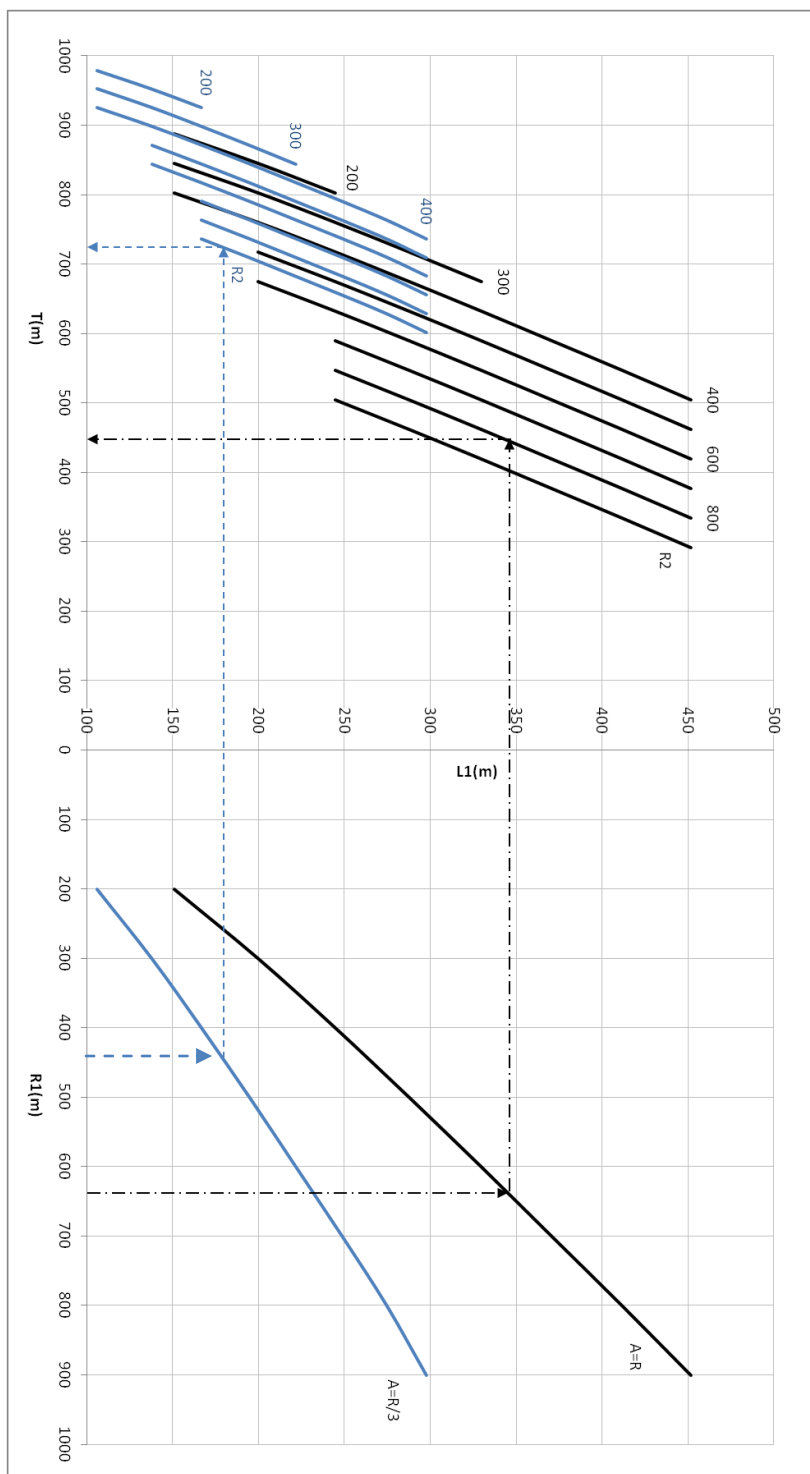
Σχήμα 4-1: Μήκη $L1$ και $L2$ σύμφωνα με τις Γερμανικές Οδηγίες

Στο διάγραμμα του Σχήματος 4-2 απεικονίζεται η σχέση των ακτίνων R_1 , R_2 με το μήκος ενδιάμεσης ευθυγραμμίας T . Με δεδομένες τις ακτίνες R_1 και R_2 , επιλέγεται η επιθυμητή παράμετρος κλωθοειδούς A και προκύπτει το ενδιάμεσο μήκος ευθυγραμμίας μεταξύ δύο διαδοχικών καμπυλών, ούτως ώστε να υπάρχει η απαιτούμενη ορατότητα των 600m, για 600 m μήκος οδού. Στο Κεφάλαιο 3.5.2.4 στο οποίο εξετάστηκε εκτενώς το διάγραμμα, κρίθηκε κατάλληλη η γραμμική τάση περιγραφής των καμπυλών. Σύμφωνα με τον συντελεστή συσχέτισης R^2 που τείνει να γίνει μονάδα, η θεώρηση είναι σωστή και τα μεγέθη T , R_1 , R_2 έχουν ισχυρή συσχέτιση.



Σχήμα 4-2: Διάγραμμα προσδιορισμού ευθυγραμμίας T

Το διάγραμμα του Σχήματος 4-3 αποτελεί τη συγκεντρωτική εικόνα των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στο διάγραμμα αυτό εμφανίζονται όλα τα υπό μελέτη μεγέθη που δίνουν τη δυνατότητα στο μελετητή μηχανικό να χρησιμοποιήσει για τη χάραξη οδού, με επαρκές μήκος ορατότητας για προσπέραση. Επιλέγοντας στο διάγραμμα τις επιθυμητές ακτίνες και παραμέτρους κλωθοειδών, προκύπτει το μήκος ενδιάμεσης ευθυγραμμίας T . Το μήκος T της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας, είναι το ελάχιστο απαιτούμενο ούτως ώστε να υπάρχει ΜΟΠ τουλάχιστον 600m, για 600m μήκος οδού. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται ένα ελάχιστο απαιτούμενο μήκος οδού για ασφαλή προσπέραση.



Σημείωση:

- i) οι μαύρες καμπύλες αναφέρονται στην κλωθοειδή με παράμετρο $A=R$
- ii) οι μπλε καμπύλες αναφέρονται στην κλωθοειδή με παράμετρο $A=R/3$

Σχήμα 4-3: Διάγραμμα προσδιορισμού μήκους $L1$ και ευθυγραμμίας T

4.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κύριος στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας ήταν ο προσδιορισμός περιοχών, στις οποίες επιτρέπεται η προσπέραση. Με κατάλληλα γραφήματα (π.χ. Σχήμα 4-1) καθορίζονται τα υπόψη μήκη και για τις δύο περιπτώσεις παραμέτρου κλωθοειδούς. Με το γενικό διάγραμμα (π.χ. Σχήμα 4-3) ο μελετητής μηχανικός μπορεί με μεγάλη ευκολία να αποτυπώσει τα διαστήματα στα οποία το Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση είναι επαρκές. Παρόλο που στην παρούσα εργασία δεν εξετάστηκε η μηκοτομή της οδού, είναι επιτακτική η ανάγκη στο διάστημα της ευθυγραμμίας T να μην υπάρχει κυρτή καμπύλη. Η ύπαρξη κυρτής καμπύλης δημιουργεί προβλήματα στην ορατότητα και δεν έχει ληφθεί υπόψη ώστε τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας να λειτουργούν και για κατακόρυφες καμπύλες.

Εκτός από τον κύριο στόχο της εργασίας, στην πορεία της μελέτης προέκυψαν ορισμένα ενδιαφέροντα στοιχεία. Κατά τη διαδικασία της μελέτης, παρατηρήθηκε ότι συνδυασμοί ακτίνων με ίδιο άθροισμα, παρουσίαζαν ίδια τιμή στην ευθυγραμμία T. Ακόμα, παρατηρήθηκε ότι όσο μεγαλώνει η ακτίνα, το σημείο εκκίνησης της ορατότητας ξεκινάει νωρίτερα, γεγονός λογικό εφόσον υπάρχει πιο ήπια καμπύλωση.

Με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την έρευνα στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, εξακριβώθηκαν και ταξινομήθηκαν καλύτερα οι περιοχές στις οποίες επιτρέπεται 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 οριζοντιογραφίας της οδού. Παρέχεται δηλαδή στον μελετητή η δυνατότητα να καθορίζει με ακρίβεια τα επιθυμητά ΜΟΠ τροποποιώντας ανάλογα τις ακτίνες και τις παραμέτρους κλωθοειδούς της χάραξης. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας προβλέπεται να συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση της οδικής ασφάλειας.

Ολόκληρη η διπλωματική εργασία διεξήχθη με βάση τις Γερμανικές Οδηγίες RAL 2012, σύμφωνα με τις οποίες απαιτείται ορατότητα 600m, για 600m μήκος ούτως ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία ασφαλούς προσπέρασης. Υπάρχουν πολλές έρευνες που εστιάζουν στις παραμέτρους που επηρεάζουν την ορατότητα. Οι παράμετροι αυτές είναι η ταχύτητα, η επιτάχυνση, η δυναμική του οχήματος κ.ά. Σχετικές έρευνες είναι αυτές των Yasser Hassan και Carlos Llorca που αναφέρονται στη βιβλιογραφία της παρούσας εργασίας. Όμως, δεν υπάρχει κάποια έρευνα μέχρι στιγμής που να εξετάζει το Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση σε σιγμοειδή καμπύλη με ενδιάμεση ευθυγραμμία T και σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν να παρατηρήσουμε πως λειτουργούν με τα συγκεκριμένα δεδομένα τα 600m ορατότητας που συνιστούν οι Γερμανικές Οδηγίες. Η εργασία αυτή επομένως, εστιάζει στο αν εφαρμόζουν οι Γερμανικές Οδηγίες για απαιτούμενο ΜΟΠ τουλάχιστον 600m, σε περίπτωση ενδιάμεσης ευθυγραμμίας T μεταξύ δύο αντίρροπων διαδοχικών καμπυλών και τι αποτελέσματα δίνει αυτός ο έλεγχος.

Τέλος, με βάση τα εξαγόμενα, μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε και να δώσουμε στο μελετητή τη δυνατότητα να γνωρίζει ποιο είναι το απαιτούμενο μήκος ευθυγραμμίας μεταξύ δύο καμπυλών, για να έχει προσπέραση.

4.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Με την παρούσα εργασία ερευνάται μόνο ένα τμήμα του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση με σταθερή κατά μήκος κλίση στην ενδιάμεση ευθυγραμμία T των ακτινών. Υπάρχει η δυνατότητα διερεύνησης επιπλέον παραμέτρων κατά τη διαδικασία προσπέρασης.

Η παρούσα εργασία εστίασε στην περίπτωση της ευθυγραμμίας ανάμεσα σε δύο διαδοχικές αντίρροπες καμπύλες. Κρίνεται απαραίτητο να μελετηθεί η περίπτωση της ευθυγραμμίας ανάμεσα σε δύο διαδοχικές αντίρροπες καμπύλες με κυρτή καμπύλη. Αυτό αποτελεί ιδιαίτερα δύσκολο πρόβλημα καθώς εκτός από τη χάραξη της οδού, η κυρτή καμπύλη στη μηκοτομή αποτελεί έναν ιδιαίτερα δυσμενή παράγοντα στην ορατότητα.

Ένα ακόμη ιδιαίτερα ενδιαφέρον αντικείμενο για μελέτη, λόγω του έντονου ανάγλυφου της Ελλάδας, θα ήταν η μελέτη για το πώς επηρεάζει την ορατότητα ο

παρόδιος χώρος εν γένει. Ο παρόδιος χώρος περιλαμβάνει τις κλίσεις των πρανών, τα στηθαία ασφαλείας, τη φύτευση, τα πλάτη των ερεισμάτων, τα λειτουργικά πλάτη κλπ. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η διαμόρφωση των πρανών έχει κλίση 1-1, το λειτουργικό πλάτος είναι 1,30m, το έρεισμα έχει πλάτος 0,50m και το στηθαίο ασφαλείας έχει ύψος 0,90m. Έγινε σαφές από τα διαγράμματα ορατότητας ότι η γραμμή ορατότητας του οδηγού εμποδίζεται από τη διαμόρφωση των πρανών, εφόσον το ύψος του στηθαίου ασφαλείας δεν αποτελεί οπτικό εμπόδιο. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η διεξαγωγή μελέτης κατά την οποία θα αναλύονται διάφορες διαμορφώσεις πρανών και θα ελέγχεται πως επηρεάζεται η ορατότητα για κάθε διαμόρφωση. Ακόμη, μπορούν να διεξαχθούν μελέτες για περιπτώσεις με διάφορα λειτουργικά πλάτη, ερείσματα κλπ. Η διερεύνηση συγκεκριμένων πλευρικών διαμορφώσεων -υπόλοιποι τύποι στηθαίων ασφαλείας, περιπτώσεις λειτουργικών πλατών, κ.α.- με τη δυνατότητα συγκράτησης των αποτελεσμάτων και συνδυασμό, αυτών κρίνεται αναγκαία.

Επιπλέον, θα μπορούσαν να διερευνηθούν ενδιάμεσοι συνδυασμοί όσον αφορά τις παραμέτρους κλωθοειδών, εκτός των οριακών που έχουν ληφθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία οι οποίες είναι $A_{\max}=R$ και $A_{\min}=R/3$, που είναι για παράδειγμα η παράμετρος $A=R/2$ και να μορφωθούν διαγράμματα που να συνδυάζουν υπάρχοντα αλλά και νέα αποτελέσματα.

Τέλος, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μορφή της οδού που μελετήθηκε, είναι η εξής. Η οδός ξεκινάει με αριστερόστροφη καμπύλη, συνεχίζει με ευθυγραμμία και καταλήγει σε δεξιόστροφη καμπύλη. Η αριστερόστροφη καμπύλη είναι πιο ευμενής από άποψη ορατότητας σε σχέση με τη δεξιόστροφη καμπύλη, διότι στη δεξιόστροφη καμπύλη το πρανές δημιουργεί προβλήματα στην ορατότητα και είναι δυσμενέστερη η περίπτωση αυτή. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η μελέτη οδού η οποία θα ξεκινά με πρώτη καμπύλη δεξιόστροφη και τη δεύτερη καμπύλη αριστερόστροφη.

5. 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 ΟΔΟΠΟΙΑΣ, 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, Sydney, 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 Vettters, Dr.-Ing. Thomas Jaehrig, Győr, Hungary, 2015.
- Passing behavior on two-lane roads in a real and in simulated environment, Carlos Llorca, Haneen Farah, Spain, 2016
- Application for automated determination of passing and no-passing zones:a case study, Yasser Hassan, A.O. Abd El Halim, and Said M. Easa, Canada