



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ



ΛΙΖΑ ΟΥΡΑΝΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΜΑΥΡΟΜΑΤΗΣ ΣΤΕΡΓΙΟΣ

Αθήνα, Μάρτιος 2019

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το πέρας της διπλωματικής μου εργασίας ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Στο σημείο αυτό, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους, όσου συνέβαλαν ώστε να φτάσω σήμερα στο σημείο αυτό.

Θα ήθελα επομένως να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου, οι οποίοι μου μεταλαμπάδευσαν τις απαραίτητες γνώσεις ώστε να είμαι σε θέση να ξεκινήσω την επαγγελματική μου πορεία ως σωστή μηχανικός.

Ιδιαίτερως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Στέργιο Μαυρομάτη, αρχικά για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, αλλά και για την καθοδήγηση, τις συμβουλές και την πολύτιμη βοήθεια του από την αρχή ως το πέρας της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα αγαπημένα μου πρόσωπα, τους γονείς μου, τον Αλέξανδρο και τις αγαπημένες μου φίλες και φίλους, οι οποίοι με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια, πίστεψαν σε μένα και δεν έπαψαν στιγμή να μου υπενθυμίζουν να μη σταματάω να κυνηγάω τα όνειρά μου και να παλεύω για αυτά.

Λίζα Ουρανία,

Αθήνα, 14/03/2019,

ΕΜΠ

ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία διερευνά την επίδραση των δυναμικών χαρακτηριστικών του οχήματος αλλά και των χαρακτηριστικών της οδού, στο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση. Διερευνώνται για κάθε ταχύτητα μελέτης και για διάφορους συνδυασμούς κατά μήκος κλίσεων, συντελεστή τριβής και υποδύναμης, τα διαστήματα στα οποία είναι εφικτό να γίνει με ασφάλεια η προσπέραση καθώς και οι παράγοντες που την επηρεάζουν. Με βασικό εργαλείο τη δυναμική ανάλυση του οχήματος και μέσω κατάλληλου λογισμικού, διεξάγονται δοκιμές με σκοπό τον καθορισμό του ελάχιστου Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση. Τα αποτελέσματα οργανώνονται σε κατάλληλα γραφήματα και διαγράμματα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ευκολία από το μελετητή μηχανικό, αλλά κυρίως να ενταχθούν σε συστήματα παροχής πληροφόρησης προς τον οδηγό, στο πλαίσιο αλληλεπίδρασης αυτόνομων οχημάτων με το γεωμετρικό σχεδιασμό οδών.

Με γνώμονα τα αποτελέσματα της εργασίας, ο σύγχρονος Έλληνας συγκοινωνιολόγος μηχανικός μπορεί να αντιληφθεί καλύτερα την έννοια του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση και πόσο αυτό αποκλίνει κατά περίπτωση από την απλοποιημένη προσέγγιση που εφαρμόζεται στις οδηγίες σχεδιασμού οδικών έργων.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ:

Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (ΜΟΠ), επιτάχυνση, δυναμικό μοντέλο οχήματος, υποδύναμη, κατά μήκος κλίση, συντελεστής τριβής, ταχύτητα μελέτης

ABSTRACT

This thesis explores the effect of the vehicle's dynamic characteristics but also the road's characteristics, at the Passing Sight Distance. For each design velocity and for different combinations of road slope, coefficient of friction and horsepower, were examined the intervals at which spot the passing can be safely made and the factors that affect the distance. The basic tool of this thesis was a related software of dynamic analysis. With this tool and with an algorithm that was created for this purpose, were produced some tests that defined the minimum Passing Sight Distance. The results were organized in appropriate charts and diagrams, that can be easily used by any transport engineer, but they can also integrate into driver information system in the context of the interaction of autonomous vehicles with road's geometric design. Providing the results of this thesis, transport engineers can easily understand the definition of Passing Sight Distance and the amount of divergence of the distance that is defined by the policy on Geometric Design of Highways and Streets.

KEY WORDS:

Passing Sight Distance (PSD), acceleration, vehicle's dynamic model, horsepower, road slope, coefficient of friction, design speed.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΣΥΝΟΨΗ	ii
ABSTRACT	iii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	vii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	x
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1. ΓΕΝΙΚΑ	1
1.2. ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	4
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	5
2.1. ΓΕΝΙΚΑ	5
2.2. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΞΟΝΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	5
2.2.1. ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	5
2.2.2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	6
2.2.3. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗ ΔΙΑΞΟΝΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ (ΕΠΙΒΑΤΗΓΟ)	7
2.2.4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΙΠΠΟΔΥΝΑΜΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	8
2.2.5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	9
2.2.6. ΤΡΙΒΗ	10
2.2.7. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ	14
2.3. ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ	16
2.4. ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ	16
2.4.1. ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (RAL)	16

2.4.1.1	ΜΗΚΟΤΟΜΗ	21
2.4.1.2	ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ.....	21
2.4.2.	ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (AASHTO)	22
2.4.3.	ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (ΟΜΟΕ-Χ).....	25
2.4.3.1	ΜΗΚΟΤΟΜΗ	25
2.4.3.2	ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ.....	26
2.4.3.3	ΔΙΕΘΝΗ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ	27
2.5.	ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΜΕΛΕΤΕΣ	29
2.5.1.	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ ΑΠΛΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΕΙΣ.....	29
2.5.2.	ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕ ΑΥΤΟ ΠΟΥ ΟΡΙΖΟΥΝ ΟΙ ΓΕΡΜΑΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ (RAL 2012).....	31
2.5.3.	ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	33
2.5.4.	ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗ ΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ.....	35
2.5.5.	ΣΥΝΟΨΗ.....	39
3.	ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	40
3.1.	ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	40
3.2.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	41
3.2.1.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ	43
3.2.2.	ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΔΟΚΙΜΩΝ.....	45
3.2.2.1	ΟΔΟΙ ΚΛΑΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ EKL2	45
3.2.2.2	ΟΔΟΙ ΚΛΑΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ EKL3	55

3.3. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ.....	62
3.3.1. ΤΑΧΥΤΗΤΑ	62
3.3.2. ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΗ.....	65
3.3.3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ	66
3.3.4. ΙΠΠΟΔΥΝΑΜΗ.....	68
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	69
4.1. ΓΕΝΙΚΑ	69
4.2. ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	69
4.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	76
4.4. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	77
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	Α
Α. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	Β
Α.1. ΓΕΝΙΚΑ	Β
Α.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ	Β

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1. Στάδια Διπλωματικής Εργασίας.....	4
Σχήμα 2.1. Σύστημα Αξόνων (Κανταράτος, 1990)	6
Σχήμα 2.2. Δυνάμεις που ασκούνται σε διαξονικό όχημα κατά την επιτάχυνση (Μαυρομάτης Σ.,2002).....	8
Σχήμα 2.3. Στατική τριβή κατά την τροχοπέδηση για διαφόρους τύπους οδοστρωμάτων. (Gillespie T.D. 1992)	11
Σχήμα 2.4. Μεταβολή του εφαπτομενικού συντελεστή τριβής f_{tg} , με την ταχύτητα σε διάφορες οδηγίες γεωμετρικού σχεδιασμού οδών. (Μαυρομάτης, 2018)	12
Σχήμα 2.5. Έλλειψη εφαπτομενικού – εγκάρσιου συντελεστή τριβής. (Μαυρομάτης, 2018).....	14
Σχήμα 2.6. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας σε φορτηγό με λόγο $W/HP = 120 \text{ kg/KW}$ (ΟΜΟΕ, Τεύχος 5,2001)	15
Σχήμα 2.7. Διαδικασία προσπέρασης, (Μαυρομάτης, 2018).....	16
Σχήμα 2.8. Τυπική διατομή RQ 15,5	17
Σχήμα 2.9. Τυπική διατομή RQ 11,5+ α) με επιπρόσθετη λωρίδα προσπέρασης, b1) με διπλή συνεχή διαχωριστική γραμμή, b2) με διπλή διακεκομμένη διαχωριστική γραμμή	18
Σχήμα 2.10. Τυπική διατομή RQ 11.	19
Σχήμα 2.11. Τυπική διατομή RQ9.	20
Σχήμα 2.12. Διαδικασία προσπέρασης κατά RAL 2012.	22
Σχήμα 2.13. Διαδικασία Προσπέρασης κατά ΟΜΟΕ-Χ.....	26
Σχήμα 2.14. Ορισμός Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση (Harwood, D. W., 1998).....	28
Σχήμα 2.15. Σχηματική αναπαράσταση ελιγμού προσπέρασης (Carlos Llorca, 2013)	30
Σχήμα 2.16. Απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (Carlos Llorca, 2013)	31
Σχήμα 2.17. Συσχέτιση αποτελεσμάτων προσομοιωτή και καταγραφών (ΜΟΠ) (Carlos Llorca και Haneen Farah, 2016)	34
Σχήμα 2.18. Συσχέτιση αποτελεσμάτων προσομοιωτή και καταγραφών όσον αφορά την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος (Carlos Llorca και Haneen Farah, 2016).....	34
Σχήμα 2.19. Διαδικασία προσπέρασης (Κ. Αποστολέρης και Λ. Παντελιά,2018)	36

Σχήμα 2.20. Απαιτούμενο ΜΟΠ σε συνάρτηση με την κατά μήκος κλίση, για $\gamma = 1,50\text{m/sec}^2$ (Κ. Αποστολέρης και Λ. Παντελιά, 2018)	37
Σχήμα 3.1. Σχηματική παράσταση της διαδικασίας προσπέρασης.	41
Σχήμα 3.2. Σχηματική παράσταση της διαδικασίας προσπέρασης για οδούς κλάσης EKL2.	46
Σχήμα 3.3. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 $fT_{\max} = 0.35$	52
Σχήμα 3.4. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και $fT_{\max} = 0.50$	53
Σχήμα 3.5. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και $fT_{\max} = 0.65$	54
Σχήμα 3.6. Σχηματική παράσταση της διαδικασίας προσπέρασης για οδούς κλάσης EKL3.	56
Σχήμα 3.7. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και $fT_{\max} = 0.35$	59
Σχήμα 3.8. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και $fT_{\max} = 0.50$	60
Σχήμα 3.9. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και $fT_{\max} = 0.65$	61
Σχήμα 3.10. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό συντελεστή τριβής, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και $s = 0\%$	63
Σχήμα 3.11. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό συντελεστή τριβής, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 3 και $s = 0\%$	64
Σχήμα 3.12. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οδούς κλάσης EKL 2 και EKL 2, υποδύναμη 100 hp και $s = 0\%$	65
Σχήμα 3.13. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οδούς κλάσης EKL 2 και EKL 2, για τις διάφορες τιμές υποδύναμης και συντελεστή τριβής, $s = 0\%$ και ταχύτητα $V_e = 20\text{ km/h}$	66
Σχήμα 3.14. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οδούς κλάσης EKL 2 και EKL 2, για τις διάφορες τιμές υποδύναμης $fT_{\max} = 0.50$, $s = 0\%$ και ταχύτητα $V_e = 20\text{ km/h}$	68
Σχήμα 4.1. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα υποδύναμης 80 hp και κλάση οδού EKL3	70
Σχήμα 4.2. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα υποδύναμης 100 hp και κλάση οδού EKL3	71
Σχήμα 4.3. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα υποδύναμης 120 hp και κλάση οδού EKL3	72

Σχήμα 4.4. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα υποδύναμης 80 hp και κλάση οδού ΕΚΛ2	73
Σχήμα 4.5. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα υποδύναμης 100 hp και κλάση οδού ΕΚΛ2	74
Σχήμα 4.6. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα υποδύναμης 120 hp και κλάση οδού ΕΚΛ2	75
Σχήμα Α.1. Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου.....	C
Σχήμα Α.2. Περιβάλλον του αλγορίθμου στο MS EXCEL	D
Σχήμα Α.3. Περιβάλλον του αλγορίθμου στο MS EXCEL, περίπτωση μη επαρκούς μήκους για προσπέραση.....	E
Σχήμα Α.4. Περιβάλλον του αλγορίθμου στο MS EXCEL, περίπτωση επαρκούς μήκους για προσπέραση.....	F
Σχήμα Α.5. Κώδικα μακροεντολών σε VBA, για τον υπολογισμό του απαιτούμενου ΜΟΠ.....	G

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικές τιμές εφαπτομενικής τριβής f_{Tg} σε διάφορες επιφάνειες. (AASHTO 2011).....	13
Πίνακας 2.2. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά RAL	21
Πίνακας 2.3. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά AASHTO (υπεραστικές αρτηρίες).....	22
Πίνακας 2.4. Ελάχιστο ΜΟΠ κατά AASHTO 2011.	23
Πίνακας 2.5. Απαιτούμενο ΜΟΠ για οδούς δύο λωρίδων (AASHTO, Green Book).....	25
Πίνακας 2.6. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά ΟΜΟΕ-Χ.....	26
Πίνακας 2.7. Απαιτούμενο ΜΟΠ κατά ΟΜΟΕ-Χ.....	27
Πίνακας 2.8. Κριτήρια απαιτούμενου ΜΟΠ στο γεωμετρικό σχεδιασμό διαφόρων χωρών (Harwood, D. W., 1998).....	29
Πίνακας 2.9. Απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (Dipl.-Ing. Anne Vettters και Dr.-Ing. Thomas Jaehrig, 2015)	33
Πίνακας 2.10. Απαιτούμενο ΜΟΠ για μηδενική κατά μήκος κλίση, για διάφορες τιμές επιταχύνσεων, ανάλογα με την ιπποδύναμη και το βάρος του οχήματος. (Κ. Αποστολέρης και Λ. Παντελιά, 2018)	38
Πίνακας 3.1. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL2 και συντελεστή τριβής $f_{Tmax} = 0.35$	48
Πίνακας 3.2. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL2 και συντελεστή τριβής $f_{Tmax} = 0.50$	49
Πίνακας 3.3. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL2 και συντελεστή τριβής $f_{Tmax} = 0.65$	50
Πίνακας 3.4. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL3 και συντελεστή τριβής $f_{Tmax} = 0.35$	56
Πίνακας 3.5. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL3 και συντελεστή τριβής $f_{Tmax} = 0.50$	57
Πίνακας 3.6. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL3 και συντελεστή τριβής $f_{Tmax} = 0.65$	58

Πίνακας 3.7. Ταχύτητα, ανά συντελεστή τριβής και ιπποδύναμη, η οποία αντιστοιχεί σε n=100 %	67
--	----

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Ο βασικός στόχος κάθε Συγκοινωνιολόγου μηχανικού, ειδικά σε έργα οδοποιίας, είναι η εξασφάλιση του απαραίτητου επιπέδου ασφαλείας για τους χρήστες της οδού. Σε όλους τους κανονισμούς ένα από τα βασικά στοιχεία κατά τη μελέτη μιας οδού, προκειμένου να υπάρχει ασφάλεια στην κυκλοφορία των οχημάτων αλλά η ικανοποιητική χρήση της από τους οδηγούς, είναι η εξασφάλιση επαρκούς μήκους ορατότητας.

Το μήκος ορατότητας ορίζεται από το τμήμα της οδού που εκτίθεται στο οπτικό πεδίο του οδηγού σε κάθε χρονική στιγμή. Όσο μικρότερο είναι το μήκος ορατότητας, τόσο λιγότερη οπτική πληροφορία είναι διαθέσιμη για αξιολόγηση, με αποτέλεσμα ένας οδηγός να χρειάζεται πιο συχνά να ανανεώνει τις προβλέψεις του. Η ασφάλεια της κυκλοφορίας και η ποιότητα της κυκλοφοριακής ροής απαιτούν την ύπαρξη ελαχίστων μηκών ορατότητας, προκειμένου να είναι δυνατή η έγκαιρη ακινητοποίηση ενός οχήματος (απαιτούμενο μήκος ορατότητας για στάση), η ασφαλής προσπέραση (απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση), καθώς και η ασφαλής εξέλιξη της απόφασης του οδηγού για αλλαγή πορείας (μήκος ορατότητας για απόφαση). Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία εξετάζεται το **Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (ΜΟΠ)**.

Σε κάθε τμήμα της οδού δύο λωρίδων κυκλοφορίας είναι απαραίτητη η ύπαρξη ελάχιστων μηκών ορατότητας για την ασφαλή προσπέραση. Τα κύρια στοιχεία που επηρεάζουν το μήκος ορατότητας είναι κυρίως αυτά της χάραξης της οδού. Πως επηρεάζει όμως η δυναμική του οχήματος τα γεωμετρικά μεγέθη μιας οδού; Οι περισσότεροι κανονισμοί χάραξης οδών, έχουν προσεγγίσει εμπειρικά την δυναμική του οχήματος απλοποιώντας το πρόβλημα σε μεγάλο βαθμό και ο προσδιορισμός κρίσιμων γεωμετρικών μεγεθών, όπως για παράδειγμα η ακτίνα οριζόντιας και κυρτής καμπύλης, γίνονται με βάση τη συμπεριφορά του οχήματος κατά την πέδηση. Συγκεκριμένα στην οδοποιία σήμερα υπάρχουν οι εξής παραδοχές:

- Το όχημα προσομοιώνεται με υλικό σημείο (σημειακή μάζα), με αποτέλεσμα παράμετροι όπως, τύπος οχήματος, μάζα, θέση κέντρου βάρους αγνοούνται.

- Η ταχύτητα του οχήματος θεωρείται σταθερή και δεν λαμβάνεται υπόψη η επιρροή της επιτάχυνσης, αλλά ούτε αξιολογείται η δυνατότητα του οχήματος να κινηθεί με την επιλεγείσα ταχύτητα.
- Η κίνηση του οχήματος εξετάζεται ανεξάρτητα στην εφαπτομενική και στην εγκάρσια προς την τροχιά διεύθυνση και δεν περιλαμβάνονται οι περιορισμοί εκείνοι με τους οποίους οι συνιστώσες της εξ' επαφής δύναμης αλληλοδεσμεύονται
- Η εγκάρσια τριβή κατά την κίνηση οχήματος σε καμπύλη τροχιά, θεωρείται ως ποσοστό της μέγιστης με βάσει εμπειρικές προσεγγίσεις και δεν προκύπτει από την πραγματική απαίτηση του οχήματος.
- Η αλληλεπίδραση των παραμέτρων στα επί μέρους επίπεδα διαστάσεων (2D) απεικόνισης, δεν λαμβάνεται υπόψη.

Η προσομοίωση του οχήματος με τετράτροχο είναι η πιο ρεαλιστική προσέγγιση δεδομένου ότι κατά την κίνηση ενός οχήματος σε καμπύλη, δεν διαφέρουν μόνο οι εξ' επαφής δυνάμεις στον κινητήριο και μη κινητήριο άξονα αλλά και οι εξ' επαφής δυνάμεις στους τροχούς του ίδιου άξονα λόγω της ύπαρξης μεταβολής στην κατανομή του φορτίου.

Την τελευταία δεκαετία η αντίληψη αυτή τείνει να αλλάξει, δεδομένου ότι εμφανίζεται μία ολιστική προσέγγιση στη διερεύνηση της ασφάλειας του συστήματος όχημα – οδός – χρήστης.

Η διαδικασία της προσπέρασης είναι στην πραγματικότητα αρκετά πολύπλοκη για να περιγράψει μέσα από τις σχέσεις της Φυσικής. Αυτό συμβαίνει γιατί τα τρία οχήματα εμπλέκονται στη διαδικασία, το όχημα που προσπερνά, το όχημα που προσπερνιέται και το αντίθετα κινούμενο όχημα, δεν κινούνται με σταθερή ταχύτητα, ούτε με σταθερή επιτάχυνση ώστε να είναι εφικτός ο προσδιορισμός του μήκους που διανύουν με τις απλές μαθηματικές σχέσεις.

Προκειμένου να απλοποιηθεί η διαδικασία, οι κανονισμοί υιοθετούν απλές μαθηματικές σχέσεις, είτε της ομαλής κίνησης, είτε της ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης και προσπαθούν μέσα από άκρως συντηρητικές παραδοχές να καθορίσουν το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος για ασφαλή προσπέραση το οποίο να είναι σίγουρα επαρκές για οποιεσδήποτε συνθήκες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι απαιτήσεις των κανονισμών να είναι ιδιαίτερα συντηρητικές ,

γεγονός που οδηγεί στην εφαρμογή απαγόρευσης προσπέρασης σε οδικά τμήματα όπου μεγάλο ποσοστό των οχημάτων έχει τη δυνατότητα να προσπεράσει.

Επομένως στην παρούσα εργασία, διερευνάται πόσο είναι το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση για διάφορες ταχύτητες, σεβόμενοι το όριο ταχύτητας, λαμβάνοντας υπόψη την επιρροή της κατά μήκος κλίσης, της τριβής των ελαστικών με το οδόστρωμα, της υποδύναμης αλλά και της μεταξύ διαφοράς των ταχυτήτων των οχημάτων που μετέχουν στην προσπέραση και τέλος η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Επισημαίνεται ότι επάρκεια ΜΟΠ απαιτείται σε ποσοστό 20% του μήκους μιας οδού.

1.2. ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση του μήκους που απαιτείται για τη διενέργεια ασφαλούς προσπέρασης σε οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, για διάφορες ταχύτητες, κατά μήκος κλίσεις, συντελεστές τριβής και διαφορετικούς τύπους οχημάτων. Απώτερος στόχος είναι να προσδιοριστεί το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση αλλά και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με τους ισχύοντες κανονισμούς. Οι αναλύσεις αποτυπώθηκαν σε διαγράμματα προκειμένου να είναι άμεσα αντιληπτά τα αποτελέσματα και η συσχέτιση τους με τις οριακές τιμές των κανονισμών. Τα αποτελέσματα της παρούσας ανάλυσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν από συστήματά πληροφόρησης οδηγών, στο πλαίσιο αλληλεπίδρασης αυτόνομων οχημάτων με το γεωμετρικό σχεδιασμό οδών, έτσι ώστε ο χρήστης της οδού να προειδοποιείται έγκαιρα για την ασφάλεια ή μη, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά, του ελιγμού προσπέρασης που σκοπεύει να επιχειρήσει. Επίσης η ανάλυση αυτή έχει ως στόχο να δημιουργήσει της συνθήκες για την ορθότερη επιλογή των οριακών τιμών, προκειμένου να εναρμονιστεί η θεωρία με την πράξη.

1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

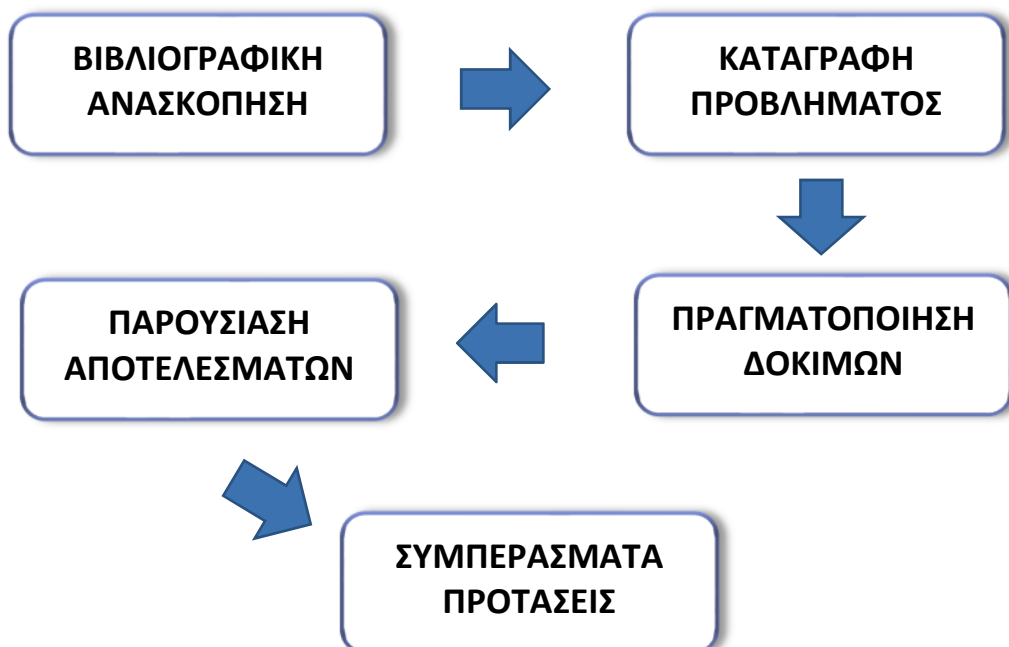
Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται συνολικά από πέντε κεφάλαια, συμπεριλαμβανομένου του παρόντος. Συγκεκριμένα:

Στο **2^ο κεφάλαιο** γίνεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση, με σκοπό να παρουσιαστεί το θεωρητικό υπόβαθρο, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη του προβλήματος της εργασίας.

Στο **3^ο κεφάλαιο** καταγράφεται το κύριο πρόβλημα της εργασίας και όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα για την επίλυση του. Επίσης αναλύονται οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για τις διάφορες περιπτώσεις του προβλήματος, μέσω αλγορίθμου στο πρόγραμμα MS EXCEL.

Στο **4^ο κεφάλαιο** συνοψίζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα διπλωματική εργασία και επισημαίνονται σημεία ενδιαφέροντος για περαιτέρω έρευνα.

Στο **5^ο κεφάλαιο** αναφέρονται όλες οι βιβλιογραφικές πηγές που αξιοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



Σχήμα 1.1. Στάδια Διπλωματικής Εργασίας

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. ΓΕΝΙΚΑ

Στο παρών κεφάλαιο γίνεται ανασκόπηση του συνόλου της βιβλιογραφίας που αξιοποιήθηκε για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Παρατίθενται εισαγωγικές έννοιες και μοντέλα προσέγγισης της δυναμικής του οχήματος, ενώ γίνεται αναφορά στις οδηγίες έργων Οδοποιίας των ΗΠΑ, Γερμανίας και Ελλάδας, δίνοντας έμφαση σε όσα ορίζουν για το μήκος ορατότητας για προσπέραση. Επίσης γίνεται αναφορά σε διάφορες έρευνες σχετικές με το αντικείμενο της εργασίας, και των αποτελεσμάτων τους.

2.2. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΞΟΝΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα παράγραφο παρατίθενται βασικές έννοιες και εξισώσεις, οι οποίες συσχετίζουν τις δυναμικές παραμέτρους του οχήματος, με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού.

2.2.1. ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Στην οδοποιία το όχημα προσομοιώνεται με υλικό σημείο και έχει βαθμό ελευθερίας. Στην εγκάρσια διεύθυνση ασκείται η φυγόκεντρος δύναμη που εξισορροπείται από τη συνιστώσα του βάρους λόγω επίκλισης και την εγκάρσια τριβή. Έτσι η δύναμη εγκάρσιας πρόσφυσης έχει μέτρο:

$$S = \frac{v^2}{R} - ge \quad (2.1)$$

Η εγκυρότητα που προκύπτει από το παραπάνω μοντέλο προβληματίσε στο παρελθόν αρκετούς μελετητές.

Οι Macadam et. Al (1985) πρώτοι προσομοίωσαν το εξεταζόμενο όχημα σε δίτροχο το οποίο είχε μήκος και όχι πλάτος. Και πάλι ο βαθμός ελευθερίας ήταν μονάδα και παρότι οι δυνάμεις εγκάρσιας στατικής τριβής δεν ήταν ίσες μεταξύ τους, οι συντελεστές τους στον εμπρόσθιο και οπίσθιο τροχό θεωρήθηκαν ισοδύναμοι με αυτόν του υλικού σημείου.

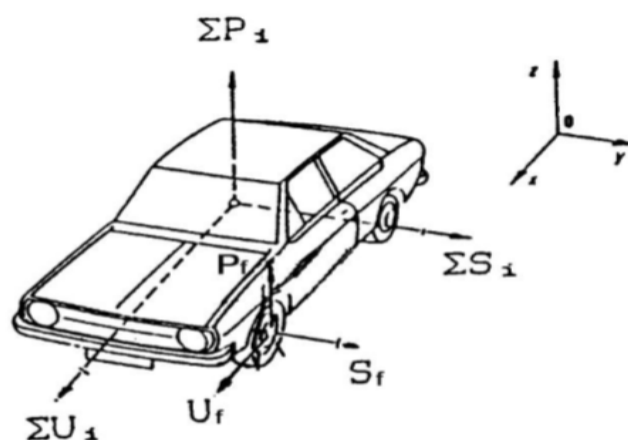
Ο Κονταράτος (1990), λαμβάνοντας υπόψη του τις προαναφερθείσες απλοποιήσεις ανέπτυξε το μοντέλο του εμπλουτισμένου δίτροχου όπου μελέτησε το όχημα σε όλες τις διευθύνσεις,

συμπεριέλαβε τις εξωτερικές δυνάμεις που δρουν σε αυτό, συμπεριέλαβε στο μοντέλο του δίτροχου το γεγονός ότι το κέντρο βάρους του βρίσκεται σε ύψος h από την επιφάνεια κύλισης και έκανε διάκριση μεταξύ κινητήριου – μη κινητήριου τροχού, με αποτέλεσμα να προκύψουν διαφορετικοί συντελεστές εγκάρσιας στατικής τριβής και διαφορετικές επιτρόχιες δυνάμεις. Μελέτησε στη συνέχεια την κίνηση του οχήματος και την επίδραση της προωθητικής δύναμης, σε αντίθεση με την κλασική οδοποιία, και συνδυάζοντας τα στοιχεία της μηκοτομής με αυτά της οριζοντιογραφίας κατέληξε στον υπολογισμό ελάχιστων γεωμετρικών μεγεθών. Έδειξε έτσι ότι οι κανονισμοί χάραξης οδικών δικτύων άλλοτε υποσχεδιάζουν και άλλοτε υπερσχεδιάζουν.

2.2.2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Σε αυτό το σημείο παρατίθενται σχέσεις που έχουν αναπτυχθεί οι οποίες αλληλοδεσμεύουν την επιλογή στοιχείων χάραξης σε μία θεωρητική τρισδιάστατη επιφάνεια. Το όχημα θεωρείται στερεό σώμα, άκαμπτο, χωρίς κατακόρυφες παραμορφώσεις, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εξέταση της κίνησης του ως σύνολο κάτω από την επίδραση των εξωτερικών δυνάμεων που δρουν σε αυτό. Το δυναμικό μοντέλο κίνησης εξετάζεται σε τροχιά σταθερής οριζόντιας ακτίνας, κλίσης και επίκλισης, στην οποία διερευνάται η συμβατότητα των στοιχείων χάραξης.

Ως σύστημα αναφοράς επιλέχθηκε το κινούμενο όχημα, το οποίο εξαναγκάζεται να κινηθεί πάνω στον άξονα του οδοστρώματος.



Σχήμα 2.1. Σύστημα Αξόνων (Κανταράτος, 1990)

Πάνω σε αυτό το σύστημα αναφοράς, αναλύονται όλες οι εξωτερικές δυνάμεις, αφού υποστούν τις απαραίτητες στροφές. Αυτές περιλαμβάνουν την κατά μήκος κλίση s , την επίκλιση e και τη γωνία πλαγιοδρόμησης του οχήματος β .

2.2.3. ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗ ΔΙΑΞΟΝΙΚΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ (ΕΠΙΒΑΤΗΓΟ)

Στο σχήμα 2.2 φαίνονται οι εξωτερικές δυνάμεις που δρουν σε διαξονικό όχημα κατά την επιτάχυνση. Λαμβάνοντας υπόψη τις εξωτερικές δυνάμεις που δρουν στο συγκεκριμένο τύπο οχήματος και τις εξ' επαφής δυνάμεις οδοστρώματος – ελαστικού και στις τρεις διευθύνσεις, προκύπτουν οι σχέσεις:

$$m \frac{dv}{dt} = \sum U_i - \sum S_i \theta_i + \frac{mv^2}{R} \beta - mgs - A_d \quad (2.2)$$

$$m \frac{dv}{dt} = \sum S_i - \sum U_i \theta_i - \frac{mv^2}{R} - mge \quad (2.3)$$

$$\sum P_i = mg + \frac{mv^2}{R} e - A_N \quad (2.4)$$

Όπου:

m : μάζα του οχήματος (kg)

U_i : επιτρίχια πρόσφυση (i άξονας) (N)

S_i : εγκάρσια δύναμη (N)

P_i : δύναμη που αναλαμβάνει ο τροχός (i άξονας) (N)

θ_i : γωνία απόκλισης της διεύθυνσης των τροχών ως προς το διαμήκη άξονα (rad)

V : ταχύτητα οχήματος (m/sec)

R : ακτίνα οριζόντιου κυκλικού τόξου (m)

β : γωνία πλαγιοδρόμησης οχήματος (rad)

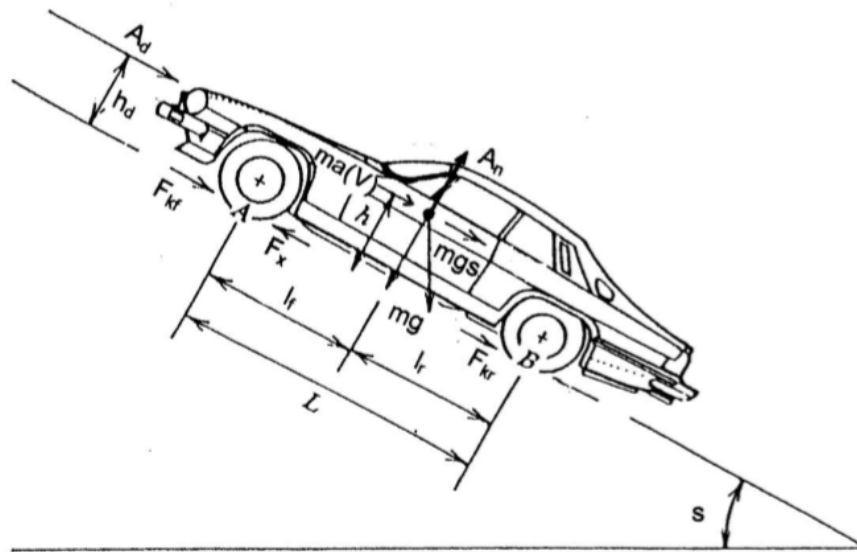
g : επιτάχυνση βαρύτητας (9,81 m/s²)

s : κατά μήκος κλίση οδοστρώματος (%/100)

A_d : αεροδυναμική αντίσταση (N)

e : επίκλιση οδοστρώματος (%/100)

A_N : δυναμική άνωση (N)



Σχήμα 2.2. Δυνάμεις που ασκούνται σε διαξονικό όχημα κατά την επιτάχυνση (Μαυρομάτης Σ., 2002)

2.2.4. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΙΠΠΟΔΥΝΑΜΗΣ ΟΧΗΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Για την εισαγωγή της ιπποδύναμης του οχήματος στις εξισώσεις κίνησης απαιτήθηκε ένας συντελεστής εκμετάλλευσης (n), δεδομένου ότι στις επιθυμητές συνθήκες κίνησης (οριακή ολίσθηση), δεν είναι εφικτή σε όλες τις περιπτώσεις η εκμετάλλευσής του συνόλου (100%) της ονομαστικής ιπποδύναμης.

Η επιτάχυνση του οχήματος εκφράστηκε με μεταβλητές που προκύπτουν από τη γεωμετρία της οδού, την πρόσφυση των ελαστικών και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οχήματος.

Σύμφωνα με τους νόμους της μηχανικής ισχύει:

$$F_x = 745,60 \frac{P}{V} n \quad (2.5)$$

Όπου:

F_x : Δύναμη προωθητικής ροπής στον κινητήριο άξονα (N)

P : Διαθέσιμη ιπποδύναμη στον κινητήριο άξονα (hp)

n : συντελεστής εκμετάλλευσης της ιπποδύναμης (%/100)

V : Ταχύτητα οχήματος (m/sec)

Συσχετίζοντας τις σχέσεις (2.2) και (2.5), και μετά από απλοποιήσεις προέκυψε η παρακάτω έκφραση της επιτάχυνσης, σχέση (2.6), η οποία εμπεριέχει χαρακτηριστικά της γεωμετρίας του οδικού δικτύου, του οχήματος, αλλά και της αλληλεπίδρασης τροχού – οδοστρώματος.

$$m \frac{dv}{dt} = 745,60 \frac{P}{V} n - Fk - mgs \sin s - A_d \quad (2.6)$$

Όπου:

m: μάζα του οχήματος (kg)

P: υποδύναμη οχήματος (hp)

V: ταχύτητα οχήματος (m/sec)

g: επιτάχυνση βαρύτητας (9,81 m/s²)

s: κατά μήκος κλίση οδοστρώματος (%/100)

A_d: αεροδυναμική αντίσταση (N)

F_k: Δύναμη αντίστασης κύλισης (N)

2.2.5. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΟΔΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Ορισμός επιτάχυνσης

$$a(v) = \frac{dv}{dt} \quad (2.7)$$

όπου:

a(v): επιτάχυνση (m/s²)

v: ταχύτητα (m/s)

t: χρόνος (sec)

Σύμφωνα με τις βασικές εξισώσεις της κινηματικής ισχύει:

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (2.8)$$

όπου:

s: διάστημα (m)

t: χρόνος (sec)

Συσχετίζοντας τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει μία διαφορική έκφραση της μεταβολής της ταχύτητας συναρτήσει του διαστήματος της μορφής:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{a(v)}{v} \quad (2.9)$$

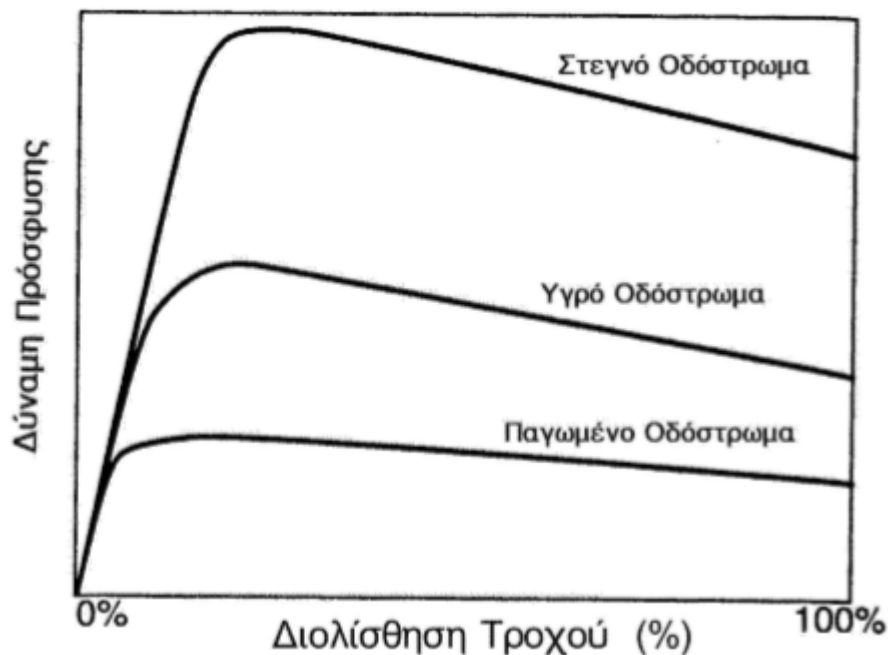
Η λύση της εξίσωσης (2.9), έγινε με χρήση αριθμητικής ανάλυσης (μέθοδος Runge – Kutta τετραπλής ακριβείας), και χρησιμοποιείται στο λογισμικό του προγράμματος Excel, που ήταν το βασικό εργαλείο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

2.2.6. ΤΡΙΒΗ

Προκειμένου να είναι ασφαλής η επιτάχυνση ή επιβράδυνση ενός οχήματος, μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος, απαιτείται η ανάπτυξη τριβής η οποία αναλαμβάνει τη συγκράτηση του οχήματος επί της οδού σε οποιοδήποτε σημείο της κίνησης του. Δηλαδή η απαίτηση σε τριβή πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο τροχός να μην ολισθαίνει σε κανένα σημείο της τροχιάς του.

Από το πηλίκο της δύναμης τριβής προς την κάθετη δύναμη που ασκείται στο ελαστικό, προκύπτει ο συντελεστής τριβής. Κατ' αντιστοιχία με τη δύναμη τριβής, ο συντελεστής τριβής αναλύεται σε εφαπτομενικό (f_T) και τον εγκάρσιο (f_R).

Στο Σχήμα 2.3 φαίνεται κατά την πέδηση τροχού, σε στεγνό, υγρό και παγωμένο οδόστρωμα, η σχέση του εφαπτομενικού συντελεστή τριβής ως προς τη διολίσθηση του. Ως διολίσθηση κατά την επιβράδυνση του τροχού, ορίζεται το ποσοστό ακινητοποίησης του (0% διολίσθηση αντιστοιχεί σε ελεύθερη κύλιση του τροχού, ενώ 100% διολίσθηση σημαίνει ότι ο τροχός ολισθαίνει χωρίς να περιστρέφεται).



Σχήμα 2.3. Στατική τριβή κατά την τροχοπέδηση για διαφόρους τύπους οδοστρωμάτων. (Gillespie T.D. 1992)

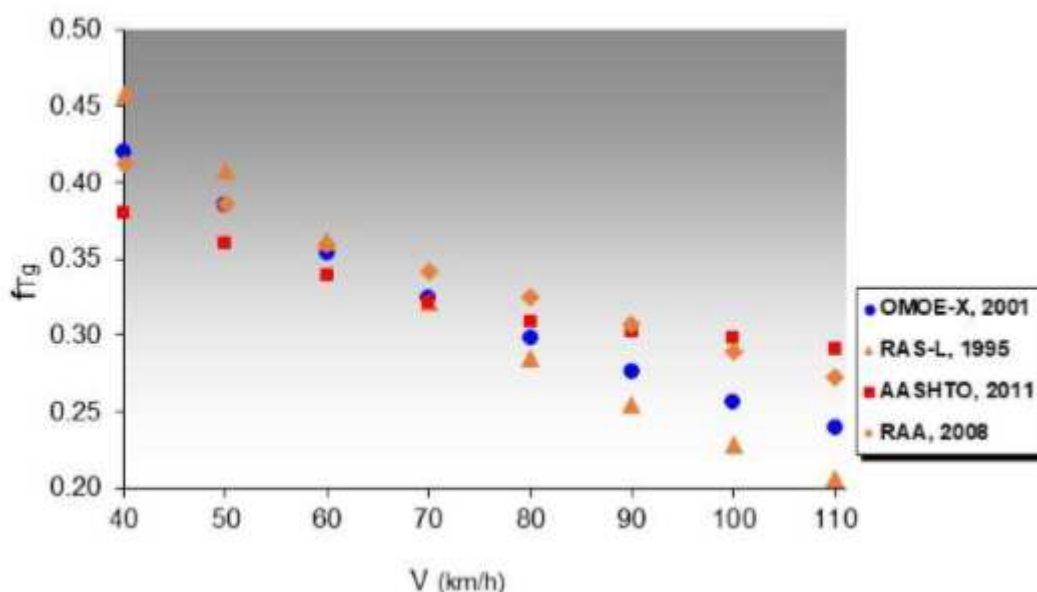
Οι συντελεστές εφαπτομενικής και εγκάρσιας τριβής δεν είναι σταθεροί. Μειώνονται όσο αυξάνεται το κάθετο φορτίο και εξαρτώνται από διάφορους παραμέτρους μεταξύ των οποίων είναι το είδος επιφάνειας επαφής, η θερμοκρασία καθώς και η ταχύτητα του ελαστικού. Στην οδοποιία, για τον καθορισμό των κρίσιμων γεωμετρικών παραμέτρων σχεδιασμού εξετάζεται η κίνηση φθαρμένου κανονικού ελαστικού σε υγρό οδόστρωμα.

Η μέγιστη τιμή του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής (f_{Tmax}), προφανώς αντιστοιχεί στη μέγιστη δύναμη τριβής, δηλαδή στη μέγιστη δύναμη πέδησης στον τροχό. Αυτή ακριβώς την τιμή δύναμης πέδησης προσπαθούν να προσεγγίσουν και οι κατασκευαστές οχημάτων στο σύστημα πέδησης χωρίς ακινητοποίηση των τροχών του οχήματος [Anti-block Braking System, (ABS)].

Σχετικές έρευνες έχουν δείξει πως η τιμή της διολίσθησης του τροχού, που αντιστοιχεί στην μέγιστη τιμή f_{Tmax} του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής κατά την επιβράδυνση επιβατηγών οχημάτων, κυμαίνεται από 10%-45%. Η αντίστοιχη τιμή για φορτηγά οχήματα είναι της τάξης του 10%-15%. Στην περίπτωση κίνησης του οχήματος υπό την επίδραση προωθητικής ροπής, η τιμή του μέγιστου εφαπτομενικού συντελεστή τριβής αντιστοιχεί σε τιμές διολίσθησης του τροχού της τάξης του 6%-10%.

Η τιμή του συντελεστή τριβής που αντιστοιχεί σε πέδηση με πλήρη (100%) ολίσθηση του τροχού (f_{Tg}), για επιβατηγά οχήματα είναι συνάρτηση της ταχύτητας και προκύπτει με σχετικές μετρήσεις φθαρμένου ελαστικού σε υγρό οδόστρωμα, για συγκεκριμένες τιμές ταχυτήτων. Στις Ελληνικές οδηγίες γεωμετρικού σχεδιασμού οδών (ΟΜΟΕ-Χ, 2001), ο προσδιορισμός της μεταβολής του συντελεστή f_{Tg} , με την ταχύτητα βασίστηκε κυρίως σε υφιστάμενες τιμές από άλλες αντίστοιχες οδηγίες και κυρίως στην παλαιότερη έκδοση των Γερμανικών οδηγιών (RAS-L, 1995) η οποία έδινε περισσότερο συντηρητικές τιμές για ταχύτητες άνω των 70 km/h, καθώς και στις αντίστοιχες Αμερικάνικες (AASHTO, 2011).

Στο Σχήμα 2.4. δίνεται η συσχέτιση στη μεταβολή του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής που αντιστοιχεί σε πέδηση με πλήρη (100%) ολίσθηση του τροχού, μεταξύ των οδηγιών ΟΜΟΕ-Χ, 2001, RAS-L 1995, AASHTO 2011 και RAA 2008.



Σχήμα 2.4. Μεταβολή του εφαπτομενικού συντελεστή τριβής f_{Tg} , με την ταχύτητα σε διάφορες οδηγίες γεωμετρικού σχεδιασμού οδών. (Μαυρομάτης, 2018)

Ενώ η μεταβολή της εφαπτομενικής τριβής που αντιστοιχεί σε 100% διολίσθηση του τροχού σε υγρό οδόστρωμα είναι συνάρτηση της ταχύτητας, σε στεγνά αλλά και οδοστρώματα με χιόνι ή πάγο ο αντίστοιχος συντελεστής f_{Tg} , εμφανίζεται γενικά ανεξάρτητος της ταχύτητας.

Στο Πίνακα 2.1 Φαίνεται το εύρος τυπικών τιμών του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής f_{Tg} , για διάφορες επιφάνειες κύλισης. Είναι προφανές ότι σε υγρές επιφάνειες οι μέγιστες τιμές του f_{Tg} , αντιστοιχούν σε μικρές τιμές ταχυτήτων.

Πίνακας 2.1. Χαρακτηριστικές τιμές εφαπτομενικής τριβής f_{Tg} σε διάφορες επιφάνειες. (AASHTO 2011)

Επιφάνεια Οδού	Συντελεστής Τριβής f_{Tg}
Ασφαλτος στεγνή	0.75 – 1.00
Ασφαλτος υγρή	0.40 – 0.75
Σκυρόδεμα στεγνό	0.75 – 1.00
Σκυρόδεμα υγρό	0.40 – 0.60
Άμμος ή χαλίκι στεγνό	0.55
Άμμος ή χαλίκι υγρό	0.40
Χιόνι	0.10 – 0.20
Πάγος	0.05 – 0.20

Κατά την κίνηση οχήματος σε καμπύλη, σε κάθε τροχό η εφαπτομενική και εγκάρσια συνιστώσα τριβής είναι δυνατόν να διατεθούν ταυτόχρονα και στις δύο διευθύνσεις. Οι δύο αυτοί συντελεστές όμως αλληλοδεσμεύονται μεταξύ τους καθώς το μέτρο του απαιτούμενου διαμήκους εξαρτάται από το ποσοστό χρησιμοποίησης του εγκάρσιου και αντίστροφα, ώστε να ικανοποιείται η Σχέση (2.10)

$$\left(\frac{f_T}{f_{Tmax}}\right)^2 + \left(\frac{f_R}{f_{Rmax}}\right)^2 \leq 1 \quad (2.10)$$

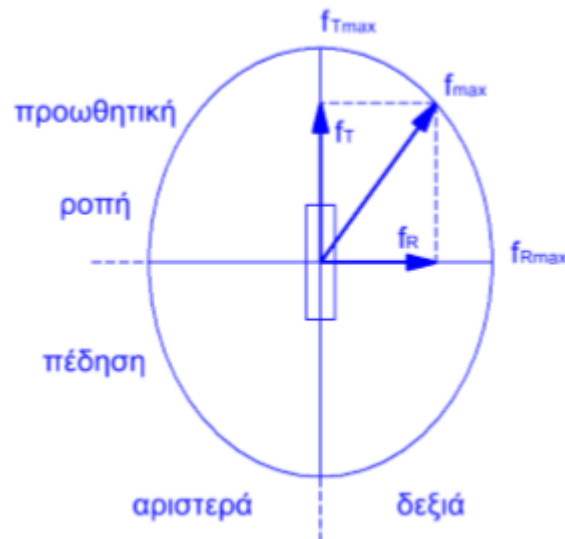
Όπου:

f_T : απαιτούμενος εφαπτομενικός συντελεστής τριβής

f_R : απαιτούμενος εγκάρσιος συντελεστής τριβής

Με βάση τη Σχέση (2.10) η διανυσματική απεικόνιση στον τροχό της απαίτησης σε εφαπτομενική και εγκάρσια τριβή, τόσο σε αριστερόστροφη – δεξιόστροφη καμπύλη, όσο και μεταξύ προωθητικής ροπής – πέδησης, φαίνεται στο Σχήμα 2.5. Από το Σχήμα 2.5. φαίνεται ότι προκειμένου ένας τροχός, είτε κατά την πέδηση είτε κατά την κίνηση του υπό προωθητική ροπή να μην ολισθήσει, δεν αρκεί μόνο η αναπτυσσόμενη τριβή ανάγκη

εξεταζόμενη διεύθυνση να είναι μικρότερη της μέγιστης, αλλά ταυτόχρονα απαιτείται το διανυσματικό άθροισμα της απαίτησης σε εφαπτομενική και εγκάρσια τριβή να βρίσκεται εντός της έλλειψης.



Σχήμα 2.5. Έλλειψη εφαπτομενικού – εγκάρσιου συντελεστή τριβής. (Μαυρομάτης, 2018)

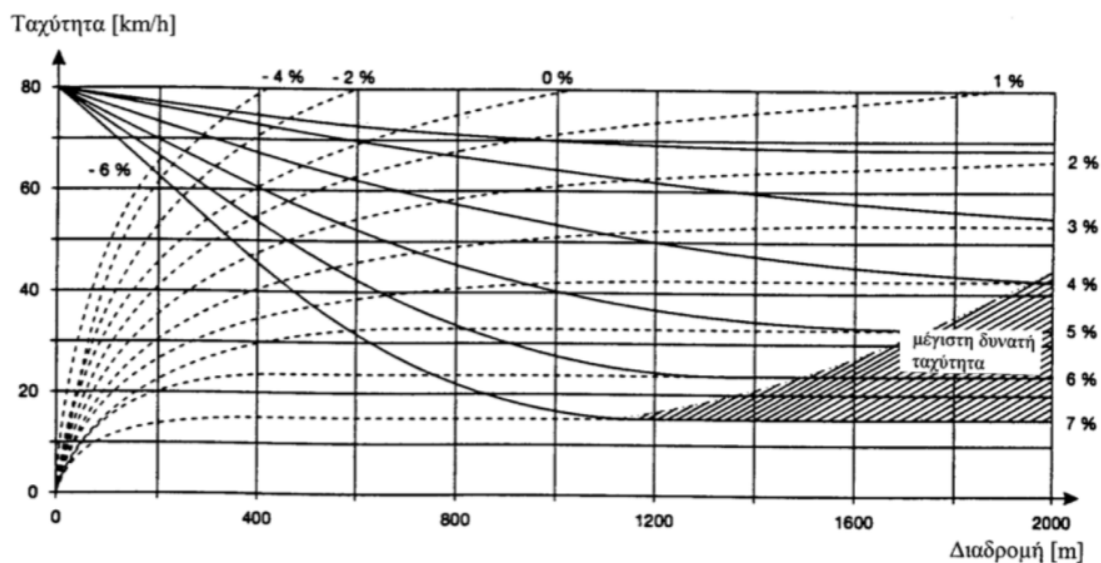
Στην παρούσα διπλωματική, εξετάσθηκαν τρεις τιμές μέγιστου συντελεστή τριβής, 0,35, 0,50, 0,65 σε όλες τις εξεταζόμενες ταχύτητες σχεδιασμού, με σκοπό να εξετασθούν οδοστρώματα σε υγρή και ολισθηρή (0,35) και στεγνή (0,65) κατάσταση.

2.2.7. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Σχετικές έρευνες έχουν δείξει ότι η ταχύτητα των επιβατηγών οχημάτων γενικά δεν επηρεάζεται από την κλίση (σε κλίσεις έως 5% είναι αμελητέα). Αντίθετα, στα φορτηγά στην περίπτωση αυξημένων κατά μήκος κλίσεων, η επιρροή της μηκοτομής είναι πολύ εμφανής στην κίνηση τους.

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, το γεγονός αυτό οφείλεται σε μία σειρά παραγόντων όπως στην ίδια κλίση της οδού ως συνάρτηση του μήκους του, στο λόγο του μικτού βάρους του φορτηγού προς τη διαθέσιμη ιπποδύναμη του οχήματος, στην ταχύτητα εισόδου του οχήματος στην περιοχή με αυξημένη κλίση, στη μετωπική αντίσταση του αέρα καθώς και στην ικανότητα του οδηγού. Οι δύο τελευταίοι παράγοντες ελάχιστα επηρεάζουν την τελική ταχύτητα ανάβασης.

Στο Σχήμα 2.6 φαίνεται η υφιστάμενη προσέγγιση κατά ΟΜΟΕ στη μεταβολή της ταχύτητας σε φορτηγό (με λόγο μικτού βάρους προς ιπποδύναμη 120 kgr/KW), η οποία ουσιαστικά δεν διαφέρει από τη διεθνή βιβλιογραφία. Γενικά σε όλες τις περιπτώσεις φαίνεται ότι πέρα από ένα ορισμένο μήκος οδού η ταχύτητα του οχήματος λαμβάνει μία σταθερή τιμή (climbing speed). Το όχημα έχει αρχική ταχύτητα σε ανωφέρεις και κατωφέρεις 80 km/h και 0 km/h αντίστοιχα.



Σχήμα 2.6. Διάγραμμα μεταβολής της ταχύτητας σε φορτηγό με λόγο $W/HP = 120 \text{ kgr/KW}$ (ΟΜΟΕ, Τεύχος 5,2001)

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, η κατά μήκος κλίση μια οδού δύναται να επιβάλλει περιορισμούς στην επίτευξη της μέγιστης δυνατής ταχύτητας ενός οχήματος (κυρίως φορτηγού). Πέρα όμως από το γεγονός ότι εξετάζεται η συμπεριφορά ενός μόνο τύπου οχήματος, υπάρχουν μειονεκτήματα στην υφιστάμενη προσέγγιση καθώς δεν λαμβάνονται υπόψη στη μεταβολή της ταχύτητας η επιρροή:

- Χαράξεων με μεταβαλλόμενες κλίσεις (κυρτά – κοίλα τόξα)
- Της συνδυασμένης εφαρμογής κλίσης και οριζόντιας καμπυλότητας
- Της πραγματικής απαίτησης σε τριβή μεταξύ οχήματος – οδού.

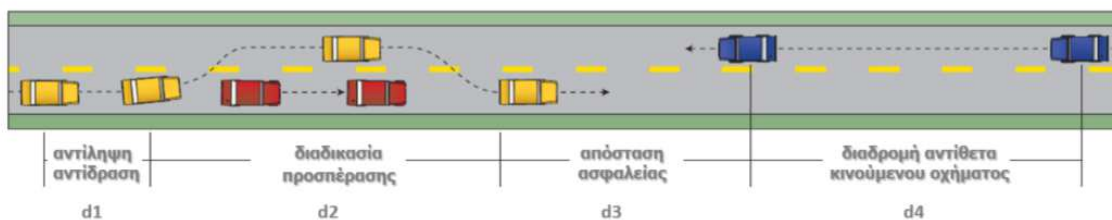
2.3. ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ

Το **Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση** (ΜΟΠ ή PSD), ορίζεται ως το μήκος προσπέρασης, που απαιτείται για την ασφαλή διαδικασία προσπέρασης εμποδίου ή βραδυπορούντους οχήματος. Αφορά σε οδούς διπλής κατεύθυνσης – δύο λωρίδων κυκλοφορίας.

Στο Σχήμα 2.7 φαίνεται η διαδικασία προσπέρασης, όπου τα επιμέρους μήκη από τα οποία συνίσταται είναι:

- Μήκος που διανύει το όχημα κατά τη διαδικασία προσπέρασης.
- Μήκος που διανύει στο ίδιο χρονικό διάστημα το αντίθετα κινούμενο όχημα.
- Απόσταση ασφαλείας μεταξύ των δύο αντίθετα κινούμενων οχημάτων στο τέλος της διαδικασίας προσπέρασης.

Με βάση το Σχήμα 2.7, το απαιτούμενο μήκος προσπέρασης προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους μηκών $d1 + d2 + d3 + d4$, ενώ οι χρόνοι των ελιγμών $d1+d2$, $d4$ είναι ισοδύναμοι.



Σχήμα 2.7. Διαδικασία προσπέρασης, (Μαυρομάτης, 2018).

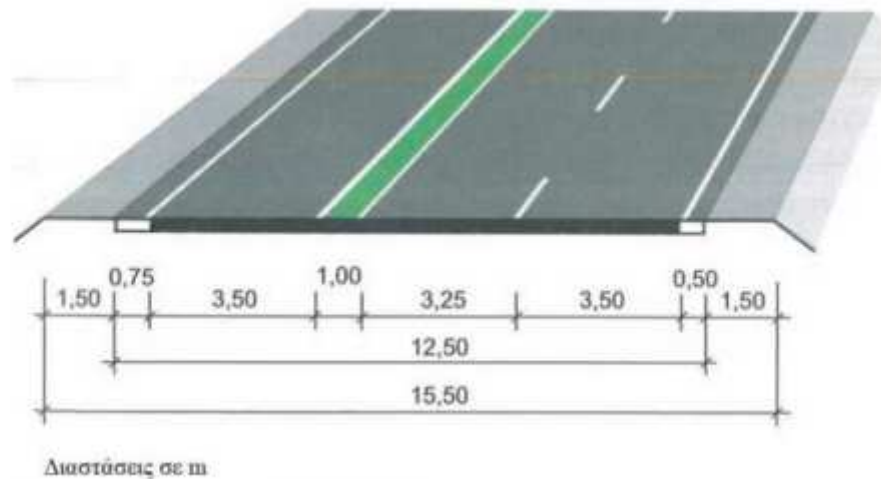
2.4. ΟΔΗΓΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ

2.4.1. 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 τέσσερις κλάσεις μελέτης (EKL1, EKL2, EKL3, EKL4) με αντίστοιχες ταχύτητες σχεδιασμού της οδού.

Οδοί των κλάσεων μελέτης EKL1, 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 2.8) είναι μία διατομή ενιαίου οδοστρώματος, που λόγω των λωρίδων προσπέρασης, οι οποίες μπορεί να αναπτυχθούν και στις δύο κατευθύνσεις εναλλάξ, διαθέτει τρεις λωρίδες συνολικά. Έτσι στο τμήμα αυτό, παρέχεται δυνατότητα προσπέρασης της τάξης του 40%. Οι δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας χωρίζονται μέσω κεντρικής νησίδας (μη δομική) ή με διπλή διαχωριστική λωρίδα.



Σχήμα 2.8. Τυπική διατομή RQ 15,5

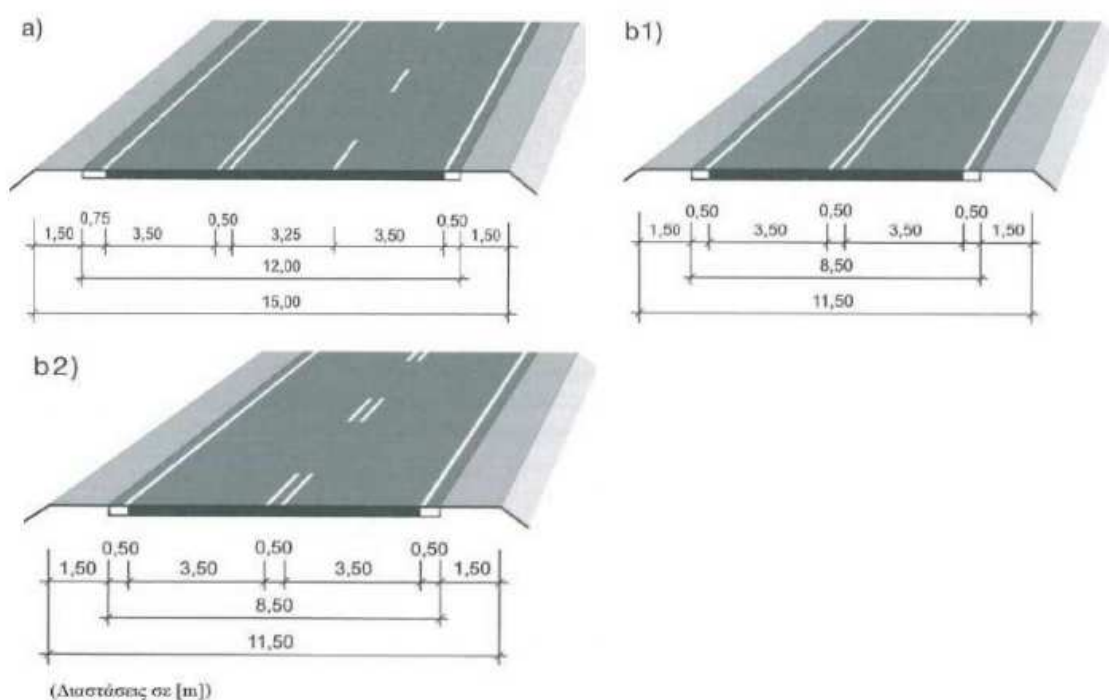
Οδοί κλάσης μελέτης EKL2 είναι οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας με διατομή RQ 11,5+, στις οποίες κατασκευάζονται κατά τμήματα λωρίδες προσπέρασης και για τις δύο κατευθύνσεις. Αυτό γίνεται με σκοπό η διαδικασία της προσπέρασης να πραγματοποιείται σε ελεγχόμενα τμήματα και να αποφεύγεται η χρήση της αντίθετης λωρίδας κατά τη διαδικασία της προσπέρασης. Και οι δύο κατευθύνσεις κυκλοφορίας στα τμήματα των τριών λωρίδων πάντα χωρίζονται μεταξύ τους μέσω διπλής διαχωριστικής γραμμής. Η εφαρμογή διπλής συνεχόμενης διαχωριστικής γραμμής ισχύει και για τμήματα δύο λωρίδων, όπου λόγω μεγάλης επικινδυνότητας, θα πρέπει να απαγορεύεται η προσπέραση. Στα υπόλοιπα τμήματα οι δύο 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 2.9), είναι μία διατομή ενιαίου οδοστρώματος με μία λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση, η οποία κατά τμήματα προσαυξάνεται σε τρεις

λωρίδες συνολικά, λόγω της επιπρόσθετης λωρίδας προσπέρασης. Η διαδικασία προσπέρασης θα πρέπει να πραγματοποιείται σε κατάλληλα διαμορφωμένα τμήματα, ώστε να αποφεύγεται η χρήση της λωρίδας των αντίθετα κινούμενων οχημάτων.

Οι αντίθετες κατευθύνσεις θα πρέπει να διαχωρίζονται με συνεχόμενη διαγράμμιση στα τμήματα τριών λωρίδων. Αυτή η πρακτική εφαρμόζεται και σε τμήματα όπου επιβάλλεται απαγόρευση της προσπέρασης. Στα υπόλοιπα τμήματα οι αντίθετες κατευθύνσεις διαχωρίζονται με διπλή διακεκομμένη γραμμή.

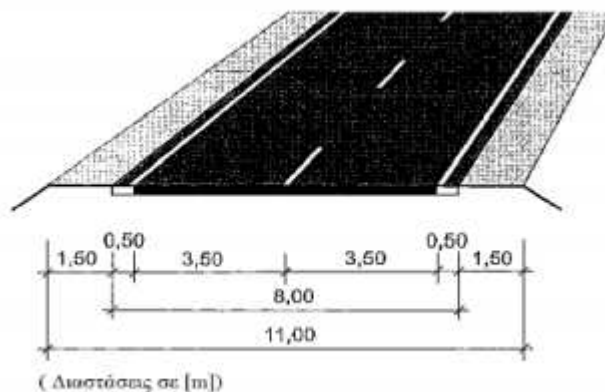
Μέσω της υλοποίησης επαρκούς συχνότητας τμημάτων για προσπέραση, πρέπει να παρέχεται τουλάχιστον 20% δυνατότητα για ασφαλή προσπέραση. Εάν δεν είναι εφικτή η κατασκευή επαρκών τμημάτων προσπέρασης, θα πρέπει είτε να εξετάζεται, εάν σε τμήματα δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση είναι εφικτή η διαδικασία προσπέρασης, με ικανοποιητικό Μήκος Ορατότητας μέσω χρήσης της αντίθετης λωρίδας είτε να απαγορεύεται η προσπέραση σε τμήματα με μη επαρκές Μήκος Ορατότητας.



Σχήμα 2.9. Τυπική διατομή RQ 11,5+ α) με επιπρόσθετη λωρίδα προσπέρασης, b1) με διπλή συνεχή διαχωριστική γραμμή, b2) με διπλή διακεκομμένη διαχωριστική γραμμή

Οδοί κλάσης μελέτης EKL3 είναι οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας με διατομή RQ 11. Οι λωρίδες κυκλοφορίας διαχωρίζονται μέσω οριζόντιας διαχωριστικής σήμανσης κατευθύνσεων, όπου επιτρέπεται η προσπέραση, εάν το επιτρέπουν τα γεωμετρικά και κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά κάθε φορά. Οι λωρίδες κυκλοφορίας διαχωρίζονται μέσω μίας συνεχόμενης διαχωριστικής λωρίδας στη μέση, όπου δεν επιτρέπεται η προσπέραση, λόγω μη επαρκούς μήκους ορατότητας. Σε περιπτώσεις μεγάλου κυκλοφοριακού φόρτου, δύναται να προταθεί πρόσθετη λωρίδα προσπέρασης. Λόγω της χρήσης τους σε οδικά δίκτυα που διανύονται μεσαίες αποστάσεις, συνίσταται ταχύτητα μελέτης 90 km/h. Με βάση αυτή την ταχύτητα μπορούν να σχεδιαστούν άνετες καμπύλες στην οριζοντιογραφία.

Η τυπική διατομή RQ 11 (Σχήμα 2.10) είναι μία διατομή ενιαίου οδοστρώματος με δύο λωρίδες κυκλοφορίας. Στα τμήματα όπου επιτρέπεται η προσπέραση, οι δύο κατευθύνσεις διαχωρίζονται μεταξύ τους μέσω της οριζόντιας διαχωριστικής σήμανσης κατευθύνσεων. Στα τμήματα όπου απαγορεύεται η προσπέραση με χρήση της λωρίδας της αντίθετης κατεύθυνσης, οι αντίθετες κατευθύνσεις διαχωρίζονται με τη βοήθεια της κατάλληλης διαγράμμισης.



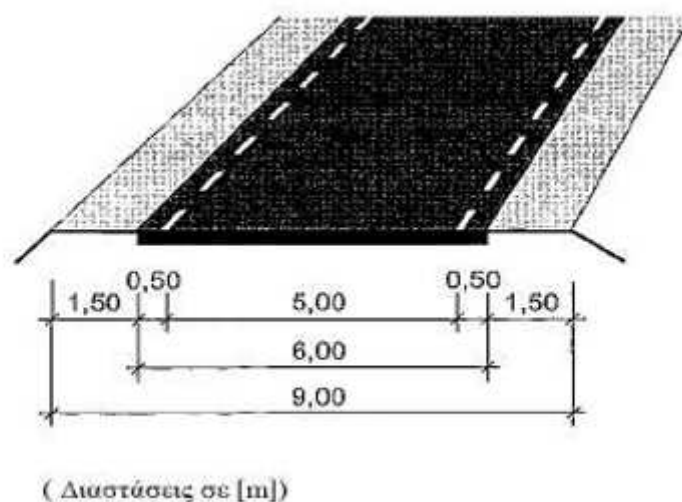
Σχήμα 2.10. Τυπική διατομή RQ 11.

Οδοί κλάσης μελέτης EKL4 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 μιας κεντρικής διαγράμμισης, σχεδιάζονται δύο λωρίδες καθοδήγησης στην άκρη της οδού. Η πλευρική

διαγράμμιση και η έλλειψη κεντρικής διαγράμμισης, προειδοποιούν τον οδηγό, πως θα έπρεπε να οδηγεί με μεγάλη προσοχή, σε περίπτωση συνάντησης με άλλο όχημα. Είναι προφανές, ότι σε αυτή την περίπτωση είναι απαραίτητη η μείωση της ταχύτητας, η οποία είναι σε συμφωνία με τον γενικότερο χαρακτήρα τήρησης χαμηλών τιμών ταχυτήτων στις οδούς αυτές.

Αυτή η κατηγορία οδών χρησιμοποιείται σε δίκτυα όπου διανύονται μικρές αποστάσεις, οπότε συνίσταται ταχύτητα μελέτης 70 km/h. Στις οδούς κλάσεις EKL4, λόγω της προσαρμοσμένης, στο ανάγλυφο, χάραξης και της δυσκολίας κατά την προσπέραση, η οποία οφείλεται στο μικρό σχετικά πλάτος της οδού είναι ωφέλιμο να μην αναπτύσσονται ταχύτητες μεγαλύτερες από τη συνιστώμενη ταχύτητα των 70 km/h. Για αυτό θα πρέπει να ελεγχθεί, εάν για λόγους ασφαλείας της κυκλοφορίας, απαιτείται η μείωση της επιτρεπόμενης μέγιστης ταχύτητας.

Η τυπική διατομή RQ 9 (Σχήμα 2.11) είναι μία διατομή ενιαίου οδοστρώματος χωρίς διαγράμμιση για το διαχωρισμό των διαφορετικών κατευθύνσεων κυκλοφορίας. Η μη τοποθέτηση διαγράμμισης στο μέσο της οδού προειδοποιεί των οδηγό ότι σε περίπτωση συνάντησης, ιδιαίτερα με βαρύ όχημα, διατίθεται ελάχιστος χρόνος επιπλέον των πλευρικών διαγραμμίσεων.



Σχήμα 2.11. Τυπική διατομή RQ9.

2.4.1.1 ΜΗΚΟΤΟΜΗ

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

Για λόγους κυκλοφοριακής ασφάλειας θα πρέπει οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις να μην υπερβαίνουν τις τιμές του Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά RAL

RAL 2012	
Κλάση Οδού	S _{max} (%)
EKL1	4.5
EKL2	5.5
EKL3	6.5
EKL4	8.0

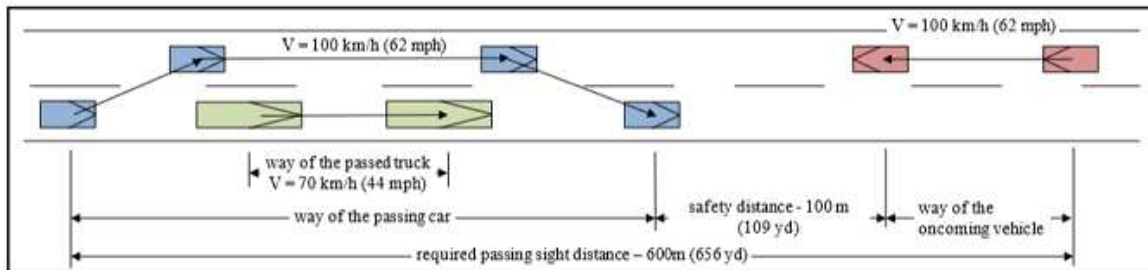
Εάν σε τεκμηριωμένες εξαιρέσεις γίνεται υπέρβαση των μεγίστων κατά μήκος κλίσεων, θα πρέπει η σύνθετη (λοξή) κλίση να μην έχει τιμή άνω του 100%.

2.4.1.2 ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ

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. Ως απολύτως ελάχιστο μήκος ορατότητας για προσπέραση προκειμένου η διαδικασία προσπέρασης να είναι ασφαλής, για οχήματα που κινούνται με χαμηλές ταχύτητες, ορίζονται τα 300 m. Αν $300 \text{ m} \leq \text{ΜΟΠ} \leq 600 \text{ m}$, δεν είναι εύκολο ο οδηγός να αναγνωρίσει το ξαφνικά εμφανιζόμενο όχημα στην αντίθετη κατεύθυνση κυκλοφορίας. Η διάθεση του ΜΟΠ πρέπει να εφαρμόζεται τουλάχιστον για 600 m.

Οι παραδοχές για τον υπολογισμό του εν λόγω μήκους είναι ότι φορτηγό όχημα που κινείται με ταχύτητα 70 km/h, αποτελεί το προπορευόμενο όχημα, και προσπερνιέται από επιβατηγό όχημα που κινείται με το όριο ταχύτητας 100 km/h. Το όχημα που κινείται στην αντίθετη λωρίδα, κινείται και αυτό με το όριο ταχύτητας 100 km/h.

Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση είναι το άθροισμα των αποστάσεων που καλύπτουν το όχημα που προσπερνά, το αντίθετα κινούμενο όχημα και απόσταση ασφαλείας μεταξύ τους μετά το τέλος του ελιγμού της προσπέρασης που λαμβάνεται 100 m.



Σχήμα 2.12. Διαδικασία προσπέρασης κατά RAL 2012.

2.4.2. ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (AASHTO)

Οι τελευταίες Αμερικάνικες Οδηγίες (American Association of Static Highway and Transportation Officials – AASHTO) εκδόθηκαν το 2011.

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

Για οδούς που σχεδιάζονται σε περιοχές με σχετικά επίπεδο έδαφος οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις S_{max} δεν πρέπει να ξεπερνούν τις τιμές του Πίνακα 2.3, ενώ μία κατάλληλη ελάχιστη κατά μήκος κλίση είναι συνήθως η 0,5 %.

Πίνακας 2.3. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά AASHTO (υπεραστικές αρτηρίες)

$S_{max}(\%)$			
Ταχ. Σχεδιασμού (km/h)	Πεδινά Εδάφη	Λοφώδη Εδάφη	Ορεινά Εδάφη
60	5.0	6.0	8.0
70	5.0	6.0	7.0
80	4.0	5.0	7.0
90	4.0	5.0	6.0
100	3.0	4.0	6.0

Το ελάχιστο **Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (Passing Sight Distance – PSD)**, παρουσιάζεται στον Πίνακα 2.4. 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.

Πίνακας 2.4. Ελάχιστο ΜΟΠ κατά AASHTO 2011.

Ταχ. Σχεδιασμού (km/h)	Προπορευόμενο όχημα (km/h)	Όχημα που προσπερνά (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

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 την κρίσιμη θέση, ως 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 προσπερνά και το προπορευόμενο όχημα κινούνται το ένα δίπλα στο άλλο.

Σύμφωνα με τις AASHTO, το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας ορίζεται ως

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

Όπου:

d1: απόσταση που διανύει το όχημα που προσπερνά μεταξύ του χρόνου αντίληψης – αντίδρασης.

d2: απόσταση που διανύει το όχημα που προσπερνά στην αριστερή λωρίδα

d3: απόσταση μεταξύ του αντίθετα κινούμενου οχήματος και του οχήματος που προσπερνά στο τέλος της προσπέρασης.

d4: απόσταση που διανύεται από το αντίθετα κινούμενο όχημα στα $\frac{2}{3}$ του αντίστοιχου χρόνου που το όχημα που προσπερνά διανύει την απόσταση d2.

Για τον προσδιορισμό του Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση λαμβάνονται οι εξής παραδοχές:

- Το όχημα που προσπερνά κινείται με σταθερή ταχύτητα.
- Το όχημα που προσπερνά μειώνει ταχύτητα και ακολουθεί το προπορευόμενο όχημα καθώς εισέρχεται στη ζώνη προσπέρασης.
- Το όχημα που προσπερνά χρειάζεται ένα χρονικό διάστημα ώστε να ξεκινά να επιταχύνει.
- Το όχημα που προσπερνά ξεκινά να επιταχύνει κατά τη διάρκεια του ελιγμού, και η μέση ταχύτητα του κατά τη διάρκεια της προσπέρασης είναι 16 km/h υψηλότερη από αυτή του προπορευόμενου οχήματος.
- Όταν το όχημα που προσπερνά επιστρέψει στην αρχική του λωρίδα μετά την προσπέραση, υπάρχει μία απόσταση ασφαλείας μεταξύ αυτού και του αντίθετα κινούμενου οχήματος.

Στον Πίνακα 2.5. παρουσιάζονται τα Μήκη Ορατότητας για Προσπέραση που ορίζονται από το AASHTO Green Book για κάθε ταχύτητα σχεδιασμού.

Πίνακας 2.5. Απαιτούμενο ΜΟΠ για οδούς δύο λωρίδων (AASHTO, Green Book)

Metric					US Customary				
Design speed (km/h)	Assumed speeds (km/h)		Passing sight distance (m)		Design speed (mph)	Assumed speeds (mph)		Passing sight distance (ft)	
	Passed vehicle	Passing vehicle	Calculated	Rounded for design		Passed vehicle	Passing vehicle	Calculated	Rounded for design
30	29	44	200	200	20	18	28	706	710
40	36	51	266	270	25	22	32	897	900
50	44	59	341	345	30	26	36	1088	1090
60	51	66	407	410	35	30	40	1279	1280
70	59	74	482	485	40	34	44	1470	1470
80	65	80	538	540	45	37	47	1625	1625
90	73	88	613	615	50	41	51	1832	1835
100	79	94	670	670	55	44	54	1984	1985
110	85	100	727	730	60	47	57	2133	2135
120	90	105	774	775	65	50	60	2281	2285
130	94	109	812	815	70	54	64	2479	2480
					75	56	66	2578	2580
					80	58	68	2677	2680

2.4.3. ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (ΟΜΟΕ-Χ)

Οι τελευταίες Ελληνικές Οδηγίες (Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Χαράξεις – ΟΜΟΕ -Χ) εκδόθηκαν το 2001. Δεδομένων των πιο σύγχρονων αντιλήψεων στο χώρο του γεωμετρικού σχεδιασμού των οδών, οι ΟΜΟΕ-Χ αποτελούν γενικά ένα ικανοποιητικό εργαλείο για τους μελετητές, αν και υπάρχουν σημεία που χρήζουν αναθεώρησης.

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 παρακάτω τα βασικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

2.4.3.1 ΜΗΚΟΤΟΜΗ

Για λόγους ασφαλείας οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν τις τιμές του Πίνακα 2.6. Αν δεν είναι δυνατόν να αναπτυχθούν οι αναμενόμενες λειτουργικές ταχύτητες σε ορισμένα ανωφερικά τμήματα των οδών της ομάδας Α, πρέπει να διερευνάται η πιθανότητα διάταξης μίας επιπλέον λωρίδας για τα βαρέα οχήματα (πρόσθετη λωρίδα) ή η αλλαγή της χάραξης της οδού.

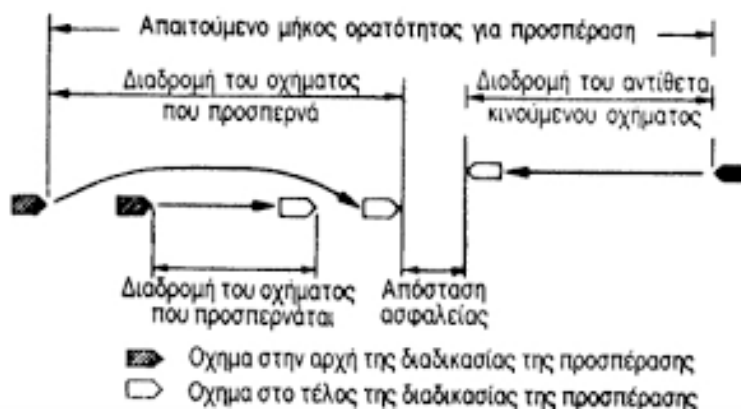
Πίνακας 2.6. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά ΟΜΟΕ-Χ

S _{max} (%)			
Ταχ. Σχεδιασμού (km/h)	Πεδινά Εδάφη	Λοφώδη Εδάφη	Ορεινά Εδάφη
60	6 (8)	7 (9)	9 (10)
70	5 (7)	6 (8)	8 (9)
80	4 (6)	5 (7)	7 (9)
90	4 (5)	5 (6)	7 (8)
100	3 (5)	4 (6)	6 (8)

Οι τιμές σε () εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις.

2.4.3.2 ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ

Το **Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση S_w**, είναι το μήκος που απαιτείται για την ασφαλή διαδικασία προσπέρασης εμποδίου ή βραδυπορούντος οχήματος και είναι συνάρτηση της λειτουργικής ταχύτητας V₈₅. Ορίζεται ως το άθροισμα του μήκους που διανύει το όχημα κατά τη διαδικασία προσπέρασης, του μήκους που διανύει στο ίδιο χρονικό διάστημα το αντίθετα κινούμενο όχημα και της απόστασης ασφαλείας μεταξύ των δύο αντίθετα κινούμενων οχημάτων στο τέλος της διαδικασίας προσπέρασης.



Σχήμα 2.13. Διαδικασία Προσπέρασης κατά ΟΜΟΕ-Χ..

Στον Πίνακα 2.7. αναγράφεται το απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση για οδούς κατηγορίας Α με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας. Σε οδικά τμήματα που δεν διαθέτουν

ΜΟΠ, 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

$$V_{85} = V_e + (10 \text{ km/h}) \quad (2.10)$$

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

Πίνακας 2.7. Απαιτούμενο ΜΟΠ κατά ΟΜΟΕ-Χ

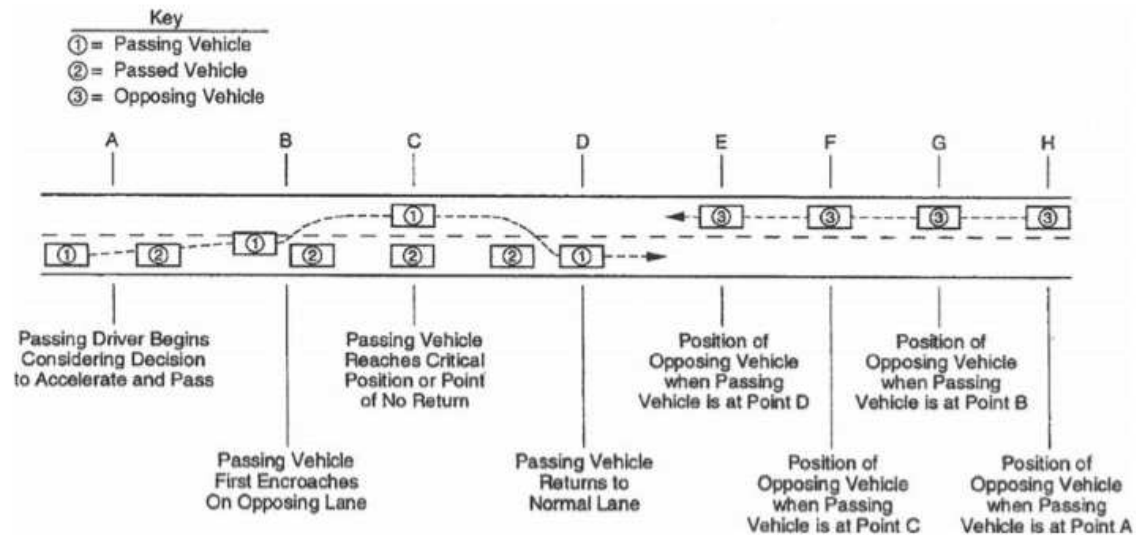
Ταχ. Σχεδιασμού (km/h)	ΜΟΠ (m)
60	475.0
70	500.0
80	525.0
90	575.0
100	625.0
110	675.0

2.4.3.3 ΔΙΕΘΝΗ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ

Το Μήκος ορατότητας για προσπέραση στα διεθνή κριτήρια ορίζεται από τις επιμέρους αποστάσεις που φαίνονται στο Σχήμα 2.14.

Το σχήμα δείχνει τη θέση του οχήματος που προσπερνά, του προπορευόμενου και του αντίθετα κινούμενου οχήματος σε διάφορες χρονικές στιγμές. Στο σημείο Α, το όχημα που προσπερνά (Vehicle 1) ξεκινά από μία θέση ακολουθώντας το προπορευόμενο όχημα (Vehicle 2). Το όχημα που προσπερνά επιταχύνει και στο σημείο Β, εισέρχεται στην αντίθετη λωρίδα κίνησης. Στο σημείο C, το όχημα που προσπερνά φτάνει στην **κρίσιμη θέση** (θέση από την οποία και μετά, το όχημα δεν μπορεί να γυρίσει πίσω και πρέπει οπωσδήποτε να ολοκληρώσει τον ελιγμό προσπέρασης). Στο σημείο D, το όχημα που προσπερνά ολοκληρώνει τον ελιγμό προσπέρασης και επιστρέφει στην αρχική λωρίδα της κατεύθυνσης του. Επίσης θεωρείται ότι το αντίθετα κινούμενο όχημα (Vehicle 3), θα κινηθεί από το σημείο Η στο σημείο G σε όσο χρόνο χρειάζεται το όχημα που προσπερνά για να κινηθεί από το σημείο Α στο Β. Αντίστοιχα το ίδιο ισχύει για την κίνηση του αντίθετα κινούμενου οχήματος

μεταξύ των σημείων G, F και E. Η απόσταση ασφαλείας στο τέλος της προσπέρασης ορίζεται από τα σημεία D και E.



Σχήμα 2.14. Ορισμός Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση (Harwood, D. W., 1998)

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για να ορίσουν το απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση σε κάθε χώρα, στηρίζονται σε διαφορετικές παραδοχές όσον αφορά τις αποστάσεις που περιγράφονται στο Σχήμα 2.14, πως ορίζουν το παραπάνω μήκος, τις ταχύτητες των οχημάτων και τις αποστάσεις ασφαλείας. Στον Πίνακα 2.7 παρουσιάζονται τα παραπάνω κριτήρια και οι παραδοχές που χρησιμοποιούνται στο γεωμετρικό σχεδιασμό του Καναδά, της Αγγλίας, της Αυστραλίας, Ελλάδας, Γερμανίας, Αυστρίας και Νότιας Αφρικής.

Πίνακας 2.8. Κριτήρια απαιτούμενου ΜΟΠ στο γεωμετρικό σχεδιασμό διαφόρων χωρών (Harwood, D. W., 1998)

Country	Design situation	Based on distance shown in Figure 5	Design or operating speed (km/h)											
			30	40	50	60	70	80	85	90	100	110	120	130
			Passing sight distance (m)											
Australia	ESD—beginning of PSD	AH	—	—	330	420	520	640	—	770	920	1100	1300	1500
	CSD—end of PSD	CF	—	—	165	205	245	300	—	360	430	500	600	700
Austria	beginning and end of PSD	BG	—	—	—	400	—	525	—	—	650	—	—	—
Britain	FOSD—beginning of PSD	BG	—	—	290	345	410	—	490	—	580	—	—	—
	ASD—end of PSD	1/2 BG	—	—	145	170	205	—	245	—	290	—	—	—
Canada	beginning and end of PSD	AF	—	—	340	420	480	560	—	620	680	740	800	—
Germany	beginning and end of PSD	BG	—	—	—	475	500	525	—	575	625	—	—	—
Greece	beginning and end of PSD	BG	—	—	—	475	500	525	—	575	625	—	—	—
South Africa	beginning and end of PSD	AF	—	—	340	420	490	560	—	620	680	740	800	—
United States	beginning and end of PSD	AF	217	285	345	407	482	541	—	605	670	728	792	—

Note: Australian CSD and British FOSD and ASD values (see text for explanation) represent the 85th percentile of the driver and vehicle population. Among the countries reviewed, only Britain uses 85 km/h as a standard design speed.

2.5. ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

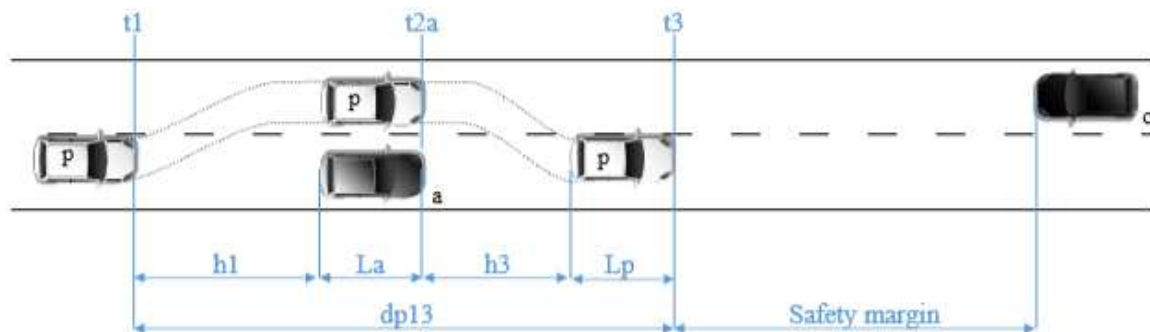
Διάφορες μελέτες έχουν διεξαχθεί, με σκοπό την προσέγγιση του μήκους ορατότητας για προσπέραση, λαμβάνοντας υπόψη τα δυναμικά χαρακτηριστικά του οχήματος, αλλά και τα χαρακτηριστικά της κίνησης των οχημάτων που μετέχουν στην προσπέραση. Κάποιες από αυτές παρουσιάζονται στο παρόν κεφάλαιο.

2.5.1. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΓΙΑ ΕΞΑΣΦΑΛΙΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΕ ΑΠΛΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΕΙΣ

Σε έρευνα που διεξήχθη το 2013 από τους Carlos Llorca, Anna Tsui Moreno, Alfredo Garcia, Anna Maria Perez – Zuriaga και Francisco Javier Camacho Torregrosa, καταγράφηκαν 1472 προσπάθειες μονής προσπέρασης, αλλά και 304 προσπάθειες πολλαπλής προσπέρασης (προσπέραση παραπάνω από ενός οχήματος) με τη βοήθεια κάμερας. Θα εστιάσουμε σε όσα προέκυψαν για τις μονές προσπεράσεις, καθώς αυτό είναι το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής. Κατά την ανάλυση τους προέκυψαν τα εξής.

Στη φάση εκκίνησης της προσπέρασης, το προπορευόμενο όχημα βρίσκεται σε απόσταση (h_1) 9,5 m από το όχημα που θα διενεργήσει την προσπέραση και έχουν μεταξύ τους διαφορά ταχυτήτων κατά μέσο όρο 6,20 km/h. Στο τέλος της διαδικασίας προσπέρασης, η απόσταση του οχήματος που προσπερνά, αφού έχει επιστρέψει πίσω στη λωρίδα του, από το

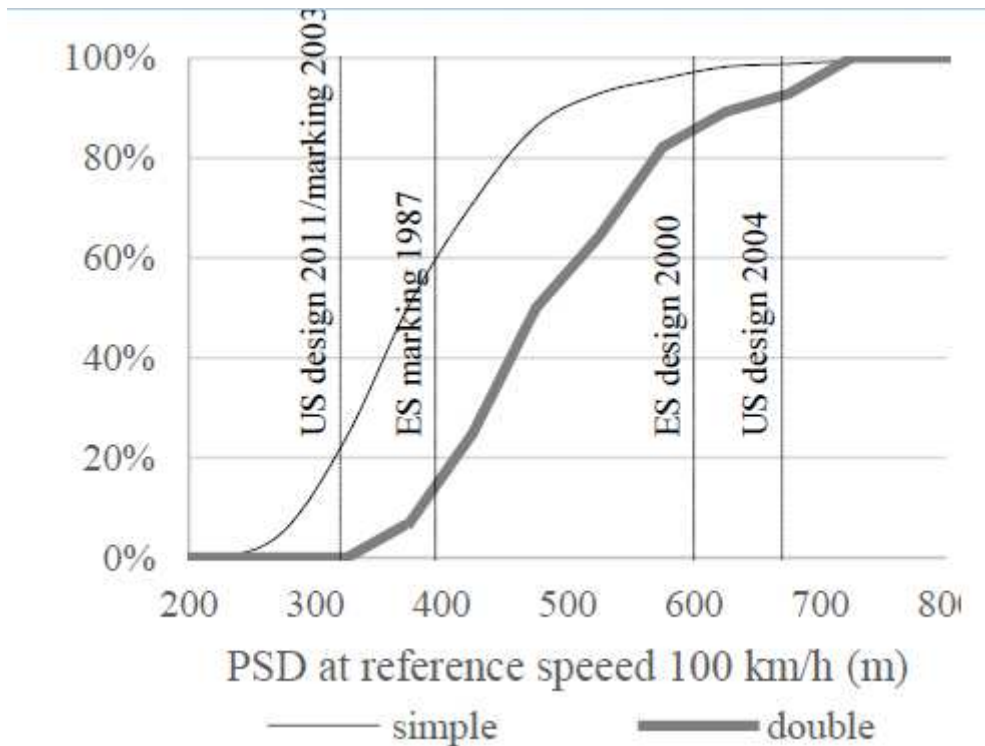
προπορευόμενο όχημα ($h3$) είναι κατά μέσο όρο 24 m και η διαφορά των ταχυτήτων του καταγράφηκε 24,1 έως 34,8 km/h.



Σχήμα 2.15. Σχηματική αναπαράσταση ελιγμού προσπέρασης (Carlos Llorca, 2013)

Επίσης καταγράφηκε η απόσταση που διανύει το όχημα που προσπερνά στην αριστερή λωρίδα ($dp13$), η οποία προέκυψε 168 m και εκφράζεται, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.15., ως το άθροισμα, της απόστασης των οχημάτων που συμμετέχουν στην προσπέραση στην αρχή και το τέλος του ελιγμού ($h1$ και $h3$), της απόστασης που διανύεται από το όχημα που προσπερνά κατά τον ελιγμό προσπέρασης και των μηκών των οχημάτων (La , Lp). Η ταχύτητα του αντίθετα κινούμενου οχήματος θεωρήθηκε ίση με την λειτουργική ταχύτητα V_{85} .

Ως απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση ορίσθηκε το άθροισμα της απόστασης που διανύει το όχημα που προσπερνά κατά τη διαδικασία προσπέρασης, της απόστασης που διανύει το αντίθετα κινούμενο όχημα στον ίδιο χρόνο και της απόστασης ασφαλείας (safety margin) μεταξύ τους. Η απόσταση ασφαλείας εκφράζεται ως η απόσταση που διανύεται από το αντίθετα κινούμενο όχημα και το όχημα που προσπερνά, σε έναν κρίσιμο χρόνο. Ο χρόνος αυτός ορίσθηκε από τους Glennon (1988) και Hassan et. Al (1996) ως 2 δευτερόλεπτα. Τα αποτελέσματα σε σύγκριση με αυτά που ορίζουν οι κανονισμοί AASHTO 2011, αλλά και οι κανονισμοί της Ισπανίας MFOM 2000, φαίνονται στο Σχήμα 2.16.



Σχήμα 2.16. Απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (Carlos Llorca, 2013)

Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως μόνο το 15% των ελιγμών που καταγράφηκαν απαιτεί λιγότερο από 395 m και καμία δεν χρειάζεται λιγότερο από 320 m (μήκος ορατότητας για προσπέραση κατά τους AASHTO 2011). Σημειώνεται, παρόλα αυτά πως οι Αμερικάνικοι Κανονισμοί ορίζουν το Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση, ξεκινώντας από μία κρίσιμη θέση, και όχι από την αρχή του ελιγμού από όπου υπάρχει ορατότητα στο αντίθετα κινούμενο όχημα.

2.5.2. ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕ ΑΥΤΟ ΠΟΥ ΟΡΙΖΟΥΝ ΟΙ ΓΕΡΜΑΝΙΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ (RAL 2012)

Σε έρευνα που διεξήχθη το 2015 από τους Dipl.-Ing. Anne Vettters και Dr.-Ing. Thomas Jaehrig, 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 προσπερνά, το αντίθετα κινούμενο όχημα και της απόστασης ασφαλείας μεταξύ τους (clearance distance). Τα αποτελέσματα έδειξαν πως το όχημα που προσπερνάει έχει ταχύτητα στην αρχή του ελιγμού 84 έως 93 km/h, ενώ φτάνει τα 99 έως 107 km/h στο τέλος της προσπέρασης. Το όριο ταχύτητας 100 km/h φαίνεται να ξεπερνιέται στο τέλος της προσπέρασης. Η ταχύτητα του φορτηγού που προσπερνάτε θεωρείται σταθερή και παρατηρήθηκε ότι είναι περίπου 75km/h. Τέλος, το αντίθετα κινούμενο όχημα αναπτύσσει ταχύτητες 84 έως 100 km/h. Όσον αφορά την απόσταση ασφαλείας μεταξύ του οχήματος που προσπερνά και του αντίθετα κινούμενου στο τέλος του ελιγμού προσπέρασης παρατηρήθηκε ότι προέκυψε από 85 m έως 170 m.

Προκειμένου να δημιουργηθεί ένα μοντέλο προσδιορισμού του μήκους ορατότητας για προσπέραση ελήφθησαν υπόψη τα παραπάνω δεδομένα που προέκυψαν από τις καταγραφές των προσπεράσεων. Θεωρήθηκε ότι το 50% των αποτελεσμάτων των παραπάνω καταγραφών είναι μία καλή προσέγγιση για το σκοπό αυτό. Επομένως το φορτηγό θεωρήθηκε ότι έχει σταθερή ταχύτητα μεταξύ 60 και 80 km/h και εξετάστηκαν τα εν λόγω σενάρια με βήμα 5 km/h. Η διαφορά της ταχύτητας μεταξύ του οχήματος που προσπερνά και του φορτηγού θεωρήθηκε σταθερή και δόθηκαν τιμές από 23km/h έως 26 km/h, ενώ η ταχύτητα του αντίθετα κινούμενου οχήματος θεωρήθηκε σταθερή στα 100 km/h. Τέλος η απόσταση ασφαλείας στο τέλος της προσπέρασης θεωρήθηκε 130 m, και η απόσταση που καλύπτει το αντίθετα κινούμενο όχημα 200 m. Στον Πίνακα 2.9 φαίνονται τα αποτελέσματα της εν λόγω έρευνας.

Πίνακας 2.9. Απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση (Dipl.-Ing. Anne Vettters και Dr.-Ing. Thomas Jaehrig, 2015)

1.	Speed of the truck V_t [km/h (mph)]	60 (37)	65 (40)	70 (44)	75 (47)	80 (50)
2.	Speed of the passenger car V_c [km/h (mph)]	83 (52)	88 (55)	94 (58)	100 (62)	106 (66)
3.	Distance covered by the passing vehicle s_c [m (yd)]	165 (180)	175 (191)	190 (208)	200 (219)	210 (230)
4.	Safety distance d_s [m (yd)]	130 (142)				
5.	Distance covered by the oncoming vehicle s_o [m (yd)]	200 (219)				
6.	Required passing sight distance [m (yd)]	495 (541)	505 (552)	520 (569)	530 (580)	540 (591)

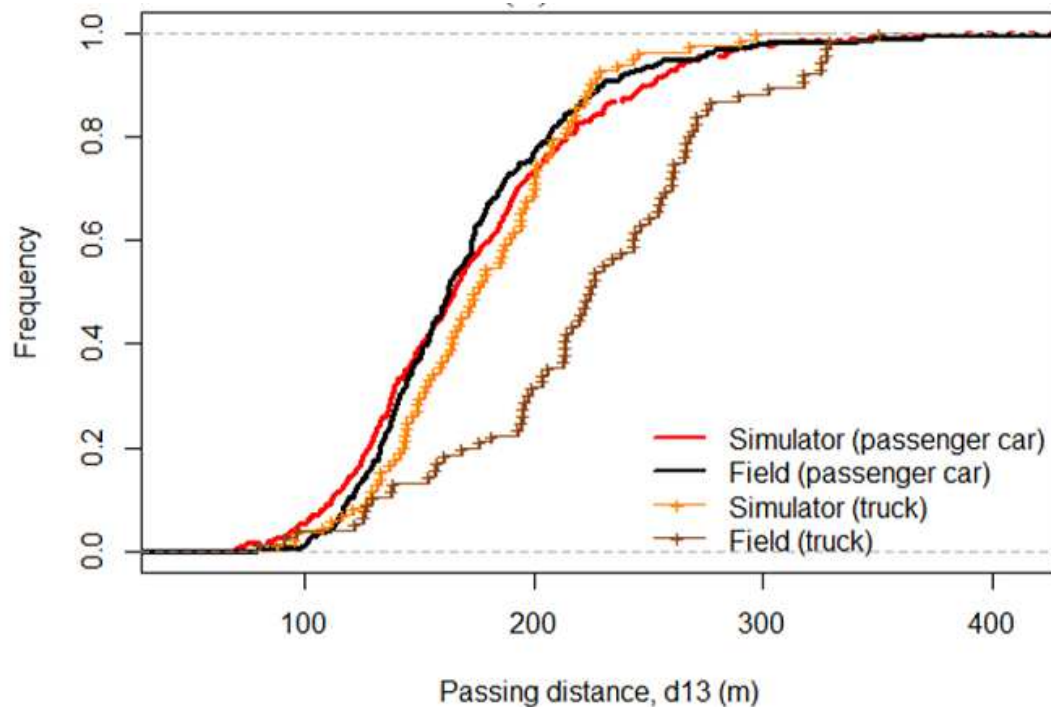
Στον παραπάνω πίνακα βλέπουμε πως τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση προέκυψε λίγο μικρότερο από αυτό που ορίζουν οι Γερμανικοί Κανονισμοί (RAL, 2012).

2.5.3. ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

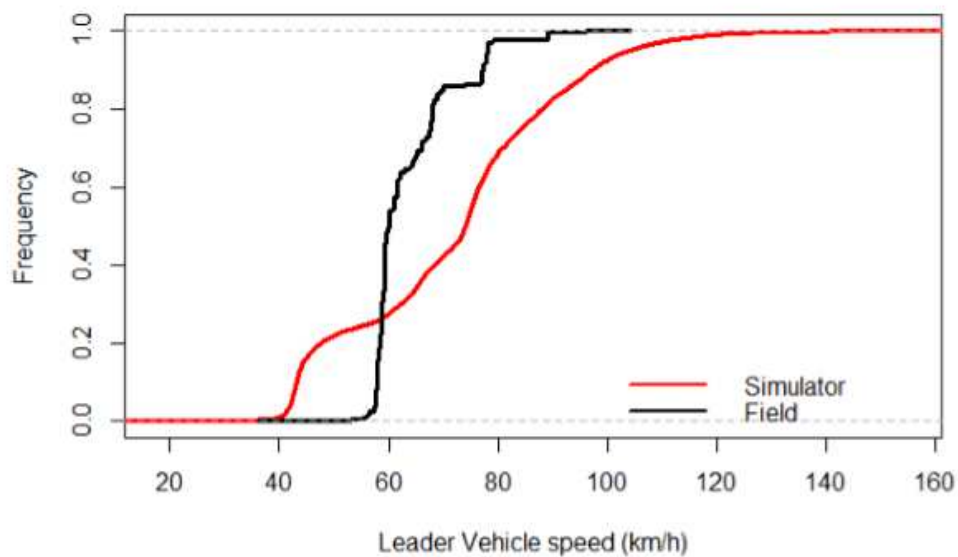
Σε έρευνα που πραγματοποίησαν το 2016, οι Carlos Llorca και Haneen Farah, κατά την οποία καταγράφηκαν μέσω κάμερας και αναλύθηκαν 781 προσπάθειες προσπέρασης, σε 10 οδούς δύο λωρίδων, με ταχύτητες σχεδιασμού 70 – 120 km/h. Και σε αυτή την περίπτωση ελήφθησαν υπόψη, προσπεράσεις με αντίθετη κυκλοφορία, στις οποίες ένα επιβατικό όχημα προσπερνάει ένα φορτηγό, αλλά και η περίπτωση ένα επιβατικό όχημα να προσπερνάει ένα επιβατικό όχημα. Επίσης το ίδιο πείραμα εξήχθη σε προσομοιωτή οδήγησης.

Τα αποτελέσματα των καταγραφών έδειξαν πως το απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση προέκυψε 459 m στην περίπτωση προσπέρασης με επιβατικό, ενώ 351 m όταν προσπερνάται φορτηγό. Στην περίπτωση της εξαγωγής του πειράματος στον προσομοιωτή το απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέρασης προέκυψε 388,40 m στην περίπτωση προσπέρασης με επιβατικό, ενώ 297,70 m όταν προσπερνιέται φορτηγό. Στην περίπτωση των καταγραφών το προπορευόμενο όχημα είχε ταχύτητα 96 km/h, ενώ στον προσομοιωτή 146 km/h. Στο Σχήμα 2.17. φαίνεται η συσχέτιση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το

προσομοιωτή και τις καταγραφές όσον αφορά το Μήκος Ορατότητας και στο Σχήμα 2.18 η αντίστοιχη συσχέτιση της ταχύτητας του προπορευόμενου οχήματος.



Σχήμα 2.17. Συσχέτιση αποτελεσμάτων προσομοιωτή και καταγραφών (ΜΟΠ) (Carlos Llorca και Haneen Farah, 2016)



Σχήμα 2.18. Συσχέτιση αποτελεσμάτων προσομοιωτή και καταγραφών όσον αφορά την ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος (Carlos Llorca και Haneen Farah, 2016)

2.5.4. ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗ ΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΟΧΗΜΑΤΟΣ

Σε έρευνα που πραγματοποίησαν το 2018, ο Κωνσταντίνος Αποστολέρης και η Λιάνα Παντελιά, εξέφρασαν το απαιτούμενο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση, μέσω μαθηματικού τύπου και στηριζόμενοι σε αυτόν εξέτασαν διάφορα σενάρια προσπέρασης για οχήματα βάρους 1000 kg με ιπποδύναμη 80 έως 210 ίππους και για οχήματα βάρους 1500 kg, με ιπποδύναμη 80 έως 300 ίππους. Τα στοιχεία της επιτάχυνσης που έχει κάθε τύπος από τα παραπάνω οχήματα αντλήθηκε από τις τεχνικές προδιαγραφές τους, όπως αυτές διατίθενται στο διαδίκτυο.

Στο Σχήμα 2.19 φαίνεται η διαδικασία προσπέρασης, όπου το όχημα 1 κινείται με σταθερή ταχύτητα ελαφρώς χαμηλότερη από το όριο ταχύτητας της οδού, το όχημα 2 μέχρι τη στιγμή που αποφασίζει να πραγματοποιήσει την προσπέραση κινείται με σταθερή ταχύτητα, ενώ σε όλη τη διαδικασία προσπέρασης καταγράφει ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση και το όχημα 3 κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση κινείται με σταθερή ταχύτητα ίση με τη λειτουργική ταχύτητα V_{85} .

Το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση, επομένως, προσδιορίστηκε από την Σχέση (2.11):

$$S_U = L_2 + L_U + L_A + L_3 \quad (2.11)$$

Όπου:

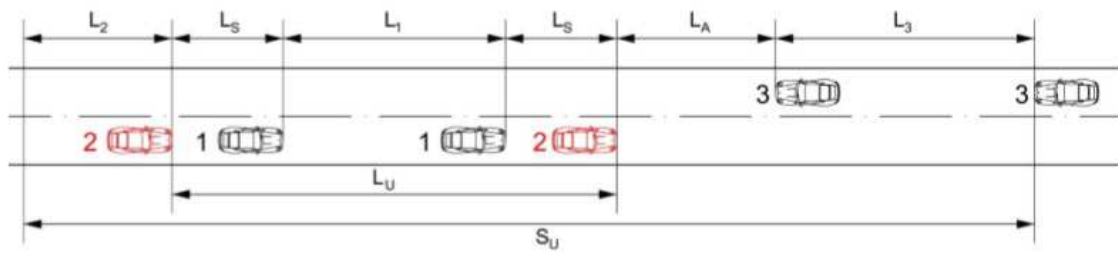
S_U : απαιτούμενο μήκος για την επιτυχή διαδικασία της προσπέρασης

L_2 : Το μήκος που διανύει το όχημα (2) μέχρι να αποφασίσει ο οδηγός του να προχωρήσει στη διαδικασία προσπέρασης

L_U : Το μήκος που διανύει το όχημα που προσπερνά μέχρι να προσπεράσει και να επανέλθει στη λωρίδα του.

L_A : Η απόσταση ασφαλείας μεταξύ των οχημάτων 2 και 3 τη στιγμή που έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία προσπέρασης

L_3 : Το μήκος που διανύει το αντίθετα κινούμενο όχημα κατά το χρονικό διάστημα που διαρκεί η προσπέραση.



Σχήμα 2.19. Διαδικασία προσπέρασης (Κ. Αποστολέρης και Λ. Παντελιά, 2018)

Το μήκος Προσπέρασης L_u ορίζεται από τη Σχέση (2.12).

$$L_u = L_s + L_1 + L_s \quad (2.12)$$

Όπου:

L_1 : Το μήκος που διανύει το προπορευόμενο όχημα

L_s : η απόσταση ασφαλείας που πρέπει να τηρεί οπωσδήποτε ο οδηγός από το προπορευόμενο όχημα.

Στην περίπτωση που το όχημα 1 πραγματοποιεί ομαλή κίνηση και το μήκος που διανύεται δίνεται από την Σχέση (2.13)

$$L_1 = V_1 * t_1 \quad (2.13)$$

Όπου:

V_1 : η ταχύτητα του οχήματος 1

t_1 : ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου το όχημα 2 να ολοκληρώσει της διαδικασία της προσπέρασης, χωρίς να περιλαμβάνεται ο χρόνος απόφασης $t_{αποφ}$ και δίνεται από τη Σχέση (2.14)

$$t_1^2 = 4 * L_s / \gamma_\mu \quad (2.14)$$

όπου:

γ_μ : τιμή της μέσης επιτάχυνσης που καταγράφει το όχημα 2 κατά τη διάρκεια της διαδικασίας προσπέρασης και δίνεται από τη Σχέση (2.15).

$$\gamma_\mu = \gamma - s * 9.81 \quad (2.15)$$

όπου:

γ : επιτάχυνση που μπορεί να επιτευχθεί από την υποδύναμη του οχήματος

s : κατά μήκος κλίση της οδού.

Το μήκος που διανύει το αντίθετα κινούμενο όχημα δίνεται από τη Σχέση (2.16)

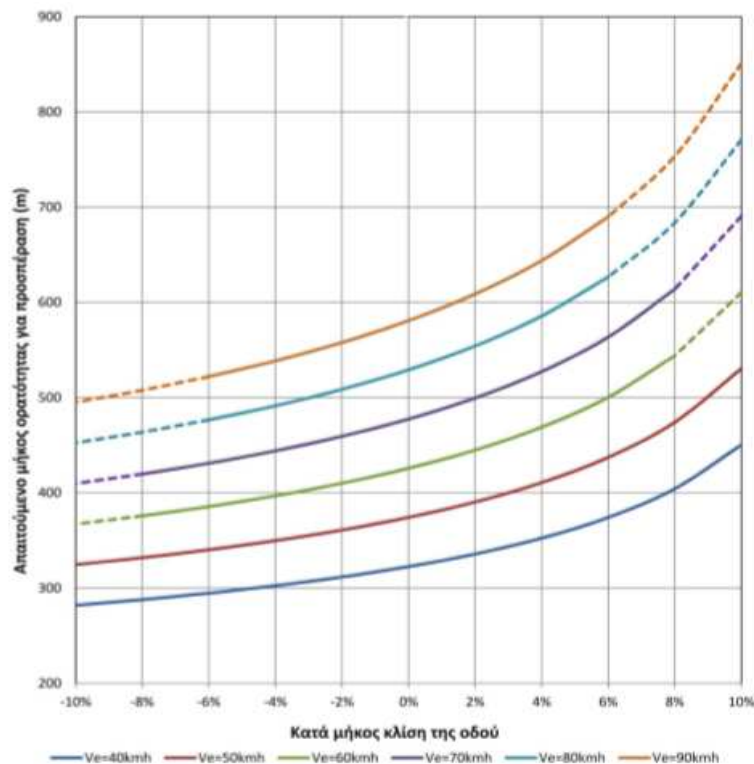
$$L_3 = V_{85} * t_{OL} \quad (2.16)$$

V_{85} : ταχύτητα με την οποία κινείται το όχημα 3

t_{OL} : συνολικός χρόνος που απαιτείται για τη διαδικασία προσπέρασης $t_{OL} = t_1 + t_{αποφ}$

Η διερεύνηση έγινε για διάφορες τιμές επιταχύνσεων, και τα αποτελέσματα έδειξαν πως το μήκος ορατότητας για προσπέραση που προβλέπεται από τις ΟΜΟΕ-Χ, είναι σημαντικά υψηλότερο από το απαιτούμενο, ιδιαίτερα σε οδούς με χαμηλό όριο ταχύτητας. Αντίθετα οι Αμερικάνοι κανονισμοί AASHTO φαίνεται ότι προβλέπουν πιο ρεαλιστικά όρια εφαρμογής.

Επίσης από τα αποτελέσματα προέκυψε πως η κατά μήκος κλίση της οδού έχει σημαντική επιρροή στο επιθυμητό όριο ορατότητας για προσπέραση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.20.



Σχήμα 2.20. Απαιτούμενο ΜΟΠ σε συνάρτηση με την κατά μήκος κλίση, για $\gamma = 1,50 \text{ m/sec}^2$ (Κ. Αποστολέρης και Λ. Παντελιά, 2018)

Όσον αφορά την υποδύναμη του οχήματος, τα οχήματα με μεγαλύτερη υποδύναμη επιτυγχάνουν την προσπέραση σε μειωμένο μήκος, παρόλα αυτά η εν λόγω ποσοτική μείωση είναι σχετικά μικρή, ιδιαίτερα σε οδούς που προβλέπεται μικρή ταχύτητα κυκλοφορίας. Στον Πίνακα 2.10. φαίνονται τα αποτελέσματα της μελέτης για μηδενική κατά μήκος κλίση, και για διάφορες τιμές επιταχύνσεων και τύπους οχημάτων.

Πίνακας 2.10. Απαιτούμενο ΜΟΠ για μηδενική κατά μήκος κλίση, για διάφορες τιμές επιταχύνσεων, ανάλογα με την υποδύναμη και το βάρος του οχήματος. (Κ. Αποστολήρης και Λ. Παντελιά, 2018)

Βάρος οχήματος 1000kg - Κατά μήκος κλίση 0%									
V _e (χ/ω)	Υποδύναμη οχήματος							ΟΜΟΕ	ΑΑΣΗΤΟ
	80	100	120	140	180	210			
40	311	298	291	281	265	258		425	270
50	361	344	335	324	304	295		475	345
60	410	391	380	366	343	332		500	410
70	514	488	468	451	425	409		525	485
80	570	541	518	499	469	452		575	540
90	693	656	626	595	558	538		625	615
100	757	716	683	648	607	585		675	670
Βάρος οχήματος 1500kg - Κατά μήκος κλίση 0%									
V _e (χ/ω)	Υποδύναμη οχήματος							ΟΜΟΕ	ΑΑΣΗΤΟ
	80	100	120	140	180	210	300		
40	336	323	311	302	284	274	245	425	270
50	391	374	361	349	328	314	280	475	345
60	446	426	410	397	371	355	314	500	410
70	566	537	514	488	459	437	382	525	485
80	630	597	570	541	508	483	421	575	540
90	760	723	693	656	610	581	494	625	615
100	830	790	757	716	664	633	537	675	670

	Απαιτούμενο μήκος για προσπέραση:
300	Μικρότερο από το προβλεπόμενο σε ΟΜΟΕ-Χ και ΑΑΣΗΤΟ
400	Μικρότερο από το προβλεπόμενο σε ΟΜΟΕ-Χ και μεγαλύτερο από ΑΑΣΗΤΟ
500	Μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο σε ΟΜΟΕ-Χ και ΑΑΣΗΤΟ

Στον παραπάνω πίνακα επίσης φαίνεται και η συσχέτιση των αποτελεσμάτων με το αντίστοιχο μήκος που ορίζουν οι Ελληνικοί και Αμερικάνικοι Κανονισμοί.

2.5.5. ΣΥΝΟΨΗ

Με βάση τα παραπάνω, παρατηρείται αρχικά πως σε καμία από τις προαναφερθείσες έρευνες δεν έχει ληφθεί υπόψη το όριο ταχύτητας της οδού, και πόσο ορίζεται το μήκος ορατότητας για προσπέραση, έτσι ώστε το όριο αυτό να μην παραβιάζεται. Επίσης δεν λαμβάνεται υπόψη, η υποδύναμη του οχήματος σε σχέση με την ανάπτυξη της οριακής ταχύτητας, η επίδραση του συντελεστή τριβής λόγω της αλληλεπίδρασης τροχού – οδοστρώματος και η επιρροή της κατά μήκος κλίσης της οδού.

Επίσης να αναφερθεί ότι σε κάποιες έρευνες, δεν έχουν ληφθεί υπόψη τα πραγματικά χαρακτηριστικά της κίνησης των οχημάτων που συμμετέχουν στον ελιγμό προσπέρασης και βασίζονται σε συντηρητικές παραδοχές, όπως ότι οι ταχύτητες των οχημάτων είναι σταθερές.

Επομένως κρίνεται αναγκαία διερεύνηση, η οποία θα καλύπτει ένα ευρύ φάσμα των παραπάνω παραμέτρων, πως αυτοί αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους, αλλά και πως επηρεάζουν το μήκος ορατότητας για προσπέραση.

3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

3.1. ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, οι κανονισμοί της οδοποιίας, όσων αφορά τον προσδιορισμό του μήκους ορατότητας για προσπέραση υιοθετούν απλές μαθηματικές σχέσεις είτε της ομαλής κίνησης, είτε της ομαλά επιταχυνόμενης κίνησης και καθορίζουν μέσα από άκρως συντηρητικές παραδοχές το ελάχιστο απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση το οποίο θα επαρκεί σε κάθε περίπτωση.

Στην πραγματικότητα στη διαδικασία προσπέρασης συμμετέχουν τρία οχήματα με διαφορετικά χαρακτηριστικά κίνησης. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, έγιναν οι εξής παραδοχές, όσον αφορά την κίνηση αυτών των τριών οχημάτων. Το όχημα που προσπερνιέται (front vehicle) θεωρήθηκε ότι κινείται με σταθερή ταχύτητα, μικρότερη από το όριο ταχύτητας της οδού. Το όχημα που προσπερνά (subject vehicle) τη στιγμή που ξεκινάει τη διαδικασία προσπέρασης, καταγράφει επιταχυνόμενη κίνηση με αρχική ταχύτητα μικρότερη από το όριο ταχύτητας της οδού. Όταν το όχημα φτάσει το όριο ταχύτητας της οδού, δεν ξεπερνάει την ταχύτητα αυτή και καταγράφει απλή ευθύγραμμη κίνηση με σταθερή την ταχύτητα στο όριο. Τέλος το όχημα που κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση (opposing vehicle) κινείται με σταθερή ταχύτητα, ίση με το όριο ταχύτητας της οδού. Η σχηματική παράσταση της διαδικασίας προσπέρασης παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1.

Με βάση τη διαδικασία προσπέρασης, όπως περιεγράφηκε, ο προσδιορισμός του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για προσπέραση προκύπτει από το άθροισμα του απαιτούμενου μήκους που πρέπει να διανύσει το όχημα που προσπερνά για την επιτυχή διαδικασία προσπέρασης, της απόστασης ασφαλείας του από το αντίθετα κινούμενο όχημα στο τέλος της διαδικασίας προσπέρασης, και του μήκους που διανύει το αντίθετα κινούμενο όχημα κατά το χρονικό διάστημα που διαρκεί η προσπέραση.



Σχήμα 3.1. Σχηματική παράσταση της διαδικασίας προσπέρασης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται ο υπολογισμός του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για προσπέραση λαμβάνοντας υπόψη του εξής παράγοντες:

- Ιπποδύναμη οχήματος (P)
- Κατά μήκος κλίση (s)
- Ταχύτητες των οχημάτων που συμμετέχουν στον ελιγμό
- Όριο ταχύτητας της οδού
- Συντελεστής τριβής οδοστρώματος (fT_{max})

3.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Για την επίλυση του προβλήματος, έγιναν κάποιες ορθολογικές παραδοχές προκειμένου να εξεταστούν διάφορα σενάρια, και να υπολογισθούν τα απαιτούμενα μήκη για την ασφαλή ολοκλήρωση του ελιγμού προσπέρασης. Στο πλαίσιο αυτό οι εν λόγω παραδοχές αφορούν τα ακόλουθα μεγέθη:

- Για τη διεξαγωγή των δοκιμών της παρούσας διπλωματικής ελήφθησαν υπόψη οι Γερμανικοί Κανονισμοί (RAL 2012) με τις αντίστοιχες ταχύτητες σχεδιασμού και τις επιτρεπόμενες μέγιστες και ελάχιστες κλίσεις της κάθε κλάσης οδού (EKL2, EKL3).
- Η ταχύτητα του προπορευόμενου οχήματος είναι σταθερή και μικρότερη από το όριο ταχύτητας της οδού (V_{e-x}).
- Το όχημα που προσπερνά, τη στιγμή που εξετάζεται έχει ήδη αποφασίσει πως θα διενεργήσει την διαδικασία προσπέρασης, οπότε δεν λαμβάνεται υπόψη χρόνος και μήκος απόφασης, και θεωρείται ότι η ταχύτητα του είναι ίση με του προπορευόμενου οχήματος.

- Το αντίθετα κινούμενο όχημα κινείται με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα σχεδιασμού (V_e).
- Η απόσταση του προπορευόμενου οχήματος από το όχημα που προσπερνά, κατά τη στιγμή εκκίνησης της διαδικασίας προσπέρασης (h_1) είναι 15 m.
- Ολοκληρωμένη και ασφαλής προσπέραση θεωρήθηκε όταν το όχημα που προσπερνά, επιστρέφοντας πίσω στην αρχική του λωρίδα μετά τον ελιγμό προσπέρασης, βρίσκεται σε απόσταση (h_3) 30 m μπροστά από το προπορευόμενο.
- Η απόσταση ασφαλείας μεταξύ του οχήματος που προσπερνά και του αντίθετα κινούμενου οχήματος (safety margin), στο τέλος του ελιγμού προσπέρασης, θεωρήθηκε ίση με 100 m.
- Το όχημα που προσπερνά μπορεί να εκμεταλλεύεται το 100% της υποδύναμης του.
- Όσον αφορά τις ταχύτητες εξετάστηκαν τρία σενάρια (ταχύτητα μικρότερη κατά 10, 20 και 30 km/h) από την ταχύτητα σχεδιασμού.

Να σημειωθεί ότι εξετάστηκαν, οδοί με τα χαρακτηριστικά που ορίζουν οι Γερμανικοί Κανονισμοί (RAL 2012), καθώς είναι πιο ξεκάθαρα τα όρια ταχυτήτων αλλά και ο ορισμός του απαιτούμενου μήκους ορατότητας από αυτό που ορίζουν οι ΟΜΟΕ-Χ, στους οποίους το μήκος αυτό είναι συνάρτηση της λειτουργικής ταχύτητας V_{85} .

Σκοπός των αναλύσεων είναι να προσδιοριστεί το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση και η σύγκριση του με αυτό που ορίζουν οι κανονισμοί. Πιο συγκεκριμένα, μέσω λογισμικού του προγράμματος MS EXCEL και κατάλληλων αλγορίθμων, εξετάστηκαν για οχήματα 80, 100 και 120 ίππων, για συντελεστή τριβής 0,35, 0,50 και 0,65, για ταχύτητες σχεδιασμού 90 (EKL3) και 100 km/h (EKL2), για τις οριακές περιπτώσεις κατά μήκος κλίσεων οδού σύμφωνα με τους Γερμανικούς Κανονισμούς και σεβόμενοι το όριο ταχύτητας, πόσο ορίζεται το παραπάνω μήκος και ποιοι παράγοντες το επηρεάζουν.

Βασικό εργαλείο για τη διαδικασία επίλυσης του προβλήματος και την εξαγωγή αποτελεσμάτων αποτέλεσε δυναμικό μοντέλο οχήματος το οποίο αναπτύσσεται σε λογισμικό πρόγραμμα MS EXCEL (Μαυρομάτης, 2002) και βάσει του οποίου, σύμφωνα με τις εξισώσεις κίνησης που περιεγράφηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια δίνεται ως αποτέλεσμα,

η ταχύτητα του οχήματος ανά μονάδα μήκους, η οποία επιλέγεται από το χρήστη του προγράμματος (στην παρούσα επιλέχθηκε το 1m).

Το όχημα που περιγράφεται στο συγκεκριμένο μοντέλο, εκτελεί επιταχυνόμενη κίνηση. Βάζοντας ως δεδομένα, την απόσταση που επιλέγουμε να διανύσει το όχημα, την κατά μήκος κλίση της οδού, το συντελεστή τριβής του οδοστρώματος, την αρχική ταχύτητα του οχήματος και την υποδύναμη του, δίνεται ως αποτέλεσμα η ταχύτητα που αναπτύσσει το όχημα ανά μέτρο, η επιτάχυνση του και τι ποσοστό (η) της υποδύναμης του εκμεταλλεύεται.

Να σημειωθεί ότι το παραπάνω δυναμικό μοντέλο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή πολλών ακόμα συμπερασμάτων και δοκιμών με διάφορα αντικείμενα μελέτης. Τα παραπάνω μεγέθη είναι αυτά στα οποία εστιάσαμε στην παρούσα διπλωματική.

Για τη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, λήφθηκε υπόψη όχημα μάζας $m = 1.300 \text{ kg}$ και μήκους μεταξονίου $L = 2,65 \text{ m}$. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως τα δυναμικά χαρακτηριστικά του οχήματος που εισήχθησαν στο παραπάνω πρόγραμμα δεν αναφέρονται γενικά σε υπαρκτό όχημα αλλά αντιπροσωπεύουν ένα ευρύ φάσμα πρότυπων χαρακτηριστικών.

Στο παραπάνω μοντέλο, αναπτύχθηκε αλγόριθμος, ο οποίος εστιάζει στον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους Ορατότητας για Προσπέραση και η χρήση του οποίου περιγράφεται παρακάτω.

3.2.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ

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

Ο αλγόριθμος υλοποιήθηκε με τη χρήση του MS EXCEL και της Visual Basic (VBA). Βασίζεται στον υπολογισμό της απόστασης που διανύουν τα οχήματα που μετέχουν στον ελιγμό προσπέρασης στο ίδιο χρονικό διάστημα. Εισάγονται ως δεδομένα οι αρχικές ταχύτητες των οχημάτων, οι μεταξύ τους αποστάσεις, και το όριο ταχύτητας της οδού.

Ο αλγόριθμος βασίζεται στην παραδοχή ότι το όχημα που προσπερνά εκτελεί επιταχυνόμενη κίνηση ενώ, το προπορευόμενο και το αντίθετα κινούμενο όχημα απλή ευθύγραμμη κίνηση.

Βάσει των εξισώσεων της Φυσικής, που αφορούν τις παραπάνω κινήσεις ο στοιχειώδης χρόνος που απαιτείται προκειμένου το όχημα να επιταχύνει από ταχύτητα V_0 σε ταχύτητα V_0+dV , ορίζεται από τη Σχέση (3.1)

$$dt = \frac{dV}{a} \quad (3.1)$$

όπου:

dt : στοιχειώδης χρόνος κίνησης (sec)

dV : διαφορά ταχύτητας του οχήματος στο χρόνο dt (m/sec)

a : επιτάχυνση του οχήματος στο στοιχειώδη χρόνο dt (m/sec²)

Επισημαίνεται ότι η επιτάχυνση a , η οποία μεταβάλλεται, προσδιορίζεται με βάση παραμέτρους από το όχημα, την οδό και την τριβή μεταξύ οχήματος – οδού μέσω σχετικού λογισμικού.

Οι παραπάνω σχετικοί χρόνοι αθροίζονται και προκύπτει ο συνολικός χρόνος κίνησης (t_{total}).

Ελήφθη $dt=0.1\text{sec}$

Η εξίσωση κίνησης των οχημάτων που κινούνται με σταθερή ταχύτητα, περιγράφεται από τη Σχέση 3.3. (απλή ευθύγραμμη κίνηση)

$$x = V * t \quad (3.3)$$

όπου:

x : απόσταση που διανύει το όχημα σε χρόνο t (m)

V : ταχύτητα κίνησης του οχήματος (m/sec)

t : χρόνος κίνησης (sec)

Στόχος του αλγορίθμου είναι να προσδιοριστούν οι αποστάσεις που διανύουν το προπορευόμενο και το αντίθετα κινούμενο όχημα, στο χρόνο κίνησης του οχήματος που προσπερνά. Αφού ορισθούν οι παραπάνω αποστάσεις γίνονται οι κατάλληλοι έλεγχοι έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν το όχημα που προσπερνά, έχει καταφέρει να ολοκληρώσει η όχι τον ελιγμό προσπέρασης. Στα πλαίσια του παραπάνω ελέγχου έγιναν οι παραδοχές που

περιεγράφηκαν στο Κεφάλαιο 3.1. Σε συνδυασμό του εν λόγω αλγορίθμου και του δυναμικού μοντέλου οχήματος, διεξάχθηκαν **162 δοκιμές**, με διαφορετικούς συνδυασμούς, ίππων, ταχυτήτων, κατά μήκος κλίσεων οδού και συντελεστή τριβής, με σκοπό τον προσδιορισμό του απαιτούμενου Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση.

3.2.2. ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΔΟΚΙΜΩΝ

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, διεξάχθηκαν 162 δοκιμές, χρησιμοποιώντας το δυναμικό μοντέλο και τον αλγόριθμο που δημιουργήθηκε για τον προσδιορισμό του απαιτούμενου Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση. Οι δοκιμές διεξάχθηκαν για οδούς κλάσης EKL2 και EKL3 των Γερμανικών Κανονισμών (RAL 2012) και με τις αντίστοιχες ταχύτητες σχεδιασμού της κάθε κλάσης.

3.2.2.1 ΟΔΟΙ ΚΛΑΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ EKL2

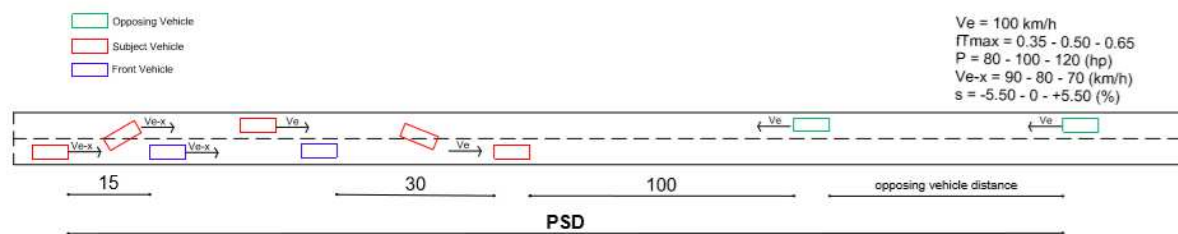
Οδοί κλάσης μελέτης EKL2 είναι οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας με διατομή RQ 11,5+, στις οποίες κατασκευάζονται κατά τμήματα λωρίδες προσπέρασης και για τις δύο κατευθύνσεις. (τα χαρακτηριστικά τους αναφέρονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2.4.1). Υπάρχουν περιπτώσεις που οι δύο λωρίδες χωρίζονται με διπλή διακεκομμένη γραμμή, οπότε επιτρέπεται η προσπέραση με χρήση της αντίθετης λωρίδας. Επειδή χρησιμοποιούνται σε οδικά δίκτυα όπου διανύονται μεγάλες αποστάσεις, συνίσταται ταχύτητα μελέτης 100 km/h.

Για τη συγκεκριμένη κλάση εξετάστηκαν **81** διαφορετικά σενάρια, τα οποία περιλαμβάνουν τις εξής παραδοχές.

- Για το συντελεστή τριβής ελήφθησαν υπόψη οι τιμές 0,35, 0,50 και 0,65.
- Επιτρεπόμενες κατά μήκος κλίσεις της οδού είναι αυτές που ορίζουν οι κανονισμοί. Επομένως για τη συγκεκριμένη κλάση εξετάστηκαν η μηδενική, η μέγιστη και ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση (+5,50 % και -5,50 % αντίστοιχα).
- Για τις ταχύτητες του προπορευόμενου και του οχήματος που προσπερνά (Ve-x), εξετάστηκαν τα σενάρια της διαφοράς -10, -20 και -30 km/h από την ταχύτητα σχεδιασμού. Να σημειωθεί, ότι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το προπορευόμενο όχημα εκτελεί απλή ευθύγραμμη κίνηση με **σταθερή** την ταχύτητα που εξετάζεται στο κάθε σενάριο και το όχημα που προσπερνά εκτελεί επιταχυνόμενη κίνηση με **αρχική** την ταχύτητα που εξετάζεται στο κάθε σενάριο.

- Το αντίθετα κινούμενο όχημα κινείται με **σταθερή** ταχύτητα, την ταχύτητα σχεδιασμού 100 km/h.
- Όταν η ταχύτητα του οχήματος που προσπερνά κατά τη διάρκεια της επιταχυνόμενης κίνησης του φτάσει τα 100 km/h, δεν αυξάνει άλλο ταχύτητα και εκτελεί απλή ευθύγραμμη κίνηση με **σταθερή** ταχύτητα στα 100 km/h.
- Όσον αφορά τους ίππους εξετάσθηκαν οχήματα με 80, 100 και 120 ίππους.

Σχηματικά τα παραπάνω σενάρια φαίνονται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2. Σχηματική παράσταση της διαδικασίας προσπέρασης για οδούς κλάσης ΕΚΛ2.

Η διεξαγωγή των δοκιμών γίνεται σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση με το δυναμικό μοντέλο προσδιορίζεται η ταχύτητα που αναπτύσσει το όχημα που προσπερνά (subject vehicle) για να διανύσει μία απόσταση επιλεγόμενη από το χρήστη. Η ταχύτητα αυτή του οχήματος εξαρτάται από το συντελεστή τριβής, την κατά μήκος κλίση, τους ίππους και την αρχική του ταχύτητα. Να σημειωθεί εδώ πως οι παραπάνω παράγοντες δεν επηρεάζουν τα άλλα οχήματα καθώς έχει γίνει η παραδοχή ότι εκτελούν απλή ευθύγραμμη κίνηση (επιτάχυνση μηδέν). Στη δεύτερη φάση και με χρήση του αλγόριθμου που δημιουργήθηκε για την παρούσα διπλωματική, αρχικά υπολογίζεται ο χρόνος κίνησης του οχήματος που προσπερνά, για την απόσταση που επιλέχθηκε και υπολογίζεται η αντίστοιχη απόσταση την οποία έχει διανύσει το προπορευόμενο όχημα και το αντίθετα κινούμενο στον παραπάνω χρόνο κίνησης. Τέλος γίνεται έλεγχος, αν η απόσταση που έχει διανύσει το όχημα που προσπερνά είναι μεγαλύτερη κατά 30 m (παραδοχή για την απόσταση h_3 , όπως αναφέρθηκε παραπάνω). Αν ο παραπάνω έλεγχος είναι αληθής, τότε θεωρούμε πως η προσπέραση έχει πραγματοποιηθεί με ασφάλεια και το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση

υπολογίζεται ως το άθροισμα της απόστασης που έχει διανύσει το όχημα που προσπερνά, τη στιγμή επαλήθευσης του παραπάνω ελέγχου, της απόστασης ασφαλείας και της απόστασης που έχει διανύσει μέχρι εκείνη τη χρονική στιγμή το αντίθετα κινούμενο όχημα, όπως αυτή υπολογίσθηκε σύμφωνα με τις εξισώσεις της απλής ευθύγραμμης κίνησης. Στους παρακάτω Πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω δοκιμές. Επισημαίνεται ότι x είναι η εκάστοτε διαφορά από την ταχύτητα σχεδιασμού (10, 20, 30 km/h).

Πίνακας 3.1. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL2 και συντελεστή τριβής $fT_{max} = 0.35$

PSD (m)	s(%)	fTmax	P (hp)	Ve - x (km/h)
1040,06	-5,5	0,35	80	90
621,78	-5,5	0,35	80	80
497,06	-5,5	0,35	80	70
1042,12	-5,5	0,35	100	90
621,86	-5,5	0,35	100	80
499,17	-5,5	0,35	100	70
1046,35	-5,5	0,35	120	90
624,11	-5,5	0,35	120	80
499,45	-5,5	0,35	120	70
1054,86	0	0,35	80	90
646,62	0	0,35	80	80
531,12	0	0,35	80	70
1056,90	0	0,35	100	90
646,69	0	0,35	100	80
533,22	0	0,35	100	70
1061,21	0	0,35	120	90
651,03	0	0,35	120	80
533,21	0	0,35	120	70
1090,68	5,5	0,35	80	90
702,75	5,5	0,35	80	80
603,86	5,5	0,35	80	70
1088,60	5,5	0,35	100	90
700,70	5,5	0,35	100	80
603,58	5,5	0,35	100	70
1097,09	5,5	0,35	120	90
705,11	5,5	0,35	120	80
606,02	5,5	0,35	120	70

Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τιμή συντελεστή τριβής 0,35 (υγρό οδόστρωμα) και για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και ίππων.

Πίνακας 3.2. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL2 και συντελεστή τριβής $fT_{max} = 0.50$

PSD (m)	s(%)	fT _{max}	P (hp)	Ve - x (km/h)
1040,06	-5,5	0,5	80	90
617,48	-5,5	0,5	80	80
487,38	-5,5	0,5	80	70
1033,69	-5,5	0,5	100	90
606,13	-5,5	0,5	100	80
475,09	-5,5	0,5	100	70
1029,50	-5,5	0,5	120	90
601,67	-5,5	0,5	120	80
472,61	-5,5	0,5	120	70
1054,86	0	0,5	80	90
642,08	0	0,5	80	80
516,2	0	0,5	80	70
1042,19	0	0,5	100	90
621,77	0	0,5	100	80
494,50	0	0,5	100	70
1035,89	0	0,5	120	90
617,28	0	0,5	120	80
492,04	0	0,5	120	70
1090,68	5,5	0,5	80	90
691,51	5,5	0,5	80	80
569,57	5,5	0,5	80	70
1059,10	5,5	0,5	100	90
646,61	5,5	0,5	100	80
526,12	5,5	0,5	100	70
1048,53	5,5	0,5	120	90
637,69	5,5	0,5	120	80
521,23	5,5	0,5	120	70

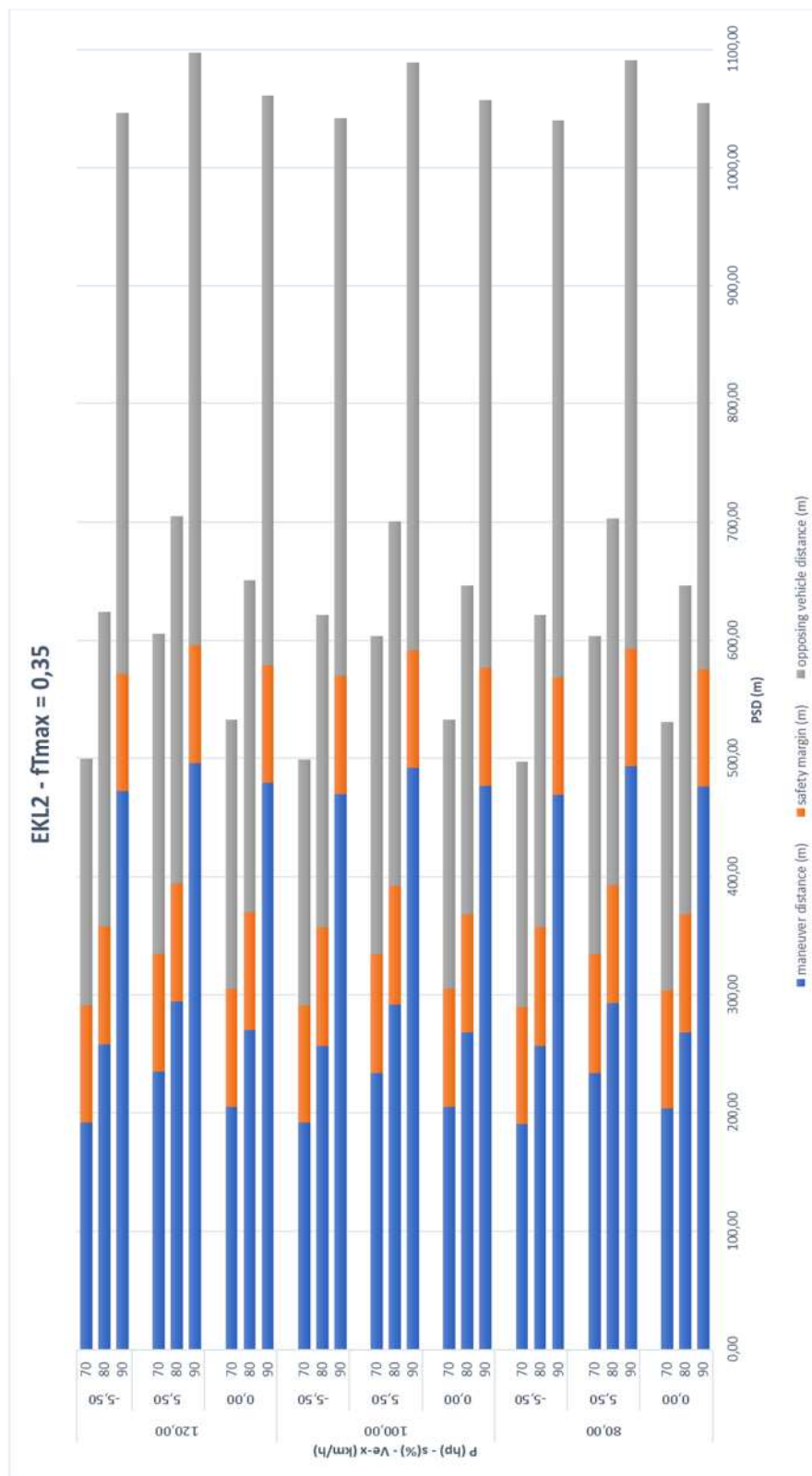
Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τιμή συντελεστή τριβής 0,50 και για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και ίππων.

Πίνακας 3.3. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL2 και συντελεστή τριβής $fT_{max} = 0.65$

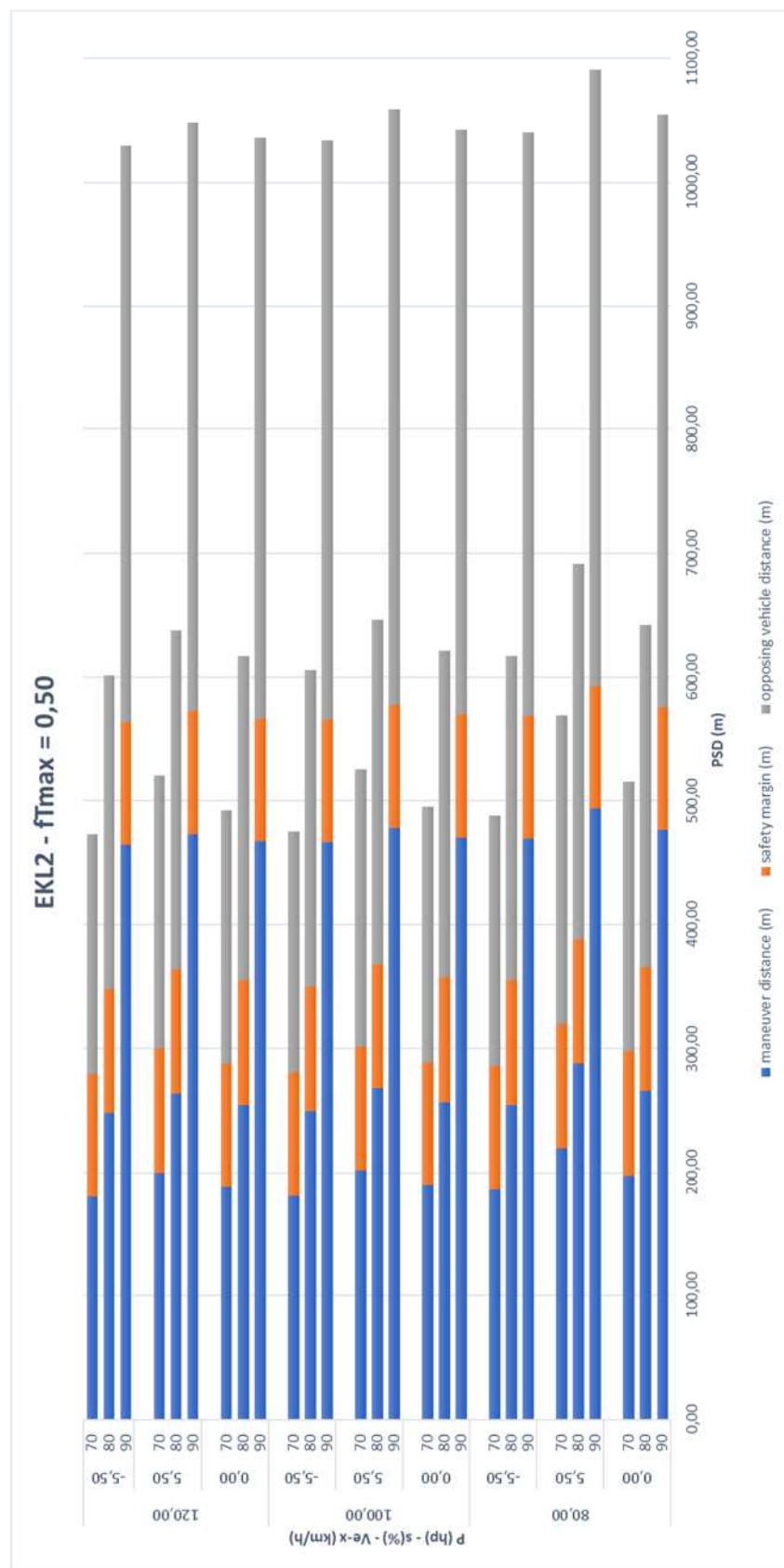
PSD (m)	s(%)	fT _{max}	P (hp)	Ve - x (km/h)
1040,06	-5,5	0,65	80	90
617,48	-5,5	0,65	80	80
487,38	-5,5	0,65	80	70
1033,69	-5,5	0,65	100	90
606,12	-5,5	0,65	100	80
472,59	-5,5	0,65	100	70
1027,43	-5,5	0,65	120	90
597,19	-5,5	0,65	120	80
462,93	-5,5	0,65	120	70
1054,86	0	0,65	80	90
642,08	0	0,65	80	80
516,2	0	0,65	80	70
1042,19	0	0,65	100	90
621,75	0	0,65	100	80
489,63	0	0,65	100	70
1033,77	0	0,65	120	90
608,30	0	0,65	120	80
475,12	0	0,65	120	70
1090,68	5,5	0,65	80	90
691,51	5,5	0,65	80	80
569,57	5,5	0,65	80	70
1059,10	5,5	0,65	100	90
646,58	5,5	0,65	100	80
518,66	5,5	0,65	100	70
1044,32	5,5	0,65	120	90
624,04	5,5	0,65	120	80
494,44	5,5	0,65	120	70

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τιμή συντελεστή τριβής 0,50 και για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και ίππων.

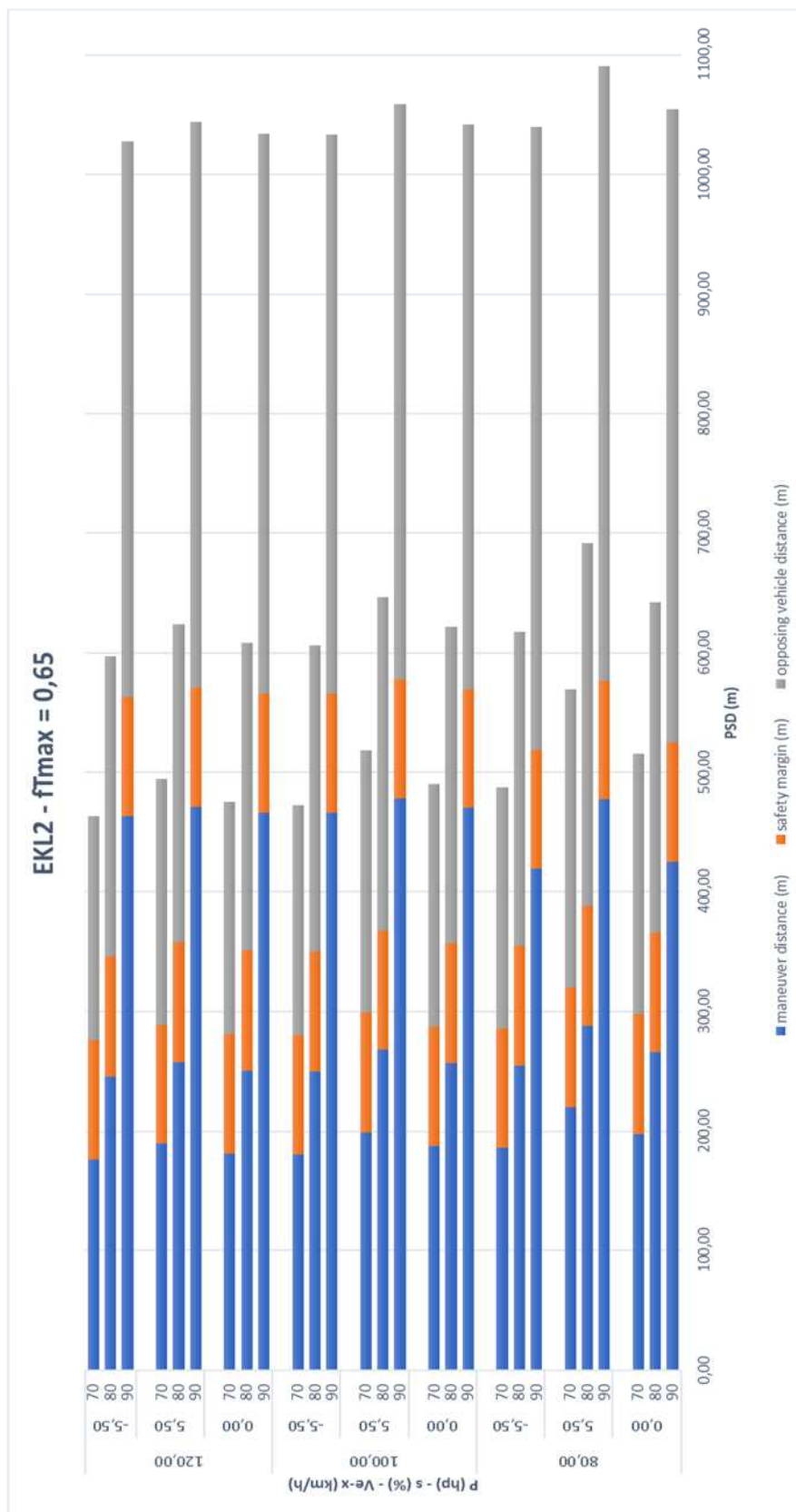
Τα παραπάνω αποτελέσματα οργανώθηκαν σε κατάλληλα γραφήματα και παρουσιάζονται στα παρακάτω Σχήματα. Στα γραφήματα γίνεται διαχωρισμός των επιμέρους μηκών που ορίζουν το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση. Το πρώτο τμήμα του κάθε γραφήματος αποτελεί το μήκος που διανύει το όχημα που προσπερνά στην αριστερή λωρίδα (μήκος ελιγμού ή *maneuver distance*), το δεύτερο την απόσταση ασφαλείας (*safety margin*) και το τρίτο την απόσταση που διανύει το αντίθετα κινούμενο όχημα στο αντίστοιχο χρόνο που απαιτείται για να ολοκληρώσει το όχημα που προσπερνά τον ελιγμό προσπέρασης (*opposing vehicle distance*).



Σχήμα 3.3. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 $fT_{max} = 0.35$



Σχήμα 3.4. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και $fT_{max} = 0.50$



Σχήμα 3.5. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και $fT_{max} = 0.65$

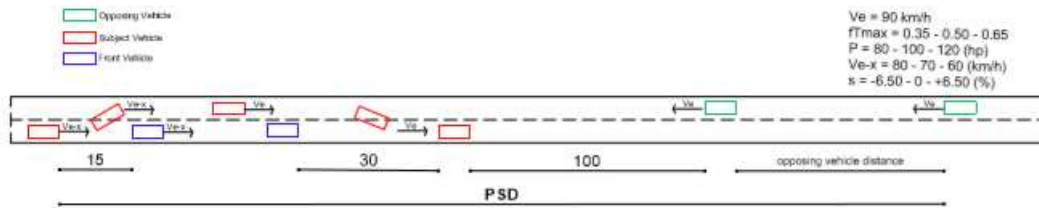
3.2.2.2 ΟΔΟΙ ΚΛΑΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΕΚΛ3

Οδοί κλάσης μελέτης ΕΚΛ3 είναι οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας με διατομή RQ 11. Οι λωρίδες κυκλοφορίας διαχωρίζονται μέσω οριζόντιας διαχωριστικής σήμανσης κατευθύνσεων, όπου επιτρέπεται η προσπέραση, εάν το επιτρέπουν τα γεωμετρικά και κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά κάθε φορά (τα χαρακτηριστικά τους αναφέρονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2.4.1). Λόγω της χρήσης τους σε οδικά δίκτυα που διανύονται μεσαίες αποστάσεις, συνίσταται ταχύτητα μελέτης 90 km/h.

Για τη συγκεκριμένη κλάση εξετάσθηκαν επίσης 81 διαφορετικά σενάρια, τα οποία περιλαμβάνουν τις εξής παραδοχές.

- Για το συντελεστή τριβής ελήφθησαν υπόψη οι τιμές 0,35, 0,50 και 0,65.
- Επιτρεπόμενες κατά μήκος κλίσεις τις οδού είναι αυτές που ορίζουν οι κανονισμοί. Επομένως για τη συγκεκριμένη κλάση εξετάστηκαν η μηδενική, η μέγιστη και ελάχιστη επιτρεπόμενη κλίση (+6,50 % και -6,50 % αντίστοιχα).
- Για τις ταχύτητες του προπορευόμενου και του οχήματος που προσπερνά (Ve-x), εξετάσθηκαν τα σενάρια της διαφοράς -10, -20 και -30 km/h από την ταχύτητα σχεδιασμού. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το προπορευόμενο όχημα εκτελεί απλή ευθύγραμμη κίνηση με **σταθερή** την ταχύτητα που εξετάζεται στο κάθε σενάριο και το όχημα που προσπερνά εκτελεί επιταχυνόμενη κίνηση με **αρχική** την ταχύτητα που εξετάζεται στο κάθε σενάριο.
- Το αντίθετα κινούμενο όχημα κινείται με **σταθερή** ταχύτητα, την ταχύτητα σχεδιασμού 90 km/h.
- Όταν η ταχύτητα του οχήματος που προσπερνά κατά τη διάρκεια της επιταχυνόμενης κίνησης του φτάσει τα 90 km/h, δεν αυξάνει άλλο ταχύτητα και εκτελεί απλή ευθύγραμμη κίνηση με **σταθερή** ταχύτητα στα 90 km/h.
- Όσον αφορά τους ίππους εξετάσθηκαν οχήματα με 80, 100 και 120 ίππους.

Σχηματικά τα παραπάνω σενάρια φαίνονται στο Σχήμα 3.6. Η διεξαγωγή των δοκιμών γίνεται σε δύο φάσεις, όπως αυτές περιεγράφηκαν παραπάνω.



Σχήμα 3.6. Σχηματική παράσταση της διαδικασίας προσπέρασης για οδούς κλάσης EKL3.

Στους παρακάτω Πίνακες φαίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις παραπάνω δοκιμές.

Πίνακας 3.4. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL3 και συντελεστή τριβής $fT_{max} = 0.35$

PSD (m)	s(%)	fTmax	P (hp)	Ve - x (km/h)
941,86	-6,5	0,35	80	80
563,21	-6,5	0,35	80	70
449,94	-6,5	0,35	80	60
946,39	-6,5	0,35	100	80
565,48	-6,5	0,35	100	70
452,24	-6,5	0,35	100	60
950,33	-6,5	0,35	120	80
567,74	-6,5	0,35	120	70
454,55	-6,5	0,35	120	60
956,64	0	0,35	80	80
588,18	0	0,35	80	70
482,38	0	0,35	80	60
952,49	0	0,35	100	80
590,55	0	0,35	100	70
484,8	0	0,35	100	60
967,31	0	0,35	120	80
592,9	0	0,35	120	70
487,2	0	0,35	120	60
988,55	6,5	0,35	80	80
645,30	6,5	0,35	80	70
559,56	6,5	0,35	80	60
999,13	6,5	0,35	100	80
647,66	6,5	0,35	100	70
559,60	6,5	0,35	100	60
1007,70	6,5	0,35	120	80
647,66	6,5	0,35	120	70
562,41	6,5	0,35	120	60

Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τιμή συντελεστή τριβής 0,35 και για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και ίππων.

Πίνακας 3.5. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL3 και συντελεστή τριβής $fT_{max} = 0.50$

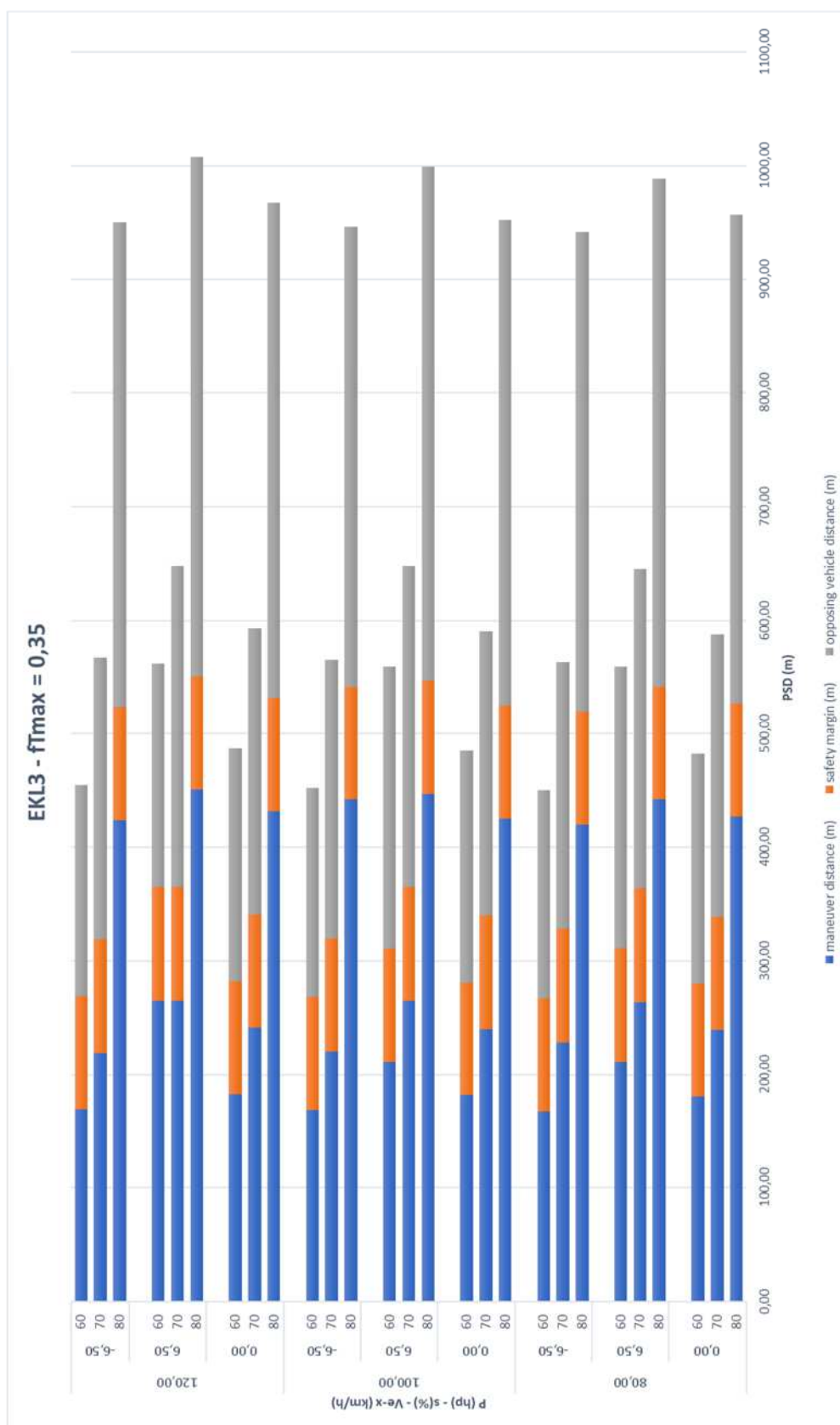
PSD (m)	s(%)	fT _{max}	P (hp)	Ve - x (km/h)
939,75	-6,5	0,5	80	80
556,32	-6,5	0,5	80	70
437,09	-6,5	0,5	80	60
935,45	-6,5	0,5	100	80
549,41	-6,5	0,5	100	70
432,11	-6,5	0,5	100	60
935,46	-6,5	0,5	120	80
551,65	-6,5	0,5	120	70
429,86	-6,5	0,5	120	60
952,42	0	0,5	80	80
574,50	0	0,5	80	70
457,2	0	0,5	80	60
943,88	0	0,5	100	80
563,09	0	0,5	100	70
449,75	0	0,5	100	60
943,97	0	0,5	120	80
563,27	0	0,5	120	70
449,9	0	0,5	120	60
977,94	6,5	0,5	80	80
611,02	6,5	0,5	80	70
497,17	6,5	0,5	80	60
956,64	6,5	0,5	100	80
583,80	6,5	0,5	100	70
479,99	6,5	0,5	100	60
958,78	6,5	0,5	120	80
588,19	6,5	0,5	120	70
482,17	6,5	0,5	120	60

Στον Πίνακα 3.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τιμή συντελεστή τριβής 0,50 και για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και ίππων.

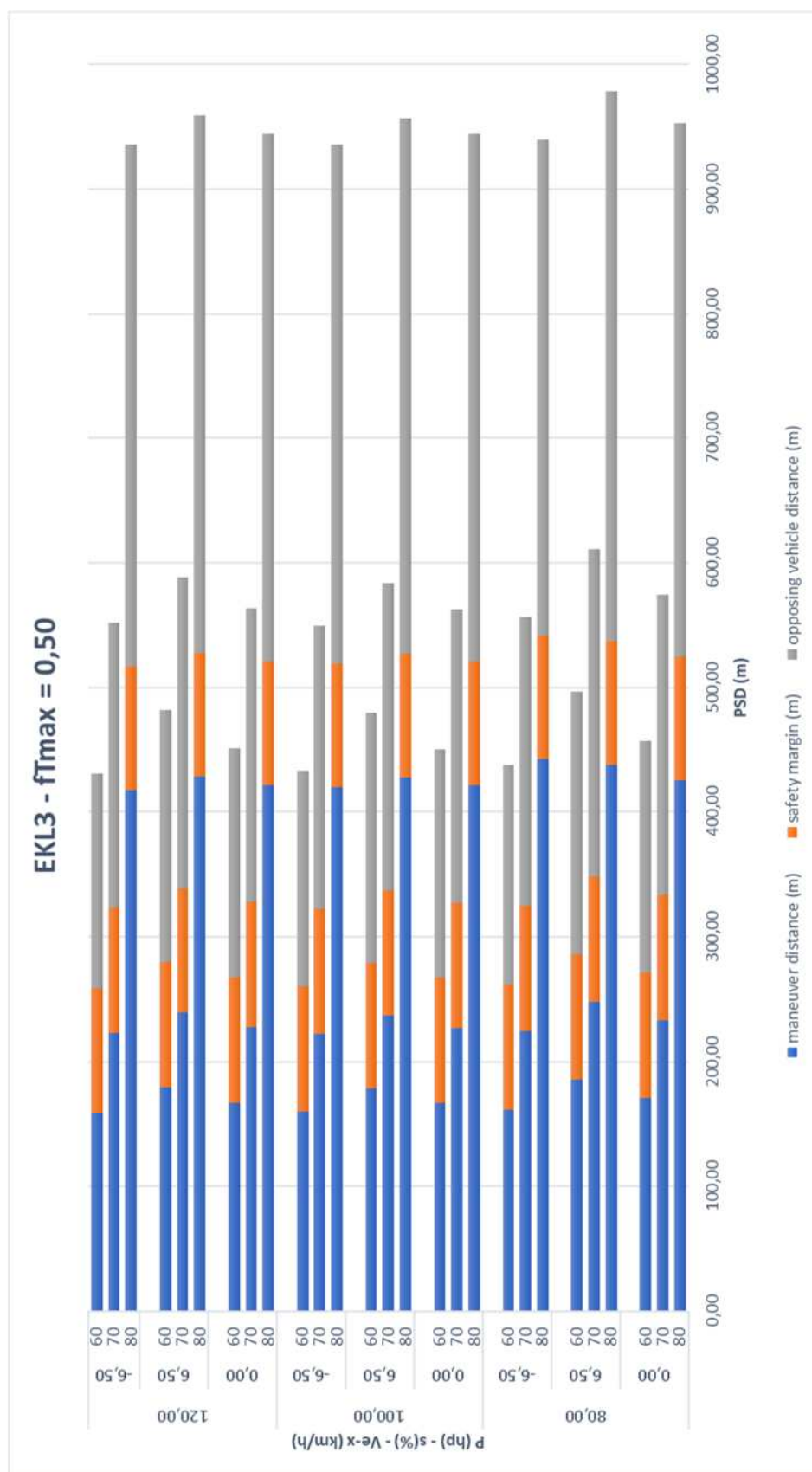
Πίνακας 3.6. Αποτελέσματα δοκιμών για κλάση οδού EKL3 και συντελεστή τριβής $fT_{max} = 0.65$

PSD (m)	s(%)	fT _{max}	P (hp)	Ve - x (km/h)
939,75	-6,5	0,65	80	80
556,32	-6,5	0,65	80	70
434,95	-6,5	0,65	80	60
931,24	-6,5	0,65	100	80
547,15	-6,5	0,65	100	70
424,8	-6,5	0,65	100	60
931,24	-6,5	0,65	120	80
542,61	-6,5	0,65	120	70
422,14	-6,5	0,65	120	60
952,42	0	0,65	80	80
574,50	0	0,65	80	70
454,97	0	0,65	80	60
943,88	0	0,65	100	80
558,62	0	0,65	100	70
437,44	0	0,65	100	60
937,54	0	0,65	120	80
551,66	0	0,65	120	70
432,39	0	0,65	120	60
977,94	6,5	0,65	80	80
611,02	6,5	0,65	80	70
494,74	6,5	0,65	80	60
956,67	6,5	0,65	100	80
579,05	6,5	0,65	100	70
459,82	6,5	0,65	100	60
946,02	6,5	0,65	120	80
565,33	6,5	0,65	120	70
449,94	6,5	0,65	120	60

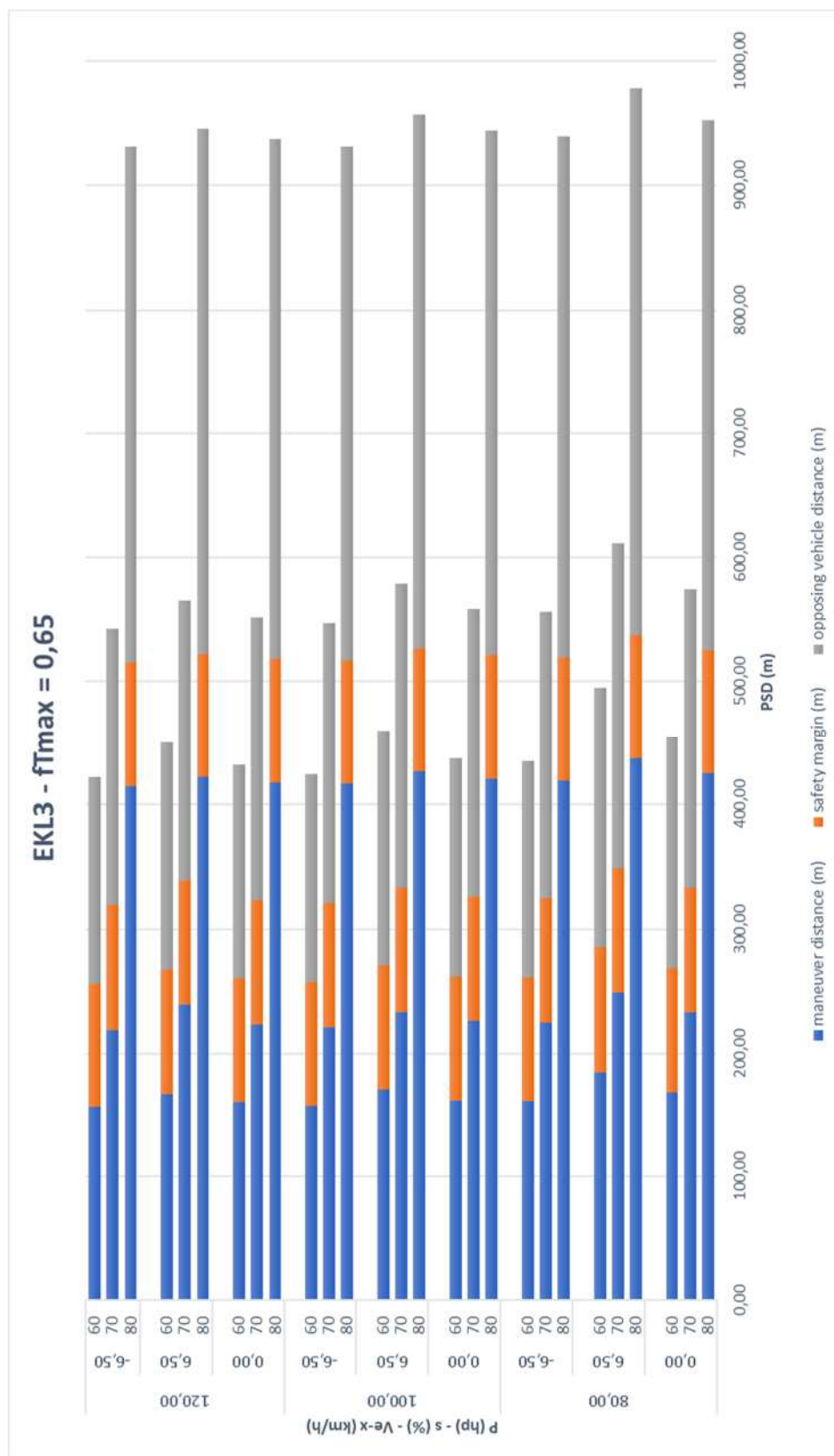
Στον Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τιμή συντελεστή τριβής 0,50 και για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και ίππων. Τα παραπάνω αποτελέσματα οργανώθηκαν σε κατάλληλα γραφήματα όπου γίνεται διαχωρισμός των επιμέρους μηκών που ορίζουν το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση και παρουσιάζονται στα παρακάτω Σχήματα.



Σχήμα 3.7. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και ιπποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και $fT_{max} = 0.35$



Σχήμα 3.8. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και $fT_{max} = 0.50$



Σχήμα 3.9. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό κατά μήκος κλίσης, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και $fT_{max} = 0.65$

3.3. ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟ ΜΗΚΟΣ ΟΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ

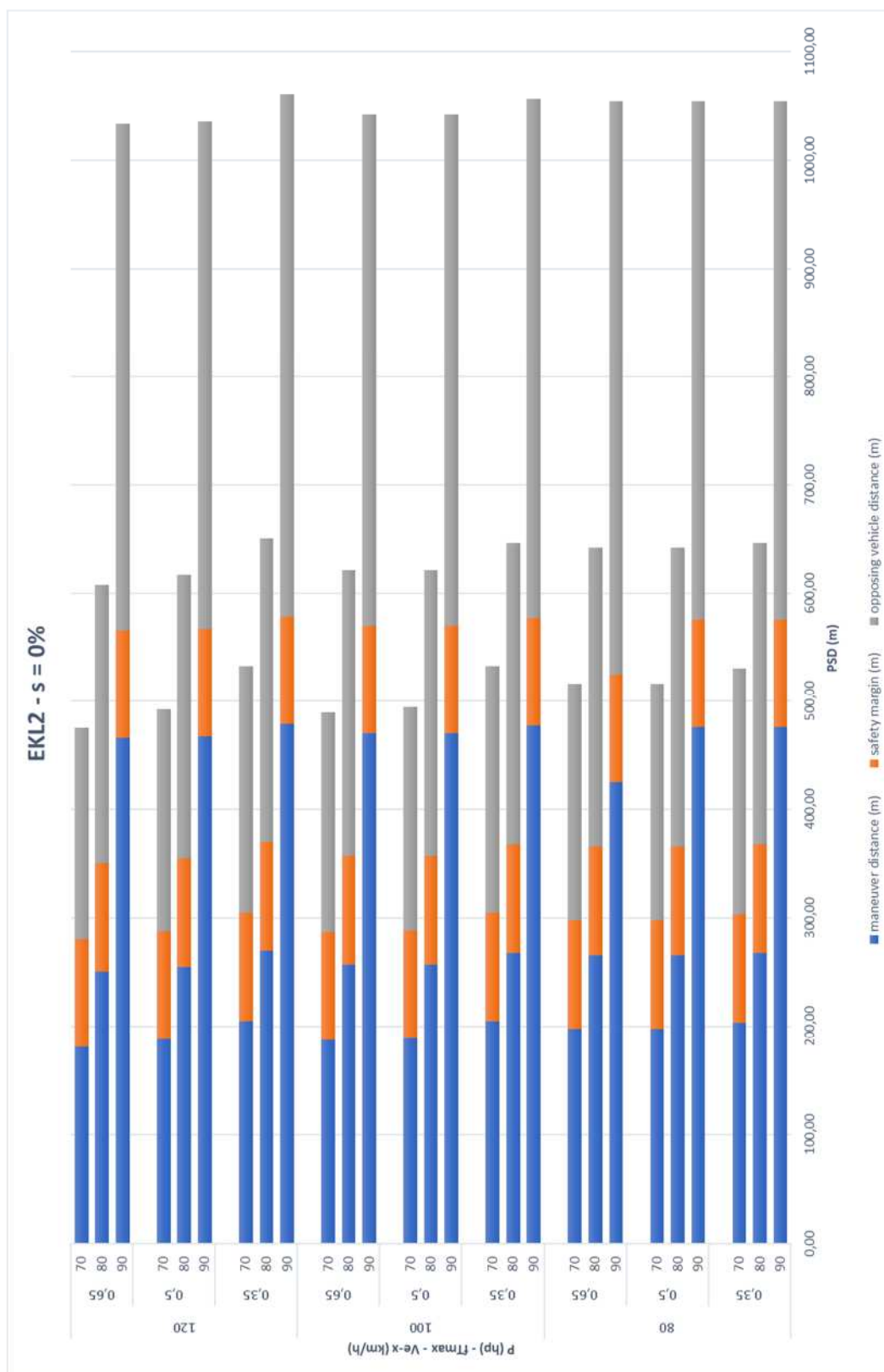
3.3.1. ΤΑΧΥΤΗΤΑ

Τα σενάρια που εξετάσθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, περιλαμβάνουν τρεις κατηγορίες ταχύτητας, όσον αφορά την κίνηση του οχήματος που προσπερνά και του προπορευόμενου οχήματος (το αντίθετα κινούμενο θεωρούμε ότι κινείται με την ταχύτητα σχεδιασμού). Εξετάσθηκαν λοιπόν σενάρια στα οποία το όχημα που προσπερνά και το προπορευόμενο όχημα στην αρχή της διαδικασίας προσπέρασης κινούνται με ίσες ταχύτητες μικρότερες κατά 10, 20 και 30 km/h από την ταχύτητα σχεδιασμού.

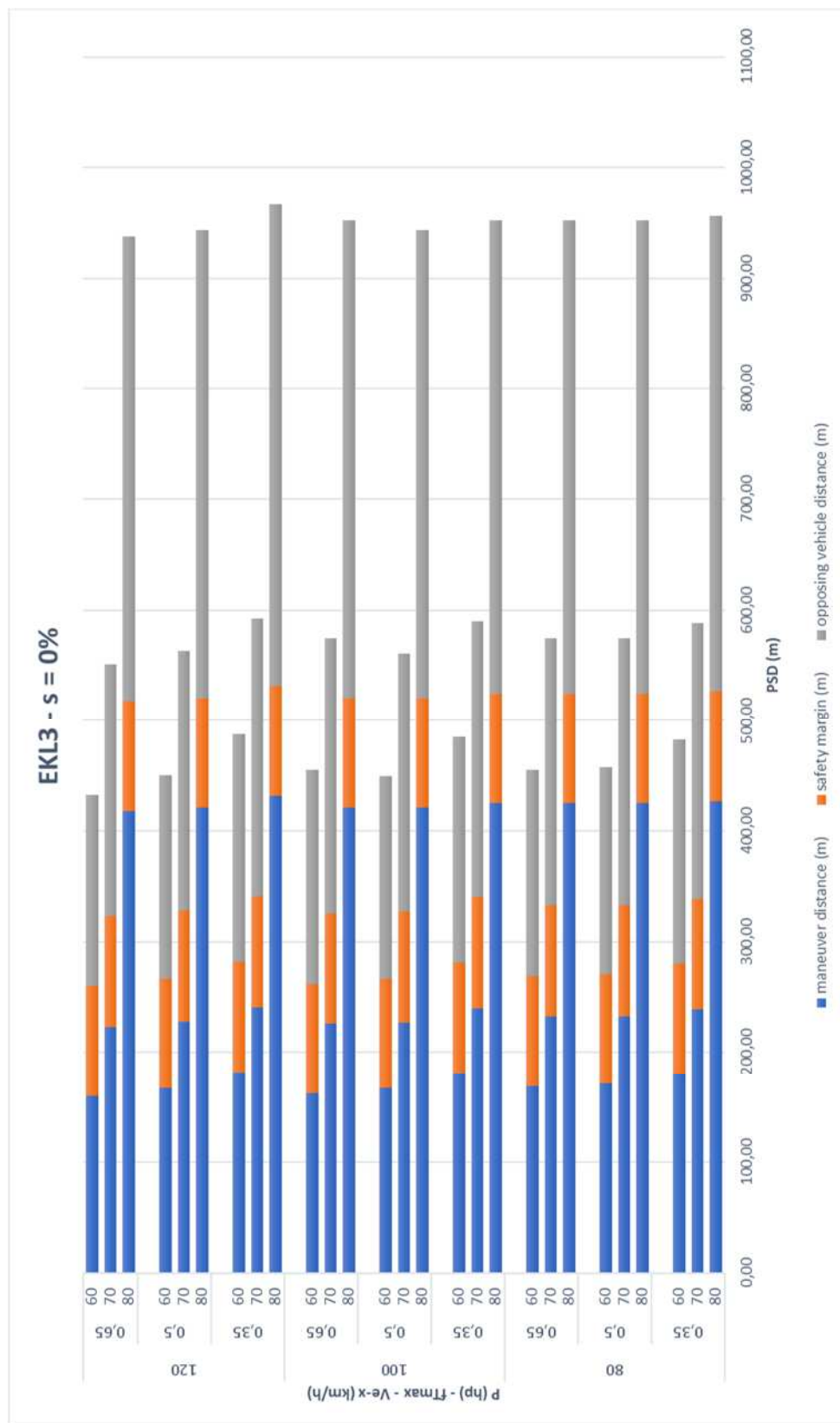
Τα αποτελέσματα έδειξαν πως σε ταχύτητες μικρότερες κατά 10 km/h από την ταχύτητα σχεδιασμού προκύπτουν πολύ μεγάλα μήκη προσπέρασης. Αυτό συμβαίνει γιατί το όχημα που προσπερνά φτάνει πολύ γρήγορα στο όριο ταχύτητας, σταθεροποιεί την ταχύτητα του, και δεν επιταχύνει άλλο, οπότε χρειάζεται μεγαλύτερο μήκος για να φτάσει και να προσπεράσει το προπορευόμενο όχημα, το οποίο κινείται και αυτό με πολύ μεγάλη ταχύτητα. Σε ταχύτητες μικρότερες κατά 20 και 30 km/h το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση προκύπτει μικρότερο από αυτό που ορίζουν οι κανονισμοί.

Σε όλους τους κανονισμούς, αλλά και στις έρευνες που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 2, προέκυψε ότι για να επιτευχθεί ασφαλής προσπέραση και εντός του μήκους που ορίζεται, το προπορευόμενο με το όχημα που προσπερνά έχουν διαφορά ταχυτήτων περίπου 20 km/h στο τέλος της προσπέρασης. Επομένως σύμφωνα και με τα αποτελέσματα των δοκιμών της παρούσας διπλωματικής προκύπτει ότι δεν είναι ασφαλές να επιχειρείται προσπέραση όταν τα οχήματα κινούνται με ταχύτητες κοντά στο όριο ταχύτητας της οδού. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά ταχύτητας των δύο οχημάτων, τόσο μικρότερο προκύπτει το απαιτούμενο μήκος προσπέρασης.

Στο Σχήμα 3.10 φαίνεται η επίδραση της διαφοράς ταχύτητας, για κατά μήκος κλίση οδού 0 %, για τους συντελεστές τριβής και τους διαφορετικούς τύπους οχημάτων (ιπποδύναμης), για κλάση οδού EKL2, και στο Σχήμα 3.11 αντίστοιχα για κλάση οδού EKL3.



Σχήμα 3.10. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό συντελεστή τριβής, ταχύτητας και υποδύναμης για οδούς κλάσης EKL 2 και s= 0%

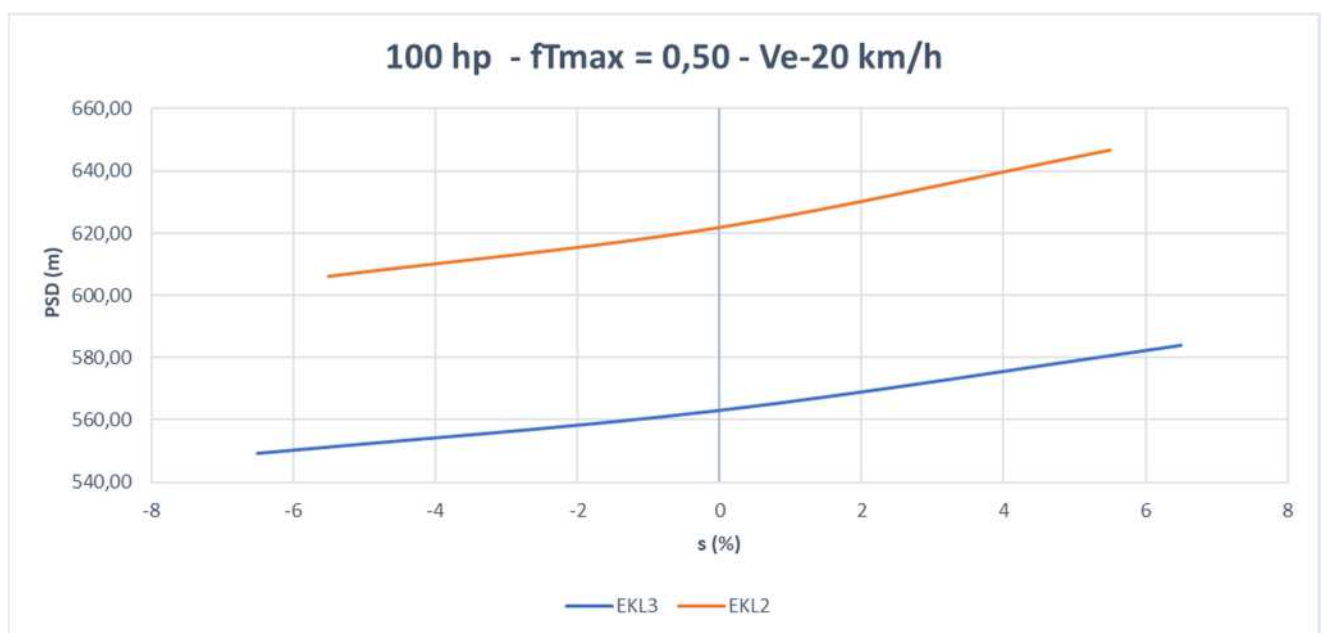


Σχήμα 3.11. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για κάθε συνδυασμό συντελεστή τριβής, ταχύτητας και ιπποδύναμης για οδούς κλάσης ΕΚΛ 3 και s= 0%

3.3.2. ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΗ

Σε κάθε κλάση οδού ορίζονται από τους Γερμανικούς Κανονισμούς οι μέγιστες και ελάχιστες επιτρεπόμενες κλίσεις $s(\%)$. Επομένως εξετάστηκαν για τις οδούς κλάσης EKL2 οι ακραίες περιπτώσεις -5,50%, +5,50% αλλά και 0% κατά μήκος κλίση, και αντίστοιχα στις οδούς κλάσης EKL3 -6,50%, + 6,50% και 0%.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις εν λόγω δοκιμές, φαίνεται πως το όχημα στην ανωφέρεια, χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να αναπτύξει μεγάλες ταχύτητες και να φτάσει το όριο ταχύτητας, επομένως χρειάζεται περισσότερο μήκος για να φτάσει και να προσπεράσει το προπορευόμενο όχημα. Το αντίθετο ισχύει για την κατωφέρεια, όπου το όχημα αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες πιο γρήγορα, οπότε χρειάζεται να διανύσει μικρότερη απόσταση για να προσπεράσει το προπορευόμενο όχημα. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι παραπάνω διαφορές δεν είναι αρκετά μεγάλες.

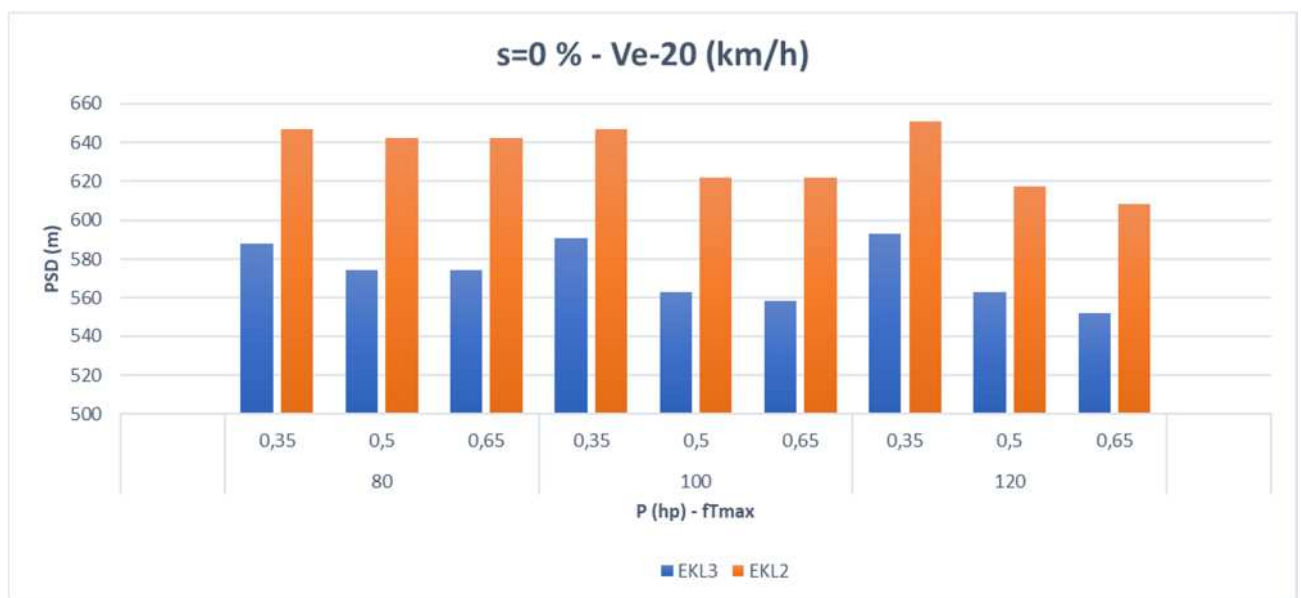


Σχήμα 3.12. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οδούς κλάσης EKL 2 και EKL 2, υποδύναμη 100 hp και $s = 0\%$

3.3.3. ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ

Όπως ήδη αναφέρθηκε προκειμένου να είναι ασφαλής η επιτάχυνση ή επιβράδυνση ενός οχήματος, μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος, απαιτείται η ανάπτυξη τριβής η οποία αναλαμβάνει τη συγκράτηση του οχήματος επί της οδού σε οποιοδήποτε σημείο της κίνησης του. Δηλαδή η απαίτηση σε τριβή πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο τροχός να μην ολισθαίνει σε κανένα σημείο της τροχιάς του.

Στην παρούσα διπλωματική εξετάσθηκαν τρεις τιμές συντελεστή τριβής 0,35, 0,50 και 0,65, με σκοπό να εξετασθούν οδοστρώματα σε υγρή και ολισθηρή (0,35) και στεγνή (0,65) κατάσταση.



Σχήμα 3.13. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οδούς κλάσης EKL 2 και EKL 2, για τις διάφορες τιμές υποδύναμης και συντελεστή τριβής, $s=0\%$ και ταχύτητα $Ve=20\text{ km/h}$.

Στο Σχήμα 3.13 φαίνεται πως σε οχήματα μικρής υποδύναμης, ο συντελεστής τριβής δεν επηρεάζει σημαντικά το μήκος ορατότητας για προσπέραση. Όταν το οδόστρωμα είναι υγρό και ολισθηρό ($fT_{max} = 0.35$) τα μήκη προέκυψαν μεγαλύτερα σε σχέση με αυτά που προκύπτουν για συντελεστή τριβής 0,50 και 0,65. Στον Πίνακα 3.7 καταγράφονται οι ταχύτητες, ανά συντελεστή τριβής και υποδύναμη οχήματος, οι οποίες προέκυψαν από αντίστοιχο λογισμικό κατά τις οποίες το όχημα εκμεταλλεύεται το 100 % της υποδύναμης του (συντελεστής εκμετάλλευσης υποδύναμης $n = 100\%$).

Πίνακας 3.7. Ταχύτητα, ανά συντελεστή τριβής και υποδύναμη, η οποία αντιστοιχεί σε $n=100\%$

fTmax	P (hp)		
	80	100	120
0,35	90,0	>100	>100
0,5	65,0	83,0	98,0
0,65	52,0	65,0	79,0

Σύμφωνα με τον Πίνακα 3.7. φαίνεται πως το όχημα, στην περίπτωση του υγρού ολισθηρού οδοστρώματος ($fT_{max} = 0,35$), εκμεταλλεύεται το 100% της υποδύναμης του όταν φτάσει και ξεπεράσει την ταχύτητα των 90 km/h στην περίπτωση των 80 ίππων και των 100 km/h στις περιπτώσεις των 100 και 120 ίππων αντίστοιχα. Στα σενάρια που εξετάστηκαν στην παρούσα εργασία, το όχημα δεν ξεπερνά το όριο ταχύτητας το οποίο ορίζεται σε οδούς κλάσης EKL2 100 km/h και σε οδούς κλάσεις EKL3 90 km/h. Επομένως στη συγκεκριμένη περίπτωση, το όχημα στις περιπτώσεις των 100 και 120 ίππων δεν εκμεταλλεύεται το 100 % της υποδύναμης του με αποτέλεσμα τα μήκη να προκύπτουν περίπου ίσα, αφού ουσιαστικά το όχημα και στις τρεις περιπτώσεις κινείται με παρόμοια εκμετάλλευση ίππων.

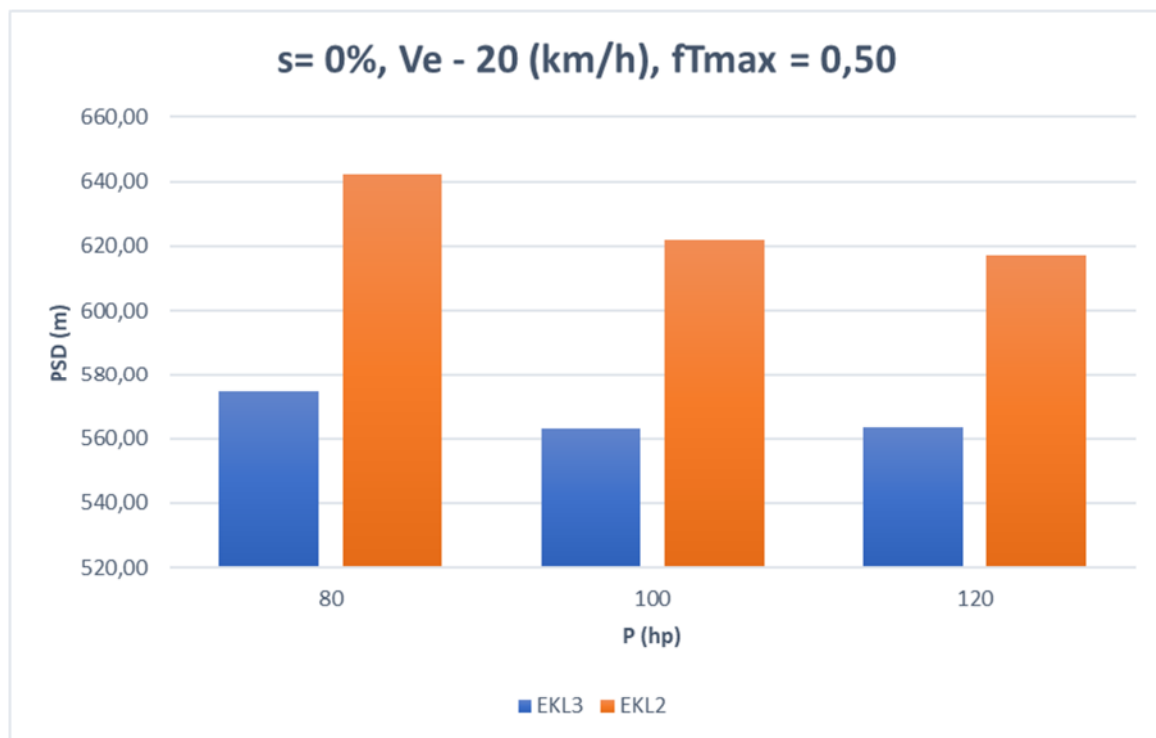
Αντίστοιχα σε περιπτώσεις συντελεστή τριβής 0,50 και σύμφωνα με τον Πίνακα 3.7. στην περίπτωση των 80 ίππων όταν φτάσει ταχύτητα 65 km/h, εκμεταλλεύεται το 100 % της υποδύναμης του, ενώ σε οχήματα ίππων 100 και 120 σε ταχύτητες 83 και 98 km/h αντίστοιχα. Επομένως το όχημα έχει το περιθώριο, να εκμεταλλευτεί μεγαλύτερα ποσοστά της υποδύναμης του, μέχρι να φτάσει το όριο ταχύτητας και να πραγματοποιήσει τον ελιγμό της προσπέρασης σε μικρότερο μήκος. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση του συντελεστή τριβής 0,65.

Στην περίπτωση των 80 ίππων το όχημα σε περιπτώσεις συντελεστή τριβής 0,50 και 0,65 εκμεταλλεύεται το 100% της υποδύναμης τους σε σχετικά κοντινές ταχύτητες, επομένως τα μήκη προσπέρασης και σε αυτή την περίπτωση προκύπτουν περίπου ίδια, αφού το όχημα διανύει περίπου ίσες αποστάσεις στον ίδιο χρόνο.

3.3.4. ΙΠΠΟΔΥΝΑΜΗ

Όσον αφορά την υποδύναμη του οχήματος, έγινε η παραδοχή ότι το όχημα μπορεί να εκμεταλλευθεί το 100% αυτής. Να σημειωθεί ότι κάτι τέτοιο στην πράξη είναι πιο δύσκολο να επιτευχθεί, καθώς ένα συμβατικό όχημα εκμεταλλεύεται περίπου το 93% της υποδύναμης του, λόγω απωλειών ενέργειας. Ωστόσο στην παρούσα έρευνα προκύπτουν ίδια αποτελέσματα αν αναχθούν όλα τα παραπάνω σε μονάδες ονομαστικής υποδύναμης.

Τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν, πως οχήματα με μεγαλύτερη υποδύναμη, επιταχύνουν πιο γρήγορα, επομένως διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις σε λιγότερο χρόνο, οπότε απαιτούνται μικρότερα μήκη ορατότητας για προσπέραση του προπορευόμενου οχήματος.



Σχήμα 3.14. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οδούς κλάσης EKL 2 και EKL 2, για τις διάφορες τιμές υποδύναμης $fT_{max} = 0.50$, $s = 0\%$ και ταχύτητα $V_e = 20 \text{ km/h}$.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

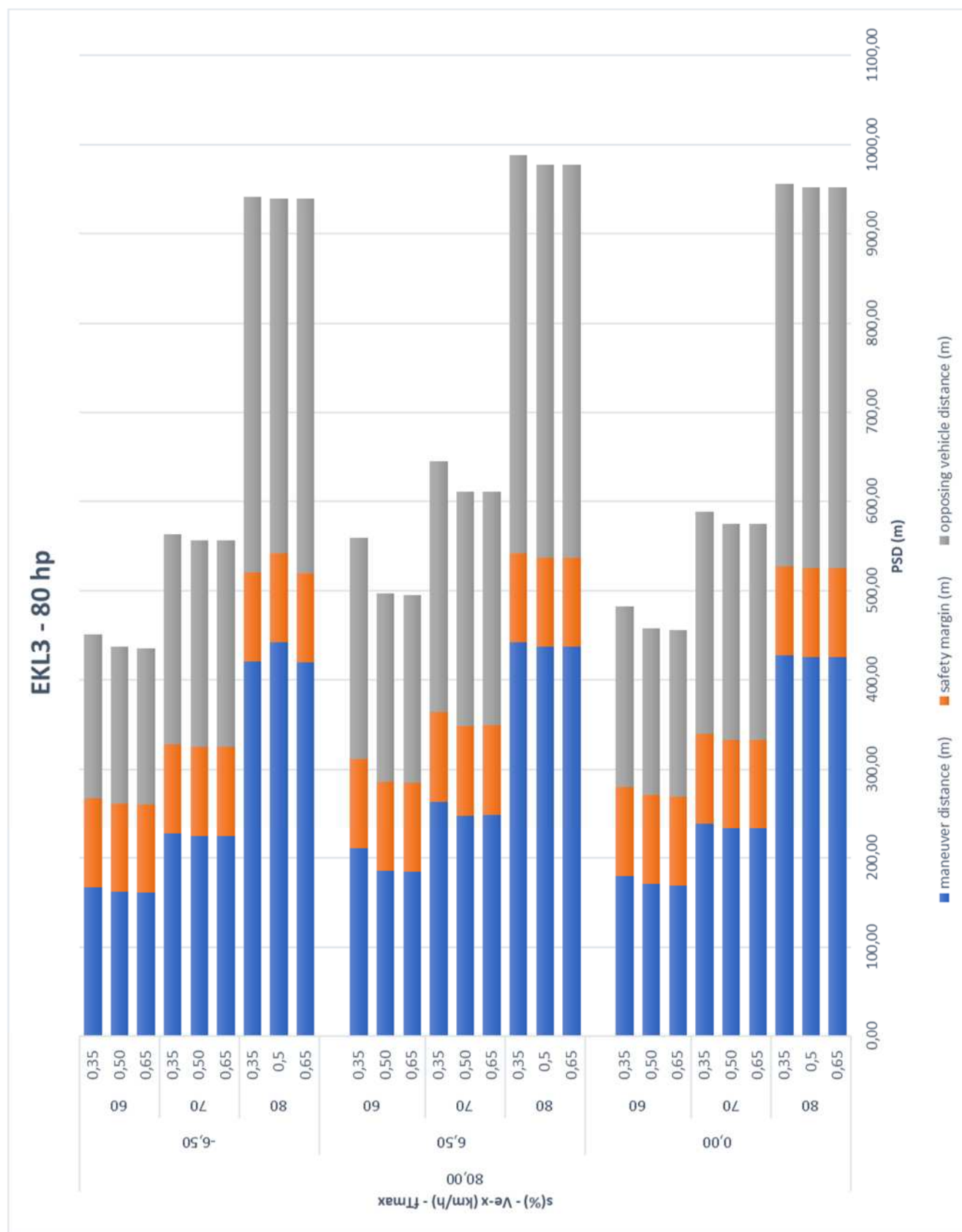
4.1. ΓΕΝΙΚΑ

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

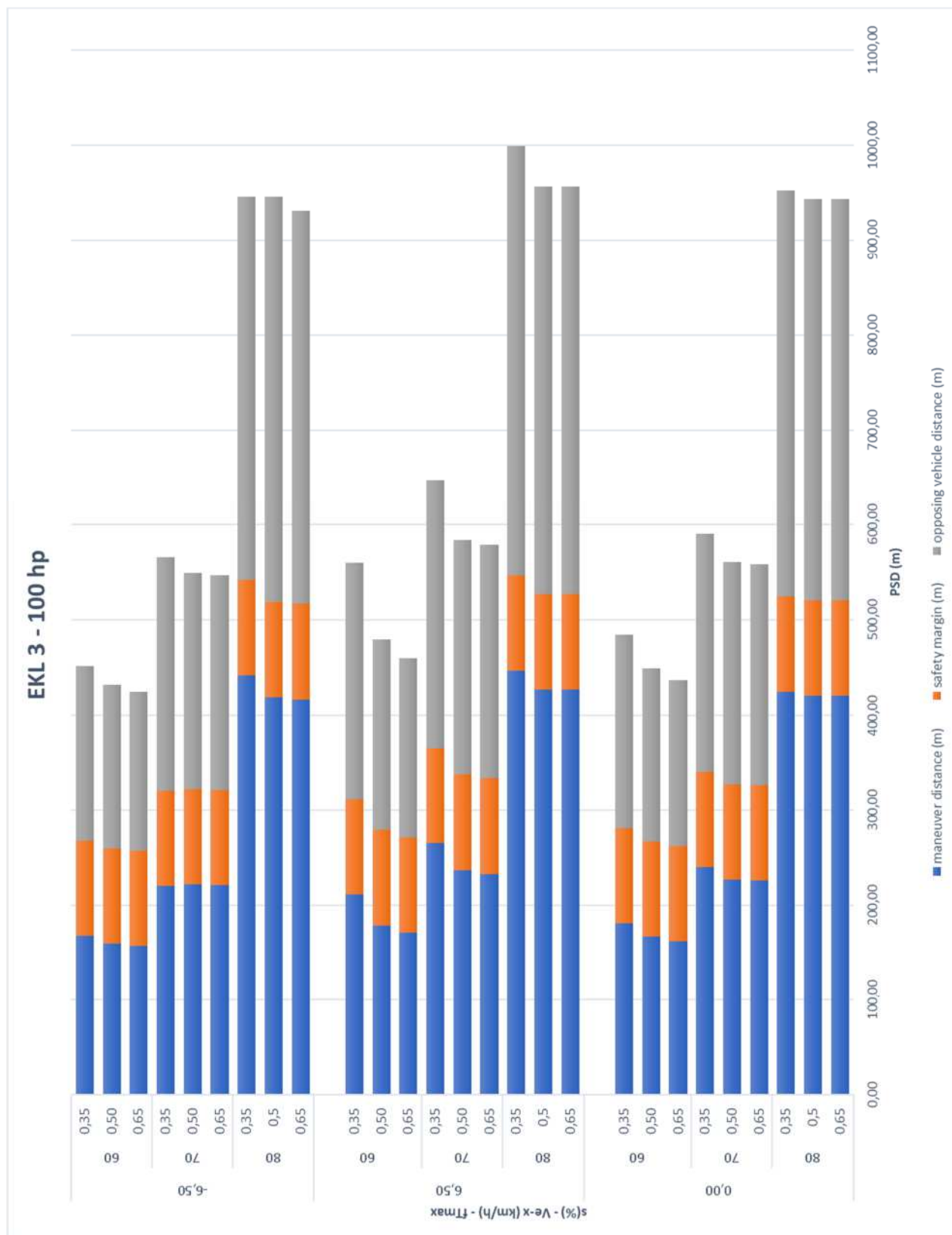
4.2. ΣΥΝΟΨΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Γενικότερος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από συστήματα πληροφόρησης οδηγών. Επίσης ο προσδιορισμός του απαιτούμενου Μήκους Ορατότητας για Προσπέραση με πιο ρεαλιστικά δεδομένα, λαμβάνοντας υπόψη αρκετές παραμέτρους, έτσι ώστε να δημιουργηθούν οι συνθήκες για την ορθότερη επιλογή των οριακών τιμών, προκειμένου να εναρμονιστεί η θεωρία με την πράξη.

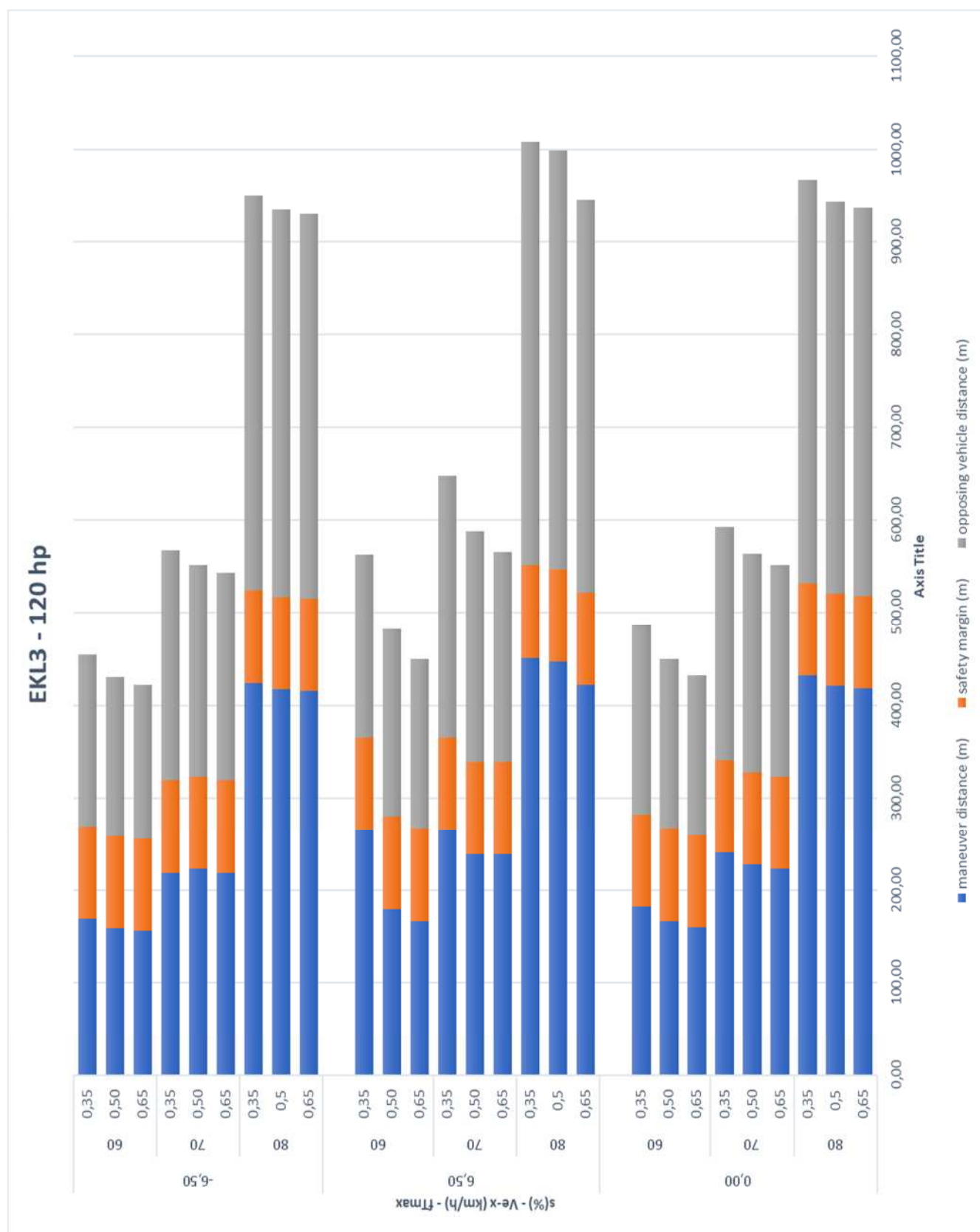
Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε λογισμικό το οποίο αναπτύσσει ένα δυναμικό μοντέλο οχήματος, και με βάση αυτό δημιουργήθηκε αλγόριθμος υπολογισμού του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για προσπέραση. Η διερεύνηση έγινε με βάση τις Γερμανικές οδηγίες υπεραστικών οδών RAL και για δύο κλάσεις οδού (EKL2 και EKL3), δημιουργήθηκαν κατάλληλα γραφήματα και πίνακες τα οποία απεικονίζουν το απαιτούμενο μήκος για κάθε κλάση, συντελεστή τριβής, ιπποδύναμη, κατά μήκος κλίση και ταχύτητα.



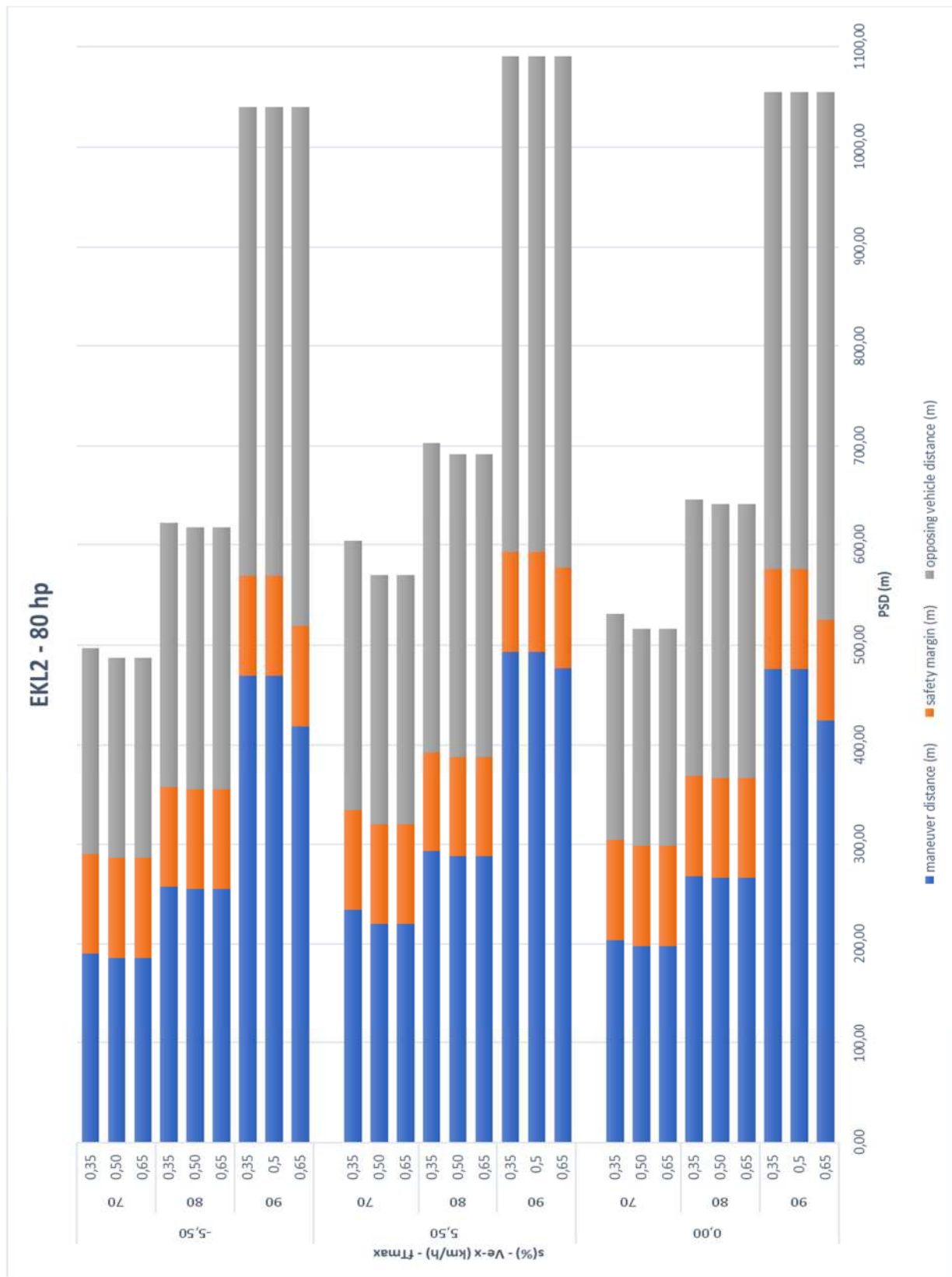
Σχήμα 4.1. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα ιπποδύναμης 80 hp και κλάση οδού EKL3



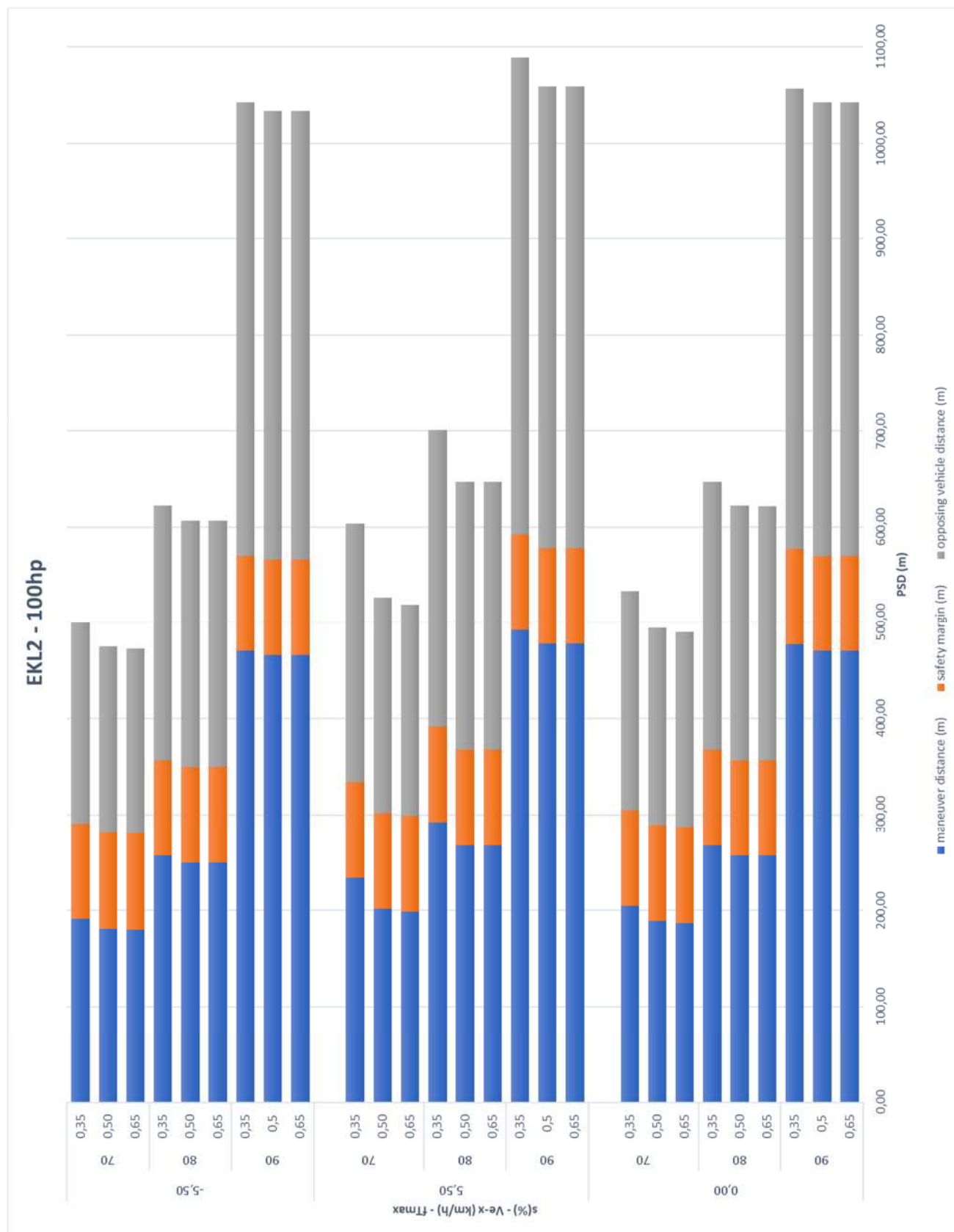
Σχήμα 4.2. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα υποδύναμης 100 hp και κλάση οδού EKL3



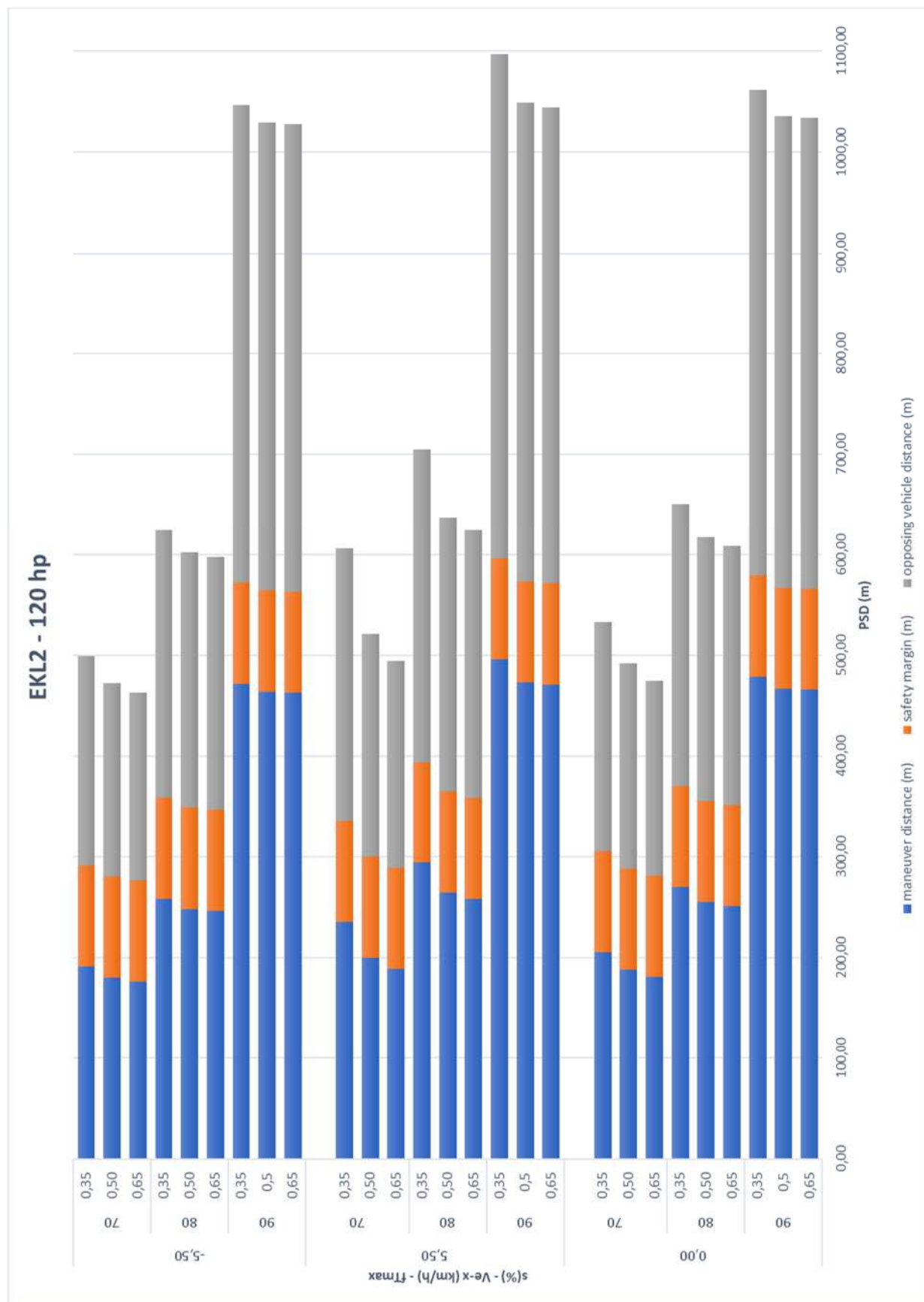
Σχήμα 4.3. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα υποδύναμης 120 hp και κλάση οδού EKL3



Σχήμα 4.4. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα ιπποδύναμης 80 hp και κλάση οδού EKL2



Σχήμα 4.5. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα ιπποδύναμης 100 hp και κλάση οδού EKL2



Σχήμα 4.6. Απαιτούμενο ΜΟΠ, για οχήματα υποδύναμης 120 hp και κλάση οδού EKL2

Στα παραπάνω διαγράμματα συνοψίζονται τα αποτελέσματα και παρουσιάζονται ανά τύπο οχήματος, έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η αξιοποίηση τους σε συστήματα πληροφόρησης αλλά και να γίνει ευκολότερη η κατανόηση τους από το συγκοινωνιολόγο μηχανικό.

4.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ήταν ο υπολογισμός του απαιτούμενου μήκους ορατότητας για προσπέραση λαμβάνοντας υπόψη τα δυναμικά χαρακτηριστικά του οχήματος, αλλά και την επιρροή χαρακτηριστικών μεγεθών της οδού. Με κατάλληλα γραφήματα (Σχήματα 4.1 έως 4.6) αποτυπώθηκε το παραπάνω απαιτούμενο μήκος, ανά συντελεστή μελέτης και έτσι φαίνεται η επιρροή της κάθε παραμέτρου ξεχωριστά, αλλά μπορεί να γίνει και εύκολα συσχέτιση με τα μήκη που ορίζουν οι κανονισμοί.

Εκτός από τον κύριο στόχο της εργασίας, στην πορεία της μελέτης προέκυψαν ορισμένα ενδιαφέροντα στοιχεία. Κατά την διαδικασία της μελέτης, παρατηρήθηκε ότι όταν τα οχήματα κινούνται με ταχύτητα πολύ κοντά στο όριο, χρειάζονται πολύ μεγάλα μήκη για να επιτευχθεί η προσπέραση, τιμές που ξεπερνάνε κατά πολύ το όριο που καθορίζεται από τους κανονισμούς. Επίσης διαπιστώθηκε πως τα επιμέρους χαρακτηριστικά που εξετάστηκαν (ιπποδύναμη, κατά μήκος κλίση και συντελεστής τριβής) επηρεάζουν το καθένα με το δικό του τρόπο, σημαντικά το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση. Όταν ληφθούν υπόψη συνδυαστικά, δίνουν πιο ρεαλιστικά αποτελέσματα από αυτά της θεωρίας, η οποία βασίζεται σε άκρως συντηρητικές παραδοχές.

Με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την έρευνα στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, προσδιορίστηκε με πιο ρεαλιστικό τρόπο το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για προσπέραση, δίνοντας νέα προσέγγιση για περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο. Τα διαγράμματα της εργασίας αποτελούν ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο και στο σχεδιασμό οδικών έργων. Ωστόσο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από συστήματα πληροφόρησης οδηγών, στο πλαίσιο αλληλεπίδρασης αυτόνομων οχημάτων με το γεωμετρικό σχεδιασμό οδών.

Το ζήτημα της παροχής ασφάλειας στη διαδικασία προσπέρασης αποτελεί μία σημαντική πρόκληση για τον οδικό σχεδιασμό. Στο τρίγωνο άνθρωπος – όχημα – υποδομές, ο ανθρώπινος παράγοντας είναι αυτός στον οποίο οφείλεται με σημαντική διαφορά η

πρόκληση τροχαίων οχημάτων. Με αυτό το δεδομένο, η αυτόνομη οδήγηση αναμένεται να αποτελέσει σημαντικό κομμάτι στη βελτίωση οδικής ασφάλειας. Στο μέλλον, τα αυτόνομα οχήματα θα αποφασίζουν με βάση το δικό τους «κώδικα», προς τα πού πρέπει να κινηθούν για να προκαλέσουν τις μικρότερες δυνατές απώλειες. Στο πλαίσιο αυτό κρίνεται αναγκαία η ανάπτυξη μοντέλων, που θα επιτρέπουν την ανταλλαγή δεδομένων θέσης, ταχύτητας και κατεύθυνσης, θα παρέχουν προειδοποιήσεις, πληροφορίες και ενδεχομένως θα προβαίνουν σε πιθανές ενέργειες, με σκοπό πάντα την βελτίωση της οδικής ασφάλειας. Παρόλα αυτά μεσοπρόθεσμα, τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην άμεση πληροφόρηση των οδηγών για την ασφάλεια ή μη του ελιγμού προσπέρασης.

Επομένως, η πιο σημαντική ωφέλεια που απορρέει μέσω των προτεινόμενων διαγραμμάτων της παρούσας διπλωματικής, είναι η άμεση εξάρτηση καθώς και η αλληλεπίδραση της ορατότητας για προσπέραση με τα δυναμικά χαρακτηριστικά του οχήματος, δίνοντας στο μελετητή αλλά και στο χρήστη της οδού τη δυνατότητα, να γνωρίζει πότε μπορεί να επιτύχει με ασφάλεια έναν ελιγμό προσπέρασης, λαμβάνοντας υπόψη την ταχύτητα κίνησης του, την υποδύναμη αλλά και χαρακτηριστικά της οδού, σεβόμενοι πάντα το όριο ταχύτητας.

4.4. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

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

Η εργασία εστίασε στην περίπτωση της ευθυγραμμίας. Κρίνεται απαραίτητο να μελετηθεί η επιρροή της οριζοντιογραφικής καμπύλης στην προτεινόμενη μεθοδολογία. Αυτό αποτελεί μεγαλύτερη πρόκληση, καθώς η κίνηση σε καμπύλη τροχιά επηρεάζει τόσο την ταχύτητα όσο και την απαίτηση σε πρόσφυση του οχήματος, δεδομένου ότι ποσοστό αυτής διατίθεται στην εγκάρσια διεύθυνση κίνησης.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μόνο μία αρχική προσέγγιση της επιρροής των δυναμικών χαρακτηριστικών του οχήματος στην ορατότητα για προσπέραση. Όπως έχει αναφερθεί, και αναλύεται εκτενώς στο Παράρτημα, έχει αναπτυχθεί αλγόριθμος για τον υπολογισμό του απαιτούμενου μήκους, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά.

Απαιτείται βελτιστοποίηση του για εξοικονόμηση υπολογιστικού χρόνου αλλά και η προσθήκη νέων αλγορίθμων προκειμένου το όλο ζήτημα του ΜΟΠ να αντιμετωπιστεί πιο ολοκληρωμένα.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών, Σ. Μαυρομάτης, Αθήνα, ΕΜΠ, 2018

Διερεύνηση Ασφάλειας και Λειτουργικότητας οδού Δύο Λωρίδων Κυκλοφορίας ως προς την κίνηση διακονικών οχημάτων σε αυξημένες κατά μήκος κλίσεις, Μαυρομάτης Σ., Αθήνα 2002

Κονταράτος Μ. Σχέσεις Γεωμετρικών Μεγεθών Οδού με Βάση τα Κριτήρια της Ασφάλειας και της Κατανάλωσης Καυσίμου κατά την Προώθηση Επιβατηγού Οχήματος. Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π Αθήνα 1990.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2011. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Fifth Edition. Washington, DC, USA.

Macadam C.C., Fancher P.S. and Segal L. Side Friction for Superelevation on Horizontal Curves. Final Technical Report, DTFH61-85-C-00019, Federal Highway Administration, Washington DC, August 1985

Αποστολέρης Κωνσταντίνος, Λιάνα Παντελιά, Διερεύνηση της Επιρροής Δυναμικών Παραμέτρων του Οχήματος στο Μήκος Ορατότητας για Προσπέραση, 7^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδικής Ασφάλειας, Λάρισα, Οκτώβριος 2018

Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2001. Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων. Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), Τεύχος 5: Πρόσθετες Λωρίδες Κυκλοφορίας (ΟΜΟΕ – ΠΛΚ).

Οδηγίες Για την Ετοιμασία Της Διπλωματικής Εργασίας, Γιαννής Γιώργος, Αθήνα, ΕΜΠ, 2010

RAL, Οδηγίες για την Κατασκευή Υπεραστικών Οδών, Γερμανία, 2012.

Σημειώσεις Γεωμετρικού Σχεδιασμού των Οδών, Γ. Κανελλαΐδης - Φ. Μερτζάνης - Γ. Γλαρός - Σ. Βαρδάκη, Αθήνα, ΕΜΠ, 2017.

Glennon, J. C. New and Improved Model of Passing Sight Distance on Two-Lane Highways. Transportation Research Record 1195, TRB, National Research Council, Washington, DC, 1998, pp. 59–69.

Hassan, Y., S. M. Easa, and A. O. Abd El Halim. Passing Sight Distance on Two-Lane Highways: Review and Revision. *Transportation Research Part A*, Vol. 30, No. 6, 1996, pp. 453–469.

Verification of the Existing Model for Passing Sight Distance on Single Two-Lane Rural Carriageways, Anne Vettters, Thomas Jaehrig, Dresden, March 20th, 2015

Harwood, D. W., D. B. Fambro, B. Fishburn, A. Joubert, R. Lamm, and B. Psarianos. *Transportation Research Circular E-003: International Sight Distance Design Practices*. TRB, National Research Council, Washington, DC, 1998.

Acceleration impact investigation for control road geometry parameters passing behavior on two-lane roads in a real and in a simulated environment, Stergios Mavromatis, Konstantinos Apostoleris, Alexandra Laiou, George Yannis, Basil Psarianos, Οκτώβριος 2017

Llorca and Farah, January 2016, Washington D.C. Gillespie T.D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Mining Metallurgy and Exploration Inc. 1992

Vehicle skidding assessment through maximum attainable constant speed investigation, Stergios Mavromatis, Eleonora Papadimitriou, Basil Psarianos, George Yannis, Athens 2017

NCHRP REPORT 605, Passing Sight Distance Criteria, 2008

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

A. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A.1. ΓΕΝΙΚΑ

Όπως αναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, κρίθηκε αναγκαία η ανάπτυξη αλγορίθμου. Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η λογική του αλγορίθμου, σε ποιες σχέσεις βασίστηκε και τα μέσα που χρησιμοποιήθηκαν για τη συγγραφή και την υλοποίηση του.

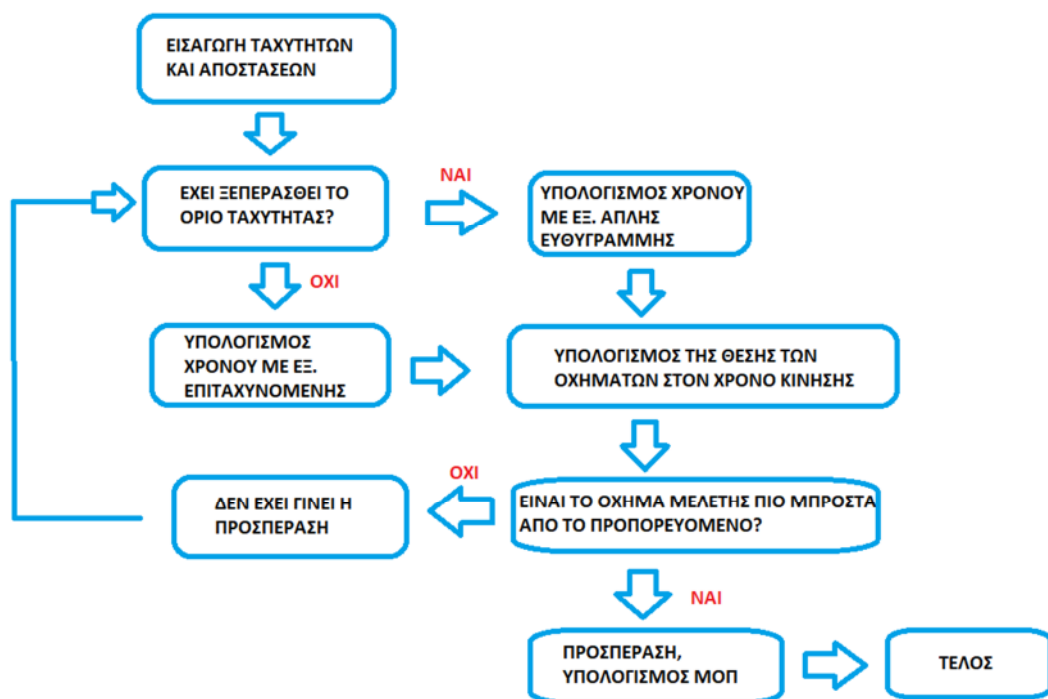
A.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ

Κύριο πρόβλημα της παρούσας εργασίας, είναι η περιγραφή της κίνησης του κάθε οχήματος με τις κατάλληλες εξισώσεις κίνησης, έτσι ώστε να προσδιοριστούν οι αποστάσεις τις οποίες έχουν διανύσει στο ίδιο χρονικό διάστημα και να γίνει ο κατάλληλος έλεγχος, για αν διαπιστωθεί αν το όχημα μελέτης έχει προσπεράσει ή όχι το προπορευόμενο.

Στην πραγματικότητα στη διαδικασία προσπέρασης συμμετέχουν τρία οχήματα με διαφορετικά χαρακτηριστικά κίνησης. Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, έγιναν οι εξής παραδοχές, όσον αφορά την κίνηση αυτών των τριών οχημάτων. Το όχημα που προσπερνιέται (front vehicle) θεωρήθηκε ότι κινείται με σταθερή ταχύτητα, μικρότερη από το όριο ταχύτητας της οδού. Το όχημα που προσπερνά (subject vehicle) τη στιγμή που ξεκινάει τη διαδικασία προσπέρασης μέχρι την ολοκλήρωση της, καταγράφει ομαλά επιταχυνόμενη κίνηση με αρχική ταχύτητα μικρότερη από το όριο ταχύτητας της οδού. Όταν το όχημα φτάσει το όριο ταχύτητας της οδού, δεν ξεπερνάει την ταχύτητα αυτή και καταγράφει απλή ευθύγραμμη κίνηση με σταθερή την ταχύτητα στο όριο. Τέλος το όχημα που κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση (opposing vehicle) κινείται με σταθερή ταχύτητα, ίση με το όριο ταχύτητας της οδού.

Ο αλγόριθμος βασίστηκε σε θεμελιώδεις εξισώσεις της Φυσικής, προκειμένου να προσδιοριστεί ο χρόνος κίνησης του οχήματος που προσπερνά οχήματος, το οποίο θεωρήθηκε πως εκτελεί επιταχυνόμενη κίνηση, οι οποίες περιγράφονται στο Κεφάλαιο 3.2.

Στο σημείο αυτό να αναφερθεί πως ο εν λόγω αλγόριθμος, διατυπώθηκε σε ήδη υπάρχον δυναμικό μοντέλο οχήματος, το οποίο είναι αποτέλεσμα της διδακτορικής διατριβής του κύριου Σ. Μαυρομάτη (Αθήνα, 2002) και λαμβάνοντας υπόψη χαρακτηριστικά της οδού (όπως κατά μήκος κλίση), χαρακτηριστικά του οδοστρώματος (συντελεστή τριβής) και δυναμικά χαρακτηριστικά του οχήματος (ιπποδύναμη) δίνει ως αποτέλεσμα την ταχύτητα του οχήματος μελέτης, ανά βήμα θέσης (στην παρούσα επιλέχθηκε το 1m) για την απόσταση που επιλέγεται από το χρήστη.



Σχήμα Α.21. Διάγραμμα Ροής Αλγορίθμου.

Η διεξαγωγή των δοκιμών γίνεται σε δύο φάσεις και σύμφωνα με τις παραδοχές που περιγράφονται στο Κεφάλαιο 3.2. Στην πρώτη φάση με το δυναμικό μοντέλο προσδιορίζεται η ταχύτητα που αναπτύσσει το όχημα που προσπερνά (subject vehicle) για να διανύσει μία απόσταση επιλεγόμενη από το χρήστη. Η ταχύτητα αυτή του οχήματος εξαρτάται από το συντελεστή τριβής, την κατά μήκος κλίση, τους ίππους και την αρχική του ταχύτητα.

Στη δεύτερη φάση και με χρήση του αλγορίθμου (ο οποίος ενεργοποιείται μέσω κουμπιού – button PSD), αρχικά υπολογίζεται ο χρόνος κίνησης του οχήματος που προσπερνά σύμφωνα

με τη Σχέση A.2, για την απόσταση που επιλέχθηκε, και υπολογίζεται η αντίστοιχη απόσταση την οποία έχει διανύσει το προπορευόμενο όχημα και το αντίθετα κινούμενο στον παραπάνω χρόνο κίνησης σύμφωνα με τη Σχέση A.3.

Safety Margin (m)	h1 (m)	Vo,sv(km/h)	Vt(km/h)	Vov(km/h)	Vsp(km/h)	h3 (m)	PSD
100	15	70	70	90	90	30	
1	2	3	4	5	6	7	8

Σχήμα A.22. Περιβάλλον του αλγορίθμου στο MS EXCEL

Καθώς έχει γίνει η παραδοχή ότι το προπορευόμενο όχημα κινείται σε απόσταση 15 m, μπροστά από το όχημα μελέτης στην αρχή της προσπέρασης, η νέα του θέση ανά μέτρο υπολογίζεται ως το άθροισμα της απόστασης που έχει διανύσει, όπως υπολογίσθηκε παραπάνω και αυτών το 15 m. (αφετηρία της κίνησης θεωρήθηκε η θέση του οχήματος μελέτης στην αρχή του ελιγμού προσπέρασης).

Για κάθε μέτρο κίνησης του οχήματος μελέτης, γίνεται ο έλεγχος, αν η θέση στην οποία έχει φτάσει είναι 30 m μπροστά από τη θέση του προπορευόμενου οχήματος. Όταν ο έλεγχος γίνει αληθής, τότε εμφανίζεται η λέξη «ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ» και υπολογίζεται το μήκος ορατότητας για προσπέραση, ως το άθροισμα της απόστασης που έχει διανύσει το όχημα μελέτης, τη στιγμή που γίνεται αληθής ο έλεγχος, της απόστασης ασφαλείας και της απόστασης που έχει διανύσει το αντίθετα κινούμενο όχημα, όπως αυτή υπολογίσθηκε με την εξίσωση απλής ευθύγραμμης κίνησης.

Στον αλγόριθμο, έχει αναπτυχθεί και ο έλεγχος ταχύτητας, όσον αφορά το όριο ταχύτητας της οδού, το οποίο καθορίζεται από το χρήστη στην εισαγωγή δεδομένων. Αν η ταχύτητα του οχήματος έχει ξεπεράσει το όριο αυτό, τότε θεωρούμε ότι μετά από αυτό το σημείο εκτελεί απλή ευθύγραμμη κίνηση και ο χρόνος κίνησης υπολογίζεται με την αντίστοιχη σχέση (Σχέση A.3.)

$t_{\text{partial}}(\text{sec})$	$t_{\text{total}}(\text{sec})$	front vehicle		opposing vehicle	speed limiter	SECURITY CHECK	Total PSD (m)
		dist (m)	new pos (m)	dist (m)			
0,0741	0,07	1,44	16,44	1,85	-	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΓΙΝΕΙ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ	-
0,0507	0,12	2,43	17,43	3,12	-	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΓΙΝΕΙ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ	-
0,0504	0,18	3,41	18,41	4,38	-	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΓΙΝΕΙ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ	-
0,0501	0,23	4,38	19,38	5,63	-	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΓΙΝΕΙ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ	-

Σχήμα Α.23. Περιβάλλον του αλγορίθμου στο MS EXCEL, περίπτωση μη επαρκούς μήκους για προσπέραση

Στα Σχήματα Α.2, Α.3 φαίνεται το περιβάλλον του αλγορίθμου όπου ο χρήστης εισάγει τα δεδομένα (Σχήμα Α.2.) αλλά και τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν.

Όπου:

1. Απόσταση ασφαλείας (safety margin) του οχήματος μελέτης και του αντίθετα κινούμενου στο τέλος της προσπέρασης (m)
2. Απόσταση (h1) του προπορευόμενου και του οχήματος μελέτης στην αρχή της προσπέρασης (m)
3. Αρχική Ταχύτητα κίνησης του οχήματος μελέτης (subject vehicle) (km/h)
4. Ταχύτητα κίνησης του προπορευόμενου (front vehicle) (km/h)
5. Ταχύτητα κίνησης του αντίθετα κινούμενου οχήματος (opposing vehicle) (km/h)
6. Όριο ταχύτητας κίνησης (km/h)
7. Απόσταση (h3) του προπορευόμενου και του οχήματος μελέτης στο τέλος της προσπέρασης (m)
8. Κουμπί ενεργοποίησης του αλγορίθμου.
9. Σχετικός χρόνος κίνησης (sec).
10. Αθροιστικός χρόνος κίνησης (sec).
11. Απόσταση που διανύει το προπορευόμενο όχημα στον αθροιστικό χρόνο κίνησης (m).

12. Απόσταση του προπορευόμενου οχήματος από την αφετηρία της κίνησης, στον αθροιστικό χρόνο κίνησης (m).

13. Απόσταση που διανύει το αντίθετα κινούμενο όχημα στον αθροιστικό χρόνο κίνησης (m).

14. Έλεγχος ορίου ταχύτητας (αν έχει παραβιαστεί εμφανίζεται «ΝΑΙ»)

15. Έλεγχος πραγματοποίησης ή όχι της προσπέρασης. Αν το όχημα μελέτης έχει ξεπεράσει κατά απόσταση h_3 το προπορευόμενο εμφανίζεται «ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ», αλλιώς εμφανίζεται «ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΓΙΝΕΙ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ».

16. Υπολογισμός απαιτούμενου ΜΟΠ (m).

Στο Σχήμα Α.4 φαίνεται το περιβάλλον του αλγορίθμου σε περίπτωση επιτυχούς προσπέρασης, όπου έχει ξεπερασθεί το όριο ταχύτητας.

$t_{\text{partial}}(\text{sec})$	$t_{\text{total}}(\text{sec})$	front vehicle		opposing vehicle	speed limiter	SECURITY CHECK	Total PSD (m)
		dist (m)	new pos (m)	dist (m)			
0,0400	9,33	181,43	196,43	233,27	ΝΑΙ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΓΙΝΕΙ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ	-
0,0400	9,37	182,21	197,21	234,27	ΝΑΙ	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΓΙΝΕΙ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ	-
0,0400	9,41	182,99	197,99	235,27	ΝΑΙ	ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ	563,27

Σχήμα Α.24. Περιβάλλον του αλγορίθμου στο MS EXCEL, περίπτωση επαρκούς μήκους για προσπέραση

```
Sub psd()  
Dim i As Integer  
Dim DV As Single  
Dim t As Single  
Dim ti As Single  
Sum = 0  
For i = 7 To 1000  
    If Cells(i, 17).Value = Empty Then  
        GoTo line28  
    End If  
    If Cells(i, 18) < Cells(2, 44) Then  
        DV = (Cells(i, 18) - Cells(i - 1, 18))  
        t = DV / 3.6  
        ti = t / Cells(i, 20)  
        Cells(i, 37) = ti  
        Sum = Cells(i, 37) + Cells(i - 1, 38)  
        Cells(i, 38) = Sum  
        Cells(i, 42) = "-"  
    Else  
        ti = (Cells(i, 17) - Cells(i - 1, 17)) * 3.6 / Cells(2, 44)  
        Cells(i, 37) = ti  
        Sum = Cells(i, 37) + Cells(i - 1, 38)  
        Cells(i, 38) = Sum  
        Cells(i, 42) = "NAI"  
    End If  
    Cells(i, 39) = (Cells(2, 42) / 3.6 * Cells(i, 38))  
    Cells(i, 40) = (Cells(2, 40) + Cells(i, 39))  
    Cells(i, 41) = (Cells(2, 43) / 3.6 * Cells(i, 38))  
    If Cells(i, 17) - Cells(i, 40) > Cells(2, 45) Or Cells(i, 17) - Cells(i, 40) = Cells(2, 45) Then  
        Cells(i, 43) = "ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ"  
        Cells(i, 44) = (Cells(i, 41) + Cells(2, 39) + Cells(i, 17))  
    Else  
        Cells(i, 43) = "ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΓΙΝΕΙ ΠΡΟΣΠΕΡΑΣΗ"  
        Cells(i, 44) = ("-")  
    End If  
Next i  
line28:  
End Sub
```

Σχήμα Α.5. Κώδικα μακροεντολών σε VBA, για τον υπολογισμό του απαιτούμενου ΜΟΠ.