



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ & ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**« Διερεύνηση απαιτήσεων διαπλάτυνσης οδικών
τμημάτων κατά την κίνηση λεωφορείων »**



Άννινος Νικόλαος

Επιβλέπων: Μαυρομάτης Στέργιος, Επίκουρος Καθηγητής

Αθήνα, Νοέμβριος 2021

Copyright © [Νικόλαος Άννινος, 2021]

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Οι απόψεις και θέσεις που περιέχονται σε αυτήν την εργασία εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π.. Θα ήθελα με την αφορμή αυτή να ευχαριστήσω όλους εκείνους που στάθηκαν δίπλα μου σε ολόκληρη τη φοιτητική μου ζωή.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Στέργιο Μαυρομάτη, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την επιλογή του θέματος, την πολύτιμη καθοδήγησή του και συνεργασία κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσης διπλωματικής εργασίας, καθώς και τον κ. Βασίλη Ματράγκο για τη συνεχή βοήθεια και υποστήριξη του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω κοντινούς μου ανθρώπους ,συγγενείς και φίλους για την αξιοσημείωτη υποστήριξη που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην οικογένεια μου, που πάντα με στηρίζει στις επιλογές μου και με αδιάκοπη αγάπη μου δίνει την δυνατότητα να πετύχω κάθε στόχο και επιδίωξη μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκαν οι απαιτήσεις διαπλάτυνσης σε οδικά τμήματα στην περιφερειακή οδό του πολυτεχνείου κατά την κίνηση λεωφορείων. Στόχος είναι η δημιουργία μιας ενιαίας μεθοδολογίας για τον υπολογισμό της διαπλάτυνσης. Για το σκοπό αυτό έγινε η εξέταση και η σύγκριση των υφιστάμενων οδηγιών μέσω μιας ενιαίας μεθοδολογίας για τον υπολογισμό της διαπλάτυνσης που θα αποφέρει τα βέλτιστα στην οδική ασφάλεια καθώς και στην λειτουργικότητα της οδού, με όσο το δυνατό χαμηλότερο κόστος. Για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας δημιουργήθηκε ένα μαθηματικό μοντέλο που θα υπολογίζει τη διαπλάτυνση που χρειάζεται το κάθε τμήμα της οδού. Η συγκεκριμένη εξίσωση αναπτύχθηκε μέσω του λογισμικού R-Studio όπου δίνει αυτή την δυνατότητα μέσω στατιστικών αναλύσεων. Χρησιμοποιήθηκε, επίσης, το πρόγραμμα AutoTURN για την προσομοίωση της κίνησης του οχήματος σχεδιασμού εντός της καμπύλης για τη σωστή ανάγνωση των μεταβλητών. Έπειτα από σύγκριση των αποτελεσμάτων της εξίσωσης με αυτά των ελληνικών οδηγιών παρατηρήθηκε υπερδιαστασιολόγηση στις καμπύλες, το οποίο επιβεβαιώνει την ανάγκη για ένα διαφορετικό τρόπο προσέγγισης στον υπολογισμό της διαπλάτυνσης.

Λέξεις Κλειδιά

Διαπλάτυνση, Κυκλικό τόξο, AutoTURN, R- studio, λογισμικό ηλεκτρονικού υπολογιστή, πολλαπλή γραμμική παλινδρόμησή, καμπύλη, ακτίνα, ελληνικές οδηγίες χάραξης, μαθηματικά μοντέλα

ABSTRACT

The present thesis, the methodologies for calculating the widening in curves of the NTUA road were investigated. The aim is to create a uniform methodology for calculating the widening. To this end, existing guidelines have been examined and compared through a single methodology for calculating the widening that will yield the best results in terms of road safety as well as road functionality, at the lowest possible cost. To develop the methodology, an equation was created to calculate the widening needed for each road section. This equation was developed through the R-Studio software where it enables through statistical relationships. The AutoTURN program was also used to simulate the movement of the design vehicle within the curve to have reasonable results. After comparing the results of the equation with those of the Greek guidelines, oversizing was observed in the curves, which confirms the need for a different approach to calculate the widening.

Keywords:

Widening, circular arc, AutoTURN, R-studio, multiple linear regression, radius, computer software, Greek engraving instructions, Mathematical model

Περιεχόμενα

1.Εισαγωγή	1
1.1 Γενική ανασκόπηση	1
1.2 Στόχοι διπλωματικής εργασίας	2
1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας	3
2.Βιβλιογραφική ανασκόπηση	5
2.1 Μεθοδολογίες υπολογισμού διαπλατύνσεων σε καμπύλη.....	5
2.1.1.Γενικά	5
2.1.2 Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ).....	6
2.3.3 Γερμανικές οδηγίες χάραξης	14
2.2.4 Μεθοδολογία υπολογισμού διαπλατύνσεων σύμφωνα με τις Αμερικανικές οδηγίες	18
2.2.5 Μεθοδολογία υπολογισμού διαπλατύνσεων σε καμπύλες σύμφωνα με τις οδηγίες του Forest Service για δασικές οδούς.....	29
2.2.6 Μεθοδολογία υπολογισμού διαπλάτυση σε καμπύλες σύμφωνα με τις Αυστραλιανές οδηγίες.	32
3. Ανάπτυξη της μεθοδολογίας	34
3.1 Γενικά.....	34
3.2 Βασικές έννοιες.....	34
3.2.1 Κυκλικό τόξο.....	34
3.2.2 Τόξο κανίστρου	38
3.2.3 Τόξο συναρμογής	38
3.2.4 Απλή κλωθοειδής	42
3.2.5 S- καμπύλη	42
3.2.6 Ωοειδής καμπύλη.....	44
3.2.7 Κλωθοειδής Κανίστρου.....	45
3.2.8 Κλωθοειδής Τύπου C	46
3.2.6 Κλωθοειδής Κορυφής.....	46
3.3 Λογισμικό προσομοίωσης AutoTURN	47
3.3.1 Γενικά	47
3.3.2 Προδιαγραφές και παράμετροι AutoTURN	48
3.4 Πρόγραμμα R-Studio	49
3.4.1 Γενικά	49

3.4.2 Αναλυτικές σχέσεις R-studio.....	50
3.4.3 Μαθηματικά μοντέλα για τον υπολογισμό της απαιτούμενης διαπλάτυνσης μέσω του προγράμματος R-Studio	51
3.4.4 Εκτίμηση των παραμέτρων	54
3.4.5 Διαδικασία ανάπτυξης και κριτήρια αποδοχής μοντέλου	55
4.Εφαρμογή μοντέλου προσομοίωσης.....	59
4.1 Γενικά.....	59
4.2 Οριζοντιογραφία οδού.....	59
4.3 Οχήματα σχεδιασμού	60
4.4 Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου.....	61
4.5 Προσομοίωση κίνησης οχήματος.....	65
4.6 Διερεύνηση αποτελεσμάτων	66
4.6.1 Εξίσωση μελέτης	66
4.6.2 Παραδοχές	69
4.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων Εξίσωσης Μελέτης – ΟΜΟΕ -X.....	70
4.8 Συμπεράσματα	74
5. Συμπεράσματα – Προτάσεις	75
5.1 Γενικά.....	75
5.2 Συμπεράσματα	75
5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	76
6.Βιβλιογραφία	77
Παράρτημα Α	79
Παράρτημα Β	82
Παράρτημα Γ.....	85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ,ΕΙΚΟΝΩΝ,ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 2.1: Παράδειγμα διαπλάτυνσης σε κυκλικό τόξο, ανά λωρίδα κυκλοφορίας...6	6
Σχήμα 2.2: Στοιχεία διατομής υπεραστικής οδού με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας μιας λωρίδας ανά κατεύθυνση.....9	9
Σχήμα 2.3: Στοιχεία υπεραστικής οδού με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση.....9	9
Σχήμα 2.4: Περιτύπωμα οδού κατά ΟΜΟΕ-Δ.....10	10
Σχήμα 2.5: Εφαρμογή διαπλάτυνσης σε τυπική καμπύλη οδού.....13	13
Σχήμα 2.6: Τυπική διατομή υπεραστικών οδών ΕΚΛ3 (RAL, 2012).....16	16
Σχήμα 2.7: Θέση οχήματος εν κινήση σε κυκλικό τόξο.....17	17
Σχήμα 2.8: Στοιχεία διαπλάτυνσης σε αυτοκινητοδρόμους.....24	24
Σχήμα 2.9: Απεικόνιση πλάτους στροφής οδού σε περίπτωση συνάντησης.....26	26
Σχήμα 3.1: Σχέση διαδοχικών ακτίνων κυκλικών τόξων κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001.....36	36
Σχήμα 3.2: Ελάχιστες τιμές παραμέτρου κλωθοειδούς σε συνάρτηση με την ακτίνα και την επίκεντρη γωνία του κυκλικού τόξου.....40	40
Σχήμα 3.3: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κλωθοειδούς.....41	41
Σχήμα 3.4: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά S-καμπύλης.....42	42
Σχήμα 3.5: Δυνατότητες εφαρμογής της κλωθοειδούς.....43	43
Σχήμα 3.6: : Ακολουθία στοιχείων χάραξης στην ωοειδή καμπύλη.....44	44
Σχήμα 3.7: :Κλωθοειδής Κανίστρου.....45	45
Σχήμα 3.8: :Κλωθοειδής τύπου.....45	45
Σχήμα 3.9: : Κλωθοειδής κορυφής.....46	46
Σχήμα 3.10: Ευθεία ελαχίστων τετραγώνων.....55	55

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2.1: :Ομάδες Οδών κατά ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ.....6	6
Πίνακας 2.2: : Συσχέτιση Χώρου Κυκλοφορίας και Περιτυπώματος κατά ΟΜΟΕ-Δ, RAA και RAL.....10	10

Πίνακας 2.3. : Διαστάσεις τυπικών βαρέων οχημάτων.....	10
Πίνακας 2.4: Διαστάσεις λωρίδων κυκλοφορίας διατομής οδού.....	11
Πίνακας 2.5: Μήκος μεταξόνιου και εμπρόσθιας προεξοχής ανά τύπο οχήματος....	12
Πίνακας 2.6. : Μήκος μεταξόνιου και εμπρόσθιας προεξοχής ανά τύπο οχήματος...	13
Πίνακας 2.7. : Τιμή διαπλάτυνσης συναρτήσει του πλάτους οδοστρώματος (n=2 λωρίδες).....	13
Πίνακας 2.8: Κατηγορίες οδών και πεδίο εφαρμογής γερμανικών οδηγιών.....	14
Πίνακας 2.9 :Μήκος μεταξόνιου και εμπρόσθιας προεξοχής ανά τύπο οχήματος...	16
Πίνακας 2.10 :Πλάτος οχήματος για διαπλάτυνση του οδοστρώματος σε καμπύλη..	20
Πίνακας 2.11: Μπροστινή προεξοχή για διαπλάτυνση σε καμπύλη.....	21
Πίνακας 2.12: Σχέση διαπλάτυνσης με επίπεδο λειτουργικότητας.....	29
Πίνακας 2.13 :Μήκη ομοιόμορφης κατανομής της διαπλάτυνσης της καμπύλης....	30
Πίνακας 3.1: Κριτήριο ασφάλειας I για υπεραστικές οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας.....	34
Πίνακας 3.2: Ελάχιστες τιμές καμπύλων για οδούς των ομάδων A και B.....	35
Πίνακας 3.3: Σχέση ταχύτητας μηκών ευθυγραμμίας και μεταβολής της ταχύτητας V85 στην ευθυγραμμία	36
Πίνακας 3.4. : Ελάχιστες τιμές της κοινής ακτίνας σε κλωθοειδή κορυφής κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001.....	46
Πίνακας 3.5. :Ελάχιστα μήκη κλωθοειδούς κορυφής κατά RAL, 2012.....	47
Πίνακας 3.6: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή t.....	56
Πίνακας 4.1: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B=3.75m.....	70
Πίνακας 4.2: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B=4.00m.....	70
Πίνακας 4.3: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B=4.25m.....	71
Πίνακας 4.4: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B=3.75m.....	72
Πίνακας 4.5: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B = 4.00m.....	72
Πίνακας 4.6: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B=4.25m.....	73

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 4.1: Απαιτούμενη διαπλάτυνση συμβατικό λεωφορείο.....	71
Διάγραμμα 4.2: Απαιτούμενη διαπλάτυνση αρθρωτό λεωφορείο.....	73

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1.1: Παράδειγμα διαδοχικών ελιγμών.....	1
Εικόνα 1.2: Προσομοίωση διέλευσης οχημάτων σε κόμβο.....	2
Εικόνα 1.3: Υπό μελέτη καμπύλες για διαπλάτυνση.....	3
Εικόνα 2.1: Παράδειγμα διαπλάτυνσης κυκλικού τόξου σε υφιστάμενη οδό.....	4
Εικόνα 3.1: Παράδειγμα διαδοχικών καμπύλων κυκλικού τόξου.....	33
Εικόνα 3.2: Περιβάλλον λογισμικού AutoTURN.....	48
Εικόνα 3.3: Επιλογή οχήματος στο πρόγραμμα AutoTURN.....	48
Εικόνα 3.4: Παράδειγμα προσομοίωσης οχήματος στο λογισμικό AutoTURN.....	49
Εικόνα 3.5: Περιβάλλον λογισμικού R-Studio.....	50
Εικόνα 4.1: Οριζοντιογραφία περιφερειακής οδού Πολυτεχνειούπολης (Διαδρομή λεωφορείου 242).....	59
Εικόνα 4.2: Στροφή U-turn.....	60
Εικόνα 4.3: Πύλη Κατεχάκης.....	60
Εικόνα 4.4: Στροφή μικρής καμπυλότητας.....	60
Εικόνα 4.5: Συμβατικό λεωφορείο.....	60
Εικόνα 4.6 : Αρθρωτό λεωφορείο.....	61
Εικόνα 4.7: Διεύλευση λεωφορείου εντός της καμπύλης.....	62
Εικόνα 4.8: Μεταβλητές μαθηματικού μοντέλου.....	63
Εικόνα 4.9: Βάση δεδομένων αρθρωτό λεωφορείο.....	64
Εικόνα 4.10: Βάση δεδομένων συμβατικό λεωφορείο.....	65
Εικόνα 4.11: Θέσεις μελέτης διαπλάτυνσης (περιφερειακός δρόμος πολυτεχνείου...)	66
Εικόνα 4.12: Παρουσίαση αποτελεσμάτων τυπικού λεωφορείου.....	67
Εικόνα 4.13: Εξίσωση εύρεσης διαπλάτυνσης συμβατικού λεωφορείου 242.....	68
Εικόνα 4.14: Παρουσίαση αποτελεσμάτων αρθρωτού λεωφορείου.....	68
Εικόνα 4.15: Εξίσωση εύρεσης διαπλάτυνσης αρθρωτού λεωφορείου 242.....	69

1.Εισαγωγή

1.1 Γενική ανασκόπηση

Η χάραξη και ο σχεδιασμός μιας οδού συνιστά μια πολύπλοκη διαδικασία κατά την οποία λαμβάνονται υπόψη πολλές κρίσιμες παράμετροι. Η συνηθισμένη πολύπλευρη μορφολογία του εδάφους, η οποία συναντάται συχνά, και άλλοι παράγοντες, όπως ζητήματα ιδιοκτησίας ή εμποδίων, καθιστούν κοινή την εφαρμογή καμπυλών με ποικίλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Λαμβάνοντας υπόψη τη γωνία διεύθυνσης που υφίσταται, μπορούν οι καμπύλες να διακριθούν σε απλές στροφές και ανακάμπτοντες ελιγμούς.

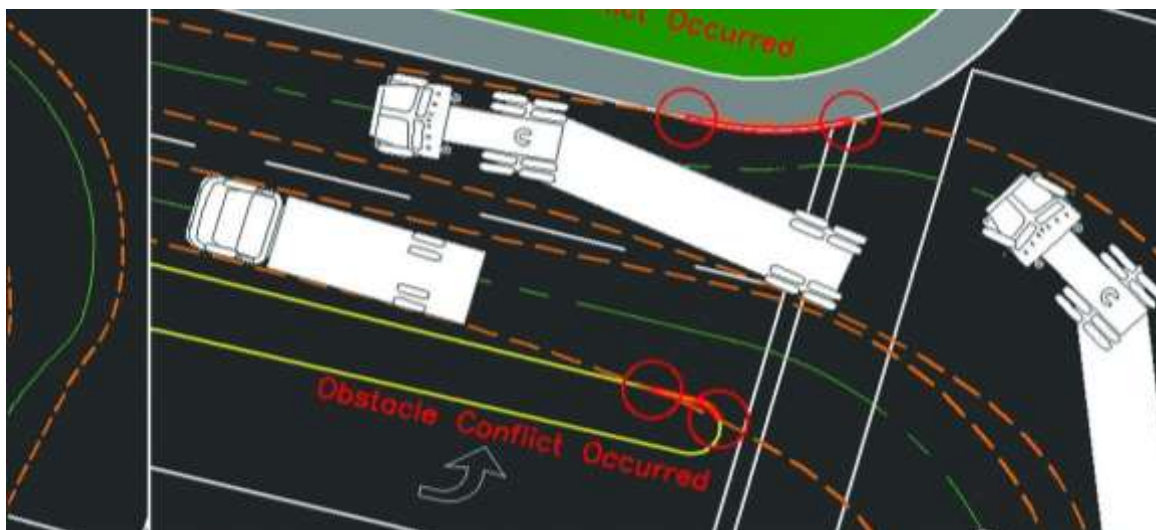


Εικόνα 1.1: Παράδειγμα διαδοχικών ελιγμών

Όποια και αν είναι η κατηγορία, οι καμπύλες αποτελούν ιδιαίτερα στοιχεία μιας οδικής χάραξης και απαιτούν ειδική μεταχείριση σε σύγκριση με μια ευθυγραμμία. Ένα παράδειγμα τέτοιας μεταχείρισης είναι η διαπλάτυνση του οδοστρώματος, η οποία διαφοροποιείται από κράτος σε κράτος τόσο ως προς τη μεθοδολογία όσο και ως προς τα αποτελέσματα που αποφέρουν. Η συγκεκριμένη διαφοροποίηση οφείλεται στην έλλειψη κοινών προτύπων εφαρμογής, εξαιτίας της αδυναμίας αντιμετώπισης των ιδιαιτεροτήτων και των επιμέρους αναγκών που μπορεί να παρουσιάζουν οι μέθοδοι υπολογισμού οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη έναν περιορισμένο αριθμό παραμέτρων.

Παράμετροι όπως το ανάγλυφο του εδάφους ή η χρήση της οδού είναι δυνατό να διαφοροποιήσουν σημαντικά τις απαιτήσεις χάραξης και η συμπερίληψή τους στη διαδικασία επίλυσης φαίνεται απαραίτητη. Είναι επιπλέον σημαντικό να ληφθούν

υπόψη τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οχημάτων σχεδιασμού, όπως η μέγιστη γωνία στροφής, με σκοπό την μέγιστη προσέγγιση των πραγματικών συνθηκών.



Εικόνα 1.2: Προσομοίωση διέλευσης οχημάτων σε κόμβο

Σε αρκετές χώρες, όπως η Γερμανία, καταβάλλονται προσπάθειες για την ανάπτυξη εργαλείων συμπληρωματικών των υφιστάμενων οδηγιών με τη χρήση νέων τεχνολογιών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η προσομοίωση κυκλοφορίας και η τηλεματική. Η υιοθέτηση τέτοιων πρακτικών έχει αποδειχθεί ότι οδηγεί σε βέλτιστες λύσεις που προσαρμόζονται στις συνθήκες και παρέχουν την επιθυμητή ισορροπία μεταξύ ασφάλειας, κόστους και λειτουργικότητας στην οδό. Ο δυναμικός τους χαρακτήρας τις καθιστά κατάλληλες για ευρεία εφαρμογή και ικανές να προσαρμόζονται στις συνεχώς μεταβαλλόμενες ανάγκες των οδικών μεταφορών.

1.2 Στόχοι διπλωματικής εργασίας

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των απαιτήσεων για τον υπολογισμό διαπλάτυνσεων σε οδικά τμήματα κατά την κίνηση λεωφορείων όπου θα λαμβάνονται περισσότερες παράμετροι υπόψη, με γνώμονα την πραγματική συμπεριφορά του οδηγού, σε σύγκριση με τους υφιστάμενους κανονισμούς. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία, θα έχει ενιαία χρησιμότητα, μέσω ενός μαθηματικού μοντέλου για την εκάστοτε περίπτωση που μελετάται. Για το λόγο αυτό θα γίνει σύγκριση και μελέτη με τους ελληνικούς κανονισμούς (ΟΜΟΕ – X) για τον υπολογισμό της διαπλάτυνσης του οδοστρώματος σε καμπύλες της περιφερειακής οδού της Πολυτεχνειούπολης. Για το σκοπό αυτό, και με την βοήθεια λογισμικών ηλεκτρονικού υπολογιστή, στα οποία μέσω των κατάλληλων υποθέσεων και με την μέθοδο προσομοίωσης της κίνησης του οχήματος στην οδό, υπολογίζεται η επιθυμητή διαπλάτυνση. Εξετάστηκε η ανάγκη διαπλάτυνσης σε επιλεγμένες καμπύλες του περιφερειακού δρόμου της Πολυτεχνειούπολης, με όχημα σχεδιασμού τα δύο

διαφορετικού μεγέθους λεωφορεία που διανύουν την συγκεκριμένη οδό, προκειμένου να γίνει σύγκριση με τα αποτελέσματα των ελληνικών οδηγιών (ΟΜΟΕ – X).



Εικόνα 1.3:Υπό μελέτη καμπύλες για διαπλάτυνση

1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας

Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας συνοψίζεται ως εξής :

Στο **πρώτο κεφάλαιο** πραγματοποιείται περιληπτική αναφορά στο πρόβλημα έλλειψης ενιαίας μεθοδολογίας στον υπολογισμό της διαπλάτυνσης οδοστρώματος, καθώς και στην παρουσίαση των υπό μελέτη καμπύλων στο περιφερειακό δρόμο του πολυτεχνείου που χρίζονται διαπλάτυνσης.

Το **δεύτερο κεφάλαιο** περιλαμβάνει την βιβλιογραφική ανασκόπηση. Γίνονται αναφορές και εξηγούνται υφιστάμενες οδηγίες, που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα καθώς και σε άλλες χώρες του κόσμου, για τον υπολογισμό της διαπλάτυνσης οδοστρώματος σε καμπύλη.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται η ανάπτυξη της μεθοδολογίας. Στην αρχή παρουσιάζονται βασικές έννοιες του κυκλικού τόξου. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή που βοήθησαν στην εύρεση της εξίσωσης που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της απαιτούμενης διαπλάτυνσης στις εξεταζόμενες καμπύλες, όπως το AutoTURN για την προσομοίωση κίνησης του οχήματος εντός της καμπύλης και το R-studio όπου με χρήση στατιστικών μοντέλων δημιουργήθηκε το μαθηματικό μοντέλο που μας επιτρέπει να βρούμε τη κατάλληλη τιμή της διαπλάτυνσης.

Το **τέταρτο κεφάλαιο** περιλαμβάνει την εφαρμογή του μοντέλου προσομοίωσης. Γίνεται αναφορά στη συλλογή και στο πλήθος των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η επιλογή της στατιστικής μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε. Τα αποτελέσματα

που προκύπτουν από το μαθηματικό μοντέλο συγκρίνονται με αυτά που απορρέουν από τις ελληνικές οδηγίες ,με ανάλογη διεξαγωγή συμπερασμάτων.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα βασικότερα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα διπλωματική εργασία και γίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

2.Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Μεθοδολογίες υπολογισμού διαπλάτυνσεων σε καμπύλη

2.1.1.Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες που εφαρμόζονται στην Ελλάδα (ΟΜΟΕ-Χ), καθώς και στην Γερμανία, Αμερική και Αυστραλία, σχετικά με την διαπλάτυνση του οδοστρώματος σε καμπύλη.

Παρουσιάζονται οι μεθοδολογίες υπολογισμού της διαπλάτυνσης σε καμπύλες σύμφωνα με τις :

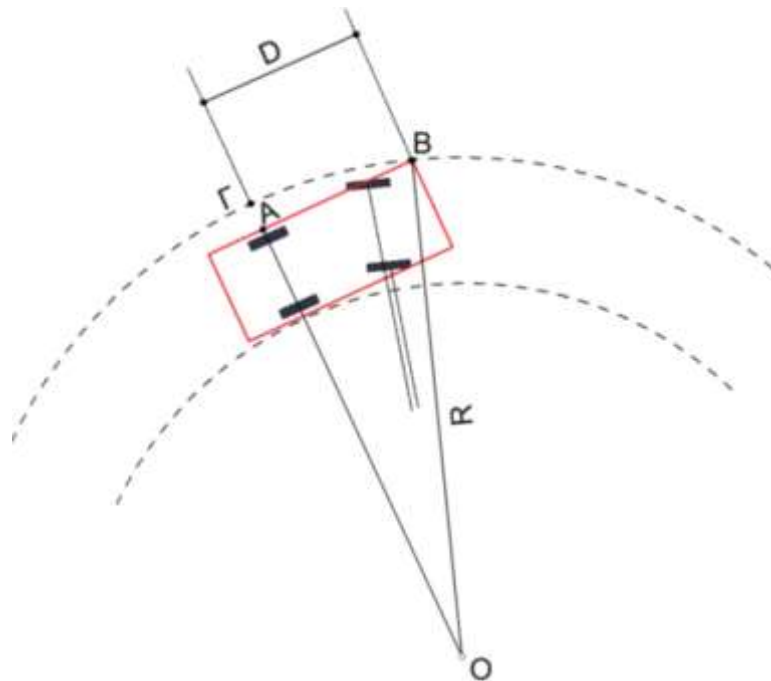
- Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) – Χαράξεις
- Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ) – Κύριες Αστικές Οδοί
- Οδηγίες για την κατασκευή υπεραστικών οδών – RAL
- Οδηγίες για την μελέτη αστικών οδών – RASt
- Οδηγίες για την κατασκευή οδών – United States Forest Service (USFS)
- Οδηγίες για την κατασκευή αυτοκινητοδρόμου –American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)
- Οδηγίες για την κατασκευή αυτοκινητοδρόμων – AUSTROADS



Εικόνα 2.1: Παράδειγμα διαπλάτυνσης κυκλικού τόξου σε υφιστάμενη οδό

Η διαπλάτυνση αναφέρεται στο επιπλέον πλάτος που απαιτείται όταν ένα όχημα κινείται σε καμπύλη. Η απαίτηση της διαπλάτυνσης οφείλεται στο φαινόμενο, στο οποίο οι πίσω τροχοί του οχήματος διαγράφουν τόξα μεγαλύτερης καμπυλότητας από

τους αντίστοιχους εμπρόσθιους. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα, η αναπτυσσόμενη πλευρική επιτάχυνση έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της διαφοράς αυτής μεταξύ εμπρόσθιου και οπίσθιου άξονα. Στις περιπτώσεις συνάντησης δύο οχημάτων σε καμπύλη απαιτείται μεγαλύτερη απόσταση ασφαλείας σε σχέση με την ευθυγραμμία.



Σχήμα 2.1: Παράδειγμα διαπλάτυνσης σε κυκλικό τόξο, ανά λωρίδα κυκλοφορίας

2.1.2 Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ)

Βασικοί Ορισμοί :Ομάδες Οδών – Πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας

Ένα οδικό τμήμα ταξινομείται σε μια ομάδα οδών με βάση τη θέση του και τις διαφορετικές ανάγκες χρήσης γης. Ιδιαίτερα στην περίπτωση των οδών με παρόδια δόμηση, οι απαιτήσεις χρήσης επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το είδος, τη σύνθεση, την πυκνότητα και την τάση για την καθιέρωση τέτοιων χρήσεων, για παράδειγμα, είναι σημαντικό εάν η οδός χρησιμοποιείται για οικιστική χρήση ή μόνο για εμπορικούς ή βιομηχανικούς σκοπούς. Η ύπαρξη δημόσιων δομών (π.χ. σχολεία, παιδικό σταθμοί, νοσοκομεία, μουσεία) έχει επίσης ιδιαίτερη σημασία για τη λειτουργία της πρόσβασης. Ο πολεοδομικός χαρακτηρισμός της περιοχής και του είδους της δόμησης και της χρήσης αυτής δε μπορεί από μόνος του να καθορίσει επαρκώς ούτε τις απαιτήσεις της σύνδεσης και της πρόσβασης, αλλά ούτε και τις απαιτήσεις της μη-κυκλοφοριακής λειτουργίας της παραμονής. Ο προσδιορισμός της καθοριστικής λειτουργίας μίας οδού είναι πρωτεύουσας σημασίας για τον εντοπισμό της ομάδας οδού στην οποία ανήκει.

Στην χώρα μας, η νομοθεσία που διέπει την ταξινόμηση των οικιστικών περιοχών (πόλεις, χωριά, κωμοπόλεις, οικισμοί κ.λπ.) είναι πολύπλοκη και όχι πλήρως θεσμοθετημένη. Για να είναι δυνατή η εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφεται για τον προσδιορισμό της λειτουργικής κατάταξης του οδικού δικτύου είναι αναγκαία η αντιστοίχιση με μεγάλο βαθμό προσέγγισης των οικισμών, αλλά και των κέντρων και άλλων περιοχών των πόλεων, όπως ισχύει σε άλλες χώρες. Σε μια προσπάθεια λοιπόν να απαντηθούν αυτές οι αντικρουόμενες χρήσεις μέσω του σχεδιασμού και της μελέτης ο προσδιορισμός της καθοριστικής λειτουργίας μιας οδού θεωρείται το πρώτο βήμα για τον εντοπισμό της κατηγορίας της. Η ανάθεση μιας καθοριστικής λειτουργίας σε ένα οδικό τμήμα δεν συνεπάγεται, ωστόσο, ότι οι απαιτήσεις, οι οποίες θα προκύψουν από τις άλλες δύο λειτουργίες, θα πρέπει να αγνοηθούν.

Ο ορισμός μιας λειτουργίας σε μια οδό προϋποθέτει ότι έχουν αποφασιστεί οι λειτουργικές απαιτήσεις που μπορεί να προκύψουν σε ένα οδικό τμήμα, οι οποίες, αν και αντιφατικές, θα θεωρηθούν από το έργο ως καθοριστικές για τη συγκεκριμένη οδό.

Οι οδοί απομένουν διακρίνονται κατά τμήμα με βάση τα επόμενα κριτήρια:

α. Θέση εντός ή εκτός σχεδίου πόλης(Snowden και οικισμοί προ του 1923)

β. Δυνατότητα εξυπηρέτησης παρόδιων ιδιοκτησιών

γ. Καθοριστικά λειτουργικά χαρακτηριστικά, αποτέλεσμα της στάθμισης των απαιτήσεων στη χρήση της οδού από τις τρεις λειτουργικές δυνατότητες.

- ✓ Σύνδεση
- ✓ Πρόσβαση
- ✓ Παραμονή

Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά ορίζονται πέντε ομάδες οδών Α έως Ε, Όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1

Θέση ως προς Κατοικημένες Περιοχές	Εξυπηρέτηση Παρόδιων Ιδιοκτησιών	Παρόδια Δόμηση	Λειτουργικός Χαρακτήρας	Ομάδα Οδών
εκτός	με περιορισμούς	όχι	σύνδεση	Α
εντός	με περιορισμούς	όχι	σύνδεση	Β
εντός	ναι	ναι	σύνδεση	Γ
εντός	ναι	ναι	πρόσβαση	Δ
εντός	ναι	ναι	παραμονή	Ε

Πίνακας 2.1. :Ομάδες Οδών κατά ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ.

Οι ομάδες των οδών Α έως Ε υποδιαιρούνται ανάλογα με τη λειτουργική βαθμίδα σε υποομάδες που χαρακτηρίζονται με τους λατινικούς αριθμούς I,II ,II,IV,V και VI

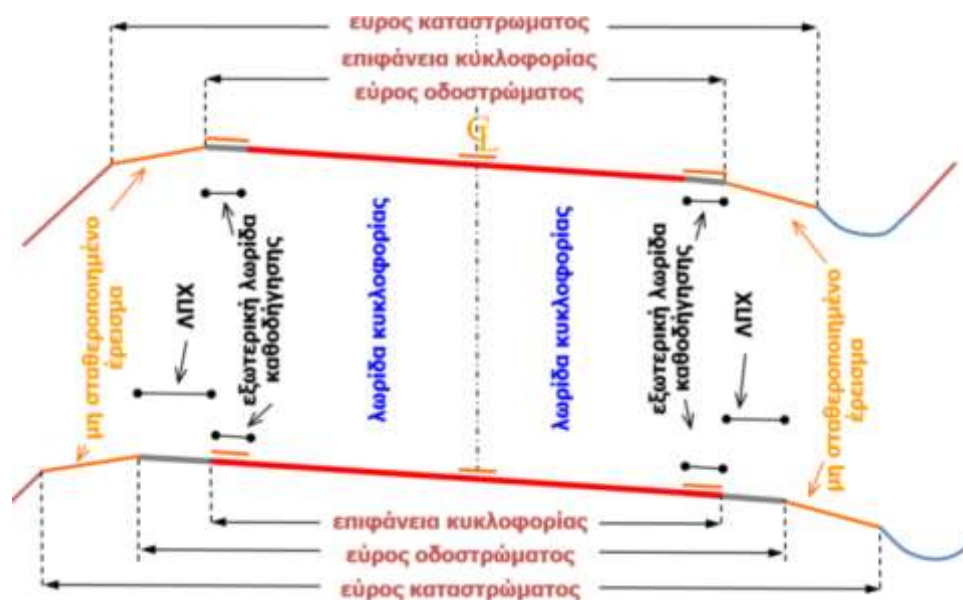
Βάσει των Οδηγιών για την λωρίδα κυκλοφορίας δίνονται οι εξής ορισμοί:

- ❖ Κύρια, η οποία είναι οποιαδήποτε διοικούσα λωρίδα της κανονικής διατομής
- ❖ Πρόσθετη (ΠΛΚ) , η οποία είναι κάθε λωρίδα ενός οδικού τμήματος με ένα συγκεκριμένο μήκος οδού για την κάλυψη των αναγκών αριστερής ή δεξιάς στροφής ή επιβράδυνσης της κυκλοφορίας

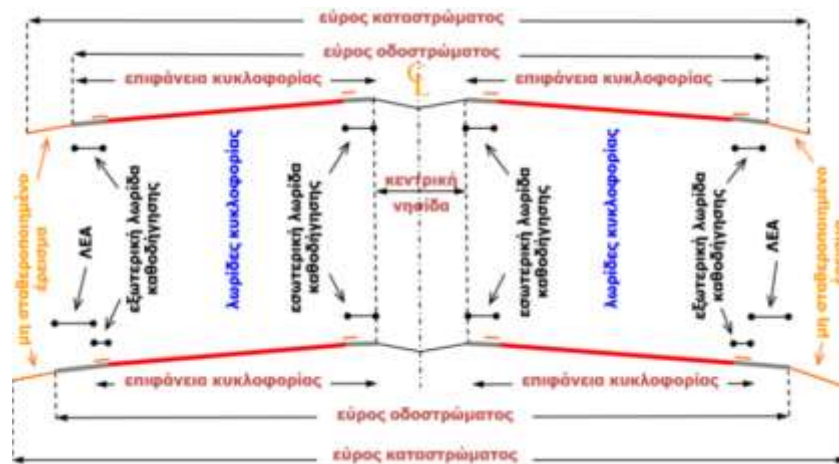
Οι παράμετροι που επηρεάζουν την λειτουργία και την διαμόρφωση των τμημάτων που συνιστούν τις διατομές είναι :

- Τα λειτουργικά δεδομένα του οδικού δικτύου
- Τα λειτουργικά δεδομένα της κυκλοφορίας όπως: η ταχύτητα, ο φόρτος και η σύνθεση της κυκλοφορίας
- Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον
- Η σχέση της οδού με τον παράδιο χώρο
- Οι διάφορες λειτουργικές απαιτήσεις που εμφανίζονται στον οδικό χώρο

Ο καθοριστικός παράγοντας για κάθε ομάδα οδών είναι το βασικό πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας. Στο σχήμα 2.2 φαίνονται τα μέρη που συνιστούν την διατομή σε υπεραστική οδό με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας και μία λωρίδα ανά κατεύθυνση. Η περίπτωση υπεραστικής οδού με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας με δύο λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση απεικονίζεται στο σχήμα 2.3.

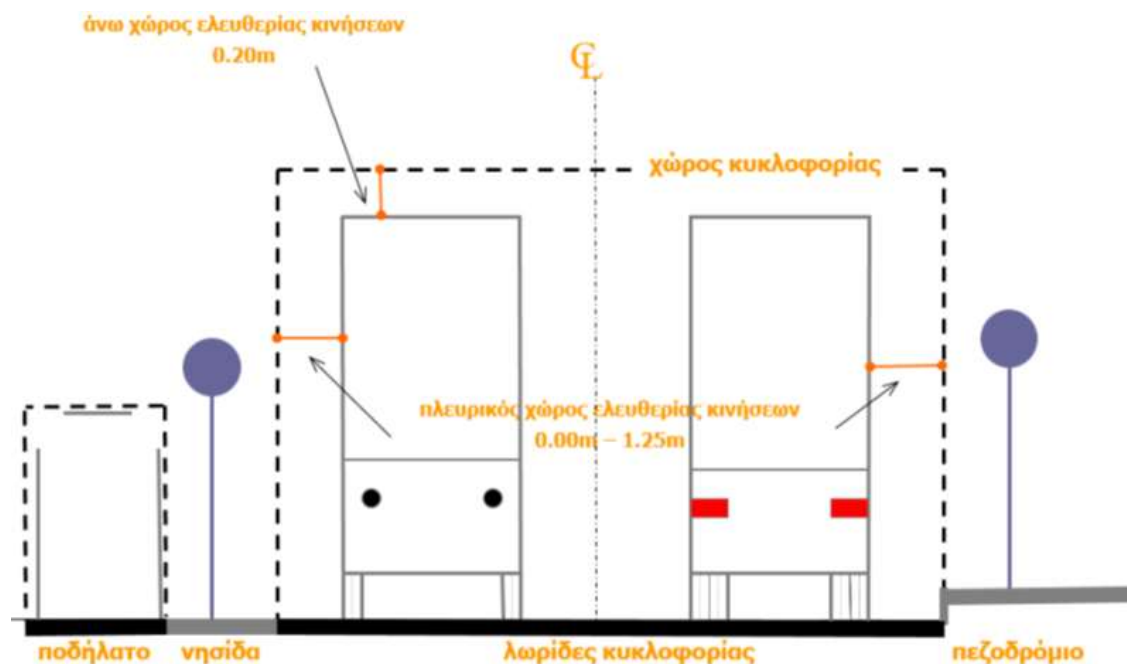


Σχήμα 2.2: Στοιχεία διατομής υπεραστικής οδού με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας μιας λωρίδας ανά κατεύθυνση.



Σχήμα 2.3 : Στοιχεία διατομής υπεραστικής οδού με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση.

Ο χώρος κυκλοφορίας περικλείει τον καταλαμβανόμενο από το όχημα σχεδιασμού χώρο, τους πλευρικούς και τους άνω χώρους ελευθερίας κινήσεων, την προσαύξηση του πλάτους λόγω αντιθέτου ρεύματος κυκλοφορίας, καθώς και τους χώρους που υπάρχουν πάνω από τις λωρίδες καθοδήγησης και τις εξωτερικές λωρίδες. Ο πλευρικός χώρος ελευθερίας κινήσεων είναι ο χώρος που κρίνεται απαραίτητος ως απόσταση ασφαλείας για τυχόν προεξέχοντα τμήματα φορτίων, εξωτερικούς καθρέφτες κ.λ.π, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι μικρό - εκτροπές κίνησης ενός οχήματος μη σταθερής τροχιάς. Οι διαστάσεις του πλευρικού χώρου ελευθερίας κινήσεων σε οδούς χωρίς παράδια δόμηση είναι συνάρτηση της ταχύτητας κίνησης, του κυκλοφοριακού φόρτου λαμβανόμενων, υπόψη της συχνότητας εμφάνισης αντίθετης κυκλοφορίας, των ελιγμών προσπεράσεις και της σύνθεσης της κυκλοφορίας (συμμετοχή μεγάλων οχημάτων), όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4. : Περιτύπωμα οδού κατά ΟΜΟΕ-Δ.

Το περιτύπωμα είναι η περιοχή του οδικού τμήματος στην οποία δεν πρέπει να εισέρχονται σταθερά εμπόδια εκτός από τα σήματα ασφαλείας και τα προστατευτικά κιγκλιδώματα. Αποτελείται από τον χώρο κυκλοφορίας και τον ανώτερο και πλευρικό χώρο ασφαλείας. Το πλάτος του πλευρικού χώρου ασφαλείας μετράται από το όριο του χώρου κυκλοφορίας και προς τα έξω. Το απαιτούμενο πλάτος εξαρτάται από τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα $V_{\text{επιτρ}}$. Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν ούτε λωρίδες καθοδήγησης ούτε κράσπεδα, ο πλευρικός χώρος ασφαλείας πρέπει να προσαυξάνεται κατά 0.25 m. Οι ορθοστάτες των πινακίδων σήμανσης και των κυκλοφοριακών εγκαταστάσεων με $\Phi \leq 8\text{cm}$ πρέπει να τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο άξονας συμμετρίας τους να συμπίπτει με το όριο του περιτυπώματος. Τα προστατευτικά στοιχεία και τα εύκολα παραμορφούμενα μέρη των πινακίδων σήμανσης και άλλων κυκλοφοριακών στοιχείων πρέπει να απέχουν από το χώρο κυκλοφορίας τουλάχιστον 0.50m. Όταν οι ορθοστάτες των πινακίδων σήμανσης και των κυκλοφοριακών εγκαταστάσεων έχουν διάμετρο $\Phi > 8\text{cm}$ αυτοί τοποθετούνται σύμφωνα με τους κανόνες ασφάλισης έναντι σταθερών εμποδίων.

Το πλάτος του άνω και πλευρικού χώρου ασφαλείας για ποδήλατα είναι 0.25m. Η προεξοχή των πινακίδων σήμανσης και των κυκλοφοριακών στοιχείων στο περιτύπωμα επιτρέπεται μέχρι τα όρια του κυκλοφοριακού χώρου.

Το πλάτος του άνω χώρου ασφαλείας για πεζούς είναι 0.25m, τα πεζοδρόμια που βρίσκονται σε επαφή με τις λωρίδες κυκλοφορίας αποτελούνται από τον κυκλοφοριακό χώρο των πεζών και το χώρο ασφαλείας, που ανήκει στον όμορο κυκλοφοριακό χώρο.

Το περιτύπωμα οδού, μαζί με τον πλευρικό χώρο και άνω ασφαλείας κατά ΟΜΟΕ- Δ φαίνεται στο πίνακα 2.2.

	ΟΜΟΕ	RAA	RAL
όχημα σχεδιασμού [υ x π] (m)	4.00 x 2.50	4.00 x 2.55 (2.60)	4.00 x 2.55
χώρος κυκλοφορίας για πεζούς και ποδήλατα [π x υ] (m)	2.00 x 2.25 ποδήλατα	-	2.50 x 2.25
πλευρικός χώρος ελευθερίας κινήσεων (m)	0.00, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 (0.00m για βασικό πλάτος οδού 2.50m, αυξαν. ανά 0.25m έως πλάτος οδού 3.75m=2.50+1.25)	0.70, 0.95, 1.20 (ανάλογα με θέση λωρίδας κυκλοφορ. στη διατομή)	0.70 (0.95 για ΒΟ)
άνω χώρος ελευθερίας κινήσεων (m)	0.20	0.25	0.25
πλευρικός χώρος ασφαλείας (m)	0.75, Vs50km/h 1.00, Vs70km/h 1.25, V>70km/h	1.00 1.25 (άνευ εξωτ. λωρ.)	1.25 (1.00, V=70km/h), στη νησίδα 1.00
άνω χώρος ασφαλείας (m)	0.30	0.45	0.25
πλευρικός χώρος ασφαλείας για πεζούς και ποδήλατα (m)	0.25 ποδήλατα	-	0.50
άνω χώρος ασφαλείας για πεζούς και ποδήλατα (m)	0.25	-	0.25

Πίνακας 2.2. : Συσχέτιση Χώρου Κυκλοφορίας και Περιτυπώματος κατά ΟΜΟΕ-Δ, RAA και RAL.

Τύπος Οχήματος	Εξωτερικές Διαστάσεις [m]						Ακτινα εξωτερικού κύκλου στροφής
	Μήκος	Απόσταση αξόνων	Μήκος προβόλου		Πλάτος	Ύψος	
			Εμπρόσθιος	Οπίσθιος			
Φορτηγό :	16.00				2.50	4.00	
Ρομουλκό (24 t)	9.50	5.30	1.50	2.70	2.50	4.00	έως 10.50
Ρομουλκούμενο (18 t)	7.10	4.70	1.10	1.30	2.50	4.00	
Λεωφορεία :							
Τουριστικά (πούλμαν)	12.00	6.30	2.55	3.15	2.50	3.40	11.50
Διόροφα	12.00	6.30	2.45	3.25	2.50	4.00	10.20
Γραμμής	11.48	5.88	2.56	3.04	2.50	3.05	11.00
Αρθρωτά	17.40	5.63/6.17	2.56	3.04	2.50	2.95	έως 12.00
Μέγιστες Τιμές							
Μειονομμένο όχημα	12.00						
Ημιρομουλκούμενο (επικαθήμενο)	16,50				2,50	4,00	12,50
Αρθρωτό λεωφορείο	18,00				(2,60)*		
Φορτηγό	18,00						

Πίνακας 2.3. : Διαστάσεις τυπικών βαρέων οχημάτων

Ομάδα διατομής	Πλήθος λωρίδων κυκλοφορίας	Πλάτος πλευρικού χώρου ελευθερίας κινήσεων τυπικού οχήματος μελέτης	Βασικό πλάτος λωρίδας *	Πρόσθετο πλάτος λωρίδας λόγω αντίθετης κατεύθυνσης κυκλοφορίας	Πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας χωρίς αντίθετη κυκλοφορία	Πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας με αντίθετη κυκλοφορία
[-]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	2	3	4	5	6	7
α	6 ή 4	1,25	3,75	-	εξωτερική 3,75 εσωτερικές 3,50	-
β	6 ή 4	1,00	3,50	-	3,50	-
	2+1			0,25	3,50	3,75
	2			0,25	-	3,75
γ	4	0,75	3,25	-	3,25	-
	2			0,25	-	3,50
δ	2	0,50	3,00	0,25	-	3,25
ε	2	0,25	2,75	0,25	-	3,00
ζ	2	-	2,50	0,25	-	2,75

Πίνακας 2.4: Διαστάσεις λωρίδων κυκλοφορίας διατομής οδού

Μεθοδολογία υπολογισμού διαπλάτυνσης για Κυρίες αστικές Οδούς

Η διαπλάτυνση της επιφάνειας κυκλοφορίας στα καμπύλα τμήματα είναι σημαντική ώστε, στην περίπτωση των τυπικών συναντήσεων οχημάτων, επειδή είναι η συχνή περίπτωση για τη μελέτη της οδού, και ανάλογα την αναμενόμενη συχνότητα τους, να εξασφαλίζεται η ροή της κυκλοφορίας και στα καμπύλα τμήματα. Από τη στιγμή που η επικράτηση των τυπικών συναντήσεων οχημάτων είναι σπάνια, η χρήση της άλλης λωρίδας από μεγαλύτερα οχήματα είναι επίσης αποδεκτή, εάν έτσι αποφεύγεται η ανεπιθύμητη παρέμβαση στον οδικό χώρο.

Η διαπλάτυνση της οδού στο κυκλικό τόξο υπολογίζεται για κάθε λωρίδα κυκλοφορίας από τη σχέση, σύμφωνα με τους ΟΜΟΕ- Χαράξεις:

όπου:

$$i_{max} = \left(R - \sqrt{R^2 - D^2} \right)$$

i_{max} [m] = διαπλάτυνση οδοστρώματος

R [m] = ακτίνα κυκλικού τόξου

D [m] = μεταξόνιο και εμπρόσθια προεξοχή

Όταν οι ακτίνες λαμβάνουν τιμές $R \geq 30m$, ο υπολογισμός της τιμής i_{max} μπορεί να υπολογιστεί και από την προσεγγιστική σχέση:

$$i = \frac{D^2}{2R}$$

Για την τιμή D των διαφόρων οχημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αποστάσεις του πίνακα 2.5:

Τύπος Οχήματος	D (m)
επιβατηγό όχημα	4.00
φορτηγό (βαρύ όχημα)	8.00
φορτηγό ημιρυμουλκούμενο (επικαθήμενο)	10.00
λεωφορείο 1 (τυπικό λεωφορείο)	8.50
λεωφορείο 2 (αρθρωτό λεωφορείο)	9.00
λεωφορείο 3 (τύπου megaliner)	11.70

Πίνακας 2.5: Μήκος μεταξονίου και εμπρόσθιας προεξοχής ανά τύπο οχήματος

Η συνολική απαιτούμενη διαπλάτυνση του οδοστρώματος ανάλογα με την τυπική περίπτωση συνάντησης (σε οδούς κατηγορίας ΓΙΙ φορτηγό/φορτηγό, σε οδούς κατηγορίας ΓΙV συνάντηση τυπικών οχημάτων σύμφωνα με τις ισχύουσες τοπικές συνθήκες κυκλοφορίας), ισούται με το άθροισμα των διαπλάτυνσεων για κάθε λωρίδα κυκλοφορίας η συνολική αυτή τιμή της διαπλάτυνσης θεωρείται, απαραίτητη μόνο όταν η μεταβολή της γωνίας διεύθυνσεων μέχρι του σημείου που διαπλάτυνση θα λάβει την τελική της τιμή υπερβαίνει την τιμή:

$$\gamma_{imax} = 5 \arcsin\left(\frac{D}{R}\right) \cdot \frac{200}{R}$$

Σε διαφορετική περίπτωση η διαπλάτυνση υπολογίζεται από τη εξής σχέση:

$$i = \rho \cdot i_{max}$$

$$\text{με } \rho = \sqrt[3]{\frac{\gamma_{v\pi}}{\gamma_{imax}}}$$

i = μειωμένη τιμή διαπλάτυνσης

$\gamma_{v\pi}$ = υπάρχουσα μεταβολή γωνίας διεύθυνσης

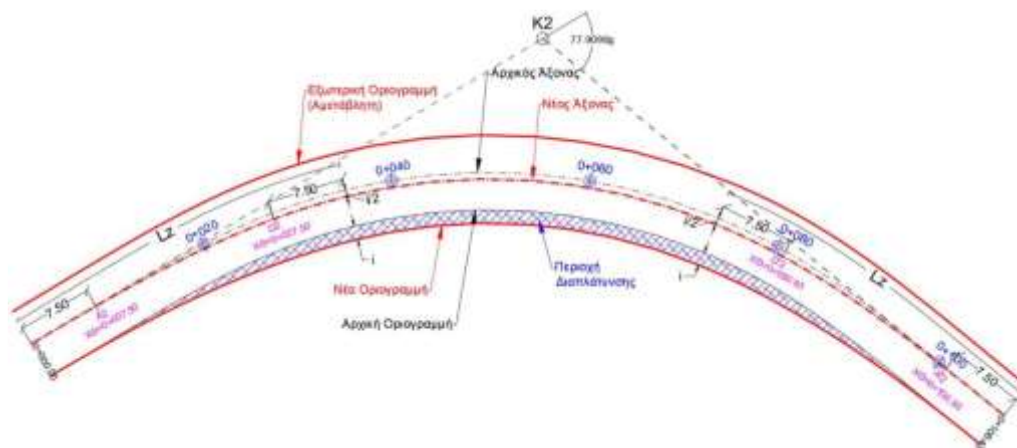
η κυκλοφορία είναι κυκλοφορία φορτηγών, με την τυπική περίπτωση συνάντησης ημιρυμουλκούμενο φορτηγό / ημιρυμουλκούμενο φορτηγό.

Περίπτωση Συνάντησης	Διαπλάτυνση Οδοστρώματος (n=2 λωρίδες)		
	i (m)	Πλάτος Οδοστρώματος	
		b ≤ 6.0m	b > 6.0m
φορτηγό ημιρυμουλκούμενο (επικαθήμενο)	$50 \frac{n}{R}$	30 < R ≤ 400	30 < R ≤ 200
λεωφορείο 2 (αρθρωτό λεωφορείο)	$40 \frac{n}{R}$	30 < R ≤ 320	30 < R ≤ 160

Πίνακας 2.7. : Τιμή διαπλάτυνσης συναρτήσει του πλάτους οδοστρώματος (n=2 λωρίδες)

Διαπλάτυνση οδοστρώματος υλοποιείται μόνον όταν η υπολογιζόμενη τιμή είναι $\geq 0,25m$ και $\geq 0.50m$ αντιστοίχως για πλάτη οδοστρώματος $b \leq 6,0m$ και $b > 6,00m$. Οι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό της διαπλάτυνσης του οδοστρώματος αναφέρονται στον άξονα του οδοστρώματος. Η διαπλάτυνση εφαρμόζεται στην εσωτερική οριογραμμή του οδοστρώματος δηλαδή στην εσωτερική λωρίδα κυκλοφορίας, με εξαίρεση τον ανακάμπτοντα ελιγμό.

Η μετάβαση από ένα τμήμα με κανονικό πλάτος οδοστρώματος σε ένα τμήμα με διευρυμένο πλάτος i γίνεται με τα τρία στοιχεία της ευθυγράμμισης, του κλωθοειδούς και του κυκλικού τόξου. Στο Σχήμα 2.5 απεικονίζεται η αρχική κατάσταση καθώς και η τελική μετά την εφαρμογή της διαπλάτυνσης. Η περιοχή της διαπλάτυνσης εκτείνεται σε μήκος 7.50m πριν την αρχή του τόξου συναρμογής έως 7.50m μετά το πέρασ του τόξου συναρμογής.



Σχήμα 2.5: Εφαρμογή διαπλάτυνσης σε τυπική καμπύλη οδού

2.3.3 Γερμανικές οδηγίες χάραξης

Βασικοί ορισμοί

Οι γερμανικές οδηγίες σχεδιασμού οδικών δικτύων (RIN) διαφέρουν ελάχιστα από τις ελληνικές οδηγίες (ΟΜΟΕ-Χ), τόσο ως προς τη μεθοδολογία όσο και ως προς τις παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό. Επιπλέον, οι ΟΜΟΕ βασίστηκαν στους γερμανικούς κανονισμούς με μικρές τροποποιήσεις για τη βέλτιστη

προσαρμογή στην ελληνική τοπογραφία. Ωστόσο, οι RIN έχουν πολύ πιο δυναμικό χαρακτήρα, με συχνές αλλαγές, με στόχο τον εκσυγχρονισμό των διαδικασιών σχεδιασμού, την ανταπόκριση στον αυξανόμενο φόρτο της οδικής κυκλοφορίας και τη μεγιστοποίηση της ποιότητας και της ασφάλειας του οδικού δικτύου.

Βασικός παράγοντας για τον καθορισμό των παραμέτρων σχεδιασμού είναι η κατηγοριοποίηση των δρόμων με βάση:

- I. Του χαρακτήρα των οδών και της σύνδεσης που προσφέρουν
- II. Της στάθμης λειτουργίας τους (π.χ. αν εξυπηρετούν διεθνείς μεταφορές)

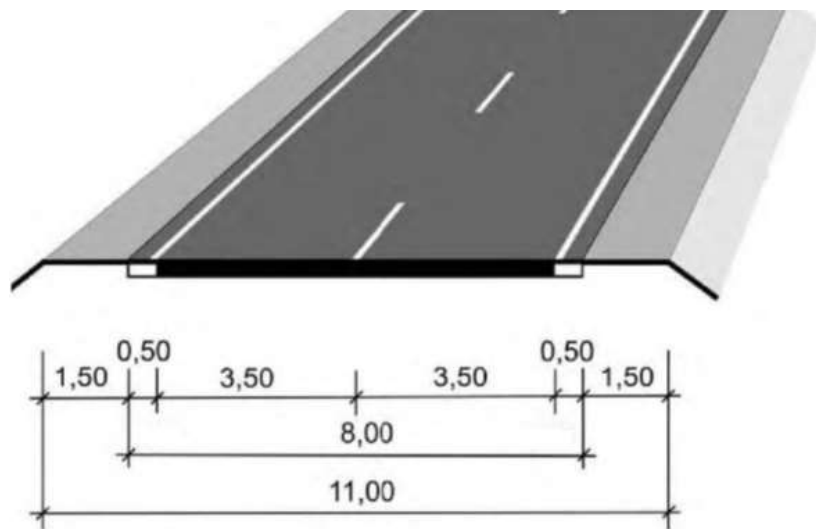
Για την ανάπτυξη των διαδικασιών χάραξης στις κατηγορίες που προέκυψαν, δημιουργήθηκαν τρία διαφορετικά έγγραφα (RAA - RAL - RAST) με ξεχωριστό πεδίο εφαρμογής. (Πίνακας 2.8)

Ομάδα οδών		Αυτοκινητόδρομοι	Αγροτικές οδοί	Οδικές αρτηρίες σε μη κατοικημένες περιοχές	Οδικές αρτηρίες σε κατοικημένες περιοχές	Τοπικές οδοί
		AS	LS	VS	HS	ES
Διεθνής	0	AS 0		-	-	-
Εθνική	I	AS I	LS I		-	-
Διαπεριφερειακή	II	AS II	LS II	VS II		-
Περιφερειακή	III	-	LS III	VS III	HS III	
Υποπεριοχών	IV	-	LS IV	-	HS IV	ES IV
Τοπική	V	-	LS V	-		ES V

Πεδίο εφαρμογής: **RAA** **RAL** **RASt**

Πίνακας 2.8: Κατηγορίες οδών και πεδίο εφαρμογής γερμανικών οδηγιών

Στο σχήμα 2.5 παρουσιάζεται μία τυπική διατομή οδού δύο λωρίδων κυκλοφορίας κατηγορίας (LS III) όπου φαίνεται ο επιμέρους διαχωρισμός του βασικού πλάτους του οδοστρώματος στα συστατικά του μέρη.



Σχήμα 2.6. : Τυπική διατομή υπεραστικών οδών EKL3 (RAL, 2012).

Με τον περιοριστικό παράγοντα της ταχύτητας μελέτης και της ελάχιστης επιτρεπόμενης ακτίνας καμπυλότητας στις καμπύλες, η μεθοδολογία για τον υπολογισμό της διαπλάτυνσης των καμπυλών, RAL και RASt αντίστοιχα για αγροτικές και τοπικές οδούς παρουσιάζεται παρακάτω.

Μεθοδολογία υπολογισμού διαπλάτυνσης σε καμπύλη σε αγροτική οδό (RAL)

Σε καμπύλες με ακτίνα καμπυλότητας $R < 200$ m εφαρμόζεται διαπλάτυνση:

$$i = 100/R$$

i [m] = η εφαρμοζόμενη διαπλάτυνση

R [m] = η ακτίνα καμπυλότητας της καμπύλης

Η διερεύνηση προστίθεται στο βασικό πλάτος, εφαρμόζεται σε όλο το μήκος του κυκλικού τόξου, στο εσωτερικό της καμπύλης.

Μεθοδολογία υπολογισμού διαπλάτυνσης σε καμπύλη σε οδό τοπικού χαρακτήρα (RASt)

Η διαπλάτυνση της οδού στο κυκλικό τόξο υπολογίζεται για κάθε λωρίδα κυκλοφορίας από τη σχέση:

$$i_{max} = \left(R - \sqrt{R^2 - D^2} \right)$$

i_{max} [m] = διαπλάτυνση οδοστρώματος

R [m] = ακτίνα κυκλικού τόξου

D [m] = μεταξόνιο και εμπρόσθια προεξοχή

Όταν οι ακτίνες λαμβάνουν τιμές $R \geq 30$ m, ο υπολογισμός της τιμής i_{max} μπορεί να υπολογιστεί και από την προσεγγιστική σχέση:

$$i = n \frac{D^2}{2R}$$

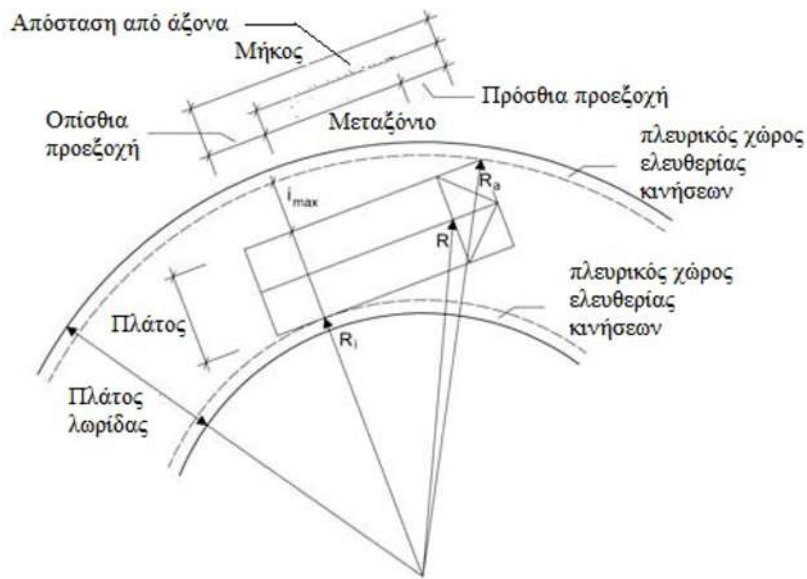
όπου:

i [m] = διαπλάτυνση οδοστρώματος

R [m] = ακτίνα κυκλικού τόξου

D [m] = μεταξόνιο και εμπρόσθια προεξοχή

n = αριθμός λωρίδων κυκλοφορίας



Σχήμα 2.7 :Θέση οχήματος εν κινήση σε κυκλικό τόξο

Για την παράμετρο D χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες τιμές :

Τύπος Οχήματος	D (m)
επιβατηγό όχημα	4.00
φορτηγό (βαρύ όχημα)	8.00
φορτηγό ημιρυμουλκούμενο (επικαθήμενο)	10.00
λεωφορείο 1 (τυπικό λεωφορείο)	8.50
λεωφορείο 2 (αρθρωτό λεωφορείο)	9.00
λεωφορείο 3 (τύπου megaliner)	11.70

Πίνακας 2.9 :Μήκος μεταξόνιου και εμπρόσθιας προεξοχής ανά τύπο οχήματος

Η συνολική αυτή τιμή της διαπλάτυνσης θεωρείται, εν τούτοις, απαραίτητη μόνο όταν η μεταβολή της γωνίας διεύθυνσης μέχρι τη μέγιστη διαπλάτυνση του οδοστρώματος υπερβαίνει την τιμή:

$$\gamma_{imax} = 2\left(\frac{D}{R}\right) \cdot \frac{200}{R}$$

Σε διαφορετική περίπτωση η διαπλάτυνση υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$i = \rho \cdot i_{max}$$

$$\text{με } \rho = \sqrt[3]{\frac{\gamma_{v\pi}}{\gamma_{imax}}}$$

i = μειωμένη τιμή διαπλάτυνσης

$\gamma_{v\pi}$ = υπάρχουσα μεταβολή γωνίας διεύθυνσης

γ_{imax} = μέγιστη γωνία διεύθυνσης

ρ = συντελεστής μείωσης

Διαπλατύνσεις με τιμές μικρότερες από 0.25 m δεν λαμβάνονται υπόψη όταν το πλάτος της επιφάνειας κυκλοφορίας είναι ≤ 6.00 m. Το ίδιο ισχύει για διαπλατύνσεις μικρότερες από 0,50m και πλάτη οδοστρωμάτων μεγαλύτερα των 6.00m. Οι υπολογισμοί των διαπλατύνσεων για κάθε μία λωρίδα κυκλοφορίας αναφέρονται στον άξονα της οδού. Η διαπλάτυνση i εφαρμόζεται στην εσωτερική πλευρά της καμπύλης, δηλαδή στην εσωτερική λωρίδα κυκλοφορίας.

2.2.4 Μεθοδολογία υπολογισμού διαπλατύνσεων σύμφωνα με τις Αμερικανικές οδηγίες

Μεθοδολογία σε αυτοκινητόδρομους σύμφωνα με τους geometric design of highways & streets – AASHTO

Η πορεία εκτός τροχιάς είναι ένα χαρακτηριστικό κοινό σε όλα τα οχήματα, αν και εμφανίζεται συχνότερα σε οχήματα μεγαλύτερου μεγέθους, όπου οι πίσω τροχοί δεν ακολουθούν ακριβώς την ίδια πορεία με τους μπροστινούς τροχούς όταν το όχημα διασχίζει μια οριζόντια καμπύλη ή κατά τη διάρκεια μιας στροφής. Όταν ένα όχημα βρίσκεται σε καμπύλη με επίκλιση, οι πίσω τροχοί μπορεί να κινούνται εσωτερικά των εμπρόσθιων τροχών περισσότερο ή λιγότερο από ό,τι αν κινούνταν σε καμπύλη χωρίς επίκλιση. Αυτό οφείλεται στη γωνία ολίσθησης, που ορίζεται από την κατεύθυνση κίνησης των τροχών σε σχέση με την κατεύθυνση κίνησης του οχήματος, η οποία εξαρτάται από την πλευρική πρόσφυση που δημιουργείται μεταξύ του οδοστρώματος και των κινούμενων τροχών. Η σχετική θέση των τροχών του οχήματος εξαρτάται από την ταχύτητα και την τριβή που δημιουργείται για τη διατήρηση της πλευρικής δύναμης που αντιτίθεται στην εφαρμοζόμενη επίκλιση ή, όταν κινείται αργά, από την τριβή που δημιουργείται για την αντιμετώπιση της επίδρασης μιας εφαρμοζόμενης επίκλισης που δεν αντιτίθεται στην πλευρική δύναμη. Σε υψηλότερες ταχύτητες, οι πίσω τροχοί μπορούν επίσης να μετατοπιστούν προς τα έξω σε σχέση με τους μπροστινούς τροχούς.

Διαμόρφωση κατασκευαστικών υπολογισμών για τη διαπλάτυνση σε οριζόντιες καμπύλες.

Σε κάθε περίπτωση, το μέγεθος της κίνησης εκτός τροχιάς, και επομένως το μέγεθος της απαιτούμενης διαπλάτυνσης στις οριζόντιες καμπύλες, εξαρτάται επίσης από το μήκος και άλλα χαρακτηριστικά του τυπικού οχήματος σχεδιασμού και την ακτίνα καμπυλότητας που διανύει. Η επιλογή του τύπου οχήματος βασίζεται στο μέγεθος και τη συχνότητα κίνησης των διαφόρων τύπων οχημάτων στην τοποθεσία που μελετάται. Η απαιτούμενη διαπλάτυνση αυξάνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος του οχήματος σχεδιασμού και μειώνεται όσο αυξάνεται η ακτίνα καμπυλότητας.

Οι διαστάσεις του τυπικού οχήματος σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της κατάλληλης διαπλάτυνσης της οδού στις καμπύλες, συμπεριλαμβανομένου του πλάτους των οχημάτων σχεδιασμού που μπορεί να

συναντήσουν ή να διασχίσουν την καμπύλη είναι: U : ο πλευρικός χώρος που πρέπει να είναι ελεύθερος από εμπόδια ανά όχημα C : το πλάτος της εμπρόσθιας προεξοχής του οχήματος που διασχίζει την εσωτερική λωρίδα F_a : το πλάτος που προεξέχει προς τα πίσω F_b : το πλάτος που επιτρέπεται λόγω της δυσκολίας στις στροφές.

Το πλάτος του οχήματος (U) που κινείται σε μια καμπύλη ή πραγματοποιεί μια στροφή, που ονομάζεται επίσης περίγραμμα της επιφάνειας που διασχίζει, είναι το άθροισμα του πλάτους του οχήματος στην εφαπτομένη και το μέγεθος της πορείας εκτός τροχιάς. Η πορεία εκτός τροχιάς εξαρτάται από την ακτίνα της στροφής ή της καμπύλης καθώς και από το μήκος της απόστασης μεταξύ των τροχών ανάμεσα στους άξονες του τυπικού οχήματος και τον αριθμό και τις θέσεις των σημείων άρθρωσης. Το πλάτος του οχήματος στην καμπύλη (U) υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$U = u + R - (R^2 - \sum L_i^2)^{0,5}$$

όπου:

U = πλάτος οχήματος στην καμπύλη

u = πλάτος οχήματος στην εφαπτομένη

R = ακτίνα της καμπύλης

L = απόσταση μεταξύ των τροχών του οχήματος σχεδιασμού ανάμεσα στους άξονες κατά σειρά

Η παραπάνω σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για οποιονδήποτε συνδυασμό πραγματικής ακτίνας και μήκους της απόστασης μεταξύ των τροχών. Η ακτίνα των ανοικτών καμπυλών στον αυτοκινητόδρομο προκύπτει από το μέσο του εμπρόσθιου άξονα- ωστόσο, πολύ συχνά για σκοπούς σχεδιασμού σε αυτοκινητόδρομο δύο λωρίδων, η ακτίνα της καμπύλης στο κέντρο του αυτοκινητόδρομου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απλούστευση των υπολογισμών.

Η απόσταση μεταξύ των τροχών (L_i) που χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς περιλαμβάνει τις αποστάσεις μεταξύ των αξόνων και των σημείων άρθρωσης του οχήματος. Για μεμονωμένα οχήματα, λαμβάνεται υπόψη μόνο η απόσταση μεταξύ του μπροστινού άξονα και των κινούμενων τροχών. Η άρθρωση χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του U . Για παράδειγμα, ένας συνδυασμός ημιρυμουλκούμενων έχει τρία μεγέθη L τα οποία λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό της διαδρομής εκτός τροχιάς: (1) η απόσταση μεταξύ του μπροστινού άξονα και του άξονα (-ες) διεύθυνσης στον τράκτορα, (2) η απόσταση από τον άξονα διεύθυνσης και το σημείο περιστροφής και (3) η απόσταση μεταξύ του σημείου περιστροφής και του πίσω άξονα.

Επιπλέον, ορισμένοι όροι μπορεί να είναι αρνητικοί αντί για θετικοί εάν το σημείο άρθρωσης βρίσκεται μπροστά και όχι πίσω από τον άξονα διεύθυνσης ή εάν υπάρχει προεξέχων πίσω άξονας. Ο οπίσθιος προεξέχων άξονας είναι η απόσταση μεταξύ του πίσω άξονα και του γάντζου σύζευξης του ρυμουλκούμενου οχήματος για ένα συνδυασμό ημιρυμουλκούμενου οχήματος.

Ο πλευρικός χώρος που πρέπει να είναι ελεύθερος από εμπόδια, C , προβλέπεται για την ορατότητα μεταξύ του ορίου του οδοστρώματος και τη πλησιέστερη τροχιά του

ελαστικού και για το χώρο ελεύθερης κίνησης μεταξύ διερχόμενων οχημάτων ή οχημάτων που συναντιούνται. Ο πλευρικός χώρος που πρέπει να είναι ελεύθερος από εμπόδια παίρνει τιμές 0.60, 0.75 και 0.90 m και τα εφαπτομενικά πλάτη W με τιμές 6.00, 6.60 και 7.20 m.

Το πλάτος της εμπρόσθιας προεξοχής είναι η ακτινική απόσταση μεταξύ του εξωτερικού άκρου της εξωτερικής τροχιάς και της διαδρομής της εμπρόσθιας εξωτερικής προεξοχής του σώματος του οχήματος- στις καμπύλες, το πλάτος εξαρτάται από την ακτίνα της καμπύλης, το πλάτος της εμπρόσθιας προεξοχής του οχήματος σχεδιασμού και την απόσταση μεταξύ των τροχών του ίδιου του οχήματος. Στην περίπτωση του ζεύγους τράκτορα-ρυμουλκούμενου, χρησιμοποιείται μόνο η απόσταση μεταξύ των τροχών του τράκτορα. Στο σχήμα 2.10 και 2.11 παρουσιάζονται οι σχετικές διαστάσεις της προεξοχής για το Fa που προσδιορίζονται από τη σχέση.

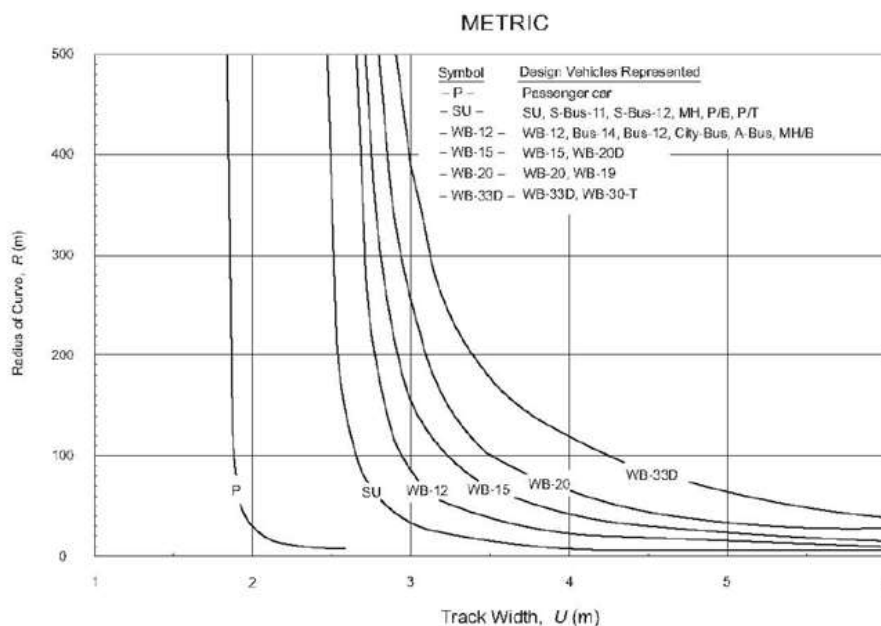
$$F_A = (R^2 + A(2L + A))^{0,5} - R$$

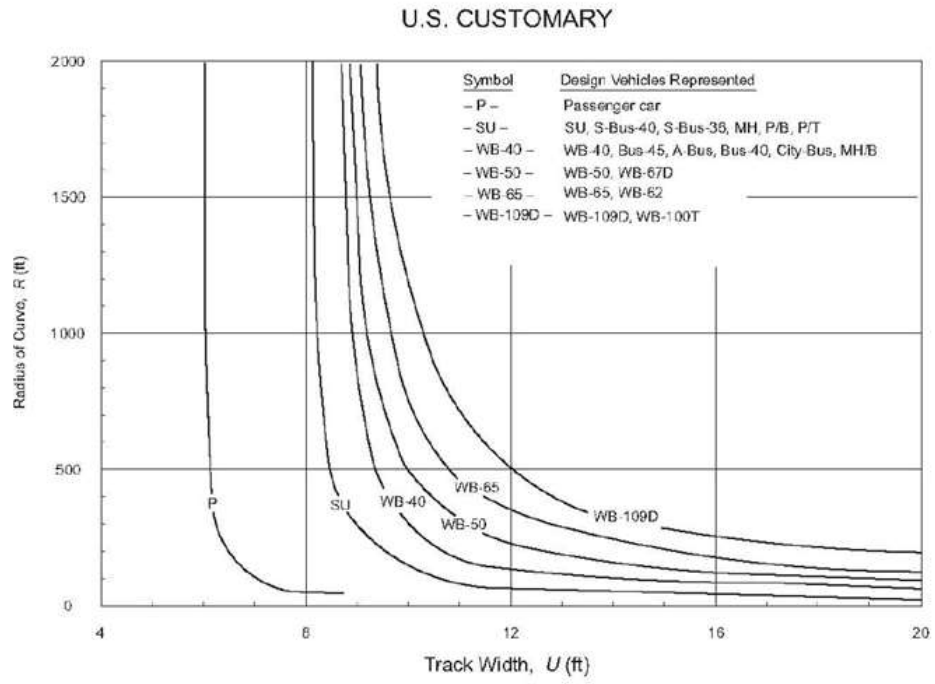
Όπου :

R = Ακτίνα καμπυλότητας , m

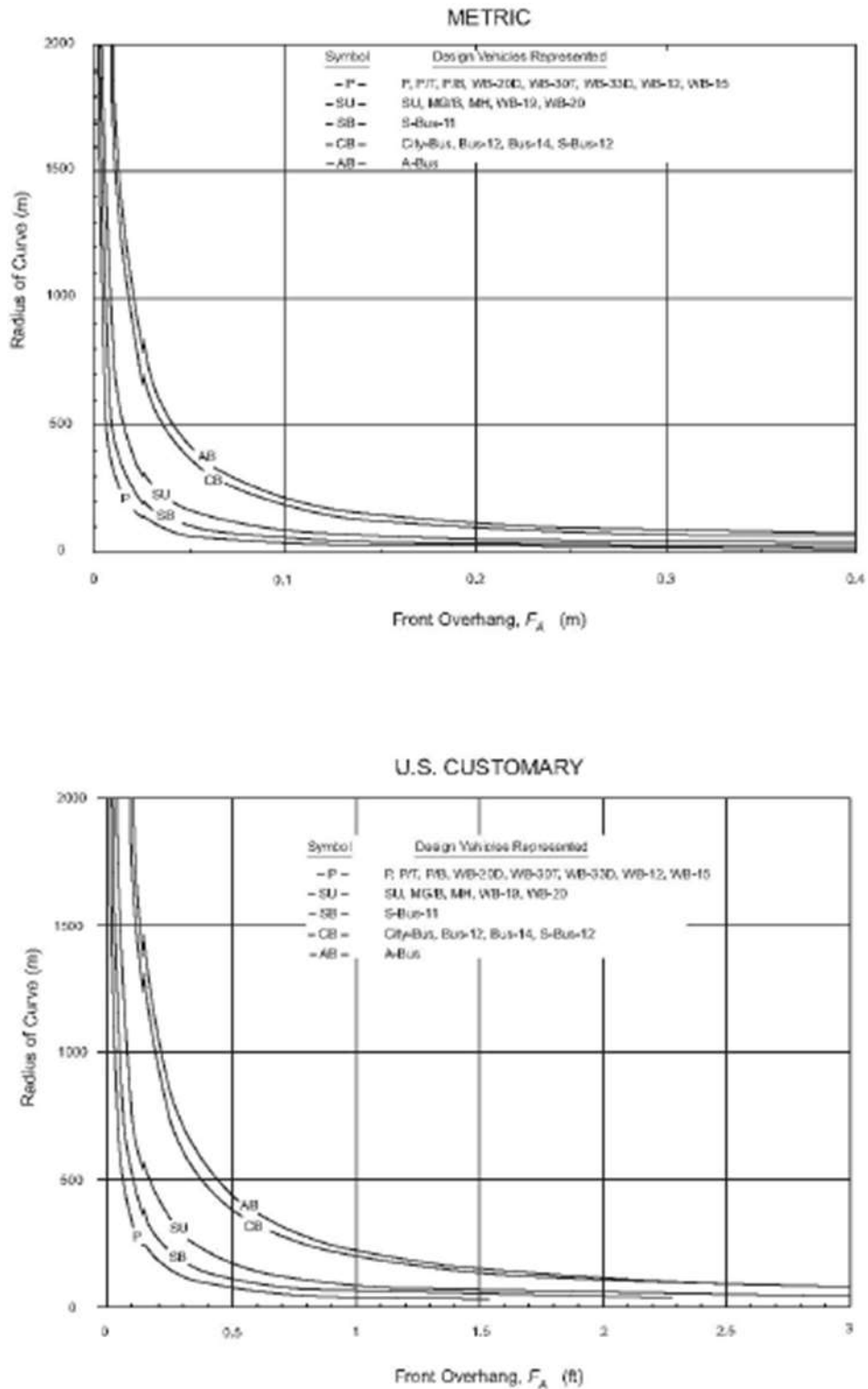
A= το μήκος της πρόσθιας προεξοχής του οχήματος που κινείται στην εσωτερική λωρίδα, m

L= απόσταση μεταξύ των τροχών της μονάδας ή τράκτορα





Πίνακας 2.10 : Πλάτος οχήματος για διαπλάτυνση του οδοστρώματος σε καμπύλη



Πίνακας 2.11: Μπροστινή προεξοχή για διαπλάτυνση σε καμπύλη

Το πλάτος της προεξοχής (F_b) είναι η ακτινική απόσταση μεταξύ του εξωτερικού άκρου της εσωτερικής τροχιάς και της διαδρομής της εσωτερικής εμπρόσθιας προεξοχής του

σώματος του οχήματος. Για τα οχήματα σχεδιασμού επιβατικών αυτοκινήτων (P), το πλάτος του σώματος του οχήματος είναι κατά 0.30 m μεγαλύτερο από το πλάτος των πίσω τροχών από άκρη σε άκρη, οπότε προκύπτει $F_b = 0,15$ m. Στα οχήματα σχεδιασμού των φορτηγών, το πλάτος του σώματος είναι ίσο με το πλάτος των πίσω τροχών από άκρη σε άκρη, οπότε προκύπτει $F_b = 0$.

Το πρόσθετο πλάτος ανοχής (Z) είναι ένα συμπληρωματικό ακτινικό πλάτος της λωρίδας που αφήνει χώρο για δυσκολίες στην καμπύλη και αποκλίνουσα οδηγική συμπεριφορά. Αυτό το πρόσθετο πλάτος είναι ένα εμπειρικό μέγεθος που μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα κυκλοφορίας και την ακτίνα καμπυλότητας. Το πρόσθετο πλάτος ανοχής υπολογίζεται από:

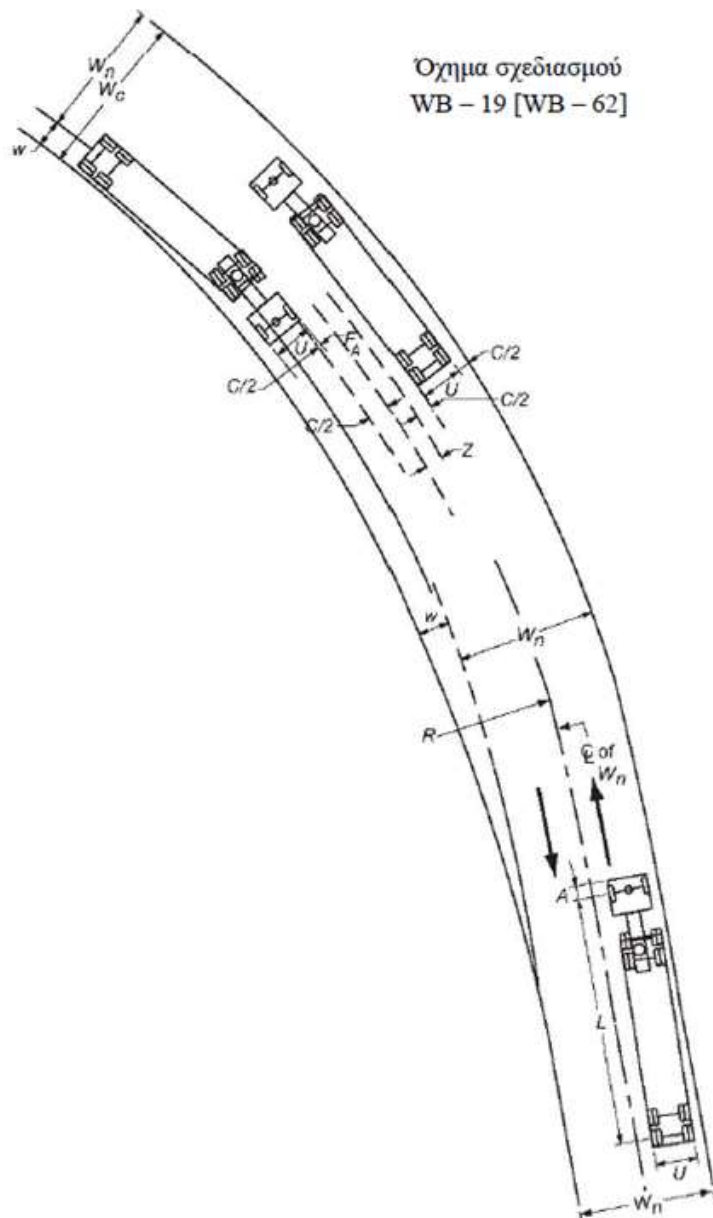
$$Z = 0,1 \left(\frac{V}{R^{0,5}} \right)$$

όπου:

V = ταχύτητα σχεδιασμού για τον αυτοκινητόδρομο km/h

R = ακτίνα καμπυλότητας ή ακτίνα λωρίδας αλλαγής διεύθυνσης

Η σχέση αυτή, η οποία χρησιμοποιείται κυρίως για τη διαπλάτυνση σε ανοικτούς αυτοκινητόδρομους, είναι επίσης κατάλληλη για καμπύλες διασταυρώσεων. Το σχήμα 2.7 δείχνει τις υπολογισμένες τιμές του Z για ταχύτητες από 20 έως 100 χλμ/ώρα. Για το σύνηθες εύρος ακτίνων καμπυλότητας σε διασταυρώσεις, το Z λαμβάνεται ως ένα σχεδόν σταθερό μέγεθος 6.60 m χρησιμοποιώντας τις σχέσεις ταχύτητας-καμπυλότητας του σχήματος για ακτίνες που κυμαίνονται από 15 έως 150 m. Αυτό το πρόσθετο πλάτος πρέπει να θεωρείται ότι κατανέμεται ομοιόμορφα στο πλάτος του διανυόμενου τμήματος προκειμένου να διορθώνονται τα σφάλματα καθοδήγησης σε καμπύλα τμήματα.



Σχήμα 2.8: Στοιχεία διαπλάτνσης σε αυτοκινητοδρόμους

Η διαπλάτνση του διανυθέντος τμήματος σε οριζόντιες καμπύλες

Το οδόστρωμα στις οριζόντιες καμπύλες μερικές φορές διευρύνεται για να δημιουργηθούν συνθήκες λειτουργίας συγκρίσιμες με εκείνες στην ευθυγραμμία. Σε αυτοκινητόδρομους με στενές λωρίδες κυκλοφορίας και απότομες καμπύλες, υπήρχε σημαντική ανάγκη για διαπλάτνση των στρωμάτων, παρόλο που οι ταχύτητες ήταν γενικά χαμηλές. Στους σύγχρονους αυτοκινητόδρομους και στους δρόμους υψηλού επιπέδου πλάτους 3.60 m, η ανάγκη για διαπλάτνση έχει μειωθεί σημαντικά παρά τις υψηλές ταχύτητες, αλλά υπό ορισμένες συνθήκες ταχύτητας και για λόγους καμπυλότητας εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη για διαπλάτνση του δρόμου.

Η διαπλάτυνση είναι απαραίτητη σε ορισμένες καμπύλες λόγω:

- Του γεγονότος ότι τα οχήματα καταλαμβάνουν μεγαλύτερο πλάτος λόγω του ότι οι μπροστινοί τροχοί κινούνται κυρίως μέσα στους μπροστινούς τροχούς.
- Της εμπειρίας των οδηγών όσον αφορά τη δυσκολία οδήγησης των οχημάτων τους στο κέντρο της λωρίδας

Το πρόσθετο πλάτος που εφαρμόζεται ανά όχημα κατά τη διέλευση μιας στροφής σε σχέση με το πλάτος της γέφυρας στο κέντρο μπορεί επίσης να υπολογιστεί γεωμετρικά για κάθε συνδυασμό ακτίνας και μεταξονίου. Η επίδραση της απόκλισης των θέσεων των πλευρικών τροχών από τους μπροστινούς τροχούς και η συνεπαγόμενη δυσκολία στην οδήγηση πρέπει να αντιμετωπιστεί με διαπλάτυνση στις στροφές, αλλά το ακριβές μέγεθος της διαπλάτυνσης δεν μπορεί να προσδιοριστεί καθόλου όπως για την απλή πορεία εκτός τροχιάς.

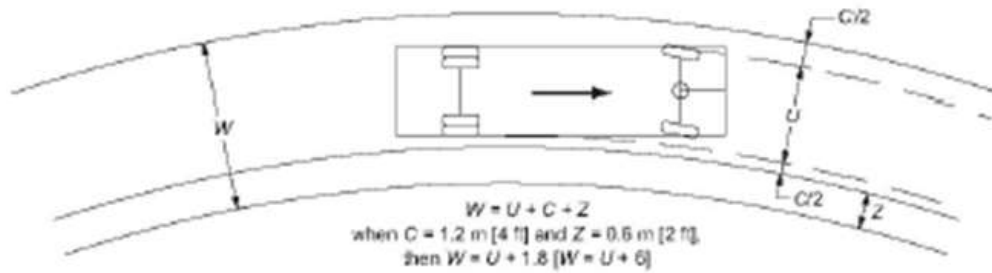
$$W = W_c - W_n$$

W = Διαπλάτυνση της οδού στις καμπύλες, m

W_c = Πλάτος οδού στις καμπύλες, m

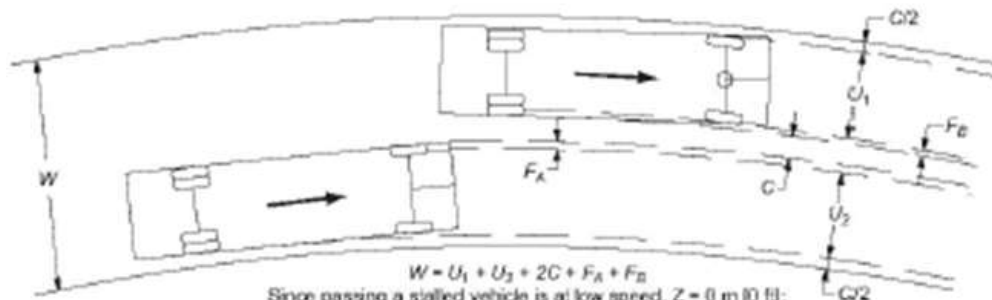
W_n = Πλάτος οδού στην ευθυγραμμία, m

Το απαιτούμενο πλάτος του τμήματος που διανύεται στην καμπύλη (W_c) αποτελείται από πολυάριθμους παράγοντες που σχετίζονται με την κυκλοφορία σε καμπύλη, οι οποίοι περιλαμβάνουν: το πλάτος του αυτοκινήτου που συναντά την καμπύλη U , την πλευρική περιοχή που πρέπει να απελευθερωθεί από εμπόδια για κάθε αυτοκίνητο C , το πλάτος της μπροστινής προεξοχής του οχήματος που διασχίζει την εσωτερική λωρίδα F_a και το πλάτος ανοχής για το πρόβλημα της οδήγησης σε καμπύλη, Z . Η εφαρμογή αυτών των στοιχείων αποδεικνύεται στο σχήμα 2.8.



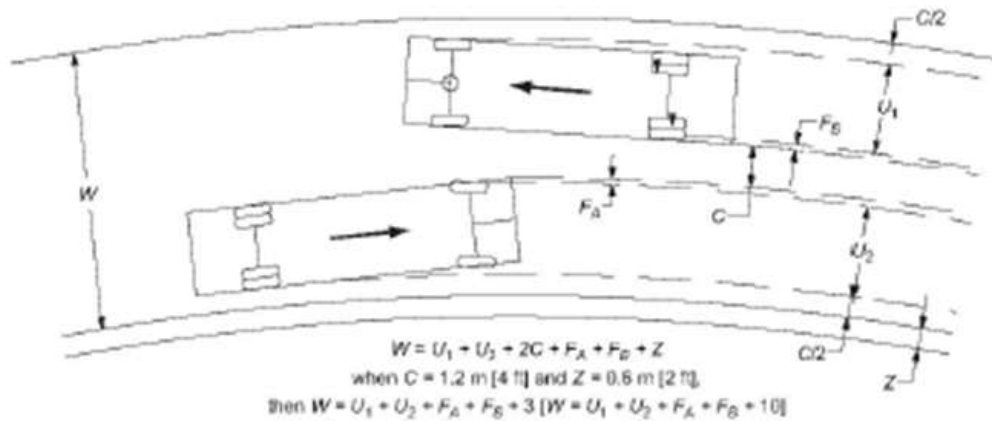
Περίπτωση I

Μονή λωρίδα μίας κατεύθυνσης – χωρίς συνάντηση διερχόμενου οχήματος



Περίπτωση II

Πρόβλεψη μονής λωρίδας μίας κατεύθυνσης για αποφυγή διερχόμενου οχήματος



Περίπτωση III

Δύο λωρίδες κυκλοφορίας – μονής ή διπλής κατεύθυνσης

U = Πλάτος οχήματος (από εξωτερικό σε εξωτερικό ελαστικό, m [ft])

F_A = Πλάτος μπροστινής προεξοχής, m [ft]

F_B = Πλάτος πίσω προεξοχής, m [ft]

C = Συνολικός πλευρικός χώρος ελεύθερος εμποδίων ανά όχημα

Z = Επιπλέον πλάτος ανοχής

Σχήμα 2.9 :Απεικόνιση πλάτους στροφής οδού σε περίπτωση συνάντησης

Καθένα από αυτά τα στοιχεία προέρχεται από την ενότητα « Διαμόρφωση κατασκευαστικών υπολογισμών για τη διαπλάτυνση σε οριζόντιες καμπύλες» νωρίτερα σε αυτό το κεφάλαιο.

Για τον προσδιορισμό του πλάτους W_c , πρέπει να επιλεγεί το κατάλληλο όχημα σχεδιασμού. Συνιστάται το όχημα σχεδιασμού να είναι φορτηγό, επειδή η εκτός δρόμου διαδρομή είναι μεγαλύτερη στα φορτηγά από ό,τι στα επιβατικά οχήματα. Το όχημα τύπου WB_{19} θεωρείται αντιπροσωπευτικό για συνθήκες ανοικτού αυτοκινητοδρόμου δύο λωρίδων- ωστόσο, μπορούν να επιλεγούν οχήματα άλλου τύπου για να αντιπροσωπεύουν την πραγματική κυκλοφορία σε μια συγκεκριμένη οδό.

Το πλάτος W_c υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$W_c = N \times (U + C) + (N - 1) \times F_a + Z$$

Όπου:

N : Αριθμός των λωρίδων

U : Το πλάτος του οχήματος σχεδιασμού στην καμπύλη(από τη μία άκρη των τροχών έως την άλλη)

C : ο πλευρικός χώρος που πρέπει να είναι ελεύθερος από εμπόδιο

F_a : το πλάτος της μπροστινής προεξοχής του οχήματος στην εσωτερική λωρίδα

Z : επιπλέον πλάτος ανοχής

Οι διαφορές στα πλάτη σχεδιασμού οχημάτων είναι μεγάλες για στενές καμπύλες που συνδέονται με διασταυρώσεις, αλλά για ανοικτούς αυτοκινητόδρομους όπου η ακτίνα είναι μεγαλύτερη από 200 m, με ταχύτητες σχεδιασμού μεγαλύτερες από 50 km / h οι διαφορές είναι αμελητέες. Τόσο για οξείες γωνίες όσο και για τον κυρίαρχο συνδυασμό μεγάλων οχημάτων, τα δεδομένα διαπλάτυνσης που προκύπτουν από το WB_{19} θα πρέπει να διορθώνονται. Οι προτεινόμενες αυξήσεις των στοιχείων της στήλης για τα δύο μεγέθη ακτίνας- καμπυλότητας είναι γενικές και δεν θα παράγουν απαραίτητα αποτέλεσμα στην περίπτωση ενός μεγάλου πλευρικού χώρου που πρέπει να είναι ελεύθερος από εμπόδια ή για ένα πρόσθετο πλάτος ανοχής Z , για μικρότερες ακτίνες. Ωστόσο, σε χαμηλότερες ταχύτητες και φόρτους σε οδούς με αυτή την καμπυλότητα, ο ελάχιστος χώρος χωρίς εμπόδια μπορεί να είναι αποδεκτός.

Στοιχεία σχεδιασμού για διαπλάτυνση του διανυθέντος τμήματος

Το κόστος της διαπλάτυνσης είναι υψηλό, ενώ στην πραγματικότητα τα οφέλη είναι λίγα. Συνιστάται να χρησιμοποιείται το 0.60m ως ελάχιστο πλάτος. Για άλλα οχήματα σχεδιασμού, πρέπει να γίνει προσαρμογή. Μελέτες δείχνουν ότι σε ευθυγραμμίες εφαρμόζονται ελαφρώς μικρότερες διαστάσεις ορατότητας μεταξύ των οχημάτων που κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση σε σύγκριση με τα διερχόμενα οχήματα που κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι αυτές οι ελάχιστες τιμές ορατότητας είναι εγγυημένες σε καμπύλες μονόδρομων. Επιπλέον, οι οδηγοί δεν είναι σε θέση να εκτιμήσουν επαρκώς

τα μεγέθη ορατότητας των οχημάτων που διέρχονται προς την ίδια κατεύθυνση σε σχέση με εκείνα που συναντούν και κινούνται προς αντίθετη κατεύθυνση σε καμπύλες αυτοκινητοδρόμων διπλής κατεύθυνσης. Για το λόγο αυτό, και επειδή όλα τα γεωμετρικά στοιχεία σε έναν αυτοκινητόδρομο δύο λωρίδων είναι ως επί το πλείστον επαρκώς σχεδιασμένα, η διαπλάτυνση ενός αυτοκινητόδρομου δύο λωρίδων μονής κατεύθυνσης ισοδυναμεί με τη διαπλάτυνση ενός αυτοκινητόδρομου δύο λωρίδων, διπλής κατεύθυνσης.

Εφαρμογή της διαπλάτυνσης στις καμπύλες

Η διαπλάτυνση πρέπει να μεταβάλλεται σταδιακά κατά μήκος των άκρων της καμπύλης, ώστε να εξασφαλίζεται η κανονική αποκατάσταση του άκρου του οδοστρώματος της οδού και να προσαρμόζεται στην τροχιά των οχημάτων που εισέρχονται ή εξέρχονται από την καμπύλη. Τα βασικά σημεία που μας ενδιαφέρουν για τον σχεδιασμό της διαπλάτυνσης σε καμπύλες φαίνονται παρακάτω:

- Στις απλές καμπύλες (χωρίς συνδετικό τόξο), η διαπλάτυνση πρέπει να εφαρμόζεται μόνο στο εσωτερικό άκρο του καταστρώματος. Στις καμπύλες που σχεδιάζονται με τόξα συναρμογής, η διαπλάτυνση μπορεί να εφαρμοστεί στο εσωτερικό άκρο ή να κατανεμηθεί ομοιόμορφα εκατέρωθεν της κεντρικής γραμμής.
- Η διαπλάτυνση της καμπύλης πρέπει να μεταβάλλεται σταδιακά σε επαρκές μήκος αρκετό ώστε να καταστεί λειτουργικό ολόκληρο το οδόστρωμα. Ενώ μια μεγάλη διαμήκης μεταβολή είναι επιθυμητή για τη λειτουργικότητα της οδού, μπορεί να οδηγήσει σε ένα στενό τμήμα της οδού το οποίο είναι δύσκολο και δαπανηρό να κατασκευαστεί.

Όσον αφορά τη λειτουργικότητα και την εμφάνιση, το άκρο της οδού του καταστρώματος κατά μήκος της μεταβαλλόμενης διαπλάτυνσης θα πρέπει να είναι μια ομαλή και αρμονική καμπύλη. Θα πρέπει να αποφεύγεται η μεταβολή του επαπτόμενου άκρου. Σε δευτερεύουσες οδούς ή όπου δεν υπάρχουν διαθέσιμες λεπτομέρειες σχεδιασμού, μια εμπειρικά καθορισμένη μεταβαλλόμενη καμπύλη είναι γενικά ικανοποιητική και προτιμότερη από την εφαπτομενική μεταβολή.

Στην ευθυγραμμία χωρίς κυκλικά τόξα, η κανονική και λειτουργική ευθυγράμμιση καλείται με την εφαρμογή της διαπλάτυνσης του μισού έως των 2/3 του μήκους της μεταβολής κατά μήκος της εφαπτομένης και του υπολοίπου κατά μήκος της καμπύλης- αυτό είναι σύμφωνο με την τρέχουσα μέθοδο εφαρμογής της επίκλισης. Το εσωτερικό άκρο του οδοστρώματος της οδού μπορεί να σχεδιαστεί ως ένα διαμορφωμένο τόξο συναρμογής με ενδεχόμενα σημεία που καθορίζονται από το πλάτος ή το μήκος της ακτίνας του τριγωνικού άκρου ή από τον υπολογισμό των μεγεθών με βάση την παραβολική ή κυβοειδή καμπύλη ή την αύξηση της ακτίνας καμπυλότητας. Διαφορετικά, μπορεί να ενσωματωθεί εμπειρικά στο σημείο εφαρμογής- σε αυτοκινητόδρομους με τόξα συναρμογής, η αύξηση του πλάτους κατανέμεται γενικά στο μήκος του τόξου συναρμογής.

Οι διαπλατυσμένες περιοχές μπορούν να περιγράφονται λεπτομερώς στα κατασκευαστικά σχέδια. Εναλλακτικά, μπορούν να δοθούν γενικές οδηγίες κατασκευής ή βασικά σχέδια, αφήνοντας τις τελικές λεπτομέρειες στον μηχανικό.

2.2.5 Μεθοδολογία υπολογισμού διαπλάτυνσεων σε καμπύλες σύμφωνα με τις οδηγίες του Forest Service για δασικές οδούς

Η διαπλάτυνση του οδοστρώματος είναι απαραίτητη σε ορισμένες καμπύλες για να αποφευχθεί η παρέκκλιση εκτός τροχιάς των φορτηγών με ρυμουλκούμενα και ορισμένων μικρότερων οχημάτων σε συνδυασμό με ρυμουλκούμενο. Η διαπλάτυνση θεωρείται μέρος της επιφάνειας κυκλοφορίας που παρέχει επαρκή χώρο για την κίνηση του οχήματος σχεδιασμού.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο μελετητής πρέπει να λάβει υπόψη του αρκετούς τύπους οχημάτων, με πιο συχνούς τους εξής:

- A. Συνδυασμός τράκτορα και ρυμουλκούμενου όπου το σημείο πρόσβασης βρίσκεται ακριβώς πάνω από τους κινητήριους άξονες
- B. Συνδυασμός τράκτορα και ρυμουλκούμενου με το σημείο πρόσδεσης πίσω από τους κινητήριους άξονες
- C. Συνδυασμός τράκτορα ημρυμουλκούμενου με δύο σημεία πρόσδεσης και πρόσθετους άξονες.
- D. Ειδικούς συνδυασμούς για άλλα εμπορικά οχήματα όπως τράκτορες με δύο ή τρία ρυμουλκούμενα
- E. Μεγάλα οχήματα αναψυχής όπως τροχόσπιτα, τουριστικά λεωφορεία και αγροτικά οχήματα με συνδυασμούς ρυμουλκούμενου
- F. Οχήματα μεταφοράς κορμών δέντρων και μηχανήματα έργων με δυνατότητα μετακίνησης

Η διαπλάτυνση επηρεάζεται από τον τύπο του οχήματος, την ακτίνα καμπυλότητας και την κεντρική ή την παραπληρωματική γωνία. Γενικά, η ζήτηση για διαπλάτυνση των καμπυλών αυξάνεται όσο μειώνεται η ακτίνα. Οι μικρές καμπύλες απαιτούν λιγότερη διαπλάτυνση από τις μεγάλες καμπύλες.

Ο πίνακας 2.12 δείχνει τη σχέση μεταξύ του πλάτους της καμπύλης και του λειτουργικού επιπέδου μιας οδού.

Επίπεδο λειτουργικότητας	Διαπλάτυνση καμπύλης
G	<p>Παρέχεται για τη φιλοξενία του οχήματος σχεδιασμού στην ταχύτητα μελέτης κάθε καμπύλης. Η διαπλάτυνση καμπύλης πρέπει να παρέχεται σε κάθε λωρίδα σε οδούς διπλής λωρίδας κυκλοφορίας. Η διαπλάτυνση καμπύλης για κρίσιμα οχήματα που κινούνται νόμιμα σε αυτοκινητόδρομους πρέπει να παρέχεται με τη χρήση άλλων στοιχείων σχεδιασμού εφόσον προβλέπεται, όπως λωρίδες πολλαπλών χρήσεων και λωρίδες έκτακτης ανάγκης. Η διαπλάτυνση καμπύλης για κρίσιμα οχήματα που δεν προβλέπονται στους αυτοκινητόδρομους, πρέπει να παρέχεται μόνο με το απαιτούμενο μέγεθος ώστε τα οχήματα να διασχίζουν με ασφάλεια την οδό με ειδικούς λειτουργικούς χειρισμούς, όπως η απαίτηση για οδηγούς οχημάτων με ειδική άδεια σε ισχύ.</p>
H	<p>Ίδιο με το επίπεδο λειτουργικότητας G</p>
I	<p>Ίδιο με το επίπεδο λειτουργικότητας G, εκτός της διαπλάτυνσης καμπύλης για κρίσιμα οχήματα που κινούνται νόμιμα σε αυτοκινητόδρομους που μπορεί να μειωθεί μέχρι το μέγεθος που είναι απαραίτητο για να διασχίσουν την οδό με ασφάλεια με ειδικούς λειτουργικούς χειρισμούς.</p>
J	<p>Κατά κύριο λόγο, παρέχεται αποκλειστικά για το όχημα σχεδιασμού. Τα φορτία που μετακινούνται με τα κρίσιμα οχήματα μπορούν να μετακινηθούν με διαφορετικό τρόπο ή να μεταφερθούν με οχήματα που είναι ικανά να διασχίσουν την οδό. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί προσωρινή διαπλάτυνση, που δίνει τη δυνατότητα στα κρίσιμα οχήματα να διασχίσουν την οδό, όπως η προσωρινή επιχωμάτωση τάφρου σε στενά τμήματα.</p>

Πίνακας 2.12: Σχέση διαπλάτυνσης με επίπεδο λειτουργικότητας

Για τα επίπεδα λειτουργικότητας I και J, μπορεί να είναι επιθυμητό να σχεδιαστεί για πολλαπλές χρήσεις όπου διαφορετικά θα απαιτούνταν μεγάλη διαπλάτυνση, όπως σε καμπύλες μικρής ακτίνας- σε αυτές τις περιπτώσεις, το ελάχιστο πλάτος λωρίδας πρέπει να είναι μεγαλύτερο από:

1. Βασικό πλάτος λωρίδας, αυξανόμενο κατά την διαπλάτυνση καμπύλης του οχήματος σχεδιασμού αυξανόμενο κατά το πλάτος της λωρίδας πολλαπλών χρήσεων
2. Το βασικό πλάτος τροχιάς αυξάνεται με τη διαπλάτυνση της καμπύλης του κρίσιμου οχήματος σχεδιασμού

Η λωρίδα πολλαπλών χρήσεων πρέπει να επεκτείνεται από το σημείο εκκίνησης έως το τελικό σημείο της καμπύλης και να μειώνεται κατάλληλα ανάλογα με το όχημα σχεδιασμού.

Η διαπλάτυνση της καμπύλης πρέπει να μειωθεί ομοιόμορφα, όπως φαίνεται στο πίνακα 2.13, πριν από την αρχή και μετά το τέλος της καμπύλης και τα ακόλουθα μήκη:

Μήκη ομοιόμορφης κατανομής της διαπλάτυνσης της καμπύλης			
Ακτίνα		Μήκος	
feet	m	feet	m
<70	21.34	60	18.28
70-85	21.34 - 25.9	50	15.24
86-100	26.21 - 30.48	40	12.19
>100	30.48	30	9.14

Πίνακας 2.13 :Μήκη ομοιόμορφης κατανομής της διαπλάτυνσης της καμπύλης

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην καταλληλότητα της διαπλάτυνσης για σιγμοειδείς καμπύλες, ωσειδείς καμπύλες ή για καμπύλες που χωρίζονται από εφαπτόμενες μικρότερες από το μήκος μετάβασης της διαπλάτυνσης της καμπύλης.

Περιορισμένες αρχικές μελέτες σε σιγμοειδείς καμπύλες δείχνουν ότι το ελάχιστο πλάτος λωρίδας στο αντίθετο σημείο καμπυλότητας πρέπει να είναι: (διεύρυνση της πρώτης καμπύλης) + (διεύρυνση της δεύτερης καμπύλης)

Η διεύρυνση για τις ωσειδείς καμπύλες πρέπει να υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη συνολική αλλαγή διεύθυνσης των δύο καμπυλών. Εφαρμόζεται το μεγαλύτερο από τις διαπλάτυνσεις που υπολογίζονται για κάθε καμπύλη στην περίπτωση συνεχών καμπυλών, όπως στη διαπλάτυνση της καμπύλης στην περίπτωση σιγμοειδούς καμπύλης.

2.2.6 Μεθοδολογία υπολογισμού διαπλάτυνση σε καμπύλες σύμφωνα με τις Αυστραλιανές οδηγίες.

Το οδόστρωμα μπορεί να διαπλατυνθεί στις καμπύλες ώστε να διατηρείται η πλευρική ορατότητα μεταξύ των οχημάτων ίση με την διαθέσιμη ορατότητα που υπάρχει στα ευθύγραμμα τμήματα του δρόμου. Ένα όχημα που διασχίζει μία καμπύλη καταλαμβάνει μεγαλύτερο πλάτος του οδοστρώματος από αυτό που καταλαμβάνει στην ευθεία, αφού οι πίσω τροχοί για χαμηλές ταχύτητες κινούνται εσωτερικά σε σχέση με τους μπροστινούς και μειώνει την ορατότητα ανάμεσα στα διερχόμενα οχήματα και στα οχήματα που προσπερνούν. Τα οχήματα παρεκκλίνουν περισσότερο από το μέσο της λωρίδας σε στροφές απ' ό,τι σε ευθεία γραμμή.

Η απαιτούμενη διαπλάτυνση εξαρτάται από:

- Την ακτίνα της καμπύλης
- Το πλάτος της λωρίδας στην ευθυγραμμία
- Το πλάτος και το μήκος του οχήματος
- Ορατότητα

Στοιχεία όπως η μπροστινή προεξοχή του οχήματος, η απόσταση μεταξύ των αξόνων και το πλάτος του οχήματος επηρεάζουν τους υπολογισμούς. Ωστόσο, υπάρχει ένα πρακτικό ελάχιστο όριο για τη διαπλάτυνση ώστε να είναι δομικά εφικτή και για μια οδό δύο λωρίδων η διαπλάτυνση θα πρέπει να παραλείπεται όταν η συνολική διάσταση είναι μικρότερη από 0,5m.

Η διαπλάτυνση του οδοστρώματος μπορεί να επιβληθεί σε οριζόντιες καμπύλες για οχήματα που καταλαμβάνουν πλάτος οδού μεγαλύτερο από αυτό του οχήματος σχεδιασμού. Αυτό αποτελεί τη βάση της Austroads από το 1979 και βασίζεται στις ακόλουθες παραδοχές:

- Υπάρχει μικρότερη απόκλιση στην οδήγηση με το όχημα σχεδιασμού, καθώς πρόκειται για ένα μεγάλο όχημα κοινής ωφέλειας που οδηγείται από επαγγελματία οδηγό.
- Το πλάτος της τροχιάς του οχήματος σχεδιασμού περιλαμβάνει την τροχαία μικρότερων οχημάτων ενώ επιπλέον παρέχει χώρο για την απόκλιση στην οδήγηση.
- Η κοινή χρήση του συνόλου ή μέρους του πλάτους του οδοστρώματος και του ερείσματος αντισταθμίζει την έλλειψη δεδομένων ανοχής οδήγησης για το όχημα σχεδιασμού.

Για διαπλάτυνση λωρίδας με μεταβαλλόμενες καμπύλες, είναι κοινή πρακτική να εφαρμόζεται η μισή διαπλάτυνση της καμπύλης σε κάθε πλευρά του οδοστρώματος. Ωστόσο, αυτό σημαίνει ότι η μετατόπιση που σχετίζεται με την αλλαγή του πλάτους πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη διαπλάτυνση της καμπύλης που εφαρμόζεται στο εξωτερικό άκρο, ώστε το όχημα σχεδιασμού να χρησιμοποιήσει τη διαπλάτυνση. Αυτό αποτελεί συνήθως πρόβλημα μόνο όταν η διαπλάτυνση της καμπύλης προορίζεται για την εξυπηρέτηση μεγάλων ρυμουλκούμενων οχημάτων, όπου ένα μεγαλύτερο

ποσοστό της συνολικής διαπλάτυνσης πρέπει να εφαρμοστεί στο εσωτερικό της καμπύλης.

3. Ανάπτυξη της μεθοδολογίας

3.1 Γενικά

Για τον υπολογισμό της διαπλάτυνσης της οδού σε καμπύλες, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης, το οποίο χωρίζεται στα ακόλουθα επιμέρους στοιχεία:

- Τη διάταξη της οδού
- Την τροχιά του οχήματος

Στη συνέχεια, αναπτύσσονται τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν και οι φάσεις που ακολουθήθηκαν κατά τις διαδικασίες υπολογισμού μετά από μια αναφορά στα βασικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για την κατανόηση της εφαρμοζόμενης μεθοδολογίας.

3.2 Βασικές έννοιες

Θεωρία κυκλικού τόξου και τόξου συναρμογής

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία υπολογισμού και χάραξης κυκλικού τόξου και τόξου συναρμογής σύμφωνα με τις οδηγίες μελετών οδικών έργων - χαράξεις.



Εικόνα 3.1: Παράδειγμα διαδοχικών καμπύλων κυκλικού τόξου

3.2.1 Κυκλικό τόξο

Εφαρμογή

Για τα τόξα των πορειών της ομάδας Α επιλέγονται οι μεγαλύτερες δυνατές ακτίνες, ιδίως στην περίπτωση μικρών επικέντρων γωνιών και όταν ακολουθούν ευθυγραμμίες, προκειμένου να επιτευχθεί:

1. Κατά γενικό κανόνα, το σύνολο των μικρών καμπύλων μήκους
2. Ορατότητα, μήκη επαρκή για προσπέραση
3. Αρμονία και συνέχεια της οδικής συμπεριφοράς

Σε συνδυασμό με τους προαναφερθέντες σκοπούς, η επιλογή πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εγγυάται τη συμβατότητα μεταξύ τοπογραφίας και ανάγλυφου και να επιτυγχάνεται καλή ανάπτυξη της οδού στο χώρο και να εξασφαλίζεται μια αρμονική σχέση μεταξύ της ταχύτητας σχεδιασμού V_e και της ταχύτητας λειτουργίας V_{85} σύμφωνα με την περίπτωση 1 του κριτηρίου ασφαλείας I. (Πίνακας 3.1)

Επιτρέπεται η απόκλιση του άξονα ευθυγράμμισης χωρίς εφαρμογή οριζόντιας καμπύλης όταν η γωνία απόκλισης γ είναι μικρότερη από την τιμή που προκύπτει από τις σχέσεις

- Όταν $V_e \leq 70 \text{ km/h}$ $\gamma = \arctan (1.6 / V_e)$
- Όταν $V_e > 70 \text{ km/h}$ $\gamma = \arctan (155 / V_e^2)$

<p>Περίπτωση 1: Καλή Ποιότητα Σχεδιασμού $V_{85} - V_e \leq 10 \text{ km/h}$ Δεν απαιτούνται προσαρμογές ή διορθωτικές επεμβάσεις στη χάραξη της οδού</p>
<p>Περίπτωση 2: Μέτρια Ποιότητα Σχεδιασμού $10 \text{ km/h} < V_{85} - V_e \leq 20 \text{ km/h}$ Στην περίπτωση αυτή οι επικλίσεις πρέπει να επαναυπολογιστούν με βάση την ταχύτητα V_{85} προκειμένου να εξασφαλισθεί, ότι ο διατιθέμενος συντελεστής πλευρικής τριβής θα αντιστοιχεί στον απαιτούμενο συντελεστή τριβής. Οι απαιτούμενες βελτιώσεις αντιμετωπίζονται κατά περίπτωση. Επίσης συνιστάται η τοποθέτηση των κατάλληλων προειδοποιητικών πινακίδων.</p>
<p>Περίπτωση 3: Μη αποδεκτή Ποιότητα Σχεδιασμού $V_{85} - V_e > 20 \text{ km/h}$ Ο προβλεπόμενος δείκτης σοβαρών τροχαίων ατυχημάτων χαρακτηρίζει τη μη ασφαλή και μη οικονομική χρήση της οδού. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται κατά κανόνα η ανακατασκευή της οδού και οπωσδήποτε η λήψη διορθωτικών μέτρων.</p>

Πίνακας 3.1 :Κριτήριο ασφαλείας I για υπεραστικές οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας

Τυπικές και οριακές τιμές

Για τις οδούς των ομάδων Α και Β, οι ελάχιστες ακτίνες των καμπυλών R_{\min} φαίνονται στον πίνακα 3.2. Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από την ταχύτητα μελέτης V_e , από το βαθμό εκμετάλλευσης του συντελεστή εγκάρσιας τριβής n και από τις οριακές τιμές των επικλίσεων q . Για λόγους καλύτερης προσαρμογής στις κλιματολογικές και τοπογραφικές συνθήκες της Ελλάδας, η επιλογή των τιμών R_{\min} εξαρτάται όχι μόνο από την ομάδα στην οποία ανήκει η οδός, αλλά και από την κατηγορία του εδάφους (επίπεδο, λοφώδες ή ορεινό). Ο πίνακας προέκυψε με στρογγυλοποίηση των τιμών στις οριακές τιμές των επικλίσεων q .

R_{min} [m]						
Ομάδα οδών Α					Ομάδα οδών Β	
V_e [km/h]	Πεδινά Εδάφη		Λοφώδη και Ορεινά Εδάφη		Όλες οι κατηγορίες εδαφών	
	$q_{max}=8$ (9)% n=45%	$q_{min}=2,5\%$ n=10%	$q_{max}=7\%$ n=40%	$q_{min}=2,5\%$ n=10%	$q_{max}=6\%$ n=60%	$q_{min}=2,5\%$ n=30%
50	80	325	95	325	70	150
60	125 (125)	490	140	490	110	230
70	180 (170)	700	200	700	160	335
80	250 (235)	960	280	960	220	470
90	330 (310)	1260	370	1260	300	630
100	420 (400)	1620	480	1620	-	-
110	530 (500)	2020	600	2020	-	-
120	650 (620)	2470	740	2470	-	-
(130)	790 (740)	2970	890	2970	-	-

Πίνακας 3.2: Ελάχιστες τιμές καμπύλων για οδούς των ομάδων Α και Β

Στις οδούς με διαφοροποιημένη κυκλοφορία, εάν υπάρχουν εμπόδια στην κεντρική νησίδα που δυσχεραίνουν την ορατότητα, η επιλογή ακτίνων μεγαλύτερων από τις ελάχιστες ακτίνες που αναφέρονται στον πίνακα είναι απαραίτητη η διεύρυνση της κεντρικής νησίδας. Στις αριστερές στροφές, το ερώτημα είναι αν υπάρχει το απαιτούμενο μήκος ορατότητας για να σταματήσει κανείς στην αριστερή λωρίδα.

Σε εξαιρετικές περιπτώσεις της ομάδας Α, είναι δυνατή η αύξηση της μέγιστης τιμής επίκλισης κατά 1%, όπως φαίνεται στον πίνακα μόνο για τιμές εκτός παρενθέσεως. Τα τόξα ενός κύκλου πρέπει να έχουν μήκος τουλάχιστον ίσο με αυτό που διανύει σε 2 δευτερόλεπτα ένα όχημα που κινείται με την ταχύτητα μελέτης.

Σχέση διαδοχικών καμπύλων

Οι ακτίνες διαδοχικών διαγώνιων ή αντίρροπων τόξων μεταξύ των οποίων υπάρχει ευθύγραμμο τμήμα μήκους από καθόλου έως TLs, όπως αναφέρεται στον πίνακα 3.3, σε οδούς της ομάδας Α ή των κατηγοριών ΒΙ και ΒΙΙ πρέπει να έχουν αρμονική σχέση για λόγους οδικής ασφάλειας. Μια αρμονική σχέση μεταξύ διαδοχικών κυκλικών τόξων είναι επίσης επιθυμητή σε οδούς της κατηγορίας ΒΙ και σε οδούς της κατηγορίας ΒΙV, όπου είναι δυνατόν.

V_{85K} σε καμπύλη [km/h]	Τιμές TL_1 και TL_s						
	V_{85T} σε ευθύγραμμία [km/h]						
	70	75	80	85	90	95	100
50	110	145	180	215	255	300	345
55		120	155	195	230	275	320
60			130	165	205	250	295
65				140	175	220	265
70					145	190	235
75						155	200
80							165

Πίνακας 3.3: Σχέση ταχύτητας μηκών ευθύγραμμίας και μεταβολής της ταχύτητας V_{85} στην ευθύγραμμία

Σημειώνεται ότι κατά την εναρμόνιση των επόμενων ακτίνων, πρέπει να τηρείται η ελάχιστη τιμή της ακτίνας που αντιστοιχεί στην ταχύτητα σχεδιασμού.

Σε περιπτώσεις όπου η βελτίωση / ανακατασκευή υφιστάμενων οδών ή η διατήρηση μέτριας σχέσης μεταξύ των επόμενων ακτίνων οδηγεί στην υιοθέτηση λύσεων αντίθετων με την προσπάθεια επίτευξης περιβαλλοντικών ή πολεοδομικών στόχων. Στις περιπτώσεις αυτές επιτρέπεται η αποφυγή της οριακής σχέσης μεταξύ των επόμενων ακτίνων στις κατηγορίες οδών AIII, AIV και BI, BII, καθώς η διατήρηση της οριακής σχέσης μεταξύ των επόμενων ακτίνων οδηγεί σε αρνητικές επιπτώσεις στον πολεοδομικό ή περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Ωστόσο, πέραν της μη τήρησης του οριακού ποσοστού, πρέπει να λαμβάνονται ειδικά κυκλοφοριακά μέτρα για την προειδοποίηση των οδηγών για την ύπαρξη ασυνεχειών και αιφνίδιων μεταβολών των ακτίνων, τα οποία θα έχουν διορθωτική επίδραση στην οδηγική συμπεριφορά (οριζόντια σήμανση και κατάλληλη κατακόρυφη).

3.2.2 Τόξο κανίστρου

Το τόξο του κανίστρου αποτελείται από διαδοχικά κυκλικά τόξα με διαφορετικές ακτίνες και κοινές εφαπτόμενες στα κοινά σημεία. Αυτή η μορφή καμπύλης πρέπει γενικά να αποφεύγεται. Τα τόξα κανίστρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε οδούς της ομάδας A, καθώς και στις κατηγορίες BI, BII, BIII και BIV, όταν δεν είναι δυνατή η παρεμβολή συνδετικού τόξου λόγω τοπικών ιδιαιτεροτήτων, όπως η διέλευση υποχρεωτικών σημείων, η τήρηση των προδιαγραφών απόστασης από την τοποθέτηση σημείου κ.λ.π. Οι αποστάσεις των ακτίνων στα τόξα σύνδεσης πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να βρίσκονται στη σωστή περιοχή του διαγράμματος του σχήματος. Το μήκος κάθε κυκλικού τόξου που αποτελεί το τόξο του κανίστρου πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το μήκος ενός κινούμενου οχήματος για 2 δευτερόλεπτα με ταχύτητα μελέτης. εν επιτρέπεται η χρήση τόξων προβόλου με περισσότερα από τρία κυκλικά τόξα.

3.2.3 Τόξο συναρμογής

Εφαρμογή

Το τόξο συναρμογής πρέπει:

- I. Κατά τη μετάβαση από μία καμπυλότητα σε άλλη να επιτρέπει συνεχή γραμμική μεταβολή της φυγόκεντρης επιτάχυνσης.
- II. Να χρησιμοποιείται ως μήκος συναρμογής για τη μεταβολή της επίκλισης.
- III. Με την προοδευτική μεταβολή της καμπυλότητας να εξασφαλίζει μία αρμονική και συνεχή χάραξη με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ομοιόμορφης λειτουργικής ταχύτητας
- IV. Να συντείνει σε μία οπτικά ικανοποιητική χάραξη ιδιαίτερα σε οδούς των ομάδων A και B

Η εφαρμογή τόξων συναρμογής επιβάλλεται τις οδούς AI έως AIV καθώς και στις οδούς BI και BII ενώ είναι επιθυμητή στην κατηγορία οδών BIII και BIV.

Ως τόξο συναρμογής χρησιμοποιείται η κλωθοειδής. Σε αυτόν τον τύπο τόξου η καμπυλότητα μεταβάλλεται γραμμικά με το μήκος του τόξου κυκλοφορητής εκφράζεται από τη σχέση $A^2 = R \cdot L$,

όπου:

A = παράμετρος της κλωθοειδούς

R = Ακτίνα καμπυλότητας στο πέρασ το τμήματος της κλωθοειδούς

L = Μήκος του τόξου της κλωθοειδούς από την αρχή του μέχρι την ακτίνα R

Για όλες τις κατηγορίες οδών και τις ταχύτητες του έργου, ανάλογα με την ασφάλεια και την άνεση του οχήματος, την αισθητική της οδού και τη ροή των όμβριων υδάτων, επιτρέπεται η απευθείας σύνδεση των τροχιών με τα τόξα του κύκλου χωρίς παρεμβολή από τα τόξα σύνδεσης όταν:

- Η ακτίνα του κυκλικού τόξου είναι μεγαλύτερη από 1.000m
- Η μεταβολή της γωνίας διεύθυνσης της καμπύλης γ είναι μικρότερη από 10grad

Σε αυτές τις περιπτώσεις στο ελάχιστο μήκος του τόξου πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσο με το διπλάσιο της ταχύτητας μελέτης.

Οριακές τιμές

Η διάταξη του τόξου συναρμογής γίνεται οπτικά αντιληπτή, όταν η μεταβολή της κατεύθυνσης είναι ίση τουλάχιστον με $\tau = 3.5 \text{ grad}$. Συνεπώς η ελάχιστη τιμή της παραμέτρου A είναι :

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

Όπου:

A_{min} = παράμετρος της κλωθοειδούς

R = Ακτίνα καμπυλότητας στο πέρασ το τμήματος της κλωθοειδούς

Σε μεγάλη ακτίνα, επιτρέπεται η επιλογή μιας παραμέτρου κλωθοειδούς μικρότερης από την τιμή $R / 3$, υπό την προϋπόθεση ότι η τιμή της εκτροπής ΔR είναι τουλάχιστον ίση με 0.25m

Σε μια καμπύλη με μικρή ομόκεντρη γωνία, εάν το μήκος του τόξου δεν είναι αρκετό, το μήκος της κλωθοειδούς τροχού και το μήκος του τόξου πρέπει να είναι ίσα ($L1 = Lc = L2$), ώστε να διασφαλιστεί ότι το $A \geq R / 3$. Το μήκος του τόξου είναι τουλάχιστον ίσο με το μήκος του τόξου που διανύει το όχημα με το V_e για 2 δευτερόλεπτα. Για το λόγο αυτό, πρέπει να ληφθεί υπόψη η μέγιστη επιτρεπόμενη πρόσθετη κλίση Δ_{smax} , του ορίου, η οποία προέρχεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta_{smax} = \frac{q_{\tau} - q_a}{LV_{min}} \cdot a$$

Όπου:

$L_{V_{min}}$ [m] = ελάχιστο μήκος προσαρμογής της επίκλισης

Δ_{smax} [%] = μέγιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμής

q_{τ} [%] = επίκλιση οδοστρώματος στο τέλος του τμήματος προσαρμογής

q_a [%] = επίκλιση οδοστρώματος στην αρχή του τμήματος προσαρμογής

a [m] = απόσταση του άξονα περιστροφής της επιφάνειας κυκλοφορίας από την εξωτερική οριογραμμή της λωρίδας κυκλοφορίας

Για λόγους ασφάλειας της κυκλοφορίας η μέγιστη τιμή της παραμέτρου κλωθοειδούς είναι ίση με την ακτίνα .

Η τιμή αυτή αντιστοιχεί σε μεταβολή της γωνίας εφαπτομένης ίση με $\tau = 31.8$ grad.

Επομένως για τις προαναφερόμενες κατηγορίες οδών ισχύει σχέση:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

όπου:

A = παράμετρος της κλωθοειδούς

R = Ακτίνα καμπυλότητας στο πέρας το τμήματος της κλωθοειδούς

Για λόγους δυναμικής κίνησης του οχήματος αλλά και οπτικά ικανοποιητικής διαμόρφωσης του δρόμου, η ελάχιστη παράμετρος της κλωθοειδούς δίνεται ως συνάρτηση της ακτίνας του τόξου ενός κύκλου και της γωνίας του στο κέντρο.

Εάν η εφαρμογή του σχήματος δεν είναι δυνατή λόγω κατασκευαστικών περιορισμών, τότε η ελάχιστη παράμετρος A_{min} υπολογίζεται με βάση το απαιτούμενο μήκος της προσαρμογής της επίκλισης σύμφωνα με τη σχέση:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{a \cdot (q_{\tau} \pm q_a)}{\Delta_{smax}}} \cdot R$$

Στην περίπτωση ωοειδούς καμπύλης η σχέση γίνεται:

$$A_{min} = \sqrt{\frac{a \cdot (q_{\tau} - q_a)}{\Delta_{smax} \cdot \left(\frac{1}{R_{\tau}} - \frac{1}{R_{\alpha}}\right)}}$$

A_{min} = ελάχιστη τιμή παραμέτρου κλωθοειδούς

R = ακτίνα στο πέρας της κλωθοειδούς

R_{α} = ακτίνα κυκλικού τόξου στην αρχή του τμήματος της κλωθοειδούς

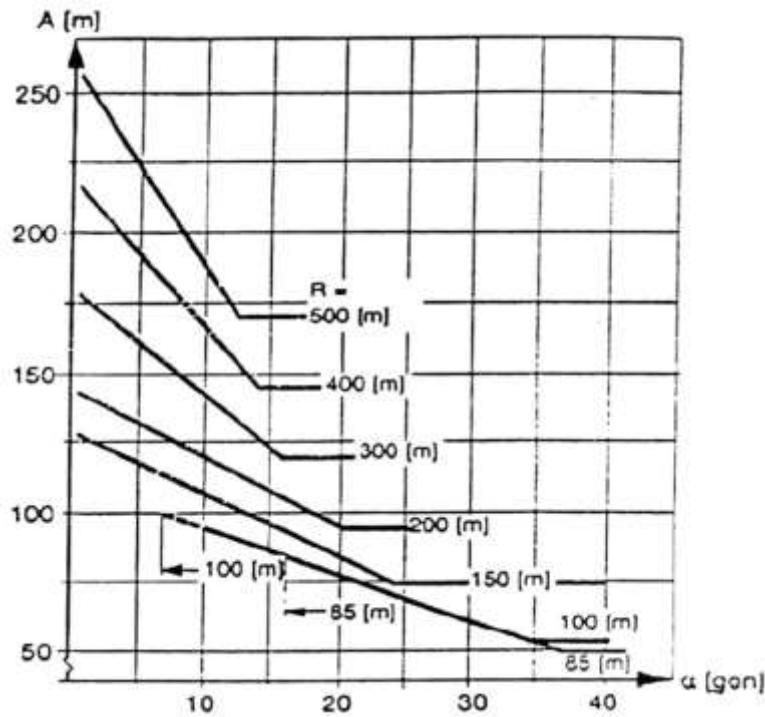
R_{τ} = ακτίνα στο πέρας του τμήματος της κλωθοειδούς

α = απόσταση οριογραμμής οδοστρώματος από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος

Δ_{smax} [%] = μέγιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμής

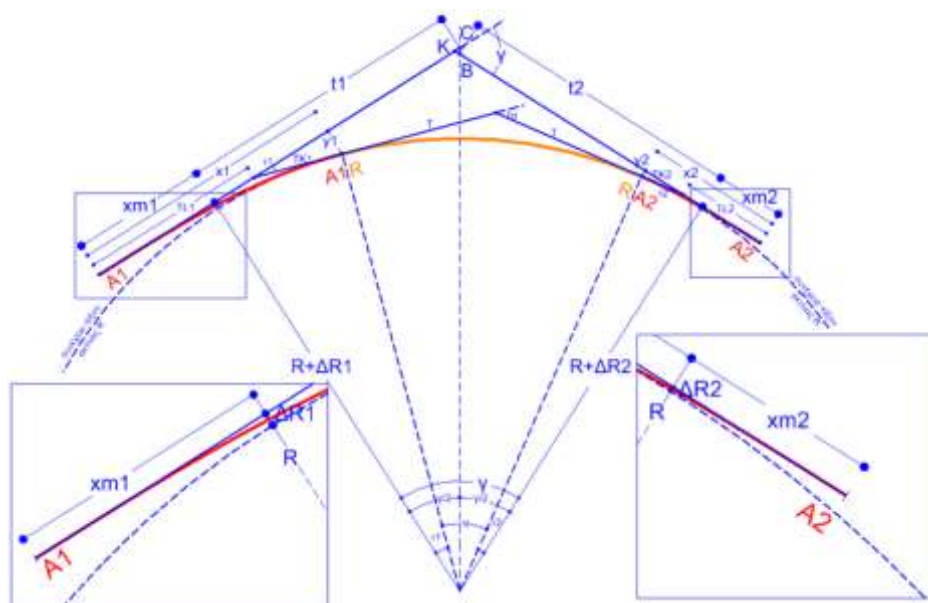
q_{τ} [%] = επίκλιση οδοστρώματος στο τέλος του τμήματος προσαρμογής

q_a [%] = επίκλιση οδοστρώματος στην αρχή του τμήματος προσαρμογής



Σχήμα 3.2: Ελάχιστες τιμές παραμέτρου κλωθοειδούς σε συνάρτηση με την ακτίνα και την επίκεντρη γωνία του κυκλικού τόξου

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κλωθοειδούς φαίνονται στο σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά κλωθοειδούς

$$A^2 = L \cdot R$$

όπου :

A : παράμετρος κλωθοειδούς (m)

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

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

$$\tau = \frac{L \cdot \rho}{2 \cdot A^2} = \frac{L \cdot \rho}{2 \cdot R} = \frac{A^2 \cdot \rho}{2 \cdot R^2}$$

όπου :

τ : γωνία αλλαγής διεύθυνσης κλωθοειδούς (rad)

A : παράμετρος κλωθοειδούς (m)

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

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

Μορφές τόξων συναρμογής

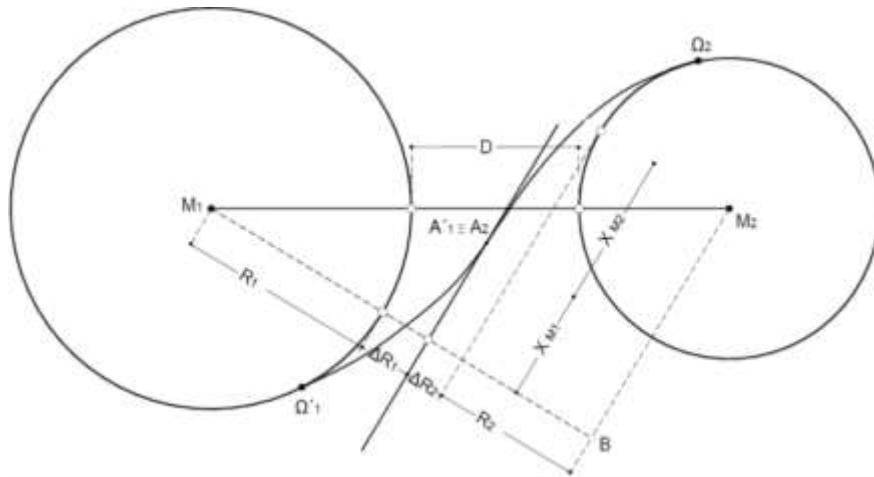
Οι δυνατότητες εφαρμογής παρουσιάζονται για τις διάφορες μορφές συνδετικών τόξων. Τα τόξα συναρμογής χρησιμοποιούνται κυρίως για τις εισόδους της ομάδας A καθώς και για τις κατηγορίες οδών BΙ και BII- θα πρέπει επίσης να χρησιμοποιούνται για τις κατηγορίες οδών BIII και BIV, ενώ δεν απαιτούνται για τις οδούς AV.

3.2.4 Απλή κλωθοειδής

Χρησιμοποιείται ως το συνδετικό τόξο μεταξύ του ευθύγραμμου τόξου και του κυκλικού τόξου, προκειμένου να επιτευχθεί ομοιόμορφη αύξηση της καμπυλότητας από την ευθεία, το κυκλικό τόξο και η ομοιόμορφη μείωση αντίστοιχα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ακόλουθη ακολουθία στοιχείων: ευθύγραμμο περιστρεφόμενο τόξο κύκλου που περιστρέφεται σε ευθεία γραμμή.

3.2.5 S- καμπύλη

Η καμπύλη S αποτελείται από δύο αντίθετες καμπύλες χωρίς ενδιάμεση ευθυγραμμία. Για την καθεμία κλωθοειδή ισχύουν οι συνθήκες των απλών κλωθοειδών. Οι δύο κλωθοειδείς πρέπει να έχουν περίπου την ίδια παράμετρο για λόγους αρμονίας της τομής και πρόσθετης ομοιόμορφης κλίσης των οριογραμμών. (Σχήμα 3.4)



Σχήμα 3.4: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά S-καμπύλης

Στην περίπτωση που οι παράμετροι \$A_1, A_2\$ της κλωθοειδούς διαφέρουν, πρέπει να είναι για \$A_2 \le 200\$ σε δρόμους των κατηγοριών \$A_1\$ και \$A_2\$ και κατά το δυνατόν σε δρόμους των κατηγοριών \$A_3, B_1\$ και \$B_2\$, η ακόλουθη σχέση:

$$A_1 \le 1,5A_2$$

Όπου:

\$A_1\$ [m] = μεγάλη παράμετρος κλωθοειδούς

\$A_2\$ [m] = μικρή παράμετρος κλωθοειδούς

Η σχέση των ακτινών των κυκλικών τόξων της S - καμπύλης καθορίζεται από το σχήμα 3.5.

Σύνδεση	αινήθης	να αποφεύγεται
Ευθεία με κυκλικό τόξο	απλή κλωθοειδής	Κλωθοειδής καλίστρου
δύο κυκλικά τόξα	S - Κλωθοειδής	C - Κλωθοειδής
	Ωσειδής κλωθοειδής	
δύο ευθείες μόνο με τόξα συναρμογής		Κλωθοειδής κορυφής

Σχήμα 3.5 :Δυνατότητες εφαρμογής της κλωθοειδούς

Για την προσαρμογή σε τοπικά υποχρεωτικά σημεία επιτρέπεται η διάταξη ευθυγραμμίας μικρού μήκους μεταξύ των δύο σημείων αρχής. Προκειμένου να διατηρηθεί η οπτική εντύπωση της S - καμπύλης, πρέπει η τιμή του μήκους της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας να μην υπερβαίνει την τιμή:

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

Όπου:

A_{1,2}= παράμετροι της κλωθοειδούς

L_z = μήκος της ενδιάμεσης ευθυγραμμίας

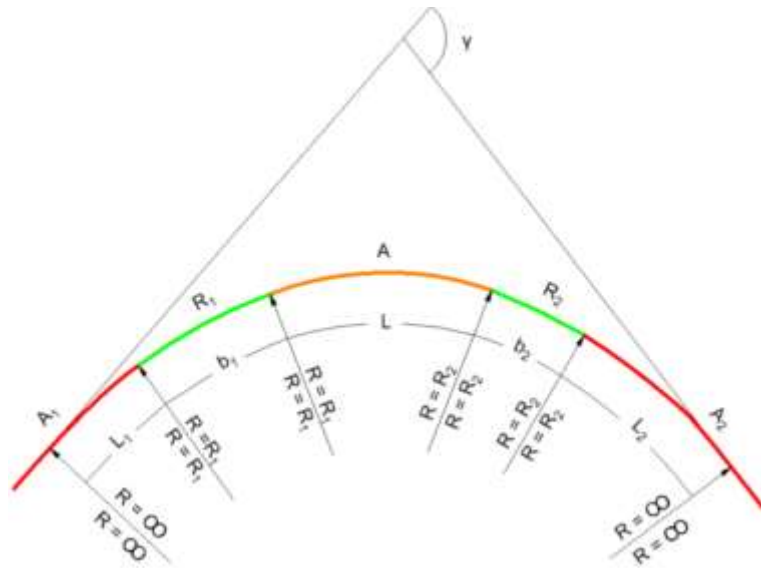
3.2.6 Ωοειδής καμπύλη

Η ωοειδής καμπύλη είναι τμήμα κλωθοειδούς και χρησιμοποιείται ως τόξο συναρμογής μεταξύ δύο ομόρροπων κυκλικών τόξων με διαφορετικές ακτίνες. Προκειμένου μια καμπύλη να θεωρείται ωοειδής πρέπει:

- Ο ένας κύκλος να βρίσκεται στο εσωτερικό του άλλου
- Οι δύο κύκλοι να μην τέμνονται
- Οι δύο κύκλοι να μην είναι ομόκεντροι

Στην ωοειδή καμπύλη η ακολουθία των στοιχείων χάραξης έχει ως εξής: ευθυγραμμία – κλωθοειδής - κυκλικό τόξο – ωοειδής – κυκλικό τόξο – κλωθοειδής – ευθυγραμμία (Σχήμα 3.6)(Αν οι δύο κύκλοι τέμνονται ή ο ένας κύκλος δεν βρίσκεται στο εσωτερικό του άλλου, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί βοηθητικό κυκλικό τόξο και προκύπτει η εξής σειρά στοιχείων χάραξης (διπλή ωοειδής): ευθυγραμμία – κλωθοειδής - κυκλικό τόξο – ωοειδής – κυκλικό τόξο (βοηθητικό) – ωοειδής - κυκλικό τόξο - κλωθοειδής – ευθυγραμμία .

Γενικά η χρήση ωοειδούς συνιστάται σε περιπτώσεις όπου απαιτείται σημαντική αλλαγή στην καμπυλότητα της οδού σε περιορισμένο χώρο (πχ. ορισμένοι συνδετήριοι κλάδοι ανισόπεδων κόμβων). Σε αυτές τις περιπτώσεις προτιμάται η εφαρμογή ωοειδούς καμπύλης έναντι αλληλουχίας τόξων κανίστρων (ομόρροπα διαδοχικά κυκλικά τόξα), καθώς η φυγόκεντρη επιτάχυνση μεταβάλλεται γραμμικά (κατά μήκος της ωοειδούς καμπύλης) και όχι σημειακά και άρα η μεταβολή στη λειτουργική ταχύτητα των οχημάτων είναι πιο ομοιόμορφη.



Σχήμα 3.6. : Ακολουθία στοιχείων χάραξης στην ωσειδή καμπύλη

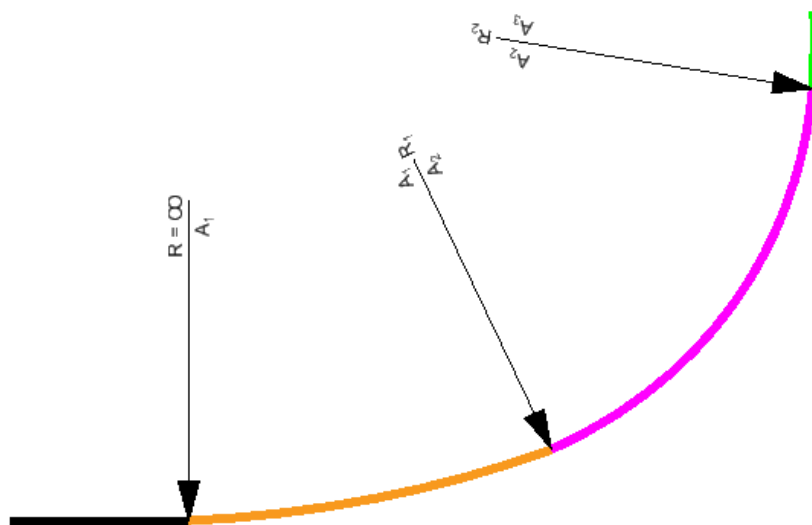
Στα κυκλικά τόξα ισχύει η απαίτηση αλληλουχίας των ακτίνων όπως αυτή αναφέρεται στα προηγούμενα εδάφια.

Για να είναι οπτικά εμφανής η ωσειδής καμπύλη, θα πρέπει η γωνία στροφής κατά μήκος της να είναι $\tau \geq 3.5 \text{ grad}$.

3.2.7 Κλωθοειδής Κανίστρου

Η κλωθοειδής κανίστρου αποτελείται από αλληλουχία ομόρροπων τμημάτων κλωθοειδών με διαφορετικές παραμέτρους, αλλά ίσες ακτίνες στα σημεία επαφής των επιμέρους κλωθοειδών. (Σχήμα 3.7)

Για λόγους οδικής ασφάλειας πρέπει κατά το δυνατόν να αποφεύγεται η χρήση τους.

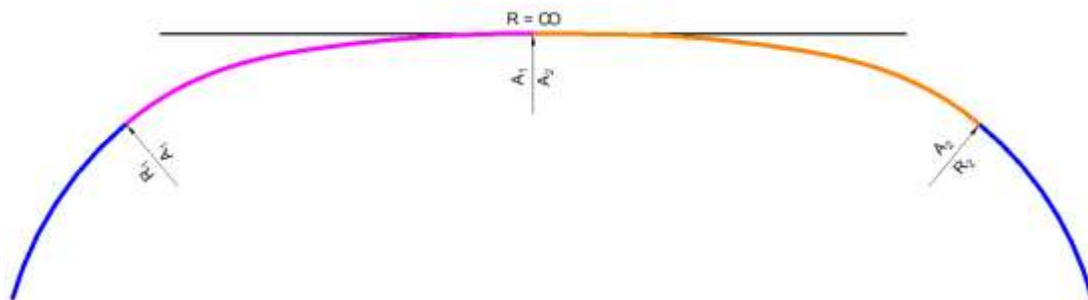


Σχήμα 3.7. :Κλωθοειδής Κανίστρου

3.2.8 Κλωθοειδής Τύπου C

Η κλωθοειδής τύπου C αποτελείται από αλληλουχία δύο ομόρροπων κλωθοειδών σε επαφή κατά τα αρχικά σημεία τους (Σχήμα 3.8).

Επειδή η περιοχή μικρής καμπυλότητας με $\tau < 3.5\text{grad}$ διαφέρει ελάχιστα από την ευθεία, προκαλείται η οπτική εντύπωση ενδιάμεσης ευθυγραμμίας. Για αυτό το λόγο πρέπει να αποφεύγεται η χρήση της.



Σχήμα 3.8. :Κλωθοειδής τύπου C

3.2.6 Κλωθοειδής Κορυφής

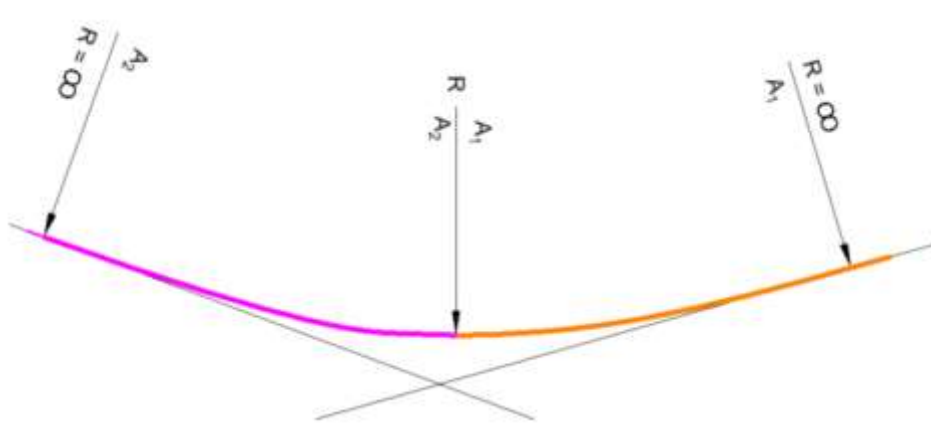
Η κλωθοειδής κορυφής (Σχήμα 3.9) αποτελείται από δύο απλές διαδοχικές ομόρροπες κλωθοειδείς με παραμέτρους ΑΙ και ΑΙΙ, όπου στο σημείο επαφής τους έχουν ίσες ακτίνες καμπυλότητας ($R1 = R2 = RS$).

Γενικά εφαρμόζεται σε εξαιρετικές περιπτώσεις, επειδή η άμεση διαδοχή καμπύλης με αυξανόμενη καμπυλότητα με καμπύλη με μειούμενη καμπυλότητα προκαλεί δυσκολίες στη κίνηση των οχημάτων.

Οι παράμετροι των κλωθοειδών πρέπει κατά το δυνατόν να είναι ίσες ($AΙ = AΙΙ$).

Στον πίνακα 3.4 δίδονται οι ελάχιστες τιμές της κοινής ακτίνας σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ, 2001.

Στις οδηγίες RAL, 2012 απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή κλωθοειδούς κορυφής είναι η τιμή της γωνίας στροφής της καμπύλης η οποία πρέπει να είναι μικρότερη των 10grad. Το ελάχιστο μήκος της καμπύλης σε αυτές τις περιπτώσεις φαίνεται στον Πίνακα 3.5.



Σχήμα 3.9. : Κλωθοειδής κορυφής

ΟΜΟΕ-Χ, 2001	
Ομάδα Οδού	$R_{s \min}$ (m)
A	500
B	260

Πίνακας 3.4. : Ελάχιστες τιμές της κοινής ακτίνας σε κλωθοειδή κορυφής κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001

RAL, 2012		
V (km/h)	Κλάση οδού	L_{\min} (m)
110	EKL 1	200
100	EKL 2	200
90	EKL 3	150
80		
70	EKL 4	100

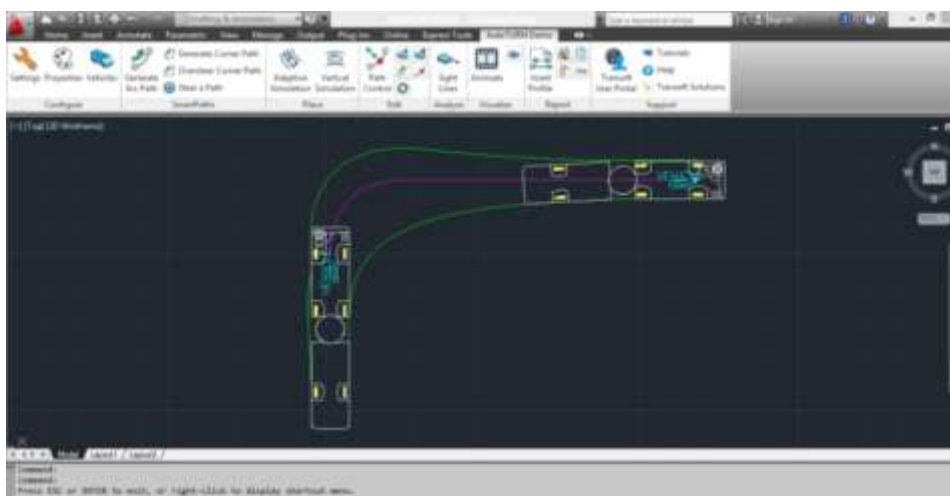
Πίνακας 3.5. :Ελάχιστα μήκη κλωθοειδούς κορυφής κατά RAL, 2012.

3.3 Λογισμικό προσομοίωσης AutoTURN

3.3.1 Γενικά

Το AutoTURN χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό οδών και εγκαταστάσεων συμπεριλαμβανομένου κόμβων, roundabouts, σταθμών λεωφορείων, αποβάθρων φόρτωσης- εκφόρτωσης, χώρων στάθμευσης ή οποιουδήποτε εντός ή εκτός οδού ελιγμού και των αντίστοιχων περιθωρίων ασφαλείας. Πραγματοποιείται έλεγχος

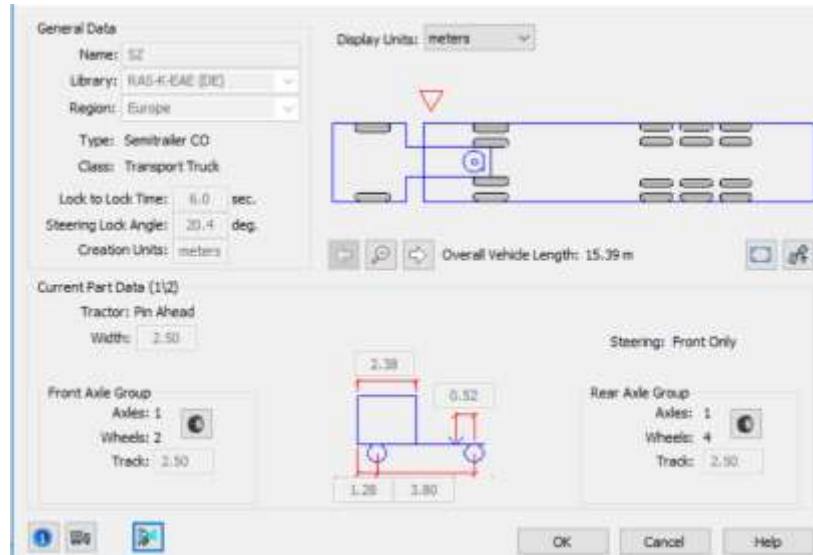
διεύθυνσης του οχήματος καθορίζοντας τη διεύθυνση του οχήματος που παρέχεται από το πρόγραμμα. Ανάλογα του τύπου του ελιγμού που πραγματοποιείται, ο καθορισμός της γωνίας διεύθυνσης και αλλαγής αυτής γίνεται είτε έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή γωνία αλλαγής διεύθυνσης είτε ώστε να καθοδηγηθεί το όχημα επί προϋπάρχουσας διαδρομής. Ονομάζονται generate a path και steer a path αντίστοιχα. Στο σύστημα generate a path θέτονται συγκεκριμένα δεδομένα για τη γωνία αλλαγής διεύθυνσης και το όχημα παρατηρείται να ανταπεξέρχεται. Στο σύστημα steer a path, ο σχεδιαστής συμμετέχει ενεργά στη διαδικασία και μπορεί να διορθώσει τη στροφή με βάση την πιθανή κίνηση που διαθέτει το όχημα. Χρησιμοποιείται η καμπύλη για να αποτυπώσει τα ίχνη των εξωτερικών τροχών του οχήματος, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν ως η πιο δυσμενής επιφάνεια για τη σάρωση του οχήματος στο σχέδιο. (Εικόνα 3.2)



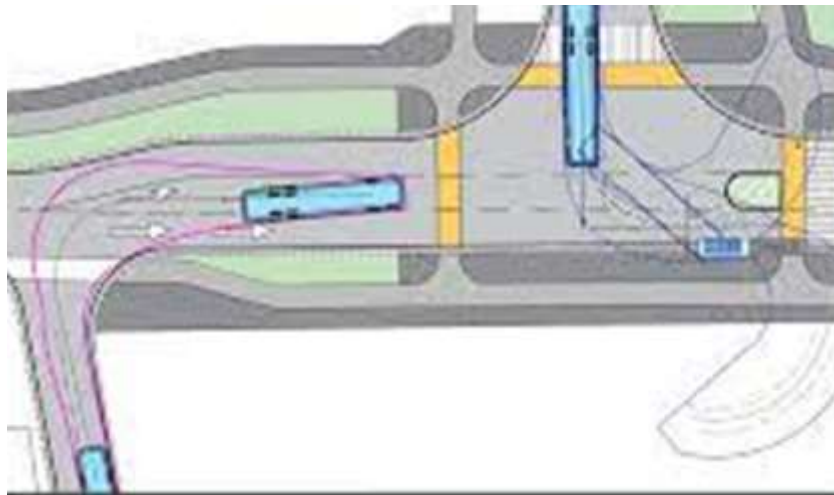
Εικόνα 3.2: Περιβάλλον λογισμικού AutoTURN

3.3.2 Προδιαγραφές και παράμετροι AutoTURN

Το πρόγραμμα λειτουργεί στο περιβάλλον AutoCAD και προσφέρει πλήθος επιλογών μέσω της βιβλιοθήκης (Εικόνα 3.3) για την εύρεση ερευνητικών οχημάτων και τη δυνατότητα σχεδιασμού ή τροποποίησης αυτών. Διαθέτει βιβλιοθήκη για την καταγραφή και την έρευνα τροχιών οχημάτων, όπου το όχημα προσομοιώνεται σε πλήρη απόδοση. Το χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι η πραγματοποίηση μιας ρεαλιστικής προσομοίωσης κάθε επιλεγμένου οχήματος και η παροχή μεμονωμένων λεπτομερών δεδομένων ανάλογα τις πληροφορίες που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα.



Εικόνα 3.3 :Επιλογή οχήματος στο πρόγραμμα AutoTURN



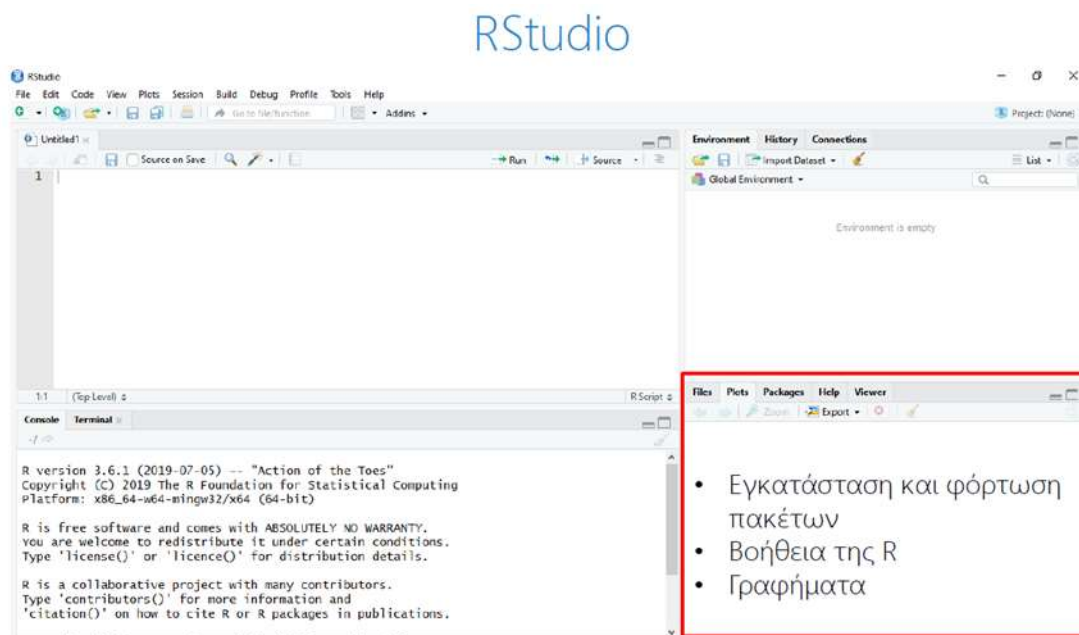
Εικόνα 3.4 :Παράδειγμα προσομοίωσης οχήματος στο λογισμικό AutoTURN

3.4 Πρόγραμμα R-Studio

3.4.1 Γενικά

Η R δεν είναι απλά μια γλώσσα προγραμματισμού, αλλά και ένα περιβάλλον λογισμικού. Είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται κυρίως για στατιστικούς υπολογισμούς, για την παραγωγή γραφικών απεικονίσεων και για την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων κατά την Εξόρυξη Δεδομένων. Η υλοποίηση της R βασίστηκε στη γλώσσα προγραμματισμού S, την οποία δημιούργησε ο John Chambers, όσο βρισκόταν στα Bell Labs. Η R δημιουργήθηκε από τους Ross Ihaka και Robert Gentleman, στο πανεπιστήμιο Auckland στη Νέα Ζηλανδία. Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει πολύ δημοφιλής, και πλέον αναπτύσσεται από μια ομάδα ανθρώπων, γνωστή ως R Development Core Team. Οι βασικότεροι λόγοι για τους οποίους έγινε τόσο δημοφιλής η R είναι η ευκολία στην εκμάθησή της, η συμβατότητά της με τα πιο διαδεδομένα λειτουργικά συστήματα (Linux, Mac OS και Windows), το ότι διαθέτει

έναν μεγάλο αριθμό έτοιμων πακέτων με καλογραμμμένα εγχειρίδια χρήσης, και τέλος το γεγονός ότι είναι δωρεάν διαθέσιμη. (Εικόνα 3.5)



Εικόνα 3.5 :Περιβάλλον λογισμικού R-Studio

3.4.2 Αναλυτικές σχέσεις R-studio

Στην κονσόλα της R ο χρήστης μπορεί να πληκτρολογήσει διάφορες εκφράσεις. Στις περισσότερες γλώσσες προγραμματισμού υπάρχουν μεταβλητές και τύποι μεταβλητών. Ωστόσο, η R βλέπει τα πάντα ως αντικείμενα (object), τα οποία ανήκουν σε μια κλάση (class). Με απλά λόγια, για την R τα αντικείμενα είναι οι μεταβλητές, ενώ η κλάση είναι ο τύπος τους. Στην R δεν απαιτείται η ρητή δήλωση της κλάσης στην οποία ανήκουν τα αντικείμενα. Αυτή καθορίζεται αυτόματα από την τιμή που θα ανατεθεί στο αντικείμενο. Η ανάθεση τιμής γίνεται με τον τελεστή. Η R έχει πέντε βασικές ή ατομικές (atomic) κλάσεις αντικειμένων:

- χαρακτήρας (character)
- αριθμητικός – πραγματικοί αριθμοί (numeric)
- ακέραιος (integer)
- σύνθετος (complex)
- λογικός (logical – True/False)

Η R χρησιμοποιεί, επίσης, βασικές δομές δεδομένων ως κλάσεις αντικειμένων. Η βασικότερη δομή είναι το διάνυσμα (vector). Ένα διάνυσμα μπορεί να περιέχει αντικείμενα του ίδιου μόνο τύπου. Η δημιουργία ενός διανύσματος είναι εφικτή, χρησιμοποιώντας είτε τη συνάρτηση c, είτε τη συνάρτηση vector.

3.4.3 Μαθηματικά μοντέλα για τον υπολογισμό της απαιτούμενης διαπλάτυνσης μέσω του προγράμματος R-Studio

ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Ο κλάδος της στατιστικής που εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών, έτσι ώστε να μπορεί να προβλεφθεί μία από τις άλλες μεταβλητές, ονομάζεται ανάλυση παλινδρόμησης. Ο όρος εξαρτημένη μεταβλητή αναφέρεται στη μεταβλητή της οποίας η τιμή πρόκειται να προβλεφθεί, ενώ ο όρος ανεξάρτητη μεταβλητή αναφέρεται στη μεταβλητή που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής. Η ανεξάρτητη μεταβλητή δεν θεωρείται τυχαία αλλά λαμβάνει σταθερές τιμές. Η εξαρτημένη μεταβλητή θεωρείται τυχαία και "οδηγείται" από την ανεξάρτητη μεταβλητή. Για να προσδιοριστεί αν μια ανεξάρτητη μεταβλητή ή ένας συνδυασμός ανεξάρτητων μεταβλητών προκάλεσε τη μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν μαθηματικά μοντέλα.

Η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου είναι μια στατιστική διαδικασία που συμβάλλει στην ανάπτυξη εξισώσεων που περιγράφουν τη σχέση μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών και της εξαρτημένης μεταβλητής. πρέπει να σημειωθεί ότι η επιλογή της μεθόδου για την κατασκευή του μοντέλου βασίζεται στο αν η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής ή διακριτή.

Στην περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής μεταβλητή και ακολουθεί κανονική κατανομή, θα πρέπει να χρησιμοποιείται η μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης. Η απλούστερη περίπτωση γραμμικής παλινδρόμησης είναι η απλή γραμμική παλινδρόμηση.

Στην απλή γραμμική παλινδρόμηση υπάρχει μόνο μια ανεξάρτητη μεταβλητή X και μια εξαρτημένη μεταβλητή Y , που προσεγγίζεται ως μια γραμμική συνάρτηση του X . Η τιμή y_i της Y , για κάθε τιμή της x_i της X , δίνεται από τη σχέση:

$$y_i = a + \beta x_i + \varepsilon_i$$

Το πρόβλημα της παλινδρόμησης είναι η εύρεση των παραμέτρων a και β που εκφράζουν καλύτερα τη γραμμική συνάρτηση της Y από τη X . Κάθε ζεύγος τιμών (a , β) καθορίζει μια διαφορετική γραμμική σχέση που εκφράζεται γεωμετρικά από ευθεία γραμμή και οι δύο παράμετροι ορίζονται ως εξής:

- Ο σταθερός όρος a είναι η τιμή του y για $x=0$.
- Ο συντελεστής β του x είναι η κλίση (slope) της ευθείας ή αλλιώς ο **συντελεστής παλινδρόμησης** (regression coefficient). Εκφράζει τη μεταβολή της μεταβλητής Y όταν η μεταβλητή X μεταβληθεί κατά μία μονάδα .
- Η τυχαία μεταβλητή ε_i λέγεται **σφάλμα παλινδρόμησης** (regression error) και ορίζεται ως η διαφορά της y_i από τη δεσμευμένη μέση τιμή $E(Y | X = x_i)$ όπου $E(Y | X = x_i) = a + \beta x_i$.

Για την ανάλυση της γραμμικής παλινδρόμησης γίνονται οι παρακάτω υποθέσεις:

- Η μεταβλητή X είναι ελεγχόμενη για το πρόβλημα υπό μελέτη, δηλαδή είναι γνωστές οι τιμές της χωρίς καμία αμφιβολία.
- Η εξάρτηση της Y από τη X είναι γραμμική.
- Το σφάλμα παλινδρόμησης έχει μέση τιμή μηδέν για κάθε τιμή της X και η διασπορά του είναι σταθερή και δεν εξαρτάται από τη X , δηλαδή $E(\varepsilon_i)=0$ και $\text{Var}(\varepsilon_i)=\sigma_\varepsilon^2$

Οι παραπάνω υποθέσεις για γραμμική σχέση και σταθερή διασπορά αποτελούν χαρακτηριστικά πληθυσμών με κανονική κατανομή. Συνήθως, λοιπόν, σε προβλήματα γραμμικής παλινδρόμησης γίνεται υπόθεση ότι η δεσμευμένη κατανομή της Y είναι κανονική.

Στην περίπτωση που η τυχαία μεταβλητή Y εξαρτάται γραμμικά από περισσότερες από μία μεταβλητές X ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$), γίνεται αναφορά στην **πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση** (multiple linear regression). Η εξίσωση που περιγράφει τη σχέση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητων μεταβλητών είναι η εξής:

$$Y_i = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + b_k x_{ki} + \varepsilon_i$$

Η υπόθεση της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι η ίδια με αυτή της μονής γραμμικής παλινδρόμησης, δηλαδή το σφάλμα παλινδρόμησης ε_i (και η τυχαία μεταβλητή Y για κάθε τιμή X) υπακούει σε μια κανονική κατανομή με σταθερή διασπορά. Σε γενικές γραμμές, τα προβλήματα και οι εκτιμήσεις της πολλαπλής παλινδρόμησης δεν διαφέρουν ουσιαστικά από εκείνα της μονής γραμμικής παλινδρόμησης. Ένα νέο στοιχείο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης είναι ότι πριν από την εκτίμηση παραμέτρων, πρέπει να ελεγχθεί εάν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές πρέπει πράγματι να συμπεριληφθούν στο μοντέλο. Εκείνο που απαιτείται να εξασφαλιστεί είναι η μηδενική συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών ($\rho(x_i, x_j) \forall i \neq j \rightarrow 0$)

ΛΟΓΑΡΙΘΜΟΚΑΝΟΝΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ

Στην πορεία αναζήτησης μιας καταλληλότερης μεθόδου επιλέχθηκε η **λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση** (lognormal regression). Μέσω της μεθόδου αυτής δίνεται η δυνατότητα ανάπτυξης ενός μοντέλου που συσχετίζει δύο ή περισσότερες μεταβλητές. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την έρευνα της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης είναι ίδιο με εκείνο που εφαρμόζεται για την εκτέλεση της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Η σχέση που συνδέει την εξαρτημένη με τις ανεξάρτητες μεταβλητές είναι και αυτή γραμμική. Στη λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση (lognormal regression) οι συντελεστές των μεταβλητών του μοντέλου είναι οι συντελεστές της γραμμικής παλινδρόμησης. Υπολογίζεται από την ανάλυση παλινδρόμησης με βάση **την αρχή των ελαχίστων τετραγώνων** δηλαδή υπολογίζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το άθροισμα:

$$\sum (Y - (b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_ix_i))^2$$

Η **λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση** βασίζεται στην υπόθεση ότι ο φυσικός λογάριθμος της εξαρτημένης μεταβλητής ακολουθεί μια **κανονική κατανομή** με αριθμητικό μέσο μ και τυπική απόκλιση σ^2 . Με άλλα λόγια η λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση αποτελεί χρήσιμο εργαλείο όταν τα στοιχεία που περιέχονται στη βάση δεδομένων είναι μη αρνητικά, ο φυσικός λογάριθμος της ανεξάρτητης μεταβλητής ακολουθεί την κανονική κατανομή και ο αριθμητικός μέσος είναι σχετικά μεγάλος. Με τη διαδικασία της παλινδρόμησης συσχετίζεται μια **εξαρτημένη μεταβλητή** με άλλες, τις **ανεξάρτητες μεταβλητές**. Βρίσκει εφαρμογή στη μελλοντική πρόβλεψη μιας μεταβλητής σε σχέση με μια άλλη ή στον προσδιορισμό μιας συναρτησιακής σχέσης $\log(\mu_i) = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iq})$ μεταξύ των παρατηρημένων τιμών μ_i ($i=1,2,\dots,q$) της εξαρτημένης μεταβλητής και των τιμών των ανεξάρτητων μεταβλητών (Bauer, Harwood, 1998).

Η μαθηματική σχέση που περιγράφει τη μέθοδο αυτή είναι η εξής:

$$\log(y_i) = b_0 + b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + b_kx_{ki} + \varepsilon_i$$

όπου:

y_i : είναι η εξαρτημένη μεταβλητή και

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$: είναι οι συντελεστές μερικής παλινδρόμησης

$x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}$: είναι οι ανεξάρτητες μεταβλητές

ΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ

Στα γραμμικά και λογαριθμικά μοντέλα παλινδρόμησης που περιγράφονται σε αυτό το κεφάλαιο, η εξαρτημένη μεταβλητή είναι συνεχής. Ωστόσο, όπου η εξαρτώμενη μεταβλητή είναι διακριτή (όπως η πιθανότητα ατυχήματος), χρησιμοποιείται ανάλυση παλινδρόμησης. Η λογιστική ανάλυση παλινδρόμησης χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης και ταξινόμησης. Ένα σύνολο συνεχών μεταβλητών και διακριτών μεταβλητών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έξοδο κατηγορικών μεταβλητών με δύο κατηγορίες. Σε αντίθεση με τη γραμμική παλινδρόμηση, η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η πιθανότητα το αποτέλεσμα του αποτελέσματος να είναι ίσο με 1. Χρησιμοποιείται ο n - επέριος λογάριθμος για την **πιθανότητα** ή το **λόγο πιθανοφάνειας** (likelihood ratio), η εξαρτημένη μεταβλητή να είναι 1, σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$Y = \text{logit}(P) = \text{LN}(P/(1-P))$$

όπου:

B_0 : είναι η σταθερά του μοντέλου

B_i : είναι παραμετρικές εκτιμήτριες για τις ανεξάρτητες μεταβλητές ($X_i=1,\dots,n$ το σύνολο των εξαρτημένων μεταβλητών)

Η πιθανότητα κυμαίνεται από 0 έως 1, ενώ ο $\ln(P/(1-P))$ κυμαίνεται από μείον άπειρο ως συν άπειρο. Τα μοντέλα λογιστικής ανάλυσης παλινδρόμησης υπολογίζουν την καμπυλόγραμμη σχέση ανάμεσα στην κατηγορική επιλογή Y και στις μεταβλητές X_i οι οποίες μπορεί να είναι συνεχείς ή διακριτές. Η καμπύλη της λογιστικής παλινδρόμησης είναι προσεγγιστικά γραμμική στις μεσαίες τιμές και λογαριθμική στις ακραίες τιμές. Με απλό μετασχηματισμό της παραπάνω σχέσης οδηγούμαστε στην εξής νέα σχέση:

$$(P_i(1-P_i))=e^{B_0+B_1x_i}$$

Η θεμελιώδης εξίσωση για τη λογιστική παλινδρόμηση δείχνει ότι όταν η τιμή μιας ανεξάρτητης μεταβλητής αυξηθεί κατά μια μονάδα και όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές παραμένουν σταθερές ο νέος λόγος πιθανοφάνειας $P_i/(1-P_i)$ δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$(P_i/(1-P_i))=e^{B_0} e^{B_1(x_i+1)}$$

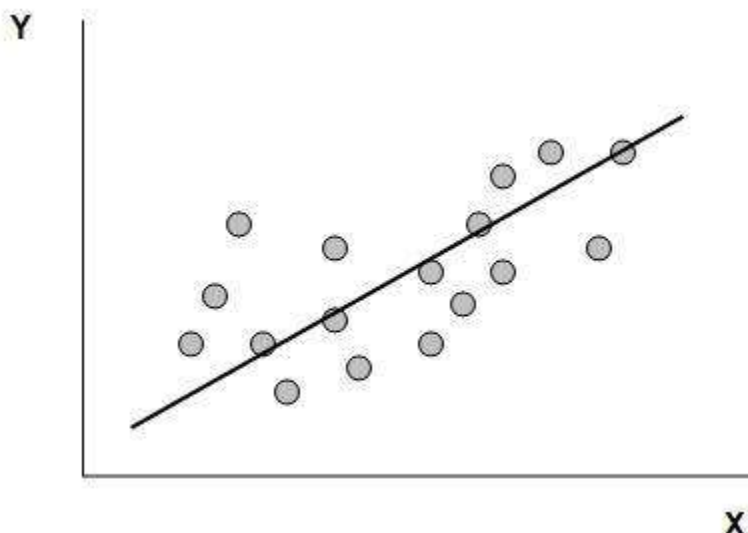
Έτσι παρατηρείται ότι όταν η ανεξάρτητη μεταβλητή X_i αυξηθεί κατά μια μονάδα, με όλες τις υπόλοιπες μεταβλητές να παραμένουν σταθερές, η πιθανότητα $P_i/(1-P_i)$ αυξάνεται κατά ένα συντελεστή .

3.4.4 Εκτίμηση των παραμέτρων

Η εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου τόσο της πολλαπλής γραμμικής όσο και της λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης γίνεται με τη **μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων** (method of least squares).

Ο προσδιορισμός των β_i , δίνει μια προσεγγιστική ευθεία, που συνδέει τις τιμές της μεταβλητής Y δοθισών των τιμών της X .

Η ευθεία που προκύπτει λέγεται **ευθεία παλινδρόμησης της Y πάνω στη X** . Σκοπός είναι το άθροισμα των τετραγώνων των κατακόρυφων αποστάσεων των σημείων (X,Y) από την ευθεία να είναι ελάχιστο. Δίνεται ένα ενδεικτικό διάγραμμα της ευθείας ελαχίστων τετραγώνων.



Σχήμα 3.10: Ευθεία ελαχίστων τετραγώνων

3.4.5 Διαδικασία ανάπτυξης και κριτήρια αποδοχής μοντέλου

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, οι βασικές προϋποθέσεις που εξετάστηκαν πριν από την ανάπτυξη του μοντέλου αφορούν κυρίως την κανονικότητα. Με βάση αυτή τη συνθήκη, η τιμή της μεταβλητής Y πρέπει να υπακούει σε μια κανονική κατανομή.

Ο συσχετισμός ανεξάρτητων μεταβλητών είναι η δεύτερη βασική συνθήκη. Σύμφωνα με αυτό, οι ανεξάρτητες μεταβλητές πρέπει να είναι γραμμικά ανεξάρτητες μεταξύ τους ($\rho(X_i, X_j) = 0 \forall i \neq j$), διαφορετικά η επίδραση κάθε μεταβλητής στο αποτέλεσμα δεν μπορεί να επαληθευτεί. Με άλλα λόγια, εάν δύο σχετικές μεταβλητές εισαχθούν σε ένα μοντέλο, θα υπάρξουν προβλήματα προκατάληψης και επάρκειας.

Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της διαμόρφωσης του μοντέλου είναι το πρόσημο και η τιμή του συντελεστή β_i της εξίσωσης, η στατιστική σημασία, η ποιότητα του μοντέλου και το σφάλμα της εξίσωσης.

Όσον αφορά στους **συντελεστές της εξίσωσης**, θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα λογικής ερμηνείας των πρόσημων τους. Το θετικό πρόσημο του συντελεστή δηλώνει αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Αντίθετα, αρνητικό πρόσημο συνεπάγεται μείωση της εξαρτημένης μεταβλητής με την αύξηση της ανεξάρτητης. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που η ταχύτητα διαδρομής αποτελεί την ανεξάρτητη και οι χρονικοί διαχωρισμοί την εξαρτημένη μεταβλητή του μοντέλου, θα πρέπει ο συντελεστής β_i της ταχύτητας να έχει αρνητικό πρόσημο. Η τιμή του συντελεστή θα πρέπει και αυτή να ερμηνεύεται λογικά, δεδομένου ότι αύξηση της ανεξάρτητης μεταβλητής (x_i) κατά μία μονάδα επιφέρει αύξηση της εξαρτημένης κατά β_i μονάδες. Στην περίπτωση που η αύξηση αυτή εκφράζεται σε ποσοστά, τότε πρόκειται για την ελαστικότητα (elasticity).

Η **ελαστικότητα** αντικατοπτρίζει την ευαισθησία μιας εξαρτημένης μεταβλητής Y στη μεταβολή μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών.

Είναι πολλές φορές ορθότερο να εκφραστεί η ευαισθησία ως ποσοστιαία μεταβολή της εξαρτημένης μεταβλητής που προκαλεί η 1% μεταβολή της ανεξάρτητης. Η ελαστικότητα, για γραμμικά πρότυπα, δίνεται από τη σχέση:

$$ei = (\Delta Yi / \Delta Xi) * (Xi / Yi) = \beta_i (Xi / Yi)$$

Η **στατιστική εμπιστοσύνη του γραμμικού μοντέλου** αξιολογείται μέσω του ελέγχου **t-test** (κριτήριο της κατανομής student). Με τον δείκτη t προσδιορίζεται η στατιστική σημαντικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών, καθορίζονται δηλαδή ποιες μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στο τελικό μοντέλο. Ο συντελεστής t εκφράζεται με τη σχέση:

$$t_{stat} = \beta_i / s.e$$

όπου s.e: τυπικό λάθος (standard error).

Βάσει της ανωτέρω σχέσης, όσο μειώνεται το τυπικό σφάλμα τόσο αυξάνεται ο συντελεστής tstat και συνεπώς αυξάνεται η επάρκεια (efficiency). Όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του t, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιρροή της συγκεκριμένης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα. Στον πίνακα 3.6 που δίνεται στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κρίσιμες τιμές του συντελεστή t (t*) για κάθε επίπεδο εμπιστοσύνης.

ΒΑΘΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ	ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ				
	0.9	0.95	0.975	0.99	0.995
80	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Πίνακας 3.6: Κρίσιμες τιμές του συντελεστή t

Έτσι για μέγεθος δείγματος περί τα 80 και επίπεδο εμπιστοσύνης 95% είναι t=1,7 και για επίπεδο εμπιστοσύνης 90% είναι t=1,3. Αν λοιπόν έχουμε t=-3,2 για κάποια ανεξάρτητη μεταβλητή X_i τότε παρατηρείται ότι απόλυτη τιμή του t είναι μεγαλύτερη από την τιμή του t* (1,7) και άρα είναι αποδεκτή η μεταβλητή ως στατιστικά σημαντική για το 95% των περιπτώσεων.

Μετά τον έλεγχο της στατιστικής εμπιστοσύνης εξετάζεται η **ποιότητα του μοντέλου**. Η ποιότητα του μοντέλου καθορίζεται βάσει του **συντελεστή προσαρμογής**. Ο συντελεστής R^2 χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων **στο γραμμικό μοντέλο** και ορίζεται από τη σχέση :

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

όπου: $SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = b^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ και

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής Y που εξηγείται από τη μεταβλητή X . Λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του R^2 στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή γίνεται η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X . Ο συντελεστής R^2 έχει συγκριτική αξία. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του R^2 που είναι αποδεκτή ή απορριπτή, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του R^2 .

Θα πρέπει να τονιστεί ότι χρειάζεται προσοχή στη χρησιμοποίηση του ρ και του R^2 . Το R^2 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο ισχυρότητας της γραμμικής σχέσης ανεξάρτητα από το αν το X παίρνει καθορισμένες τιμές ή είναι τυχαία μεταβλητή. Αντίθετα, το ρ μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο αν το Y και το X είναι τυχαίες μεταβλητές. Επομένως, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, που οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι καθορισμένες, χρησιμοποιείται ο συντελεστής R^2 ως κριτήριο καταλληλότητας του μοντέλου.

Όσον αφορά στο **σφάλμα** της εξίσωσης του μοντέλου, αυτό θα πρέπει να πληροί τρεις προϋποθέσεις:

- Να ακολουθεί κανονική κατανομή
- Να έχει σταθερή διασπορά $\text{Var}(e_i)=c$
- Να έχει μηδενική συσχέτιση, $\rho(e_i e_j)=0 \forall i \neq j$

Αναφέρεται ότι η **διασπορά του σφάλματος** εξαρτάται από το συντελεστή προσδιορισμού R^2 . Όσο μεγαλύτερο είναι το R^2 τόσο μικρότερη είναι η διασπορά του σφάλματος, δηλαδή τόσο καλύτερη είναι η πρόβλεψη που βασίζεται στην ευθεία παλινδρόμησης.

Όσον αφορά στα **μοντέλα λογιστικής ανάλυσης παλινδρόμησης**, ισχύει ό,τι και στην απλή και λογαριθμοκανονική παλινδρόμηση, με τη διαφορά ότι στη λογιστική ανάλυση παλινδρόμησης το αντίστοιχο t-test έχει την ονομασία **Wald**. Η τιμή του Wald για κάθε μεταβλητή πρέπει να είναι μικρότερη του 1.7 όπως ακριβώς και για το συντελεστή t.

Η πιθανότητα παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταβλητή επιλογή του μοντέλου ανάλυσης παλινδρόμησης. Η μέθοδος μεγιστοποίησης πιθανότητας χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της επιρροής της παραμέτρου b . Για να αποκτήσουμε υψηλή πιθανότητα, προσπαθούμε να διατηρήσουμε το λογάριθμο της συνάρτησης πιθανότητας $L = -\log(\text{πιθανότητα})$ όσο το δυνατόν μικρότερο και προτιμούμε ένα μοντέλο με μικρότερο λογάριθμο της συνάρτησης πιθανότητας L . Μοντέλα που περιέχουν πολλές μεταβλητές είναι περισσότερο σύνθετα και χρειάζεται ένας κανόνας να αποφασίζει εάν η μείωση του $L = -\log(\text{likelihood})$ αξίζει την αυξημένη πολυπλοκότητα και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούμε το **Likelihood Ratio Test (LRT)** (κριτήριο λόγου πιθανοφάνειας). Σύμφωνα με το κριτήριο του λόγου πιθανοφάνειών (LRT) εάν η διαφορά $LRT = 2 \times (L(\hat{b}) - L(0))$, όπου $L(\hat{b}) = L(\text{μοντέλο με τις } p \text{ μεταβλητές})$, ενώ $L(0) = L(\text{μοντέλο χωρίς τις } p \text{ μεταβλητές})$, είναι μεγαλύτερη από την τιμή του χ^2 για p βαθμούς ελευθερίας σε επίπεδο σημαντικότητας 5% το μοντέλο είναι στατιστικά προτιμότερο από το μοντέλο χωρίς τις μεταβλητές και γίνονται δεκτές οι μεταβλητές ως σημαντικές.

Ο **συντελεστής ρ^2** καθορίζει την ποιότητα του μοντέλου. Ο συντελεστής αυτός είναι ανάλογος του συντελεστή R^2 της απλής γραμμικής και λογαριθμοκανονικής παλινδρόμησης και χρησιμοποιείται ως κριτήριο καλής προσαρμογής των δεδομένων στο μοντέλο λογιστικής παλινδρόμησης. Υπολογίζεται ως εξής: $\rho^2 = 1 - \left(\frac{L(\hat{b})}{L(0)}\right)$ όπου $L(\hat{b})=L$ (μοντέλο με τις p μεταβλητές) ενώ $L(0)=L$ (μοντέλο χωρίς τις p μεταβλητές). Συγκεκριμένα, εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας της μεταβλητής Y που εξηγείται από τη μεταβλητή X . Λαμβάνει τιμές από 0 έως 1. Όσο πιο κοντά βρίσκεται η τιμή του ρ^2 στη μονάδα, τόσο πιο ισχυρή είναι η γραμμική σχέση εξάρτησης των μεταβλητών Y και X . Επισημαίνεται ότι ο συντελεστής ρ^2 έχει και εδώ συγκριτική αξία. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένη τιμή του ρ^2 που κρίνεται ως αποδεκτή ή απορριπτή, αλλά μεταξύ δύο ή περισσότερων μοντέλων επιλέγεται ως καταλληλότερο εκείνο με τη μεγαλύτερη τιμή του ρ^2 .

Επιπλέον, ελέγχεται σε ποιο βαθμό το λογιστικό μοντέλο παλινδρόμησης μπορεί να προβλέψει σωστά την πιθανότητα ατυχήματος. Ο μέσος όρος των ποσοστών δύο ενδεχόμενων στοιχείων πρέπει να είναι μεγαλύτερος από 65% και δεν πρέπει να υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο αντίστοιχων ποσοστών δύο ενδεχόμενων στοιχείων.

4.Εφαρμογή μοντέλου προσομοίωσης

4.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης διαπλάτυνσης στις εξεταζόμενες καμπύλες της περιφερειακής οδού της Πολυτεχνειούπολης. Επίσης παρουσιάζονται οι παράμετροι που λήφθηκαν υπόψη στην εφαρμογή του προγράμματος AutoTURN ,η διαδικασία επιλογής του κατάλληλου στατιστικού μοντέλου καθώς και η παρουσίαση των μεταβλητών που κρίθηκαν αναγκαίες για την εφαρμογή της μεθόδου στον υπολογισμό της διαπλάτυνσης. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την χρήση της μεθοδολογίας καθώς και της σύγκρισης που έγινε με τα αποτελέσματα από τους ελληνικούς κανονισμούς.

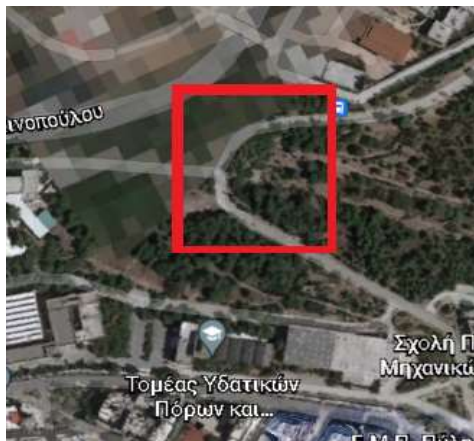
4.2 Οριζοντιογραφία οδού

Για την ολοκληρωμένη απεικόνιση της οδού χρησιμοποιήθηκαν τοπογραφικές συντεταγμένες ,που δόθηκαν από συναδέλφους της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων μηχανικών, τα οποία εισήλθαν στο σχεδιαστικό περιβάλλον του προγράμματος AutoCAD για να προκύψει η οριζοντιογραφία, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.1.

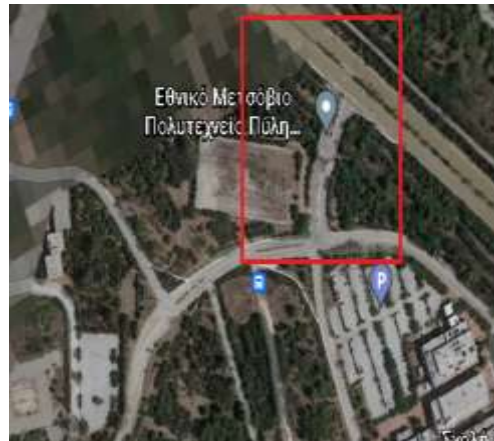


Εικόνα 4.1: Οριζοντιογραφία περιφερειακής οδού Πολυτεχνειούπολης (Διαδρομή λεωφορείου 242)

Για την ανάγκη της διπλωματικής εργασίας, μέσω της οριζοντιογραφίας, έγιναν μετρήσεις για να προκύψουν τα πλάτη και οι ακτίνες των υπό εξέταση καμπυλών. Τα πλάτη που μετρήθηκαν είναι 3.75 , 3.90 ,4.00 και 4.25m ενώ οι ακτίνες των καμπύλων είναι 18 , 20 ,30 ,85 και 95m. Τα σημεία που μελετήθηκαν φαίνονται στις παρακάτω εικόνες 4.2,4.3 και 4.4.



Εικόνα 4.2: Στροφή U-turn



Εικόνα 4.3: Πύλη Κατεχάκης

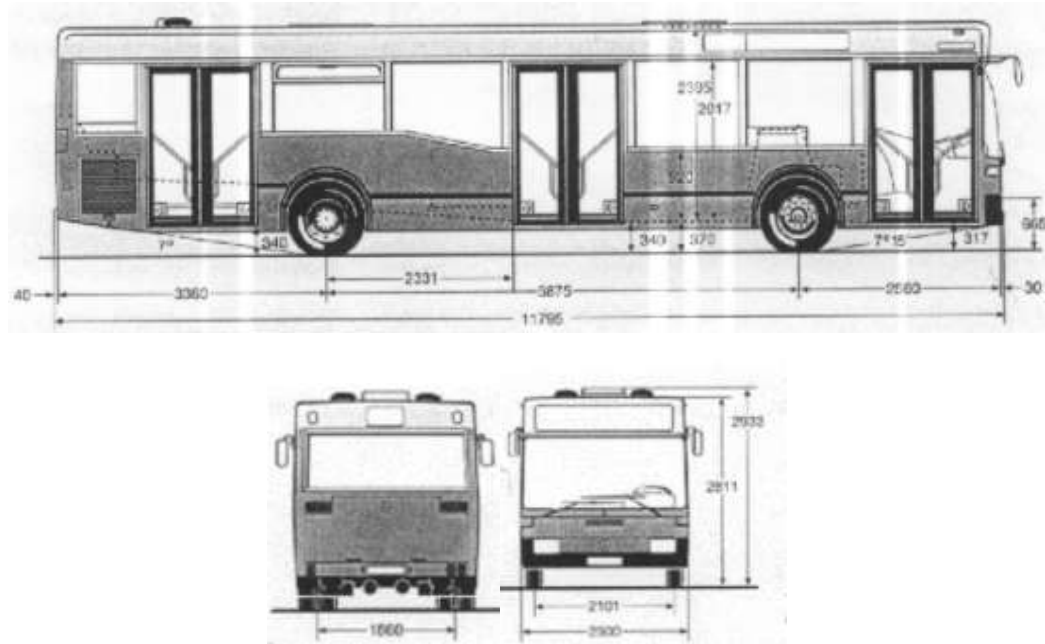


Εικόνα 4.4: Στροφές μικρής καμπυλότητας

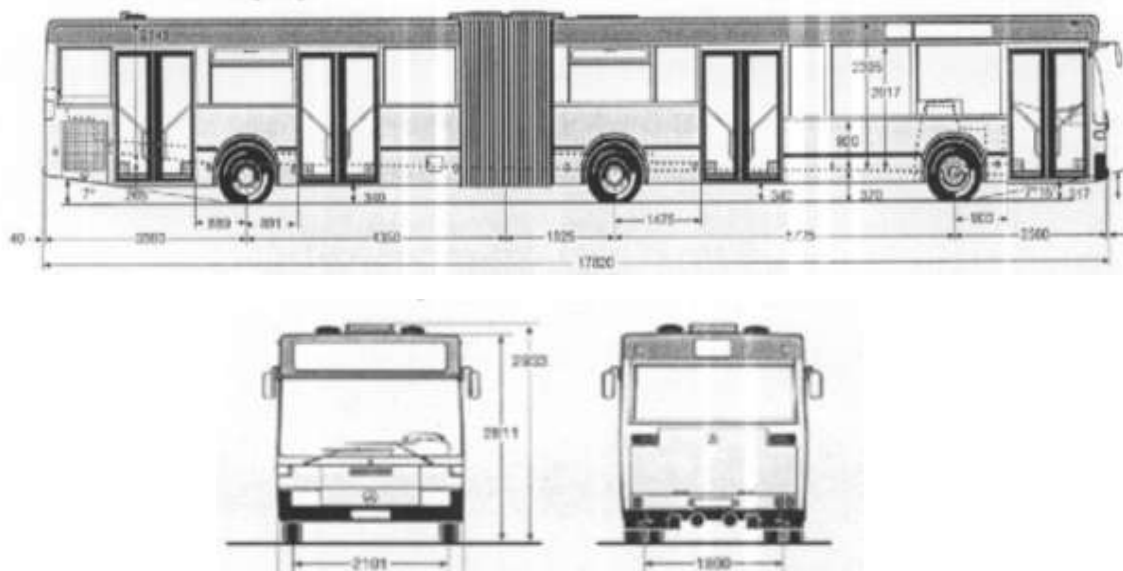
4.3 Οχήματα σχεδιασμού

Την συγκεκριμένη διαδρομή διανύει, σε καθημερινή βάση, το λεωφορείο του ΟΑΣΑ 242 που πραγματοποιεί το δρομολόγιο Στ.Κατεχάκη – Πολυτεχνειούπολη. Το λεωφορείο 242 εξυπηρετεί κυρίως τους φοιτητές και το προσωπικό για να μεταβούν στο Ε.Μ.Π και υπάρχει σύνδεση με την γραμμή 3 του μετρό στη στάση Κατεχάκη.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν δύο ειδών λεωφορεία ως οχήματα σχεδιασμού, το συμβατικό και το αρθρωτό, για την εύρεση της διαπλάτυνσης στις καμπύλες που εξετάζονται των οποίων οι διαστάσεις φαίνονται στις επόμενες εικόνες 4.5 και 4.6.



Εικόνα 4.5: Συμβατικό λεωφορείο



Εικόνα 4.6 : Αρθρωτό λεωφορείο

4.4 Ανάπτυξη του μαθηματικού μοντέλου

Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται η διαδικασία της συλλογής στοιχείων και της ανάλυσης για την δημιουργία του στατιστικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση της διαπλάτυνσης. Σημειώνεται ότι θα πραγματοποιηθεί μία στατιστική ανάλυση με την οποία θα διερευνηθούν οι μεταβλητές που επηρεάζουν το όχημα σχεδιασμού για την εύρεση της απαιτούμενης διαπλάτυνσης.

Για την ανάγκη αυτή ελήφθησαν βίντεο που έδειχναν την συμπεριφορά του οχήματος εντός της καμπύλης (Εικόνα 4.7) και συλλέχθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα για την δημιουργία του μαθηματικού μοντέλου.



Εικόνα 4.7: Διέλευση λεωφορείου εντός της καμπύλης

Όπως φαίνεται ο οδηγός, λόγω της μεγάλης καμπυλότητας που υφίσταται στη οδό, οδηγεί στην αντίθετη λωρίδα το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την πιθανή συνάντηση του λεωφορείου με διερχόμενο όχημα και την πρόκληση ατυχήματος.

Στο στατιστικό μοντέλο προσδιορισμού της απαιτούμενης διαπλάτυνσης χρησιμοποιήθηκαν ως μεταβλητές η διαπλάτυνση που πρόκυψε από τα βίντεο βάση

του περιθωρίου ασφαλείας που άφηνε οδηγός και του συνολικού πλάτους που κάλυπτε το όχημα στην καμπύλη, η ακτίνα της καμπύλης, το πλάτος της οδού, το περιθώριο ασφαλείας από την εσωτερική οριογραμμή εντός της καμπύλης.

Η βάση δεδομένων που εισήχθη στο ειδικό λογισμικό στατιστικής ανάλυσης έχει πλήθος 60 παρατηρήσεων για το κάθε όχημα στην εκάστοτε μεταβλητή που το επηρεάζει.

Σύμφωνα και με το προηγούμενο κεφάλαιο για την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου παλινδρόμησης και των μεταβλητών έγιναν δοκιμές για να προκύψει εκείνο που θα έχει τα επιθυμητά αποτελέσματα καθώς και τον καλύτερο δείκτη R^2 , τις επιθυμητές τιμές t (του στατιστικού ελέγχου t-test) καθώς και του p-value.

Προέκυψε ως κατάλληλο το λογαριθμικό μοντέλο παλινδρόμησης και ακολούθησε ο καθορισμός του ονόματος και του τύπου των μεταβλητών. Παρακάτω αναφέρονται οι μεταβλητές που περιλαμβάνονται στο τελικό στατιστικό πρότυπο.

Εξαρτημένη Μεταβλητή

$i/2$ [m] : Η απαιτούμενη διαπλάτυνση της οδού

Ανεξάρτητες Μεταβλητές

R [m]: Ακτίνα της καμπύλης

ΠΑ [m] : Περιθώριο ασφαλείας από την εσωτερική οριογραμμή εντός της καμπύλης

B [m]: Πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας



Εικόνα 4.8: Μεταβλητές μαθηματικού μοντέλου

Στην συνέχεια παρουσιάζονται στις εικόνες 4.9 και 4.10 το πλήθος και οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή του μαθηματικού μοντέλου.

Συμβατικό λεωφορείο

Διαπλάτυση	Ακτίνα	Περίθωρο Ασφάλειας 1	Πλάτος		Διαπλάτυση	Ακτίνα	Περίθωρο Ασφάλειας 1	Πλάτος
1,3	18,00	0,79	4,00		0,53	30,00	0,98	4,25
1,48	18,00	0,95	4,00		0,68	30,00	1,03	4,25
1,17	18,00	0,67	4,00		0,77	30,00	0,80	4,25
1,12	18,00	0,85	4,00		0,42	30,00	0,69	4,25
1,43	18,00	0,73	4,00		0,52	30,00	0,60	4,25
1,21	18,00	0,93	4,00		0,41	30,00	0,84	4,25
1,45	18,00	0,64	4,00		0,35	65,00	1,05	3,90
1,18	18,00	0,91	4,00		0,25	85,00	0,95	3,90
1,39	18,00	0,60	4,00		0,15	85,00	0,92	3,90
1,25	18,00	0,70	4,00		0,19	85,00	1,07	3,90
1,13	18,00	0,85	4,00		0,23	85,00	1,15	3,90
1,47	18,00	0,75	4,00		0,11	85,00	0,90	3,90
1,15	20,00	0,74	4,00		0,21	85,00	0,95	3,90
1,35	20,00	0,90	4,00		0,32	85,00	1,09	3,90
1,38	20,00	0,62	4,00		0,27	85,00	1,01	3,90
1,11	20,00	0,80	4,00		0,18	85,00	0,98	3,90
1,41	20,00	0,68	4,00		0,04	85,00	1,13	3,90
1,12	20,00	0,88	4,00		0,08	85,00	0,90	3,90
1,16	20,00	0,59	4,00		0,15	95,00	0,62	3,75
1,05	20,00	0,86	4,00		0,05	95,00	0,45	3,75
1,11	20,00	0,55	4,00		0,12	95,00	0,76	3,75
1,04	20,00	0,65	4,00		0,10	95,00	0,88	3,75
1,33	20,00	0,80	4,00		0,09	95,00	0,55	3,75
1,12	20,00	0,70	4,00		0,22	95,00	0,61	3,75
0,75	30,00	0,99	4,25		0,18	95,00	0,76	3,75
0,6	30,00	0,77	4,25		0,11	95,00	0,52	3,75
0,7	30,00	0,82	4,25		0,25	95,00	0,50	3,75
0,8	30,00	0,88	4,25		0,30	95,00	0,78	3,75
0,55	30,00	0,71	4,25		0,12	95,00	0,76	3,75
0,67	30,00	0,75	4,25		0,09	95,00	0,70	3,75

Εικόνα 4.9: Βάση δεδομένων συμβατικό λεωφορείο

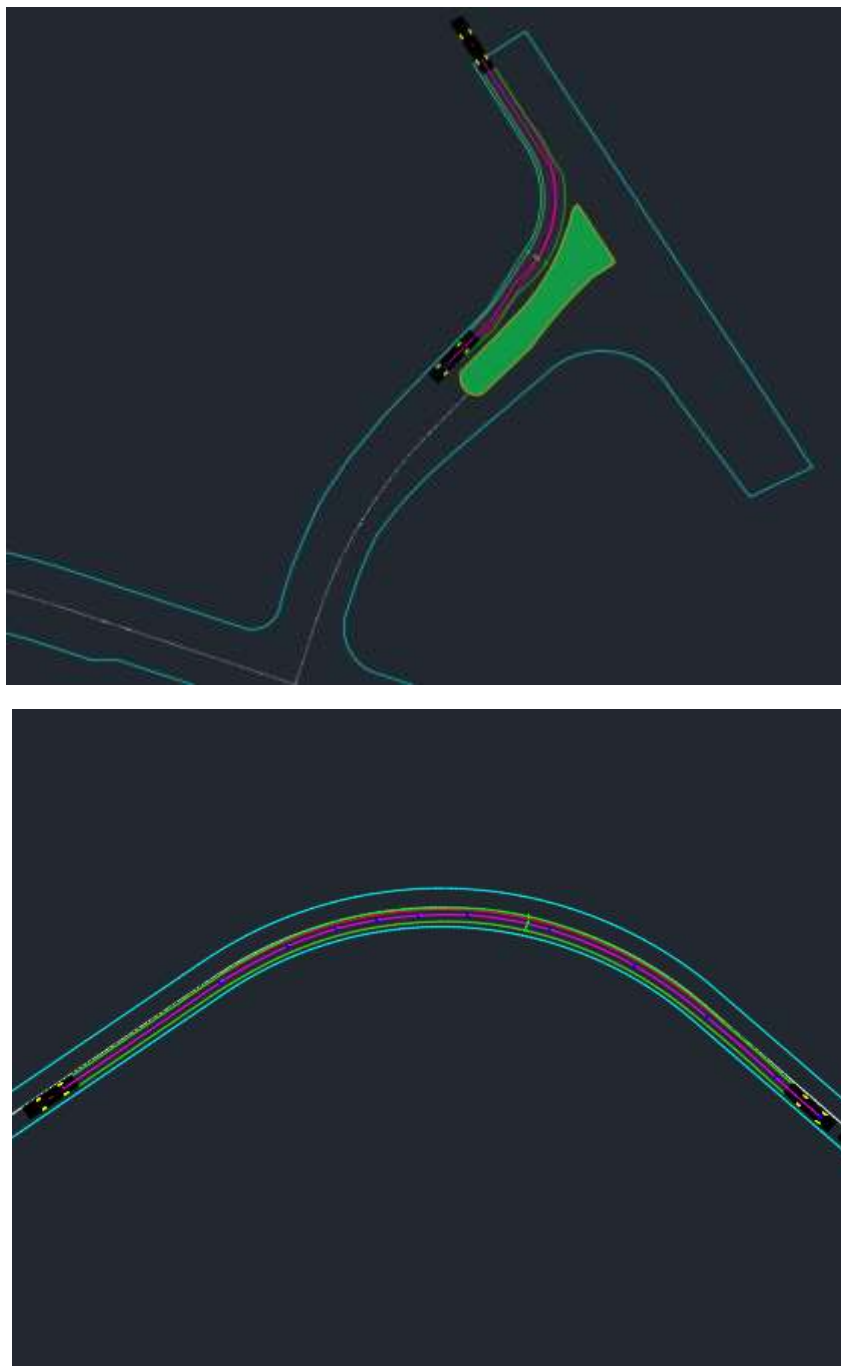
Αρθρωτό λεωφορείο

Διαπλάτυση	Ακτίνα	Περίθωρο Ασφάλειας 1	Πλάτος		Διαπλάτυση	Ακτίνα	Περίθωρο Ασφάλειας 1	Πλάτος
1,45	18,00	0,79	4,00		0,52	30,00	0,70	4,25
1,57	18,00	0,95	4,00		0,95	30,00	0,88	4,25
1,35	18,00	0,83	4,00		0,91	30,00	0,70	4,25
1,60	18,00	0,70	4,00		0,73	30,00	0,85	4,25
1,27	18,00	0,82	4,00		0,61	30,00	0,69	4,25
1,40	18,00	0,81	4,00		0,76	30,00	0,75	4,25
1,34	18,00	0,71	4,00		0,30	85,00	0,74	3,90
1,55	18,00	0,88	4,00		0,41	85,00	0,85	3,90
1,59	18,00	0,90	4,00		0,21	95,00	0,67	3,90
1,31	18,00	0,80	4,00		0,22	85,00	0,81	3,90
1,39	18,00	0,72	4,00		0,45	85,00	0,65	3,90
1,62	18,00	0,93	4,00		0,38	85,00	0,80	3,90
1,25	20,00	0,74	4,00		0,17	85,00	0,68	3,90
1,39	20,00	0,88	4,00		0,33	85,00	0,76	3,90
1,13	20,00	0,61	4,00		0,41	85,00	0,81	3,90
1,11	20,00	0,83	4,00		0,22	85,00	0,89	3,90
1,36	20,00	0,62	4,00		0,23	85,00	0,78	3,90
1,21	20,00	0,80	4,00		0,33	85,00	0,70	3,90
1,31	20,00	0,69	4,00		0,21	95,00	0,65	3,75
1,20	20,00	0,87	4,00		0,09	95,00	0,50	3,75
1,12	20,00	0,70	4,00		0,34	95,00	0,64	3,75
1,22	20,00	0,81	4,00		0,08	95,00	0,57	3,75
1,26	20,00	0,65	4,00		0,11	95,00	0,70	3,75
1,40	20,00	0,74	4,00		0,35	95,00	0,55	3,75
0,75	30,00	0,88	4,25		0,15	95,00	0,61	3,75
0,85	30,00	0,93	4,25		0,45	95,00	0,57	3,75
0,65	30,00	0,73	4,25		0,35	95,00	0,65	3,75
0,90	30,00	0,93	4,25		0,05	95,00	0,59	3,75
0,77	30,00	0,78	4,25		0,07	95,00	0,62	3,75
0,60	30,00	0,94	4,25		0,18	95,00	0,58	3,75

Εικόνα 4.10: Βάση δεδομένων αρθρωτό λεωφορείο

4.5 Προσομοίωση κίνησης οχήματος

Μέσα από την βιβλιοθήκη του προγράμματος AutoTURN υπάρχει η δυνατότητα επιλογής των συγκεκριμένων οχημάτων τα οποία μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCAD καθώς και του AutoTURN μπορεί να προσομοιωθεί η πορεία τους εντός της καμπύλης. Το πλάτος του λεωφορείου είναι 2,50 m και το συνολικό μήκος τους είναι 11m και 18m για το συμβατικό και το αρθρωτό αντίστοιχα, όπου μαζί με το ίχνος της κίνησης δίνει την συνολική προσομοίωση που μελετάται.



Εικόνα 4.11: Θέσεις μελέτης διαπλάτυνσης (περιφερειακός δρόμος πολυτεχνείου)

Η χρήση του προγράμματος έγινε για να μειωθεί το σφάλμα που μπορεί να συμβεί από την ανάγνωση των βίντεο για τον προσδιορισμό των περιθωρίων ασφάλειας και της διαπλάτυνσης. Στην μελέτη, με το πρόγραμμα AutoTURN, προσδιορίστηκαν τα ίχνη των τροχών του οχήματος στην εύρεση των παραμέτρων για την απαίτηση της διαπλάτυνσης στο εσωτερικό της δεξιάς στροφής που διαγράφει το όχημα

4.6 Διερεύνηση αποτελεσμάτων

4.6.1 Εξίσωση μελέτης

Για την ορθή διερεύνηση των αποτελεσμάτων και την συσχέτιση τους με αυτά που προκύπτουν από τους ΟΜΟΕ-Χ, κρίνεται αναγκαία δημιουργία μιας εξίσωσης η οποία μπορεί να καλύψει τις δυσμενέστερες τιμές που έχει το κάθε όχημα κατά την κίνηση του στη καμπύλη. Λαμβάνεται υπόψη ολόκληρη η μετατόπιση του οχήματος (Boveral) έχοντας δεδομένο την πραγματική συμπεριφορά του οδηγού στην υφιστάμενη οδό. Επίσης υπάρχει ανάγκη κατανόησης του προβλήματος στην είσοδο και άλλων παραμέτρων, διαφορετικών των ήδη υπαρχών, στο υπολογισμό της διαπλάτυνσης.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα χρησιμοποιήθηκε η γραμμική παλινδρόμηση ως μέθοδος για την εκλογή της εξίσωσης που θα δίνει ως αποτέλεσμα την απαιτούμενη διαπλάτυνση.

Δεδομένα εισόδου στο στατιστικό λογισμικό είναι :

- α. Η ακτίνα της καμπύλης της οδού που διανύει το όχημα
- β. Το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας του σχήματος, για όλες τις περιπτώσεις.
- γ. Το περιθώριο ασφάλειας που αφήνεται από τον οδηγό κατά την κίνηση του εντός της καμπύλης

Για το συμβατικό λεωφορείο προέκυψε, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.12, συντελεστής προσδιορισμού $R^2=94\%$. Μεγάλη τιμή του συντελεστή προσδιορισμού μας υποδεικνύει πως το στατιστικό μοντέλο έχει ισχυρή σχέση μεταξύ της εξαρτημένης με τις ανεξάρτητες τιμές που εισήχθησαν στο μοντέλο. Επίσης η τιμή p-value του F είναι μικρή $<0,05$, που δείχνει την σημαντικότητα του μοντέλου και πως τουλάχιστον μια ανεξάρτητη μεταβλητή είναι διάφορη του μηδενός. Η εντολή summary χρησιμοποιείται για τον t έλεγχο για τους συντελεστές της παλινδρόμησης, με μηδενική υπόθεση $\beta_i = 0$. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές (ακτίνα, το περιθώριο ασφάλειας και το πλάτος λωρίδας) είναι στατιστικά σημαντικές, καθώς η τιμή του p-value που λαμβάνουν είναι ≤ 0.05 .

```

Call:
lm(formula = Diaplatisi ~ log(R) + PA1 + B)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.218845 -0.079250 -0.009406  0.098646  0.224431

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  7.62046    0.56649  13.452 < 2e-16 ***
log(R)      -0.81578    0.02954 -27.612 < 2e-16 ***
PA1         0.19987    0.10102   1.979  0.0528 .
B          -1.03174    0.12864  -8.020 7.16e-11 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1179 on 56 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9472,    Adjusted R-squared:  0.9444
F-statistic: 334.9 on 3 and 56 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Εικόνα 4.12: Παρουσίαση αποτελεσμάτων τυπικού λεωφορείου

Επομένως η εξίσωση που προκύπτει για το συμβατικό λεωφορείο για την εύρεση της απαιτούμενης διαπλάτυνσης είναι η ακόλουθη:

$$i/2 = 7.62 - 0.82 \cdot \log(R) + 0.20 \cdot \text{ΠΑ} - 1.03 \cdot B$$

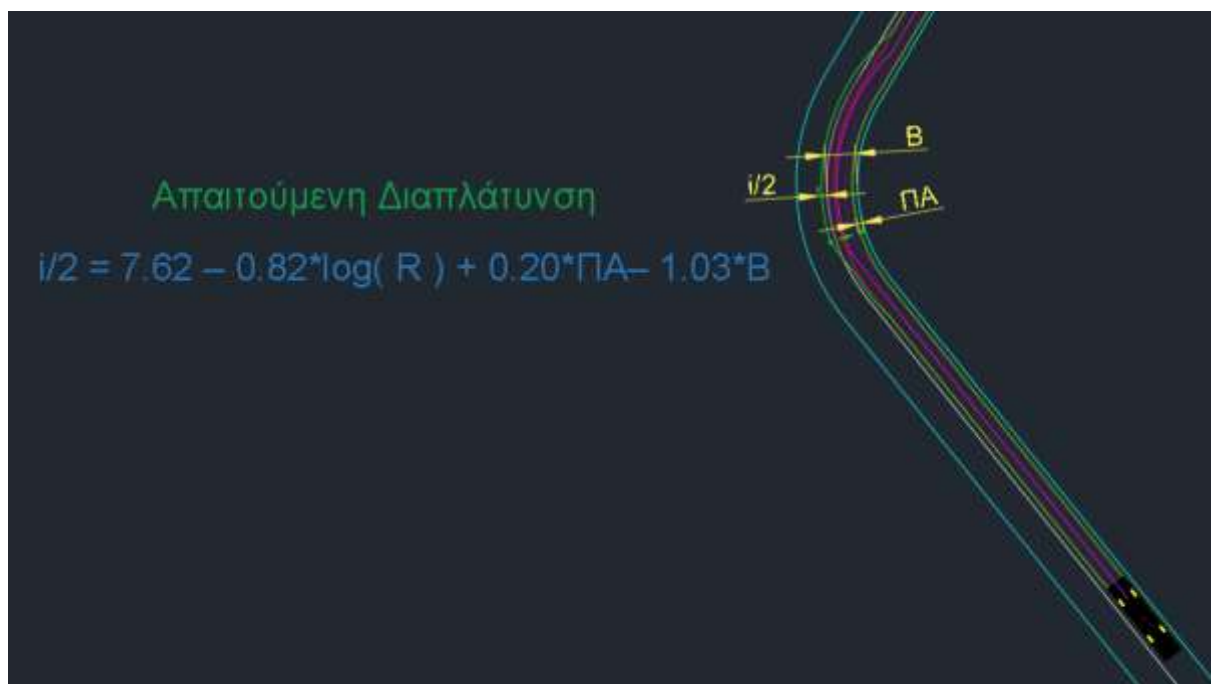
Όπου:

$i/2$ [m] = απαιτούμενη διαπλάτυνση

R [m] = Ακτίνα της καμπύλης

ΠΑ [m] = Περιθώριο ασφάλειας από την οριογραμμή εντός της καμπύλης

B [m] = Το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας



Εικόνα 4.13: Εξίσωση εύρεσης διαπλάτυνσης συμβατικού λεωφορείου 242

Για το αρθρωτό λεωφορείο επίσης προέκυψε, συντελεστής προσδιορισμού $R^2=94\%$ (εικόνα 4.14). Μεγάλη τιμή του συντελεστή προσδιορισμού μας υποδεικνύει πως η συγκεκριμένη εξίσωση έχει μεγάλη συσχέτιση μεταξύ της εξαρτημένης και των ανεξάρτητων μεταβλητών που εισήχθησαν στο μοντέλο. Επίσης η τιμή p-value του F είναι μικρή $<0,05$, που δείχνει την σημαντικότητα του μοντέλου και πως τουλάχιστον μια ανεξάρτητη μεταβλητή είναι διάφορη του μηδενός. Η εντολή summary χρησιμοποιείται για τον t έλεγχο για τους συντελεστές της παλινδρόμησης, με μηδενική υπόθεση $\beta_i = 0$. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές (ακτίνα, το περιθώριο ασφάλειας και το πλάτος λωρίδας) είναι στατιστικά σημαντικές, καθώς η τιμή του p-value που λαμβάνουν είναι σημαντικά μικρότερη του 0.05.

```
Call:
lm(formula = Diaplatisi ~ log(R) + PA1 + B)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.238470 -0.087734 -0.003693  0.091316  0.257138

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  7.03834    0.57926   12.151 < 2e-16 ***
log(R)       -0.77849    0.02976  -26.159 < 2e-16 ***
PA1          0.55346    0.17731    3.121 0.00285 **
B           -0.95819    0.13594   -7.049 2.87e-09 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1236 on 56 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.945,    Adjusted R-squared:  0.942
F-statistic: 320.6 on 3 and 56 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Εικόνα 4.14: Παρουσίαση αποτελεσμάτων αρθρωτού λεωφορείου

Επομένως η εξίσωση που προκύπτει για το συμβατικό λεωφορείο για την εύρεση της απαιτούμενης διαπλάτυνσης είναι η ακόλουθη:

$$i/2 = 7.03 - 0.77 \cdot \log(R) + 0.55 \cdot \text{ΠΑ} - 0.95 \cdot \text{B}$$

Όπου:

$i/2$ [m] = απαιτούμενη διαπλάτυνση

R[m] = Ακτίνα της καμπύλης

ΠΑ[m] = Περιθώριο ασφάλειας από την οριογραμμή εντός της καμπύλης

B[m] = Το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας



Εικόνα 4.15: Εξίσωση εύρεσης διαπλάτυνσης αρθρωτού λεωφορείου 242

4.6.2 Παραδοχές

Όσο αναφορά την εξίσωση μελέτης για την απαιτούμενη διαπλάτυνση αξίζει να αναφερθούν τα εξής:

- Η ταχύτητα με την οποία το λεωφορείο κινείται εντός της καμπύλης δεν λαμβάνεται υπόψη στο τύπο λόγω των εμποδίων που έχουν τοποθετηθεί στα συγκεκριμένα σημεία για την μείωση της ταχύτητας. Επίσης, σε ακτίνες μικρότερες των 40 μέτρων δεν δύναται να αναπτυχθούν μεγάλες ταχύτητες, καθώς και σε μεγάλες ακτίνες στροφών το όχημα δεν μπορεί να αναπτύξει ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή του σχεδιασμού.
- Το πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας δεν λαμβάνεται υπόψη στη σχέση υπολογισμού από τους ΟΜΟΕ-Χ.
- Δεν λαμβάνεται υπόψη η επίκλιση της οδού
- Η κατά μήκος κλίση της οδού θεωρείται αμελητέα
- Στον τύπο των ΟΜΟΕ-Χ λαμβάνονται υπόψη $n=2, D=9$ για το αρθρωτό λεωφορείο
- Στον τύπο των ΟΜΟΕ-Χ λαμβάνονται υπόψη $n=2, D=8,5$ για το κανονικό λεωφορείο
- Στην περίπτωση της καμπύλης στην πύλη της Πολυτεχνειούπολης επί της οδού Κατεχάκη η τιμή του n λαμβάνεται ίσο με 1.

4.7 Σύγκριση αποτελεσμάτων Εξίσωσης Μελέτης – ΟΜΟΕ -X

Στην παρούσα ενότητα γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από το μαθηματικό μοντέλο προσδιορισμού της διαπλάτυνσης με τις υφιστάμενες οδηγίες ΟΜΟΕ – X. Για την ανάγκη της διπλωματικής εργασίας έγινε η υπόθεση πως ο οδηγός, κατά την κίνηση οχήματος του εντός της καμπύλης, επηρεάζεται από την ακτίνα της καμπύλης. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε η μέση τιμή για το περιθώριο ασφάλειας από την εσωτερική οριογραμμή σε κάθε ακτίνα και υπολογίστηκε η διαπλάτυνση για πλάτη οδού 3.75m , 4.00m και 4.25m. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες.

ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ

ΔΙΑΠΛΑΤΥΝΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ ΠΛΑΤΟΣ ΛΩΡΙΔΑΣ = 3.75m		
R(m)	ΟΜΟΕ -X (m)	ΕΞΙΣΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (m)
18	2,13	1,60
20	1,90	1,49
30	1,23	1,16
85	0,43	0,30
95	0,38	0,20

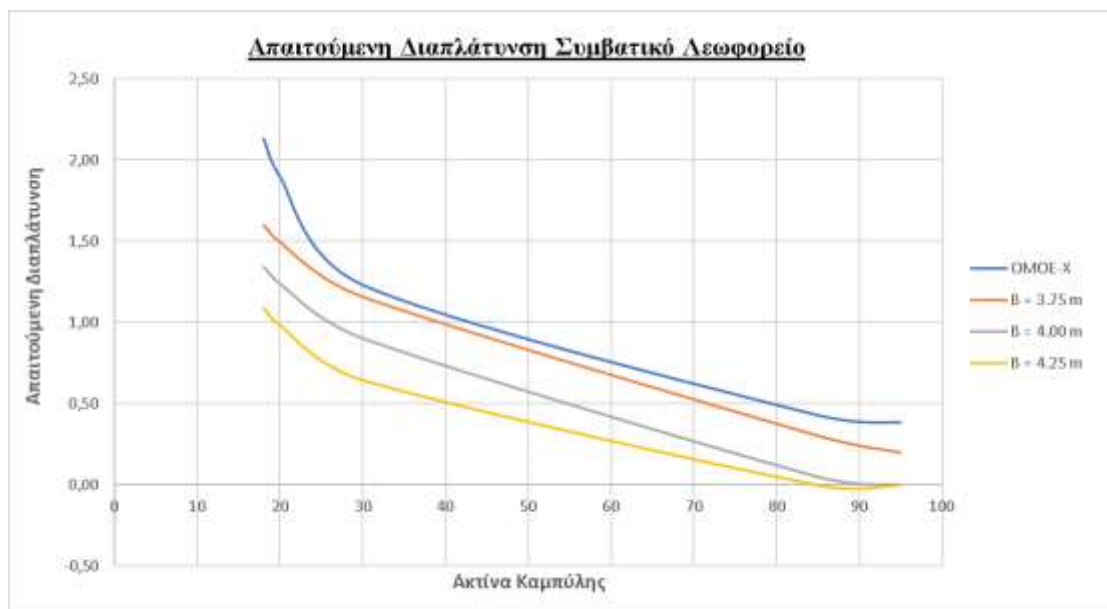
Πίνακας 4.1: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B=3.75m

ΔΙΑΠΛΑΤΥΝΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ ΠΛΑΤΟΣ ΛΩΡΙΔΑΣ = 4.00m		
R(m)	ΟΜΟΕ -X (m)	ΕΞΙΣΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (m)
18	2,13	1,34
20	1,90	1,24
30	1,23	0,90
85	0,43	0,05
95	0,38	-0,06

Πίνακας 4.2: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B=4.00m

ΔΙΑΠΛΑΤΥΝΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ ΠΛΑΤΟΣ ΛΩΡΙΔΑΣ = 4.25m		
R(m)	ΟΜΟΕ -X (m)	ΕΞΙΣΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (m)
18	2,13	1,09
20	1,90	0,98
30	1,23	0,64
85	0,43	-0,21
95	0,38	-0,31

Πίνακας 4.3: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B=4.25m



Διάγραμμα 4.1: Απαιτούμενη διαπλάτυνση συμβατικό λεωφορείο

ΑΡΘΡΩΤΟ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ

ΔΙΑΠΛΑΤΥΝΣΗ ΑΡΘΡΩΤΟ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ ΠΛΑΤΟΣ ΛΩΡΙΔΑΣ = 3.75m		
R (m)	ΟΜΟΕ -X(m)	ΕΞΙΣΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (m)
18	2,41	1,69
20	2,14	1,57
30	1,38	1,27
85	0,48	0,43
95	0,43	0,33

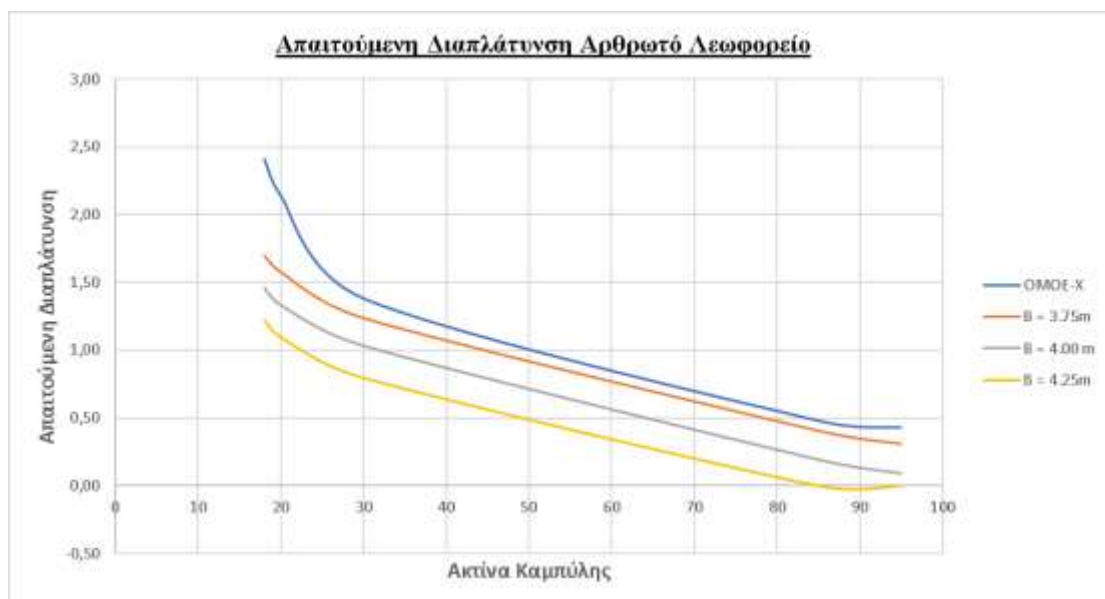
Πίνακας 4.4: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B=3.75m

ΔΙΑΠΛΑΤΥΝΣΗ ΑΡΘΡΩΤΟ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ ΠΛΑΤΟΣ ΛΩΡΙΔΑΣ = 4.00m		
R (m)	ΟΜΟΕ -X(m)	ΕΞΙΣΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (m)
18	2,41	1,46
20	2,14	1,34
30	1,38	1,03
85	0,48	0,19
95	0,43	0,09

Πίνακας 4.5: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B = 4.00m

ΔΙΑΠΛΑΤΥΝΣΗ ΑΡΘΡΩΤΟ ΛΕΩΦΟΡΕΙΟ ΠΛΑΤΟΣ ΛΩΡΙΔΑΣ = 4.25m		
R (m)	ΟΜΟΕ -X(m)	ΕΞΙΣΩΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ (m)
18	2,41	1,22
20	2,14	1,10
30	1,38	0,80
85	0,48	-0,04
95	0,43	-0,15

Πίνακας 4.6: Απαιτούμενη διαπλάτυνση οδού, B=4.25m



Διάγραμμα 4.2: Απαιτούμενη διαπλάτυνση αρθρωτό λεωφορείο

4.8 Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει η ανάγκη δημιουργίας μία ενιαίας μεθοδολογίας που θα προσαρμόζεται στην εκάστοτε περίπτωση, καθώς και η επανεξέταση των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη στο υπολογισμό των διαπλάτυνσεων σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ – Χαράξεις. Παρουσιάστηκε διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων του μαθηματικού μοντέλου και των ΟΜΟΕ - Χαράξεις, με έμφαση στη υπέρδιαστασιολόγηση των ΟΜΟΕ στις καμπύλες του εξεταζόμενου οδικού τμήματος.

Επιπλέον, σχετικά με την κατανομή της διαπλάτυνσης, παρατηρήθηκε πως μεγάλη διαφορά υπάρχει στις καμπύλες μικρής ακτίνας όπου η απαίτηση σύμφωνα με τους ΟΜΟΕ-Χ είναι πολύ μεγαλύτερη. Επίσης με χρήση του μαθηματικού μοντέλου στις καμπύλες μεγάλης ακτίνας η απαίτηση για διαπλάτυνση, σε οδούς με μεγάλο πλάτος, δεν είναι χρήσιμη (αρνητική τιμή διαπλάτυνσης) διότι το όχημα σχεδιασμού έχει τον απαραίτητο χώρο διέλευσης.

Απόρροια των παραπάνω διαφοροποιήσεων αποτελούν, η υπέρδιαστασιολόγηση της διαπλάτυνσης, δηλαδή η πιθανή αύξηση του κόστους κατασκευής και δυσκολίας εφαρμογής της χάραξης στην ομαλή κυκλοφορία με ταυτόχρονη μείωση της λειτουργικότητας.

Ως εκ τούτου, διαπιστώσαμε ότι η περιορισμένη χρήση παραμέτρων (όπως του πλάτους λωρίδας) και η απλοποίηση της διαδικασίας για το σχεδιασμό οδών δεν αποφέρουν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Με την ανάπτυξη τέτοιας μεθοδολογίας και άλλων παρόμοιων διαδικασιών, μπορεί να ανευρεθεί η βέλτιστη λύση που κρίνεται κατάλληλη για τη κάθε περίπτωση.

Σημειώνεται ότι οι εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν δεν θα πρέπει να αποτελούν γνώμονα για μια γενική περίπτωση στον υπολογισμό της διαπλάτυνσης οδού, διότι με διαφορετικό όχημα σχεδιασμού καθώς και με διαφορετική διάταξη της οδού ως προς τα πλάτη και τις ακτίνες καμπυλότητας είναι πολύ πιθανό να προκύψουν λανθασμένα αποτελέσματα. Ο μελετητής οφείλει να προβεί στην κατάλληλη συλλογή στοιχείων τα οποία κρίνονται αναγκαία για τον υπολογισμό της διαπλάτυνσης, και να εφαρμόσει το δικό του μαθηματικό - στατιστικό μοντέλο μέσω ειδικών λογισμικών Η/Υ για την εύρεση της απαιτούμενης διαπλάτυνσης.

5. Συμπεράσματα – Προτάσεις

5.1 Γενικά

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνήθηκε η ανάγκη για διαπλάτυνση σε οδικά τμήματα του περιφερειακού δρόμου του πολυτεχνείου και η επάρκεια των ελληνικών οδηγιών (ΟΜΟΕ-Χ) για την διαπλάτυνση, με όχημα σχεδιασμού δύο κατηγορίες λεωφορείων. Με τη βοήθεια εικόνων-video και μέσω του λογισμικού AutoTURN ελέγχθηκε η συμπεριφορά των οδηγών των οχημάτων σχεδιασμού σε καμπύλες μεγάλης και μικρής καμπυλότητας. Συσχετίστηκαν τα αποτελέσματα του στατιστικού προσδιορισμού της αναγκαιότητας σε διαπλάτυνση με τις υφιστάμενες οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ στις οποίες δεν περιλαμβάνεται η επιρροή του πλάτους οδού.

Η έλλειψη ενιαίας αντιμετώπισης, το μεγάλο εύρος και η απουσία πρόβλεψης ειδικών περιπτώσεων όπως των καμπυλών οδών μικρής ακτίνας κατέστησαν αναγκαία την δημιουργία ενός εναλλακτικού τρόπου υπολογισμού της διαπλάτυνσης μέσω μαθηματικών μοντέλων και του ειδικού λογισμικού AutoTURN. Μέσω του συγκεκριμένου λογισμικού μπορεί να γίνει η προσομοίωση κίνησης οχήματος σε απλή καμπύλη και ελιγμό.

Η μέθοδος της προσομοίωσης αποτελεί ιδανικό τρόπο προσέγγισης προβλημάτων χάραξης, καθώς η επίλυση προκύπτει ύστερα από την εφαρμογή πραγματικών δεδομένων και προσαρμόζεται στις ιδιαιτερότητες της εκάστοτε περίπτωσης. Επίσης η εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης, με την καταγραφή των δεδομένων και την μοντελοποίησή τους, δίνει την δυνατότητα στην εύρεση βέλτιστης λύσης .

5.2 Συμπεράσματα

Ύστερα από σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή της εξίσωσης μελέτης με εκείνα των ελληνικών κανονισμών (ΟΜΟΕ-Χ) παρατηρήθηκε μεγάλες διαφορές στις τιμές της διαπλάτυνσης. Στις καμπύλες που μελετήθηκαν παρατηρήθηκε υπερδιαστασιολόγηση από τους υφιστάμενους κανονισμούς που θα έχει ως αποτέλεσμα την πιθανή αύξηση του κόστους του έργου και δυσκολία εφαρμογής της χάραξης καθώς και μείωση της λειτουργικότητας των παρόδιων υποδομών.

Το συμπέρασμα είναι ότι η χρήση ειδικών μεθόδων και με τη χρήση ειδικού λογισμικού (όπως η προσομοίωση) για την επίλυση προβλημάτων μπορεί να δώσει καλύτερη λύση από την εφαρμογή των υφιστάμενων μεθόδων υπολογισμού. Η ανάπτυξη τέτοιων δυναμικών εργαλείων μπορεί να προσαρμοστεί στις ειδικές απαιτήσεις που μπορεί να προκύψουν στην εκάστοτε περίπτωση μελέτης και να επιτρέψει την καθολική εφαρμογή μιας ενιαίας λύσης.

5.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Παρότι το AutoTURN καθώς και το R-studio είναι λογισμικά που χρησιμοποιούνται ευρέως και προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις χάραξης για ομαλή κίνηση του οχήματος σε καμπύλη, κρίνεται αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη παράμετροι οι οποίοι πιθανόν να επιδρούν στην ασφάλεια και στην λειτουργικότητα της οδού. Επομένως, σε περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να εξεταστούν παράμετροι όπως η μηκοτομή και η επίκλιση της οδού. Επιπλέον, προτείνεται η διερεύνηση και η εισαγωγή στοιχείων του οχήματος σχεδιασμού σαν παράγοντας που μπορεί να επιδρά σημαντικά στην κίνηση του εντός της καμπύλης όπως η μέγιστη γωνία στροφής.

Η πορεία επίλυσης που θα λαμβάνει υπόψη παραμέτρους όπως την οριζοντιογραφία, τη μηκοτομή και τις διατομές της οδού, τα χαρακτηριστικά του οχήματος σχεδιασμού που κινείται στην οδό θα παρέχει ολοκληρωμένες λύσεις που θα εξασφαλίζουν την βέλτιστη σχέση ασφάλειας, ποιότητας και οικονομίας. Επίσης, η συμπερίληψη παραμέτρων όπως η οδηγική συμπεριφορά, η ταχύτητα του οχήματος καθώς και η ακρίβεια μέτρησης των περιθωρίων ασφαλείας με σύγχρονα εργαλεία μέτρησης απόστασης μπορεί να αποδειχθούν πολύτιμα για τον υπολογισμό της διαπλάτυνσης.

6.Βιβλιογραφία

1. Κανελλαΐδης Γ., Φ. Μερτζάνης, Γ. Γλαρός, και Σ. Βαρδάκη, 2017. “Σημειώσεις Γεωμετρικού Σχεδιασμού των Οδών”, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
2. Μαυρομάτης, Σ. (2021). Σημειώσεις Γεωμετρικού Σχεδιασμού Οδών. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
3. Φραντζεσκάκης Μ.Ι., Γκόλιας Κ.Ι. (1994) , Οδική Ασφάλεια, Εκδόσεις Παπασωτηρίου , Αθήνα
4. Αθανασιάδου Β. , Διπλωματική εργασία με τίτλο «Συμβολή στη μελέτη διαπλατύνσεων σε καμπύλες μικρής ακτίνας» , Αθήνα , 2015
5. Βαρδάκη Σ., Δρ. Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός, Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών, Ασφάλεια του Σχεδιασμού των Οδών, Αθήνα 2021
6. Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2001. Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων. Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων. (ΟΜΟΕ). Τεύχος 1: Λειτουργική κατάταξη οδικού δικτύου (ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ).
7. Κανελλαΐδης Γ., Φ. Μερτζάνης, Γ. Γλαρός, Α. Δραγουμάνοβιτς, 2016. Σημειώσεις Ειδικών Κεφαλαίων Οδοποιίας, Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
8. Μαυρομάτης, Σ. (2021). Σημειώσεις μαθήματος Ειδικά Κεφάλαια Γεωμετρικού Σχεδιασμού των Οδών. Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής. Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.
9. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2018. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Sixth Edition. Washington, DC, USA.
10. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), 2011. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, Sixth Edition. Washington, DC, USA.
11. Richtlinien R1 für die Anlage von Landstrassen, RAL ,2012
12. Richtlinien für die Anlage von Stadtstrassen RASt ,2006
13. Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2001.
14. Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων. Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων. (ΟΜΟΕ). Τεύχος 2: Διατομές (ΟΜΟΕ - Δ).
15. Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, 2001. Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων. Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων. (ΟΜΟΕ). Τεύχος 3: Χαράξεις (ΟΜΟΕ - Χ).
16. Guides to Road Design Part 3: Geometric Design, Sydney , Austroads Inc. 2009

17. Κωτσόβολου Κ. Συγκοινωνιακά έργα , Τεύχος Α & Β, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου , Αθήνα , 1997
18. <https://ctre.iastate.edu/educweb/ce353/lec05/lecture.htm>
19. Washington, S. P., Karlaftis, M. G., & Mannering, F. L. (2010). *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*. CRC press.
20. Ortuzar, J.D., Willumsen, L.G. (2011). *Modelling Transport*, 4th Edition. Willey, New York
21. Βλαχογιάννη Ε. , Διαλέξεις του μαθήματος Ποσοτικές Μέθοδοι στις Μεταφορές , Αθήνα 2020
22. <https://www.transoftsolutions.com/vehicle-swept-path/autoturn-select/autoturn/>
23. <https://www.rstudio.com/>

Παράρτημα Α

Υποδιαίρεση των ομάδων σύμφωνα με τις ελληνικές οδηγίες:

- ❖ Α έως Ε ανάλογα με τη λειτουργική βαθμίδα
- ❖ Οι υποομάδες χαρακτηρίζονται με λατινικούς αριθμούς

Λειτουργικές βαθμίδες		Ομάδες οδών		εκτός σχεδίου	εντός σχεδίου (η ομάδα Γ μπορεί να είναι και εκτός σχεδίου*)			
				με περιορισμούς στην εξυπηρέτηση παρόδων ιδιοκτησιών**	με δυνατότητα εξυπηρέτησης παρόδων ιδιοκτησιών			
				Καθοριστική σύνδεση		Λειτουργία πρόσβαση		παραμονή
				A	B	Γ	Δ	Ε
Οδική σύνδεση ευρύτερων περιοχών (π.χ. περιφέρειες χώρας)	I	AI	BI	ΓI	ΔI	ΕI		
Οδική σύνδεση νομών / επαρχιών	II	AII	BII	ΓII	ΔII	ΕII		
Οδική σύνδεση επαρχιών / οικισμών	III	AIII	BIII	ΓIII	ΔIII	ΕIII		
Οδική σύνδεση μικρών οικισμών	IV	AIV	BIV	ΓIV	ΔIV	ΕIV		
Οδική σύνδεση μικρής σημασίας με οικόπεδα και εκτάσεις	V	AV	-	-	ΔV	ΕV		
Οδική σύνδεση από οικόπεδα ή εκτάσεις μέσω δρομίσκων και δασικών οδών	VI	AVI	-	-	-	ΕVI		

* νοούνται περιπτώσεις που από την ισχύουσα νομοθεσία επιτρέπεται η δόμηση

** οι οδοί κατηγορίας AI, BI και BII δεν παρέχουν άμεση εξυπηρέτηση στις παρόδιες ιδιοκτησίες

Υπόμνημα :

-	συνήθως μη απαντώμενος συνδυασμός
	προβληματικός συνδυασμός
	ιδιαίτερα προβληματικός συνδυασμός
	μη εφικτός συνδυασμός

Πίνακας ΠΑ.1 Κατηγορίες οδών με ιεράρχηση βάσει λειτουργικότητας (καθοριστικής λειτουργίας).

Λειτουργικά χαρακτηριστικά οδών		Παράμετροι μελέτης και λειτουργίας				
Ομάδα οδών	Κατηγορία οδού	Είδος οχημάτων	Επιτρεπόμενη ταχύτητα V_{max} (km/h)	Χαρακτηριστικά επιφάνειας κυκλοφορίας	Κόμβα	
	Χαρακτηρισμός οδού					
1	2	3	4	5	6	
A οδοί που διατρέχουν περιοχές εντός σχεδίου (υπεραστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με περιορισμούς στην εξυπηρέτηση παραδίων ιδιοκτησιών <u>Σημείωση</u> Η κατηγορία ΑI αφορά οδοί σύνδεσης ευρωπαϊκών περιοχών και οι οποίες δεν παρέχουν άμεση εξυπηρέτηση στις παραδίες ιδιοκτησίες	A I Αυτοκινητόδρομος	μηχ.	≤ 120	δαχτυραμένη	ανίσοπ.	(130) 120
	A II Οδός ταχείας κυκλοφορίας νοτιών/επαιρωτικών	μηχ. (μηχ.) γεν.	≤ 90 (100) ≤ 110 ≤ 90	δαχτυραμένη / ενιαία	(ανίσοπ.) ανίσοπ.	ισοπ. (ισοπ.)
	A III Οδός μεταξύ επαρχιών/επαρχιών	μηχ. γεν.	≤ 90 ≤ 80	δαχτυραμένη	(ανίσοπ.)	ισοπ. ισοπ.
	A IV Οδός μεταξύ μακρών οικισμών Συλλεκτική οδός	γεν.	≤ 80	ενιαία	ισοπ.	
	A V Δευτερεύουσα οδός Αγροτική οδός	γεν.	≤ 60 (70)	ενιαία	ισοπ.	
	AVI Τριτοβάθμια οδός Δασική οδός	γεν.	≤ 50	ενιαία	ισοπ.	
B οδοί που διατρέχουν περιοχές εντός σχεδίου (ημιστοικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με περιορισμούς στην εξυπηρέτηση των παραδίων ιδιοκτησιών <u>Σημείωση</u> Οι οδοί κατηγορίας ΒI και ΒII δεν παρέχουν άμεση εξυπηρέτηση στις παραδίες ιδιοκτησίες	B I Αστική αυτοκινητόδρομος	μηχ.	≤ 100	δαχτυραμένη	ανίσοπ.	
	B II Αστική οδός ταχείας κυκλοφορίας	μηχ.	≤ 90	δαχτυραμένη	ενιαία	ανίσοπ. (ισοπ.)
	B III Αστική αρτηρία	μηχ. γεν.	≤ 70 ≤ 70	δαχτυραμένη	ενιαία	ισοπ. ισοπ.
	B IV Κύρια συλλεκτική οδός	γεν.	≤ 60	ενιαία	ισοπ.	
Γ οδοί που διατρέχουν περιοχές εντός** ή εντός σχεδίου (περιαστικές και αστικές) με βασική λειτουργία τη σύνδεση και με δυνατότητα εξυπηρέτησης των παραδίων ιδιοκτησιών	Γ III Αστική αρτηρία	γεν. γεν.	50 (≤ 70) 50 (≤ 60)	δαχτυραμένη	ενιαία	ισοπ. ισοπ.
	Γ IV Κύρια συλλεκτική οδός	γεν.	≤ 50 (≤ 60)	ενιαία	ισοπ.	
Δ οδοί σε περιοχές εντός σχεδίου (αστικές) με βασική λειτουργία την πρόσβαση	Δ IV Συλλεκτική οδός	γεν.	≤ 50	ενιαία	ισοπ.	
	Δ V Τοπική οδός	γεν.	≤ 50	ενιαία	ισοπ.	
Ε οδοί σε περιοχές εντός σχεδίου (αστικές) με βασική λειτουργία την παραγωγή	Ε V Τοπική οδός	γεν.	≤ 30 ταχύτητα βηματισμού	ενιαία	ισοπ.	
	Ε VI Τοπική οδός κατοικιών	γεν.	ταχύτητα βηματισμού	ενιαία	ισοπ.	

μηχ. = οχήματα με μέγιστη αναπτυσσόμενη ταχύτητα >60km/h
 γεν. = οχήματα παντός αξόνου (. . .) = εξαίρεση

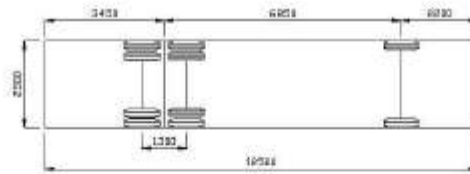
* Δεν απαιτείται καθορισμός ταχύτητας μελέτης V_m
 ** νοούνται περιπτώσεις που από την ισχύουσα νομοθεσία επιτρέπεται η δόμηση

Πίνακας ΠΑ.2 Λειτουργικά χαρακτηριστικά και παράμετροι μελέτης οδών.

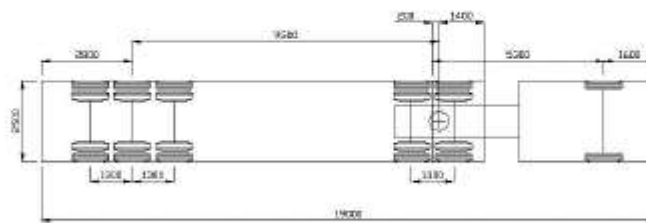
Παράρτημα Β

Διαστάσεις οχημάτων σχεδιασμού σύμφωνα με τις:

- ❖ Αυστραλιανές οδηγίες (Austroads)
- ❖ Αμερικάνικες οδηγίες – AASHTO 2011



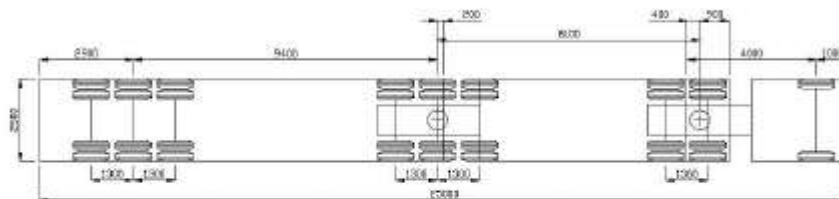
Μεμονωμένο άκρη ή Λεωφόρειό



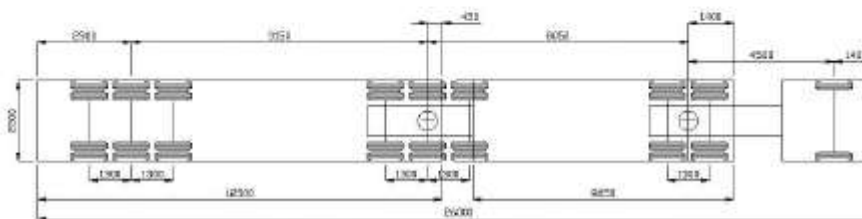
Τράκτορας και Ημιρμυλκούμενο (19m)



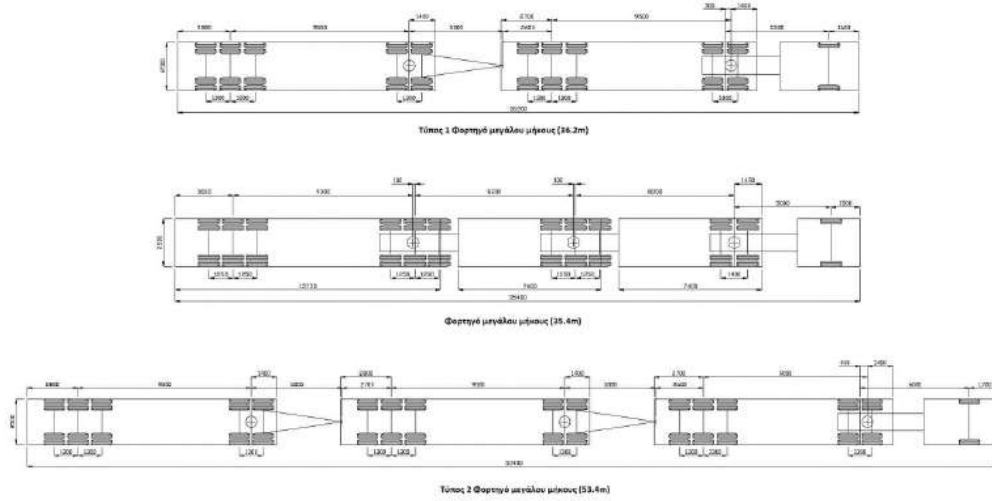
Τράκτορας και ημιρμυλκούμενο μεγάλης μήκους (25m)



Τράκτορας και Ημιρμυλκούμενο με δύο σημεία άρθρωσης (25m)



Τράκτορας και Ημιρμυλκούμενο με δύο σημεία άρθρωσης (26m)



Σχήμα ΠΒ.1 Οχήματα σχεδιασμού σύμφωνα με τις αυστραλιανές οδηγίες

Παράρτημα Γ

Προεδρικό διάταγμα : 26330/1329/2017 (ΦΕΚ 2660/Β' 31.7.2017)



27449

ΕΦΗΜΕΡΙΔΑ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

31 Ιουλίου 2017

ΤΕΥΧΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

Αρ. Φύλλου 2660

ΑΠΟΦΑΣΕΙΣ

Αριθμ. οικ. 26330/1329

Τροποποίηση των διατάξεων του π.δ. 77/1998 «Προσαρμογή της Ελληνικής Νομοθεσίας προς τις διατάξεις της οδηγίας 96/53/ΕΚ του Συμβουλίου της 25ης Ιουλίου 1996 σχετικά με τον καθορισμό, για ορισμένα οδικά οχήματα που κυκλοφορούν στην Κοινότητα, των μέγιστων επιτρεπόμενων διαστάσεων στις εθνικές και διεθνείς μεταφορές και των μέγιστων επιτρεπόμενων βαρών στις διεθνείς μεταφορές» (ΦΕΚ Α' 71/07.04.1998) σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της οδηγίας 2015/719/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 29ης Απριλίου 2015 που τροποποιεί την οδηγία 96/53/ΕΚ.

ΟΙ ΥΠΟΥΡΓΟΙ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ -
ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Έχοντας υπόψη:

1. Τις διατάξεις

α. του άρθρου 53 του Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας που κυρώθηκε με το ν. 2696/1999 (ΦΕΚ Α' 57/23-03-1999) όπως τροποποιήθηκε και ισχύει,

β. των παραγράφων 1, 2 και 3 του άρθρου 1 του ν. 1338/1983 «Εφαρμογή του Κοινοτικού Δίκαιου» (ΦΕΚ Α' 34/17-03-1983) όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 6 ν. 1440/1984 (ΦΕΚ Α' 70/21-05-1984) και της παραγράφου 2 του άρθρου 3 του ίδιου νόμου, όπως αντικαταστάθηκε με το άρθρο 65 του ν. 1892/1990 (ΦΕΚ Α' 101/31-07-1990), γ. του άρθρου 90 του «Κώδικα νομοθεσίας για την Κυβέρνηση και κυβερνητικά όργανα» που κυρώθηκε με το άρθρο πρώτο του π.δ. 63/2005 (ΦΕΚ Α' 98/22-04-2005),

δ. του π.δ. 109/2014 «Οργανισμός του Υπουργείου Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων» (ΦΕΚ Α' 176/29-08-2014) όπως ισχύει,

ε. του π.δ. 123/2016 «Αναύσταση και μετονομασία του Υπουργείου Διοικητικής Μεταρρύθμισης και Ηλεκτρονικής Διακυβέρνησης, ανασύσταση του Υπουργείου Τουρισμού, σύσταση Υπουργείου Μεταναστευτικής Πολιτικής και Υπουργείου Ψηφιακής Πολιτικής, Τηλεπικοινωνιών και Ενήμερωσης, μετονομασία Υπουργείων Εσωτερικών και Διοικητικής Ανασυγκρότησης, Οικονομίας, Ανάπτυξης και Τουρισμού και Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων.

Ίδρυση και μετονομασία Υπουργείων, μεταφορά και κατάργηση υπηρεσιών» (ΦΕΚ Α' 208/04-11-2016),

στ. του π.δ. 125/2016 «Διορισμός Υπουργών, Αναπληρωτών Υπουργών και Υφυπουργών» (ΦΕΚ Α' 210/05-11-2016),

ζ. της υπ' αριθμ. οικ. 4402/88/2017 κοινής απόφασης του Πρωθυπουργού και του Υπουργού Υποδομών και Μεταφορών «Καθορισμός αρμοδιοτήτων Υφυπουργού Υποδομών και Μεταφορών Νικόλαου Μαυραγάνη» (Β' 127/24-01-2017) [ΑΔΑ: 71ΞΦ465ΧΘΞ-ΩΘ4],

η. του π.δ. 77/1998 «Προσαρμογή της Ελληνικής Νομοθεσίας προς τις διατάξεις της οδηγίας 96/53/ΕΚ του Συμβουλίου της 25ης Ιουλίου 1996 σχετικά με τον καθορισμό, για ορισμένα οδικά οχήματα που κυκλοφορούν στην Κοινότητα, των μέγιστων επιτρεπόμενων διαστάσεων στις εθνικές και διεθνείς μεταφορές και των μέγιστων επιτρεπόμενων βαρών στις διεθνείς μεταφορές» (ΦΕΚ Α' 71/07-04-1998), όπως τροποποιήθηκε με το π.δ. 223/2004 «Τροποποίηση των διατάξεων του π.δ. 77/1998 σε συμμόρφωση προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2002/7/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 18ης Φεβρουαρίου 2002 που τροποποιεί την Οδηγία 96/53/ΕΚ» (ΦΕΚ Α' 209/04-11-2004) και την υπ' αριθμ. 16736/1230/2008 κοινή απόφαση των Υπουργών Οικονομίας και Οικονομικών, Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και Μεταφορών και Επικοινωνιών «τροποποίηση του π.δ. 77/1998 (Α' 71), όπως έχει τροποποιηθεί με το π.δ. 223/2004 (Α' 209) και ισχύει» (ΦΕΚ Β' 1703/25-08-2008) και ισχύει.

2. Την ανάγκη συμμόρφωσης προς τις διατάξεις της Οδηγίας 2015/719/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 29ης Απριλίου 2015 για την τροποποίηση της οδηγίας 96/53/ΕΚ του Συμβουλίου σχετικά με τον καθορισμό, για ορισμένα οδικά οχήματα που κυκλοφορούν στην Κοινότητα, των μέγιστων επιτρεπόμενων διαστάσεων στις εθνικές και διεθνείς μεταφορές και των μέγιστων επιτρεπόμενων βαρών στις διεθνείς μεταφορές (ΕΕ L 115, 6.5.2015, σ. 1).

3. Το γεγονός ότι από τις διατάξεις της παρούσας απόφασης δεν προκαλείται δαπάνη σε βάρος του κρατικού προϋπολογισμού, αποφασίζουμε:

Άρθρο 1

(Άρθρο 1 της Οδηγίας 2015/719/ΕΕ)

Το π.δ. 77/1998 (Α' 71) όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει, τροποποιείται ως εξής:

1) Το στοιχείο α), της παραγράφου 1 του άρθρου 2 αντικαθίσταται από το ακόλουθο:

«α) στις διαστάσεις των οχημάτων με κινητήρα των κατηγοριών M2 και M3 και των ρυμουλκούμενων τους κατηγορίας O και των οχημάτων με κινητήρα των κατηγοριών N2 και N3 και των ρυμουλκούμενων τους κατηγορίας O3 και O4, όπως ορίζονται στο παράρτημα II της οδηγίας 2007/46/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, η οποία ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με την υπ' αριθμ. 29949/1841/2009 κοινή απόφαση των Υπουργών Οικονομίας και Οικονομικών, Ανάπτυξης και Μεταφορών και Επικοινωνιών (Β' 2112/29-09-2009)».

2) Το άρθρο 3 τροποποιείται ως εξής:

α) Στο τέλος του πρώτου εδαφίου, προστίθενται οι ακόλουθοι ορισμοί:

«- "εναλλακτικά καύσιμα", τα καύσιμα ή οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούν, έστω και εν μέρει, ως υποκατάστατο για τις πηγές ορυκτού πετρελαίου στον ενεργειακό εφοδιασμό στις μεταφορές και έχουν τη δυνατότητα να συμβάλουν στην απαλλαγή των μεταφορών από τις ανθρακούχες εκπομπές και να ενισχύσουν τις περιβαλλοντικές επιδόσεις του εν λόγω τομέα, αποτελούμενα από:

α) ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται σε όλους τους τύπους ηλεκτρικών οχημάτων,

β) υδρογόνο,

γ) φυσικό αέριο, περιλαμβανομένου του βιομεθανίου, σε αέρια μορφή (συμπιεσμένο φυσικό αέριο - CNG) και σε υγροποιημένη μορφή (υγροποιημένο φυσικό αέριο - LNG),

δ) υγροποιημένο πετρελαϊκό αέριο (υγραέριο - LPG),

ε) μηχανική ενέργεια από αποθήκευση επί οχήματος/πηγής επί οχήματος, συμπεριλαμβανομένης της απορριπτόμενης θερμότητας,

- "όχημα με εναλλακτικά καύσιμα", όχημα με κινητήρα που τροφοδοτείται εξ ολοκλήρου ή εν μέρει από εναλλακτικό καύσιμο και το οποίο έχει εγκριθεί στο πλαίσιο της οδηγίας 2007/46/ΕΚ (ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με την υπ' αριθμ. 29949/1841/2009 απόφαση),

- "διατροπικές μεταφορές":

α) οι συνδυασμένες μεταφορές που ορίζονται στο άρθρο 2 του π.δ. 431/1995 (Α' 245) των οποίων γίνεται χρήση στη μεταφορά ενός ή περισσότερων εμπορευματοκιβωτίων ή κινητών αμαξωμάτων μεγιστου συνολικού μήκους έως 45 ποδών, ή

β) οι μεταφορές των οποίων γίνεται χρήση στη μεταφορά ενός ή περισσότερων εμπορευματοκιβωτίων ή κινητών αμαξωμάτων μεγιστου συνολικού μήκους έως 45 ποδών, που χρησιμοποιούν θαλάσσιες μεταφορές, εφόσον η απόσταση της αρχικής ή της τελικής οδικής διαδρομής δεν υπερβαίνει τα 150 km στο έδαφος της Ένωσης.

Για διατροπικές μεταφορές, ο πλησιέστερος κατάλληλος θερματικός σταθμός που παρέχει υπηρεσία, όπως ορίζεται στο άρθρο 2 του π.δ. 431/1995 (Α' 245), μπορεί να βρίσκεται σε άλλο κράτος μέλος από εκείνο στο οποίο έχει φορτωθεί ή εκφορτωθεί η αποστολή.

- "φορτωτής", νομική οντότητα ή φυσικό ή νομικό πρόσωπο που κατονομάζεται στη φορτωτική ή σε ισο-

δύναμο έγγραφο μεταφοράς (όπως φορτωτική "μεταβίβασης") ως φορτωτής και/ή στο όνομα ή για λογαριασμό του οποίου έχει συναφθεί σύμβαση μεταφοράς με τη μεταφορική εταιρεία.»

β) Το δεύτερο εδάφιο, αντικαθίσταται από το ακόλουθο:

«Όλες οι επιτρεπόμενες μέγιστες διαστάσεις που περιλαμβάνονται στο παράρτημα I του παρόντος διατάγματος μετρώνται σύμφωνα με το παράρτημα I της υπ' αριθμ. 29949/1841/2009 κοινής υπουργικής απόφασης ενσωμάτωσης της οδηγίας 2007/46/ΕΚ στην εθνική νομοθεσία, χωρίς θετικό περιθώριο ανοχής».

3) Το άρθρο 5 τροποποιείται ως εξής:

α) Το τέταρτο και πέμπτο εδάφιο της παραγράφου 4 διαγράφονται.

β) Η παράγραφος 6 διαγράφεται.

4) Το άρθρο 6 αντικαθίσταται ως εξής:

«Άρθρο 6

Τα ορθωτά οχήματα που τέθηκαν σε κυκλοφορία πριν από την 1η Ιανουαρίου 1991 και τα οποία δεν πληρούν τις διατάξεις των σημείων 1.6 και 4.4 του παραρτήματος I, θεωρείται ότι συμμορφώνονται προς τις διατάξεις αυτές για τους σκοπούς του άρθρου 4 εφόσον δεν υπερβαίνουν το συνολικό μήκος των 15,50 μέτρων.»

5) Τα άρθρα 9 και 10 αναριθμούνται σε άρθρα 17 και 18 αντίστοιχα

6) Μετά το άρθρο 8 προστίθενται τα ακόλουθα άρθρα:

«Άρθρο 9

«Άρθρο 86» της παραγράφου 6 του άρθρου 1 της οδηγίας 2015/719/ΕΕ)

1. Προκείμενο να βελτιωθεί η ενεργειακή τους απόδοση, οχήματα ή συνδυασμοί οχημάτων εξοπλισμένα με αεροδυναμικές διατάξεις που πληρούν τις απαιτήσεις που προβλέπονται στις παραγράφους 2 και 3 και συμμορφώνονται με την οδηγία 2007/46/ΕΚ μπορούν να υπερβαίνουν τα μέγιστα μήκη που προβλέπει το παράρτημα I σημείο 1.1 του παρόντος διατάγματος, ώστε να είναι δυνατή η προσθήκη τέτοιων διατάξεων στο πίσω μέρος οχημάτων ή συνδυασμών οχημάτων. Οχήματα ή συνδυασμοί οχημάτων που είναι εξοπλισμένα με τέτοιες διατάξεις συμμορφώνονται με το παράρτημα I σημείο 1.5 του παρόντος διατάγματος και τυχόν υπέρβαση των ανώτατων μηκών δεν επιφέρει αύξηση του μήκους φόρτωσης αυτών των οχημάτων ή συνδυασμών οχημάτων.

2. Πριν διατεθούν στην αγορά, οι αεροδυναμικές διατάξεις που αναφέρονται στην παράγραφο 1 και υπερβαίνουν σε μήκος τα 500 mm εγκρίνονται κατά τύπο σύμφωνα με τους κανόνες για την έγκριση τύπου στο πλαίσιο της οδηγίας 2007/46/ΕΚ (ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με την υπ' αριθμ. 29949/1841/2009 κοινή υπουργική απόφαση).

3. Οι αεροδυναμικές διατάξεις που αναφέρονται στην παράγραφο 1 πληρούν τους ακόλουθους όρους λειτουργίας:

α) σε περιστάσεις υπό τις οποίες η ασφάλεια άλλων χρηστών του οδικού δικτύου ή του οδηγού τίθεται σε κίνδυνο, ο οδηγός προχωρεί σε ανάσχυση, αναδίπλωση ή αφαίρεση των διατάξεων αυτών

β) η χρήση τους στις αστικές και υπεραστικές οδικές υποδομές λαμβάνει υπόψη τα ειδικά χαρακτηριστικά περιοχών όπου η ταχύτητα είναι μικρότερη ή ίση με 50 km ανά ώρα και όπου είναι πιθανότερο να υπάρχουν ευάλωτοι χρήστες του οδικού δικτύου· και

γ) η χρήση τους είναι συμβατή με τις διατροφικές μεταφορές και, συγκεκριμένα, η ανάσυρση/αναδίπλωσή τους δεν επιφέρει υπέρβαση του μέγιστου επιτρεπόμενου μήκους των οχημάτων μεγαλύτερη των 20 cm.

4. Η παράγραφος 1 εφαρμόζεται από την ημερομηνία μεταφοράς ή εφαρμογής των αναγκαίων τροποποιήσεων των πράξεων που αναφέρονται στην παράγραφο 2 του άρθρου 8β της οδηγίας 96/53/ΕΚ όπως προστέθηκε με την οδηγία 2015/719/ΕΕ και μετά την έκδοση των εκτελεστικών πράξεων που αναφέρονται στην παράγραφο 4 του ίδιου άρθρου της οδηγίας.

Άρθρο 10
(«Άρθρο 9α» της παραγράφου 6 του άρθρου 1 της οδηγίας 2015/719/ΕΕ)

1. Προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή απόδοση, ιδίως όσον αφορά τις αεροδυναμικές επιδόσεις των θαλάμων οδήγησης, καθώς και η οδική ασφάλεια, οχήματα ή συνδυασμοί οχημάτων που πληρούν τις απαιτήσεις της παραγράφου 2 και συμμορφώνονται με την οδηγία 2007/46/ΕΚ μπορούν να υπερβαίνουν τα μέγιστα μήκη που προβλέπει το παράρτημα Ι σημείο 1.1 του παρόντος διατάγματος, εάν ο θάλαμος οδήγησης τους παρέχει βελτιωμένες αεροδυναμικές επιδόσεις, ενεργειακή απόδοση και επιδόσεις ασφαλείας. Οχήματα ή συνδυασμοί οχημάτων εξοπλισμένα με τέτοιους θαλάμους οδήγησης συμμορφώνονται με το παράρτημα Ι σημείο 1.5 του παρόντος διατάγματος και τυχόν υπέρβαση των ανωτάτων μηκών δεν επιφέρει αύξηση της μεταφορικής ικανότητας αυτών των οχημάτων.

2. Τα οχήματα που αναφέρονται στην παράγραφο 1 εγκρίνονται σύμφωνα με τους κανόνες για την έγκριση τύπου στο πλαίσιο της οδηγίας 2007/46/ΕΚ (η οποία ενσωματώθηκε στην εθνική νομοθεσία με την υπ' αριθμ. 29949/1841/2009 κοινή υπουργική απόφαση).

3. Η παράγραφος 1 εφαρμόζεται αφού συμπληρωθούν τρία έτη από την ημερομηνία μεταφοράς ή εφαρμογής των αναγκαίων τροποποιήσεων των πράξεων που αναφέρονται στην παράγραφο 2 του άρθρου 9α της οδηγίας 96/53/ΕΚ όπως προστέθηκε με την οδηγία 2015/719/ΕΕ, κατά περίπτωση.

Άρθρο 11
(«Άρθρο 106» της παραγράφου 8 του άρθρου 1 της οδηγίας 2015/719/ΕΕ)

Το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος των οχημάτων με εναλλακτικά καύσιμα είναι εκείνο που ορίζεται στο παράρτημα Ι σημεία 2.3.1, 2.3.2 και 2.4.

Τα οχήματα με εναλλακτικά καύσιμα συμμορφώνονται επίσης με τα μέγιστα επιτρεπόμενα όρια βάρους ανά άξονα που καθορίζονται στο παράρτημα Ι σημείο 3.

Το επιπλέον βάρος που απαιτούν τα οχήματα με εναλλακτικά καύσιμα ορίζεται βάσει των εγγράφων τεκμηρίωσης που παρέχει ο κατασκευαστής κατά την έγκριση του εν λόγω οχήματος. Το εν λόγω επιπλέον

βάρος επισημαίνεται στα επίσημα αποδεικτικά που απαιτούνται βάσει του άρθρου 7.

Άρθρο 12
(«Άρθρο 10γ» της παραγράφου 8 του άρθρου 1 της οδηγίας 2015/719/ΕΕ)

Επιτρέπεται υπέρβαση των μέγιστων μηκών που καθορίζονται στο παράρτημα Ι σημείο 1.1, όταν συντρέχει περίπτωση δυνάμει του άρθρου 10 παράγραφος 1, και της μέγιστης απόστασης που καθορίζεται στο παράρτημα Ι σημείο 1.6 κατά 15 cm για οχήματα ή συνδυασμούς οχημάτων που εκτελούν μεταφορές εμπορευματοκιβωτίων 45 ποδών ή κινητών αμαξωμάτων 45 ποδών, κενών ή φορτωμένων, στην περίπτωση που η οδική μεταφορά του οικείου εμπορευματοκιβωτίου ή του οικείου κινητού αμαξώματος αποτελεί μέρος διατροφικής μεταφοράς.

Άρθρο 13
(«Άρθρο 10δ» της παραγράφου 8 του άρθρου 1 της οδηγίας 2015/719/ΕΕ)

1. Έως τις 27 Μαΐου 2021 καθορίζονται, με την κοινή υπουργική απόφαση που προβλέπεται στην παράγραφο 3 του άρθρου 48 του ν. 3446/2006 (ΦΕΚ Α' 49/10-03-2006) όπως ισχύει, ειδικά μέτρα με σκοπό να εντοπιστούν οχήματα ή συνδυασμοί οχημάτων σε κυκλοφορία που είναι πιθανό να υπερβαίνουν το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος και συνεπώς πρέπει να ελεγχθούν από τις αρμόδιες αρχές ελέγχου του ν. 3446/2006 για να εξασφαλιστεί η συμμόρφωσή τους με το παρόν διάταγμα. Τα ειδικά αυτά μέτρα υλοποιούνται με τη βοήθεια αυτόματων συστημάτων που τοποθετούνται στις οδικές υποδομές ή μέσω εξοπλισμού ζύγισης επί του οχήματος, ο οποίος είναι εγκατεστημένος στα οχήματα σύμφωνα με την παράγραφο 3.

Όταν χρησιμοποιούνται αυτόματα συστήματα για τη διαπίστωση παραβάσεων του παρόντος διατάγματος και την επιβολή κυρώσεων, τα αυτόματα συστήματα αυτά είναι πιστοποιημένα. Όπου τα αυτόματα συστήματα χρησιμοποιούνται μόνο για σκοπούς ταυτοποίησης, δεν απαιτείται να πιστοποιηθούν.

2. Διενεργείται κάθε ημερολογιακό έτος ενδελεχμένος αριθμός ελέγχων του βάρους των οχημάτων ή συνδυασμών οχημάτων που κυκλοφορούν, ανάλογο με τον συνολικό αριθμό οχημάτων που ελέγχονται κάθε έτος στην ελληνική επικράτεια.

3. Ο εξοπλισμός ζύγισης επί του οχήματος που προβλέπεται στην παράγραφο 1 είναι ακριβής και αξιόπιστος, πλήρως διαλειτουργικός και συμβατός με όλους τους τύπους οχημάτων.

4. Με την απόφαση της παραγράφου 1 καθορίζονται επίσης οι όροι και οι λεπτομέρειες εφαρμογής του παρόντος άρθρου.

Άρθρο 14
(«Άρθρο 10ε» της παραγράφου 8 του άρθρου 1 της οδηγίας 2015/719/ΕΕ)

Κατά των παραβατών του παρόντος επιβάλλονται από τις αρμόδιες αρχές οι κυρώσεις που προβλέπονται στο ν. 3446/2006 (ΦΕΚ Α' 49/10-03-2006) όπως ισχύει και στον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας όπως κυρώθηκε με τον ν. 2696/1999 (ΦΕΚ Α' 57/23-03-1999).

Άρθρο 15

(«Άρθρο 10στ» της παραγράφου 8 του άρθρου 1 της οδηγίας 2015/719/ΕΕ)

1. Για τη μεταφορά εμπορευματοκιβωτίων και κινητών αμαξωμάτων:

α) Ο φορτωτής χορηγεί στον μεταφορέα, στον οποίο αναθέτει την μεταφορά, δήλωση του βάρους του μεταφερόμενου εμπορευματοκιβωτίου ή κινητού αμαξώματος, β) ο μεταφορέας εφοδιάζει τον οδηγό που διενεργεί τη μεταφορά με όλα τα συνοδευτικά έγγραφα τεκμηρίωσης που παρέχει ο φορτωτής.

2. Η πλήρης συμπλήρωση του δελτίου παραδόσεως της Σύμβασης επί του συμβολαίου για τη διεθνή μεταφορά εμπορευμάτων οδικώς (Convention on the Contract for the International Carriage of Goods by Road, C.M.R.) όπως κυρώθηκε με τον ν. 559/1977 (Α' 78) θεωρείται επαρκής τεκμηρίωση για τις ανάγκες εφαρμογής του παρόντος άρθρου.

3. Όταν οι πληροφορίες που αναφέρονται στην παράγραφο 1 είναι ελλιπείς ή ανακριβείς, ή ο οδηγός δεν επιδεικνύει τη δήλωση της παραγράφου 1, επιβάλλονται οι διοικητικές κυρώσεις που προβλέπονται στις κοινές υπουργικές αποφάσεις που εκδίδονται κατ' εξουσιοδότηση της παραγράφου 2 του άρθρου 48 του ν. 3446/2006 (Α' 49). Μέχρι την έκδοση των κοινών υπουργικών αποφάσεων επιβάλλεται, σε περίπτωση διαπίστωσης των παραβάσεων αυτών, στο φορτωτή και στο μεταφορέα πρόστιμο εξακοσίων (600) ευρώ. Όταν το όχημα ή ο συνδυασμός οχημάτων είναι υπερφορτωμένο/ος, οι ανωτέρω κυρώσεις επιβάλλονται πέραν των προβλεπόμενων κυρώσεων που επιβάλλονται για την παράβαση της υπέρβασης των μέγιστων βαρών.

Άρθρο 16

(«Άρθρο 10ζ» της παραγράφου 8 του άρθρου 1 της οδηγίας 2015/719/ΕΕ)

Ανά διετία και το αργότερο μέχρι τις 30 Σεπτεμβρίου του έτους που ακολουθεί τη λήξη της αντίστοιχης διετίας, οι αρμόδιες υπηρεσίες του Υπουργείου Υποδομών και Μεταφορών διαβιβάζουν στην Επιτροπή τις αναγκαίες πληροφορίες όσον αφορά:

α) τον αριθμό των ελέγχων που διενεργήθηκαν κατά τα προηγούμενα δύο ημερολογιακά έτη, και β) τον αριθμό των οχημάτων ή συνδυασμό οχημάτων που βρέθηκαν υπερφορτωμένα.»

7) Το παράρτημα Ι του άρθρου 9 που αναριθμείται σε άρθρο 17 τροποποιείται ως εξής: α) Το σημείο 1.2 στοιχείο α) αντικαθίσταται από το ακόλουθο κείμενο:

«α) οχήματα οποιουδήποτε τύπου εκτός των οχημάτων που αναφέρονται στο στοιχείο β): 2,55 m».

β) Το σημείο 1.2 στοιχείο β) αντικαθίσταται από το ακόλουθο κείμενο:

«β) υπερκατασκευές οχημάτων με κλιματισμό ή μεταφερόμενων από οχήματα εμπορευματοκιβωτίων ή κινητών αμαξωμάτων με κλιματισμό: 2,60 m».

γ) Το σημείο 2.2.2 στοιχείο γ) αντικαθίσταται από το ακόλουθο κείμενο:

γ) Διαξονικό μηχανοκίνητο όχημα με τριαξονικό ημιρυμουλκούμενο που μεταφέρει, στο πλαίσιο διατροπικών

μεταφορών, ένα ή περισσότερα εμπορευματοκιβώτια ή κινητά αμαξώματα, μέγιστου συνολικού μήκους έως 45 ποδών: 42 t».

δ) Στο σημείο 2.2.2, προστίθεται το ακόλουθο στοιχείο: «δ) Τριαξονικό μηχανοκίνητο όχημα με διαξονικό ή τριαξονικό ημι-ρυμουλκούμενο που μεταφέρει, στο πλαίσιο διατροπικών μεταφορών, ένα ή περισσότερα εμπορευματοκιβώτια ή κινητά αμαξώματα, μέγιστου συνολικού μήκους έως 45 ποδών: 44 t».

ε) Το σημείο 2.3.1 αντικαθίσταται από το ακόλουθο κείμενο:

«2.3.1. Διαξονικά μηχανοκίνητα οχήματα εκτός από τα λεωφορεία: 18 t

Διαξονικά μηχανοκίνητα οχήματα με εναλλακτικά καύσιμα εκτός από λεωφορεία: το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος των 18 τόνων αυξάνεται κατά το επιπλέον βάρος που απαιτείται για την εναλλακτική τεχνολογία καυσίμων με ανώτατο όριο τον 1 τόνο.

Διαξονικά λεωφορεία: 19,5 t».

στ) Το σημείο 2.3.2 αντικαθίσταται από το ακόλουθο κείμενο:

«2.3.2. Τριαξονικά μηχανοκίνητα οχήματα: 25 τόνοι ή 26 τόνοι όταν ο κινητήριος άξονας είναι εξοπλισμένος με διπλά ελαστικά και αερανάρτηση ή ανάρτηση αναγνωρισμένη ως ισοδύναμη εντός της Ένωσης, όπως ορίζεται στο παράρτημα ΙΙ, ή όταν κάθε άξονας οδήγησης είναι εξοπλισμένος με διπλά ελαστικά και το μέγιστο βάρος κάθε άξονα δεν υπερβαίνει τους 9,5 τόνους.

Τριαξονικά μηχανοκίνητα οχήματα με εναλλακτικά καύσιμα: το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος των 25 τόνων, ή 26 τόνων όταν ο κινητήριος άξονας είναι εξοπλισμένος με διπλά ελαστικά και αερανάρτηση ή ανάρτηση αναγνωρισμένη ως ισοδύναμη εντός της Ένωσης, όπως ορίζεται στο παράρτημα ΙΙ, ή όταν κάθε άξονας οδήγησης είναι εξοπλισμένος με διπλά ελαστικά και το μέγιστο βάρος κάθε άξονα δεν υπερβαίνει τους 9,5 τόνους, αυξάνεται κατά το επιπλέον βάρος που απαιτείται για την τεχνολογία εναλλακτικών καυσίμων με ανώτατο όριο τον 1 τόνο».

ζ) Το σημείο 2.4 αντικαθίσταται από το ακόλουθο κείμενο:

«2.4. Τριαξονικά αρθρωτά λεωφορεία: 28 t

Τριαξονικά αρθρωτά λεωφορεία με εναλλακτικά καύσιμα: το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος των 28 τόνων αυξάνεται κατά το επιπλέον βάρος που απαιτείται για την εναλλακτική τεχνολογία καυσίμων με ανώτατο όριο τον 1 τόνο».

Άρθρο 2

Η ισχύς της παρούσας απόφασης αρχίζει από τις 7 Μαΐου 2017, εκτός των διατάξεων 14 και 15 που προβλέπουν κυρώσεις και ισχύουν από τη δημοσίευση της παρούσας στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.

Η απόφαση αυτή να δημοσιευθεί στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως.

Αθήνα, 16 Ιουνίου 2017

Οι Υπουργοί

Οικονομίας και Ανάπτυξης Υποδομών και Μεταφορών

ΔΗΜΟΣ ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΧΡΗΣΤΟΣ ΣΠΥΡΙΔΗΣ

