



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ -  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

Διπλωματική εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΣΕ ΥΠΕΡΑΣΤΙΚΕΣ ΟΔΟΥΣ  
2 ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ**

**ΜΑΡΝΕΡΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**

*Επιβλέπων: Ψαριανός Βασίλειος, Καθηγητής*

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ  
ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ**



**Αθήνα, Οκτώβριος 2021**



**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**  
**SCHOOL OF RURAL, SURVEYING AND GEOINFORMATICS**  
**ENGINEERING**

DEP. OF INFRASTRUCTURE AND RURAL DEVELOPMENT

Diploma Thesis

**INVESTIGATION OF FRICTION UTILIZATION FACTOR ON TWO-LANE**  
**INTERURBAN ROADS**

**MARNEROS EMMANOUIL**

*Supervisor: Psarianos Basil, Professor*

**LABORATORY OF**  
**TRANSPORTATION ENGINEERING**



***Athens, October 2021***

## ΔΗΛΩΣΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Δηλώνω ότι η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί στο σύνολό της δική μου εργασία και κανένα τμήμα της δεν έχει χρησιμοποιηθεί για τη κτήση άλλου τίτλου σπουδών. Όπου έχει χρησιμοποιηθεί υλικό από άλλες πηγές, αυτές έχουν αναφερθεί με ακρίβεια και πληρότητα.

Εμμανουήλ Μαρνέρος

## Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί το επιστέγασμα της προσπάθειας, του χρόνου και της δουλειάς που κατέβαλα κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών-Μηχανικών Γεωπληροφορικής. Κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου είχα τη χαρά και τη τιμή να συναντήσω και να γνωρίσω αξιόλογους ανθρώπους εντός του εκπαιδευτικού ιδρύματος που με βοήθησαν ιδιαίτερα στο να βελτιωθώ ως άτομο και να εμπλουτίσω τις γνώσεις μου πάνω στο επάγγελμα του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού-Μηχανικού Γεωπληροφορικής.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως το κύριο Ψαριανό Βασίλειο, καθηγητή της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών-Μηχανικών Γεωπληροφορικής για τις γνώσεις που μου προσέφερε και για τη συνολική εποπτεία του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Έπειτα θα ήθελα να ευχαριστήσω ολόψυχα τον κύριο Αποστολέρη Κωνσταντίνο, υποψήφιο διδάκτορα της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών-Μηχανικών Γεωπληροφορικής για τη πολύτιμη και καθοριστική συνεισφορά του στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά και για τον απεριόριστο χρόνο που αφιέρωσε και την διάθεση που έδειξε ώστε να με βοηθήσει σε οποιαδήποτε δυσκολία αντιμετώπισα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω την οικογένειά μου και τους λίγους και καλούς φίλους μου για την αμέριστη στήριξη και αγάπη που μου έδειξαν.

*"One for all and all for one"*

*The Three Musketeers (Alexandre Dumas)*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κατά το σχεδιασμό μιας οδού, κρίνεται σημαντική η διασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών δυναμικής της κίνησης των οχημάτων. Είναι γεγονός πως στις οριζόντιες καμπύλες υπεραστικών οδών 2 λωρίδων κυκλοφορίας και ειδικά σε αυτές με μικρή ακτίνα, συμβαίνουν τα περισσότερα οδικά ατυχήματα, εκ των οποίων ένας μεγάλος αριθμός συμβαίνει λόγω ολίσθησης των οχημάτων. Γίνεται κατανοητό ότι κατά τη κίνηση των οχημάτων σε μια καμπύλη θα πρέπει να διατίθεται ικανοποιητικό μέρος της συνολικής τριβής στην εγκάρσια κατεύθυνση ούτως ώστε να διασφαλιστεί η οδική ασφάλεια. Οι υφιστάμενοι κανονισμοί σχεδιασμού προτείνουν συγκεκριμένες τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης πλευρικής τριβής, για τις οποίες ωστόσο υπάρχει αμφιβολία σχετικά με την ανταπόκρισή τους στις πραγματικές συνθήκες κίνησης των οχημάτων στις καμπύλες.

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας πλήρους διερεύνησης του συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής σε υπεραστικές οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας. Για το σκοπό αυτό αξιοποιήθηκαν τα πρωτογενή δεδομένα σημειακών ταχυτήτων επιβατικών οχημάτων που καταγράφηκαν σε συνολικά 23 οριζόντιες καμπύλες διαφόρων γεωμετρικών χαρακτηριστικών του οδικού τμήματος Ευαγγελισμός-Λεπτοκαρυά της Παλαιάς Εθνικής Οδού Αθηνών-Θεσσαλονίκης, και σε συνθήκες ημέρας και νύχτας. Το συγκεκριμένο δείγμα περιλάμβανε ένα μεγάλο αριθμό μετρήσεων ταχυτήτων για κάθε καμπύλη, το οποίο επεξεργάστηκε σε πρώτη φάση ώστε να ενδείκνυται για ανάλυση.

Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι ταχύτητες  $V_{15}$ ,  $V_{50}$  και  $V_{85}$  σε όλες τις καμπύλες, οι οποίες συσχετίστηκαν με την ακτίνα της καμπύλης. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα ταχυτήτων των οχημάτων υπολογίστηκαν οι συντελεστές πλευρικής τριβής για κάθε όχημα και ακολούθως προσδιορίστηκαν οι αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL για το 15%, 50% και 85% των οδηγών, οι οποίες συσχετίστηκαν διαγραμματικά με ορισμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καμπύλης όπως η καμπύλη και η ελικτότητα. Ολοκληρώνοντας, οι τιμές αυτές συσχετίστηκαν με το διαθέσιμο ιστορικό ατυχημάτων της οδού, ώστε να διαπιστωθεί η επίδραση του συντελεστή εκμετάλλευσης στη πιθανότητα πρόκλησης οδικού ατυχήματος, μέσω της δημιουργίας μοντέλων logit.

Εν κατακλείδι, διαπιστώθηκε πως η αύξηση της ταχύτητας διέλευσης των οχημάτων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του συντελεστή πλευρικής τριβής και κατ' επέκταση του συντελεστή εκμετάλλευσης. Επίσης η μείωση της ακτίνας και η αύξηση της ελικτότητας της καμπύλης οδηγούν στην αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης.

Τα αποτελέσματα της έρευνας κατέδειξαν πως οι κανονισμοί σχεδιασμού είναι συντηρητικοί και μη ρεαλιστικοί ως προς το 85% των οδηγών, καθώς οι τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης προέκυψαν σημαντικά μεγαλύτερες, ειδικά στις μικρές ακτινικά καμπύλες, συγκριτικά με τις προτεινόμενες από τους κανονισμούς τιμές. Επίσης, προέκυψε μια ανοδική τάση του δείκτη ατυχημάτων με την αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης, ενώ αυξάνοντας τις προτεινόμενες από τους κανονισμούς τιμές του συντελεστή, η επίδραση στη πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος είναι σημαντική για τιμές του συντελεστή από  $n = 60\%$  και άνω.

**Λέξεις κλειδιά:** οδική ασφάλεια, δυναμική κίνησης οχημάτων, συντελεστής πλευρικής τριβής, συντελεστής εκμετάλλευσης τριβής, πλευρική επιτάχυνση, όριο άνεσης, όριο ασφαλείας, οριζόντιες καμπύλες, υπεραστικές οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας

## ABSTRACT

When designing a road, it is important to ensure the right dynamic conditions for the vehicles using the road. It is a fact that most road accidents occur on the horizontal curves of two-lane interurban roads, especially in those with a short radius, and a large number of them are caused by vehicle's skidding. It is understood that when vehicles travel on a curve, a sufficient proportion of the total friction in the lateral direction must be available for ensuring road safety. Existing design regulations propose specific values for the side friction utilization factor, but there are doubts as to their suitability for the actual driving conditions of vehicles on the curves.

This paper presents the results of a full investigation of the side friction utilization factor on 2-lane interurban roads. For this purpose, the primary data of spot speeds of passenger vehicles recorded on a total of 23 horizontal curves of various geometric characteristics of the road section Evangelismos-Leptokarya of the Old National Highway Athens-Thessaloniki, under day and night conditions. This sample included a large number of speed measurements for each curve, which was first processed to make it suitable for analysis.

Then the  $V_{15}$ ,  $V_{50}$  and  $V_{85}$  speeds were determined for all curves, which were correlated with the radius of the curve. Using the vehicle speed data, the side friction coefficients were calculated for each vehicle and then the representative from OMOE-X and RAL side friction utilization factor values were determined for 15%, 50% and 85% of the drivers, which were correlated diagrammatically with certain geometric characteristics of the curve such as curvature and degree of curve. Finally, these values were correlated with the available accident history of the road to determine the effect of the side friction utilization factor on the probability of causing a road accident, by creating logit models.

In conclusion, it was found that an increase in vehicle passage speed results in an increase in the side friction coefficient and hence the side friction utilization factor. Also, the decrease in radius and increase in degree of curve lead to the increase of the side friction utilization factor.

The results of the investigation showed that the design regulations are conservative and unrealistic with respect to the 85% of the drivers, as the values of the side friction utilization factor were found to be significantly higher, especially for small radius curves, compared to the values suggested by the regulations. An upward trend of the accident rate was also obtained with increasing the side friction utilization factor, while increasing the factor values proposed by the regulations, the effect on the probability of causing an accident is significant for coefficient values of  $n = 60\%$  and above.

**Keywords:** road safety, vehicle dynamics, side friction factor, friction utilization factor, lateral acceleration comfort limit, safety limit, horizontal curve, two-lane interurban roads

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενικά .....	1
1.2 Περιγραφή του Υπό Διερεύνηση Προβλήματος .....	1
1.3 Οδική Ασφάλεια .....	1
1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας .....	3
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ .....	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Δυναμική της Κίνησης των Οχημάτων.....	4
2.2.1 Βασική Εξίσωση της Δυναμικής της Κίνησης των Οχημάτων .....	6
2.2.2 Μεταβολή Πλευρικής Επιτάχυνσης .....	7
2.3 Συντελεστής Τριβής .....	8
2.3.1 Σχέσεις Υπολογισμού .....	10
2.3.2 Κατάσταση Οδοστρώματος.....	10
2.4 Ιστορική Αναδρομή .....	11
2.5 Ολίσθηση - Ανατροπή Οχημάτων .....	13
2.5.1 Όριο Ανατροπής .....	14
2.5.2 Περιθώριο Ασφαλείας .....	15
2.6 Συντελεστής Εκμετάλλευσης Τριβής .....	17
2.7 Συσχέτιση Εγκάρσιας Τριβής με Άλλα Γεωμετρικά Στοιχεία .....	17
2.7.1 Συσχέτιση με την Οριζόντια Ακτίνα.....	17
2.7.2 Συσχέτιση με την Επίκλιση.....	18
2.7.3 Συσχέτιση με τη Ταχύτητα.....	18
2.8 Όρια Άνεσης .....	18
2.9 Υφιστάμενοι Κανονισμοί Σχεδιασμού Οδών .....	19
2.9.1 Ελληνικές Οδηγίες Σχεδιασμού Οδών (ΟΜΟΕ-Χ 2001) .....	20
2.9.2 Γερμανικές Οδηγίες Σχεδιασμού Οδών (RAL 2012) .....	23
2.9.3 Αμερικανικές Οδηγίες Σχεδιασμού Οδών (AASHTO 2018) .....	25
2.9.4 Διαφορές Μεταξύ των Κανονισμών .....	30
2.10 Ταχύτητα.....	30
2.10.1 Είδη Ταχυτήτων .....	32
3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	34
3.1 Εισαγωγή.....	34
3.2 Περιγραφή Οδικού Τμήματος Μελέτης .....	34



3.3 Παρουσίαση Θέσεων Μετρήσεων Ταχυτήτων .....	34
3.4 Εξοπλισμός Μετρήσεων .....	46
3.5 Γεωμετρικά Στοιχεία Καμπύλων Οδικού Τμήματος.....	47
3.6 Χαρακτηριστικά Δείγματος Μετρήσεων Ταχυτήτων .....	48
3.7 Δεδομένα Ιστορικού Ατυχημάτων.....	48
4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	51
4.1 Εισαγωγή.....	51
4.2 Αρχική Επεξεργασία Δείγματος Ταχυτήτων.....	51
4.3 Συνθήκες Ελεύθερης Ροής.....	52
4.4 Έλεγχος Ακραίων Τιμών .....	52
4.5 Έλεγχος Κανονικότητας Κατανομής.....	54
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	60
5.1 Εισαγωγή.....	60
5.2 Υπολογισμός Αντιπροσωπευτικών Τιμών Ταχύτητας.....	60
5.3 Υπολογισμός Συντελεστή Πλευρικής Τριβής .....	64
5.4 Υπέρβαση Ορίων Άνεσης-Ασφαλείας .....	69
5.5 Υπολογισμός Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής .....	72
5.5.1 Ελληνικοί Κανονισμοί ΟΜΟΕ-Χ (2001) .....	73
5.5.2 Γερμανικοί Κανονισμοί RAL (2012) .....	73
5.5.3 Σύγκριση των Τιμών του Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής Μεταξύ των Κανονισμών ..	75
5.5.4 Αντιπροσωπευτικές Τιμές Συντελεστή Εκμετάλλευσης.....	79
5.6 Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης με τα Γεωμετρικά Στοιχεία Οριζόντιας Καμπύλης ..	81
5.6.1 Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης με την Οριζόντια Ακτίνα Καμπύλης.....	84
5.6.2 Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης με την Ελικτότητα Καμπύλης .....	89
5.6.3 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Βάσει των Κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ.....	92
5.6.4 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Βάσει των Κανονισμών RAL.....	93
5.7 Διερεύνηση του Συντελεστή Εκμετάλλευσης για Ημέρα και Νύχτα .....	94
5.8 Διερεύνηση Συμπεριφοράς Ανά Κατεύθυνση .....	99
5.9 Σύγκριση Μέγιστων Συντελεστών Πλευρικής Τριβής Μεταξύ των Κανονισμών AASHTO 2018 και ΟΜΟΕ-Χ 2001/RAL 2012 .....	101
5.10 Προσδιορισμός Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής Κατά AASHTO.....	103
5.11 Συσχέτιση Ιστορικού Ατυχημάτων με τα Αποτελέσματα της Ανάλυσης.....	105
5.11.1 Δείκτης Ατυχημάτων (ACCR) .....	106
5.11.2 Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης και Δείκτη Ατυχημάτων .....	107
5.11.3 Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης και Ατυχημάτων .....	114

5.12 Γενικές παρατηρήσεις .....	119
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	121
6.1 Συμπεράσματα .....	121
6.2 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα .....	125

## Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Ανάλυση δυνάμεων κατά τη κίνηση του οχήματος σε καμπύλο τμήμα οδού (Αποστολέρης, 2015) .....	4
Σχήμα 2.2: Μεταβολή του απαιτούμενου συντελεστή πλευρικής τριβής/πλευρικής επιτάχυνσης συναρτήσει της θέσης του οχήματος στη καμπύλη (Morrall and Talarico, 1994) .....	8
Σχήμα 2.3: Μεταβολή συντελεστή πλευρικής τριβής συναρτήσει της ταχύτητας (AASHTO, 2018) .....	12
Σχήμα 2.4: Συσχέτιση διατιθέμενης και απαιτούμενης τριβής με τη ταχύτητα του οχήματος (Echaveguren and Bustos, 2005) .....	13
Σχήμα 2.5: Συσχέτιση του συντελεστή πλευρικής τριβής με τη ταχύτητα σχεδιασμού της καμπύλης (AASHTO, 2018) .....	27
Σχήμα 3.1 : Θέσεις μετρήσεων ταχυτήτων στο οδικό τμήμα Ευαγγελισμός - Λεπτοκαρυά (Google Earth) .....	35
Σχήμα 3.2 : Θέσεις μετρήσεων ταχυτήτων Σ01 - Σ12 στο οδικό τμήμα Ευαγγελισμός - Λεπτοκαρυά (Google Earth) .....	35
Σχήμα 3.3 : Θέσεις μετρήσεων ταχυτήτων Σ13 - Σ20 στο οδικό τμήμα Ευαγγελισμός - Λεπτοκαρυά (Google Earth) .....	36
Σχήμα 3.4: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ01 ανά κατεύθυνση .....	36
Σχήμα 3.5: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ02 ανά κατεύθυνση .....	37
Σχήμα 3.6: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ03 ανά κατεύθυνση .....	37
Σχήμα 3.7: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ04 ανά κατεύθυνση .....	38
Σχήμα 3.8: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ05 ανά κατεύθυνση .....	38
Σχήμα 3.9: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ06 ανά κατεύθυνση .....	38
Σχήμα 3.10: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ07 ανά κατεύθυνση .....	39
Σχήμα 3.11: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ08 ανά κατεύθυνση .....	39
Σχήμα 3.12: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ09 ανά κατεύθυνση .....	40
Σχήμα 3.13: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ10Α ανά κατεύθυνση .....	40
Σχήμα 3.14: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ10Β ανά κατεύθυνση.....	40
Σχήμα 3.15: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ11 ανά κατεύθυνση .....	41
Σχήμα 3.16: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ12Α ανά κατεύθυνση .....	41
Σχήμα 3.17: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ12Β ανά κατεύθυνση .....	41
Σχήμα 3.18: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ13Α ανά κατεύθυνση .....	42
Σχήμα 3.19: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ13Β ανά κατεύθυνση .....	42
Σχήμα 3.20: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ14 ανά κατεύθυνση .....	43
Σχήμα 3.21: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ15 ανά κατεύθυνση .....	43
Σχήμα 3.22: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ16 ανά κατεύθυνση .....	43
Σχήμα 3.23: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ17Α ανά κατεύθυνση .....	44
Σχήμα 3.24: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ17Β ανά κατεύθυνση .....	44

Σχήμα 3.25: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ18 ανά κατεύθυνση .....	44
Σχήμα 3.26: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ19 ανά κατεύθυνση .....	45
Σχήμα 3.27: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ20Α ανά κατεύθυνση .....	45
Σχήμα 3.28: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ20Β ανά κατεύθυνση .....	45
Σχήμα 3.29: Λαστιχένιοι σωλήνες καταγραφής κυκλοφοριακών μεγεθών MC5600, MetroCount ( <a href="https://metrocount.com/?attachment_id=4246">https://metrocount.com/?attachment_id=4246</a> ) .....	46
Σχήμα 4.1: Θηκόγραμμα καμπύλης Σ01 οριζόντιας ακτίνας $R = 200$ m .....	53
Σχήμα 4.2: Αποτελέσματα στατιστικών ελέγχων Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk για τα δείγματα ταχυτήτων στις καμπύλες Σ01 έως και Σ20Β .....	55
Σχήμα 4.3: Ιστόγραμμα ταχυτήτων για τη καμπύλη Σ03 οριζόντιας ακτίνας $R = 175$ m .....	57
Σχήμα 4.4: Ιστόγραμμα ταχυτήτων για τη καμπύλη Σ11 οριζόντιας ακτίνας $R = 230$ m .....	57
Σχήμα 4.5: Ιστόγραμμα ταχυτήτων για τη καμπύλη Σ04 οριζόντιας ακτίνας $R = 175$ m .....	58
Σχήμα 5.1: Συσχέτιση ταχύτητας διέλευσης οχημάτων στο 15% ( $V_{15}$ ), στο 50% ( $V_{50}$ ) και στο 85% ( $V_{85}$ ) των διερχόμενων οχημάτων με την οριζόντια ακτίνα της καμπύλης .....	62
Σχήμα 5.2: Διάγραμμα συντελεστή πλευρικής τριβής συναρτήσε του ποσοστού διελεύσεων οχημάτων στη καμπύλη Σ16 ( $R=81,3$ m) .....	65
Σχήμα 5.3: Διάγραμμα συντελεστή πλευρικής τριβής συναρτήσε του ποσοστού διελεύσεων οχημάτων στη καμπύλη Σ03 ( $R=175$ m) .....	66
Σχήμα 5.4: Διάγραμμα συντελεστή πλευρικής τριβής συναρτήσε του ποσοστού διελεύσεων οχημάτων στη καμπύλη Σ07 ( $R=600$ m) .....	66
Σχήμα 5.5: Συσχέτιση συντελεστή πλευρικής τριβής και ακτίνας καμπύλης .....	69
Σχήμα 5.6: Συσχέτιση του ποσοστού των οδηγών που υπερβαίνει τα όρια άνεσης και ασφαλείας με την ακτίνα της καμπύλης .....	71
Σχήμα 5.7 : Συσχέτιση συντελεστή εφασπτομενικής τριβής και ταχύτητας με βάση τις προτεινόμενες τιμές κατά RAL 2012 .....	74
Σχήμα 5.8: Χρήση του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά OMOE-X και RAL σε συνάρτηση με το ποσοστό διελεύσεων των οχημάτων στη καμπύλη Σ01 ακτίνας 200 m .....	77
Σχήμα 5.9 : Συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά OMOE-X και RAL σε συνάρτηση με τη ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων στη καμπύλη Σ01 ακτίνας 200 m .....	78
Σχήμα 5.10: Συγκεντρωτικό διάγραμμα του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά OMOE-X και RAL σε συνάρτηση με το αθροιστικό ποσοστό διέλευσης των οχημάτων στη καμπύλη Σ01 ακτίνας 200 m .....	79
Σχήμα 5.11: Αποτελέσματα στατιστικών ελέγχων Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk για τον έλεγχο κανονικότητας της κατανομής στις μεταβλητές οριζόντιας ακτίνας $R$ , επίκλισης $q$ , ελικτότητας $K$ και συντελεστών εκμετάλλευσης τριβής $n$ .....	81
Σχήμα 5.12: Αποτελέσματα παραμετρικού συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (Pearson) για τις μεταβλητές οριζόντιας ακτίνας $R$ , επίκλισης $q$ , ελικτότητας $K$ και συντελεστών εκμετάλλευσης τριβής $n$ .....	82
Σχήμα 5.13: Αποτελέσματα μη παραμετρικού συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (Spearman) για τις μεταβλητές οριζόντιας ακτίνας $R$ , επίκλισης $q$ , ελικτότητας $K$ και συντελεστών εκμετάλλευσης τριβής $n$ .....	83

Σχήμα 5.14: Συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X και RAL με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης .....	85
Σχήμα 5.15: Συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 50% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X και RAL με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης .....	86
Σχήμα 5.16: Συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X και RAL με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης .....	87
Σχήμα 5.17: Συγκεντρωτικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης .....	88
Σχήμα 5.18: Συγκεντρωτικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά RAL με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης .....	89
Σχήμα 5.19: Συγκεντρωτικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X με την ελικτότητα καμπύλης .....	90
Σχήμα 5.20: Συγκεντρωτικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά RAL με την ελικτότητα καμπύλης .....	91
Σχήμα 5.21: Συγκεντρωτικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης .....	97
Σχήμα 5.22: Συγκεντρωτικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά RAL με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης .....	98
Σχήμα 5.23: Συσχέτιση του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή εγκάρσιας τριβής κατά OMOE-X 2001, RAL 2012 και AASHTO 2018 με τη ταχύτητα .....	103
Σχήμα 5.24: Συσχέτιση μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής και ταχύτητας με βάση τις προτεινόμενες τιμές κατά AASHTO 2018 .....	104
Σχήμα 5.25: Αποτελέσματα παραμετρικού συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (Pearson) για τις μεταβλητές οριζόντιας ακτίνας (R), επίκλισης (q), ελικτότητας (K), συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής (n), αριθμού ατυχημάτων και δείκτη ατυχημάτων (ACCR) .....	109
Σχήμα 5.26: Αποτελέσματα μη παραμετρικού συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (Spearman) για τις μεταβλητές οριζόντιας ακτίνας (R), επίκλισης (q), ελικτότητας (K), συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής (n), αριθμού ατυχημάτων και δείκτη ατυχημάτων (ACCR) .....	110
Σχήμα 5.27: Συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων ACCR με το συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X και RAL .....	111
Σχήμα 5.28: Συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων ACCR με το συντελεστή εκμετάλλευσης στο 50% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X και RAL .....	112
Σχήμα 5.29: Συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων ACCR με το συντελεστή εκμετάλλευσης στο 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X και RAL .....	113
Σχήμα 5.30: Στατιστικά αποτελέσματα μοντέλων απλής λογιστικής παλινδρόμησης των ατυχημάτων και της αντιπροσωπευτικής τιμής του συντελεστή εκμετάλλευσης για το 50% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X (αριστερά) και κατά RAL (δεξιά) .....	115

Σχήμα 5.31: Στατιστικά αποτελέσματα μοντέλων απλής λογιστικής παλινδρόμησης των ατυχημάτων και της αντιπροσωπευτικής τιμής του συντελεστή εκμετάλλευσης για το 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ (αριστερά) και κατά RAL (δεξιά) .....	116
Σχήμα 5.32: Παράμετροι μοντέλων απλής λογιστικής παλινδρόμησης των ατυχημάτων και της αντιπροσωπευτικής τιμής του συντελεστή εκμετάλλευσης για το 50% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ (πάνω) και για το 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ (κέντρο) και κατά RAL (κάτω) .....	117

## Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2.1: Εκμεταλλεούμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής και εναπομένων συντελεστής εφαπτομενικής τριβής (Lamm et al., 1999) .....	9
Πίνακας 2.2: Επιτρεπόμενες τιμές του μέγιστου συντελεστή εφαπτομενικής και πλευρικής τριβής και των ελάχιστων ακτινών καμπυλών συναρτήσει της ταχύτητας, του ανάγλυφου του εδάφους και των μέγιστων και ελάχιστων τιμών επίκλισης (ΟΜΟΕ-Χ, 2001) .....	22
Πίνακας 2.3: Κριτήριο Ασφαλείας III για οδούς των ομάδων Α και Β (ΟΜΟΕ-Χ, 2001) .....	23
Πίνακας 2.4: Συντελεστής εφαπτομενικής τριβής (RAL 2012) .....	24
Πίνακας 2.5: Όρια συντελεστή πλευρικής τριβής και μέγιστων πλευρικών επιταχύνσεων για την άνεση των επιβατών οχήματος συναρτήσει της ταχύτητας (AASHTO 2018) .....	26
Πίνακας 2.6: Ελάχιστες ακτίνες καμπύλης βάσει των ταχυτήτων σχεδιασμού της καμπύλης και του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, για επίκλιση 4% .....	28
Πίνακας 2.7: Ελάχιστες ακτίνες καμπύλης βάσει των ταχυτήτων σχεδιασμού της καμπύλης και του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, για επίκλιση 6% .....	28
Πίνακας 2.8: Ελάχιστες ακτίνες καμπύλης βάσει των ταχυτήτων σχεδιασμού της καμπύλης και του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, για επίκλιση 8% .....	29
Πίνακας 2.9: Ελάχιστες ακτίνες καμπύλης βάσει των ταχυτήτων σχεδιασμού της καμπύλης και του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, για επίκλιση 10% .....	29
Πίνακας 2.10: Ελάχιστες ακτίνες καμπύλης βάσει των ταχυτήτων σχεδιασμού της καμπύλης και του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, για επίκλιση 12% .....	29
Πίνακας 3.1: Γεωμετρικά στοιχεία ακτίνας (R), επίκλισης ( $\alpha$ ), γωνίας αλλαγής κατεύθυνσης ( $\gamma$ ), μήκους καμπύλης (L) και ελικτότητας (K) των καμπύλων του υπό μελέτη οδικού τμήματος .....	47
Πίνακας 3.2: Οδικά ατυχήματα ανά καμπύλη ανάλογα με τις επιπτώσεις που προκλήθηκαν και συνολικά ατυχήματα ανά καμπύλη κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας .....	50
Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικές ταχύτητες και στατιστικά στοιχεία ταχυτήτων ανά καμπύλη.....	61
Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικές τιμές συντελεστή πλευρικής τριβής ανά καμπύλη .....	67
Πίνακας 5.3: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή πλευρικής τριβής σε σχέση με την ακτίνα της καμπύλης και το ποσοστό διελεύσεων των οδηγών .....	68
Πίνακας 5.4: Συσχέτιση του ποσοστού των οδηγών που υπερβαίνει τα όρια άνεσης και ασφαλείας με την ακτίνα της καμπύλης .....	70
Πίνακας 5.5: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL συναρτήσει της μέγιστης και ελάχιστης ταχύτητας διέλευσης των οδηγών και της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης .....	75

Πίνακας 5.6: Αντιπροσωπευτικές τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων συναρτήσεως της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης .....	80
Πίνακας 5.7: Αντιπροσωπευτικές τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων συναρτήσεως διαφορετικού εύρους οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης .....	87
Πίνακας 5.8: Αντιπροσωπευτικές τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά RAL για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων συναρτήσεως του εύρους οριζόντιας ακτίνας ανά κλάση σχεδιασμού των γερμανικών υπεραστικών οδών .....	88
Πίνακας 5.9: Αντιπροσωπευτικές τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων συναρτήσεως διαφορετικού εύρους ελκτικότητας της καμπύλης .....	90
Πίνακας 5.10: Αντιπροσωπευτικές τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά RAL για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων συναρτήσεως διαφορετικού εύρους ελκτικότητας της καμπύλης .....	92
Πίνακας 5.11: Τιμές ταχύτητας, συντελεστή πλευρικής τριβής και συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων, για συνθήκες ημέρας και νύχτας, συναρτήσεως της οριζόντιας ακτίνας και της επίκλισης της καμπύλης .....	95
Πίνακας 5.12: Χαρακτηριστικές ταχύτητες και στατιστικά στοιχεία ταχυτήτων ανά κατεύθυνση οδού και ανά καμπύλη .....	99
Πίνακας 5.13: Σύγκριση των μέγιστων συντελεστών πλευρικής τριβής κατά AASHTO 2018, ΟΜΟΕ-Χ 2001 και RAL 2012 και συσχέτιση με τη ταχύτητα .....	102
Πίνακας 5.14: Τιμές ταχύτητας και συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL για ποσοστό απόκλισης κατά AASHTO $n' = 100\%$ .....	105
Πίνακας 5.15: Δείκτης ατυχημάτων (ACCR) συναρτήσεως του αριθμού ατυχημάτων ανά καμπύλη, της οριζόντιας ακτίνας (R) και του μήκους (L) της καμπύλης .....	107
Πίνακας 5.16: Αποτελέσματα λόγου πιθανοτήτων πρόκλησης ατυχήματος προς μη πρόκληση ατυχήματος από τη χρήση ενδεικτικών τιμών συντελεστή εκμετάλλευσης στα μοντέλα logit κατά ΟΜΟΕ-Χ και κατά RAL .....	118



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά

Στο εισαγωγικό κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται οι προβληματισμοί και οι ελλείψεις που εντοπίστηκαν στο υφιστάμενο επιστημονικό υπόβαθρο και που έδωσαν το ερέθισμα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης μελέτης. Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει αρχικά την συνοπτική περιγραφή του προβλήματος και στη συνέχεια ορισμένα στοιχεία οδικής ασφάλειας σχετικά με το αντικείμενο της. Επιπλέον παρουσιάζεται εν συντομία η διάρθρωση της εργασίας μέσα από τη περιληπτική περιγραφή των κεφαλαίων που αυτή περιλαμβάνει.

### 1.2 Περιγραφή του Υπό Διερεύνηση Προβλήματος

Κατά το σχεδιασμό μιας οδού, πέρα από την επίτευξη ενός συνεχούς και αρμονικού γεωμετρικού σχεδιασμού κρίνεται σημαντική και η διασφάλιση των κατάλληλων συνθηκών δυναμικής της κίνησης των οχημάτων. Είναι γεγονός πως στις οριζόντιες καμπύλες υπεραστικών οδών 2 λωρίδων κυκλοφορίας συμβαίνουν τα περισσότερα ατυχήματα μεταξύ των τμημάτων του οδικού δικτύου. Ένας μεγάλος αριθμός αυτών συμβαίνει λόγω απώλειας πρόσφυσης του οχήματος με το οδόστρωμα, με αποτέλεσμα την ολίσθησή του και την απώλεια ελέγχου του οχήματος από τον οδηγό. Στο υπεραστικό δίκτυο έχει διαπιστωθεί πως τα περισσότερα ατυχήματα συμβαίνουν σε οριζόντιες καμπύλες μικρής ακτίνας, καθώς σε αυτές παρατηρούνται μεγαλύτερες αποκλίσεις από τη θεωρητική ταχύτητα βάσει της οποίας έχουν σχεδιαστεί οι καμπύλες. Ωστόσο η μεγάλη απόκλιση της πραγματικής ταχύτητας που επιλέγουν οι οδηγοί από την θεωρητική ταχύτητα σχεδιασμού της οδού έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση στις πιθανότητες να συμβεί κάποιο ατύχημα. Στη περίπτωση αυτή, ιδιαίτερα όταν οι οδηγοί επιλέγουν υπερβολικά μεγάλη ταχύτητα για να διέλθουν από μια καμπύλη, απαιτούνται συνθήκες υψηλής πρόσφυσης μεταξύ των ελαστικών και του οδοστρώματος ώστε το όχημα να μην ολισθήσει και να μην εκτραπεί της πορείας του.

Γίνεται κατανοητό ότι κατά τη κίνηση των οχημάτων σε μια καμπύλη θα πρέπει να διατίθεται ικανοποιητικό μέρος της συνολικής τριβής στην εγκάρσια κατεύθυνση ούτως ώστε να διασφαλιστεί η ασφάλεια της κίνησής τους. Το ποσοστό της τριβής που αναλώνεται στην εγκάρσια ή πλευρική συνιστώσα καθορίζεται μέσω του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n$  που προτείνεται από τους διεθνείς κανονισμούς σχεδίασης οδών. Από τη μελέτη της διαθέσιμης βιβλιογραφίας διαπιστώθηκε πως παρουσιάζεται κενό στην ερευνητική μελέτη σχετικά με την επιλογή του καταλληλότερου συντελεστή εκμετάλλευσης. Οι υφιστάμενοι κανονισμοί προτείνουν συγκεκριμένες τιμές του συντελεστή, για τις οποίες ωστόσο υπάρχει αμφιβολία σχετικά με την ανταπόκρισή τους στις πραγματικές συνθήκες κίνησης των οχημάτων στις καμπύλες. Διερευνάται λοιπόν κατά πόσο οι τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης που επιλέγονται για το σχεδιασμό των οριζόντιων καμπυλών είναι συντηρητικές, και εάν οι οδηγοί στη πραγματικότητα αξιοποιούν μεγαλύτερο ποσοστό κατά τη διέλευσή τους από μια οριζόντια καμπύλη. Ως εκ τούτου, η επιλογή και η υιοθέτηση ενός ρεαλιστικού συντελεστή εκμετάλλευσης κατά το σχεδιασμό των οδών είναι ιδιαίτερα σημαντική, ειδικά στις καμπύλες με μικρότερες ακτίνες.

### 1.3 Οδική Ασφάλεια

Η διασφάλιση της ασφαλούς κίνησης των οχημάτων αποτελεί μια από τις βασικότερες αρχές της συγκοινωνιακής τεχνικής. Στη περίπτωση όπου δεν ληφθεί υπόψη ο παράγοντας της ασφάλειας κατά το γεωμετρικό σχεδιασμό μιας οδού, είναι ιδιαίτερα πιθανό να δημιουργηθούν

σοβαρά προβλήματα που θα οδηγήσουν στη πρόκληση ατυχημάτων. Η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού οδήγησε στην αύξηση του αριθμού των οχημάτων που κινούνται στα οδικά δίκτυα σε όλο το κόσμο και κατέστησε τα οδικά ατυχήματα ως ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στο τομέα των μεταφορών.

Τα οδικά ατυχήματα που διαδραματίζονται στα οδικά δίκτυα παγκοσμίως έχουν άμεση σχέση με την αλληλεπίδραση που υφίσταται μεταξύ του οδηγού, του οχήματος και της οδού. Οι 3 αυτοί παράγοντες φαίνεται να επηρεάζουν τη συχνότητα με την οποία πραγματοποιούνται τα ατυχήματα τόσο μεμονωμένα όσο και μέσω των σχέσεων που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Αναλύοντας κάθε έναν από αυτούς διαπιστώνεται ότι υπάρχουν συγκεκριμένα στοιχεία που επιδρούν στο τομέα της οδικής ασφάλειας και τα οποία μπορούν να αξιολογηθούν. Ειδικότερα σε περιπτώσεις ανομοιογένειας στο σχεδιασμό της οδού, η προσδοκία του οδηγού δεν ταυτίζεται με τις πραγματικές οδικές συνθήκες, με αποτέλεσμα πιθανώς τη λανθασμένη εκτίμησή του κατά τη κίνηση στην οδό και κατ' επέκταση την αυξημένη πιθανότητα ατυχήματος. Μάλιστα, οι Krebs and Kloeckner (1977) συμπέραναν πως οι περιοχές στις οποίες έχει καταγραφεί μεγάλος αριθμός ατυχημάτων καταδεικνύουν ότι, εκτός της πιθανής ευθύνης των οδηγών, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες σχετιζόμενοι με την ίδια την οδό που ευθύνονται για τη διεξαγωγή ατυχημάτων.

Οι οριζόντιες καμπύλες αποτελούν σημαντικά οδικά τμήματα για τα οποία θα πρέπει να μεριμνάται η οδική τους ασφάλεια. Κατά το σχεδιασμό τους θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με ιδιαίτερη προσοχή παράγοντες όπως τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά, ο περιβάλλοντας χώρος, οι προβλεπόμενοι κυκλοφοριακοί φόρτοι, η τοπογραφία αλλά και οι καιρικές συνθήκες. Πολλές μελέτες έχουν διεξαχθεί σχετικά με τον εντοπισμό των κατάλληλων εννοιών και μέσων για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας στις οριζόντιες καμπύλες. Σε αυτές η βασική ιδέα στηρίζεται στην αντιμετώπιση της φυγόκεντρης δύναμης που αναπτύσσεται στα οχήματα κατά τη διέλευσή τους με συγκεκριμένη ταχύτητα από τη καμπύλη. Συνεπώς, για την ασφάλεια και την άνεση των οδηγών οι υπάρχοντες κανονισμοί σχεδιασμού ορίζουν μια ελάχιστη τιμή ακτίνας της καμπύλης για δεδομένη ταχύτητα.

Από την έως τώρα εμπειρία στο σχεδιασμό των οδών, έχει διαπιστωθεί ότι τα περισσότερα ατυχήματα συμβαίνουν στις οριζόντιες καμπύλες, ειδικά σε αυτές με μικρή ακτίνα. Στις τελευταίες, η φυγόκεντρος δύναμη που αναπτύσσεται και η επίδρασή της στον οδηγό είναι μεγαλύτερη. Στην έρευνα των Lamm et al. (2002) αναφέρεται πως, από ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν σε υπεραστικές οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας στη Γερμανία και στις ΗΠΑ, διαπιστώθηκε ότι στις καμπύλες με ελκτικότητα μεγαλύτερη από 360 gons/km και ακτίνα μικρότερη των 175 m ο αριθμός των ατυχημάτων ήταν σημαντικά μεγαλύτερος συγκριτικά με τα ατυχήματα στις καμπύλες με ελκτικότητα μικρότερη από 180 gon/km και ακτίνα μεγαλύτερη από 350 m.

Σύμφωνα με τη National Highway Traffic Safety Administration των ΗΠΑ το 2015 συνέβησαν 6,3 εκατομμύρια τροχαία ατυχήματα στην Αμερική, τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα 35.092 νεκρούς και 2,44 εκατομμύρια τραυματίες. Το 23% των θανάσιμων ατυχημάτων σημειώθηκε σε οριζόντιες καμπύλες, με αυτές ωστόσο να καταλαμβάνουν μόλις το 5% του συνολικού οδικού δικτύου της Αμερικής.

Επιπρόσθετα, οι υπεραστικές οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας αποτελούν τις οδούς με το μεγαλύτερο κίνδυνο πρόκλησης ατυχήματος, τόσο αριθμητικά όσο και ως προς τη σοβαρότητα των ατυχημάτων. Σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς RAL 2012, τα περισσότερα ατυχήματα κατανέμονται στις υπεραστικές οδούς (72%) από ότι στις αστικές (28%). Συνεπώς

προκύπτει ότι θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στις οριζόντιες καμπύλες υπεραστικών οδών 2 λωρίδων κυκλοφορίας.

Τα τροχαία ατυχήματα που προκαλούνται λόγω της πλευρικής αστάθειας του οχήματος αποτελούσαν διαχρονικά μια ανησυχητική παράμετρο ως προς την οδική ασφάλεια σε όλο το κόσμο. Στο πλαίσιο αυτό αρκετοί ερευνητές μέσα από τις μελέτες τους προσπάθησαν να διερευνήσουν τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να μειωθεί ο κίνδυνος που προκαλείται λόγω της πλευρικής αστάθειας των οχημάτων. Γίνεται αντιληπτό ότι η ενίσχυση της οδικής ασφάλειας μέσω της αύξησης της παρεχόμενης τριβής οδοστρώματος όπου αυτό είναι δυνατό, αποτελεί έναν σημαντικό στόχο που θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την ανάπτυξη των κατευθύνσεων για το σχεδιασμό υπεραστικών οδών. Έχει διαπιστωθεί από πολλούς ερευνητές πως η παροχή επαρκούς τριβής έναντι ολίσθησης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με ιδιαίτερη προσοχή ως κύριος παράγοντας υπέρ της ασφαλείας κατά το σχεδιασμό ή τη τροποποίηση των οδών. Οι Glennon et al. (1983) μελετώντας τα στοιχεία ατυχημάτων κατέληξαν πως η ικανότητα επαρκούς πρόσφυσης του οδοστρώματος έναντι ολίσθησης σχετίζεται με την ασφάλεια. Επίσης διαπίστωσαν πως με τη μείωση της ικανότητας αυτής αυξάνεται η πιθανότητα μετατροπής της καμπύλης σε πιθανό τμήμα συχνών ατυχημάτων. Παράλληλα, η ανεπαρκής αντίσταση του οδοστρώματος έναντι της ολίσθησης αποτελεί σοβαρό περιορισμό για την ασφαλή οδήγηση σε υψηλές ταχύτητες, ειδικά σε υπεραστικές οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας και σε συνθήκες υγρού οδοστρώματος (Kummer and Meyer, 1967).

### 1.4 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία απαρτίζεται από συνολικά 6 κεφάλαια. Στο 1<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (ΕΙΣΑΓΩΓΗ) παρουσιάζονται οι προβληματισμοί και οι ελλείψεις που εντοπίστηκαν στο υφιστάμενο επιστημονικό υπόβαθρο και που έδωσαν το ερέθισμα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης μελέτης. Σε αυτό περιλαμβάνεται η συνοπτική περιγραφή του προβλήματος καθώς και ορισμένα στοιχεία οδικής ασφάλειας σχετικά με το αντικείμενο της έρευνας. Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ) παρουσιάζονται τα ευρήματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη της σχετικής με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας βιβλιογραφίας και του γενικότερου επιστημονικού υποβάθρου. Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ) περιγράφονται τα συνολικά δεδομένα που θα αξιοποιηθούν κατά το στάδιο της ανάλυσης που θα πραγματοποιηθεί σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας, καθώς επίσης και η μέθοδος συλλογής τους. Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ) περιγράφονται οι διαδικασίες που εφαρμόζονται για τον έλεγχο και την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων, ούτως ώστε να προκύψουν τα τελικά δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν στο στάδιο της ανάλυσης. Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο (ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ) παρουσιάζονται οι διαδικασίες και οι υπολογισμοί κατά την αξιοποίηση και την ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων, ώστε να προκύψουν οι αντιπροσωπευτικές τιμές των ζητούμενων μεγεθών. Οι τιμές αυτές αξιολογούνται ώστε να προκύψουν τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις από την ανάλυση. Στο 6<sup>ο</sup> και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας (ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ) παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις διαδικασίες που εφαρμόστηκαν και την εκτενή ανάλυση που πραγματοποιήθηκε κατά την εκπόνησή της, καθώς και ορισμένες προτάσεις με σκοπό τη περαιτέρω αξιοποίησή τους σε μελλοντικές έρευνες.

## 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

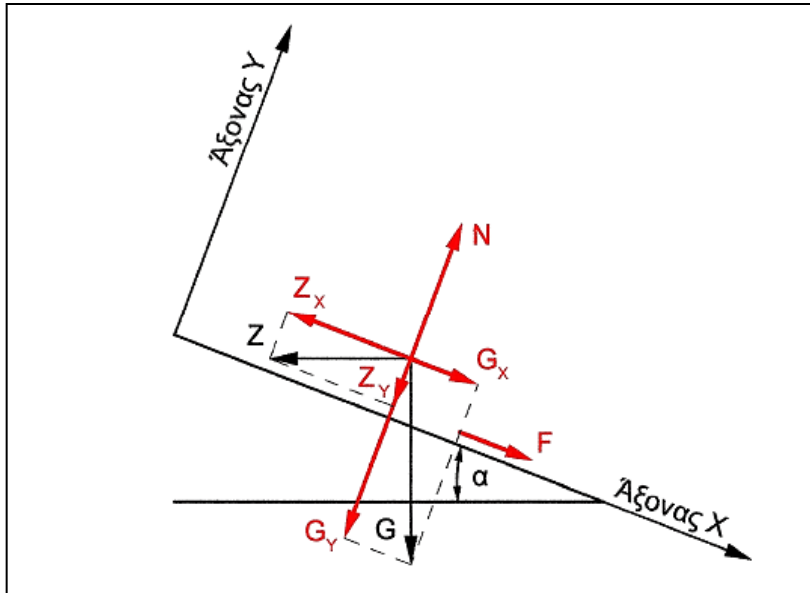
### 2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα ευρήματα και τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη της σχετικής με το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας βιβλιογραφίας και του γενικότερου επιστημονικού υποβάθρου. Ειδικότερα γίνεται αναφορά στις έννοιες και στα μεγέθη που θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια της εργασίας, καθώς επίσης και στις παρεμφερείς μεθοδολογίες που μελετήθηκαν.

### 2.2 Δυναμική της Κίνησης των Οχημάτων

Στην οδοποιία η δυναμική της κίνησης των οχημάτων προσεγγίζεται συχνά με βάση το απλοποιημένο μοντέλο εγκάρσιας ευστάθειας. Σύμφωνα με αυτό, το όχημα προσομοιώνεται με υλικό σημείο (σημειακή μάζα) χωρίς να λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως ο τύπος του οχήματος, η θέση του κέντρου βάρους, τα επιμέρους χαρακτηριστικά του οχήματος κ.α. Όλες οι δυνάμεις ασκούνται στη προβολή του κέντρου μάζας του στο οδόστρωμα.

Κατά τη κίνηση ενός οχήματος σε μια καμπύλη τροχιά, ασκούνται σε αυτό η φυγόκεντρος δύναμη ( $Z$ ) και το βάρος του οχήματος ( $G$ ). Η φυγόκεντρος δύναμη αναπτύσσεται στην εγκάρσια κατά τη κίνηση του οχήματος διεύθυνση και ωθεί το όχημα προς το εξωτερικό της καμπύλης. Οι δυνάμεις αυτές εξισορροποούνται από τις αντιδράσεις των τροχών ( $N$ ) και από τη τριβή ( $F$ ) που αναπτύσσεται μεταξύ του οδοστρώματος και των τροχών του οχήματος. Οι δυνάμεις που ενεργούν στο όχημα κατά τη κίνησή του σε ένα καμπύλο τμήμα παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.1: Ανάλυση δυνάμεων κατά τη κίνηση του οχήματος σε καμπύλο τμήμα οδού (Αποστολέρης, 2015)

Η φυγόκεντρος δύναμη που ασκείται στο όχημα εξισορροπείται από το άθροισμα της συνιστώσας του βάρους και της εγκάρσιας συνιστώσας της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ των ελαστικών του οχήματος και του οδοστρώματος. Παράλληλα, ένα μέρος της φυγόκεντρης δύναμης αντισταθμίζεται από την επίκλιση που εφαρμόζεται στο οδόστρωμα.

Όταν ένα όχημα κινείται σε μια καμπύλη, η συνολική τριβή μεταξύ του οδοστρώματος και των τροχών του οχήματος επιμερίζεται σε 2 συνιστώσες. Κατά ένα ποσοστό αναλώνεται στην εγκάρσια ή πλευρική συνιστώσα η οποία ενεργεί κάθετα στον άξονα κίνησης (άξονας οδού) του οχήματος και κατά ένα άλλο ποσοστό στην εφαπτομενική συνιστώσα που ενεργεί παράλληλα με τη διεύθυνση κίνησης του οχήματος. Η ποσότητα της τριβής που αναλώνεται στην εγκάρσια συνιστώσα είναι απαραίτητη ώστε να εξισορροπηθεί η φυγόκεντρος δύναμη και το όχημα να διατηρήσει τη τροχιά του στη καμπύλη. Ταυτόχρονα όμως είναι σημαντικό να απομένει επαρκής ποσότητα και για την εφαπτομενική κατεύθυνση, η οποία είναι απαραίτητη για τη κίνηση και τη συμπεριφορά του οχήματος στους ελιγμούς επιτάχυνσης ή επιβράδυνσης που πραγματοποιεί ο οδηγός.

Και οι δύο συνιστώσες εκφράζονται μέσω των αντίστοιχων συντελεστών εφαπτομενικής ( $f_t$ ) και πλευρικής ή εγκάρσιας ( $f_R$ ) τριβής. Ο συντελεστής τριβής προκύπτει από το πηλίκο της δύναμης της τριβής προς τη κάθετη δύναμη που ασκείται στο ελαστικό του οχήματος. Όταν ένα όχημα κινείται σε ευθύγραμμο τμήμα τότε η τριβή που ασκείται αφορά μόνο την εφαπτομενική συνιστώσα, ενώ όταν κινείται σε καμπύλο τμήμα τότε η τριβή επιμερίζεται τόσο στην εγκάρσια όσο και στην εφαπτομενική συνιστώσα.

Το ανώτερο όριο του εφαπτομενικού ή εγκάρσιου συντελεστή τριβής αποτελεί το σημείο στο οποίο ο τροχός του οχήματος ολισθαίνει. Στη συγκεκριμένη κατάσταση διαταράσσεται η ισορροπία του οχήματος και είναι πιθανή η απώλεια ελέγχου του. Το σημείο αυτό είναι γνωστό ως σημείο επικείμενης ολίσθησης. Η αποφυγή ολίσθησης των τροχών σε οποιαδήποτε κατεύθυνση αποτελεί προϋπόθεση για την ασφαλή κίνηση ενός οχήματος. Όταν η τριβή που δημιουργείται από την επιφάνεια του οδοστρώματος μειώνεται, ο κίνδυνος ολίσθησης του οχήματος αυξάνεται. Το πρόβλημα επιδεινώνεται όταν η επιφάνεια του οδοστρώματος είναι βρεγμένη και όχι στεγνή, καθώς μειώνεται η διεπαφή μεταξύ των ελαστικών και του οδοστρώματος. Κατά συνέπεια, η τριβή που αναπτύσσεται σε ένα όχημα μεταξύ των ελαστικών του και του οδοστρώματος διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αποφυγή ολίσθησης των τροχών του οχήματος σε οποιοδήποτε σημείο της τροχιάς τους.

Μέσω της επίκλισης που εφαρμόζεται στις οδούς, αντισταθμίζεται ένα μέρος της συνολικής πλευρικής επιτάχυνσης που δέχεται το όχημα, ενώ το υπόλοιπο μέρος της πλευρικής επιτάχυνσης εκφράζεται ως η υπολειπόμενη πλευρική επιτάχυνση και αποτελεί το μέτρο των δυνάμεων που δρουν στο όχημα και ευθύνονται για την ολίσθηση ή την ανατροπή του. Το μέρος αυτό εξισορροπείται από τη πλευρική τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των ελαστικών του οχήματος και του οδοστρώματος, με αποτέλεσμα τη διατήρηση της πορείας του οχήματος πάνω στη καμπύλη (Harwood and Mason, 1994; Tan, 2005). Η υπολειπόμενη πλευρική επιτάχυνση υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$a_{net} = \frac{V^2}{15 \cdot R} - q \quad (2.1)$$

όπου:

$a_{net}$  (m/s<sup>2</sup>): η υπολειπόμενη πλευρική επιτάχυνση

V (km/h): η ταχύτητα του οχήματος

R (m): οριζόντια ακτίνα της καμπύλης

q: η επίκλιση της καμπύλης

### 2.2.1 Βασική Εξίσωση της Δυναμικής της Κίνησης των Οχημάτων

Η βασική σχέση που διέπει τη κίνηση ενός οχήματος σε μια καμπύλη, παρουσιάζεται παρακάτω. Αποτελεί τη βασική εξίσωση της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων και συσχετίζει το συντελεστή πλευρικής τριβής με τη ταχύτητα, την ακτίνα και την επίκλιση μιας οριζόντιας καμπύλης της οδού.

$$f_R + q = \frac{V^2}{g \cdot R} \quad \text{ή} \quad R = \frac{V^2}{127 \cdot (f_R + q)} \quad (2.2)$$

όπου:

$f_R$ : ο αναπτυσσόμενος/απαιτούμενος συντελεστής πλευρικής τριβής

$V$  (km/h): η ταχύτητα διέλευσης του οχήματος

$R$  (m): η ακτίνα της καμπύλης

$q$ : η επίκλιση της καμπύλης

$g$ : η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g = 9,89 \text{ m/sec}^2$ )

Η σχέση (2.2) χρησιμοποιείται ευρέως ως βάση για το σχεδιασμό οριζόντιων καμπυλών. Ωστόσο δεν λαμβάνει υπόψη της ορισμένες συνθήκες που υφίστανται κατά τη κίνηση των οχημάτων σε μια οδό. Αρχικά παραλείπεται η επίδραση της κατά μήκος κλίσης της οδού στη περίπτωση όπου ένα όχημα κινείται σε επίπεδο ή κεκλιμένο έδαφος. Εντούτοις είναι γεγονός ότι οι κατά μήκος κλίσεις, κυρίως οι μεγάλες, επηρεάζουν την απόδοση των οχημάτων. Ο Bonneson (2000) κατέδειξε ότι στις περιπτώσεις κατωφέρειας ή ανωφέρειας, η απαιτούμενη πλευρική τριβή αυξάνεται λόγω της πέδησης που πραγματοποιείται κατά τη κίνηση σε κατωφέρεια και λόγω των δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά τη κίνηση σε ανωφέρεια. Αντίστοιχα οι Kordani and Molan (2015) μελετώντας το συνδυασμό οριζόντιας καμπύλης με τη κατά μήκος κλίση, διαπίστωσαν ότι ο συντελεστής πλευρικής τριβής είχε μεγαλύτερες τιμές στις κατωφέρειες.

Από την έρευνα του Gillespie (1992) διαπιστώθηκε πως η συμπεριφορά και η απόδοση των οχημάτων σε τμήματα ανωφέρειας είναι διαφορετική, ανάλογα με το αν η κίνηση πραγματοποιείται στους μπροστινούς ή τους πίσω τροχούς. Στη περίπτωση όπου η κίνηση γίνεται με χρήση των πίσω τροχών αντί των εμπρόσθιων, αποδείχθηκε πως το όχημα μπορεί να ανταπεξέλθει καλύτερα σε μια ανωφέρεια. Ωστόσο, η διακύμανση των τιμών του συντελεστή τριβής στους επιμέρους τροχούς των οχημάτων δεν δημιουργεί την ανάγκη τροποποίησης των τρεχουσών κανονισμών σχεδιασμού οριζόντιων καμπυλών προκειμένου να ληφθούν υπόψη οι παρατηρούμενες διακυμάνσεις μεταξύ των τροχών και η μεμονωμένη ανάλυση κάθε τροχού, συνεπώς δεν θεωρήθηκε απαραίτητη η τροποποίηση της τυπικής εξίσωσης δυναμικής της κίνησης.

Θα πρέπει να επισημανθεί πως οι απαιτήσεις τριβής για τα βαρέα οχήματα είναι μεγαλύτερες ούτως ώστε να διασφαλιστεί η ευστάθειά τους κατά τον ελιγμό στροφής σε μια καμπύλη και σε συνθήκες μειωμένης τριβής.

Επιπλέον, στη σχέση (2.2) δεν υπεισέρχεται η ακριβής πορεία του οχήματος κατά τη πορεία του σε μια οριζόντια καμπύλη. Μελέτες έχουν δείξει ότι τα οχήματα διαγράφουν τροχιά μικρότερης ακτίνας σε ορισμένα σημεία της καμπύλης (Glennon and Weaver, 1973). Στα σημεία αυτά η πλευρική επιτάχυνση αναμένεται να είναι μεγαλύτερη από το μέγιστο συντελεστή πλευρικής τριβής που προτείνεται από τους κανονισμούς για τα οχήματα που διέρχονται από τη καμπύλη με τη ταχύτητα σχεδιασμού. Κατά συνέπεια, στη περίπτωση όπου οι οδηγοί επιλέγουν να

διαγράψουν πορεία διαφορετικής ακτίνας από την αρχική ακτίνα της καμπύλης, οι απαιτήσεις σε τριβή αναμένεται να είναι διαφορετικές από τη τιμή που προτείνεται βάσει της σχέσης (2.2).

Οι Dunlap et al. (1978) στην έρευνά τους διαπίστωσαν ότι ο συνδυασμός εγκάρσιας και κατά μήκος κλίσης δεν έχει σημαντική επίδραση στο καθορισμό της ελάχιστης ακτίνας της οριζόντιας καμπύλης. Επίσης ανέπτυξαν τη παρακάτω εξίσωση για το προσδιορισμό του συντελεστή πλευρικής τριβής βάσει του μοντέλου σημειακής μάζας, συμπεριλαμβάνοντας και τη παράμετρο της κατά μήκος κλίσης.

$$f = \frac{V^2}{g \cdot R} \cdot \cos(0,01 \cdot e) - \sin(0,01 \cdot e) - \sin(0,01 \cdot e) \cdot \cos(G) \quad (2.3)$$

όπου:

f: ο αναπτυσσόμενος/απαιτούμενος συντελεστής πλευρικής τριβής

V (km/h): η ταχύτητα διέλευσης του οχήματος

R (m): η ακτίνα της καμπύλης

e: η επίκλιση της καμπύλης

G: η κατά μήκος κλίση της οδού

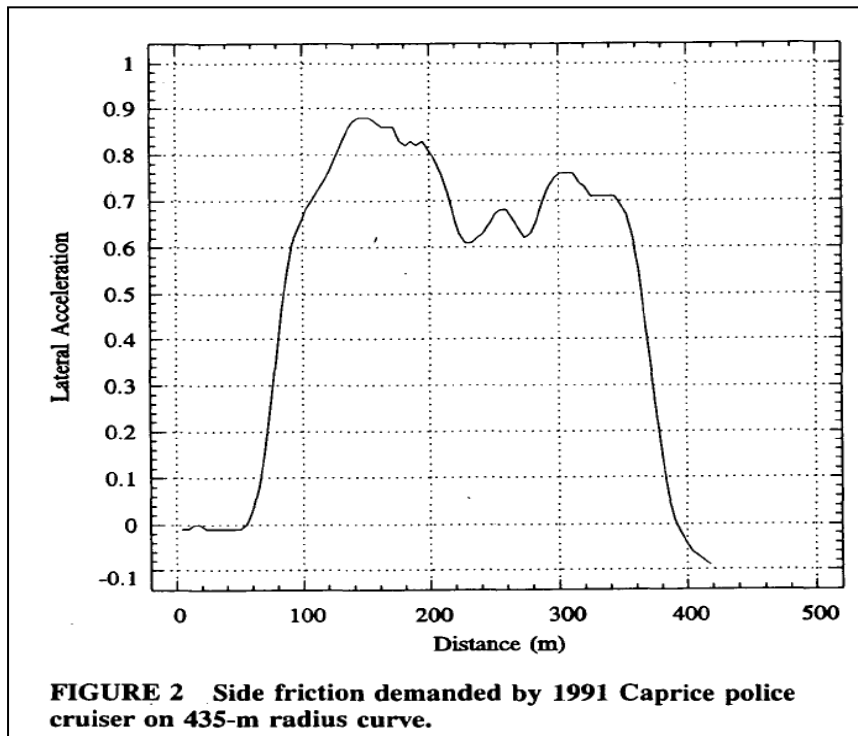
g: η επιτάχυνση της βαρύτητας ( $g = 9,89 \text{ m/sec}^2$ )

Οι MacAdam et al. (1985) διερευνώντας την επάρκεια του μοντέλου σημειακής μάζας στη πρόβλεψη της απαιτούμενης τριβής για τα οχήματα που διέρχονται από καμπύλες, συμπέραναν πως η πλευρική τριβή μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος διαφοροποιείται ανάλογα με τη θέση των ελαστικών κατά τη κίνηση του οχήματος σε μια οριζόντια καμπύλη. Το γεγονός αυτό όπως γίνεται κατανοητό δεν εξετάζεται από τη σχέση (2.2). Διαπίστωσαν πως το φαινόμενο αυτό συμβαίνει κυρίως στα φορτηγά και σε μικρότερο βαθμό στα επιβατηγά οχήματα λόγω των διαφορετικών αναρτήσεων και των υπερυψωμένων κέντρων μάζας που εμφανίζουν τα πρώτα, χωρίς ωστόσο να επηρεάζεται η σταθερότητα των οχημάτων και η ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζονται κατά τη διέλευση από μια καμπύλη. Παράλληλα, από την ίδια έρευνα προέκυψε ότι για τα 5-αξονικά φορτηγά (και άρα και για παρόμοια φορτηγά που παρατηρούνται στη κυκλοφορία) η ελάχιστη απαιτούμενη πλευρική τριβή πρέπει να είναι κατά 10% μεγαλύτερη από την αντίστοιχη που προτείνεται για τα επιβατηγά οχήματα μέσω της βασικής εξίσωσης δυναμικής της κίνησης. Το ίδιο συμπέρασμα προέκυψε και από την έρευνα των Harwood et al. (1990), υιοθετώντας την γενική υπόθεση ότι όλα τα οχήματα έχουν τα ίδια περιθώρια άνεσης και ασφάλειας κατά τη διέλευσή τους από τις καμπύλες.

### 2.2.2 Μεταβολή Πλευρικής Επιτάχυνσης

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί πως, θεωρητικά, κατά τη κίνηση ενός οχήματος σε μια καμπύλη χωρίς τόξα συναρμογής, η πλευρική επιτάχυνση που δέχεται ο οδηγός μεταβάλλεται στιγμιαία από μια ελάχιστη τιμή στο τέλος της ευθυγραμμίας έως τη μέγιστη τιμή πλευρικής επιτάχυνσης που απαιτείται ώστε να διασχίσει το όχημα τη καμπύλη. Η αντίθετη διαδικασία συμβαίνει κατά την έξοδο από αυτή. Στη πραγματικότητα ωστόσο, κατά τη μετάβαση των οχημάτων από την ευθυγραμμία στη καμπύλη και κατά τη κίνηση σε αυτή, η πλευρική επιτάχυνση που δέχεται ο οδηγός αυξάνεται σταδιακά και όχι στιγμιαία (Harwood and Mason, 1994). Ειδικά στη περίπτωση ύπαρξης τόξων συναρμογής (κλωθοειδείς), στη παραπάνω διαπίστωση συμβάλλει και ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζεται η επίκλιση σε μια οριζοντιογραφική καμπύλη. Αντίστοιχα η απαιτούμενη ποσότητα πλευρικής τριβής διαφέρει κατά μήκος της καμπύλης και αυξάνεται με

τη ταχύτητα. Από την έρευνα των Morrall and Talarico (1994) διαπιστώθηκε πως σε στεγνά οδοστρώματα η μέγιστη τιμή απαιτούμενης πλευρικής τριβής μπορεί να παρουσιαστεί σε οποιοδήποτε σημείο εντός της καμπύλης. Σε παγωμένα διαπιστώθηκε ότι η ποσότητα της απαιτούμενης πλευρικής τριβής αυξάνεται και μειώνεται σταδιακά κατά την είσοδο και κατά την έξοδο αντίστοιχα του οχήματος από τη καμπύλη, όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί. Τα παραπάνω αιτιολογούνται από το γεγονός ότι οι συντελεστές πλευρικής τριβής ουσιαστικά εκφράζονται συναρτήσει της επιτάχυνσης της βαρύτητας όπως αναφέρθηκε παραπάνω, και άρα αποτελούν στη πραγματικότητα επιταχύνσεις/επιβραδύνσεις που μεταβάλλονται κατά τη διέλευση του οχήματος από τη καμπύλη.



Σχήμα 2.2: Μεταβολή του απαιτούμενου συντελεστή πλευρικής τριβής/πλευρικής επιτάχυνσης συναρτήσει της θέσης του οχήματος στη καμπύλη (Morrall and Talarico, 1994)

### 2.3 Συντελεστής Τριβής

Η κατανομή της συνολικής διαθέσιμης τριβής οδοστρώματος στην εφαπτομενική και στην εγκάρσια συνιστώσα κατά τη κίνηση ενός οχήματος σε μια καμπύλη μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση που παρουσιάζεται στην έρευνα του Lamm (1984):

$$\left(\frac{f_T}{f_{T,max}}\right)^2 + \left(\frac{f_R}{f_{R,max}}\right)^2 = n^2 \leq 1 \quad (2.4)$$

όπου :

$f_T$ : η απαιτούμενη εφαπτομενική τριβή

$f_{T,max}$ : ο μέγιστος διαθέσιμος συντελεστής εφαπτομενικής τριβής

$f_R$ : η απαιτούμενη πλευρική τριβή

$f_{R,max}$ : ο μέγιστος διαθέσιμος συντελεστής εγκάρσιας τριβής

$n$ : το ποσοστό εκμετάλλευσης του μέγιστου συντελεστή τριβής



Ο συντελεστής πλευρικής τριβής εκφράζει την απαιτούμενη πλευρική τριβή για ένα όχημα προκειμένου να διατηρήσει τη τροχιά του σε μια καμπύλη και να μην εκτραπεί, ενώ αντιπροσωπεύει τη ποσότητα της πλευρικής επιτάχυνσης που δεν εξισορροπείται από την επίκλιση. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή πλευρικής τριβής εκφράζει τη μέγιστη απαιτούμενη πλευρική τριβή για χρήση στο σχεδιασμό οριζόντιων καμπυλών και στους αμερικανικούς κανονισμούς βασίζεται στα όρια άνεσης του οδηγού (στην ανοχή του για πλευρική επιτάχυνση).

Όταν είναι γνωστή η τιμή της απαιτούμενης τριβής στη μια κατεύθυνση (εγκάρσια ή εφαπτομενική), τότε από την εξίσωση (2.2) μπορεί να υπολογιστεί η εναπομένονσα ποσότητα τριβής στην άλλη κατεύθυνση. Γίνεται κατανοητό ότι κατά τη κίνηση ενός οχήματος σε μια οριζόντια καμπύλη δεν θα πρέπει όλο το ποσοστό της τριβής να κατανέμεται μόνο στην εγκάρσια κατεύθυνση μέσω των συντελεστών πλευρικής τριβής που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό. Το ποσοστό αυτό δεν θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλο ώστε να διατίθεται επαρκές ποσοστό στην εφαπτομενική κατεύθυνση που σχετίζεται με τις ανάγκες σε πέδηση, επιτάχυνση, επιβράδυνση και τυχόν ελιγμών του οχήματος. Θα πρέπει λοιπόν να περιοριστεί η επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή πλευρικής τριβής σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό της μέγιστης τιμής του, ώστε να εναπομένει επαρκής τριβή για τις υπόλοιπες λειτουργίες του οχήματος.

Οι Lamm et al. (1999) προσδιόρισαν στην έρευνά τους τις τιμές του εκμεταλλεόμενου συντελεστή εγκάρσιας τριβής και του εναπομένου συντελεστή εφαπτομενικής τριβής. Επίσης συμπέραναν ότι η πλευρική τριβή είναι περίπου 7,5% μικρότερη από την εφαπτομενική τριβή. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 2.1: Εκμεταλλεόμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής και εναπομένων συντελεστής εφαπτομενικής τριβής (Lamm et al., 1999)

Εγκάρσια	Εφαπτομενική
$n = \left(\frac{f_R}{f_{Rmax}}\right), (\%)$	$n = \left(\frac{f_T}{f_{Tmax}}\right), (\%)$
0,0	100,0
10,0	99,5
20,0	98,0
30,0	95,4
40,0	91,7
50,0	86,6
60,0	80,0
70,0	71,4
80,0	60,0
90,0	43,6
100,0	0,0

Για συγκεκριμένη ταχύτητα, ο συντελεστής πλευρικής τριβής θεωρείται ότι είναι 1,45 φορές μεγαλύτερος από το συντελεστή εφαπτομενικής τριβής για μπλοκαρισμένους τροχούς (Harwood and Mason, 1994).

Οι Donnell et al. (2016) προσδιόρισαν τις τιμές πλευρικής τριβής κατά τη κίνηση επιβατικών οχημάτων σε οριζόντιες καμπύλες, για ταχύτητες από 25 mph έως 80 mph και για υγρό οδόστρωμα. Η απαιτούμενη πλευρική τριβή, εκφραζόμενη με το συντελεστή πλευρικής τριβής  $f_R$  υπολογίστηκε με χρήση της βασικής εξίσωσης δυναμικής της κίνησης για ταχύτητες ίσες με τις ταχύτητες σχεδιασμού συν 5 mph. Οι τιμές που προέκυψαν κυμαίνονταν, για επίκλιση 2%, από 0,40 (για ταχύτητα σχεδιασμού 25 mph) έως 0,10 (για ταχύτητα σχεδιασμού 80 mph), και για επίκλιση 8% από 0,43 (για ταχύτητα σχεδιασμού 25 mph) έως 0,11 (για ταχύτητα σχεδιασμού 80 mph). Αντίστοιχα, οι Harwood et al. (1989) προσδιόρισαν τη μέγιστη πλευρική τριβή σε υγρό οδόστρωμα ίση με 0,58 (για ταχύτητα 30 km/h) και 0,41 (για ταχύτητα 113 km/h).

Οι τιμές του συντελεστή τριβής καθορίζονται από τις οδηγίες και τους κανονισμούς σχεδιασμού οδών κάθε χώρας, ωστόσο παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ των κανονισμών. Οι διαφορές αυτές επηρεάζουν τις τιμές της ελάχιστης ακτίνας που επιλέγονται κατά το σχεδιασμό μιας οριζόντιας καμπύλης.

### 2.3.1 Σχέσεις Υπολογισμού

Οι Lamm et al. (1990) συμπέραναν πως η χρήση μικρότερων μέγιστων συντελεστών τριβής θα ενισχύσει την ασφάλεια της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων. Επίσης, θα συνεισφέρει στη μείωση του αριθμού και της σοβαρότητας των ατυχημάτων, καθώς και στη λύση του προβλήματος διατήρησης υψηλών συντελεστών εφασπτομενικής και πλευρικής τριβής στις περιπτώσεις υψηλών ταχυτήτων σχεδιασμού. Παράλληλα, ανέπτυξαν τις παρακάτω σχέσεις υπολογισμού του συντελεστή πλευρικής ( $f_R$ ) και εφασπτομενικής ( $f_T$ ) τριβής συναρτήσει της ταχύτητας σχεδιασμού, αξιοποιώντας τα δεδομένα των κανονισμών σχεδιασμού 5 συνολικών χωρών (ΗΠΑ, Γερμανία, Γαλλία, Σουηδία και Ελβετία):

$$f_T = 0,591 - 7,81 \cdot 10^{-3} \cdot V_d + 3,9 \cdot 10^{-5} \cdot (V_d)^2 \quad (2.5)$$

$$f_R = 0,269 - 3,53 \cdot 10^{-3} \cdot V_d + 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot (V_d)^2 \quad (2.6)$$

Επίσης οι Kordani et al. (2014) στην έρευνά τους ανέπτυξαν εξισώσεις υπολογισμού του συντελεστή πλευρικής τριβής για οχήματα τύπου sedan, SUV καθώς και για φορτηγά. Οι εξισώσεις αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια :

- Για Sedan:  $f = 3,769 - 3,108 \cdot \ln v - 0,1 - 0,003 \cdot g$  (2.7)

- Για SUV:  $f = 0,663 - 0,12 \cdot \ln v + 7,479 E^{-7} \cdot g$  (2.8)

- Για φορτηγά:  $f = 0,827 - 0,155 \cdot \ln v - 0,001 \cdot g$  (2.9)

### 2.3.2 Κατάσταση Οδοστρώματος

Είναι γεγονός πως σε μια οδό θα πρέπει να διατίθεται επαρκής τριβή μεταξύ των ελαστικών και του οδοστρώματος, ούτως ώστε να διασφαλιστεί η ασφαλής πραγματοποίηση πιθανών ελιγμών από τους οδηγούς και η διατήρηση της πορείας τους στη λωρίδα που κινούνται. Με τη πάροδο του χρόνου η κατάσταση του οδοστρώματος μπορεί να μεταβληθεί λόγω φθοράς, καιρικών συνθηκών και άλλων παραγόντων, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του συντελεστή τριβής μεταξύ οδοστρώματος και ελαστικών και κατ' επέκταση τον αυξημένο κίνδυνο ολίσθησης του οχήματος.

Η κακή κατάσταση στην οποία μπορεί να βρεθεί το οδόστρωμα της οδού είτε λόγω φθοράς είτε λόγω καιρικών συνθηκών (βρεγμένο οδόστρωμα) αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους

παράγοντες που συμβάλλει στη διεξαγωγή ενός τροχαίου ατυχήματος. Επίσης, παράγοντες όπως η υπερβολική ταχύτητα ή η απόσπαση της προσοχής του οδηγού κατά τη διάρκεια της οδήγησης μπορούν επίσης να οδηγήσουν στην αύξηση του ποσοστού των ατυχημάτων σε τμήματα της οδού όπου η απαίτηση σε τριβή είναι υψηλή. Έχει αποδεχθεί πως στα υγρά οδοστρώματα οι τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής είναι μικρότερες από ότι στα στεγνά οδοστρώματα (Tan et al., 2005).

Τέλος, οι τιμές πλευρικής τριβής οδοστρώματος διαφέρουν μεταξύ των υπεραστικών οδών 2 λωρίδων κυκλοφορίας και των αντίστοιχων οδών με περισσότερες λωρίδες. Αυτό οφείλεται στις διαφορές μεταξύ των επιφανειών του οδοστρώματος.

## 2.4 Ιστορική Αναδρομή

Οι οριακές τιμές πλευρικής τριβής που υιοθετούνται κατά το σχεδιασμό οδών στους αμερικανικούς κανονισμούς AASHTO καθιερώθηκαν εντός της δεκαετίας του 1940 και βασίζονται στα όρια της άνεσης που νιώθουν οι οδηγοί όταν οδηγούν σε μια καμπύλη. Η διαθέσιμη πλευρική τριβή μεταξύ του ελαστικού και της επιφάνειας του οδοστρώματος αποτελεί μέρος της συνολικής παρεχόμενης τριβής του οδοστρώματος και εξαρτάται από τη κατάσταση του, το τύπο και τη κατάσταση των ελαστικών, τη λειτουργική ταχύτητα των οχημάτων και τη λωρίδα στην οποία κινείται το όχημα.

Οι υφιστάμενοι κανονισμοί σχεδιασμού οδών σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι παρέχουν επαρκή περιθώρια ασφαλείας όσον αφορά τα φαινόμενα ολίσθησης και ανατροπής των οχημάτων, τόσο των επιβατικών όσο και των βαρέως τύπου. Ωστόσο οι τιμές σχεδιασμού που προτείνονται σε πολλούς κανονισμούς, όπως στους αμερικανικούς AASHTO, έχουν προκύψει από παλαιότερες έρευνες στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα τριβής οδοστρώματος που μετρήθηκαν τις δεκαετίες του 1930 και 1940. Τα δεδομένα αυτά αξιοποιήθηκαν ώστε να οριστούν οι οριακές τιμές τριβής για τις κατευθύνσεις και τις οδηγίες σχεδιασμού των οριζόντιων καμπύλων. Είναι γεγονός όμως πως από τότε έχουν διαφοροποιηθεί τα χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες των σύγχρονων αυτοκινήτων, ο σχεδιασμός των ελαστικών και των οδοστρωμάτων καθώς και οι μέθοδοι μέτρησης της τριβής.

Όπως επισημαίνεται και από τους Harwood and Mason (1994), επειδή οι οδηγίες AASHTO επιλέγουν τα όρια άνεσης του οδηγού βάσει των ερευνών που πραγματοποιήθηκαν πριν αρκετά χρόνια, διακρίνεται η ανάγκη επαναξιολόγησης των ορίων αυτών ώστε να ανταποκρίνονται στα σύγχρονα δεδομένα. Είναι γεγονός πως ο σχεδιασμός των οχημάτων έχει μεταβληθεί δραματικά κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών. Πέρα από την ανησυχία για τη διατήρηση άνετων επιπέδων πλευρικής επιτάχυνσης για τους οδηγούς, υπάρχει και η ανησυχία ασφάλειας για την ελαχιστοποίηση των ατυχημάτων που σχετίζονται με την ολίσθηση ή την ανατροπή των οχημάτων. Τα κριτήρια σχεδιασμού οριζόντιων καμπυλών κατά AASHTO δεν βασίζονται ρητά σε εκτιμήσεις των διαθέσιμων επιπέδων τριβής μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος ή στα όρια ανατροπής του οχήματος. Αντίθετα, θεωρείται ότι τα διαθέσιμα επίπεδα τριβής και τα όρια ανατροπής είναι υψηλότερα από τα καθορισμένα επίπεδα άνεσης του οδηγού. Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ένας οδηγός να υπερβαίνει τη ταχύτητα σχεδιασμού γιατί έχει μεγαλύτερη ανοχή στη δυσφορία που προκαλείται από τη πλευρική επιτάχυνση, ωστόσο ο προβληματισμός έγκειται στη περίπτωση που αυτή η αύξηση της ταχύτητας μπορεί να οδηγήσει σε ολίσθηση ή ανατροπή του οχήματος στη συγκεκριμένη καμπύλη.

Στην έρευνα των Donell et al. (2016) αναφέρεται πως, από μετρήσεις του συντελεστή τριβής που πραγματοποιήθηκαν τις δεκαετίες του 1930 και 1940, προέκυψαν οι οριακές τιμές 1,01 (για

ταχύτητα 5 mph) έως 0,89 (για ταχύτητα 30 mph) σε στεγνό οδόστρωμα από σκυρόδεμα, ενώ σε υγρό οδόστρωμα από σκυρόδεμα προέκυψαν οι οριακές τιμές του συντελεστή από 0,78 (για ταχύτητα 5 mph) έως 0,64 (για ταχύτητα 30 mph). Αντίστοιχα, αναφέρεται πως σε άλλες έρευνες προτάθηκαν οι μέγιστοι συντελεστές πλευρικής τριβής σχεδιασμού ίσοι με 0,21 (για ταχύτητα  $\leq 20$  mph), 0,18 (για ταχύτητα μεταξύ 25 mph - 30 mph) και 0,15 (για ταχύτητα  $\geq 35$  mph).

Ο Emmerson (1969) προσδιόρισε τις τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής σε οριζόντιες καμπύλες και βρήκε ότι για ακτίνες καμπυλών μεταξύ 196 m - 350 m η μέση τιμή του συντελεστή πλευρικής τριβής ήταν ίση με 0,11, ενώ για πάνω από το 80% των οχημάτων ο συντελεστής προέκυψε μικρότερος από 0,15.

Οι μεταβολές και οι τροποποιήσεις στις τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής για το σχεδιασμό οριζόντιων καμπυλών μέσα από τις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί, συναρτήσε της ταχύτητας, παρουσιάζονται εμποπτικά στο παρακάτω σχήμα σύμφωνα με τους αμερικανικούς κανονισμούς AASHTO 2018.

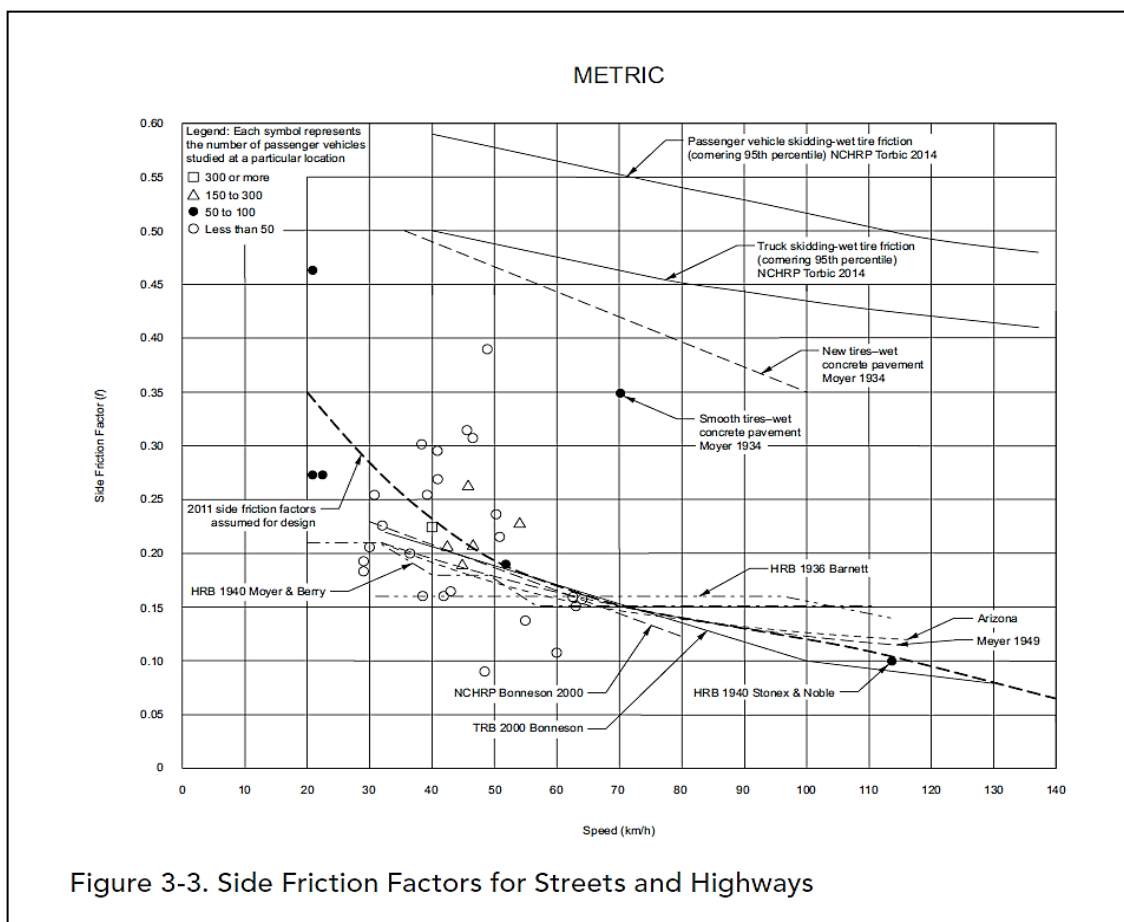


Figure 3-3. Side Friction Factors for Streets and Highways

Σχήμα 2.3: Μεταβολή συντελεστή πλευρικής τριβής συναρτήσε της ταχύτητας (AASHTO, 2018)

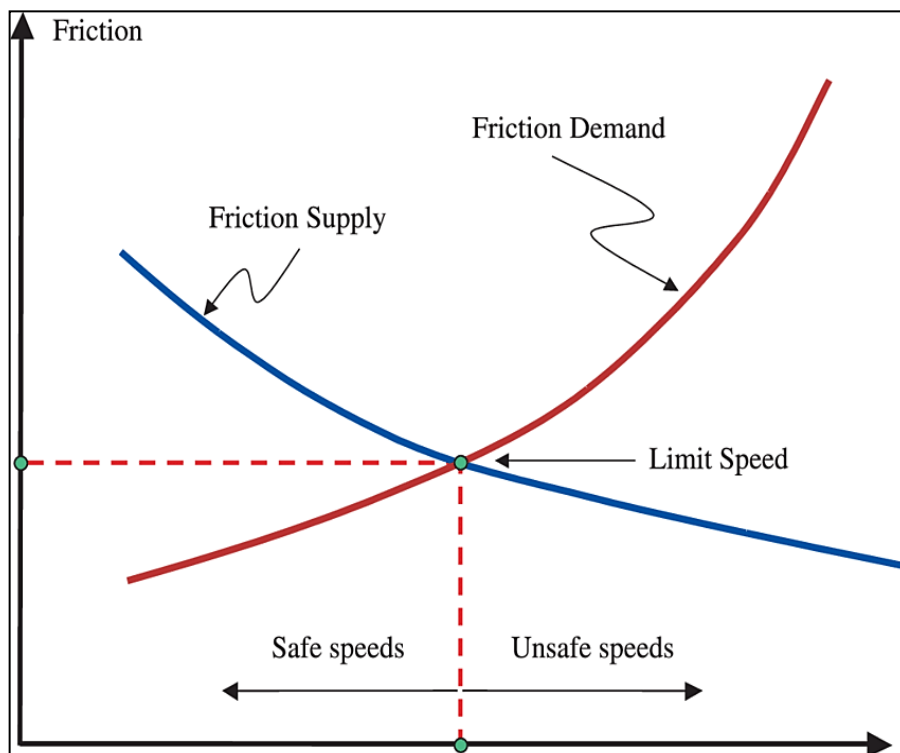
Η σημαντικότητα των αλλαγών που έχουν επέλθει τα τελευταία 50 χρόνια και αφορούν τόσο τους ίδιους τους οδηγούς (ηλικίες, φύλο, εμπειρία) όσο και το σχεδιασμό των οχημάτων (βελτιωμένες αναρτήσεις και ελαστικά, προσθήκη ζωνών ασφαλείας, πιο άνετα καθίσματα, αλλαγή στο κέντρο βάρους) δεν έχει εξεταστεί ή ποσοτικοποιηθεί κατά το σχεδιασμό οριζόντιων καμπυλών. Κατά συνέπεια οι τιμές αυτές είναι ιδιαίτερα πιθανό να μην ανταποκρίνονται στις σύγχρονες ανάγκες οδήγησης και στις υφιστάμενες συνθήκες. Για παράδειγμα, οι αλλαγές στα

χαρακτηριστικά των οχημάτων και η βελτίωση των επιδόσεών τους δίνει πλέον τη δυνατότητα σε έναν οδηγό ενός σύγχρονου οχήματος να διέλθει με μεγαλύτερη ταχύτητα σε μια καμπύλη συγκριτικά με έναν οδηγό παλαιότερου οχήματος.

## 2.5 Ολίσθηση - Ανατροπή Οχημάτων

Τα φαινόμενα ολίσθησης και ανατροπής των οχημάτων αποτελούν τις συνηθέστερες καταστάσεις απώλειας της πλευρικής ευστάθειας του οχήματος. Στηριζόμενοι στην ανάλυση των τροχαίων ατυχημάτων στις καμπύλες, η ολίσθηση (skidding), η ανατροπή (rollover) και η πλαγιολίσθηση (lateral drift) έχουν χαρακτηριστεί ως τα φαινόμενα για την αξιολόγηση της πλευρικής ευστάθειας των οχημάτων (Yin et al., 2020).

Ένα όχημα θα ολισθήσει στη περίπτωση που η απαιτούμενη πλευρική τριβή, που εκφράζεται μέσω του συντελεστή πλευρικής τριβής, είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη διατιθέμενη τριβή που μπορεί να παραχθεί μεταξύ των ελαστικών και του οδοστρώματος και που χρησιμεύει για την εξισορρόπηση της πλευρικής επιτάχυνσης και την αποφυγή ολίσθησης. Στη περίπτωση δηλαδή που το όχημα απαιτήσει περισσότερη πλευρική τριβή από αυτή που μπορεί να παρέχει η επιφάνεια του οδοστρώματος και των ελαστικών, τότε θα ολισθήσει και θα εκτραπεί της πορείας του στη καμπύλη (Morrall and Talarico, 1994). Αντίστοιχα το όχημα θα ανατραπεί εάν η μέγιστη πλευρική επιτάχυνση του ορίου ανατροπής είναι μεγαλύτερη από το συντελεστή πλευρικής τριβής.



Σχήμα 2.4: Συσχέτιση διατιθέμενης και απαιτούμενης τριβής με τη ταχύτητα του οχήματος (Echaveguren and Bustos, 2005)

Τα φαινόμενα ολίσθησης και ανατροπής του οχήματος μελετώνται κατά την αξιολόγηση της πλευρικής ευστάθειας ενός οχήματος που διέρχεται από μια καμπύλη (Yin et al., 2016). Η ολίσθηση μπορεί να αφορά είτε έναν είτε περισσότερους τροχούς του οχήματος. Για παράδειγμα, κατά τη πλαγιολίσθηση (drift) υπερβαίνονται τα όρια πρόσφυσης των πίσω

συνήθως τροχών του οχήματος, με αποτέλεσμα αυτό να ολισθήσει κατά τη διάρκεια κίνησής του σε μια καμπύλη.

Οι Yin et al. (2016) μελέτησαν την επίδραση παραμέτρων όπως τα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας της οδού και της ταχύτητας των οχημάτων στα φαινόμενα ολίσθησης και ανατροπής. Από την έρευνά τους προέκυψε πως ο μέγιστος συντελεστής πλευρικής τριβής, η ταχύτητα του οχήματος, η οριζόντια χάραξη και η επίκλιση της οδού αποτελούν στοιχεία που επηρεάζουν σημαντικά, είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά, τη πιθανότητα ολίσθησης ή ανατροπής του οχήματος. Ειδικότερα, συμπέραναν πως η επίκλιση της οδού και η ταχύτητα του οχήματος έχουν σημαντική επίδραση στη πλευρική μεταφορά του φορτίου/μάζας του (lateral load transfer ratio) και κατ' επέκταση στη πιθανότητα ανατροπής του. Η οριζόντια χάραξη και η ταχύτητα του οχήματος επηρεάζουν τη τιμή της πλευρικής επιτάχυνσης που δέχεται και άρα και τη πιθανότητα ανατροπής του. Ως εκ τούτου, με την αύξηση των τιμών των παραμέτρων όπως η ακτίνα και η επίκλιση της οδού μειώνεται η πιθανότητα ανατροπής, ενώ με την αύξηση της ταχύτητας αυξάνεται. Παράλληλα οι ερευνητές οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα πως με την αύξηση της επίκλισης ή του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής αυξάνεται και το περιθώριο ασφαλείας έναντι ολίσθησης, συνεπώς η πιθανότητα ολίσθησης του οχήματος είναι μικρότερη. Αντίθετα, με την αύξηση της ταχύτητας μειώνεται το περιθώριο ασφαλείας έναντι ολίσθησης και έτσι το όχημα είναι πιο πιθανό να ολισθήσει.

Σύμφωνα με τους αμερικανικούς κανονισμούς AASHTO, ο σχεδιασμός των καμπυλών βασίζεται στην επιλογή μιας τιμής του συντελεστή  $f$  μικρότερης ή ίσης από μια μέγιστη τιμή  $f_{max}$ , η οποία επιλέγεται βάσει των ορίων άνεσης του οδηγού (ανοχή για πλευρική επιτάχυνση). Μια περαιτέρω υπόθεση που αναφέρεται αλλά δεν αποδεικνύεται ρητά στις οδηγίες AASHTO είναι ότι οι μέγιστοι συντελεστές πλευρικής τριβής που επιλέγονται για το σχεδιασμό επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι μικρότεροι από τη διατιθέμενη πλευρική τριβή και από τη μέγιστη πλευρική επιτάχυνση που μπορεί να δεχθεί το όχημα πριν ανατραπεί. Και οι δύο αυτές υποθέσεις σε γενικές γραμμές μπορούν να εφαρμοστούν τόσο για τα επιβατικά οχήματα όσο και για τα φορτηγά κατά το σχεδιασμό οριζόντιων καμπύλων (Harwood et al., 1989 & 2003).

Ο Glennon (1969) επισήμανε τους λόγους για τους οποίους παρατηρείται υπέρβαση των τιμών σχεδιασμού τριβής. Ειδικότερα, ευθύνονται η πραγματική πορεία του οχήματος στη καμπύλη συγκριτικά με τη καμπυλότητα της οδού, η ταχύτητα του οχήματος σε σχέση με τη ταχύτητα σχεδιασμού και ο ελιγμός προσπέρασης μεταξύ 2 οχημάτων των οποίων οι ταχύτητές τους είναι μεγαλύτερες από τη ταχύτητα σχεδιασμού και η διαφορά τους είναι 10 mph.

Αξίζει να σημειωθεί πως ο συνδυασμός οριζόντιας και κατακόρυφης καμπύλης έχει αποδειχθεί ότι επιδρά αρνητικά στην οδική ασφάλεια, ενώ κατά το συνδυασμό αυτό η πιθανότητα ολίσθησης/ανατροπής του οχήματος είναι μεγαλύτερη (Awadallah, 2005; You et al., 2012). Οι Torbic et al. (2014) διαπίστωσαν ότι στη περίπτωση αυτή οι τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής ήταν σημαντικά διαφορετικές από τα αποτελέσματα που προέκυψαν και παρουσιάζονται στους αμερικανικούς κανονισμούς.

Τέλος, τα αποτελέσματα των ερευνών έδειξαν ότι ο κίνδυνος ατυχήματος μπορεί να μειωθεί βελτιώνοντας ή περιορίζοντας σημαντικούς παράγοντες που επιδρούν στη πλευρική ευστάθεια των οχημάτων.

### 2.5.1 Όριο Ανατροπής

Το όριο ανατροπής ενός οχήματος αντιστοιχεί στη πλευρική επιτάχυνση για την οποία το όχημα θα ανατραπεί, με βάση τα χαρακτηριστικά του. Οι Yin et al. (2016) προσδιόρισαν στην έρευνά

τους τα όρια ανατροπής για 2 περιπτώσεις, ανάλογα με το εκάστοτε μοντέλο που χρησιμοποιούσαν. Στη πρώτη περίπτωση όπου η πλευρική επιτάχυνση μεταβαλλόταν αργά το όριο ανατροπής προέκυψε ίσο με  $0,9\text{-g}$ , ενώ στη δεύτερη περίπτωση όπου η πλευρική επιτάχυνση μεταβαλλόταν γρήγορα το όριο προέκυψε ίσο με  $0,63\text{-g}$  ( $g$ : η επιτάχυνση της βαρύτητας ίση με  $9,81\text{ m/sec}^2$ ). Στην ίδια έρευνα καθορίστηκαν τα όρια ολίσθησης με βάση τη τιμή της γωνίας πλαγιολίσθησης (sideslip angle). Για συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καμπύλης όπως η επίκλιση, η κατά μήκος κλίση και η ακτίνα, καθώς και για ταχύτητες άνω των  $80\text{ km/h}$ , το όριο καθορίστηκε στις εξής γωνίες :  $3,71^\circ$  (μέγιστος συντελεστής τριβής  $0,8$ ),  $2,34^\circ$  (μέγιστος συντελεστής τριβής  $0,5$ ) και  $0,59^\circ$  (μέγιστος συντελεστής τριβής  $0,2$ ).

Από τις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί έχει διαπιστωθεί τα βαρέα οχήματα, όπως τα φορτηγά όλων των κατηγοριών, έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να ανατραπούν συγκριτικά με τα επιβατικά οχήματα (Ι.Χ.) εξαιτίας της μεγαλύτερης πλευρικής επιτάχυνσης που δέχονται (Abdi et al., 2019). Στη συγκεκριμένη κατηγορία οχημάτων δίνεται μεγαλύτερη σημασία στο όριο ανατροπής από ότι στα επιβατικά οχήματα, λόγω του μεγέθους τους και των χαρακτηριστικών τους (Harwood et al., 2003). Επιπρόσθετα, από αντίστοιχες έρευνες που έχουν διεξαχθεί διαπιστώθηκε πως τα επιβατικά οχήματα έχουν υψηλά όρια ανατροπής έως και  $1,2\text{-g}$  (McGee, 1981) σε αντίθεση με τα βαρέα οχήματα των οποίων το όριο ανατροπής κυμαίνεται από  $0,20\text{-g}$  έως  $0,40\text{-g}$ , δηλαδή πολύ μικρότερα από ότι τα επιβατικά. Ειδικότερα, σύμφωνα με τον McGee (1981), οι Αμερικανικοί κανονισμοί (AASHTO) δεν υπαγορεύουν ρητά συγκεκριμένα όρια ανατροπής των οχημάτων. Το όριο αυτό μπορεί να φτάσει έως και τη τιμή  $1,2\text{-g}$  για τα επιβατικά οχήματα, το οποίο κρίνεται αρκετά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο όριο ολίσθησης. Για το λόγο αυτό η θεώρηση ενός ορίου ανατροπής για τα επιβατικά οχήματα δεν είναι τόσο κρίσιμη, καθώς ένα όχημα της κατηγορίας αυτής αναμένεται να ολισθήσει αρκετά πριν ανατραπεί.

Το όριο ανατροπής κρίνεται σημαντικότερο για τα βαρέα οχήματα, καθώς διαθέτουν διαφορετικές αναρτήσεις και υψηλότερα κέντρα βάρους από τα επιβατικά, συνεπώς τείνουν να έχουν μικρότερα όρια ανατροπής. Για τυπικές κατηγορίες φορτηγών, το συγκεκριμένο όριο προσδιορίστηκε ίσο με τη τιμή  $0,30\text{-g}$  σε κάποια φορτηγά (MacAdam et al., 1985).

### 2.5.2 Περιθώριο Ασφαλείας

Αρκετές έρευνες έχουν διεξαχθεί διεθνώς που εξετάζουν το περιθώριο ασφαλείας έναντι δύο εκ των συνηθέστερων φαινομένων παρεκτροπής των οχημάτων από τη πορεία τους, της ολίσθησης και της ανατροπής. Παράλληλα αρκετοί ερευνητές εξέτασαν και διερεύνησαν τα όρια ανατροπής και ολίσθησης τόσο για επιβατικά όσο και για βαρέα οχήματα.

Το περιθώριο ασφαλείας έναντι ολίσθησης των τροχών του οχήματος σε καμπύλα τμήματα οδού εκφράζεται ως η διαφορά μεταξύ της διαθέσιμης από τους κανονισμούς πλευρικής τριβής και της πλευρικής τριβής που απαιτείται για τη διέλευση του οχήματος από τη καμπύλη. Η απαιτούμενη τριβή αντιστοιχεί στο μέρος της πλευρικής επιτάχυνσης που δεν εξισορροπείται από την επίκλιση. Ουσιαστικά το περιθώριο έναντι ολίσθησης εκφράζεται από τη διαφορά μιας θεωρητικής (από τους κανονισμούς) τιμής του συντελεστή πλευρικής τριβής με τη πραγματική τιμή του συντελεστή, όπως αυτή προκύπτει κατά τη διέλευση ενός οχήματος από μια καμπύλη, και αντιπροσωπεύει την επιπλέον πλευρική επιτάχυνση που μπορεί να δεχθεί ένα όχημα χωρίς να ολισθήσει. Η τάση του οχήματος να ολισθήσει θα πρέπει να αντισταθεί από τη τριβή μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος. Κατ' επέκταση ένα όχημα θα ολισθήσει και θα εκτραπεί της πορείας του από τη καμπύλη όταν η απαιτούμενη πλευρική τριβή υπερβεί τη διατιθέμενη από τους κανονισμούς πλευρική τριβή μεταξύ οδοστρώματος και ελαστικού που εκφράζεται μέσω

του διατιθέμενου συντελεστή πλευρικής τριβής (Harwood and Mason, 1994; Tan, 2005; Yin et al., 2020). Επίσης η τάση του οχήματος να ανατραπεί θα πρέπει να εξισορροπηθεί από τη ευστάθεια του οχήματος έναντι ανατροπής. Στη περίπτωση ανατροπής θα πρέπει το όριο ανατροπής που καθορίζεται για το όχημα να μην υπερβαίνει την υπολειπόμενη πλευρική επιτάχυνση που δεν εξισορροπείται από την επίκλιση (Harwood and Mason, 1994; Tan, 2005; Yin et al., 2020).

Τα περιθώρια ασφαλείας έναντι ολίσθησης και ανατροπής αποτελούν ένα μέτρο σύγκρισης του κατά πόσο μπορούν τα οχήματα να υπερβούν ή να αποκλίνουν από τις θεωρητικές συνθήκες χωρίς να ολισθήσουν ή να ανατραπούν. Οι αποκλίσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε πιθανή ολίσθηση σύμφωνα με τους Harwood and Mason (1994) είναι οι εξής :

- Όταν τα οχήματα κινούνται με ταχύτητα μεγαλύτερη της ταχύτητας σχεδιασμού
- Όταν τα οχήματα παρεκκλίνουν της πορείας τους και εισέρχονται πιο κλειστά στη καμπύλη. Σε αυτή τη περίπτωση διαγράφουν τροχιά ακτίνας μικρότερης από την ακτίνα της καμπύλης.
- Όταν η απαιτούμενη τριβή είναι μεγαλύτερη από αυτή που προτείνεται από τους κανονισμούς
- Όταν η κατάσταση των ελαστικών δεν είναι καλή.

Οι δύο πρώτες περιπτώσεις αυξάνουν και τη πιθανότητα ανατροπής του οχήματος. Βάσει της έρευνας των Morrall and Talarico (1994) έχει διαπιστωθεί πως το περιθώριο ασφαλείας έναντι ολίσθησης μειώνεται με την αύξηση της καμπυλότητας και της ταχύτητας, ενώ μειώνεται με μεγαλύτερο ρυθμό όσο αυξάνεται η ταχύτητα στα υγρά οδοστρώματα από ότι στα στεγνά.

Οι Harwood et al. (1994) αξιολόγησαν την επάρκεια του περιθωρίου ασφαλείας έναντι ολίσθησης και ανατροπής για οριζόντιες καμπύλες που έχουν σχεδιαστεί σύμφωνα με τους αμερικανικούς κανονισμούς (AASHTO), τόσο για επιβατικά όσο και για βαρέα οχήματα. Διαπίστωσαν πως το περιθώριο αυτό κατά AASHTO κρίνεται επαρκές μόνο στη περίπτωση που τα οχήματα δεν υπερβαίνουν τη ταχύτητα σχεδιασμού που έχει οριστεί για κάθε καμπύλη, ακόμη και για μικρές ταχύτητες σχεδιασμού. Ακόμη, οι Harwood and Mason (1994) συμπέραναν ότι το περιθώριο ασφαλείας έναντι ολίσθησης σε στεγνό οδόστρωμα είναι αρκετά μεγαλύτερο από ότι σε υγρό. Στην ίδια έρευνα προσδιόρισαν το περιθώριο ασφαλείας έναντι ανατροπής για επιβατικά οχήματα μεταξύ των τιμών 1.03·g έως 1.10·g και για διάφορες ταχύτητες σχεδιασμού (20,30,40,50,60,70 mph). Για όλες αυτές τις ταχύτητες σχεδιασμού προέκυψε πως το περιθώριο ασφαλείας έναντι ανατροπής είναι αρκετά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο περιθώριο έναντι ολίσθησης είτε σε στεγνό είτε σε υγρό οδόστρωμα. Έτσι συμπεραίνεται ότι ο κίνδυνος ανατροπής στα επιβατικά οχήματα δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικός καθώς, εφόσον δεν συγκρουστούν με κάποιο άλλο όχημα ή αντικείμενο, είναι πιθανότερο να ολισθήσουν παρά να ανατραπούν. Επίσης, το περιθώριο ασφαλείας έναντι ανατροπής δεν εξαρτάται από το αν το οδόστρωμα είναι βρεγμένο ή στεγνό, σε αντίθεση με το αντίστοιχο περιθώριο ασφαλείας έναντι ολίσθησης, η τιμή του οποίου εξαρτάται από τις συνθήκες του οδοστρώματος.

Το αντίστοιχο περιθώριο ασφαλείας για φορτηγά και για όριο ανατροπής 0,30·g υπολογίστηκε μεταξύ των τιμών 0.13·g και 0.20·g. Το περιθώριο αυτό θεωρείται επαρκές για την αποτροπή ανατροπής των φορτηγών στη περίπτωση που διασχίζουν τη καμπύλη με ταχύτητα μικρότερη ή ίση της ταχύτητας σχεδιασμού. Αυξάνοντας τη ταχύτητα σχεδιασμού αυξάνεται και το περιθώριο ασφαλείας έναντι ανατροπής, ωστόσο το αντίστοιχο περιθώριο έναντι ολίσθησης μειώνεται. Το φαινόμενο ανατροπής θα πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη στα φορτηγά



καθώς, με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς σχεδιασμού για οριζόντιες καμπύλες, ένα φορτηγό πρώτα θα ανατραπεί πριν φτάσει σε σημείο να ολισθήσει σε στεγνό οδόστρωμα.

## 2.6 Συντελεστής Εκμετάλλευσης Τριβής

Ο συντελεστής εκμετάλλευσης τριβής ( $n$ ) εκφράζει το ποσοστό της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής του συντελεστή τριβής που θα αναλωθεί στη εγκάρσια ή πλευρική συνιστώσα της τριβής. Στους κανονισμούς σχεδιασμού οδών προτείνονται διαφορετικοί συντελεστές εκμετάλλευσης ανάλογα με το είδος και τα χαρακτηριστικά της οδού, τη τοπογραφία, το επίπεδο οδικής ασφάλειας κ.α. Γίνεται κατανοητό ότι τα αποθέματα τριβής για την εφαιπτομενική κίνηση του οχήματος θα είναι διαφορετικά ανά κανονισμό. Για παράδειγμα, στη περίπτωση που διατεθεί το 50% της τριβής στην εγκάρσια συνιστώσα, τότε θα απομένει το 87% για την εφαιπτομενική.

Κατά το σχεδιασμό νέων οδών προτείνονται διαφορετικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης ανάλογα με τη μορφολογία του εδάφους, ενώ για τις υφιστάμενες οδούς προτείνεται κατάλληλος συντελεστής εκμετάλλευσης, λαμβάνοντας υπόψη την ασφάλεια και την οικονομικότητα. Σύμφωνα με τους υφιστάμενους κανονισμούς διεθνώς, ο συντελεστής εκμετάλλευσης κυμαίνεται μεταξύ των τιμών  $n = 40\%$  και  $n = 50\%$ . Ειδικότερα, οι ΟΜΟΕ-Χ 2001 προτείνουν τιμές του συντελεστή από  $n = 10\%$  έως  $n = 45\%$  ανάλογα με την επίκλιση της οδού, τη τοπογραφία του εδάφους και για οδούς της ομάδας Α. Σε αυτή συμπεριλαμβάνονται οι υπεραστικές οδοί 2 ή περισσότερων λωρίδων κυκλοφορίας. Στους γερμανικούς κανονισμούς RAL/RAA προτείνεται συντελεστής εκμετάλλευσης  $n = 40\%$ , ενώ στους πρόσφατους αμερικανικούς κανονισμούς AASHTO δεν γίνεται αναφορά για τη προτεινόμενη τιμή του συντελεστή. Σε παλαιότερους ωστόσο κανονισμούς, οι αμερικάνικες οδηγίες AASHTO πρότειναν τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης μεταξύ 33%-47% ανάλογα με τη ταχύτητα, ενώ στις γερμανικές οδηγίες μεταξύ 10%-50%, ανάλογα με την επίκλιση της οδού.

## 2.7 Συσχέτιση Εγκάρσιας Τριβής με Άλλα Γεωμετρικά Στοιχεία

### 2.7.1 Συσχέτιση με την Οριζόντια Ακτίνα

Ένα από τα πιο σημαντικά γεωμετρικά στοιχεία μιας καμπύλης που σχετίζεται άμεσα με τις συνθήκες τριβής σε αυτή η είναι οριζόντια ακτίνα της. Η συσχέτιση της ακτίνας με τη ταχύτητα που επιλέγουν οι οδηγοί ώστε να διέλθουν από τη καμπύλη και κατ' επέκταση με τη παρεχόμενη τριβή αποτελεί αντικείμενο αρκετών μελετών. Στη περίπτωση κλειστής καμπύλης με σχετικά μικρή ακτίνα, οι οδηγοί αναγκάζονται να επιβραδύνουν και μειώσουν τη ταχύτητα τους ώστε να μην ολισθήσει το όχημά τους κατά τη διέλευση από τη καμπύλη (Donnell et al., 2016). Επίσης έχει αποδειχθεί πως στις καμπύλες με μικρή σχετικά ακτίνα το ποσοστό των ατυχημάτων είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τις καμπύλες μεγαλύτερης ακτίνας.

Επίσης έχει διαπιστωθεί πως η συσχέτιση μεταξύ του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής και της ταχύτητας μειώνεται όσο αυξάνεται η ακτίνα της καμπύλης (Morrall and Talarico, 1994). Στις καμπύλες πολύ μεγάλης ακτίνας η μέγιστη απαιτούμενη τριβή είναι μικρή, ενώ επειδή αυτές έχουν μεγαλύτερο μήκος συγκριτικά με τις καμπύλες μικρότερης ακτίνας, η πιθανότητα επίδρασης παραγόντων όπως οι ελιγμοί του οχήματος ή η κακή κατάσταση του οδοστρώματος στην απαιτούμενη ποσότητα μέγιστης τριβής είναι μεγαλύτερη. Επίσης, σε στεγνό οδόστρωμα το περιθώριο ασφαλείας μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας, με τη μείωση αυτή να πραγματοποιείται με μεγαλύτερο ρυθμό στις καμπύλες μικρότερης ακτίνας. Αντίθετα, στις καμπύλες μεγάλης ακτίνας χρησιμοποιείται ένα πολύ μικρό μέρος της πλευρικής τριβής για τη

κίνηση του οχήματος στη καμπύλη, με το υπόλοιπο ποσοστό να χρησιμοποιείται στην εφαπτομενική κατεύθυνση για τους ελιγμούς επιτάχυνσης και επιβράδυνσης. Συνεπώς οι καμπύλες αυτές προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια στη δυναμική της κίνησης του οχήματος, ενώ δεν απαιτείται η εφαρμογή μεγάλων τιμών επίκλισης.

Επιπρόσθετα, στη περίπτωση υγρού οδοστρώματος έχει διαπιστωθεί πως το περιθώριο ασφαλείας έναντι ολίσθησης στις καμπύλες μικρότερης ακτίνας είναι μικρότερο, ενώ για ταχύτητες άνω των 110 km/h είναι μηδενικό. Οι κλειστές καμπύλες δεν παρέχουν επαρκές περιθώριο ασφαλείας έναντι ολίσθησης σε συνθήκες υγρού οδοστρώματος για τα οχήματα που διέρχονται με ταχύτητα ίση με τη λειτουργική. Τέλος, έχει αποδειχθεί πως οι οδηγοί τείνουν να έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε πλευρική τριβή στις ακτίνες μικρής ακτίνας και μεγάλης επίκλισης (McLean, 1974).

### 2.7.2 Συσχέτιση με την Επίκλιση

Σύμφωνα με την έρευνα του Aram (2010), η αύξηση της επίκλισης της καμπύλης αποτελεί μέτρο ενίσχυσης της ασφάλειάς της. Επίσης στην ίδια έρευνα επισημαίνεται πως οι οριζόντιες καμπύλες είναι πιο επικίνδυνες στη περίπτωση που συνδυαστούν με μεγάλες κλίσεις (ειδικά στη περίπτωση των κατωφερειών) και μικρές τιμές του συντελεστή τριβής.

Σύμφωνα με τους Psarianos et al. (1998) η επιλεγμένη επίκλιση είναι ανεξάρτητη από τις τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής των αμερικανικών οδηγιών AASHTO και η αύξησή της δεν επηρεάζει κατ' ανάγκη την ελάχιστη ακτίνα της καμπύλης. Αντίθετα, η βελτίωση των τιμών τριβής μεταξύ οδοστρώματος και ελαστικών καθώς και η προσαρμογή της κλίσης ή/και της ακτίνας ενισχύουν την ασφάλεια της καμπύλης. Επίσης, σε αντίθεση με τις ανωφέρειες, τα οχήματα που κινούνται σε κατωφέρειες έχουν μικρότερες απαιτήσεις σε εφαπτομενική τριβή, με αποτέλεσμα να είναι διαθέσιμο μεγαλύτερο ποσοστό πλευρική τριβής. Στη περίπτωση δηλαδή που στην ίδια καμπύλη τοποθετηθεί αρνητική κλίση (κατωφέρεια) το όχημα θα τη διασχίσει πιθανώς με μεγαλύτερη ασφάλεια ή/και με μεγαλύτερη άνεση.

### 2.7.3 Συσχέτιση με τη Ταχύτητα

Οι Lamm et al. (1991) μελέτησαν τη σχέση μεταξύ απαιτούμενης πλευρικής τριβής και τις λειτουργικής ταχύτητας. Από την έρευνά τους προέκυψε ότι η απαιτούμενη πλευρική τριβή μειώνεται όταν η λειτουργική ταχύτητα αυξάνεται. Για ταχύτητες άνω των 50 mph οι θεωρητικές τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής που προτείνουν οι κανονισμοί είναι μεγαλύτερες από τις απαιτούμενες, συνεπώς αναμένεται μεγαλύτερη ασφάλεια κατά το σχεδιασμό των καμπύλων. Για τις χαμηλότερες ταχύτητες σχεδιασμού, οι λειτουργικές ταχύτητες που παρατηρούνται στις καμπύλες συχνά υπερβαίνουν σημαντικά τις ταχύτητες σχεδιασμού, με αποτέλεσμα η απαίτηση για πλευρική τριβή να είναι μεγαλύτερη από τις θεωρητικές τιμές τριβής βάσει των κανονισμών.

## 2.8 Όρια Άνεσης

Ως όριο άνεσης εκφράζεται η τιμή της πλευρικής επιτάχυνσης για την οποία ο οδηγός δεν νιώθει δυσφορία. Ουσιαστικά εκφράζει την ανοχή του οδηγού σχετικά με τη πλευρική επιτάχυνση που δέχεται όταν οδηγεί σε ένα καμπύλο τμήμα. Για τη μέτρηση των πλευρικών επιταχύνσεων και κατ' επέκταση το προσδιορισμό των ορίων άνεσης χρησιμοποιούνται συσκευές όπως τα επιταχυνσιόμετρα, ώστε να προσδιοριστούν οι ταχύτητες σχεδιασμού στις καμπύλες στις οποίες οι οδηγοί δεν θα νιώσουν δυσφορία.

Αρκετοί ερευνητές έχουν μελετήσει και έχουν προτείνει ενδεικτικές τιμές των ορίων άνεσης και αντοχής των οδηγών κατά την οδήγηση σε μια καμπύλη. Ο Tan (2005) διερεύνησε τις τιμές των πλευρικών επιταχύνσεων «άνεσης» σε οριζόντιες καμπύλες με σκοπό το προσδιορισμό των συντελεστών τριβής για ταχύτητες που προκαλούν δυσφορία στους οδηγούς και στους επιβαίνοντες, καθώς και του ορίου ασφαλείας έναντι ολίσθησης για αυτές τις τιμές των συντελεστών τριβής. Ουσιαστικά συσχέτισε τη δυσφορία που νιώθουν οι επιβαίνοντες και των πλευρικών επιταχύνσεων που παρατηρήθηκαν για τη περίπτωση αυτή με τη ταχύτητα.

Οι McGee et. al (1984) προσδιόρισαν στην έρευνά τους τα όρια άνεσης και αντοχής των οδηγών κατά τη κίνηση σε οριζόντιες καμπύλες. Τα όρια αυτά αφορούν τις πλευρικές επιταχύνσεις στις οποίες οι οδηγοί αρχίζουν να νιώθουν δυσφορία εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας με την οποία κινούνται στη καμπύλη. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα, τόσο λιγότερη πλευρική επιτάχυνση και πλευρική τριβή ανέχεται ο οδηγός. Τα όρια άνεσης που προτάθηκαν ήταν τα εξής:

- Μέγιστο όριο άνεσης του οδηγού: 0,2·g
- Μέγιστο όριο αντοχής-ασφαλείας του οδηγού: 0,3·g
- Μέγιστο όριο ικανότητας επιβατικού αυτοκινήτου: 0,7·g

Γενικότερα έχει διαπιστωθεί πως τα όρια άνεσης του οδηγού είναι σημαντικά μεγαλύτερα στις μικρές ταχύτητες σε σχέση με τα αντίστοιχα όρια στις υψηλές ταχύτητες κίνησης. Στις αμερικανικές οδηγίες σχεδιασμού, βασικό ζήτημα για την επιλογή του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής είναι το επίπεδο της πλευρικής επιτάχυνσης που μπορούν να δεχθούν οι οδηγοί πριν νιώσουν δυσφορία και ενστικτωδώς αποφύγουν να αυξήσουν ταχύτητα. Στις χαμηλότερες ταχύτητες οι οδηγοί είναι περισσότερο ανεκτικοί στις πλευρικές επιταχύνσεις και δεν νιώθουν μεγάλη δυσφορία λόγω αυτών, συνεπώς για τις ταχύτητες αυτές προτείνονται και μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής. Επίσης, βάσει της έρευνας των Donnell et al. (2016) διαπιστώθηκε ότι σε υψηλότερες ταχύτητες σχεδιασμού (> 45 mph) οι οδηγοί οδηγούν κοντά στα όρια άνεσης, δηλαδή τους μέγιστους συντελεστές πλευρικής τριβής που προτείνονται από τις οδηγίες AASHTO, και άρα οδηγούν με ταχύτητες κοντά στις ταχύτητες σχεδιασμού. Ωστόσο οι οδηγοί υπερβαίνουν τα όρια άνεσης στις χαμηλότερες ταχύτητες, το οποίο σημαίνει πως οι τιμές απαιτούμενης πλευρικής τριβής που υπολογίστηκαν ήταν μεγαλύτερες από τις μέγιστες τιμές κατά AASHTO.

Τέλος, οι οριακές τιμές εγκάρσιας επιτάχυνσης που γίνονται αποδεκτές από τους οδηγούς, δηλαδή η αποδεχόμενη από τους οδηγούς εγκάρσια επιτάχυνση, σε μικρότερες ακτινικά καμπύλες υπερβαίνουν σημαντικά τα όρια άνεσης και ασφάλειας και τις προβλεπόμενες τιμές από τις οδηγίες σχεδιασμού, σε αντίθεση με τις μεγαλύτερες ακτινικά καμπύλες (Τρακάκης, 2019).

## 2.9 Υφιστάμενοι Κανονισμοί Σχεδιασμού Οδών

Για το σχεδιασμό των υπεραστικών οδών χρησιμοποιούνται συγκεκριμένες κατευθυντήριες οδηγίες και κανονισμοί ανά χώρα. Στη πλειοψηφία των περιπτώσεων βασίζονται σε κοινές αρχές και συμπεράσματα που προέκυψαν από τις μελέτες και τις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν τα προηγούμενα χρόνια, λαμβάνοντας υπόψη και τη σύγχρονη πραγματικότητα που υφίσταται για τα χαρακτηριστικά τόσο των οδών όσο και των οχημάτων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα που εμπεριέχονται σε 3 κανονισμούς σχεδιασμού οδών και συγκεκριμένα στους ελληνικούς, στους γερμανικούς και στους αμερικανικούς, τα οποία

σχετίζονται με τη δυναμική της κίνησης και με τη πρόσφυση μεταξύ του οδοστρώματος και των οχημάτων.

### 2.9.1 Ελληνικές Οδηγίες Σχεδιασμού Οδών (ΟΜΟΕ-Χ 2001)

Σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων ΟΜΟΕ-Χ 2011, σημαντική παράμετρος της ασφάλειας κατά τη κυκλοφορία των οχημάτων αποτελεί η πρόσφυση του οδοστρώματος, η οποία εκφράζεται μέσω του συντελεστή τριβής. Ως πρόσφυση του οδοστρώματος χαρακτηρίζεται εκείνη η φυσική κατάσταση που εμφανίζεται στη κοινή επιφάνεια ελαστικού και οδοστρώματος και η οποία οφείλεται στη συνάφεια, στη στατική τριβή και στην αντίσταση λόγω τραχύτητας. Από τη πρόσφυση του οδοστρώματος εξαρτάται η μέγιστη τιμή των δυνάμεων της προώθησης και της πέδησης, καθώς και των εγκάρσιων δυνάμεων που ασκούνται στα ελαστικά των τροχών των αυτοκινήτων και οι οποίες επενεργούν στο οδόστρωμα ως δυνάμεις αντίδρασης.

Στους ελληνικούς κανονισμούς τονίζεται η χρήση του σημειακού μοντέλου μάζας τόσο σε παλαιότερες όσο και στις σύγχρονες μελέτες οδοποιίας. Συγκεκριμένα, λαμβάνεται η παραδοχή ότι το όχημα αποτελεί ένα στερεό σώμα στο κέντρο βάρους του οποίου βρίσκεται συγκεντρωμένη όλη η μάζα του οχήματος και στο οποίο ασκούνται όλες οι δυνάμεις. Κατά αυτό το τρόπο αγνοείται το πραγματικό σύστημα δυνάμεων που εμφανίζεται στα διάφορα μέρη του οχήματος, όπως για παράδειγμα στους τροχούς. Επίσης παρουσιάζεται η βασική εξίσωση της δυναμικής της κίνησης του οχήματος στη καμπύλη (Σχέση 2.2).

Στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης και στις ΗΠΑ η πρόσφυση εκφράζεται με το συντελεστή τριβής ολίσθησης  $\mu_0$ , που αποτελεί το συντελεστή τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ των ελαστικών του οχήματος και του οδοστρώματος και η τιμή του οποίου επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Αυτοί αφορούν κυρίως το τύπο και τη κατάσταση τόσο των ελαστικών (πίεση, σύνθεση, μορφή, βάθος ραβδώσεων) όσο και του οδοστρώματος (υγρασία, τραχύτητα, καιρικές συνθήκες κλπ.).

Γίνεται κατανοητό ότι οι συνθήκες πρόσφυσης του οχήματος στο οδόστρωμα επηρεάζουν τη ταχύτητα που αναπτύσσει ο οδηγός. Σε ένα καλά διατηρημένο και στεγνό οδόστρωμα ο οδηγός θα έχει τη τάση να αναπτύξει μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι σε ένα υγρό και σε κακή κατάσταση οδόστρωμα. Η τριβή που ασκείται μεταξύ των ελαστικών και του οδοστρώματος επηρεάζει σημαντικά τις αναπτυσσόμενες ταχύτητες σε ένα οδικό τμήμα.

Οι τιμές των επιτρεπόμενων συντελεστών τριβής επιλέγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτεται το 80%-95% των οδοστρωμάτων της χώρας, ώστε να εξασφαλιστεί κατά τη μελέτη της οδού ένας υψηλός συντελεστής ασφάλειας κατά τη κίνηση των οχημάτων στις καμπύλες. Ωστόσο έπειτα από μετρήσεις πρόσφυσης του οδοστρώματος προέκυψαν σχετικά μικρές τιμές του συντελεστή τριβής, η εφαρμογή των οποίων στο 80% των ελληνικών οδοστρωμάτων θα οδηγούσε σε αντισυμβαλλόμενες κατασκευές και αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Για το λόγο αυτό λήφθηκαν υπόψη τα δεδομένα των κανονισμών συγκεκριμένων χωρών (Γαλλίας, Γερμανίας, Ελβετίας, ΗΠΑ και Σουηδίας) ώστε να προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ του επιτρεπόμενου συντελεστή τριβής και της ταχύτητας, και κατ' επέκταση να ορισθούν τιμές του συντελεστή ειδικά για τις ελληνικές μελέτες οδοποιίας. Σημαντική προϋπόθεση ήταν οι τιμές αυτές να ανταποκρίνονται στα σύγχρονα τεχνολογικά δεδομένα στο τομέα της κίνησης των οχημάτων, με τα αποτελέσματα που προέκυψαν να είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά συγκριτικά με τα δεδομένα των διαφόρων χωρών.

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προέκυψε η σχέση προσδιορισμού του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή εφασπτομενικής τριβής :

$$\max f_{T_{\text{επιτρ}}} = 0,59 - 4,85 \cdot 10^{-3} \cdot V + 1,51 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 \quad (2.10)$$

όπου:

- $\max f_{T_{\text{επιτρ}}}$ : ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής εφασπτομενικής τριβής
- $V$  (km/h): η ταχύτητα ( $V_e$  ή  $V_{85}$ )

Σε όλες τις εργασίες οδοστρωμάτων θα πρέπει να εξασφαλίζεται η ύπαρξη τιμών του συντελεστή τριβής σύμφωνα με τη σχέση (2.10). Από τις μετρήσεις ολισθηρότητας και για συγκεκριμένες τιμές ταχυτήτων (40, 60 και 80 km/h), προέκυψαν ορισμένες τυπικές τιμές του συντελεστή εφασπτομενικής τριβής:

- Για ταχύτητα  $V = 40$  km/h,  $\max f_{T_{\text{επιτρ}}} = 0,42$
- Για ταχύτητα  $V = 60$  km/h,  $\max f_{T_{\text{επιτρ}}} = 0,35$
- Για ταχύτητα  $V = 80$  km/h,  $\max f_{T_{\text{επιτρ}}} = 0,30$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή του συντελεστή εγκάρσιας τριβής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\max f_{R_{\text{επιτρ}}} = n \cdot 0,925 \cdot \max f_{T_{\text{επιτρ}}} \quad (2.11)$$

όπου:

- $\max f_{R_{\text{επιτρ}}}$  = ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής
- $\max f_{T_{\text{επιτρ}}}$  = ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής εφασπτομενικής τριβής
- $n$  = ο συντελεστής εκμετάλλευσης της τιμής του συντελεστή εγκάρσιας τριβής

Όπως αναφέρεται στους κανονισμούς, ο συντελεστής μείωσης 0,925 που εμπεριέχεται στη σχέση (2.11) σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των ελαστικών. Όσον αφορά το συντελεστή εκμετάλλευσης  $n$ , η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ  $n = 40\%$  και  $n = 50\%$  σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία και για οδούς που εντάσσονται στην ομάδα Α κατά ΟΜΟΕ. Η ομάδα Α περιλαμβάνει, εκτός των άλλων, και τις υπεραστικές οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας. Από τις παραπάνω τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης συμπεραίνεται ότι στην εφασπτομενική συνιστώσα θα διατίθεται το 92% έως το 87% της τιμής του συντελεστή εφασπτομενικής τριβής. Τα 2 αυτά ποσοστά χρησιμοποιούνται κατά τη κίνηση ενός οχήματος σε μια καμπύλη για την επιτάχυνση, την επιβράδυνση, την πέδηση ή για άλλους αναγκαίους ελιγμούς του οχήματος.

Οι επιτρεπόμενες τιμές των συντελεστών τριβής και των βασικών γεωμετρικών στοιχείων σε μια καμπύλη σε συνάρτηση με τη ταχύτητα (ταχύτητα μελέτης  $V_e$  ή λειτουργική ταχύτητα  $V_{85}$ ) παρουσιάζονται για τις οδούς της ομάδας Α στο Πίνακα 2.2. Επισημαίνεται πως η ελάχιστη ακτίνα της καμπύλης προκύπτει μέσα από την εφαρμογή της βασικής εξίσωσης δυναμικής της κίνησης ορίζοντας σε αυτή τις μέγιστες τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής και της επίκλισης της καμπύλης. Επίσης, από το Πίνακα 2.2 προκύπτει πως για πεδινά εδάφη ο συντελεστής εκμετάλλευσης ορίζεται ίσος με  $n = 45\%$ , για ημιορεινά και ορεινά εδάφη ίσος με  $n = 40\%$  και για όλες τις κατηγορίες εδαφών (για ελάχιστη επίκλιση καμπύλης  $q_{\min} = 2,5\%$ ) ίσος με  $n = 10\%$ .

Πίνακας 2.2: Επιτρεπόμενες τιμές του μέγιστου συντελεστή εφαιπτομενικής και πλευρικής τριβής και των ελάχιστων ακτινών καμπυλών συναρτήσει της ταχύτητας, του ανάγλυφου του εδάφους και των μέγιστων και ελάχιστων τιμών επίκλισης (ΟΜΟΕ-Χ, 2001)

V (km/h)	maxf <sub>Τεπιτρ</sub>	Πεδινά εδάφη		Ημιορεινά και ορεινά εδάφη		Όλες οι κατηγορίες εδαφών	
		q <sub>max</sub> = 8 (9)%		q <sub>max</sub> = 7%		q <sub>min</sub> = 2,5%	
		n = 45%		n = 40%		n = 10%	
		maxf <sub>Ρεπιτρ</sub>	R <sub>min</sub>	maxf <sub>Ρεπιτρ</sub>	R <sub>min</sub>	maxf <sub>Ρεπιτρ</sub>	R <sub>min</sub>
50	0,385	0,160	82 (79)	0,143	93	0,036	325
60	0,353	0,147	125 (120)	0,131	141	0,033	491
70	0,324	0,135	179(171)	0,120	203	0,030	701
80	0,299	0,124	247 (235)	0,110	279	0,028	958
90	0,276	0,115	327 (311)	0,102	371	0,026	1263
100	0,256	0,107	422 (401)	0,095	478	0,024	1618
110	0,239	0,100	531 (503)	0,089	601	0,022	2022
120	0,225	0,094	652 (617)	0,083	739	0,021	2473
130	0,215	0,089	786 (742)	0,079	890	0,020	2966
140	0,207	0,086	929 (876)	0,077	1053	0,019	3496

Στους ΟΜΟΕ-Χ προσδιορίζονται τα κριτήρια ασφαλείας για την αξιολόγηση της οριζόντιας χάραξης μιας οδού ως προς την ασφάλεια, τα οποία ισχύουν για οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας της ομάδας Α. Μέσω των 3 αυτών κριτηρίων επιτυγχάνεται μια συνολική αξιολόγηση της ασφαλείας τόσο των νέων όσο και των υφιστάμενων υπεραστικών οδών 2 λωρίδων κυκλοφορίας. Στο 1<sup>ο</sup> Κριτήριο ελέγχεται η ομοιογένεια στο σχεδιασμό της οδού μέσω ελέγχου της σχέσης μεταξύ της ταχύτητας σχεδιασμού και της πραγματικής οδηγικής συμπεριφοράς. Στο 2<sup>ο</sup> Κριτήριο ελέγχεται η ομοιογένεια ως προς τη λειτουργική ταχύτητα της οδού, μέσω ελέγχου της ομοιομορφίας της λειτουργικής ταχύτητας V<sub>85</sub> μεταξύ των διαδοχικών στοιχείων της οδού. Τέλος, με το 3<sup>ο</sup> Κριτήριο ελέγχεται η ομοιογένεια στη δυναμική της κίνησης των οχημάτων μέσω της συσχέτισης μεταξύ της διατιθέμενης από τους κανονισμούς πλευρικής τριβής βάσει της ταχύτητας σχεδιασμού και της απαιτούμενης πλευρικής τριβής βάσει της λειτουργικής ταχύτητας V<sub>85</sub>.

Μια από τις βασικές αρχές μελέτης των κανονισμών αποτελεί η εναρμόνιση του διατιθέμενου από τους κανονισμούς συντελεστή εγκάρσιας (ή πλευρικής) τριβής με τον πραγματικά απαιτούμενο συντελεστή εγκάρσιας τριβής στα καμπύλα τμήματα οδών. Η παραπάνω αρχή αξιοποιείται βάσει του Κριτηρίου Ασφαλείας ΙΙΙ το οποίο σχετίζεται με τη δυναμική της κίνησης των οχημάτων και παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2.3: Κριτήριο Ασφαλείας III για οδούς των ομάδων A και B (ΟΜΟΕ-Χ, 2001)

<p><b>Περίπτωση 1 : Καλή Ποιότητα Σχεδιασμού</b></p> $f_R - f_{RA} \geq 0,00$ <p>Σε αυτά τα καμπύλα τμήματα πιθανότατα η πρόσφυση είναι επαρκής. Δεν απαιτούνται προσαρμογές ή βελτιώσεις στη μελέτη της οδού.</p>
<p><b>Περίπτωση 2 : Μέτρια Ποιότητα Σχεδιασμού</b></p> $- 0,04 \leq f_R - f_{RA} < 0,00$ <p>Σε αυτά τα καμπύλα τμήματα πρέπει :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) να περιοριστεί η ταχύτητα των οχημάτων με μείωση του ορίου ταχύτητας ή/και με άλλες κυκλοφοριακές ρυθμίσεις ή και κατασκευαστικές επεμβάσεις.</li> <li>(2) να επαναυπολογισθούν οι επικλίσεις με βάση την ταχύτητα <math>V_{85}</math>, προκειμένου να εξασφαλισθεί ότι ο διατιθέμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής <math>f_R</math> θα προσεγγίζει την τιμή του απαιτούμενου συντελεστή εγκάρσιας τριβής <math>f_{RA}</math>, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ανακατασκευής και βελτίωσης οδικών τμημάτων.</li> <li>(3) να τεθούν υψηλές ποιοτικές απαιτήσεις στην αντιολισθηρότητα των οδοστρώματων κατά την ανανέωση του ασφαλτοτάπητα.</li> </ol>
<p><b>Περίπτωση 3 : Μη Αποδεκτή Ποιότητα Σχεδιασμού</b></p> $f_R - f_{RA} < - 0,04$ <p>Σε αυτά τα καμπύλα τμήματα πιθανότατα η διατιθέμενη πρόσφυση του οδοστρώματος είναι ανεπαρκής, ιδιαίτερα με υγρά οδοστρώματα, πράγμα που μπορεί να αυξήσει την επικινδυνότητα της οδού και τη σοβαρότητα των αναμενόμενων ατυχημάτων. Πρέπει να εξετάζεται η πιθανότητα λήψης κατασκευαστικών μέτρων πάντοτε με κριτήριο τις κατά περίπτωση συνθήκες ατυχημάτων. Κατά κανόνα σε αυτά τα τμήματα απαιτούνται κατασκευαστικές επεμβάσεις. Οποσδήποτε είναι απαραίτητη η λήψη διορθωτικών μέτρων.</p>

### 2.9.2 Γερμανικές Οδηγίες Σχεδιασμού Οδών (RAL 2012)

Οι γερμανικές οδηγίες μελετών RAL 2012 αφορούν όλες τις κατηγορίες υπεραστικών οδών, συμπεριλαμβανομένων και αυτών με 2 συνολικά λωρίδες κυκλοφορίας, εκτός των αυτοκινητοδρόμων. Από τη μελέτη τους διαπιστώθηκε ότι δεν εμπεριέχονται σε αυτούς επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τη δυναμική της κίνησης των οχημάτων και τα μεγέθη που σχετίζονται με αυτή, όπως η τριβή. Ως βάση για το σχεδιασμό των οδών δεν χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο οι κινηματικές αρχές, αλλά δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην εναρμόνιση της ταχύτητας μελέτης με τη συμπεριφορά των οδηγών. Για λόγους ασφάλειας της κυκλοφορίας και ποιότητας της κυκλοφοριακής ροής, οι υπεραστικές οδοί θα πρέπει να διαμορφώνονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι οδηγοί να μπορούν να αναπτύξουν με ασφάλεια τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα. Η ταχύτητα αυτή προκύπτει βάσει της κατηγορίας της οδού και του μήκους του συγκεκριμένου οδικού τμήματος, αλλά και με βάση τα γενικότερα λειτουργικά και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά της οδού.

Σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς οι υπεραστικές οδοί σχεδιάζονται στα πλαίσια της αυτό-εξηγούμενης οδού (self-explaining road). Ορίζονται συνολικά 4 κατηγορίες οδών (LS I έως και LS IV), κάθε μια εκ των οποίων αντιστοιχεί σε μια κατηγορία σχεδιασμού (EKL 1 έως και EKL 4), με σκοπό την αύξηση της τυποποίησης και της αναγνωρισιμότητας των οδών. Συγκεκριμένα, επισημαίνεται πως κάθε κατηγορία οδού θα πρέπει να είναι τυποποιημένη και να ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες κατηγορίες, ώστε οι οδηγοί να αναγνωρίζουν τα χαρακτηριστικά της και να επιλέγουν τη κατάλληλη ταχύτητα διέλευσης. Στη περίπτωση που δεν συμβεί αυτό, γίνεται κατανοητό ότι θα προκύψουν θέματα ασφάλειας της κυκλοφορίας καθώς ενδέχεται οι

οδηγοί να επιλέγουν ταχύτητες μεγαλύτερες ή μικρότερες από τις ταχύτητες σχεδιασμού που έχουν οριστεί για κάθε κατηγορία οδού.

Οι οριακές τιμές των παραμέτρων σχεδιασμού σε επίπεδο οριζοντιογραφίας, μηκοτομής και διατομών προσδιορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη και τη δυναμική της κίνησης. Αυτό συνέβη προκειμένου να οριστεί μια ταχύτητα μελέτης που θα εξυπηρετεί τις λειτουργίες του οδικού δικτύου.

Στους κανονισμούς RAL 2012 δεν αναφέρονται ρητά πληροφορίες σχετικά με τη πρόσφυση των οχημάτων, ενώ δεν εμπεριέχονται προτεινόμενες τιμές σχετικά με τους συντελεστές τριβής. Ωστόσο στις οδηγίες RAA 2008 που αφορούν το σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων περιλαμβάνονται οι τιμές σχεδιασμού των συντελεστών επαπτομενικής τριβής και άλλες λεπτομέρειες σχετικά με την έννοια της πρόσφυσης των οχημάτων. Όλα τα δεδομένα θεωρείται ότι μπορούν να αξιοποιηθούν και στις υπεραστικές οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας, συνεπώς έχουν ισχύ και για τους κανονισμούς RAL.

Ο υπολογισμός των καθοριστικών συντελεστών τριβής ή μέγιστων δυνατών συντελεστών επαπτομενικής τριβής πραγματοποιείται βάσει των οριακών τιμών πρόσφυσης  $\mu_{SKM80}$  για ταχύτητα  $V=80$  km/h. Οι τιμές του καθοριστικού συντελεστή τριβής (συντελεστής επαπτομενικής τριβής) παρουσιάζονται στο Πίνακα 2.4. Επισημαίνεται ότι:

- $f_T(SMR_{1980})$ : Είναι ο συντελεστής επαπτομενικής τριβής μετρούμενος κατά SRM (1980)
- $\mu_{SKM80}$ : Είναι η τιμή πρόσφυσης σύμφωνα με τη μέθοδο μέτρησης πρόσφυσης SKM για  $V = 80$  km/h (Οριακή τιμή κατά MB Griff = Γερμανικό Φυλλάδιο Οδηγιών για την αξιολόγηση της πρόσφυσης οδών με βρεγμένο οδόστρωμα)
- $f_{T,RAA}$ : Είναι ο συντελεστής επαπτομενικής τριβής, βάση αξιολόγησης RAA. Ισχύει ότι  $f_{T,RAA} = 0.877 \cdot \mu_{SKM80}$

Πίνακας 2.4: Συντελεστής επαπτομενικής τριβής (RAL 2012)

V (km/h)	$f_T(SRM_{1980})$	$\mu_{SKM 80}$	$f_{T,RAA}$
30	0,51	0,52	0,45
40	0,46	0,47	0,41
50	0,41	0,44	0,38
60	0,36	0,41	0,36
70	0,32	0,39	0,34
80	0,29	0,37	0,32
90	0,25	0,35	0,30
100	0,23	0,33	0,29
120	0,19	0,30	0,27
130	0,18	0,29	0,25

Από τις τιμές του συντελεστή επαπτομενικής τριβής του παραπάνω πίνακα δύναται να υπολογιστούν και οι αντίστοιχες τιμές του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής από τη σχέση:

$$\max f_R = 0,925 \cdot f_T \quad (2.12)$$

Για τις τιμές που προκύπτουν από τη Σχέση (2.12) ορίζεται ένας συντελεστής εκμετάλλευσης  $n$  του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής. Ο συντελεστής αυτός καθορίζει το ποσοστό της τριβής που θα διατεθεί για την εγκάρσια συνιστώσα της κίνησης του οχήματος σε μια καμπύλη. Οι προτεινόμενες τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς είναι οι εξής :



- $n = 0,40$  για ελεύθερο τμήμα οδού και για επίκλιση  $q = 6\%$
- $n = 0,50$  για οδοστρώματα ραμπών και για επίκλιση  $q = 6\%$

Οι παραπάνω τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής ισχύουν σε γενικές γραμμές και για τις υπεραστικές οδούς 2 λωρίδων κυκλοφορίας, όπου ο συντελεστής  $n$  κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,40-0,50.

### 2.9.3 Αμερικανικές Οδηγίες Σχεδιασμού Οδών (AASHTO 2018)

Οι κατευθύνσεις και οι οδηγίες για το σχεδιασμό των οδών στην Αμερική, τόσο των υπεραστικών όσο και αυτών που εντάσσονται στις υπόλοιπες κατηγορίες, περιλαμβάνονται στο εγχειρίδιο "The Green Book" (7th Edition, 2018) της Αμερικανικής Ένωσης Εθνικών Οδών και Μεταφορών (American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO). Ως βάση χρησιμοποιείται το μοντέλο σημειακής μάζας και υποδεικνύεται ότι η κεντρομόλος δύναμη που δημιουργείται κατά τη διέλευση ενός οχήματος από μια οριζόντια καμπύλη συγκεκριμένης ακτίνας και με ταχύτητα ίση με τη ταχύτητα σχεδιασμού, εξισορροπείται από το συνδυασμό της επίκλισης και της απαιτούμενης πλευρικής τριβής. Η κεντρομόλος δύναμη συχνά ισοδυναμεί με τη φυγόκεντρο δύναμη, την οποία αισθάνονται οι οδηγοί ως τη δύναμη που τους ωθεί προς το εξωτερικό μέρος της οριζόντιας καμπύλης κατά τον ελιγμό στροφής που πραγματοποιούν σε αυτή. Επίσης, στο σχεδιασμό οριζόντιων καμπυλών χρησιμοποιείται κυρίως η έννοια της πλευρικής επιτάχυνσης που δέχονται οι οδηγοί, κατά ισοδυναμία με την κεντρομόλο δύναμη που δημιουργείται βάσει της Φυσικής.

Ο συντελεστής πλευρικής τριβής που χρησιμοποιείται κατά το γεωμετρικό σχεδιασμό αντιπροσωπεύει την ανάγκη των οχημάτων για πλευρική τριβή κατά τη κίνησή τους σε μια καμπύλη. Μέσω του συντελεστή πλευρικής τριβής εξισορροπείται το εναπομένον μέρος της πλευρικής επιτάχυνσης που δεν έχει εξισορροπηθεί από την επίκλιση της καμπύλης. Για τον υπολογισμό του προτείνεται από τους κανονισμούς η χρήση της απλοποιημένης βασικής εξίσωσης της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων (Σχέση 2.2). Η ανώτατη τιμή του συντελεστή πλευρικής τριβής εκφράζει το σημείο στο οποίο οι τροχοί του οχήματος αρχίζουν να ολισθαίνουν, γνωστό και ως σημείο επικείμενης ολίσθησης. Αντιπροσωπεύει το ποσοστό εκείνο της τριβής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί με άνεση από τη πλειοψηφία των οδηγών, χωρίς να ολισθήσει το όχημα που οδηγούν. Η τιμή αυτή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων οι σημαντικότεροι είναι η ταχύτητα του οχήματος, ο τύπος και η κατάσταση τόσο των ελαστικών όσο και του οδοστρώματος, αλλά και το κόστος.

Ο βασικότερος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής στο σχεδιασμό μιας οδού είναι το επίπεδο της πλευρικής επιτάχυνσης που προκαλεί δυσφορία στους οδηγούς και κατά συνέπεια τους αποτρέπει από το να επιλέξουν υψηλότερες ταχύτητες οδήγησης. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα που επιλέγουν οι οδηγοί για να διέλθουν από μια καμπύλη, τόσο μεγαλύτερη είναι και η πλευρική επιτάχυνση που δέχονται. Ως εκ τούτου, ως παράμετροι επιλογής του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής χρησιμοποιούνται τα όρια άνεσης και οι ταχύτητες στις οποίες οι οδηγοί δεν νιώθουν άνετα εξαιτίας της πλευρικής επιτάχυνσης που δέχονται. Στις χαμηλότερες ταχύτητες οι οδηγοί είναι πιο ανεκτικοί και δεν αισθάνονται μεγάλη δυσφορία, επιτρέποντας έτσι την επιλογή μεγαλύτερων συντελεστών πλευρικής τριβής στο σχεδιασμό οριζόντιων καμπύλων.

Γενικότερα, στους αμερικανικούς κανονισμούς ο συντελεστής πλευρικής τριβής που χρησιμοποιείται κατά το γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών ορίζεται σύμφωνα με τα όρια άνεσης των επιβατών του οχήματος και όχι βάσει της παρεχόμενης τριβής μεταξύ του οδοστρώματος

και των ελαστικών. Τα όρια άνεσης που ορίζονται στους κανονισμούς παρουσιάζονται στο Πίνακα 2.5.

Πίνακας 2.5: Όρια συντελεστή πλευρικής τριβής και μέγιστων πλευρικών επιταχύνσεων για την άνεση των επιβατών οχήματος συναρτήσει της ταχύτητας (AASHTO 2018)

Speed Range (km/h)	Comfortable Side Friction Factor Equation	$a_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )
$V \leq 40$	0,21	2,06
$40 < V < 50$	$0,33 - 0,003V$	$3,24 - 0,029V$
$50 < V \leq 55$	$0,48 - 0,006V$	$4,71 - 0,059V$
$55 < V \leq 80$	0,15	1,47
$80 < V \leq 110$	$0,284 - 0,002V$	$2,78 - 0,016V$
$V > 110$	0,10	0,98

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, για το σχεδιασμό των οριζόντιων καμπύλων προτείνεται από τους κανονισμούς η χρήση σημαντικά μικρότερων τιμών αντί του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής. Οι τιμές αυτές θα πρέπει να μπορούν να χρησιμοποιηθούν με άνεση και ασφάλεια από τους οδηγούς ώστε να διατηρηθεί το επίπεδο της οδικής ασφάλειας και να μην υπάρχει κίνδυνος ολίσθησης των οχημάτων. Από έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στο παρελθόν προέκυψαν διαφορετικές μέγιστες τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής, ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και τη κατάσταση της επιφάνειας του οδοστρώματος και των ελαστικών. Σε γενικές γραμμές, οι τιμές που προέκυψαν και παρουσιάζονται στους κανονισμούς είναι οι εξής:

- Για καινούργια ελαστικά και υγρό οδόστρωμα από σκυρόδεμα:  
Για ταχύτητα  $V = 30$  km/h  $\rightarrow f_{max} = 0,5$   
Για ταχύτητα  $V = 100$  km/h  $\rightarrow f_{max} = 0,35$
- Για φθαρμένα ελαστικά και υγρό οδόστρωμα από σκυρόδεμα:  
Για  $V = 70$  km/h  $\rightarrow f_{max} = 0,35$

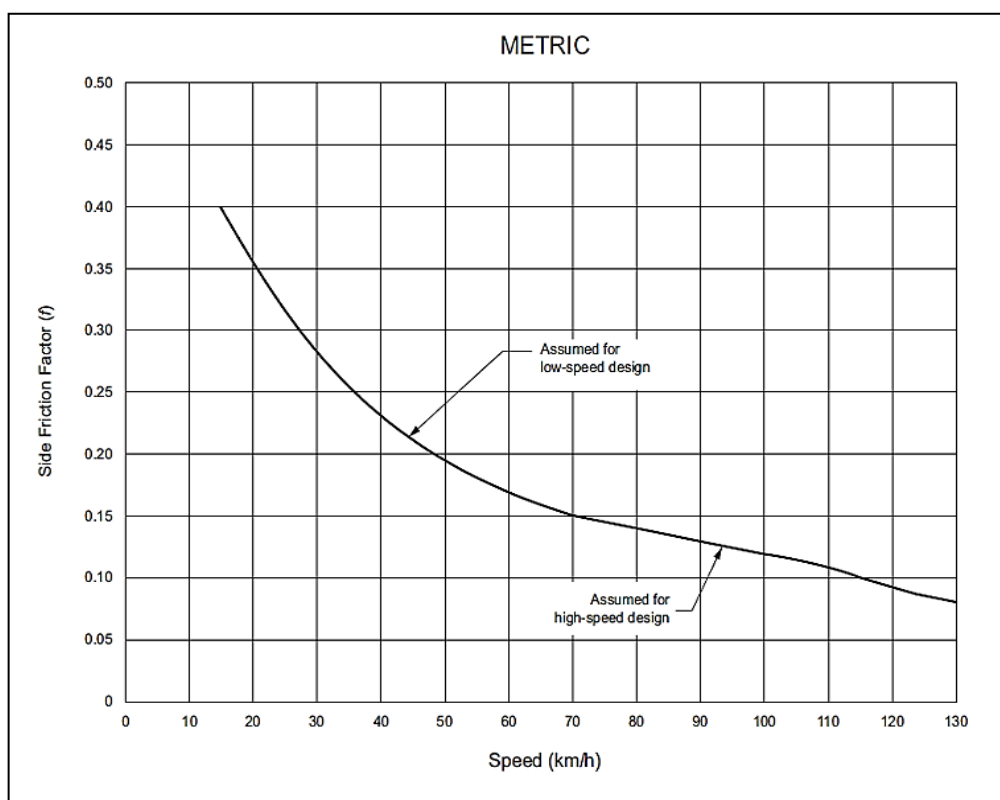
Επίσης από άλλες έρευνες προτάθηκε η μέγιστη τιμή  $f_{max} = 0,16$  για ταχύτητες έως 100 km/h, ενώ για υψηλότερες προτείνεται η σταδιακή μείωση του συντελεστή. Ακόμη, από δοκιμές στον αυτοκινητόδρομο Pennsylvania Turnpike προέκυψε ότι ο συντελεστής πλευρικής τριβής δεν πρέπει να ξεπερνά τη τιμή 0,10 για ταχύτητες μεγαλύτερες των 110 km/h.

Ο προσδιορισμός των ενδεικτικών ταχυτήτων σχεδιασμού στις οποίες ο οδηγός δεν αισθάνεται δυσφορία λόγω της πλευρικής επιτάχυνσης που δέχεται γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλων οργάνων όπως τα γωνιόμετρα (ball bank indicator) και τα επιταχυνσιόμετρα. Από τη χρήση των γωνιομέτρων λαμβάνονται μετρήσεις της γωνίας εκτροπής του οχήματος κατά τη κίνησή του σε μια καμπύλη, ενδεικτικές της επίκλισης που έχει εφαρμοστεί και της πλευρικής επιτάχυνσης που αναπτύσσεται. Από δοκιμές που έγιναν προέκυψε ότι η ταχύτητα κατά την οποία οι οδηγοί δεν θα νιώσουν δυσφορία σε μια καμπύλη και κατ' επέκταση η ενδεικτική τιμή του συντελεστή πλευρικής τριβής, αντιστοιχεί στις εξής γωνιακές ενδείξεις της συσκευής:

- 14° για ταχύτητες μικρότερες των 30 km/h  $\rightarrow f = 0,21$
- 12° για ταχύτητες μεταξύ 40 km/h έως 50 km/h  $\rightarrow f = 0,18$
- 10° για ταχύτητες μεταξύ 55 km/h έως 80 km/h  $\rightarrow f = 0,15$

Τα επιταχυνσιόμετρα αποτελούν συσκευές ευαίσθητες στη βαρύτητα μέσω των οποίων μετρούνται οι πλευρικές δυνάμεις και οι επιταχύνσεις που βιώνει ο οδηγός όταν κινείται σε μια καμπύλη. Αντίστοιχα, χρησιμοποιούνται για το προσδιορισμό των ενδεικτικών ταχυτήτων και των συντελεστών πλευρικής τριβής για το σχεδιασμό οριζόντιων καμπυλών.

Συμπερασματικά, σε όλες τις περιπτώσεις διαπιστώθηκε ότι η αύξηση της ταχύτητας είχε ως επακόλουθο τη μείωση του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής. Η διαπίστωση αυτή σχετίζεται με τα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως και αφορά τα όρια άνεσης των οδηγών. Σε γενικές γραμμές προτείνεται η χρήση μικρότερων τιμών του συντελεστή πλευρικής τριβής για υψηλές ταχύτητες σχεδιασμού και η χρήση μεγαλύτερων τιμών για χαμηλότερες ταχύτητες. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.5, οι κανονισμοί προτείνουν για ταχύτητες σχεδιασμού έως 50 km/h συντελεστές πλευρικής τριβής από 0,40 έως 0,20 ενώ για ταχύτητες σχεδιασμού άνω των 90 km/h συντελεστές πλευρικής τριβής κάτω από 0,13.



Σχήμα 2.5: Συσχέτιση του συντελεστή πλευρικής τριβής με τη ταχύτητα σχεδιασμού της καμπύλης (AASHTO, 2018)

Στους Αμερικανικούς κανονισμούς δεν παρουσιάζεται η έννοια του συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής ούτε η επαπτομενική τριβή, παρά μόνο η εγκάρσια.

Επίσης προτείνεται η συντηρητική χρήση των μέγιστων συντελεστών πλευρικής τριβής σε στεγνό οδόστρωμα. Παράλληλα επισημαίνεται η ανάγκη παροχής υψηλού επιπέδου ασφαλείας στις περιπτώσεις όπου απαιτείται μεγαλύτερη πλευρική τριβή και στις οποίες απαιτείται μεγαλύτερη συγκέντρωση από τους οδηγούς. Ειδικότερα, αφορά τις περιπτώσεις όπου υπάρχει αυξημένος κίνδυνος ολίσθησης του οχήματος είτε λόγω βρεγμένου οδοστρώματος ή λόγω συνθηκών πάγου, είτε στις περιπτώσεις απότομων ελιγμών από τους οδηγούς κατά τη πέδηση, την αλλαγή λωρίδας κλπ.

Για το σχεδιασμό των καμπύλων τμημάτων έχουν οριστεί οι μέγιστες τιμές της επίκλισης και του συντελεστή πλευρικής τριβής, οι οποίες προέκυψαν εμπειρικά και βάσει των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί στο παρελθόν. Χρησιμοποιώντας τις τιμές αυτές καθορίζεται η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας για διάφορες τιμές ταχυτήτων σχεδιασμού. Στη περίπτωση που η ακτίνα είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη, τότε οι τιμές των επικλίσεων ή/και του συντελεστή πλευρικής τριβής θα είναι μικρότερες από τις μέγιστες τιμές. Σε γενικές γραμμές επισημαίνεται πως ο σχεδιασμός των καμπύλων τμημάτων μιας οδού θα πρέπει να βασίζεται σε μια κατάλληλη σχέση μεταξύ της ταχύτητας σχεδιασμού και της ακτίνας της καμπύλης, καθώς και στη κοινή τους σχέση με την επίκλιση και τη πλευρική τριβή.

Η ελάχιστη ακτίνα της καμπύλης υπολογίζεται σύμφωνα με τη βασική εξίσωση δυναμικής της κίνησης των οχημάτων (Σχέση 2.2) και καθορίζεται με βάση τη ταχύτητα σχεδιασμού και τις μέγιστες τιμές της επίκλισης και του συντελεστή πλευρικής τριβής που έχουν επιλεγεί. Ουσιαστικά η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας βασίζεται σε ένα όριο άνεσης των οδηγών το οποίο θα πρέπει να τέτοιο ώστε να παρέχει επαρκές περιθώριο ασφάλειας έναντι ολίσθησης και ανατροπής. Όλες οι τιμές σχεδιασμού της ελάχιστης ακτίνας και του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής που προτείνονται από τους κανονισμούς, για διάφορες τιμές επίκλισης, παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

*Πίνακας 2.6: Ελάχιστες ακτίνες καμπύλης βάσει των ταχυτήτων σχεδιασμού της καμπύλης και του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, για επίκλιση 4%*

Design Speed (km/h)	Maximum e (%)	Maximum f	Rounded Radius (m)
15	4	0,40	4
20		0,35	8
30		0,28	22
40		0,23	47
50		0,19	86
60		0,17	135
70		0,15	203
80		0,14	280
90		0,13	375
100		0,12	492

*Πίνακας 2.7: Ελάχιστες ακτίνες καμπύλης βάσει των ταχυτήτων σχεδιασμού της καμπύλης και του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, για επίκλιση 6%*

Design Speed (km/h)	Maximum e (%)	Maximum f	Rounded Radius (m)
15	6	0,40	4
20		0,35	8
30		0,28	21
40		0,23	43
50		0,19	79
60		0,17	123
70		0,15	184
80		0,14	252
90		0,13	336

100		0,12	437
110		0,11	560
120		0,09	756
130		0,08	951

Πίνακας 2.8: Ελάχιστες ακτίνες καμπύλης βάσει των ταχυτήτων σχεδιασμού της καμπύλης και του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, για επίκλιση 8%

Design Speed (km/h)	Maximum e (%)	Maximum f	Rounded Radius (m)
15	8	0,40	4
20		0,35	7
30		0,28	20
40		0,23	41
50		0,19	73
60		0,17	113
70		0,15	168
80		0,14	229
90		0,13	304
100		0,12	394
110		0,11	501
120		0,09	667
130		0,08	832

Πίνακας 2.9: Ελάχιστες ακτίνες καμπύλης βάσει των ταχυτήτων σχεδιασμού της καμπύλης και του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, για επίκλιση 10%

Design Speed (km/h)	Maximum e (%)	Maximum f	Rounded Radius (m)
15	10	0,40	4
20		0,35	7
30		0,28	19
40		0,23	38
50		0,19	68
60		0,17	105
70		0,15	154
80		0,14	210
90		0,13	277
100		0,12	358
110		0,11	454
120		0,09	597
130		0,08	739

Πίνακας 2.10: Ελάχιστες ακτίνες καμπύλης βάσει των ταχυτήτων σχεδιασμού της καμπύλης και του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, για επίκλιση 12%

Design Speed (km/h)	Maximum e (%)	Maximum f	Rounded Radius (m)
15	12	0,40	3
20		0,35	7
30		0,28	18
40		0,23	36

50		0,19	64
60		0,17	98
70		0,15	143
80		0,14	194
90		0,13	255
100		0,12	328
110		0,11	414
120		0,09	540
130		0,08	665

Όσον αφορά την επίκλιση της καμπύλης, επισημαίνεται στους κανονισμούς πως η επιλογή της θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει μια λογική συσχέτιση μεταξύ αυτής και του συντελεστή πλευρικής τριβής. Και οι 2 αυτές παράμετροι σχετίζονται άμεσα με τις καιρικές συνθήκες και τη κατάσταση του οδοστρώματος. Στη περίπτωση σχηματισμού πάγου στην επιφάνεια του οδοστρώματος, προτείνεται μέγιστη επίκλιση έως 8% και μικρές τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής μεταξύ του 0,05 και του 0,20.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η απαιτούμενη πλευρική τριβή είναι μεγαλύτερη τόσο στις κατωφέρειες (λόγω των δυνάμεων πέδησης) όσο και στις απότομες ανωφέρειες (λόγω των ελκτικών δυνάμεων που αναπτύσσονται).

Από προσομοιώσεις δυναμικής της κίνησης έχειδειχθεί ότι σε κλειστές οριζόντιες καμπύλες με ακτίνα ίση ή παραπλήσια της ελάχιστης και για δεδομένη ταχύτητα σχεδιασμού σε κατωφέρεια  $\geq 4\%$ , η πιθανότητα ολίσθησης ή ανατροπής είναι μεγαλύτερη για ένα μεγάλο αριθμό οχημάτων στη περίπτωση που ο οδηγός φρενάρει και ταυτόχρονα επιχειρήσει να αλλάξει λωρίδα στη καμπύλη.

#### 2.9.4 Διαφορές Μεταξύ των Κανονισμών

Η κύρια διαφορά μεταξύ των αμερικανικών κανονισμών κατά AASHTO και των αντίστοιχων Ευρωπαϊκών εντοπίζεται στο γεγονός πως η επιλογή των μέγιστων επιτρεπόμενων τιμών του συντελεστή πλευρικής τριβής στηρίζεται σε διαφορετικά πρότυπα και έννοιες. Στους αμερικανικούς κανονισμούς ο ορισμός της μέγιστης επιτρεπόμενης τριβής γίνεται βάσει του αισθήματος της άνεσης που νιώθει ο οδηγός από την εφαρμογή της. Από την άλλη μεριά στους ευρωπαϊκούς κανονισμούς η επιλογή της μέγιστης επιτρεπόμενης τριβής πραγματοποιείται ορίζοντας ένα επαρκές περιθώριο ασφαλείας για το οποίο θα υπάρχει επαρκής τριβή ώστε ο οδηγός να μπορέσει να πραγματοποιήσει αναμενόμενους ή μη ελιγμούς (επιτάχυνση, επιβράδυνση, πέδηση κ.α.). Επίσης οι μέγιστες τιμές πλευρικής τριβής που προτείνονται κατά AASHTO διαφέρουν σημαντικά από τις αντίστοιχες τιμές σε κατευθύνσεις σχεδιασμού άλλων χωρών. Στις οδηγίες σχεδιασμού οδών ευρωπαϊκών χωρών οι τιμές  $f_{Rmax}$  μειώνονται σημαντικά με την αύξηση της ταχύτητας, ενώ η μείωση αυτή είναι μικρότερη στους κανονισμούς AASHTO. Αντίστοιχα το ίδιο ισχύει και για τους μέγιστους συντελεστές επαπτομενικής τριβής, οι τιμές των οποίων διαφέρουν σε πολλές χώρες.

#### 2.10 Ταχύτητα

Οι οριζόντιες καμπύλες σχεδιάζονται βάσει μιας ταχύτητας σχεδιασμού, η οποία επιλέγεται ώστε να προσδιοριστούν οι τιμές σχεδιασμού των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της καμπύλης και κατ' επέκταση της οδού. Είναι ωστόσο συχνό φαινόμενο η υπέρβαση της ταχύτητας αυτής από

τους οδηγούς και ειδικότερα σε κλειστές καμπύλες (καμπύλες με μικρές σχετικά ακτίνες), καθώς σε αυτές οι οδηγοί νιώθουν μεγαλύτερη σιγουριά ότι η πιθανή αυτή αύξηση της ταχύτητας δεν θα έχει σημαντικές επιπτώσεις ως προς την ασφάλειά τους.

Οι ταχύτητες των οχημάτων που καταγράφονται στις οριζόντιες καμπύλες καθορίζονται από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένων της τοποθεσίας της οδού, του κυκλοφοριακού φόρτου, των χαρακτηριστικών των οδηγών και άλλων (Orpenlander, 1966). Η ταχύτητα που επιλέγεται από τους οδηγούς κατά τη διέλευση από μια καμπύλη αποτελεί μέγεθος που σχετίζεται άμεσα με τις συνθήκες τριβής που αναπτύσσονται μεταξύ του οδοστρώματος και του οχήματος. Στη περίπτωση μεγαλύτερης ταχύτητας απαιτείται και μεγαλύτερη τριβή ώστε να μην ολισθήσει το όχημα ή να ανατραπεί.

Γενικότερα οι ταχύτητες που επιλέγουν οι οδηγοί για να διέλθουν από μια καμπύλη επιδρούν σημαντικά στην ασφάλεια της κυκλοφορίας σε μια οδό και αποτελούν αντικείμενο μελέτης αρκετών επιστημόνων. Παρότι οι περισσότερες έρευνες επικεντρώνονται στη συμπεριφορά των οδηγών εντός της καμπύλης, ειδικά στην επιλογή της ταχύτητας εντός αυτής (Farah et al., 2019; Hassan et al., 2011a, 2011b) η ταχύτητα διέλευσης επιλέγεται πριν την είσοδο στη καμπύλη σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας των Vos et al. (2021).

Σε πολλές έρευνες έχει πραγματοποιηθεί ανάλυση δεδομένων ταχυτήτων για διάφορους σκοπούς όπως στα πλαίσια οδικής ασφάλειας. Τα αποτελέσματα αυτών κατέδειξαν ότι η ταχύτητα εντός της καμπύλης δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται, όπως επίσης και το ότι οι οδηγοί ξεκινούν να επιβραδύνουν πριν την είσοδο στη καμπύλη και ολοκληρώνουν την επιβράδυνση εντός αυτής (Montella et al., 2015).

Στη περίπτωση που ο οδηγός επιλέξει να διέλθει με αρκετά μεγάλη ταχύτητα από μια καμπύλη, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια του ελέγχου του οχήματος λόγω έλλειψης τριβής (Donnell et al., 2016). Εξαιτίας του γεγονότος αυτού, ο σχεδιασμός των καμπύλων έχει συσχετισθεί σε μεγάλο βαθμό με τους συντελεστές πλευρικής τριβής. Ωστόσο ο ανθρώπινος παράγοντας και η συμπεριφορά του ίδιου του οδηγού παραβλέπονται ως επί το πλείστο στο σχεδιασμό μιας καμπύλης, παρά το γεγονός ότι είναι ο ίδιος ο οδηγός που επιλέγει τη ταχύτητα. Μάλιστα οι Vos et al. (2020) διαπίστωσαν στην έρευνά τους ότι οι οδηγοί λαμβάνουν υπόψη ολόκληρο το περιβάλλοντα χώρο γύρω από μια καμπύλη κατά την επιλογή της ταχύτητας με την οποία θα διέλθουν από αυτή, ενώ οι Jamson et al. (2015) κατέληξαν ότι τα στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου της οδού θα πρέπει να είναι ευκρινή και ορατά από τους οδηγούς. Σε αντίθετη περίπτωση οι οδηγοί πιθανώς να επιβραδύνουν αργότερα εντός της καμπύλης και να διέλθουν πιο κλειστά από αυτή.

Ειδικότερα οι οδηγοί θα πρέπει να αντιληφθούν το πόσο κλειστή ή όχι είναι μια καμπύλη, δηλαδή να αντιληφθούν την ακτίνα της ώστε να επιβραδύνουν αναλόγως για να διέλθουν από αυτή. Η κατανόηση λοιπόν του τρόπου με τον οποίο οι οδηγοί επιλέγουν τη ταχύτητα με την οποία θα διέλθουν από μια καμπύλη είναι ιδιαίτερα σημαντική για τον ασφαλή σχεδιασμό των καμπύλων (Vos et al., 2021).

Ο παράγοντας της εξοικείωσης με την οδό επιδρά επίσης σημαντικά στη ταχύτητα που θα επιλέξει ο οδηγός κατά τη διέλευση από μια καμπύλη. Ένας εξοικειωμένος με την οδό οδηγός τείνει να αναπτύσσει μεγαλύτερη ταχύτητα καθώς γνωρίζει καλύτερα το περιβάλλοντα χώρο και τα χαρακτηριστικά της οδού, συγκριτικά με έναν οδηγό που διέρχεται για πρώτη φορά από αυτή και πιθανώς είναι πιο συγκρατημένος κατά την επιλογή της ταχύτητας διέλευσης. Άλλοι παράγοντες που μπορεί να επηρεάζουν την επιλογή της ταχύτητας διέλευσης από μια καμπύλη είναι ο αριθμός των λωρίδων και η κατηγορία της οδού, όπως επίσης και ορισμένα γεωμετρικά

χαρακτηριστικά όπως η γωνία αλλαγής κατεύθυνσης και το μήκος της ευθυγραμμίας (εάν αυτή υφίσταται) πριν τη καμπύλη. Ειδικότερα για το τελευταίο, οι οδηγοί πιθανώς να αναπτύξουν μεγαλύτερες ταχύτητες σε μια μεγάλη ευθυγραμμία, γεγονός που θα έχει επίδραση στη συμπεριφορά τους κατά την άφιξη και τη διέλευση στη καμπύλη που ακολουθεί.

Σε γενικές γραμμές, σύμφωνα με το υπάρχων ερευνητικό υπόβαθρο φαίνεται πως οι οδηγοί επιλέγουν τη ταχύτητα περισσότερο με βάση το πως αντιλαμβάνονται την οδό και λιγότερο με βάση τα χαρακτηριστικά που έχουν υλοποιηθεί κατά το σχεδιασμό της (Misaghi and Hassan, 2005). Για τη πρώτη περίπτωση έχει καθιερωθεί η έννοια της λειτουργικής ταχύτητας (ή  $V_{85}$ ) και για τη δεύτερη υφίσταται η ταχύτητα σχεδιασμού.

### 2.10.1 Είδη Ταχυτήτων

Σύμφωνα με τον Ψαριανό (2007), κατά τη μελέτη μιας οδού διακρίνονται τα εξής τρία είδη καθοριστικών ταχυτήτων:

- Η επιτρεπόμενη ταχύτητα  $V_{\text{επιτρ.}}$
- Η ταχύτητα μελέτης  $V_e$
- Η λειτουργική ταχύτητα  $V_{85}$

Η επιτρεπόμενη ταχύτητα  $V_{\text{επιτρ.}}$  αποτελεί το τοπικό ή γενικά το ισχύον μέγιστο όριο ταχύτητας. Παρότι τα στοιχεία μελέτης της οδού δεν προσδιορίζονται με βάση την επιτρεπόμενη ταχύτητα  $V_{\text{επιτρ.}}$ , η ταχύτητα αυτή θεωρείται καθοριστική δεδομένου ότι η ταχύτητα μελέτης που σχετίζεται άμεσα με τα στοιχεία μελέτης της οδού πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από την επιτρεπόμενη ταχύτητα.

Η ταχύτητα μελέτης προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τα περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια που ανταποκρίνονται στο προβλεπόμενο λειτουργικό χαρακτήρα της οδού στο οδικό δίκτυο και την επιδιωκόμενη ποιότητα κυκλοφοριακής ροής, με βάση το λειτουργικό χαρακτήρα της οδού. Στη ταχύτητα μελέτης αντιστοιχούν οριακές και προτεινόμενες τιμές για τα περισσότερα στοιχεία μελέτης καθώς και οι αποδεκτές τιμές για τη συσχέτιση των μεμονωμένων στοιχείων μελέτης. Ειδικότερα για ένα οδικό τμήμα η ταχύτητα μελέτης καθορίζει:

- Τις ελάχιστες ακτίνες των οριζόντιων καμπυλών
- Τις ελάχιστες παραμέτρους των κλωθοειδών
- Τις μέγιστες κατά μήκος κλίσεις και
- Τις ελάχιστες ακτίνες των κυρτών και κοίλων κατακόρυφων καμπυλών

Η λειτουργική ταχύτητα  $V_{85}$  αποτελεί μέγεθος που χρησιμοποιείται στο γεωμετρικό σχεδιασμό μεμονωμένων στοιχείων μελέτης της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και της διατομής και έχει άμεση σχέση με τη δυναμική της κίνησης των οχημάτων. Στις οδούς της ομάδας Α η ταχύτητα  $V_{85}$  αντιστοιχεί στη ταχύτητα με την οποία θα κινηθεί ανεμπόδιστα το 85% των επιβατικών οχημάτων σε καθαρό και υγρό οδόστρωμα. Στις οδούς της ομάδας Β η  $V_{85}$  συνδέεται με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα. Με τη ταχύτητα  $V_{85}$  καθορίζονται:

- Οι επικλίσεις στις οριζόντιες καμπύλες
- Τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για στάση και κατά συνέπεια οι ακτίνες των κυρτών κατακόρυφων καμπυλών
- Τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για προσπέραση
- Οι ελάχιστες οριζόντιες ακτίνες σε περίπτωση εφαρμογής αρνητικής επίκλισης
- Τα στοιχεία για την απορροή των όμβριων υδάτων



Επίσης η ταχύτητα  $V_{85}$  μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ποιότητας σχεδιασμού των οδικών τμημάτων όσον αφορά την ασφάλεια, σύμφωνα με τα Κριτήρια Ασφαλείας κατά ΟΜΟΕ-Χ.

### **3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

#### **3.1 Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα συνολικά δεδομένα που θα αξιοποιηθούν κατά το στάδιο της ανάλυσης που θα πραγματοποιηθεί στη συνέχεια της παρούσας εργασίας, καθώς επίσης και η μέθοδος συλλογής τους. Τα δεδομένα που αξιοποιήθηκαν για την υλοποίηση των διαδικασιών που θα ακολουθήσουν μετ' έπειτα, προέρχονται από τα πρωτογενή δεδομένα που καταγράφηκαν σε 25 διαφορετικές θέσεις του οδικού δικτύου της Π.Ε.Ο Αθηνών-Θεσσαλονίκης.

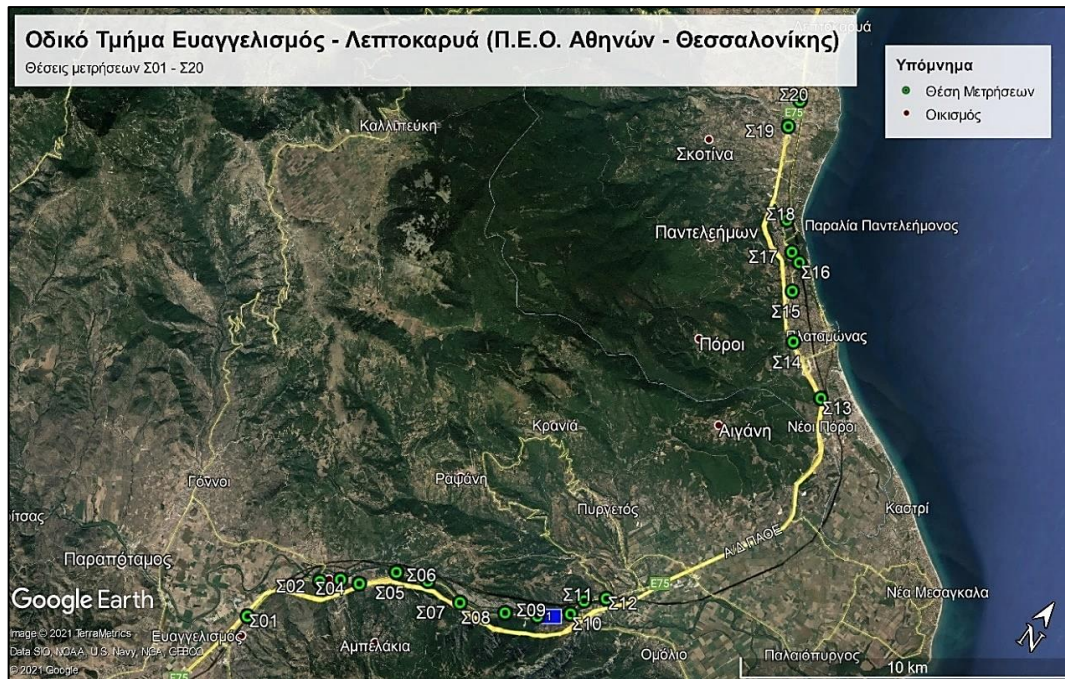
#### **3.2 Περιγραφή Οδικού Τμήματος Μελέτης**

Τα δεδομένα ταχυτήτων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση των διαδικασιών που θα ακολουθήσουν στη συνέχεια της εργασίας λήφθηκαν στο οδικό τμήμα Ευαγγελισμός - Λεπτοκαρυά, το οποίο αποτελεί τμήμα της Εθνικής Οδού 1 (ΕΟ1). Η τελευταία είναι γνωστή και ως Παλαιά Εθνική Οδός Αθηνών - Θεσσαλονίκης. Το συγκεκριμένο οδικό τμήμα αποτελεί υπεραστική οδό ταχείας κυκλοφορίας μήκους περίπου 30 km, με 2 συνολικά λωρίδες κυκλοφορίας. Βρίσκεται σε λειτουργία ταυτόχρονα με το αντίστοιχο τμήμα Ευαγγελισμός - Σκοτίνα του Αυτοκινητοδρόμου Α1, που βρίσκεται πλησίον της οδού μελέτης. Σε γενικές γραμμές επιλέχθηκε ως τμήμα καθώς αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα υπεραστικής οδού 2 λωρίδων κυκλοφορίας και διαθέτει ικανοποιητικό αριθμό καμπύλων τμημάτων διαφόρων γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Κατ' αυτό το τρόπο κρίθηκε ότι διαθέτει τα χαρακτηριστικά εκείνα που θα συμβάλλουν στην ολοκλήρωση των ζητούμενων και του σκοπού της παρούσης εργασίας.

#### **3.3 Παρουσίαση Θέσεων Μετρήσεων Ταχυτήτων**

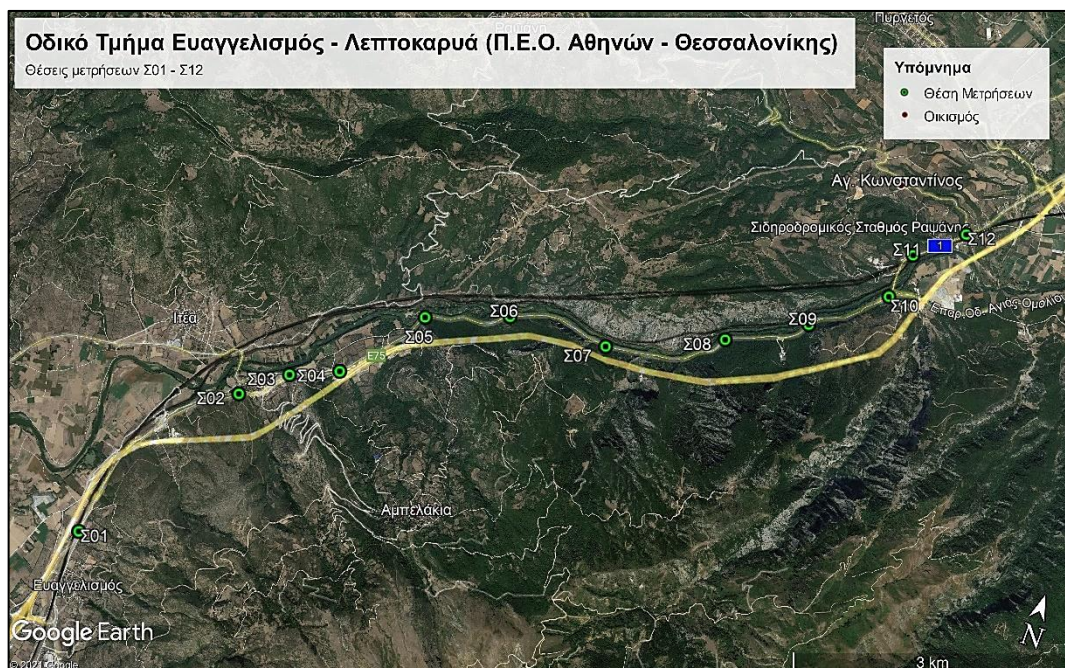
Στο συγκεκριμένο οδικό τμήμα πραγματοποιήθηκαν σημειακές μετρήσεις των ταχυτήτων διέλευσης των οχημάτων σε 25 συνολικά θέσεις. Οι περισσότερες από αυτές βρίσκονταν σε καμπύλες οριζόντιας ακτίνας μεταξύ 80 m έως 600 m, ενώ κάποιες βρίσκονταν είτε σε τμήμα ευθυγραμμίας είτε σε οριζόντιες καμπύλες πριν ή μετά από υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο. Οι θέσεις των μετρήσεων χαρακτηρίστηκαν με συμβολισμό από το Σ01 έως και το Σ20 και επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να καλύπτουν όσο το δυνατόν καλύτερα το συγκεκριμένο οδικό τμήμα. Επισημαίνεται ότι οι θέσεις που βρίσκονταν κοντά σε ισόπεδο κόμβο επιμερίστηκαν σε 2 ξεχωριστές θέσεις Α και Β ώστε να αντιπροσωπεύουν τη θέση πριν και μετά το κόμβο αντίστοιχα. Με αυτό το τρόπο οι συνολικές επιμέρους θέσεις ανέρχονται στις 25 (και όχι στις 20 όπως συμβολίζεται στη τελευταία θέση Σ20). Παράλληλα επιλέχθηκαν με γνώμονα τη κάλυψη ενός σημαντικού εύρους καμπύλων με διαφορετικές τιμές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών όπως η ακτίνα και η επίκλιση, γεγονός που εξυπηρετεί στη περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων και στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

Οι θέσεις μετρήσεων σημειακών ταχυτήτων στο υπό μελέτη οδικό τμήμα παρουσιάζονται στο σχήμα που ακολουθεί.

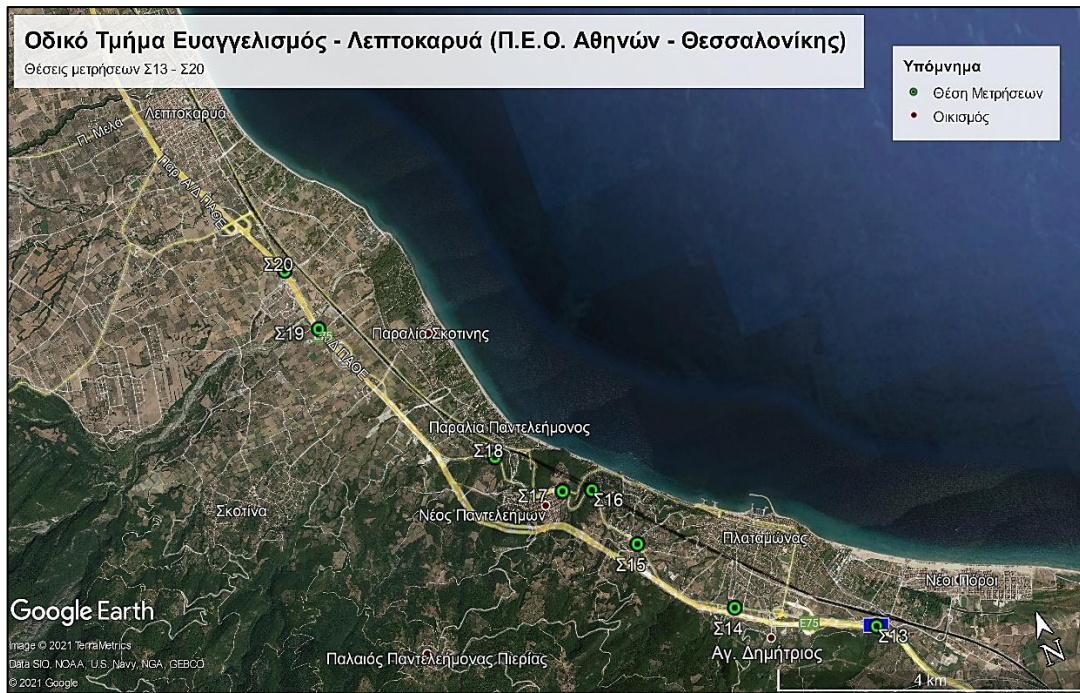


Σχήμα 3.1 : Θέσεις μετρήσεων ταχυτήτων στο οδικό τμήμα Ευαγγελισμός - Λεπτοκαρυά (Google Earth)

Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 3.1, οι θέσεις στις οποίες έγιναν οι μετρήσεις σημειακών ταχυτήτων κατανέμονται σε 2 διαφορετικά υπό-τμήματα του αρχικού τμήματος Ευαγγελισμός - Λεπτοκαρυά. Το 1<sup>ο</sup> υπό-τμήμα περιλαμβάνει τις θέσεις από την Σ01 έως και την Σ12 και βρίσκεται μεταξύ του οικισμού Ευαγγελισμός και του Σιδηροδρομικού Σταθμού Ραψάνης. Το 2<sup>ο</sup> υπό-τμήμα περιλαμβάνει τις θέσεις από την Σ13 έως και την Σ20 και βρίσκεται μεταξύ των οικισμών Πλαταμώνα και Λεπτοκαρυάς. Τα 2 αυτά υπό-τμήματα παρουσιάζονται ευκρινέστερα στα Σχήματα 3.2 και 3.3.



Σχήμα 3.2 : Θέσεις μετρήσεων ταχυτήτων Σ01 - Σ12 στο οδικό τμήμα Ευαγγελισμός - Λεπτοκαρυά (Google Earth)



Σχήμα 3.3 : Θέσεις μετρήσεων ταχυτήτων Σ13 - Σ20 στο οδικό τμήμα Ευαγγελισμός - Λεπτοκαρυά (Google Earth)

Σε κάθε μια από τις 20 θέσεις πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σημειακών ταχυτήτων και στις 2 κατευθύνσεις της οδού, δηλαδή τόσο στη κατεύθυνση προς Ευαγγελισμό (προς Αθήνα) όσο και στη κατεύθυνση προς Λεπτοκαρυά (προς Θεσσαλονίκη). Τα σημεία στα οποία τοποθετήθηκαν οι μετρητές και ο περιβάλλοντας χώρος της οδού σε κάθε σημείο και στις 2 κατευθύνσεις παρουσιάζονται στο φωτογραφικό υλικό (Σχήματα 3.4 έως 3.20) που ακολουθεί. Η αρίθμηση των θέσεων ξεκινά από τη Σ01 (1<sup>η</sup> θέση) έως και τη Σ20 (τελευταία θέση), συμπεριλαμβανομένων και των επιμέρους θέσεων Α και Β σε ορισμένες από αυτές. Σημειώνεται ότι η λήψη των φωτογραφιών πραγματοποιήθηκε σε σχετικά κοντινή απόσταση από τις θέσεις όπου τοποθετήθηκαν οι μετρητές.



Σχήμα 3.4: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ01 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.4 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ01 που ορίστηκε στο οδικό τμήμα. Η Σ01 βρίσκεται στη Χ.Θ. 379+550 λίγο μετά την υφιστάμενη

γέφυρα της περιοχής και σε κοντινή απόσταση από τη σύνδεση του Αυτοκινητοδρόμου Α1 (Αθήνα-Θεσσαλονίκη-Εύζωνοι) με το υπό μελέτη οδικό τμήμα. Επίσης η Σ01 ορίστηκε σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 200$  m.



Σχήμα 3.5: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ02 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.5 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ02, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 382+175 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 180$  m.



Σχήμα 3.6: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ03 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.6 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ03, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 382+850 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 175$  m.



Σχήμα 3.7: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ04 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.7 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ04, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 383+420 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 250$  m.



Σχήμα 3.8: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ05 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.8 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ05, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 384+575 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 160$  m.



Σχήμα 3.9: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ06 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.9 παρουσιάζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ06, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 385+580 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 180$  m.



Σχήμα 3.10: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ07 ανά κατεύθυνση

Το Σχήμα 3.10 απεικονίζει το περιβάλλοντα χώρο και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ07, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 386+875 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 600$  m. Η συγκεκριμένη καμπύλη διαθέτει τη μεγαλύτερη ακτίνα συγκριτικά με τις υπόλοιπες καμπύλες στις οποίες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ταχυτήτων.



Σχήμα 3.11: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ08 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.11 παρουσιάζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ08, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 388+260 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 120$  m.



Σχήμα 3.12: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ09 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.12 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ09, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 389+245 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 120$  m.



Σχήμα 3.13: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ10Α ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.13 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ10Α, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 390+250 της οδού και λίγο πριν τον υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο Ομολίου. Η θέση αυτή ορίστηκε σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 135$  m.



Σχήμα 3.14: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ10Β ανά κατεύθυνση

Η θέση Σ10Β βρίσκεται στη Χ.Θ. 390+500 μετά τον υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο Ομολίου, ενώ ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης αυτής παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.14. Επίσης ορίστηκε σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 135$  m.





Σχήμα 3.15: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ11 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.15 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ11, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 390+800 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 230$  m.



Σχήμα 3.16: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ12Α ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.16 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ12Α, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 391+300 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 280$  m. Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται επίσης πριν από τον υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο Ραφάνης.



Σχήμα 3.17: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ12Β ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.17 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ12Β. Η θέση αυτή βρίσκεται στη Χ.Θ. 391+700, στον οικισμό της Ραφάνης (πλησίον της

Σιδηροδρομικής Στάσης) και μετά τον υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο Ραψάνης. Επίσης βρίσκεται σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 170 \text{ m}$ .



Σχήμα 3.18: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ13Α ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.18 παρουσιάζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ13Α. Η θέση αυτή βρίσκεται στη Χ.Θ. 401+500 της οδού και λίγο πριν τον υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο Νέων Πόρων. Επίσης ορίστηκε σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 520 \text{ m}$ .



Σχήμα 3.19: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ13Β ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.19 παρουσιάζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ13Β. Η θέση αυτή βρίσκεται στη Χ.Θ. 401+900 της οδού μετά τον υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο Νέων Πόρων, σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 1300 \text{ m}$ . Επειδή η ακτίνα της καμπύλης αυτής είναι πολύ μεγάλη, θεωρείται ότι η καμπύλη πρακτικά λειτουργεί ως τμήμα ευθυγραμμίας και όχι ως οριζόντια καμπύλη. Τα οχήματα που διήλθαν από τη συγκεκριμένη θέση πρακτικά κινήθηκαν σε ευθυγραμμία και όχι σε καμπύλη, με αποτέλεσμα οι τιμές των ταχυτήτων που σημειώθηκαν και καταγράφηκαν να επηρεάζονται σαφώς από τη γεωμετρία της οδού. Αυτό συμβαίνει διότι στην ευθυγραμμία είναι ιδιαίτερα πιθανό να αναπτυχθούν μεγαλύτερες ταχύτητες από ότι σε μια οριζόντια καμπύλη, ενώ η δυναμική της κίνησης των οχημάτων είναι διαφορετική. Κατ' επέκταση οι ταχύτητες που καταγράφηκαν στη θέση αυτή θεωρούνται μη αντιπροσωπευτικές για το σκοπό της παρούσας εργασίας.

Για το παραπάνω λόγο, το δείγμα ταχυτήτων που μετρήθηκε στη συγκεκριμένη καμπύλη δεν θα ληφθεί υπόψη και η καμπύλη θα εξαιρεθεί από τις υπόλοιπες καμπύλες που θα χρησιμοποιηθούν προς επεξεργασία στη συνέχεια της εργασίας.



Σχήμα 3.20: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ14 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.20 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ14, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 403+500 της οδού και σε ευθυγραμμία. Και για αυτή τη θέση, όπως και για τη θέση Σ13B, οι μετρήσεις ταχυτήτων δεν θα ληφθούν υπόψη λόγω του ότι έχουν καταγραφεί σε ευθυγραμμία και όχι σε οριζόντια καμπύλη, με τη συνθήκη αυτή να μην διερευνάται στη παρούσα εργασία και να μην εντάσσεται στους σκοπούς αυτής.



Σχήμα 3.21: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ15 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.21 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ15, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 404+930 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 370$  m.



Σχήμα 3.22: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ16 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.22 παρουσιάζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ16, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 405+920 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 81,30$  m.

Η θέση αυτή βρίσκεται στη καμπύλη με τη μικρότερη ακτίνα μεταξύ των καμπύλων που εξετάστηκαν στη παρούσα εργασία.



Σχήμα 3.23: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ17Α ανά κατεύθυνση

Η θέση Σ17Α βρίσκεται στη Χ.Θ. 406+480 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 95$  m, με το περιβάλλοντα χώρο των 2 κατευθύνσεων να απεικονίζεται στο Σχήμα 3.23. Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται πριν τον υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο Παντελεήμονα.



Σχήμα 3.24: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ17Β ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.24 παρουσιάζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ17Β, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 407+000 της οδού, μετά τον υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο Παντελεήμονα και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 110$  m.



Σχήμα 3.25: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ18 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.25 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ18, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 407+730 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 120$  m.



Σχήμα 3.26: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ19 ανά κατεύθυνση

Στο Σχήμα 3.26 απεικονίζεται ο περιβάλλοντας χώρος και των 2 κατευθύνσεων της θέσης Σ19, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 410+700 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 100$  m.



Σχήμα 3.27: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ20Α ανά κατεύθυνση

Η θέση Σ20Α βρίσκεται στη Χ.Θ. 411+500 της οδού και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 375$  m, με το περιβάλλοντα χώρο των 2 κατευθύνσεων να απεικονίζεται στο Σχήμα 3.27. Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται πριν από τον υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο μέσω του οποίου οι οδηγοί κατευθύνονται προς τη Παραλία Σκοτίνης.



Σχήμα 3.28: Περιβάλλοντας χώρος θέσης Σ20Β ανά κατεύθυνση

Η τελευταία θέση στην οποία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ταχυτήτων ήταν η θέση Σ20Β, η οποία βρίσκεται στη Χ.Θ. 411+900 μετά τον υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο και σε καμπύλη οριζόντιας ακτίνας  $R = 375$  m. Ο περιβάλλοντας χώρος των 2 κατευθύνσεων της οδού στη θέση αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 3.28.

Σημειώνεται ότι σε όλα τα καμπύλα τμήματα οι θέσεις ορίστηκαν περίπου στο μέσο κάθε καμπύλης. Κατά αυτό το τρόπο θεωρείται ότι όλες οι ταχύτητες μετρήθηκαν στο συγκεκριμένο σημείο, στο οποίο τα αποτελέσματα της επίδρασης της γεωμετρίας της καμπύλης στις ταχύτητες των οχημάτων είναι πιο έντονα (Sultana and Hassan, 2021). Επίσης στο μέσο της καμπύλης οι οδηγοί καταγράφουν τη μικρότερη σχετικά ταχύτητα η οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική για τη κίνησή τους σε αυτή, εν αντιθέσει με τη ταχύτητα που επιλέγουν στην αρχή ή το τέλος της. Στη πρώτη περίπτωση οι οδηγοί έχουν αρχίσει ήδη να επιβραδύνουν, ενώ στη δεύτερη η ταχύτητά τους είναι μεγαλύτερη καθώς έχουν αρχίσει να επιταχύνουν εντός της καμπύλης.

Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε συνθήκες ηλιοφάνειας και με καλές καιρικές συνθήκες γενικότερα, και κατά συνέπεια σε στεγνό οδόστρωμα.

### 3.4 Εξοπλισμός Μετρήσεων

Όλες οι μετρήσεις στο υπό μελέτη οδικό τμήμα πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση αυτόματων μετρητών κυκλοφορίας της εταιρείας MetroCount. Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το MC5600. Οι συγκεκριμένοι μετρητές τοποθετήθηκαν σε κάθε μια από τις χαρακτηριστικές θέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω ώστε να καταγράψουν τον αριθμό των διελεύσεων που αντιστοιχεί στο κυκλοφοριακό φόρτο για κάθε μια από τις διαθέσιμες κατηγορίες οχημάτων, αλλά και τη ταχύτητα διέλευσης κάθε οχήματος. Αποτελούνται από εύκαμπτους λαστιχένιους σωλήνες οι οποίοι συνδέονται με ειδική συσκευή μέτρησης της μεταβολής της πίεσης. Κατά τη διέλευση των τροχών ενός οχήματος πάνω από τα λάστιχα, η πίεση του αέρα που δημιουργείται εντός τους προκαλεί την ενεργοποίηση του μετρητή δεδομένων, ο οποίος καταγράφει την ώρα και τη ταχύτητα με την οποία διήλθε το όχημα. Επίσης, ανάλογα με το βάρος του οχήματος προκύπτει η αντίστοιχη μεταβολή της πίεσης του αέρα και με αυτό το τρόπο γίνεται η κατηγοριοποίησή του σε κάποια από τις διαθέσιμες κατηγορίες.



Σχήμα 3.29: Λαστιχένιοι σωλήνες καταγραφής κυκλοφοριακών μεγεθών MC5600, MetroCount ([https://metrocount.com/?attachment\\_id=4246](https://metrocount.com/?attachment_id=4246))

Οι μετρητές τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται συχνά για τους σκοπούς μέτρησης των κυκλοφοριακών μεγεθών λόγω του σχετικά χαμηλού τους κόστους, της ευκολίας στη χρήση τους και στη σχετικά ικανοποιητική ακρίβεια με την οποία καταγράφουν τα δεδομένα, ειδικά σε οδούς με λίγες λωρίδες κυκλοφορίας. Ενδεικτικά η ακρίβειά τους μπορεί να φτάσει έως και το 99% με βάση την έρευνα των McGowen and Sanderson (2011), η οποία αντιστοιχεί σε μια απόκλιση στις ταχύτητες της τάξης του  $\pm 1$  km/h. Σημειώνεται ωστόσο ότι το σφάλμα στις καμπύλες με αρκετά μικρή ακτίνα ενδέχεται να είναι ελαφρώς μεγαλύτερο, καθώς οι 2 τροχοί των οχημάτων πιθανώς να διέρχονται πάνω από τους λαστιχένιους σωλήνες με πολύ μικρή χρονική διαφορά λόγω της γεωμετρίας της οδού.

Υπενθυμίζεται ότι σε όλες τις οριζόντιες καμπύλες οι μετρητές τοποθετήθηκαν περίπου στο μέσο αυτών και κατέγραψαν τις ταχύτητες των οχημάτων και στις 2 κατευθύνσεις.

### 3.5 Γεωμετρικά Στοιχεία Καμπύλων Οδικού Τμήματος

Για τις διαδικασίες και την ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί στη συνέχεια της εργασίας, ήταν σημαντική η άντληση των γεωμετρικών στοιχείων για όλες τις καμπύλες στις οποίες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ταχυτήτων. Τα γεωμετρικά στοιχεία για ολόκληρο το οδικό τμήμα Ευαγγελισμός-Λεπτοκαρυά καταγράφηκαν από τα διαθέσιμα σχέδια οριζοντιογραφίας, μηκοτομής και διατομών, τα οποία υλοποιήθηκαν στα πλαίσια της μελέτης γεωμετρικού σχεδιασμού της οδού.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας καταγράφηκαν και αξιοποιήθηκαν γεωμετρικά δεδομένα όπως η οριζόντια ακτίνα  $R$ , η επίκλιση  $q$ , η γωνία αλλαγής κατεύθυνσης  $\gamma$  καθώς και το μήκος των καμπύλων που μελετήθηκαν. Επίσης, στα σχέδια της γεωμετρικής μελέτης της οδού εμπεριέχονταν όλα τα γεωμετρικά στοιχεία των επιμέρους τμημάτων της οριζοντιογραφίας, όπως των κλωθοειδών που λειτουργούσαν ως τόξα συναρμογής σε ορισμένες καμπύλες. Αξίζει να σημειωθεί πως οι επικλίσεις για κάθε καμπύλη προήλθαν μέσα από επίγεια τοπογραφική αποτύπωση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια γεωμετρικής μελέτης της οδού, συνεπώς θεωρείται πως έχουν μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια.

Όσον αφορά τη κατά μήκος κλίση της οδού, από το σχέδιο μηκοτομής διαπιστώθηκε πως σε όλες τις καμπύλες δεν ξεπερνούσε το 5% σε ανωφέρεια ή κατωφέρεια, ενώ το έδαφος στο οποίο πραγματοποιήθηκε η χάραξη της οδού χαρακτηρίζεται ως πεδινό. Κατά συνέπεια θεωρείται ότι οι ταχύτητες των οχημάτων που καταγράφηκαν και χρησιμοποιήθηκαν προς ανάλυση στην εργασία αυτή δεν έχουν επηρεαστεί από τα στοιχεία της κατακόρυφης χάραξης, η οποία δεν λήφθηκε υπόψη στην ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί στη συνέχεια.

Στο Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των καμπυλών του οδικού τμήματος. Σημειώνεται πως η ελικτότητα  $K$  ανά καμπύλη υπολογίστηκε ως το πηλίκο της γωνίας αλλαγής κατεύθυνσης προς το μήκος της καμπύλης.

Πίνακας 3.1: Γεωμετρικά στοιχεία ακτίνας ( $R$ ), επίκλισης ( $q$ ), γωνίας αλλαγής κατεύθυνσης ( $\gamma$ ), μήκους καμπύλης ( $L$ ) και ελικτότητας ( $K$ ) των καμπύλων του υπό μελέτη οδικού τμήματος

ΚΑΜΠΥΛΗ	R (m)	q (%)	$\gamma$		L		K (gon/km)
			( $^{\circ}$ )	(gon)	(m)	(km)	
Σ01	200	5,00	44	48,8889	138,23	0,138	354
Σ02	180	7,00	27,93	31,0333	78,98	0,079	393
Σ03	175	7,00	44	48,8889	120,95	0,121	404
Σ04	250	9,00	19,72	21,9111	77,42	0,077	283
Σ05	160	7,00	43,42	48,2444	109,13	0,109	442
Σ06	180	9,00	25,06	27,8444	70,85	0,071	393
Σ07	600	8,00	7,73	8,5889	72,82	0,073	118
Σ08	120	9,00	52,23	58,0333	98,46	0,098	589
Σ09	120	6,00	26,42	29,3556	49,81	0,050	589

Σ10Α	135	6,00	54,53	60,5889	135,77	0,136	446
Σ10Β	135	4,00	55	61,1111	116,63	0,117	524
Σ11	230	5,00	59	65,5556	213,16	0,213	308
Σ12Α	280	6,00	23,09	25,6556	101,57	0,102	253
Σ12Β	170	8,00	15	16,6667	40,06	0,040	416
Σ13Α	520	7,00	19	21,1111	211,05	0,211	100
Σ15	370	8,00	38,59	42,8778	271,40	0,271	158
Σ16	81,3	9,00	156,92	174,3556	274,35	0,274	636
Σ17Α	95	9,00	86,09	95,6556	128,46	0,128	745
Σ17Β	110	9,00	86	95,5556	199,62	0,200	479
Σ18	120	9,00	86,61	96,2333	223,32	0,223	431
Σ19	100	5,00	54,17	60,1889	109,59	0,110	549
Σ20Α	375	5,00	12,07	13,4111	71,10	0,071	189
Σ20Β	375	-2,00	11	12,2222	64,80	0,065	189

### 3.6 Χαρακτηριστικά Δείγματος Μετρήσεων Ταχυτήτων

Οι μετρήσεις σημειακών ταχυτήτων πραγματοποιήθηκαν τις ημέρες με ημερομηνία από 17/05/2016 έως και 20/05/2016. Σε ορισμένες καμπύλες πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις 2 ή 3 από τις 4 συνολικά ημέρες, ενώ ο αριθμός των μετρήσεων στις τελευταίες 3 καμπύλες ήταν σημαντικά μικρότερος από ότι στις υπόλοιπες. Κάθε καταγραφή περιλαμβάνει την ημερομηνία και την ώρα καταγραφής της ταχύτητας, τη κατεύθυνση της οδού όπου έγινε η καταγραφή (Προς Βορρά ή Προς Νότο), καθώς και τη κατηγορία και τον αριθμό των αξόνων κάθε οχήματος. Οι κατηγορίες των οχημάτων που καταγράφηκαν ήταν συνολικά 14 και περιλάμβαναν χαρακτηριστικούς τύπους οχημάτων όπως επιβατικά (Ι.Χ.), δίκυκλα και βαρέα οχήματα. Επίσης οι μετρήσεις ταχυτήτων πραγματοποιήθηκαν τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας, όσο και κατά τις νυχτερινές ώρες. Όλες οι μετρήσεις συγκεντρώθηκαν σε αρχείο-βιβλίο εργασίας του προγράμματος Microsoft Excel, ώστε να είναι ευκολότερη η μετ' έπειτα επεξεργασία τους.

Το αρχικό συνολικό δείγμα μετρήσεων σημειακών ταχυτήτων ανερχόταν στις 547.518 μετρήσεις, εκ των οποίων ο μέσος όρος μετρήσεων ανά καμπύλη ανερχόταν στις 21.901 μετρήσεις ( $\sigma = \pm 9.009$ ,  $\max = 34.983$ ,  $\min = 1.201$ ). Από το συνολικό δείγμα, το 17% (92.833 μετρήσεις) αντιστοιχεί σε μετρήσεις που καταγράφηκαν παραπάνω από μια φορά, πιθανώς λόγω σφάλματος των μετρητών. Το υπόλοιπο 83% του δείγματος αντιστοιχεί σε συνολικά 454.685 μετρήσεις, οι οποίες κατανέμονται κατά περίπου 50% στη κάθε μια από τις 2 κατευθύνσεις του οδικού τμήματος. Εξαιρώντας τις διπλοκαταγεγραμμένες μετρήσεις, ανά καμπύλη αντιστοιχούν κατά μέσο όρο 18.187 μετρήσεις ταχυτήτων ( $\sigma = \pm 7.269$ ,  $\max = 27.564$ ,  $\min = 1.193$ ). Επιπλέον, από τις 454.685 μετρήσεις περίπου το 64% αναλογεί στα επιβατικά οχήματα τύπου Ι.Χ., ποσοστό το οποίο εκφράζει τη πλειονότητα της συγκεκριμένης κατηγορίας οχήματος έναντι των υπόλοιπων κατηγοριών.

Με βάση τα παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι το δείγμα ταχυτήτων ανά καμπύλη είναι αρκετά μεγάλο και ενδείκνυται για περαιτέρω στατιστική ανάλυση. Επίσης όλες οι μετρήσεις αντιστοιχούν στις πραγματικές ταχύτητες με τις οποίες διήλθαν τα οχήματα από τα καμπύλα τμήματα της οδού και έχουν καταγραφεί με μεγάλη ακρίβεια. Συνεπώς θεωρείται πως υπάρχει ως ένα βαθμό αξιοπιστία ως προς το δείγμα που πρόκειται να αξιοποιηθεί.

### 3.7 Δεδομένα Ιστορικού Ατυχημάτων

Πολλές φορές τα οδικά ατυχήματα που διαδραματίζονται και καταγράφονται σε μια οδό για επαρκή χρονική περίοδο (συνήθως άνω του ενός έτους) καταδεικνύουν τις αστοχίες που πιθανώς συνέβησαν κατά το γεωμετρικό σχεδιασμό αυτής και τις ανεπάρκειες που επηρεάζουν την παρεχόμενη οδική ασφάλεια της οδού. Είναι γεγονός ότι κατά τη διεξαγωγή ενός ατυχήματος



Οι περισσότερες ευθύνες επιρρίπτονται στον οδηγό, καθώς κάθε οδός σχεδιάζεται με γνώμονα την αποφυγή των ατυχημάτων και τη παροχή της καλύτερης δυνατής εξυπηρέτησης και ασφάλειας. Παρ' όλα αυτά είναι ιδιαίτερα πιθανό ένα ατύχημα να μην οφείλεται λόγω παραβίασης των κανόνων κυκλοφορίας από τους οδηγούς, αλλά λόγω των χαρακτηριστικών της ίδιας της οδού. Ιδιαίτερα στη περίπτωση των οριζόντιων καμπύλων, η συγκέντρωση ατυχημάτων σε συγκεκριμένες θέσεις μπορεί να συσχετισθεί με την ύπαρξη αστοχιών ως προς το σχεδιασμό τους.

Για το υπό μελέτη οδικό τμήμα Ευαγγελισμός-Λεπτοκαρυά ήταν διαθέσιμα τα δεδομένα οδικών ατυχημάτων για τη 5ετή περίοδο λειτουργίας της οδού από το 2010 έως και το 2015. Η χρονική περίοδος κρίνεται επαρκής για τη συσχέτιση του ιστορικού των καταγεγραμμένων ατυχημάτων με τα αποτελέσματα της ανάλυσης που θα πραγματοποιηθεί σε επόμενο κεφάλαιο της εργασίας. Στα δεδομένα αυτά συμπεριλαμβάνονταν, εκτός του συνολικού αριθμού οδικών ατυχημάτων, και πληροφορίες σχετικά με τη θέση όπου καταγράφηκαν, με το είδος του ατυχήματος αναφορικά με τις επιπτώσεις του, τα είδη των οχημάτων που ενεπλάκησαν στο οδικό ατύχημα και το διαχωρισμό των ατυχημάτων ανάλογα με το αν συνέβησαν κατά τη διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας.

Όσον αφορά το είδος του ατυχήματος συγκριτικά με τις επιπτώσεις που αυτό προκάλεσε, διακρίνονταν οι εξής περιπτώσεις:

- Ατύχημα χωρίς επιπτώσεις
- Ατύχημα μόνο με υλικές ζημιές
- Ατύχημα με τραυματισμό
- Ατύχημα με απώλεια ζωής

Όσον αφορά τα είδη των οχημάτων που ενεπλάκησαν στα ατυχήματα, διακρίνονταν οι εξής περιπτώσεις:

- Ατυχήματα με αυτοκίνητα (επιβατικά οχήματα)
- Ατυχήματα με φορτηγά (βαρέα οχήματα)
- Ατυχήματα με μοτοσυκλέτες (δίκυκλα)

Όλα τα δεδομένα οδικών ατυχημάτων τοποθετήθηκαν στο σχέδιο οριζοντιογραφίας του υπό μελέτη οδικού τμήματος σύμφωνα με τη χιλιομετρική τους θέση, ώστε να εντοπιστούν τα ατυχήματα εκείνα που διαδραματίστηκαν στις καμπύλες καταγραφής των σημειακών ταχυτήτων. Ειδικότερα, λήφθηκαν υπόψη τα ατυχήματα που σημειώθηκαν εντός των καμπυλών (συμπεριλαμβανομένων και των κλωθοειδών) στις οποίες τοποθετήθηκαν οι θέσεις καταγραφής των ταχυτήτων. Κατ' αυτό το τρόπο έγινε η αντιστοίχιση των οδικών ατυχημάτων με τις καμπύλες που προαναφέρθηκαν. Σημειώνεται ότι το σχέδιο οριζοντιογραφίας του οδικού τμήματος Ευαγγελισμός - Λεπτοκαρυά ήταν διαθέσιμο σε μορφή αρχείου .dwg και μελετήθηκε μέσω του προγράμματος Autocad.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αξιοποιήθηκαν μόνο τα ατυχήματα στα οποία ενεπλάκησαν επιβατικά οχήματα. Επίσης εξαιρέθηκαν τα οδικά ατυχήματα που συνέβησαν στις καμπύλες Σ13Β και Σ14, καθώς τα δεδομένα ταχυτήτων των συγκεκριμένων καμπυλών εξαιρέθηκαν γενικότερα από την ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί στη συνέχεια. Επισημαίνεται ότι δεν ήταν διαθέσιμη η πληροφορία σχετικά με τη κατεύθυνση στην οποία συνέβη κάθε ατύχημα.

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα οδικών ατυχημάτων ανάλογα με το είδος του οδικού ατυχήματος και τις επιπτώσεις του, όπως επίσης και τα συνολικά οδικά ατυχήματα ανά καμπύλη που διαδραματίστηκαν κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας.

Πίνακας 3.2: Οδικά ατυχήματα ανά καμπύλη ανάλογα με τις επιπτώσεις που προκλήθηκαν και συνολικά ατυχήματα ανά καμπύλη κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας

ΚΑΜΠΥΛΗ	R (m)	Χωρίς επιπτώσεις	Υλικές ζημιές	Τραυματισμός	Απώλεια ζωής	Σύνολο	Συνολικά Ημέρα	Συνολικά Νύχτα
Σ01	200	0	0	0	0	0	0	0
Σ02	180	0	1	0	0	1	1	0
Σ03	175	1	0	0	0	1	1	0
Σ04	250	0	0	0	0	0	0	0
Σ05	160	0	0	1	0	1	1	0
Σ06	180	0	0	0	0	0	0	0
Σ07	600	0	0	0	0	0	0	0
Σ08	120	0	0	0	0	0	0	0
Σ09	120	0	0	0	0	0	0	0
Σ10A	135	2	0	0	0	2	1	1
Σ10B	135	2	0	0	0	2	1	1
Σ11	230	1	0	0	0	1	1	0
Σ12A	280	0	0	0	0	0	0	0
Σ12B	170	0	1	0	0	1	0	1
Σ13A	520	0	0	0	0	0	0	0
Σ15	370	0	0	0	0	0	0	0
Σ16	81,3	0	1	0	0	1	0	1
Σ17A	95	0	1	0	0	1	1	0
Σ17B	110	0	1	1	0	2	2	0
Σ18	120	0	1	1	0	2	2	0
Σ19	100	0	0	0	0	0	0	0
Σ20A	375	0	0	0	0	0	0	0
Σ20B	375	0	0	0	0	0	0	0

## 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν για τον έλεγχο και την επεξεργασία του δείγματος σημειακών ταχυτήτων που προέκυψε ανά καμπύλη, πριν τη χρήση και την ανάλυση των δεδομένων. Η συγκεκριμένη διαδικασία κρίνεται απαραίτητη ούτως ώστε να προκύψουν τα τελικά δείγματα των ταχυτήτων που θα πληρούν τις κατάλληλες προϋποθέσεις ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις και τους σκοπούς της εργασίας. Επιπρόσθετα, τα δείγματα αυτά μέσω της ανάλυσης και της αξιοποίησής τους σε μετ' έπειτα υπολογισμούς θα συνεισφέρουν στην εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων και χρήσιμων παρατηρήσεων. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με τη βοήθεια των λογισμικών Microsoft Excel και SPSS Statistics.

### 4.2 Αρχική Επεξεργασία Δείγματος Ταχυτήτων

Όπως παρουσιάστηκε και στο Κεφάλαιο 3 χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικά δεδομένα σημειακών ταχυτήτων για 23 συνολικά καμπύλα τμήματα της υπό μελέτης οδού, με ακτίνες μεταξύ των τιμών 81,3 m - 600 m και διαφορετικές επικλίσεις. Κάθε μέτρηση από το δείγμα περιλάμβανε τη ταχύτητα του διερχόμενου οχήματος, την ώρα διέλευσής του από τη καμπύλη και τη κατεύθυνση της οδού στην οποία κινούνταν (προς Λεπτοκαρυά ή προς Ευαγγελισμό), καθώς και πληροφορίες σχετικά με τη κατηγορία του οχήματος και τον αριθμό των αξόνων του.

Αρχικά στα δείγματα ανά καμπύλη εντοπίστηκαν ορισμένες μετρήσεις οι οποίες είχαν καταγραφεί παραπάνω από μια φορά, πιθανώς είτε λόγω ενδεχόμενου σφάλματος στους μετρητές που χρησιμοποιήθηκαν για τη καταγραφή είτε λόγω της γεωμετρίας της οδού, ειδικά σε καμπύλες μικρής ακτίνας. Όπως γίνεται κατανοητό, στη περίπτωση που ληφθούν υπόψη οι μετρήσεις αυτές αναμένεται να επηρεάσουν την αξιοπιστία του δείγματος και των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από την ανάλυση. Συνεπώς επιλέχθηκε να αφαιρεθούν από το δείγμα κάθε καμπύλης, ώστε να χρησιμοποιηθούν μετ' έπειτα μόνο οι μετρήσεις που έχουν καταγραφεί μια φορά. Από τη διαδικασία αυτή προέκυψαν κατά μέσο όρο 18.187 μετρήσεις ανά καμπύλη ( $\sigma = \pm 7.269$ ,  $\max = 27.564$ ,  $\min = 1.193$ ).

Σε δεύτερη φάση, από τα συνολικά οχήματα επιλέχθηκαν μέσω εφαρμογής φίλτρου στο λογισμικό Excel τα οχήματα που αντιστοιχούν στη κατηγορία των επιβατικών οχημάτων τύπου Ι.Χ. (Κατηγορία 2). Για την ανάλυση που θα πραγματοποιηθεί στη συνέχεια κρίθηκε σκόπιμο να χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις που αφορούσαν μόνο επιβατικά οχήματα και όχι οχήματα άλλων κατηγοριών όπως δίκυκλα ή βαρέως τύπου. Η επιλογή μόνο των συγκεκριμένων οχημάτων από το συνολικό δείγμα έγκειται στο γεγονός ότι, αρχικά, τα οχήματα τύπου Ι.Χ. αποτελούν τη συνηθέστερη κατηγορία οχήματος που κυκλοφορεί σε μια οδό, γεγονός που εξαρτάται βέβαια και από τη κατηγορία αυτής. Για παράδειγμα, σε μια βιομηχανική περιοχή η παραπάνω συνθήκη δεν υφίσταται διότι αναμένεται να κυκλοφορεί τους οδούς τους περιοχής αυτής ένας μεγάλος αριθμός βαρέων οχημάτων. Ωστόσο, στο υπό μελέτη οδικό τμήμα δεν εντοπίστηκαν συνθήκες που να δικαιολογούν τη κυκλοφορία μεγάλου μέρους οχημάτων διαφορετικής κατηγορίας πέρα των επιβατικών. Η παραπάνω διαπίστωση δικαιολογείται και από τα στοιχεία του συνολικού δείγματος μετρήσεων που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3, σύμφωνα με τα οποία τα επιβατικά οχήματα αντιστοιχούν στο 64% των διελεύσεων που πραγματοποιήθηκαν στις 25 συνολικά θέσεις της οδού. Τελικώς προέκυψαν κατά μέσο όρο 11.619 μετρήσεις ( $\sigma = \pm 4.443$ ,  $\max = 17.309$ ,  $\min = 1.055$ ) ανά καμπύλη που αντιστοιχούσαν σε επιβατικά οχήματα.

Επίσης, παρά το γεγονός ότι στο ερευνητικό υπόβαθρο που μελετήθηκε εντοπίστηκαν αρκετές έρευνες που περιείχαν ευρήματα και συμπεράσματα σχετικά με τη κυκλοφορία οχημάτων διαφορετικών των επιβατικών (όπως τα βαρέα οχήματα), εντούτοις διαπιστώθηκε πως η

ανάλυση πάνω στο αντικείμενο της εργασίας αυτής εστιάζεται κυρίως στη συμπεριφορά των διαφόρων ειδών επιβατικών οχημάτων. Τέλος, η βασική σχέση δυναμικής της κίνησης (Σχέση 2.1) που αναφέρεται και χρησιμοποιείται ευρέως σε αρκετές έρευνες ενδείκνυται για τη χρησιμοποίησή της στη περίπτωση των επιβατικών οχημάτων, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που διαθέτουν άλλες κατηγορίες όπως τα βαρέα οχήματα και τη συμπεριφορά αυτών κατά τη κίνησή τους σε μια καμπύλη.

Τελικώς, οι μετρήσεις που προέκυψαν σε κάθε καμπύλη ταξινομήθηκαν ανά ημέρα, κατεύθυνση και ώρα διέλευσης.

### 4.3 Συνθήκες Ελεύθερης Ροής

Μια παράμετρος που επηρεάζει τις ταχύτητες διέλευσης των οχημάτων είναι ο κυκλοφοριακός φόρτος της οδού την ώρα όπου διέρχεται το εκάστοτε όχημα από αυτή. Στη περίπτωση υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου, οι οδηγοί είναι αναγκασμένοι να τροποποιήσουν τη ταχύτητα του οχήματός τους λόγω των προπορευόμενων οχημάτων που εμποδίζουν και καθυστερούν τη κίνησή τους. Το αντίτυπο της συνθήκης αυτής είναι ότι η ταχύτητα που θα καταγραφόταν από τους μετρητές δεν θα αντιστοιχούσε στη ταχύτητα που θα είχαν αναπτύξει οι οδηγοί στη περίπτωση που ήταν ελεύθεροι να την επιλέξουν χωρίς να παρεμποδίζονται από τα προπορευόμενα οχήματα. Συνεπώς, οι παρατηρούμενες ταχύτητες θα επηρεάζονταν σημαντικά από το κυκλοφοριακό φόρτο της οδού και θα χαρακτηρίζονταν ως μη αντιπροσωπευτικές για περαιτέρω ανάλυση.

Λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω παρατηρήσεις, τα δεδομένα ταχυτήτων διαχωρίστηκαν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αξιοποιηθούν μόνο τα οχήματα που κινήθηκαν σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Σε αυτές τις συνθήκες τα οχήματα κινούνται ανεμπόδιστα και ανεξάρτητα από τα άλλα οχήματα, χωρίς δηλαδή να επηρεάζονται από τη κίνησή τους και χωρίς να υπάρχει κυκλοφοριακή συμφόρηση. Επίσης σε συνθήκες ελεύθερης ροής η επιλογή της ταχύτητας από τους οδηγούς επηρεάζεται κυρίως από τα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας της οδού. Για το σκοπό αυτό υπολογίστηκε αρχικώς η χρονική διαφορά μεταξύ των διαδοχικά κινούμενων οχημάτων, αφαιρώντας την ώρα καταγραφής του κάθε οχήματος από τη προηγούμενή του. Η διαφορά αυτή μετατράπηκε σε δευτερόλεπτα και ακολούθως επιλέχθηκαν οι διελεύσεις με τιμή χρονικού διαχωρισμού μεγαλύτερη ή ίση των 6 sec. Η τιμή αυτή θεωρείται ότι εκφράζει τα οχήματα που κινούνται σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Με την εφαρμογή κατάλληλου φίλτρου στο λογισμικό Excel επισημάνθηκαν οι καταγραφές που ικανοποιούσαν το παραπάνω κριτήριο, ενώ όλες οι υπόλοιπες μετρήσεις εξαιρέθηκαν. Τελικώς προέκυψαν κατά μέσο όρο 4.497 μετρήσεις ( $\sigma = \pm 1.445$ ,  $\max = 7.284$ ,  $\min = 964$ ) ανά καμπύλη που αντιστοιχούσαν σε επιβατικά οχήματα κινούμενα σε συνθήκες ελεύθερης ροής.

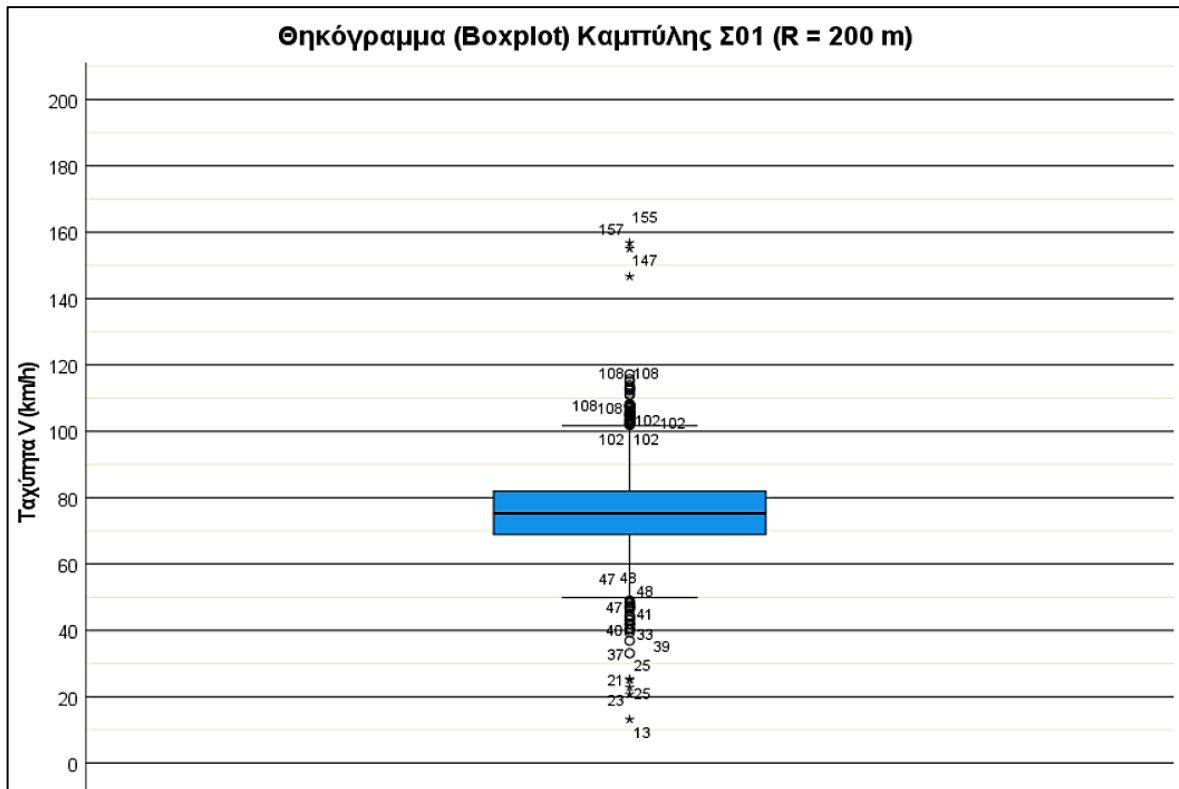
### 4.4 Έλεγχος Ακραίων Τιμών

Σε περιπτώσεις μεγάλου δείγματος ταχυτήτων θεωρείται σημαντικός ο έλεγχος ύπαρξης ακραίων τιμών, δηλαδή τιμών είτε πολύ μικρής είτε πολύ μεγάλης ταχύτητας. Συνήθως οι ακραίες τιμές σε ένα δείγμα μπορεί να επηρεάσουν τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης, ειδικά στη περίπτωση που καταλαμβάνουν σημαντικό και υπολογίσιμο μέρος του δείγματος.

Έπειτα από τις προηγούμενες διαδικασίες επεξεργασίας του δείγματος ταχυτήτων ανά καμπύλη που πραγματοποιήθηκαν, προέκυψαν οι διορθωμένες μετρήσεις που περιλάμβαναν τις ταχύτητες των επιβατικών οχημάτων που κινούνταν σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Ταξινομώντας το δείγμα ανά καμπύλη κατά αύξουσα σειρά, εντοπίστηκαν ορισμένες ακραίες τιμές ταχυτήτων οι οποίες διέφεραν σημαντικά από τις μικρότερες ή μεγαλύτερες αντίστοιχα τιμές. Ο έλεγχος για τον εντοπισμό των ακραίων τιμών πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού

SPSS Statistics, το οποίο αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο και εύκολο στη χρήση εργαλείο στατιστικής ανάλυσης.

Αρχικά εισήχθησαν τα δεδομένα ταχυτήτων για όλες τις καμπύλες στον εισαγωγέα δεδομένων (data view) του προγράμματος και στη συνέχεια επιλέχθηκε μέσω του μενού Analyze η εντολή Descriptive Statistics. Έπειτα, μέσω της εντολής Explore δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού χρήσιμων στατιστικών στοιχείων όπως ο μέσος όρος, η τυπική απόκλιση κ.α., καθώς και η παραγωγή διαγραμμάτων για τη καλύτερη οπτική παρουσίαση των δεδομένων. Ένα από τα διαγράμματα αυτά είναι και το Θηκόγραμμα (Boxplot), στο οποίο απεικονίζεται η κατανομή του δείγματος ενώ παρουσιάζονται και οι ακραίες τιμές ταχυτήτων. Το θηκόγραμμα έχει μορφή ορθογωνίου παραλληλογράμμου, με την οριζόντια γραμμή που βρίσκεται εντός του να αντιπροσωπεύει τη διάμεσο της κατανομής και τις 2 οριζόντιες πλευρές του να αντιστοιχούν στο 25% (κάτω πλευρά) και 75% των τιμών της κατανομής. Οι δύο οριζόντιες γραμμές που βρίσκονται εκτός του ορθογωνίου παραλληλογράμμου λειτουργούν ως όρια του δείγματος και βρίσκονται σε απόσταση  $\pm 1,5 \cdot (V_{75} - V_{25})$  από τις οριζόντιες πλευρές του θηκογράμματος, όπου  $V_{25}$  είναι η ταχύτητα στο 25% και  $V_{75}$  η ταχύτητα στο 75% του δείγματος αντίστοιχα. Οι μετρήσεις του δείγματος που βρίσκονται εκτός των παραπάνω ορίων θεωρούνται ως ακραίες τιμές (outliers). Ένα παράδειγμα θηκογράμματος ακολουθεί στη συνέχεια.



Σχήμα 4.1: Θηκόγραμμα καμπύλης Σ01 οριζόντιας ακτίνας  $R = 200 \text{ m}$

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται το θηκόγραμμα για τις μετρήσεις της καμπύλης Σ01. Όπως φαίνεται σε αυτό, το δείγμα ταχυτήτων περιλαμβάνει αρκετές ακραίες τιμές οι οποίες βρίσκονται εκτός των ορίων που επισημάνθηκαν προηγουμένως. Για τη συγκεκριμένη καμπύλη τα όρια ορίστηκαν στις ταχύτητες  $V_{\max} = V_{75} + 1,5 \cdot (V_{75} - V_{25})$  και  $V_{\min} = V_{25} - 1,5 \cdot (V_{75} - V_{25})$ , οι οποίες αντιστοιχούν στις τιμές  $V_{\min} = 49,21 \text{ km/h}$   $V_{\max} = 101,73 \text{ km/h}$ . Οι τιμές εκτός των ορίων αυτών χαρακτηρίζονται ως ακραίες καθώς απέχουν σημαντικά από τις μικρότερες/υψηλότερες τιμές ταχυτήτων του δείγματος, γεγονός που ενδεχομένως να επιδράσει αρνητικά στις διαδικασίες και

τους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν. Συνεπώς κρίνεται σκόπιμο να αφαιρεθούν από το δείγμα της καμπύλης αυτής.

Αξίζει να σημειωθεί πως για τη συγκεκριμένη καμπύλη παρατηρήθηκε μέσω του θηκογράμματός της ότι οι 2 πλευρές του ορθογωνίου παραλληλογράμμου βρίσκονται συμμετρικά ως προς τη διάμεσο της κατανομής, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με τη θέση των 2 ορίων άνω και κάτω του ορθογωνίου τα οποία φαίνεται πως ισαπέχουν από τις οριζόντιες πλευρές του. Η παρατήρηση αυτή σχετίζεται με τη μορφή της κατανομής που ακολουθούν τα δεδομένα ταχυτήτων της συγκεκριμένης καμπύλης, καθώς η ύπαρξη συμμετρίας αποτελεί ένδειξη ότι τα δεδομένα πιθανώς ακολουθούν τη κανονική κατανομή. Ωστόσο ο έλεγχος της κατανομής για όλες τις καμπύλες θα πραγματοποιηθεί παρακάτω.

Με τον ίδιο τρόπο όπως στη καμπύλη Σ01 ορίστηκαν τα όρια των τιμών του δείγματος κάθε καμπύλης και ακολούθως αφαιρέθηκαν οι ακραίες τιμές ταχυτήτων. Αξίζει να σημειωθεί πως, συγκριτικά με το συνολικό δείγμα ταχυτήτων ανά θέση-καμπύλη, διαπιστώθηκε ότι οι τιμές ακραίων ταχυτήτων ήταν αριθμητικά σχετικά λίγες, της τάξης του 2% με 3% του συνολικού δείγματος. Ωστόσο, στη καμπύλη Σ04 το ποσοστό των ακραίων τιμών ήταν μεγαλύτερο και προσέγγιζε το 6%, με το μεγαλύτερο τμήμα αυτών να αντιστοιχεί σε ταχύτητες κάτω από 40 km/h. Το γεγονός αυτό πιθανώς να οφείλεται σε κάποιο συμβάν που μπορεί να συνέβη στο χρονικό διάστημα εντός της περιόδου καταγραφής των ταχυτήτων στη καμπύλη, το οποίο είχε επίπτωση στις ταχύτητες που καταγράφηκαν με αποτέλεσμα να επηρεαστεί και η αντίστοιχη κατανομή. Τελικώς προέκυψαν κατά μέσο όρο 4.436 μετρήσεις ( $\sigma = \pm 1.464$ ,  $\max = 7.236$ ,  $\min = 943$ ) ανά καμπύλη.

#### 4.5 Έλεγχος Κανονικότητας Κατανομής

Δεδομένου ότι το δείγμα σημειακών ταχυτήτων ανά καμπύλη είναι σχετικά μεγάλο καθώς περιλαμβάνει ένα σημαντικό αριθμό διελεύσεων, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν από την ανάλυση των δεδομένων αναμένεται να έχουν σχετικά μεγάλη ακρίβεια. Ωστόσο, επειδή ακριβώς διατέθηκαν αναλυτικά δεδομένα ταχυτήτων για τους σκοπούς της εργασίας αυτής, θεωρείται σημαντικός ο έλεγχος της κατανομής του δείγματος για κάθε καμπύλη ούτως ώστε να διερευνηθεί η στατιστική αξιοπιστία των δεδομένων.

Η πιο γνωστή ίσως κατανομή θεωρείται ότι είναι η Κανονική Κατανομή (Normal Distribution). Μια από τις υποθέσεις που λαμβάνονται υπόψη κατά την επεξεργασία και την ανάλυση δεδομένων ώστε τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής να θεωρούνται αξιόπιστα και έγκυρα, είναι το δείγμα μιας μεταβλητής να ακολουθεί όσο το δυνατόν καλύτερα τη κανονική κατανομή. Η υπόθεση αυτή ακολουθείται συχνά στο κλάδο της κυκλοφοριακής τεχνικής για τις ταχύτητες των οχημάτων, ειδικότερα για αυτές που παρατηρούνται σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Στη περίπτωση της παρούσας εργασίας, κρίθηκε σκόπιμο να ελεγχθεί η κανονικότητα του δείγματος ταχυτήτων ανά καμπύλη. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού SPSS Statistics τόσο γραφικά όσο και με βάση τα αποτελέσματα γνωστών στατιστικών ελέγχων, ώστε να προκύψει μια ολοκληρωμένη εικόνα σχετικά με τη κατανομή των δεδομένων.

Το λογισμικό χρησιμοποιεί τους στατιστικούς ελέγχους Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk για το προσδιορισμό ή μη της κανονικότητας της υποκείμενης κατανομής. Οι παραπάνω έλεγχοι συγκρίνουν τις τιμές του ελεγχόμενου δείγματος με τις τιμές ενός αναμενόμενου δείγματος που ακολουθεί τη κανονική κατανομή και έχει τον ίδιο μέσο όρο και την ίδια τυπική απόκλιση με το ελεγχόμενο δείγμα. Ως μηδενική λαμβάνεται η υπόθεση κατά την οποία τα δεδομένα που υπόκεινται στους ελέγχους ακολουθούν τη κανονική κατανομή, ενώ στην εναλλακτική υπόθεση τα δεδομένα δεν ακολουθούν τη κανονική κατανομή.

Εκτελώντας τους ελέγχους μέσω του λογισμικού, προέκυψαν τα αποτελέσματα σε μορφή πίνακα. Στο πίνακα αυτό ελέγχθηκαν οι τιμές p-value που αναφέρονται στη στήλη Sig. και στους 2 ελέγχους και οι οποίες εκφράζουν τη μικρότερη τιμή του συντελεστή εμπιστοσύνης  $\alpha$  βάσει της οποίας απορρίπτεται ή όχι η μηδενική υπόθεση. Για παράδειγμα, στη περίπτωση που ο συντελεστής εμπιστοσύνης είναι ίσος με  $\alpha = 0,05$  (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%), εάν η τιμή p-value είναι μεγαλύτερη του 0,05 ισχύει η μηδενική υπόθεση και τα δεδομένα του δείγματος ακολουθούν τη κανονική κατανομή. Σε αντίθετη περίπτωση, εάν η τιμή p-value είναι μικρότερη του 0,05 απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση και τα δεδομένα του δείγματος δεν ακολουθούν τη κανονική κατανομή. Η παραπάνω συνθήκη ισχύει αντίστοιχα και για μικρότερους συντελεστές εμπιστοσύνης κατά τον ίδιο τρόπο.

Τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk για τα δείγματα ταχυτήτων ανά καμπύλη παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα, το οποίο εξάχθηκε μέσω του λογισμικού SPSS Statistics.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Σ01	,024	6562	<,001			
Σ02	,027	5687	<,001			
Σ03	,017	3756	,011	,997	3756	<,001
Σ04	,017	3719	,016	,997	3719	<,001
Σ05	,027	5421	<,001			
Σ06	,012	3465	,200*	,998	3465	<,001
Σ07	,016	2886	,068	,997	2886	<,001
Σ08	,012	5388	,089			
Σ09	,010	3506	,200*	,999	3506	,003
Σ10A	,016	3763	,028	,998	3763	<,001
Σ10B	,010	5913	,200*			
Σ11	,009	4391	,200*	,998	4391	<,001
Σ12A	,014	4366	,056	,998	4366	<,001
Σ12B	,009	5130	,200*			
Σ13A	,011	4660	,141	,998	4660	<,001
Σ15	,023	4799	<,001	,996	4799	<,001
Σ16	,022	5853	<,001			
Σ17A	,022	7236	<,001			
Σ17B	,021	5299	<,001			
Σ18	,037	4819	<,001	,994	4819	<,001
Σ19	,015	943	,200*	,996	943	,026
Σ20A	,022	1949	,033	,997	1949	<,001
Σ20B	,023	2512	,005	,996	2512	<,001

\*. This is a lower bound of the true significance.  
a. Lilliefors Significance Correction

Σχήμα 4.2: Αποτελέσματα στατιστικών ελέγχων Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk για τα δείγματα ταχυτήτων στις καμπύλες Σ01 έως και Σ20B

Όπως παρατηρείται στο Σχήμα 4.2, τα αποτελέσματα των ελέγχων διαφοροποιούνται μεταξύ των δειγμάτων ανά καμπύλη. Πιο αναλυτικά, από τον έλεγχο Kolmogorov-Smirnov διαπιστώθηκε πως οι ταχύτητες που μετρήθηκαν σε 10 συνολικά καμπύλες (Σ06, Σ07, Σ08, Σ09,

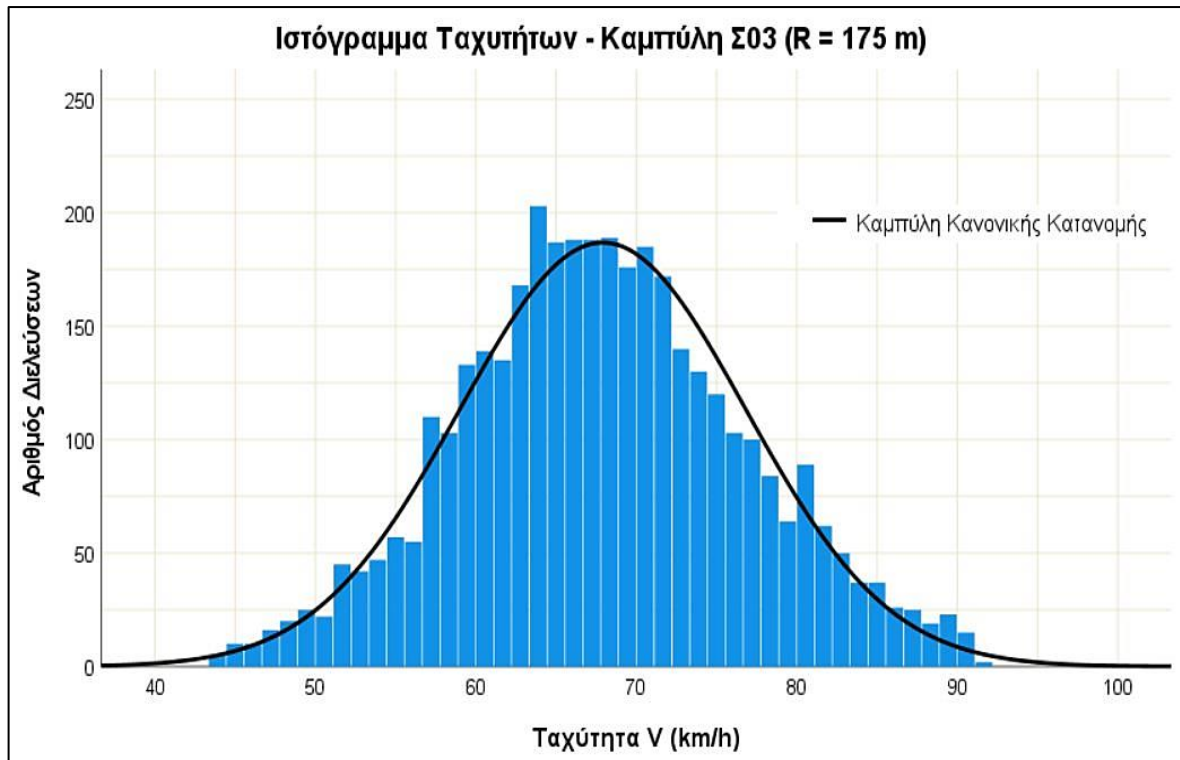
Σ10B, Σ11, Σ12A, Σ12B, Σ13A και Σ19) ακολουθούν τη κανονική κατανομή για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, καθώς σε αυτές η τιμή του p-value προέκυψε μεγαλύτερη από τη τιμή 0,05. Αντίστοιχα, για επίπεδο εμπιστοσύνης 99% ( $\alpha = 0,01$ ) οι ταχύτητες στις καμπύλες Σ03, Σ04, Σ10A και Σ20A ακολουθούν τη κανονική κατανομή καθώς η τιμή του p-value σε αυτές προέκυψε μεγαλύτερη από τη τιμή 0,01. Συνολικά σε 14 από τις 23 καμπύλες τα δεδομένα ακολουθούν τη κανονική κατανομή, σύμφωνα με τα αποτελέσματα του στατιστικού ελέγχου Kolmogorov-Smirnov. Στις υπόλοιπες καμπύλες η τιμή του p-value προέκυψε πολύ μικρή ( $p < 0,001$ ), συνεπώς η υπόθεση κανονικότητας της κατανομής απορρίπτεται, τουλάχιστον σε πρώτο στάδιο.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα του ελέγχου Shapiro-Wilk, παρατηρήθηκε μεγάλη διαφοροποίηση συγκριτικά με τα αποτελέσματα του ελέγχου Kolmogorov-Smirnov. Σε ένα μεγάλο αριθμό καμπυλών δεν πραγματοποιήθηκε ο συγκεκριμένος έλεγχος, ενώ στις καμπύλες όπου ήταν διαθέσιμα τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε πως σχεδόν σε όλες η τιμή του p-value προέκυψε πολύ μικρή. Κατά συνέπεια, η υπόθεση της κανονικότητας των δεδομένων ταχυτήτων απορρίπτεται με βάση τα αποτελέσματα του ελέγχου Shapiro-Wilk.

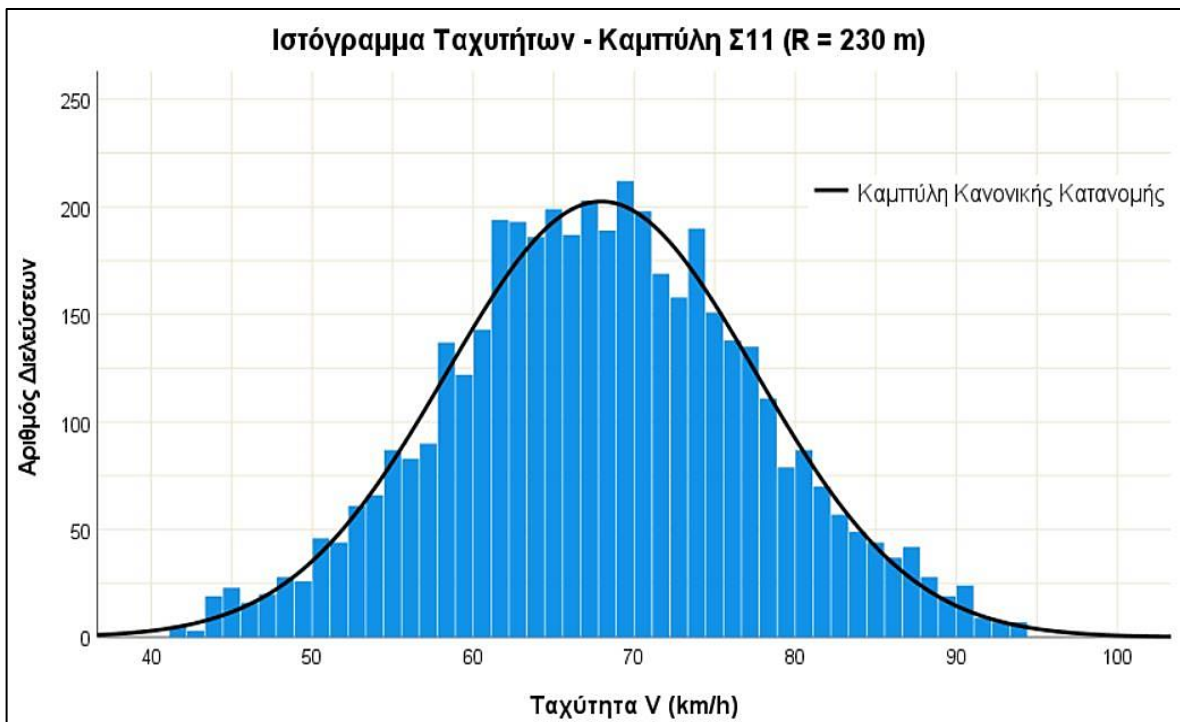
Πέρα των θεωρητικών στατιστικών ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν και αναφέρθηκαν παραπάνω, το πρόγραμμα SPSS Statistics επιτρέπει τον γραφικό έλεγχο της κανονικότητας της κατανομής των δεδομένων ταχυτήτων ανά καμπύλη μέσω της κατασκευής χρήσιμων διαγραμμάτων. Μέσω αυτών μπορούν να ληφθούν συμπεράσματα σχετικά με τη μορφή της κατανομής των δεδομένων ανά καμπύλη, ενώ γενικότερα η παρουσία τους στοχεύει στη καλύτερη παρουσίαση και κατανόηση των αποτελεσμάτων. Παράλληλα, ενδείκνυται η αξιοποίησή τους συνδυαστικά με τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων που προηγήθηκαν. Στη παρούσα φάση επιλέχθηκε να κατασκευαστεί και να αξιολογηθεί το ιστόγραμμα ταχυτήτων κάθε καμπύλης, το οποίο αποτελεί μια από τις συνηθέστερες μορφές διαγράμματος για το σκοπό αυτό.

Στο πρόγραμμα η δημιουργία του ιστογράμματος ταχυτήτων για κάθε καμπύλη έγινε μέσω της εντολής Explore (Analyze → Descriptive Statistics → Explore). Σε κάθε ένα από τα ιστογράμματα απεικονίζονται οι συχνότητες με τις οποίες εμφανίζονται οι τιμές ταχυτήτων του δείγματος, καθώς και πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη κενών ή ακραίων τιμών στα δεδομένα. Πέρα από την επιλογή κατασκευής, το πρόγραμμα διαθέτει την επιλογή εμφάνισης της καμπύλης της κανονικής κατανομής στο γράφημα, ώστε να διευκολυνθεί η οπτική σύγκριση της κατανομής του δείγματος με τη κανονική κατανομή. Ορισμένα ιστογράμματα ταχυτήτων για τις καμπύλες του οδικού τμήματος μελέτης παρουσιάζονται παρακάτω.

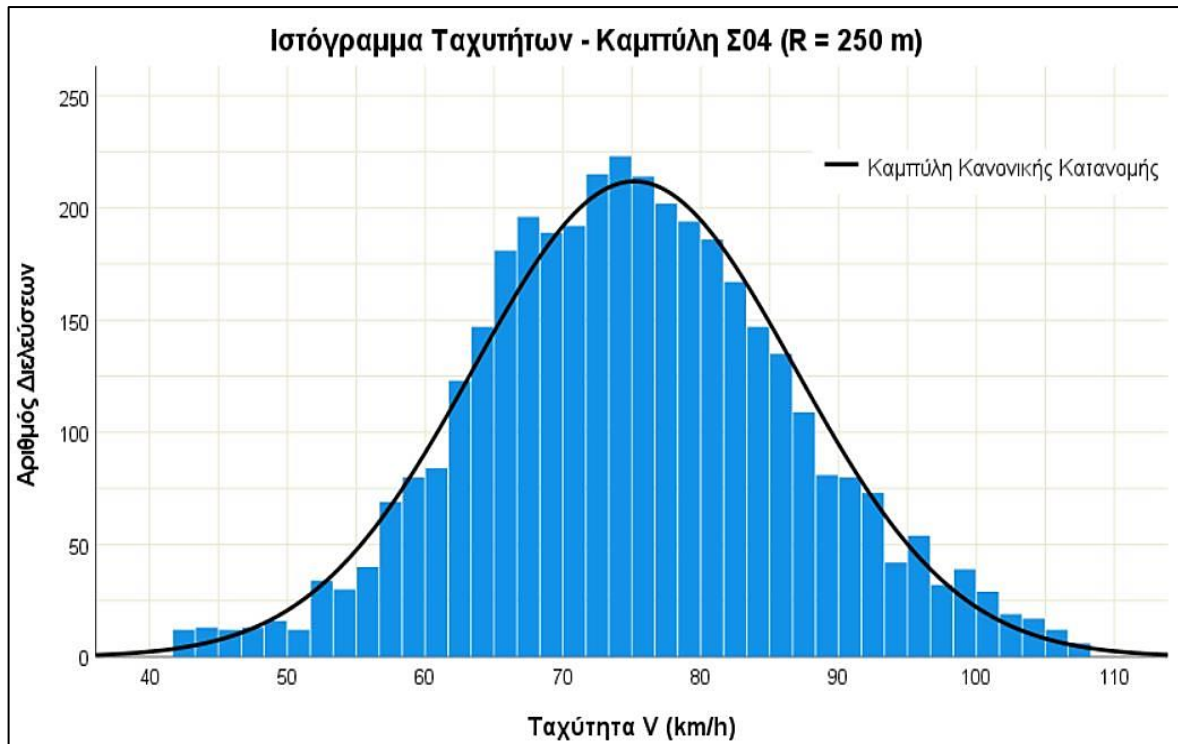




Σχήμα 4.3: Ιστόγραμμα ταχυτήτων για τη καμπύλη Σ03 οριζόντιας ακτίνας  $R = 175\text{ m}$



Σχήμα 4.4: Ιστόγραμμα ταχυτήτων για τη καμπύλη Σ11 οριζόντιας ακτίνας  $R = 230\text{ m}$



Σχήμα 4.5: Ιστογράμμα ταχυτήτων για τη καμπύλη Σ04 οριζόντιας ακτίνας  $R = 175 \text{ m}$

Τα ιστογράμματα ταχυτήτων που κατασκευάστηκαν μέσω του προγράμματος SPSS Statistics για τις 23 συνολικά καμπύλες παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο Παράρτημα 1 που παρατίθεται στο τέλος της εργασίας αυτής. Παρατηρώντας συνολικά όλα τα ιστογράμματα, διαπιστώθηκε πως σε όλες τις καμπύλες οι ταχύτητες των επιβατικών οχημάτων σε γενικές γραμμές ακολουθούν τη κανονική κατανομή. Σε κάθε ένα από τα γραφήματα η καμπύλη της κανονικής κατανομής προσαρμόζεται σχετικά ικανοποιητικά στα δεδομένα ταχυτήτων χωρίς να παρουσιάζονται σημαντικές στρεβλώσεις ή αποκλίσεις. Πιθανές εξαιρέσεις παρατηρήθηκαν στις καμπύλες Σ04 και Σ15 έως Σ18, στις οποίες παρουσιάστηκαν μικρές στρεβλώσεις ως προς τη κανονικότητα του δείγματος. Ωστόσο η μορφή των ιστογραμμάτων των συγκεκριμένων καμπυλών κρίθηκε ως αποδεκτή.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ασυμφωνία που παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων με τα αποτελέσματα των ιστογραμμάτων σε ορισμένες καμπύλες. Από τους 2 ελέγχους που διενεργήθηκαν προέκυψε ότι ταχύτητες που καταγράφηκαν σε ορισμένες καμπύλες δεν ακολουθούν τη κανονική κατανομή, ενώ τα αποτελέσματα, κυρίως, του ελέγχου Shapiro-Wilk δεν συμπίπτουν σε όλες τις καμπύλες με τη γενική εικόνα που παρουσιάζεται στα ιστογράμματα. Η παραπάνω διαπίστωση μπορεί πιθανώς να δικαιολογηθεί από τη σχετική ευαισθησία που παρουσιάζουν και οι 2 έλεγχοι στις ακραίες τιμές των δειγμάτων και στη συχνότητα με την οποία αυτές εμφανίζονται συγκριτικά με τη συχνότητα των τιμών κοντά στο μέσο όρο.

Μια άλλη εξήγηση που μπορεί να δοθεί σχετίζεται με το μέγεθος του δείγματος ταχυτήτων ανά καμπύλη. Πιο αναλυτικά, το δείγμα ταχυτήτων ανά καμπύλη είναι αρκετά μεγάλο καθώς σε όλες τις καμπύλες (με εξαίρεση τη Σ19) ο ελάχιστος αριθμός μετρήσεων ανέρχεται περίπου στις 2.000 μετρήσεις. Μάλιστα σε κάποιες καμπύλες ο αριθμός του δείγματος ξεπερνά τις 5.000 μετρήσεις. Το γεγονός αυτό μπορεί να επιδρά στα αποτελέσματα των στατιστικών ελέγχων, καθώς στη περίπτωση ενός πολύ μεγάλου δείγματος τίθεται το ζήτημα εάν οι έλεγχοι κανονικότητας είναι υπερβολικά συντηρητικοί. Κατά συνέπεια, πιθανώς σε αυτές τις περιπτώσεις να απορρίπτονται πολύ εύκολα την υπόθεση της κανονικότητας. Αντίθετα, η ύπαρξη μεγάλου δείγματος ταχυτήτων

ανά καμπύλη ενδεχομένως να δικαιολογεί τη τάση των δεδομένων να ακολουθούν τη κανονική κατανομή, σύμφωνα με τα ιστογράμματα που κατασκευάστηκαν. Τέλος, δεν μπορεί να παραλειφθεί και η πιθανότητα τα δεδομένα να ακολουθούν μια διαφορετική της κανονικής κατανομή, χωρίς ωστόσο να διερευνάται η περίπτωση αυτή στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

Συνολικά, εξετάζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα και τις διαπιστώσεις που σημειώθηκαν, λήφθηκε η θεώρηση πως τα δεδομένα ταχυτήτων ανά καμπύλη ακολουθούν τη κανονική κατανομή. Κατ' επέκταση θεωρείται πως τα δεδομένα αυτά είναι έγκυρα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις διαδικασίες και τους υπολογισμούς που θα ακολουθήσουν ώστε να παραχθούν αξιόπιστα αποτελέσματα.

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

### 5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι διαδικασίες και οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν κατά την αξιοποίηση και την ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων ταχυτήτων. Μέσω αυτών προέκυψαν οι αντιπροσωπευτικές τιμές των κατάλληλων μεγεθών, οι οποίες συσχετίστηκαν και αξιολογήθηκαν ούτως ώστε να προκύψουν τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε.

### 5.2 Υπολογισμός Αντιπροσωπευτικών Τιμών Ταχύτητας

Από τις διαδικασίες επεξεργασίας των μετρήσεων ταχύτητας που αναλύθηκαν παραπάνω, προέκυψε ένα σημαντικό δείγμα ταχυτήτων για κάθε καμπύλη. Ενδεικτικά, το συνολικό δείγμα που θα αξιοποιηθεί στη συνέχεια αποτελείται κατ' ελάχιστο από 2.000 μετρήσεις ταχυτήτων ανά καμπύλη (με εξαίρεση τη καμπύλη Σ19) το οποίο θεωρείται ικανοποιητικό ώστε να χρησιμοποιηθεί προς ανάλυση. Επίσης, δεδομένου του μεγάλου δείγματος πραγματικών μετρήσεων ταχυτήτων ανά καμπύλη και της κανονικότητας με την οποία αυτές κατανέμονται, αναμένεται τα αποτελέσματα που θα προκύψουν στην ανάλυση που θα ακολουθήσει να είναι αξιόπιστα. Ως επακόλουθο, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η αξιοποίηση ενός τέτοιου δείγματος ταχυτήτων στα πλαίσια του θέματος που ερευνάται στην εργασία αυτή.

Η αξιοποίηση των μετρήσεων ταχύτητας στηρίζεται σε πρώτη φάση στη διερεύνηση της συμπεριφοράς των οδηγών μέσω της ανάλυσης των ταχυτήτων που σημειώθηκαν στις καμπύλες του οδικού τμήματος. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει τον υπολογισμό βασικών στατιστικών μεγεθών για τις ταχύτητες ανά καμπύλη, καθώς και τη διερεύνηση χαρακτηριστικών ποσοστών των οχημάτων που διήλθαν με συγκεκριμένη ταχύτητα από αυτή.

Σε αρκετές έρευνες τονίζεται η σημασία της διεξαγωγής ερευνών που δίνουν έμφαση στις συμπεριφορές των οδηγών όσον αφορά την επιλογή ταχύτητας. Τέτοιου είδους έρευνες αναγνωρίζουν τη σημασία και την επίδραση του ανθρώπινου παράγοντα μέσω της ετερογένειας του πληθυσμού των οδηγών στον καθορισμό των ταχυτήτων. Αναφέρουν ότι πιθανώς υπάρχουν τρεις τύποι οδηγών όσον αφορά την επιλογή ταχύτητας: (α) οι συντηρητικοί οδηγοί που προσπαθούν πάντα να παραμένουν κάτω από το αναρτημένο όριο ταχύτητας, (β) οι μέσοι οδηγοί, που αποτελούν την πλειοψηφία των οδηγών και οι οποίοι προσπαθούν να μην υπερβαίνουν το όριο ταχύτητας σε αδικαιολόγητο βαθμό και (γ) οι επιθετικοί οδηγοί που χρησιμοποιούν το αναρτημένο όριο ταχύτητας ως κατώτατο όριο και αναζητούν συνεχώς ευκαιρίες για να οδηγούν με υψηλότερες ταχύτητες.

Λαμβάνοντας υπόψη τη παραπάνω διαπίστωση, επιλέχθηκε ο προσδιορισμός 3 χαρακτηριστικών ταχυτήτων ανά καμπύλη. Η επιλογή αυτή έγινε ούτως ώστε να εκφραστούν κατά αυτό το τρόπο οι 3 διαφορετικοί τύποι οδηγών και να διερευνηθούν διαφορετικές προσεγγίσεις ως προς τα αποτελέσματα που θα προκύψουν. Τα ποσοστά αυτά εκφράζουν το δείγμα των οδηγών που δεν υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή ενός μεγέθους, στη προκειμένη περίπτωση της ταχύτητας. Ως εκ τούτου, προσδιορίστηκε η ταχύτητα που δεν υπερβαίνει το 15%, 50% και 85% των οδηγών σε κάθε καμπύλη, που εκφράζεται μέσω των ταχυτήτων  $V_{15}$ ,  $V_{50}$  και  $V_{85}$ . Η  $V_{15}$  εκφράζει μια πιο συντηρητική προσέγγιση στην επιλογή των οδηγών καθώς η τιμή της θα είναι μικρότερη συγκριτικά με τις ταχύτητες που δεν υπερβαίνουν μεγαλύτερα ποσοστά των οδηγών, ενώ ως ταχύτητα αναφοράς θα αντιπροσωπεύει τις μικρότερες ταχύτητες διέλευσης του δείγματος. Η  $V_{50}$  αντιπροσωπεύει το μέσο όρο των οδηγών και προσεγγίζει τη μέση ταχύτητα που παρατηρείται κατά τη διέλευση των οχημάτων σε μια καμπύλη. Τέλος, η  $V_{85}$  εκφράζει ουσιαστικά την έννοια της λειτουργικής ταχύτητας της καμπύλης και αντιπροσωπεύει ένα αρκετά μεγαλύτερο ποσοστό του δείγματος των οδηγών και των ταχυτήτων που καταγράφηκαν

σε μια οριζόντια καμπύλη. Η συγκεκριμένη ταχύτητα ως ταχύτητα αναφοράς θεωρείται ότι εκφράζει την επιθετική συμπεριφορά των οδηγών καθώς αντιπροσωπεύει τους οδηγούς εκείνους που διέρχονται με σχετικά μεγαλύτερη ταχύτητα από μια καμπύλη, χωρίς ωστόσο να λαμβάνονται υπόψη οι υπερβολικά μεγάλες ταχύτητες.

Οι ταχύτητες  $V_{15}$ ,  $V_{50}$  και  $V_{85}$  προσδιορίστηκαν σε πρώτη φάση για το σύνολο των μετρήσεων ανά καμπύλη μέσω του προγράμματος SPSS Statistics. Ουσιαστικά προκύπτουν μέσω υπολογισμού αρχικώς της πιθανότητας εμφάνισης και έπειτα της αθροιστικής πιθανότητας κάθε τιμής του δείγματος. Οι 3 αυτές τιμές θεωρούνται αντιπροσωπευτικές καθώς προκύπτουν με βάση τις πραγματικές τιμές ταχυτήτων που καταγράφηκαν σε κάθε καμπύλη. Παράλληλα προσδιορίστηκαν βασικά στατιστικά μεγέθη του δείγματος ταχυτήτων ανά καμπύλη όπως ο μέσος όρος της ταχύτητας (ή μέση τιμή,  $V_{μέση}$ ) η τυπική απόκλιση  $\sigma$ , η μέγιστη (max) και η ελάχιστη (min) τιμή ταχύτητας, καθώς επίσης και το εύρος ταχυτήτων ως η διαφορά της μέγιστης με την ελάχιστη τιμή. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί.

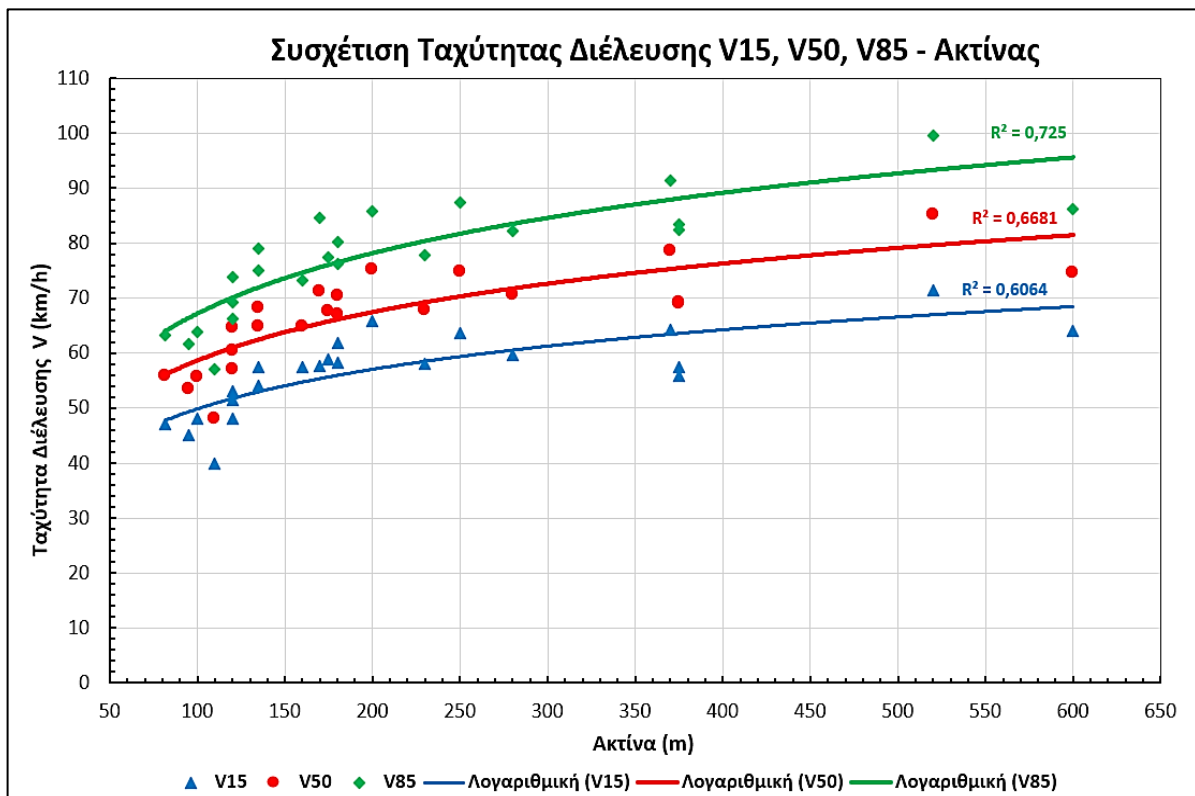
Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικές ταχύτητες και στατιστικά στοιχεία ταχυτήτων ανά καμπύλη

ΚΑΜΠΥΛΗ	R (m)	V (km/h)							
		$V_{15}$	$V_{50}$	$V_{85}$	$V_{μέση}$	$\sigma$	Min	Max	Εύρος
Σ01	200	65,79	75,25	85,79	75,56	9,39	49,88	101,70	51,82
Σ02	180	61,90	70,38	80,31	70,91	8,76	46,78	95,19	48,41
Σ03	175	58,82	67,59	77,34	67,92	8,91	43,96	91,50	47,54
Σ04	250	63,57	74,87	87,33	75,19	11,67	41,74	107,14	65,40
Σ05	160	57,55	64,90	73,27	65,31	7,66	43,78	86,64	42,86
Σ06	180	58,16	67,02	76,28	67,20	8,80	42,94	91,45	48,51
Σ07	600	63,99	74,54	86,11	74,88	10,71	45,37	104,06	58,69
Σ08	120	48,06	57,00	66,29	57,10	8,62	33,00	80,90	47,90
Σ09	120	51,53	60,50	69,24	60,48	8,41	36,60	84,06	47,46
Σ10Α	135	53,99	64,83	74,97	64,55	10,08	36,05	92,37	56,32
Σ10Β	135	57,40	68,24	78,94	68,11	10,47	38,89	96,32	57,43
Σ11	230	58,14	67,86	77,84	67,96	9,61	41,74	94,20	52,46
Σ12Α	280	59,57	70,68	82,16	70,77	10,82	40,67	100,49	59,82
Σ12Β	170	57,72	71,25	84,52	71,18	12,84	36,39	106,05	69,66
Σ13Α	520	71,36	85,14	99,59	85,33	13,48	48,00	122,35	74,35
Σ15	370	64,31	78,53	91,34	78,05	13,10	42,71	113,43	70,72
Σ16	81,3	47,11	55,89	63,23	55,50	7,58	34,19	76,77	42,58
Σ17Α	95	45,03	53,51	61,59	53,34	7,78	30,80	75,82	45,02
Σ17Β	110	39,87	48,05	56,97	48,17	7,96	25,20	70,82	45,62
Σ18	120	53,13	64,69	73,75	63,85	9,52	36,94	90,24	53,30
Σ19	100	48,01	55,70	63,87	55,74	7,37	36,63	74,64	38,01
Σ20Α	375	57,38	69,25	82,50	69,80	11,95	37,56	102,69	65,13
Σ20Β	375	55,80	68,94	83,48	69,53	12,98	35,00	105,00	70,00

Όπως ήταν αναμενόμενο, οι ταχύτητες  $V_{85}$  προέκυψαν μεγαλύτερες από τις ταχύτητες  $V_{50}$  και αυτές με τη σειρά τους μεγαλύτερες από τις ταχύτητες  $V_{15}$ , όπως παρατηρείται στο Πίνακα 5.1. Παρατηρείται επίσης πως η  $V_{μέση}$  έλαβε τιμές παραπλήσιες με αυτές της  $V_{50}$  όπως ήταν λογικό. Όσον αφορά τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές ταχύτητας στις καμπύλες, διαπιστώθηκε πως στη

πλειονότητά τους ήταν λογικές και δεν προσέγγιζαν κάποια σημαντικά ακραία τιμή. Ειδικά για τις μέγιστες ταχύτητες, δεδομένου ότι το γενικό όριο ταχύτητας στην Ελλάδα για οδούς ταχείας κυκλοφορίας είναι ίσο με 90 km/h με επιτρεπόμενη απόκλιση στις ταχύτητες των οδηγών ίση με περίπου  $\pm 10$  km/h, προκύπτει ότι η πλειονότητα των οδηγών κινήθηκε με ταχύτητες που δεν ξεπερνούν υπερβολικά το επιτρεπόμενο όριο που προσεγγίζει τα 100 km/h. Μοναδικές εξαιρέσεις διαπιστώθηκαν στις καμπύλες Σ04 (107,14 km/h), Σ12B (106,05 km/h), Σ13A (122,35 km/h), Σ15 (113,43 km/h) και Σ20B (105 km/h) οι οποίες ωστόσο πιθανώς να σημειώθηκαν λόγω της μεγάλης οριζόντιας ακτίνας των καμπυλών αυτών. Αντίστοιχα, στις ελάχιστες τιμές ταχυτήτων ανά καμπύλη δεν εντοπίστηκαν υπερβολικά μικρές τιμές ταχύτητας, με εξαίρεση ορισμένες καμπύλες μικρής ακτίνας όπως η Σ08 (33 km/h) και η Σ16 (34,19 km/h). Στη καμπύλη Σ17B η πολύ μικρή ελάχιστη ταχύτητα του δείγματος (25,20 km/h) πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη καμπύλη βρίσκεται μετά τον υφιστάμενο κόμβο Παντελεήμονα. Τονίζεται ότι οι παραπάνω τιμές προέκυψαν έχοντας προηγηθεί η αρχική επεξεργασία των δειγμάτων ταχυτήτων κατά την οποία αφαιρέθηκαν όλες οι ακραίες τιμές. Η διαδικασία αυτή συνέβαλλε στη καλύτερη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Άλλη μια διαπίστωση η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως αναμενόμενη είναι το γεγονός πως φαίνεται να υπάρχει μια τάση αύξησης της ταχύτητας με την αύξηση της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης. Η διαπίστωση αυτή έχει διατυπωθεί σε αρκετές έρευνες και επιβεβαιώνεται στη παρούσα εργασία, καθώς οι οδηγοί οδηγούν με μεγαλύτερες ταχύτητες σε καμπύλες μεγαλύτερης ακτίνας και με μικρότερες σε πιο κλειστές καμπύλες.



Σχήμα 5.1: Συσχέτιση ταχύτητας διέλευσης οχημάτων στο 15% ( $V_{15}$ ), στο 50% ( $V_{50}$ ) και στο 85% ( $V_{85}$ ) των διερχόμενων οχημάτων με την οριζόντια ακτίνα της καμπύλης

Από το Σχήμα 5.1 διαπιστώνεται πως οι ταχύτητες που σημειώνουν τα οχήματα εντός της καμπύλης αυξάνονται με την αύξηση της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης. Για καμπύλη ακτίνας 100 m η ταχύτητα  $V_{15}$  λαμβάνει προσεγγιστικά τιμή ίση με 50 km/h, η  $V_{50}$  ίση με 60 km/h και η  $V_{85}$  ίση με 68 km/h. Για καμπύλη ακτίνας 250 m οι ταχύτητες  $V_{15}$ ,  $V_{50}$  και  $V_{85}$  λαμβάνουν τιμές ίσες με 60 km/h, 70 km/h και 82 km/h αντίστοιχα, ενώ σε μια καμπύλη ακτίνας 500 m λαμβάνουν

τιμές ίσες με 67 km/h, 80 km/h και 93 km/h αντίστοιχα. Τέλος, από τη τάση της  $V_{85}$  διαπιστώθηκε πως στις καμπύλες μεγάλης ακτίνας (άνω των 400 m) οι οδηγοί υπερέβησαν το γενικό όριο ταχύτητας για οδούς της συγκριμένης κατηγορίας, το οποίο ανέρχεται στα 90 km/h. Ο δείκτης αξιοπιστίας  $R^2$  υποδεικνύει μέτρια προς ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της ταχύτητας των οχημάτων και της οριζοντιογραφικής ακτίνας των καμπυλών.

Άξιες σχολιασμού είναι επίσης οι τιμές της τυπικής απόκλισης των ταχυτήτων, οι οποίες προέκυψαν σχετικά μεγάλες σε αρκετές καμπύλες. Οι μεγάλες διασπορές στα δεδομένα ταχυτήτων και οι μεγάλες αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν ουσιαστικά αντιστοιχούν σε ποσοστά διελεύσεων οχημάτων με μεγάλες διαφορές ταχυτήτων. Παρά το γεγονός ότι τα δείγματα ταχυτήτων διορθώθηκαν αρχικώς μέσω της αφαίρεσης των πολύ μεγάλων ή πολύ μικρών τιμών ταχύτητας, η τυπική απόκλιση της ταχύτητας σε όλες τις καμπύλες προσεγγίζει ή και ξεπερνάει σε κάποιες καμπύλες τα 10 km/h. Σημειώνεται ότι οι ακραίες τιμές ταχυτήτων που εξαιρέθηκαν σε προηγούμενη διαδικασία αντιστοιχούσαν στις διελεύσεις οχημάτων στις οποίες οι οδηγοί υπερέβησαν κατά πολύ το γενικό όριο ταχύτητας (90 km/h). Συνεπώς, στη περίπτωση που οι τιμές αυτές παρέμεναν στο δείγμα θα είχαν ως αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση της τυπικής απόκλισης της ταχύτητας ανά καμπύλη.

Έχοντας εξαιρέσει τις ακραίες τιμές ταχύτητας, αναζητήθηκαν οι πιθανοί λόγοι για τους οποίους οι ταχύτητες των δειγμάτων αποκλίνουν σε τέτοιο βαθμό από τη μέση ταχύτητα. Η πρώτη παρατήρηση έχει να κάνει με το γεγονός ότι οι μεγαλύτερες αποκλίσεις παρατηρήθηκαν στις καμπύλες που βρίσκονταν πριν ή μετά από υφιστάμενο κόμβο. Σε αυτές είναι ιδιαίτερα πιθανό οι ταχύτητες που καταγράφηκαν να επηρεάστηκαν από τη παρουσία του κόμβου, καθώς κάποιοι οδηγοί ίσως μείωσαν ταχύτητα ώστε να πραγματοποιήσουν ελιγμό στροφής στο κόμβο και κάποιοι άλλοι διατήρησαν τη ταχύτητά τους διασχίζοντάς τον ώστε να συνεχίσουν τη πορεία τους στην οδό. Στις καμπύλες Σ04, Σ07 και Σ15 όπου η τυπική απόκλιση προέκυψε μεγαλύτερη των 10 km/h πιθανώς να συνέβη κάποιο συμβάν που καθυστέρησε τους οδηγούς με αποτέλεσμα να καταγραφούν αρκετές μικρότερες ταχύτητες. Ειδικά για τις καμπύλες Σ07 και Σ15, των οποίων η ακτίνα είναι μεγάλη (600 m και 370 m αντίστοιχα) και άρα αναμένονται γενικότερα μεγαλύτερες ταχύτητες διέλευσης, δεν δικαιολογείται η καταγραφή πολλών μετρήσεων μικρής ταχύτητας.

Η μεγάλη διασπορά στις ταχύτητες και οι μεγάλες αποκλίσεις-διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των ταχυτήτων μπορούν επίσης να αιτιολογηθούν από τα χαρακτηριστικά των ίδιων των οχημάτων. Πιο αναλυτικά, ο στόλος των οχημάτων που κυκλοφορεί σε μια οδό δεν αποτελείται αποκλειστικά και μόνο από σύγχρονα ή παλαιά οχήματα, αλλά στη πραγματικότητα από μια μίξη αυτών. Συνεπώς μπορεί να γίνει αντιληπτό το γεγονός ότι ένα σύγχρονο όχημα, το οποίο διαθέτει βελτιωμένα χαρακτηριστικά και μεγαλύτερη ιπποδύναμη από ένα όχημα εικοσαετίας, θα μπορεί να αναπτύξει μεγαλύτερη ταχύτητα συγκριτικά με ένα παλαιό όχημα. Ουσιαστικά, η μεγάλη διασπορά των ταχυτήτων σε μια καμπύλη συγκεκριμένων γεωμετρικών χαρακτηριστικών (ακτίνας, επίκλισης και κατά μήκος κλίσης) ενδεχομένως να οφείλεται στο συνδυασμό σύγχρονων και παλαιών οχημάτων, καθώς οι διαφορές στα χαρακτηριστικά τους δεν τους επιτρέπει να μπορούν να αναπτύξουν την ίδια (μεγάλη) ταχύτητα. Έχει αποδειχθεί πως η διαφορά στις ταχύτητες μεταξύ οχημάτων διαφορετικών τεχνολογιών και οι μεγάλες τυπικές αποκλίσεις της ταχύτητας αυξάνουν τη πιθανότητα πρόκλησης οδικού ατυχήματος και γενικότερα μπορεί να συμβάλλουν στη μείωση της οδικής ασφάλειας στις οριζόντιες καμπύλες (Sultana and Hassan, 2021).

Παρά τη μεγάλη διασπορά των ταχυτήτων που παρατηρήθηκε στις καμπύλες του υπό μελέτη οδικού τμήματος και η οποία ενδεχομένως να οφείλεται σε διάφορους παράγοντες που επισημάνθηκαν παραπάνω, τα δεδομένα αντιπροσωπεύουν τη πραγματική εικόνα της κυκλοφορίας και τη ρεαλιστική συμπεριφορά των οδηγών. Η διασπορά αυτή δεν ήταν

αναμενόμενη και θα ήταν χρήσιμη η διερεύνησή της σε μελλοντική φάση, ωστόσο η αξιολόγηση που πραγματοποιήθηκε δεν παύει να αποτελεί μια αξιολόγηση πραγματικών μετρήσεων.

### 5.3 Υπολογισμός Συντελεστή Πλευρικής Τριβής

Σε προηγούμενο βήμα επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν τα δείγματα ταχυτήτων για όλες τις καμπύλες, ώστε να είναι διαθέσιμος προς περαιτέρω χρήση ένας αρκετά μεγάλος αριθμός δεδομένων. Μέσα από την ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκαν οι κατάλληλες διαδικασίες και οι υπολογισμοί ούτως ώστε να αξιοποιηθούν οι μετρήσεις ταχυτήτων για τον υπολογισμό μεγεθών που εμπεριέχονται στο αντικείμενο της παρούσης εργασίας. Συγκεκριμένα, κάθε μια τιμή από τις ταχύτητες μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να προσδιοριστούν οι πραγματικές τιμές πλευρικών επιταχύνσεων που δέχτηκαν οι οδηγοί κατά την οδήγησή τους στις καμπύλες της οδού. Ωστόσο, είναι δεδομένο ότι κάθε τιμή πλευρικής επιτάχυνσης είναι ισοδύναμη με την απαιτούμενη εγκάρσια τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των ελαστικών του οχήματος και του οδοστρώματος. Η τριβή αυτή εκφράζεται μέσω του απαιτούμενου συντελεστή πλευρικής τριβής, κατά συνέπεια κάθε τιμή του συντελεστή πλευρικής τριβής αντιστοιχεί στη πλευρική επιτάχυνση του οχήματος εκφρασμένη ως προς την επιτάχυνση της βαρύτητας  $g$ .

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, συμπεραίνεται πως ήταν εφικτός ο υπολογισμός της απαιτούμενης τιμής εγκάρσιας τριβής για κάθε ένα από τα οχήματα που διήλθαν από κάθε καμπύλη. Η διερεύνηση των τιμών του απαιτούμενου συντελεστή πλευρικής τριβής σε κάθε καμπύλη υλοποιήθηκε για τις διάφορες τιμές τόσο της ταχύτητας όσο και των γεωμετρικών παραμέτρων των καμπυλών όπως η ακτίνα και η επίκλιση. Με αυτό το τρόπο ερευνήθηκαν οι πραγματικές απαιτήσεις πλευρικής τριβής σε καμπύλες διαφορετικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών με σκοπό να προκύψουν ορισμένες αντιπροσωπευτικές τιμές της.

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν θεωρώντας ότι η σημειακή ταχύτητα που καταγράφηκε για κάθε όχημα διατηρείται σταθερή κατά τη διέλευσή του από τη καμπύλη. Για σταθερή τιμή ακτίνας  $R$  και επίκλισης  $q$  της καμπύλης, υπολογίστηκε ο απαιτούμενος/αναπτυσσόμενος συντελεστής πλευρικής τριβής  $f_{RA}$  επιλύοντας κατάλληλα τη βασική εξίσωση δυναμικής της κίνησης του οχήματος (Σχέση 2.2). Η συγκεκριμένη εξίσωση παρουσιάζεται και χρησιμοποιείται τόσο στους ελληνικούς κανονισμούς σχεδιασμού οδών (ΟΜΟΕ-Χ) όσο και στην ευρύτερη επιστημονική βιβλιογραφία.

Σημειώνεται πως οι ταχύτητες των οχημάτων κάθε καμπύλης ταξινομήθηκαν αρχικώς κατά αύξουσα σειρά, ώστε να ελεγχθεί η κλιμάκωση των τιμών του συντελεστή από την ελάχιστη στη μέγιστη ταχύτητα.

Από την επίλυση της Σχέσης 2.2 προέκυψε η παρακάτω σχέση υπολογισμού του απαιτούμενου συντελεστή πλευρικής τριβής :

$$f_{RA} = \frac{V^2}{127 \cdot R} - q \quad (5.1)$$

όπου:

$f_{RA}$ : ο απαιτούμενος συντελεστής πλευρικής τριβής

$V$  (km/h): η ταχύτητα διέλευσης του οχήματος

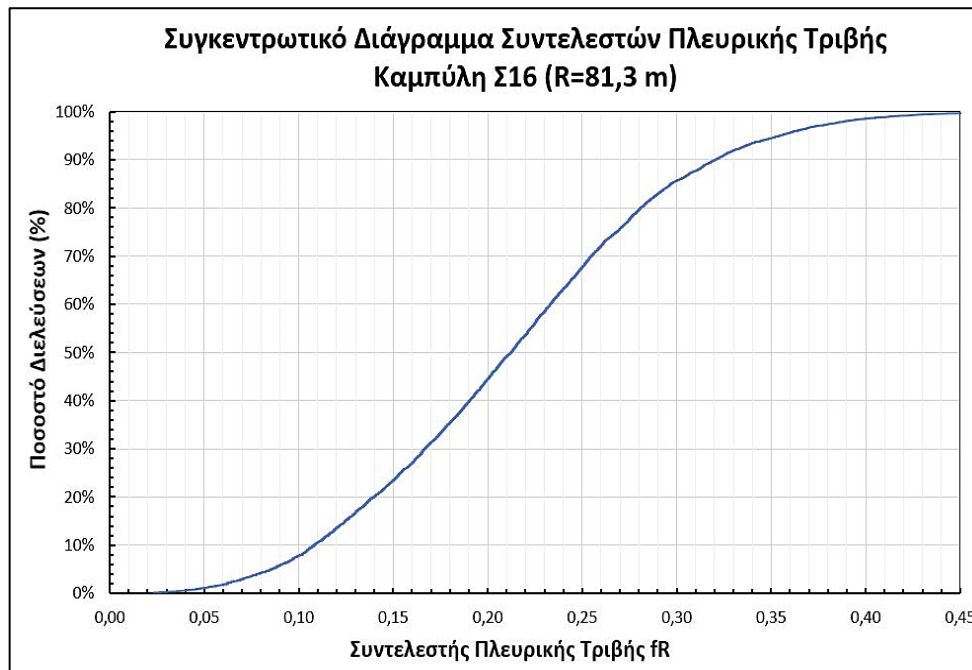
$R$  (m): η ακτίνα της καμπύλης

$q$ : η επίκλιση της καμπύλης

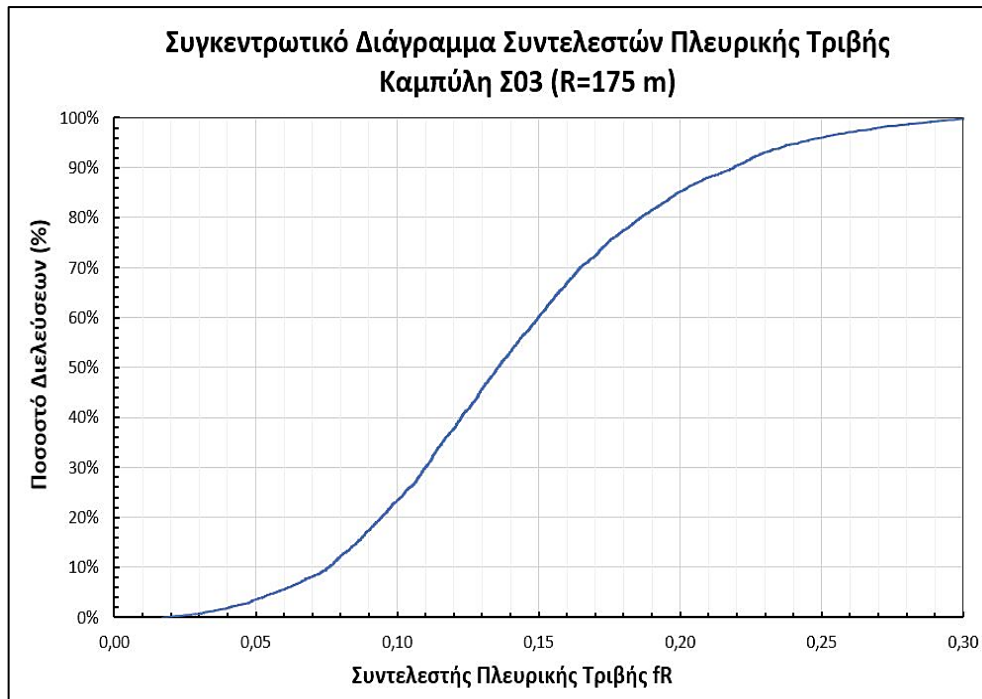
Η τιμή  $f_{RA}$  αποτελεί τη πραγματική τιμή του συντελεστή πλευρικής τριβής του οχήματος που απαιτείται για τη διέλευσή του από τη καμπύλη, βάσει της ταχύτητάς του, της ακτίνας  $R$  και της επίκλισης  $q$  αυτής. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της σχέσης 5.1 όπως



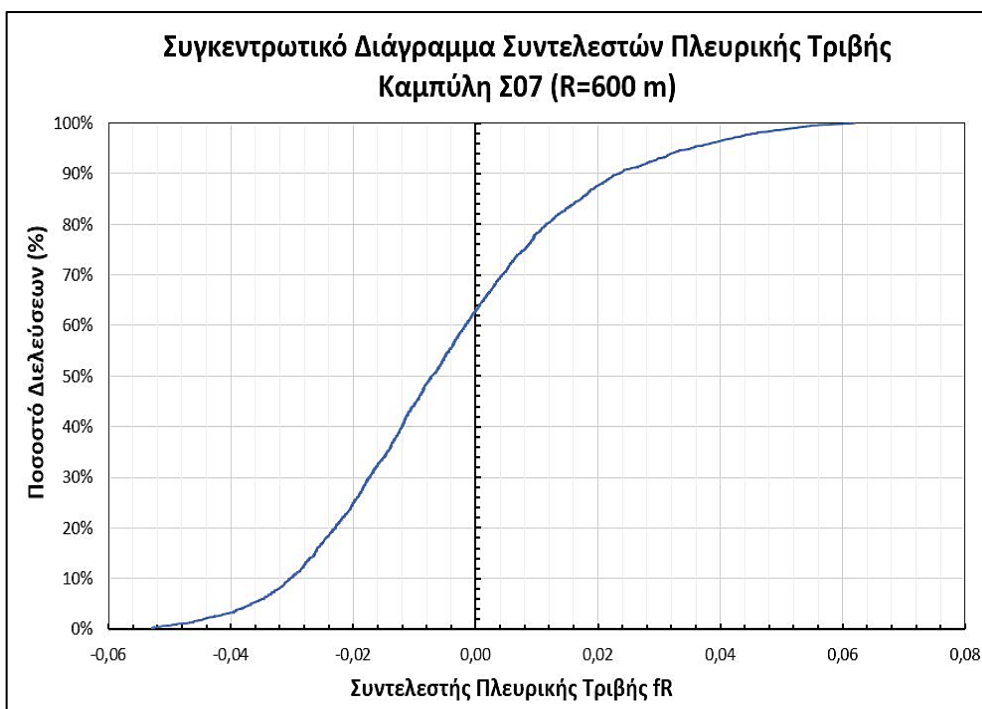
είναι κατανοητό διέφεραν μεταξύ των καμπυλών, καθώς κάθε μια διέθετε διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά . Κατά συνέπεια μεταβαλλόταν και το εύρος των τιμών που έλαβε ο συντελεστής πλευρικής τριβής σε κάθε καμπύλη. Για τη καλύτερη οπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων, δημιουργήθηκαν τα συγκεντρωτικά διαγράμματα του συντελεστή πλευρικής τριβής σε σχέση με το ποσοστό των διερχόμενων οχημάτων από τη καμπύλη, για κάθε μια από τις 23 καμπύλες. Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα 3 καμπυλών μικρής, μεσαίας και μεγάλης ακτίνας αντίστοιχα, ώστε να διερευνηθούν και οι 3 χαρακτηριστικές περιπτώσεις καμπυλών. Ως καμπύλες μικρής, μεσαίας και μεγάλης ακτίνας επιλέχθηκαν αντίστοιχα οι καμπύλες Σ16 ( $R=81,3\text{ m}$ ), Σ03 ( $R=175\text{ m}$ ) και Σ07 ( $R=600\text{ m}$ ). Τα διαγράμματα των υπόλοιπων καμπυλών παρατίθενται στο Παράρτημα 2.



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα συντελεστή πλευρικής τριβής συναρτήσει του ποσοστού διελεύσεων οχημάτων στη καμπύλη Σ16 ( $R=81,3\text{ m}$ )



Σχήμα 5.3: Διάγραμμα συντελεστή πλευρικής τριβής συναρτήσεως του ποσοστού διελεύσεων οχημάτων στη καμπύλη Σ03 (R=175 m)



Σχήμα 5.4: Διάγραμμα συντελεστή πλευρικής τριβής συναρτήσεως του ποσοστού διελεύσεων οχημάτων στη καμπύλη Σ07 (R=600 m)

Στις καμπύλες μικρότερης ακτίνας, μια εκ των οποίων ήταν και η Σ16, οι τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής προσέγγιζαν το 0 για μικρές ταχύτητες και έφταναν έως και το 0,45-0,50 για τις μεγαλύτερες. Αντίστοιχα στις καμπύλες μεσαίας ακτίνας όπως ήταν η Σ03 ο συντελεστής έλαβε μέγιστες τιμές προσεγγιστικά έως και το 0,35, μικρότερες από τις τιμές για καμπύλες μικρότερης ακτίνας. Το γεγονός αυτό θεωρήθηκε αναμενόμενο καθώς οι οδηγοί δέχονται

λιγότερη πλευρική επιτάχυνση οδηγώντας σε καμπύλες μεγαλύτερης ακτίνας, επομένως οι τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής ήταν αντίστοιχα μικρότερες. Στις καμπύλες μεγάλης σχετικά ακτίνας, όπως στη Σ07, ο συντελεστής πλευρικής τριβής έλαβε μέγιστες τιμές ίσες με έως και 0,25 στις μεγαλύτερες ταχύτητες. Ωστόσο, στις μικρές ταχύτητες παρατηρήθηκε πως ο συντελεστής έλαβε αρνητικές τιμές. Αυτό συνέβη διότι, δεδομένης της μεγάλης ακτίνας της καμπύλης και των μικρών ταχυτήτων που σημειώθηκαν σε αυτή, η επίκλιση υπερκάλυψε την φυγόκεντρο δύναμη εξ' ολοκλήρου, χωρίς να απομένει κάποιο ποσοστό αυτής που θα έπρεπε θεωρητικά να καλυφθεί από την απαιτούμενη τριβή. Στη προκειμένη περίπτωση, κατά τη χρήση της σχέσης 5.1 η τιμή της επίκλισης ήταν μεγαλύτερη από τη τιμή του ημίλογου του 1<sup>ου</sup> όρου της σχέσης, με αποτέλεσμα ο συντελεστής  $f_R$  να λάβει αρνητικές τιμές. Πρέπει να επισημανθεί γενικά πως εκτός της ακτίνας, η παράμετρος που επίδρασε καθοριστικά στην εξαγωγή των τιμών αυτών του συντελεστή πλευρικής τριβής ήταν η επίκλιση. Η εφαρμογή μεγαλύτερης επίκλισης σε μια καμπύλη έχει ως αποτέλεσμα οι οδηγοί να δέχονται μικρότερη επιτάχυνση, οι απαιτήσεις σε πλευρική τριβή να είναι μειωμένες και κατά συνέπεια ο συντελεστής  $f_R$  να λαμβάνει μικρότερες τιμές.

Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα που προέκυψαν έδειξαν πως για καμπύλες μικρής ακτίνας (< 150 m) ο συντελεστής πλευρικής τριβής έλαβε τιμές προσεγγιστικά και κατά μέσο όρο μεταξύ των τιμών 0 έως 0,40, για καμπύλες μεσαίας ακτίνας (150 m ≤ R ≤ 250 m) μεταξύ των τιμών 0 έως 0,32 και για καμπύλες μεγάλης ακτίνας (> 250 m) από -0,02 έως 0,18. Επισημαίνεται πως στις περιπτώσεις των καμπύλων που βρίσκονταν πριν ή μετά από υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο πιθανώς να υπήρξε επιρροή στις ταχύτητες που καταγράφηκαν λόγω των συνθηκών κόμβου, συνεπώς και στις τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής. Ωστόσο η πλειοψηφία των καμπύλων που ανήκουν σε αυτή τη κατηγορία και ειδικότερα οι θέσεις καταγραφής των ταχυτήτων τοποθετήθηκαν σε τέτοια απόσταση από το κόμβο που να θεωρείται πως η επιρροή ήταν σχετικά μικρότερη συγκριτικά με το αν οι θέσεις είχαν επιλεγεί πλησίον των κόμβων.

Επίσης διερευνήθηκαν οι τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής για τα ποσοστά διέλευσης του 15%, 50% και 85% των οδηγών, όπως ακριβώς έγινε και με τις ταχύτητες. Οι χαρακτηριστικές τιμές για τις 3 προσεγγίσεις συμπεριφοράς των οδηγών (συντηρητική, μέση και επιθετική) παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικές τιμές συντελεστή πλευρικής τριβής ανά καμπύλη

ΚΑΜΠΥΛΗ	R (m)	q (%)	$f_R$		
			$f_{R_{15}}$	$f_{R_{50}}$	$f_{R_{85}}$
Σ01	200	5%	0,12	0,17	0,24
Σ02	180	7%	0,10	0,15	0,22
Σ03	175	7%	0,08	0,14	0,20
Σ04	250	9%	0,03	0,09	0,15
Σ05	160	7%	0,09	0,14	0,20
Σ06	180	9%	0,06	0,11	0,17
Σ07	600	8%	-0,03	-0,01	0,02
Σ08	120	9%	0,06	0,12	0,20
Σ09	120	6%	0,11	0,18	0,26
Σ10A	135	6%	0,11	0,19	0,27
Σ10B	135	4%	0,15	0,23	0,33
Σ11	230	5%	0,06	0,11	0,16
Σ12A	280	6%	0,04	0,08	0,13

Σ12B	170	8%	0,07	0,16	0,25
Σ13A	520	7%	0,01	0,04	0,08
Σ15	370	8%	0,01	0,05	0,10
Σ16	81,3	9%	0,12	0,21	0,30
Σ17A	95	9%	0,08	0,15	0,23
Σ17B	110	9%	0,02	0,08	0,14
Σ18	120	9%	0,09	0,19	0,27
Σ19	100	5%	0,13	0,19	0,27
Σ20A	375	5%	0,02	0,05	0,09
Σ20B	375	-2%	0,09	0,12	0,17

Από τα δεδομένα του Πίνακα 5.2 διαπιστώθηκαν πως :

- Η αύξηση της ταχύτητας διέλευσης από τη καμπύλη έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πλευρικής επιτάχυνσης που δέχεται ο οδηγός του οχήματος, συνεπώς και την αύξηση του συντελεστή πλευρικής τριβής. Η διαπίστωση αυτή ήταν αναμενόμενη καθώς είναι γνωστό πως όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα διέλευσης ενός οχήματος τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι και η τριβή που παρέχεται ώστε να διατηρήσει τη πορεία του εντός της καμπύλης και να μην ολισθήσει. Η τιμή του αυξάνεται σταδιακά με την αύξηση του ποσοστού των διελεύσεων και της ταχύτητας, με τη τιμή στο 85% των οδηγών ( $f_{R85}$ ) που αντιστοιχεί στις μεγαλύτερες ταχύτητες να είναι μεγαλύτερη από εκείνη στο 50% ( $f_{R50}$ ) και στο 15% ( $f_{R15}$ ) των οδηγών που αντιστοιχεί στις μικρότερες.
- Με την αύξηση της ακτίνας της καμπύλης μειώνεται η πλευρική επιτάχυνση που δέχεται ο οδηγός, συνεπώς μειώνεται και η τιμή του συντελεστή πλευρικής τριβής. Σημειώνεται ότι ο ρυθμός μείωσης του συντελεστή εξαρτάται και από την επίκλιση που έχει εφαρμοστεί στη καμπύλη.

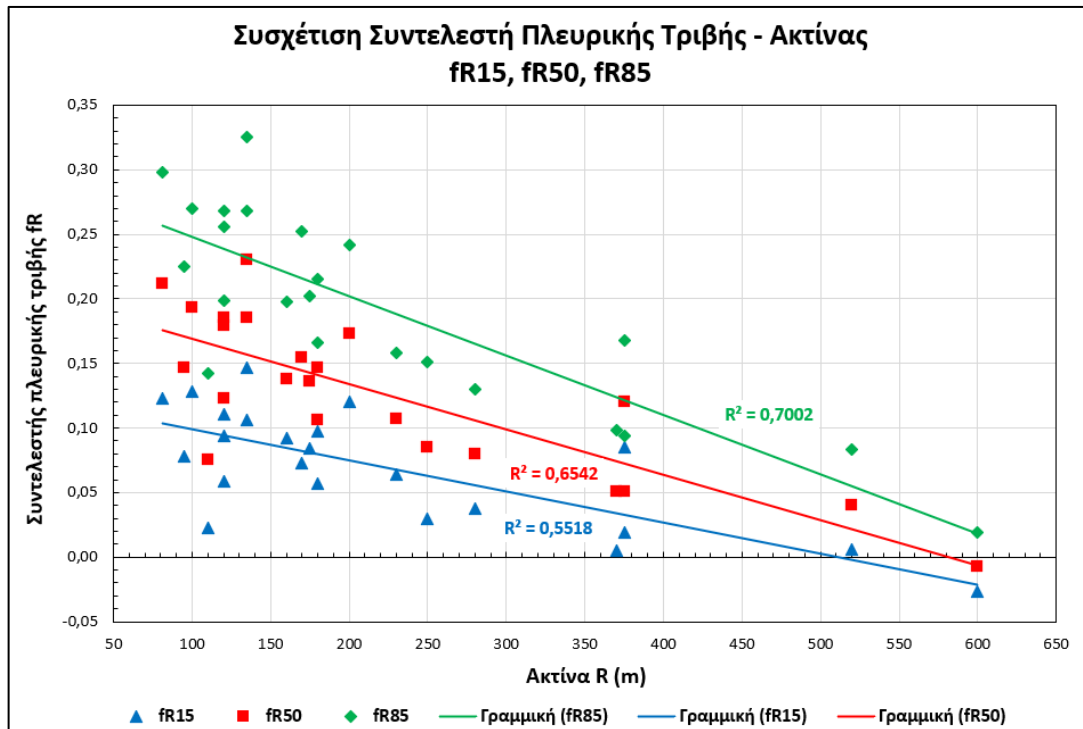
Από τη περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων του Πίνακα 5.2, υπολογίστηκαν οι αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής για τις 3 προσεγγίσεις και τα ποσοστά διελεύσεων αυτών, καθώς και για τις 3 κατηγορίες καμπυλών βάσει της ακτίνας τους. Οι τιμές που παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα επιβεβαιώνουν τα 2 παραπάνω συμπεράσματα σχετικά με την συσχέτιση του συντελεστή πλευρικής τριβής με τη ταχύτητα και την ακτίνα της καμπύλης.

*Πίνακας 5.3: Ενδεικτικές τιμές συντελεστή πλευρικής τριβής σε σχέση με την ακτίνα της καμπύλης και το ποσοστό διελεύσεων των οδηγών*

R	$f_{R15}$	$f_{R50}$	$f_{R85}$
< 150	0,10	0,17	0,25
150 - 250	0,08	0,13	0,20
> 250	0,02	0,06	0,10

Η συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή πλευρικής τριβής και της ακτίνας της καμπύλης αποτυπώθηκε και στο Σχήμα 5.5, με τη βοήθεια των γραμμών τάσης της γραμμικής παλινδρόμησης. Σε αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης των 2 αυτών παραμέτρων σύμφωνα με τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Παρατηρείται ότι στο 85% των διελεύσεων η συσχέτιση φαίνεται να είναι ισχυρότερη συγκριτικά με τις άλλες 2 προσεγγίσεις. Παρ' όλα αυτά, ο δείκτης αξιοπιστίας  $R^2$  δεν προέκυψε ιδιαίτερα μεγάλος λόγω της επιρροής της

εγκάρσιας επιτάχυνσης και κατ' έκταση του συντελεστή πλευρικής τριβής από άλλα γεωμετρικά στοιχεία όπως η επίκλιση.



Σχήμα 5.5: Συσχέτιση συντελεστή πλευρικής τριβής και ακτίνας καμπύλης

#### 5.4 Υπέρβαση Ορίων Άνεσης-Ασφαλείας

Από την έρευνα των McGee et al. (1984) προσδιορίστηκαν τα όρια άνεσης και αντοχής των οδηγών κατά τη κίνηση σε οριζόντιες καμπύλες. Τα όρια αυτά αφορούν τις πλευρικές επιταχύνσεις στις οποίες οι οδηγοί αρχίζουν να νιώθουν δυσφορία εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας με την οποία κινούνται στη καμπύλη. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα, τόσο λιγότερη πλευρική επιτάχυνση και πλευρική τριβή ανέχεται ο οδηγός. Τα όρια άνεσης κατά McGee et al. (1984) είναι τα εξής :

- Μέγιστο όριο άνεσης του οδηγού : 0,2·g
- Μέγιστο όριο αντοχής-ασφαλείας του οδηγού : 0,3·g
- Μέγιστο όριο ικανότητας επιβατικού αυτοκινήτου : 0,7·g

Οι παραπάνω τιμές αντικατοπτρίζουν ουσιαστικά τις οριακές τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής πάνω από τις οποίες η οδήγηση αρχίζει να μην είναι άνετη και ασφαλής για τους οδηγούς. Με βάση τις τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής που υπολογίστηκαν για όλα τα οχήματα ανά καμπύλη, ελέγχθηκε το ποσοστό των οδηγών που υπερβαίνουν τα όρια άνεσης και αντοχής που προαναφέρθηκαν. Η υπέρβαση των συγκεκριμένων ορίων δείχνει ότι οι οδηγοί κινήθηκαν με μεγαλύτερη ταχύτητα από την επιτρεπόμενη βάσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της καμπύλης. Κατά συνέπεια, οι απαιτήσεις σε πλευρική τριβή είναι μεγαλύτερες ούτως ώστε να διατηρηθεί η πορεία του οχήματος εντός της καμπύλης και να μην ολισθήσει. Επίσης, κατά την υπέρβαση του ορίου αντοχής-ασφαλείας θεωρείται ότι η οδήγηση δεν είναι ασφαλής και η πιθανότητα διεξαγωγής ατυχήματος είναι μεγαλύτερη.

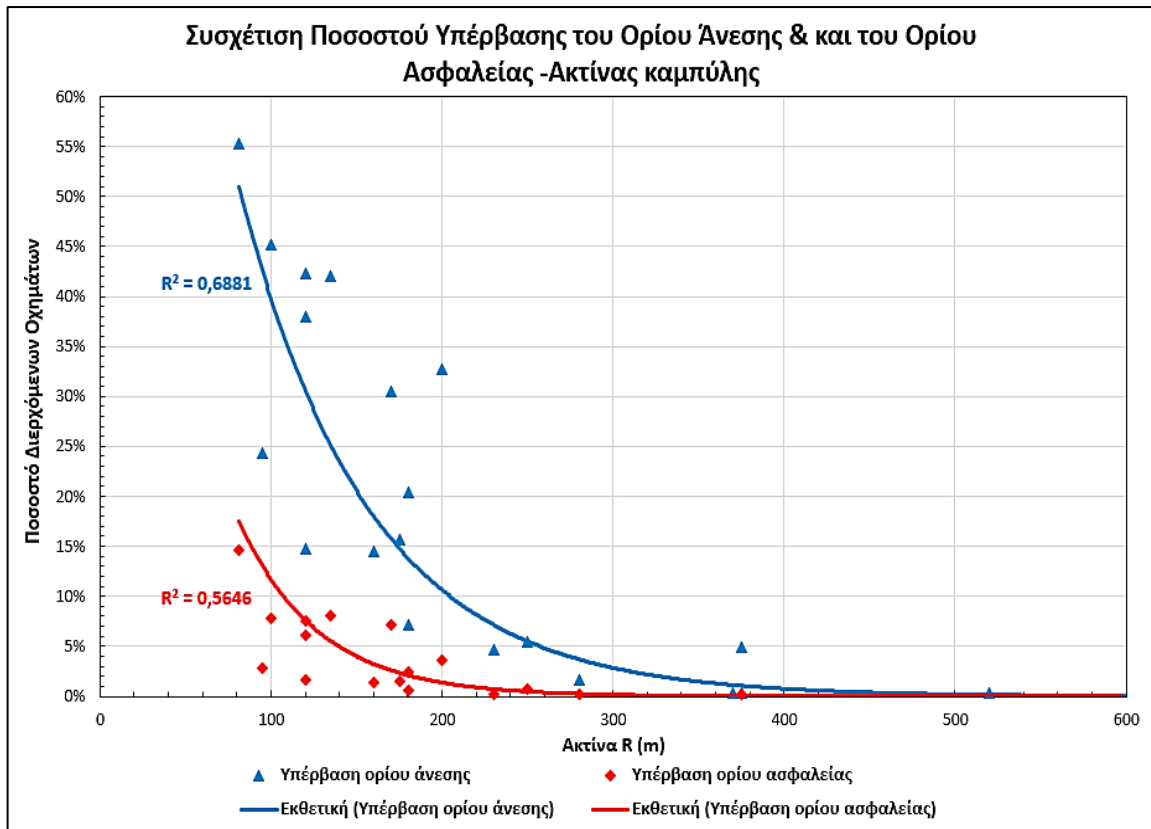
Για κάθε καμπύλη προσδιορίστηκε το ποσοστό των οδηγών που οδηγεί με τέτοια ταχύτητα ώστε οι πλευρικές επιταχύνσεις που δέχονται και κατ' επέκταση οι απαιτούμενοι συντελεστές

πλευρικής τριβής να υπερβαίνουν τις τιμές 0,2·g (όριο άνεσης) και 0,3·g (όριο αντοχής-ασφαλείας). Οι τιμές των ποσοστών υπέρβασης ανά καμπύλη παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.4.

Πίνακας 5.4: Συσχέτιση του ποσοστού των οδηγών που υπερβαίνει τα όρια άνεσης και ασφαλείας με την ακτίνα της καμπύλης

ΚΑΜΠΥΛΗ	R (m)	Ποσοστό υπέρβασης ορίου άνεσης	Ποσοστό υπέρβασης ορίου ασφαλείας
Σ01	200	32,8%	3,6%
Σ02	180	20,4%	2,4%
Σ03	175	15,7%	1,5%
Σ04	250	5,5%	0,7%
Σ05	160	14,5%	1,4%
Σ06	180	7,1%	0,6%
Σ07	600	-	-
Σ08	120	14,8%	1,7%
Σ09	120	38,0%	6,2%
Σ10Α	135	42,0%	8,1%
Σ10Β	135	63,4%	21,4%
Σ11	230	4,7%	0,2%
Σ12Α	280	1,7%	0,2%
Σ12Β	170	30,5%	7,2%
Σ13Α	520	0,3%	-
Σ15	370	0,4%	-
Σ16	81,3	55,2%	14,7%
Σ17Α	95	24,3%	2,8%
Σ17Β	110	1,8%	0,1%
Σ18	120	42,3%	7,5%
Σ19	100	45,2%	7,8%
Σ20Α	375	0,3%	-
Σ20Β	375	5,0%	0,2%

Παράλληλα με τα δεδομένα του Πίνακα 5.4, στο Σχήμα 5.6 απεικονίζεται η συσχέτιση του ποσοστού των οδηγών που υπερβαίνουν τα όρια άνεσης και ασφαλείας με την οριζόντια ακτίνα της καμπύλης. Από τα συνολικά δεδομένα εξαιρέθηκαν τα ποσοστά στις καμπύλες Σ10Β και Σ17Β, οι τιμές των οποίων παρουσίαζαν μεγάλη απόκλιση από τις υπόλοιπες τιμές.



Σχήμα 5.6: Συσχέτιση του ποσοστού των οδηγών που υπερβαίνει τα όρια άνεσης και ασφαλείας με την ακτίνα της καμπύλης

Από τη συσχέτιση μεταξύ της οριζόντιας ακτίνας και του ποσοστού των οχημάτων που υπερβαίνει το όριο άνεσης/ασφαλείας, προέκυψε ότι στις καμπύλες μικρής ακτίνας (< 200 m) οι οδηγοί τείνουν να υπερβαίνουν σε μεγαλύτερο ποσοστό τόσο το όριο άνεσης όσο και το όριο ασφαλείας. Σε αυτές τις καμπύλες οι οδηγοί αναπτύσσουν μικρότερες ταχύτητες λόγω της επίδρασης των χαρακτηριστικών της καμπύλης όπως της ακτίνας, συγκριτικά με τις ταχύτητες που θα επέλεγαν σε μια καμπύλη μεγαλύτερης ακτίνας. Ταυτόχρονα οι οδηγοί αισθάνονται ασφαλείς όσο κινούνται σε μικρές ταχύτητες και επιλέγουν να κινηθούν με μεγαλύτερη ταχύτητα από την επιτρεπόμενη, καθώς θεωρούν πως οποιοδήποτε ρίσκο λαμβάνουν θα έχει μικρές σχετικά συνέπειες. Ακόμη, στις μικρότερες ταχύτητες οι οδηγοί είναι περισσότερο ανεκτικοί στις πλευρικές επιταχύνσεις που δέχονται όταν αποκλίνουν από το όριο ταχύτητας, ενώ στις μεγαλύτερες ταχύτητες η επίδραση της πλευρικής επιτάχυνσης είναι περισσότερο εμφανής στους οδηγούς. Όλα τα παραπάνω σε συνδυασμό με το γεγονός ότι οι πλευρικές επιταχύνσεις που αναπτύσσονται στις καμπύλες μικρής ακτίνας είναι μεγαλύτερες και άρα και ο συντελεστής πλευρικής τριβής λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές, αιτιολογούν τα μεγαλύτερα ποσοστά υπέρβασης στις καμπύλες μικρότερης ακτίνας.

Σημειώνεται πως τα ποσοστά υπέρβασης του ορίου ασφαλείας προσδιορίστηκαν με σχετικά μικρές τιμές (<10%) στη πλειοψηφία των καμπύλων, με εξαίρεση τις καμπύλες Σ10B και Σ16 όπου είχαν μεγαλύτερες τιμές. Στη καμπύλη Σ10B πιθανώς αυτό να συνέβη λόγω του ότι η συγκεκριμένη καμπύλη βρίσκεται μετά από υφιστάμενο ισόπεδο κόμβο και άρα πιθανώς οι οδηγοί που εξήλθαν από αυτόν να σημείωσαν μεγαλύτερες ταχύτητες. Στη καμπύλη Σ16 η πλευρική επιτάχυνση που δέχονται οι οδηγοί είναι μεγαλύτερη λόγω της γεωμετρίας της οδού, με αποτέλεσμα οι τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής να είναι αντίστοιχα μεγαλύτερες. Επίσης, στη καμπύλη Σ07 τα ποσοστά υπέρβασης των ορίων άνεσης και ασφαλείας ήταν μηδενικά εξαιτίας των μικρότερων τιμών του συντελεστή πλευρικής τριβής που προέκυψαν

λόγω της πολύ μεγάλης ακτίνας της καμπύλης. Τέλος, σε καμία από της καμπύλες δεν σημειώθηκε υπέρβαση του μέγιστου ορίου ικανότητας επιβατικού αυτοκινήτου.

Αξιίζει να σημειωθεί πως από τις τιμές του δείκτη  $R^2$  προέκυψε πως η τάση των οδηγών να υπερβαίνουν τα όρια άνεσης και ασφαλείας παρουσιάζει μέτρια προς ικανοποιητική συσχέτιση με την ακτίνα της καμπύλης. Παρ' όλα αυτά, η τάση αυτή ενδεχομένως να επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες πέρα από το μέγεθος της ακτίνας.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατέδειξαν πως τόσο το όριο άνεσης όσο και το όριο αντοχής που προτάθηκαν από τους McGee et al. (1984) δεν είναι σταθερά αλλά μεταβάλλονται σημαντικά ανάλογα με τη ταχύτητα διέλευσης. Ειδικότερα προέκυψε πως για πολύ μικρές ακτίνες και ταχύτητες οι πλευρικές επιταχύνσεις που εμφανίζονται για το 85% των διερχόμενων οχημάτων προσεγγίζουν τη τιμή 0.3·g ενώ για μεγαλύτερες ακτίνες και ταχύτητες φτάνουν οριακά έως το 0,15·g. Αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί από το γεγονός πως στις μικρότερες ταχύτητες οι οδηγοί είναι περισσότερο ανεκτικοί στη πλευρική επιτάχυνση και θεωρούν πως πιθανό οδηγικό λάθος τους θα έχει μικρές συνέπειες. Δεν ισχύει το ίδιο όμως και στις μεγαλύτερες ταχύτητες, όπου οι οδηγοί επηρεάζονται περισσότερο από τη πλευρική επιτάχυνση κατά την οδήγηση σε μια καμπύλη.

### 5.5 Υπολογισμός Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής

Από τους υπολογισμούς και τις διαδικασίες που έχουν εφαρμοστεί έως τώρα, προσδιορίστηκαν οι τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής για κάθε όχημα στις 23 συνολικά καμπύλες της οδού. Απώτερος σκοπός ωστόσο ήταν η διερεύνηση του ποσοστού της τριβής που αξιοποιείται στην εγκάρσια συνιστώσα της κίνησης, συγκριτικά με τη συνολική τριβή κατά τη κίνηση των οχημάτων. Ο προσδιορισμός του συντελεστή εκμετάλλευσης (ή αφομοίωσης) τριβής  $n$  σχετίζεται άμεσα με τη σύγκριση της πραγματικής πλευρικής τριβής που απαιτείται για τη κίνηση ενός οχήματος σε μια καμπύλη με τη θεωρητική μέγιστη πλευρική τριβή που παρέχεται σύμφωνα με τους υφιστάμενους κανονισμούς σχεδιασμού οδών. Επιπρόσθετα, εξ' ορισμού ο συντελεστής εκμετάλλευσης τριβής  $n$  αφορά το ποσοστό της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής του συντελεστή τριβής που αναλώνεται στην εγκάρσια συνιστώσα.

Στους υφιστάμενους κανονισμούς, τίθεται το ερώτημα κατά πόσο οι επιλεγμένες τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής είναι συντηρητικές ή μη. Παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον ο έλεγχος της ανταπόκρισης των τιμών αυτών στις πραγματικές συνθήκες κίνησης ενός οχήματος σε μια καμπύλη, εάν δηλαδή είναι ρεαλιστικές και ανταποκρίνονται στη πραγματικότητα ή εάν τίθεται ζήτημα τροποποίησής τους. Διεθνώς η τιμή του  $n$  που επιλέγεται στους κανονισμούς χάραξης κυμαίνεται μεταξύ των τιμών  $n = 40\%$  και  $n = 50\%$ . Ωστόσο ενδέχεται οι οδηγοί στη πραγματικότητα να αξιοποιούν μεγαλύτερο ποσοστό συγκριτικά με αυτό που προτείνεται από τους κανονισμούς, θέμα που θα πρέπει να διερευνηθεί κατά πόσο υφίσταται και σε ποιο βαθμό.

Στα πλαίσια διερεύνησης του συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής μελετήθηκαν και αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα των ελληνικών οδηγιών σχεδιασμού, ΟΜΟΕ-Χ 2001 και των αντίστοιχων γερμανικών κανονισμών RAL 2012. Οι κανονισμοί των 2 αυτών χωρών παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες ως προς τη φιλοσοφία τους σχετικά με τη δυναμική της κίνησης και την έννοια της πρόσφυσης, τόσο μεταξύ τους όσο και με αρκετούς από τους ευρωπαϊκούς κανονισμούς σχεδιασμού οδών. Για τη σύγκριση της πραγματικής απαιτούμενης με τη διατιθέμενη από τους κανονισμούς τριβή, ελέγχθηκε η ύπαρξη δεδομένων ή σχέσεων προσδιορισμού της συνολικής τριβής, είτε αυτή αφορούσε τη συνολική σύνθετη (εφαπτομενική και εγκάρσια) τριβή είτε την εφαπτομενική ή την εγκάρσια.



### 5.5.1 Ελληνικοί Κανονισμοί ΟΜΟΕ-Χ (2001)

Στους κανονισμούς ΟΜΟΕ-Χ μια από τις βασικές αρχές μελέτης σε σχέση με τις ομάδες οδών που περιγράφονται σε αυτούς είναι η εναρμόνιση του διατιθέμενου από τους κανονισμούς με τον πραγματικά απαιτούμενο συντελεστή εγκάρσιας τριβής στα καμπύλα τμήματα, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις οδών με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας. Το υπό μελέτη οδικό τμήμα αποτελεί υπεραστική οδό ταχείας κυκλοφορίας με 2 λωρίδες κυκλοφορίας συνολικά. Επίσης το ανάγλυφο του εδάφους της χάραξης θεωρείται πεδινό, καθώς το μέγιστο υψόμετρο ερυθράς-εδάφους δεν ξεπερνά τα 100 m σύμφωνα με τη μηκοτομή της οδού, ενώ η μέγιστη επίκλιση που εφαρμόστηκε ήταν 9%. Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, από τους κανονισμούς προτείνεται ως συντελεστής εκμετάλλευσης τριβής η τιμή  $n = 45\%$ .

Έχοντας υπολογίσει την απαιτούμενη πλευρική τριβή που αντιστοιχεί στις πραγματικές μετρήσεις ταχυτήτων που καταγράφηκαν μέσω του απαιτούμενου συντελεστή πλευρικής τριβής, ζητούμενο ήταν ο υπολογισμός των διατιθέμενων από τους κανονισμούς συντελεστών πλευρικής τριβής ούτως ώστε να συσχετισθούν οι πραγματικές τιμές με τις θεωρητικές. Στους ΟΜΟΕ-Χ παρέχεται η σχέση προσδιορισμού του μέγιστου συντελεστή επαπτομενικής τριβής (Σχέση 2.10), η οποία εμπεριέχει το μέγεθος της ταχύτητας. Εφαρμόζοντας τη σχέση αυτή προσδιορίστηκε για κάθε όχημα σε όλες τις καμπύλες η τιμή του μέγιστου συντελεστή επαπτομενικής τριβής, χρησιμοποιώντας στη σχέση τη ταχύτητα διέλευσης που καταγράφηκε.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η σχέση υπολογισμού της μέγιστης τιμής του συντελεστή εγκάρσιας τριβής (Σχέση 2.11) που παρέχεται από τους κανονισμούς. Πρέπει να σημειωθεί ωστόσο πως η σχέση αυτή χρησιμοποιήθηκε τροποποιημένη ούτως ώστε να μην περιλαμβάνει το συντελεστή εκμετάλλευσης που προτείνεται από τους κανονισμούς ( $n = 45\%$ ). Όπως γίνεται κατανοητό, σκοπός ήταν η διερεύνηση του πραγματικού συντελεστή εκμετάλλευσης που αξιοποιούν οι οδηγοί ώστε να συσχετισθεί με τη προτεινόμενη από τους κανονισμούς τιμή του. Κατά συνέπεια, θα ήταν παράταιρη και ανούσια η χρήση της τιμής αυτής στους υπολογισμούς του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής που διατίθεται από τους κανονισμούς για κάθε όχημα. Άλλωστε η σχέση που παρέχεται στους ΟΜΟΕ-Χ αφορά την επιτρεπόμενη μέγιστη και όχι τη συνολική τιμή του συντελεστή εγκάρσιας τριβής. Η τροποποιημένη σχέση που τελικώς εφαρμόστηκε ήταν η εξής:

$$\max f_R = 0,925 \cdot \max f_{T_{\text{επιτρ}}} \quad (5.2)$$

όπου  $\max f_{T_{\text{επιτρ}}}$  ήταν ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής επαπτομενικής τριβής.

Αξιοποιώντας τη απαιτούμενη και τη διατιθέμενη από τους κανονισμούς τιμή του συντελεστή εγκάρσιας τριβής, υπολογίστηκε ο πραγματικός συντελεστής εκμετάλλευσης για κάθε όχημα σύμφωνα με τη σχέση που παρουσιάζεται στην έρευνα των Psarianos et al. (1998):

$$n = \frac{f_R}{f_{R_{\text{max}}}} \quad (5.3)$$

όπου:

$f_R$ : Ο απαιτούμενος/αναπτυσσόμενος συντελεστής πλευρικής τριβής

$f_{R_{\text{max}}}$ : Ο διατιθέμενος από τους κανονισμούς συντελεστής πλευρικής τριβής

### 5.5.2 Γερμανικοί Κανονισμοί RAL (2012)

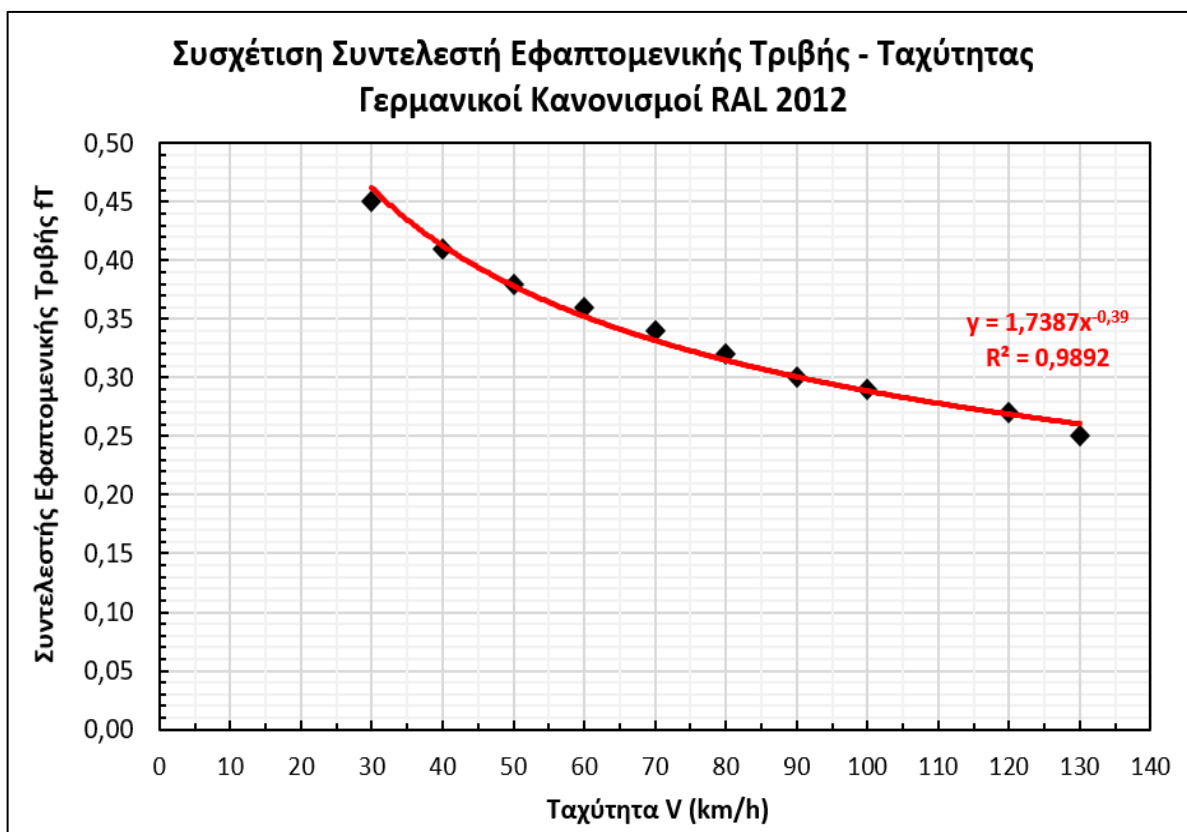
Στους κανονισμούς RAL δεν αναφέρονται ρητά πληροφορίες σχετικά με τη πρόσφυση των οχημάτων, ενώ δεν εμπεριέχονται προτεινόμενες τιμές σχετικά με τους συντελεστές τριβής. Για το λόγο αυτό μελετήθηκαν οι οδηγίες RAA 2008 που αφορούν το σχεδιασμό αυτοκινητοδρόμων, στους οποίους περιλαμβάνονταν οι τιμές σχεδιασμού των συντελεστών επαπτομενικής τριβής καθώς και πληροφορίες σχετικά με το αντικείμενο που μελετάται στην εργασία αυτή. Τα παραπάνω δεδομένα θεωρείται ότι μπορούν να αξιοποιηθούν και στις υπεραστικές οδούς 2

λωρίδων κυκλοφορίας, συνεπώς έχουν ισχύ και για τους κανονισμούς RAL. Κατά συνέπεια, στις επόμενες διαδικασίες η αναφορά των τιμών που πρόκειται να υπολογιστούν θα γίνεται σύμφωνα με τους κανονισμούς αυτούς.

Στους κανονισμούς δεν εντοπίστηκε κάποια σχέση προσδιορισμού των τιμών του μέγιστου συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής (ή καθοριστικού συντελεστή τριβής)  $f_{Tmax}$ . Ωστόσο οι τιμές αυτές προτείνονται σε σχέση με ορισμένες ταχύτητες και παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2. Έτσι κρίθηκε σκόπιμο να δημιουργηθεί μια εξίσωση προσδιορισμού του συντελεστή  $f_{Tmax}$  συναρτήσει της ταχύτητας, ώστε να υπολογισθούν μετ' έπειτα όλες οι τιμές του με βάση τη ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων από τη κάθε καμπύλη. Η ζητούμενη εξίσωση αναπτύχθηκε ορίζοντας ως δείγμα τις προτεινόμενες από τους κανονισμούς τιμές και μέσα από τη στατιστική επεξεργασία που διαθέτει το πρόγραμμα Excel. Η μαθηματική εξίσωση που προέκυψε ήταν η εξής:

$$f_{Tmax} = 1,7387 \cdot V^{(-0,39)} \quad (5.4)$$

Ο συντελεστής αξιοπιστίας της σχέσης 5.4 προσδιορίστηκε ίσος με  $R^2 = 0,9892$ , ο οποίος να μεν θεωρείται στατιστικά σημαντικός, ωστόσο το δείγμα των τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία της εξίσωσης ήταν αρκετά μικρό. Παρά το γεγονός αυτό, η συγκεκριμένη εξίσωση εφαρμόστηκε για όλα τα οχήματα που διήλθαν από τη κάθε καμπύλη. Η συσχέτιση του μέγιστου συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής με τη ταχύτητα παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 5.7 : Συσχέτιση συντελεστή εφαιπτομενικής τριβής και ταχύτητας με βάση τις προτεινόμενες τιμές κατά RAL 2012

Ακολουθώντας, εφαρμόζοντας τις Σχέσεις 5.4 και 2.12 υπολογίστηκαν οι μέγιστοι συντελεστές εγκάρσιας τριβής και οι συντελεστές εκμετάλλευσης της πλευρικής τριβής κατά σειρά, για κάθε όχημα και σε όλες τις καμπύλες.

Σημειώνεται πως για όλους τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Excel προκειμένου να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία λόγω του μεγάλου αριθμού δεδομένων. Παράλληλα υπολογίστηκε η αθροιστική πιθανότητα για κάθε τιμή του συντελεστή  $n$ , ούτως ώστε να διερευνηθούν σε επόμενη φάση οι αντιπροσωπευτικές τιμές που αντιστοιχούν σε κάθε μια από τις 3 προσεγγίσεις που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη διαδικασία.

### 5.5.3 Σύγκριση των Τιμών του Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής Μεταξύ των Κανονισμών

Από τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν προέκυψαν οι τιμές του πραγματικού συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ και κατά RAL για κάθε όχημα και ανά καμπύλη. Στο Πίνακα 5.5 παρουσιάζονται οι οριακές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης ανά καμπύλη και οι ταχύτητες στις οποίες αντιστοιχούν.

Πίνακας 5.5: Μέγιστες και ελάχιστες τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL συναρτήσει της μέγιστης και ελάχιστης ταχύτητας διέλευσης των οδηγών και της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης.

ΚΑΜΠΥΛΗ	R (m)	n (%)				V (km/h)	
		ΟΜΟΕ-Χ 2001		RAL 2012		V <sub>min</sub>	V <sub>max</sub>
		n <sub>min</sub>	n <sub>max</sub>	n <sub>min</sub>	n <sub>max</sub>		
Σ01	200	13%	153%	14%	135%	49,88	101,70
Σ02	180	7%	133%	7%	120%	46,78	95,19
Σ03	175	5%	122%	5%	111%	43,96	91,50
Σ04	250	-9%	120%	-9%	105%	41,74	107,14
Σ05	160	6%	114%	7%	106%	43,78	86,64
Σ06	180	-2%	109%	-3%	100%	42,94	91,45
Σ07	600	-14%	27%	-15%	24%	45,37	104,06
Σ08	120	-4%	124%	-5%	117%	33,00	80,90
Σ09	120	7%	151%	7%	141%	36,60	84,06
Σ10A	135	4%	175%	4%	159%	36,05	92,37
Σ10B	135	12%	206%	12%	185%	38,89	96,32
Σ11	230	3%	103%	3%	93%	41,74	94,20
Σ12A	280	-3%	95%	-4%	84%	40,67	100,49
Σ12B	170	-5%	194%	-5%	169%	36,39	106,05
Σ13A	520	-1%	76%	-1%	64%	48,00	122,35
Σ15	370	-11%	89%	-11%	76%	42,71	113,43
Σ16	81,3	6%	170%	6%	162%	34,19	76,77
Σ17A	95	-3%	135%	-3%	130%	30,80	75,82
Σ17B	110	-10%	90%	-10%	88%	25,20	70,82
Σ18	120	0%	174%	0%	160%	36,94	90,24
Σ19	100	14%	135%	14%	130%	36,63	74,64
Σ20A	375	-5%	74%	-5%	65%	37,56	102,69
Σ20B	375	0%	110%	11%	96%	35,00	105,00

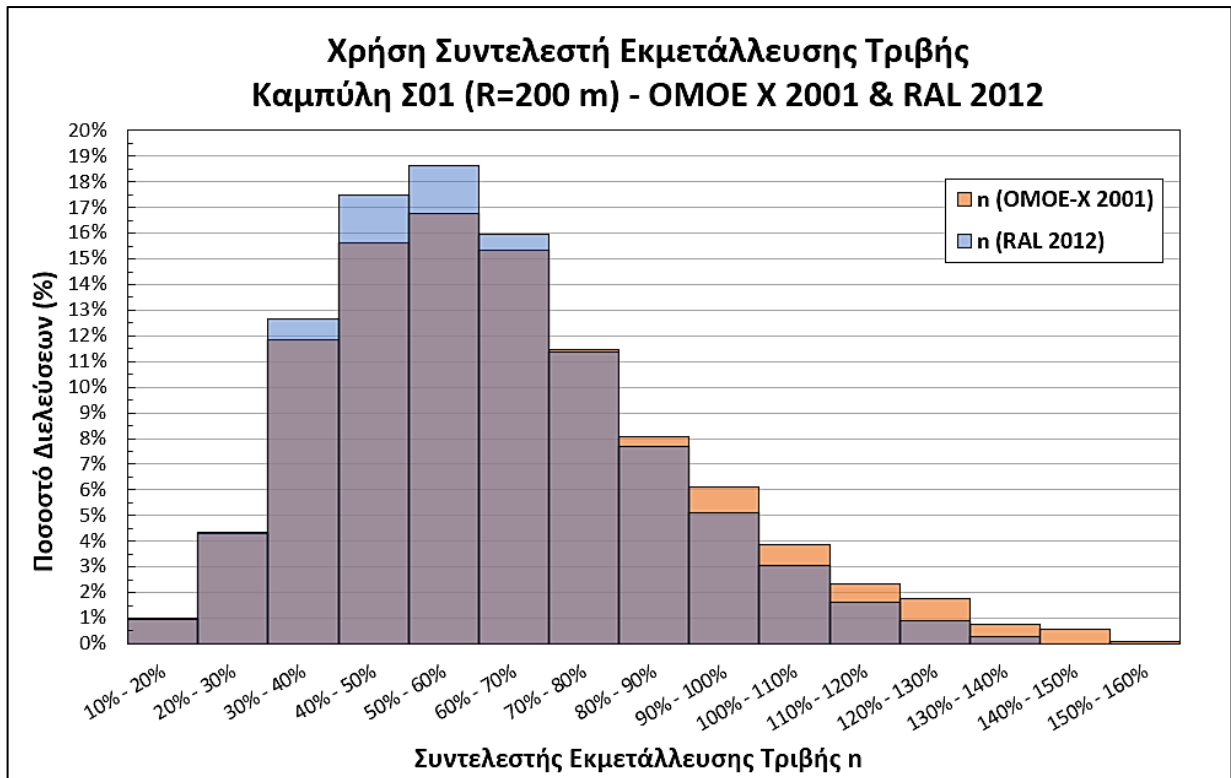
Παρατηρώντας τις τιμές του Πίνακα 5.5 διαπιστώθηκε πως ο συντελεστής εκμετάλλευσης προέκυψε αρκετά μεγαλύτερος στη πλειοψηφία των καμπυλών μικρής οριζόντιας ακτίνας και σημαντικά μικρότερος στη πλειοψηφία των καμπυλών μεγάλης οριζόντιας ακτίνας. Η διαπίστωση αυτή αφορά τόσο τις ελάχιστες όσο και τις μέγιστες τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης και σχετίζεται άμεσα τόσο με τη συμπεριφορά των οδηγών κατά την επιλογή της ταχύτητας διέλευσης από μια καμπύλη, όσο και με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της. Όταν ένας οδηγός διέλθει με μεγάλη ταχύτητα από μια κλειστή καμπύλη μικρής ακτίνας, τότε απαιτείται

μεγαλύτερη πλευρική τριβή ούτως ώστε να διατηρήσει τη πορεία του οχήματός του εντός της καμπύλης. Στη περίπτωση αυτή, το ποσοστό που θα πρέπει να αναλωθεί στην εγκάρσια συνιστώσα της τριβής θα είναι ιδιαίτερα μεγάλο, ενώ ελλοχεύει ο κίνδυνος ολίσθησης του οχήματος. Κατά συνέπεια, η επίδραση της ταχύτητας και της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης στις τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης είναι καθοριστική.

Από τις τιμές του συντελεστή  $\eta$  κατά ΟΜΟΕ-Χ και κατά RAL, παρατηρήθηκε ότι στις περισσότερες καμπύλες ο συντελεστής έλαβε τιμές άνω του 100% στις μεγαλύτερες ταχύτητες διέλευσης. Μάλιστα σε ορισμένες καμπύλες όπως στις Σ01, Σ09, Σ10Α, Σ10Β, Σ12Β, Σ16 και Σ18 προέκυψαν τιμές σημαντικά μεγαλύτερες από το 100%, όπως φαίνεται από τις τιμές που αντιστοιχούν στις μέγιστες ταχύτητες του δείγματος ανά καμπύλη. Στη περίπτωση αυτή η απαιτούμενη πλευρική τριβή υπερέβη τη μέγιστη από τους κανονισμούς διατιθέμενη τριβή. Ωστόσο θα πρέπει να σημειωθεί πως οι τιμές του μέγιστου διατιθέμενου συντελεστή πλευρικής τριβής,  $f_{Rmax}$ , που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του συντελεστή εκμετάλλευσης αναφέρονται σε υγρό οδόστρωμα και είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές για στεγνό οδόστρωμα. Στη περίπτωση στεγνού οδοστρώματος, ο συντελεστής  $f_{Rmax}$  λαμβάνει τιμές άνω του 0,7, αρκετά μεγαλύτερες από τις τιμές για υγρό οδόστρωμα. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, αυτός ήταν και ο λόγος που οι τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης προέκυψαν μεγαλύτερες από 100% στις μεγαλύτερες ταχύτητες, διότι αξιοποιήθηκαν οι τιμές του συντελεστή  $f_{Rmax}$  για υγρό και όχι για στεγνό οδόστρωμα. Κατά συνέπεια, στη περίπτωση υπέρβασης του  $f_{Rmax}$  υγρού οδοστρώματος δεν υπάρχει ολίσθηση αφού η τιμή  $f_{Rmax}$  για στεγνό είναι μεγαλύτερη από 0,7.

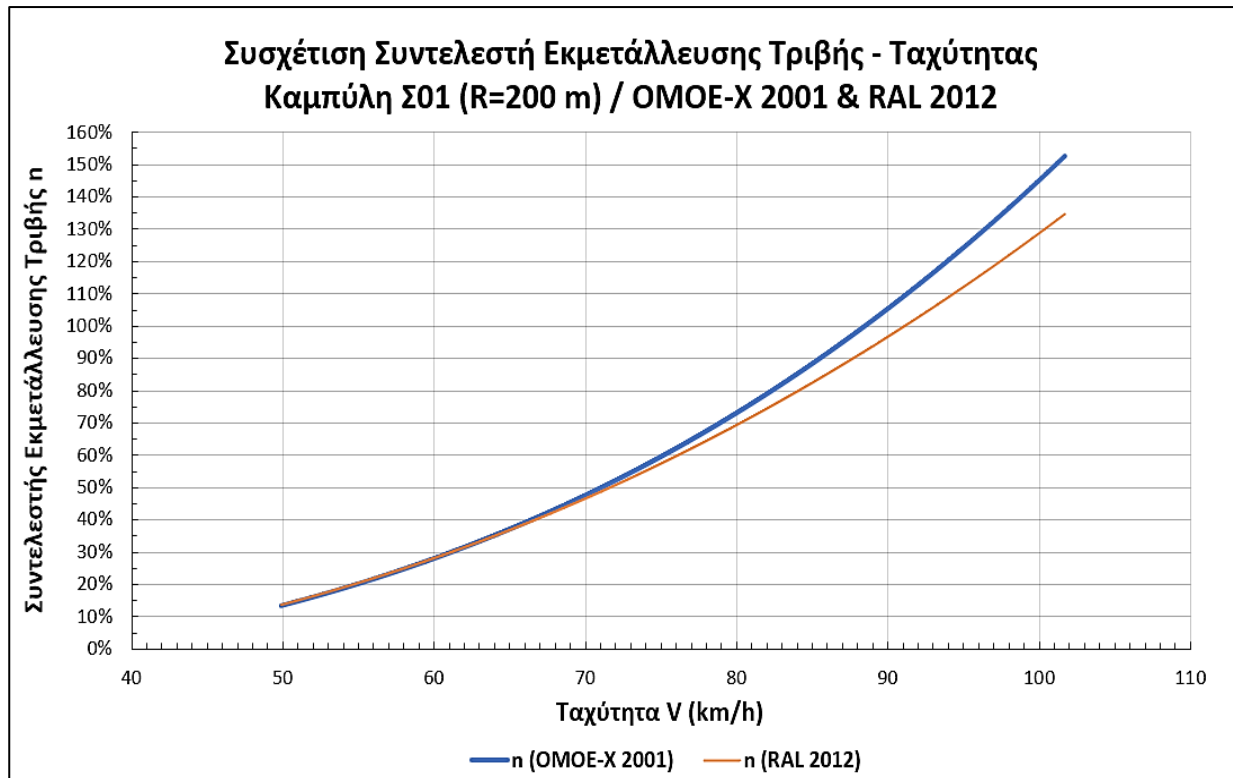
Επιπρόσθετα, σε ορισμένες καμπύλες προέκυψαν αρνητικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης, οι οποίες δεν θεωρούνται αντιπροσωπευτικές για το σκοπό της εργασίας. Αυτό οφείλεται στο ότι ο απαιτούμενος συντελεστής πλευρικής τριβής προέκυψε ίσος με αρνητική τιμή. Στις περιπτώσεις όπου η ταχύτητα διέλευσης ενός οχήματος είναι μικρή και σε συνδυασμό με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού (οριζόντια ακτίνα και επίκλιση), η επίκλιση καλύπτει το σύνολο της φυγόκεντρης δύναμης χωρίς να απαιτείται θεωρητικά η πλευρική τριβή. Ως αποτέλεσμα, ο απαιτούμενος συντελεστής πλευρικής τριβής λαμβάνει αρνητικές τιμές βάσει της Σχέσης 2.2.

Για τη καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν για τις τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL, σχεδιάστηκαν ενδεικτικά διαγράμματα ανά καμπύλη. Στο Σχήμα 5.8 παρουσιάζεται το ιστογράμμα το οποίο απεικονίζει τη συχνότητα χρήσης του συντελεστή εκμετάλλευσης στη καμπύλη Σ01 οριζόντιας ακτίνας  $R = 200$  m, τόσο για τους ελληνικούς όσο και για τους γερμανικούς κανονισμούς. Τα αντίστοιχα διαγράμματα για τις υπόλοιπες καμπύλες παρατίθενται στο Παράρτημα 4. Οι συχνότητες εμφάνισης των τιμών του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL προσδιορίστηκαν ορίζοντας κλάσεις ανά 10%. Ανάλογα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε καμπύλης διαφοροποιούνταν και η κλάση με το μεγαλύτερο ποσοστό διελεύσεων που όριζε τη κορυφή του ιστογράμματος. Η παρουσία των αποτελεσμάτων έγινε κατά τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εμφανή τα ποσοστά διελεύσεων στα οποία οι τιμές μεταξύ των 2 κανονισμών είτε συνέπιπταν είτε παρουσίαζαν μικρή απόκλιση. Σε γενικές γραμμές, γίνεται εμφανές από τα ιστογράμματα πως ο συντελεστής εκμετάλλευσης παρουσιάζει υψηλότερες τιμές στις καμπύλες μικρής ακτίνας και μικρότερες τιμές στις καμπύλες μεγάλης ακτίνας.



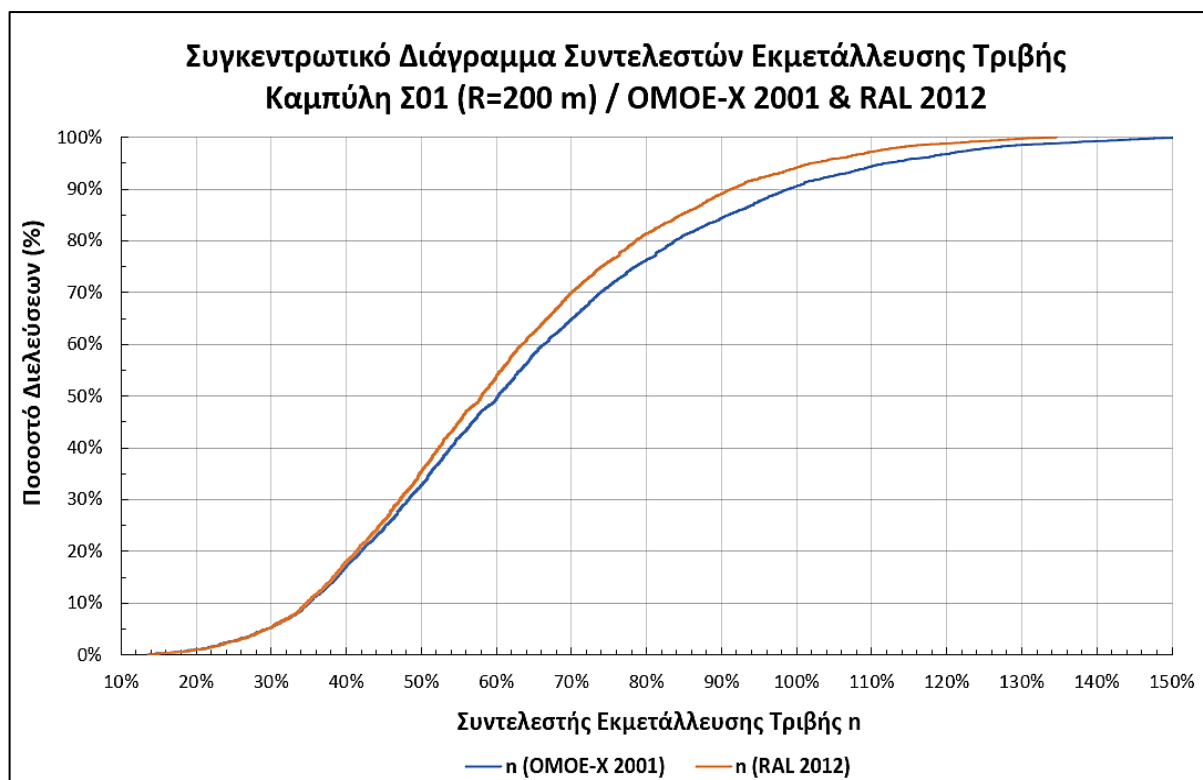
Σχήμα 5.8: Χρήση του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL σε συνάρτηση με το ποσοστό διελεύσεων των οχημάτων στη καμπύλη Σ01 ακτίνας 200 m

Στο Σχήμα 5.9 αποτυπώνεται η συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL με τη ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων, για τη καμπύλη Σ01 (R=200 m). Παρατηρώντας τα αντίστοιχα σχήματα για όλες τις καμπύλες, τα οποία παρατίθενται στο Παράρτημα 5, διαπιστώθηκε πως ο συντελεστής εκμετάλλευσης αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας και για τους 2 κανονισμούς. Αυτό συνέβη διότι απαιτείται μεγαλύτερη πλευρική τριβή κατά τη διέλευση ενός οχήματος από μια καμπύλη με μεγάλη ταχύτητα. Ακόμη παρατηρήθηκε πως στις περισσότερες καμπύλες οι τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης στους ελληνικούς και στους γερμανικούς κανονισμούς λαμβάνουν παραπλήσιες τιμές για ταχύτητες έως 70 km/h. Εξαιρέση αποτελούν οι καμπύλες ακτίνας άνω των 300 m στις οποίες η σύγκλιση των τιμών μεταξύ των 2 κανονισμών παρατηρείται έως και για ταχύτητες 80 km/h - 85 km/h. Στις μεγαλύτερες ταχύτητες παρουσιάζεται απόκλιση μεταξύ των τιμών των 2 κανονισμών, με τη μέγιστη τιμή της να κυμαίνεται σε γενικές γραμμές μεταξύ του 10%-15% και να αντιστοιχεί στη μέγιστη ταχύτητα διέλευσης που καταγράφηκε ανά καμπύλη.



Σχήμα 5.9 : Συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL σε συνάρτηση με τη ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων στη καμπύλη Σ01 ακτίνας 200 m

Στο Σχήμα 5.10 απεικονίζεται η κατανομή των συντελεστών εκμετάλλευσης στους ελληνικούς και γερμανικούς κανονισμούς με βάση την αθροιστική πιθανότητα εμφάνισής τους που ισοδυναμεί με το ποσοστό διελεύσεων των οχημάτων, στη καμπύλη Σ01 οριζόντιας ακτίνας 200 m. Τα αντίστοιχα σχήματα για τις υπόλοιπες καμπύλες παρατίθενται στο Παράρτημα 3. Η δημιουργία των συγκεκριμένων διαγραμμάτων προϋπόθετε αρχικά τη ταξινόμηση των δεδομένων ταχυτήτων κάθε καμπύλης κατά αύξουσα σειρά, ούτως ώστε να καταστεί δυνατός ο υπολογισμός της αθροιστικής πιθανότητας για κάθε διέλευση. Σε όλα τα διαγράμματα παρατηρήθηκε η αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης και στους 2 κανονισμούς με την αύξηση του αθροιστικού ποσοστού διελεύσεων. Η αύξηση αυτή κρίνεται λογική δεδομένου ότι με την αύξηση της ταχύτητας διέλευσης των οχημάτων αυξανόταν και το αθροιστικό ποσοστό των διελεύσεων. Επιπλέον παρατηρήθηκαν οι αποκλίσεις μεταξύ των τιμών των 2 κανονισμών κυρίως στις μεγαλύτερες ταχύτητες διέλευσης, οι οποίες ωστόσο θεωρήθηκαν σχετικά μικρές.



Σχήμα 5.10: Συγκεντρωτικό διάγραμμα του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL σε συνάρτηση με το αθροιστικό ποσοστό διέλευσης των οχημάτων στη καμπύλη Σ01 ακτίνας 200 m

Συμπερασματικά, γίνεται αντιληπτό πως οι τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης μεταξύ των ελληνικών και των γερμανικών κανονισμών είναι παραπλήσιες ως επί το πλείστο, ενώ οι αποκλίσεις που εντοπίστηκαν θεωρήθηκαν σχετικά μικρές. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει την εναρμόνιση μεταξύ των 2 κανονισμών, καθώς οι προσεγγίσεις κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL θεωρούνται παρεμφερείς. Κατ' επέκταση, οι διαφορές που εντοπίστηκαν ήταν μικρές και αντιστοιχούσαν στις ταχύτητες άνω των 70 km/h ή 80 km/h, γεγονός που κρίθηκε ως αναμενόμενο σύμφωνα με τις παραπάνω διαπιστώσεις και αποτυπώθηκε στα διαγράμματα που παράχθηκαν.

#### 5.5.4 Αντιπροσωπευτικές Τιμές Συντελεστή Εκμετάλλευσης

Κατά αντιστοιχία με τις αντιπροσωπευτικές τιμές που ορίστηκαν για τη ταχύτητα και το συντελεστή πλευρικής τριβής για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων, ορίστηκαν και οι αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και κατά RAL. Μέσω των τιμών αυτών ελέγχθηκε η συμπεριφορά των οδηγών ως προς τη πλευρική τριβή που αξιοποιούν κατά τη κίνηση των οχημάτων τους σε καμπύλες διαφόρων γεωμετρικών χαρακτηριστικών, σύμφωνα με τις 3 προσεγγίσεις που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο στάδιο της εργασίας. Επίσης, σε επόμενο βήμα θα αξιοποιηθούν για τη συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης με τα γεωμετρικά στοιχεία των καμπυλών.

Στο Πίνακα 5.6 παρουσιάζονται οι αντιπροσωπευτικές τιμές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  που προσδιορίστηκαν από την ανάλυση και τις διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν έως τώρα, για τους κανονισμούς ΟΜΟΕ-Χ και RAL.

Πίνακας 5.6: Αντιπροσωπευτικές τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων συναρτήσει της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης.

ΚΑΜΠΥΛΗ	R (m)	ΟΜΟΕ-Χ 2001			RAL 2012		
		n <sub>15</sub>	n <sub>50</sub>	n <sub>85</sub>	n <sub>15</sub>	n <sub>50</sub>	n <sub>85</sub>
Σ01	200	39%	60%	92%	38%	58%	86%
Σ02	180	30%	49%	78%	30%	48%	74%
Σ03	175	25%	44%	72%	26%	44%	69%
Σ04	250	9%	29%	58%	9%	28%	54%
Σ05	160	27%	44%	68%	28%	44%	66%
Σ06	180	17%	35%	58%	17%	34%	56%
Σ07	600	-9%	-2%	7%	-9%	-2%	7%
Σ08	120	16%	37%	64%	17%	37%	64%
Σ09	120	31%	55%	85%	32%	55%	83%
Σ10Α	135	31%	59%	93%	31%	58%	90%
Σ10Β	135	44%	75%	117%	44%	74%	111%
Σ11	230	19%	35%	56%	19%	35%	54%
Σ12Α	280	12%	27%	48%	12%	26%	45%
Σ12Β	170	22%	52%	95%	22%	51%	89%
Σ13Α	520	2%	15%	35%	2%	14%	31%
Σ15	370	2%	18%	39%	2%	17%	35%
Σ16	81,3	33%	63%	94%	34%	63%	93%
Σ17Α	95	21%	43%	70%	21%	43%	70%
Σ17Β	110	6%	21%	42%	6%	21%	43%
Σ18	120	27%	59%	92%	28%	58%	89%
Σ19	100	35%	57%	85%	36%	57%	85%
Σ20Α	375	6%	17%	35%	6%	16%	33%
Σ20Β	375	25%	40%	63%	25%	39%	59%

Από τις τιμές του Πίνακα 5.6 επιβεβαιώνεται η διαπίστωση που αναφέρθηκε προηγουμένως σχετικά με την εναρμόνιση μεταξύ των κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ και RAL. Οι συντελεστές εκμετάλλευσης μεταξύ των 2 κανονισμών προέκυψαν παρεμφερείς και στις 3 προσεγγίσεις, με τη μεγαλύτερη απόκλιση να παρατηρείται στις τιμές n<sub>85</sub> και να κυμαίνεται από 1% έως 6%. Επισημαίνεται πως:

- Στο 15% των διερχόμενων οχημάτων συμπεριλαμβάνονται τα οχήματα που διήλθαν με μικρή ταχύτητα από τις καμπύλες και κατά συνέπεια παρουσιάζουν μικρότερες τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης.
- Στο 50% των διερχόμενων οχημάτων συμπεριλαμβάνονται τα οχήματα που διήλθαν με ταχύτητα παραπλήσια της μέσης ταχύτητας που προέκυψε ανά καμπύλη και, τέλος,
- Στο 85% των διερχόμενων οχημάτων συμπεριλαμβάνονται τα οχήματα που κινήθηκαν με μεγαλύτερες ταχύτητες και ως εκ τούτου παρουσίαζαν μεγαλύτερες τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης.



## 5.6 Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης με τα Γεωμετρικά Στοιχεία Οριζόντιας Καμπύλης

Η συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή εκμετάλλευσης και των γεωμετρικών στοιχείων των καμπυλών ελέγχθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS Statistics. Ως μεταβλητές συμπεριλήφθηκαν οι τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$ , η οριζόντια ακτίνα  $R$ , η επίκλιση  $q$  και η ελικτότητα  $K$  ανά καμπύλη. Σημειώνεται ότι η ελικτότητα ως μέγεθος περιλαμβάνει τόσο τη γωνία αλλαγής κατεύθυνσης  $\gamma$  όσο και το μήκος  $L$  της καμπύλης, συνεπώς επιλέχθηκε να μην ελεγχθούν τα 2 παραπάνω στοιχεία ξεχωριστά. Σκοπός ήταν η διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των τιμών του συντελεστή εκμετάλλευσης με τα υπόλοιπα γεωμετρικά στοιχεία, ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο επηρεάζεται ως μεταβλητή από τις τιμές των υπολοίπων μεταβλητών.

Για τον έλεγχο της συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης με τα γεωμετρικά μεγέθη, εξαιρέθηκαν οι τιμές που προέκυψαν σε κάποιες καμπύλες καθώς διαπιστώθηκε πως απόκλιναν σημαντικά από το συνολικό δείγμα τιμών. Σε αυτές τις καμπύλες τέθηκαν ζητήματα ως προς ορισμένα χαρακτηριστικά τους που πιθανώς να επηρέαζαν τα τελικά συμπεράσματα της διερεύνησης αυτής. Ειδικότερα, αφαιρέθηκαν οι τιμές σε 5 καμπύλες ( $\Sigma 01$ ,  $\Sigma 07$ ,  $\Sigma 10B$ ,  $\Sigma 17B$  και  $\Sigma 20B$ ) που είτε βρίσκονταν εντός της περιοχής επιρροής ισόπεδου κόμβου, είτε βρίσκονταν ακριβώς μετά την έξοδο αυτοκινητοδρόμου, είτε διέθεταν πολύ μεγάλη ακτίνα βάσει της οποίας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί πως ανταποκρίνονται γενικά ως ευθυγραμμία και όχι ως καμπύλη. Συνολικά ελέγχθηκαν τα δεδομένα για 18 οριζόντιες καμπύλες.

Το πρόγραμμα SPSS διαθέτει 2 ειδών συντελεστές συσχέτισης, ανάλογα με τη χρήση παραμετρικού ή μη παραμετρικού στατιστικού ελέγχου. Στη περίπτωση όπου τα δεδομένα ενός δείγματος μιας μεταβλητής θεωρηθούν ότι προέρχονται από πληθυσμό με γνωστή μέση τιμή και ακολουθούν τη κανονική κατανομή, τότε διενεργείται παραμετρικός έλεγχος. Στην αντίθετη περίπτωση όπου τα δεδομένα δεν ακολουθούν τη κανονική κατανομή ή δεν μπορεί να γίνει υπόθεση για τη κανονικότητα των δεδομένων, τότε εφαρμόζεται μη παραμετρικός έλεγχος. Ο έλεγχος της κανονικότητας των δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω των ελέγχων Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk στο πρόγραμμα του SPSS. Από τις 4 συνολικά μεταβλητές ( $n$ ,  $R$ ,  $q$ ,  $K$ ) διαπιστώθηκε πως μόνο στις περιπτώσεις της ελικτότητας  $K$  και των συντελεστών εκμετάλλευσης  $n$  τα δεδομένα ακολουθούν τη κανονική κατανομή. Και στους 2 ελέγχους η τιμή  $p$ -value προέκυψε μεγαλύτερη του 0,05 στις μεταβλητές αυτές, για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.11.

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
R	,246	18	<b>,005</b>	,848	18	<b>,008</b>
q	,204	18	<b>,047</b>	,865	18	<b>,015</b>
K	,135	18	<b>,200*</b>	,977	18	<b>,918</b>
n15_OMOE	,125	18	<b>,200*</b>	,936	18	<b>,250</b>
n50_OMOE	,107	18	<b>,200*</b>	,941	18	<b>,301</b>
n85_OMOE	,130	18	<b>,200*</b>	,930	18	<b>,191</b>
n15_RAL	,138	18	<b>,200*</b>	,937	18	<b>,259</b>
n50_RAL	,121	18	<b>,200*</b>	,940	18	<b>,291</b>
n85_RAL	,135	18	<b>,200*</b>	,928	18	<b>,179</b>

\*. This is a lower bound of the true significance.  
a. Lilliefors Significance Correction

Σχήμα 5.11: Αποτελέσματα στατιστικών ελέγχων Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk για τον έλεγχο κανονικότητας της κατανομής στις μεταβλητές οριζόντιας ακτίνας  $R$ , επίκλισης  $q$ , ελικτότητας  $K$  και συντελεστών εκμετάλλευσης τριβής  $n$

## Κεφάλαιο 5 – Αποτελέσματα Ανάλυσης

Για τον έλεγχο της συσχέτισης μεταξύ των παραπάνω μεταβλητών, υπολογίστηκε τόσο ο παραμετρικός συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson όσο και ο μη παραμετρικός συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Spearman. Ο λόγος που υπολογίστηκαν και οι δυο συντελεστές συσχέτισης ήταν διότι τα δεδομένα των μεταβλητών K, η ακολουθούσαν τη κανονική κατανομή, ενώ τα δεδομένα των μεταβλητών R, q δεν την ακολουθούσαν. Ο υπολογισμός των 2 συντελεστών στο πρόγραμμα του SPSS έγινε μέσω της εντολής Bivariate στην ομάδα εντολών Correlate του μενού Analyze. Στα Σχήματα 5.12 και 5.13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του παραμετρικού συντελεστή Pearson και του μη παραμετρικού συντελεστή Spearman αντίστοιχα.

		Correlations								
		R	q	K	n15_ΟΜΟΕ	n50_ΟΜΟΕ	n85_ΟΜΟΕ	n15_RAL	n50_RAL	n85_RAL
R	Pearson Correlation	1	-,240	<b>-,903**</b>	<b>-,854**</b>	<b>-,874**</b>	<b>-,841**</b>	<b>-,856**</b>	<b>-,880**</b>	<b>-,870**</b>
	Sig. (2-tailed)		,338	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
q	Pearson Correlation	-,240	1	,292	-,092	,095	,166	-,086	,091	,161
	Sig. (2-tailed)	,338		,239	,716	,706	,511	,735	,719	,522
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
K	Pearson Correlation	<b>-,903**</b>	,292	1	<b>,743**</b>	<b>,759**</b>	<b>,720**</b>	<b>,747**</b>	<b>,772**</b>	<b>,763**</b>
	Sig. (2-tailed)	<,001	,239		<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n15_ΟΜΟΕ	Pearson Correlation	<b>-,854**</b>	-,092	<b>,743**</b>	1	,955**	,897**	,999**	,959**	,913**
	Sig. (2-tailed)	<,001	,716	<,001		<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n50_ΟΜΟΕ	Pearson Correlation	<b>-,874**</b>	,095	<b>,759**</b>	,955**	1	,981**	,955**	1,000**	,989**
	Sig. (2-tailed)	<,001	,706	<,001	<,001		<,001	<,001	<,001	<,001
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n85_ΟΜΟΕ	Pearson Correlation	<b>-,841**</b>	,166	<b>,720**</b>	,897**	,981**	1	,894**	,978**	,997**
	Sig. (2-tailed)	<,001	,511	<,001	<,001	<,001		<,001	<,001	<,001
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n15_RAL	Pearson Correlation	<b>-,856**</b>	-,086	<b>,747**</b>	,999**	,955**	,894**	1	,959**	,912**
	Sig. (2-tailed)	<,001	,735	<,001	<,001	<,001	<,001		<,001	<,001
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n50_RAL	Pearson Correlation	<b>-,880**</b>	,091	<b>,772**</b>	,959**	1,000**	,978**	,959**	1	,987**
	Sig. (2-tailed)	<,001	,719	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001		<,001
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n85_RAL	Pearson Correlation	<b>-,870**</b>	,161	<b>,763**</b>	,913**	,989**	,997**	,912**	,987**	1
	Sig. (2-tailed)	<,001	,522	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Σχήμα 5.12: Αποτελέσματα παραμετρικού συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (Pearson) για τις μεταβλητές οριζόντιας ακτίνας R, επίκλισης q, ελικτότητας K και συντελεστών εκμετάλλευσης τριβής n

		Correlations									
		R	q	K	n15_OMOE	n50_OMOE	n85_OMOE	n15_RAL	n50_RAL	n85_RAL	
Spearman's rho	R	Correlation Coefficient	1,000	-,289	<b>-,976**</b>	<b>-,784**</b>	<b>-,834**</b>	<b>-,786**</b>	<b>-,793**</b>	<b>-,832**</b>	<b>-,834**</b>
		Sig. (2-tailed)	.	,246	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
q		Correlation Coefficient	-,289	1,000	,255	-,133	,095	,182	-,133	,080	,172
		Sig. (2-tailed)	,246	.	,308	,599	,709	,469	,599	,752	,496
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
K		Correlation Coefficient	<b>-,976**</b>	,255	1,000	<b>,742**</b>	<b>,771**</b>	<b>,737**</b>	<b>,753**</b>	<b>,769**</b>	<b>,781**</b>
		Sig. (2-tailed)	<,001	,308	.	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n15_OMOE		Correlation Coefficient	<b>-,784**</b>	-,133	<b>,742**</b>	1,000	<b>,939**</b>	<b>,858**</b>	<b>,999**</b>	<b>,940**</b>	<b>,893**</b>
		Sig. (2-tailed)	<,001	,599	<,001	.	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n50_OMOE		Correlation Coefficient	<b>-,834**</b>	,095	<b>,771**</b>	<b>,939**</b>	1,000	<b>,959**</b>	<b>,938**</b>	<b>,999**</b>	<b>,982**</b>
		Sig. (2-tailed)	<,001	,709	<,001	<,001	.	<,001	<,001	<,001	<,001
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n85_OMOE		Correlation Coefficient	<b>-,786**</b>	,182	<b>,737**</b>	<b>,858**</b>	<b>,959**</b>	1,000	<b>,857**</b>	<b>,957**</b>	<b>,987**</b>
		Sig. (2-tailed)	<,001	,469	<,001	<,001	<,001	.	<,001	<,001	<,001
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n15_RAL		Correlation Coefficient	<b>-,793**</b>	-,133	<b>,753**</b>	<b>,999**</b>	<b>,938**</b>	<b>,857**</b>	1,000	<b>,939**</b>	<b>,890**</b>
		Sig. (2-tailed)	<,001	,599	<,001	<,001	<,001	<,001	.	<,001	<,001
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n50_RAL		Correlation Coefficient	<b>-,832**</b>	,080	<b>,769**</b>	<b>,940**</b>	<b>,999**</b>	<b>,957**</b>	<b>,939**</b>	1,000	<b>,980**</b>
		Sig. (2-tailed)	<,001	,752	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	.	<,001
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n85_RAL		Correlation Coefficient	<b>-,834**</b>	,172	<b>,781**</b>	<b>,893**</b>	<b>,982**</b>	<b>,987**</b>	<b>,890**</b>	<b>,980**</b>	1,000
		Sig. (2-tailed)	<,001	,496	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	.
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Σχήμα 5.13: Αποτελέσματα μη παραμετρικού συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (Spearman) για τις μεταβλητές οριζόντιας ακτίνας R, επίκλισης q, ελικτότητας K και συντελεστών εκμετάλλευσης τριβής n

Σημειώνεται πως η επισήμανση των τιμών των συντελεστών συσχέτισης με \*\* υποδεικνύει πως η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 1%. Από τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική και αρνητική συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής n (σε όλες τις αντιπροσωπευτικές τιμές κατά OMOE-X και RAL) και της οριζόντιας ακτίνας. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών -0,841 έως -0,880 και το p-value προέκυψε μικρότερο του 0,001. Επίσης ο συντελεστής συσχέτισης Spearman κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών -0,784 έως -0,834 και το p-value προέκυψε μικρότερο του 0,001.
- Υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική και θετική συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής n (σε όλες τις αντιπροσωπευτικές τιμές κατά OMOE-X και RAL) και της ελικτότητας. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0,720 έως 0,772 και το p-value προέκυψε μικρότερο του 0,001. Επίσης ο συντελεστής συσχέτισης Spearman κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0,737 έως 0,781 και το p-value προέκυψε μικρότερο του 0,001.
- Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής n (σε όλες τις αντιπροσωπευτικές τιμές κατά OMOE-X και RAL) και της επίκλισης. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών -0,092 έως 0,166 και το p-value προέκυψε ίσο μεταξύ των τιμών 0,511 έως 0,735. Επίσης ο συντελεστής

συσχέτισης Spearman κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών -0,133 έως 0,182 και το p-value προέκυψε ίσο μεταξύ των τιμών 0,469 έως 0,752.

- Υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική και αρνητική συσχέτιση της οριζόντιας ακτίνας και της ελικτότητας. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson ήταν ίσος με -0,903 και το p-value προέκυψε μικρότερο του 0,001. Επίσης ο συντελεστής συσχέτισης Spearman ήταν ίσος με -0,976 και το p-value προέκυψε μικρότερο του 0,001.
- Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση της επίκλισης με την οριζόντια ακτίνα. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson ήταν ίσος με -0,240 και το p-value προέκυψε ίσο με 0,338. Επίσης ο συντελεστής συσχέτισης Spearman ήταν ίσος με -0,289 και το p-value προέκυψε ίσο με 0,246.
- Δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική συσχέτιση της επίκλισης με την ελικτότητα. Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson ήταν ίσος με 0,292 και το p-value προέκυψε ίσο με 0,239. Επίσης ο συντελεστής συσχέτισης Spearman ήταν ίσος με 0,255 και το p-value προέκυψε ίσο με 0,308.

Συμπερασματικά διαπιστώθηκε πως ο συντελεστής εκμετάλλευσης συσχετίζεται σημαντικά με την οριζόντια ακτίνα και την ελικτότητα της καμπύλης ενώ δεν συσχετίζεται με την επίκλιση. Η αρνητική συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή εκμετάλλευσης και της οριζόντιας ακτίνας υποδηλώνει πως με τη μείωση της οριζόντιας ακτίνας αυξάνεται ο συντελεστής εκμετάλλευσης σε μια καμπύλη. Η συσχέτιση κρίνεται ως λογική, δεδομένου ότι απαιτείται μεγαλύτερη πλευρική τριβή κατά τη κίνηση ενός οχήματος σε μια καμπύλη μικρής ακτίνας από ότι σε μια καμπύλη μεγαλύτερης ακτίνας. Επιπλέον η θετική συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή εκμετάλλευσης και της ελικτότητας υποδηλώνει πως με την αύξηση της ελικτότητας αυξάνεται και ο συντελεστής εκμετάλλευσης. Τέλος, η αρνητική συσχέτιση μεταξύ της οριζόντιας ακτίνας και της ελικτότητας κρίνεται λογική, δεδομένου ότι όταν αυξάνεται η ακτίνα της καμπύλης αυξάνεται και το μήκος της, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ελικτότητα.

### 5.6.1 Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης με την Οριζόντια Ακτίνα Καμπύλης

Ο συντελεστής εκμετάλλευσης η διαπιστώθηκε σε προηγούμενο βήμα πως παρουσιάζει σημαντική αρνητική συσχέτιση με την οριζόντια ακτίνα της καμπύλης. Χρησιμοποιώντας τις αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης που προέκυψαν για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων, πραγματοποιήθηκε ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών αυτών και των οριζόντιων ακτινών των καμπύλων. Σκοπός της διαδικασίας αυτής ήταν ο προσδιορισμός της καταλληλότερης εξίσωσης υπολογισμού της μεταβλητής του συντελεστή εκμετάλλευσης σε σχέση την ακτίνα. Όλες οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος Excel.

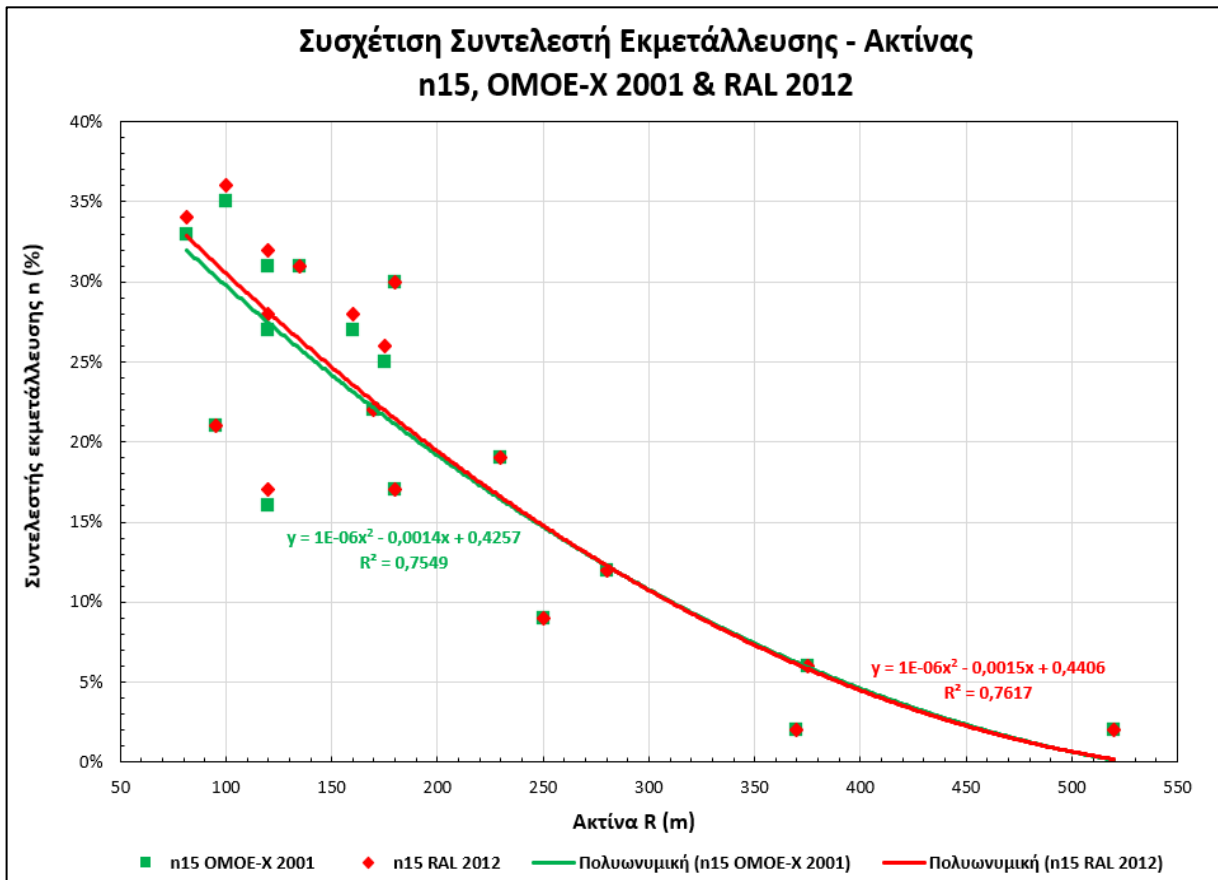
Στο Σχήμα 5.14 απεικονίζεται η μεταβολή του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{15}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL για το 15% των διερχόμενων οχημάτων σε σχέση με την οριζόντια ακτίνα R της καμπύλης. Οι μαθηματικές εξισώσεις που συνδέουν τις 2 παραπάνω μεταβλητές αντιστοιχούν στις ακόλουθες δευτεροβάθμιες εξισώσεις:

$$\begin{aligned} n_{15 (OMOE-X)} &= 0,000001 \cdot R^2 - 0,0014 \cdot R + 0,4257 \\ R^2 &= 0,7549 \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} n_{15 (RAL)} &= 0,000001 \cdot R^2 - 0,0015 \cdot R + 0,4406 \\ R^2 &= 0,7617 \end{aligned} \quad (5.6)$$

Οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας  $R^2$  σε συνδυασμό με τη πολυωνυμική γραμμή τάσης επιβεβαιώνουν τη στατιστικά σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{15}$  και της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης, R. Η συσχέτιση κρίνεται πως είναι ικανοποιητική αλλά όχι ισχυρή. Από το Σχήμα 5.14 επιβεβαιώνεται πως με την αύξηση της

ακτίνας της καμπύλης ο συντελεστής εκμετάλλευσης μειώνεται. Επίσης, οι γραμμές τάσης που εκφράζουν τη μεταβολή του συντελεστή εκμετάλλευσης συναρτήσει της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης είναι παραπλήσιες μεταξύ των 2 κανονισμών.



Σχήμα 5.14: Συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης

Στο Σχήμα 5.15 απεικονίζεται η μεταβολή του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{50}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL για το 50% των διερχόμενων οχημάτων σε σχέση με την οριζόντια ακτίνα R της καμπύλης. Οι μαθηματικές εξισώσεις που συνδέουν τις 2 παραπάνω μεταβλητές αντιστοιχούν στις ακόλουθες δευτεροβάθμιες εξισώσεις:

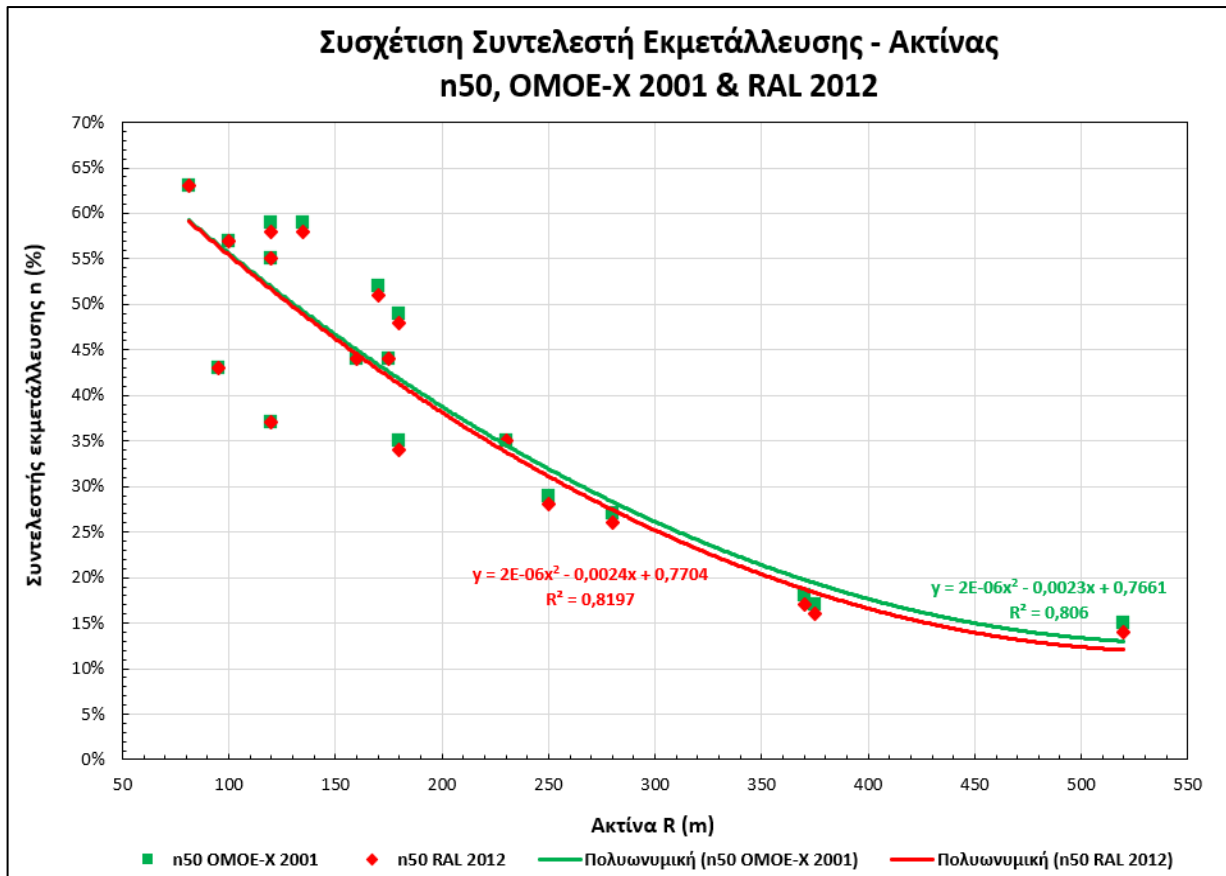
$$\bullet \quad n_{50 (ΟΜΟΕ-Χ)} = 0,000002 \cdot R^2 - 0,0023 \cdot R + 0,7661 \quad (5.7)$$

$$R^2 = 0,806$$

$$\bullet \quad n_{50 (RAL)} = 0,000002 \cdot R^2 - 0,0024 \cdot R + 0,7704 \quad (5.8)$$

$$R^2 = 0,8197$$

Οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας  $R^2$  σε συνδυασμό με τη πολυωνυμική γραμμή τάσης επιβεβαιώνουν τη στατιστικά σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{50}$  και της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης, R. Η συσχέτιση κρίνεται πως είναι ικανοποιητική αλλά όχι ισχυρή. Από το Σχήμα 5.15 επιβεβαιώνεται πως με την αύξηση της ακτίνας της καμπύλης ο συντελεστής εκμετάλλευσης μειώνεται. Επίσης, οι γραμμές τάσης που εκφράζουν τη μεταβολή του συντελεστή εκμετάλλευσης συναρτήσει της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης είναι παραπλήσιες μεταξύ των 2 κανονισμών.



Σχήμα 5.15: Συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 50% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης

Στο Σχήμα 5.16 απεικονίζεται η μεταβολή του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{85}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL για το 85% των διερχόμενων οχημάτων σε σχέση με την οριζόντια ακτίνα R της καμπύλης. Οι μαθηματικές εξισώσεις που συνδέουν τις 2 παραπάνω μεταβλητές αντιστοιχούν στις ακόλουθες δευτεροβάθμιες εξισώσεις:

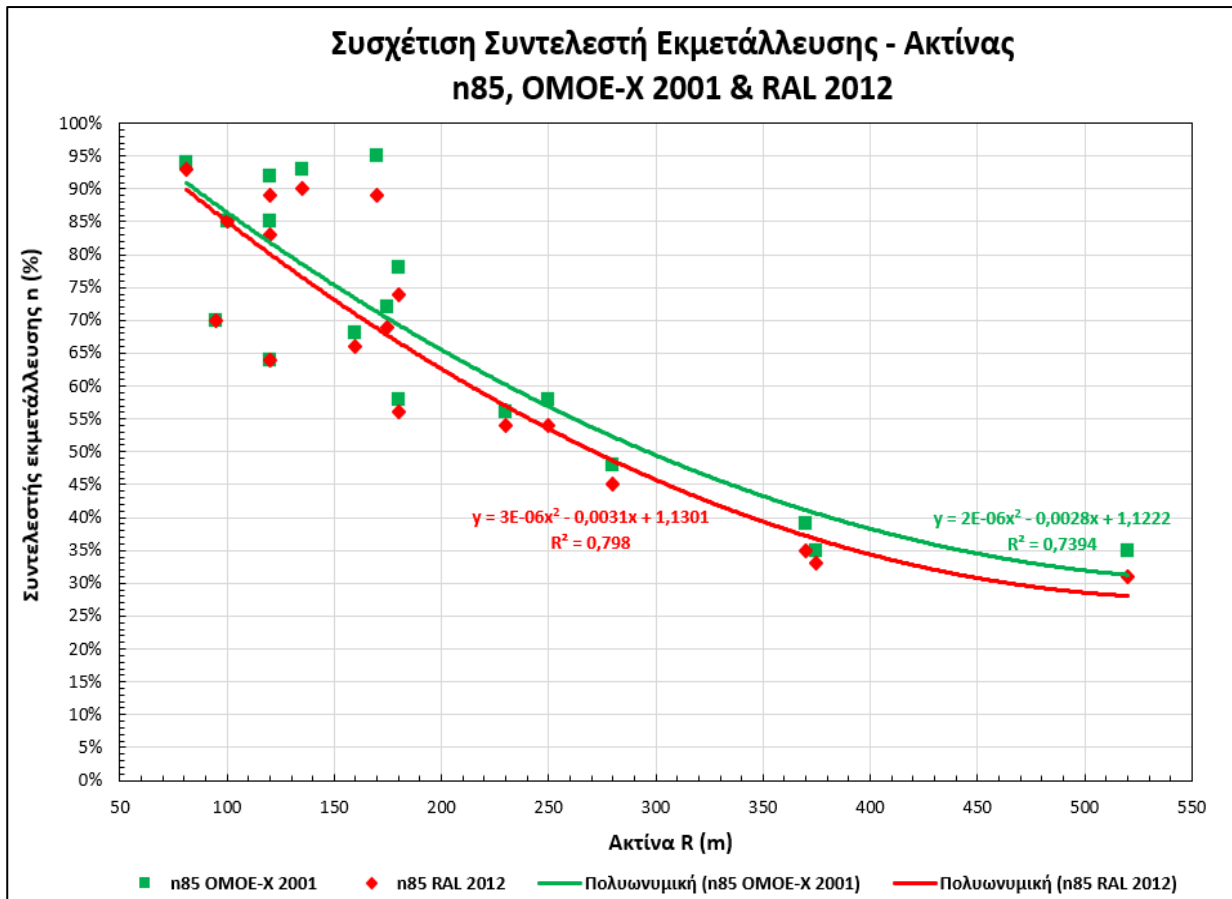
$$\bullet \quad n_{85} (\text{ΟΜΟΕ-Χ}) = 0,000002 \cdot R^2 - 0,0028 \cdot R + 1,1222 \quad (5.9)$$

$$R^2 = 0,7394$$

$$\bullet \quad n_{85} (\text{RAL}) = 0,000003 \cdot R^2 - 0,0031 \cdot R + 1,1301 \quad (5.10)$$

$$R^2 = 0,798$$

Οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας  $R^2$  σε συνδυασμό με τη πολυωνυμική γραμμή τάσης επιβεβαιώνουν τη στατιστικά σημαντική αρνητική συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{85}$  και της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης, R. Η συσχέτιση κρίνεται πως είναι ικανοποιητική αλλά όχι ισχυρή. Από το Σχήμα 5.16 επιβεβαιώνεται πως με την αύξηση της ακτίνας της καμπύλης ο συντελεστής εκμετάλλευσης μειώνεται. Επίσης, οι γραμμές τάσης που εκφράζουν τη μεταβολή του συντελεστή εκμετάλλευσης συναρτήσει της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης παρουσιάζουν μικρή απόκλιση για ακτίνες μεγαλύτερες από 200 m. Σε αυτές οι οδηγοί διέρχονται ως επί το πλείστο με μεγαλύτερες ταχύτητες συγκριτικά με τις καμπύλες μικρότερης ακτίνας. Κατά συνέπεια, επιβεβαιώνεται η απόκλιση που προέκυψε στις τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης μεταξύ των 2 κανονισμών για ταχύτητες μεγαλύτερες από 70 km/h.



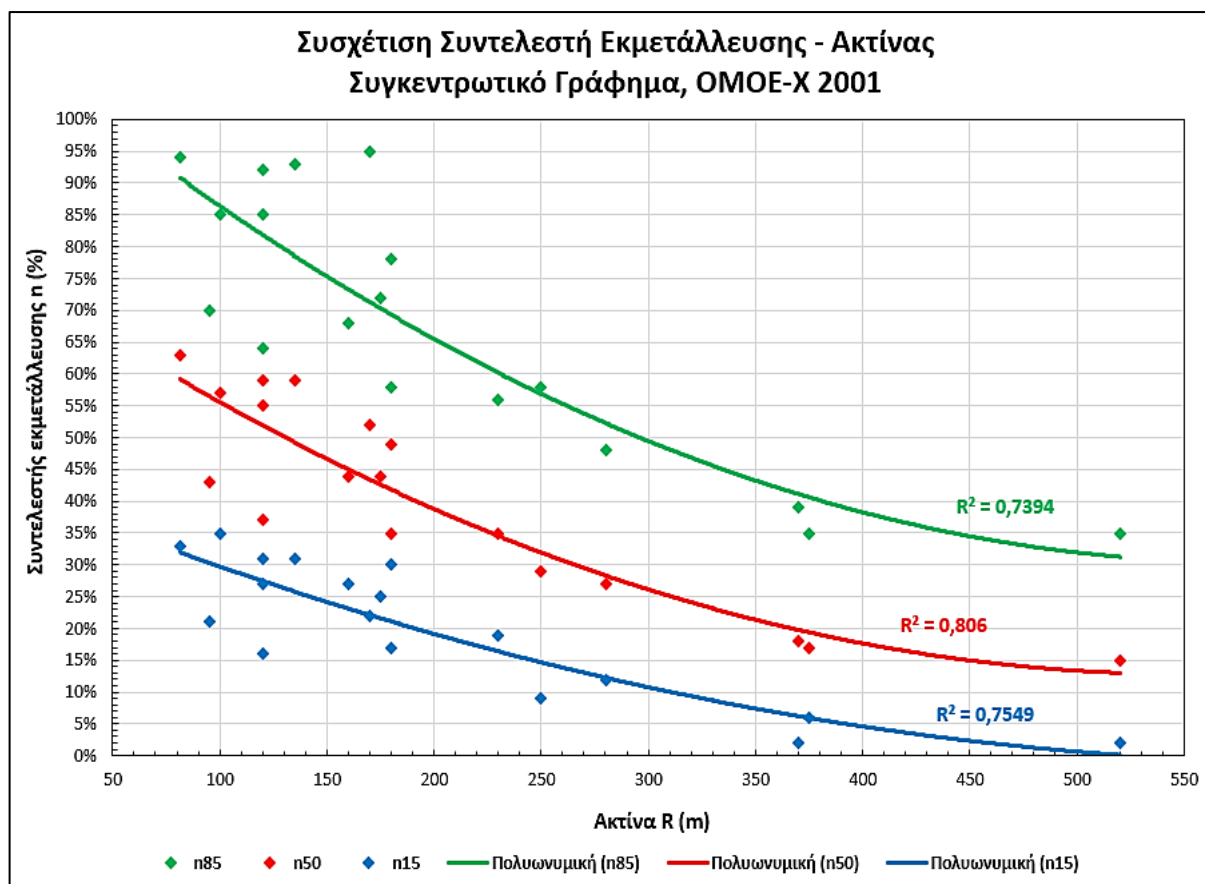
Σχήμα 5.16: Συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης

Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν τα συγκεντρωτικά διαγράμματα όπου παρουσιάζεται συνολικά η συσχέτιση των συντελεστών εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων με την ακτίνα της καμπύλης, τόσο βάσει των κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ όσο και βάσει των κανονισμών RAL. Από τα διαγράμματα αυτά και γενικότερα από τις τιμές των συντελεστών που προέκυψαν για κάθε μια από τις 3 προσεγγίσεις που αντικατοπτρίζεται με διαφορετικό ποσοστό διερχόμενων οχημάτων, προτάθηκαν ορισμένες αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης και στους 2 κανονισμούς. Οι τιμές αυτές εκφράζονται συναρτήσει ορισμένου εύρους ακτίνας.

Στο Σχήμα 5.17 απεικονίζεται το συγκεντρωτικό διάγραμμα μεταβολής του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ με την ακτίνα. Οι αντιπροσωπευτικές τιμές που προκύπτουν για τους ελληνικούς κανονισμούς παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.7.

Πίνακας 5.7: Αντιπροσωπευτικές τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων συναρτήσει διαφορετικού εύρους οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης.

R (m)	n		
	n <sub>15</sub>	n <sub>50</sub>	n <sub>85</sub>
≤ 150	24% - 33%	47% - 59%	75% - 91%
150 < R ≤ 250	15% - 24%	32% - 47%	57% - 75%
> 250	1% - 15%	13% - 32%	32% - 57%



Σχήμα 5.17: Συγκεντρικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης

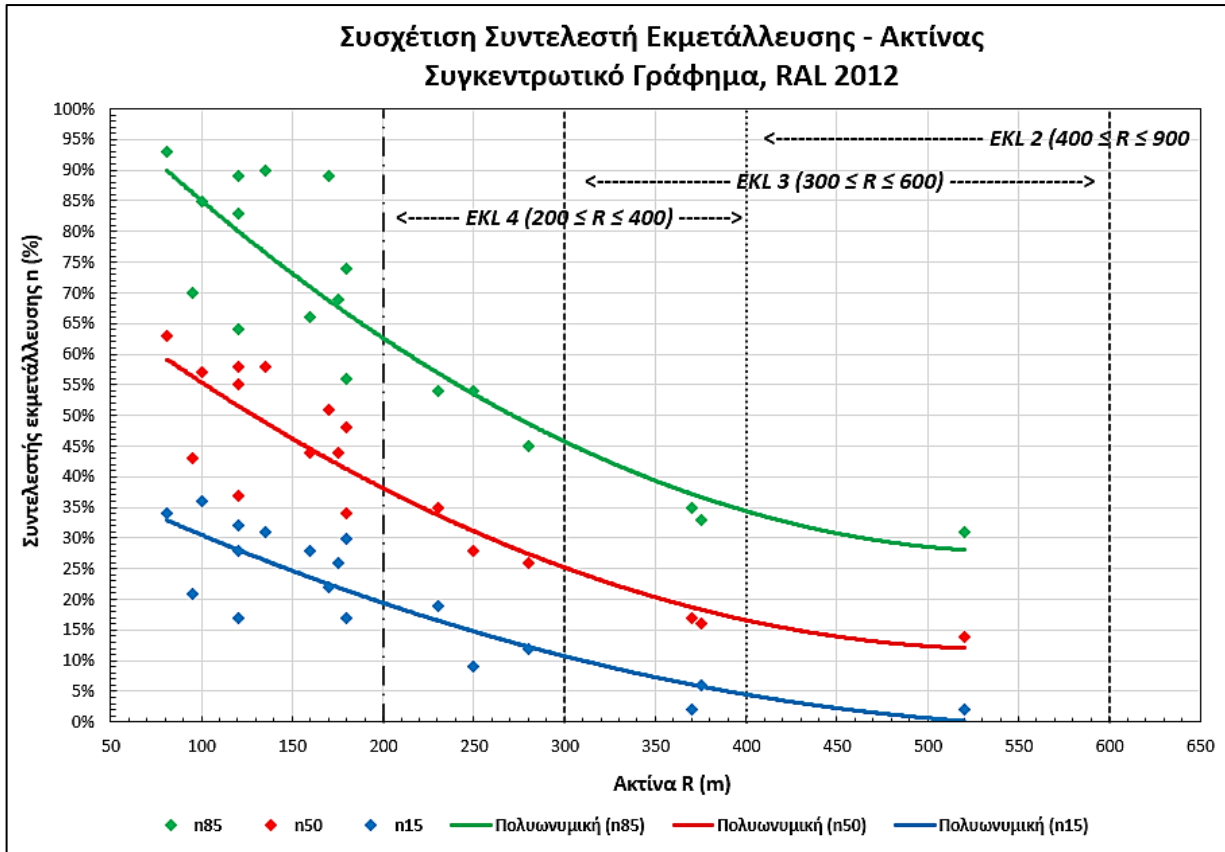
Στους γερμανικούς κανονισμούς RAL, λήφθηκαν υπόψη οι κλάσεις σχεδιασμού οδών που ορίζονται σε αυτούς και το εύρος της οριζοντιογραφικής ακτίνας ανά κλάση, ώστε να προταθούν οι αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης. Οι τιμές αυτές προέκυψαν τόσο με βάση το συγκεντρικό διάγραμμα μεταβολής του συντελεστή εκμετάλλευσης σε σχέση με την οριζόντια ακτίνα της καμπύλης (Σχήμα 5.18) όσο και με βάση τις τιμές που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Επισημαίνεται πως από τις 4 συνολικά κλάσεις σχεδιασμού αξιοποιήθηκαν οι EKL 2, EKL 3 και EKL 4, καθώς θεωρήθηκε πως αυτές παρουσιάζουν ομοιότητες ως προς τα χαρακτηριστικά τους με το υπό μελέτη οδικό τμήμα.

Οι αντιπροσωπευτικές τιμές που προκύπτουν για τους γερμανικούς κανονισμούς παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.8.

Πίνακας 5.8: Αντιπροσωπευτικές τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά RAL για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων συναρτήσει του εύρους οριζόντιας ακτίνας ανά κλάση σχεδιασμού των γερμανικών υπεραστικών οδών

Κλάση Σχεδιασμού	EKL 2	EKL 3	EKL 4	-
R (m)	400 - 900	300 - 600	200 - 400	≤ 200
n <sub>15</sub>	1% - 5%	1% - 11%	5% - 19%	19% - 33%
n <sub>50</sub>	13% - 17%	13% - 25%	17% - 38%	38% - 59%
n <sub>85</sub>	28% - 34%	28% - 46%	34% - 63%	63% - 90%





Σχήμα 5.18: Συγκεντρικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά RAL με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης

### 5.6.2 Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης με την Ελικτότητα Καμπύλης

Ο συντελεστής εκμετάλλευσης  $n$  διαπιστώθηκε σε προηγούμενο βήμα πως παρουσιάζει σημαντική θετική συσχέτιση με την ελικτότητα της καμπύλης. Ως μέγεθος η ελικτότητα υπολογίζεται από το πηλίκο της γωνίας αλλαγής κατεύθυνσης της καμπύλης προς το συνολικό της μήκος, κατά συνέπεια συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση η επίδραση των 2 αυτών ξεχωριστών παραμέτρων. Χρησιμοποιώντας τις αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης που προέκυψαν για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων, πραγματοποιήθηκε ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ των τιμών αυτών και της ελικτότητας των καμπυλών. Σκοπός της διαδικασίας αυτής ήταν ο προσδιορισμός της καταλληλότερης εξίσωσης υπολογισμού της μεταβλητής του συντελεστή εκμετάλλευσης σε σχέση την ελικτότητα. Όλες οι διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος Excel.

Στο Σχήμα 5.19 απεικονίζεται στο συγκεντρικό διάγραμμα η μεταβολή του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων σε σχέση με την ελικτότητα  $K$  της καμπύλης. Οι μαθηματικές εξισώσεις που συνδέουν τις 2 παραπάνω μεταβλητές αντιστοιχούν στις ακόλουθες δευτεροβάθμιες εξισώσεις:

$$\bullet \quad n_{15(OMOE-X)} = -0,000001 \cdot K^2 + 0,0016 \cdot K - 0,1837 \quad (5.11)$$

$$R^2 = 0,7626$$

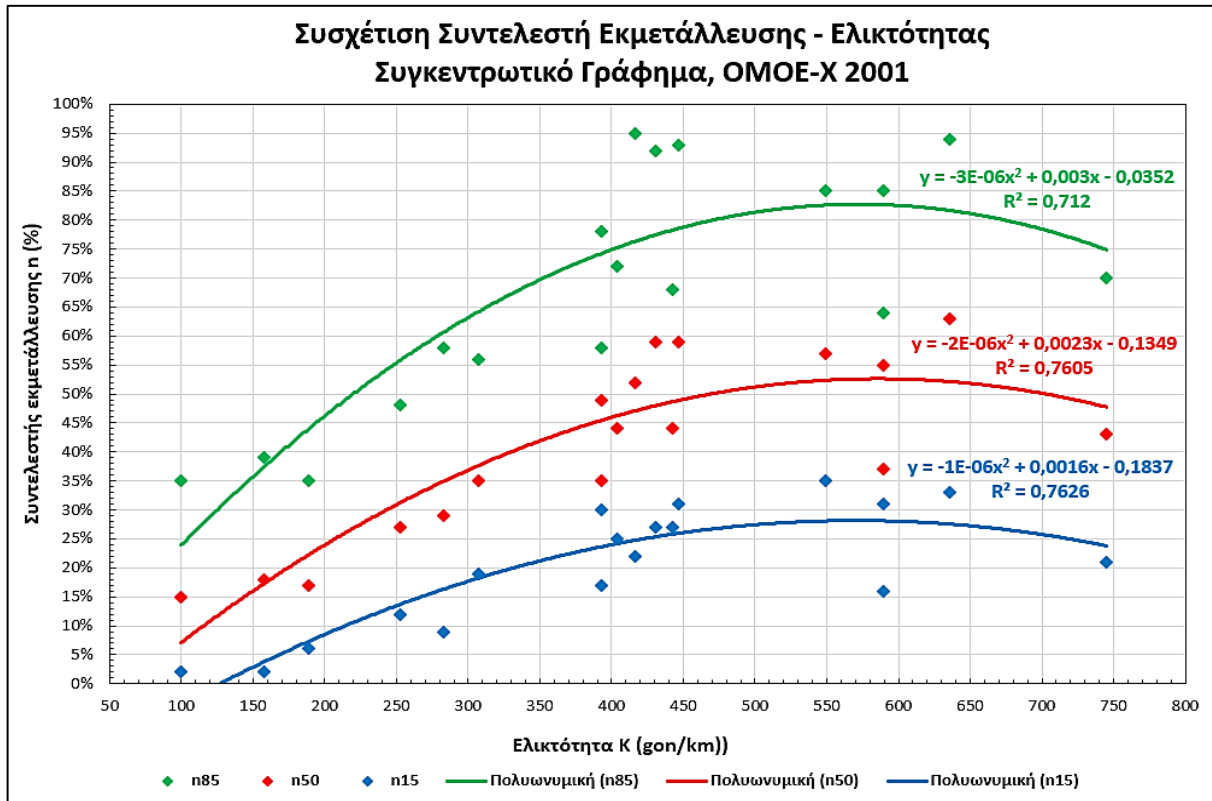
$$\bullet \quad n_{50(OMOE-X)} = -0,000002 \cdot K^2 + 0,0023 \cdot K - 0,1349 \quad (5.12)$$

$$R^2 = 0,7605$$

$$\bullet \quad n_{85(OMOE-X)} = -0,000003 \cdot K^2 + 0,003 \cdot K + 0,0352 \quad (5.13)$$

$$R^2 = 0,712$$

Οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας  $R^2$  σε συνδυασμό με τη πολυωνυμική γραμμή τάσης επιβεβαιώνουν τη στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ των τιμών του συντελεστή εκμετάλλευσης και της ελικτότητας της καμπύλης,  $K$ . Η συσχέτιση κρίνεται πως είναι ικανοποιητική αλλά όχι ισχυρή. Από το Σχήμα 5.19 επιβεβαιώνεται πως με την αύξηση της ελικτότητας της καμπύλης ο συντελεστής εκμετάλλευσης αυξάνεται. Ωστόσο η αύξηση αυτή πραγματοποιείται προσεγγιστικά έως τη τιμή ελικτότητας  $K = 550$   $\text{gon/km}$ , ενώ για τιμές της ελικτότητας μεγαλύτερες από τη τιμή αυτή ο συντελεστής εκμετάλλευσης παρουσιάζει φθίνουσα τάση. Πιθανώς ωστόσο οι 2 τιμές που αποκλίνουν από το δείγμα και προσδίδουν την φθίνουσα τάση να έπρεπε να αφαιρεθούν.



Σχήμα 5.19: Συγκεντρωτικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ με την ελικτότητα καμπύλης

Με βάση το Σχήμα 5.19 και τις τιμές των συντελεστών που προέκυψαν για κάθε μια από τις 3 προσεγγίσεις που αντικατοπτρίζεται με διαφορετικό ποσοστό διερχόμενων οχημάτων, προτάθηκαν ορισμένες αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης βάσει των ΟΜΟΕ-Χ. Οι τιμές αυτές εκφράζονται συναρτήσει ορισμένου εύρους ελικτότητας.

Οι αντιπροσωπευτικές τιμές που προκύπτουν για τους ελληνικούς κανονισμούς παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.9.

Πίνακας 5.9: Αντιπροσωπευτικές τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων συναρτήσει διαφορετικού εύρους ελικτότητας της καμπύλης.

K (gon/km)	n		
	n <sub>15</sub>	n <sub>50</sub>	n <sub>85</sub>
≤ 250	1% - 13%	7% - 32%	24% - 55%
250 < K ≤ 500	13% - 27%	32% - 51%	55% - 82%
> 500	24% - 27%	48% - 51%	75% - 82%

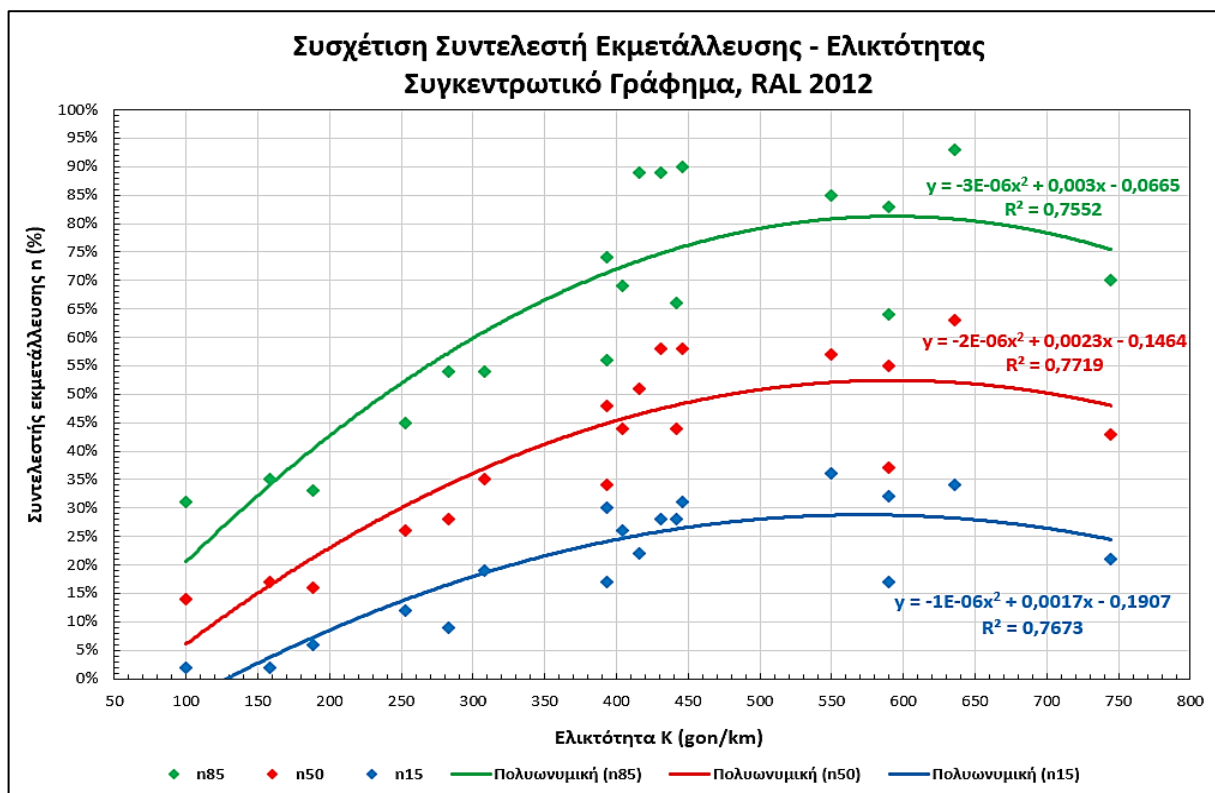
Στο Σχήμα 5.20 απεικονίζεται στο συγκεντρωτικό διάγραμμα η μεταβολή του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά RAL για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων σε σχέση με την ελικτότητα K της καμπύλης. Οι μαθηματικές εξισώσεις που συνδέουν τις 2 παραπάνω μεταβλητές αντιστοιχούν στις ακόλουθες δευτεροβάθμιες εξισώσεις:

$$\bullet \quad \eta_{15(RAL)} = -0,000001 \cdot K^2 + 0,0017 \cdot K - 0,1907 \quad R^2 = 0,7673 \quad (5.14)$$

$$\bullet \quad \eta_{50(RAL)} = -0,000002 \cdot K^2 + 0,0023 \cdot K - 0,1464 \quad R^2 = 0,7719 \quad (5.15)$$

$$\bullet \quad \eta_{85(RAL)} = -0,000003 \cdot K^2 + 0,003 \cdot K + 0,0665 \quad R^2 = 0,7552 \quad (5.16)$$

Οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας  $R^2$  σε συνδυασμό με τη πολυωνυμική γραμμή τάσης επιβεβαιώνουν τη στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ των τιμών του συντελεστή εκμετάλλευσης και της ελικτότητας της καμπύλης, K. Η συσχέτιση κρίνεται πως είναι ικανοποιητική αλλά όχι ισχυρή. Από το Σχήμα 5.20 επιβεβαιώνεται πως με την αύξηση της ελικτότητας της καμπύλης ο συντελεστής εκμετάλλευσης αυξάνεται. Ωστόσο, όπως παρατηρήθηκε και στη περίπτωση των κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ η αύξηση αυτή πραγματοποιείται προσεγγιστικά έως τη τιμή ελικτότητας  $K = 600 \text{ gon/km}$ , ενώ για τιμές της ελικτότητας μεγαλύτερες από τη τιμή αυτή ο συντελεστής εκμετάλλευσης παρουσιάζει φθίνουσα τάση. Και σε αυτή τη περίπτωση, ενδεχομένως οι τιμές που αποκλίνουν από το δείγμα και προσδίδουν τη φθίνουσα αυτή τάση να έπρεπε να αφαιρεθούν.



Σχήμα 5.20: Συγκεντρωτικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά RAL με την ελικτότητα καμπύλης

Με βάση το Σχήμα 5.20 και τις τιμές των συντελεστών που προέκυψαν για κάθε μια από τις 3 προσεγγίσεις που αντικατοπτρίζεται με διαφορετικό ποσοστό διερχόμενων οχημάτων,

προτάθηκαν ορισμένες αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης βάσει των κανονισμών RAL. Οι τιμές αυτές εκφράζονται συναρτήσει ορισμένου εύρους ελικτότητας.

Οι αντιπροσωπευτικές τιμές που προκύπτουν για τους γερμανικούς κανονισμούς παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.10.

*Πίνακας 5.10: Αντιπροσωπευτικές τιμές συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά RAL για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων συναρτήσει διαφορετικού εύρους ελικτότητας της καμπύλης.*

K (gon/km)	n		
	n <sub>15</sub>	n <sub>50</sub>	n <sub>85</sub>
≤ 250	1% - 14%	7% - 30%	21% - 52%
250 < K ≤ 500	14% - 28%	30% - 51%	52% - 79%
> 500	24% - 28%	48% - 51%	75% - 79%

### 5.6.3 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Βάσει των Κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε διαπιστώθηκε πως οι πραγματικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης που χρησιμοποιούν οι οδηγοί κατά τη κίνησή τους σε μια καμπύλη ήταν σημαντικά μεγαλύτερες σε ορισμένες περιπτώσεις από τη προτεινόμενη τιμή των κανονισμών .

Όσον αφορά τη συντηρητική προσέγγιση που περιλαμβάνει τους οδηγούς που οδηγούν πιο συντηρητικά και με μικρότερη ταχύτητα, ο συντελεστής εκμετάλλευσης n<sub>15</sub> προέκυψε μικρότερος της προτεινόμενης από τους ΟΜΟΕ-Χ τιμής για το συγκεκριμένο οδικό τμήμα. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή n<sub>15</sub> προέκυψε ίση με n<sub>15</sub> = 33% σε σχέση με την ακτίνα και n<sub>15</sub> = 27% σε σχέση με την ελικτότητα, τιμές οι οποίες είναι μικρότερες από τη προτεινόμενη κατά ΟΜΟΕ-Χ τιμή n = 0,45 ή 45%.

Για το ποσοστό εκείνο των οδηγών που επιλέγουν να κινηθούν με ταχύτητες κοντά στο όριο ταχύτητας, ο συντελεστής εκμετάλλευσης προέκυψε μεγαλύτερος από την επιτρεπόμενη τιμή, κυρίως για κλειστές καμπύλες ακτίνας μικρότερης των 150 m και ελικτότητας μεγαλύτερης από 500 gon/km. Στη περίπτωση αυτή, ο συντελεστής n<sub>50</sub> έλαβε τιμές έως και κοντά στο 60% σε σχέση με την ακτίνα και κοντά στο 50% σε σχέση με την ελικτότητα, ενώ στις καμπύλες ακτίνας μεταξύ 150 m και 250 m και ελικτότητας άνω των 250 gon/km η μέγιστη τιμή του προσέγγιζε τη προτεινόμενη κατά ΟΜΟΕ-Χ τιμή.

Για το ποσοστό εκείνο των οδηγών που περιλαμβάνει και τους οδηγούς που οδηγούν επιθετικά και με σχετικά μεγάλες ταχύτητες, παρατηρήθηκε πως ο συντελεστής εκμετάλλευσης έλαβε σημαντικά μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τη προτεινόμενη κατά ΟΜΟΕ-Χ τιμή n = 45%. Ενδεικτικά στις κλειστές καμπύλες ακτίνας μικρότερης των 150 m και ελικτότητας μεγαλύτερης των 500 gon/km ο συντελεστής n<sub>85</sub> προέκυψε μεγαλύτερος του 75%, στις καμπύλες ακτίνας μεταξύ 150 m και 250 m και ελικτότητας μεταξύ 250 gon/km και 500 gon/km μεγαλύτερος από 55% και μόνο στις καμπύλες μεγαλύτερης ακτίνας και μικρότερης ελικτότητας έλαβε τιμές σχετικά πιο κοντά στη τιμή 45%. Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν πως στις καμπύλες μικρής ακτίνας οι οδηγοί δέχονται να οδηγούν στα όρια, καθώς οι τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης είναι ιδιαίτερα μεγάλες.

Από τις παραπάνω παρατηρήσεις λήφθηκε το συμπέρασμα πως οι ελληνικοί κανονισμοί ανταποκρίνονται ικανοποιητικά ως προς τη τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης στις περιπτώσεις οδήγησης με μικρότερες ταχύτητες και στο μέσο οδηγό που δεν θα υπερβεί εύκολα το όριο ταχύτητας και θα επιλέξει ταχύτητες πλησίον αυτού. Στη πρώτη περίπτωση προέκυψε πως οι κανονισμοί δεν είναι συντηρητικοί, με τους οδηγούς να χρησιμοποιούν μικρότερο

συντελεστή εκμετάλλευσης ακριβώς λόγω του ότι κινήθηκαν στις καμπύλες με μικρότερη ταχύτητα. Στη δεύτερη περίπτωση, οι κανονισμοί λειτουργούν πιο ρεαλιστικά καθώς η προτεινόμενη τιμή  $n = 45\%$  είναι σε γενικές γραμμές αντιπροσωπευτική του συντελεστή εκμετάλλευσης που αξιοποιούν οι οδηγοί.

Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη το μεγαλύτερο ποσοστό των οδηγών στο οποίο εμπεριέχονται και οι οδηγοί που κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες και συχνά υπερβαίνουν το όριο ταχύτητας (είτε το τοπικό είτε το γενικό), διαπιστώθηκε πως οι ΟΜΟΕ-Χ δεν είναι ρεαλιστικοί ως προς την επιλογή του συντελεστή εκμετάλλευσης. Είναι γεγονός ότι στο 85% των οδηγών υπάρχει πιθανότητα να συμπεριλαμβάνονται και εκείνοι οι οδηγοί που παραβιάζουν συχνά και με μεγάλη διαφορά το όριο ταχύτητας. Παρ' όλα αυτά το φαινόμενο αυτό αντικατοπτρίζει τις πραγματικές συνθήκες και παρατηρείται γενικότερα στις ελληνικές οδούς. Στη περίπτωση αυτή προτείνεται η αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης που προτείνεται από τους κανονισμούς ώστε να ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες κίνησης και να είναι ρεαλιστικός, και γενικότερα η λήψη περαιτέρω αντισταθμιστικών μέτρων προς ενίσχυση της οδικής ασφάλειας.

#### 5.6.4 Αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Βάσει των Κανονισμών RAL

Κατ' αντιστοιχία με τους κανονισμούς ΟΜΟΕ-Χ, από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε διαπιστώθηκε πως οι πραγματικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης που χρησιμοποιούν οι οδηγοί κατά τη κίνησή τους σε μια καμπύλη ήταν σημαντικά μεγαλύτερες σε ορισμένες περιπτώσεις από τη προτεινόμενη τιμή των κανονισμών.

Όσον αφορά τη συντηρητική προσέγγιση που περιλαμβάνει τους οδηγούς που οδηγούν πιο συντηρητικά και με μικρότερη ταχύτητα, ο συντελεστής εκμετάλλευσης  $n_{15}$  προέκυψε σημαντικά μικρότερος σε όλες τις κλάσεις σχεδιασμού συγκριτικά με τη προτεινόμενη από τους RAL τιμή για ελεύθερα τμήματα οδών. Η μέγιστη τιμή του συντελεστή  $n_{15}$  σε σχέση με την ακτίνα προέκυψε ίση με  $n_{15} = 19\%$  για καμπύλες που εντάσσονται στη κλάση σχεδιασμού EKL 4 και ίση με  $n_{15} = 33\%$  για καμπύλες ακτίνας μικρότερης από 200 m. Σε σχέση με την ελικτότητα, η αντίστοιχη τιμή προέκυψε ίση με  $n_{15} = 28\%$  για καμπύλες με ελικτότητα μεγαλύτερη των 500 gon/km. Οι παραπάνω τιμές είναι μικρότερες από τη προτεινόμενη κατά RAL τιμή  $n = 0,40$  ή 40%.

Για το ποσοστό εκείνο των οδηγών που επιλέγουν να κινηθούν με ταχύτητες κοντά στο όριο ταχύτητας, ο συντελεστής εκμετάλλευσης προέκυψε μεγαλύτερος από την επιτρεπόμενη τιμή, κυρίως για κλειστές καμπύλες ακτίνας μικρότερης των 200 m και ελικτότητας μεγαλύτερης από 500 gon/km. Στη περίπτωση αυτή, ο συντελεστής  $n_{50}$  έλαβε μέγιστη τιμή κοντά στο 40% στη κλάση σχεδιασμού EKL 4 και 59% για καμπύλες ακτίνας μικρότερης των 200 m, ενώ στις καμπύλες ελικτότητας άνω των 250 gon/km η μέγιστη τιμή του προσέγγιζε τη τιμή 50%.

Για το ποσοστό εκείνο των οδηγών που περιλαμβάνει και τους οδηγούς που οδηγούν επιθετικά και με σχετικά μεγάλες ταχύτητες, παρατηρήθηκε πως ο συντελεστής εκμετάλλευσης έλαβε σημαντικά μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τη προτεινόμενη κατά RAL τιμή  $n = 40\%$ . Ενδεικτικά στις καμπύλες για κλάση σχεδιασμού EKL 3 και EKL 4 ή με ακτίνα μικρότερη των 200 m ο συντελεστής  $n_{85}$  προέκυψε αρκετά μεγαλύτερος του 40%. Αντίστοιχα, το ίδιο αποτέλεσμα προέκυψε και ως προς την ελικτότητα των καμπυλών, καθώς για ελικτότητες κυρίως μεγαλύτερες από 250 gon/km ο συντελεστής ξεπερνούσε σημαντικά τη προτεινόμενη τιμή  $n = 40\%$ .

Από της παραπάνω παρατηρήσεις λήφθηκε το συμπέρασμα πως οι γερμανικοί κανονισμοί ανταποκρίνονται ικανοποιητικά ως προς τη τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης στις περιπτώσεις οδήγησης με μικρότερες ταχύτητες και στο μέσο οδηγό που δεν θα υπερβεί εύκολα το όριο ταχύτητας και θα επιλέξει ταχύτητες πλησίον αυτού. Στη πρώτη περίπτωση προέκυψε

πως οι κανονισμοί δεν είναι συντηρητικοί, με τους οδηγούς να χρησιμοποιούν μικρότερο συντελεστή εκμετάλλευσης ακριβώς λόγω του ότι κινήθηκαν στις καμπύλες με μικρότερη ταχύτητα. Στη δεύτερη περίπτωση, οι κανονισμοί λειτουργούν πιο ρεαλιστικά καθώς η προτεινόμενη τιμή  $n = 40\%$  είναι σε γενικές γραμμές αντιπροσωπευτική του συντελεστή εκμετάλλευσης που αξιοποιούν οι οδηγοί.

Ωστόσο, λαμβάνοντας υπόψη το μεγαλύτερο ποσοστό των οδηγών στο οποίο εμπεριέχονται και οι οδηγοί που κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες, διαπιστώθηκε πως οι RAL δεν είναι ρεαλιστικοί ως προς την επιλογή του συντελεστή εκμετάλλευσης. Επίσης, το παραπάνω συμπέρασμα έχει ισχύ κυρίως για τις κλειστές καμπύλες με οριζόντια ακτίνα μικρότερη των 200 m και ελικτότητα μεγαλύτερη από 250 gop/km. Στη περίπτωση αυτή προτείνεται η αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης που υιοθετείται από τους κανονισμούς ώστε να ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες κίνησης και να είναι ρεαλιστικός, και γενικότερα η λήψη περαιτέρω αντισταθμιστικών μέτρων προς ενίσχυση της οδικής ασφάλειας.

### 5.7 Διερεύνηση του Συντελεστή Εκμετάλλευσης για Ημέρα και Νύχτα

Ένα ενδιαφέρον ζήτημα αποτελεί η διερεύνηση της συμπεριφοράς των οδηγών ως προς την επιλογή της ταχύτητας με την οποία θα διέλθουν από μια καμπύλη μεταξύ της ημέρας και της νύχτας. Οι συνθήκες που αντιμετωπίζει ένας οδηγός όταν οδηγεί κατά τη διάρκεια της νύχτας, με κυριότερη την έλλειψη επαρκούς φωτισμού, πιθανώς να επιδρούν στις ταχύτητες που καταγράφηκαν στις καμπύλες σε σύγκριση με τις αντίστοιχες ταχύτητες κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σε γενικές γραμμές, θεωρείται ότι η οδήγηση κατά τη διάρκεια της νύχτας γίνεται με μεγαλύτερη προσοχή και απαιτεί μεγαλύτερη συγκέντρωση από τον οδηγό.

Αρχικά διαχωρίστηκαν τα δεδομένα ταχυτήτων σε 2 κατηγορίες προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση της ημέρας και της νύχτας στη συμπεριφορά των οδηγών. Η 1<sup>η</sup> κατηγορία περιλάμβανε τις ταχύτητες των οχημάτων που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της ημέρας, και η 2<sup>η</sup> αυτές που καταγράφηκαν τις βραδινές ώρες. Για το σκοπό αυτό θεωρήθηκε ότι οι 2 κατηγορίες στις οποίες διαχωρίστηκαν τα δεδομένα σε ημέρα και νύχτα καλύπτουν τις εξής ώρες:

- Ημέρα : Από τις 7 το πρωί (07:00 π.μ.) έως τις 8 το απόγευμα (20:00 μ.μ.)
- Νύχτα : Από τις 9 το βράδυ (21:00 μ.μ.) έως τις 6 το πρωί (06:00 π.μ.)

Οι παραπάνω ώρες επιλέχθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τις ημέρες που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις (17 έως 20 Μαΐου). Μεταξύ των κατηγοριών ημέρας και νύχτας εξαιρέθηκαν οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν την ώρα μεταξύ 20:00 και 21:00 καθώς και μεταξύ 06:00 έως 07:00. Αυτό έγινε διότι κατά τις ώρες αυτές δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι επικρατεί πλήρως ημέρα ή νύχτα, καθώς τότε πραγματοποιείται η σταδιακή ανατολή ή δύση του ηλίου αντίστοιχα. Το μέσο δείγμα ταχυτήτων ανά καμπύλη αντιστοιχεί σε 3019 μετρήσεις ( $\sigma = \pm 1001$ ) για την ημέρα και 1009 μετρήσεις ( $\sigma = \pm 499$ ) για τη νύχτα.

Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε για τις 23 συνολικά καμπύλες του υπό μελέτη οδικού τμήματος. Στη συνέχεια προσδιορίστηκαν οι τιμές της ταχύτητας, του συντελεστή πλευρικής τριβής και του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά OMOE-X και κατά RAL για τα ποσοστά 15%, 50% και 85% των διερχόμενων από τις καμπύλες οχημάτων. Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν για το προσδιορισμό των τιμών αυτών είναι οι ίδιοι που περιγράφηκαν κατά την ανάλυση των δεδομένων στις προηγούμενες παραγράφους της εργασίας.

Στο Πίνακα 5.11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επιμέρους ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε για την ημέρα και τη νύχτα. Μεταξύ των τιμών κάθε μεγέθους για την ημέρα και για τη νύχτα υπολογίστηκε η διαφορά τους ώστε να αξιολογηθεί στη συνέχεια.

Κεφάλαιο 5 – Αποτελέσματα Ανάλυσης

Πίνακας 5.11: Τιμές ταχύτητας, συντελεστή πλευρικής τριβής και συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL για το 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων, για συνθήκες ημέρας και νύχτας, συναρτήσει της οριζόντιας ακτίνας και της επίκλισης της καμπύλης.

ΚΑΜΠΥΛΗ	R	α	ΣΥΝΘΗΚΗ	V (km/h)					fR			n					
				V <sub>15</sub>	V <sub>50</sub>	V <sub>85</sub>	V <sub>μέση</sub>	σ	fR <sub>15</sub>	fR <sub>50</sub>	fR <sub>85</sub>	ΟΜΟΕ Χ			RAL		
				n <sub>15</sub>	n <sub>50</sub>	n <sub>85</sub>	n <sub>15</sub>	n <sub>50</sub>	n <sub>85</sub>								
Σ01	200	5%	Ημέρα	67,94	76,55	86,76	76,99	8,87	0,131	0,181	0,248	43%	64%	95%	42%	61%	88%
			Νύχτα	62,98	71,28	83,28	72,32	9,76	0,106	0,150	0,225	33%	51%	84%	33%	49%	79%
			Διαφορά	4,96	5,27	3,48	4,67	0,89	0,025	0,031	0,023	10%	13%	11%	9%	12%	9%
Σ02	180	7%	Ημέρα	63,69	71,79	81,10	72,23	8,43	0,107	0,156	0,221	34%	53%	81%	34%	51%	77%
			Νύχτα	59,61	67,31	78,23	68,27	8,84	0,085	0,129	0,200	26%	42%	71%	26%	41%	68%
			Διαφορά	4,08	4,49	2,87	3,96	0,41	0,022	0,027	0,021	8%	11%	10%	8%	10%	9%
Σ03	175	7%	Ημέρα	59,40	68,38	77,66	68,38	8,83	0,086	0,140	0,203	26%	46%	72%	26%	45%	69%
			Νύχτα	57,66	66,46	76,54	66,91	8,99	0,079	0,129	0,196	24%	42%	69%	24%	41%	66%
			Διαφορά	1,74	1,92	1,12	1,47	0,16	0,007	0,011	0,007	2%	4%	3%	2%	4%	3%
Σ04	250	9%	Ημέρα	64,14	75,19	87,22	75,44	12,09	0,023	0,084	0,146	7%	29%	56%	7%	28%	52%
			Νύχτα	63,61	75,09	88,57	75,84	11,99	0,037	0,088	0,162	12%	31%	63%	12%	30%	58%
			Διαφορά	0,53	0,11	1,35	0,41	0,10	0,014	0,004	0,016	5%	2%	7%	5%	2%	6%
Σ05	160	7%	Ημέρα	58,20	65,67	73,89	65,99	7,59	0,094	0,142	0,200	28%	46%	69%	28%	45%	67%
			Νύχτα	57,46	64,49	73,05	65,06	7,70	0,093	0,135	0,198	28%	43%	68%	28%	43%	66%
			Διαφορά	0,74	1,18	0,84	0,93	0,11	0,001	0,007	0,002	0%	3%	1%	0%	2%	1%
Σ06	180	9%	Ημέρα	60,07	68,27	76,53	68,30	8,18	0,065	0,114	0,168	20%	37%	59%	20%	37%	57%
			Νύχτα	56,07	64,56	75,39	65,43	9,40	0,047	0,093	0,162	14%	30%	57%	14%	30%	54%
			Διαφορά	4,00	3,71	1,14	2,87	1,22	0,018	0,021	0,006	6%	7%	2%	6%	7%	3%
Σ07	600	8%	Ημέρα	65,71	75,66	86,28	75,86	10,25	-0,025	-0,005	0,019	-8%	-2%	7%	-8%	-2%	7%
			Νύχτα	62,06	72,27	85,99	73,34	11,33	-0,030	-0,011	0,019	-9%	-4%	7%	-9%	-4%	7%
			Διαφορά	3,65	3,39	0,30	2,52	1,08	0,005	0,006	0,000	1%	2%	0%	1%	2%	0%
Σ08	120	9%	Ημέρα	49,94	58,57	67,12	58,46	8,36	0,070	0,134	0,207	20%	41%	67%	20%	41%	66%
			Νύχτα	47,78	55,94	66,06	56,61	8,54	0,060	0,116	0,198	16%	34%	64%	17%	35%	63%
			Διαφορά	2,16	2,63	1,06	1,86	0,17	0,010	0,018	0,009	4%	7%	3%	3%	6%	3%
Σ09	120	6%	Ημέρα	53,44	61,14	69,35	61,28	7,79	0,124	0,185	0,256	36%	57%	85%	36%	57%	83%
			Νύχτα	49,98	59,18	69,68	59,65	9,25	0,101	0,170	0,262	28%	52%	88%	29%	52%	86%
			Διαφορά	3,46	1,96	0,33	1,63	1,46	0,023	0,015	0,006	8%	5%	3%	7%	5%	3%
Σ10A	135	6%	Ημέρα	55,41	65,40	74,51	65,01	9,50	0,115	0,188	0,264	34%	60%	91%	34%	60%	88%
			Νύχτα	53,47	64,83	76,40	64,94	10,62	0,104	0,185	0,282	30%	59%	99%	31%	59%	95%
			Διαφορά	1,94	0,57	1,89	0,07	1,12	0,011	0,003	0,018	4%	1%	8%	3%	1%	7%
Σ10B	135	4%	Ημέρα	58,47	68,59	78,85	68,48	10,15	0,152	0,233	0,324	46%	76%	116%	46%	75%	111%
			Νύχτα	55,65	67,10	79,14	67,26	11,18	0,140	0,223	0,327	41%	72%	118%	42%	71%	112%
			Διαφορά	2,82	1,49	0,30	1,22	1,03	0,012	0,010	0,003	5%	4%	2%	4%	4%	1%
Σ11	230	5%	Ημέρα	60,46	69,47	78,69	69,45	9,16	0,074	0,115	0,163	23%	38%	59%	23%	37%	56%
			Νύχτα	54,34	63,14	74,09	63,89	9,50	0,050	0,086	0,138	15%	27%	47%	15%	27%	46%
			Διαφορά	6,12	6,33	4,60	5,56	0,34	0,024	0,029	0,025	8%	11%	12%	8%	10%	10%
Σ12A	280	6%	Ημέρα	60,94	71,59	82,38	71,52	10,50	0,042	0,084	0,131	13%	28%	48%	13%	27%	46%
			Νύχτα	58,01	67,10	81,38	68,78	11,10	0,034	0,067	0,127	10%	22%	47%	10%	21%	44%
			Διαφορά	2,93	4,49	1,00	2,73	0,60	0,008	0,017	0,004	3%	6%	1%	3%	6%	2%
Σ12B	170	8%	Ημέρα	58,09	71,78	84,29	71,46	12,68	0,075	0,159	0,251	23%	54%	94%	23%	52%	88%
			Νύχτα	57,63	69,41	85,35	70,59	12,88	0,071	0,143	0,259	21%	47%	98%	22%	47%	91%
			Διαφορά	0,46	2,37	1,06	0,87	0,20	0,004	0,016	0,008	2%	7%	4%	1%	5%	3%
Σ13A	520	7%	Ημέρα	73,82	86,60	100,68	86,89	12,89	0,013	0,044	0,085	4%	17%	36%	4%	16%	32%
			Νύχτα	67,24	79,35	93,98	80,30	13,30	-0,004	0,024	0,064	-1%	9%	26%	-1%	8%	24%
			Διαφορά	6,57	7,25	6,70	6,59	0,41	0,017	0,020	0,021	5%	8%	10%	5%	8%	8%
Σ15	370	8%	Ημέρα	66,59	79,51	91,65	79,14	12,50	0,013	0,054	0,099	4%	20%	39%	4%	19%	36%
			Νύχτα	61,35	74,52	89,00	75,12	13,02	-0,001	0,038	0,089	0%	13%	35%	0%	13%	32%
			Διαφορά	5,24	4,99	2,65	4,02	0,52	0,014	0,016	0,010	4%	7%	4%	4%	6%	4%
Σ16	81,3	9%	Ημέρα	51,00	57,85	64,56	57,73	6,61	0,162	0,234	0,315	46%	70%	100%	47%	71%	99%
			Νύχτα	43,95	49,75	57,16	50,35	6,55	0,097	0,150	0,227	26%	42%	68%	26%	43%	68%
			Διαφορά	7,05	8,10	7,41	7,38	0,06	0,065	0,084	0,088	20%	28%	32%	21%	28%	31%
Σ17A	95	9%	Ημέρα	48,63	56,20	63,01	56,01	6,88	0,106	0,172	0,240	29%	51%	75%	30%	52%	75%
			Νύχτα	42,78	48,10	54,91	48,82	6,33	0,061	0,102	0,160	16%	28%	47%	16%	29%	47%
			Διαφορά	5,85	8,11	8,10	7,19	0,55	0,045	0,070	0,080	13%	23%	28%	14%	23%	28%
Σ17B	110	9%	Ημέρα	42,34	50,50	58,19	50,29	7,41	0,038	0,093	0,152	10%	26%	46%	10%	27%	46%
			Νύχτα	37,41	44,52	51,72	44,60	7,06	0,010	0,052	0,101	3%	14%	29%	3%	14%	29%
			Διαφορά	4,93	5,98	6,47	5,69	0,35	0,028	0,041	0,051	7%	12%	17%	7%	13%	17%
Σ18	120	9%	Ημέρα	59,80	67,74	75,25	67,50	7,63	0,144	0,211	0,283	44%	69%	99%	44%	68%	95%
			Νύχτα	49,16	56,14	65,09	56,87	7,79	0,068	0,116	0,187	19%	34%	60%	19%	35%	59%
			Διαφορά	10,64	11,60	10,17	10,63	0,16	0,076	0,095	0,096	25%	35%	39%	25%	33%	36%
Σ19	100	5%	Ημέρα	48,45	55,99	63,76	55,96	7,17	0,131	0,196	0,269	36%	58%	85%	37%	58%	85%
			Νύχτα	46,62	54,62	63,97	54,72	7,91	0,108	0,183	0,276	29%	53%	87%	29%	54%	87%
			Διαφορά	1,83	1,37	0,21	1,24	0,74	0,023	0,013	0,007	7%	5%	2%	8%	4%	2%
Σ20A	375	5%	Ημέρα	57,71	69,40	82,25	69,90	11,74	0,020	0,051	0,093	6%	17%	34%	6%	17%	32%
			Νύχτα	56,08	68,65	85,23	69,56	13,01	0,014	0,049	0,103	4%	16%	39%	4%	16%	36%
			Διαφορά	1,63	0,75	2,98	0,34	1,27	0,006	0,002	0,010	2%	1%	5%	2%	1%	4%
Σ20B	375	-2%	Ημέρα	55,87	68,95	83,21	69,48	12,86	0,085	0,120	0,167	25%	40%	62%	25%	39%	58%
			Νύχτα	55,41	68,89	86,23	70,13	13,49	0,084	0,120	0,180	25%	40%	69%	25%	39%	64%
			Διαφορά	0,46	0,06	3,02	0,66	0,63	0,001	0,000	0,013	0%	0%	7%	0%	0%	6%

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.11 διαπιστώθηκε πως σε γενικές γραμμές οι ταχύτητες που καταγράφηκαν στις καμπύλες της οδού ήταν μεγαλύτερες κατά τη διάρκεια της ημέρας σε σχέση με τις νυχτερινές ώρες. Οι διαφορές μεταξύ των ταχυτήτων ήταν μικρές σε αρκετές καμπύλες, με εξαίρεση τις Σ01, Σ11, Σ13Α, Σ15, Σ16, Σ17Α, Σ17Β και Σ18 όπου εντοπίστηκαν διαφορές που κυμαίνονταν μεταξύ των 5 km/h και των 10 km/h. Σε αυτές οι μεγάλες διαφορές οφείλονταν είτε λόγω της επιρροής υφιστάμενου κόμβου, είτε λόγω της μικρής ακτίνας ορισμένων καμπυλών, είτε γενικά λόγω της περιορισμένης ορατότητας που έχουν οι οδηγοί κατά τη διάρκεια της νύχτας και λόγω του συνδυασμού όλων των παραπάνω.

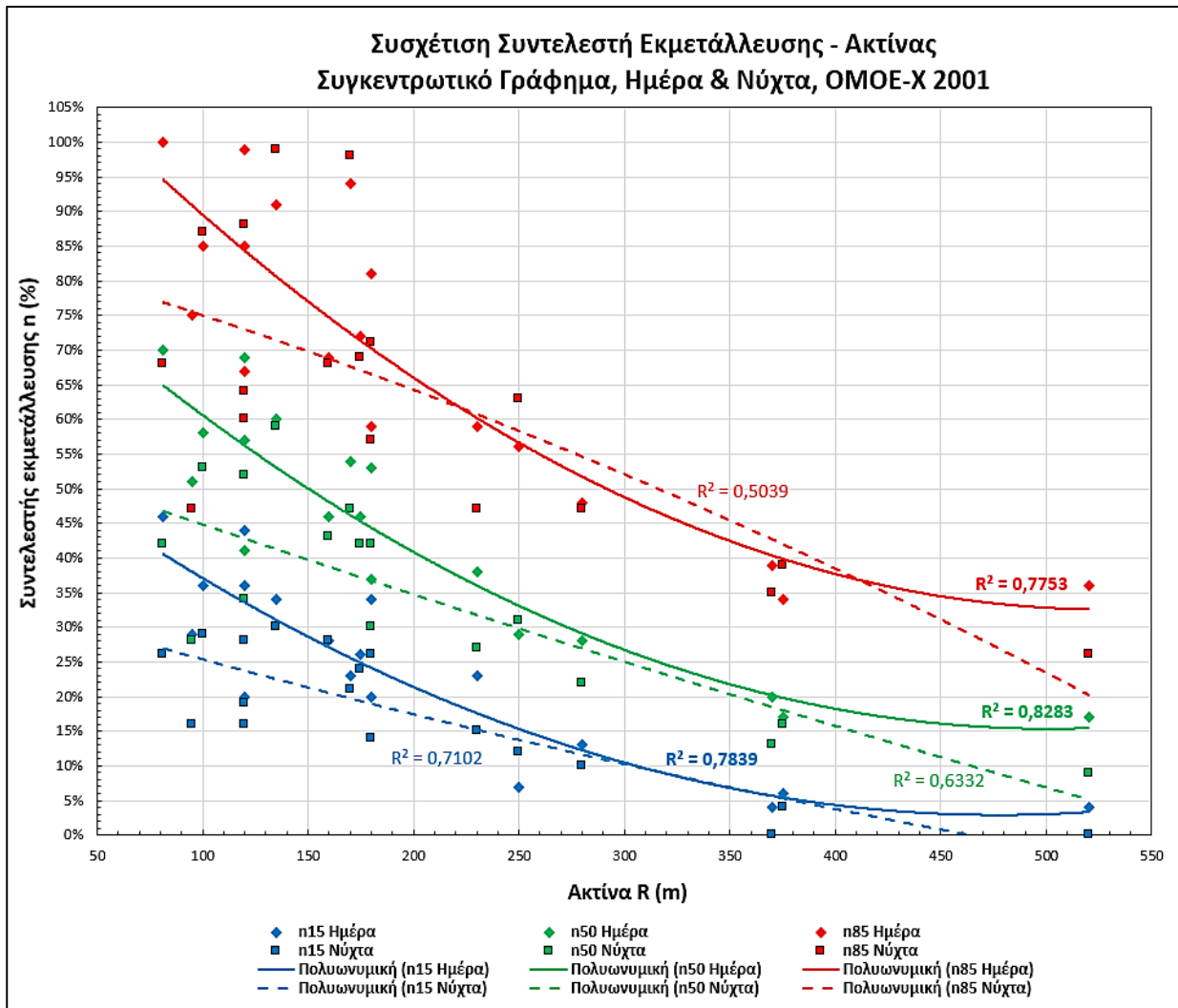
Όπως γίνεται κατανοητό, οι διαφορές στις ταχύτητες των οχημάτων μεταξύ της ημέρας και της νύχτας είχαν επίδραση στις τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής και του συντελεστή εκμετάλλευσης που προέκυψαν από την ανάλυση. Στους συντελεστές πλευρικής τριβής η μέγιστη διαφορά μεταξύ ημέρας και νύχτας προέκυψε ίση με 0,10 ενώ στους συντελεστές εκμετάλλευσης για το 15%, 50% και 85% κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL οι διαφορές προέκυψε σημαντικά μεγάλη στις καμπύλες Σ16, Σ17Α και Σ18. Πιθανώς αυτό να συνέβη λόγω της γεωμετρίας τους και της επίδρασής της στη οδηγική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της νύχτας. Σε γενικές γραμμές το συμπέρασμα που προέκυψε ήταν ότι ο αποδεχόμενος από τους οδηγούς συντελεστής εκμετάλλευσης ήταν μεγαλύτερος κατά τη διάρκεια της ημέρας και στις 3 αντιπροσωπευτικές τιμές του ( $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$ ).

Επίσης, στις καμπύλες Σ04, Σ09, Σ10Α, Σ10Β, Σ12Β, Σ19, Σ20Α και Σ20Β παρατηρήθηκε πως οι ταχύτητες  $V_{85}$  που αντιστοιχούν στο 85% των οχημάτων ήταν ελαφρώς μεγαλύτερες κατά τις νυχτερινές ώρες. Οι διαφορές ωστόσο μεταξύ των ταχυτήτων που καταγράφηκαν την ημέρα και τη νύχτα ήταν αρκετά μικρές, με τη μέγιστη διαφορά να προσεγγίζει τα 3 km/h και να παρατηρείται στις καμπύλες Σ20Α και Σ20Β. Οι διαφορές αυτές θεωρούνται ασήμαντες και πιθανώς να εμπίπτουν στο σφάλμα καταγραφής της ταχύτητας. Παρ' όλα αυτά, μια πιθανή εξήγηση που θα μπορούσε να δοθεί είναι το γεγονός ότι ορισμένοι οδηγοί επιλέγουν να κινηθούν με μεγαλύτερες ταχύτητες τη νύχτα είτε λόγω έκτακτου περιστατικού ή εργασίας, είτε λόγω περιορισμένης κυκλοφορίας οχημάτων τις βραδινές ώρες, είτε καθαρά λόγω δικής τους επιλογής.

Αξίζει να σημειωθεί πως κατά τις ώρες της ημέρας η διατιθέμενη ορατότητα ήταν επαρκής σε όλες τις καμπύλες, με εξαίρεση την ελαφρώς περιορισμένη ορατότητα σε κάποιες θέσεις λόγω έντονου ορεινού όγκου. Το διαθέσιμο μήκος ορατότητας κατά την οδήγηση σε συνθήκες ημέρας θεωρείται σημαντικό, δεδομένου ότι σε κλειστές καμπύλες μικρής ακτίνας οι οδηγοί αναγκάζονται να μειώσουν τη ταχύτητά τους λόγω περιορισμένης ορατότητας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, η ορατότητα των οδηγών περιορίζεται στην ορατότητα που παρέχεται από τα φώτα των οχημάτων. Σε κάθε περίπτωση, η διατιθέμενη ορατότητα στις καμπύλες της οδού ήταν τέτοια που δεν επηρέαζε τις αναπτυσσόμενες από τους οδηγούς ταχύτητες.

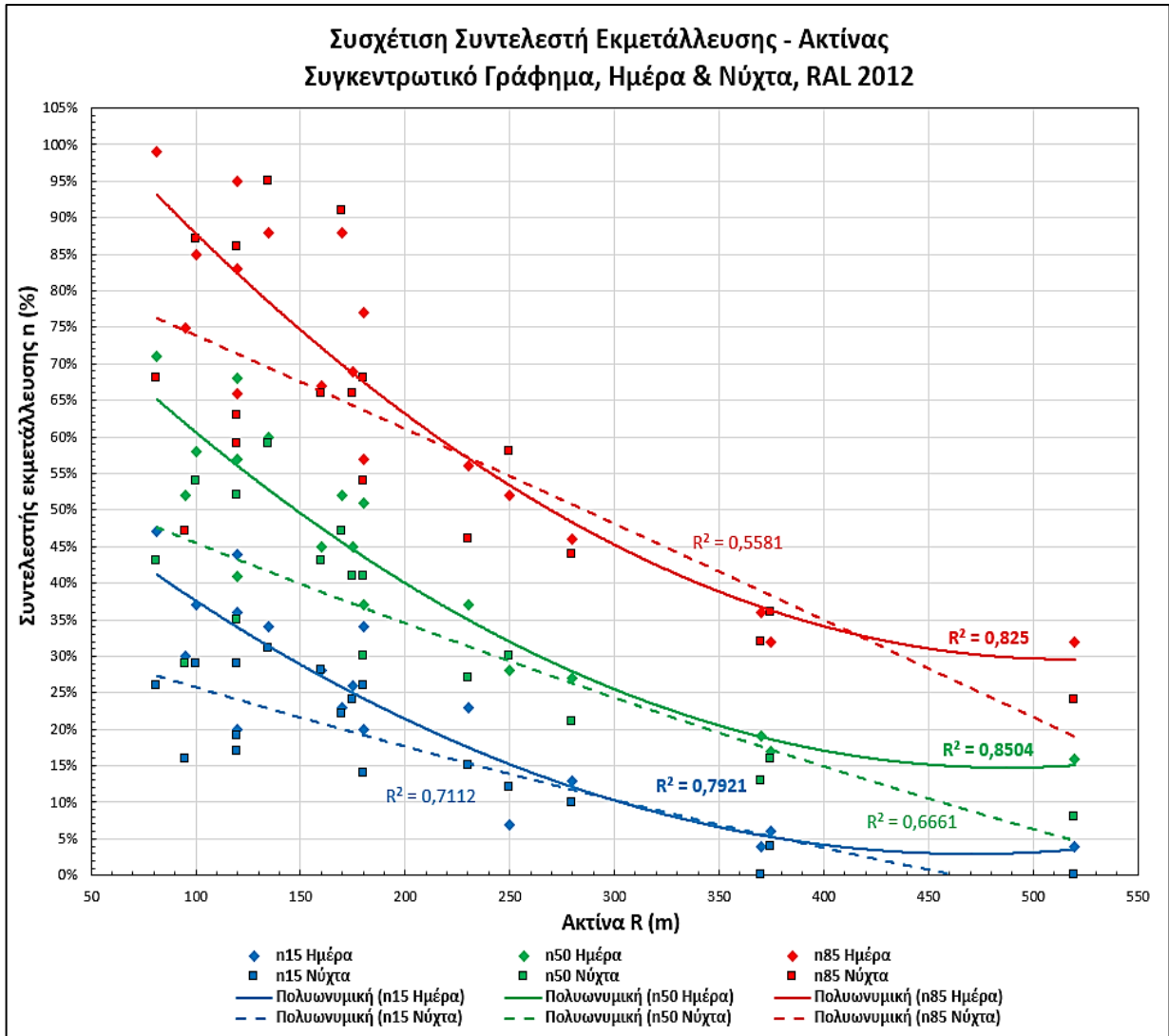
Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν τα συγκεντρωτικά διαγράμματα που απεικονίζουν τη μεταβολή των αντιπροσωπευτικών τιμών του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και κατά RAL για ποσοστό 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων συναρτήσει της ακτίνας της καμπύλης. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν επίσης τη σύγκριση της μεταβολής των 2 στοιχείων μεταξύ της ημέρας και της νύχτας, ώστε να διαπιστωθεί και οπτικά η διαφοροποίηση που υφίσταται μεταξύ των 2 συνθηκών.





Σχήμα 5.21: Συγκεντρωτικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης

Στο Σχήμα 5.21 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ συναρτήσει της ακτίνας και η σύγκριση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης μεταξύ ημέρας και νύχτας. Σε αυτό επιβεβαιώνεται η διαπίστωση πως ο συντελεστής εκμετάλλευσης λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές κατά τη διάρκεια της ημέρας λόγω του γεγονότος ότι οι ταχύτητες των οχημάτων που καταγράφηκαν ήταν μεγαλύτερες. Παρατηρήθηκε επίσης πως οι δείκτες αξιοπιστίας  $R^2$  για τη συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης με την ακτίνα προέκυψαν μεγαλύτεροι για τις τιμές του συντελεστή κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ οι τιμές τους υποδηλώνουν την σημαντική αλλά όχι ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των 2 μεταβλητών. Αντίθετα, οι δείκτες  $R^2$  της συσχέτισης των 2 παραμέτρων για τις συνθήκες νύχτας προέκυψαν μικρότεροι και υποδηλώνουν μια μέτρια προς σημαντική συσχέτιση. Μια πιθανή εξήγηση αποτελεί το γεγονός ότι η οδηγική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της νύχτας δεν επηρεάζεται μόνο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καμπύλης αλλά και από άλλους παράγοντες, με κυριότερο τη μειωμένη ορατότητα και τη κατάσταση των οδηγών.



Σχήμα 5.22: Συγκεντρωτικό διάγραμμα συσχέτισης του συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15%, 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά RAL με την οριζόντια ακτίνα καμπύλης

Στο Σχήμα 5.22 παρουσιάζεται η μεταβολή του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά RAL συναρτήσει της ακτίνας και η σύγκριση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης μεταξύ ημέρας και νύχτας. Σε αυτό επιβεβαιώνεται εκ νέου η διαπίστωση πως ο συντελεστής εκμετάλλευσης λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές κατά τη διάρκεια της ημέρας λόγω του γεγονότος ότι οι ταχύτητες των οχημάτων που καταγράφηκαν ήταν μεγαλύτερες. Επίσης, και στη συγκεκριμένη περίπτωση οι δείκτες αξιοπιστίας  $R^2$  για τη συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης με την ακτίνα προέκυψαν μεγαλύτεροι για τις τιμές του συντελεστή κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ οι τιμές τους υποδηλώνουν την σημαντική αλλά όχι ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των 2 μεταβλητών. Αντίθετα, οι δείκτες  $R^2$  της συσχέτισης των 2 παραμέτρων για τις συνθήκες νύχτας προέκυψαν μικρότεροι και υποδηλώνουν μια μέτρια προς σημαντική συσχέτιση.

### 5.8 Διερεύνηση Συμπεριφοράς Ανά Κατεύθυνση

Από την ανάλυση του συνολικού δείγματος ταχυτήτων ανά καμπύλη τίθεται το ερώτημα κατά πόσο οι ταχύτητες αυτές έχουν επηρεαστεί από τη κυκλοφορία και τις συνθήκες μεταξύ των 2 κατευθύνσεων. Δεδομένου ότι οι μετρήσεις ταχυτήτων ήταν διαθέσιμες τόσο ως συνολικό δείγμα όσο και ανά κατεύθυνση για κάθε καμπύλη, επιχειρήθηκε η διερεύνηση και η ανάλυση των ταχυτήτων που καταγράφηκαν στις 2 κατευθύνσεις του οδικού τμήματος. Από τη συγκεκριμένη ανάλυση σκοπός ήταν ο έλεγχος ύπαρξης τυχόν διαφοροποιήσεων στις ταχύτητες μεταξύ των 2 κατευθύνσεων. Ταυτόχρονα, στη περίπτωση εντοπισμού σημαντικών διαφοροποιήσεων θα πρέπει να αναζητηθούν οι παράγοντες για τους οποίους μπορεί αυτές να οφείλονται.

Σε πρώτη φάση διαχωρίστηκαν οι ταχύτητες ανά κατεύθυνση σε κάθε καμπύλη, ούτως ώστε να χρησιμοποιηθούν προς επεξεργασία σε κάθε περίπτωση μόνο οι ταχύτητες της μιας κατεύθυνσης. Υπενθυμίζεται πως η μια κατεύθυνση της οδού είναι προς τη Λεπτοκαρυά (προς βορρά - Κατεύθυνση 1) και η αντίθετη κατεύθυνση προς τον Ευαγγελισμό (προς νότο - Κατεύθυνση 2). Ακολούθως προσδιορίστηκαν οι ταχύτητες  $V_{15}$ ,  $V_{50}$  και  $V_{85}$  καθώς και τα στατιστικά δεδομένα της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης με τη βοήθεια του προγράμματος SPSS Statistics. Για τον εντοπισμό των διαφοροποιήσεων στα δεδομένα ταχυτήτων μεταξύ των 2 κατευθύνσεων υπολογίστηκε η διαφορά τους κατά απόλυτη τιμή, ώστε να ελεγχθούν όλες οι διαφορές και να συσχετισθούν με τα χαρακτηριστικά κάθε καμπύλης. Όλα τα δεδομένα που προέκυψαν από τη παραπάνω διαδικασία παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5.12: Χαρακτηριστικές ταχύτητες και στατιστικά στοιχεία ταχυτήτων ανά κατεύθυνση οδού και ανά καμπύλη

Καμπύλη	Κατεύθυνση	V (km/h)				
		$V_{15}$	$V_{50}$	$V_{85}$	$V_{\text{μέση}}$	$\sigma$
Σ01	1	67,04	77,30	87,31	77,25	9,56
	2	64,70	72,60	82,64	73,38	8,71
	Διαφορά	2,33	4,70	4,67	3,87	0,85
Σ02	1	62,35	71,20	80,96	71,50	8,77
	2	61,55	69,44	79,62	70,22	8,70
	Διαφορά	0,80	1,76	1,34	1,28	0,07
Σ03	1	58,95	67,27	75,88	67,38	8,39
	2	58,60	68,22	79,53	68,65	9,53
	Διαφορά	0,35	0,95	3,65	1,27	1,14
Σ04	1	63,75	74,73	87,92	75,59	11,91
	2	63,51	74,94	86,83	74,89	11,49
	Διαφορά	0,24	0,22	1,08	0,70	0,42
Σ05	1	57,82	65,10	72,85	65,32	7,35
	2	57,34	64,79	73,44	65,31	7,77
	Διαφορά	0,48	0,31	0,59	0,01	0,42
Σ06	1	58,15	67,16	76,44	67,33	8,78
	2	58,16	66,75	76,01	67,05	8,84
	Διαφορά	0,01	0,41	0,43	0,27	0,06
Σ07	1	65,31	75,48	86,71	75,93	10,26
	2	62,08	73,38	84,70	73,55	11,13
	Διαφορά	3,23	2,11	2,01	2,38	0,87
Σ08	1	46,65	54,99	63,13	55,04	7,96
	2	51,50	60,45	69,27	60,23	8,66
	Διαφορά	4,85	5,46	6,14	5,19	0,70
Σ09	1	50,94	59,79	68,78	59,95	8,45
	2	51,89	60,93	69,50	60,80	8,38
	Διαφορά	0,95	1,14	0,71	0,84	0,06

Σ10Α	1	54,18	64,55	74,74	64,33	10,11
	2	53,84	65,04	75,06	64,64	10,07
	Διαφορά	0,34	0,48	0,32	0,30	0,04
Σ10Β	1	57,20	67,53	78,14	67,53	10,36
	2	57,47	68,61	79,21	68,44	10,53
	Διαφορά	0,27	1,08	1,07	0,91	0,17
Σ11	1	57,63	66,59	76,70	66,94	9,29
	2	58,30	68,82	78,52	68,59	9,77
	Διαφορά	0,67	2,24	1,82	1,64	0,48
Σ12Α	1	60,09	70,72	81,90	70,75	10,92
	2	59,44	70,66	82,24	70,79	10,78
	Διαφορά	0,65	0,06	0,34	0,04	0,13
Σ12Β	1	52,62	65,60	77,61	65,47	12,14
	2	62,10	74,96	87,04	74,71	11,96
	Διαφορά	9,48	9,36	9,43	9,24	0,18
Σ13Α	1	70,86	84,64	98,23	84,56	13,32
	2	71,79	85,61	100,99	86,01	13,60
	Διαφορά	0,93	0,97	2,76	1,44	0,28
Σ15	1	65,70	80,34	92,49	79,51	12,99
	2	62,63	77,24	90,42	76,79	13,07
	Διαφορά	3,07	3,10	2,07	2,72	0,09
Σ16	1	50,06	57,94	64,86	57,53	7,29
	2	45,83	54,16	61,78	54,08	7,47
	Διαφορά	4,23	3,78	3,08	3,46	0,18
Σ17Α	1	44,89	53,56	61,05	53,16	7,39
	2	45,14	53,43	62,14	53,49	8,08
	Διαφορά	0,25	0,14	1,09	0,33	0,69
Σ17Β	1	36,28	44,17	50,61	43,76	6,92
	2	42,34	51,17	58,29	50,74	7,38
	Διαφορά	6,06	7,00	7,67	6,98	0,46
Σ18	1	57,29	67,64	75,93	66,79	9,21
	2	51,83	62,92	72,19	62,44	9,35
	Διαφορά	5,46	4,72	3,74	4,35	0,15
Σ19	1	48,45	56,89	65,01	56,89	7,45
	2	47,57	55,12	62,63	54,89	7,21
	Διαφορά	0,88	1,77	2,38	1,99	0,24
Σ20Α	1	59,32	70,85	83,49	71,50	11,78
	2	56,44	67,96	81,59	68,58	11,94
	Διαφορά	2,88	2,89	1,90	2,92	0,16
Σ20Β	1	56,62	70,44	84,98	70,79	13,16
	2	55,29	67,70	82,47	68,49	12,74
	Διαφορά	1,33	2,74	2,51	2,30	0,41

Για την εξέταση των περιπτώσεων όπου εμφανίστηκε μεγάλη διαφοροποίηση των ταχυτήτων μεταξύ των 2 κατευθύνσεων, σημειώνεται αρχικώς πως ως μη αναμενόμενες και σημαντικές θεωρήθηκαν οι διαφορές που προέκυψαν σημαντικά μεγαλύτερες των 5 km/h. Διαφορές μικρότερες από τη τιμή αυτή κρίθηκαν ως ασήμαντες καθώς θεωρείται ότι οφείλονται είτε στη γεωμετρία της οδού και των επιμέρους χαρακτηριστικών της είτε στη τυχαία διέλευση των οχημάτων από την εκάστοτε καμπύλη. Η γεωμετρία της οδού και ειδικότερα η κατά μήκος κλίση που παρατηρείται σε μια καμπύλη επηρεάζει τις ταχύτητες που σημειώνονται σε αυτή, ειδικά κατά τις περιπτώσεις όπου λαμβάνει σχετικά μεγάλη τιμή. Γίνεται κατανοητό ότι στη περίπτωση όπου υπάρχει μεγάλη ανωφέρεια στη μια κατεύθυνση, στην άλλη θα υπάρχει μεγάλη κατωφέρεια. Παρ' όλα αυτά, η κατά μήκος κλίση της οδού έχει επίπτωση στη συμπεριφορά των οδηγών και στις ταχύτητες με τις οποίες διέρχονται από το οδικό τμήμα όταν είναι πρακτικά μεγαλύτερη από 5%. Στη περίπτωση του συγκεκριμένου οδικού τμήματος, από το σχέδιο

μηκοτομής δεν εντοπίστηκε κάποια καμπύλη στην οποία η κατά μήκος κλίση να ξεπερνούσε το 5%. Επίσης η επίκλιση είναι ίδια και στις 2 κατευθύνσεις της οδού, συνεπώς δεν επηρεάζει τις ταχύτητες που παρατηρούνται μεταξύ αυτών.

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 5.12 διαπιστώθηκε πως σε ορισμένες καμπύλες η διαφορά στις ταχύτητες και κατ' επέκταση και στα υπόλοιπα μεγέθη ήταν σχετικά μεγάλη και θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω. Συγκεκριμένα, στις καμπύλες Σ12B και Σ17B η διαφορά στις ταχύτητες των οχημάτων ανά κατεύθυνση και στα 3 ποσοστά προέκυψε μεγαλύτερη των 6 km/h ανά ώρα. Αντίστοιχα εντοπίστηκαν διαφορές και στις τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής αλλά και των συντελεστών εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL. Η πιθανότερη εξήγηση που δικαιολογεί τις διαφορές αυτές έγκειται στο γεγονός πως οι 2 αυτές καμπύλες βρίσκονται μετά από υφιστάμενο κόμβο, κάτι που ενδεχομένως επηρέασε τους οδηγούς στην επιλογή της ταχύτητας μεταξύ των 2 κατευθύνσεων. Ωστόσο στη καμπύλη Σ12B παρατηρήθηκε πως η γωνία αλλαγής κατεύθυνσης ήταν ιδιαίτερα μικρή, ενώ η απόστασή της από το κόμβο είναι μεγαλύτερη από 200 m, γεγονός που ίσως έχει ως αποτέλεσμα να μην επηρεαστούν οι οδηγοί από τις συνθήκες κόμβου. Σε αυτή τη καμπύλη, επειδή η γωνία αλλαγής κατεύθυνσης είναι αρκετά μικρή, οι οδηγοί πιθανότατα διέγραψαν τροχιά ακτίνας μικρότερης από την ακτίνα της καμπύλης και δεν ακολούθησαν τη γεωμετρία της οδού, με αποτέλεσμα πιθανώς να κινήθηκαν με μεγαλύτερη ταχύτητα.

Επισημαίνεται πως σε όλες τις υπόλοιπες καμπύλες δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεγεθών.

### **5.9 Σύγκριση Μέγιστων Συντελεστών Πλευρικής Τριβής Μεταξύ των Κανονισμών AASHTO 2018 και ΟΜΟΕ-Χ 2001/RAL 2012**

Στους πρόσφατους αμερικανικούς κανονισμούς σχεδιασμού οδών (AASHTO 2018) αλλά και σε αυτούς που είχαν προηγηθεί τα προηγούμενα χρόνια, η φιλοσοφία σχετικά με την επιλογή του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής είναι διαφορετική συγκριτικά με αυτή των ευρωπαϊκών κανονισμών. Ο μέγιστος συντελεστής πλευρικής τριβής που παρουσιάζεται σε αυτούς αντιστοιχεί στη τιμή της πλευρικής επιτάχυνσης για την οποία οι οδηγοί νιώθουν δυσφορία όταν κινούνται σε καμπύλες διαφόρων γεωμετρικών χαρακτηριστικών (ακτίνας και επίκλισης) με μια συγκεκριμένη ταχύτητα σχεδιασμού. Κατά συνέπεια, οι προτεινόμενες τιμές του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής αντικατοπτρίζουν ένα όριο άνεσης των οδηγών. Επιπρόσθετα, ο συντελεστής εκμετάλλευσης τριβής η δεν αναφέρεται ρητά στους κανονισμούς και για αυτό το λόγο εικάζεται πως οι τιμές του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής εμπεριέχουν τη τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης. Για το λόγο αυτό, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η σύγκριση των τιμών που προτείνονται στις οδηγίες AASHTO με τις αντίστοιχες τιμές του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή πλευρικής τριβής στους ΟΜΟΕ-Χ και RAL.

Στους αμερικανικούς και στους ελληνικούς κανονισμούς προτείνονται συγκεκριμένες τιμές του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής βάσει της ταχύτητας. Ειδικότερα, στους ελληνικούς κανονισμούς διατίθενται οι τιμές για ταχύτητες μεγαλύτερες από 50 km/h, ενώ στους αμερικανικούς για ταχύτητες από 15 km/h έως και 130 km/h. Ωστόσο, στους γερμανικούς κανονισμούς προτείνονται τιμές του συντελεστή επαπτομενικής και όχι πλευρικής τριβής. Για το προσδιορισμό των μέγιστων συντελεστών πλευρικής τριβής κατά RAL χρησιμοποιήθηκε η Σχέση 2.12. Ως ποσοστό εκμετάλλευσης ορίζεται στους RAL η τιμή  $n = 0,40$  για ελεύθερο τμήμα οδού, συνεπώς η τιμή αυτή πολλαπλασιάστηκε με τους μέγιστους συντελεστές ώστε να προκύψουν οι μέγιστοι επιτρεπόμενοι συντελεστές πλευρικής τριβής. Όσον αφορά τους ελληνικούς κανονισμούς, χρησιμοποιήθηκαν οι Σχέσεις 2.10 και 2.11 για τον υπολογισμό των μέγιστων συντελεστών επαπτομενικής τριβής στις μικρότερες των 50 km/h ταχύτητες και μετ'

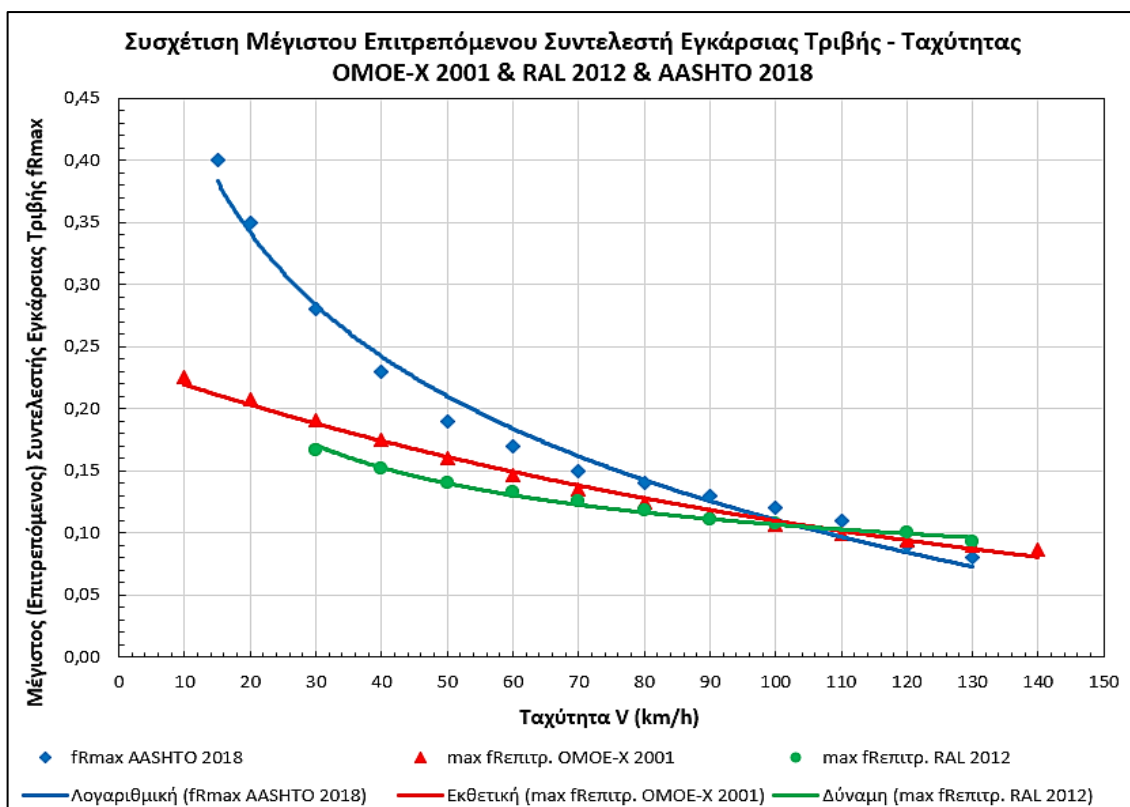
έπειτα των μέγιστων επιτρεπόμενων συντελεστών πλευρικής τριβής για όλες τις ταχύτητες. Σημειώνεται ότι ως συντελεστής εκμετάλλευσης επιλέχθηκε η τιμή  $n = 0,45$ .

Στο Πίνακα 5.13 παρουσιάζονται οι τιμές των μέγιστων συντελεστών πλευρικής τριβής για τους αμερικανικούς, ελληνικούς και γερμανικούς κανονισμούς σχεδιασμού οδών, σε σχέση με τη ταχύτητα. Επισημαίνεται πως η ταχύτητα αντιπροσωπεύει είτε τη ταχύτητα σχεδιασμού στους κανονισμούς AASHTO, είτε τη ταχύτητα μελέτης ή τη λειτουργική ταχύτητα  $V_{85}$  στους άλλους κανονισμούς. Συγκρίνοντας τις τιμές του μέγιστου συντελεστή στους αμερικανικούς κανονισμούς με τις τιμές του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή τριβής στους ελληνικούς και γερμανικούς κανονισμούς, διαπιστώθηκε πως οι αμερικανικοί κανονισμοί προτείνουν μεγαλύτερους συντελεστές για ταχύτητες έως και 100 km/h. Δεδομένου ότι οι συντελεστές πλευρικής τριβής κατά AASHTO ισοδυναμούν με τα όρια άνεσης των οδηγών στις διάφορες ταχύτητες, προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι αμερικανικοί κανονισμοί θέτουν σημαντικά μεγαλύτερα όρια άνεσης κυρίως στις μικρές ταχύτητες έως 50 km/h. Για μεγαλύτερες ταχύτητες, οι διαφορές μεταξύ των κανονισμών είναι σχετικά μικρές, με τις τιμές στους κανονισμούς RAL να είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές των άλλων κανονισμών.

Πίνακας 5.13: Σύγκριση των μέγιστων συντελεστών πλευρικής τριβής κατά AASHTO 2018, ΟΜΟΕ-Χ 2001 και RAL 2012 και συσχέτιση με τη ταχύτητα

V (km/h)	AASHTO 2018	RAL 2012		ΟΜΟΕ-Χ 2001	
	$f_{Rmax}$	$f_{Rmax}$	$maxf_{Rεπιτρ.}$	$f_{Rmax}$	$maxf_{Rεπιτρ.}$
10	-	-	-	0,502	0,226
15	0,40	-	-	-	-
20	0,35	-	-	0,462	0,208
30	0,28	0,416	0,167	0,424	0,191
40	0,23	0,379	0,152	0,389	0,175
50	0,19	0,352	0,141	0,356	0,160
60	0,17	0,333	0,133	0,327	0,147
70	0,15	0,315	0,126	0,300	0,135
80	0,14	0,296	0,118	0,276	0,124
90	0,13	0,278	0,111	0,255	0,115
100	0,12	0,268	0,107	0,237	0,107
110	0,11	-	-	0,221	0,100
120	0,09	0,250	0,100	0,209	0,094
130	0,08	0,231	0,093	0,199	0,089
140	-	-	-	0,191	0,086

Κατά αντιστοιχία με το Πίνακα 5.13, στο Σχήμα 5.23 απεικονίζεται η σύγκριση των τιμών του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής μεταξύ των 3 κανονισμών και η συσχέτισή τους με την ταχύτητα, με τις παρατηρήσεις που σημειώθηκαν παραπάνω να ισχύουν και εδώ. Αξίζει να σημειωθεί πως και στους 3 κανονισμούς παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της ταχύτητας έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των διατιθέμενων μέγιστων συντελεστών πλευρικής τριβής. Επίσης, από το παρακάτω σχήμα διακρίνεται η σύγκλιση των κανονισμών ως προς τις τιμές των μέγιστων συντελεστών για ταχύτητα 100 km/h.



Σχήμα 5.23: Συσχέτιση του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή εγκάρσιας τριβής κατά ΟΜΟΕ-Χ 2001, RAL 2012 και AASHTO 2018 με τη ταχύτητα

### 5.10 Προσδιορισμός Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής Κατά AASHTO

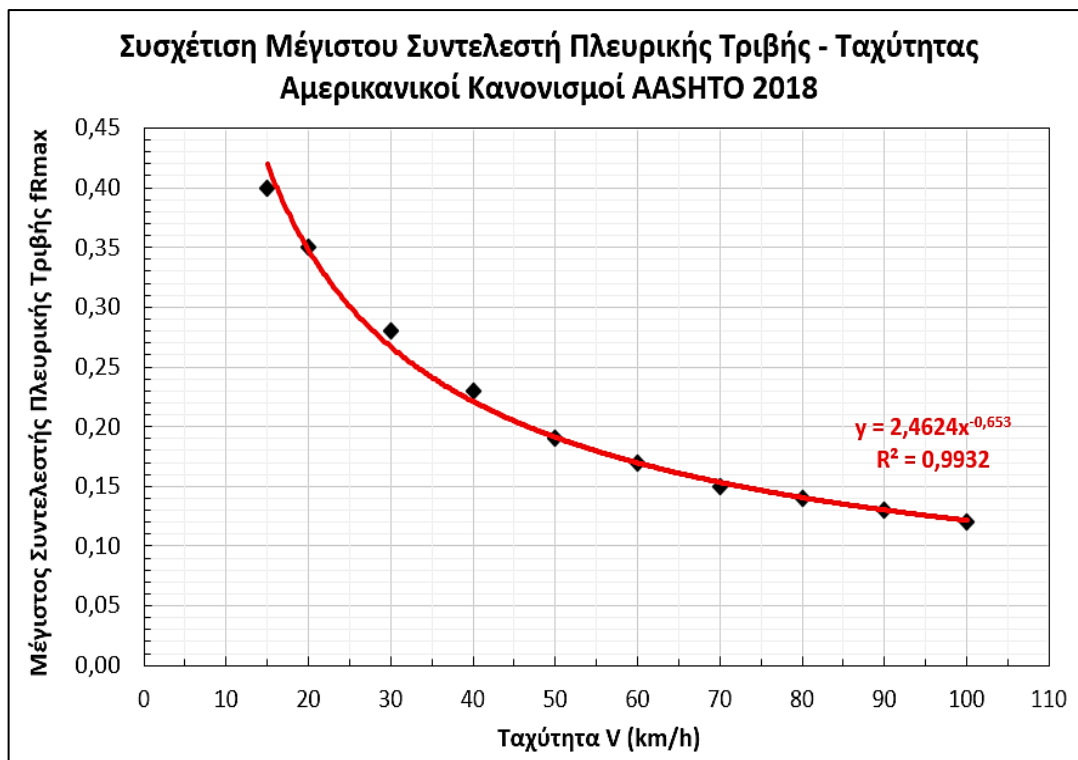
Λαμβάνοντας τη παραδοχή πως η τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης εμπεριέχεται στις προτεινόμενες τιμές των μέγιστων συντελεστών πλευρικής τριβής κατά AASHTO, παρουσιάζει ενδιαφέρον η διερεύνηση της θεωρητικής τιμής του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά AASHTO σε σχέση με τους αντίστοιχους συντελεστές εκμετάλλευσης των υπόλοιπων κανονισμών. Στη πραγματικότητα ο συντελεστής εκμετάλλευσης κατά AASHTO εκφράζει την απόκλιση της πραγματικής πλευρικής τριβής που αναπτύσσεται κατά τη κίνηση των οχημάτων, σύμφωνα και με τα γεωμετρικά στοιχεία της καμπύλης, με τη πλευρική τριβή που παρέχουν οι κανονισμοί. Συγκριτικά με τις τιμές του  $\eta$  στους υπόλοιπους κανονισμούς, μπορεί να θεωρηθεί ότι η τιμή αυτή εκφράζει στην ουσία ένα συντελεστή απόκλισης (και όχι συντελεστή εκμετάλλευσης) των πραγματικών συνθηκών σε σχέση με τις θεωρητικές που προβλέπουν οι κανονισμοί. Άλλωστε ο συντελεστής εκμετάλλευσης τριβής δεν αναφέρεται ρητά στους αμερικανικούς κανονισμούς.

Ο συντελεστής απόκλισης κατά AASHTO υπολογίστηκε από τη Σχέση 5.3 που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL. Στους κανονισμούς δεν εντοπίστηκε κάποια σχέση προσδιορισμού των τιμών του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, ωστόσο ορισμένες τιμές του προτείνονται σε σχέση με συγκεκριμένες ταχύτητες και παρουσιάστηκαν αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2. Έτσι κρίθηκε σκόπιμο να δημιουργηθεί μια εξίσωση προσδιορισμού του συντελεστή  $f_{Rmax}$  συναρτήσεως της ταχύτητας, ώστε να υπολογισθούν μετ' έπειτα όλες οι τιμές του με βάση τη ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων από τη κάθε καμπύλη. Η ζητούμενη εξίσωση αναπτύχθηκε ορίζοντας ως δείγμα τις προτεινόμενες από τους κανονισμούς τιμές και μέσα από τη στατιστική επεξεργασία που διαθέτει το πρόγραμμα Excel. Η μαθηματική εξίσωση που προέκυψε ήταν η εξής :

$$f_{Rmax} = 2,4624 \cdot V^{(-0,653)} \quad (5.17)$$

Ο συντελεστής αξιοπιστίας της εξίσωσης (5.17) προσδιορίστηκε ίσος με  $R^2 = 0,9932$ , ο οποίος να μεν θεωρείται στατιστικά σημαντικός, ωστόσο το δείγμα των τιμών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία της εξίσωσης ήταν αρκετά μικρό. Παρά το γεγονός αυτό, η συγκεκριμένη εξίσωση εφαρμόστηκε για όλα τα οχήματα που διήλθαν από τη κάθε καμπύλη. Η συσχέτιση του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής κατά AASHTO με τη ταχύτητα παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.

Επισημαίνεται πως για τη δημιουργία της σχέσης προσδιορισμού του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής θα μπορούσαν να είχαν χρησιμοποιηθεί όλες οι προτεινόμενες τιμές που αναφέρθηκαν προγενέστερα. Παρ' όλα αυτά, χρησιμοποιώντας μόνο τις τιμές για ταχύτητες έως και 100 km/h, παρατηρήθηκε ότι από τη χρήση της Σχέσης 5.17 επαληθεύονταν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι προτεινόμενες κατά AASHTO τιμές συγκριτικά με τη χρήση της διαφορετικής σχέσης που θα είχε προκύψει εάν είχαν αξιοποιηθεί όλες οι προτεινόμενες τιμές.



Σχήμα 5.24: Συσχέτιση μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής και ταχύτητας με βάση τις προτεινόμενες τιμές κατά AASHTO 2018

Με βάση όλα τα παραπάνω, υπολογίστηκαν οι συντελεστές απόκλισης κατά AASHTO για όλα τα οχήματα ανά καμπύλη. Οι συντελεστές αυτοί εκφράζουν το ποσοστό της πραγματικής πλευρικής τριβής που αισθάνεται ο οδηγός σε σχέση με τη θεωρητική πλευρική τριβή κατά AASHTO. Αρχικά διαπιστώθηκε πως στις μεγαλύτερες ταχύτητες υπάρχει μεγαλύτερη απόκλιση της πραγματικής πλευρικής τριβής από τη θεωρητική, ενώ στις μικρότερες η απόκλιση είναι αρκετά μικρότερη. Ως επακόλουθο, στις μικρότερες ταχύτητες οι κανονισμοί είναι περισσότερο συντηρητικοί ενώ στις μεγαλύτερες ταχύτητες θα έπρεπε να είναι πιο απαιτητικοί.

Θεωρητικά, ισχύει ότι στη τιμή  $n' = 100\%$  ο απαιτούμενος ισούται με τον διατιθέμενο από τους κανονισμούς συντελεστή πλευρικής τριβής. Η παραπάνω τιμή αντιστοιχεί σε μια ταχύτητα στην οποία εναρμονίζεται η πραγματική πλευρική τριβή με τη θεωρητική και στην οποία δεν υπάρχει απόκλιση μεταξύ των 2 τιμών πλευρικής τριβής. Για  $n' = 100\%$  ελέγχθηκε η σύγκλιση της παραπάνω τιμής ανά οριζόντια καμπύλη με τις τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης που



προέκυψαν κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5.14: Τιμές ταχύτητας και συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL για ποσοστό απόκλισης κατά AASHTO  $n' = 100\%$

Καμπύλη	R (m)	q	n ( $n' = 100\%$ )		V (km/h) ( $n' = 100\%$ )
			ΟΜΟΕ-Χ 2001	RAL 2012	
Σ01	200	5%	51%	50%	71,6
Σ02	180	7%	51%	50%	71,3
Σ03	175	7%	51%	50%	70,5
Σ04	250	9%	51%	48%	84,7
Σ05	160	7%	51%	50%	67,9
Σ06	180	9%	51%	50%	73,9
Σ07	600	8%	52%	43%	119,7
Σ08	120	9%	52%	52%	62,5
Σ09	120	6%	52%	53%	59,4
Σ10A	135	6%	52%	52%	62,3
Σ10B	135	4%	52%	52%	60,1
Σ11	230	5%	51%	49%	75,8
Σ12A	280	6%	51%	48%	83,7
Σ12B	170	8%	51%	50%	70,9
Σ13A	520	7%	52%	45%	110,4
Σ15	370	8%	52%	46%	98,0
Σ16	81,3	9%	53%	54%	53,2
Σ17A	95	9%	53%	53%	56,8
Σ17B	110	9%	52%	52%	60,3
Σ18	120	9%	52%	52%	62,5
Σ19	100	5%	53%	54%	54,3
Σ20A	375	5%	51%	47%	92,3
Σ20B	375	-2%	51%	49%	77,1

Από τις τιμές του Πίνακα 5.14 παρατηρήθηκε πως για ποσοστό απόκλισης 100% στους AASHTO, οι τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL κυμαίνονταν κοντά στη τιμή  $n = 50\%$ . Αναλυτικότερα, η τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ που αντιστοιχεί στο 100% του ποσοστού απόκλισης κατά AASHTO προέκυψε κατά μέσο όρο ίση με  $n = 52\%$  ( $\sigma = \pm 1\%$ ) και κατά RAL ίση με  $n = 50\%$  ( $\sigma = \pm 3\%$ ). Επομένως εξάγεται το συμπέρασμα πως οι αμερικανικοί κανονισμοί AASHTO φαίνεται να υιοθετούν κατά προσέγγιση τη τιμή  $n = 0,50$  (50%) ως συντελεστή εκμετάλλευσης του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, τιμή που προέκυψε κατά αντιστοιχία με τις τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης των ευρωπαϊκών κανονισμών.

### 5.11 Συσχέτιση Ιστορικού Ατυχημάτων με τα Αποτελέσματα της Ανάλυσης

Από την επεξεργασία των δεδομένων και από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σε προηγούμενο στάδιο, προέκυψαν ορισμένες χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n$  τόσο σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς όσο και με τους γερμανικούς. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συσχέτιση των τιμών αυτών με το διαθέσιμο ιστορικό ατυχημάτων της οδού. Συγκεκριμένα, διερευνήθηκε η συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης

τριβής με τα ατυχήματα που πραγματοποιήθηκαν και καταγράφηκαν στο υπό μελέτη οδικό τμήμα, ώστε να εξεταστεί η επίδρασή του στη παρεχόμενη οδική ασφάλεια της οδού. Το ερώτημα που τέθηκε στη παρούσα φάση ήταν εάν οι τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης δικαιολογούσαν τα τυχόν ατυχήματα που συνέβησαν στο οδικό τμήμα. Επισημαίνεται ότι τα δεδομένα ατυχημάτων που αξιοποιήθηκαν παρουσιάζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 3.

### 5.11.1 Δείκτης Ατυχημάτων (ACCR)

Αξιοποιώντας τα δεδομένα οδικών ατυχημάτων για τη 5ετή περίοδο 2010-2015, υπολογίστηκε αρχικώς ο δείκτης ατυχημάτων για κάθε καμπύλη ούτως ώστε να εξεταστούν οι πιθανές θέσεις μειωμένης οδικής ασφάλειας. Ο δείκτης ατυχημάτων υπολογίστηκε σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$ACCR = \frac{n_a \cdot 10^6}{AADT \cdot 365 \cdot t \cdot L} \quad (5.18)$$

όπου:

ACCR: ο δείκτης ατυχημάτων (αριθμός ατυχημάτων ανά 1 εκ. οχηματοχιλιόμετρα)

$n_a$ : ο αριθμός των καταγεγραμμένων ατυχημάτων στο εξεταζόμενο οδικό τμήμα

AADT: η Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία του εξεταζόμενου οδικού τμήματος (οχήματα/ημέρα, και για τις 2 κατευθύνσεις)

t: η χρονική περίοδος καταγραφής των ατυχημάτων (έτη)

L: Το μήκος του οδικού τμήματος που εξετάζεται (km)

Από τη γεωμετρική μελέτη και τα σχέδια αυτής που ήταν διαθέσιμα για το υπό μελέτη οδικό τμήμα, ήταν δυνατή η άντληση των γεωμετρικών στοιχείων για όλες τις οριζόντιες καμπύλες στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ταχυτήτων. Πιο συγκεκριμένα, για το ζητούμενο που μελετάται απαιτούνταν η τιμή του μήκους κάθε καμπύλης, στο οποίο περιλαμβάνεται το μήκος του κυκλικού τόξου και το μήκος των κλωθειδών εισόδου και εξόδου στη περίπτωση που αυτές υπήρχαν. Το μήκος κάθε καμπύλης παρουσιάστηκε στα στοιχεία του Πίνακα 3.1.

Επισημαίνεται πως ο αριθμός των καταγεγραμμένων οδικών ατυχημάτων που αξιοποιήθηκαν αφορά τα ατυχήματα στα οποία τα εμπλεκόμενα οχήματα ανήκαν στη κατηγορία των επιβατικών οχημάτων (Ι.Χ.), ενώ τα υπόλοιπα ατυχήματα εξαιρέθηκαν από το δείγμα. Αυτό συνέβη διότι για όλες τις διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν σε προηγούμενο στάδιο χρησιμοποιήθηκαν μόνο επιβατικά οχήματα και εξαιρέθηκαν όλες οι υπόλοιπες κατηγορίες ατυχημάτων.

Όσον αφορά την Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (ΕΜΗΚ) του εξεταζόμενου οδικού τμήματος, υπολογίστηκε προσεγγιστικά σύμφωνα με τον αριθμό των διελεύσεων που πραγματοποιήθηκαν ανά θέση και κατ' επέκταση ανά καμπύλη. Δεδομένου ότι κάθε τιμή ταχύτητας αντιστοιχεί στη διέλευση ενός οχήματος, ήταν απλός ο υπολογισμός των συνολικών διελεύσεων επιβατικών οχημάτων για κάθε καμπύλη. Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3, οι μετρήσεις ταχυτήτων πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των ημερών με ημερομηνία 17/05/16 έως και 20/05/16. Σε ορισμένες θέσεις πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και τις 4 ημέρες (θέσεις Σ01 έως και Σ10B), σε κάποιες έγιναν για 3 ημέρες (θέσεις Σ11 έως Σ18, Σ20Α και Σ20B), ενώ στη θέση Σ19 έγιναν για 2 ημέρες. Ωστόσο, ολοκληρωμένες μετρήσεις ανά θέση/καμπύλη καθ' όλη τη διάρκεια ενός 24ώρου πραγματοποιήθηκαν κυρίως τις ημέρες 18/05 και 19/05. Συνεπώς, για το προσδιορισμό της ΕΜΗΚ ανά καμπύλη χρησιμοποιήθηκε ο αριθμός των διελεύσεων των 2 παραπάνω ημερών, ώστε να υπάρχει μια πλήρης εικόνα της κυκλοφοριακής κατάστασης της οδού για όλη τη διάρκεια της ημέρας και φυσικά για να

ανταποκρίνονται τα δεδομένα στην έννοια της ΕΜΗΚ. Επιπλέον, λήφθηκαν υπόψη όλα τα επιβατικά οχήματα που διήλθαν από τις καμπύλες της οδού και όχι μόνο εκείνα που κινήθηκαν σε συνθήκες ελεύθερης ροής. Τελικώς η ΕΜΗΚ του οδικού τμήματος προσδιορίστηκε ίση με 7600 οχήματα/ημέρα.

Αξιοποιώντας όλα τα παραπάνω δεδομένα, υπολογίστηκαν οι δείκτες ατυχημάτων ACCR για κάθε καμπύλη του οδικού τμήματος. Οι τιμές αυτές παρουσιάζονται στο πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 5.15: Δείκτης ατυχημάτων (ACCR) συναρτήσει του αριθμού ατυχημάτων ανά καμπύλη, της οριζόντιας ακτίνας (R) και του μήκους (L) της καμπύλης

ΚΑΜΠΥΛΗ	R (m)	L (km)	Σύνολο ατυχημάτων	ACCR
Σ01	200	0,138	0	0
Σ02	180	0,079	1	0,91
Σ03	175	0,121	1	0,60
Σ04	250	0,077	0	0
Σ05	160	0,109	1	0,66
Σ06	180	0,071	0	0
Σ07	600	0,073	0	0
Σ08	120	0,098	0	0
Σ09	120	0,050	0	0
Σ10Α	135	0,136	2	1,06
Σ10Β	135	0,117	2	1,24
Σ11	230	0,213	1	0,34
Σ12Α	280	0,102	0	0
Σ12Β	170	0,040	1	1,80
Σ13Α	520	0,211	0	0
Σ15	370	0,271	0	0
Σ16	81,3	0,274	1	0,26
Σ17Α	95	0,128	1	0,56
Σ17Β	110	0,200	2	0,72
Σ18	120	0,223	2	0,65
Σ19	100	0,110	0	0
Σ20Α	375	0,071	0	0
Σ20Β	375	0,065	0	0

Από τα δεδομένα του Πίνακα 5.15 γίνεται αντιληπτό ότι το δείγμα ατυχημάτων ανά καμπύλη είναι ιδιαίτερα μικρό, καθώς ο μέγιστος αριθμός ατυχημάτων ανά καμπύλη ήταν 2 ατυχήματα. Επίσης, όπως είναι φυσικό στις καμπύλες όπου δεν καταγράφηκαν οδικά ατυχήματα ο δείκτης ACCR προέκυψε μηδενικός. Παρά το γεγονός αυτό, είναι εμφανές ότι σχεδόν όλα τα ατυχήματα έχουν πραγματοποιηθεί στις καμπύλες με ακτίνες μικρότερες των 200 m. Όπως είναι φυσικό, ο δείκτης ατυχημάτων έλαβε τιμές εκτός του μηδενός μόνο για τις συγκεκριμένες καμπύλες.

### 5.11.2 Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης και Δείκτη Ατυχημάτων

Για τη διερεύνηση της συσχέτισης του δείκτη με τα γεωμετρικά μεγέθη των καμπυλών, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SPSS Statistics. Σε αυτό υπολογίστηκε τόσο ο παραμετρικός συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson όσο και ο μη παραμετρικός συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Spearman ούτως ώστε να εντοπιστούν οι μεταβλητές εκείνες που

παρουσιάζουν μεγαλύτερη συσχέτιση με το δείκτη ατυχημάτων. Οι συνολικές μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στους ελέγχους ήταν η οριζόντια ακτίνα, η επίκλιση, η ελικτότητα, οι αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και κατά RAL, ο αριθμός των ατυχημάτων και οι δείκτες ACCR. Ο λόγος που υπολογίστηκαν και οι δυο συντελεστές συσχέτισης ήταν διότι τα δεδομένα ορισμένων μεταβλητών ακολουθούσαν τη κανονική κατανομή και ορισμένων άλλων δεν την ακολουθούσαν. Ο υπολογισμός των 2 συντελεστών στο πρόγραμμα του SPSS έγινε μέσω της εντολής Bivariate στην ομάδα εντολών Correlate του μενού Analyze.

Στα Σχήματα 5.25 και 5.26 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του παραμετρικού συντελεστή Pearson και του μη παραμετρικού συντελεστή Spearman αντίστοιχα. Σημειώνεται πως η επισήμανση των τιμών των συντελεστών συσχέτισης με \*\* υποδεικνύει πως η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 1%, ενώ η επισήμανση με \* υποδεικνύει πως η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο 5%. Συνολικά προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα :

- Υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική και θετική συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων ACCR με τις αντιπροσωπευτικές τιμές  $n_{50}$  (σε επίπεδο 5%) και  $n_{85}$  (σε επίπεδο 1%) του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL, σύμφωνα με τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης Pearson. Ο τελευταίος κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0,495 έως 0,605 και το p-value προέκυψε μικρότερο του 0,01 ή του 0,05 κατά περίπτωση. Επίσης, σύμφωνα με τις τιμές του συντελεστή συσχέτισης Spearman υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική και θετική συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων ACCR με όλες τις αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL, σε επίπεδο 1% ή 5%. Ο συντελεστής συσχέτισης έλαβε τιμές μεταξύ 0,477 έως και 0,633 και το p-value προέκυψε μικρότερο του 0,01 ή του 0,05 κατά περίπτωση.
- Υπάρχει στατιστικά σημαντική γραμμική και θετική συσχέτιση των ατυχημάτων με όλες τις αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL σε επίπεδο 1% ή 5%, σύμφωνα με τις τιμές των συντελεστών συσχέτισης Pearson και Spearman. Ο συντελεστής Pearson κυμάνθηκε μεταξύ των τιμών 0,546 έως 0,638, ο συντελεστής Spearman μεταξύ 0,517 έως και 0,647 και το p-value προέκυψε μικρότερο του 0,01 ή του 0,05 κατά περίπτωση. Μεγαλύτερη συσχέτιση εμφανίστηκε μεταξύ των ατυχημάτων και των συντελεστών  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL.
- Δεν υπάρχει κάποια άλλη στατιστικά σημαντική συσχέτιση των ατυχημάτων και του δείκτη ατυχημάτων ACCR με κάποια άλλη μεταβλητή.

Κεφάλαιο 5 – Αποτελέσματα Ανάλυσης

		Correlations										
		R	q	K	n15_OMOE	n50_OMOE	n85_OMOE	n15_RAL	n50_RAL	n85_RAL	Ατυχήματα	ACCR
R	Pearson Correlation	1	-,240	-,903**	-,854**	-,874**	-,841**	-,856**	-,880**	-,870**	-,457	-,336
	Sig. (2-tailed)		,338	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	,057	,173
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
q	Pearson Correlation	-,240	1	,292	-,092	,095	,166	-,086	,091	,161	,107	,084
	Sig. (2-tailed)	,338		,239	,716	,706	,511	,735	,719	,522	,671	,740
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
K	Pearson Correlation	-,903**	,292	1	,743**	,759**	,720**	,747**	,772**	,763**	,303	,201
	Sig. (2-tailed)	<,001	,239		<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	,222	,424
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n15_OMOE	Pearson Correlation	-,854**	-,092	,743**	1	,955**	,897**	,999**	,959**	,913**	,555*	,421
	Sig. (2-tailed)	<,001	,716	<,001		<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	,017	,082
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n50_OMOE	Pearson Correlation	-,874**	,095	,759**	,955**	1	,981**	,955**	1,000**	,989**	,632**	,506*
	Sig. (2-tailed)	<,001	,706	<,001	<,001		<,001	<,001	<,001	<,001	,005	,032
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n85_OMOE	Pearson Correlation	-,841**	,166	,720**	,897**	,981**	1	,894**	,978**	,997**	,638**	,605**
	Sig. (2-tailed)	<,001	,511	<,001	<,001	<,001		<,001	<,001	<,001	,004	,008
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n15_RAL	Pearson Correlation	-,856**	-,086	,747**	,999**	,955**	,894**	1	,959**	,912**	,546*	,404
	Sig. (2-tailed)	<,001	,735	<,001	<,001	<,001	<,001		<,001	<,001	,019	,096
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n50_RAL	Pearson Correlation	-,880**	,091	,772**	,959**	1,000**	,978**	,959**	1	,987**	,625**	,495*
	Sig. (2-tailed)	<,001	,719	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001		<,001	,006	,037
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
n85_RAL	Pearson Correlation	-,870**	,161	,763**	,913**	,989**	,997**	,912**	,987**	1	,622**	,562*
	Sig. (2-tailed)	<,001	,522	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001		,006	,015
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Ατυχήματα	Pearson Correlation	-,457	,107	,303	,555*	,632**	,638**	,546*	,625**	,622**	1	,732**
	Sig. (2-tailed)	,057	,671	,222	,017	,005	,004	,019	,006	,006		<,001
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	19
ACCR	Pearson Correlation	-,336	,084	,201	,421	,506*	,605**	,404	,495*	,562*	,732**	1
	Sig. (2-tailed)	,173	,740	,424	,082	,032	,008	,096	,037	,015	<,001	
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

\*\* . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).  
 \* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Σχήμα 5.25: Αποτελέσματα παραμετρικού συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (Pearson) για τις μεταβλητές οριζόντιας ακτίνας (R), επίκλισης (q), ελικτότητας (K), συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής (n), αριθμού ατυχημάτων και δείκτη ατυχημάτων (ACCR)

## Κεφάλαιο 5 – Αποτελέσματα Ανάλυσης

		Correlations												
		R	q	K	n15_OMOE	n50_OMOE	n85_OMOE	n15_RAL	n50_RAL	n85_RAL	Ατυχήματα	ACCR		
Spearman's rho	R	Correlation Coefficient	1,000	-,289	-,976**	-,784**	-,834**	-,786**	-,793**	-,832**	-,834**	-,420	-,310	
		Sig. (2-tailed)	.	,246	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	,083	,211
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
q	q	Correlation Coefficient	-,289	1,000	,255	-,133	,095	,182	-,133	,080	,172	,110	,054	
		Sig. (2-tailed)	,246	.	,308	,599	,709	,469	,599	,752	,496	,664	,830	
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
K	K	Correlation Coefficient	-,976**	,255	1,000	,742**	,771**	,737**	,753**	,769**	,781**	,381	,302	
		Sig. (2-tailed)	<,001	,308	.	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	,119	,223	
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
n15_OMOE	n15_OMOE	Correlation Coefficient	-,784**	-,133	,742**	1,000	,939**	,858**	,999**	,940**	,893**	,532*	,490*	
		Sig. (2-tailed)	<,001	,599	<,001	.	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	,023	,039	
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
n50_OMOE	n50_OMOE	Correlation Coefficient	-,834**	,095	,771**	,939**	1,000	,959**	,938**	,999**	,982**	,638**	,572*	
		Sig. (2-tailed)	<,001	,709	<,001	<,001	.	<,001	<,001	<,001	<,001	,004	,013	
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
n85_OMOE	n85_OMOE	Correlation Coefficient	-,786**	,182	,737**	,858**	,959**	1,000	,857**	,957**	,987**	,627**	,633**	
		Sig. (2-tailed)	<,001	,469	<,001	<,001	<,001	.	<,001	<,001	<,001	,005	,005	
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
n15_RAL	n15_RAL	Correlation Coefficient	-,793**	-,133	,753**	,999**	,938**	,857**	1,000	,939**	,890**	,517*	,477*	
		Sig. (2-tailed)	<,001	,599	<,001	<,001	<,001	<,001	.	<,001	<,001	,028	,045	
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
n50_RAL	n50_RAL	Correlation Coefficient	-,832**	,080	,769**	,940**	,999**	,957**	,939**	1,000	,980**	,647**	,578*	
		Sig. (2-tailed)	<,001	,752	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	.	<,001	,004	,012	
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
n85_RAL	n85_RAL	Correlation Coefficient	-,834**	,172	,781**	,893**	,982**	,987**	,890**	,980**	1,000	,651**	,613**	
		Sig. (2-tailed)	<,001	,496	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	<,001	.	,003	,007
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	
Ατυχήματα	Ατυχήματα	Correlation Coefficient	-,420	,110	,381	,532*	,638**	,627**	,517*	,647**	,651**	1,000	,922**	
		Sig. (2-tailed)	,083	,664	,119	,023	,004	,005	,028	,004	,003	.	<,001	
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	19	18
ACCR	ACCR	Correlation Coefficient	-,310	,054	,302	,490*	,572*	,633**	,477*	,578*	,613**	,922**	1,000	
		Sig. (2-tailed)	,211	,830	,223	,039	,013	,005	,045	,012	,007	<,001	.	
		N	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Σχήμα 5.26: Αποτελέσματα μη παραμετρικού συντελεστή γραμμικής συσχέτισης (Spearman) για τις μεταβλητές οριζόντιας ακτίνας (R), επίκλισης (q), ελικτότητας (K), συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής (n), αριθμού ατυχημάτων και δείκτη ατυχημάτων (ACCR)

Για τη συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων με τις αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα μεταβολής των 2 αυτών παραμέτρων μέσω του λογισμικού Excel. Όπως προαναφέρθηκε, στις καμπύλες όπου ο αριθμός των καταγεγραμμένων ατυχημάτων ήταν μηδενικός, ο δείκτης ατυχημάτων προέκυψε αντίστοιχα ίσος με το μηδέν. Για το λόγο αυτό εξαιρέθηκαν οι καμπύλες στις οποίες ο δείκτης ατυχημάτων έλαβε μηδενική τιμή, καθώς στη περίπτωση που είχαν συμπεριληφθεί στο δείγμα θα αλλοίωναν σημαντικά το αποτέλεσμα. Επίσης, από το δείγμα αφαιρέθηκαν ορισμένες ακραίες τιμές του δείκτη οι οποίες θεωρήθηκε πως δεν οδηγούσαν σε αξιόπιστο αποτέλεσμα.

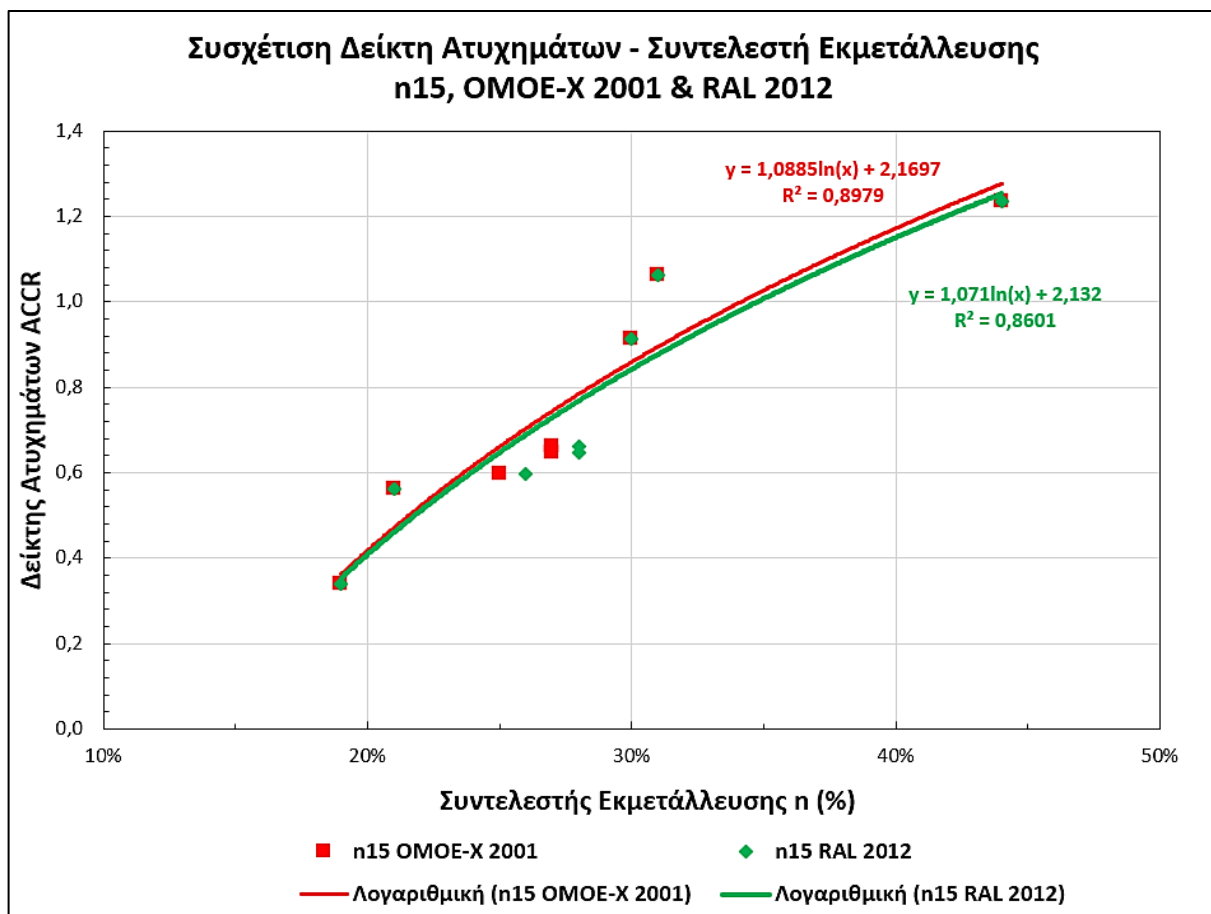
Στο Σχήμα 5.27 παρουσιάζεται η συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων ACCR με το συντελεστή εκμετάλλευσης για το 15% των διερχόμενων οχημάτων ( $n_{15}$ ) κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL. Οι μαθηματικές εξισώσεις που συνδέουν τις 2 παραπάνω μεταβλητές αντιστοιχούν στις ακόλουθες λογαριθμικές εξισώσεις:

$$\bullet \text{ ACCR} = 1,0885\ln(n_{15\text{-ΟΜΟΕ}}) + 2,1667 \quad (5.19)$$

$$R^2 = 0,8979$$

$$\bullet \text{ ACCR} = 1,071\ln(n_{15\text{-RAL}}) + 2,132 \quad (5.20)$$

$$R^2 = 0,8601$$



Σχήμα 5.27: Συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων ACCR με το συντελεστή εκμετάλλευσης στο 15% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL

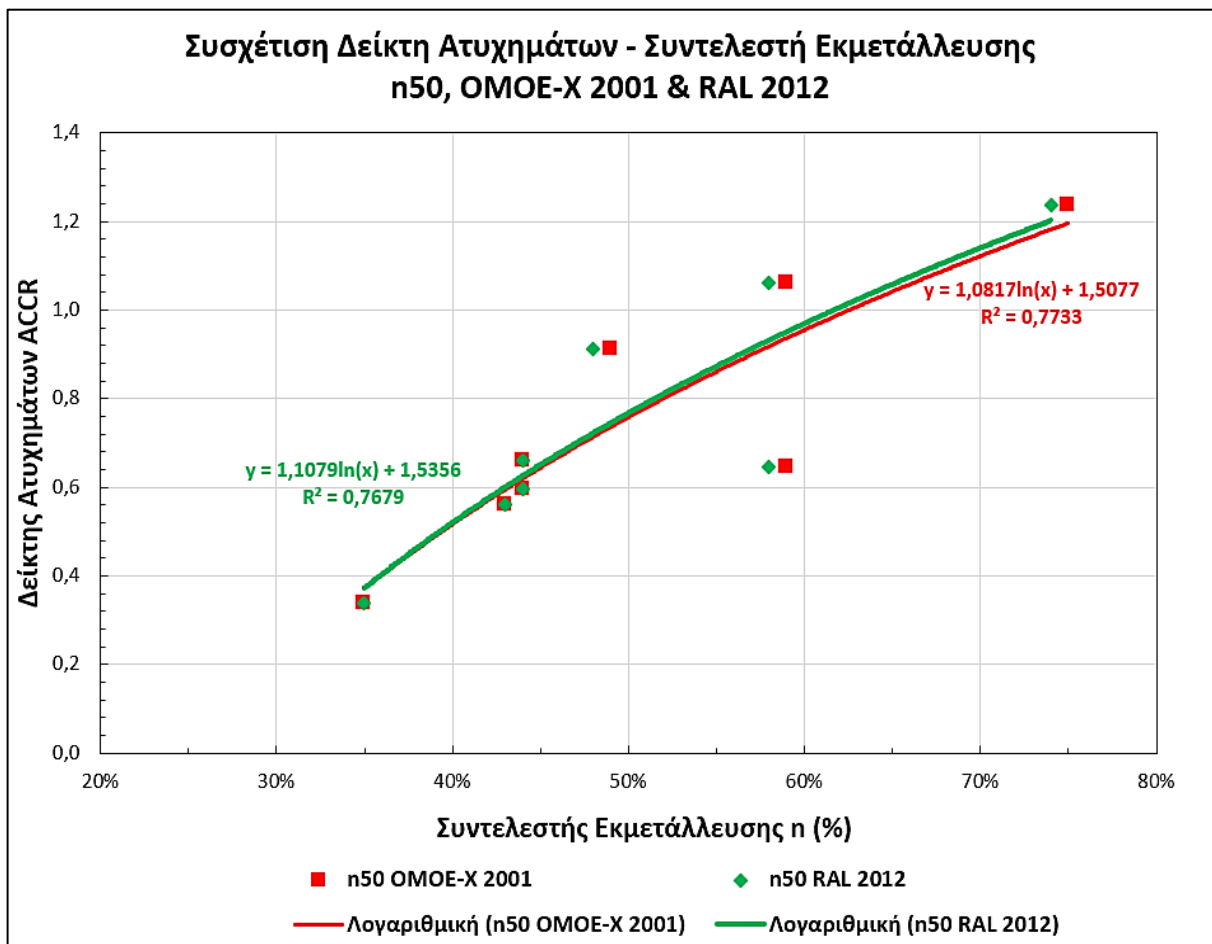
Στο Σχήμα 5.28 παρουσιάζεται η συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων ACCR με το συντελεστή εκμετάλλευσης για το 50% των διερχόμενων οχημάτων ( $n_{50}$ ) κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL. Οι μαθηματικές εξισώσεις που συνδέουν τις 2 παραπάνω μεταβλητές αντιστοιχούν στις ακόλουθες λογαριθμικές εξισώσεις:

$$\bullet \text{ ACCR} = 1,0817\ln(n_{50\text{-ΟΜΟΕ}}) + 1,5077 \quad (5.21)$$

$$R^2 = 0,7733$$

$$\bullet \text{ ACCR} = 1,1079\ln(n_{50\text{-RAL}}) + 1,5356 \quad (5.22)$$

$$R^2 = 0,7679$$



Σχήμα 5.28: Συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων ACCR με το συντελεστή εκμετάλλευσης στο 50% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL

Τέλος, στο Σχήμα 5.29 παρουσιάζεται η συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων ACCR με το συντελεστή εκμετάλλευσης για το 85% των διερχόμενων οχημάτων ( $n_{85}$ ) κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL. Οι μαθηματικές εξισώσεις που συνδέουν τις 2 παραπάνω μεταβλητές αντιστοιχούν στις ακόλουθες λογαριθμικές εξισώσεις:

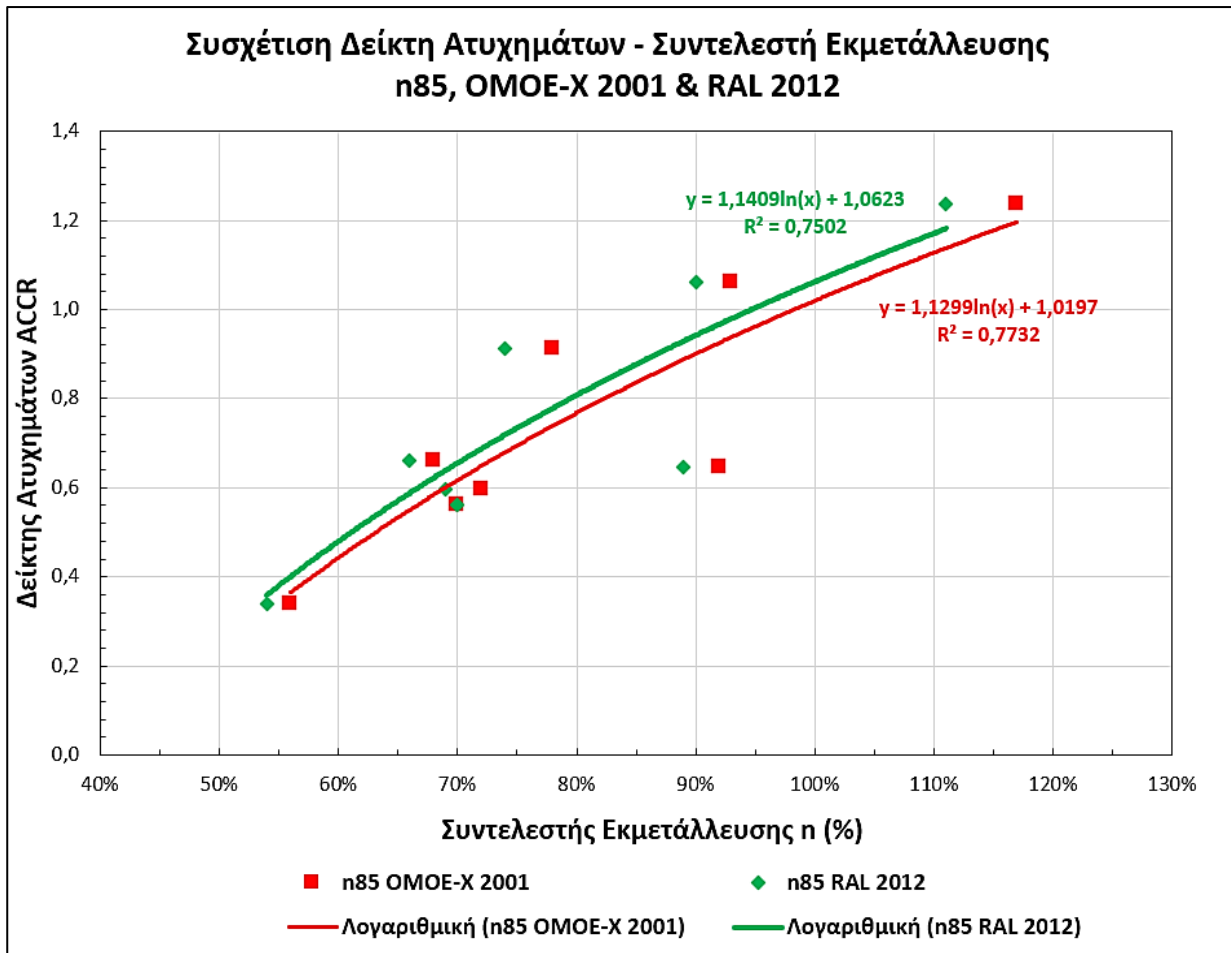
$$\bullet \text{ ACCR} = 1,1409\ln(n_{85\text{-ΟΜΟΕ}}) + 1,0623 \quad (5.23)$$

$$R^2 = 0,7502$$

$$\bullet \text{ ACCR} = 1,299\ln(n_{85\text{-RAL}}) + 1,0197 \quad (5.24)$$

$$R^2 = 0,7732$$





Σχήμα 5.29: Συσχέτιση του δείκτη ατυχημάτων ACCR με το συντελεστή εκμετάλλευσης στο 85%, των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL

Και στις 3 περιπτώσεις συσχέτισης του δείκτη ατυχημάτων με τις τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL προέκυψε μια ανοδική τάση του δείκτη ατυχημάτων με την αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης. Το γεγονός αυτό επαληθεύει τα αποτελέσματα των ελέγχων συσχέτισης των 2 μεταβλητών από τα οποία προέκυψε πως η μεταξύ τους συσχέτιση χαρακτηρίζεται ως στατιστικά σημαντική και θετική. Η αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης που απαιτείται για την διέλευση του οχήματος από μια καμπύλη αναμένεται να οδηγήσει σε αύξηση των ατυχημάτων και κατ' επέκταση σε αύξηση του σχετικού δείκτη. Η αυξητική τάση των δύο μεταβλητών κρίνεται ως αναμενόμενη και επιβεβαιώνεται κατά κάποιο βαθμό από τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Στη περίπτωση που ένα όχημα απαιτήσει μεγαλύτερη πλευρική τριβή και κατά συνέπεια μεγαλύτερο ποσοστό εκμετάλλευσης, τότε θεωρείται πως κινείται στα όρια και η πιθανότητα ολίσθησής του και συνεπώς και η πιθανότητα διεξαγωγής ατυχήματος αυξάνεται.

Οι τιμές του δείκτη αξιοπιστίας  $R^2$  σε όλες τις περιπτώσεις προέκυψαν μεγαλύτερες του 0,75 (75%) και υποδηλώνουν στατιστικώς μια σημαντική και μεγάλη συσχέτιση μεταξύ του δείκτη ατυχημάτων και του συντελεστή εκμετάλλευσης. Θα πρέπει ωστόσο να τονιστεί πως το δείγμα ατυχημάτων και κατ' επέκταση οι διαθέσιμες τιμές του δείκτη ACCR ήταν λίγες ώστε να πραγματοποιηθεί μια σχετικά καλή στατιστική ανάλυση και να προκύψουν ασφαλή συμπεράσματα. Πιθανώς στη περίπτωση που ήταν διαθέσιμο μεγαλύτερο δείγμα ατυχημάτων να ήταν δυνατή η εξαγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων, τα οποία ενδεχομένως να επιβεβαίωναν τα αποτελέσματα που προέκυψαν παραπάνω. Παρ' όλα αυτά, δεν παύει να έχει διαπιστωθεί μια σαφής τάση αύξησης του δείκτη ατυχημάτων με την αύξηση του συντελεστή

εκμετάλλευσης από την αξιοποίηση του υπάρχοντος δείγματος ατυχημάτων. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί πως λόγω του πολύ μικρού δείγματος ατυχημάτων κρίθηκε ανούσια η διερεύνηση της συσχέτισης των 2 μεταβλητών για συνθήκες ημέρας και νύχτας. Και σε αυτή τη περίπτωση η συγκεκριμένη διερεύνηση θα ήταν ενδιαφέρουσα στη περίπτωση όπου το διαθέσιμο δείγμα ατυχημάτων ήταν μεγαλύτερο, ώστε να ελεγχθεί εάν επιβεβαιώνεται η αυξητική τάση που προέκυψε και να συγκριθούν οι δείκτες ατυχημάτων για την ημέρα και τη νύχτα. Θεωρητικά, ο δείκτης ατυχημάτων αναμένεται να είναι μικρότερος για την ημέρα και μεγαλύτερος για τη νύχτα.

### 5.11.3 Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης και Ατυχημάτων

Από την ανάλυση που προηγήθηκε διαπιστώθηκε πως τα ατυχήματα ως δείγμα παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική και θετική συσχέτιση με τις αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά OMOE-X και RAL. Ακόμη, διαπιστώθηκε από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε σε προηγούμενο στάδιο της εργασίας πως οι προτεινόμενες από τους OMOE-X και RAL τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης είναι συντηρητικές, ειδικά για τις καμπύλες μικρής ακτίνας και για το ποσοστό των οδηγών που επιλέγουν ταχύτητες παραπλήσιες της λειτουργικής ταχύτητας ( $V_{85}$ ). Ως εκ τούτου, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η συσχέτιση των τιμών του συντελεστή εκμετάλλευσης που προέκυψαν στα πλαίσια της εργασίας αυτής με τη πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος, στη περίπτωση που οι τιμές αυτές εφαρμόζονταν στη πραγματικότητα και στο σχεδιασμό μιας οδού.

Στις περιπτώσεις όπου είναι επιθυμητή η πρόβλεψη της ύπαρξης ή της απουσίας ενός χαρακτηριστικού ή ενός συμβάντος, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη ως μέθοδος ανάλυσης δεδομένων η λογιστική παλινδρόμηση (logistic regression). Για την εφαρμογή της θα πρέπει η εξαρτημένη μεταβλητή να είναι κατηγορική, δηλαδή ποιοτική και όχι ποσοτική, καθώς και δίτιμη, δηλαδή να δέχεται μόνο τις τιμές 0 και 1 οι οποίες συμβολίζουν αντίστοιχα την απουσία ή την ύπαρξη ενός χαρακτηριστικού ή ενός συμβάντος. Τα οδικά ατυχήματα λαμβάνονται υπόψη ως τυχαία γεγονότα και η πιθανότητα να προκληθούν ή όχι εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Κατά συνέπεια αποτελούν χαρακτηριστικό παράδειγμα για την εφαρμογή της λογιστικής παλινδρόμησης και τη δημιουργία μοντέλων (logit models) πρόβλεψής τους, χρησιμοποιώντας μια ή παραπάνω ανεξάρτητες μεταβλητές. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι για τη συσχέτιση των ατυχημάτων με τις τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης που προέκυψαν από την ανάλυση που προηγήθηκε, ενδείκνυται η χρήση της λογιστικής παλινδρόμησης.

Επειδή ως ανεξάρτητη μεταβλητή ορίστηκε μόνο ο συντελεστής εκμετάλλευσης, εφαρμόστηκε η απλή λογιστική παλινδρόμηση (simple logistic regression). Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα του SPSS, δηλαδή ο αριθμός των ατυχημάτων ανά καμπύλη και οι αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά OMOE-X και κατά RAL, αναλύθηκαν μέσω ενός μοντέλου απλής λογιστικής παλινδρόμησης. Βασική προϋπόθεση για την ανάλυση του μοντέλου ήταν η εξαρτημένη μεταβλητή (στη συγκεκριμένη περίπτωση τα ατυχήματα) να είναι δίτιμη, δηλαδή να δέχεται μόνο τις τιμές 0 και 1. Για το σκοπό αυτό, το δείγμα ατυχημάτων τροποποιήθηκε κατά τέτοιο τρόπο ώστε η ύπαρξη ατυχήματος σε μια καμπύλη να εκφράζεται με τη τιμή 1 και η απουσία ατυχήματος με τη τιμή 0. Παρότι ο μέγιστος αριθμός ατυχημάτων ήταν ίσος με 2, όλα τα δεδομένα τροποποιήθηκαν ώστε η τιμή 1 να υποδηλώνει ότι καταγράφηκε ατύχημα στη καμπύλη και η τιμή 0 ότι δεν συνέβη κάποιο ατύχημα. Το μοντέλο απλής λογιστικής παλινδρόμησης εκφράζεται μέσω της εξίσωσης:

$$\log \frac{p}{(1-p)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot X \quad (5.25)$$

όπου:

- X: η ανεξάρτητη μεταβλητή

- $p$ : η πιθανότητα να συμβεί ένα γεγονός
- $(1-p)$ : η πιθανότητα να μην συμβεί ένα γεγονός

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, σκοπός ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου συσχέτισης των ατυχημάτων με το συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής. Ως ανεξάρτητη μεταβλητή δύναται να χρησιμοποιηθούν οι αντιπροσωπευτικές τιμές ( $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$ ) του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά OMOE-X και κατά RAL, ενώ ως  $p$  εκφράζεται η πιθανότητα να προκληθεί οδικό ατύχημα και  $(1-p)$  η πιθανότητα να μην προκληθεί, για δεδομένες τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης.

Για την εφαρμογή της απλής λογιστικής παλινδρόμησης στο πρόγραμμα του SPSS, χρησιμοποιήθηκε η εντολή Binary Logistic από το μενού Analyze. Σε πρώτη φάση εισήχθησαν διαδοχικά ως συμμεταβλητές (covariates) οι συντελεστές  $n_{50}$  κατά OMOE-X και RAL, ώστε να δημιουργηθούν αρχικά τα 2 μοντέλα σύμφωνα με τις τιμές του συντελεστή που προέκυψαν για το 50% των διερχόμενων οχημάτων. Επισημαίνεται πως ανεξάρτητες μεταβλητές που εμφανίζουν μεγάλη συσχέτιση μεταξύ τους όπως οι διάφορες τιμές του συντελεστή  $n$  μεταξύ τους, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο ίδιο μοντέλο.

Ως προς το βαθμό προσαρμογής, τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα 2 πρώτα μοντέλα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.30. Το μοντέλο συσχέτισης των ατυχημάτων με το συντελεστή  $n_{50}$  κατά OMOE-X έδωσε ένα σχετικά μέτριο προς ικανοποιητικό βαθμό προσαρμογής, με το δείκτη Cox & Snell R Square να προκύπτει ίσος με 0.329, τον δείκτη Nagelkerke R Square να είναι ίσος με 0,438 και τη -2 Log likelihood να ισούται με 17,782. Δηλαδή το συγκεκριμένο μοντέλο απλής λογιστικής παλινδρόμησης ερμηνεύει από το 33% έως το 44% της μεταβλητότητας. Επίσης, από τον έλεγχο καλής προσαρμογής των Hosmer-Lemeshow προέκυψε πως το συγκεκριμένο μοντέλο προσαρμόζεται σχετικά καλά στα δεδομένα αφού η τιμή  $p$ -value προέκυψε ίση με 0,086, χωρίς ωστόσο να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το 0,05 (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%). Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και για το μοντέλο συσχέτισης των ατυχημάτων με το συντελεστή  $n_{50}$  κατά RAL, καθώς αυτό έδωσε ένα σχετικά μέτριο προς ικανοποιητικό βαθμό προσαρμογής, με το δείκτη Cox & Snell R Square να προκύπτει ίσος με 0.329, τον δείκτη Nagelkerke R Square να είναι ίσος με 0,439 και τη -2 Log likelihood να ισούται με 17,774. Δηλαδή το συγκεκριμένο μοντέλο απλής λογιστικής παλινδρόμησης ερμηνεύει από το 33% έως το 44% της μεταβλητότητας. Επιπλέον, από τον έλεγχο καλής προσαρμογής των Hosmer-Lemeshow προέκυψε πως το συγκεκριμένο μοντέλο δεν προσαρμόζεται σχετικά καλά στα δεδομένα αφού η τιμή  $p$ -value προέκυψε ίση με 0,044 που είναι μικρότερη από τη τιμή 0,05 για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Model Summary				Model Summary			
Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square	Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	17,782 <sup>a</sup>	,329	,438	1	17,774 <sup>a</sup>	,329	,439
a. Estimation terminated at iteration number 5 because parameter estimates changed by less than ,001.				a. Estimation terminated at iteration number 5 because parameter estimates changed by less than ,001.			
Hosmer and Lemeshow Test				Hosmer and Lemeshow Test			
Step	Chi-square	df	Sig.	Step	Chi-square	df	Sig.
1	12,486	7	,086	1	14,442	7	,044

Σχήμα 5.30: Στατιστικά αποτελέσματα μοντέλων απλής λογιστικής παλινδρόμησης των ατυχημάτων και της αντιπροσωπευτικής τιμής του συντελεστή εκμετάλλευσης για το 50% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X (αριστερά) και κατά RAL (δεξιά)

Σε συνέχεια ορίστηκαν διαδοχικά ως συμμεταβλητές (covariates) οι συντελεστές  $n_{85}$  κατά OMOE-X και RAL, ώστε να δημιουργηθούν τα 2 μοντέλα σύμφωνα με τις τιμές του συντελεστή

που προέκυψαν για το 85% των διερχόμενων οχημάτων. Ως προς το βαθμό προσαρμογής, τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τα 2 μοντέλα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.32. Το μοντέλο συσχέτισης των ατυχημάτων με το συντελεστή  $n_{85}$  κατά OMOE-X έδωσε ένα σχετικά μέτριο προς ικανοποιητικό βαθμό προσαρμογής, με το δείκτη Cox & Snell R Square να προκύπτει ίσος με 0.330, τον δείκτη Nagelkerke R Square να είναι ίσος με 0,439 και τη -2 Log likelihood να ισούται με 17,756. Δηλαδή το συγκεκριμένο μοντέλο απλής λογιστικής παλινδρόμησης ερμηνεύει από το 33% έως το 44% της μεταβλητότητας. Επίσης, από τον έλεγχο καλής προσαρμογής των Hosmer-Lemeshow προέκυψε πως το συγκεκριμένο μοντέλο προσαρμόζεται σχετικά καλά στα δεδομένα αφού η τιμή p-value προέκυψε ίση με 0,484, η οποία είναι αρκετά μεγαλύτερη από το 0,05 (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%). Όσον αφορά το μοντέλο συσχέτισης των ατυχημάτων με το συντελεστή  $n_{85}$  κατά RAL, αυτό έδωσε ένα σχετικά μέτριο προς ικανοποιητικό βαθμό προσαρμογής, με το δείκτη Cox & Snell R Square να προκύπτει ίσος με 0.316, τον δείκτη Nagelkerke R Square να είναι ίσος με 0,421 και τη -2 Log likelihood να ισούται με 18,119. Δηλαδή το συγκεκριμένο μοντέλο απλής λογιστικής παλινδρόμησης ερμηνεύει από το 32% έως το 42% της μεταβλητότητας. Επιπλέον, από τον έλεγχο καλής προσαρμογής των Hosmer-Lemeshow προέκυψε πως το συγκεκριμένο μοντέλο προσαρμόζεται σχετικά καλά στα δεδομένα αφού η τιμή p-value προέκυψε ίση με 0,058 χωρίς ωστόσο να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από το 0,05 (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).

Model Summary				Model Summary			
Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square	Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	17,756 <sup>a</sup>	,330	,439	1	18,119 <sup>a</sup>	,316	,421
a. Estimation terminated at iteration number 5 because parameter estimates changed by less than ,001.				a. Estimation terminated at iteration number 5 because parameter estimates changed by less than ,001.			
Hosmer and Lemeshow Test				Hosmer and Lemeshow Test			
Step	Chi-square	df	Sig.	Step	Chi-square	df	Sig.
1	5,481	6	,484	1	13,650	7	,058

Σχήμα 5.31: Στατιστικά αποτελέσματα μοντέλων απλής λογιστικής παλινδρόμησης των ατυχημάτων και της αντιπροσωπευτικής τιμής του συντελεστή εκμετάλλευσης για το 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά OMOE-X (αριστερά) και κατά RAL (δεξιά)

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, το μοντέλο συσχέτισης των ατυχημάτων με το συντελεστή  $n_{50}$  κατά RAL απορρίφθηκε ενώ το αντίστοιχο μοντέλο για τους OMOE-X διατηρήθηκε. Επίσης διατηρήθηκαν και τα 2 μοντέλα συσχέτισης των ατυχημάτων με το συντελεστή  $n_{85}$  κατά OMOE-X και κατά RAL. Συνολικά προέκυψαν 3 μοντέλα, οι παράμετροι των οποίων παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.32. Και στα 3 μοντέλα διαπιστώθηκε πως η τιμή Sig. προέκυψε μικρότερη του 0,05, γεγονός που δείχνει ότι τα μοντέλα θεωρούνται στατιστικά σημαντικά. Η τιμή 95% C.I. δείχνει τα όρια στα οποία κυμαίνεται η τιμή του σχετικού λόγου πιθανοτήτων (odds ratio),  $\text{Exp}(B)$  ώστε η πραγματική τιμή της να βρίσκεται εντός αυτών για διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Επειδή  $\text{Exp}(B) > 1$ , επιβεβαιώνεται πως η αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης θα οδηγήσει στην αύξηση της πιθανότητας να προκληθεί ατύχημα. Σε κάθε ένα μοντέλο τα συγκεκριμένα όρια απείχαν πολύ μεταξύ τους, γεγονός που καταδεικνύει τη μεγάλη αβεβαιότητα που υπάρχει σχετικά με τις ακριβείς τιμές των συντελεστών του μοντέλου και των αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από αυτό. Η πιθανότερη εξήγηση αποδίδεται στο μέγεθος του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία των μοντέλων, το οποίο ήταν αρκετά μικρό.

Συμπερασματικά προέκυψε πως υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα για τη θετική συσχέτιση μεταξύ των ατυχημάτων και του συντελεστή εκμετάλλευσης, ωστόσο υπάρχει αβεβαιότητα για τις τιμές που θα εκτιμηθούν από το μοντέλο λόγω του μικρού δείγματος δεδομένων. Με ένα μεγαλύτερο δείγμα, η βεβαιότητα για ένα πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα θα ήταν μεγαλύτερη.

Variables in the Equation									
		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
								Lower	Upper
Step 1 <sup>a</sup>	n50_OMOE	10,709	5,031	4,531	1	,033	44747,908	2,335	857463427,6
	Constant	-4,457	2,213	4,056	1	,044	,012		
a. Variable(s) entered on step 1: n50_OMOE.									
Variables in the Equation									
		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
								Lower	Upper
Step 1 <sup>a</sup>	n85_OMOE	8,013	3,740	4,591	1	,032	3019,531	1,980	4605821,466
	Constant	-5,500	2,657	4,286	1	,038	,004		
a. Variable(s) entered on step 1: n85_OMOE.									
Variables in the Equation									
		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)	95% C.I. for EXP(B)	
								Lower	Upper
Step 1 <sup>a</sup>	n85_RAL	7,658	3,631	4,449	1	,035	2118,285	1,719	2609650,277
	Constant	-5,080	2,512	4,089	1	,043	,006		
a. Variable(s) entered on step 1: n85_RAL.									

Σχήμα 5.32: Παράμετροι μοντέλων απλής λογιστικής παλινδρόμησης των ατυχημάτων και της αντιπροσωπευτικής τιμής του συντελεστή εκμετάλλευσης για το 50% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ (πάνω) και για το 85% των διερχόμενων οχημάτων κατά ΟΜΟΕ-Χ (κέντρο) και κατά RAL (κάτω)

Συνοπτικά, τα μοντέλα απλής λογιστικής παλινδρόμησης (μοντέλα logit) για τη συσχέτιση των ατυχημάτων με το συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{50}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ και  $n_{85}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL που προέκυψαν σύμφωνα με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, δίνονται από τις εξής σχέσεις:

- Για το συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{50}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ :

$$\log \frac{p}{(1-p)} = -4,457 + 10,709 \cdot n_{50 \text{ (ΟΜΟΕ-Χ)}}$$

$$\Rightarrow \frac{p}{(1-p)} = e^{-4,457 + 10,709 \cdot n_{50 \text{ (ΟΜΟΕ-Χ)}}} \quad (5.26)$$

- Για το συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{85}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ :

$$\log \frac{p}{(1-p)} = -5,5 + 8,013 \cdot n_{85 \text{ (ΟΜΟΕ-Χ)}}$$

$$\Rightarrow \frac{p}{(1-p)} = e^{-5,5 + 8,013 \cdot n_{85 \text{ (ΟΜΟΕ-Χ)}}} \quad (5.27)$$

- Για το συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{85}$  κατά RAL :

$$\log \frac{p}{(1-p)} = -5,08 + 7,658 \cdot n_{85 \text{ (RAL)}}$$

$$\Rightarrow \frac{p}{(1-p)} = e^{-5,08+7,658 \cdot n_{85} \text{ (RAL)}} \quad (5.28)$$

Μέσω της λογιστικής παλινδρόμησης εκτιμώνται οι μεταβολές του λογαρίθμου του λόγου των πιθανοτήτων να συμβεί ένα γεγονός προς το να μην συμβεί. Από τις παραπάνω σχέσεις προσδιορίζεται ο λόγος της πιθανότητας του να προκληθεί ατύχημα προς τη πιθανότητα να μην προκληθεί, για μια τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης. Ως  $p$  εκφράζεται η πιθανότητα να προκληθεί ένα ατύχημα και ως  $(1-p)$  η πιθανότητα να μην προκληθεί. Σημειώνεται ότι η λογιστική ως είδος παλινδρόμησης απαιτεί ένα μεγάλο δείγμα δεδομένων ούτως ώστε να εφαρμοστεί σωστά και να παραχθεί ένα αξιόπιστο αποτέλεσμα. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί πως η ερμηνεία της λογιστικής παλινδρόμησης στηρίζεται στη πρόβλεψη του λόγου των πιθανοτήτων και εκφράζει το πόσο πιο πιθανό είναι να συμβεί ένα ενδεχόμενο σε σχέση με το να μην συμβεί. Λαμβάνοντας υπόψη τη παρατήρηση αυτή, μπορεί να γίνει η χρήση των μοντέλων που προέκυψαν χρησιμοποιώντας διάφορες τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών τους.

Στο Πίνακα 5.16 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των logit μοντέλων, χρησιμοποιώντας ενδεικτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης. Οι τιμές αυτές επιλέχθηκαν βάσει των αποτελεσμάτων της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε σε προηγούμενο στάδιο της εργασίας. Υπενθυμίζεται προς η προτεινόμενη από τους ΟΜΟΕ-Χ τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης είναι  $n = 45\%$ , ενώ η αντίστοιχη τιμή από τους RAL είναι  $n = 40\%$ .

*Πίνακας 5.16: Αποτελέσματα λόγου πιθανοτήτων πρόκλησης ατυχήματος προς μη πρόκληση ατυχήματος από τη χρήση ενδεικτικών τιμών συντελεστή εκμετάλλευσης στα μοντέλα logit κατά ΟΜΟΕ-Χ και κατά RAL*

Ενδεικτικές τιμές $n$	$\frac{p}{1-p}$		
	Μοντέλο $n_{50}$ ΟΜΟΕ-Χ	Μοντέλο $n_{85}$ ΟΜΟΕ-Χ	Μοντέλο $n_{85}$ RAL
45%	-	-	20%
50%	245%	22%	29%
55%	419%	34%	42%
60%	-	50%	62%
65%	-	75%	90%
70%	-	112%	132%
75%	-	166%	194%
80%	-	249%	285%

Όσον αφορά το μοντέλο βάσει του συντελεστή εκμετάλλευσης  $n_{50}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ, η αύξηση της τιμής από  $n = 45\%$  σε  $n_{50} = 50\%$  ή  $n_{50} = 55\%$  αυξάνει τη πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος κατά 2,5 έως 4,2 φορές επί τη πιθανότητα μη πρόκλησης ατυχήματος. Ως εκ τούτου, η πιθανότητα να προκληθεί οδικό ατύχημα μετά από την εφαρμογή των παραπάνω τιμών του συντελεστή εκμετάλλευσης είναι ιδιαίτερα μεγάλη και για το λόγο αυτό δεν προτείνεται η αύξηση του συντελεστή για το 50% των διερχόμενων οχημάτων.

Για τα μοντέλα βάσει του συντελεστή  $n_{85}$  κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL προέκυψε πως, για αύξηση των προτεινόμενων από τους κανονισμούς τιμών κατά 5% ή 10%, η πιθανότητα του να προκληθεί ατύχημα προκύπτει προσεγγιστικά ίση με το 0,2 έως 0,4 επί της πιθανότητας να μην προκληθεί ατύχημα. Η πιθανότητα αυτή είναι σχετικά μικρή, ωστόσο δεδομένου ότι δεν είναι γνωστή η τιμή της πιθανότητας του να προκληθεί ή όχι ατύχημα, δεν μπορούν να ληφθούν περαιτέρω συμπεράσματα. Ενδεχομένως λοιπόν η μεταβολή του συντελεστή εκμετάλλευσης από τη προτεινόμενη τιμή στις τιμές  $n = 50\%$  ή  $n = 55\%$  στους ΟΜΟΕ-Χ και στους RAL να μην είχε μεγάλη επίπτωση στην οδική ασφάλεια. Θα ήταν ενδιαφέρουσα η επιβεβαίωση της

παραπάνω διαπίστωσης στη περίπτωση όπου ήταν διαθέσιμο ένα μεγαλύτερο δείγμα ατυχημάτων. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι η τροποποίηση του συντελεστή εκμετάλλευσης στις τιμές άνω του 60% αυξάνει σημαντικά τη πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος προς τη πιθανότητα μη πρόκλησης. Κατά συνέπεια, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δεν προτείνεται η υιοθέτηση των τιμών αυτών από τους κανονισμούς.

### 5.12 Γενικές παρατηρήσεις

Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο της ανάλυσης, θα πρέπει να σημειωθούν ορισμένες παρατηρήσεις σχετικά με τις διαδικασίες και τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στη παρούσα εργασία.

Αρχικά θα πρέπει να τονιστεί πως οι ενδεικτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής προέκυψαν με βάση τις ταχύτητες διέλευσης που καταγράφηκαν σε στεγνό και όχι βρεγμένο οδόστρωμα. Όμως οι συνθήκες πρόσφυσης του οχήματος στο οδόστρωμα και κατά συνέπεια η τριβή που ασκείται μεταξύ των ελαστικών και του οδοστρώματος επιδρούν σημαντικά στις ταχύτητες που θα αναπτυχθούν σε ένα καμπύλο τμήμα οδού. Γίνεται αντιληπτό πως σε ένα καλά διατηρημένο και στεγνό οδόστρωμα οι οδηγοί τείνουν να αναπτύξουν μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι σε ένα φθαρμένο και βρεγμένο οδόστρωμα. Αυτό συμβαίνει διότι στις δυσχερείς συνθήκες οδοστρώματος οι οδηγοί είναι πιο συγκρατημένοι και ενστικτωδώς επιλέγουν να κινηθούν με μικρότερη ταχύτητα, ώστε να διαβεβαιωθούν ότι θα κινηθούν με ασφάλεια στην οδό.

Γενικότερα μια οδός σχεδιάζεται με σκοπό να εξυπηρετήσει όλες τις πιθανές διαφοροποιήσεις που μπορεί να παρουσιαστούν στους οδηγούς, στα οχήματα αλλά και στις συνθήκες του οδοστρώματος. Αναντίρρητα στη περίπτωση ενός ηλικιωμένου οδηγού που οδηγεί σε παλαιό όχημα με φθαρμένα ελαστικά και σε πολυχρησιμοποιημένο και βρεγμένο οδόστρωμα, οι συνθήκες οδήγησης είναι οι χειρόστες και το γεγονός αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας οδού. Ταυτόχρονα όμως διακρίνεται και η περίπτωση ενός νέου οδηγού που οδηγεί σε σύγχρονο όχημα με καινούργια ελαστικά και σε καλοδιατηρημένο και στεγνό οδόστρωμα. Στη περίπτωση αυτή είναι πολύ πιθανό να σημειωθούν αρκετά μεγαλύτερες ταχύτητες (έως και 20 km/h μεγαλύτερες) στην οδό, συγκριτικά με τις ταχύτητες που θα παρατηρηθούν στις δυσχερείς συνθήκες.

Επειδή ο συντελεστής εκμετάλλευσης τριβής που προτείνεται από τους κανονισμούς ανταποκρίνεται στις δυσχερείς συνθήκες βρεγμένου και όχι στεγνού οδοστρώματος, είναι ιδιαίτερα πιθανό να υπάρχει κάποια απόκλιση στις τιμές που προέκυψαν σε σχέση με τις τιμές για βρεγμένο οδόστρωμα. Ενδεχομένως οι τιμές για βρεγμένο και όχι στεγνό οδόστρωμα να είχαν προκύψει μικρότερες από αυτές που προέκυψαν στη παρούσα εργασία. Επίσης, σημειώνεται πως δεν υπήρξαν διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες οδοστρώματος υπό τις οποίες προκλήθηκαν τα ατυχήματα που αξιοποιήθηκαν προς ανάλυση. Κατά συνέπεια, δεν ήταν διαθέσιμη η πληροφορία σχετικά με το αν τα ατυχήματα συνέβησαν σε στεγνό ή βρεγμένο οδόστρωμα.

Ακόμη, οι αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης προέκυψαν με τη παραδοχή ότι το όχημα ακολουθεί τη γεωμετρία της οδού. Ωστόσο είναι ιδιαίτερα πιθανό ορισμένοι οδηγοί να απέκλιναν από τη τροχιά που ορίζει η ακτίνα της εκάστοτε καμπύλης και να διήλθαν από τη καμπύλη με τροχιά μικρότερης ή μεγαλύτερης ακτίνας, ανάλογα με τη γωνία αλλαγής κατεύθυνσης.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η αφαίρεση των ακραίων τιμών ταχυτήτων που πραγματοποιήθηκε κατά την αρχική επεξεργασία των μετρήσεων σε προηγούμενο στάδιο της εργασίας, είχε σχετικά μικρή επιρροή στα αποτελέσματα των τιμών των ταχυτήτων και κατ' επέκταση στις τιμές του συντελεστή πλευρικής τριβής και του συντελεστή εκμετάλλευσης τριβής.

Ενδεικτικά αναφέρεται πως οι διαφορές στα μεγέθη που υπολογίστηκαν μεταξύ των 2 περιπτώσεων (με χρήση αρχικών και τελικών δεδομένων) ήταν κατά μέσο όρο της τάξης του 1%-2% τόσο στις ταχύτητες (διαφορά 0-1,5 km/h), όσο και στους συντελεστές πλευρικής τριβής (διαφορά 0,001-0,003) και στους συντελεστές εκμετάλλευσης τριβής (διαφορά 1-3%). Παρά τις πολύ μικρές αποκλίσεις που αναφέρθηκαν, η αφαίρεση των ακραίων τιμών από τα δείγματα ταχυτήτων ενδεχομένως να συνέβαλε στη κανονικοποίηση της κατανομής τους και στην αξιοπιστία τόσο των δειγμάτων όσο και των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη χρήση των δεδομένων.



## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στο τελευταίο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις διαδικασίες που εφαρμόστηκαν και την εκτενή ανάλυση που πραγματοποιήθηκε κατά την εκπόνησή της. Παράλληλα, μέσα από την ερευνητική προσπάθεια που καταβλήθηκε προέκυψαν ορισμένες προτάσεις οι οποίες παρουσιάζονται με σκοπό τη περαιτέρω αξιοποίησή τους σε μελλοντικές έρευνες.

### 6.1 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων και από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για τα χαρακτηριστικά μεγέθη που εντάσσονται στο θέμα της διπλωματικής εργασίας, ήταν τα εξής:

- Σε ορισμένες καμπύλες μεγάλης ακτίνας ( $> 300$  m) διαπιστώθηκε πως υπήρξαν οδηγοί που υπερέβησαν σημαντικά το γενικό όριο ταχύτητας (90 km/h) και επέλεξαν να κινηθούν με ταχύτητες άνω των 100 km/h. Το παραπάνω συμπέρασμα έγινε εμφανές ιδιαίτερα από τις ταχύτητες που αντιστοιχούν στο 85% των οδηγών ( $V_{85}$ ). Παράλληλα παρατηρήθηκαν ορισμένες χαμηλές ταχύτητες κάτω των 40 km/h, οι οποίες καταγράφηκαν σε καμπύλες μικρής οριζόντιας ακτίνας. Κατά συνέπεια, η οριζόντια ακτίνα της καμπύλης φαίνεται πως αποτελεί σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τη ταχύτητα που επιλέγουν οι οδηγοί ώστε να διέλθουν από αυτή.
- Παρατηρήθηκε πως οι ταχύτητες διέλευσης των οχημάτων αυξάνονταν με την αύξηση της οριζόντιας ακτίνας της καμπύλης, καθώς σημειώθηκαν μεγαλύτερες ταχύτητες σε καμπύλες μεγαλύτερης ακτίνας και μικρότερες ταχύτητες σε πιο κλειστές καμπύλες. Από τα αποτελέσματα των αντιπροσωπευτικών ταχυτήτων για το 15% 50% και 85% των διερχόμενων οχημάτων, προέκυψε πως:
  - Για καμπύλη ακτίνας 100 m, οι ταχύτητες  $V_{15}$ ,  $V_{50}$  και  $V_{85}$  προέκυψαν προσεγγιστικά ίσες με 50 km/h, 60 km/h και 68 km/h αντίστοιχα.
  - Για καμπύλη ακτίνας 250 m οι ταχύτητες  $V_{15}$ ,  $V_{50}$  και  $V_{85}$  έλαβαν τιμές ίσες με 60 km/h, 70 km/h και 82 km/h αντίστοιχα.
  - Για καμπύλη ακτίνας 500 m οι ταχύτητες  $V_{15}$ ,  $V_{50}$  και  $V_{85}$  έλαβαν τιμές ίσες με 67 km/h, 80 km/h και 93 km/h αντίστοιχα.
- Παρατηρήθηκαν μεγάλες διασπορές στα δεδομένα ταχυτήτων καθώς και ποσοστά διελεύσεων οχημάτων με μεγάλες διαφορές ταχυτήτων, ενώ σε ορισμένες καμπύλες η τυπική απόκλιση της ταχύτητας προέκυψε μεγαλύτερη των 10 km/h. Το παραπάνω γεγονός πιθανώς να αιτιολογείται είτε λόγω της παρουσίας ορισμένων καμπυλών πριν ή μετά από ισόπεδο κόμβο (σε απόσταση πάντως μεγαλύτερη των 200 m) είτε λόγω της σύνθεσης της κυκλοφορίας και του συνδυασμού παλαιών και σύγχρονων οχημάτων.
- Η αύξηση της ταχύτητας διέλευσης από τη καμπύλη έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πλευρικής επιτάχυνσης που δέχεται ο οδηγός του οχήματος, κατά συνέπεια και την αύξηση του συντελεστή πλευρικής τριβής. Η διαπίστωση αυτή θεωρήθηκε αναμενόμενη καθώς όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα διέλευσης ενός οχήματος τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι και η τριβή που παρέχεται ώστε να διατηρήσει τη πορεία του εντός της καμπύλης και να μην ολισθήσει.
- Με την αύξηση της ακτίνας της καμπύλης μειώνεται η πλευρική επιτάχυνση που δέχεται ο οδηγός, συνεπώς μειώνεται και η τιμή του συντελεστή πλευρικής τριβής. Υπολογίστηκαν οι αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή για τις προσεγγίσεις που εκφράζονται μέσω των ποσοστών 15%, 50% και 85% των οδηγών και συσχετίστηκαν με την ακτίνα της καμπύλης. Προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

- Για κλειστές καμπύλες ακτίνας < 150 m οι συντελεστές πλευρικής τριβής  $f_{R_{15}}$ ,  $f_{R_{50}}$  και  $f_{R_{85}}$  προέκυψαν ίσοι με 0,10, 0,17 και 0,25 αντίστοιχα.
- Για μεσαίες καμπύλες ακτίνας μεταξύ 150 m και 250 m οι συντελεστές πλευρικής τριβής  $f_{R_{15}}$ ,  $f_{R_{50}}$  και  $f_{R_{85}}$  προέκυψαν ίσοι με 0,08, 0,13 και 0,20 αντίστοιχα.
- Για μεγάλες καμπύλες ακτίνας > 250 m οι συντελεστές πλευρικής τριβής  $f_{R_{15}}$ ,  $f_{R_{50}}$  και  $f_{R_{85}}$  προέκυψαν ίσοι με 0,02, 0,06 και 0,10 αντίστοιχα.
- Από τη συσχέτιση μεταξύ της οριζόντιας ακτίνας και του ποσοστού των οχημάτων που υπερβαίνουν τα όρια άνεσης και ασφαλείας κατά McGee et al. (1984), προέκυψε ότι στις καμπύλες μικρής ακτίνας (< 200 m) οι οδηγοί τείνουν να υπερβαίνουν σε μεγαλύτερο ποσοστό τόσο το όριο άνεσης όσο και το όριο ασφαλείας. Σε αυτές τις καμπύλες οι οδηγοί αναπτύσσουν μικρότερες ταχύτητες λόγω της επίδρασης των χαρακτηριστικών της καμπύλης όπως της ακτίνας, πιθανώς να αισθάνονται ασφαλείς πως οποιοδήποτε ρίσκο λαμβάνουν θα έχει μικρές σχετικά συνέπειες και επίσης είναι περισσότερο ανεκτικοί στις πλευρικές επιταχύνσεις που δέχονται όταν αποκλίνουν από το όριο ταχύτητας.
- Διαπιστώθηκε πως τα όρια άνεσης και αντοχής που προτάθηκαν από ερευνητές (McGee et al., 1984) δεν είναι σταθερά αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με τη ταχύτητα διέλευσης και την ακτίνα της καμπύλης. Από τα αποτελέσματα προέκυψε πως στις μικρότερες ακτίνες και ταχύτητες για το 85% των οδηγών οι πλευρικές επιταχύνσεις και κατ' επέκταση οι συντελεστές πλευρικής τριβής αγγίζουν το 0,3-g ενώ στις μεγαλύτερες ακτίνες και ταχύτητες φτάνουν οριακά έως το 0,15-g.
- Από την αξιοποίηση των ελληνικών κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ 2001 και των γερμανικών κανονισμών RAL 2012 υπολογίστηκαν οι συντελεστές εκμετάλλευσης που αφομοιώνουν οι οδηγοί των οχημάτων σε όλες τις καμπύλες. Σε ορισμένες καμπύλες οι συντελεστές εκμετάλλευσης έλαβαν τιμές μεγαλύτερες του 100% στις μεγαλύτερες ταχύτητες. Στη περίπτωση αυτή η απαιτούμενη πλευρική τριβή υπερέβη τη μέγιστη από τους κανονισμούς διατιθέμενη τριβή. Ο λόγος που οι συντελεστές η έλαβαν αυτές τις τιμές ήταν διότι αξιοποιήθηκαν οι τιμές του συντελεστή  $f_{R_{max}}$  για υγρό και όχι για στεγνό οδόστρωμα. Στη περίπτωση στεγνού οδοστρώματος, ο συντελεστής  $f_{R_{max}}$  λαμβάνει τιμές άνω του 0,7 και μεγαλύτερες από τις τιμές για υγρό οδόστρωμα. Κατά συνέπεια, στη περίπτωση υπέρβασης του  $f_{R_{max}}$  υγρού οδοστρώματος δεν υπάρχει ολίσθηση αφού η τιμή  $f_{R_{max}}$  για στεγνό είναι μεγαλύτερη από 0,7. Αντίστοιχα, σε ορισμένες καμπύλες προέκυψαν αρνητικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης, οι οποίες δεν θεωρούνται αντιπροσωπευτικές για το σκοπό της εργασίας. Αυτό οφείλεται στο ότι ο απαιτούμενος συντελεστής πλευρικής τριβής προέκυψε ίσος με αρνητική τιμή, καθώς λόγω της μικρής ταχύτητας διέλευσης των οχημάτων και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της καμπύλης, η επίκλιση υπερκάλυψε τη φυγόκεντρο δύναμη εξ' ολοκλήρου.
- Ο συντελεστής εκμετάλλευσης προέκυψε ότι αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας τόσο βάσει των ΟΜΟΕ-Χ όσο και των RAL, καθώς απαιτείται μεγαλύτερη πλευρική τριβή κατά τη διέλευση ενός οχήματος από μια καμπύλη με μεγάλη ταχύτητα.
- Στις περισσότερες καμπύλες παρατηρήθηκε σύγκλιση των τιμών του συντελεστή εκμετάλλευσης στους ελληνικούς και στους γερμανικούς κανονισμούς, οι οποίοι έλαβαν παραπλήσιες τιμές για ταχύτητες έως 70 km/h. Εξαίρεση αποτέλεσαν οι καμπύλες ακτίνας άνω των 300 m στις οποίες η σύγκλιση των τιμών μεταξύ των 2 κανονισμών παρατηρείται έως και για ταχύτητες 80 km/h - 85 km/h. Στις μεγαλύτερες ταχύτητες παρουσιάστηκε απόκλιση μεταξύ των τιμών των 2 κανονισμών, με τη μέγιστη τιμή της να κυμαίνεται σε γενικές γραμμές μεταξύ του 10%-15%.
- Από τις τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης που προέκυψαν παρατηρήθηκε η εναρμόνιση των κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ και RAL, το οποίο κρίθηκε αναμενόμενο καθώς οι προσεγγίσεις κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL θεωρούνται παρεμφερείς. Κατ' επέκταση, οι

διαφορές που εντοπίστηκαν ήταν μικρές και αντιστοιχούσαν στις ταχύτητες άνω των 70 km/h ή 80 km/h.

- Από τη διενέργεια στατιστικών ελέγχων προέκυψε πως ο συντελεστής εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL παρουσίαζε στατιστικά σημαντική αρνητική συσχέτιση με τη οριζόντια ακτίνα και θετική με την ελικτότητα, ενώ δεν παρουσίαζε σημαντική συσχέτιση με την επίκλιση. Η αρνητική συσχέτιση του συντελεστή με την ακτίνα κρίνεται λογική, δεδομένου ότι απαιτείται μεγαλύτερη πλευρική τριβή κατά τη κίνηση ενός οχήματος σε μια καμπύλη μικρής ακτίνας από ότι σε μια καμπύλη μεγαλύτερης ακτίνας. Επίσης η θετική συσχέτιση μεταξύ του συντελεστή εκμετάλλευσης και της ελικτότητας υποδηλώνει πως με την αύξηση της ελικτότητας αυξάνεται και ο συντελεστής εκμετάλλευσης.
- Από τη συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ με την οριζόντια ακτίνα της καμπύλης, προέκυψαν οι εξής αντιπροσωπευτικές τιμές για το 15%, 50% και 85% των οχημάτων:
  - Για ακτίνες  $\leq 150$  m οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 24% - 33%, 47% - 59% και 75% - 91% αντίστοιχα.
  - Για ακτίνες μεταξύ 150 m και 250 m οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 15% - 24%, 32% - 47% και 57% - 75% αντίστοιχα.
  - Για ακτίνες  $> 250$  m οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 1% - 15%, 13% - 32% και 32% - 57% αντίστοιχα.
- Από τη συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά RAL με την οριζόντια ακτίνα της καμπύλης και βάσει των κλάσεων σχεδιασμού των γερμανικών υπεραστικών οδών, προέκυψαν οι εξής αντιπροσωπευτικές τιμές για το 15%, 50% και 85% των οχημάτων:
  - Για τη κλάση σχεδιασμού EKL 2 οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 1% - 5%, 13% - 17% και 28% - 34% αντίστοιχα.
  - Για τη κλάση σχεδιασμού EKL 3 οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 1% - 11%, 13% - 25% και 28% - 46% αντίστοιχα.
  - Για τη κλάση σχεδιασμού EKL 4 οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 5% - 19%, 17% - 38% και 34% - 63% αντίστοιχα.
  - Για ακτίνες  $\leq 200$  m οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 19% - 33%, 38% - 59% και 63% - 90% αντίστοιχα.
- Από τη συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ με την ελικτότητα της καμπύλης, προέκυψαν οι εξής αντιπροσωπευτικές τιμές για το 15%, 50% και 85% των οχημάτων:
  - Για ελικτότητα  $\leq 250$  gon/km οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 1% - 13%, 7% - 32% και 24% - 55% αντίστοιχα.
  - Για ελικτότητα μεταξύ 250 gon/km και 500 gon/km οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 13% - 27%, 32% - 51% και 55% - 82% αντίστοιχα.
  - Για ελικτότητα  $> 500$  gon/km οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 24% - 27%, 48% - 51% και 75% - 82% αντίστοιχα.
- Από τη συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης κατά RAL με την ελικτότητα της καμπύλης, προέκυψαν οι εξής αντιπροσωπευτικές τιμές για το 15%, 50% και 85% των οχημάτων:
  - Για ελικτότητα  $\leq 250$  gon/km οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 1% - 14%, 7% - 30% και 21% - 52% αντίστοιχα.
  - Για ελικτότητα μεταξύ 250 gon/km και 500 gon/km οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 14% - 28%, 30% - 51% και 52% - 79% αντίστοιχα.
  - Για ελικτότητα  $> 500$  gon/km οι συντελεστές  $n_{15}$ ,  $n_{50}$  και  $n_{85}$  κυμάνθηκαν μεταξύ των τιμών 24% - 28%, 48% - 51% και 75% - 79% αντίστοιχα.
- Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους συντελεστές εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ λήφθηκε το συμπέρασμα πως οι ελληνικοί κανονισμοί ανταποκρίνονται

ικανοποιητικά ως προς τη τιμή του συντελεστή εκμετάλλευσης στις περιπτώσεις οδήγησης με μικρότερες ταχύτητες και στο μέσο οδηγό που δεν θα υπερβεί εύκολα το όριο ταχύτητας και θα επιλέξει ταχύτητες πλησίον αυτού. Ωστόσο οι ΟΜΟΕ-Χ δεν είναι ρεαλιστικοί ως προς το 85% των οδηγών που κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες. Στη περίπτωση αυτή προτείνεται η αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης που προτείνεται από τους κανονισμούς ώστε να ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες κίνησης και να είναι ρεαλιστικός.

- Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τους συντελεστές εκμετάλλευσης κατά RAL λήφθηκε το ίδιο συμπέρασμα με αυτό που αναφέρθηκε ως προς τους ΟΜΟΕ-Χ. Λαμβάνοντας υπόψη το μεγαλύτερο ποσοστό των οδηγών στο οποίο εμπεριέχονται και οι οδηγοί που κινούνται με μεγαλύτερες ταχύτητες, διαπιστώθηκε πως οι RAL δεν είναι ρεαλιστικοί ως προς την επιλογή του συντελεστή εκμετάλλευσης. Επίσης, το παραπάνω συμπέρασμα έχει ισχύ κυρίως για τις κλειστές καμπύλες με οριζόντια ακτίνα μικρότερη των 200 m και ελικτότητα μεγαλύτερη από 250 gon/km. Στη περίπτωση αυτή προτείνεται η αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης που προτείνεται από τους κανονισμούς ώστε να ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες κίνησης και να είναι ρεαλιστικός.
- Από τη διερεύνηση του συντελεστή εκμετάλλευσης για ημέρα και νύχτα, διαπιστώθηκε πως οι συντελεστές κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL έλαβαν μεγαλύτερες τιμές κατά τη διάρκεια της ημέρας λόγω του γεγονότος ότι οι ταχύτητες των οχημάτων που καταγράφηκαν την ημέρα ήταν μεγαλύτερες από ότι τη νύχτα.
- Συγκρίνοντας τις τιμές του μέγιστου συντελεστή τριβής στους αμερικανικούς κανονισμούς με τις τιμές του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή τριβής στους ελληνικούς και γερμανικούς κανονισμούς, διαπιστώθηκε πως οι αμερικανικοί κανονισμοί προτείνουν μεγαλύτερους συντελεστές για ταχύτητες έως και 100 km/h. Δεδομένου ότι οι συντελεστές πλευρικής τριβής κατά AASHTO ισοδυναμούν με τα όρια άνεσης των οδηγών στις διάφορες ταχύτητες, προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι αμερικανικοί κανονισμοί θέτουν σημαντικά μεγαλύτερα όρια άνεσης κυρίως στις μικρές ταχύτητες έως 50 km/h. Για μεγαλύτερες ταχύτητες, οι διαφορές μεταξύ των κανονισμών είναι σχετικά μικρές, με τις τιμές στους κανονισμούς RAL να είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές των άλλων κανονισμών.
- Οι αμερικανικοί κανονισμοί ASSHTO 2018 φαίνεται να υιοθετούν κατά προσέγγιση τη τιμή  $n = 50\%$  ως συντελεστή εκμετάλλευσης του μέγιστου συντελεστή πλευρικής τριβής, τιμή που προέκυψε κατά αντιστοιχία με τις τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης των ευρωπαϊκών κανονισμών.
- Από τη διενέργεια στατιστικών ελέγχων προέκυψε πως οι συντελεστές εκμετάλλευσης κατά ΟΜΟΕ-Χ και RAL παρουσίαζαν στατιστικά θετική συσχέτιση με το δείκτη ατυχημάτων και τον αριθμό των ατυχημάτων ανά καμπύλη. Προέκυψε μια ανοδική τάση του δείκτη ατυχημάτων με την αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης, καθώς στη περίπτωση που ένα όχημα απαιτήσει μεγαλύτερη πλευρική τριβή και κατά συνέπεια μεγαλύτερο ποσοστό εκμετάλλευσης, τότε θεωρείται πως κινείται στα όρια και η πιθανότητα ολίσθησής του και συνεπώς και η πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος αυξάνεται. Ωστόσο σημειώνεται πως το δείγμα ατυχημάτων ήταν μικρό και δεν μπορούν να ληφθούν ασφαλή συμπεράσματα.
- Από τα μοντέλα logit που δημιουργήθηκαν για τη συσχέτιση του συντελεστή εκμετάλλευσης με τη πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος, προέκυψε πως για αύξηση των προτεινόμενων από τους κανονισμούς συντελεστών εκμετάλλευσης άνω του 60%, η πιθανότητα πρόκλησης ατυχήματος αυξάνεται σημαντικά.

## 6.2 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

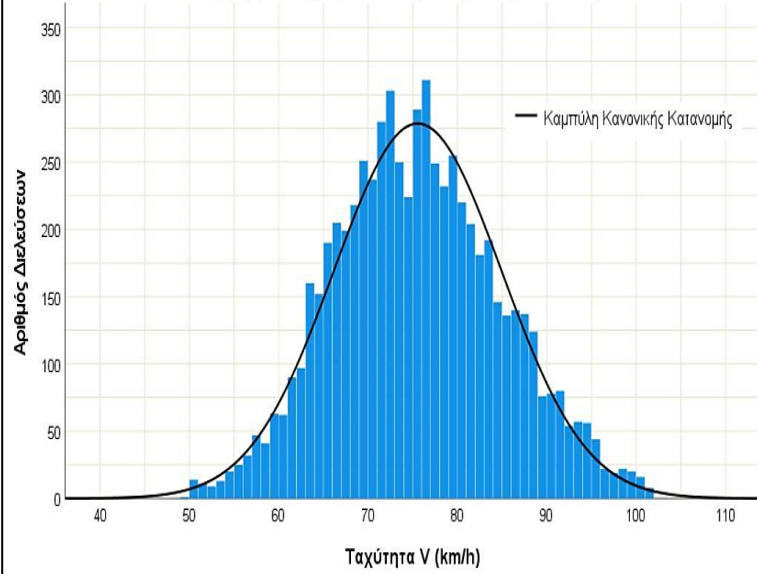
Από την ανάλυση των δεδομένων και τις διαδικασίες που εφαρμόστηκαν ώστε να προκύψουν τα τελικά συμπεράσματα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, ανέκυψαν ορισμένες προτάσεις περαιτέρω έρευνας. Οι προτάσεις αυτές θα μπορούσαν να διερευνηθούν κατάλληλα και κατ' επέκταση να συνεισφέρουν στην εξέλιξη της παρούσας έρευνας.

1. Να γίνουν υπολογισμοί για άλλους τύπους οχημάτων πέρα των επιβατικών, όπως για τις κατηγορίες βαρέων οχημάτων και για δίκυκλα. Στη παρούσα εργασία παρότι ήταν διαθέσιμα τα δεδομένα ταχυτήτων, δεν αξιοποιήθηκαν για τις παραπάνω κατηγορίες. Προτείνεται λοιπόν η διερεύνηση του συντελεστή εκμετάλλευσης για τις συγκεκριμένες περιπτώσεις οχημάτων.
2. Οι τιμές πλευρικών επιταχύνσεων ίσως έχουν κάποια απόκλιση από τις πραγματικές καθότι ένα ποσοστό της πλευρικής επιτάχυνσης πιθανώς να απορροφάται από τις αναρτήσεις των οχημάτων. Προτείνεται η διερεύνηση της παραπάνω επίδρασης στις τιμές τόσο του συντελεστή πλευρικής τριβής όσο και του συντελεστή εκμετάλλευσης.
3. Κατά το στάδιο της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκε η βασική εξίσωσης δυναμικής της κίνησης των οχημάτων η οποία, παρά το ότι χρησιμοποιείται και προτείνεται από πολλούς κανονισμούς, εντούτοις δεν λαμβάνει υπόψη της παραμέτρους όπως τα επιμέρους χαρακτηριστικά των οχημάτων, τη κατακόρυφη χάραξη της οδού κ.α. Προτείνεται η χρήση ενός πιο σύνθετου μοντέλου υπολογισμού των συντελεστών πλευρικής τριβής για την ανάλυση της συμπεριφοράς του οχήματος κατά τη διέλευση από μια καμπύλη.
4. Οι μετρήσεις ταχυτήτων πραγματοποιήθηκαν σε στεγνό οδόστρωμα με αποτέλεσμα οι αντιπροσωπευτικές τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης που υπολογίστηκαν να αφορούν ουσιαστικά το συγκεκριμένο τύπο οδοστρώματος. Προτείνεται η αξιοποίηση δεδομένων ταχυτήτων για βρεγμένο οδόστρωμα ώστε να διερευνηθούν οι τυχόν αποκλίσεις του συντελεστή εκμετάλλευσης μεταξύ των 2 περιπτώσεων.
5. Προτείνεται η εξέταση της επίδρασης της πραγματικής τροχιάς των οχημάτων σε μια καμπύλη ανάλογα με τη γωνία αλλαγής κατεύθυνσης στις τιμές των μεγεθών όπως της ταχύτητας, του συντελεστή πλευρικής τριβής και του συντελεστή εκμετάλλευσης.
6. Προτείνεται η χρήση μεγαλύτερου δείγματος ατυχημάτων και η αξιοποίησή του για τη περαιτέρω διερεύνηση της συσχέτισης με το συντελεστή εκμετάλλευσης. Επίσης προτείνεται η διερεύνηση της συσχέτισης των ατυχημάτων με το συντελεστή εκμετάλλευσης σε συνθήκες ημέρας και νύχτας.

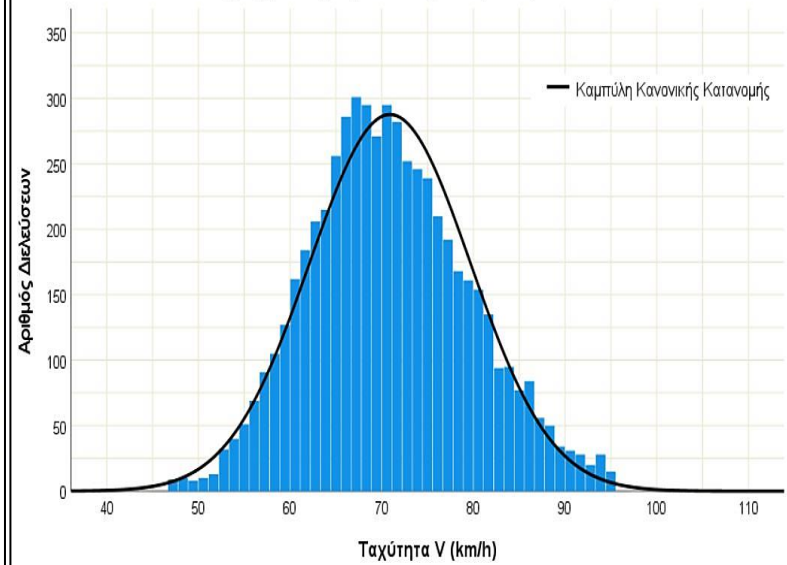


**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1**  
**ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ**

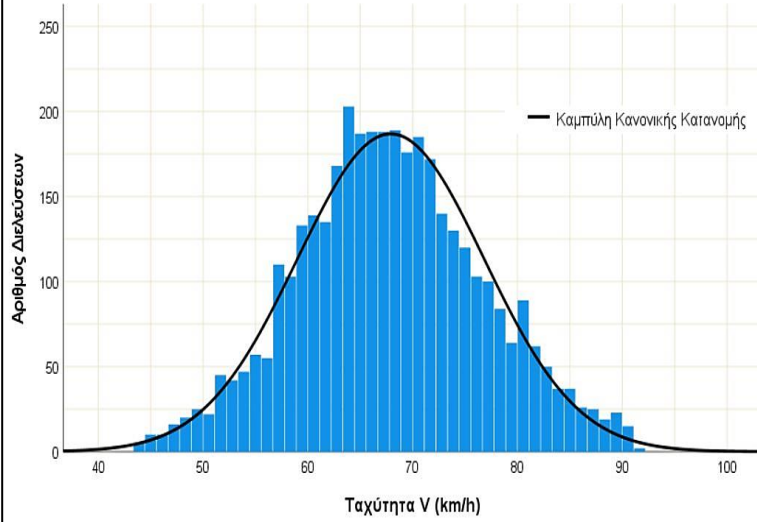
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ01 (R = 200 m)



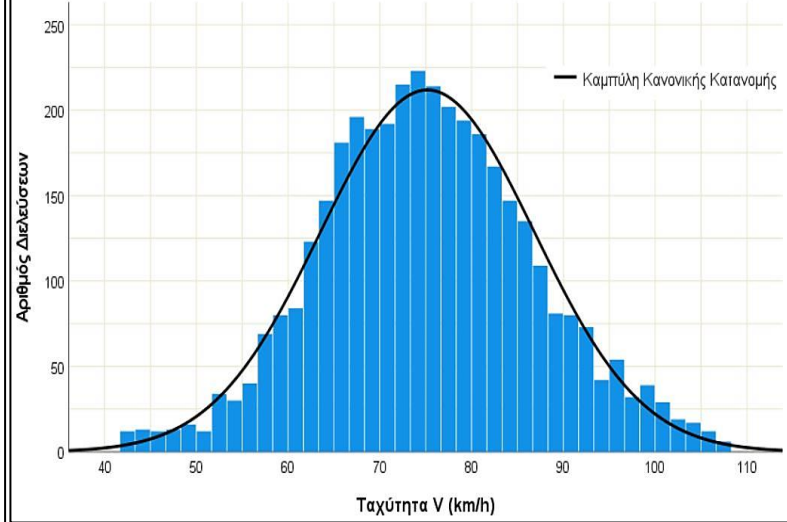
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ02 (R = 180 m)



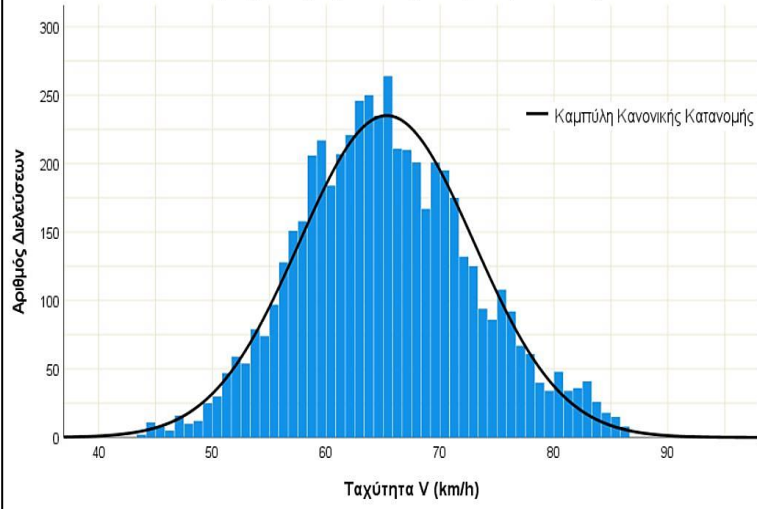
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ03 (R = 175 m)



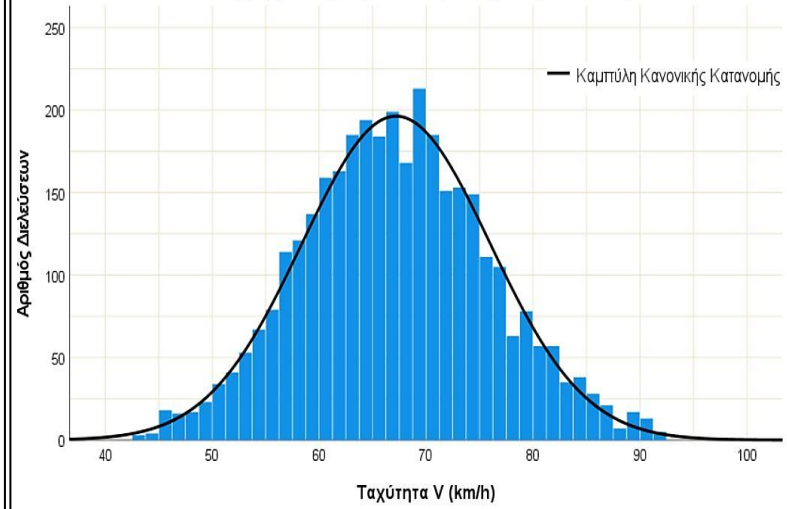
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ04 (R = 250 m)



Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ05 (R = 160 m)

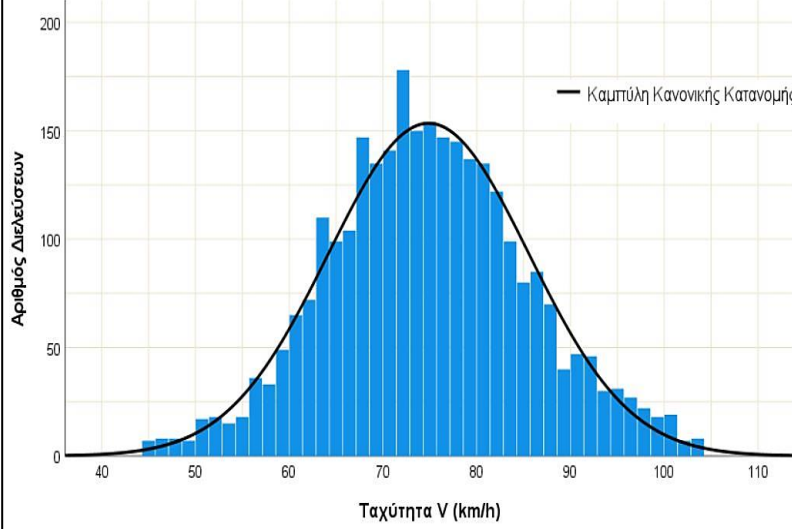


Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ06 (R = 180 m)

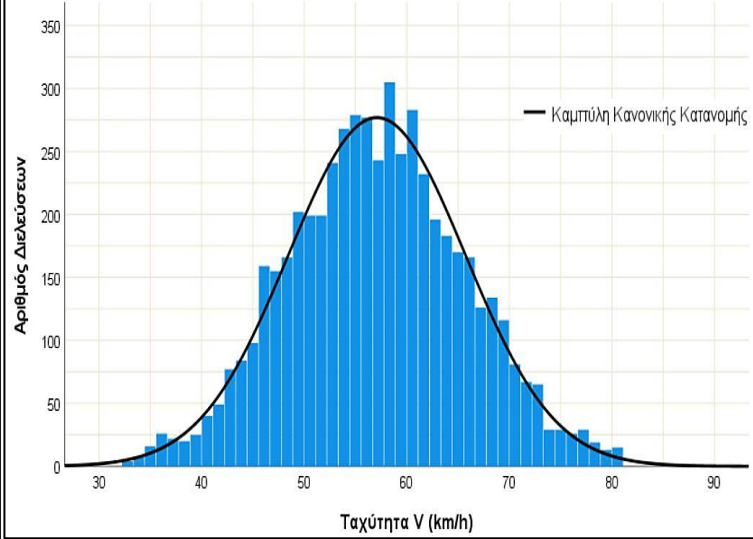




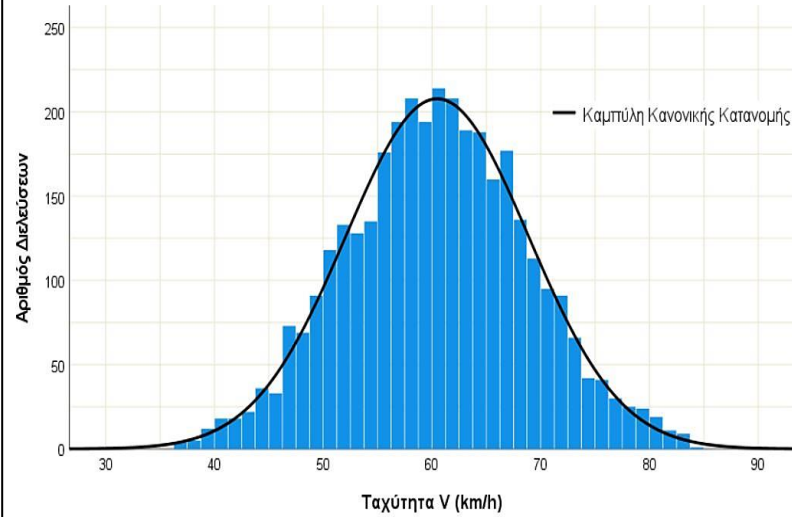
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ07 (R = 600 m)



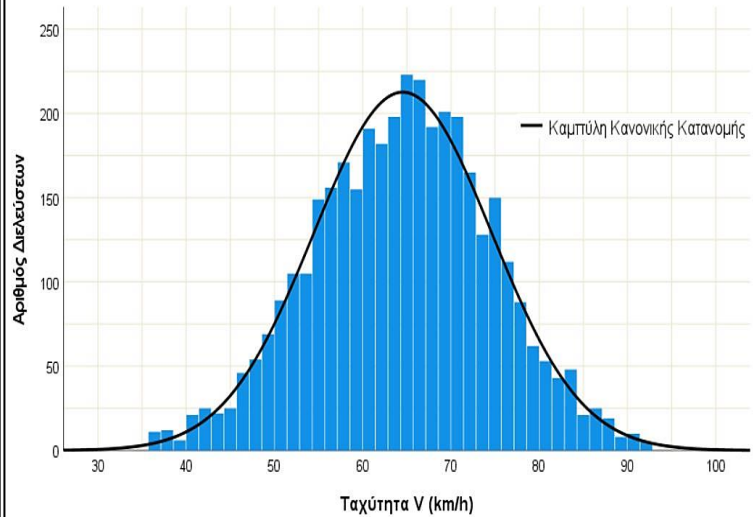
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ08 (R = 120 m)



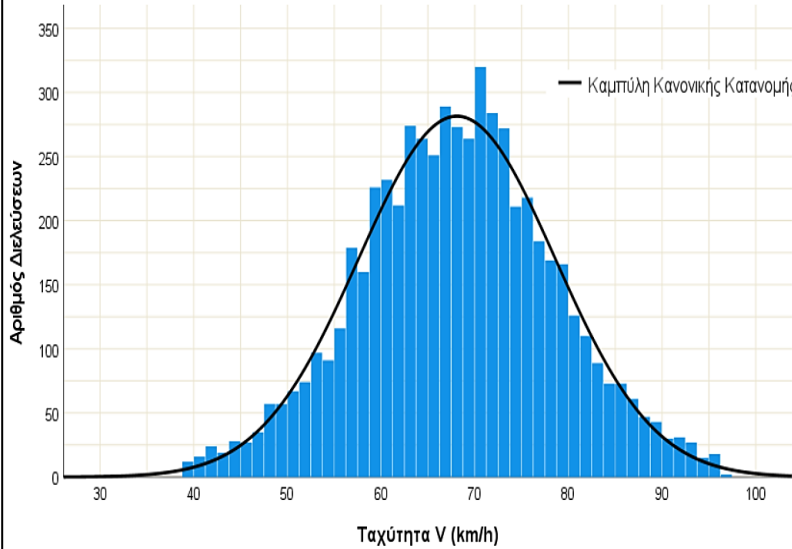
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ09 (R = 120 m)



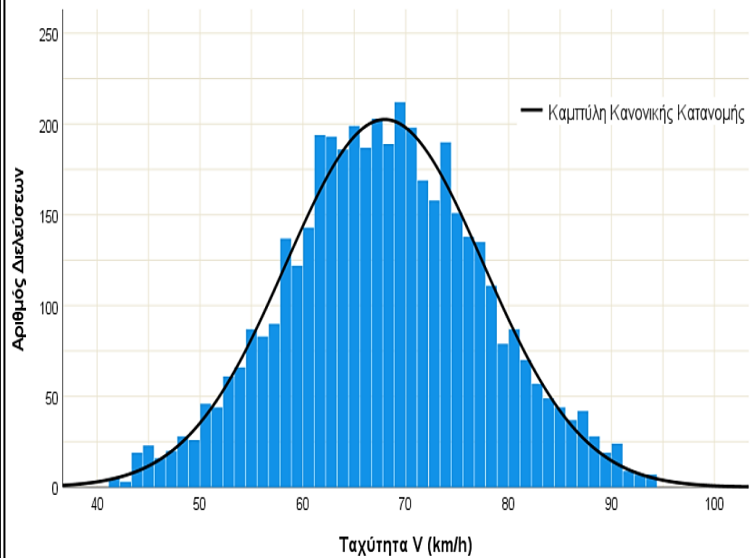
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ10A (R = 135 m)



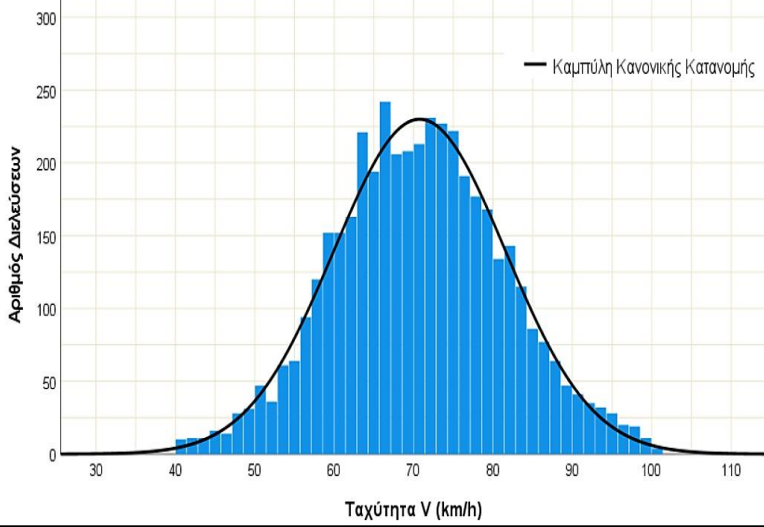
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ10B (R = 135 m)



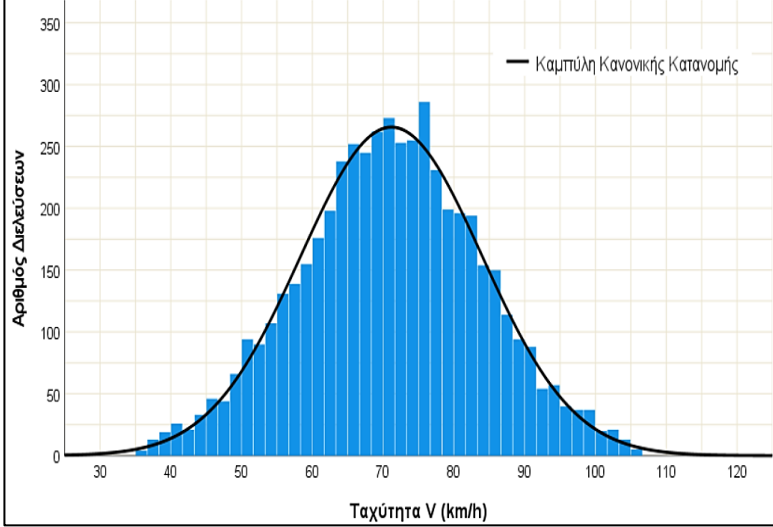
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ11 (R = 230 m)



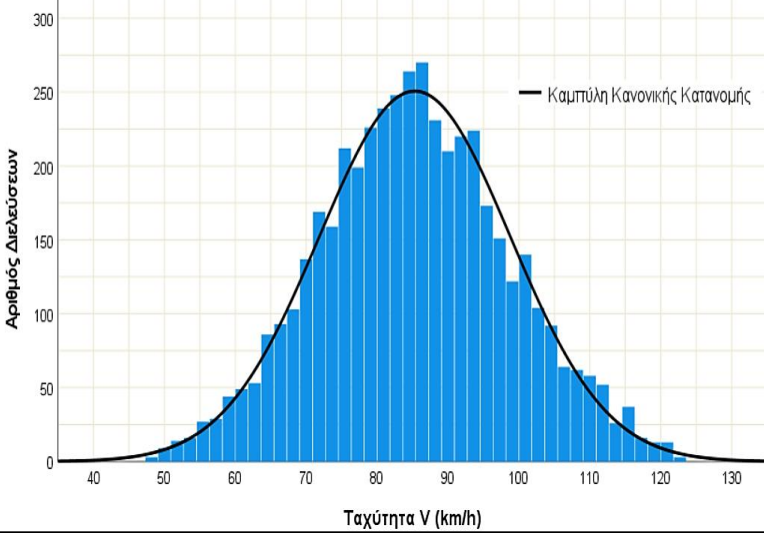
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ12Α (R = 280 m)



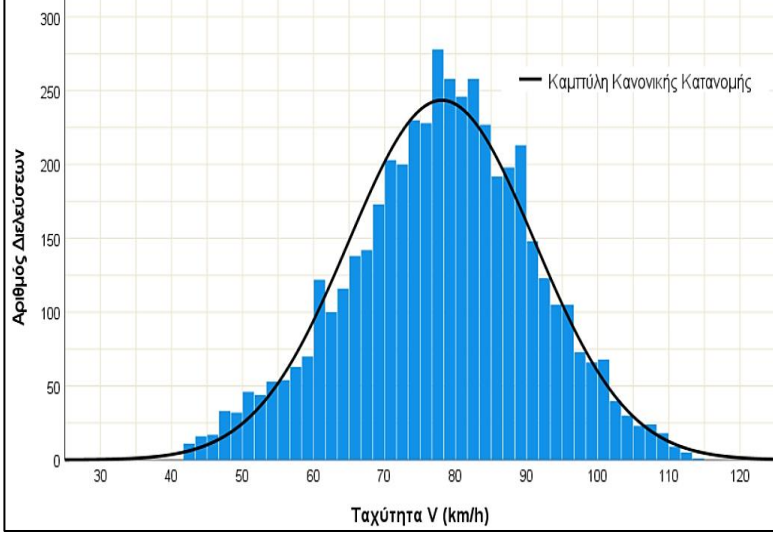
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ12B (R = 170 m)



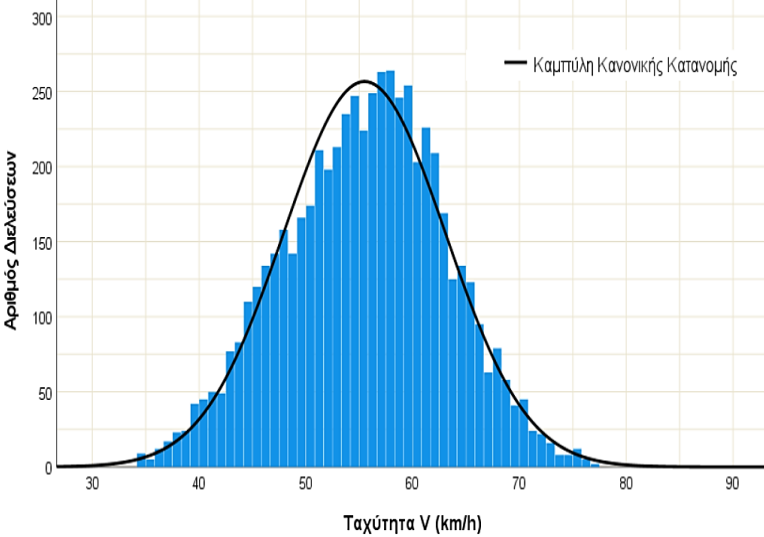
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ13Α (R = 520 m)



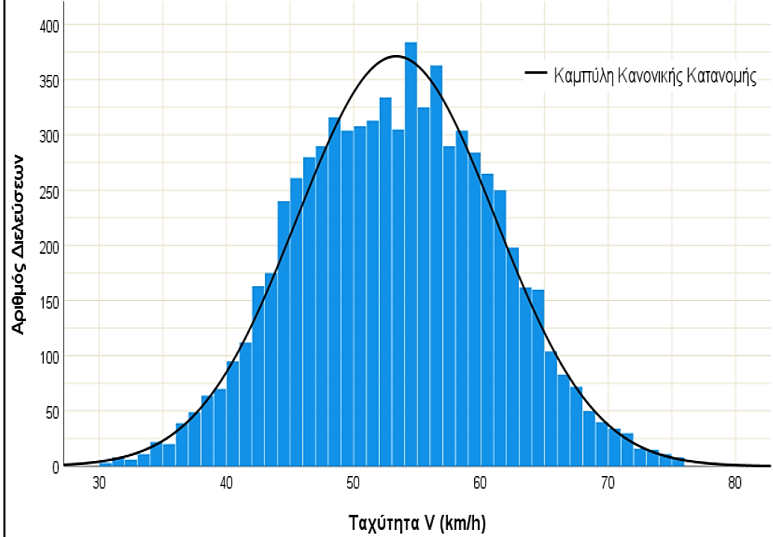
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ15 (R = 370 m)



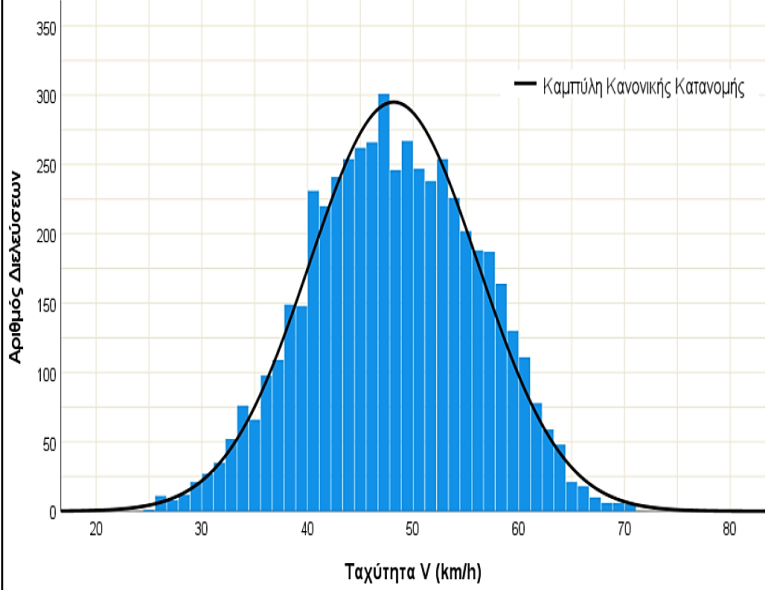
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ16 (R = 81,3 m)



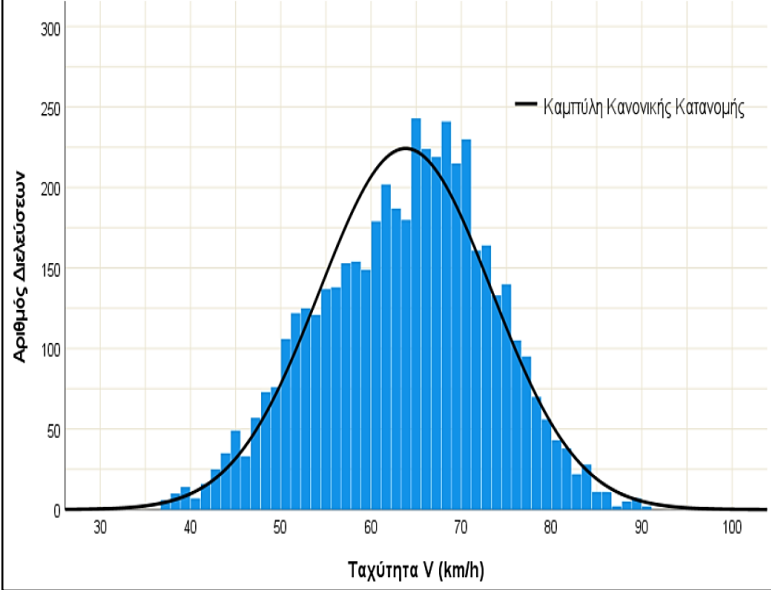
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ17Α (R = 95 m)



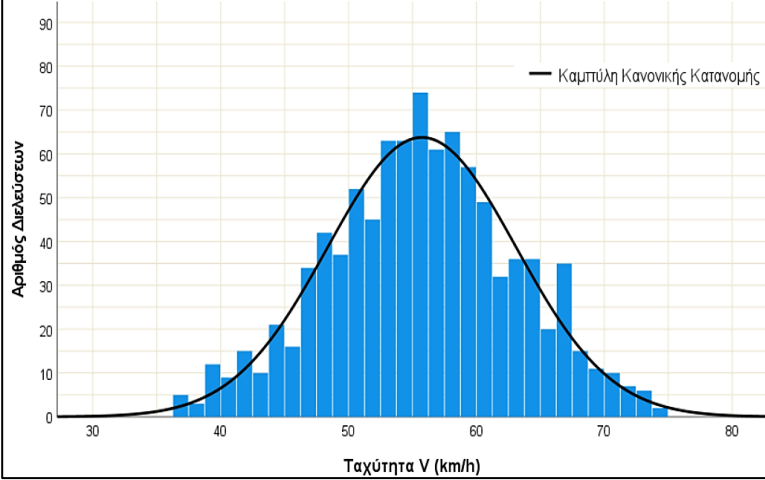
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ17B (R = 110 m)



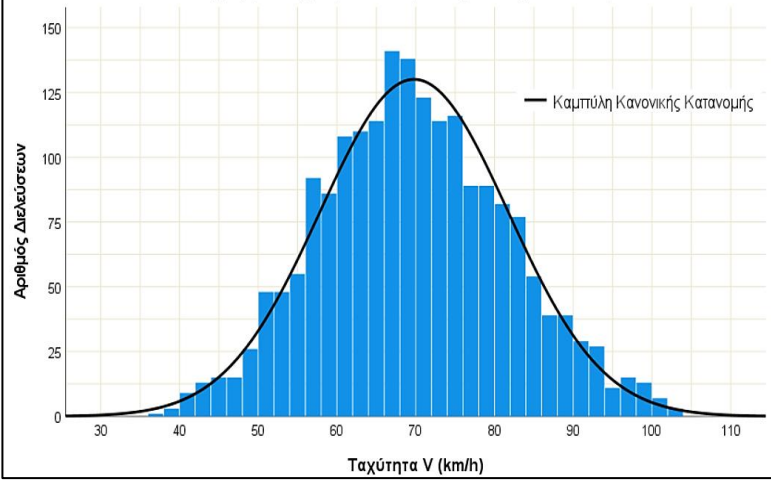
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ18 (R = 120 m)



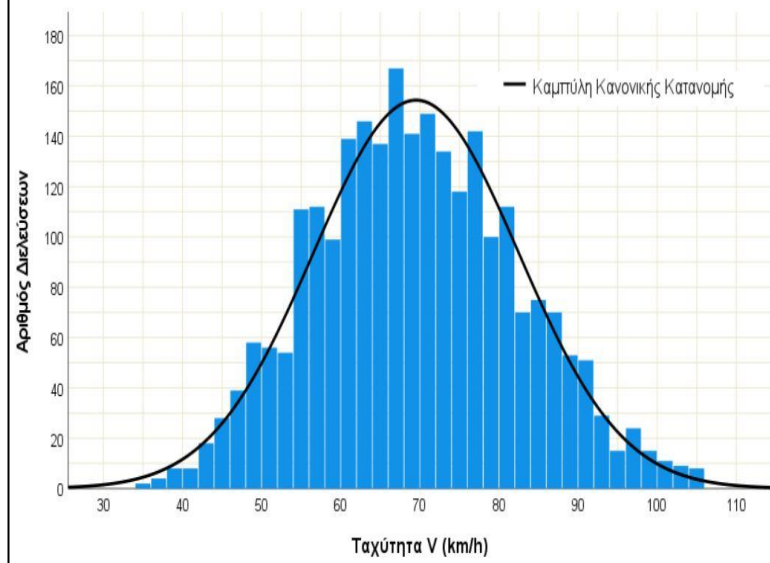
Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ19 (R = 100 m)



Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ20A (R = 375 m)

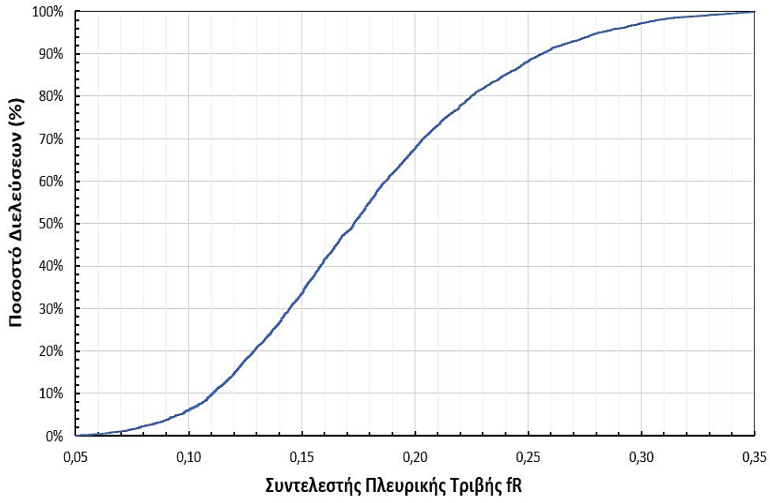


Ιστόγραμμα Ταχυτήτων - Καμπύλη Σ20B (R = 375 m)

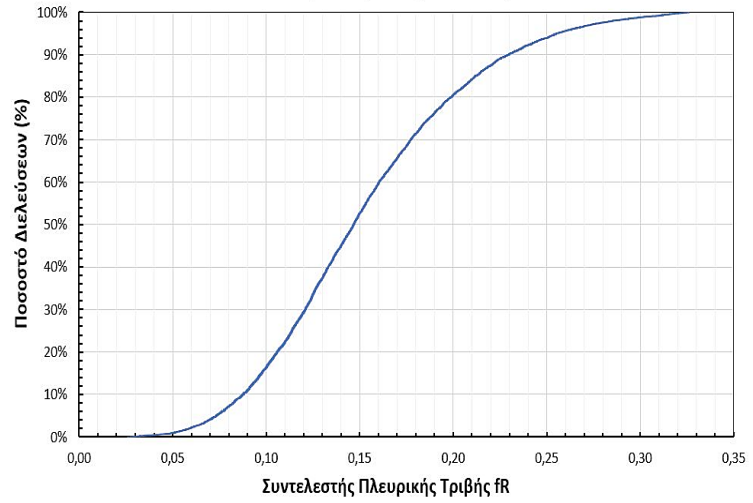


**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2**  
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ**

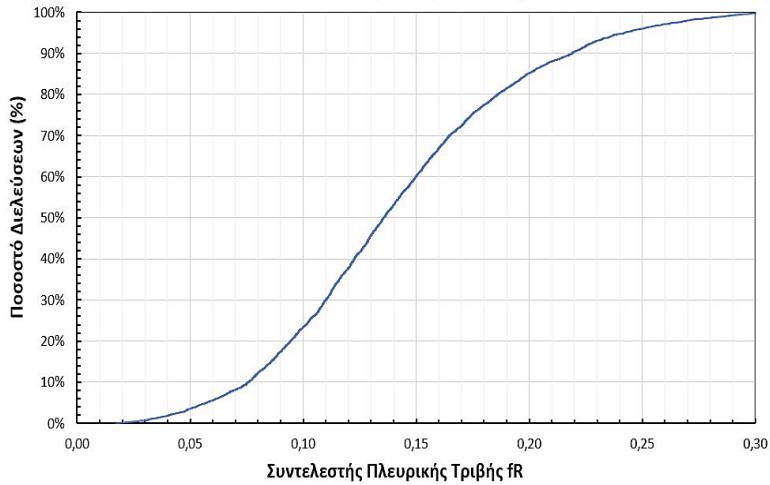
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ01 (R=200 m)



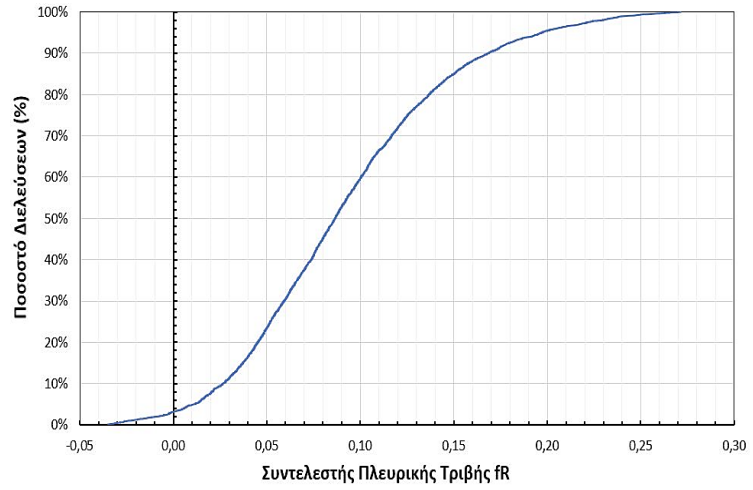
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ02 (R=180 m)



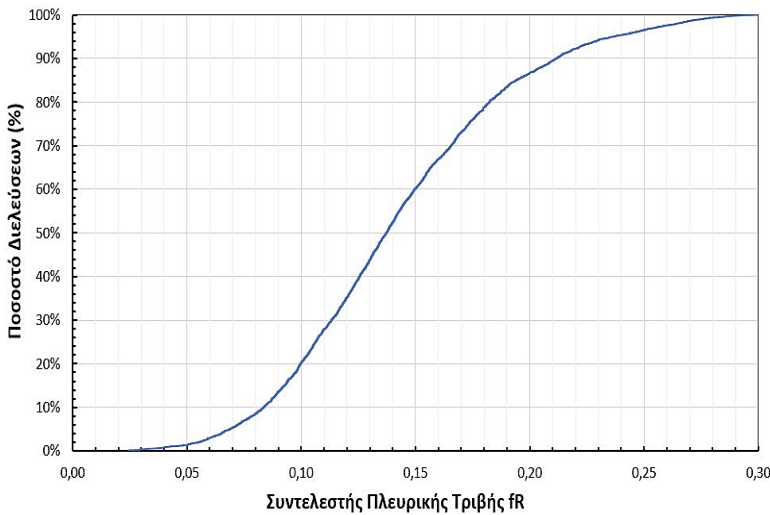
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ03 (R=175 m)



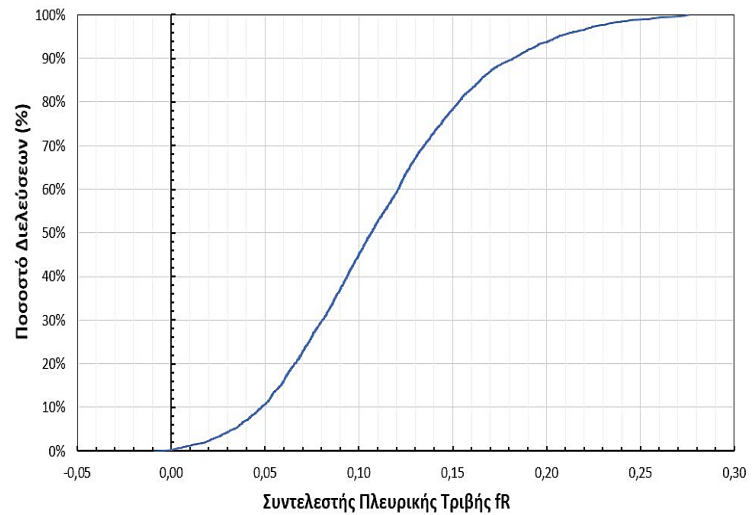
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ04 (R=250 m)



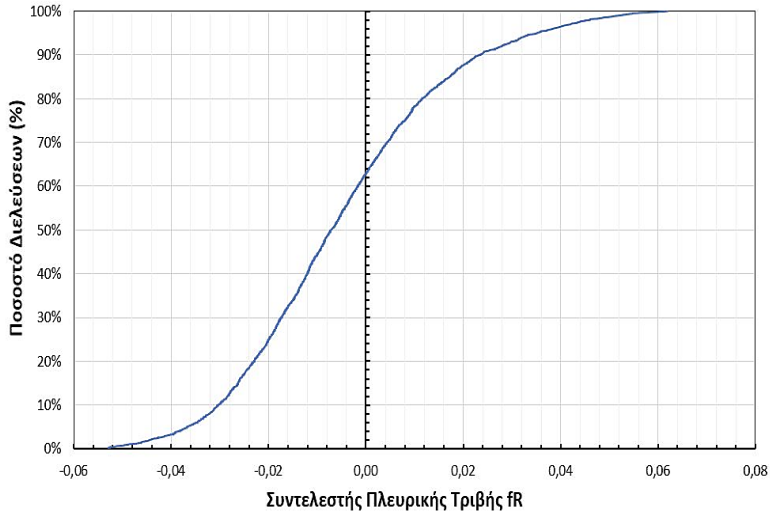
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ05 (R=160 m)



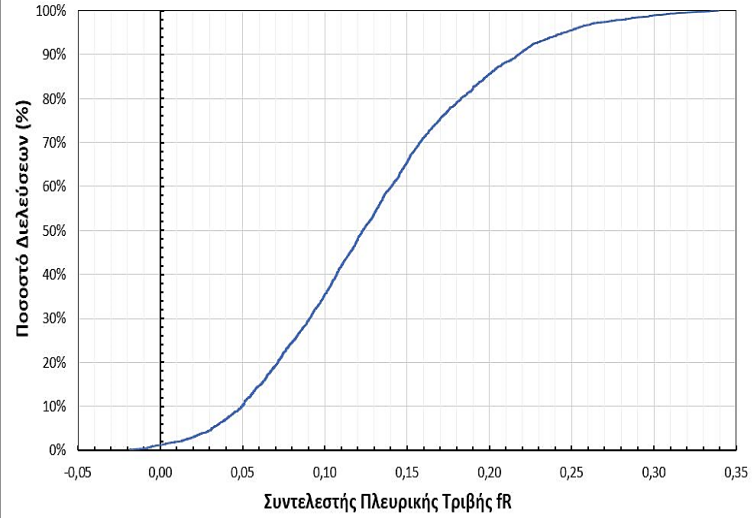
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ06 (R=180 m)



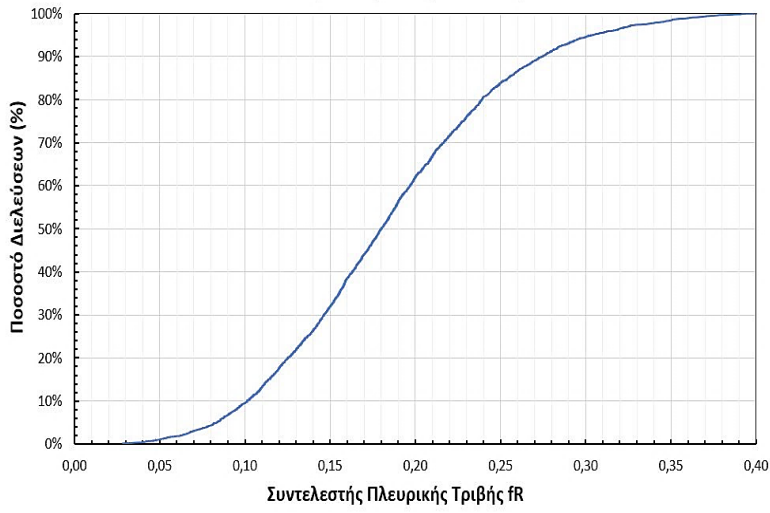
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ07 (R=600 m)



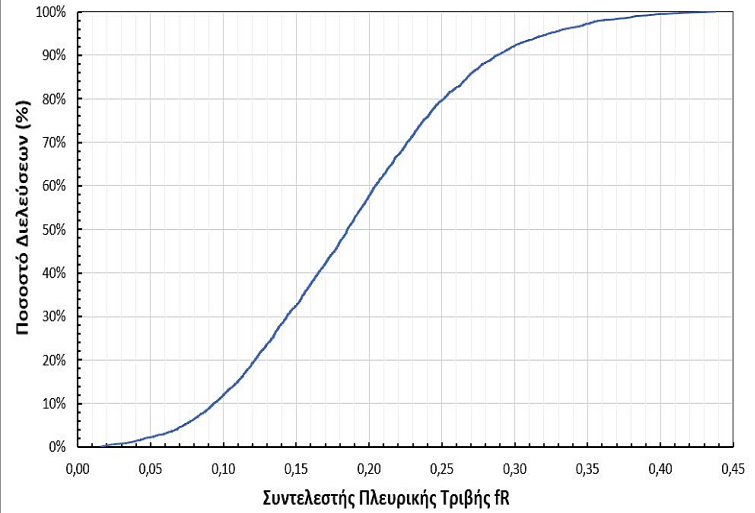
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ08 (R=120 m)



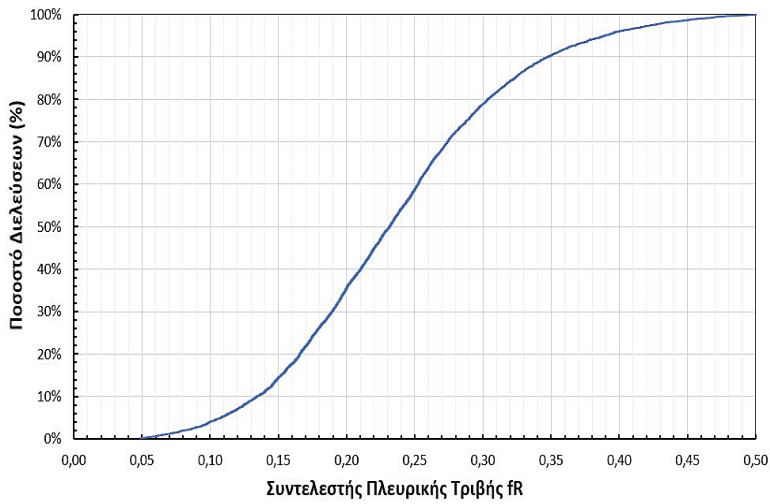
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ09 (R=120 m)



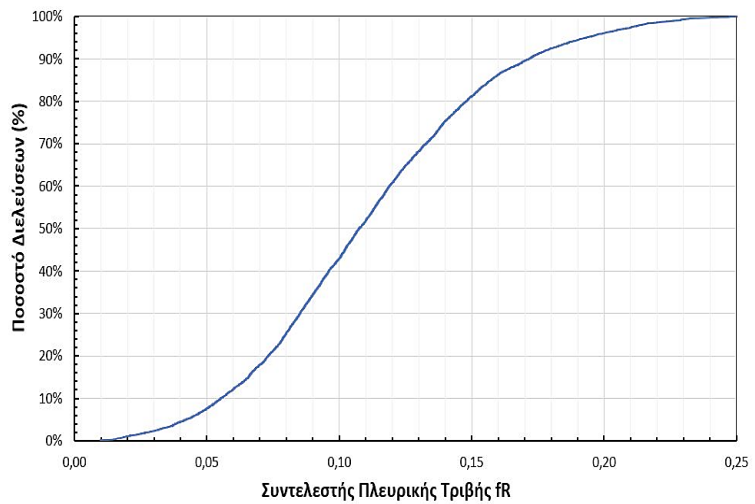
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ10Α (R=135 m)



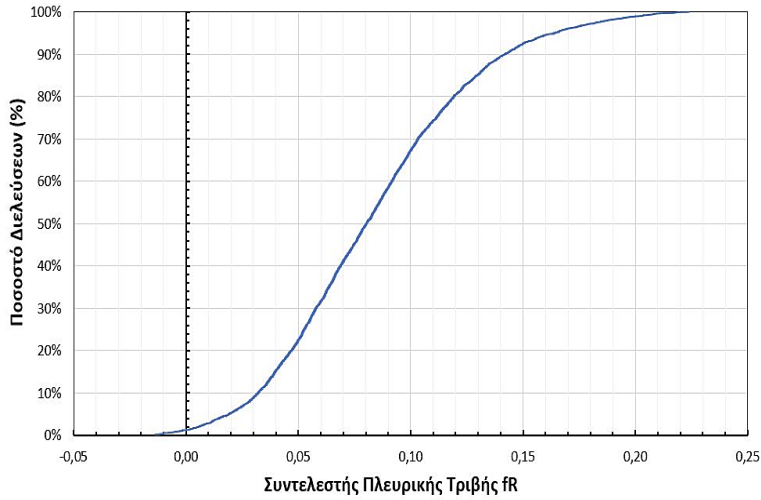
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ10Β (R=135 m)



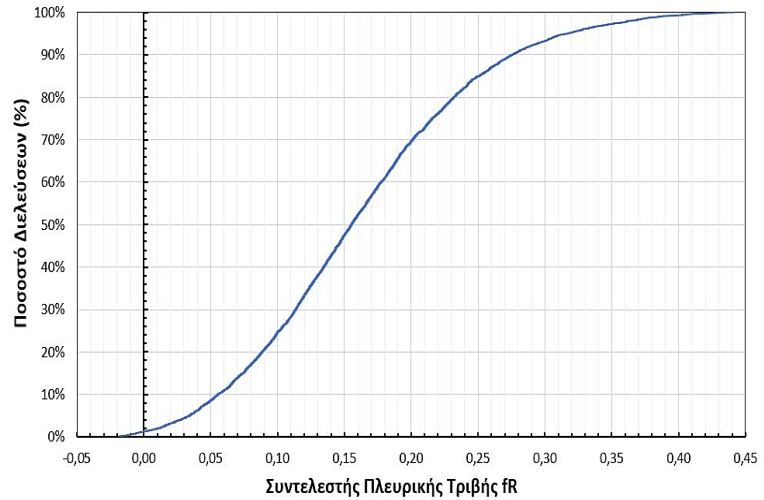
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ11 (R=230 m)



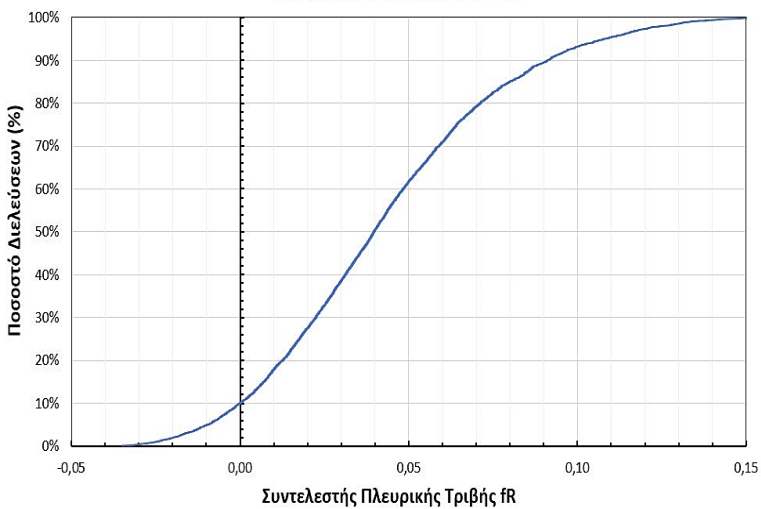
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ12A (R=280 m)



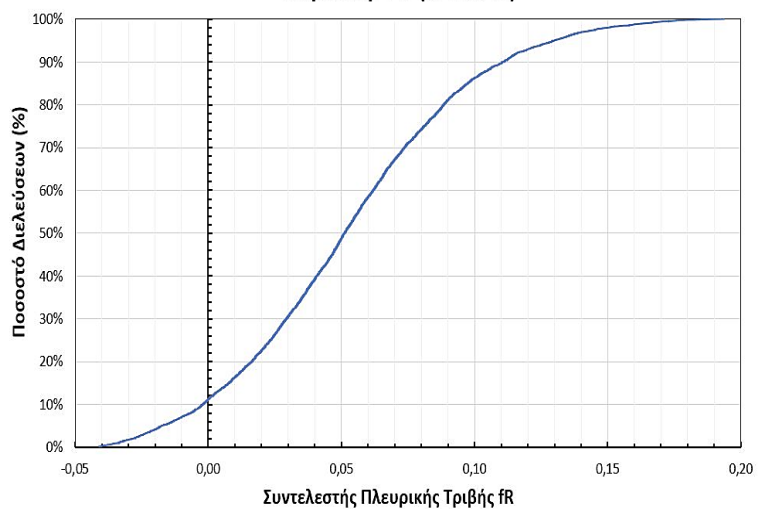
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ12B (R=170 m)



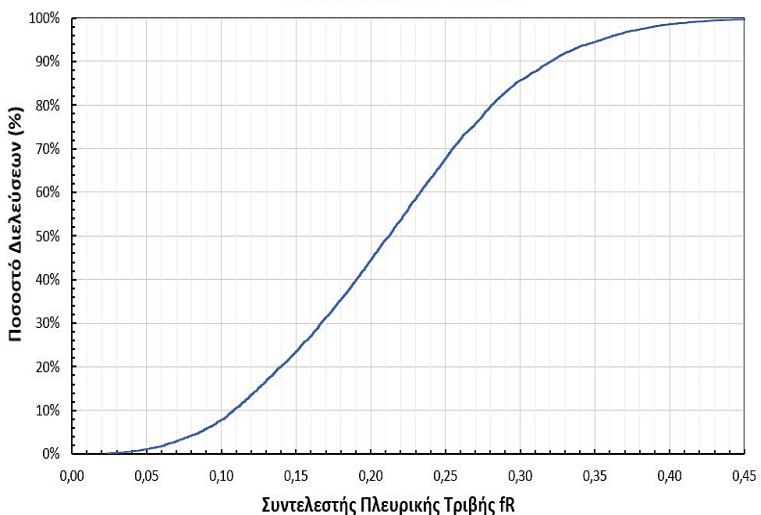
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ13A (R=520 m)



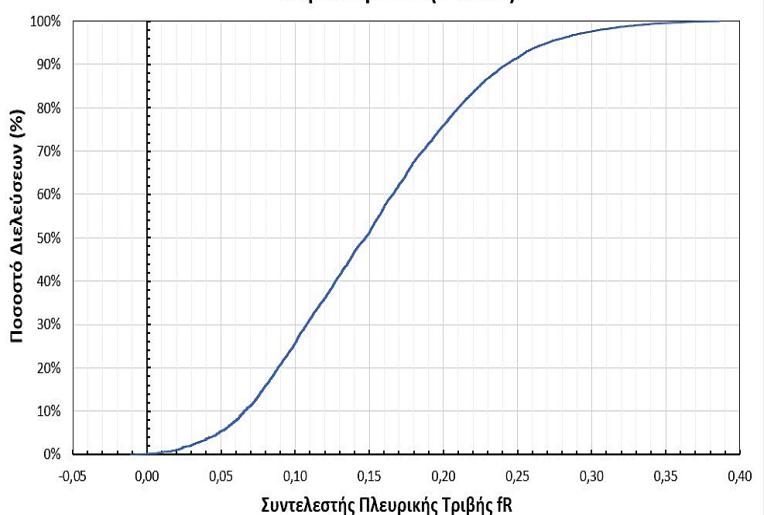
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ15 (R=370 m)



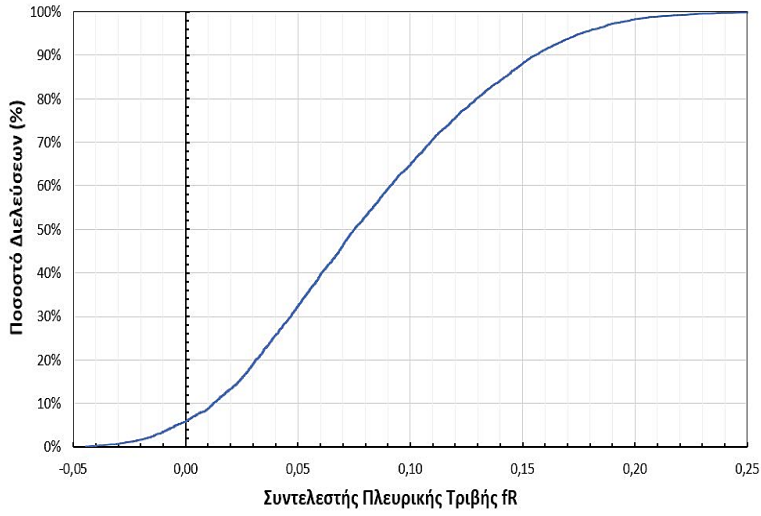
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ16 (R=81,3 m)



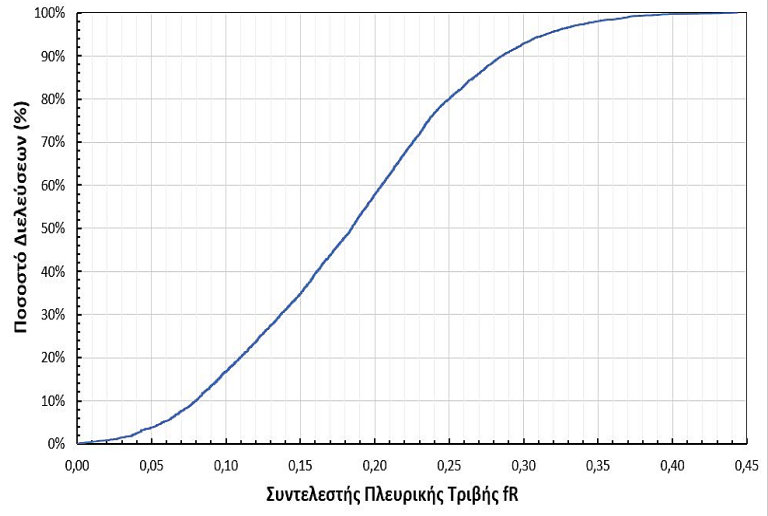
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ17A (R=95 m)



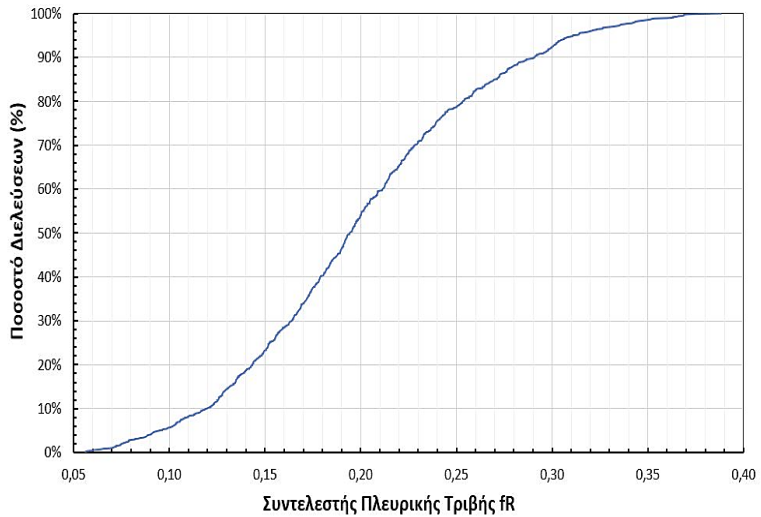
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ17B (R=110 m)



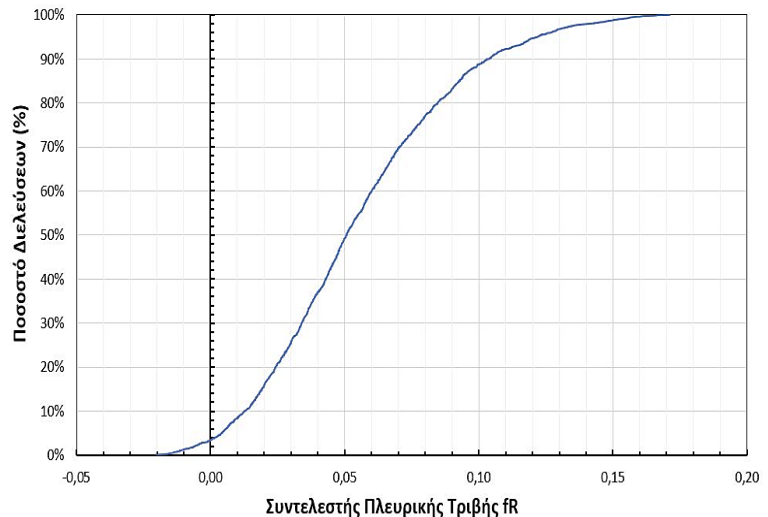
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ18 (R=120 m)



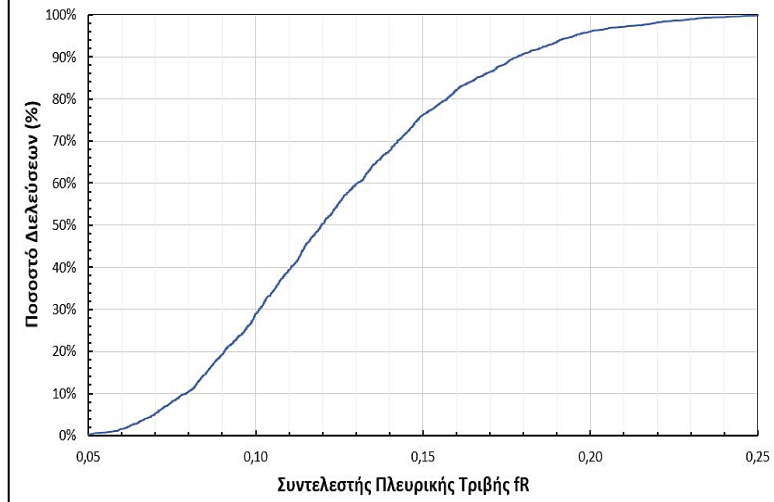
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ19 (R=100 m)



Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ20A (R=375 m)



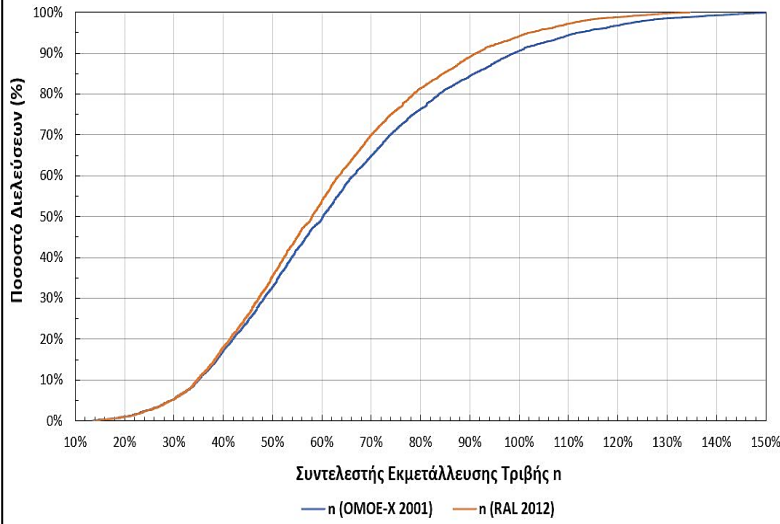
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Πλευρικής Τριβής  
Καμπύλη Σ20B (R=375 m)



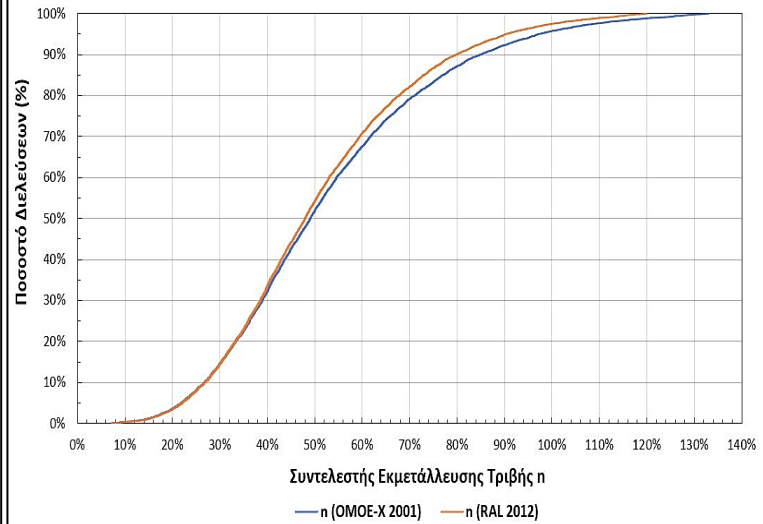


**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3**  
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΚΑΤΑ ΟΜΟΕ-Χ**  
**ΚΑΙ RAL**

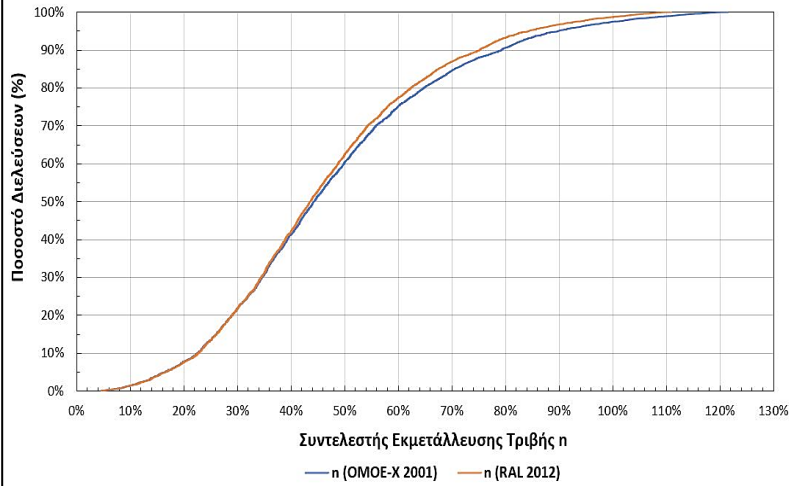
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ01 (R=200 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



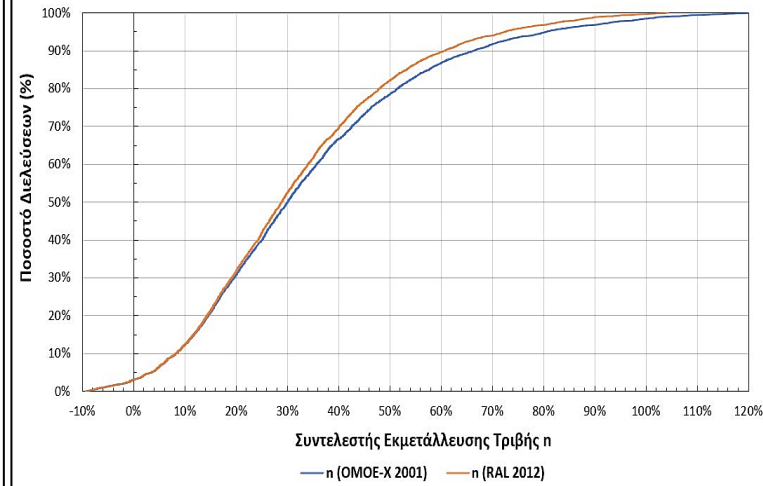
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ02 (R=180 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



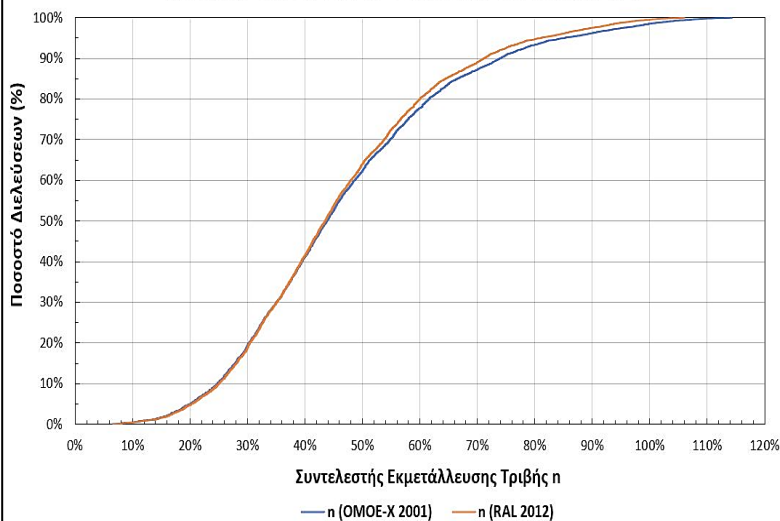
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ03 (R=175 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



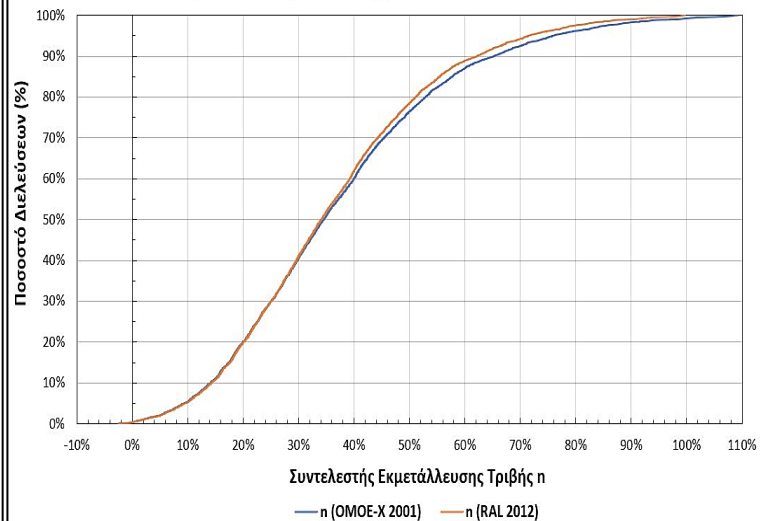
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ04 (R=250 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



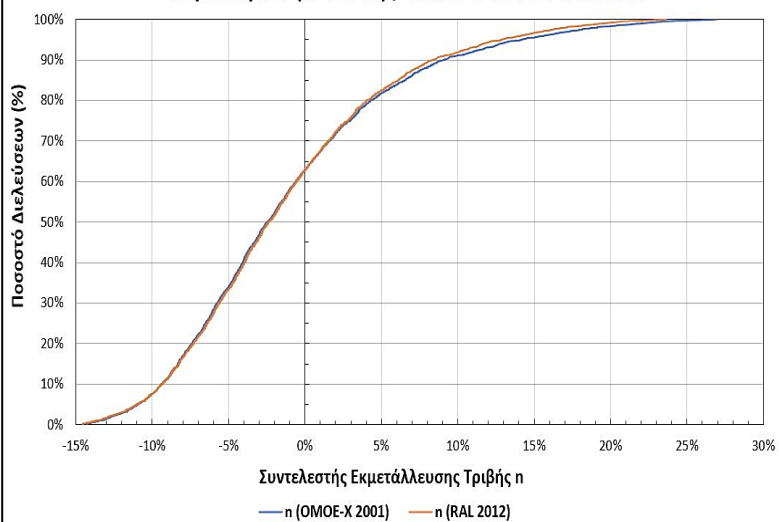
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ05 (R=160 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



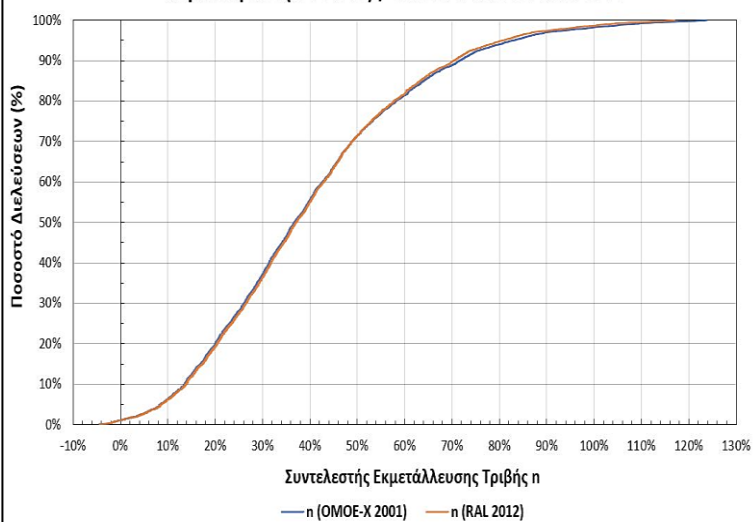
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ06 (R=180 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



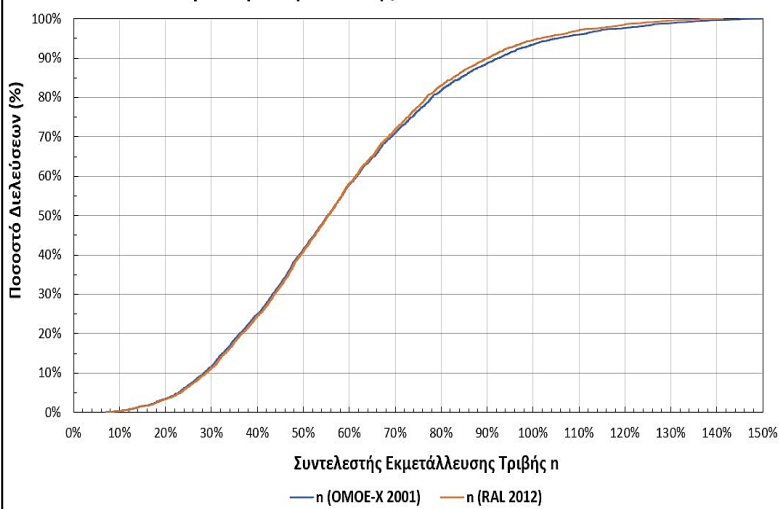
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ07 (R=600 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



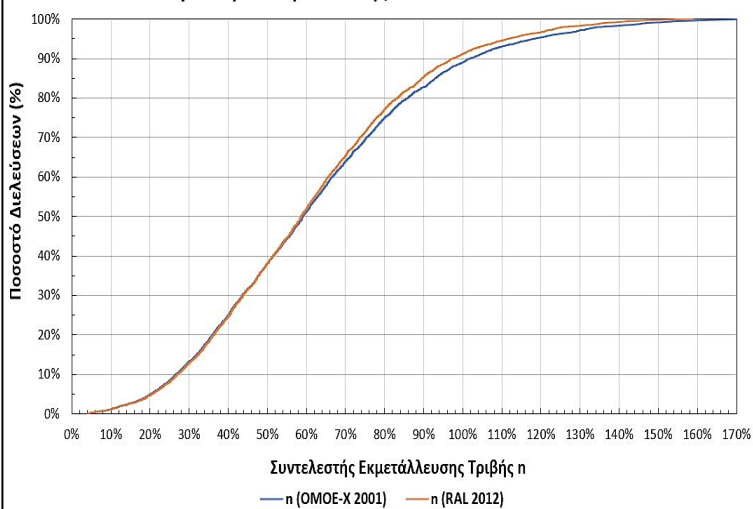
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ08 (R=120 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



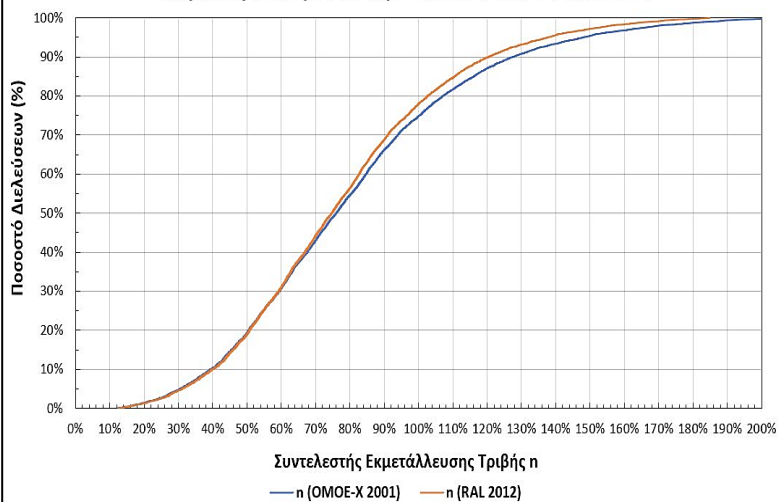
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ09 (R=120 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



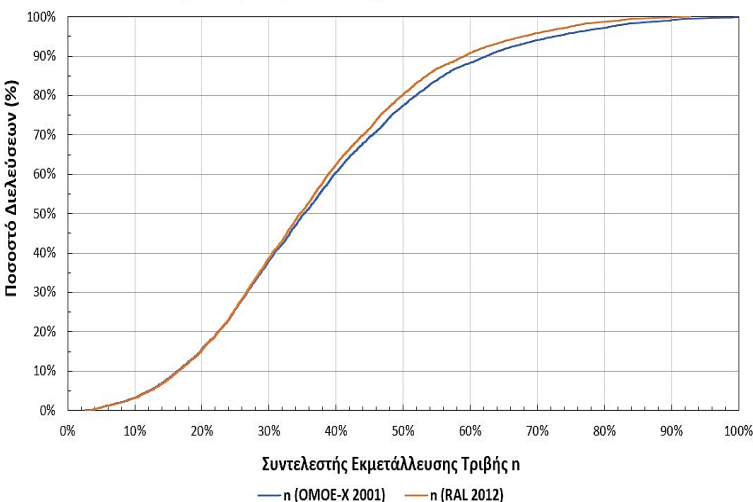
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ10Α (R=135 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



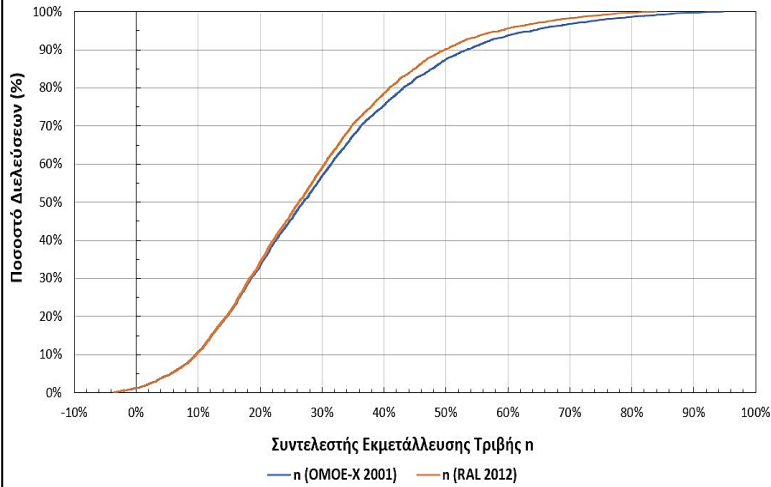
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ10Β (R=135 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



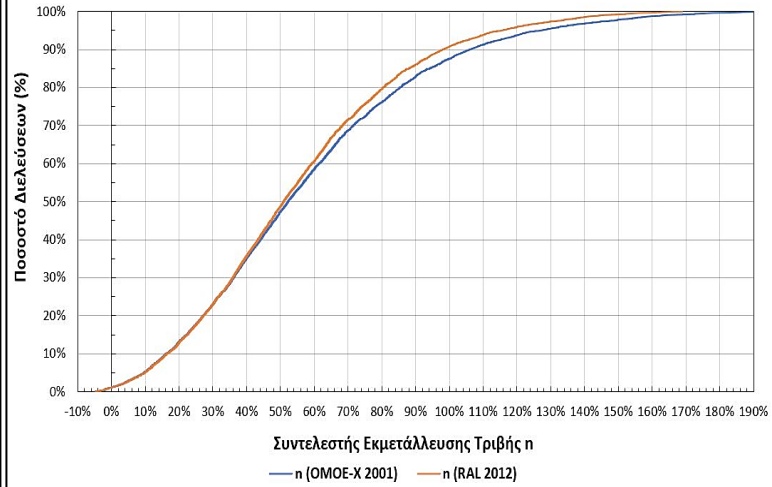
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ11 (R=230 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



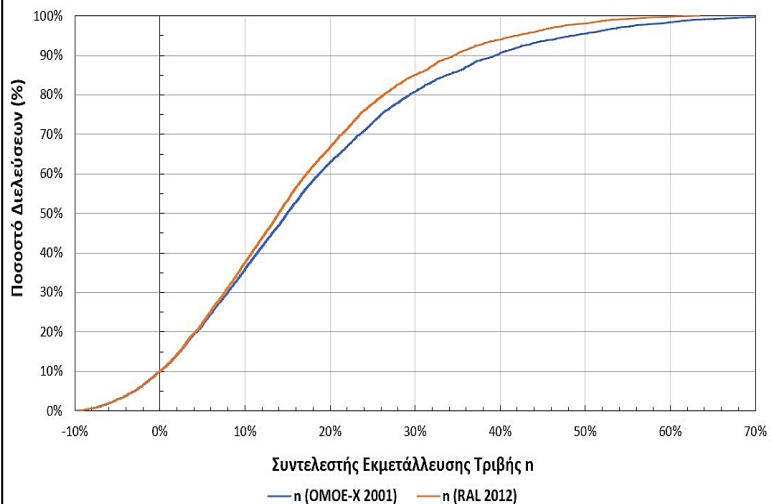
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ12A (R=280 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



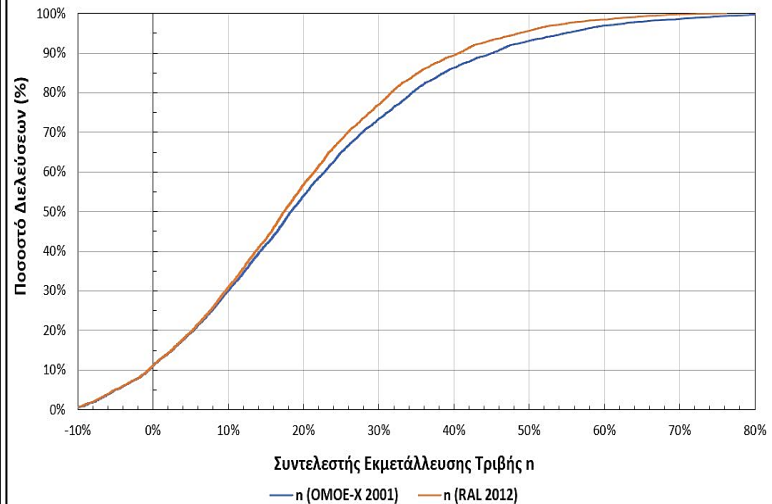
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ12B (R=170 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



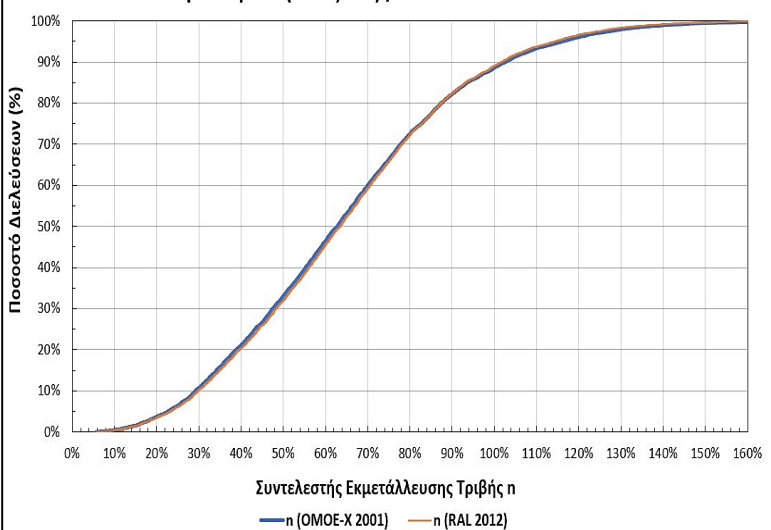
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ13A (R=520 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



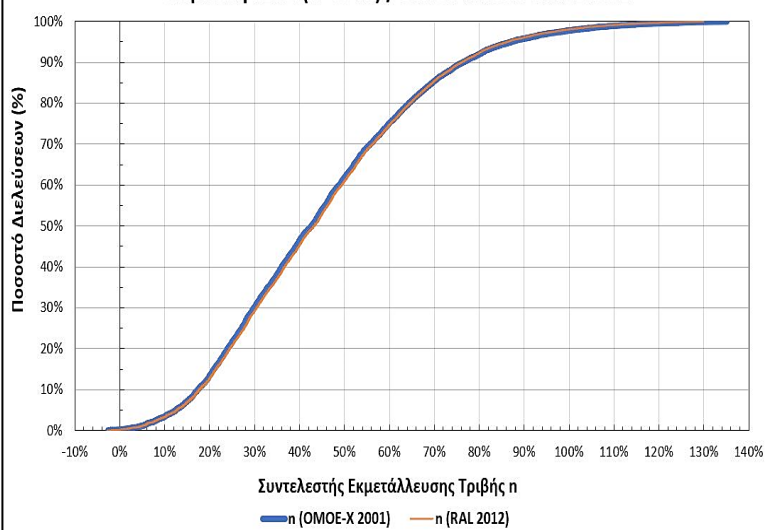
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ15 (R=370 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



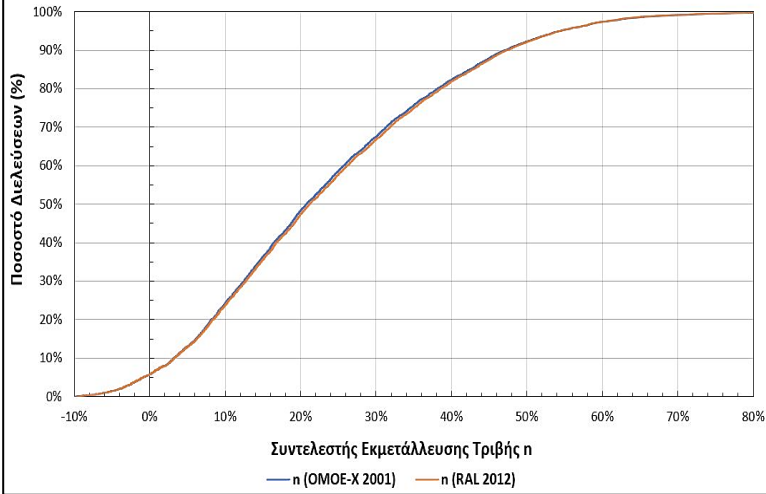
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ16 (R=81,3 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



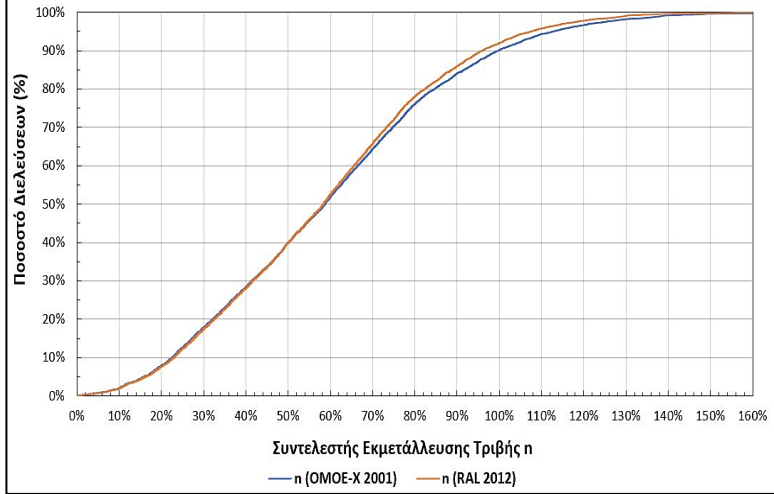
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ17A (R=95 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



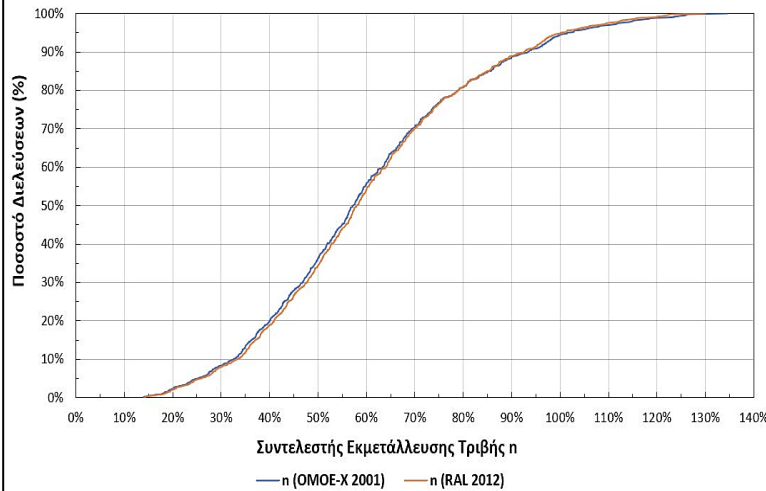
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ17B (R=110 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



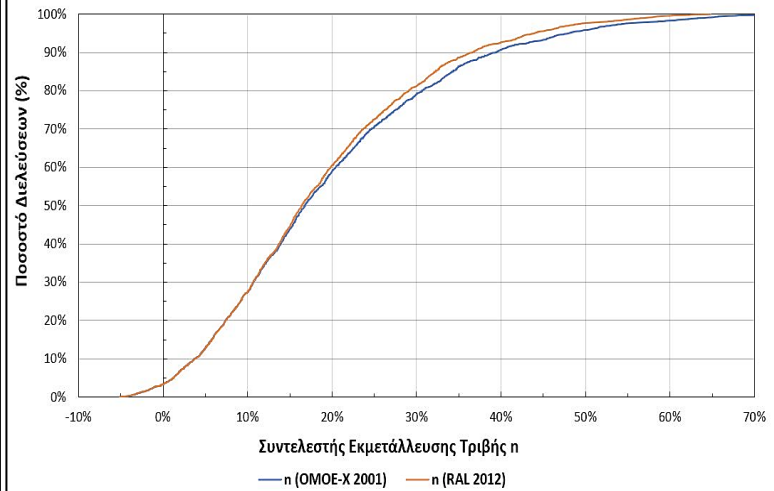
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ18 (R=120 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



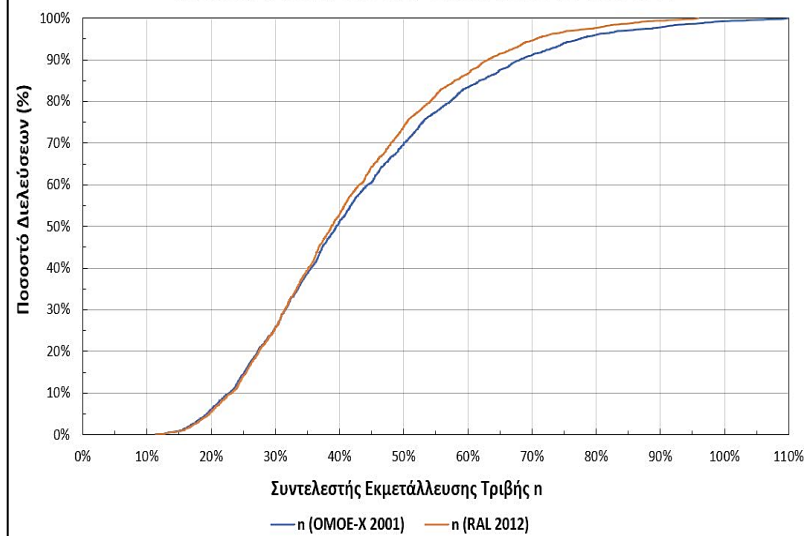
Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ19 (R=100 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ20A (R=375 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012

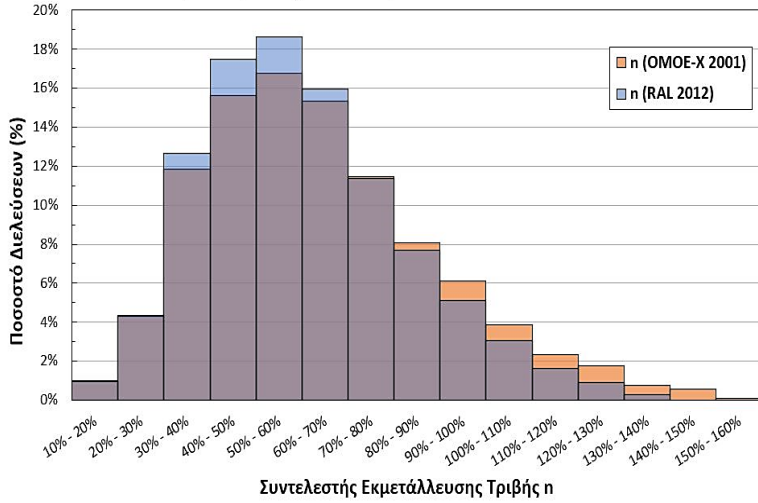


Συγκεντρωτικό Διάγραμμα Συντελεστών Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ20B (R=375 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012

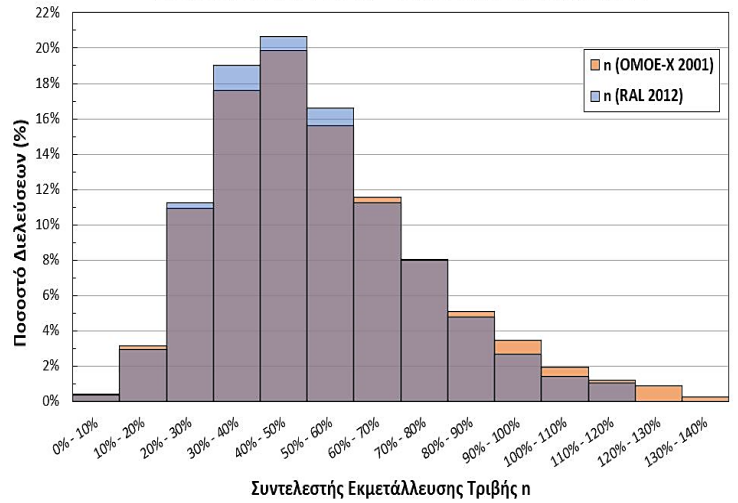


**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4**  
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΑΠΟ**  
**ΤΟΥΣ ΟΔΗΓΟΥΣ**

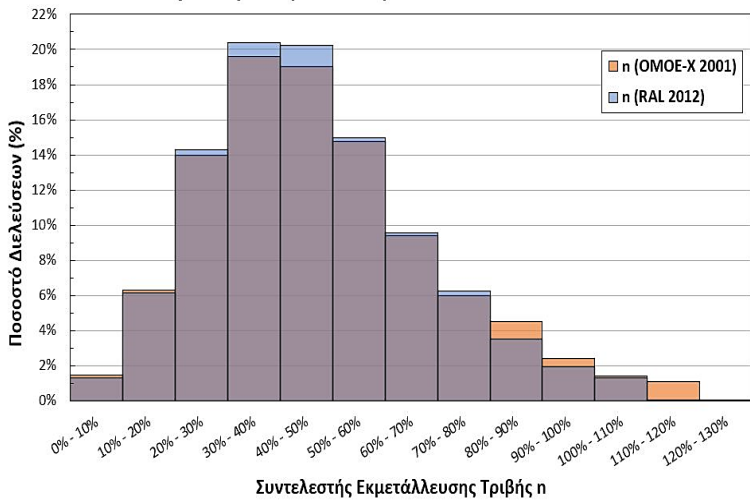
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ01 (R=200 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



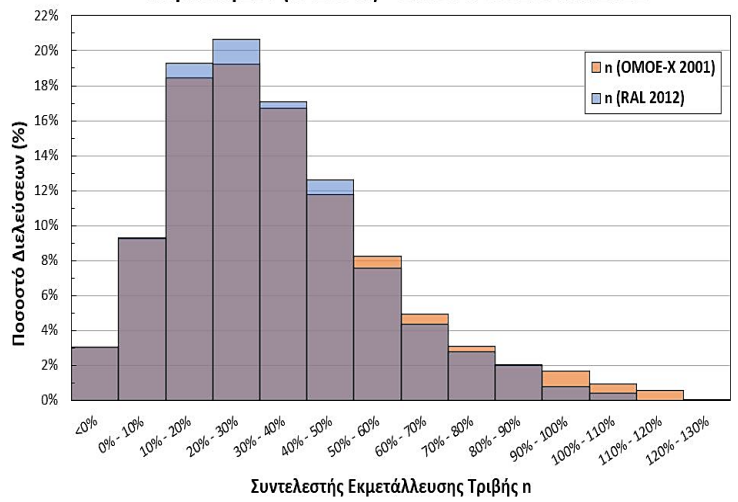
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ02 (R=180 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



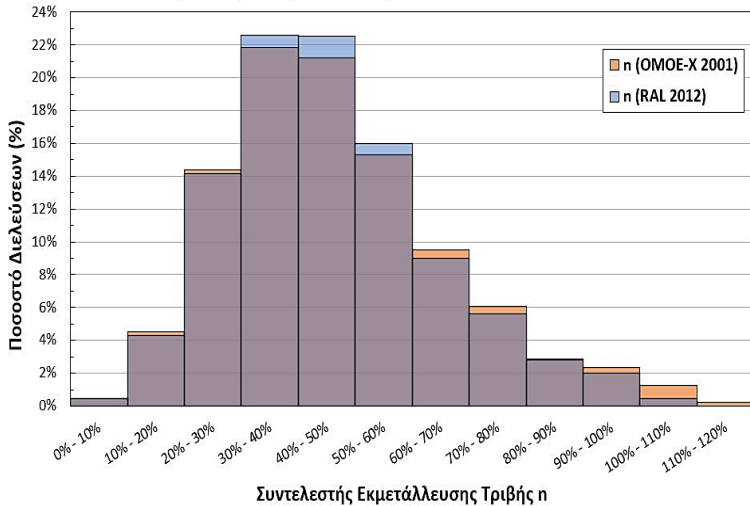
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ03 (R=175 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



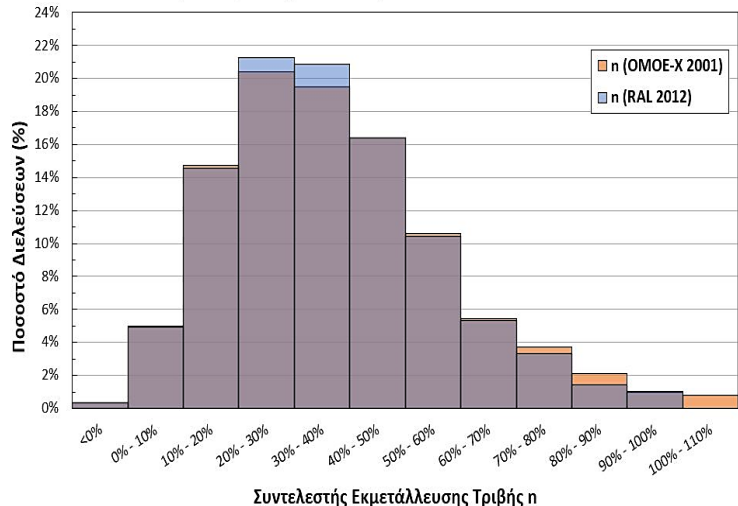
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ04 (R=250 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



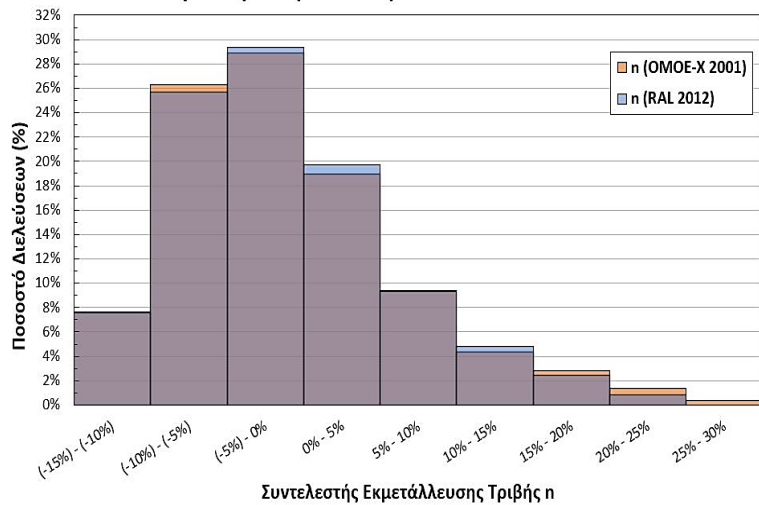
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ05 (R=160 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



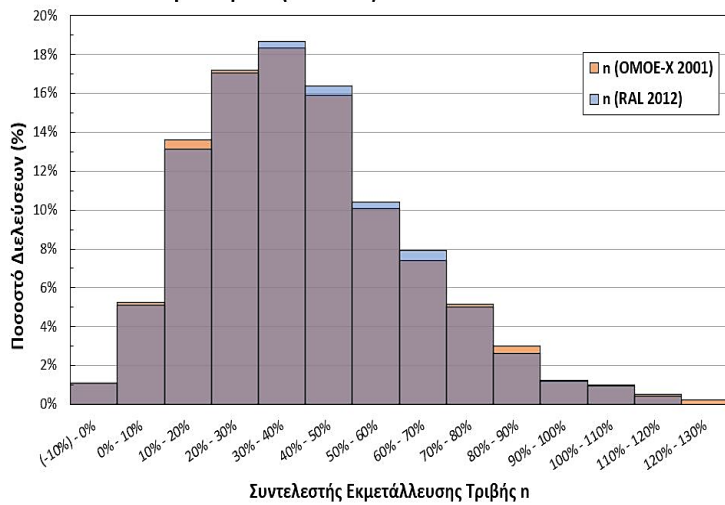
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ06 (R=180 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



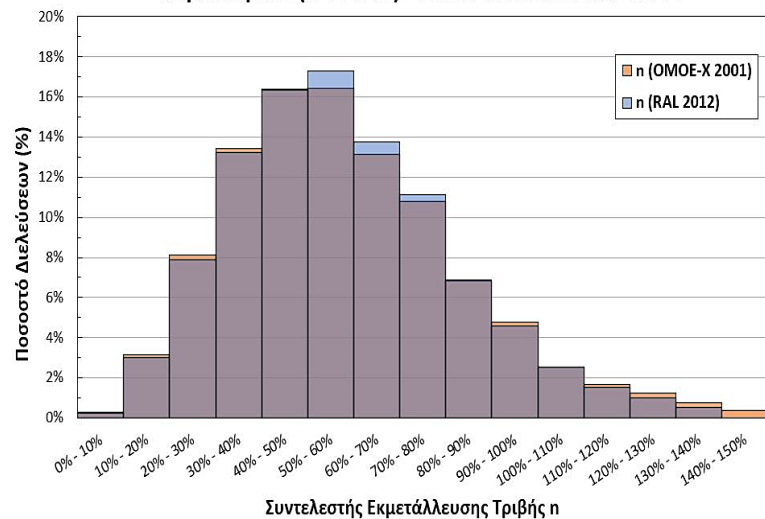
Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ07 (R=600 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012



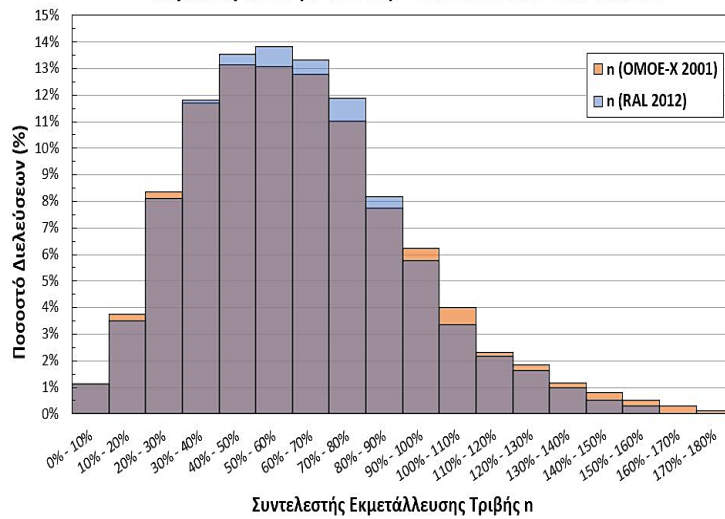
Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ08 (R=120 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012



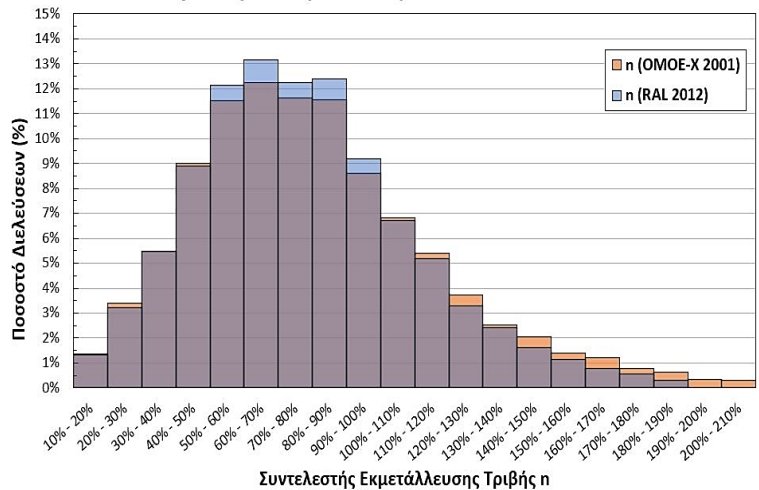
Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ09 (R=120 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012



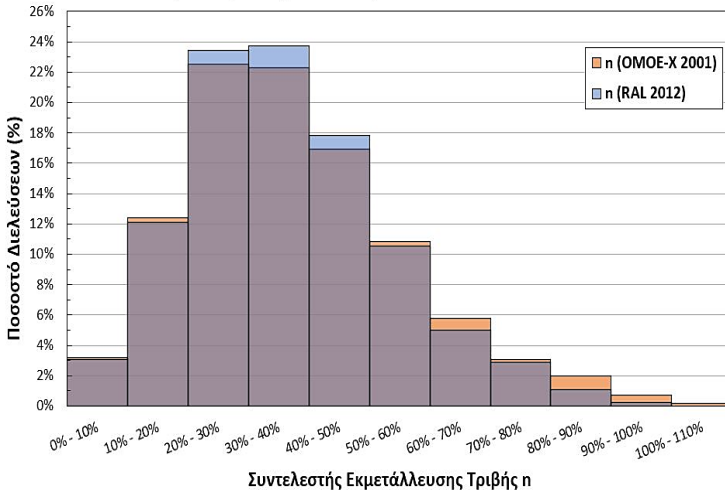
Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ10Α (R=135 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012



Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ10Β (R=135 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012

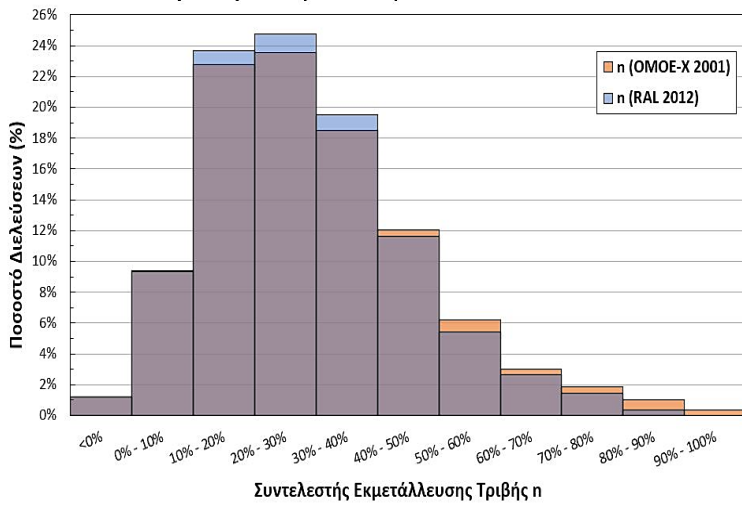


Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ11 (R=230 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012

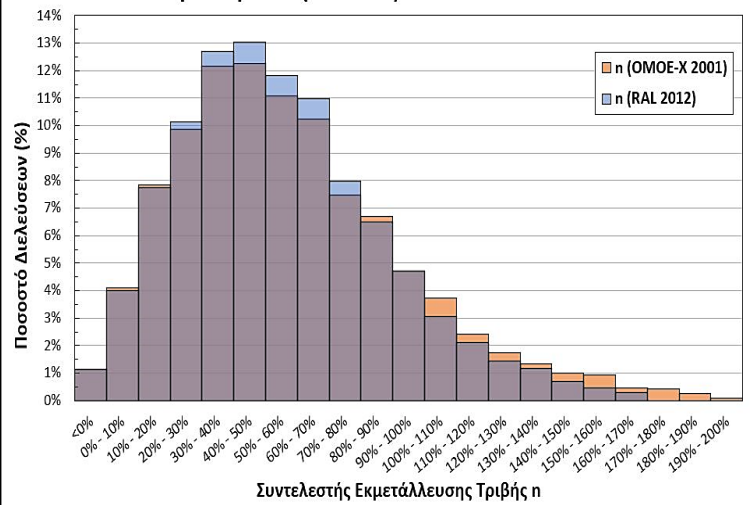




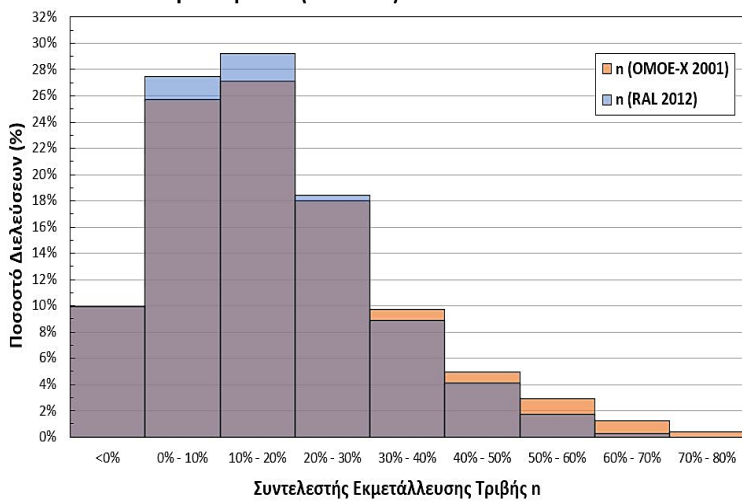
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ12A (R=280 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



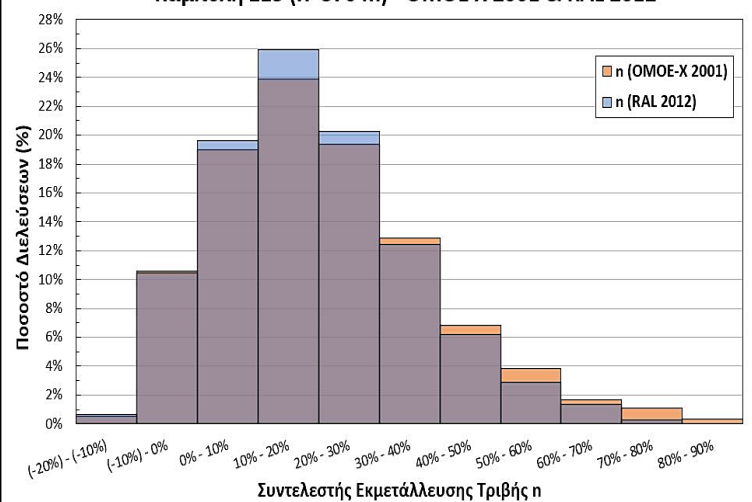
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ12B (R=170 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



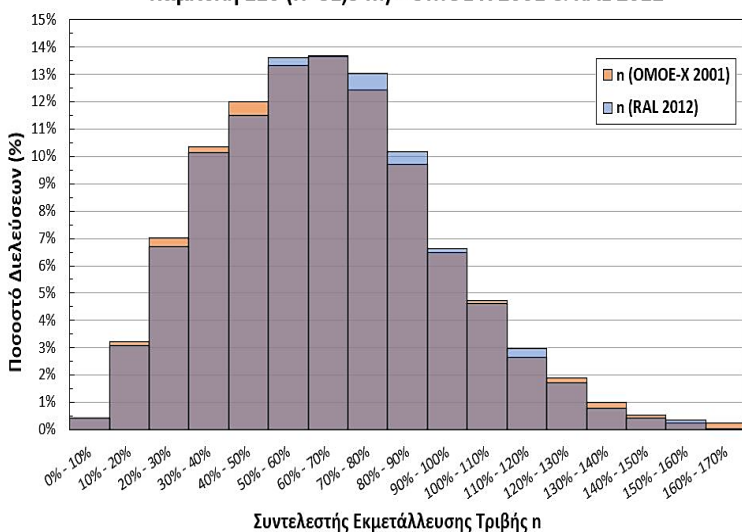
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ13A (R=520 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



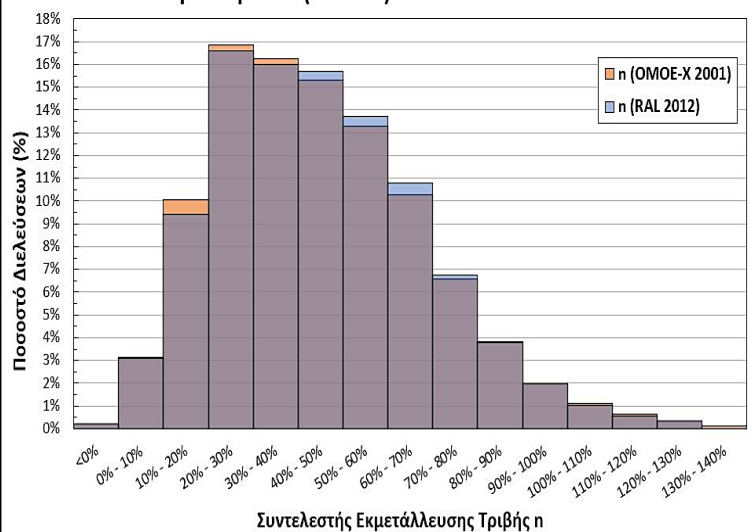
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ15 (R=370 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



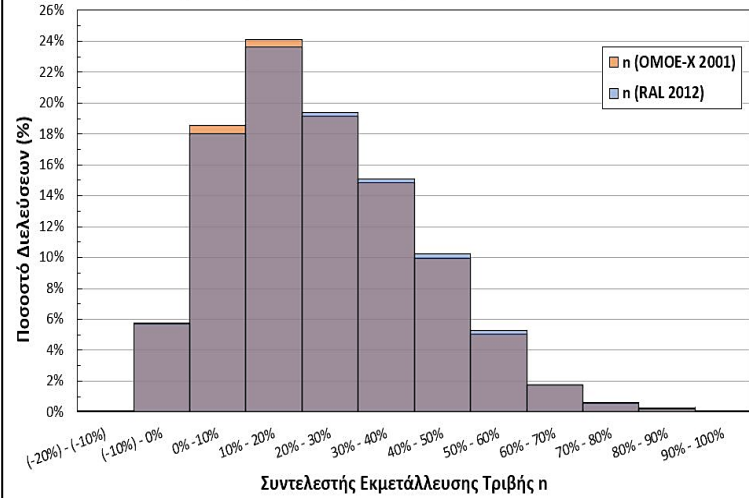
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ16 (R=81,3 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



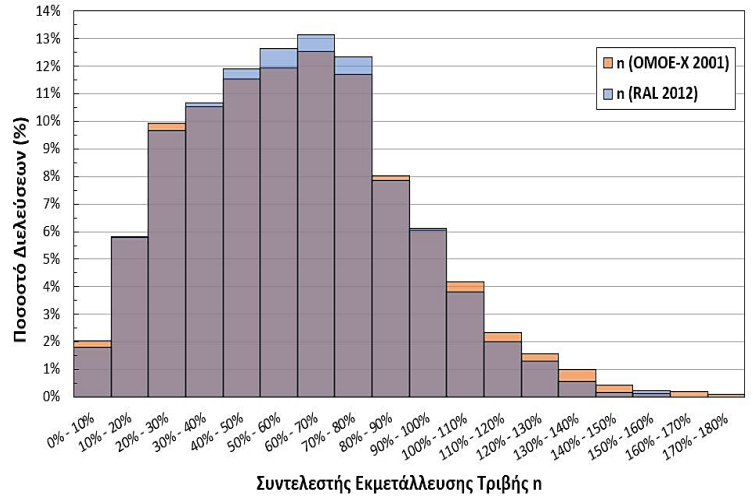
**Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ17A (R=95 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012**



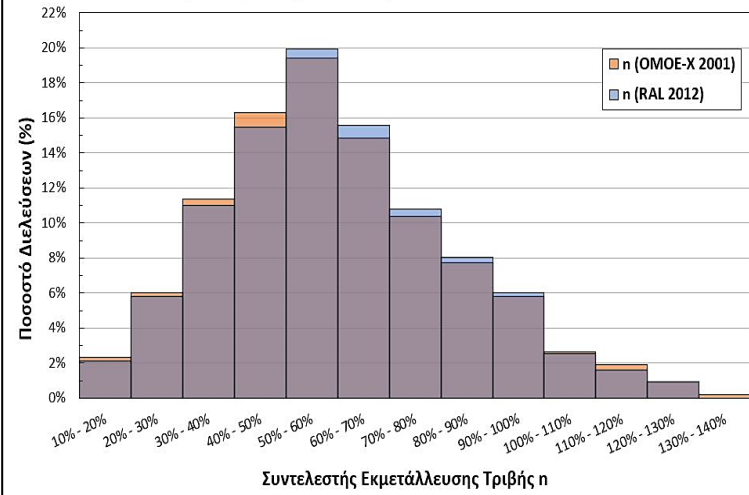
Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ17B (R=110 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012



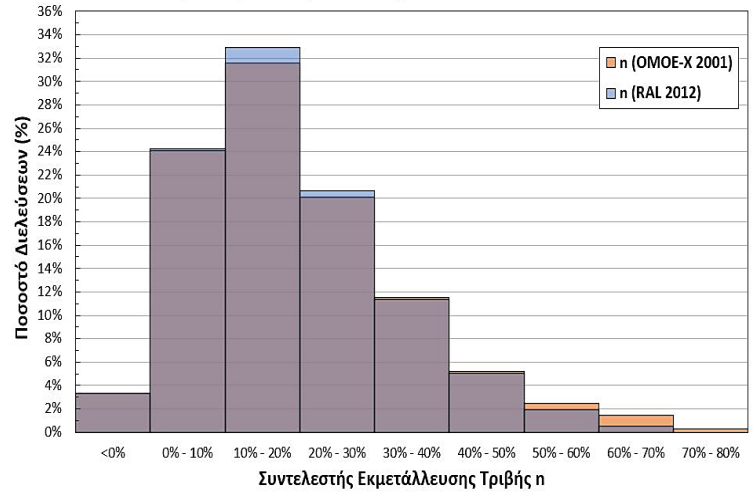
Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ18 (R=120 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012



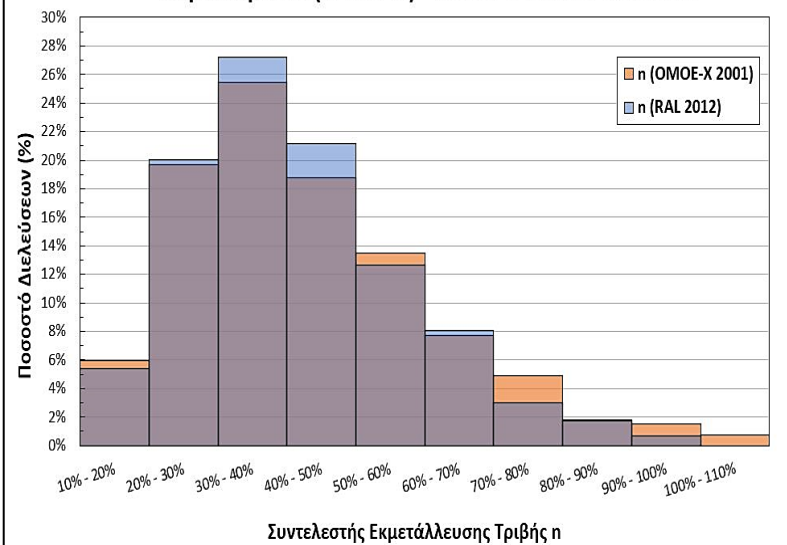
Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ19 (R=100 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012



Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ20A (R=375 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012

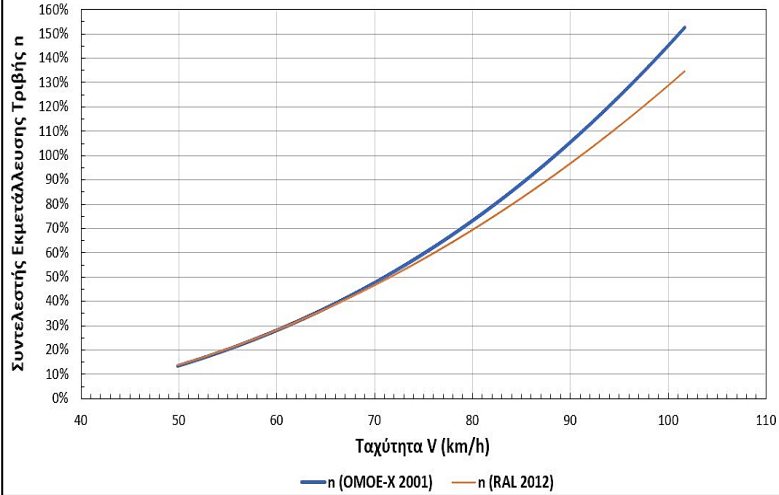


Χρήση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής  
Καμπύλη Σ20B (R=375 m) - ΟΜΟΕ Χ 2001 & RAL 2012

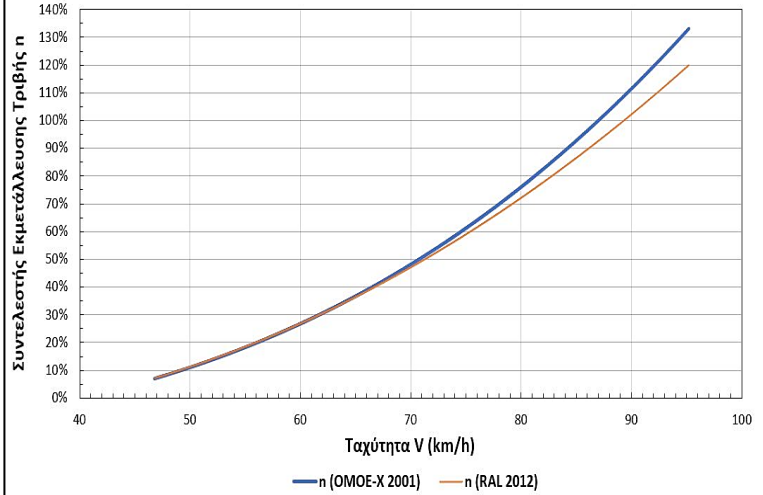


**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5**  
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ -**  
**ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ**

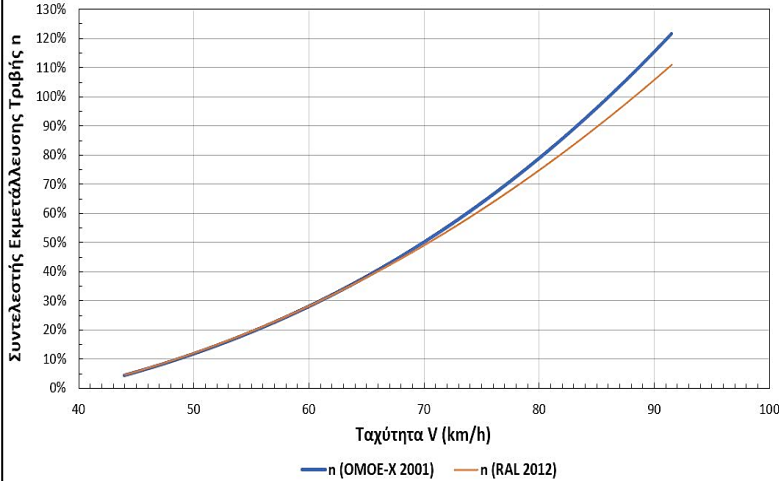
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ01 (R=200 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



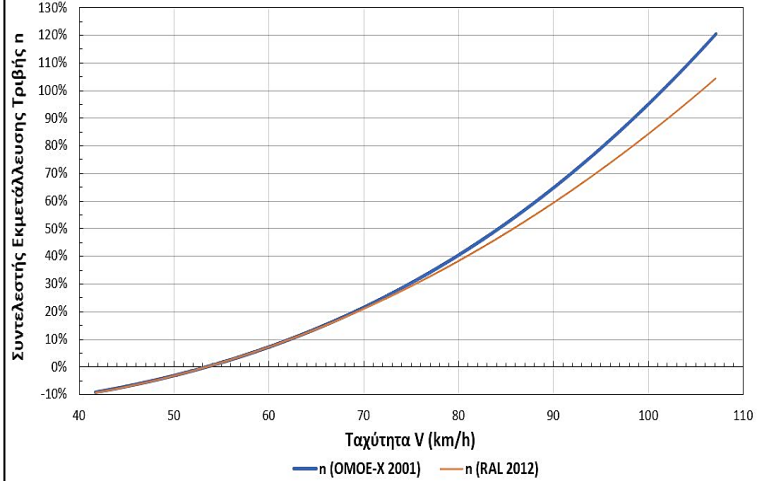
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ02 (R=180 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



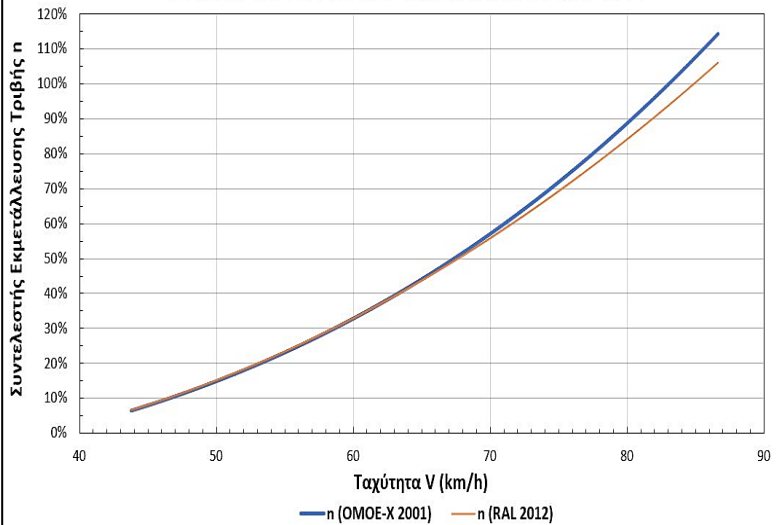
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ03 (R=175 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



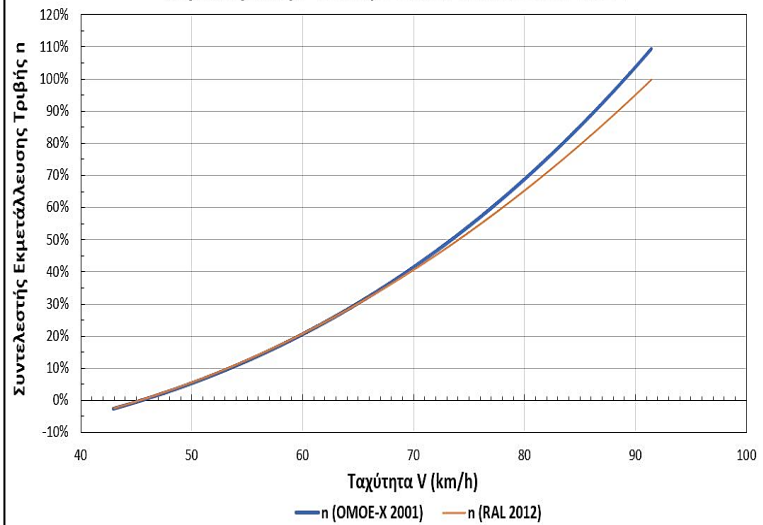
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ04 (R=250 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



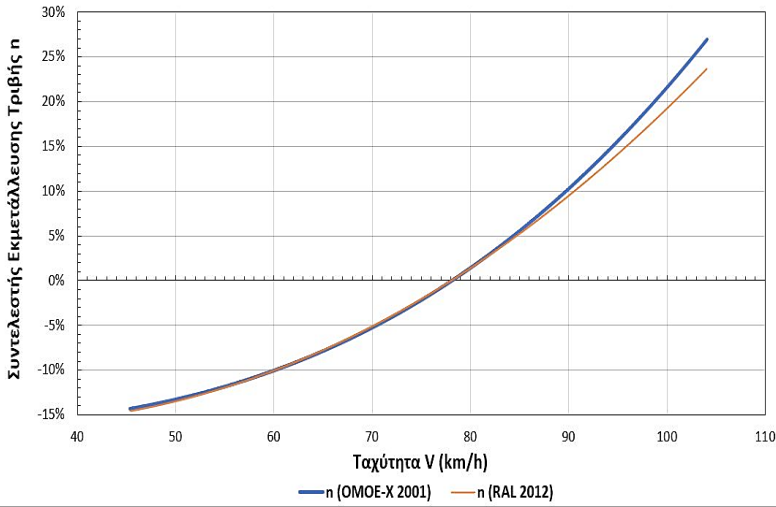
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ05 (R=160 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



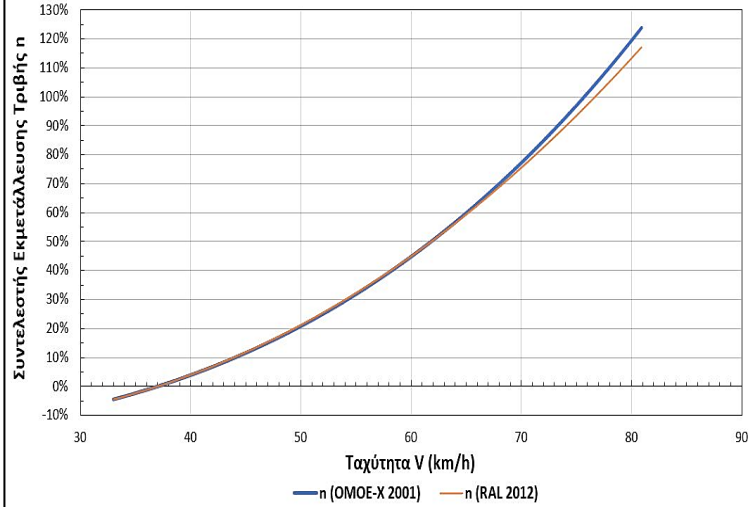
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ06 (R=180 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



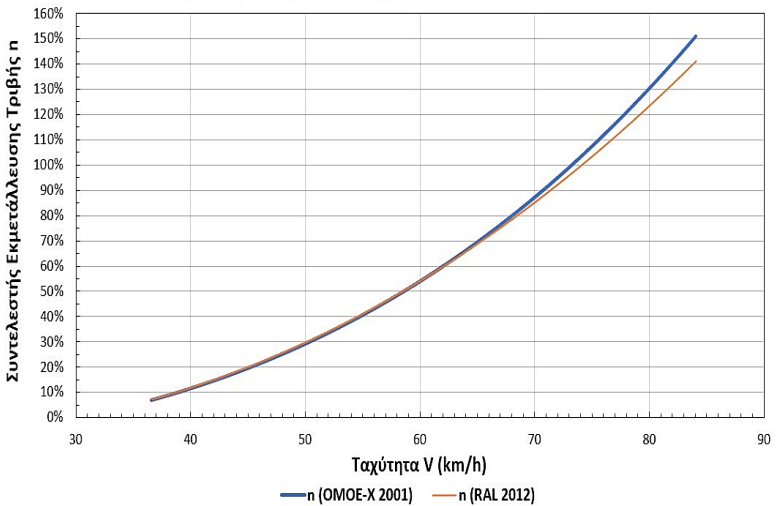
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ07 (R=600 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



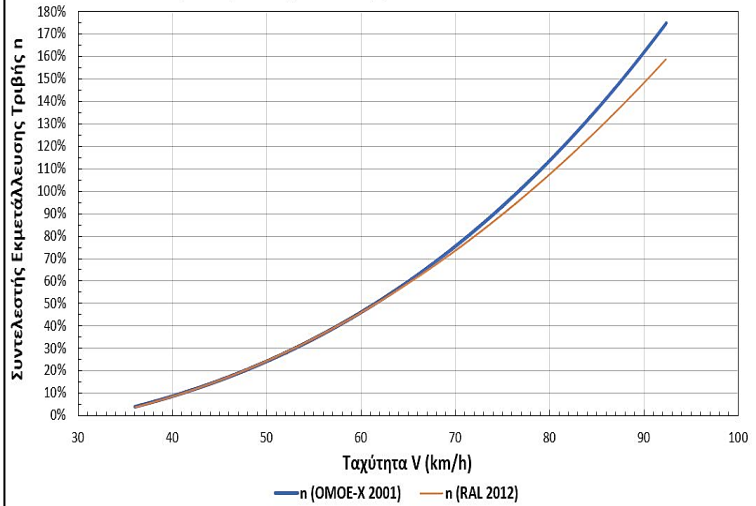
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ08 (R=120 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



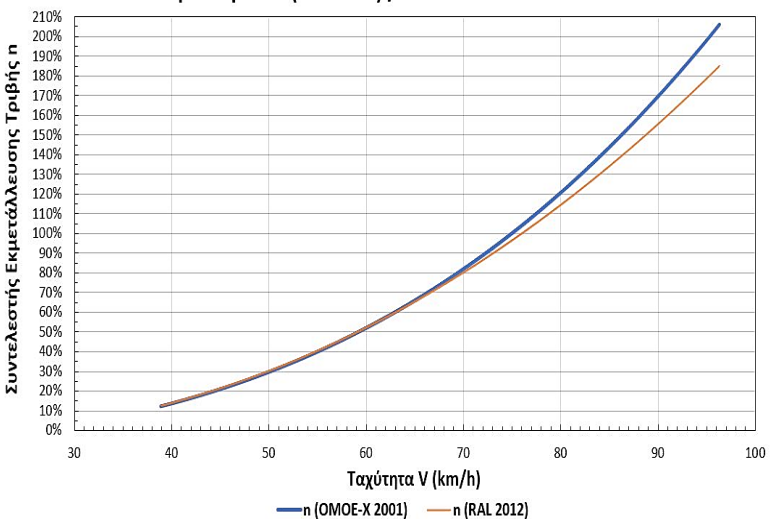
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ09 (R=120 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



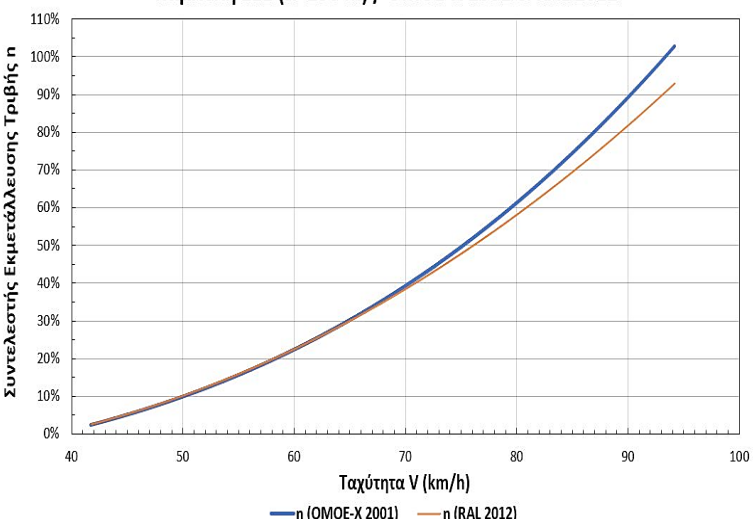
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ10Α (R=135 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



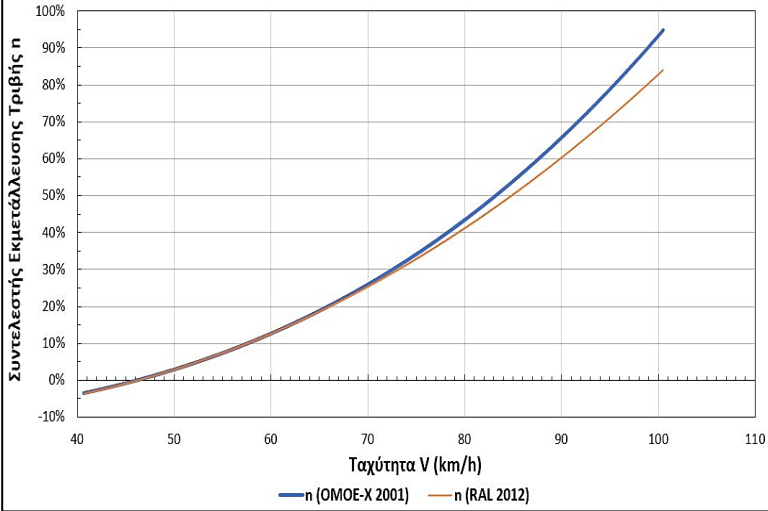
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ10Β (R=135 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



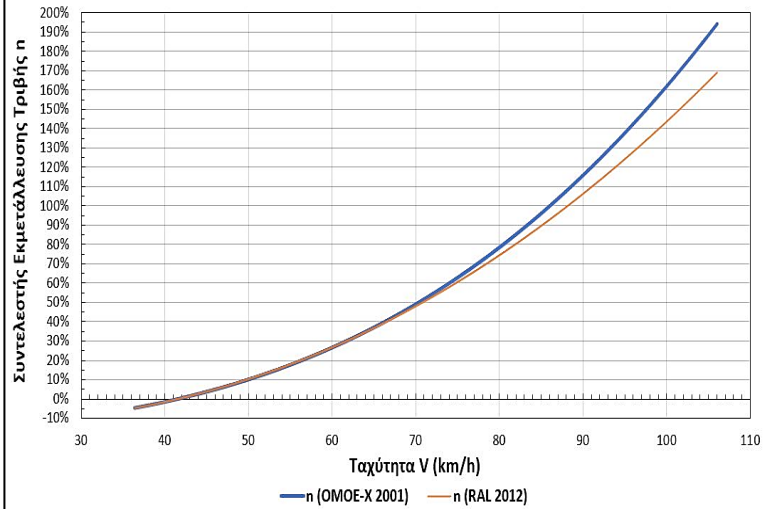
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ11 (R=230 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



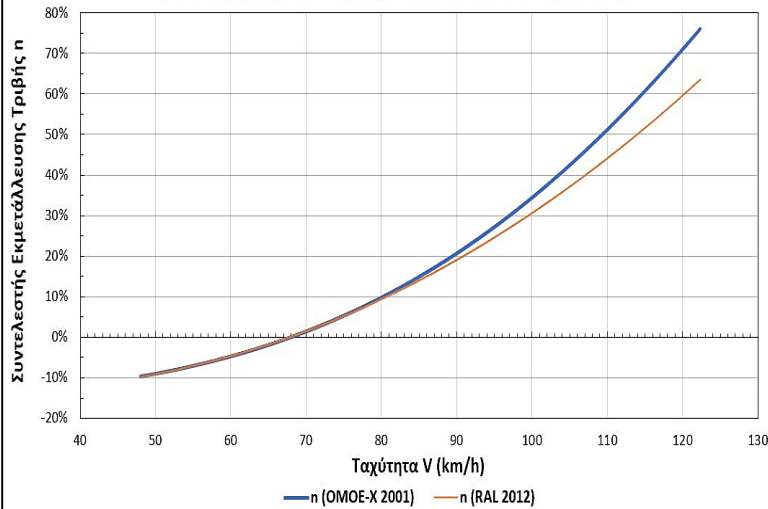
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ12A (R=280 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



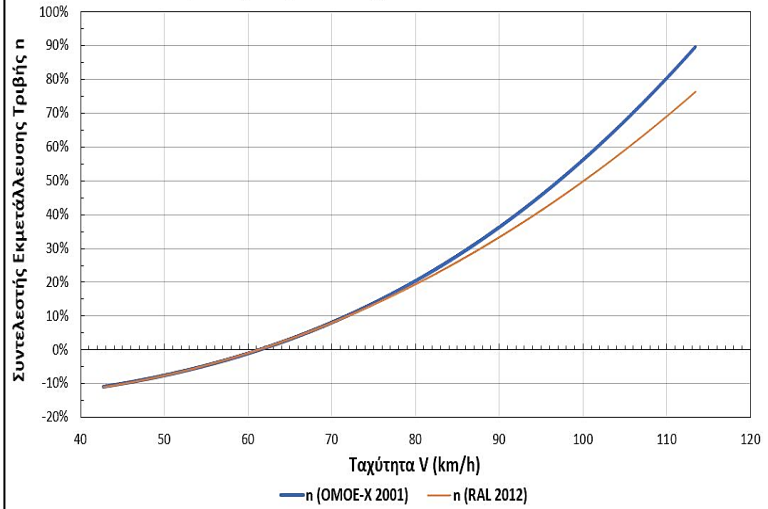
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ12B (R=170 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



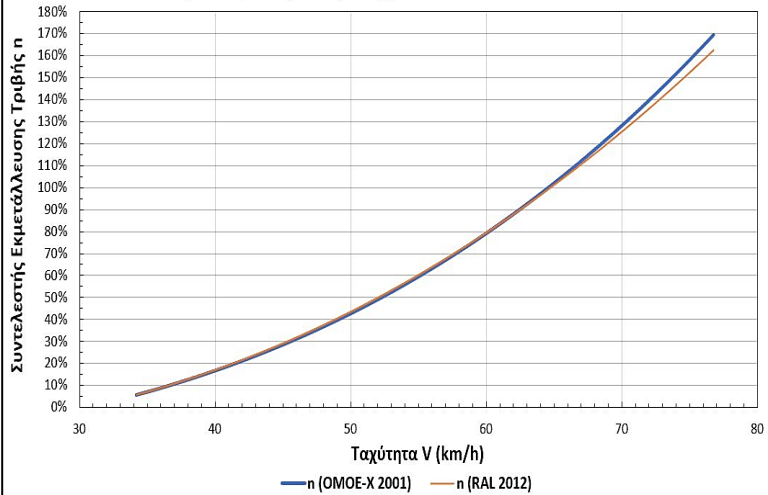
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ13A (R=520 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



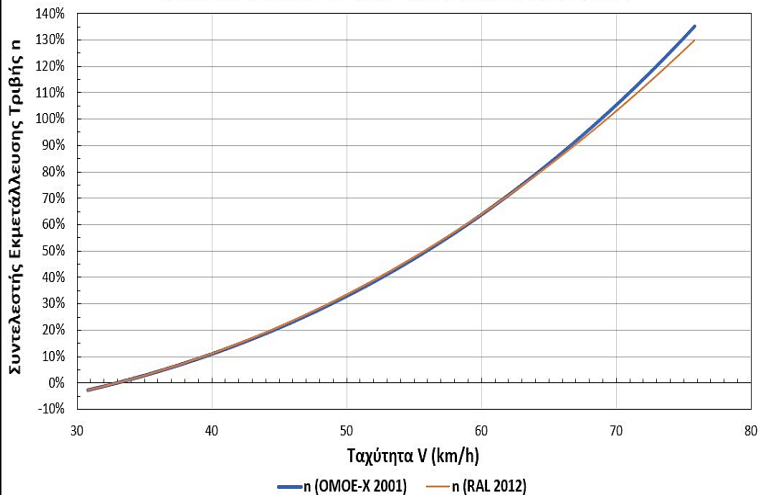
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ15 (R=370 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



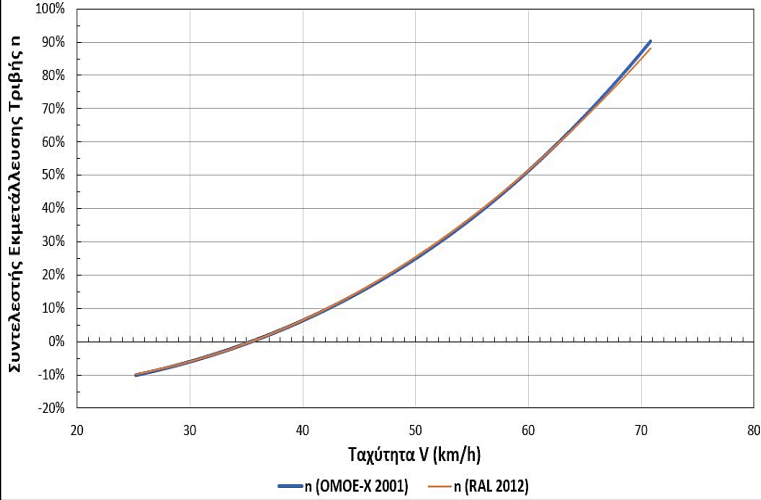
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ16 (R=81,3 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



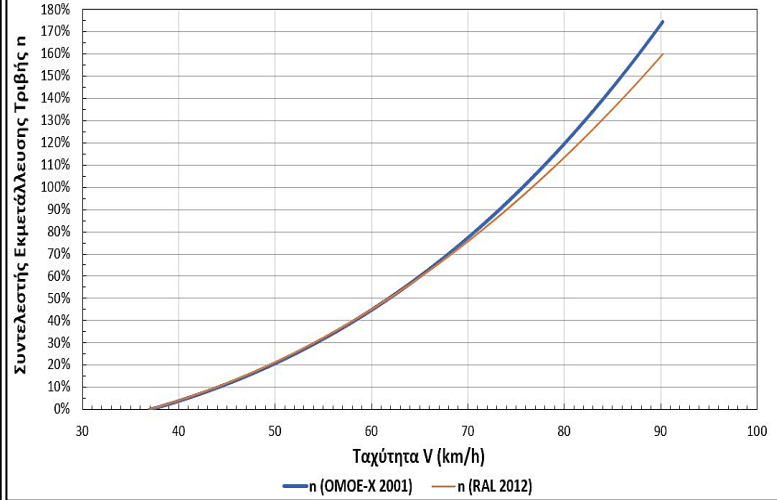
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ17A (R=95 m) / OMOE-X 2001 & RAL 2012



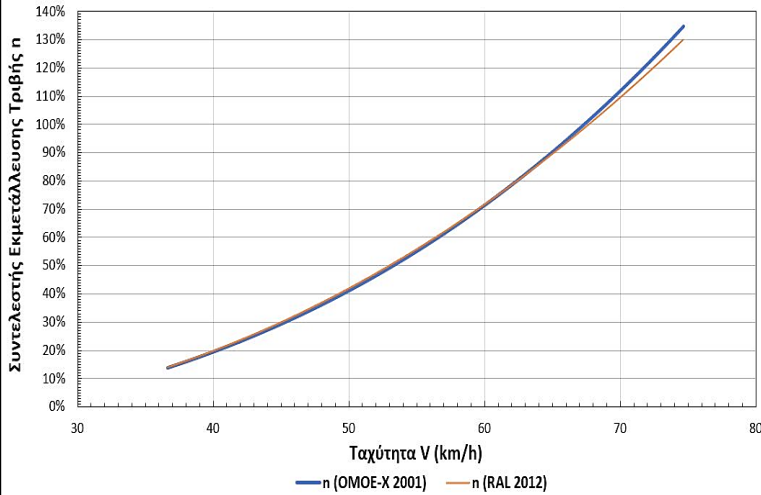
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ17B (R=110 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



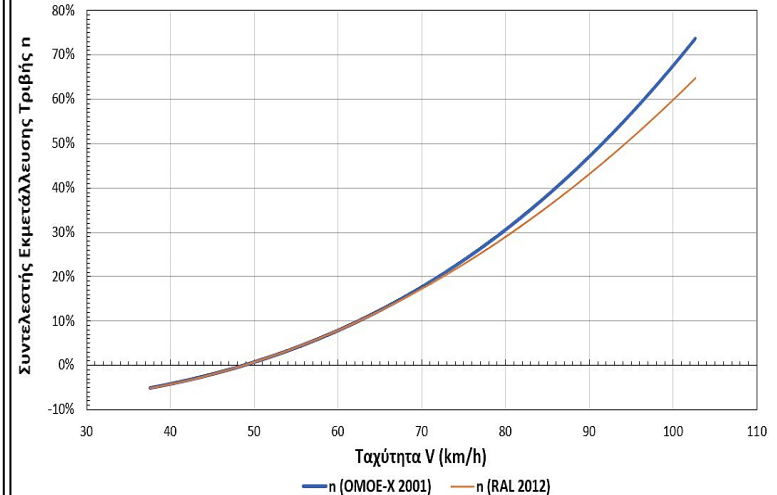
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ18 (R=120 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



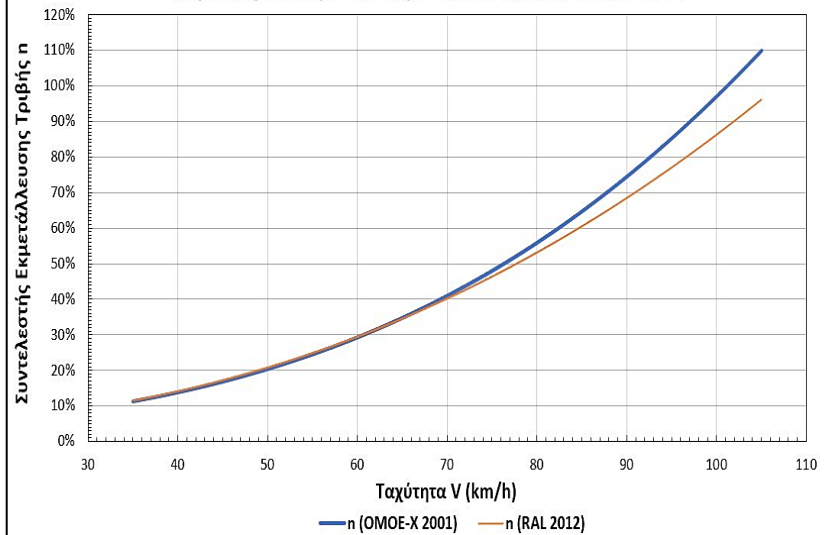
Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ19 (R=100 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ20Α (R=375 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



Συσχέτιση Συντελεστή Εκμετάλλευσης Τριβής - Ταχύτητας  
Καμπύλη Σ20Β (R=375 m) / ΟΜΟΕ-Χ 2001 & RAL 2012



---

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. AASHTO, 2018. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington, DC.
2. Abdi, A., Aghamohammadi, P., Salehfard, R., Najafi, V. and Gilani, M. Dynamic Modelling of the Effects of Combined Horizontal and Vertical Curves on Side Friction Factor and Lateral Acceleration. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, Volume 471, Issue 6, 2019.
3. Aram, A. 2010. Effective Safety Factors on Horizontal Curves of Two-lane Highways. *Journal of Applied Sciences*, Vol. 10, Issue 22, p.p. 2814-2822.
4. Awadallah, F. 2005. Theoretical analysis for horizontal curves based on actual discomfort speed. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 131, Issue 11, p.p. 843-850.
5. Bonneson, J. A. 2000. Superelevation Distribution Methods and Transition Designs. NCHRP Project 439. Washington D.C. Transportation Research Board.
6. Donnell, E., Wood, J., Himes, S., Torbic, D. 2016. Use of side friction in horizontal curve design: a margin of safety assessment. *Transportation Research Record*, 2588, pp. 172-180.
7. Dunlap, D. F., Fancher, P. S., Scott, R. E., MacAdam, C. C. and Segal, L. *Influence of combined highway grade and horizontal alignment on skidding*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
8. Echaveguren, T. and Bustos, M. 2005. Assessment of horizontal curves of an existing road using reliability concepts. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 32(6), p.p. 1030-1038.
9. Emmerson, J. 1969. Speed of cars on sharp horizontal curves. *Traffic Engineering & Control*, Vol 11, No 3, p.p. 135-137.
10. Farah, H., Daamen, W., Hoogendoorn, S. 2019. How do drivers negotiate horizontal ramp curves in system interchanges in the Netherlands?. *Safety Science*. Vol. 119, p.p. 58–69.
11. Glennon, J., Neuman, T.R. and Leisch, J. P. 1983. *Safety and Operational Considerations for Design of Rural Highway Curves: Final Report*. Report DOT-FH-11-9575, U.S. Department of Transportation.
12. Glennon, J. C. and Weaver, G. D. 1973. Highway Curve Design for Safe Vehicle Operations. In *Highway Research Record 390*, HRB, National Research Council, Washington, D.C.
13. Glennon, J. G. 1969. State of the Art Related to Safety Criteria for Highway Curve Design. *Texas Transportation Institute Research*, Report no 134-4.
14. Gillespie, T. D. 1992. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. Society of Automotive Engineers Inc.
15. Harwood, D. W. and Mason, J. M. 1994. Horizontal Curve Design for Passenger Cars and Trucks. *Transportation Research Record*, 1445, pp. 22-33. Transportation Research Board, Washington, D.C.



- 
16. Harwood, D. W., Mason, J. M., Glauz, W. D., Kulakowski, B. T. and Fitzpatrick, K. *Truck Characteristics for Use in Highway Design and Operation*. Reports FHWA-RD-89-226 and FHWA-RD-89-227. FHWA, U.S. Department of Transportation, Aug. 1990.
  17. Harwood, D. W., Torbic, D. J., Richard, K. R., Glauz, W. D. and Elefterdiadou, L. 2003. *Review of Truck Characteristics as Factors in Roadway Design*. NCHRP Report 505, Transportation Research Board of National Academies, Washington, D.S.
  18. Harwood, D. W., Mason, J. M., Glauz, W. D., Kulakowski, B. T. and Fitzpatrick, K. 1989. *Truck Characteristics for use in Highway Design and Operation*. Final Report, Project 8932-S. Midwest Research Institute, Kansas City.
  19. Hassan, Y., Sarhan, M., Dimaiuta, M., 2011a. *Deficiencies in existing speed models*. Modeling Operating Speed: Synthesis Report. Transportation Research Board, Washington, D.C.
  20. Hassan, Y., Sarhan, M. and Porter, R. 2011. Modeling operating speed synthesis report. *Transportation Research Circular E-C151*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
  21. Jamson, S., Benetou, D. and Tate, F. 2015. The impact of arc visibility on curve negotiation. *Advances in Transportation Studies*, 37, pp.79-92.
  22. Kordani, A. A. and Molan, A. M. 2015. The effect of Combined Horizontal Curve and Longitudinal Grade on Side Friction Factors. *Journal of Civil Engineering*, Springer, Vol.19, No 3, pp. 303-310.
  23. Kordani, A. A., Molan, A. M. and Monajjem, S. New Formulas of Side Friction Factor Based on Three-Dimensional Model in Horizontal Curves for various Vehicles. *Second Transportation & Development Congress*, 2014.
  24. Krebs, H.G., Kloeckner, J.H. 1977. Investigations of the Effect of Highway and Traffic Conditions Outside Built-Up Areas on Accident Rates. Minister of Transportation, *In Research Road Construction and Road Traffic Technique (Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik)*, Vol. 223, pp. 1-63, Bonn, Germany.
  25. Kummer, H. W. and Meyer, W. E. 1967. Tentative Skid-Resistance Requirements for Main Rural GleHighways. HRB, National Research Council, Washington, D.C.
  26. Lamm, R., Psarianos, B. and Cafiso, S. 2002. Safety Evaluation Process for Two-Lane Rural Roads: A 10 Year Review. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1796(1), pp. 51-59.
  27. Lamm, R., Psarianos, B., Mailaender, T., Choueiri, E. M., Heger, R. and Steyer, R. *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*. McGraw-Hill, Professional Book Group, New York, N.Y., U.S.A., 1999.
  28. Lamm, R., Choueiri, E. M., Goyal, P. B. and Mailander, T. Design Friction Factors of Different Countries Versus Actual Pavement Friction Inventories. 1990. *Transportation Research Record*, 1260, p.p. 135-146, Washington, D. C.: Transportation Research Board.
  29. Lamm, R. 1984. Driving Considerations: A Comparison of German and American Friction Coefficients for Highway Design. In *Transportation Research Record*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., p.p. 13-20.

- 
30. MacAdam, C. C., Fancher, P. S., and Segel, L. Report. *Side friction for superelevation on horizontal curves*. Report. No. UMTRI-72895. Transportation Research Institute, Univ. of Michigan, Ann Arbor, Mich.
  31. MacAdam, C. C., Fancher, P. S. and Segel, L. *Side Friction for Superelevation on Horizontal Curves*, Vol. II: Technical Report. Final Report of Contract DTFH-6182-C-00019. University of Michigan Transportation Research Institute, Aug. 1985.
  32. MacAdam, C. C., Ervin, R. D. and M. Barnes. 1985. Influence of the Geometric Design of Highway Ramps on the Stability and Control of Heavy-Duty Trucks. *In Transportation Research Record* 1052, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
  33. McGee, H. W. 1981. *Synthesis of Large Truck Safety Research*. Wagner McGee Associates, Alexandria, Va.
  34. McGee, H. W., Rizzo, R. S. and Tustin, B. 1984. *Highway Design and Operation Standards Affected by Vehicle Characteristics*. Federal Highway Administration.
  35. McGowen, P. and Sanderson, M. 2011. Accuracy of Pneumatic Road Tube Counters. In: ITE (Institute of Transportation Engineers), *Western District Annual Meeting*, Anchorage AK, USA 10-13 July 2011.
  36. McLean, J. R. 1974. Driver Behaviour on Curves - A Review. Australian Road Research Board (ARRB) Conference, Vol. 7, Part 5, p.p. 129-143, 7th, 1974, Adelaide.
  37. Misaghi, P. and Y. Hassan. 2005. Modeling Operating Speed and Speed Differential on Two-Lane Rural Roads. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 131, No. 6, p.p. 408–417.
  38. Montella, A., Galante, F., Mauriello, F. and Aria, M. Continuous Speed Profiles to Investigate Drivers' Behavior on Two-Lane Rural Highways. *Transportation Research Record Journal*, Transportation Research Board, Vol 2521(1), p.p. 3-11.
  39. Morrall, J. F. and Talarico, R. J. 1994. Side Friction Demanded and Margins of Safety on Horizontal Curves. *Transportation Research Record*, 1435, p.p. 145-152, Washington, D. C.: Transportation Research Board.
  40. Oppenlander, J.C. 1966. *Special Report 89: Variables Influencing Spot Speed Characteristics*. HRB, National Research Council, Washington, D.C.
  41. Psarianos, B., Kontaratos, M. and Katsios, D. 1998. Influence of Vehicle Parameters on Horizontal Curve Design of Rural Highways. *Transportation Research Circular*.
  42. RAA, 2008. *Γερμανικές οδηγίες για τη κατασκευή αυτοκινητοδρόμων*.
  43. RAL, 2012. *Γερμανικές Οδηγίες Μελετών Υπεραστικών Οδών*.
  44. Sultana, T. and Hassan, Y. 2021. Modeling speed behavior of connected vehicles on horizontal curves. *Advances in Transportation Studies*, 55, pp.87-104.
  45. Tan, C. H. 2005. *An Investigation of Comfortable Lateral Acceleration on Horizontal Curves*. ProQuest Dissertations Publishing, The Pennsylvania State University.

- 
46. Torbic, D. J., Donnell, E. T., Brennan, S. N., Brown, A., Laughlin, M. K. and Bauer, K. M. 2014. Superelevation design for sharp horizontal curves on steep grades. *Transportation Research Record*, Transportation Research Board, Vol 2436, Issue 1, p.p. 81-91.
  47. U.S. Department of Transportation, 2016. 2015 Motor Vehicle Crashes: Overview. National Highway Traffic Safety Administration, DOT HS 812 318.
  48. Vos, J., Farah, H. and Hagenzieker, M. 2021. Speed behaviour upon approaching freeway curves. *Accident: Analysis and Prevention*, Vol. 59(3).
  49. Vos, J., Farah, H., Hagenzieker, M., 2020. How do dutch drivers perceive horizontal curves on freeway interchanges and which cues influence their speed choice?. *IATSS Research*, Vol. 45, Issue 2, p.p. 258-266.
  50. Yin, Y., Wen, H., Sun, L. and Hou, W. 2020. Study on the Influence of Road Geometry on Vehicle Lateral Stability. *Journal of Advanced Transportation*, Vol. 2020(6), p.p. 1-15.
  51. You, K., Sun, L., and Gu, W. 2012. Reliability-based risk analysis of roadway horizontal curves. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 138, Issue 8, p.p. 1071-1081.
  52. Αποστολέρης Α., 2015. *Οδοποιία 1 - Χαράξεις και υπολογισμός χωματισμών θεωρία και πρακτική*.
  53. Ψαριανός Β., 2015. Σημειώσεις μαθήματος Οδοποιίας 1.
  54. ΟΜΟΕ-Χ., 2001. *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 3: Χαράξεις (ΟΜΟΕ-Χ)*. Στο Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων. ΝΑΜΑ ΑΕ.
  55. Τρακάκης Α., 2020. Διπλωματική Εργασία. *Διερεύνηση κινηματικών μεγεθών οχημάτων σε εισόδους ανισόπεδων κόμβων ως κριτήριο γεωμετρικού σχεδιασμού οδών*.

Φωτογραφία εξωφύλλου: Pexels.com