



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση ασφάλειας κίνησης οχημάτων σε συνδετήριους
κλάδους ανισόπεδων κόμβων

Πασιάς Παναγιώτης

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2019



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Διερεύνηση ασφάλειας κίνησης οχημάτων σε συνδετήριους
κλάδους ανισόπεδων κόμβων

Πασιάς Παναγιώτης

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2019

Φωτογραφία εξωφύλλου

“Aerial Photography of Concrete Road”, Muzamil Hussain Toori (www.mhtoori.com)

*"This is no time for ease and comfort.
It is time to dare and endure."*

W. Churchill

Ευχαριστίες

Με αυτή τη διπλωματική εργασία κλείνει ένας κύκλος σπουδών, ένα πολυετές ταξίδι που μου έδωσε πολλές γνώσεις και εφόδια. Ήταν ένα ταξίδι απαιτητικό, δύσκολο και κουραστικό αλλά ταυτόχρονα ένα ταξίδι που με γέμισε ικανοποίηση και με βοήθησε να αναπτύξω την κριτική σκέψη που απαιτείται για την επίλυση κάθε προβλήματος. Είμαι ευγνώμων που εκτός από όλα όσα μου παρείχε η σχολή, γνώρισα και πραγματικούς φίλους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Στέργιο Μαυρομάτη, Επίκουρο Καθηγητή του Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και για την καθοδήγηση που μου παρείχε σε κάθε βήμα της διπλωματικής μου εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Κωνσταντίνο Αποστολήρη, Υποψήφιο Διδάκτορα στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών για τις πολύτιμες συμβουλές του και για την άψογη επικοινωνία που είχαμε σε όλη την διάρκεια της διπλωματικής εργασίας μου. Τέλος, δεν θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω και τον κύριο Φώτη Μερτζάνη, Επιστημονικό Συνεργάτη της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών, του οποίου οι συμβουλές με στιγμάτισαν και θα με ακολουθούν μια ζωή.

Στο σημείο αυτό θέλω να ευχαριστήσω τον πατέρα μου που μου έμαθε την αξία της γνώσης, της αποφασιστικότητας και της σκληρής δουλειάς και ήταν το πρότυπό μου όλα αυτά τα χρόνια. Επίσης ευχαριστώ την μητέρα μου που με έμαθε τι σημαίνει ανιδιοτελής αγάπη και ήταν και συνεχίζει να είναι το συναισθηματικό στήριγμά μου. Ευχαριστώ τον αδερφό μου για την πίστη του σε εμένα και την υποστήριξή του όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος, ευχαριστώ ολόψυχα την Χριστίνα για την αγάπη και την εμπιστοσύνη που μου δείχνει καθημερινά και χωρίς την οποία θα ήμουν τελείως διαφορετικός άνθρωπος.

Πρόλογος

Πολλές έρευνες έχουν γίνει για την αξιολόγηση της **ασφάλειας κίνησης** των οχημάτων σε συμβατικές οδούς όπως είναι οι αυτοκινητόδρομοι και οι τοπικές οδοί. Ωστόσο δεν υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός ερευνών που να εξετάζουν τα περιθώρια ασφάλειας κίνησης των οχημάτων σε συνδεδετήριους κλάδους **ανισόπεδων κόμβων**. Οι ανισόπεδοι κόμβοι αποτελούν κρίσιμο στοιχείο των αυτοκινητόδρομων διότι τα οχήματα εισέρχονται σε αυτούς με **μεγάλη ταχύτητα** και ακολουθούν μια ακολουθία οριζοντιογραφικών καμπυλών με αυξημένη ελκτικότητα με αποτέλεσμα την πιθανή πρόκληση ατυχημάτων. **Σκοπός** της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να διερευνηθούν τα **περιθώρια ασφάλειας** των οχημάτων που κινούνται στους συνδεδετήριους κλάδους ενός **ανισόπεδου κόμβου** μορφής σάλπιγγας. Ο **τρόπος** που έγινε αυτή η διερεύνηση ήταν μέσω της **καταγραφής** των ταχυτήτων που επικρατούν στον εξεταζόμενο κόμβο και η συσχέτισή τους με τις μέγιστες ταχύτητες που προκύπτουν με βάση τις απαιτήσεις συγκράτησης του οχήματος σε καμπύλη τροχιά. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ταχυτήτων συσχετίστηκαν με τα αποτελέσματα σχετικών ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί διεθνώς.

Foreword

Many studies have been conducted in order to evaluate **traffic safety** on conventional roads such as motorways and local roads. However, there is insufficient number of studies that examine traffic safety on the ramps of **interchanges**. Interchanges are a crucial element of motorways because the vehicles travel at **high speeds** and follow a sequence of horizontal curves with increased agility leading to increased possibility of accidents. The **aim** of this diploma thesis is to investigate the **safety margins** of vehicles traveling on trumpet **interchanges**. The way this investigation was carried out was through the **recording** of the speeds prevailing in the examined interchange and correlating them with the maximum speeds resulting from the vehicle's retention requirements during a curved path. The results of the speed analysis were compared with the results of relevant studies conducted internationally.

Περίληψη

Οι **ανισόπεδοι κόμβοι** αποτελούν βασικά σημεία των αυτοκινητοδρόμων, διότι μέσω αυτών πραγματοποιείται η είσοδος και η έξοδος των οχημάτων που χρησιμοποιούν τον αυτοκινητόδρομο. Ειδικότερα, η είσοδος των οχημάτων στους ανισόπεδους κόμβους γίνεται με μεγάλη ταχύτητα και τα οχήματα καλούνται να ακολουθήσουν μια αλληλουχία καμπυλών με αυξημένη ελκτικότητα. Παρά την σημαντικότητα των στοιχείων αυτών δεν υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός μελετών σχετικά με τις ταχύτητες που επικρατούν στους κλάδους των ανισόπεδων κόμβων και κατά πόσο αυτές είναι ασφαλείς για την κίνηση των οχημάτων.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των περιθωρίων ασφαλείας στην κίνηση οχημάτων σε συνδετήριους κλάδους ανισόπεδων κόμβων. Για τον σκοπό αυτό οι ταχύτητες των οχημάτων στους συνδετήριους κλάδους συσχετίστηκαν με τις αντίστοιχες μέγιστες σταθερές ταχύτητες που προκύπτουν με βάση τις απαιτήσεις συγκράτησης του οχήματος σε καμπύλη τροχιά. Η συσχέτιση αυτή πραγματοποιήθηκε με δύο τρόπους, αρχικά με μετρήσεις των απαιτούμενων δεδομένων με τη βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού (όργανα μέτρησης) και στην συνέχεια με την επεξεργασία των δεδομένων αυτών μέσω εξειδικευμένου λογισμικού.

Ως κόμβος μελέτης επιλέχθηκε ο ανισόπεδος κόμβος Σχιστού στην περιοχή του Σκαραμαγκά, ο οποίος συνδέει την Λεωφόρο Αθηνών με την Λεωφόρο Σχιστού-Σκαραμαγκά. Η επιλογή αυτού του κόμβου έγινε εξαιτίας της μορφής του, η οποία είναι μορφή σάλπιγγας και είναι η πιο διαδεδομένη μορφή τρισκελούς ανισόπεδου κόμβου.

Συλλέχθηκαν κυκλοφοριακά δεδομένα και δεδομένα ταχυτήτων των οχημάτων που χρησιμοποιούν τον ανισόπεδο κόμβο για χρονικό διάστημα τριών συνεχόμενων ημερών, μέσω αυτόματων μετρητών κυκλοφορίας, τύπου ελαστικών σωλήνων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων, συσχετίστηκαν με αντίστοιχες έρευνες.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν **επιτόπου διελεύσεις** σε διάφορες ταχύτητες με τυπικό επιβατηγό όχημα κατάλληλα εξοπλισμένο, προκειμένου να συσχετισθούν οι πλευρικές επιταχύνσεις που δέχεται ένα τυπικό όχημα με τις ταχύτητες διέλευσης και

να εξετασθεί κατά πόσο τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με τις θεωρητικές μεθόδους υπολογισμού πλευρικών επιταχύνσεων. Το όχημα αυτό ήταν εξοπλισμένο με δέκτη GPS και επιταχυνσιόμετρο το οποίο επέτρεψε την συσχέτιση των πλευρικών επιταχύνσεων με τις ταχύτητες διέλευσης.

Με βάση τις παραπάνω αναλύσεις συσχετίστηκαν τα αποτελέσματα των ταχυτήτων που καταγράφηκαν και συγκεκριμένα η **λειτουργική ταχύτητα** των επιβατηγών οχημάτων, με την μέγιστη σταθερή ταχύτητα που δύναται να αναπτυχθεί σύμφωνα με την απαίτηση για συγκράτηση του οχήματος σε καμπύλη τροχιά. Η μέγιστη σταθερή ταχύτητα υπολογίστηκε μέσω εξειδικευμένου λογισμικού δυναμικής ανάλυσης κίνησης των οχημάτων.

Συμπερασματικά προέκυψε ότι τα χαρακτηριστικά των ταχυτήτων που επικρατούν στους κλάδους των ανισόπεδων κόμβων βρίσκονται **σε συμφωνία** με τα αποτελέσματα των ερευνών της διεθνούς βιβλιογραφίας. Επίσης, διερευνώντας τις πλευρικές επιταχύνσεις των οχημάτων κατά την κίνησή τους στους συνδετήριους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου μελέτης, προέκυψε ότι δεν κινούνται σε συνθήκες οριακής ολίσθησης και διατηρούν **επαρκές** περιθώριο ασφαλείας αναφορικά με την μέγιστη σταθερή ταχύτητα, που υπολογίστηκε από την απαίτηση του συντελεστή πλευρικής τριβής. Ωστόσο βρέθηκε ότι οι ταχύτητες στους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου δημιουργούν πλευρικές επιταχύνσεις που βρίσκονται **εκτός** των ορίων άνεσης όπως ορίζονται από τις αμερικανικές οδηγίες AASHTO,2018.

Λέξεις κλειδιά: συνδετήριος κλάδος, ανισόπεδος κόμβος, λειτουργικές ταχύτητες, πλευρικές επιταχύνσεις, συντελεστής τριβής, περιθώριο ασφαλείας

Abstract

Interchanges are key points of motorways because the vehicles enter and exit the motorway through them. In particular, vehicles entering the interchanges do so at a high speed and they are required to follow a sequence of curves. Despite the importance of these, there has not been a sufficient amount of studies conducted on the speeds of vehicles using the interchanges and whether they are safe for traffic.

The **subject** of this diploma thesis is the investigation of the safety margins for vehicles traveling on ramps of interchanges. For this purpose, vehicle speeds on the ramps of an interchange were correlated with the respective maximum constant speeds resulting from the vehicle's retention requirements during a curved path. This correlation was carried out in two ways, firstly by measuring the required data with the help of appropriate equipment and secondly by processing these data through specialized software.

As a study interchange, the Schistou interchange is selected in the area of Skaramagkas, which connects Athens Avenue with Schistou-Skaramagkas Avenue. This particular interchange was selected because it is a trumpet type interchange and it is the most widespread form of three legged interchange.

Traffic data and speed data of vehicles using the interchange for a period of three consecutive days were collected through automatic traffic counters in the form of rubber tubes. The results obtained from the data collected were compared with similar studies.

On-the-spot transits were conducted with a typical passenger vehicle at different speeds to correlate the lateral accelerations and speed of a typical vehicle and to examine whether these results are in agreement with the theoretical methods of calculating lateral accelerations. This vehicle was equipped with a GPS receiver and an accelerometer which allowed the correlation of lateral accelerations with the speeds.

Based on the above analysis, the results of the recorded speeds, namely the **85th percentile speed** of passenger cars, were compared with the maximum constant speed that can be obtained according to the vehicle's retention requirements during a curved path. The maximum constant speed was calculated using a specialized software.

It was determined that the characteristics of speeds prevailing on the ramps of the selected interchange are **in agreement** with the results of relevant studies. Also, by studying the lateral accelerations of a vehicle when moving on the ramps of the interchange it was determined that vehicles do not travel at **impending skid conditions** and also maintain a sufficient safety margin with respect to the speed calculated from the lateral friction coefficient requirement. However, it has been found that speeds in all horizontal curves of the ramps of the interchange cause lateral accelerations **not within** the comfort limits as defined by the American AASHTO, 2018 guidelines.

Keywords: interchange, ramps, operating speeds, lateral accelerations, friction coefficient, safety margin

Πίνακας Περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	4
2.1	ΟΔΗΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΑΑΣΗΤΟ	5
2.2	ΓΕΡΜΑΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΡΑΑ	6
2.3	ΟΔΗΓΙΕΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΈΡΓΩΝ (ΟΜΟΕ)	7
2.4	ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ	8
2.4.1	Μελέτες ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων σε ανισόπεδους κόμβους	8
2.4.2	Μελέτες συσχέτισης ατυχημάτων και ταχυτήτων.....	9
3	ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	12
3.1	ΜΟΡΦΕΣ ΑΝΙΣΟΠΕΔΩΝ ΚΟΜΒΩΝ	12
3.1.1	Ανισόπεδος κόμβος μορφής ρόμβου (διαμάντι)	12
3.1.2	Ανισόπεδος κόμβος μορφής πλήρους τετράφυλλου	13
3.1.3	Ανισόπεδος κόμβος μορφής πλήρους τετράφυλλου με κατανομητήρια οδοστρώματα	14
3.1.4	Ανισόπεδοι κόμβοι μορφής μερικού τετράφυλλου	15
3.1.5	Ανισόπεδοι κόμβοι τριών κλάδων	18
3.2	ΟΙ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΙ ΚΟΜΒΟΙ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	19
3.3	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	21
3.4	ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ	22
3.4.1	Διακύμανση στην διάρκεια της ώρας.....	23
3.4.2	Ωριαία διακύμανση στην διάρκεια της ημέρας	25
3.4.3	Ημερήσια διακύμανση στην διάρκεια της εβδομάδας	26
3.4.4	Μηνιαία διακύμανση κατά την διάρκεια του έτους.....	26
3.5	ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ	27
3.5.1	Επιτρεπόμενη ταχύτητα ($V_{\text{επιτρ}}$)	28
3.5.2	Ταχύτητα μελέτης (V_e).....	28
3.5.3	Λειτουργική ταχύτητα (V_{85})	29
3.6	ΚΙΝΗΣΗ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ (FREE FLOW)	30
3.7	ΕΛΙΚΤΟΤΗΤΑ.....	32
3.8	ΠΡΟΦΙΛ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ	33
3.9	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ.....	35
3.10	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΙΒΗΣ	36
3.10.1	Συντελεστής εφαπτομενικής τριβής	37
3.10.2	Συντελεστής πλευρικής τριβής	39
3.11	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	41
3.11.1	Απλοποιημένο πρότυπο υπολογισμού πλευρικής επιτάχυνσης	43

3.11.2	Πρότυπο δυναμικής ανάλυσης κίνησης οχημάτων	44
4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	51
4.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΜΕΛΕΤΗΣ	51
4.2	ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	51
4.3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ.....	55
4.4	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ	57
4.5	ΣΥΛΛΟΓΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	58
4.6	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ.....	59
4.7	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ	61
4.8	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ	65
5	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	67
5.1	ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΥ ΚΟΜΒΟΥ.....	67
5.1.1	Ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος προς Πειραιά	67
5.1.2	Ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος προς Κόρινθο	70
5.2	ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ.....	74
5.2.1	Σύνθεση της κυκλοφορίας Προς Πειραιά.....	75
5.2.2	Σύνθεση της κυκλοφορίας προς Κόρινθο	79
5.3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ	83
5.3.1	Λειτουργικές ταχύτητες V_{85}	86
5.3.2	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ταχυτήτων	93
5.3.3	Συσχέτιση ταχυτήτων και ελκτικότητας	95
5.3.4	Σύγκριση ταχυτήτων μέρα και νύχτα.....	95
5.3.5	Σύγκριση λειτουργικών ταχυτήτων σε βροχή.....	98
5.3.6	Κατανομή ταχυτήτων.....	105
5.4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ	107
5.4.1	Υπολογισμός συντελεστή τριβής υφιστάμενου οδοστρώματος.....	108
5.4.2	Υπολογισμός πλευρικών επιταχύνσεων υφιστάμενης κατάστασης.....	109
5.4.3	Υπολογισμός πλευρικών επιταχύνσεων για διαφορετικές τιμές του συντελεστή τριβής 118	
5.5	ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ	120
5.5.1	Μέγιστες σταθερές ταχύτητες υφιστάμενης κατάστασης	120
5.5.2	Μέγιστες σταθερές ταχύτητες για ελάχιστη επίκλιση 2.50%	122
5.5.3	Μέγιστες σταθερές ταχύτητες για μέγιστη επίκλιση 7.00%	124
5.5.4	Συγκεντρωτικά αποτελέσματα	126
5.5.5	Μέγιστη σταθερή ταχύτητα ανάλογα με την ακτίνα, την κατά μήκος κλίση και την επίκλιση 127	

6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	133
6.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	134
6.2	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ	135
6.3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ	137
6.4	ΣΥΝΟΨΗ.....	141
6.5	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΜΕΛΕΤΗ.....	141

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	143
---------------------------	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ V_{85}

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6 ΚΩΔΙΚΕΣ VBA

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ

Ευρετήριο Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 3-1 ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΟΘΟΝΗ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΧΡΗΣΤΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	48
ΕΙΚΟΝΑ 3-2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ ΕΡΓΑΛΕΙΟ "SOLVER"	50
ΕΙΚΟΝΑ 4-1 ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	52
ΕΙΚΟΝΑ 4-2 ΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤC-1 ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΟΔΗΓΟΥ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 4-3 ΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤC-2Α ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΟΔΗΓΟΥ	53
ΕΙΚΟΝΑ 4-4 ΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤC-2Β ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΟΔΗΓΟΥ	53
ΕΙΚΟΝΑ 4-5 ΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤC-3 ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΟΔΗΓΟΥ	54
ΕΙΚΟΝΑ 4-6 ΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΤC-3 ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΟΔΗΓΟΥ	54
ΕΙΚΟΝΑ 4-7 ΕΥΚΑΜΠΤΟΙ ΕΛΑΣΤΙΚΟΙ ΣΩΛΗΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ (ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ HTTPS://D3UJYJMHVWP3JD.CLOUDFRONT.NET/WP-CONTENT/UPLOADS/2016/05/IMG_8595.JPG)	55
ΕΙΚΟΝΑ 4-8 ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΦΥΛΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ	57
ΕΙΚΟΝΑ 4-9 ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΙΟΜΕΤΡΟ VERICOM VC4000DAQ (ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΟ ΤΑ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ: HTTPS://CDN.MASSTRANSITMAG.COM/FILES/BASE/CYGNUS/MASS/IMAGE/2015/05/960W/10X7_CROPED.55689DAB9B188.JPG)	60
ΕΙΚΟΝΑ 4-10 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ ΚΙΓΚΛΙΔΩΜΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ R=65M	65
ΕΙΚΟΝΑ 4-11 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ ΚΙΓΚΛΙΔΩΜΑ ΣΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ ΜΕ ΑΚΤΙΝΑ R=30M.....	66
ΕΙΚΟΝΑ 4-12 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ ΚΙΓΚΛΙΔΩΜΑ ΣΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ R=110M.....	66
ΕΙΚΟΝΑ 4-13 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ ΚΙΓΚΛΙΔΩΜΑ ΣΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ R=110M	66
ΕΙΚΟΝΑ 5-1 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΔΙΕΠΑΦΗΣ ΧΡΗΣΤΗ ΦΥΛΛΟΥ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	109
ΕΙΚΟΝΑ 5-2 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ	110
ΕΙΚΟΝΑ 5-3 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΟ ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΑ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΚΑΙ ΤΟΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ	119

Ευρετήριο Σχημάτων

ΣΧΗΜΑ 3-1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΜΟΡΦΗΣ ΡΟΜΒΟΥ (ΓΛΑΡΟΣ & ΚΑΝΕΛΛΑΪΔΗΣ, 2017)	13
ΣΧΗΜΑ 3-2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΜΟΡΦΗΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΤΕΤΡΑΦΥΛΛΟΥ (ΓΛΑΡΟΣ & ΚΑΝΕΛΛΑΪΔΗΣ, 2017)	14
ΣΧΗΜΑ 3-3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΜΟΡΦΗΣ ΠΛΗΡΟΥΣ ΤΕΤΡΑΦΥΛΛΟΥ ΜΕ ΚΑΤΑΝΕΜΗΤΗΡΙΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ (ΓΛΑΡΟΣ & ΚΑΝΕΛΛΑΪΔΗΣ, 2017)	14
ΣΧΗΜΑ 3-4 ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΣ ΚΟΜΒΟΣ ΜΟΡΦΗΣ ΑΡΙΣΤΕΡΗΣ ΣΑΛΠΙΓΓΑΣ (ΖΑΧΑΡΗ & ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΗΣ, 1999)	18
ΣΧΗΜΑ 3-5 ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΣ ΚΟΜΒΟΣ ΜΟΡΦΗΣ ΔΕΞΙΑΣ ΣΑΛΠΙΓΓΑΣ (ΖΑΧΑΡΗ & ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΗΣ, 1999)	19
ΣΧΗΜΑ 3-6 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΝΙΣΟΠΕΔΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΣΤΗΝ ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟ	20
ΣΧΗΜΑ 3-7 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΜΕ $\Sigma\Omega = 0.947$	24
ΣΧΗΜΑ 3-8 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΜΕ $\Sigma\Omega = 0.791$	24
ΣΧΗΜΑ 3-9 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΗΜΕΡΑΣ	25

ΣΧΗΜΑ 3-10 ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΕΒΔΟΜΑΔΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΕΩΦΟΡΟ ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΣ (ΕΜΠ, 1998).....	26
ΣΧΗΜΑ 3-11 ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΣΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ.	27
ΣΧΗΜΑ 3-12 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ V_{85} ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΛΙΚΤΟΤΗΤΑ K_E , ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ Β ΜΙΑΣ ΟΔΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΗ (ΟΜΟΕ-Χ, 2001)	33
ΣΧΗΜΑ 3-13 ΤΑΧΥΤΗΤΑ V_{85} ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΗ (FHWA, 1999)	34
ΣΧΗΜΑ 3-14 ΤΑΧΥΤΗΤΑ V_{85} ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ ΤΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΚΛΑΔΟΥ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΥ ΚΟΜΒΟΥ (DE JONG, 2017)	35
ΣΧΗΜΑ 3-15 ΑΣΚΟΥΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΕ ΟΧΗΜΑ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΣΕ ΣΤΡΟΦΗ.....	43
ΣΧΗΜΑ 3-16 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΟΧΗΜΑ ΣΕ ΣΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΑΝΩΦΕΡΕΙΑ (ΜΑΥΡΟΜΑΤΗΣ, 2017).....	45
ΣΧΗΜΑ 4-1 ΑΠΟΣΠΑΣΜΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΜΕ ΤΟ ΟΧΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	63
ΣΧΗΜΑ 4-2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΜΕ ΤΑΧΥΤΗΤΑ V_{85} ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ $R=110m$	64
ΣΧΗΜΑ 5-1 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	69
ΣΧΗΜΑ 5-2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΦΟΡΤΟ ΓΙΑ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΚΙΝΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	70
ΣΧΗΜΑ 5-3 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	72
ΣΧΗΜΑ 5-4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΦΟΡΤΟ ΓΙΑ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΚΙΝΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	73
ΣΧΗΜΑ 5-5 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 6/7/2018 ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	75
ΣΧΗΜΑ 5-6 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΑΒΒΑΤΟ 7/7/2018 ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	75
ΣΧΗΜΑ 5-7 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑΚΗ 8/7/2018 ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ.....	76
ΣΧΗΜΑ 5-8 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΝΑ 6 ΩΡΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 6/7/2018 ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ.....	77
ΣΧΗΜΑ 5-9 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΝΑ 6 ΩΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΑΒΒΑΤΟ 7/7/2018 ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ.....	77
ΣΧΗΜΑ 5-10 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΝΑ 6 ΩΡΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑΚΗ 8/7/2018 ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	78
ΣΧΗΜΑ 5-11 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 6/7/2018 ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	79
ΣΧΗΜΑ 5-12 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΑΒΒΑΤΟ 7/7/2018 ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	80
ΣΧΗΜΑ 5-13 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑΚΗ 8/7/2018 ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ.....	80
ΣΧΗΜΑ 5-14 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΝΑ 6 ΩΡΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ 6/7/2018 ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ.....	81
ΣΧΗΜΑ 5-15 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΝΑ 6 ΩΡΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΑΒΒΑΤΟ 7/7/2018 ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	81
ΣΧΗΜΑ 5-16 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΑΝΑ 6 ΩΡΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑΚΗ 8/7/2018 ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	82
ΣΧΗΜΑ 5-17 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ V_{85} ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΑΤC-1	89
ΣΧΗΜΑ 5-18 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ V_{85} ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΑΤC-2Α	89
ΣΧΗΜΑ 5-19 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ V_{85} ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΑΤC-3 ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	89
ΣΧΗΜΑ 5-20 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ V_{85} ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΑΤC-3 ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	91

ΣΧΗΜΑ 5-21 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ V_{85} ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ATC-2B	91
ΣΧΗΜΑ 5-22 ΜΕΓΕΘΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ ΤΟΥ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΥ ΚΟΜΒΟΥ	93
ΣΧΗΜΑ 5-23 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ	94
ΣΧΗΜΑ 5-24 ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΡΑΣ (10:00-16:00) ΚΑΙ ΝΥΧΤΑΣ (22:00-04:00) (DE JONG, 2017)	96
ΣΧΗΜΑ 5-25 ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΜΕΡΑΣ ΚΑΙ ΝΥΧΤΑΣ ΣΤΟΝ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟ ΚΟΜΒΟ ΤΟΥ ΣΚΑΡΑΜΑΓΚΑ.....	97
ΣΧΗΜΑ 5-26 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑΚΗ 8/7/2018 ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ATC-1.....	98
ΣΧΗΜΑ 5-27 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑΚΗ 8/7/2018 ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ATC-2Α.....	99
ΣΧΗΜΑ 5-28 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑΚΗ 8/7/2018 ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ATC-3 ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	99
ΣΧΗΜΑ 5-29 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑΚΗ 8/7/2018 ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ATC-3 ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	99
ΣΧΗΜΑ 5-30 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΩΡΙΑΙΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑΚΗ 8/7/2018 ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ ATC-2B.....	100
ΣΧΗΜΑ 5-31 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ V_{85} ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕ ΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΤΗΣ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	103
ΣΧΗΜΑ 5-32 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ATC-1	105
ΣΧΗΜΑ 5-33 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ATC-2Α	105
ΣΧΗΜΑ 5-34 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ATC-2B	106
ΣΧΗΜΑ 5-35 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ATC-3 ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ.....	106
ΣΧΗΜΑ 5-36 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ATC-3 ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ.....	106
ΣΧΗΜΑ 5-37 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ $R=30M$	112
ΣΧΗΜΑ 5-38 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ $R=56M$	112
ΣΧΗΜΑ 5-39 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ $R=65M$	113
ΣΧΗΜΑ 5-40 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ $R=110M$	113
ΣΧΗΜΑ 5-41 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ $R=220M$ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΗ -4% ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	114
ΣΧΗΜΑ 5-42 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ $R=220M$ ΚΑΙ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΗ 4% ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	114
ΣΧΗΜΑ 5-43 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΑΚΤΙΝΑ.....	116
ΣΧΗΜΑ 5-44 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ (ΜΑΥΡΟΜΑΤΗΣ, 2017) ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΜΠΡΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΡΟΧΟ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΑΚΤΙΝΑ	116
ΣΧΗΜΑ 5-45 ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΠΟΥ ΔΕΧΟΝΤΑΙ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΚΙΝΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟΝ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟ ΚΟΜΒΟ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΤΡΙΗΜΕΡΟΥ 6/7-8/7	117

ΣΧΗΜΑ 5-46 ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΟΥ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	121
ΣΧΗΜΑ 5-47 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ $F=0.88$ ΚΑΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΕΠΙΚΛΙΣΗ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΙΒΗΣ	122
ΣΧΗΜΑ 5-48 ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΟΥ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΓΙΑ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΠΙΚΛΙΣΗ 2.50%	123
ΣΧΗΜΑ 5-49 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ $F=0.88$ ΚΑΙ ΕΠΙΚΛΙΣΗ 2.50% ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΙΒΗΣ	124
ΣΧΗΜΑ 5-50 ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗ ΤΟΥ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΓΙΑ ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΠΙΚΛΙΣΗ 7.00%	125
ΣΧΗΜΑ 5-51 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ $F=0.88$ ΚΑΙ ΕΠΙΚΛΙΣΗ 7.00% ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΙΒΗΣ	126
ΣΧΗΜΑ 5-52 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΙΒΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΚΛΙΣΗ 2.50%	128
ΣΧΗΜΑ 5-53 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΙΒΗΣ ΓΙΑ ΕΠΙΚΛΙΣΗ 7.00%	128
ΣΧΗΜΑ 5-54 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΚΛΙΣΗ ΟΔΟΥ 2.50% ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ, ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	129
ΣΧΗΜΑ 5-55 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΚΛΙΣΗ ΟΔΟΥ 7.00% ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΑ, ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	130
ΣΧΗΜΑ 5-56 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ	131
ΣΧΗΜΑ 6-1 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΦΟΡΤΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ... ..	136
ΣΧΗΜΑ 6-2 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΦΟΡΤΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ.	136
ΣΧΗΜΑ 6-3 ΜΕΙΩΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	139
ΣΧΗΜΑ 6-4 ΑΥΞΗΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΟΥ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΝΑΠΤΥΧΘΕΙ ΣΤΟΝ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟ ΚΟΜΒΟ ΣΧΙΣΤΟΥ ΓΙΑ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΕΠΙΚΛΙΣΕΩΝ ΣΕ 7.0%	139

Ευρετήριο Πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1 ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΑΡΘΡΩΝ ΑΝΑ ΟΡΟ ΑΝΑΖΗΤΗΣΗΣ	5
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-2 ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΛΑΔΩΝ ΑΝΙΣΟΠΕΔΩΝ ΚΟΜΒΩΝ (ΡΑΑ, 2008)	6
ΠΙΝΑΚΑΣ 2-3 ΟΡΙΑΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΛΑΔΩΝ ΑΝΙΣΟΠΕΔΩΝ ΚΟΜΒΩΝ (ΟΜΟΕ-ΑΚ, 2003)	7
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΝΑΓΩΓΗΣ ΜΗΚ (HCM, 2000)	22
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-2 ΈΡΕΥΝΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ FREE FLOW	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-3 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΥΣ ΚΛΙΣΗΣ (FHWA, 1999)	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-4 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ (ΟΜΟΕ-Χ, 2001)	37
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΙΒΗΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ (ΤΕΕ, 2006)	38

ΠΙΝΑΚΑΣ 3-6 ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΟΜΕΝΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ ΤΡΙΒΗΣ ΚΑΙ ΕΝΑΠΟΜΕΝΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ (LAMM ET AL., 1999).....	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-7 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΒΑΣΕΙ ΟΡΙΩΝ ΑΝΕΣΗΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ ΣΕ ΜΙΛΙΑ ΑΝΑ ΩΡΑ (AASHTO, 2018)	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-8 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΒΑΣΕΙ ΟΡΙΩΝ ΑΝΕΣΗΣ ΤΩΝ ΧΡΗΣΤΩΝ ΣΕ ΧΙΛΙΟΜΕΤΡΑ ΑΝΑ ΩΡΑ	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-9 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΟΧΗΜΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-10 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-11 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-12 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΟΔΟΥ ΓΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-13 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΓΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 3-14 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ.....	50
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΔΟΥ ΣΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	54
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-3 ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ Χ.Θ. ΜΕ ΤΙΣ ΑΚΤΙΝΕΣ ΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΚΑΜΠΥΛΩΝ	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1 ΩΡΙΑΙΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ.....	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΦΟΡΤΟ ΓΙΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΚΙΝΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3 ΩΡΙΑΙΟΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΣ ΦΟΡΤΟΣ ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	71
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟΥ ΦΟΡΤΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΟ ΦΟΡΤΟ ΓΙΑ ΤΑ ΟΧΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΚΙΝΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΡΟΗΣ ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	72
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-5 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΜΕΣΟΥ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΕΡΑ ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-6 ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΥΛΙΟΜΕΝΟΥ ΜΕΣΟΥ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΕΡΑ ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	85
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-7 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ V_{85} ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-8 ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ V_{50} ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-9 ΤΑΧΥΤΗΤΑ V_{15} ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	90
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-10 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ V_{85} ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-11 ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ V_{50} ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-12 ΤΑΧΥΤΗΤΑ V_{15} ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	92
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-13 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΛΙΚΤΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ.....	95
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-14 ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ V_{85} ΚΑΙ V_{50} ΓΙΑ ΠΡΩΙΝΕΣ ΚΑΙ ΝΥΧΤΕΡΙΝΕΣ ΩΡΕΣ ΣΤΟΝ ΑΝΙΣΟΠΕΔΟ ΚΟΜΒΟ ΤΟΥ ΣΚΑΡΑΜΑΓΚΑ ..	97
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-15 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑΚΗ 8/7/2018	101
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-16 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ V_{85} ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	102
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-17 ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΣΕ ΚΑΘΕ ΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ.....	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-18 ΠΛΕΥΡΙΚΕΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΙΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΔΙΕΛΕΥΣΗ ΣΕ ΚΑΘΕ ΘΕΣΗ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-19 ΤΙΜΕΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΓΙΑ ΑΝΕΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΟΧΗΜΑΤΟΣ (AASHTO, 2018)	115

ΠΙΝΑΚΑΣ 5-20 ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ ΑΝΕΣΗΣ	117
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-21 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-22 ΔΙΑΦΟΡΑ ΠΑΡΑΤΗΡΟΥΜΕΝΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ.....	132
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣ ΠΕΙΡΑΙΑ	134
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΠΡΟΣ ΚΟΡΙΝΘΟ	135

1 Εισαγωγή

Από την εποχή που ξεκίνησε να αναπτύσσεται η αυτοκινητοβιομηχανία, δημιουργήθηκε η ανάγκη για την κατασκευή οδών που να επιτρέπουν την ταχεία και ασφαλή κίνηση των οχημάτων μεταξύ πόλεων. Με βάση αυτή την ανάγκη κατασκευάστηκαν οι πρώτοι αυτοκινητόδρομοι, με βασικά χαρακτηριστικά τους την ύπαρξη πολλών λωρίδων κυκλοφορίας και την ύπαρξη ανισόπεδων κόμβων.

Οι **ανισόπεδοι κόμβοι** αποτελούν σημαντικά στοιχεία των αυτοκινητόδρομων αφού οι είσοδος και η έξοδος από τους αυτοκινητόδρομους γίνεται αποκλειστικά με την χρήση ανισόπεδων κόμβων. Επιπροσθέτως τα οχήματα που εξέρχονται από τους αυτοκινητόδρομους εισέρχονται στους ανισόπεδους κόμβους με **μεγάλη ταχύτητα** και ακολουθούν μια αλληλουχία οριζοντιογραφικών καμπυλών με **αυξημένη ελκτικότητα**.

Συνεπώς γίνεται εύκολα αντιληπτή η κρισιμότητά τους και στην βάση αυτή κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη σωστής καθοδήγησης για τον σχεδιασμό τους με γνώμονα την ασφαλή κίνηση των οχημάτων. Παρά την σημασία των ανισόπεδων κόμβων, στην Ελλάδα δεν εφαρμόζεται προς το παρόν κάποιο συγκεκριμένο πλαίσιο και οι οδηγίες που χρησιμοποιούνται αποτελούν προσχέδιο με βάση τις γερμανικές οδηγίες σχεδιασμού.

Πολλές έρευνες έχουν διεξαχθεί διεθνώς σε πολλές **τυπικές κατηγορίες οδών** (αυτοκινητόδρομοι, τοπικές οδοί κ.λπ.) οι οποίες εξετάζουν τις ταχύτητες των οχημάτων και την συσχέτισή τους με την ασφαλή κίνηση τους σε αυτές. Ωστόσο δεν υπάρχει ικανοποιητικός αριθμός ερευνών που να εξετάζουν το περιθώριο ασφάλειας κίνησης των οχημάτων σε κλάδους ανισόπεδων κόμβων διερευνώντας τις ταχύτητες που επικρατούν σε αυτούς.

Μια σημαντική **μελέτη** προς αυτή την κατεύθυνση παρουσίασε το 2017 ο Ολλανδός μελετητής Joost de Jong. Πρόκειται για μια μελέτη ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων των οχημάτων που κινούνται σε κλάδους ανισόπεδων κόμβων η οποία πραγματοποιήθηκε σε 16 ανισόπεδους κόμβους της Ολλανδίας. Τα αποτελέσματά του κρίνονται σημαντικά και θα ενσωματωθούν στους Ολλανδικούς κανονισμούς στην επόμενη αναθεώρησή τους.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση των περιθωρίων ασφαλείας στην κίνηση οχημάτων σε συνδετήριους κλάδους ανισόπεδων κόμβων. Για τον σκοπό αυτό οι ταχύτητες των οχημάτων στους συνδετήριους κλάδους συσχετίστηκαν με τις αντίστοιχες μέγιστες σταθερές ταχύτητες που προκύπτουν με βάση τις απαιτήσεις συγκράτησης του οχήματος σε καμπύλη τροχιά. Αυτή η συσχέτιση πραγματοποιήθηκε με δύο τρόπους, αφενός με μετρήσεις των απαιτούμενων δεδομένων με τη βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού (όργανα μέτρησης) και αφετέρου με βάση την επεξεργασία των δεδομένων αυτών μέσω εξειδικευμένου λογισμικού.

Επίσης, δεδομένου ότι η συλλογή στοιχείων πραγματοποιήθηκε σε έναν ανισόπεδο κόμβο, προκειμένου να αξιολογηθεί η ακρίβεια των μετρήσεων αλλά και της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε γενικότερα, τα αποτελέσματα των μετρήσεων στις ταχύτητες συσχετίστηκαν με υφιστάμενη μελέτη από την διεθνή βιβλιογραφία.

Μεθοδολογία

Ως **περιοχή μελέτης** ελήφθη ο ανισόπεδος κόμβος Σχιστού στην περιοχή του Σκαρामαγκά ο οποίος συνδέει την Λεωφόρο Αθηνών με την Λεωφόρο Σχιστού-Σκαρामαγκά. Ο συγκεκριμένος κόμβος επιλέχθηκε λόγω της μορφής του (Σάλπιγγα) η οποία περιλαμβάνει τόξα μεταβαλλόμενης καμπυλότητας στους συνδετήριους κλάδους και αποτελεί από τους πιο διαδεδομένους τύπους τρισκελών ανισόπεδων κόμβων. Συλλέχθηκαν κυκλοφοριακά δεδομένα και δεδομένα ταχυτήτων. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τον ανισόπεδο κόμβο είναι αντιπροσωπευτικά καθώς εξετάζουν τις ταχύτητες σε διάφορες ημέρες, συνθήκες φωτισμού και καιρικές συνθήκες. Επίσης έγιναν **επιτόπου διελεύσεις** με τυπικό όχημα καταλλήλως εξοπλισμένο, προκειμένου να μετρηθεί η ταχύτητα διέλευσης και η πλευρική επιτάχυνση που δέχεται ένα όχημα κατά την διάρκεια κίνησης του σε οριζοντιογραφική καμπύλη ανισόπεδου κόμβου.

Δομή της εργασίας

2^ο Κεφάλαιο: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια σύντομη βιβλιογραφική αναφορά στις οδηγίες που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό των κλάδων των ανισόπεδων κόμβων σε διάφορες χώρες και μια σύντομη παρουσίαση των ερευνών που έχουν γίνει διεθνώς.

3^ο Κεφάλαιο: Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται όλα τα απαραίτητα θεωρητικά στοιχεία για την κατανόηση των εννοιών που χρησιμοποιούνται στην εργασία αυτή όπως για παράδειγμα τα είδη των ανισόπεδων κόμβων, τα κυκλοφοριακά μεγέθη, οι

λειτουργικές ταχύτητες, οι συντελεστές τριβής και οι τρόποι υπολογισμού πλευρικών επιταχύνσεων μέσω των θεωρητικών μοντέλων.

4^ο Κεφάλαιο: Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται αρχικά η περιοχή μελέτης που επιλέχθηκε. Στην συνέχεια αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την συλλογή των κυκλοφοριακών δεδομένων, των ταχυτήτων και των πλευρικών επιταχύνσεων στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης. Τέλος παρουσιάζεται ο τρόπος επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέχθηκαν.

5^ο Κεφάλαιο: Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η επεξεργασία των δεδομένων και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή. Εξετάζεται η υφιστάμενη κυκλοφοριακή κατάσταση του ανισόπεδου κόμβου μελέτης, αναλύονται οι ταχύτητες που καταγράφηκαν και συγκρίνονται με την διεθνή βιβλιογραφία. Τέλος αναλύονται οι πλευρικές επιταχύνσεις που δέχονται τα επιβατηγά οχήματα που διέρχονται από τους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου μελέτης και συγκρίνονται οι μέγιστες σταθερές ταχύτητες που μπορούν να αναπτύξουν με τις καταγεγραμμένες ώστε να εξεταστεί κατά πόσο τα οχήματα κινούνται με ασφάλεια.

6^ο Κεφάλαιο: Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται η συζήτηση των αποτελεσμάτων και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις των προηγούμενων κεφαλαίων. Τέλος δίνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα σύμφωνα με τα στοιχεία που προέκυψαν.

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η προσπάθεια του ανθρώπου να κατασκευάσει οχήματα έχει τις απαρχές της στα τέλη του 18^{ου} αιώνα όταν και φτιάχτηκε το πρώτο όχημα που μπορούσε να μεταφέρει άτομα και αποσκευές και λειτουργούσε με ατμομηχανή. Ωστόσο, οι ατμομηχανές δεν προσέφεραν πρακτικότητα και έτσι οι προσπάθειες των κατασκευαστών επικεντρώθηκαν στην παραγωγή αξιόπιστων κινητήρων εσωτερικής καύσης. Το πρώτο μοντέλο μαζικής παραγωγής που ήταν προσιτό και μπορούσε να το χρησιμοποιήσει μια μεγάλη μερίδα του πληθυσμού θεωρείται το Ford Model T το οποίο παράχθηκε από το 1908 έως το 1928. Με την πάροδο του χρόνου πολλοί κατασκευαστές ξεκίνησαν να προσφέρουν προσιτά οχήματα με αποτέλεσμα όλο και περισσότεροι άνθρωποι να έχουν την δυνατότητα να μετακινηθούν με αυτό το νέο επαναστατικό τρόπο μεταφοράς.

Η κατασκευή των σύγχρονων αυτοκινητόδρομων ξεκίνησε σαν αποτέλεσμα αυτής της συνεχώς αυξανόμενης δημοτικότητας του αυτοκινήτου στις αρχές του 20^{ου} αιώνα προκειμένου να μπορέσουν να εξυπηρετηθούν οι χρήστες με ασφάλεια. Οι πρώτες ενέργειες που αποσκοπούσαν στην δημιουργία ορισμένων κανόνων σχεδιασμού ξεκίνησαν από τα μέσα του 1930 με την δημιουργία του Transport Research Laboratory (TLR) στην Αγγλία και στην συνέχεια στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής με το Federal Aid Highway Act of 1944 το οποίο είχε σαν στόχο την σύνδεση του 90% των πόλεων που έχουν πληθυσμό άνω των 50.000 κατοίκων.

Στην σύγχρονη εποχή οι οδηγίες που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό ανισόπεδων κόμβων διαφέρουν ανά χώρα. Για παράδειγμα στις Η.Π.Α. ο σχεδιασμός ανισόπεδων κόμβων γίνεται με βάση το εγχειρίδιο American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2018) ενώ στην Γερμανία με βάση τις οδηγίες RAA, 2008 και RAL, 2012. Δεδομένου ότι στην Ελλάδα υπάρχουν μόνο προσωρινές οδηγίες (OMOE-AK, 2003) ο σχεδιασμός των ανισόπεδων κόμβων γίνεται με βάση τις αντίστοιχες γερμανικές οδηγίες.

Εκτός από τις οδηγίες αυτές έχουν γίνει πολλές έρευνες που αναλύουν σε βάθος τα χαρακτηριστικά των υφιστάμενων οδών και τα συσχετίζουν με την ασφαλή κίνηση των οχημάτων. Ωστόσο δεν υπάρχει παρόμοιος αριθμός ερευνών που να εξετάζουν τα χαρακτηριστικά των ανισόπεδων κόμβων των αυτοκινητόδρομων σχετικά με τα

περιθώρια ασφάλειας κίνησης των οχημάτων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι αναζητώντας επιστημονικές έρευνες επί του θέματος στην ιστοσελίδα www.sciencedirect.com φαίνεται ο μειωμένος αριθμός σχετικών ερευνών σε ανισόπεδους κόμβους και παρουσιάζεται στον Πίνακα 2-1.

Λέξεις κλειδιά	Αριθμός επιστημονικών ερευνών
Road	1.134.432
Interchange	166.212
Road, speed, safety	58,859
Interchange, speed, safety	6,314

Πίνακας 2-1 Αριθμός επιστημονικών άρθρων ανά όρο αναζήτησης

2.1 Οδηγίες σχεδιασμού AASHTO

Οι αμερικανικές οδηγίες σχεδιασμού AASHTO, 2018 προσφέρουν μια ολοκληρωμένη πρακτική σχεδιασμού αυτοκινητόδρομων για την ασφαλή εξυπηρέτηση των χρηστών της οδού. Οι οδηγίες αυτές βασίζονται στην ήδη εφαρμοζόμενη πρακτική και στις επιπλέον έρευνες που έχουν γίνει πάνω στον γεωμετρικό σχεδιασμό των οδών. Σκοπός των οδηγιών αυτών είναι η καθοδήγηση των μελετητών στην επιλογή τιμών σχεδιασμού, μέσα από ένα εύρος τιμών για ορισμένα κρίσιμα χαρακτηριστικά. Παρόλα αυτά δεν προορίζεται ως ένα εγχειρίδιο λεπτομερούς σχεδιασμού το οποίο θα υπερίσχυε της ανάγκης για κριτική σκέψη από τους ίδιους τους μελετητές. Για αυτό επιτρέπει αρκετή ευελιξία, προκειμένου να ενθαρρύνει την προσαρμογή των συστάσεων ανάλογα με το υπό μελέτη έργο.

Στο Κεφάλαιο 10 του Πράσινου Βιβλίου (Green Book) δίνονται οι οδηγίες για την μελέτη ανισόπεδων κόμβων. Ως ανισόπεδος κόμβος ορίζεται ένα σύστημα διασύνδεσης δύο ή περισσότερων οδών σε συνδυασμό με έναν ή περισσότερους υψομετρικούς διαχωρισμούς και το οποίο επιτρέπει την μετακίνηση της κυκλοφορίας μεταξύ των διασυνδεόμενων οδών. Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται όλες οι μορφές ανισόπεδων κόμβων και όλες οι απαραίτητες οδηγίες για την κατασκευή τους.

2.2 Γερμανικές οδηγίες RAA

Για τον σχεδιασμό ανισόπεδων κόμβων σε αυτοκινητόδρομο, χρησιμοποιούνται οι οδηγίες για την κατασκευή αυτοκινητόδρομων RAA (Richtlinien für die Anlage von Autobahnen). Κατά τις οδηγίες αυτές ως αυτοκινητόδρομοι ορίζονται οι οδοί χωρίς παρόδια δόμηση, δύο κατευθύνσεων με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας, με πολλαπλές λωρίδες σε κάθε κατεύθυνση και ανισόπεδους κόμβους για την είσοδο και έξοδο από αυτούς. Οι οδοί αυτές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την ταχεία κυκλοφορία μηχανοκίνητων οχημάτων (RAA, 2008).

Στο κεφάλαιο 6 των οδηγιών αυτών γίνεται αναφορά στους ανισόπεδους κόμβους και στις οδηγίες για τον σχεδιασμό τους. Οι RAA εξετάζουν στο κεφάλαιο αυτό όλα τα συστήματα ανισόπεδων κόμβων στους αυτοκινητόδρομους, καθώς και όλα τα ανισόπεδα στοιχεία αυτών των κόμβων. Τυπικές λύσεις ανισόπεδων κόμβων στο πλαίσιο επαρχιακών οδών περιλαμβάνονται στις Γερμανικές RAL («Οδηγίες για την κατασκευή επαρχιακών οδών», “Richtlinien für die Anlage von Landstraßen”). Στον Πίνακα 2-2 παρουσιάζονται οι παράμετροι σχεδιασμού συνδετήριων κλάδων ανισόπεδων κόμβων σύμφωνα με της οδηγίες αυτές.

Connector road speed	V	[km/h]	30	40	50	60	70	80
Crown radius of the slip road	min R	[m]	30	50	80	125	180	250
Minimum crest diameter	min H _k	[m]	1000	1500	2000	2800	3000	3500
Minimum sag diameter	min H _w	[m]	500	750	1000	1400	2000	2600
Stopping sight distance	S _h	[m]	30	40	55	75	100	115
Longitudinal gradient limiting value	max s	[%] (ascending gradient)	+ 6.0					
	min s	[%] (descending gradient)	-7					
Minimum crossfall outside superelevation areas	min q	[%]	2.5					
Maximum crossfall	max q	[%]	6.0					
Minimum relative grade	min Δs	[%]	0.1*a					
			a[m]: Distance from the "Axis of rotation" to the edge of carriageway					
Maximum incline	max p	[%]	9.0					

Πίνακας 2-2 Οριακές τιμές παραμέτρων στοιχείων μελέτης κλάδων ανισόπεδων κόμβων (RAA, 2008)

2.3 Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ)

Στο Τεύχος 9 «Ανισόπεδοι Κόμβοι, Βασικά Χαρακτηριστικά Σχεδιασμού Κλάδων» των Οδηγιών Μελετών Οδικών Έργων παρέχονται οι οδηγίες για την μελέτη και τον σχεδιασμό βασικών χαρακτηριστικών ανισόπεδων κόμβων. Στο τεύχος αυτό δίνεται έμφαση στους ανισόπεδους κόμβους που συνδέουν αυτοκινητόδρομους με άλλης κατηγορίας οδό. Η βάση των οδηγιών αυτών είναι οι οδηγίες RAS-K-2-B οι οποίες έχουν αντικατασταθεί με τις ανανεωμένες οδηγίες RAA, 2008 που προαναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2-2.

Στο τεύχος αυτό περιλαμβάνονται οι οδηγίες για την γεωμετρία της χάραξης των ανισόπεδων κόμβων, η διαμόρφωση των διατομών τους και ο σχεδιασμός των εισόδων και εξόδων των ανισόπεδων κόμβων. Επειδή οι οδηγίες ΟΜΟΕ αποτελούν τους διαδεδομένους κανονισμούς σχεδίασης μιας οδού στην Ελλάδα κρίθηκε σκόπιμο να παρατεθεί ο Πίνακας 2-3 που παρουσιάζει τα βασικά στοιχεία μελέτης κλάδων ανισόπεδων κόμβων.

Στοιχεία μελέτης				Οριακές τιμές στοιχείων μελέτης σύμφωνα με την ταχύτητα μελέτης V_e [km/h]						
				30	40	50	60	70	80	
Οριζοντιογραφία	Ελάχιστη ακτίνα καμπύλης min R [m]			25	45	75	120	175	250	
	Ελάχιστη παράμετρος κλωθοειδούς min A [-]			25	45	45	45	50	60	
	Ελάχιστη ακτίνα καμπύλης για την εφαρμογή αρνητικής επίκλισης -2.5% min R [m]			100	200	300	500	800	1200	
Μηκοτομή	Μέγιστη κατά μήκος κλίση		ανωφέρεια max s [%]	6						
			κατωφέρεια max s [%]	7						
	Ελάχιστη ακτίνα καμπύλης		κυρτή min H_K [m]	200	400	800	1300	2000	3000	
			κοίλη min H_W [m]	250	500	750	1000	1400	2200	
Διατομή	Ελάχιστη επίκλιση min q [%]			2.5						
	Μέγιστη επίκλιση max q [%]			7 (κατ'εξαίρεση 8)						
	Μέγιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμών		$\alpha < 4.0$ m	max Δs [%]		0.5 α		0.4 α		0.25 α
			$\alpha \geq 4.0$ m			2.0		1.6		1.0
	Ελάχιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμών min Δs [%]			0.1 α						
Ορατότητα	Ελάχιστο μήκος ορατότητας για στάση για κατά μήκος κλίση 0% min S_n [m]			30	40	50	65	90	110	
	Ελάχιστο μήκος ορατότητας για απόφαση min S_d [m]					190	230	280	320	

Πίνακας 2-3 Οριακές τιμές των στοιχείων μελέτης κλάδων ανισόπεδων κόμβων (ΟΜΟΕ-AK, 2003)

Σημειώνεται ότι οι οδηγίες αυτές δεν είναι δεσμευτικές διότι αποτελούν προσχέδιο και δεν είναι επισημοποιημένες και οριστικές. Παρόλα αυτά επειδή ταυτίζονται με τις

γερμανικές οδηγίες RAA 2008 θεωρούνται χρήσιμες για τον σχεδιασμό κλάδων ανισόπεδων κόμβων.

2.4 Σχετικές έρευνες

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί διεθνώς τόσο για τις ταχύτητες και τις πλευρικές επιταχύνσεις που επικρατούν στους ανισόπεδους κόμβους όσο και για την σχέση αυτών με τα ατυχήματα.

2.4.1 Έρευνες ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων σε ανισόπεδους κόμβους

Το 2017 ο Ολλανδός Joost de Jong παρουσίασε ένα επιστημονικό άρθρο με τίτλο «Evaluation of driving behaviour in horizontal curves in interchanges using floating car and meteorological data».

Σκοπός της μελέτης αυτής ήταν να αποκτηθεί περαιτέρω γνώση σχετικά με την οδηγική συμπεριφορά των χρηστών της οδού στις οριζόντιες καμπύλες των κλάδων ανισόπεδων κόμβων αναφορικά με την ταχύτητα. Η μελέτη αυτή πραγματοποιήθηκε στην Ολλανδία σε 16 ανισόπεδους κόμβους και είχε σαν στόχο να μετρήσει τις ταχύτητες που επικρατούν στις οριζόντιες καμπύλες και τις πλευρικές επιταχύνσεις των οχημάτων κατά την διέλευσή τους από τους κλάδους των ανισόπεδων κόμβων ώστε να συσχετισθούν με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους και τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής μελέτης.

Η έρευνα αυτή χρησιμοποίησε δεδομένα από την εφαρμογή Flitsmeister, η οποία καταγράφει την κίνηση των οχημάτων ανά ένα δευτερόλεπτο. Ο αριθμός των μετρήσεων που προέκυψαν με την μέθοδο αυτή ξεπέρασε τις 100.000 για ορισμένους κόμβους σε περίοδο 2 μηνών. Συνολικά πάνω από 1.000.000 ανεξάρτητες μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν για αυτή την μελέτη καθιστώντας με αυτόν τον τρόπο τα αποτελέσματά της αξιόπιστα.

Από την έρευνα αυτή προέκυψαν τα κάτωθι συμπεράσματα:

- Η ταχύτητα V_{85} στους κλάδους των ανισόπεδων κόμβων είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα σχεδιασμού V_e κατά 15-25 km/h.
- Η ύπαρξη βροχόπτωσης μειώνει την ταχύτητα των χρηστών της οδού κατά 3-4% και αυτή η ποσοστιαία μείωση αυξάνεται όσο αυξάνεται η ακτίνα της οριζόντιας καμπύλης.
- Η ταχύτητα εξαρτάται από την ώρα της ημέρας, παρουσιάζοντας μείωση τις νυχτερινές ώρες κατά 3% σε σχέση με τις πρωινές ώρες.
- Η ταχύτητα V_{85} παρουσιάζει συσχέτιση με την ακτίνα της οριζόντιας καμπύλης αυξάνοντας όσο αυξάνει η ακτίνα.
- Η μέγιστη πλευρική επιτάχυνση των οχημάτων μειώνεται όσο αυξάνεται η ακτίνα της καμπύλης.
- Η επιβράδυνση των οχημάτων στους κλάδους των ανισόπεδων κόμβων είναι μεταξύ 0.5-1.7 m/s².

Η μελέτη έδειξε ότι οι ταχύτητες που επικρατούν στους κλάδους των ανισόπεδων κόμβων είναι σημαντικά υψηλότερες από τις ταχύτητες σχεδιασμού. Επίσης έδειξε ότι οι οδηγοί μειώνουν την ταχύτητα τους σε συνθήκες βροχής αλλά όχι σε αναλογία με την μείωση του συντελεστή τριβής λόγω υγρού οδοστρώματος, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο ατυχήματος.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης κρίνονται εξαιρετικά σημαντικά και θα ενσωματωθούν στην επόμενη αναθεώρηση των Ολλανδικών κανονισμών σχεδιασμού αυτοκινητόδρομων.

2.4.2 Έρευνες συσχέτισης ατυχημάτων και ταχυτήτων

Μια σημαντική μέθοδος συσχέτισης των ατυχημάτων και των ταχυτήτων είναι μέσω του εκθετικού μοντέλου πρόβλεψης που προτάθηκε από τον Σουηδό ερευνητή οδικής ασφάλειας Goran Nilsson και αξιολογήθηκε από τον Elvik Rune το 2004 στην μελέτη του με τίτλο «Speed and road accidents: an evaluation of the Power Model».

Η μελέτη αυτή πραγματεύεται την αξιολόγηση του εκθετικού μοντέλου συσχέτισης ταχύτητας και οδικής ασφάλειας. Η αξιολόγηση αυτή πραγματοποιείται μέσω της

μετα-ανάλυσης προηγούμενων ερευνών οι οποίες παρείχαν εκτιμήσεις για τον τρόπο που οι αλλαγές στις ταχύτητες επηρεάζουν τον αριθμό και την σοβαρότητα των ατυχημάτων που συμβαίνουν σε μια οδό.

Σύμφωνα με το εξεταζόμενο εκθετικό μοντέλο, οι επιπτώσεις της αλλαγής της ταχύτητας των οχημάτων στον αριθμό και την σοβαρότητα των ατυχημάτων, μπορούν να εκτιμηθούν μέσω ενός συνόλου εκθετικών συναρτήσεων. Το προτεινόμενο εκθετικό μοντέλο περιγράφει τη σχέση μεταξύ ταχύτητας και οδικής ασφάλειας μέσω έξι εξισώσεων.

Ως παράδειγμα αναφέρεται η εξίσωση που αναφέρεται σε θανατηφόρα ατυχήματα και είναι η παρακάτω

$$\frac{Fatal\ Accidents\ After}{Fatal\ Accidents\ Before} = \left(\frac{Speed\ after}{Speed\ Before} \right)^4 \quad [2-1]$$

Αν σε μια οδό μελέτης η ταχύτητα μειωθεί από 100 km/h σε 90 km/h τότε ο λόγος (Speed After)/(Speed Before) ισούται με 0.9 και συνεπώς το δεξί μέλος της εξίσωσης [2-1] ισούται με 0.656. Αυτό σημαίνει ότι για αυτήν την μείωση ταχύτητας προκύπτει μείωση των θανατηφόρων ατυχημάτων κατά 34.4%.

Στην μελέτη του Rune Elvik (2004) το προτεινόμενο εκθετικό μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της επιρροής της αλλαγής των ταχυτήτων στον αριθμό των ατυχημάτων και εξετάστηκε η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης ήταν η ύπαρξη σχέσης μεταξύ ταχυτήτων και αριθμού ατυχημάτων. Αναλυτικά προέκυψαν τα παρακάτω:

- Υπάρχει πολύ ισχυρή στατιστική σχέση μεταξύ ταχύτητας και οδικής ασφάλειας.
- Η στατιστική σχέση μεταξύ ταχύτητας και οδικής ασφάλειας είναι μεγάλη. Όταν μειώνεται η ταχύτητα, ο αριθμός των ατυχημάτων ή των τραυματισμών λόγω ατυχήματος μειώνεται στο 95% των περιπτώσεων. Όταν η ταχύτητα ανεβαίνει, ο αριθμός των ατυχημάτων ή των τραυματισμών αυξάνεται στο 71% των περιπτώσεων.

- Η σχέση αιτίου-αποτελέσματος μεταξύ ταχύτητας και οδικής ασφάλειας είναι σαφής. Τα περισσότερα στοιχεία που εξετάστηκαν στην μελέτη αυτή προέρχονται από μελέτες πριν και μετά, στις οποίες δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η αιτία (αλλαγή ταχύτητας) έρχεται πριν το αποτέλεσμα (μεταβολή αριθμού ατυχημάτων).
- Η σχέση μεταξύ ταχύτητας και οδικής ασφάλειας παραμένει ισχυρή ακόμα και μετά τον έλεγχο σφαλμάτων των εξεταζόμενων ερευνών. Δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι η σχέση μεταξύ ταχύτητας και οδικής ασφάλειας μεταβάλλεται μεταξύ καλά ελεγχόμενων ερευνών και λιγότερο καλά ελεγχόμενων ερευνών.
- Υπάρχει αναλογία στην επιρροή της αλλαγής ταχύτητας στον αριθμό των ατυχημάτων, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η μείωση της ταχύτητας, τόσο μεγαλύτερη είναι η μείωση των ατυχημάτων.
- Η σχέση μεταξύ ταχύτητας και οδικής ασφάλειας υπάρχει πάντα και δεν φαίνεται να επηρεάζεται από παράγοντες όπως για παράδειγμα η χώρα μελέτης, η περίοδος μελέτης ή ο τύπος των οχημάτων που μελετήθηκαν.
- Η σχέση μεταξύ ταχύτητας και οδικής ασφάλειας μπορεί να εξηγηθεί με όρους των στοιχειωδών νόμων της φυσικής. Αυτοί οι νόμοι της φυσικής καθορίζουν την απόσταση για στάση ενός οχήματος και το ποσό της ενέργειας που ελευθερώνεται κατά την σύγκρουση.

Η μελέτη καταλήγει στο συμπέρασμα ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των ταχυτήτων και της οδικής ασφάλειας και η σχέση αυτή μπορεί να περιγραφεί ικανοποιητικά μέσω του εκθετικού μοντέλου που έχει προταθεί από τον Nilsson το 1981.

3 Θεωρητικά στοιχεία

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια παρουσίαση των θεωρητικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για την συνέχεια της διπλωματικής εργασίας. Αρχικά θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι βασικοί τύποι των ανισόπεδων κόμβων και θα γίνει μια αναφορά στις κύριες μορφές των ανισόπεδων κόμβων που υπάρχουν στην Ελλάδα. Έπειτα θα αναφερθούν τα χαρακτηριστικά μεγέθη κυκλοφορίας. Στην συνέχεια θα οριστούν οι ταχύτητες που χρησιμοποιούνται στην επιστήμη της οδοποιίας, οι παράγοντες που επηρεάζουν τις ταχύτητες αυτές και θα γίνει μια παρουσίαση των προφίλ ταχυτήτων που χρησιμοποιούνται στην διεθνή βιβλιογραφία. Τέλος θα γίνει μια παρουσίαση των συντελεστών τριβής και οι μέθοδοι υπολογισμού τους.

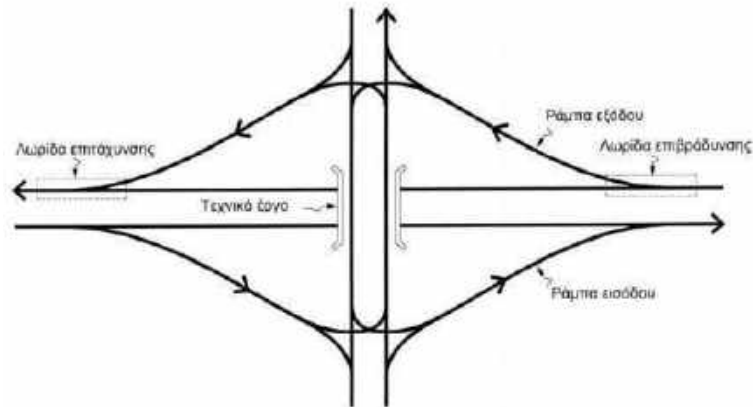
3.1 Μορφές ανισόπεδων κόμβων

Οι ανισόπεδοι κόμβοι αποτελούνται από έναν συνδυασμό συνδετήριων κλάδων και έργα διαχωρισμού επιπέδων στο σημείο συνάντησης δύο ή περισσότερων οδών προκειμένου να εξυπηρετηθεί η κίνηση των οχημάτων από την μια οδό στην άλλη με ασφάλεια και δίχως κυκλοφοριακές εμπλοκές. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν οι βασικές μορφές των ανισόπεδων κόμβων.

3.1.1 Ανισόπεδος κόμβος μορφής ρόμβου (διαμάντι)

Οι πιο απλοί και συνηθισμένοι τύποι ανισόπεδων κόμβων είναι οι κόμβοι μορφής ρόμβου ή διαμαντιού. Κόμβοι τέτοιας διάταξης χρησιμοποιούνται τόσο σε αστικές όσο και μη αστικές περιοχές και αποτελούνται από τέσσερις ράμπες μίας κατεύθυνσης. Συνδέουν οδούς ταχείας κίνησης με άλλες οδούς μικρότερης σημασίας ή χρησιμοποιούνται σε διασταυρώσεις αυτοκινητοδρόμων. Σε αυτούς τους κόμβους όλες οι αριστερές στροφές πραγματοποιούνται ισόπεδα μόνο στην δευτερεύουσα οδό ενώ η είσοδος και η έξοδος από την κύρια οδό γίνεται με σχετικά μεγάλη ταχύτητα. Χαρακτηριστικό αυτής της μορφής κόμβου είναι η περιορισμένη επιφάνεια απαλλοτρίωσης και η μικρή έκταση

που καταλαμβάνει στην δευτερεύουσα οδό. Στο Σχήμα 3-1 παρουσιάζεται το λειτουργικό σκαρίφημα ενός ανισόπεδου κόμβου μορφής ρόμβου (Γλαρός & Κανελλαΐδης, 2017).



Σχήμα 3-1 Λειτουργικό σκαρίφημα ανισόπεδου κόμβου μορφής ρόμβου (Γλαρός & Κανελλαΐδης, 2017)

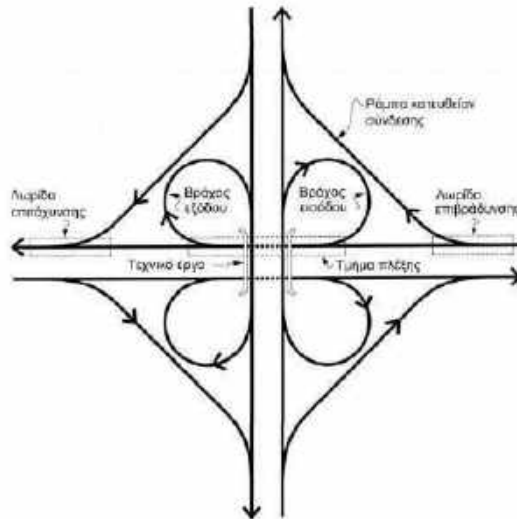
3.1.2 Ανισόπεδος κόμβος μορφής πλήρους τετράφυλλου

Σε κάθε τεταρτημόριο ενός κόμβου μορφής πλήρους τετράφυλλου, προβλέπεται μια κατ' ευθείαν σύνδεση και ένας βρόχος. Αυτή η διάταξη κόμβου είναι η μοναδική με ένα τεχνικό έργο που δεν παρουσιάζει διασταυρώσεις. Όλες οι αριστερές στροφές πραγματοποιούνται με βρόχους.

Βασικά μειονεκτήματα των κόμβων μορφής πλήρους τετράφυλλου είναι:

- Επιπλέον απόσταση διαδρομής για την αριστερά στρέφουσα κυκλοφορία
- Ελιγμοί πλέξης
- Μικρό κατά κανόνα διαθέσιμο μήκος πλέξης
- Σχετικά μεγάλες απαιτούμενες επιφάνειες απαλλοτρίωσης

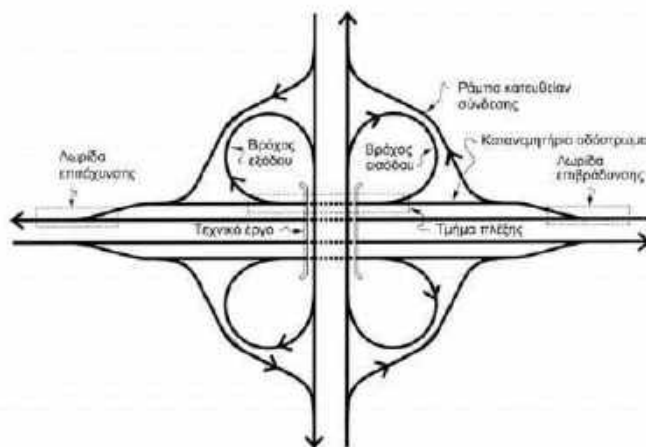
Στο Σχήμα 3-2 παρουσιάζεται ένα σκαρίφημα ανισόπεδου κόμβου τύπου πλήρους τετράφυλλου (Γλαρός & Κανελλαΐδης, 2017).



Σχήμα 3-2 Λειτουργικό σκαρίφημα ανισόπεδου κόμβου μορφής πλήρους τετράφυλλου (Γλαρός & Κανελλαΐδης, 2017)

3.1.3 Ανισόπεδος κόμβος μορφής πλήρους τετράφυλλου με καταναμητήρια οδοστρώματα

Οι κόμβοι αυτής της μορφής είναι παρόμοιοι με τους κόμβους πλήρους τετράφυλλου, με διαφορά την ύπαρξη καταναμητήριου οδοστρώματος. Με το καταναμητήριο οδόστρωμα επιτυγχάνεται ενιαία έξοδος πριν το τεχνικό έργο τόσο για τις δεξιά όσο και για τις αριστερές κινήσεις και το τμήμα πλέξης βρίσκεται εκτός του κύριου οδοστρώματος. Στο Σχήμα 3-3 παρουσιάζεται ένα σκαρίφημα κόμβου αυτού του τύπου (Γλαρός & Κανελλαΐδης, 2017)



Σχήμα 3-3 Λειτουργικό σκαρίφημα ανισόπεδου κόμβου μορφής πλήρους τετράφυλλου με καταναμητήρια οδοστρώματα (Γλαρός & Κανελλαΐδης, 2017)

3.1.4 Ανισόπεδοι κόμβοι μορφής μερικού τετράφυλλου

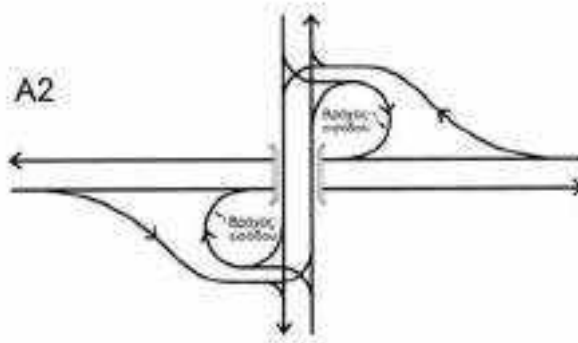
Οι κόμβοι μορφής μερικού τετράφυλλου διακρίνονται σε τρεις τύπους.

Μερικό τετράφυλλο τύπου Α

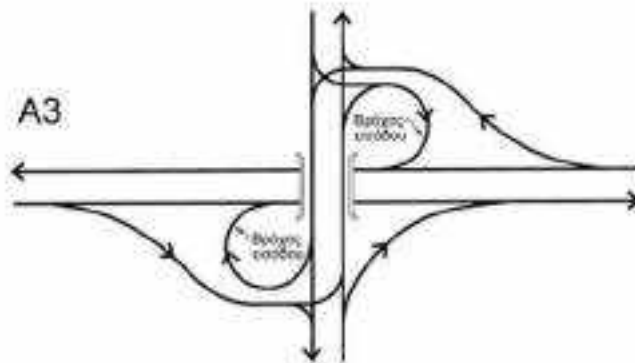
Οι κόμβοι μερικού τετράφυλλου τύπου Α έχουν μόνο βρόχους εισόδου στην κύρια οδό.

Ειδικότερα διακρίνονται τρεις υποκατηγορίες (Γλαρός & Κανελλαΐδης, 2017).

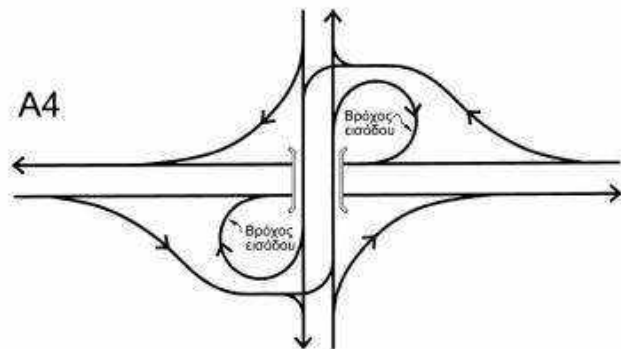
- **Τύπος Α2:** Αναπτύσσονται σε δύο τεταρτημόρια



- **Τύπος Α3:** Αναπτύσσονται σε τρία τεταρτημόρια



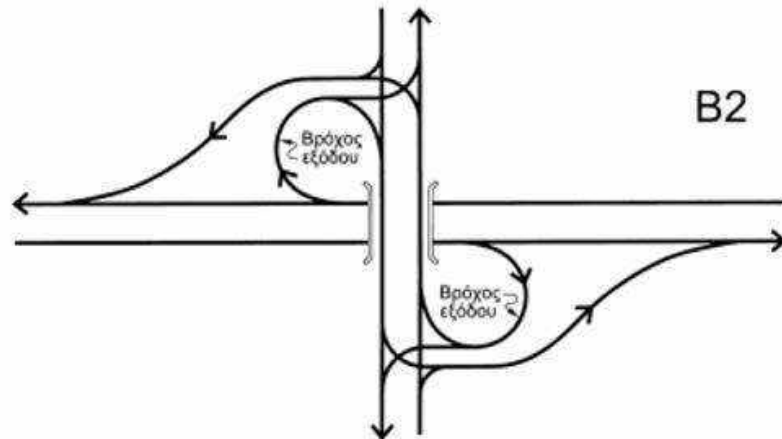
- **Τύπος Α4:** Αναπτύσσονται σε τέσσερα τεταρτημόρια



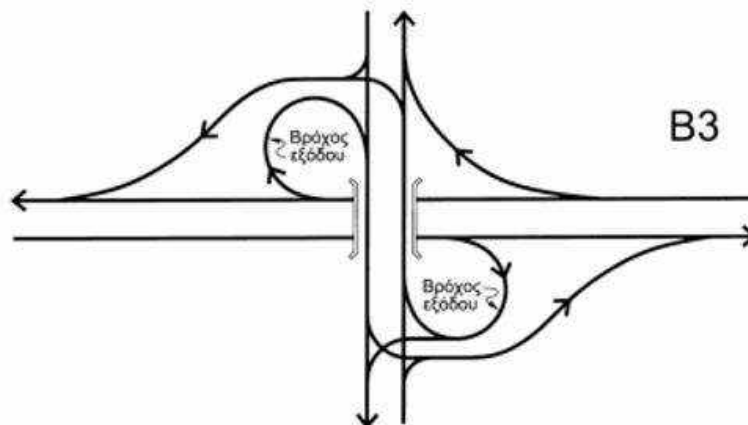
Μερικό τετράφυλλο τύπου Β

Οι κόμβοι μερικού τετράφυλλου τύπου Β έχουν μόνο βρόχους εξόδου από την κύρια οδό. Ειδικότερα διακρίνονται τρεις υποκατηγορίες (Γλαρός & Κανελλαΐδης, 2017).

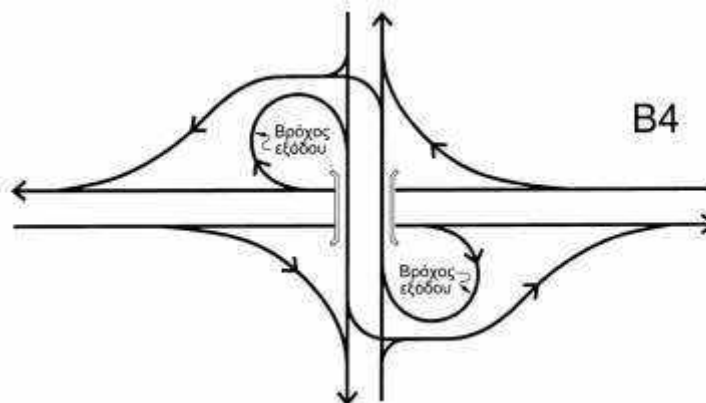
- **Τύπος Β2:** Αναπτύσσονται σε δύο τεταρτημόρια



- **Τύπος Β3:** Αναπτύσσονται σε τρία τεταρτημόρια



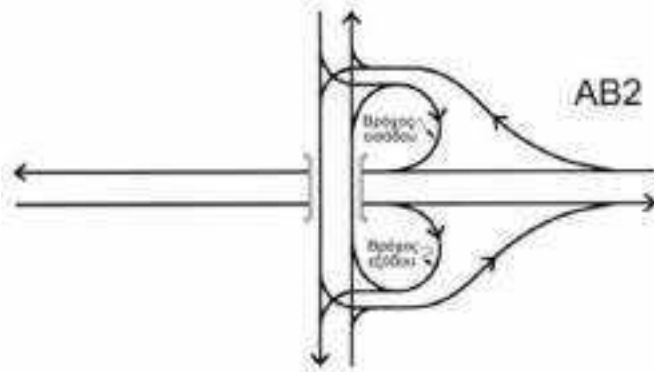
- **Τύπος Β4:** Αναπτύσσονται σε τέσσερα τεταρτημόρια



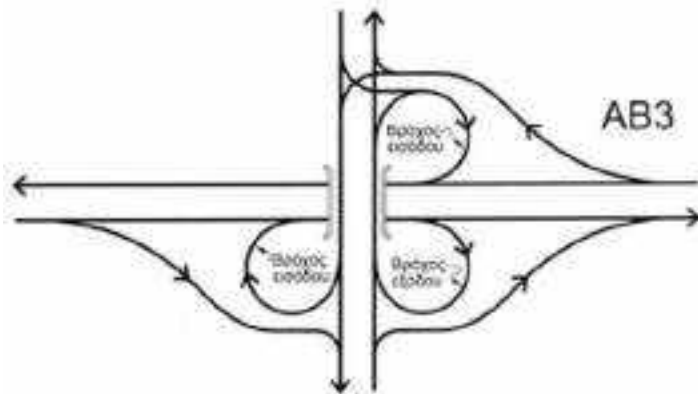
Μερικό τετράφυλλο τύπου AB/BA

Οι κόμβοι μερικού τετράφυλλου τύπου AB αποτελούν έναν συνδυασμό των τύπων A και B και ως συνέπεια έχουν βρόχους εισόδου και εξόδου από την κύρια οδό. Ειδικότερα διακρίνονται τρεις κατηγορίες (Γλαρός & Κανελλαΐδης, 2017).

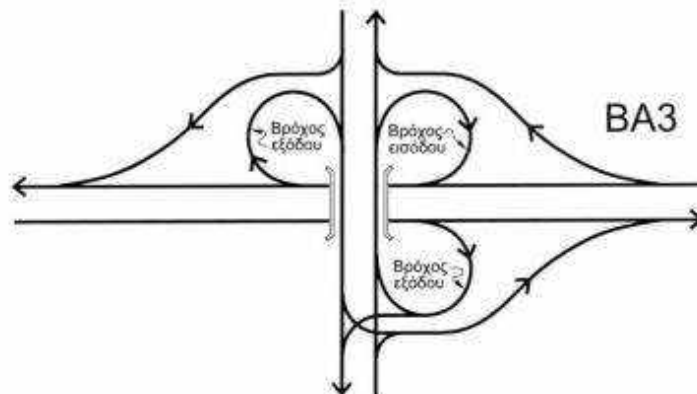
- **Τύπος AB2:** Αναπτύσσονται σε δύο τεταρτημόρια



- **Τύπος AB3:** Αναπτύσσονται σε τρία τεταρτημόρια με δύο βρόχους εισόδου



- **Τύπος BA3:** Αναπτύσσονται σε τρία τεταρτημόρια με δύο βρόχους εξόδου

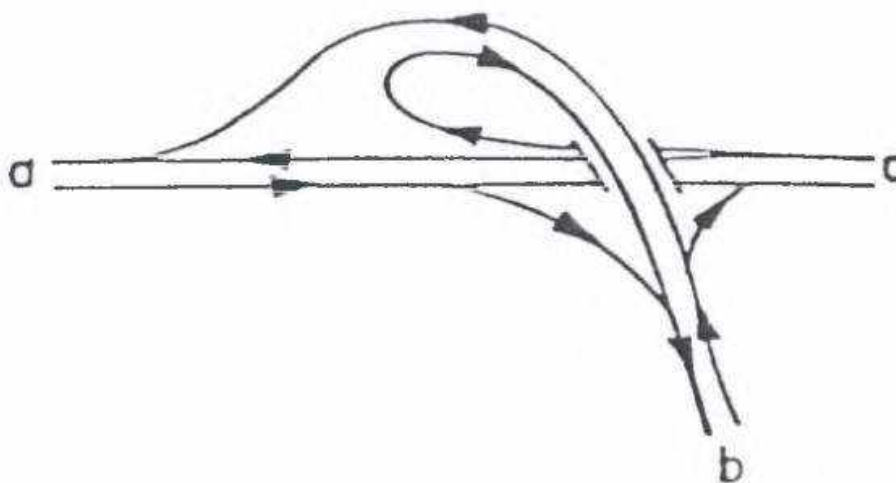


3.1.5 Ανισόπεδοι κόμβοι τριών κλάδων

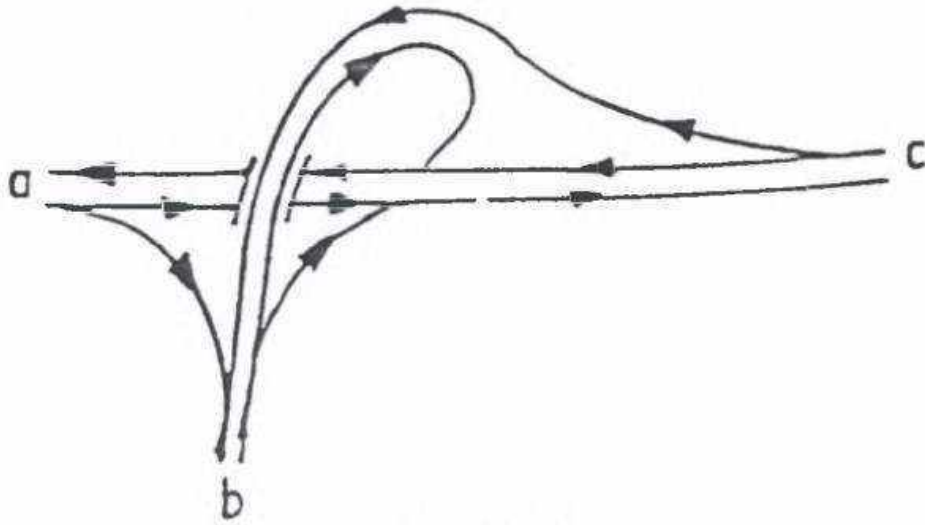
Οι ανισόπεδοι κόμβοι τριών κλάδων αποτελούνται από έναν ή περισσότερους διαχωρισμούς επιπέδων και γενικότερα από κλάδους μιας διευθύνσεως για όλους τους ελιγμούς στροφών. Όταν δύο από τους τρεις κλάδους μιας διασταύρωσης σχηματίζουν μια διερχόμενη οδό και η γωνία τομής δεν είναι οξεία τότε ο κόμβος ονομάζεται κόμβος μορφής T. Εφόσον και οι τρεις κλάδοι του ανισόπεδου κόμβου ανήκουν σε διερχόμενες οδούς ή η γωνία του τρίτου κλάδου με τον κόμβο είναι μικρή, τότε ο κόμβος ονομάζεται κόμβος μορφής Y.

Ο κόμβος μορφής T ή σάλπιγγας (τρομπέτα) αποτελεί έναν ευρέως διαδεδομένο τύπο κόμβου. Οι μορφές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις που ένας δευτερεύοντας δρόμος καταλήγει σε έναν κύριο δρόμο. Σύμφωνα τους Αμερικανικούς Κανονισμούς, οι ελιγμοί της διερχόμενης κυκλοφορίας a-c διεξάγονται με ράμπες απευθείας σύνδεσης. Οι κυκλοφοριακοί φόρτοι των αριστερά στρεφόντων οχημάτων είναι το βασικό κριτήριο για την επιλογή ενός τύπου κόμβου σάλπιγγας. Η επιλογή μεταξύ αριστερής ή δεξιάς σάλπιγγας κατά κανόνα πραγματοποιείται με την απαίτηση η κυκλοφορία με τον μικρότερο φόρτο να εξυπηρετείται μέσω του βρόχου, δηλαδή κυκλοφορία c→b στην αριστερή σάλπιγγα και κυκλοφορία b→a στην δεξιά σάλπιγγα (ZACHARH & ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΗΣ, 1999).

Στο Σχήμα 3-4 απεικονίζεται ένας ανισόπεδος κόμβος μορφής αριστερής σάλπιγγας και στο Σχήμα 3-5 ένας ανισόπεδος κόμβος μορφής δεξιάς σάλπιγγας.



Σχήμα 3-4 Ανισόπεδος κόμβος μορφής αριστερής σάλπιγγας (ZACHARH & ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΗΣ, 1999)



Σχήμα 3-5 Ανισόπεδος κόμβος μορφής δεξιάς σάλπιγγας (ΖΑΧΑΡΗ & ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΗΣ, 1999)

Για λόγους ασφάλειας της κυκλοφορίας η αριστερή σάλπιγγα είναι η κανονική μορφή. Σε αυτή την μορφή η είσοδος με αριστερή στροφή από τον συμβάλλοντα αυτοκινητόδρομο πραγματοποιείται μέσω τόξου σταθερής και σχετικά μεγάλης ακτίνας. Εφόσον οι τοπικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την κατασκευή αριστερής σάλπιγγας τότε επιτρέπεται η κατασκευή δεξιάς σάλπιγγας. Ωστόσο η λύση αυτή έχει το μειονέκτημα ότι η κίνηση αριστερής στροφής από την συμβάλλουσα οδό πραγματοποιείται με βρόχο υπό δυσμενείς συνθήκες αφού υπάρχει αλληλουχία τόξων με συνεχώς μειούμενες ακτίνες (Γλαρός & Κανελλαΐδης, 2017).

Για να γίνονται εγκαίρως αντιληπτές οι μικρές ακτίνες, θα πρέπει:

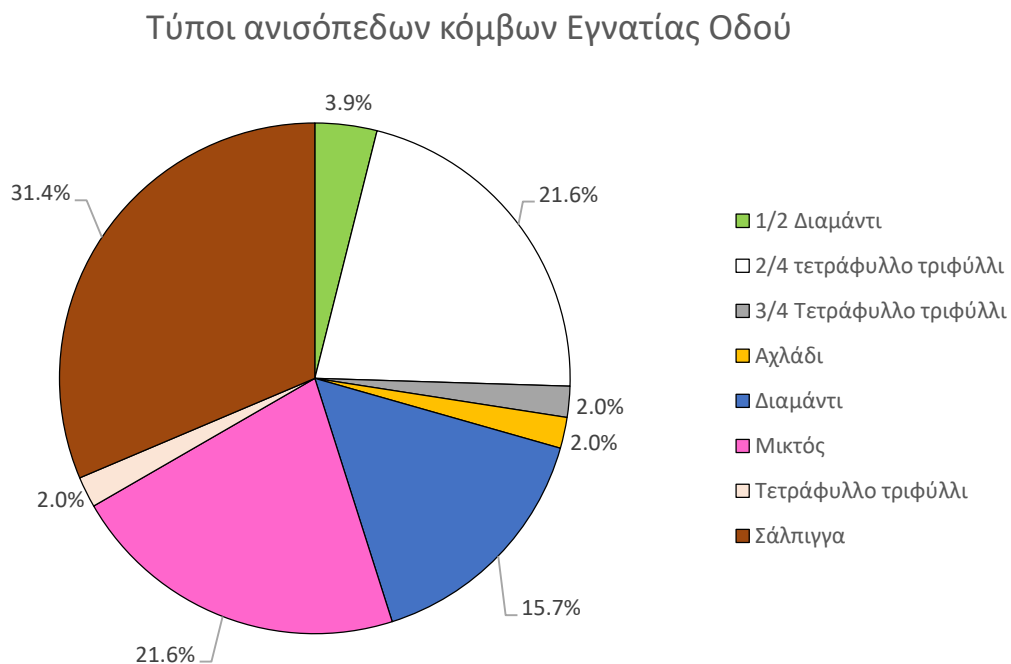
- Το κύριο τόξο της ράμπας να αρχίζει πριν το τεχνικό έργο
- Να προτάσσεται του κυρίου τόξου ένα τόξο αντίθετης φοράς
- Σε περίπτωση εφαρμογής δεξιάς σάλπιγγας να ληφθούν πρόσθετα μέτρα οδικής ασφάλειας

3.2 Οι ανισόπεδοι κόμβοι στην Ελλάδα

Ένας σημαντικός αυτοκινητόδρομος στον ελληνικό χώρο είναι η Εγνατία Οδός και εκτείνεται από την Ηγουμενίτσα του νομού Θεσπρωτίας έως τους Κήπους του Νομού

Έβρου με συνολικό μήκος 670 χλμ. Είναι αυτοκινητόδρομος δύο λωρίδων ανά κλάδο, με διαχωριστική νησίδα και δεξιά Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης. Η Εγνατία Οδός αποτελεί έναν κλειστό αυτοκινητόδρομο με μόνους τροφοδότες της κυκλοφορίας της ανισόπεδους κόμβους. Οι ανισόπεδοι κόμβοι του έργου είναι 51 στον αριθμό χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι τέσσερις κοινοί κόμβοι με την Π.Α.Θ.Ε (Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, 2004).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατανομή των ανισόπεδων κόμβων ανάλογα με τον τύπο τους. Συγκεκριμένα, ένας στους τρεις κόμβους είναι μορφής σάλπιγγας, ένας στους πέντε είναι μορφής 2/4 τετράφυλλου τριφυλλίου ένας στους πέντε είναι συνδυασμός διαφορετικών τύπων. Στο Σχήμα 3-6 φαίνεται η κατανομή των τύπων ανισόπεδων κόμβων της Εγνατίας Οδού.



Σχήμα 3-6 Κατανομή ανισόπεδων κόμβων στην Εγνατία Οδό

Συνεπώς γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η μελέτη των **περιθωρίων ασφαλείας** στους ανισόπεδους κόμβους μορφής σάλπιγγας έχει άμεση εφαρμογή στα ελληνικά δεδομένα εφόσον η πλειοψηφία των τρισκελών ανισόπεδων κόμβων στους μεγάλους αυτοκινητόδρομους είναι αυτής της μορφής.

3.3 Χαρακτηριστικά μεγέθη κυκλοφορίας

Κατά την εκπόνηση μιας μελέτης οδοποιίας είναι απαραίτητη η χρήση ορισμένων χαρακτηριστικών μεγεθών τα οποία καθορίζουν ποσοτικά και ποιοτικά το είδος της ροής των οχημάτων που αναμένεται να χρησιμοποιούν την υπό μελέτη οδό.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη τα οποία εξετάζει η θεωρία της κυκλοφοριακής ροής έχουν προκύψει μετά από χρόνια ερευνών και είναι (Γιαννής, Γκόλιας, & Κανελλαΐδης, 2004):

- Κυκλοφοριακός φόρτος Q (οχήματα ανά ώρα)
- Μέση ταχύτητα χρόνου V_t (χιλιόμετρα ανά ώρα)
- Μέση ταχύτητα χώρου V_s (χιλιόμετρα ανά ώρα)
- Πυκνότητα κυκλοφορίας K (οχήματα ανά χιλιόμετρο)

Κυκλοφοριακός φόρτος (Q) ορίζεται ως ο συνολικός αριθμός οχημάτων που διέρχονται από τη διατομή μιας λωρίδας ή οδού κατά την διάρκεια ενός δεδομένου χρονικού διαστήματος. Συνηθίζεται να χρησιμοποιείται η μια ώρα ως το χρονικό διάστημα μέτρησης και η μονάδα του κυκλοφοριακού φόρτου σε αυτή την περίπτωση είναι τα οχήματα ανά ώρα.

Μέση ταχύτητα χρόνου (V_t) ορίζεται ως ο αριθμητικός μέσος των ταχυτήτων των οχημάτων που διέρχονται από μια διατομή της οδού σε δεδομένη χρονική περίοδο. Η συνήθης μονάδα μέτρησης της μέσης ταχύτητας χρόνου είναι τα χιλιόμετρα ανά ώρα.

Μέση ταχύτητα χώρου (V_s) ορίζεται ως ο αριθμητικός μέσος των ταχυτήτων που έχουν τα οχήματα που βρίσκονται σε ένα δεδομένο μήκος της οδού. Η συνήθης μονάδα μέτρησης της μέσης ταχύτητας χώρου είναι τα χιλιόμετρα ανά ώρα.

Πυκνότητα κυκλοφορίας (K) είναι ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται σε μία δεδομένη στιγμή στη μονάδα του μήκους της οδού. Συνήθης μονάδα μέτρησης είναι τα οχήματα ανά χιλιόμετρο.

Η σχέση που συνδέει τα παραπάνω μεγέθη μεταξύ τους είναι η θεμελιώδης σχέση της κυκλοφοριακής ροής:

$$Q = K * V_s \quad [3-1]$$

Προκειμένου να γίνει ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης ή πρόβλεψη των μελλοντικών κυκλοφοριακών φόρτων που θα δεχτεί μια υπό μελέτη οδός χρησιμοποιείται η Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (ΜΗΚ). Ως Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία ορίζεται η μέση τιμή του ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου για συγκεκριμένη περίοδο εξέτασης. Η συχνότερη περίοδος εξέτασης είναι το έτος και έτσι προκύπτει η Ετήσια Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία (ΕΜΗΚ), δηλαδή ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος που εξυπηρετεί η οδός στην διάρκεια ενός έτους προς τον αριθμό των ημερών ενός έτους.

Συνήθως δεν υπάρχουν δεδομένα κυκλοφοριακών φόρτων για κάθε μέρα του έτους ώστε να χρησιμοποιηθεί ο προηγούμενος ορισμός για τον υπολογισμό της ΕΜΗΚ. Έτσι, πραγματοποιούνται μετρήσεις κυκλοφοριακών φόρτων για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και με συντελεστές προσαρμογής γίνεται η αναγωγή σε ΕΜΗΚ. Η χρήση των συντελεστών αυτών πρέπει να γίνεται μετά από προσαρμογή τους στις τυχόν ιδιαιτερότητες της κάθε υπό εξέταση οδού. Επιπροσθέτως για την επιλογή των κατάλληλων συντελεστών είναι αναγκαία η ύπαρξη μετρήσεων σε οδούς με παρόμοια χαρακτηριστικά κυκλοφορίας.

Χαρακτηριστικοί συντελεστές για την αναγωγή των δεδομένων κυκλοφοριακών φόρτων φαίνονται στον Πίνακα 3-1.

Κυκλοφοριακός φόρτος	Ωρα αιχμής	Ομοιόμορφη κατανομή
Λεπτού	0.30 % ΜΗΚ	0.07 % ΜΗΚ
Πεντάλεπτου	1.20 % ΜΗΚ	0.35 % ΜΗΚ
Δεκαπεντάλεπτου	2.80 % ΜΗΚ	1.14 % ΜΗΚ
Ωρας	8.00 % ΜΗΚ	4.17 % ΜΗΚ

Πίνακας 3-1 Χαρακτηριστικοί συντελεστές αναγωγής ΜΗΚ (HCM, 2000)

3.4 Διακυμάνσεις κυκλοφοριακού φόρτου

Είναι προφανές ότι ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται σε μια εξεταζόμενη οδό δεν παραμένει σταθερός αλλά μεταβάλλεται συνεχώς.

Η μεταβολή της ζήτησης μετακινήσεων έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα την διακύμανση του κυκλοφοριακού φόρτου της οδού κατά την διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος.

Έτσι διακρίνονται ορισμένοι κύκλοι διακύμανσης του κυκλοφοριακού φόρτου. Αυτοί είναι οι τέσσερις παρακάτω (Γιαννής, Γκόλιας, & Κανελλαΐδης, 2004):

- Διακύμανση μέσα στην διάρκεια της ώρας
- Ωριαία διακύμανση στην διάρκεια της μέρας
- Ημερήσια Διακύμανση στην διάρκεια της εβδομάδας
- Μηνιαία διακύμανση στην διάρκεια του έτους

Οι διακυμάνσεις αυτές αποτελούν πολύ σημαντικά στοιχεία στον σχεδιασμό και στην μελέτη λειτουργίας μιας οδού, προκειμένου να προσδιοριστεί ο κατάλληλος κυκλοφοριακός φόρτος με τον οποίο θα λειτουργήσει μια υπό μελέτη οδός.

3.4.1 Διακύμανση στην διάρκεια της ώρας

Η διακύμανση μέσα στην ώρα δείχνει την μεταβολή που έχει ο κυκλοφοριακός φόρτος στο διάστημα μιας ώρας. Σε περιπτώσεις αναλυτικής μελέτης οδικών στοιχείων, η γνώση μόνο της ωριαίας διακύμανσης δεν είναι αρκετή αφού ο κυκλοφοριακός φόρτος μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά σε μια μικρότερη μονάδα χρόνου. Η διακύμανση του κυκλοφοριακού φόρτου μέσα στην ώρα λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό της οδού με την χρήση του Συντελεστή Ώρας Αιχμής (ΣΩΑ). Στις περισσότερες περιπτώσεις ανάλυσης κυκλοφοριακής ικανότητας, εξετάζεται η περίοδος των 15 λεπτών με την βοήθεια του Συντελεστή Ωριαίας Αιχμής (Γιαννής, Γκόλιας, & Κανελλαΐδης, 2004).

Ο Συντελεστής Ώρας Αιχμής (ΣΩΑ) εκφράζει την ομοιομορφία της ζήτησης και ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των οχημάτων που διέρχονται από μια διατομή λωρίδας ή οδού σε χρονικό διάστημα μιας ώρας, προς τον τετραπλάσιο αριθμό των οχημάτων που περνούν από την ίδια διατομή κατά την διάρκεια των 15 συνεχόμενων λεπτών που παρουσιάζουν τον μεγαλύτερο φόρτο κυκλοφορίας. Ο τύπος υπολογισμού του συντελεστή ώρας αιχμής είναι:

$$\Sigma\Omega A = \frac{Q_h}{4 * Q_{15}} \quad [3-2]$$

Όπου:

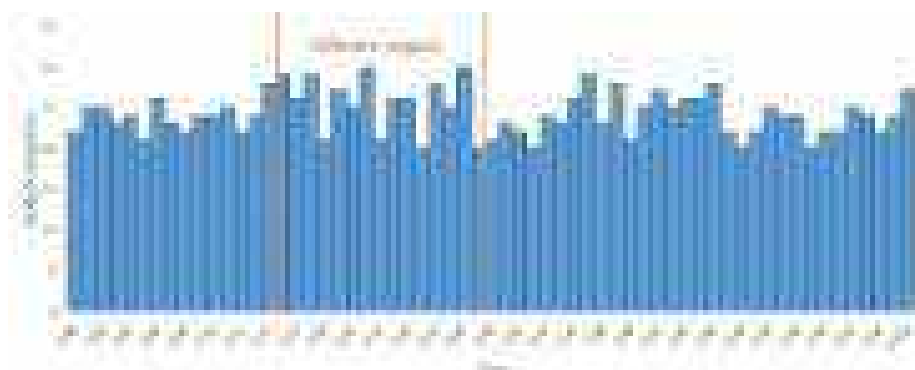
$\Sigma\Omega A$ Συντελεστής Ώρας Αιχμής

Q_h Ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος

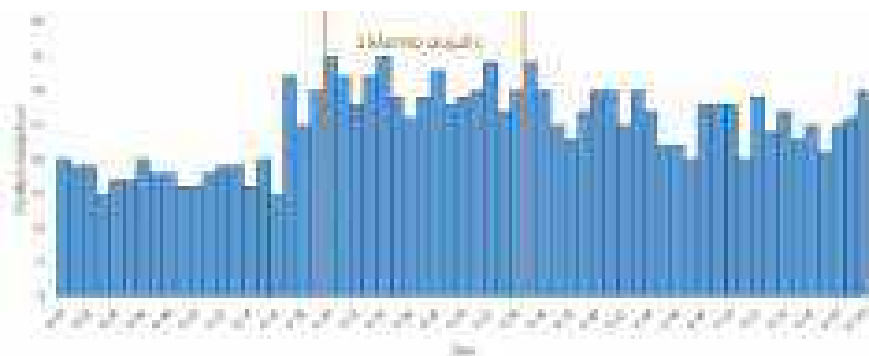
Q_{15} Μέγιστος κυκλοφοριακός φόρτος 15 συνεχόμενων λεπτών

Η ανώτερη τιμή που μπορεί να λάβει ο Συντελεστής Ωριαίας Αιχμής ($\Sigma\Omega A$) είναι 1 ενώ η κατώτερη είναι 0.25. Στην περίπτωση που ο συντελεστής $\Sigma\Omega A = 1$, τότε η κατανομή της κυκλοφορίας είναι απολύτως ομοιόμορφη. Αντιθέτως, όταν ο συντελεστής $\Sigma\Omega A = 0.25$ τότε όλος ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος βρίσκεται εντός των 15 λεπτών ενώ στα υπόλοιπα 45 λεπτά η κυκλοφορία είναι μηδενική. Αυτές οι περιπτώσεις είναι θεωρητικές ενώ οι πραγματικές τιμές του συντελεστή κυμαίνονται μεταξύ 0.85 και 0.95.

Στα παρακάτω Σχήματα 3-7 και 3-8 παρουσιάζονται διακυμάνσεις κυκλοφοριακού φόρτου στην διάρκεια μιας ώρας με υψηλό συντελεστή ώρας αιχμής και με χαμηλό συντελεστή ώρας αιχμής.



Σχήμα 3-7 Διακύμανση κυκλοφοριακού φόρτου με $\Sigma\Omega A = 0.947$

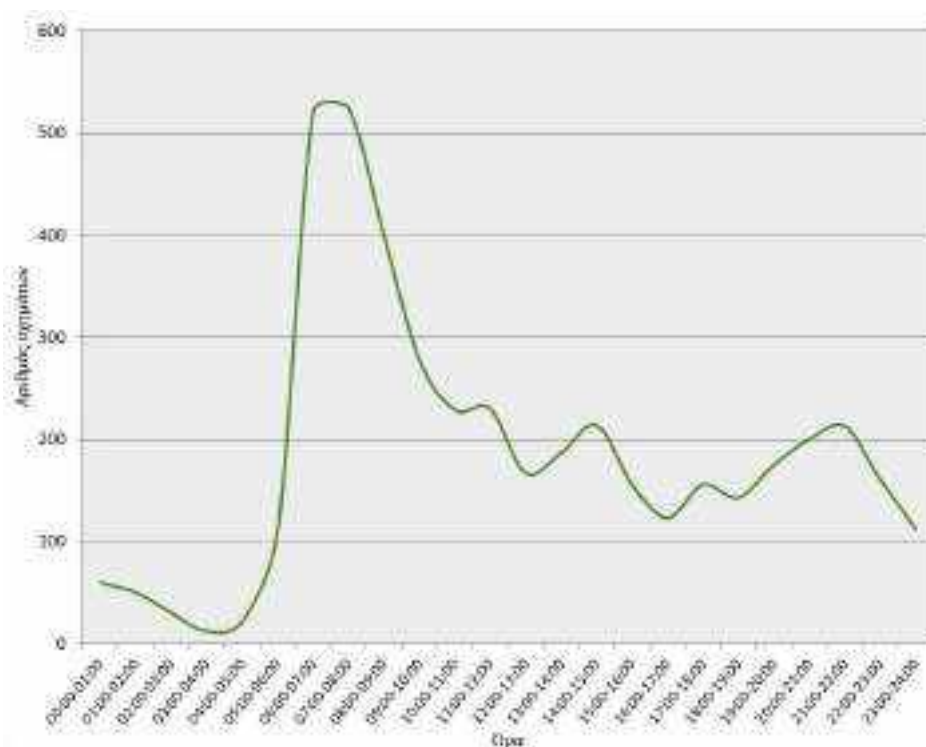


Σχήμα 3-8 Διακύμανση κυκλοφοριακού φόρτου με $\Sigma\Omega A = 0.791$

Γίνεται εμφανές από τα σχήματα ότι ο αριθμός των οχημάτων μέσα στην διάρκεια της ώρας μεταβάλλεται συνεχώς. Αυτό συμβαίνει διότι ο αριθμός των οχημάτων που διέρχεται από μια διατομή στην μονάδα του χρόνου χαρακτηρίζεται ως στατιστικό φαινόμενο που είναι δυνατόν να περιγραφεί από μια στατιστική κατανομή.

3.4.2 Ωριαία διακύμανση στην διάρκεια της ημέρας

Η διακύμανση του φόρτου κατά την διάρκεια της ημέρας εκφράζεται από την ωριαία διακύμανση. Αυτός ο δείκτης εκφράζει τις καθημερινές συνήθειες του πληθυσμού και οι οποίες καθορίζουν τον χρόνο στον οποίο γίνονται οι διάφορες μετακινήσεις ανθρώπων και εμπορευμάτων. Στο Σχήμα 3-9 παρουσιάζεται η διακύμανση του κυκλοφοριακού φόρτου μέσα στην διάρκεια της ημέρας.



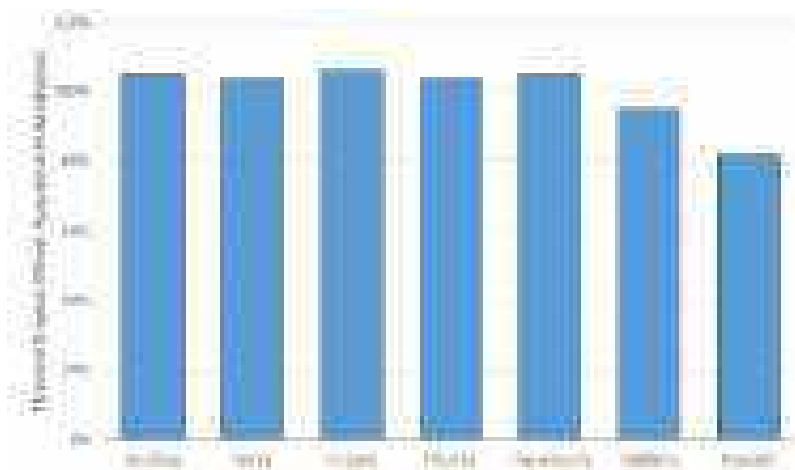
Σχήμα 3-9 Διακύμανση κυκλοφοριακού φόρτου κατά την διάρκεια της ημέρας

Μελετώντας το Σχήμα 3-9, γίνεται κατανοητό ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος κατά τις πρωινές ώρες 7:00 – 9:00 είναι ο μεγαλύτερος αφού εκείνες τις ώρες οι περισσότεροι άνθρωποι οδηγούν με σκοπό να φτάσουν στον χώρο εργασίας τους. Αναμενόμενα, ο κυκλοφοριακός φόρτος κατά την διάρκεια της νύχτας, δηλαδή στις ώρες 0:00 – 05:00, είναι ο χαμηλότερος.

3.4.3 Ημερήσια διακύμανση στην διάρκεια της εβδομάδας

Η ημερήσια διακύμανση του κυκλοφοριακού φόρτου σε περίοδο μιας εβδομάδας παρουσιάζει μεταβολές κυρίως μεταξύ των καθημερινών και του Σαββατοκύριακου. Ανάλογα με το είδος των δραστηριοτήτων που αναπτύσσονται σε κάθε περιοχή, ο κυκλοφοριακός φόρτος παρουσιάζει ημερήσιες διακυμάνσεις που εξαρτώνται άμεσα από αυτές τις δραστηριότητες (Γιαννής, Γκόλιας, & Κανελλαΐδης, 2004). Για παράδειγμα, σε κεντρικές περιοχές όπου εργάζονται οι περισσότεροι άνθρωποι, οι κυκλοφοριακοί φόρτοι αναμένεται να είναι αυξημένοι κατά τις ημέρες Δευτέρα έως Παρασκευή ενώ το Σάββατο και την Κυριακή να είναι μειωμένοι.

Στο Σχήμα 3-10 φαίνεται η ημερήσια διακύμανση της κυκλοφορίας για την Λεωφόρο Αλεξάνδρας η οποία είναι λεωφόρος που εξυπηρετεί κεντρική περιοχή της Αθήνας.

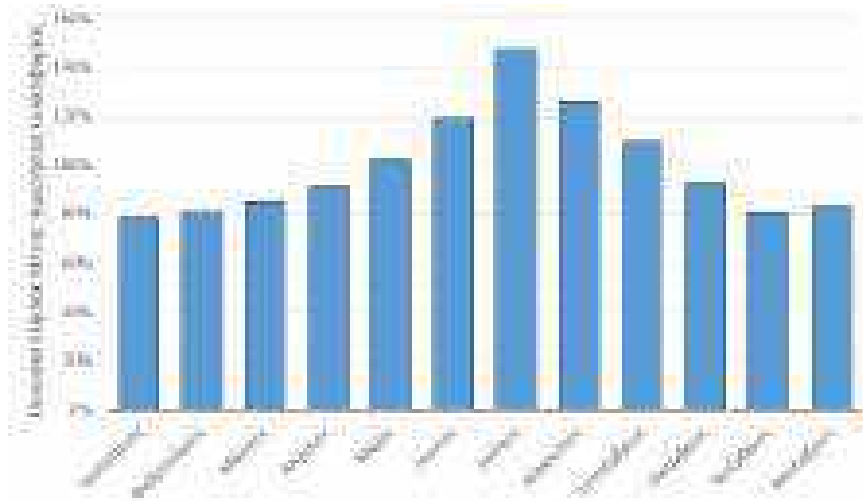


Σχήμα 3-10 Ημερήσια διακύμανση κυκλοφοριακού φόρτου κατά την διάρκεια της εβδομάδας για την Λεωφόρο Αλεξάνδρας (ΕΜΠ, 1998)

3.4.4 Μηνιαία διακύμανση κατά την διάρκεια του έτους

Ο κυκλοφοριακός φόρτος παρουσιάζει μηνιαίες διακυμάνσεις κατά την διάρκεια του έτους. Αυτή η διακύμανση δεν είναι τόσο έντονη στις αστικές περιοχές, σε αντίθεση με τις περιοχές αναψυχής όπου παρουσιάζεται έντονη διακύμανση ανάλογα με την εποχή (Γιαννής, Γκόλιας, & Κανελλαΐδης, 2004). Ως περιοχή αναψυχής μπορεί να είναι μια παραθαλάσσια περιοχή ή μια ορεινή περιοχή με χιονοδρομικό κέντρο. Στις περιοχές αναψυχής εμφανίζεται αυξημένος φόρτος κυκλοφορίας στους μήνες της

τουριστικής περιόδου. Στο Σχήμα 3-11 φαίνεται η διακύμανση του κυκλοφοριακού φόρτου ανά μήνα για την διάρκεια ενός έτους σε άξονα που οδηγεί σε τέτοιου είδους περιοχές.



Σχήμα 3-11 Μηνιαία διακύμανση κυκλοφοριακού φόρτου στην διάρκεια του έτους.

3.5 Ορισμός ταχυτήτων

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκε η διακύμανση των κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών μιας οδού η οποία όμως έχει ως αποτέλεσμα την διακύμανση των ταχυτήτων των οχημάτων που χρησιμοποιούν μια οδό για λόγους που θα παρουσιαστούν συνοπτικά στα επόμενα κεφάλαια.

Είναι λοιπόν απαραίτητο να οριστούν οι ταχύτητες που θα εξεταστούν στην συνέχεια της διπλωματικής εργασίας και ως εκ τούτου στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αυτή η ανάλυση.

Στην επιστήμη της οδοποιίας η ταχύτητα διαχωρίζεται σε αρκετά είδη όπως είναι η μέση ταχύτητα μιας ομάδας οχημάτων, η ταχύτητα διάνυσης ενός τμήματος οδού η στιγμιαία ταχύτητα κ.λπ. Από τα είδη των ταχυτήτων που χρησιμοποιούνται κατά την μελέτη μιας οδού, οι πιο σημαντικές είναι τρεις (Αποστολέρης, 2015):

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

3.5.1 Επιτρεπόμενη ταχύτητα ($V_{\text{επιτ}}$)

Οι Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ-X, 2001) ορίζουν ως επιτρεπόμενη ταχύτητα, το τοπικό ή το γενικά ισχύον μέγιστο όριο ταχύτητας. Η ταχύτητα αυτή θεωρείται καθοριστική παρόλο που τα στοιχεία της μελέτης δεν προσδιορίζονται με βάση την επιτρεπόμενη ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει διότι η ταχύτητα μελέτης (V_e), η οποία σχετίζεται άμεσα με τα στοιχεία της μελέτης της οδού, πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από την επιτρεπόμενη ταχύτητα (Αποστολέρης, 2015).

3.5.2 Ταχύτητα μελέτης (V_e)

Ως ταχύτητα μελέτης ορίζεται η μέγιστη ταχύτητα που δύναται να αναπτυχθεί με ασφάλεια και άνεση από όλα τα οχήματα που θα χρησιμοποιούν το μελετώμενο οδικό τμήμα, όταν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα εξαρτώνται αποκλειστικά από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού (Αποστολέρης, 2015).

Σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ-X, 2001 η ταχύτητα μελέτης προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τα περιβαλλοντικά και οικονομικά κριτήρια που ανταποκρίνονται στον προβλεπόμενο λειτουργικό χαρακτήρα της οδού και την επιδιωκόμενη ποιότητα κυκλοφοριακής ροής, με βάση τον λειτουργικό χαρακτήρα της οδού. Στην ταχύτητα μελέτης αντιστοιχούν οριακές και προτεινόμενες τιμές για τα περισσότερα στοιχεία μελέτης καθώς και οι αποδεκτές τιμές για την συσχέτιση των μεμονωμένων στοιχείων μελέτης. Ειδικότερα για ένα οδικό τμήμα η ταχύτητα μελέτης καθορίζει:

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

Με αυτόν τον τρόπο η ταχύτητα μελέτης επηρεάζει μεταξύ άλλων αποφασιστικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός οδικού τμήματος, το επίπεδο εξυπηρέτησης της οδού και την οικονομικότητα. Επομένως η ταχύτητα μελέτης θα πρέπει να παραμένει σταθερή κατά το δυνατόν σε οδικά τμήματα μεγάλου μήκους. Επιπρόσθετα η ταχύτητα μελέτης χρησιμεύει στην αξιολόγηση μιας οδού από την άποψη της ενσωματωμένης

στα χαρακτηριστικά της οδού ασφαλείας σύμφωνα με τα Κριτήρια Ασφαλείας I και III των κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ.

Προκύπτει ότι η ταχύτητα μελέτης είναι θεωρητικό μέγεθος που εκφράζει την επιθυμητή ταχύτητα για την λειτουργία του δρόμου. Επειδή εκφράζει την μέγιστη δυνατή ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί ένα όχημα με ασφάλεια κι άνεση στην οδό, συνήθως αποτελεί και το όριο ταχύτητας σύμφωνα με τον Κώδικα Οδικής Κυκλοφορίας. Ουσιαστικά, επιδιώκεται η ταχύτητα μελέτης να ισούται με την επιτρεπόμενη ταχύτητα.

Η θεωρητική ταχύτητα μελέτης μιας οδού συσχετίζεται με την θεμελιώδη σχέση προσδιορισμού της ελάχιστης οριζόντιας ακτίνας, η οποία προσομοιώνει το όχημα με σημειακή μάζα, ως εξής:

$$V_e = \sqrt{R * 127 * (f_R + \frac{q}{100})} \quad [3-3]$$

Όπου

V_e =θεωρητική ταχύτητα σχεδιασμού (km/h)

R = ακτίνα οριζόντιας καμπύλης (m)

f_R = συντελεστής πλευρικής τριβής

q = επίκλιση

3.5.3 Λειτουργική ταχύτητα (V_{85})

Οι Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων ορίζουν ως λειτουργική ταχύτητα την ταχύτητα την οποία δεν υπερβαίνει το 85% των απρόσκοπτα κινούμενων οχημάτων σε υγρό και καθαρό οδόστρωμα, δηλαδή το 85% όλων των καταγεγραμμένων ταχυτήτων είναι μικρότερες από αυτήν.

Η λειτουργική ταχύτητα χρησιμοποιείται στον γεωμετρικό υπολογισμό μεμονωμένων στοιχείων της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και της διατομής και έχει άμεση σχέση

με την δυναμική της κίνησης οχημάτων. Με την ταχύτητα V_{85} καθορίζονται (ΟΜΟΕ-X, 2001):

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

Η ταχύτητα V_{85} μεταβάλλεται συναρτήσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ποιότητας σχεδιασμού των οδικών τμημάτων όσον αφορά την ασφάλεια, σύμφωνα με τα Κριτήρια Ασφαλείας Ι έως ΙΙΙ των κανονισμών ΟΜΟΕ-X. Καθοριστικοί παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της ταχύτητας V_{85} είναι η ελκτικότητα K_E της μεμονωμένης καμπύλης η οποία αναλύεται στο Κεφάλαιο 3.7 και το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας b (ΟΜΟΕ-X, 2001).

Αναφορικά με την μέτρηση της ταχύτητας V_{85} σε υγρά οδοστρώματα, σχετικές έρευνες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η λειτουργική ταχύτητα σε στεγνό οδόστρωμα δεν διαφέρει ουσιαστικά από την λειτουργική ταχύτητα σε υγρό οδόστρωμα, εφόσον η ένταση της βροχής είναι τέτοια, ώστε το μήκος ορατότητας των οδηγών να είναι τουλάχιστον 150 μ. Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα V_{85} που αναφέρεται στην κρίσιμη περίπτωση του υγρού οδοστρώματος, ισχύει τόσο σε υγρά όσο και σε στεγνά οδοστρώματα.

3.6 Κίνηση σε συνθήκες ελεύθερης ροής (free flow)

Όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3.5.3 η λειτουργική ταχύτητα V_{85} είναι η ταχύτητα που δεν υπερβαίνει το 85% του συνόλου των οχημάτων που κινούνται απρόσκοπτα σε μια οδό. Προκειμένου να βρεθεί αυτή η ταχύτητα είναι απαραίτητο να βρεθούν οι ταχύτητες αυτών των ανεμπόδιστα κινούμενων οχημάτων. Για να καταστεί δυνατή αυτή η ανάλυση είναι απαραίτητο να ερμηνευθεί ο όρος «ανεμπόδιστα», δηλαδή οι

συνθήκες που λαμβάνουν χώρα ώστε ένα όχημα να θεωρηθεί ότι κινείται χωρίς να επηρεάζεται από τα άλλα.

Γίνεται προφανές ότι οι συνθήκες ελεύθερης ροής συσχετίζονται άμεσα με το επίπεδο εξυπηρέτησης της οδού. Θεωρητικά οι συνθήκες ελεύθερης ροής των οχημάτων επιτυγχάνονται όταν η πυκνότητα της κυκλοφορίας είναι μηδέν. Ωστόσο στην πράξη αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο να επιτευχθεί. Επειδή δεν υπάρχει κάποιος αυστηρός ορισμός των συνθηκών που πρέπει να υπάρχουν ώστε ένα όχημα να κινείται υπό συνθήκες ελεύθερης ροής, πολλές φορές οι μελετητές χρησιμοποιούν οδηγίες (HCM, 2010) που προτείνουν ότι συνθήκες ελεύθερης ροής υπάρχουν όταν ο φόρτος είναι λιγότερος από 1400 οχήματα/ώρα. Ωστόσο η παρατηρούμενη ταχύτητα που προκύπτει από αυτό τον ορισμό διαφέρει από την πραγματική ταχύτητα ελεύθερης ροής σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα της ημέρας (Boora, Ghosh, Chandra, & Rani, 2018). Ο Dixon et al (1999) συμπέρανε ότι αυτές οι οδηγίες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό αυτών των συνθηκών.

Πολλές έρευνες έχουν προτείνει τρόπους υπολογισμού συνθηκών ελεύθερης ροής οχημάτων με βάση τον χρονικό διαχωρισμό μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων. Στον Πίνακα 3-2 που φαίνεται παρακάτω παρουσιάζονται μερικές σχετικές έρευνες.

Μελέτη	Χρονικός διαχωρισμός	Είδος εξεταζόμενης οδού
Tseng et al (2005)	5 δευτερόλεπτα	Υπεραστικές οδοί πολλών λωρίδων
Semeida (2013)	8 δευτερόλεπτα	Υπεραστικές οδοί πολλών λωρίδων
Robertson et al (2014)	5 δευτερόλεπτα	Αυτοκινητόδρομοι πολλών λωρίδων
Al-Kaisy and Karjala (2010)	6 δευτερόλεπτα	Υπεραστικές οδοί 2 λωρίδων
Figuerola & Tarko (2005)	5 δευτερόλεπτα	Υπεραστικές οδοί 2 λωρίδων
Lobo et al (2011)	6 δευτερόλεπτα	Υπεραστικές οδοί 2 λωρίδων

Πίνακας 3-2 Έρευνες σχετικές με τον τρόπο υπολογισμού ταχύτητας free flow

Ανάλογα με το είδος της εξεταζόμενης οδού προκύπτουν διαφορετικοί χρονικοί διαχωρισμοί για να θεωρείται ότι το όχημα κινείται χωρίς να επηρεάζεται από τα άλλα. Στις προαναφερθείσες έρευνες οι εξεταζόμενες οδοί είχαν μεγάλες ταχύτητες. Επειδή στους ανισόπεδους κόμβους οι αλληλουχίες των καμπυλών έχουν ως στόχο την μείωση της ταχύτητας του οχήματος κρίθηκε ότι μια μέση τιμή αυτών των ερευνών θα ήταν η ορθότερη για τον καθορισμό των οχημάτων που κινούνται χωρίς να επηρεάζονται από τα άλλα.

Συνεπώς επιλέχθηκε ως μια λογική τιμή χρονικού διαχωρισμού των οχημάτων ώστε να χαρακτηρισθούν ως ελευθέρως κινούμενα, τα **6 δευτερόλεπτα**.

3.7 Ελκτικότητα

Όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3.5.3, ένας παράγοντας που επηρεάζει την λειτουργική ταχύτητα V_{85} είναι η ελκτικότητα. Η ελκτικότητα μεμονωμένης καμπύλης είναι συνάρτηση της γωνίας αλλαγής κατεύθυνσης και του συνολικού μήκους της καμπύλης, που αποτελείται από το μήκος του κυκλικού τόξου και τα μήκη των εκατέρωθεν τόξων συναρμογής (ΟΜΟΕ-Χ, 2001). Δίνεται από την σχέση:

$$K_E = \frac{\gamma}{L} \quad [3-4]$$

όπου:

K_E [gon/km]: ελκτικότητα μεμονωμένης καμπύλης

γ [gon]: γωνία αλλαγής κατεύθυνσης σε κάθε μια καμπύλη

L [km]: συνολικό μήκος της καμπύλης

Η ταχύτητα V_{85} υπολογίζεται συναρτήσει της ελκτικότητας ανάλογα με την κατά μήκος κλίση της οδού και το πλάτος της. Συγκεκριμένα

- για κατά μήκος κλίση $s \leq 5\%$ ή $s > 5\%$ εφόσον το μήκος της είναι $< 250\text{m}$:

$$V_{85} = \left(\frac{10^6}{10150.1 + 8.529 * K_E} \right) + ((b - 3.5) * 20) \quad [3-5]$$

b: πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας.

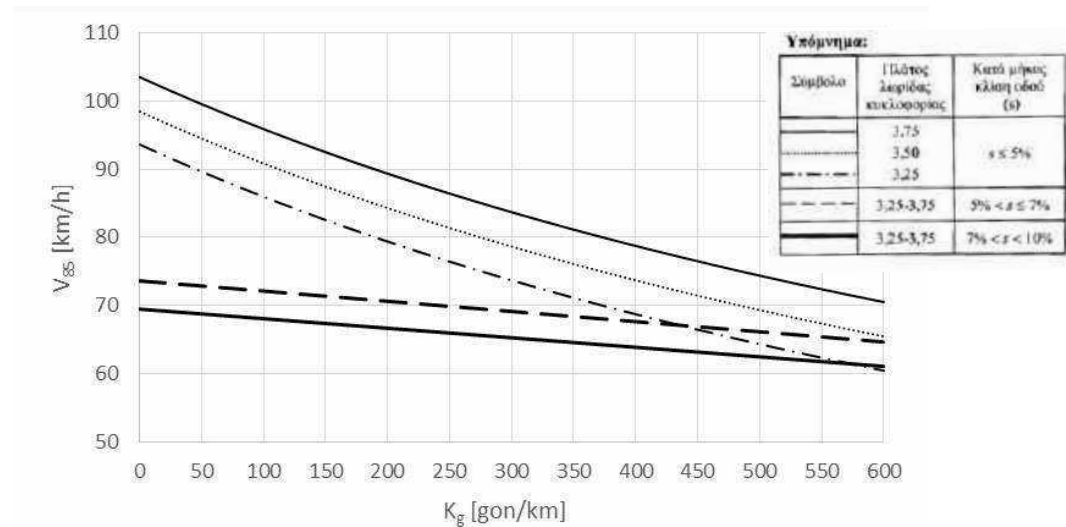
- για $s > 5\%$ επί μήκους $\geq 250\text{m}$, ανεξαρτήτως του πλάτους λωρίδας κυκλοφορίας:
 - για $5\% < s \leq 7\%$

$$V_{85} = 73.26 - 0.015 * K_E \quad [3-6]$$

- για $7\% < s < 10\%$

$$V_{85} = 69.456 - 0.014 * K_E \quad [3-7]$$

Μέσω των παραπάνω σχέσεων προέκυψε το Σχήμα 3-12 που συνδέει την V_{85} με την ελκτικότητα.



Σχήμα 3-12 Λειτουργική ταχύτητα V_{85} σε σχέση με την ελκτικότητα K_E , το πλάτος b μιας οδού και την κατά μήκος κλίση (OMOE-X, 2001)

Το Σχήμα 3-12 παρουσιάζει το προφίλ των λειτουργικών ταχυτήτων σε σχέση με την ελκτικότητα και το πλάτος μιας οδού. Μέσω αυτού γίνεται εύκολα αντιληπτό το γεγονός ότι υπάρχει μείωση της ταχύτητας όσο η ελκτικότητα αυξάνεται σε όλες τις περιπτώσεις γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού.

3.8 Προφίλ Ταχυτήτων

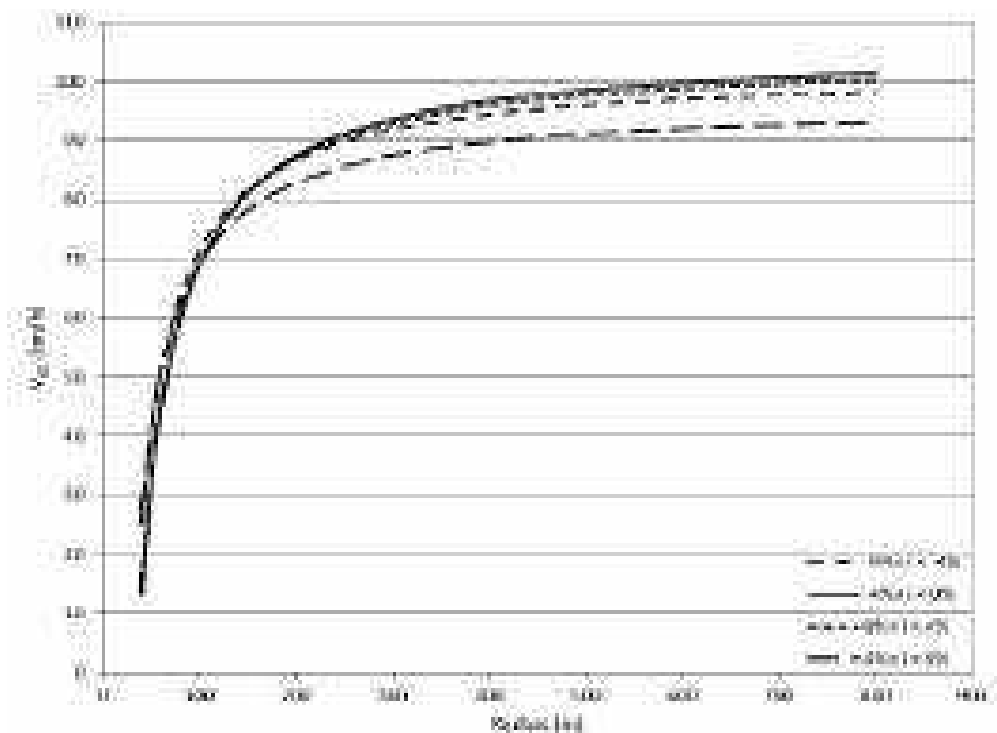
Τα προφίλ ταχυτήτων χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη των λειτουργικών ταχυτήτων κατά μήκος μιας οδού και για τον προσδιορισμό των διαφορών των ταχυτήτων μεταξύ διαδοχικών στοιχείων. Η μέθοδος των προφίλ ταχυτήτων θεωρεί ότι η ταχύτητα διατηρείται σταθερή κατά μήκος της καμπύλης και μεταβάλλεται κατά την έξοδο από αυτήν (Καλτσάς, 2018).

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε από την Federal Highway Administration (FHWA) στα τέλη της δεκαετίας του 1990, έγινε προσπάθεια να εκφραστούν μαθηματικά οι λειτουργικές ταχύτητες σε υπεραστικές οδούς δύο λωρίδων κυκλοφορίας για διάφορες συνθήκες με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υπό εξέταση οδών. Διαμορφώθηκαν τέσσερις διαφορετικές συνθήκες κατά μήκους κλίσης όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-3.

Κατά μήκος κλίση της οδού			
$-9\% \leq i < -4\%$	$-4\% \leq i < 0\%$	$0\% \leq i < 4\%$	$4\% \leq i < 9\%$
Έντονη Κατωφέρεια	Κατωφέρεια	Ανωφέρεια	Έντονη Ανωφέρεια

Πίνακας 3-3 Συνθήκες κατά μήκος κλίσης (FHWA, 1999)

Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης ήταν ότι η V_{85} αυξάνεται σημαντικά όσο αυξάνεται η ακτίνα έως τα 400 μέτρα ανεξαρτήτως συνθηκών κατά μήκος κλίσης. Αντίθετα, όσο η ακτίνα αυξανόταν από τα 400 μέτρα, η αύξηση στην V_{85} δεν ήταν αντιστοίχως έντονη, όπως φαίνεται από το Σχήμα 3-13.



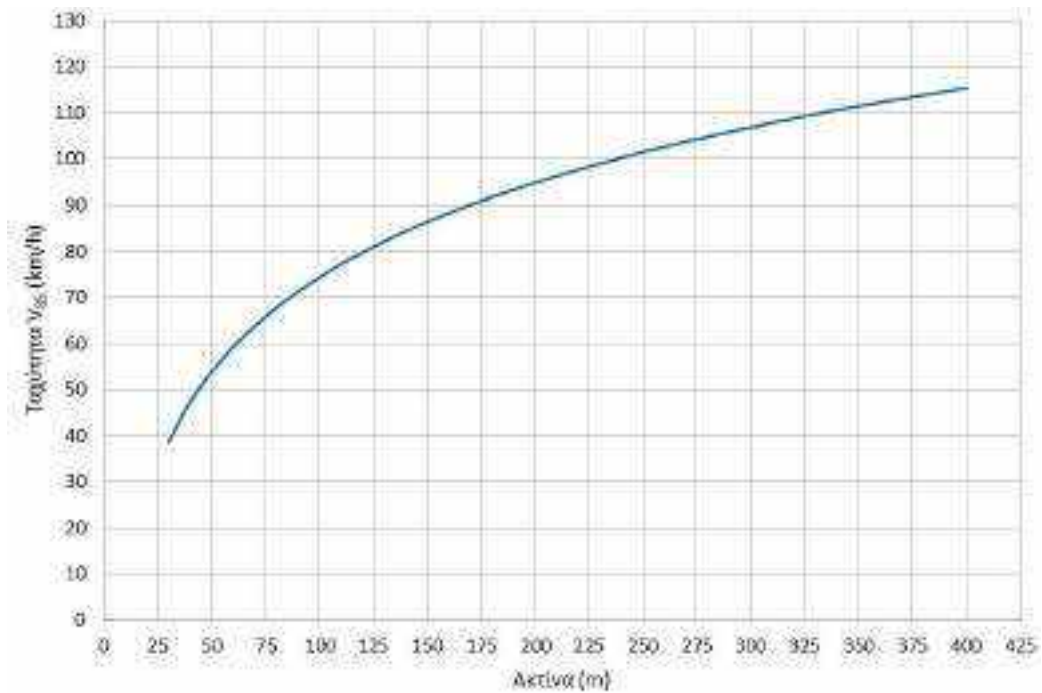
Σχήμα 3-13 Ταχύτητα V_{85} ανάλογα με την ακτίνα της οριζόντιας καμπύλης και την κατά μήκος κλίση (FHWA, 1999)

Στην έρευνα του de Jong (2017) σε 16 ανισόπεδους κόμβους της Ολλανδίας κατασκευάστηκαν διαγράμματα που συσχετίζουν την ακτίνα κάθε κλάδου ανισόπεδου κόμβου με την ταχύτητα V_{85} που προκύπτει. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν παρουσιάστηκαν με μια λογαριθμική γραμμική τάσης με εξίσωση:

$$y = 29.607 * \ln(x) - 61.964 \quad [3-8]$$

$$(R^2=0.8772)$$

Στο Σχήμα 3-14 που παρουσιάζεται παρακάτω φαίνεται η συσχέτιση V_{85} και ακτίνας όπως προέκυψε από την μελέτη του de Jong (2017).



Σχήμα 3-14 Ταχύτητα V_{85} ανάλογα με την ακτίνα της οριζόντιας καμπύλης κλάδου ανισόπεδου κόμβου (de Jong, 2017)

3.9 Στατιστικά μεγέθη κατανομών ταχυτήτων

Έχοντας πλέον ορίσει τις ταχύτητες οι οποίες είναι απαραίτητες σε μια μελέτη οδοποιίας θα γίνει μια αναφορά στα στατιστικά μεγέθη κατανομών των ταχυτήτων αυτών. Γενικά, η ταχύτητα με την οποία κινούνται οι χρήστες της οδού δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από παράγοντες όπως:

- Καιρικές συνθήκες
- Κατάσταση του οδοστρώματος
- Γεωμετρία της οδού
- Παρόδιο περιβάλλον

Εξαιτίας αυτής της μεταβλητότητας, η ταχύτητα δεν είναι άμεσα μετρήσιμη. Μια υπόθεση που ακολουθείται στον κλάδο της κυκλοφοριακής τεχνικής είναι ότι οι ταχύτητες, ειδικά της ελεύθερης ροής, ακολουθούν κανονική κατανομή.

Τα στατιστικά μεγέθη που προκύπτουν από αυτή την θεώρηση είναι τα ακόλουθα (Καλτσάς, 2018):

- **Μέση Ταχύτητα** (Mean speed): Είναι ο αριθμητικός μέσος ενός δείγματος ταχυτήτων και έχει μονάδα μέτρησης τα km/h.
- **Διακύμανση** (Variance): Είναι το μέτρο της μεταβλητότητας των τιμών των ταχυτήτων γύρω από τη μέση ταχύτητα και μονάδα μέτρησης είναι $(\text{km/h})^2$.
- **Τυπική απόκλιση** (Standard Deviation): Είναι η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης. Το μέγεθος αυτό χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του ποσοστού των ταχυτήτων που βρίσκονται εντός κάποιου συγκεκριμένου εύρους γύρω από την μέση τιμή. Μονάδα μέτρησης της τυπικής απόκλισης είναι τα km/h.
- **Συντελεστής Μεταβλητότητας** (Coefficient of Variation): Πρόκειται για την τυπική απόκλιση διαιρεμένη δια τον μέσο όρο του δείγματος. Είναι αδιάστατο μέγεθος και συνήθως εκφράζεται σαν ποσοστό επί τοις εκατό.

3.10 Συντελεστές τριβής

Η ταχύτητα την οποία μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα σε μια οριζοντιογραφική καμπύλη εξαρτάται από την πρόσφυση του οχήματος στο οδόστρωμα. Προφανώς ένα όχημα μπορεί να αναπτύξει μεγαλύτερη ταχύτητα σε ένα καλοδιατηρημένο και στεγνό οδόστρωμα παρά σε ένα κακοδιατηρημένο ή υγρό οδόστρωμα. Το κρίσιμο μέγεθος που επηρεάζει τις ταχύτητες και στις δύο περιπτώσεις είναι η τριβή που ασκείται στο ελαστικό του οχήματος.

Σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (OMOE-X, 2001) η τιμή του συντελεστή τριβής εκφράζει την πρόσφυση του οδοστρώματος και παρουσιάζει διακυμάνσεις λόγω παραγόντων τόσο των ελαστικών του οχήματος όσο και του οδοστρώματος. Μέσω αυτού του συντελεστή εξαρτώνται οι μέγιστες τιμές πέδησης, προώθησης καθώς και οι εγκάρσιες δυνάμεις που ασκούνται σε ένα όχημα. Κατά κανόνα ο επιτρεπόμενος συντελεστής τριβής επιλέγεται ώστε να καλύπτεται το 80-95% των οδοστρωμάτων μιας χώρας, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο υψηλό συντελεστή ασφαλείας κατά την κίνηση οχημάτων στις καμπύλες.

3.10.1 Συντελεστής εφαπτομενικής τριβής

Ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής που προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 3.10 δεν μπορεί να εφαρμοσθεί στην Ελλάδα λόγω της αντιοικονομικής κατασκευής των οδοστρωμάτων με τέτοιο συντελεστή τριβής. Προϋποθέτοντας ότι οι επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής θα πρέπει να ανταποκρίνονται στα σύγχρονα τεχνολογικά δεδομένα της δυναμικής των οχημάτων και προκειμένου να εξασφαλίζεται η ασφαλής κυκλοφορία των οχημάτων, ελήφθησαν ως βάση οι κανονισμοί ορισμένων χωρών (Γαλλία, Γερμανία, Ελβετία, ΗΠΑ και Σουηδία) ώστε να προσδιορισθεί η σχέση μεταξύ του επιτρεπόμενου συντελεστή εφαπτομενικής τριβής και της ταχύτητας. Η σχέση που προέκυψε ελέγχθηκε ως προς τον βαθμό σύμπτωσής της με τις αντίστοιχες σχέσεις διαφόρων χωρών με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η σχέση αυτή είναι το πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού (ΟΜΟΕ-X, 2001):

$$\max f_{T_{\text{επιτρ}}} = 0.59 - 4.85 \cdot 10^{-3} \cdot V + 1.51 \cdot 10^{-5} \cdot V^2 \quad [3-9]$$

Όπου:

$\max f_{T_{\text{επιτρ}}}$ [-] = μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής εφαπτομενικής τριβής

V [km/h] = ταχύτητα

Οι μετρήσεις τριβής των ελαστικών γίνονται κατά κανόνα σε συγκεκριμένες τιμές ταχυτήτων και συνήθως στις ταχύτητες 40, 60, και 80 km/h. Σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ οι απαιτούμενες μέγιστες τιμές του συντελεστή εφαπτομενικής τριβής δίνονται από τον Πίνακα 3-4.

	Ταχύτητα		
	$V = 40 \text{ km/h}$	$V = 60 \text{ km/h}$	$V = 80 \text{ km/h}$
$\max f_{T_{\text{επιτρ}}}$	0.42	0.35	0.30

Πίνακας 3-4 Μέγιστες τιμές απαιτούμενου συντελεστή εφαπτομενικής τριβής (ΟΜΟΕ-X, 2001)

Οι παραπάνω τιμές προτείνονται ως οι τυπικές τιμές ολισθηρότητας των ελληνικών οδοστρωμάτων και είναι οι ελάχιστες που αντιστοιχούν στην πρόσφυση του οδοστρώματος σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ.

Είναι προφανές ότι η επιφάνεια του οδοστρώματος επηρεάζει τον συντελεστή τριβής του. Στον Πίνακα 3-5 παρακάτω παρουσιάζονται οι συντελεστές τριβής που συναντώνται σε διάφορα οδοστρώματα ανάλογα με την κατάστασή τους.

Συντελεστές Τριβής				
Κατάσταση επιφάνειας οδοστρώματος	Στεγνό	Στεγνό	Υγρό	Υγρό
	<50 Km/h	>50 Km/h	<50 Km/h	>50 Km/h
Σκυρόδεμα				
Καινούργια Επιφάνεια	0,80-1,20	0,70-1,00	0,50-0,80	0,40-0,75
Παλαιά Επιφάνεια	0,60-0,80	0,60-0,75	0,45-0,70	0,45-0,65
Λειασμένη Επιφάνεια	0,55-0,75	0,50-0,65	0,45-0,65	0,45-0,60
Άσφαλτος				
Καινούργια Επιφάνεια	0,80-1,20	0,65-1,00	0,50-0,80	0,45-0,75
Παλαιά Επιφάνεια	0,60-0,80	0,55-0,70	0,45-0,70	0,40-0,65
Λειασμένη Επιφάνεια	0,55-0,75	0,45-0,65	0,45-0,65	0,40-0,60
Υπερβολικό ποσοστό πίσσας	0,50-0,60	0,35-0,60	0,30-0,60	0,25-0,55
Αμμοχάλικο				
Συμπυκνωμένο αμμοχάλικο	0,55-0,85	0,50-0,80	0,40-0,80	0,40-0,60
Ασυμπύκνωτο αμμοχάλικο	0,40-0,70	0,40-0,70	0,45-0,75	0,45-0,75
Τέφρα				
Συμπυκνωμένη τέφρα	0,50-0,70	0,50-0,70	0,65-0,75	0,65-0,75
Βραχώδης επιφάνεια				
Θραυστό υλικό	0,55-0,75	0,55-0,75	0,55-0,75	0,55-0,75
Επιφάνεια με παγετό				
Ομαλή επιφάνεια	0,10-0,25	0,07-0,20	0,05-0,10	0,05-0,10
Οδόστρωμα καλυμμένο από χιόνι				
Συμπυκνωμένο χιόνι	0,30-0,55	0,35-0,55	0,30-0,60	0,30-0,60
Χαλαρό χιόνι	0,10-0,25	0,10-0,20	0,30-0,60	0,30-0,60

Πίνακας 3-5 Συντελεστές τριβής ανάλογα με την κατάσταση του οδοστρώματος (TEE, 2006)

Από τα στοιχεία του Πίνακα 3-5 φαίνεται η επιρροή της κατάστασης του οδοστρώματος στον συντελεστή τριβής. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε περίπτωση στεγνής αλλά λειασμένης επιφάνειας ασφάλτου ο συντελεστής τριβής φτάνει ακόμα και το 0.45 δηλαδή προσεγγίζει τον συντελεστή τριβής του υγρού οδοστρώματος που είναι 0.40.

3.10.2 Συντελεστής πλευρικής τριβής

Ο συντελεστής πλευρικής τριβής f_R αλληλοεπιδρά με τον συντελεστή εφαστομενικής τριβής f_T ώστε η συνολική διαθέσιμη τριβή του οδοστρώματος να μοιράζεται μεταξύ των δύο διευθύνσεων, εφαστομενικά και εγκάρσια στον τροχό. Η σχέση μεταξύ των δύο συντελεστών τριβής δίνεται από την παρακάτω ανίσωση (Μαυρομάτης, 2017):

$$\left(\frac{f_T}{f_{Tmax}}\right)^2 + \left(\frac{f_R}{f_{Rmax}}\right)^2 \leq 1 \quad [3-10]$$

Όπου

f_T απαιτούμενος συντελεστής εφαστομενικής τριβής

f_{Tmax} μέγιστος συντελεστής εφαστομενικής τριβής

f_R απαιτούμενος συντελεστής πλευρικής τριβής

f_{Rmax} μέγιστος συντελεστής πλευρικής τριβής

Εφόσον ορίστηκε η απαιτούμενη μέγιστη τιμή του συντελεστή εφαστομενικής τριβής σε συνάρτηση με την ταχύτητα, θα πρέπει να επιλεγθεί και ο συντελεστής εκμετάλλευσης n της μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής του συντελεστή εγκάρσιας τριβής. Ο συντελεστής αυτός δείχνει το ποσοστό της μέγιστης διαθέσιμης τριβής που παραλαμβάνεται στην εγκάρσια διεύθυνση δηλαδή τον όρο (f_R/f_{Rmax}) στην σχέση [3-10]. Ο συντελεστής εκμετάλλευσης n πρέπει να εξασφαλίζει σημαντικά αποθέματα εφαστομενικής τριβής για επιβράδυνση, επιτάχυνση, έκτακτη πέδηση και άλλους αναγκαίους ελιγμούς του οχήματος.

Σύμφωνα με την διεθνή εμπειρία, η τιμή αυτή κυμαίνεται μεταξύ $n = 40\%$ και $n = 50\%$ για υπεραστικές οδούς. Αυτό σημαίνει ότι για συντελεστή εκμετάλλευσης $n=0.4$, από την σχέση [3-10] προκύπτει $(f_T/f_{Tmax})=0.917$ και για συντελεστή εκμετάλλευσης $n=0.5$, από την σχέση [3-10] προκύπτει $(f_T/f_{Tmax})=0.866$. Παρατηρείται λοιπόν μείωση του συντελεστή τριβής κατά την εφαστομενική διεύθυνση όσο αυξάνει η απαίτηση του συντελεστή τριβής στην εγκάρσια διεύθυνση. Ουσιαστικά αυτό σημαίνει ότι όσο πιο υψηλή απαίτηση έχει ένα όχημα για εγκάρσια τριβή, για παράδειγμα λόγω υψηλής ταχύτητας κατά την διέλευσή του από μια καμπύλη, τόσο λιγότερη διαθέσιμη τριβή έχει για τις ανάγκες πέδησης, επιτάχυνσης ή ελιγμών. Τα αποτελέσματα της σχέσης [3-

10] παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 3-6 για διάφορες τιμές του συντελεστή εκμετάλλευσης.

Εγκάρσια	Εφαπτομενική
$n = (f_R/f_{Rmax}), (\%)$	$n = (f_T/f_{Tmax}), (\%)$
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

Πίνακας 3-6 Εκμεταλλεούμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής και εναπομένον συντελεστής εφαπτομενικής τριβής (Lamm et al., 1999)

Η μέγιστη απαιτούμενη τιμή του συντελεστή εγκάρσιας τριβής $f_{R\epsilon\pi\iota\tau\rho}$ υπολογίζεται από την σχέση (OMOE-X, 2001):

$$\max f_{R\epsilon\pi\iota\tau\rho} = n * 0.925 * \max f_{T\epsilon\pi\iota\tau\rho} \quad [3-11]$$

Όπου:

$\max f_{R\epsilon\pi\iota\tau\rho}$ [-] = μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής

$\max f_{T\epsilon\pi\iota\tau\rho}$ [-] = μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής εφαπτομενικής τριβής

n [-] = συντελεστής εκμετάλλευσης της τιμής του συντελεστή εγκάρσιας τριβής

Σημείωση: Ο συντελεστής 0.925 σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες των ελαστικών.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η ταχύτητα διέλευσης από μια καμπύλη εξαρτάται από την ακτίνα, την επίκλιση και τον διαθέσιμο συντελεστή τριβής. Οποιαδήποτε αύξηση στις παραμέτρους αυτές έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση στην ταχύτητα διέλευσης. Έρευνες έχουν δείξει ότι οι ταχύτητες που επιλέγουν οι οδηγοί κατά την διάρκεια μια καμπύλης, σχετίζονται με την αποδεκτή πλευρική επιτάχυνση από την πλευρά της άνεσης τους.

Στους αμερικανικούς κανονισμούς μελέτης οδικών έργων (AASHTO, 2018), θεωρείται ότι ο σχεδιασμός των καμπυλών δεν θα πρέπει να γίνεται με βάση τους μέγιστους διατιθέμενους συντελεστές εγκάρσιας τριβής διότι αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την

αύξηση του κόστους συντήρησης. Σύμφωνα με αυτά, το κριτήριο για την επιλογή του μέγιστου συντελεστή εγκάρσιας τριβής ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί στον σχεδιασμό είναι το επίπεδο της πλευρικής επιτάχυνσης που παραβιάζει τα όρια άνεσης των οδηγών. Οι προτεινόμενοι συντελεστές εγκάρσιας τριβής με κριτήριο την άνεση των οδηγών σύμφωνα με τις οδηγίες της AASHTO παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-7.

Ταχύτητα μελέτης σε μίλια ανά ώρα													
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
f_R	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10

Πίνακας 3-7 Συντελεστές πλευρικής τριβής βάσει ορίων άνεσης των χρηστών σε μίλια ανά ώρα (AASHTO, 2018)

Στον Πίνακα 3-8 οι τιμές της ταχύτητας έχουν μετατραπεί σε χιλιόμετρα ανά ώρα.

Ταχύτητα μελέτης σε χιλιόμετρα ανά ώρα													
	16	24	32	40	48	56	64	72	81	89	97	105	113
f_R	0.38	0.32	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10

Πίνακας 3-8 Συντελεστές πλευρικής τριβής βάσει ορίων άνεσης των χρηστών σε χιλιόμετρα ανά ώρα

Ωστόσο έχει σημασία να αναφερθεί ότι καθώς η αυτοκινητοβιομηχανία εξελίσσεται και παράγονται όλο και πιο εξελιγμένα συστήματα αναρτήσεων, οι οδηγοί αισθάνονται πιο άνετα να διανύσουν τις καμπύλες με μεγαλύτερη ταχύτητα σε σχέση με παλαιότερα. Αυτό επιβεβαιώνεται από τις μετρήσεις των Carlson και Mason (1999) οι οποίοι μέτρησαν τιμές άνεσης ίσες με 0.17g για ταχύτητες μεγαλύτερες των 50 km/h καθώς και από τις τιμές που προτείνονται από τον Navin (2015) που πλησιάζουν τα 0.18g για ταχύτητες 80 km/h. Παρατηρείται ότι οι παραπάνω τιμές είναι σαφώς μεγαλύτερες από τις προτεινόμενες από τους αμερικάνικους κανονισμούς AASHTO.

3.11 Στοιχεία δυναμικής κίνησης οχημάτων

Στο Κεφάλαιο 3.10 αναλύθηκαν οι συντελεστές τριβής και η σημασία τους στον σχεδιασμό των οδοστρωμάτων. Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια επιπλέον ανάλυση για τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω σε ένα όχημα κατά την διάρκεια διέλευσης από μια καμπύλη και η σημασία των συντελεστών τριβής σε αυτήν την ανάλυση.

Στην υπάρχουσα πρακτική για τον σχεδιασμό έργων οδοποιίας, η κίνηση ενός οχήματος στην καμπύλη εξετάζεται με βάση την υπόθεση ότι το όχημα κινείται σε

καμπύλη με σταθερή ταχύτητα (steady state cornering) (Μαυρομάτης, 2017). Οι συνθήκες κίνησης του οχήματος χαρακτηρίζονται από τροχιά σταθερής ακτίνας και σταθερή ταχύτητα.

Επιπλέον η εξέταση των δυνάμεων που επενεργούν σε ένα όχημα και οι οποίες χρησιμεύουν στην επιλογή των τιμών των στοιχείων μελέτης, στηρίζεται στην παραδοχή ότι το όχημα είναι σημειακή μάζα, στην οποία ασκούνται οι διάφορες δυνάμεις. Δηλαδή το όχημα θεωρείται σαν σημείο και η μάζα του οχήματος θεωρείται συγκεντρωμένη στο κέντρο βάρους του. Με αυτήν την θεώρηση αγνοείται το πραγματικό σύστημα δυνάμεων, που εμφανίζεται στα διάφορα μέρη του οχήματος, όπως στους τροχούς. Αυτός ο τρόπος εξέτασης της δυναμικής της κίνησης των οχημάτων είναι τυπικός για όλους τους μέχρι σήμερα ισχύοντες κανονισμούς οδοποιίας. Με αυτόν τον τρόπο, από την εξίσωση ισορροπίας στον εγκάρσιο άξονα προκύπτει η ελάχιστη ακτίνα.

Παρόλα αυτά η γενίκευση αυτή δεν καταφέρνει να εξετάσει την επίδραση κάποιων σημαντικών παραμέτρων του δρόμου και του οχήματος. Οι κύριες ελλείψεις αυτού του μοντέλου είναι (Μαυρομάτης, 2017):

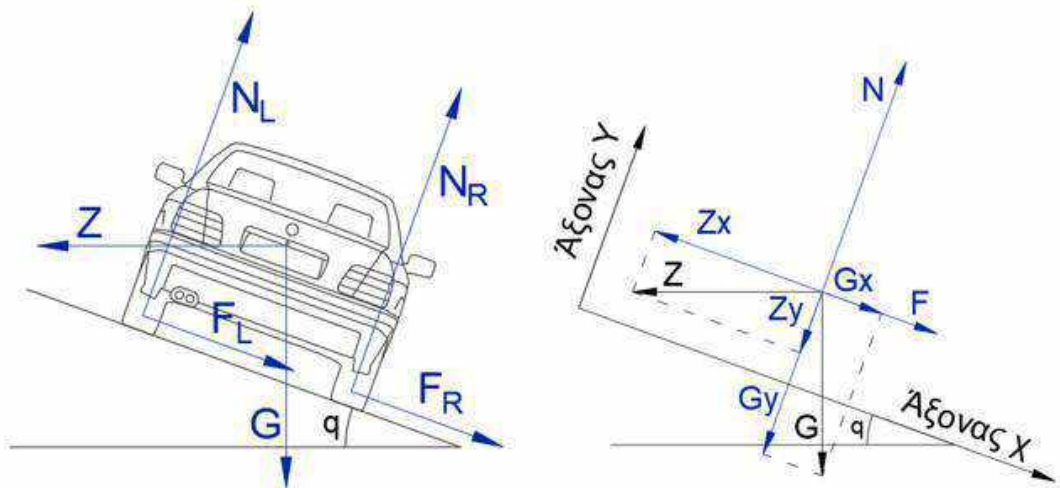
- Οι συνθήκες στροφής με σταθερή ταχύτητα αγνοούν την επίδραση της επιτάχυνσης.
- Η κίνηση του οχήματος εξετάζεται ανεξάρτητα στον διαμήκη και στον εγκάρσιο άξονα παρόλο που οι αντίστοιχοι συντελεστές τριβής αλληλοεπιδρούν.
- Ο αξιοποιήσιμος εγκάρσιος συντελεστής τριβής δεν προκύπτει από την πραγματική απαίτηση αλλά από εμπειρικά δεδομένα.
- Στον διαμήκη άξονα το επίπεδο της οδού θεωρείται οριζόντιο.
- Οι παράμετροι του οχήματος, όπως η θέση του κέντρου μάζας, η θέση του κινητήριου άξονα, η ιπποδύναμη και ο τύπος του οχήματος αγνοούνται.

Παρά τις παραπάνω απλοποιήσεις, οι Hardwood και Mason (1994) συμπέραναν ότι η υπάρχουσα πρακτική σχεδίασης παρέχει ικανοποιητικά περιθώρια ασφάλειας ολίσθησης και ανατροπής για τα επιβατικά οχήματα.

Ωστόσο αρκετές έρευνες έχουν δείξει την ανάγκη να υπάρξει ένα πιο λεπτομερές πρότυπο προσομοίωσης της διαδικασίας κίνησης οχήματος σε καμπύλη τροχιά, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αυξημένων κατά μήκος κλίσεων (Μαυρομάτης, 2017).

3.11.1 Απλοποιημένο πρότυπο υπολογισμού πλευρικής επιτάχυνσης

Οι δυνάμεις που ασκούνται στο όχημα κατά την στροφή και η ανάλυσή τους σε ορισμένο σύστημα αξόνων παρουσιάζονται στο Σχήμα 3-15. Οι δυνάμεις που ασκούνται στο όχημα περιγράφονται αναλυτικά στον Πίνακα 3-9.



Σχήμα 3-15 Ασκούμενες δυνάμεις σε όχημα κινούμενο σε στροφή.

Συμβολισμός	Περιγραφή	Συμβολισμός	Περιγραφή
Z	Κεντρομόλος δύναμη	Z _x	Κεντρομόλος δύναμη στον άξονα X
G	Βάρος οχήματος	Z _y	Κεντρομόλος δύναμη στον άξονα Y
N _L	Αντίδραση οδοστρώματος αριστερά	G _x	Βάρος στον άξονα X
N _R	Αντίδραση οδοστρώματος δεξιά	G _y	Βάρος στον άξονα Y
F _L	Τριβή αριστερά	N	Συνολική αντίδραση οδοστρώματος
F _R	Τριβή δεξιά	F	Συνολική τριβή F=F _L +F _R

Πίνακας 3-9 Δυνάμεις που ασκούνται σε όχημα κατά την διάρκεια στροφής

Από την ισορροπία των δυνάμεων που ασκούνται στο όχημα προκύπτει η τιμή της ελάχιστης ακτίνας. Στην εγκάρσια διεύθυνση της κίνησης του οχήματος, η κεντρομόλος δύναμη ισούται με το άθροισμα των δυνάμεων πλευρικής τριβής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος και της συνιστώσας του βάρους στον άξονα X.

Από την επίλυση της εξίσωσης ισορροπίας προκύπτει η βασική εξίσωση της δυναμικής κίνησης του οχήματος κατά την εγκάρσια διεύθυνση:

$$R = \frac{V^2}{127 * (f_R + q)} \quad [3-12]$$

Όπου:

f_R [-] = συντελεστής εγκάρσιας συνιστώσας της τριβής

q [-] = επίκλιση της οδού

V [km/h] = ταχύτητα οχήματος

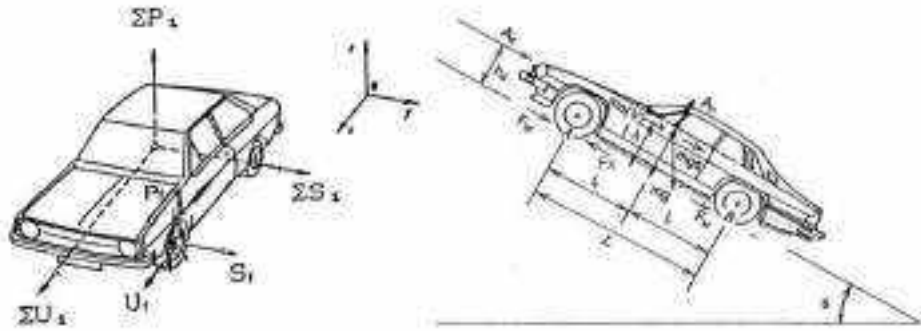
R [m] = ακτίνα της οριζόντιας καμπύλης

Από την επίλυση αυτής της σχέσης ως προς f_R προκύπτει για δεδομένη καμπύλη, με γνωστά τα χαρακτηριστικά της επίκλισης, ο συντελεστής εγκάρσιας τριβής.

3.11.2 Πρότυπο δυναμικής ανάλυσης κίνησης οχημάτων

Λόγω των μειονεκτημάτων του απλοποιημένου προτύπου για τον υπολογισμό των πλευρικών επιταχύνσεων που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 3.11.1, αναπτύχθηκε ένα λεπτομερές πρότυπο δυναμικής ανάλυσης κίνησης οχημάτων (Μαυρομάτης, 2017) στο οποίο οι δυνάμεις και οι ροπές που επιδρούν πάνω στο όχημα κατά την στροφή αναλύθηκαν σε ένα κινούμενο σύστημα τρισδιάστατων συντεταγμένων που συμπίπτει με το κέντρο βάρους του οχήματος.

Το σύστημα αυτό δημιουργείται από τον διαμήκη, τον εγκάρσιο και τον κατακόρυφο άξονα του οχήματος και παρουσιάζεται αναλυτικά στο Σχήμα 3-16. Μέσω αυτού του συστήματος αξόνων εκφράστηκε η επίδραση ορισμένων χαρακτηριστικών του οχήματος, της γεωμετρίας της οδού και της τριβής μεταξύ οδοστρώματος-ελαστικού.



Σχήμα 3-16 Σύστημα συντεταγμένων και δυνάμεις που ασκούνται στο κινούμενο όχημα σε στροφή και ανωφέρεια (Μαυρομάτης, 2017)

Οι κάθετες δυνάμεις P_f , P_r που ασκούνται στο όχημα υπολογίζονται με τις ροπές στον εμπρόσθιο και στον πίσω άξονα ως εξής:

$$P_f = mg \left(\frac{l_r}{L} \cos s - \frac{h}{L} \sin s \right) - ma(V) \frac{h}{L} \quad [3-13]$$

$$P_r = mg \left(\frac{l_f}{L} \cos s + \frac{h}{L} \sin s \right) + ma(V) \frac{h}{L} \quad [3-14]$$

Όπου ($\sin s \approx s$, $\cos s \approx 1$)

P_f , P_r κάθετες δυνάμεις που επιδρούν στον εμπρόσθιο και στον πίσω άξονα αντίστοιχα

m μάζα οχήματος (kg)

h απόσταση κέντρου βάρους από την επιφάνεια του οδοστρώματος

l_f απόσταση κέντρου βάρους από τον εμπρόσθιο άξονα

l_r απόσταση κέντρου βάρους από τον πίσω άξονα

s κατά μήκος κλίση (%)

L μεταξόνιο οχήματος (m)

$a(V)$ dV/dt : επιτάχυνση (m/s^2)

Εφαρμόζοντας τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα στον διαμήκη κατά την φορά κίνησης του οχήματος άξονα προκύπτει:

$$\Sigma U_i = ma(V) \Rightarrow F_x - mgs \sin s = ma(V) \quad [3-15]$$

Η δύναμη τριβής κατά την οριακή κατάσταση ολίσθησης προκύπτει όταν αξιοποιείται ολόκληρη η τριβή κατά τον διαμήκη άξονα, δηλαδή:

$$F_{xskid} = P_f f_{T,max} \quad [3-16]$$

Όπου

$f_{t,max}$ μέγιστος συντελεστής τριβής κατά τον διαμήκη άξονα

Συνδυάζοντας τις σχέσεις [3-13], [3-15], [3-16] προκύπτει ότι η επιτάχυνση στην οποία το όχημα φτάνει στην οριακή κατάσταση ολίσθησης δίνεται από την σχέση:

$$\frac{a(V)_{skid}}{g} = \frac{l_r f_{T,max}}{L + h f_{T,max}} - s \quad [2-17]$$

Από τις σχέσεις [3-13], [3-16], [3-17] εκφράζεται η δύναμη τριβής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος στις οριακές συνθήκες ολίσθησης μέσω της σχέσης:

$$F_{xmax} = m g f_{T,max} \left(\frac{l_r}{L + h f_{T,max}} \right) \quad [3-18]$$

Όπως προκύπτει από τις παραπάνω σχέσεις, η επιτάχυνση κατά την οποία το όχημα φτάνει σε οριακή κατάσταση ολίσθησης εξαρτάται από την κλίση της οδού αλλά η δύναμη τριβής F_{xmax} είναι ανεξάρτητη αυτής της παραμέτρου. Τα ίδια ισχύουν στην περίπτωση κίνησης οχήματος σε καμπύλη όπου το προτεινόμενο μοντέλο δυναμικής κίνησης υπολογίζει με ακρίβεια την περίπλοκη σχέση που συσχετίζει τις δυνάμεις που δρουν στο όχημα και στις δύο διευθύνσεις. Η επιτάχυνση του οχήματος κατά την φορά κίνησης μπορεί να εκφραστεί με μορφή πολωνύμου 4^{ου} βαθμού για το οποίο οι συντελεστές Α έως Ε εκφράζονται συναρτήσει των χαρακτηριστικών του οχήματος και της οδού και δίνεται από την σχέση:

$$A \left(\frac{dV}{dt} \right)^4 + B \left(\frac{dV}{dt} \right)^3 + \Gamma \left(\frac{dV}{dt} \right)^2 + \Delta \left(\frac{dV}{dt} \right) + E = 0 \quad [3-19]$$

Οι συντελεστές τριβής στις δύο διευθύνσεις κατά την διάρκεια της στροφής ακολουθούν την παρακάτω σχέση:

$$\left(\frac{f_T}{f_{T,max}} \right)^2 + \left(\frac{f_R}{f_{R,max}} \right)^2 \leq 1 \quad [3-20]$$

Όπου:

f_T απαιτούμενος συντελεστής εφαπτομενικής τριβής

$f_{T,max}$ μέγιστος συντελεστής εφαπτομενικής τριβής

f_R απαιτούμενος συντελεστής πλευρικής τριβής

f_{Rmax} μέγιστος συντελεστής πλευρικής τριβής

Εφαρμόζοντας τους νόμους της μηχανικής, η στιγμιαία επιτάχυνση του οχήματος μπορεί να εκφραστεί σαν μια συνάρτηση της στιγμιαίας ταχύτητας του οχήματος σε συνδυασμό με την απόσταση που διένυσε το όχημα. Η διαφορική εξίσωση που προκύπτει από την ανάλυση αυτή είναι:

$$a(v) = \frac{dv}{dd} v \quad [3-21]$$

Όπου:

$a(v)$ επιτάχυνση (m/s^2)

v ταχύτητα (m/s)

d απόσταση (m)

Το πρότυπο αυτό καθορίζει με ακρίβεια την ταχύτητα με την οποία ο κρίσιμος τροχός βρίσκεται σε συνθήκες οριακής ολίσθησης, δηλαδή εκμεταλλεύεται πλήρως τον συντελεστή τριβής και στις δύο διευθύνσεις και τον συντελεστή αξιοποίησης της ιπποδύναμης για αυτή την κατάσταση. Σε εμπροσθοκίνητα οχήματα ο κρίσιμος τροχός είναι πάντα ο εμπρόσθιος εσωτερικός τροχός διότι αυτός είναι ο κινητήριος τροχός που δέχεται λιγότερη αντίδραση από το οδόστρωμα με συνέπεια να έχει μικρότερη διαθέσιμη τριβή.

Με βάση αυτό το πρότυπο μπορεί να επιταχυνθεί το όχημα μέχρι την οριακή κατάσταση ολίσθησης και με αυτό τον τρόπο να προσδιοριστεί ο συντελεστής αξιοποίησης της ιπποδύναμης. Ο συντελεστής αυτός δίνεται σε ποσοστό της συνολικής ιπποδύναμης του οχήματος. Αν η ιπποδύναμη είναι 100 hp τότε ο συντελεστής αυτός υπολογίζει απευθείας την ιπποδύναμη.

Αυτός ο τρόπος προσέγγισης της δυναμικής κίνησης του οχήματος είναι πιο ολοκληρωμένος από τον συμβατικό τρόπο σύμφωνα με τον οποίο σε μια δεδομένη καμπύλη ο οδηγός κινείται με σταθερή ταχύτητα που ορίζει η σήμανση. Ακόμα και αν ο οδηγός κινηθεί με ταχύτητα μικρότερη από την ταχύτητα μελέτης τότε ανάλογα με τον ρυθμό επιτάχυνσης, ο οποίος εξαρτάται από τον συντελεστή αξιοποίησης ιπποδύναμης, εγείρονται σημαντικά ζητήματα ασφάλειας αφού το όχημα μπορεί και πάλι να ολισθήσει.

Λόγω της πολυπλοκότητας του εν λόγω προτύπου δυναμικής ανάλυσης κίνησης οχημάτων έχει αναπτυχθεί ένα εξειδικευμένο λογισμικό για τον υπολογισμό των πλευρικών επιταχύνσεων και το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία για την ανάλυση των πλευρικών επιταχύνσεων στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης. Στην Εικόνα 3-1 φαίνεται μια ενδεικτική οθόνη της διεπαφής χρήστη (user interface) του εξειδικευμένου λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των πλευρικών επιταχύνσεων και των μεγίστων σταθερών ταχυτήτων.

The screenshot displays a software interface with several data tables. The 'VEHICLE CHARACTERISTICS' table includes parameters like mass (m), length (L), frontal area (Af), center of gravity height (h), and various stiffness coefficients (Caf, Car, Cn, Cd). The 'TIRE CHARACTERISTICS' table lists tire models (P, R, S, T, Z), their respective coefficients, and stiffness values. The 'ROAD CHARACTERISTICS' table provides road profile data (R, S, T, Z) and associated coefficients. The 'LOAD TRANSFER CHARACTERISTICS' table shows load transfer parameters (L, S, T, Z) and their coefficients. A 'Results' table at the bottom summarizes key findings, including maximum lateral acceleration (a_y max) and maximum steady-state speed (V_{ss}).

Εικόνα 3-1 Ενδεικτική οθόνη διεπαφής χρήστη λογισμικού δυναμικής ανάλυσης κίνησης οχημάτων

Τα δεδομένα που εισάγονται στην παραπάνω διεπαφή χρήστη για τους υπολογισμούς αυτούς παρουσιάζονται στους Πίνακες 3-10 έως 3-13.

Χαρακτηριστικά οχήματος (Vehicle characteristics)

Δεδομένα	Κελί	Περιγραφή
m (kg)	A3	Η μάζα του οχήματος
L (m)	B3	Μήκος μεταξονίου οχήματος
A_f (m²)	C3	Μετωπική επιφάνεια
c_d	D3	Αεροδυναμικός συντελεστής μετωπικής επιφάνειας
h (m)	E3	Ύψος κέντρου βάρους από την επιφάνεια της οδού
l_f (m)	F3	Απόσταση κέντρου βάρους από τον εμπρόσθιο άξονα
C_{af} (kp/rad)	G3	Συντελεστής ακαμψίας ελαστικού στον εμπρόσθιο άξονα
C_{ar} (kp/rad)	H3	Συντελεστής ακαμψίας ελαστικού στον οπίσθιο άξονα
ρ (kg/m³)	I3	Πυκνότητα αέρα
c_n/c_d	J3	Αεροδυναμικός συντελεστής άνωσης
h_d (m)	K3	Θέση κέντρου βάρους από την επιφάνεια του εδάφους
t_f (m)	L3	Γχνος εμπρός τροχών
t_r (m)	M3	Γχνος πίσω τροχών

Πίνακας 3-10 Περιγραφή χαρακτηριστικών οχημάτων για εισαγωγή στο φύλλο εργασίας

Χαρακτηριστικά ελαστικών (Tire characteristics)

Δεδομένα	Κελί	Περιγραφή
f_{tmax}	A7	Μέγιστος συντελεστής εφασπτομενικής τριβής
r_{dyn} (m)	G7	Δυναμική ακτίνα κύλισης ελαστικού

Πίνακας 3-11 Περιγραφή χαρακτηριστικών ελαστικών για εισαγωγή στο φύλλο εργασίας

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδού (Road characteristics)

Δεδομένα	Κελί	Περιγραφή
R (m)	A11	Ακτίνα της καμπύλης
e (%)	B11	Επίκλιση της οδού
s (%)	C11	Κατά μήκος κλίση της οδού

Πίνακας 3-12 Περιγραφή χαρακτηριστικών οδού για εισαγωγή στο φύλλο εργασίας

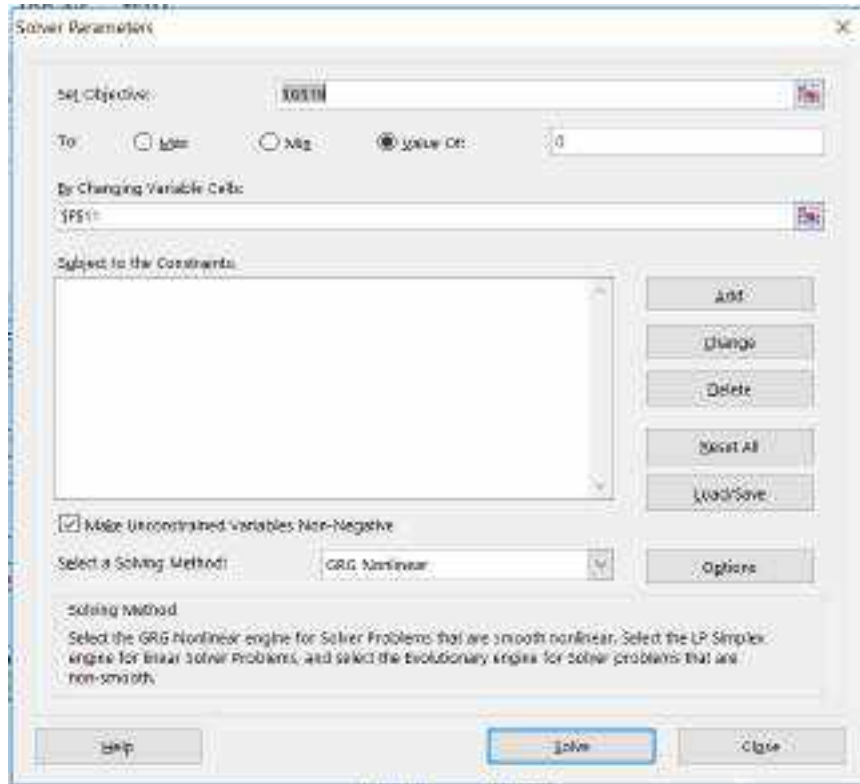
Χαρακτηριστικά μεταφοράς φορτίου (Load transfer characteristics)

Δεδομένα	Κελί	Περιγραφή
$K_{\phi f}$ (Nm/rad)	C15	Ακαμψία ανατροπής του άξονα του εμπρός άξονα
$K_{\phi r}$ (Nm/rad)	D15	Ακαμψία ανατροπής του άξονα του πίσω άξονα
m_{uf} (kg)	E15	Εμπρόσθια μάζα άξονα
m_{ur} (kg)	F15	Οπίσθια μάζα άξονα
h_{rcgf} (m)	I15	Ύψος κέντρου ανατροπής εμπρός
h_{rcgr} (m)	J15	Ύψος κέντρου ανατροπής πίσω

Πίνακας 3-13 Περιγραφή χαρακτηριστικών μεταφοράς φορτίου για εισαγωγή στο φύλλο εργασίας

Στο πρόγραμμα αυτό εισάγονται τα χαρακτηριστικά του οχήματος υπό εξέταση σύμφωνα με τους παραπάνω Πίνακες 3-10 έως 3-13. Στην συνέχεια εισάγεται η ταχύτητα για την οποία ο χρήστης επιθυμεί να υπολογίσει τον απαιτούμενο συντελεστή πλευρικής τριβής ώστε το όχημα να μην βρεθεί σε οριακή κατάσταση ολίσθησης στο κελί A19. Με την εκτέλεση του εργαλείου “Solver” του λογισμικού Microsoft Excel υπολογίζεται ο συντελεστής πλευρικής τριβής.

Ο τρόπος λειτουργίας του εργαλείου “Solver” είναι η συνεχής αλλαγή ενός κελιού απαιτώντας την τιμή ενός άλλου κελιού να ισούται με μια δοσμένη τιμή. Στην παρούσα διπλωματική εργασία οι υπολογισμοί έγιναν με την παραδοχή ότι τα οχήματα κινούνται με σταθερή ταχύτητα σε μια καμπύλη και διατηρούν κυκλική τροχιά. Αυτό σημαίνει ότι η επιτάχυνση των οχημάτων θα πρέπει να ισούται με 0. Έτσι το εργαλείο “Solver” έχει την μορφή που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3-2 παρακάτω.



Εικόνα 3-2 Δεδομένα εισαγωγής στο εργαλείο “Solver”

Ουσιαστικά το εργαλείο αυτό πραγματοποιεί συνεχώς αλλαγές στο κελί F11 (n %) που είναι το ποσοστό της συνολικής ιπποδύναμης που χρησιμοποιεί το υπό εξέταση όχημα με την απαίτηση το κελί G19 (dv/dt) να ισούται με 0, δηλαδή το όχημα να έχει σταθερή ταχύτητα κατά την διάρκεια της στροφής. Όταν βρεθεί συντελεστής εκμετάλλευσης της ιπποδύναμης n που αντιστοιχεί σε επιτάχυνση 0m/s^2 για τα γεωμετρικά δεδομένα της οδού και τα χαρακτηριστικά του οχήματος, τότε στο πρόγραμμα εμφανίζονται τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-14.

Δεδομένα	Κελί	Περιγραφή
Front axle fr	D19	Συντελεστής πλευρικής τριβής για τον εμπρός άξονα
Front In fr	E19	Συντελεστής πλευρικής τριβής για τον εμπρός εσωτερικό τροχό
hp n(%)	F19	Συντελεστής αξιοποίησης ιπποδύναμης

Πίνακας 3-14 Αποτελέσματα λογισμικού μοντέλου δυναμικής ανάλυσης κίνησης οχημάτων

Το πρόγραμμα που παρουσιάστηκε θα χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία των δεδομένων πλευρικών επιταχύνσεων στο Κεφάλαιο 5. Σημειώνεται ότι το λογισμικό αυτό εφαρμόστηκε για εμπροσθοκίνητο επιβατηγό όχημα και για αυτό ο κρίσιμος τροχός για ολίσθηση είναι ο εμπρός εσωτερικός.

4 Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση της περιοχής μελέτης και της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την συλλογή και επεξεργασία των στοιχείων που είναι απαραίτητα για τον στόχο της διπλωματικής εργασίας. Γίνεται αναλυτική παρουσίαση του τρόπου συλλογής των δεδομένων για τις κυκλοφοριακές μετρήσεις και τις μετρήσεις ταχυτήτων. Τέλος περιγράφεται ο τρόπος μέτρησης των πλευρικών επιταχύνσεων που δέχεται ένα όχημα κατά την διάρκεια της στροφής και ο τρόπος εύρεσης του συντελεστή τριβής του οδοστρώματος του ανισόπεδου κόμβου μελέτης.

4.1 Αντικείμενο μελέτης

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής ήταν η διερεύνηση της ασφάλειας κίνησης οχημάτων σε συνδετήριους κλάδους ανισόπεδων κόμβων. Για τον λόγο αυτό ήταν απαραίτητη η συλλογή και η μελέτη των ταχυτήτων των οχημάτων που χρησιμοποιούν τον ανισόπεδο κόμβο μελέτης και η σύγκρισή τους με τις μέγιστες σταθερές ταχύτητες που προκύπτουν από την απαίτηση του συντελεστή πλευρικής τριβής. Με αυτόν τον τρόπο θα επιχειρηθεί να βρεθεί το περιθώριο ασφάλειας της κίνησης των οχημάτων σε κλάδους ανισόπεδου κόμβου.

Ένας επιμέρους στόχος που προέκυψε από την ανάλυση των δεδομένων ήταν η συσχέτιση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των ταχυτήτων που επικρατούν στους συνδετήριους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου μελέτης με τα αποτελέσματα σχετικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην Ολλανδία (de Jong, 2017) για τον έλεγχο της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων.

4.2 Περιοχή μελέτης

Η περιοχή όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων είναι ο ανισόπεδος κόμβος Σχιστού που συνδέει την Λεωφόρο Αθηνών με την Λεωφόρο Σχιστού-Σκαραμαγκά στην περιοχή του Σκαραμαγκά.

Ο Σκαρामαγκάς είναι μια κωμόπολη στα δυτικά της Αθήνας και στην περιοχή αυτή βρίσκονται τα ομώνυμα ναυπηγεία και πολλές εταιρείες και βιομηχανίες, καθιστώντας την μια εμπορικά ενεργή περιοχή.

Ο ανισόπεδος κόμβος που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις επιλέχθηκε επειδή είναι ένας ανισόπεδος κόμβος μορφής σάλπιγγας η οποία είναι και η πλέον συνηθισμένη μορφή τρισκελούς ανισόπεδου κόμβου στην Ελλάδα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο συγκεκριμένος ανισόπεδος κόμβος είναι τύπου δεξιάς σάλπιγγας, δηλαδή ο αντίθετος τύπος από τον συνηθισμένο και επιλέχθηκε προκειμένου να εξεταστεί η ασφάλεια κίνησης των οχημάτων σε έναν δυσμενή τύπο ανισόπεδου κόμβου.

Στην Εικόνα 4-1 παρουσιάζεται η αποτύπωση της περιοχής αυτής και επισημαίνονται και οι θέσεις όπου πραγματοποιήθηκαν οι σημειακές μετρήσεις ταχυτήτων και κυκλοφοριακών δεδομένων που θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια.



Εικόνα 4-1 Αποτύπωση περιοχής μελέτης και θέσεις μέτρησης

Στις Εικόνες 4-2 έως 4-6 που ακολουθούν φαίνονται οι θέσεις που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις από την πλευρά του οδηγού καθώς διέρχεται από αυτές.



Εικόνα 4-2 Θέση μέτρησης ATC-1 όπως φαίνεται από την θέση του οδηγού



Εικόνα 4-3 Θέση μέτρησης ATC-2a όπως φαίνεται από την θέση του οδηγού



Εικόνα 4-4 Θέση μέτρησης ATC-2b όπως φαίνεται από την θέση του οδηγού



Εικόνα 4-5 Θέση μέτρησης ATC-3 προς Πειραιά όπως φαίνεται από την θέση του οδηγού



Εικόνα 4-6 Θέση μέτρησης ATC-3 προς Κόρινθο όπως φαίνεται από την θέση του οδηγού

Οι ονομασίες των θέσεων καθώς και τα χαρακτηριστικά των καμπυλών σε κάθε θέση μέτρησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-1 που ακολουθεί.

Θέση μέτρησης	Ακτίνα καμπύλης	Κατά μήκος κλίση	Επίκλιση	Κατεύθυνση
ATC-1	110 m	-1.57 %	2.00 %	Πειραιάς
ATC-2a	65 m	2.48 %	2.00 %	Πειραιάς
ATC-2b	30 m	-3.80 %	3.50 %	Κόρινθος
ATC-3	220 m	-4.00 %	-2.00 %	Πειραιάς
ATC-3	220 m	4.00 %	2.00 %	Κόρινθος

Πίνακας 4-1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδού στις θέσεις μέτρησης

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των καμπυλών βρέθηκαν από την οριζοντιογραφία και την μηκοτομή του ανισόπεδου κόμβου μέσω παρεχόμενου σχεδίου AutoCad (.dwg). Το πλάτος της οδού στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης είναι $b=3.75\text{m}$. Επισημαίνεται ότι οι θέσεις των μετρήσεων επιλέχθηκαν ώστε να καλύπτεται ένα εύρος γεωμετρικών χαρακτηριστικών τόσο σε οριζόντιες ακτίνες όσο και σε κατά μήκος κλίσεις.

Σημειώνεται στο σημείο αυτό ότι η οριζοντιογραφική καμπύλη με ακτίνα $R=220\text{m}$ έχει αρνητική επίκλιση στην κατεύθυνση κίνησης προς Πειραιά.

Οι κυκλοφοριακές μετρήσεις και οι μετρήσεις ταχυτήτων πραγματοποιήθηκαν σε διάστημα 5 ημερών. Πιο συγκεκριμένα η έναρξη των μετρήσεων έγινε την Πέμπτη 5 Ιουλίου 2018 στις 12:00 το μεσημέρι και η λήξη τους έγινε την Δευτέρα 9 Ιουλίου 2018 στις 9:00 το πρωί. Στο διάστημα αυτό, συνεχόμενες μετρήσεις σε διάστημα 24 ωρών υπήρχαν για τις ημερομηνίες από την Παρασκευή 6 Ιουλίου 2018 έως την Κυριακή 8 Ιουλίου 2018. Αυτές οι ημερομηνίες χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία αφού έτσι επιτυγχάνεται ολοκληρωμένη αντίληψη της κυκλοφοριακής κατάστασης για όλη την διάρκεια της ημέρας τόσο για εργάσιμη μέρα όσο και για Σαββατοκύριακο.

4.3 Μεθοδολογία μετρήσεων ταχυτήτων

Οι μετρήσεις του κυκλοφοριακού φόρτου και των ταχυτήτων έγιναν με την χρήση αυτόματων μετρητών κυκλοφορίας (Automatic Traffic Counter) οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί σε κάθε μια από τις προαναφερθείσες θέσεις. Πρόκειται για αυτόματους μετρητές κυκλοφορίας της εταιρείας Metro Count (MC5600) που καταγράφουν την κίνηση των οχημάτων μέσω εύκαμπτων ελαστικών σωλήνων και φαίνονται στην Εικόνα 4-7.



Εικόνα 4-7 Εύκαμπτοι ελαστικοί σωλήνες για την μέτρηση της κυκλοφορίας (Φωτογραφία από το διαδίκτυο https://d3ujymhvw3jd.cloudfront.net/wp-content/uploads/2016/05/IMG_8595.jpg)

Αυτού του τύπου οι μετρητές είναι αρκετά διαδεδομένοι για την μέτρηση της κυκλοφορίας. Σε αυτόν τον τύπο μετρητών κυκλοφορίας ένας ή περισσότεροι ελαστικοί εύκαμπτοι σωλήνες τεντώνονται στο δρόμο και συνδέονται στο ένα άκρο με ένα καταγραφικό. Το άλλο άκρο του σωλήνα είναι σφραγισμένο. Όταν ένα ζεύγος τροχών διέρχεται πάνω από τον σωλήνα, η πίεση του αέρα στον συμπιεσμένο σωλήνα ενεργοποιεί τον μετρητή δεδομένων ο οποίος καταγράφει την ώρα του συμβάντος, την ταχύτητα του οχήματος και την κατηγορία του οχήματος. Τουλάχιστον ένας σωλήνας απαιτείται για κάθε ρεύμα κατεύθυνσης. Οι κατασκευαστές αυτών των μετρητών υποστηρίζουν ότι οι μετρητές έχουν ακρίβεια 99% (McGowen & Sanderson, 2011).

Γενικά, οι μετρητές αυτού του τύπου δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για δρόμους λίγων λωρίδων κυκλοφορίας και για αυτό χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα διπλωματική εργασία.

Οι αυτόματοι μετρητές κυκλοφορίας κατέγραψαν τα οχήματα που πέρασαν από κάθε θέση μέτρησης. Τα οχήματα που καταγράφηκαν χωρίστηκαν σε δεκατέσσερις κατηγορίες οχημάτων αυτομάτως από τους μετρητές. Αυτές οι κατηγορίες φαίνονται στον Πίνακα 4-2 που ακολουθεί.

Τύπος οχήματος	Κατηγορία
Δίκυκλα	1
Επιβατηγά Οχήματα	2
Ημιφορτηγά	3
Λεωφορεία	4
Φορτηγά 2 αξόνων	5
Φορτηγά 3 αξόνων	6
Φορτηγά >4 αξόνων	7-13
Μη κατηγοριοποιημένα	14

Πίνακας 4-2 Κατηγορίες οχημάτων

Τα οχήματα που υπάγονται στην κατηγορία 14 θεωρούνται ως βαρέα οχήματα. Η κατανομή των φορτηγών με περισσότερους από τέσσερις άξονες στις κατηγορίες 7-13 γίνεται αυτόματα από τους μετρητές κυκλοφορίας.

Για κάθε όχημα που διέρχεται από μια θέση ελέγχου, ο αντίστοιχος αυτόματος μετρητής κυκλοφορίας καταγράφει την ημερομηνία και την ώρα της διέλευσης καθώς και την ταχύτητα και την κατηγορία του οχήματος. Η ταχύτητα του οχήματος καταγράφεται σε χιλιόμετρα ανά ώρα και η κατηγοριοποίηση του οχήματος γίνεται

αυτόματα σύμφωνα με τις παραπάνω κατηγορίες. Τα στοιχεία των μετρήσεων αποθηκεύονται σε αρχεία τιμών διαχωρισμένων μεταβλητών (.csv) και η επεξεργασία αυτών μπορεί να γίνει μέσω ενός προγράμματος λογιστικών φύλλων όπως για παράδειγμα το Microsoft Office Excel.

4.4 Επεξεργασία μετρήσεων ταχυτήτων

Τα δεδομένα ταχυτήτων και κυκλοφοριακού φόρτου που καταγράφηκαν σύμφωνα με την μεθοδολογία που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 4.3 επεξεργάστηκαν μέσω του λογισμικού Microsoft Excel και από αυτή την επεξεργασία προέκυψαν τα κατάλληλα διαγράμματα. Για κάθε θέση μέτρησης, οι αυτόματοι μετρητές κυκλοφορίας παρείχαν τα δεδομένα σε μορφή αρχείου τιμών διαχωρισμένων με κόμμα. Τα αρχεία αυτά μετατράπηκαν σε λογιστικό φύλλο εργασίας και η κάθε κατηγορία οχήματος (1,2,3...) μετατράπηκε στην σωστή ονομασία (Δίκυκλα, Επιβατηγά οχήματα, Ημιφορτηγά...) για την εύκολη επεξεργασία των δεδομένων. Η μορφή αυτού του φύλλου εργασίας που προέκυψε φαίνεται ενδεικτικά στην Εικόνα 4-8.

Ημερομηνία	Παράδειγμα	Ταχύτητα	Κατηγορία Οχήματος
6-7-18	0:00:11	68.03	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:02:23	28.87	Μη κατηγοριοποιούμενα
6-7-18	0:02:55	65.82	Δίκυκλα
6-7-18	0:03:13	49.06	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:03:28	60.6	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:03:30	67.69	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:04:05	39.47	Δίκυκλα
6-7-18	0:04:38	67.49	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:04:51	74.28	Δίκυκλα
6-7-18	0:05:06	64.82	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:05:16	66.1	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:05:38	50.12	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:05:23	56.95	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:05:24	57.14	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:08:08	33.78	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:09:41	64.4	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:09:47	66.35	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:11:11	61.54	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:12:09	43.87	Δίκυκλα
6-7-18	0:12:38	67.04	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:13:53	53.08	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:15:09	31.33	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:15:25	69.59	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:15:37	61.58	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:16:45	67.42	Επιβατηγά Οχήματα
6-7-18	0:18:58	12.84	Επιβατηγά Οχήματα

Εικόνα 4-8 Απόσπασμα φύλλου εργασίας δεδομένων ταχυτήτων και κυκλοφοριακού φόρτου

Τα αντίστοιχα φύλλα εργασίας με την Εικόνα 4-8 δημιουργήθηκαν για κάθε θέση μέτρησης. Με αυτόν τον τρόπο υπήρχε η δυνατότητα να δημιουργηθούν τα απαραίτητα διαγράμματα μελέτης των κυκλοφοριακών στοιχείων και ταχυτήτων.

Στην συνέχεια διαχωρίστηκαν τα δεδομένα ώστε να εμφανίζονται μόνο τα επιβατηγά οχήματα που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής όπως ορίστηκε στο Κεφάλαιο 3.6. Ο τρόπος που έγινε αυτό ήταν δημιουργώντας μια επιπλέον στήλη που δίνει την χρονική διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών οχημάτων για όλες τις κατηγορίες οχήματος και στην συνέχεια εφαρμόζοντας φίλτρα ώστε να εμφανίζονται μόνο τα επιβατηγά οχήματα και μόνο όσα έχουν χρονική διαφορά μεγαλύτερη ή ίση από 6 δευτερόλεπτα από ένα προπορευόμενο όχημα.

Τα στοιχεία που προέκυψαν από τον διαχωρισμό των επιβατηγών οχημάτων που κινούνται σε συνθήκες ελεύθερης ροής χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των λειτουργικών ταχυτήτων V_{85} και την σύγκρισή τους με την διεθνή βιβλιογραφία.

4.5 Συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων

Επειδή οι ταχύτητες επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες κρίθηκε απαραίτητο να καταγραφούν για την περίοδο μελέτης οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης. Για το τριήμερο που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα για την περιοχή όπως δίνονται στο Παράρτημα 4. Εξαιτίας του γεγονότος ότι κατά την διάρκεια των μετρήσεων δεν είχαν καταγραφεί σε πραγματικό χρόνο τα μετεωρολογικά δεδομένα, χρησιμοποιήθηκε η ιστοσελίδα www.wunderground.com, η οποία δίνει την δυνατότητα αναζήτησης και εύρεσης μετεωρολογικών δεδομένων για οποιαδήποτε περιοχή του κόσμου σε προηγούμενο χρόνο. Χρησιμοποιήθηκε ο μετεωρολογικός σταθμός της Ελευσίνας ο οποίος έχει συντεταγμένες 38.07 °N, 23.55 °E, βρίσκεται σε υψόμετρο 27 μέτρων και απέχει λιγότερο από 8 χιλιόμετρα από τον ανισόπεδο κόμβο μελέτης. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που συλλέχθηκαν αφορούσαν τις ημερομηνίες από 6/7/2018-8/7/2019 και 21/10/2018 και παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα 4. Σε γενικές γραμμές ο καιρός ήταν ήπιος με μόνη εξαίρεση την Κυριακή 8/7 όπου καταγράφηκε έντονη βροχόπτωση τις απογευματινές ώρες. Τα δεδομένα αυτά συλλέχθηκαν με σκοπό την συσχέτισή τους με τα χαρακτηριστικά των ταχυτήτων και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του ανισόπεδου κόμβου με στόχο την συσχέτιση των αποτελεσμάτων με σχετικές έρευνες.

4.6 Μεθοδολογία μετρήσεων πλευρικών επιταχύνσεων

Εκτός από τις σημειακές μετρήσεις ταχυτήτων που πραγματοποιήθηκαν στο ανισόπεδο κόμβο το τριήμερο 6/7-8/7, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πλευρικών επιταχύνσεων για διάφορες διελεύσεις με όχημα κατάλληλα εξοπλισμένο με τα απαραίτητα όργανα μέτρησης. Ο λόγος που έγιναν αυτές οι μετρήσεις είναι για να βρεθεί η συσχέτιση των ταχυτήτων και των πλευρικών επιταχύνσεων που δέχεται ένα όχημα ώστε να εξεταστεί το περιθώριο ασφάλειας των οχημάτων που κινούνται στον ανισόπεδο κόμβο. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για αυτές τις μετρήσεις.

Για την μέτρηση των πλευρικών επιταχύνσεων που ασκούνται σε ένα όχημα που ταξιδεύει στην περιοχή μελέτης έγιναν επιτόπου μετρήσεις με ένα συμβατικό όχημα. Το όχημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα Toyota Yaris Hybrid του 2014 το οποίο αποτελεί ένα χαρακτηριστικό δείγμα σύγχρονου οχήματος και είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα οχήματα στην Ελλάδα. Το όχημα ήταν εξοπλισμένο με καλά συντηρημένα ελαστικά και την τυπική ανάρτηση του κατασκευαστή.

Ο απαραίτητος εξοπλισμός για τις μετρήσεις αποτελούταν από επιταχυνσιόμετρο για την καταγραφή των επιταχύνσεων καθώς και δέκτη GPS για την καταγραφή της θέσης του οχήματος και την ταχύτητά του. Η ταχύτητα που καταγράφηκε από το GPS ήταν σε μίλια ανά ώρα οπότε ήταν απαραίτητη η μετατροπή σε χιλιόμετρα ανά ώρα.

Στην εσωτερική πλευρά του ανεμοθώρακα τοποθετήθηκε το επιταχυνσιόμετρο τύπου Vericom VC4000DAQ που φαίνεται στην Εικόνα 4-9. Πρόκειται για επιταχυνσιόμετρο με δυνατότητα καταγραφής επιτάχυνσης σε τρεις άξονες (X, Y, Z) ανά 0.01 δευτερόλεπτα. Η επιτάχυνση καταγράφεται στο όργανο ως ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Σε συνδυασμό με τον δέκτη GPS έγινε επιπλέον η καταγραφή των ταχυτήτων ανά 0.1 δευτερόλεπτα. Τα στοιχεία αυτά αποθηκεύονται αρχικά στην εσωτερική μνήμη του οργάνου και έπειτα μέσω σύνδεσης Bluetooth και του λογισμικού του κατασκευαστή, εξάγονται τα δεδομένα των μετρήσεων σε ένα αρχείο τιμών διαχωρισμένων με κόμμα (.csv). Η επεξεργασία αυτών των δεδομένων μπορεί στην συνέχεια να γίνει μέσω ενός προγράμματος λογιστικών φύλλων όπως για παράδειγμα το Microsoft Office Excel.



Εικόνα 4-9 Επιταχυνσιόμετρο Vericom VC4000DAQ (Εικόνα από τα διαδίκτυο:
https://cdn.masstransitmag.com/files/base/cygnus/mass/image/2015/05/960w/10x7_cropped.55689dab9b188.jpg)

Στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης πραγματοποιήθηκαν διελεύσεις και στους δύο συνδετήριους κλάδους του για να καλυφθεί το σύνολο του κόμβου και να εξεταστεί ένα μεγάλο εύρος οριζοντιογραφικών ακτινών. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν δέκα διελεύσεις την Κυριακή 21 Οκτωβρίου 2018. Η ημέρα αυτή ήταν ηλιόλουστη και το οδόστρωμα ήταν καθαρό και στεγνό.

Πραγματοποιήθηκαν πέντε διελεύσεις στον συνδετήριο κλάδο προς Πειραιά (Aller) και πέντε διελεύσεις στον συνδετήριο κλάδο προς Κόρινθο (Retour), με την κάθε διέλευση να διαφέρει στην ταχύτητα. Έτσι για τις διελεύσεις Aller πραγματοποιήθηκαν δύο διελεύσεις με ταχύτητα που προσεγγίζει την λειτουργική ταχύτητα V_{85} , μια διέλευση με την ταχύτητα που θα είχε ένας μέσος οδηγός, μια διέλευση με ταχύτητα που αντιστοιχεί σε ήπια οδηγική συμπεριφορά και τέλος μια διέλευση που αντιστοιχεί σε πολύ χαλαρή οδηγική συμπεριφορά. Αντίστοιχα για τις διελεύσεις Retour πραγματοποιήθηκε μια διέλευση με ταχύτητα που προσεγγίζει την λειτουργική ταχύτητα V_{85} , δύο διελεύσεις με την ταχύτητα που θα είχε ένας μέσος οδηγός, μια διέλευση με ταχύτητα που αντιστοιχεί σε ήπια οδηγική συμπεριφορά και τέλος μια διέλευση που αντιστοιχεί σε πολύ χαλαρή οδηγική συμπεριφορά.

Η αλληλουχία οριζοντιογραφικών ακτινών στους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου ήταν για την κατεύθυνση προς Πειραιά (Aller) 500m→110m→65m→220m και για την κατεύθυνση προς Κόρινθο (Retour) 220m→56m→30m.

Σε κάθε διέλευση έγινε προσπάθεια να διατηρηθεί σταθερή η ταχύτητα σε όλο το μήκος της καμπύλης και η απόσταση από τις οριογραμμές ώστε η τροχιά που ακολούθησε το όχημα να ταιριάζει όσο το δυνατόν περισσότερο με την κατασκευασμένη ακτίνα. Αυτό

έγινε διότι οι παραδοχές των προτύπων υπολογισμού μέγιστης ταχύτητας για την απαίτηση συγκράτησης του οχήματος σε καμπύλη τροχιά είναι η σταθερή ταχύτητα και η κυκλική πορεία ενός οχήματος καθ' όλη την διάρκεια της καμπύλης.

4.7 Επεξεργασία μετρήσεων πλευρικών επιταχύνσεων

Συνολικά έγιναν 5 διελεύσεις για κάθε κατεύθυνση σε όλο το μήκος των κλάδων των ανισόπεδων κόμβων οι οποίες είχαν ως αποτέλεσμα την λεπτομερή καταγραφή των πλευρικών επιταχύνσεων που δέχεται ένα τυπικό επιβατηγό όχημα σε ένα εύρος καμπυλών που υπάρχουν σε έναν ανισόπεδο κόμβο μορφής σάλπιγγας. Τα δεδομένα που καταγράφηκαν από το επιταχυνσιόμετρο και τον δέκτη GPS περιέχουν πληροφορίες σχετικά με:

- Την επιτάχυνση στον άξονα X ως ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας g
- Την επιτάχυνση στον άξονα Y ως ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας g
- Την επιτάχυνση στον άξονα Z ως ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας g
- Την ταχύτητα σε μίλια ανά ώρα
- Την χρονική στιγμή της καταγραφής

Αρχικά μετατράπηκαν τα μίλια ανά ώρα σε χιλιόμετρα ανά ώρα. Στην συνέχεια διορθώθηκε η επιτάχυνση του άξονα Y που καταγράφηκε λαμβάνοντας υπόψη την επίκλιση. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την αφαίρεση της επίκλισης της οδού από την καταγεγραμμένη επιτάχυνση στον άξονα Y ώστε να βρεθεί η πλευρική επιτάχυνση που δέχεται το όχημα στον εγκάρσιο άξονα του οχήματος. Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε είναι:

$$G_{y,corrected} = G_{y,measured} - q \quad [4-1]$$

Όπου:

$G_{y,corrected}$	διορθωμένη πλευρική επιτάχυνση (g)
$G_{y,measured}$	καταγεγραμμένη πλευρική επιτάχυνση (g)
q	επίκλιση της οδού (%)α

Τέλος χρησιμοποιώντας την πληροφορία του χρόνου, παρήχθησαν τα δεδομένα απόστασης που έχει διανύσει το όχημα.

Οι χιλιομετρικές θέσεις κάθε καμπύλης για τις διελεύσεις που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-3 που ακολουθεί.

Κατεύθυνση προς Πειραιά (Aller)		
Χ.Θ. Αρχής	Χ.Θ. Τέλους	Ακτίνα R (m)
0 + 375	0 + 445	500
0 + 445	0 + 495	110
0 + 525	0 + 655	65
0 + 680	0 + 795	220
Κατεύθυνση προς Κόρινθο (Retour)		
0 + 140	0 + 255	220
0 + 255	0 + 355	56
0 + 355	0 + 435	30

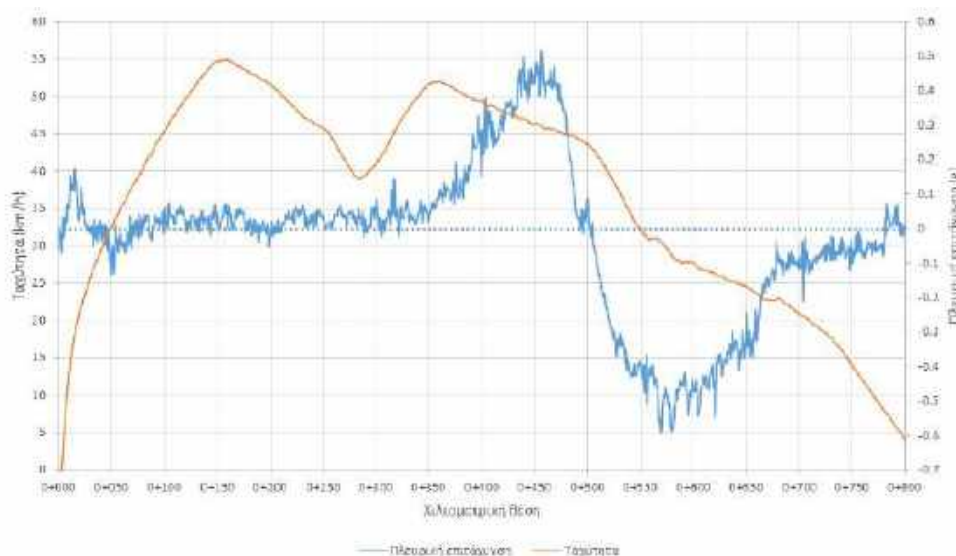
Πίνακας 4-3 Αντιστοιχία Χ.Θ. με τις ακτίνες των οριζόντιων καμπυλών

Γνωρίζοντας σε ποιες χιλιομετρικές θέσεις βρισκόταν η αρχή και το τέλος της κάθε καμπύλης και σε συνδυασμό με τα παραπάνω δεδομένα δημιουργήθηκαν τα παρακάτω:

- Συγκεντρωτικό διάγραμμα ταχύτητας, πλευρικής επιτάχυνσης σε σχέση με την χιλιομετρική θέση της μέτρησης για κάθε διεύευση
- Μεμονωμένο διάγραμμα πλευρικής επιτάχυνσης και ταχύτητας σε σχέση με την χιλιομετρική θέση για κάθε καμπύλη, για κάθε διεύευση
- Μεμονωμένο διάγραμμα πλευρικής επιτάχυνσης σε σχέση με την ταχύτητα για κάθε τιμή ακτίνας καμπύλης

Παρατίθεται ένα απόσπασμα από τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν. Σε αυτό το διάγραμμα που φαίνεται στο Σχήμα 4-1 παρουσιάζονται:

- Στον οριζόντιο άξονα η χιλιομετρική θέση που έγινε η μέτρηση
- Στον κατακόρυφο άξονα αριστερά η ταχύτητα του οχήματος
- Στον κατακόρυφο άξονα δεξιά η πλευρική επιτάχυνση του οχήματος
- Με πορτοκαλί γραμμή η ταχύτητα όπως καταγράφηκε από το GPS
- Με μπλε γραμμή η πλευρική επιτάχυνση του οχήματος
- Με διακεκομμένη μπλε γραμμή η πλευρική επιτάχυνση 0 g



Σχήμα 4-1 Απόσπασμα συγκεντρωτικού διαγράμματος πλευρικών επιταχύνσεων και ταχύτητας για διέλευση με το όχημα μέτρησης

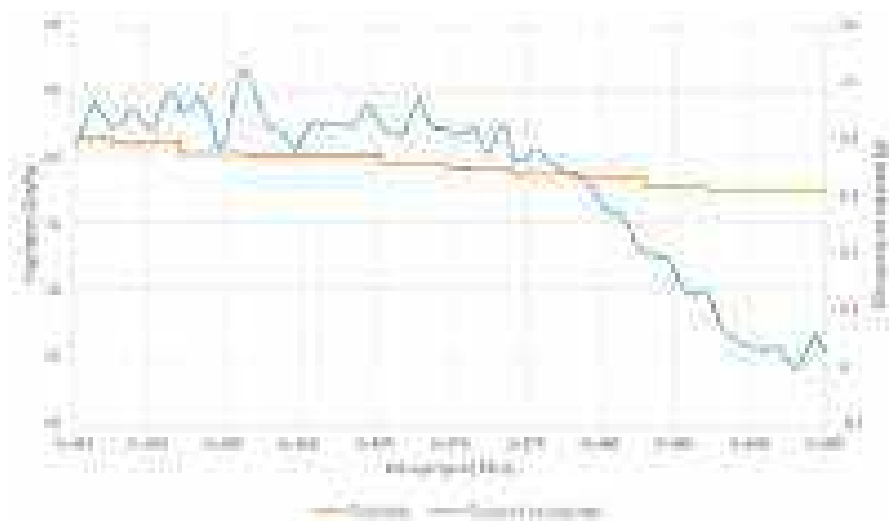
Από τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν παρατηρήθηκε ότι στην ευθυγραμμία οι πλευρικές επιταχύνσεις προσέγγιζαν τη τιμή 0 g. Το διάγραμμα των επιταχύνσεων αρχίζει να μεταβάλλεται όταν το όχημα φτάνει στην καμπύλη. Η επιτάχυνση αυτή συνεχίζει να μεταβάλλεται και φτάνει στο μέγιστο σημείο όταν πλέον το όχημα έχει φτάσει στην κορυφή της καμπύλης. Για ένα μικρό διάστημα η πλευρική επιτάχυνση διατηρείται σταθερή σε εκείνο το σημείο και έπειτα μειώνεται και πάλι μέχρι ότου ο οδηγός εξέλθει από την καμπύλη και επαναφέρει το όχημα στην ευθυγραμμία.

Από τις παραπάνω διελεύσεις προέκυψαν 5 ζεύγη ταχύτητας-πλευρικής επιτάχυνσης για κάθε καμπύλη και κατεύθυνση, δηλαδή σύνολο 35 ζεύγη. Αυτές οι τιμές χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να κατασκευαστούν τα διαγράμματα που συνδέουν την ταχύτητα που κινείται ένα όχημα σε μια καμπύλη και την πλευρική επιτάχυνση που δέχεται για αυτή την ταχύτητα.

Είναι εμφανές ότι το συγκεντρωτικό διάγραμμα δεν διευκολύνει την επεξεργασία προκειμένου να υπολογιστούν οι ταχύτητες και οι πλευρικές επιταχύνσεις. Έτσι, για να προκύψει μια τιμή πλευρικής επιτάχυνσης και ταχύτητας για κάθε καμπύλη δημιουργήθηκαν ξεχωριστά διαγράμματα ταχύτητας-πλευρικής επιτάχυνσης για κάθε καμπύλη.

Με βάση τις χιλιομετρικές θέσεις του Πίνακα 4-3 κατασκευάστηκαν τα μεμονωμένα διαγράμματα για κάθε καμπύλη και αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά για κάθε καμπύλη

του ανισόπεδου κόμβου στο Παράρτημα 5. Ένα τυπικό διάγραμμα ταχύτητας πλευρικών επιταχύνσεων παρουσιάζεται στο Σχήμα 4-2 για την καμπύλη R=110m.



Σχήμα 4-2 Διάγραμμα πλευρικών επιταχύνσεων και ταχύτητας για διέλευση με ταχύτητα V_{85} στην ακτίνα $R=110m$

Από το Σχήμα 4-2 φαίνεται ότι δεν υπάρχει σταθερή τιμή ούτε για τις πλευρικές επιταχύνσεις ούτε για την ταχύτητα του οχήματος. Προκειμένου να υπολογιστεί ένα ζεύγος ταχύτητας και πλευρικής επιτάχυνσης για κάθε καμπύλη θεωρήθηκε σταθερή η ταχύτητα όταν το εύρος της μετρημένης ταχύτητας ήταν μέχρι 5 km/h. Βρίσκοντας τις χιλιομετρικές θέσεις για τις οποίες η ταχύτητα θεωρείται σταθερή, υπολογίστηκε η μέση τιμή της πλευρικής επιτάχυνσης. Σε περίπτωση που η πλευρική επιτάχυνση που μετρήθηκε παρουσιάζει απότομη μεταβολή ακόμα και με σταθερή ταχύτητα, τότε θεωρούμε την απόσταση που επικρατούν σταθερές συνθήκες ως την απόσταση που και τα δύο μεγέθη, ταχύτητα και επιτάχυνση, είναι λογικά σταθερά.

Στο παραπάνω Σχήμα 4-2 παρόλο που η ταχύτητα είναι σταθερή για όλο το μήκος της καμπύλης, παρατηρείται μια απότομη πτώση της πλευρικής επιτάχυνσης μετά την Χ.Θ. 0+475 ενώ μέχρι εκείνο το σημείο ήταν σταθερή. Ως σταθερή πλευρική επιτάχυνση θεωρήθηκε η επιτάχυνση που έχει εύρος τιμών 0.1g. Επειδή στο συγκεκριμένο διάγραμμα η ταχύτητα είναι αρκετά σταθερή σε όλη την διάρκεια της καμπύλης και η επιτάχυνση σταθερή μέχρι την χιλιομετρική θέση 0+475, λήφθηκαν υπόψη για τον υπολογισμό τα δεδομένα από Χ.Θ. 0+445 έως Χ.Θ. 0+475.

Με παρόμοιο τρόπο προέκυψαν τα ζεύγη ταχύτητας και πλευρικής επιτάχυνσης για κάθε καμπύλη.

4.8 Συλλογή δεδομένων ατυχημάτων

Προκειμένου να εξετασθεί αναλυτικά η ασφάλεια της κίνησης των οχημάτων στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης, έγινε προσπάθεια να συλλεχθούν τα δεδομένα ατυχημάτων που έχουν λάβει χώρα στον ανισόπεδο κόμβο τα τελευταία χρόνια και να συσχετισθούν με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις προαναφερθείσες αναλύσεις. Για τον λόγο αυτό υπήρξε επικοινωνία με την Διεύθυνση Τροχαίας Αττικής και με την Ένωση Ασφαλιστικών Εταιριών Ελλάδας.

Σύμφωνα με την Διεύθυνση Τροχαίας Αττικής, στον ανισόπεδο κόμβο Σχιστού δεν είχαν σημειωθεί ατυχήματα από τα οποία να επήλθε θάνατος ή τραυματισμός. Επειδή στην εν λόγω Υπηρεσία δεν καταγράφονται τα ατυχήματα που είχαν σαν αποτέλεσμα μόνο υλικές ζημιές, έγινε προσπάθεια εύρεσης του αριθμού ατυχημάτων μέσω της Ένωσης Ασφαλιστικών Εταιριών Ελλάδας.

Μετά από επικοινωνία με την Ένωση Ασφαλιστικών Εταιριών Ελλάδας, υπήρξε η ενημέρωση ότι δεν τηρούνται τέτοιου είδους αρχεία σχετικά με ατυχήματα.

Συνεπώς δεν κατέστη δυνατή η εύρεση του αριθμού ατυχημάτων στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης και ως εκ τούτου δεν υπήρξε η δυνατότητα συσχέτισης των αποτελεσμάτων των ταχυτήτων ως προς τα ατυχήματα που έχουν συμβεί.

Ωστόσο, σημειώνεται ότι στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης έχουν σημειωθεί ατυχήματα με τουλάχιστον υλικές ζημιές όπως μαρτυρείται από τα παραμορφωμένα προστατευτικά κιγκλιδώματα και παρουσιάζονται στις Εικόνες 4-10 έως 4-13.



Εικόνα 4-10 Παραμορφωμένο προστατευτικό κιγκλίδωμα στην ακτίνα R=65m



Εικόνα 4-11 Παραμορφωμένο προστατευτικό κιγκλίδωμα στην είσοδο του βρόχου με ακτίνα $R=30m$



Εικόνα 4-12 Παραμορφωμένο προστατευτικό κιγκλίδωμα στην αρχή της ακτίνας $R=110m$



Εικόνα 4-13 Παραμορφωμένο προστατευτικό κιγκλίδωμα στο τέλος της ακτίνας $R=110m$

Τα σημεία σύγκρουσης στα προστατευτικά κιγκλιδώματα βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά της κάθε καμπύλης. Αυτό υποδεικνύει πιθανή ολίσθηση των οχημάτων κατά την διάρκεια της κίνησης στις καμπύλες αυτές.

5 Επεξεργασία δεδομένων

Έχοντας αναλύσει την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την συλλογή και επεξεργασία των απαραίτητων δεδομένων, στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η επεξεργασία τους και τα αποτελέσματα που προέκυψαν.

5.1 Κυκλοφοριακή κατάσταση του ανισόπεδου κόμβου

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4.3 και φαίνονται στην Εικόνα 4-8 χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση των κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών του ανισόπεδου κόμβου. Η θέση από την οποία υπολογίστηκε ο κυκλοφοριακός φόρτος των επιβατηγών οχημάτων είναι η πρώτη που συναντάει το όχημα για κάθε κατεύθυνση, δηλαδή η ATC-1 για οχήματα που κινούνται προς Πειραιά και η ATC-3 για οχήματα που κινούνται προς Κόρινθο. Οι πίνακες που δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση του ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου και της σύνθεσης της κυκλοφορίας παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα 1 και Παράρτημα 3 αντίστοιχα.

5.1.1 Ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος προς Πειραιά

Από τα δεδομένα που καταγράφηκαν από κάθε αυτόματο μετρητή στις θέσεις ελέγχου που αντιστοιχούν σε κίνηση οχημάτων με κατεύθυνση τον Πειραιά, προέκυψαν οι ημερήσιοι κυκλοφοριακοί φόρτοι για τις ημερομηνίες μελέτης για τα επιβατηγά οχήματα. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με την δημιουργία πινάκων «Pivot Table» όπου ομαδοποιήθηκαν τα δεδομένα της κάθε μέρας ανά μια ώρα και προέκυψε ο αριθμός των διερχόμενων επιβατηγών οχημάτων ανά ώρα, δηλαδή ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος [Παράρτημα 1]. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης για την κατεύθυνση προς Πειραιά παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-1 παρακάτω.

Ωρα	Παρασκευή 6/7/2018	Σάββατο 7/7/2018	Κυριακή 8/7/2018
00:00-01:00	80	91	127
01:00-02:00	55	70	90
02:00-03:00	34	43	76
03:00-04:00	17	37	54
04:00-05:00	29	33	42
05:00-06:00	119	76	87
06:00-07:00	527	151	139
07:00-08:00	519	147	207
08:00-09:00	360	196	281
09:00-10:00	250	233	343
10:00-11:00	229	195	325
11:00-12:00	238	177	293
12:00-13:00	180	194	241
13:00-14:00	200	198	197
14:00-15:00	233	191	140
15:00-16:00	170	160	114
16:00-17:00	148	161	98
17:00-18:00	175	158	97
18:00-19:00	148	168	144
19:00-20:00	192	173	124
20:00-21:00	227	204	121
21:00-22:00	213	168	127
22:00-23:00	167	165	122
23:00-24:00	122	122	99
Σύνολο	4632	3511	3688

Πίνακας 5-1 Ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος προς Πειραιά

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι ο Μέσος Ημερήσιος Κυκλοφοριακός Φόρτος για την περίοδο μελέτης ισούται με 3944 οχήματα.

Παρατηρείται ότι ο μέγιστος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος διαφέρει για κάθε ημέρα τόσο στον αριθμό του όσο και στο χρονικό διάστημα εμφάνισής του. Έτσι για την Παρασκευή ο μέγιστος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος των επιβατηγών οχημάτων είναι 527 οχήματα/ώρα και εμφανίζεται το διάστημα 6:00-7:00 το πρωί, ώρες κατά τις οποίες ένα μεγάλο ποσοστό των οδηγών μετακινούνται με σκοπό να φτάσουν στον χώρο εργασίας τους. Για το Σάββατο ο μέγιστος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος που προέκυψε είναι 233 οχήματα/ώρα και εμφανίζεται κατά το διάστημα 9:00-10:00 το πρωί. Για την Κυριακή ο μέγιστος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος που προέκυψε είναι 343 οχήματα/ώρα και εμφανίζεται για το διάστημα 9:00-10:00 το πρωί. Η διακύμανση του αριθμού και του χρόνου εμφάνισης του μέγιστου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου απεικονίζεται γραφικά στο Σχήμα 5-1 που ακολουθεί.



Σχήμα 5-1 Διακύμανση ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου προς Πειραιά

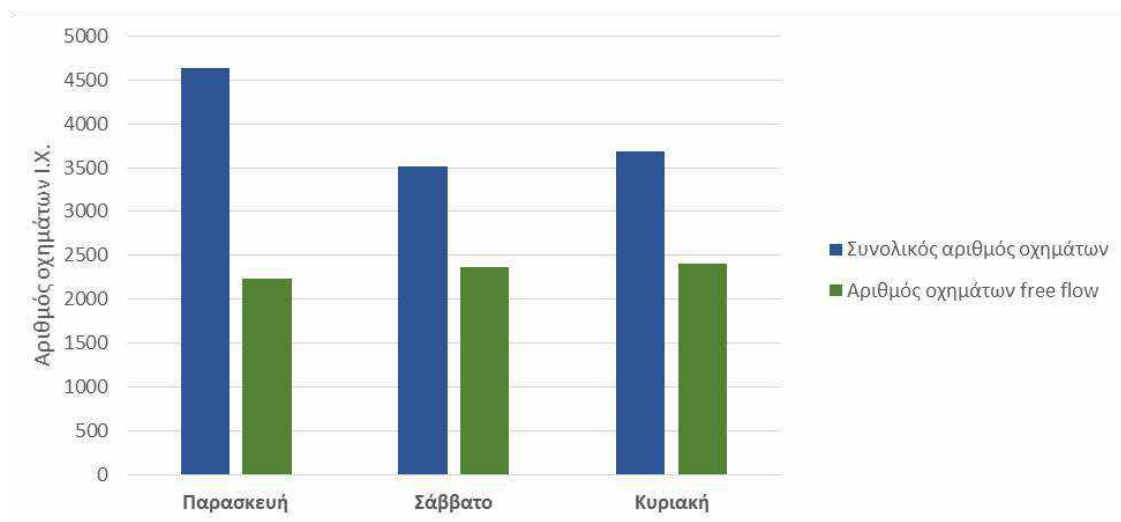
Μετά από τον διαχωρισμό των δεδομένων για την εύρεση της κυκλοφορίας υπό ελεύθερη και ανεμπόδιστη ροή (free flow), δηλαδή τον αριθμό των οχημάτων που κινούνται με χρονική απόσταση από το προπορευόμενο όχημα τουλάχιστον 6 δευτερόλεπτα, ο ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος των ελευθέρως κινούμενων οχημάτων ήταν: 2236 οχήματα για την Παρασκευή 6 Ιουλίου 2018, 2368 οχήματα για το Σάββατο 7 Ιουλίου 2018 και 2407 οχήματα για την Κυριακή 8 Ιουλίου 2018.

Παρατηρείται ότι ο συνολικός ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος των επιβατηγών οχημάτων παρουσιάζει μια έντονη διακύμανση μεταξύ της Παρασκευής και του Σαββατοκύριακου, ενώ αντίθετα ο ημερήσιος φόρτος που προκύπτει από συνθήκες ελεύθερης και ανεμπόδιστης ροής παραμένει στα ίδια επίπεδα ανεξαρτήτως της ημέρας μέτρησης όπως γίνεται κατανοητό από τον Πίνακα 5-2.

	Αριθμός επιβατηγών οχημάτων	
	Συνολικά	Συνθήκες ελεύθερης ροής (free flow)
Παρασκευή 6/7/2018	4632	2236
Σάββατο 7/7/2018	3511	2368
Κυριακή 8/7/2018	3688	2407

Πίνακας 5-2 Σύγκριση ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου με τον κυκλοφοριακό φόρτο για οχήματα που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής προς Πειραιά

Αν θεωρηθεί η Παρασκευή ως αντιπροσωπευτική ημέρα για όλες τις καθημερινές, προκύπτει ότι από τον συνολικό κυκλοφοριακό φόρτο των επιβατηγών οχημάτων λιγότερα από τα μισά κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής. Ειδικά για την περίπτωση που εξετάζεται, το 48.3% του συνολικού αριθμού των επιβατηγών οχημάτων κινείται με συνθήκες ελεύθερης ροής, δηλαδή με συνθήκες που επιτρέπουν την κίνηση με ταχύτητα V_{85} . Στον αντίποδα, το Σάββατο και την Κυριακή με συνθήκες ελεύθερης ροής κινούνται το 67.5% και το 65.3% των επιβατηγών οχημάτων αντίστοιχα. Στο Σχήμα 5-2 παρουσιάζεται γραφικά η μεταβολή του ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου για το σύνολο των οχημάτων και των οχημάτων που κινούνται σε συνθήκες ελεύθερης ροής.



Σχήμα 5-2 Σύγκριση ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου με τον κυκλοφοριακό φόρτο για τα οχήματα που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής προς Πειραιά

Από το Σχήμα 5-2 φαίνεται ότι ενώ ο ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος μεταβάλλεται για κάθε ημέρα υπάρχει ένα άνω όριο στον αριθμό των οχημάτων που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής ο οποίος δεν φαίνεται να εξαρτάται από τον αριθμό των οχημάτων που κινούνται στην οδό.

5.1.2 Ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος προς Κόρινθο

Από τα δεδομένα που καταγράφηκαν από κάθε αυτόματο μετρητή στις θέσεις ελέγχου που αντιστοιχούν σε κίνηση οχημάτων με κατεύθυνση την Κόρινθο, προέκυψαν οι ημερήσιοι κυκλοφοριακοί φόρτοι για τις ημερομηνίες μελέτης για τα επιβατηγά

οχήματα. Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε με την δημιουργία πινάκων «Pivot Table» όπου ομαδοποιήθηκαν τα δεδομένα της κάθε μέρας ανά μια ώρα και προέκυψε ο αριθμός των διερχόμενων επιβατηγών οχημάτων ανά ώρα, δηλαδή ο ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος [Παράρτημα 1]. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-3 παρακάτω.

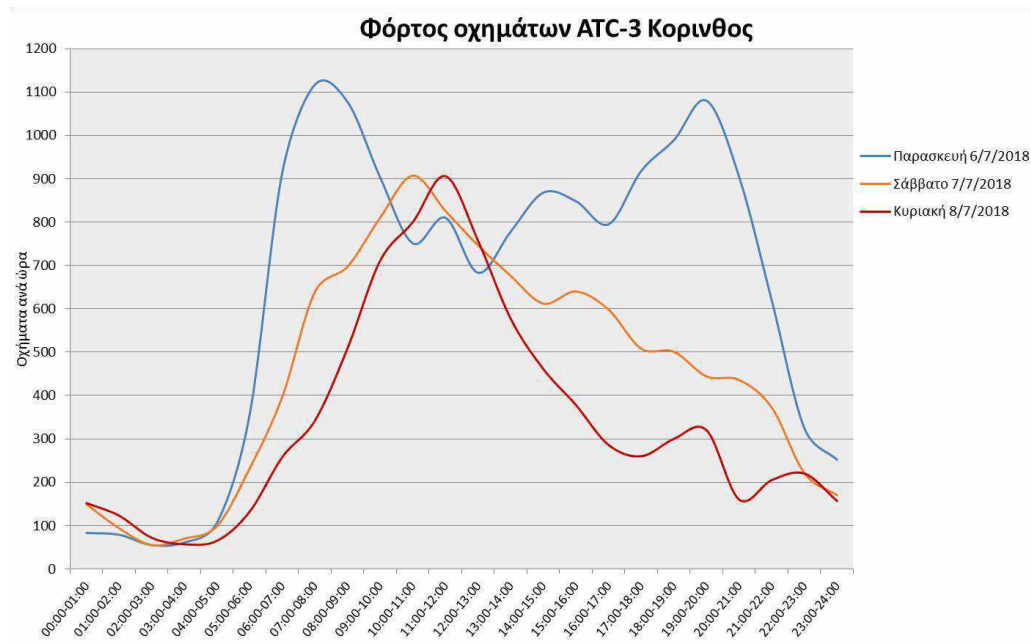
Ωρα	Παρασκευή 6/7/2018	Σάββατο 7/7/2018	Κυριακή 8/7/2018
00:00-01:00	83	149	152
01:00-02:00	79	94	123
02:00-03:00	55	55	72
03:00-04:00	61	70	57
04:00-05:00	107	99	65
05:00-06:00	356	232	132
06:00-07:00	914	397	258
07:00-08:00	1117	639	342
08:00-09:00	1077	697	509
09:00-10:00	903	810	711
10:00-11:00	751	907	800
11:00-12:00	810	826	906
12:00-13:00	683	746	757
13:00-14:00	778	676	577
14:00-15:00	868	612	461
15:00-16:00	848	640	378
16:00-17:00	795	598	286
17:00-18:00	918	508	260
18:00-19:00	989	501	300
19:00-20:00	1080	444	320
20:00-21:00	904	436	160
21:00-22:00	619	372	205
22:00-23:00	324	221	220
23:00-24:00	252	170	157
Σύνολο	15371	10899	8208

Πίνακας 5-3 Ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος προς Κόρινθο

Από τον παραπάνω Πίνακα 5-3 προκύπτει ότι ο Μέσος Ημερήσιος Κυκλοφοριακός Φόρτος για την περίοδο μελέτης ισούται με 11493 οχήματα.

Παρατηρείται και σε αυτή την περίπτωση ότι ο μέγιστος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος διαφέρει για κάθε ημέρα τόσο στον αριθμό του όσο και στο χρονικό διάστημα εμφάνισής του. Ωστόσο στην κατεύθυνση αυτή οι μέγιστοι ωριαίοι κυκλοφοριακοί φόρτοι για το σαββατοκύριακο δεν παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση. Από τον πίνακα 5-3 γίνεται κατανοητό ότι για την Παρασκευή ο μέγιστος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος των επιβατηγών οχημάτων είναι 1117 οχήματα/ώρα και εμφανίζεται το διάστημα 7:00-8:00 το πρωί, ώρες κατά τις οποίες ένα μεγάλο ποσοστό των οδηγών μετακινούνται με σκοπό να φτάσουν στον χώρο εργασίας τους. Για το

Σάββατο ο μέγιστος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος που προκύπτει είναι 907 οχήματα/ώρα και εμφανίζεται κατά το διάστημα 10:00-11:00 το πρωί. Για την Κυριακή ο μέγιστος ωριαίος κυκλοφοριακός φόρτος που προέκυψε είναι 906 οχήματα/ώρα και εμφανίζεται για το διάστημα 11:00-12:00 το πρωί. Η διακύμανση του αριθμού και του χρόνου εμφάνισης του μέγιστου ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου απεικονίζεται γραφικά στο Σχήμα 5-3 που ακολουθεί.



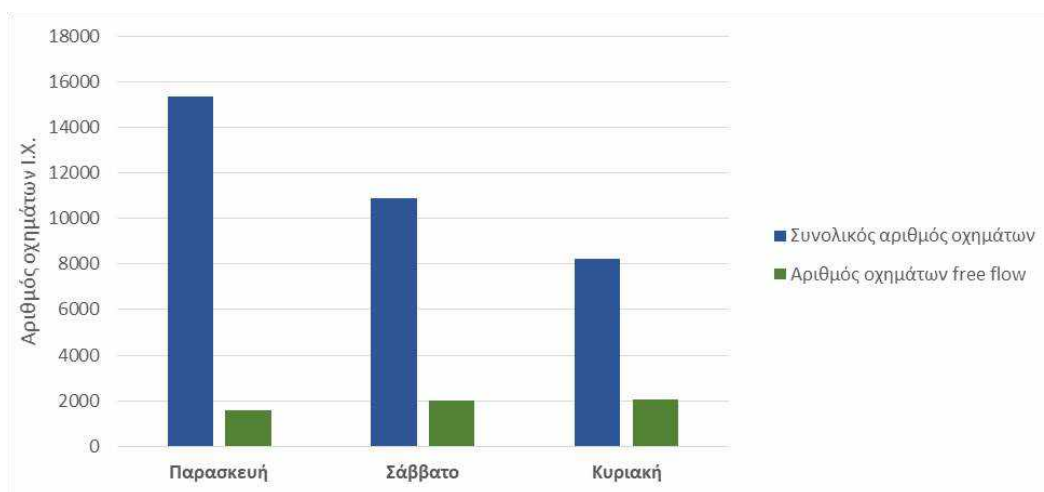
Σχήμα 5-3 Διακύμανση ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου προς Κόρινθο

Παρατηρείται ότι ο κυκλοφοριακός φόρτος των οχημάτων που κινούνται με κατεύθυνση προς Κόρινθο είναι αυξημένος σε σχέση με τον αντίστοιχο φόρτο των οχημάτων που κινούνται προς Πειραιά. Για την κατεύθυνση προς Κόρινθο έγινε επεξεργασία των δεδομένων ώστε να βρεθεί ο κυκλοφοριακός φόρτος των οχημάτων που κινούνται με ελεύθερη ροή, όπως έγινε και στην κατεύθυνση προς Πειραιά. Τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-4.

	Αριθμός επιβατηγών οχημάτων	
	Συνολικά	Συνθήκες ελεύθερης ροής (free flow)
Παρασκευή 6/7/2018	15371	1582
Σάββατο 7/7/2018	10899	2027
Κυριακή 8/7/2018	8208	2066

Πίνακας 5-4 Σύγκριση ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου με τον κυκλοφοριακό φόρτο για τα οχήματα που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής προς Κόρινθο

Και σε αυτή την περίπτωση διακρίνεται έντονη διαφοροποίηση σε σχέση με τον αριθμό των οχημάτων που κινούνται με ελεύθερη ροή και του συνολικού αριθμού επιβατηγών οχημάτων. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται με ελεύθερη ροή αποτελεί ένα πολύ μικρό ποσοστό του συνολικού ημερήσιου φόρτου. Συγκεκριμένα την Παρασκευή μόλις το 10.3% του συνολικού ημερήσιου φόρτου κινείται ανεμπόδιστα, το Σάββατο το 18.6% και την Κυριακή το 25.2%. Στο Σχήμα 5-4 παρουσιάζεται γραφικά η μεταβολή του ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου για το σύνολο των οχημάτων και των οχημάτων που κινούνται σε συνθήκες ελεύθερης ροής.



Σχήμα 5-4 Σύγκριση ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου με τον κυκλοφοριακό φόρτο για τα οχήματα που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής προς Κόρινθο

Παρότι τα παραπάνω ποσοστά φαίνονται μικρά, συγκρίνοντας τον αριθμό των οχημάτων που κινούνται με ελεύθερη ροή στην κατεύθυνση προς Πειραιά με την κατεύθυνση προς Κόρινθο παρατηρείται ότι ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται ανεμπόδιστα και στις δύο διευθύνσεις κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα παρά τον διαφορετικό συνολικό φόρτο.

Αυτό το αποτέλεσμα υποδεικνύει την πιθανή συσχέτιση μεταξύ των γεωμετρικών χαρακτηριστικών μιας οδού και του μέγιστου αριθμού των οχημάτων που κινούνται στην οδό με συνθήκες που επιτρέπουν την ανάπτυξη ταχύτητας V_{85} και ως εκ τούτου προκύπτει ένα άνω όριο του συνολικού αριθμού οχημάτων που μπορούν να κινηθούν με ταχύτητα V_{85} .

5.2 Σύνθεση της κυκλοφορίας

Ένα βασικό στοιχείο κατά τον σχεδιασμό μιας οδού ή την μελέτη μιας υπάρχουσας οδού είναι η σύνθεση της κυκλοφορίας, δηλαδή το είδος των οχημάτων που θα χρησιμοποιούν ή ήδη εξυπηρετούνται από την οδό. Η σύνθεση της κυκλοφορίας δεν είναι η ίδια παντού αλλά εξαρτάται από την περιοχή μελέτης, τα κοινωνικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής και τα χρονικά πλαίσια εξέτασης. Για παράδειγμα οι τοπικές οδοί της Νιγηρίας αναμένεται να παρουσιάσουν αυξημένο αριθμό δίκυκλων σε αντίθεση τις τοπικές οδούς της Γερμανίας όπου αναμένεται αυξημένος αριθμός ποδηλάτων. Σε πολλές περιπτώσεις βέβαια η σύνθεση της κυκλοφορίας διαφέρει ακόμα και σε οδούς που βρίσκονται στην ίδια χώρα, ως αποτέλεσμα των οχημάτων που χρησιμοποιούν οι κάτοικοι της κάθε περιοχής. Για παράδειγμα στο κέντρο της πόλης αναμένεται να υπάρχει αυξημένος αριθμός δίκυκλων ενώ σε μια αγροτική κωμόπολη αναμένεται αυξημένος αριθμός αγροτικών οχημάτων.

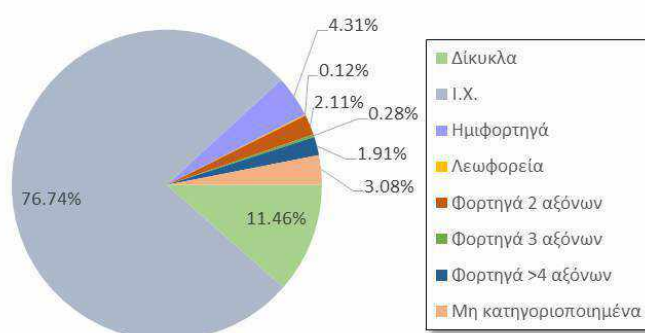
Η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής περιλαμβάνει έντονη δραστηριότητα μεταφορών εμπορευμάτων και αγαθών αφού υπάρχουν τα ναυπηγεία του Σκαραμαγκά, η βάση του πολεμικού ναυτικού και αρκετές βιομηχανίες και εταιρείες χονδρικού εμπορίου. Από τα χαρακτηριστικά της περιοχής αναμένεται να υπάρχει αυξημένος αριθμός βαρέων οχημάτων κυρίως τις καθημερινές, οι οποίες είναι οι εργάσιμες μέρες.

Η σύνθεση της κυκλοφορίας για την περιοχή αυτή εξετάστηκε από την Παρασκευή 6 Ιουλίου 2018 έως την Κυριακή 8 Ιουλίου 2018. Εξετάστηκαν οι ημερήσιοι κυκλοφοριακοί φόρτοι για όλες τις κατηγορίες οχημάτων ώστε να προκύψει η τελική σύνθεση της κυκλοφορίας για κάθε μέρα. Από τα δεδομένα των αυτόματων μετρητών κυκλοφορίας αποτυπώνεται η ώρα, η ημερομηνία, η ταχύτητα και η κατηγορία του οχήματος που διέρχεται από μια θέση μέτρησης. Με βάση τα δεδομένα αυτά δημιουργήθηκαν πίνακες «Pivot Table» στους οποίους έγινε ομαδοποίηση του φόρτου για κάθε ώρα για κάθε κατηγορία [Παράρτημα 3]. Από τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας προέκυψαν οι συνθέσεις της κυκλοφορίας για κάθε μέρα μέτρησης.

5.2.1 Σύνθεση της κυκλοφορίας Προς Πειραιά

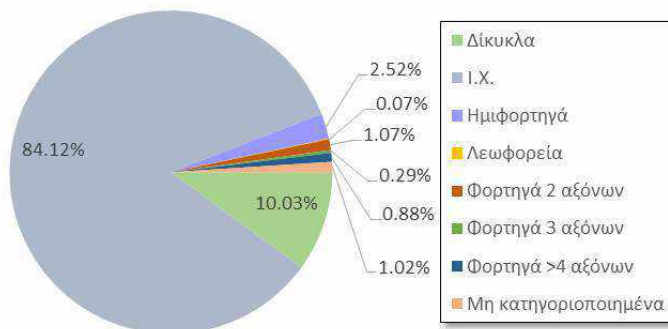
Ακολουθώντας την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα που δείχνουν την σύνθεση της κυκλοφορίας για την κατεύθυνση προς Πειραιά. Η θέση μέτρησης που λήφθηκε υπόψη για την κατασκευή αυτών των διαγραμμάτων είναι η πρώτη που συναντάει το όχημα κατά την κατεύθυνση κίνησης, δηλαδή η ATC-1 προς Πειραιά. Στα Σχήματα 5-5 έως 5-7 παρουσιάζεται η σύνθεση της κυκλοφορίας για το τριήμερο των μετρήσεων.

Σύνθεση κυκλοφορίας 6/7/18

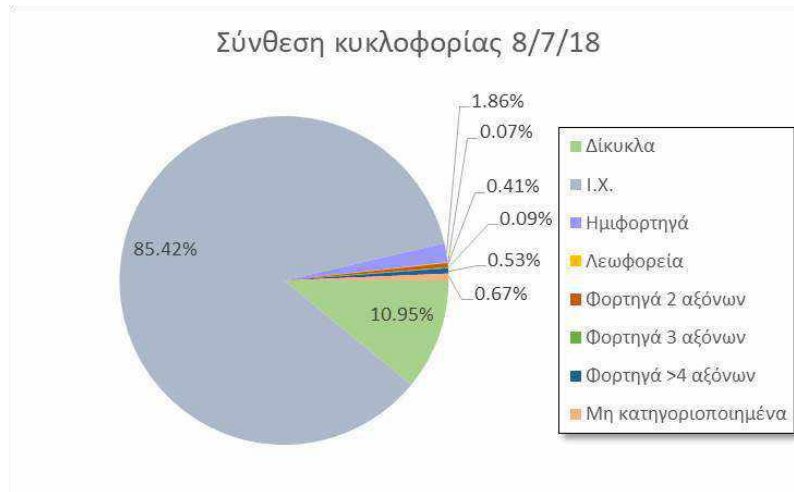


Σχήμα 5-5 Σύνθεση της κυκλοφορίας για την Παρασκευή 6/7/2018 προς Πειραιά

Σύνθεση κυκλοφορίας 7/7/18



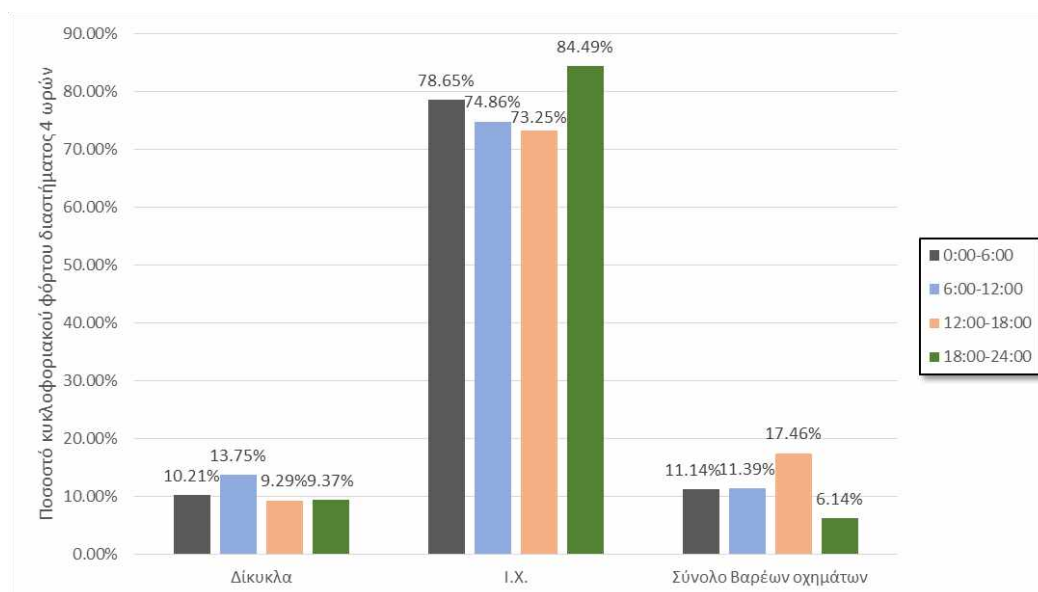
Σχήμα 5-6 Σύνθεση της κυκλοφορίας για το Σάββατο 7/7/2018 προς Πειραιά



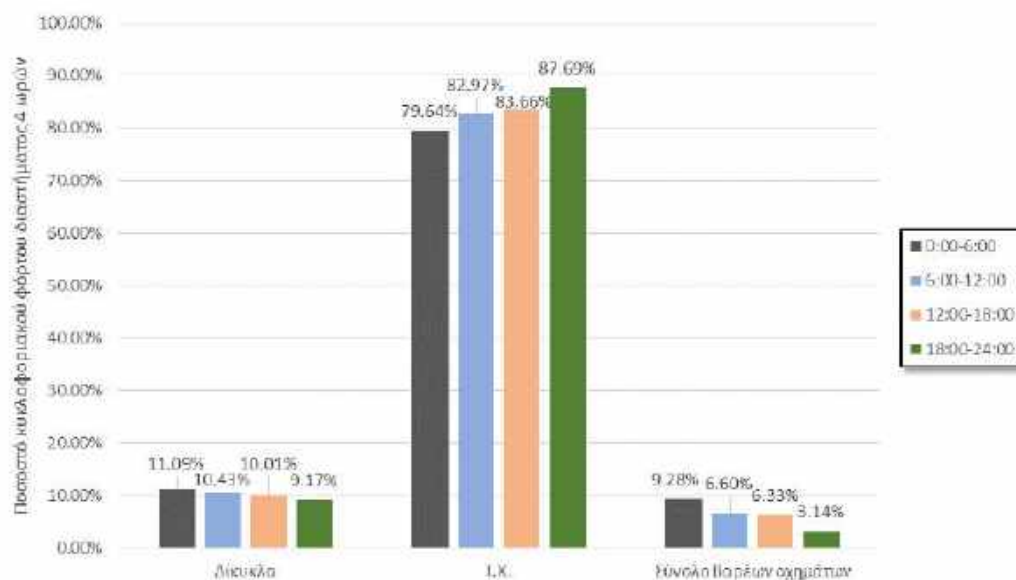
Σχήμα 5-7 Σύνθεση της κυκλοφορίας για την Κυριακή 8/7/2018 προς Πειραιά

Θεωρώντας ως βαρέα οχήματα το σύνολο των οχημάτων των κατηγοριών 3 έως 14 παρατηρείται ότι την Παρασκευή ήταν αυξημένος ο κυκλοφοριακός φόρτος των βαρέων οχημάτων ο οποίος αποτελούσε συνολικά το 11.80% του ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου για εκείνη την ημέρα. Αντίθετα ο φόρτος των βαρέων οχημάτων το Σάββατο και την Κυριακή ήταν 5.86% και 3.63% του συνολικού ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου αντίστοιχα. Αυτή η διακύμανση επιβεβαιώνει την σχέση μεταξύ της σύνθεσης της κυκλοφορίας και των χαρακτηριστικών της ευρύτερης περιοχής.

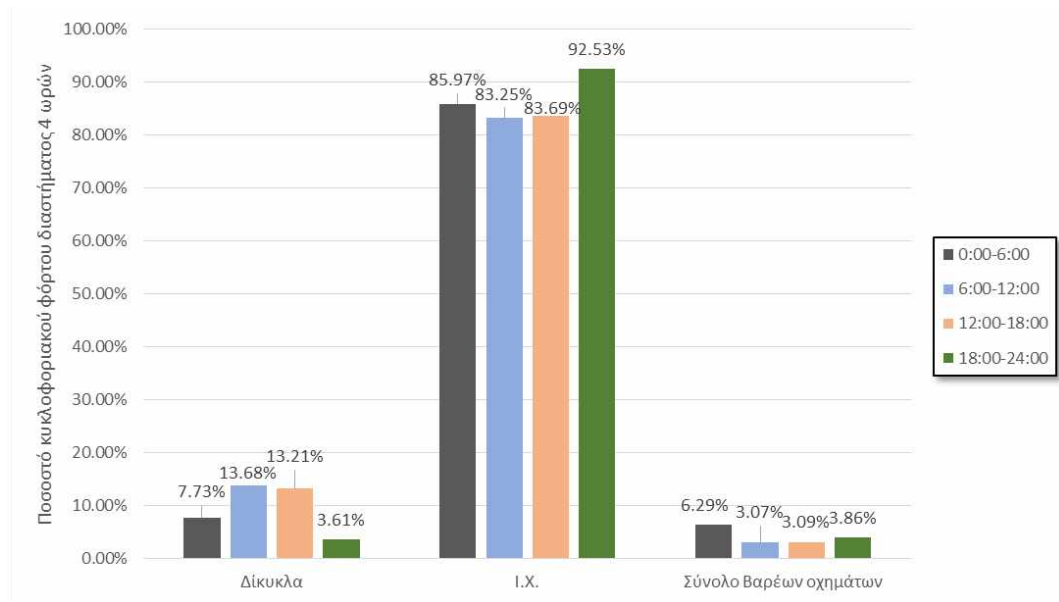
Εκτός από την ημερήσια διακύμανση της κυκλοφοριακής σύνθεσης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των δεδομένων για κάθε ώρα και παρατηρήθηκε διακύμανση στους κυκλοφοριακούς φόρτους κατά την διάρκεια της ημέρας. Στα Σχήματα 5-8 έως 5-10 που παρουσιάζονται παρακάτω αποτυπώνεται η σύνθεση της κυκλοφορίας για τις ώρες από 0:00–6:00, 6:00–12:00, 12:00–18:00 και 18:00–0:00 για κάθε μέρα.



Σχήμα 5-8 Σύνθεση της κυκλοφορίας ανά 6 ώρες για την Παρασκευή 6/7/2018 προς Πειραιά



Σχήμα 5-9 Σύνθεση της κυκλοφορίας ανά 6 ώρες για το Σάββατο 7/7/2018 προς Πειραιά



Σχήμα 5-10 Σύνθεση της κυκλοφορίας ανά 6 ώρες για την Κυριακή 8/7/2018 προς Πειραιά

Από τα Σχήματα 5-8 έως 5-10 φαίνεται ότι η σύνθεση της κυκλοφορίας μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της ημέρας. Αυτή η μεταβολή εξαρτάται από το αν η μέρα είναι εργάσιμη και από το χρονικό πλαίσιο που εξετάζεται.

Έτσι για την Παρασκευή παρατηρείται ότι ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος των χρονικών διαστημάτων 6 ωρών, αποτελείται από διαφορετικά ποσοστά σύνθεσης κυκλοφορίας αναλόγως του εξεταζόμενου διαστήματος. Δηλαδή, τις ώρες από 6:00 έως 12:00 τα βαριά οχήματα αποτελούν το 11.39% του κυκλοφοριακού φόρτου εκείνου του διαστήματος ενώ από τις 12:00 έως τις 18:00, τα βαριά οχήματα συνιστούν το 17.46% του συνολικού φόρτου εκείνου του χρονικού διαστήματος. Παρατηρείται επίσης ότι τα οχήματα Ι.Χ από τις 12:00 έως τις 18:00 αποτελούν το 73.25% του συνολικού φόρτου του χρονικού διαστήματος ενώ από τις 18:00 έως τις 0:00 αποτελούν το 84.49% του συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου.

Το Σάββατο παρατηρείται κατά την πάροδο της ημέρας μια τάση μείωσης του ποσοστού των βαρέων οχημάτων που συνθέτουν την κυκλοφορία ενώ τα επιβατηγά οχήματα παρουσιάζουν μια σταδιακή αύξηση από τις πρωινές προς τις βραδινές ώρες. Τα δίκυκλα παρουσιάζουν μια σταθερή κατάσταση για όλη την διάρκεια της ημέρας και το ποσοστό τους κυμαίνεται από 9.17% έως 11.09% του συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου εξάωρου.

Την Κυριακή εμφανίζεται το ελάχιστο ποσοστό βαρέων οχημάτων που συνθέτουν την κυκλοφορία, γεγονός που δικαιολογείται αφού αυτή η μέρα δεν είναι εργάσιμη. Το

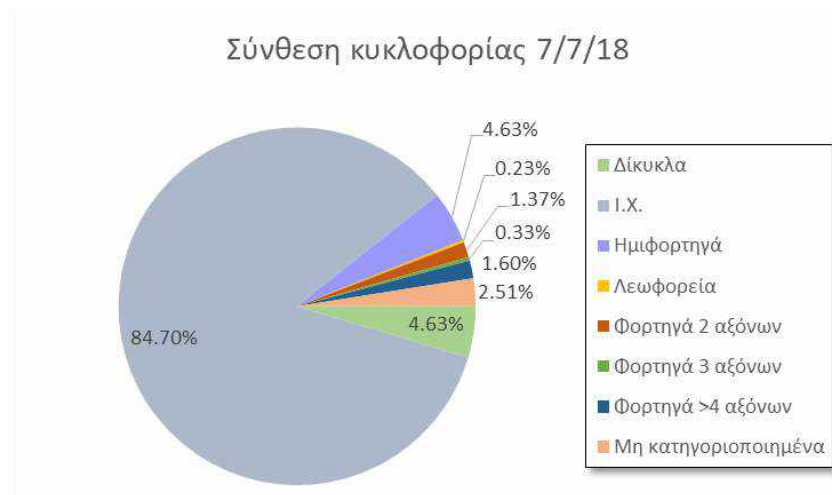
ποσοστό των επιβατηγών οχημάτων που συνθέτουν την κυκλοφορία παρουσιάζει μια σταδιακή μείωση κατά την διάρκεια της ημέρας μέχρι το απόγευμα όπου το ποσοστό των επιβατηγών οχημάτων που συνθέτουν την κυκλοφορία αγγίζει το 92.53%.

5.2.2 Σύνθεση της κυκλοφορίας προς Κόρινθο

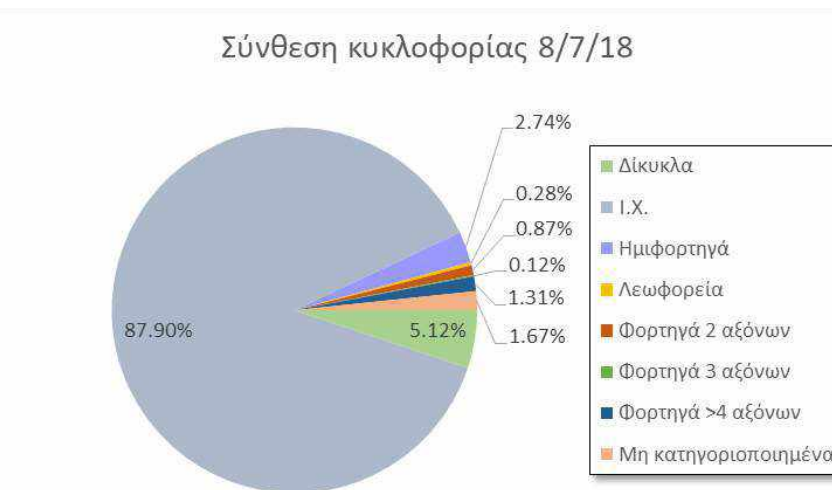
Η σύνθεση της κυκλοφορίας για την κατεύθυνση προς Κόρινθο υπολογίστηκε με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκε για την κατεύθυνση προς Πειραιά. Η θέση μέτρησης που λήφθηκε υπόψη για την κατασκευή αυτών των διαγραμμάτων είναι η πρώτη που συναντάει το όχημα κατά την κατεύθυνση κίνησης, δηλαδή η ATC-3 προς Κόρινθο. . Στα Σχήματα 5-11 έως 5-13 παρουσιάζεται η σύνθεση της κυκλοφορίας για το τριήμερο των μετρήσεων.



Σχήμα 5-11 Σύνθεση της κυκλοφορίας για την Παρασκευή 6/7/2018 προς Κόρινθο



Σχήμα 5-12 Σύνθεση της κυκλοφορίας για το Σάββατο 7/7/2018 προς Κόρινθο

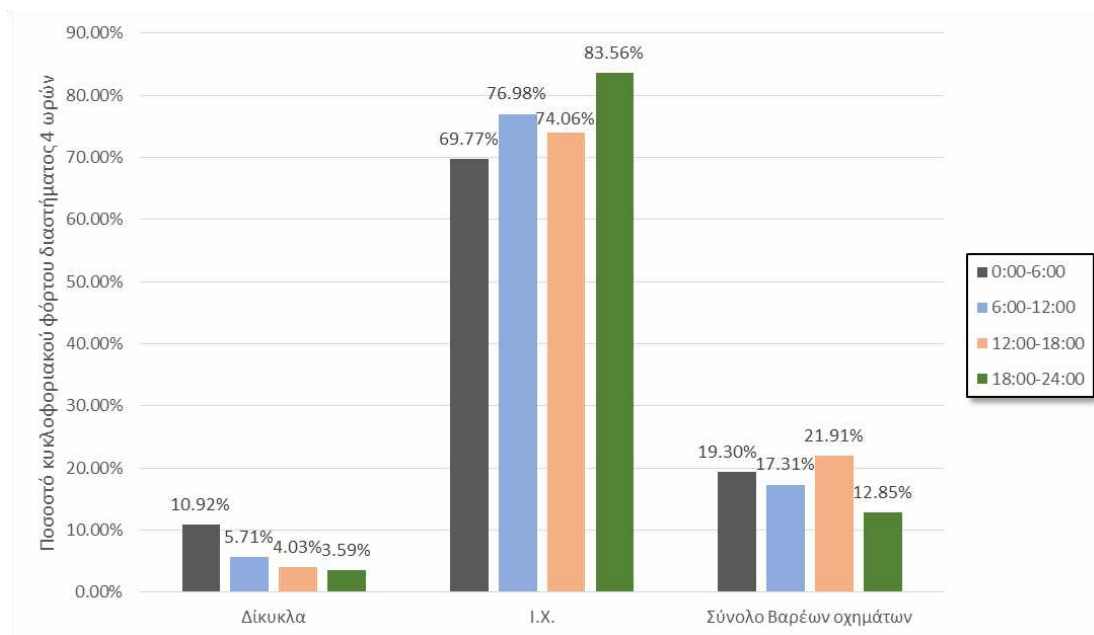


Σχήμα 5-13 Σύνθεση της κυκλοφορίας για την Κυριακή 8/7/2018 προς Κόρινθο

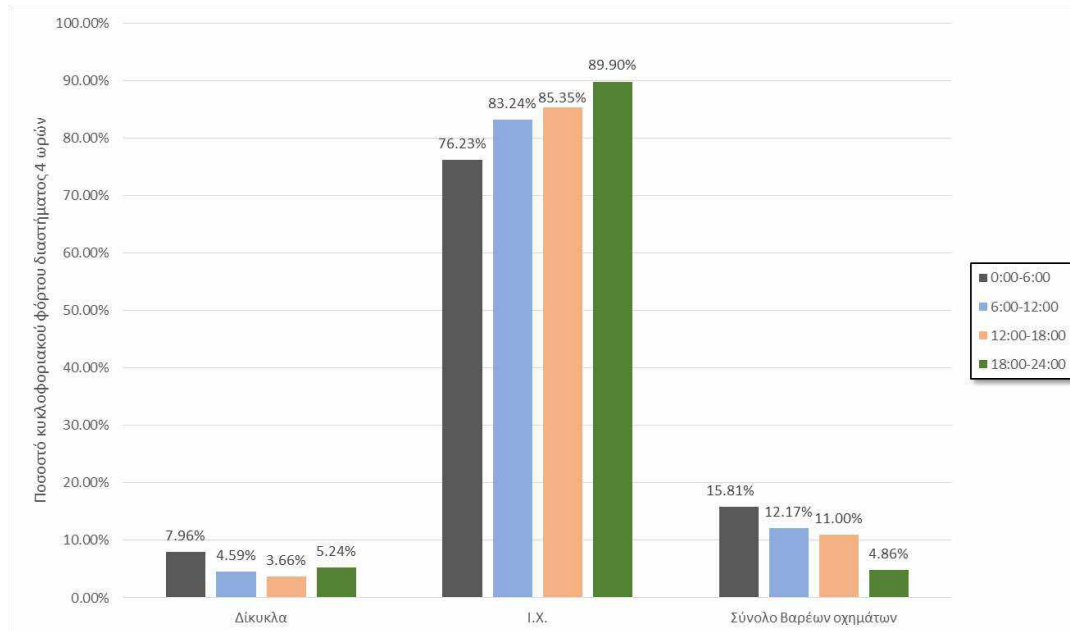
Θεωρώντας και σε αυτή την περίπτωση ως βαρέα οχήματα το σύνολο των οχημάτων των κατηγοριών 3 έως 14 παρατηρείται ότι την Παρασκευή ήταν αυξημένος ο κυκλοφοριακός φόρτος των βαρέων οχημάτων ο οποίος αποτελούσε συνολικά το 17.83% του ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου για εκείνη την ημέρα. Ο φόρτος των βαρέων οχημάτων το Σάββατο και την Κυριακή ήταν 10.67% και 6.98% του συνολικού ημερήσιου κυκλοφοριακού φόρτου αντίστοιχα.

Εκτός από την ημερήσια διακύμανση της κυκλοφοριακής σύνθεσης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των δεδομένων για κάθε ώρα και παρατηρήθηκε διακύμανση στους κυκλοφοριακούς φόρτους κατά την διάρκεια της ημέρας. Στα Σχήματα 5-14 έως 5-16 που παρουσιάζονται παρακάτω αποτυπώνεται η σύνθεση της

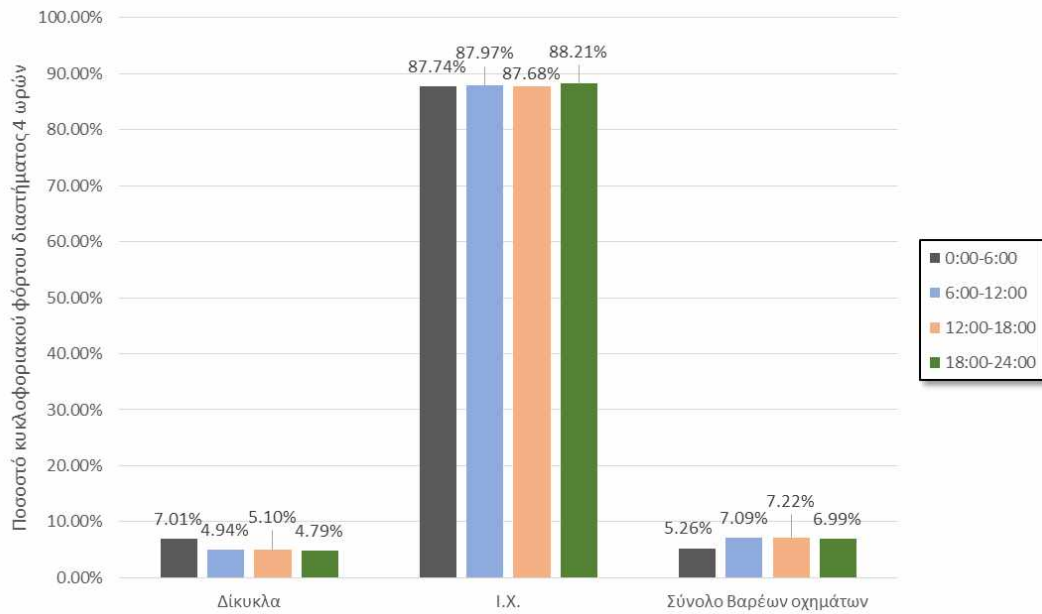
κυκλοφορίας για τις ώρες από 0:00–6:00, 6:00–12:00, 12:00–18:00 και 18:00–0:00 για κάθε μέρα.



Σχήμα 5-14 Σύνθεση της κυκλοφορίας ανά 6 ώρες για την Παρασκευή 6/7/2018 προς Κόρινθο



Σχήμα 5-15 Σύνθεση της κυκλοφορίας ανά 6 ώρες για το Σάββατο 7/7/2018 προς Κόρινθο



Σχήμα 5-16 Σύνθεση της κυκλοφορίας ανά 6 ώρες για την Κυριακή 8/7/2018 προς Κόρινθο

Από τα παραπάνω Σχήματα 5-14 έως 5-16 φαίνεται ότι η σύνθεση της κυκλοφορίας μεταβάλλεται κατά την διάρκεια της ημέρας. Αυτή η μεταβολή εξαρτάται από το αν η μέρα είναι εργάσιμη και από το χρονικό πλαίσιο που εξετάζεται.

Για την Παρασκευή παρατηρείται ότι ο συνολικός κυκλοφοριακός φόρτος των χρονικών διαστημάτων 6 ωρών, αποτελείται από διαφορετικά ποσοστά σύνθεσης κυκλοφορίας αναλόγως του εξεταζόμενου διαστήματος. Τα βαριά οχήματα αποτελούν το 21.91% του συνολικού κυκλοφοριακού φόρτου του εξάωρου 12:00-18:00 το οποίο είναι και το μέγιστο ποσοστό που παρατηρήθηκε και στις δύο κατευθύνσεις. Το ποσοστό των βαρέων οχημάτων κυμαίνεται από 12.85% έως 21.91% κατά την διάρκεια της ημέρας. Αντίστοιχα τα επιβατηγά οχήματα παρουσιάζουν μια διακύμανση στο ποσοστό που συνθέτουν την κυκλοφορία του εξάωρου μελέτης από 69.77% έως 83.56%.

Το Σάββατο παρατηρείται κατά την πάροδο της ημέρας μια τάση μείωσης του ποσοστού των βαρέων οχημάτων που συνθέτουν την κυκλοφορία ενώ τα επιβατηγά οχήματα παρουσιάζουν μια σταδιακή αύξηση από τις πρωινές προς τις βραδινές ώρες όπως παρατηρήθηκε και για την κατεύθυνση προς Πειραιά. Τις βραδινές ώρες του Σαββάτου εμφανίζεται το ελάχιστο ποσοστό βαρέων οχημάτων που συνθέτουν την κυκλοφορία

Την Κυριακή το ποσοστό των επιβατηγών οχημάτων που συνθέτουν την κυκλοφορία παραμένει σε σταθερά επίπεδα αφού κυμαίνεται από 87.68% έως 88.21% του κυκλοφοριακού φόρτου του εξάωρου μελέτης.

Γίνεται εμφανές ότι η σύνθεση της κυκλοφορίας επηρεάζεται από

- την περιοχή μελέτης, αφού παρατηρείται μεγάλο ποσοστό βαρέων οχημάτων που δικαιολογείται από τον χαρακτήρα της περιοχής
- την ημέρα, δηλαδή αν είναι εργάσιμη ή όχι
- την ώρα της ημέρας, δηλαδή πρωινές, απογευματινές ή βραδινές ώρες.

5.3 Ανάλυση ταχυτήτων

Οι ταχύτητες των οχημάτων που χρησιμοποιούν μια οδό διαφέρουν μεταξύ τους αφού ο κάθε οδηγός έχει την ελευθερία να επιλέξει την ταχύτητα με την οποία θα κινηθεί. Πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί για να βρεθούν οι παράγοντες που σχετίζονται με την επιλογή της ταχύτητας από τους οδηγούς.

Γενικά η ταχύτητα των οχημάτων εξαρτάται από παράγοντες που σχετίζονται με τους οδηγούς, τα οχήματα και την ίδια την οδό. Μελέτη του καθηγητή Κανελλαΐδη το 1995 με την μορφή ερωτηματολογίων σε 207 Έλληνες οδηγούς, από τους οποίους ζητήθηκε να αξιολογήσουν τα χαρακτηριστικά του δρόμου που επηρεάζουν τους ίδιους στην επιλογή ταχύτητας, υπέδειξε ότι η επιλογή της ταχύτητας στις οριζόντιες καμπύλες εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Τον διαχωρισμό με το αντίθετο ρεύμα κυκλοφορίας
- Τα χαρακτηριστικά διατομής της οδού όπως η επίκλιση
- Την σήμανση
- Την οριζοντιογραφία της οδού

Εκτός από τους παραπάνω παράγοντες, την ταχύτητα επηρεάζει και το πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας, η κατά μήκος κλίση της οδού και το μήκος ορατότητας (AASHTO, 2018/RAA, 2008).

Ένας στόχος της ανάλυσης ταχυτήτων στην περιοχή μελέτης ήταν η κατασκευή διαγραμμάτων που να αποτυπώνουν την μεταβολή της ταχύτητας των οχημάτων

ανάλογα με την ώρα της ημέρας, τον φόρτο και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και η συσχέτισή τους με σχετική μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας. Από τα πρωτογενή δεδομένα που κατέγραψαν οι αυτόματοι μετρητές κυκλοφορίας βρέθηκε για κάθε όχημα η χρονική απόσταση με το προπορευόμενο όχημα. Αυτό το δεδομένο υπολογίστηκε μετατρέποντας όλα τα χρονικά δεδομένα των καταγραφών σε δευτερόλεπτα και με απλή αφαίρεση βρέθηκε η χρονική απόσταση του κάθε οχήματος από το προπορευόμενο. Έτσι υπήρχε η δυνατότητα να απομονωθούν τα επιβατηγά οχήματα που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής.

Όπως ορίστηκε στο Κεφάλαιο 3.6, κριτήριο για την συνθήκη ελεύθερης ροής οχήματος θεωρήθηκε η χρονική απόσταση του κάθε οχήματος με το προπορευόμενο όχημα. Με βάση αυτό το κριτήριο, θεωρείται ότι όταν το κάθε υπό εξέταση όχημα έχει χρονική απόσταση από το προπορευόμενο τουλάχιστον 6 δευτερόλεπτα, τότε θεωρείται ότι κινείται απρόσκοπτα και ο οδηγός μπορεί να επιλέξει την ταχύτητα κίνησης χωρίς να επηρεάζεται από την κίνηση των άλλων οχημάτων. Με αυτόν τον διαχωρισμό είναι δυνατόν να υπολογισθεί η λειτουργική ταχύτητα V_{85} αφού εξ' ορισμού η ταχύτητα αυτή είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται το 85% των ανεμπόδιστα κινούμενων οχημάτων στην οδό.

Η επεξεργασία αυτή έγινε για κάθε ημέρα και θέση μέτρησης και τα διαγράμματα που προέκυψαν παρουσιάζονται στο Παράρτημα 1. Η κάθε μεμονωμένη μέτρηση αποτυπώνεται με μια κουκίδα πράσινου χρώματος πάνω στα διαγράμματα. Η μέση ταχύτητα για κάθε ημέρα αρχικά βρέθηκε ως γραμμή τάσης κυλιόμενου μέσου (Trendline: Moving average) με περίοδο ίση με τον μέσο αριθμό οχημάτων ανά τέταρτο της ώρας. Ο αριθμός των περιόδων για την ικανοποιητική παρουσίαση των μεμονωμένων μετρήσεων υπολογίστηκε διαιρώντας τον συνολικό ημερήσιο κυκλοφοριακό φόρτο επιβατηγών οχημάτων με τον αριθμό των δεκαπεντάλεπτων που υπάρχουν σε μια ημέρα δηλαδή 96. Ο τρόπος επιλογής των περιόδων για την αποτύπωση της γραμμής τάσης κυλιόμενου μέσου δίνεται από την σχέση:

$$n = \frac{Q_D}{96} \quad [5-1]$$

Όπου:

n αριθμός περιόδου

Q_D ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος

Αυτός ο τρόπος υπολογισμού της απαιτούμενης περιόδου θεωρήθηκε ικανοποιητικός αφού λάμβανε την μέση τιμή των ταχυτήτων που επικρατούσαν κατά μέσο όρο ανά δεκαπεντάλεπτο με αποτέλεσμα την ικανοποιητική παρουσίαση των ταχυτήτων σαν γραμμή τάσης.

Οι περίοδοι υπολογισμού κυλιόμενου μέσου που προέκυψαν για τις μετρήσεις που αντιστοιχούν σε κατεύθυνση οχημάτων προς Πειραιά παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-5.

	Παρασκευή 6/7/18	Σάββατο 7/7/18	Κυριακή 8/7/18
Αριθμός περιόδου	48	37	38

Πίνακας 5-5 Περίοδος κυλιόμενου μέσου για κάθε μέρα προς Πειραιά

Οι περίοδοι υπολογισμού κυλιόμενου μέσου που προέκυψαν για τις μετρήσεις που αντιστοιχούν σε κατεύθυνση οχημάτων προς Κόρινθο παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-6.

	Παρασκευή 6/7/18	Σάββατο 7/7/18	Κυριακή 8/7/18
Αριθμός περιόδου	160	114	86

Πίνακας 5-6 Περίοδος κυλιόμενου μέσου για κάθε μέρα προς Κόρινθο

Αρχικά κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα που παρουσιάζουν την διακύμανση των ταχυτήτων του συνόλου των επιβατηγών οχημάτων που κινούνται στην οδό. Για αυτή την ανάλυση δεν πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των οχημάτων που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής διότι το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε στην εποπτεία της κατάστασης που επικρατεί σχετικά με τις ταχύτητες του συνόλου των επιβατηγών οχημάτων που χρησιμοποιούν την οδό. Η κατασκευή των διαγραμμάτων έγινε με την χρήση του προγράμματος Microsoft Excel μέσω επεξεργασίας των στοιχείων που κατέγραψαν οι αυτόματοι μετρητές κυκλοφορίας.

Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα 1 και σε αυτά εμφανίζονται τα στοιχεία:

- Μεμονωμένη μέτρηση επιβατηγού οχήματος (κουκίδα πράσινου χρώματος)
- Γραμμή τάσης κυλιόμενου μέσου (λεπτή συνεχής γραμμή κόκκινου χρώματος)
- Μέση ταχύτητα ανά ώρα (διακεκομμένη γραμμή μαύρου χρώματος)
- Ωριαίος φόρτος επιβατηγών οχημάτων (συνεχής γραμμή πράσινου χρώματος)

Όπως φαίνεται στα διαγράμματα αυτά οι γραμμές τάσης που προκύπτουν από τον παραπάνω τρόπο υπολογισμού οδηγούν σε αποτελέσματα που προσεγγίζουν την καμπύλη που δημιουργείται από τον αριθμητικό μέσο των ταχυτήτων για κάθε ώρα [Παράρτημα 1].

Εφόσον η γραμμή της μέσης ταχύτητας του συνόλου των επιβατηγών οχημάτων που κινούνται στην οδό προσεγγίζει ικανοποιητικά τα δεδομένα που αναλύθηκαν, κατασκευάστηκαν οι γραμμές μέσης ταχύτητας για τα επιβατηγά οχήματα που κινούνται ανεμπόδιστα. Έτσι κατασκευάστηκαν διαγράμματα συσχέτισης της μέσης ταχύτητας όλων των επιβατηγών οχημάτων με την μέση ταχύτητα των οχημάτων που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής. Στα διαγράμματα αυτά έγινε συνδυασμός της μέσης ταχύτητας του συνόλου των οχημάτων, της μέσης ταχύτητας των οχημάτων που κινούνται ανεμπόδιστα και του ωριαίου κυκλοφοριακού φόρτου, προκειμένου να εξεταστεί η συσχέτιση τους.

Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται στο [Παράρτημα 1] και τα στοιχεία που εμφανίζονται είναι:

- Μέση ταχύτητα ανά ώρα για το σύνολο των επιβατηγών οχημάτων (διακεκομμένη γραμμή μαύρου χρώματος)
- Μέση ταχύτητα ανά ώρα για τα οχήματα που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής (διακεκομμένη μπλε γραμμή)
- Ωριαίος φόρτος επιβατηγών οχημάτων (συνεχής γραμμή πράσινου χρώματος)

5.3.1 Λειτουργικές ταχύτητες V_{85}

Η λειτουργική ταχύτητα V_{85} εξ ορισμού είναι η ταχύτητα που δεν ξεπερνάει το 85% των ανεμπόδιστα κινούμενων επιβατηγών οχημάτων σε καθαρό αλλά υγρό οδόστρωμα. Σύμφωνα με τους κανονισμούς ΟΜΟΕ για την χάραξη των οδών, η V_{85} σε στεγνό οδόστρωμα δεν έχει ουσιαστική διαφορά από την V_{85} που παρατηρείται σε υγρό οδόστρωμα. Με βάση αυτό το μέγεθος ταχύτητας καθορίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας οδού όπως οι επικλίσεις στις οριζόντιες καμπύλες, οι ελάχιστες ακτίνες στις οριζόντιες καμπύλες σε περίπτωση αρνητικής επίκλισης, τα απαιτούμενα μήκη ορατότητας για προσπέραση και στάση και ως συνέπεια οι ακτίνες των κυρτών

κατακόρυφων καμπυλών και τα στοιχεία για την απορροή των ομβρίων. Ως εκ τούτου η ταχύτητα αυτή είναι καθοριστικής σημασίας για τον σχεδιασμό και την μελέτη οποιασδήποτε οδού.

Η εύρεση των ταχυτήτων αυτών είχε σαν στόχο τον συσχετισμό τους με την μέγιστη σταθερή ταχύτητα που μπορούν να αναπτύξουν τα επιβατηγά οχήματα κινούμενα στους συνδεδηγμένους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου μελέτης προκειμένου να διερευνηθεί η ασφάλεια κίνησής τους. Επιπλέον στόχος του υπολογισμού των ταχυτήτων αυτών ήταν η δημιουργία διαγραμμάτων τα οποία συσχετίζουν την ακτίνα με την ταχύτητα V_{85} και η σύγκρισή τους με την διεθνή βιβλιογραφία.

Από τα δεδομένα που κατέγραψαν οι αυτόματοι μετρητές κυκλοφορίας υπήρχε η δυνατότητα υπολογισμού των ταχυτήτων V_{85} για κάθε θέση μέτρησης και για κάθε ημέρα. Ο τρόπος εύρεσης αυτών των ταχυτήτων έγινε με την χρήση του προγράμματος Microsoft Excel και με το εργαλείο «Data Analysis-Rank and Percentile».

Στα αρχικά δεδομένα που καταγράφηκαν από τους μετρητές έγινε μετατροπή της ώρας καταγραφής σε δευτερόλεπτα ώστε να είναι δυνατόν με απλή αφαίρεση να βρεθεί το χρονικό διάστημα μεταξύ δυο διαδοχικών οχημάτων. Με βάση αυτό το χρονικό διάστημα έγινε διαχωρισμός των οχημάτων που κινούνται ανεξάρτητα από τα άλλα οχήματα, δηλαδή ανεμπόδιστα με συνθήκες ελεύθερης ροής. Επιλέχθηκε ως συνθήκη που θα καθορίσει τα οχήματα που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής τα 6 δευτερόλεπτα χρονικού διαχωρισμού μεταξύ διαδοχικών οχημάτων.

Σημειώνεται πως αν και η ανάλυση αφορά τα επιβατηγά οχήματα, η επεξεργασία για τον καθορισμό των οχημάτων που κινούνται ανεμπόδιστα έγινε στο σύνολο των οχημάτων προτού απομονωθούν τα επιβατηγά οχήματα. Αυτό έγινε διότι είναι δυνατόν ένα επιβατηγό όχημα να ακολουθεί ένα όχημα διαφορετικής κατηγορίας και αν δεν ληφθεί υπόψη θα οδηγήσει σε λανθασμένα αποτελέσματα.

Στην συνέχεια με την βοήθεια των πινάκων «Pivot Tables» εφαρμόστηκαν φίλτρα προκειμένου να εμφανίζονται μόνο τα επιβατηγά οχήματα και μόνο όσα οχήματα κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής. Τα δεδομένα που προέκυψαν από την εφαρμογή αυτών των φίλτρων ομαδοποιήθηκαν σε άλλο πίνακα στον οποίο οι γραμμές ήταν οι ώρες καταγραφής ομαδοποιημένες ανά μια ώρα και στήλες όπου εμφανίζονται οι ταχύτητες ομαδοποιημένες ανά 2 χιλιόμετρα ανά ώρα. Τα στοιχεία που προέκυψαν από αυτή την μορφή του πίνακα είναι ο αριθμός των οχημάτων που κινούνται ανάλογα

την ώρα και την ταχύτητα. Με βάση αυτούς τους πίνακες υπήρχε δυνατότητα εποπτείας ως προς τον αριθμό των οχημάτων που κινούνται ανεμπόδιστα κάθε ώρα.

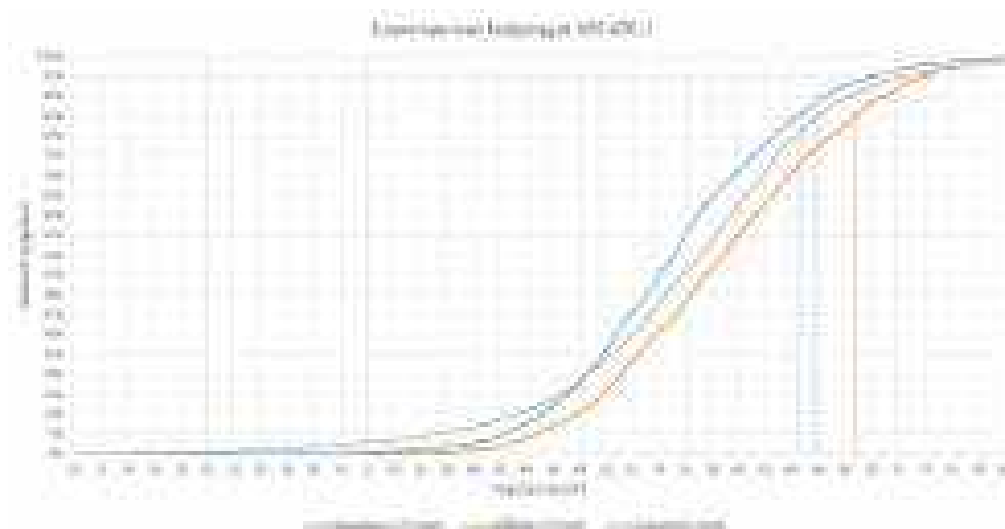
Απομονώνοντας τα οχήματα που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής ήταν δυνατή η εύρεση της ταχύτητας V_{85} με την χρήση του εργαλείου «Data Analysis» που προσφέρει το Microsoft Excel. Επιλέγοντας συνολικά τις στήλες που περιέχουν τα δεδομένα ώρας μέτρησης και ταχύτητας και στην συνέχεια επιλέγοντας από το εργαλείο «Data Analysis» το εργαλείο «Rank and Percentile» δημιουργήθηκε ο πίνακας που χρειάζεται για την εύρεση της V_{85} . Με την εφαρμογή φίλτρου στην στήλη του ποσοστού ήταν δυνατός ο υπολογισμός της ταχύτητας που κινείται το 85% των οχημάτων.

Ακολουθώντας τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω βρέθηκαν και οι ταχύτητες V_{50} και V_{15} με την εφαρμογή φίλτρου για ποσοστά 50% και 15% αντίστοιχα. Τέλος βρέθηκαν για κάθε θέση μέτρησης, δηλαδή για κάθε ακτίνα του ανισόπεδου κόμβου, οι μέγιστες και οι ελάχιστες ταχύτητες που καταγράφηκαν κατά την διάρκεια των μετρήσεων.

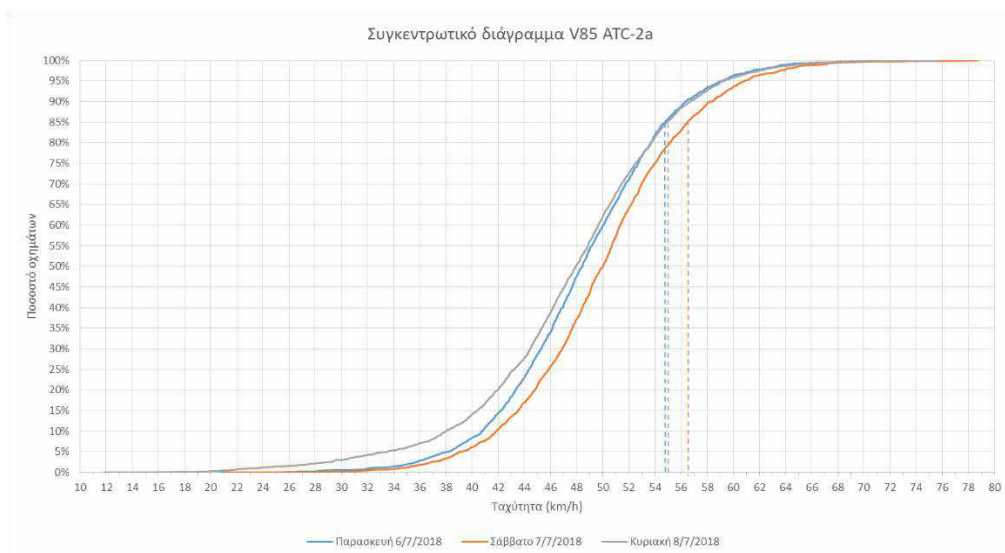
Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε και για τις δύο κατευθύνσεις κίνησης προς Πειραιά και προς Κόρινθο.

5.3.1.1 Κατεύθυνση προς Πειραιά

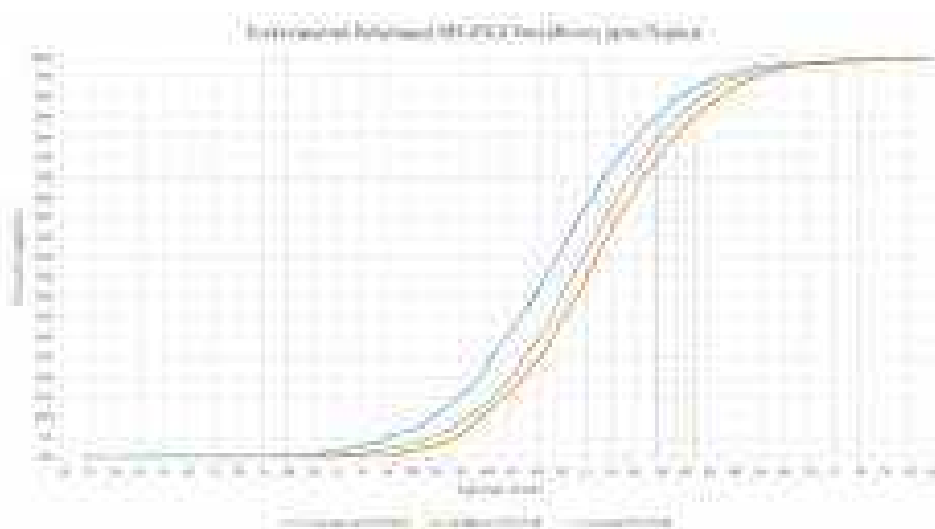
Η ανάλυση που προαναφέρθηκε πραγματοποιήθηκε για κάθε θέση μέτρησης που αντιστοιχεί στην κατεύθυνση οχήματος προς Πειραιά. Οι θέσεις αυτές είναι η ATC-1, ATC-2a και ATC-3. Στα Σχήματα 5-17 έως 5-19 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα λειτουργικών ταχυτήτων V_{85} για κάθε θέση μέτρησης.



Σχήμα 5-17 Συγκεντρωτικό διάγραμμα λειτουργικών ταχυτήτων V_{85} για την θέση ATC-1



Σχήμα 5-18 Συγκεντρωτικό διάγραμμα λειτουργικών ταχυτήτων V_{85} για την θέση ATC-2a



Σχήμα 5-19 Συγκεντρωτικό διάγραμμα λειτουργικών ταχυτήτων V_{85} για την θέση ATC-3 προς Πειραιά

Στον παρακάτω Πίνακα 5-7 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε θέση μέτρησης για κάθε μέρα.

Ταχύτητα V_{85}				
Θέση	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Μέσος Όρος
ATC-1	64.43	68.84	65.94	66.40
ATC-2a	54.78	56.51	54.93	55.41
ATC-3 Πειραιάς	57.62	60.82	59.43	59.29

Πίνακας 5-7 Λειτουργικές ταχύτητες V_{85} προς Πειραιά

Τα αναλυτικά διαγράμματα που προκύπτουν από την ανάλυση των δεδομένων για την εύρεση των ταχυτήτων V_{85} παρατίθενται στο Παράρτημα 2.

Εκτός της ταχύτητας V_{85} υπολογίστηκε και η V_{50} , η οποία είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται το 50% των οχημάτων υπό συνθήκες ελεύθερης ροής. Στον παρακάτω Πίνακα 5-8 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε θέση μέτρησης.

Μέση ταχύτητα V_{50}				
Θέση	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Μέσος Όρος
ATC-1	55.12	58.88	57.13	57.04
ATC-2a	48.46	50.03	47.97	48.82
ATC-3 Πειραιάς	49.78	52.91	51.76	51.48

Πίνακας 5-8 Μέση ταχύτητα V_{50} προς Πειραιά

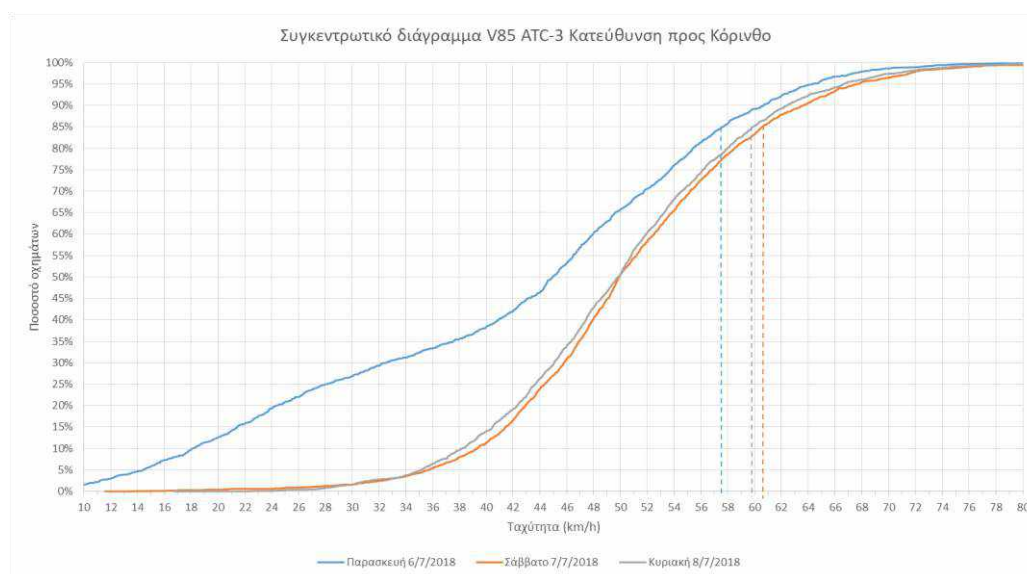
Τέλος υπολογίστηκε η V_{15} , η οποία είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται το 15% των οχημάτων υπό συνθήκες ελεύθερης ροής. Στον Πίνακα 5-9 παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε θέση μέτρησης.

Ταχύτητα V_{15}				
Θέση	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Μέσος Όρος
ATC-1	47.07	49.80	46.47	47.78
ATC-2a	42.23	43.54	40.39	42.05
ATC-3 Πειραιάς	41.70	45.52	44.56	43.93

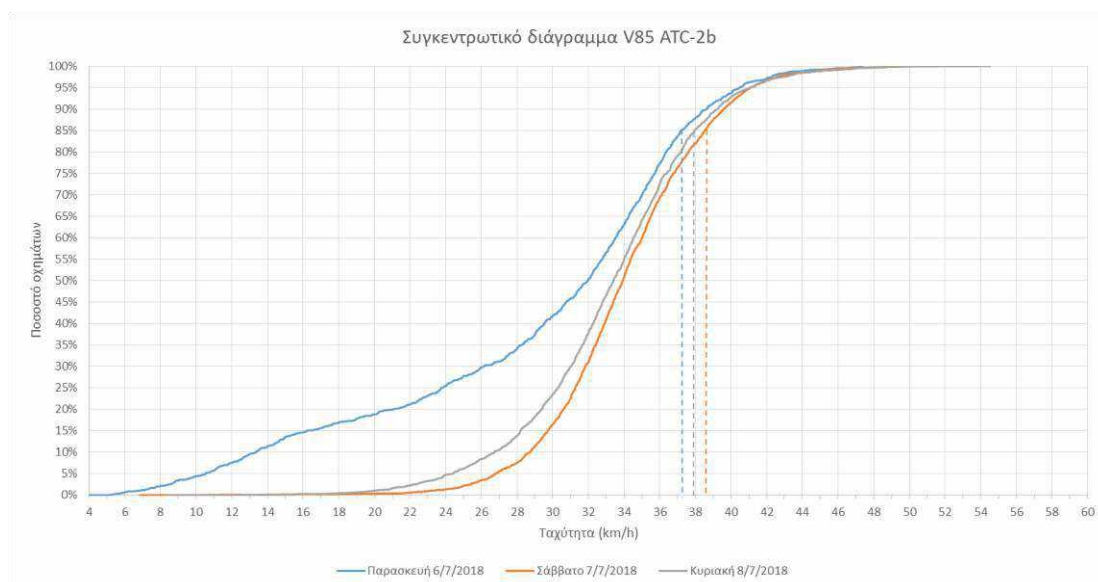
Πίνακας 5-9 Ταχύτητα V_{15} προς Πειραιά

5.3.1.2 Κατεύθυνση προς Κόρινθο

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για την κατεύθυνση προς Πειραιά, έγινε και για την κατεύθυνση προς Κόρινθο για κάθε θέση μέτρησης που αντιστοιχεί στην κατεύθυνση αυτή. Οι θέσεις αυτές είναι η ATC-2b και ATC-3. Στο Σχήμα 5-20 και στο Σχήμα 5-21 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα λειτουργικών ταχυτήτων V_{85} για κάθε θέση μέτρησης.



Σχήμα 5-20 Συγκεντρωτικό διάγραμμα λειτουργικών ταχυτήτων V_{85} για την θέση ATC-3 προς Κόρινθο



Σχήμα 5-21 Συγκεντρωτικό διάγραμμα λειτουργικών ταχυτήτων V_{85} για την θέση ATC-2b

Στον παρακάτω Πίνακα 5-10 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε θέση μέτρησης για κάθε μέρα.

Ταχύτητα V_{85}				
Θέση	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Μέσος Όρος
ATC-3 Κόρινθος	57.63	60.61	59.87	59.37
ATC-2b	37.24	38.53	37.97	37.91

Πίνακας 5-10 Λειτουργικές ταχύτητες V_{85} προς Κόρινθο

Τα αναλυτικά διαγράμματα που προκύπτουν από την ανάλυση των δεδομένων για την εύρεση των ταχυτήτων V_{85} παρατίθενται στο Παράρτημα 2.

Εκτός της ταχύτητας V_{85} υπολογίστηκε και η V_{50} , η οποία είναι η ταχύτητα με την οποία κινείται το 50% των οχημάτων υπό συνθήκες ελεύθερης ροής. Στον Πίνακα 5-11 παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε θέση μέτρησης.

Μέση ταχύτητα V_{50}				
Θέση	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Μέσος Όρος
ATC-3 Κόρινθος	44.95	49.92	49.86	48.24
ATC-2b	31.97	33.93	33.41	33.10

Πίνακας 5-11 Μέση ταχύτητα V_{50} προς Κόρινθο

Τέλος υπολογίστηκε και η V_{15} , η οποία είναι η ταχύτητα που κινείται το 15% των οχημάτων υπό συνθήκες ελεύθερης ροής. Στον Πίνακα 5-12 παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε θέση μέτρησης για την κατεύθυνση προς Κόρινθο.

Ταχύτητα V_{15}				
Θέση	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή	Μέσος Όρος
ATC-3 Κόρινθος	21.44	41.44	40.46	34.45
ATC-2b	16.23	29.71	28.19	24.71

Πίνακας 5-12 Ταχύτητα V_{15} προς Κόρινθο

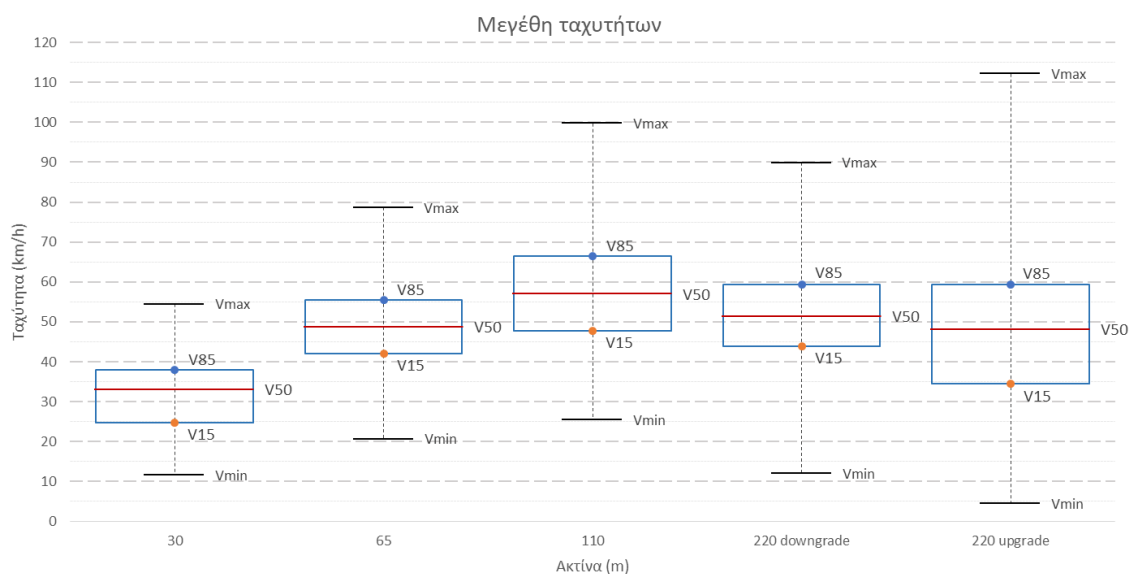
5.3.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ταχυτήτων

Με βάση την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, κατασκευάστηκε το διάγραμμα που αποτυπώνει όλες τις ταχύτητες που μετρήθηκαν στον ανισόπεδο κόμβο κατά την διάρκεια του τριημέρου για όλες τις θέσεις μέτρησης.

Το διάγραμμα αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-22 και απεικονίζει γραφικά όλες τις απαραίτητες ταχύτητες ώστε να αποκτηθεί μια εποπτική εικόνα για την κατάσταση που επικρατεί στον ανισόπεδο κόμβο από άποψη ταχυτήτων που κινούνται τα οχήματα. Για αυτό το λόγο στο διάγραμμα εμφανίζονται:

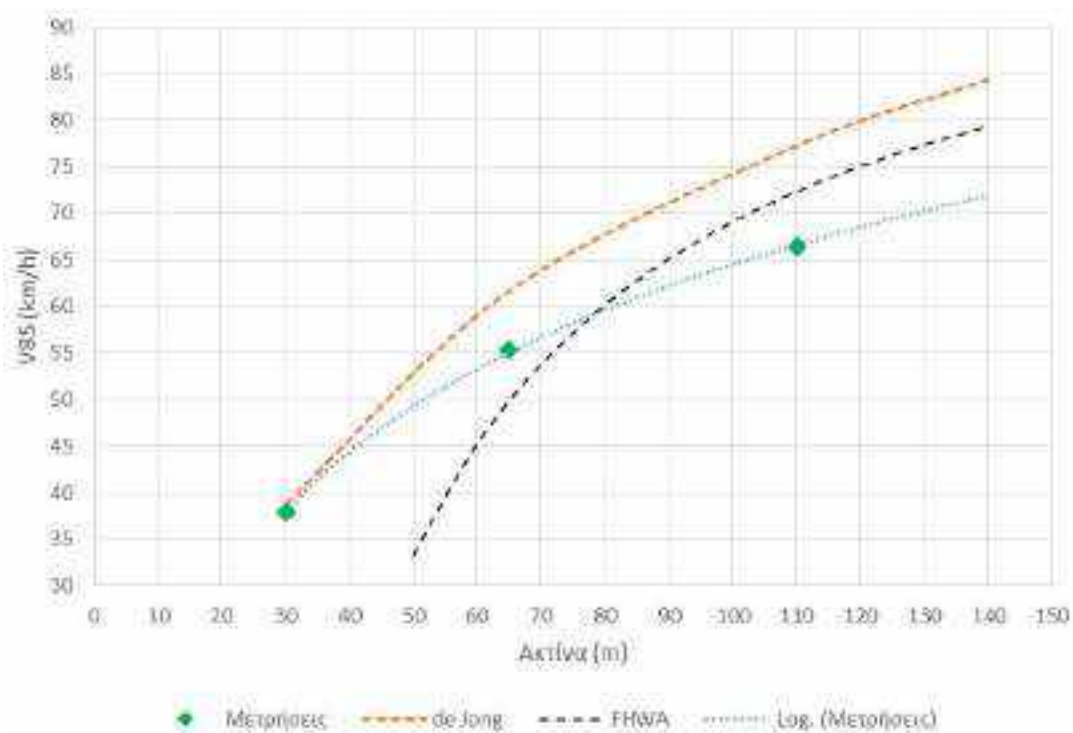
- Η λειτουργική ταχύτητα V_{85}
- Η μέση ταχύτητα V_{50}
- Η ταχύτητα V_{15}
- Η μέγιστη καταγεγραμμένη ταχύτητα $V_{\max}$
- Η ελάχιστη καταγεγραμμένη ταχύτητα $V_{\min}$

Παρατηρείται αύξηση όλων των ταχυτήτων όσο αυξάνει η ακτίνα των κλάδων του ανισόπεδου κόμβου μέχρι την ακτίνα 110 μέτρων. Στην συνέχεια οι ταχύτητες παρουσιάζουν μείωση γεγονός που εξηγείται από την ύπαρξη φωτεινού σηματοδότη πλησίον της θέσης ATC-3 ($R=220m$) σε απόσταση 150 μέτρων με αποτέλεσμα τον πιθανό επηρεασμό των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 5-22 Μεγέθη ταχυτήτων ανάλογα με την ακτίνα του ανισόπεδου κόμβου

Έχοντας πλέον όλα τα απαραίτητα δεδομένα, δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα που συνδέουν την V_{85} με την ακτίνα προκειμένου να γίνει συσχέτιση με τα υπάρχοντα διαγράμματα της διεθνούς βιβλιογραφίας. Χρησιμοποιήθηκαν τα διαγράμματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις του de Jong (2017) και τα διαγράμματα της Federal Highway Administration (FHWA, 1999) για κλίσεις από 0% έως +4% και τα οποία έχουν παρουσιαστεί στο Σχήμα 3-13 και στο Σχήμα 3-14 (Κεφάλαιο 3.8). Στο Σχήμα 5-23 απεικονίζονται οι ταχύτητες V_{85} που καταγράφηκαν κατά την περίοδο των μετρήσεων στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης, συγκριτικά με τα προαναφερθέντα διαγράμματα της διεθνούς βιβλιογραφίας.



Σχήμα 5-23 Λειτουργικές ταχύτητες ανάλογα με την ακτίνα

Από το παραπάνω Σχήμα 5-23 προκύπτει ότι οι ταχύτητες που υπολογίζονται από την FHWA δεν συμπίπτουν με τις μετρήσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας αλλά ούτε και με τα αποτελέσματα της έρευνας του de Jong (2017). Αυτό ενδεχομένως να υποδεικνύει γενικές διαφορές μεταξύ ταχυτήτων που συναντώνται στις υπεραστικές οδούς και στους ανισόπεδους κόμβους παρά την ύπαρξη ίδιας ακτίνας.

Οι μετρήσεις που έγιναν στην παρούσα διπλωματική εργασία συμφωνούν σε μορφή με το διάγραμμα που προκύπτει από τις μετρήσεις του de Jong (2017) για ακτίνες μικρότερες από 50m ωστόσο υπάρχει απόκλιση στην τιμή της V_{85} όσο αυξάνεται η ακτίνα. Αυτή η απόκλιση είναι πιθανό να οφείλεται στην μικρή επίκλιση που υπήρχε

στον υπό εξέταση κόμβο (2.00%) στις μεγάλες ακτίνες σε σχέση με τις επικλίσεις των ανισόπεδων κόμβων που εξετάστηκαν από τον de Jong (2017) στην Ολλανδία (>6.00%).

Η ακτίνα 220 μέτρων και για τις δύο κατευθύνσεις δεν λήφθηκε υπόψη στην συσχέτιση αυτή διότι οι ταχύτητες επηρεάζονται από την ύπαρξη φωτεινού σηματοδότη σε κοντινή απόσταση από την θέση μέτρησης όπως προαναφέρθηκε.

5.3.3 Συσχέτιση ταχυτήτων και ελκτότητας

Σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3.7, η ταχύτητα V_{85} συνδέεται με την ελκτότητα μιας καμπύλης. Στον συγκεκριμένο ανισόπεδο κόμβο οι μόνες καμπύλες για τις οποίες υπήρχε ο πλήρης πίνακας των στοιχείων των κορυφών ήταν οι καμπύλες $R=110\text{m}$ και $R=65\text{m}$. Η ελκτότητα της κάθε μιας από αυτές είναι 578.7 για την ακτίνα $R=110\text{m}$ και 964.6 για την ακτίνα $R=65\text{m}$. Σύμφωνα με το Σχήμα 3-12 του Κεφαλαίου 3.7 η προβλεπόμενη ταχύτητα V_{85} για πλάτος οδού $b=3.75\text{m}$ και η παρατηρούμενη ταχύτητα V_{85} παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5-13.

Ακτίνα	V_{85} measured	V_{85} theory	Διαφορά από θεωρία
110 m	66.40 km/h	71.29 km/h	-6.9%
65 m	55.41 km/h	59.42 km/h	-6.8%

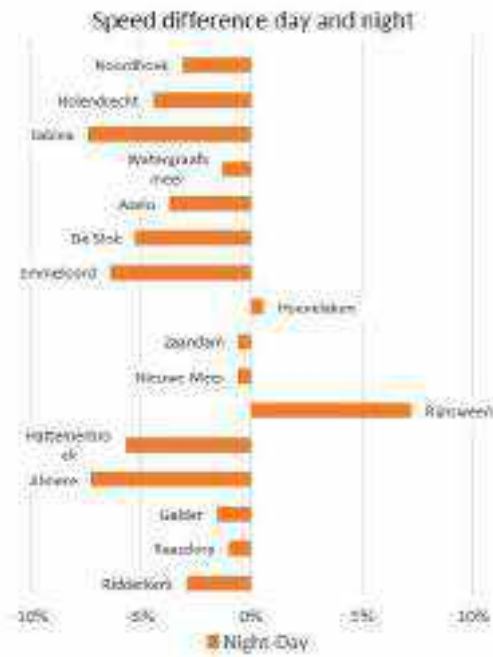
Πίνακας 5-13 Σύγκριση καταγεγραμμένων λειτουργικών ταχυτήτων και λειτουργικών ταχυτήτων υπολογισμένα από την ελκτότητα της καμπύλης

Παρατηρήθηκε ότι η ταχύτητα V_{85} που καταγράφηκε στον ανισόπεδο κόμβο είναι περίπου 7% μικρότερη από την θεωρητική που προκύπτει μέσω της ελκτότητας της κάθε μεμονωμένης καμπύλης. Ωστόσο σημειώνεται ότι το δείγμα οριζοντιογραφικών καμπυλών είναι πολύ μικρό.

5.3.4 Σύγκριση ταχυτήτων μέρα και νύχτα

Σύμφωνα με την μελέτη του de Jong (2017) μετά από συσχέτιση ταχυτήτων V_{50} για μέρα και νύχτα προέκυψε ότι η ταχύτητα που κινούνται τα οχήματα εξαρτάται από την ώρα. Συγκεκριμένα βρέθηκε ότι κατά τις νυχτερινές ώρες η ταχύτητα παρουσιάζει

μείωση της τάξης του 3% σε σχέση με τις ταχύτητες που επικρατούν κατά τις πρωινές ώρες. Ανάλογα με τον ανισόπεδο κόμβο που πραγματοποιήθηκε η ανάλυση, η μείωση αυτή παρουσιάζει διακύμανση και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η μεταβολή αυτή δεν φαίνεται να σχετίζεται με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κόμβου. Τα αποτελέσματα της μελέτης που δείχνουν την διαφορά στις ταχύτητες μεταξύ πρωινών και βραδινών ωρών παρουσιάζονται στο Σχήμα 5-24.



Σχήμα 5-24 Διαφορά μέσης ταχύτητας μεταξύ μέρας (10:00-16:00) και νύχτας (22:00-04:00) (de Jong, 2017)

Στον ανισόπεδο κόμβο του Σκαραμαγκά, πραγματοποιήθηκε παρόμοια ανάλυση προκειμένου να βρεθεί η διαφορά μεταξύ των ταχυτήτων για πρωινές και βραδινές ώρες και να συγκριθεί με τα αποτελέσματα της προαναφερθείσας μελέτης. Οι ταχύτητες που εξετάστηκαν είναι η V_{85} και η V_{50} . Πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων όπως έγινε και στο Κεφάλαιο 5.3.1 με την διαφορά ότι σε αυτή την ανάλυση βρέθηκε το ποσοστό των ταχυτήτων 85% και 50% για τις πρωινές και τις βραδινές ώρες αντί για το σύνολο της ημέρας. Σημειώνεται ότι στην παρούσα διπλωματική εργασία οι πρωινές ώρες θεωρήθηκαν από τις 06:00 έως τις 21:00 και οι νυχτερινές ώρες από 21:00 έως τις 06:00. Τα αποτελέσματα αυτής της επεξεργασίας παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 5-14 για κάθε θέση μέτρησης για τον υπό εξέταση κόμβο. Με αυτή την ανάλυση μπορούν να συγκριθούν τα αποτελέσματα από τις ακτίνες του ανισόπεδου κόμβου του Σκαραμαγκά με τα αποτελέσματα της μελέτης του de Jong (2017).

Ακτίνα	V ₈₅ μέρα	V ₈₅ νύχτα	Διαφορά	V ₅₀ μέρα	V ₅₀ νύχτα	Διαφορά
110	66.11	66.78	1.0%	57.22	56.66	-1.0%
65	55.44	55.32	0.2%	48.98	48.20	-1.6%
30	37.02	38.02	4.3%	30.39	33.84	11.4%
220 ανωφέρεια	58.77	60.53	3.0%	51.31	51.79	0.9%
220 κατωφέρεια	56.18	62.24	10.8%	42.67	51.54	20.8%

Πίνακας 5-14 Ταχύτητες V₈₅ και V₅₀ για πρωινές και νυχτερινές ώρες στον ανισόπεδο κόμβο του Σκαμαμαγκά

Με βάση τα αποτελέσματα από την ανάλυση ταχυτήτων για πρωινές και νυχτερινές ώρες κατασκευάστηκε το διάγραμμα ποσοστιαίας διαφοράς μέσω των ταχυτήτων για κάθε θέση μέτρησης και παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-25.



Σχήμα 5-25 Διαφορά μέσης ταχύτητας μεταξύ μέρας και νύχτας στον ανισόπεδο κόμβο του Σκαμαμαγκά

Από το Σχήμα 5-25 φαίνεται ότι υπάρχει διακύμανση στην διαφορά ταχύτητας μεταξύ ημέρας και νύχτας. Συγκεκριμένα για τις ακτίνες R=110m, R=65m τα αποτελέσματα συμφωνούν με την μελέτη του de Jong για την μείωση της ταχύτητας και είναι της τάξης του -1.5%. Αντίθετα στις ακτίνες R=30m, R=220m ανωφέρεια, R=220m κατωφέρεια τα αποτελέσματα έχουν σημαντική απόκλιση.

Συγκεκριμένα για τις ακτίνες των 220m ισχύουν τα όσα αναφέρθηκαν περί ύπαρξης φωτεινού σηματοδότη και ως εκ τούτου δεν κρίνονται αντιπροσωπευτικά για συσχέτιση. Η ταχύτητα τις βραδινές ώρες ενδεχομένως να παρουσιάζει αυξητική τάση σε εκείνη την καμπύλη εξαιτίας της πιθανής απενεργοποίησης του σηματοδότη μετά από κάποια ώρα με αποτέλεσμα τα οχήματα να κινούνται χωρίς να μειώσουν ταχύτητα.

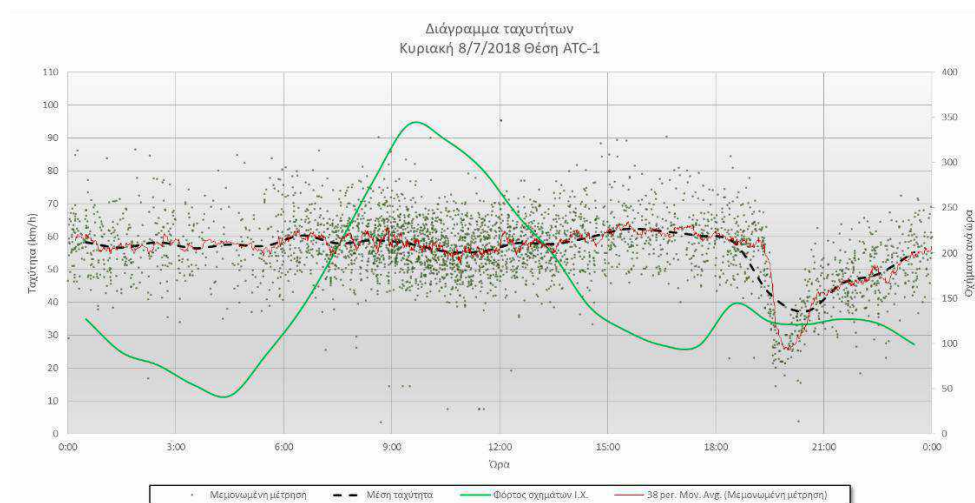
Η ακτίνα 30m παρουσιάζει αρκετό ενδιαφέρον διότι η ταχύτητα των οχημάτων που μετρήθηκε την περίοδο 6/7-9/7 παρουσιάζει αύξηση κατά τις νυχτερινές ώρες της τάξης του 11%.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα δεν προκύπτει κάποια συσχέτιση μεταξύ γεωμετρικών χαρακτηριστικών και της διαφοράς μεταξύ των μετρημένων ταχυτήτων μέρας και νύχτας κυρίως λόγω του μικρού αξιόπιστου δείγματος αλλά και λόγω της διακύμανσης της μείωσης/αύξησης της ταχύτητας σε όλες τις ακτίνες του ανισόπεδου κόμβου. Το παραπάνω συμφωνεί με τα συμπεράσματα που προέκυψαν στην μελέτη του de Jong (2017).

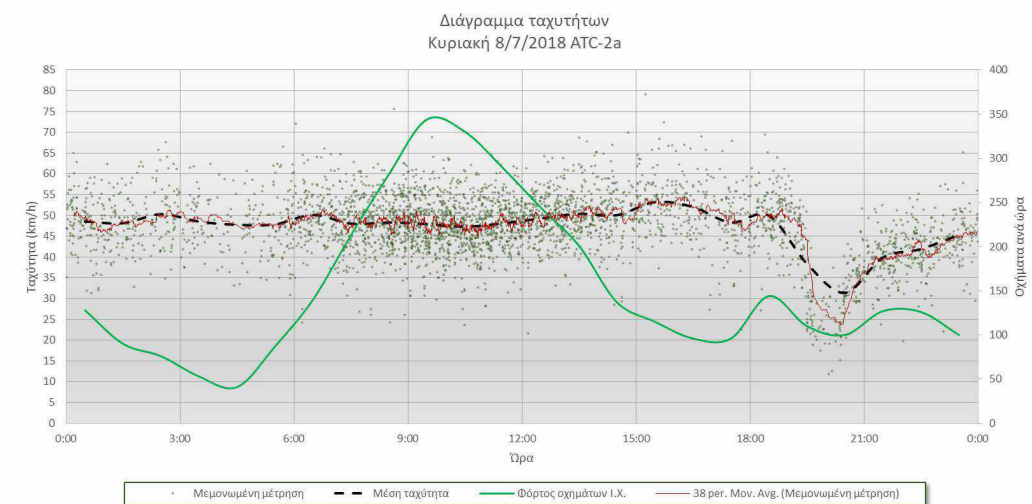
Ωστόσο, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι όλες οι λειτουργικές ταχύτητες V_{85} που παρατηρήθηκαν κατά τις νυχτερινές ώρες ήταν αυξημένες έως και 10.8% αυξάνοντας δυνητικά τον κίνδυνο ατυχήματος κατά τις νυχτερινές ώρες.

5.3.5 Σύγκριση λειτουργικών ταχυτήτων σε βροχή

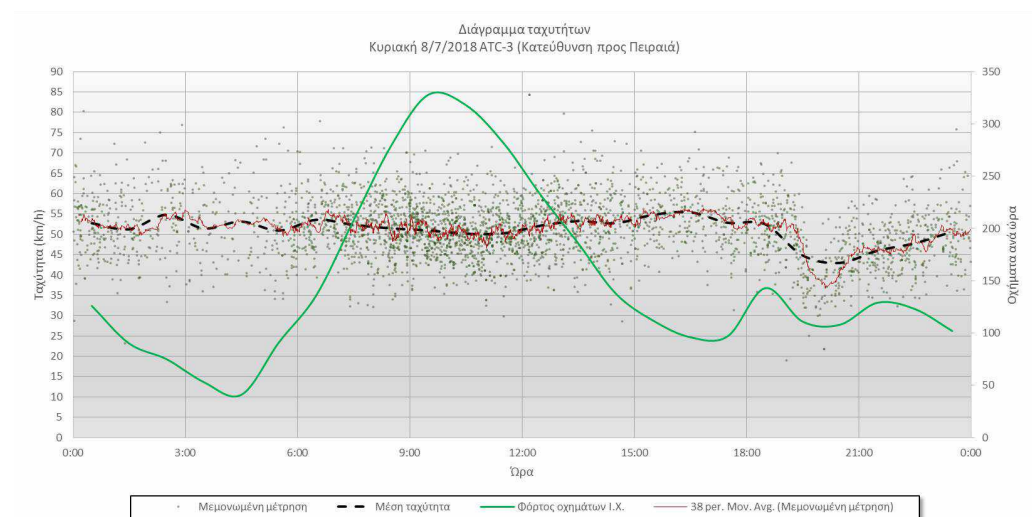
Από τα διαγράμματα που προέκυψαν κατά την ανάλυση ταχυτήτων του ανισόπεδου κόμβου μελέτης και παρουσιάστηκαν στο Παράρτημα 1 όλα παρουσιάζουν διακυμάνσεις στις ταχύτητες που καταγράφηκαν κατά την διάρκεια της ημέρας. Αυτό είναι αναμενόμενο λόγω της διακύμανσης του κυκλοφοριακού φόρτου, της διαφορετικής ημέρας και της ώρας μέτρησης. Ωστόσο ξεχωρίζουν τα διαγράμματα για την Κυριακή 8/7/2018 που φαίνονται στα Σχήματα 5-26 έως 5-30.



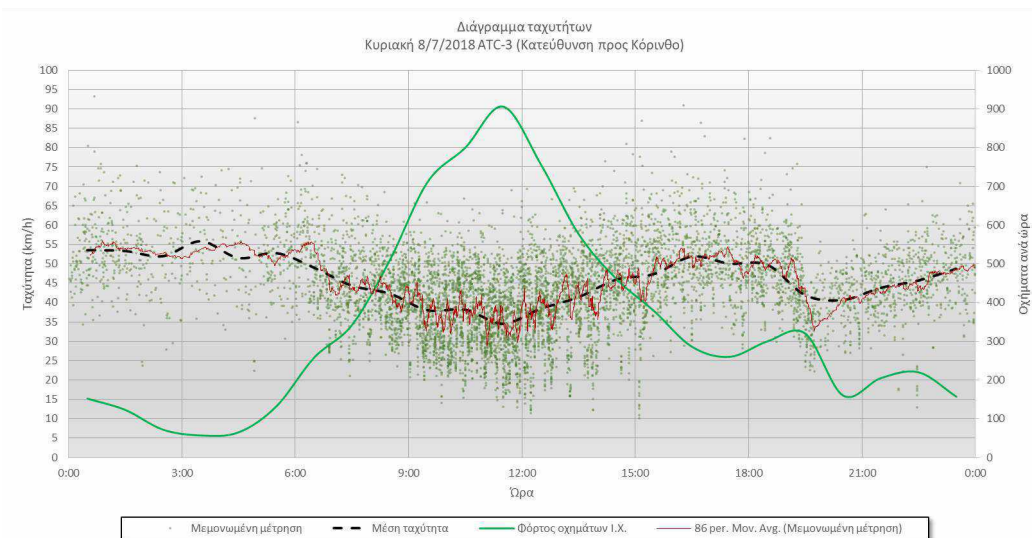
Σχήμα 5-26 Διακύμανση ταχυτήτων και ωριαίου φόρτου την Κυριακή 8/7/2018 στην θέση ATC-1



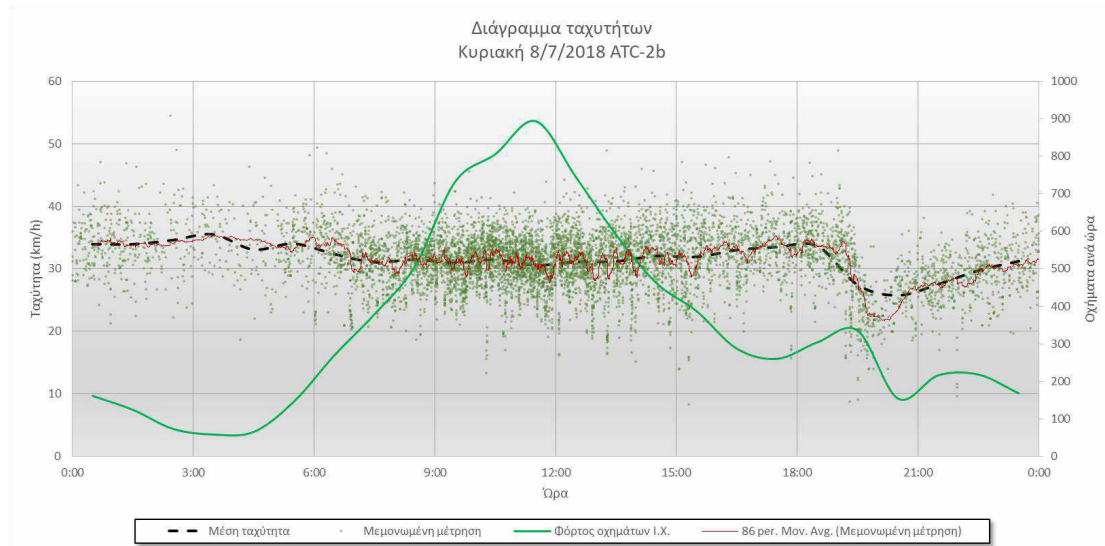
Σχήμα 5-27 Διακύμανση ταχυτήτων και ωριαίου φόρτου την Κυριακή 8/7/2018 στην θέση ATC-2a



Σχήμα 5-28 Διακύμανση ταχυτήτων και ωριαίου φόρτου την Κυριακή 8/7/2018 στην θέση ATC-3 προς Πειραιά



Σχήμα 5-29 Διακύμανση ταχυτήτων και ωριαίου φόρτου την Κυριακή 8/7/2018 στην θέση ATC-3 προς Κόρινθο



Σχήμα 5-30 Διακύμανση ταχυτήτων και ωριαίου φόρτου την Κυριακή 8/7/2018 στην θέση ATC-2b

Ο λόγος που ξεχωρίζουν τα παραπάνω διαγράμματα είναι διότι ενώ κατά την διάρκεια της ημέρας η ταχύτητα δεν μεταβάλλεται σε μεγάλο βαθμό, παρατηρήθηκε μια πτώση της ταχύτητας η οποία ξεκινάει μετά τις 19:00 και η οποία δεν δικαιολογείται από αυξημένο φόρτο. Αυτή η εικόνα παρατηρείται και στις ταχύτητες ελεύθερης ροής όπου φαίνεται η ίδια μείωση στις ταχύτητες.

Δεδομένου ότι αυτή η μείωση υφίσταται την ίδια χρονική στιγμή για όλες τις θέσεις μέτρησης σημαίνει ότι έλαβε χώρα ένα γεγονός που επηρεάζει ολόκληρο τον ανισόπεδο κόμβο. Η εξήγηση αυτού του φαινομένου δίνεται με την βοήθεια των μετεωρολογικών δεδομένων αφού για την Κυριακή 8/7/2018 υπάρχει ξαφνική καταιγίδα η οποία ξεκινάει στις 19:20 όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 5-15.

Time	Temp.	Humidity	Wind	Wind Speed	Precip. mm	Condition
12:20 AM	27 C	54 %	CALM	0 km/h	0.0 mm	Fair
12:50 AM	27 C	58 %	W	7 km/h	0.0 mm	Fair
1:20 AM	27 C	58 %	W	7 km/h	0.0 mm	Fair
1:50 AM	27 C	58 %	W	7 km/h	0.0 mm	Fair
2:20 AM	25 C	65 %	CALM	0 km/h	0.0 mm	Fair
2:50 AM	25 C	61 %	VAR	6 km/h	0.0 mm	Fair
3:20 AM	25 C	61 %	NNW	7 km/h	0.0 mm	Fair
3:50 AM	25 C	61 %	NNW	7 km/h	0.0 mm	Fair
4:20 AM	25 C	61 %	NNW	7 km/h	0.0 mm	Fair
4:50 AM	25 C	65 %	NNW	9 km/h	0.0 mm	Fair
5:20 AM	25 C	65 %	NNW	9 km/h	0.0 mm	Fair
5:50 AM	25 C	65 %	WNW	11 km/h	0.0 mm	Fair
6:20 AM	25 C	65 %	WNW	11 km/h	0.0 mm	Fair
6:50 AM	25 C	65 %	NNW	15 km/h	0.0 mm	Fair
7:20 AM	25 C	69 %	NNW	19 km/h	0.0 mm	Fair
7:50 AM	26 C	65 %	NNW	20 km/h	0.0 mm	Fair
8:20 AM	27 C	58 %	NNW	17 km/h	0.0 mm	Fair

8:50 AM	28 C	54 %	NNW	11 km/h	0.0 mm	Fair
9:20 AM	29 C	51 %	NW	15 km/h	0.0 mm	Fair
9:50 AM	28 C	54 %	NNW	15 km/h	0.0 mm	Fair
10:20 AM	29 C	51 %	NW	20 km/h	0.0 mm	Fair
10:50 AM	30 C	48 %	NNW	19 km/h	0.0 mm	Fair
11:20 AM	30 C	48 %	NW	15 km/h	0.0 mm	Fair
11:50 AM	30 C	45 %	N	15 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
12:20 PM	31 C	46 %	NNW	17 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
12:50 PM	32 C	40 %	NNW	9 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
1:20 PM	32 C	40 %	NNW	7 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
1:50 PM	32 C	40 %	N	9 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
2:20 PM	32 C	40 %	NNW	7 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
2:50 PM	33 C	36 %	VAR	4 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
3:20 PM	34 C	36 %	S	11 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
3:50 PM	33 C	43 %	S	28 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
4:20 PM	32 C	46 %	S	26 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
4:50 PM	30 C	51 %	S	24 km/h	0.0 mm	Mostly Cloudy
5:20 PM	29 C	62 %	S	24 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
5:50 PM	29 C	62 %	S	20 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
6:20 PM	28 C	66 %	S	19 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
6:50 PM	26 C	61 %	E	15 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
7:20 PM	24 C	78 %	NNW	28 km/h	0.0 mm	Heavy T-Storm
7:50 PM	21 C	94 %	S	19 km/h	0.0 mm	Heavy T-Storm
8:20 PM	20 C	100 %	CALM	0 km/h	0.0 mm	Light Rain with Thunder
8:50 PM	20 C	100 %	CALM	0 km/h	0.0 mm	Light Rain with Thunder
9:20 PM	21 C	100 %	CALM	0 km/h	0.0 mm	Light Rain
9:50 PM	21 C	100 %	CALM	0 km/h	0.0 mm	Light Rain
10:20 PM	21 C	100 %	CALM	0 km/h	0.0 mm	Light Rain
10:50 PM	21 C	94 %	CALM	0 km/h	0.0 mm	Mostly Cloudy
11:20 PM	21 C	94 %	CALM	0 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy
11:50 PM	21 C	88 %	CALM	0 km/h	0.0 mm	Partly Cloudy

Πίνακας 5-15 Μετεωρολογικά δεδομένα για την Κυριακή 8/7/2018

Στην έρευνα του de Jong(2017) οι μετεωρολογικές συνθήκες χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες για την ανάλυση των ταχυτήτων ανάλογα με το ύψος βροχής σε mm/5min. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Στεγνές συνθήκες (ύψος βροχής 0 mm/5min)
- Συνθήκες βροχόπτωσης (ύψος βροχής >0mm/5min)
- Συνθήκες έντονης βροχόπτωσης (ύψος βροχής >0.5mm/min)

Σημειώνεται ότι η τρίτη κατηγορία αποτελεί υποκατηγορία της δεύτερης και βοηθάει στην διερεύνηση της επίπτωσης διαφορετικών εντάσεων βροχόπτωσης στις ταχύτητες των οδηγών.

Από τα στοιχεία του Πίνακα 5-15 δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία για το ύψος βροχόπτωσης παρά μόνο η περιγραφή του καιρού για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα. Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση έγινε η παραδοχή ότι η περιγραφή του καιρού

αντιστοιχεί σε κάποια από τις κατηγορίες που αναφέρονται στην μελέτη του de Jong (2017). Η αντιστοίχιση αυτή έγινε ως εξής:

- Στεγνές συνθήκες→Fair
- Συνθήκες βροχόπτωσης→Light rain with thunder, Light rain
- Συνθήκες έντονης βροχόπτωσης→Heavy T-Storm

Με βάση αυτήν την κατηγοριοποίηση είναι πλέον δυνατόν να αναλυθούν τα δεδομένα ταχύτητας σε συσχέτιση με την βροχή. Η ανάλυση αυτή έγινε ως εξής: αρχικά θεωρήθηκε ως ώρα έναρξης βροχόπτωσης στις 19:20 και βρέθηκε η ταχύτητα V_{85} για την προηγούμενη ώρα η οποία είχε στεγνές συνθήκες. Στην συνέχεια βρέθηκε η τιμή της ταχύτητας V_{85} για το χρονικό διάστημα μεταξύ 19:20-20:20 και αυτή η ταχύτητα θεωρήθηκε η ταχύτητα V_{85} σε συνθήκες έντονης βροχόπτωσης. Έπειτα για το χρονικό διάστημα 20:20-22:20 βρέθηκε η ταχύτητα V_{85} σε συνθήκες βροχόπτωσης και τέλος για το διάστημα 22:20-23:20 βρέθηκε η ταχύτητα V_{85} σε συνθήκες υγρού οδοστρώματος μετά την βροχή. Με βάση αυτές τις τιμές βρέθηκε το ποσοστό μείωσης της ταχύτητας V_{85} για την μεταβολή του καιρού, δηλαδή ένα μέγεθος που δείχνει την επιρροή της βροχής στην ταχύτητα των οχημάτων. Στον Πίνακα 5-16 παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Ακτίνα(m)	Ταχύτητα Στεγνό (km/h)	Ταχύτητα Έντονη βροχή (km/h)	Ταχύτητα Βροχή (km/h)	Ταχύτητα Υγρό (km/h)
110	64.55	42.57 (-34.1%)	53.48 (-17.1%)	58.91 (-8.7%)
65	54.15	42.75 (-21.1%)	44.83 (-17.2%)	48.75 (-10.3%)
30	38.94	30.71 (-21.1%)	31.75 (-18.5%)	35.36 (-9.2%)
220 (Κόρινθος)	59.72	47.50 (-20.5%)	51.36 (-14.0%)	56.36 (-5.6%)
220 (Πειραιάς)	59.04	47.73 (-19.2%)	52.30 (-11.4%)	56.82 (-3.8%)

Πίνακας 5-16 Λειτουργικές ταχύτητες V_{85} ανάλογα με την βροχόπτωση

Στον Πίνακα 5-16 οι τιμές της ακτίνας είναι σε μέτρα, η ταχύτητα είναι χιλιόμετρα ανά ώρα και μέσα στην παρένθεση σημειώνεται η μείωση της ταχύτητας σε ποσοστό επί της ταχύτητας στο στεγνό οδόστρωμα.

Σύμφωνα με τον de Jong, όσο μεγαλώνει η ακτίνα της καμπύλης, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσοστιαία μείωση της ταχύτητας. Αυτό γίνεται διότι στις μικρές ακτίνες οι οδηγοί δεν κινούνται με μεγάλη ταχύτητα σε στεγνό οδόστρωμα και έτσι δεν απαιτείται μεγάλη ποσοστιαία μείωση της ταχύτητας όταν το οδόστρωμα είναι υγρό. Αντίθετα στις καμπύλες με μεγάλες ακτίνες, η ταχύτητα των οχημάτων σε στεγνό οδόστρωμα

Στο Σχήμα 5-31 έχουν ενσωματωθεί τα δεδομένα από την μελέτη του de Jong (2017) για τους ανισόπεδους κόμβους με ακτίνα μικρότερη ή ίση από 140m. Αυτοί οι κόμβοι ήταν οι κόμβοι Holendrecht (R=90m), Noordhoek (R=70m), Sabina (R=120m) και Azelo (R=140m). Επειδή στον ανισόπεδο κόμβο που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία η βροχόπτωση έλαβε χώρα την νύχτα, τα ποσοστά μείωσης της ταχύτητας για τους ανισόπεδους κόμβους της μελέτης του de Jong έχουν διορθωθεί για νυχτερινές ώρες σύμφωνα με τα στοιχεία του.

Σημειώνεται ότι το ποσοστό μείωσης που παρουσιάζουν οι λειτουργικές ταχύτητες κατά τις συνθήκες έντονης ξαφνικής βροχόπτωσης είναι κατά πολύ αυξημένες σε σχέση με τα αποτελέσματα του de Jong. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την διάρκεια έντονης βροχόπτωσης εκτός από τον συντελεστή τριβής οδοστρώματος μειώνεται και το μήκος ορατότητας και επίσης στο γεγονός ότι μια ώρα πριν την έναρξη της βροχής (18:20-19:20) υπήρχε ηλιακό φως ενώ κατά την διάρκεια της βροχόπτωσης ήταν νύχτα επηρεάζοντας τις ταχύτητες. Τέλος πρέπει να ληφθεί υπόψη ο ψυχολογικός παράγοντας που καθιστά τους οδηγούς επιφυλακτικούς σχετικά με την ανάπτυξη ταχύτητας κατά την διάρκεια έντονης βροχόπτωσης.

Σύμφωνα με τον de Jong οι συνθήκες βροχής επηρεάζουν την ταχύτητα σε ποσοστά μείωσης που κυμαίνονται μεταξύ 3%-8%. Από την ανάλυση που έγινε στα δεδομένα των μετρήσεων της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρατηρήθηκε μείωση που κυμαίνεται μεταξύ 8.7%~10.2%. Τα παραπάνω αποτελέσματα, αν και λίγο αυξημένα, είναι σε συμφωνία με την προαναφερθείσα έρευνα.

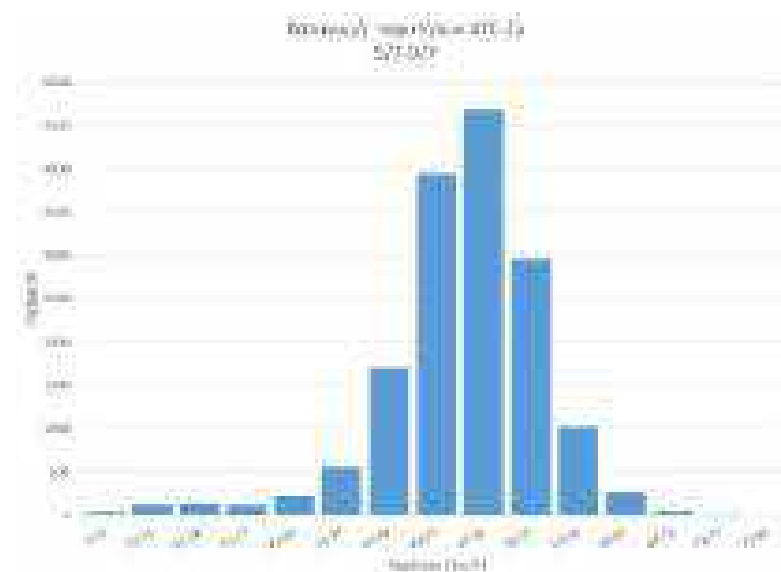
Η μικρή απόκλιση στα ποσοστά πιθανολογείται ότι οφείλεται στις διαφορές μεταξύ των επικλίσεων του ανισόπεδου κόμβου στην θέση του Σκαραμαγκά (2.00%) με τις επικλίσεις στους κόμβους της μελέτης του de Jong (6.30% στον ανισόπεδο κόμβο Almere) και στο γεγονός ότι η βροχόπτωση που παρατηρήθηκε στον ανισόπεδο κόμβο Σκαραμαγκά έλαβε χώρα τις νυχτερινές ώρες που οι ταχύτητες σύμφωνα με τον de Jong μειώνονται περαιτέρω.

5.3.6 Κατανομή ταχυτήτων

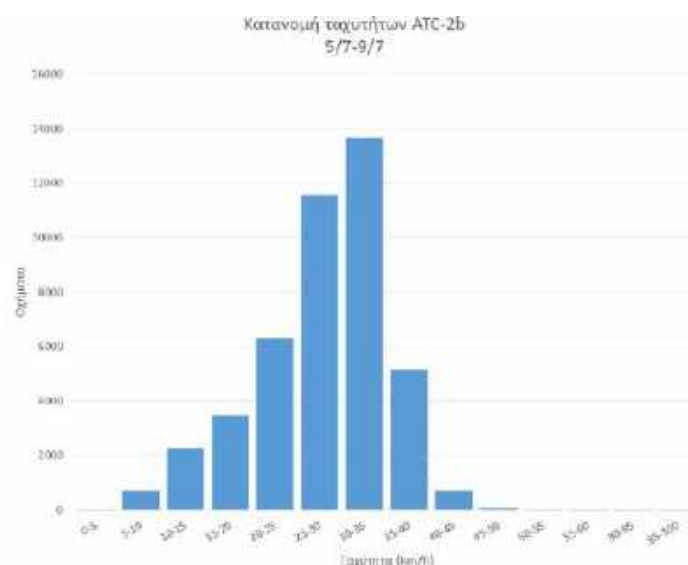
Με βάση τις ταχύτητες που μετρήθηκαν στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης ήταν εφικτό να κατασκευαστούν τα διαγράμματα που δείχνουν την κατανομή των ταχυτήτων κάθε ημέρα. Η κατασκευή των διαγραμμάτων έγινε με την βοήθεια “Pivot Tables” και παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα 8. Κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα κατανομής ταχυτήτων για το τριήμερο 6/7-8/7 για κάθε μέρα ξεχωριστά και στην συνέχεια τα συγκεντρωτικά διαγράμματα όλης της διάρκειας των μετρήσεων, δηλαδή από 5/7-9/7. Στα Σχήματα 5-32 έως 5-36 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά διαγράμματα που προέκυψαν από την παραπάνω ανάλυση.



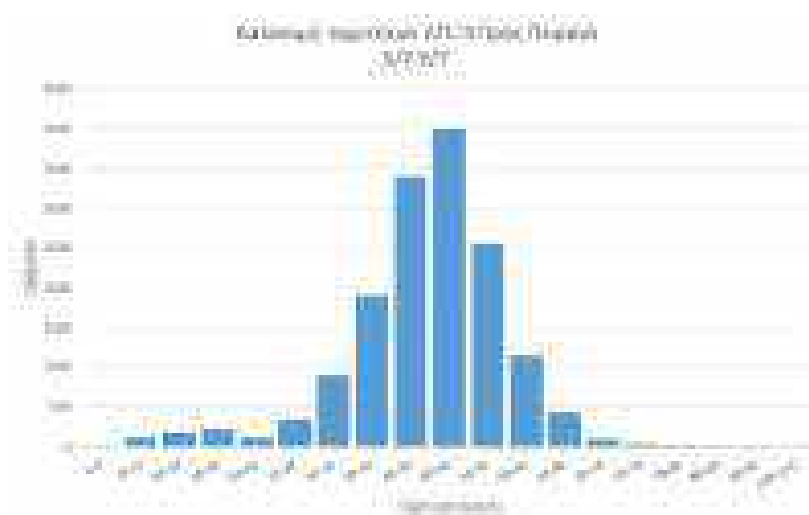
Σχήμα 5-32 Κατανομή ταχυτήτων ATC-1



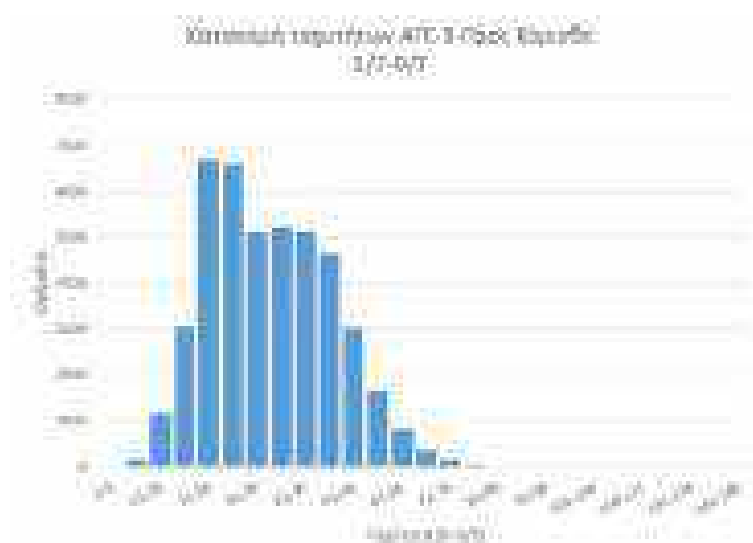
Σχήμα 5-33 Κατανομή ταχυτήτων ATC-2a



Σχήμα 5-34 Κατανομή ταχυτήτων ATC-2b



Σχήμα 5-35 Κατανομή ταχυτήτων ATC-3 προς Πειραιά



Σχήμα 5-36 Κατανομή ταχυτήτων ATC-3 προς Κόρινθο

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται εποπτικά ότι οι ταχύτητες των επιβατηγών οχημάτων στους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου ακολουθούν κατανομή που προσεγγίζει την κανονική κατανομή, όπως υποστηρίζεται από την θεωρία (Κεφάλαιο 3-9).

5.4 Ανάλυση πλευρικών επιταχύνσεων

Στο Κεφάλαιο 4.7 παρουσιάστηκε η μεθοδολογία επεξεργασίας των πλευρικών επιταχύνσεων που κατέγραψε το όχημα με το οποίο πραγματοποιήθηκαν οι διελεύσεις από τον ανισόπεδο κόμβο μελέτης. Στο Παράρτημα 5 παρουσιάζονται τα διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ζευγών ταχύτητας-πλευρικής επιτάχυνσης για κάθε ακτίνα. Από τα διαγράμματα αυτά και με βάση την ανάλυση που αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 4.7 υπολογίστηκαν τα ζεύγη ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων όπως καταγράφηκαν από τις επιτόπου διελεύσεις. Στους Πίνακες 5-17 και 5-18 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης.

Gy ALLER (g)										
R (m)	RUN V85		RUN V85-2		RUN MESI		RUN XALARH		RUN LIGHT	
	Ταχύτητα (km/h)	Gy (g)	Ταχύτητα (km/h)	Gy (g)	Ταχύτητα (km/h)	Gy (g)	Ταχύτητα (km/h)	Gy (g)	Ταχύτητα (km/h)	Gy (g)
500	82.25	0.268	83.41	0.297	74.50	0.276	78.78	0.203	57.70	0.157
110	80.23	0.411	76.80	0.357	67.62	0.240	69.87	0.296	55.69	0.160
65	62.69	0.413	60.09	0.344	51.21	0.233	34.07	0.065	52.31	0.239
220	60.27	0.095	68.87	0.141	62.60	0.120	49.62	0.058	56.27	0.069

Πίνακας 5-17 Πλευρικές επιταχύνσεις ανάλογα με την ταχύτητα διέλευσης για κάθε διέλευση σε κάθε θέση μέτρησης για κατεύθυνση προς Πειραιά

Gy RETOUR (g)										
R (m)	RUN V85		RUN MESI		RUN MESI-2		RUN XALARH		RUN LIGHT	
	Ταχύτητα (km/h)	Gy (g)	Ταχύτητα (km/h)	Gy (g)	Ταχύτητα (km/h)	Gy (g)	Ταχύτητα (km/h)	Gy (g)	Ταχύτητα (km/h)	Gy (g)
220	68.31	0.149	57.14	0.083	77.69	0.183	56.85	0.077	62.78	0.087
56	57.79	0.408	48.69	0.288	52.71	0.390	43.44	0.224	48.62	0.246
30	48.89	0.585	44.77	0.453	42.26	0.415	37.59	0.305	34.29	0.254

Πίνακας 5-18 Πλευρικές επιταχύνσεις ανάλογα με την ταχύτητα διέλευσης για κάθε διέλευση σε κάθε θέση μέτρησης για κατεύθυνση προς Κόρινθο

Οι τιμές Gy που παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-17 και 5-18 είναι οι διορθωμένες τιμές της πλευρικής επιτάχυνσης λαμβάνοντας υπόψη την επίκλιση σε κάθε θέση

μέτρησης μέσω της σχέσης [4-1]. Ο λόγος που έγινε αυτή η διόρθωση είναι προκειμένου να συγκριθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων με τα αποτελέσματα του μοντέλου δυναμικής ανάλυσης κίνησης οχημάτων (Μαυρομάτης, 2017). Επειδή το μοντέλο αυτό υπολογίζει πλευρικές επιταχύνσεις σύμφωνα με το σύστημα των αξόνων που ορίζει το όχημα, ήταν αναγκαίο να γίνει η παραπάνω διόρθωση.

5.4.1 Υπολογισμός συντελεστή τριβής υφιστάμενου οδοστρώματος

Για τον υπολογισμό των θεωρητικών τιμών της πλευρικής επιτάχυνσης που ασκείται σε ένα όχημα όταν διέρχεται από μια καμπύλη του ανισόπεδου κόμβου, ήταν απαραίτητο να υπολογιστεί ο συντελεστής τριβής του υφιστάμενου οδοστρώματος. Για αυτό το λόγο κατά την διάρκεια των επιτόπου διελεύσεων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις πέδησης για διάφορες αρχικές ταχύτητες στην ευθυγραμμία μετά την ακτίνα 220m. Ο τρόπος που έγιναν αυτές οι μετρήσεις ήταν ο ακόλουθος:

- Στην ευθυγραμμία που υπάρχει μετά την καμπύλη ακτίνας $R=220m$ στην κατεύθυνση κίνησης προς Πειραιά ενεργοποιήθηκε ακαριαία το σύστημα πέδησης
- Από τον συνδυασμό των δεδομένων του GPS και του επιταχυνσιόμετρου υπήρχε η δυνατότητα να βρεθεί το χρονικό διάστημα κατά το οποίο επιβράδυνε το όχημα και η μείωση της ταχύτητας που επήλθε από την απότομη πέδηση
- Η μείωση της ταχύτητας διαιρέθηκε δια 3.60 για την μετατροπή της ταχύτητας από km/h σε m/s. Στην συνέχεια το αποτέλεσμα διαιρέθηκε με το χρονικό διάστημα διάρκειας της πέδησης και έπειτα το αποτέλεσμα αυτό διαιρέθηκε με 9.81 m/s^2 ώστε να βρεθεί η επιβράδυνση σε ποσοστό της επιτάχυνσης της βαρύτητας (g)
- Η επιβράδυνση που υπολογίστηκε διορθώθηκε για να ληφθεί υπόψη η κατά μήκος κλίση της οδού που ήταν -4%. Δηλαδή, στο αποτέλεσμα που προέκυψε από την παραπάνω ανάλυση προστέθηκε 0.04.

Η παραπάνω διαδικασία έγινε τρεις φορές για την κατεύθυνση προς Πειραιά με την παραδοχή ότι το οδόστρωμα έχει ίδιο συντελεστή τριβής σε όλους τους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου. Όπως προαναφέρθηκε οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν την

Κυριακή 21 Οκτωβρίου 2018 και οι καιρικές συνθήκες ήταν ηλιόλουστες με στεγνό και καθαρό οδόστρωμα [Παράρτημα 4]. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις ακαριαίες επιβραδύνσεις ήταν $f=0.86$, $f=0.88$ και $f=0.89$. Θεωρήθηκε ότι ο συντελεστής τριβής του υφιστάμενου οδοστρώματος είναι η μέση τιμή των παραπάνω αποτελεσμάτων, δηλαδή **$f=0.88$** .

5.4.2 Υπολογισμός πλευρικών επιταχύνσεων υφιστάμενης κατάστασης

Για τον υπολογισμό των πλευρικών επιταχύνσεων που προκύπτουν για κάθε ταχύτητα διέλευσης, χρησιμοποιήθηκε ένα ειδικά ανεπτυγμένο φύλλο εργασίας του προγράμματος Microsoft Excel σε συνδυασμό με το εργαλείο Solver το οποίο έχει την δυνατότητα να υπολογίζει για κάθε ταχύτητα που εισάγεται, την επιτάχυνση που προκύπτει από το μοντέλο δυναμικής κίνησης οχημάτων (Μαυρομάτης, 2017). Το φύλλο εργασίας αυτό φαίνεται στην Εικόνα 5-1 παρακάτω.

VEHICLE CHARACTERISTICS												
m (kg)	L (m)	A (m²)	cd	h (m)	g (m/s²)	Col (kg/m²)	Car (kg/m²)	p (kg/m³)	u (m/s)	rd (m)	rd (m)	u (m/s)
1200	2.64	1.84	0.34	0.44	1.74	200.18	200.18	1.25	0.12	0.44	1.44	1.44

TIRE CHARACTERISTICS												
Friction	Friction	Friction	Friction	Friction	Friction	Friction	Friction	Friction	Friction	Friction	Friction	Friction
0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88	0.88

ROAD CHARACTERISTICS												
R (m)	a (m)	a (m)	DC (m/s²)	DC (m/s²)	DC (m/s²)	DC (m/s²)	DC (m/s²)	DC (m/s²)	DC (m/s²)	DC (m/s²)	DC (m/s²)	DC (m/s²)
200	7.80	8.80	25	0.000	100.54	100	3.118.197	0.600448923	0.0421230	1005.570372	0.00	100

LOAD TRANSFER CHARACTERISTICS												
Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load
0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000

Results			
Front axle	Front axle	Front axle	Front axle
0.5334	0.5334	0.5334	0.5334

Εικόνα 5-1 Περιβάλλον διεπαφής χρήστη φύλλου εργασίας μοντέλου δυναμικής κίνησης

Επειδή το φύλλο εργασίας αυτό απαιτεί να γίνει αρκετές φορές η εκτέλεση του εργαλείου Solver, συντάχθηκε ένα πρόγραμμα σε Visual Basic for Applications μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να πιάσει το κουμπί “fr calculation for given V” και να υπολογιστεί αυτόματα μέσω δοκιμών η πλευρική επιτάχυνση που προβλέπει το μοντέλο δυναμικής ανάλυσης. Ο κώδικας του προγράμματος αυτού παρατίθεται στο Παράρτημα 6. Στην Εικόνα 5-2 παρακάτω παρουσιάζεται το περιβάλλον του φύλλου εργασίας όπως τροποποιήθηκε για την ενσωμάτωση του παραπάνω προγράμματος.

VEHICLE CHARACTERISTICS													
m (kg)	L (m)	W (m)	cd	h (m)	W (m)	cd (Depend)	cd (Depend)	g (kg/m ²)	α (m/s ²)	β (m/s ²)	γ (m/s ²)	δ (m/s ²)	ε (m/s ²)
1300	2.050	1.050	0.300	0.420	1.400	0.300	0.300	1.20	0.170	0.420	0.170	0.170	0.170
TIRE CHARACTERISTICS													
F-Tire	R-Tire	Ra	Ob	Ra	Ra	Ra (kg)	α (m/s ²)	α (m/s ²)	α (m/s ²)	α (m/s ²)	α (m/s ²)	α (m/s ²)	α (m/s ²)
0.000	0.000	0.130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ROAD CHARACTERISTICS													
R (m)	α (m)	β (m)	γ (m)	δ (m)	ε (m)	ζ (m)	η (m)	θ (m)	ι (m)	κ (m)	λ (m)	μ (m)	ν (m)
1.00	2.00	1.50	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
LOAD TRANSFER CHARACTERISTICS													
Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load	Load
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Speed													
V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)	V (km/h)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Εικόνα 5-2 Τροποποιημένο φύλλο εργασίας για τον υπολογισμό των πλευρικών επιταχύνσεων ανάλογα με την ταχύτητα

Ο τρόπος που χρησιμοποιήθηκε αυτό το φύλλο εργασίας περιγράφεται συνοπτικά παρακάτω.

- Αρχικά εισάγονται τα χαρακτηριστικά οχήματος, ελαστικών και μεταφοράς φορτίου όπως παρουσιάστηκαν στους πίνακες 3-10 έως 3-13.
- Στην συνέχεια για κάθε θέση μέτρησης εισάγονται τα σωστά γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, δηλαδή η ακτίνα της καμπύλης, η επίκλιση και η κατά μήκος κλίση.
- Από την ανάλυση των διαγραμμάτων του Παραρτήματος 5 έχουν προκύψει οι τιμές της πλευρικής επιτάχυνσης που μετρήθηκαν κατά την διέλευση με συγκεκριμένη σταθερή ταχύτητα και παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-17 και 5-18. Στο φύλλο εργασίας εισάγεται μεμονωμένα η ταχύτητα κάθε διέλευσης στο κελί A19.
- Έχοντας εισάγει τα απαραίτητα δεδομένα στο φύλλο εργασίας υπάρχει η δυνατότητα να υπολογισθεί η πλευρική επιτάχυνση που δέχεται το όχημα στον εμπρόσθιο άξονα και στον εμπρός εσωτερικό τροχό για την ταχύτητα που έχει εισαχθεί. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με το πάτημα του κουμπιού “fr calculation for given V”.
- Μέσω αυτής της διαδικασίας υπολογίζεται η πλευρική επιτάχυνση που προκύπτει για δοσμένη σταθερή ταχύτητα, άρα ρυθμό επιτάχυνσης κατά την κίνηση του οχήματος $dv/dt=0$, για τον εμπρός άξονα του οχήματος και για τον εμπρός εσωτερικό τροχό. Επίσης υπολογίζεται ο συντελεστής αξιοποίησης υποδύναμης του οχήματος. Η πλευρική επιτάχυνση του εμπρός άξονα (Front axle f_r) είναι η τιμή του κελιού D19, η πλευρική επιτάχυνση του εμπρός

εσωτερικού τροχού (Front In f_r) είναι η τιμή του κελιού E19 και ο συντελεστής αξιοποίησης ιπποδύναμης ($n \%$) είναι η τιμή του κελιού F11.

Επισημαίνεται ότι το όχημα υπό εξέταση είναι εμπροσθοκίνητο που σημαίνει ότι ο κρίσιμος τροχός ελέγχου θα είναι ο εμπρός εσωτερικός. Από την παραπάνω διαδικασία προέκυψε για κάθε θέση μέτρησης και ταχύτητα, η πλευρική επιτάχυνση που ασκείται στον εμπρόσθιο άξονα θεωρώντας το όχημα σαν δίτροχο και στον εμπρόσθιο εσωτερικό τροχό θεωρώντας το όχημα ως τετράτροχο.

Εν συνεχεία υπολογίστηκε η τιμή πλευρικής επιτάχυνσης που προκύπτει για κάθε καταγεγραμμένη ταχύτητα στις καμπύλες με βάση την υπάρχουσα πρακτική που θεωρεί το όχημα σαν σημείο με συγκεντρωμένη μάζα στο κέντρο μάζας του. Για τον υπολογισμό των πλευρικών επιταχύνσεων που ασκούνται στο όχημα για σταθερή ταχύτητα κατά την διάρκεια της στροφής χρησιμοποιήθηκε ο τύπος υπολογισμού ελάχιστης ακτίνας στις καμπύλες ο οποίος έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3.11.1. Λύνοντας την σχέση αυτή ως προς f_R προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$f_R = \frac{V^2}{127 * R} - q \quad [5-2]$$

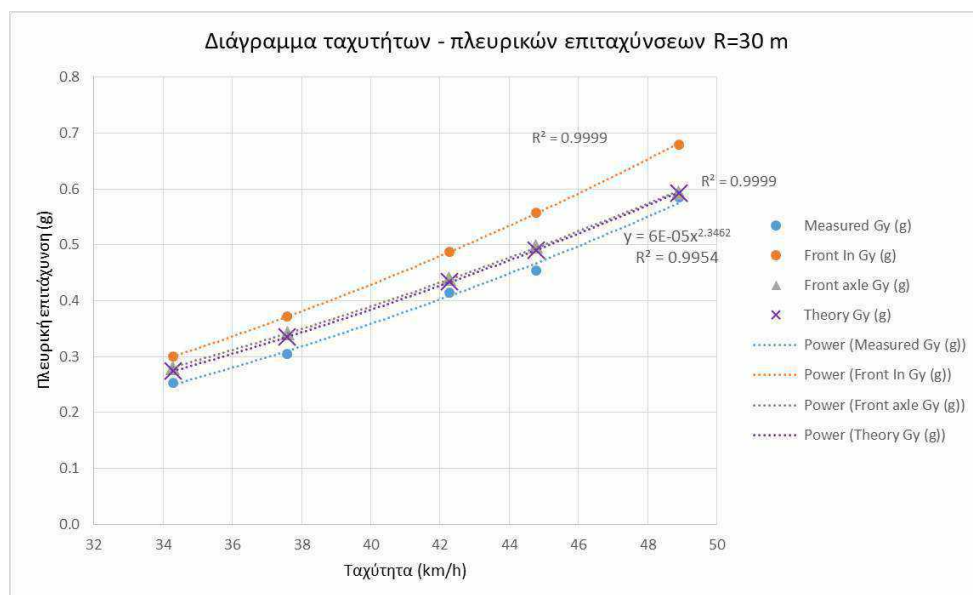
Όπου:

f_R	συντελεστής πλευρικής τριβής
V	ταχύτητα (km/h)
R	ακτίνα καμπύλης (m)
q	επίκλιση οδού (%)

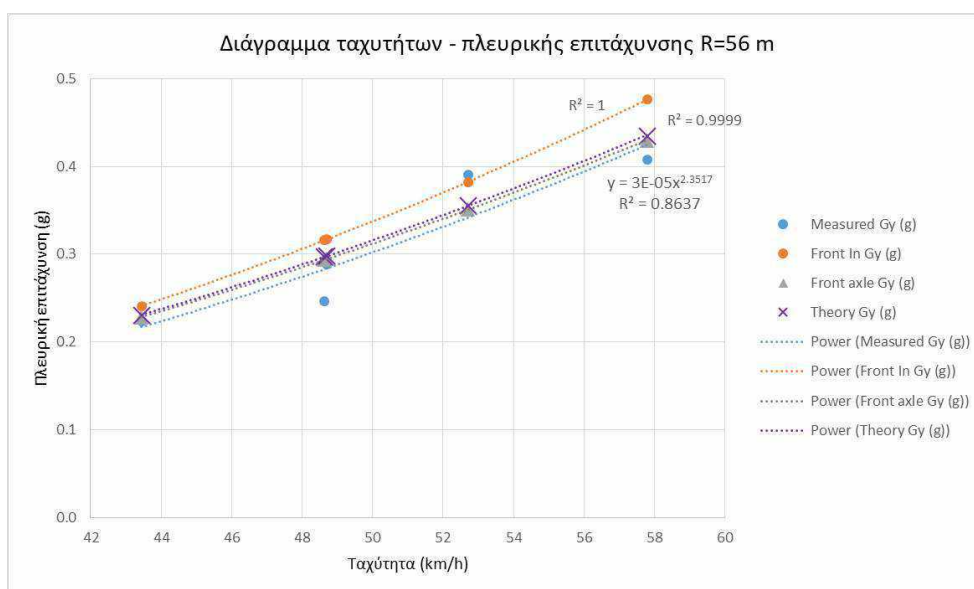
Από την παραπάνω σχέση προκύπτει για κάθε ταχύτητα ο πλευρικός συντελεστής τριβής δηλαδή η πλευρική επιτάχυνση του οχήματος σε g.

Τα αποτελέσματα των ανωτέρω αναλύσεων παρουσιάζονται σε συνδυασμό με τις ταχύτητες και τις επιταχύνσεις που προέκυψαν κατά τις επί τόπου διελεύσεις στους συγκεντρωτικούς πίνακες του Παραρτήματος 5. Από τα δεδομένα των πινάκων κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα που συσχετίζουν τις τιμές πλευρικής επιτάχυνσης των επί τόπου διελεύσεων, με τις πλευρικές επιταχύνσεις που προκύπτουν από την θεωρία για κάθε ακτίνα για τον συντελεστή τριβής οδοστρώματος που προέκυψε από το Κεφάλαιο 5.4.1. Σημειώνεται ότι το επιταχυνσιόμετρο με το οποίο

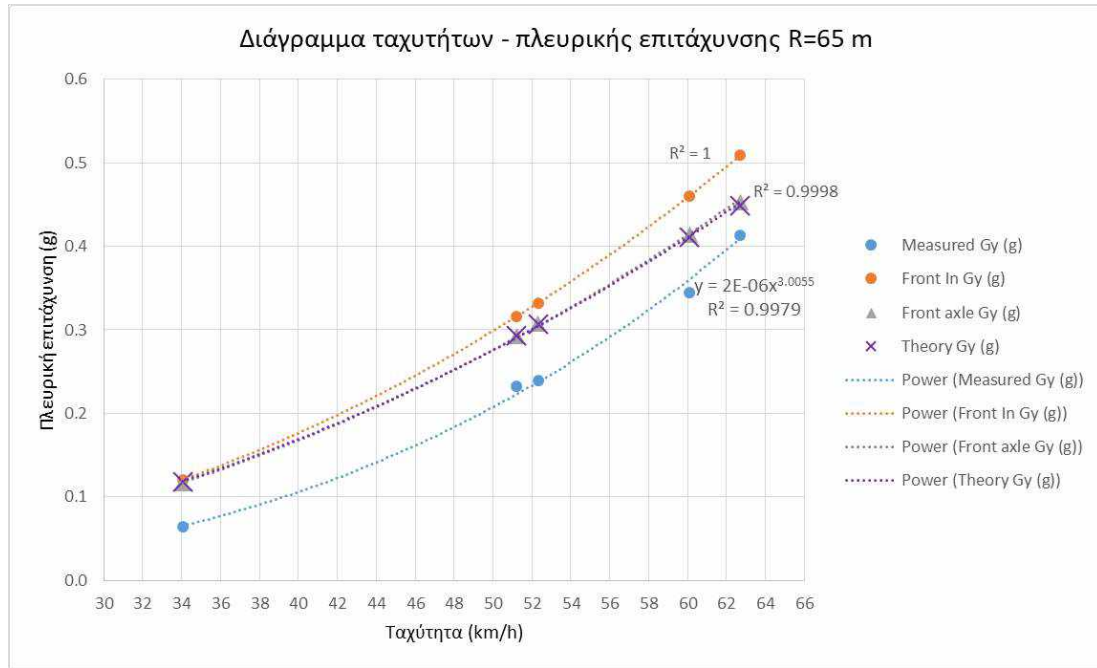
πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις είχε τοποθετηθεί στο μπροστά μέρος του οχήματος και ως εκ τούτου βρίσκεται πιο κοντά στον μπροστινό άξονα. Άρα από το μοντέλο δυναμικής κίνησης (Μαυρομάτης, 2017) εκτός από τον εσωτερικό τροχό ελέγχθηκαν και οι πλευρικές επιταχύνσεις του εμπρός άξονα θεωρώντας το όχημα σαν δίτροχο. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζονται στα Σχήματα 5-37 έως 5-42.



Σχήμα 5-37 Σύγκριση ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων επί τόπου μετρήσεων και θεωρητικών μοντέλων για την ακτίνα R=30m



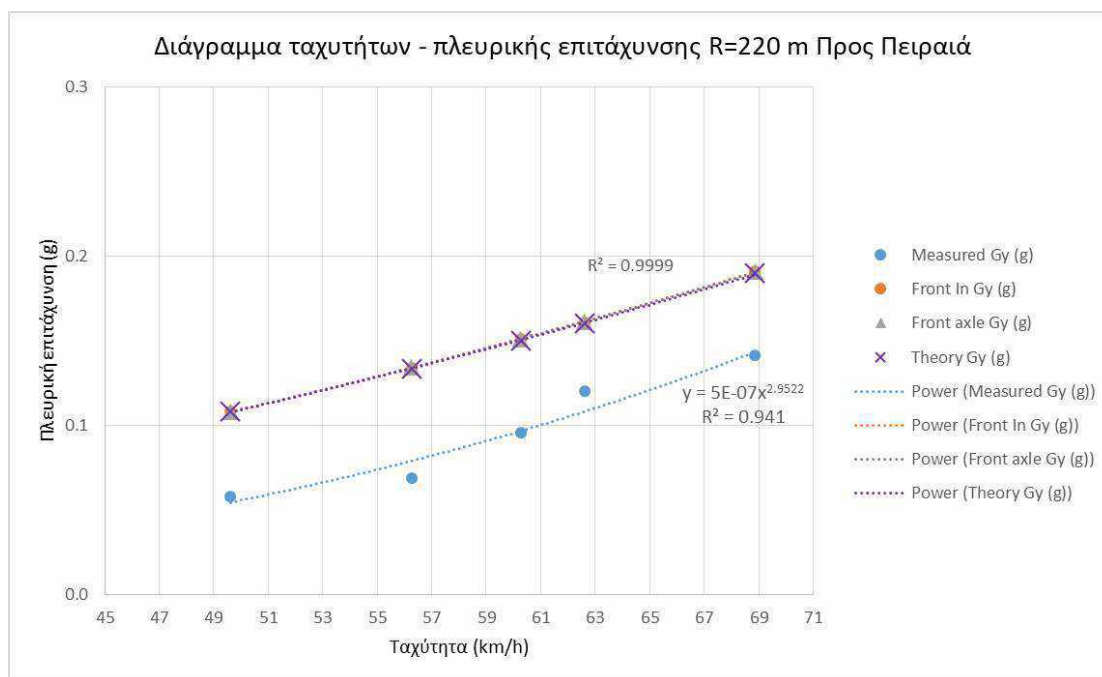
Σχήμα 5-38 Σύγκριση ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων επί τόπου μετρήσεων και θεωρητικών μοντέλων για την ακτίνα R=56m



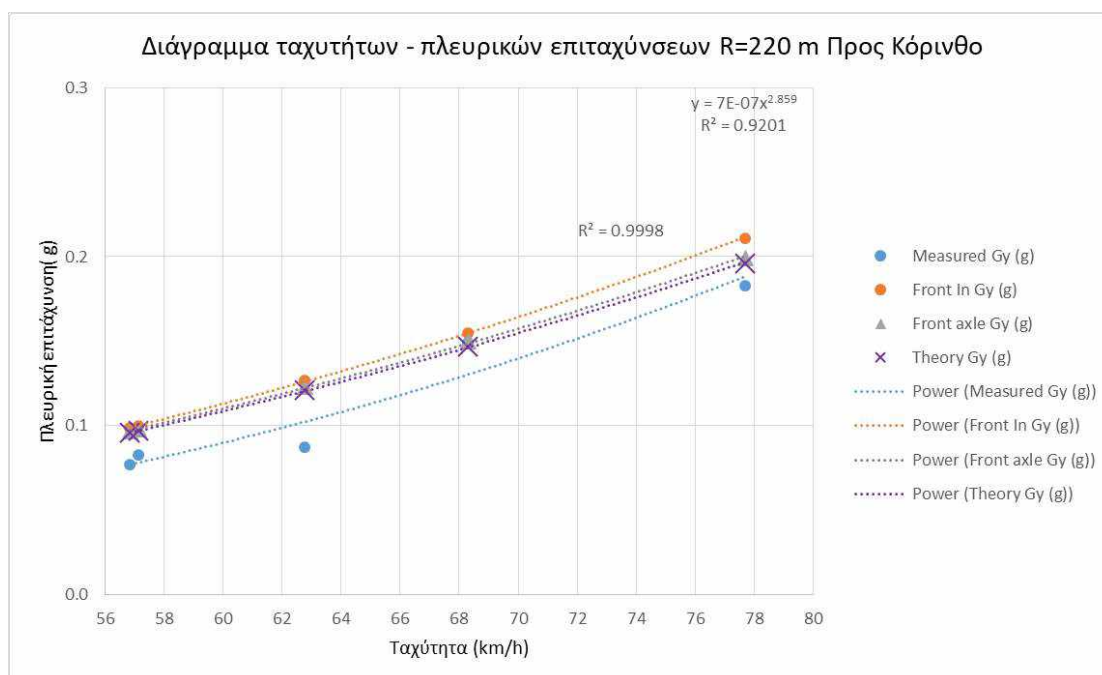
Σχήμα 5-39 Σύγκριση ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων επί τόπου μετρήσεων και θεωρητικών μοντέλων για την ακτίνα R=65m



Σχήμα 5-40 Σύγκριση ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων επί τόπου μετρήσεων και θεωρητικών μοντέλων για την ακτίνα R=110m



Σχήμα 5-41 Σύγκριση ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων επί τόπου μετρήσεων και θεωρητικών μοντέλων για την ακτίνα R=220m και κατά μήκος κλίση -4% προς Πειραιά



Σχήμα 5-42 Σύγκριση ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων επί τόπου μετρήσεων και θεωρητικών μοντέλων για την ακτίνα R=220m και κατά μήκος κλίση 4% προς Κόρινθο

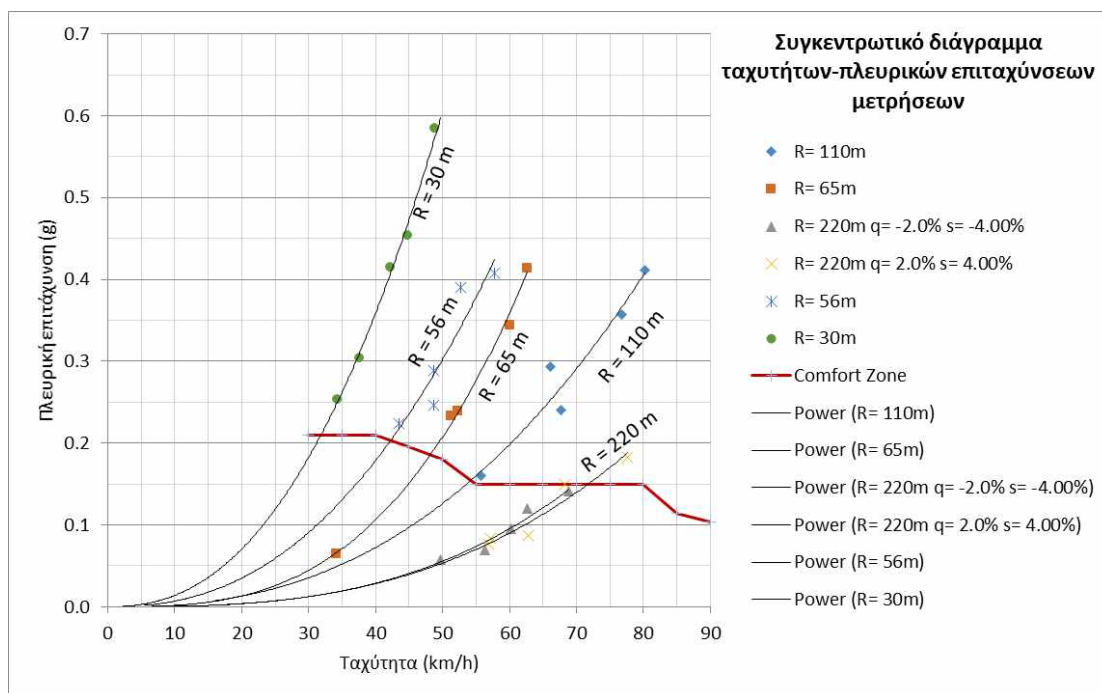
Από την παραπάνω ανάλυση και τα διαγράμματα που προέκυψαν εξάγονται τα κάτωθι συμπεράσματα σχετικά με την συσχέτιση της ακτίνας, της ταχύτητας διέλευσης και της πλευρικής επιτάχυνσης που δέχεται το όχημα:

- Η πλευρική επιτάχυνση που προκύπτει από το μοντέλο δυναμικής κίνησης οχημάτων (Μαυρομάτης, 2017) για τον εμπρός άξονα, ταυτίζεται με τα αποτελέσματα της υπάρχουσας πρακτικής για τον υπολογισμό του πλευρικού συντελεστή τριβής. Ωστόσο η πλευρική επιτάχυνση που προκύπτει για τον εμπρός εσωτερικό τροχό είναι μεγαλύτερη από την πλευρική επιτάχυνση που προκύπτει από την υπάρχουσα πρακτική, δηλαδή ο εμπρός εσωτερικός τροχός έχει την δυνατότητα να ολισθήσει ακόμα και για τιμές επιτάχυνσης τις οποίες η υπάρχουσα πρακτική θεωρεί ασφαλείς.
- Οι πλευρικές επιταχύνσεις που μετρήθηκαν για κάθε καμπύλη και ταχύτητα είναι μικρότερες από τις προβλεπόμενες από τα υπάρχοντα μοντέλα υπολογισμού.
- Η πλευρική επιτάχυνση που δέχεται το όχημα αυξάνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα όπως είναι αναμενόμενο.
- Η πλευρική επιτάχυνση που δέχεται ένα όχημα μειώνεται όσο αυξάνεται η ακτίνα της καμπύλης. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αύξηση της ταχύτητας αφού οι οδηγοί δεν αισθάνονται δυσφορία λόγω πλευρικών επιταχύνσεων.
- Στην περίπτωση διέλευσης στην ακτίνα $R=220\text{m}$ προς Πειραιά, παρατηρείται ταύτιση των αποτελεσμάτων σε όλα τα μοντέλα πρόβλεψης.

Από την παραπάνω ανάλυση κατασκευάστηκε το συγκεντρωτικό διάγραμμα ταχυτήτων-πλευρικών επιταχύνσεων που μετρήθηκαν στις επί τόπου διελεύσεις σε συνδυασμό με το όριο άνεσης των οδηγών όπως ορίζεται από τους αμερικάνικους κανονισμούς (AASHTO,2018) όπως φαίνεται στον Πίνακα 5-19 παρακάτω. Το διάγραμμα που προέκυψε από τον συνδυασμό αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-43 παρακάτω.

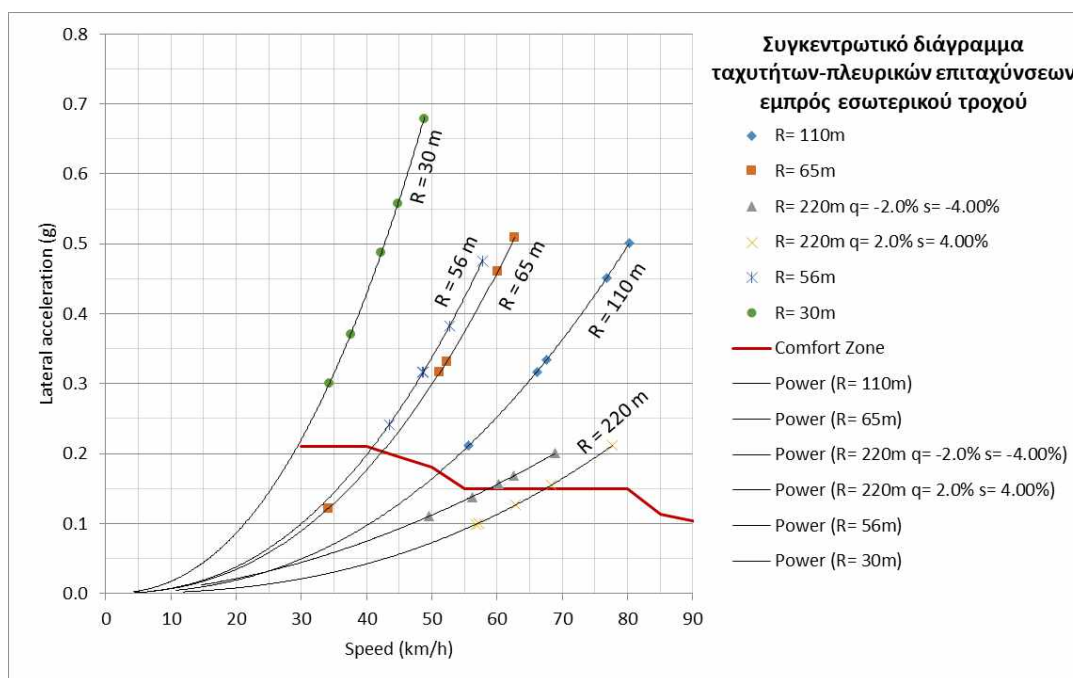
Comfortable acceleration threshold versus speed		
Speed Range [km/h]	Comfortable Side Friction Factor Equation	$ a_{max} $ [m/s ²]
$V \leq 40$	0,21	2,06
$40 < V \leq 50$	$0,33 - 0,003V$	$3,24 - 0,029 \cdot V$
$50 < V \leq 55$	$0,48 - 0,006V$	$4,71 - 0,059 \cdot V$
$55 < V \leq 80$	0,15	1,47
$80 < V \leq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

Πίνακας 5-19 Τιμές πλευρικής επιτάχυνσης για άνεση των επιβατών οχήματος (AASHTO, 2018)



Σχήμα 5-43 Συγκεντρωτικό διάγραμμα ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων επί τόπου μετρήσεων για κάθε ακτίνα

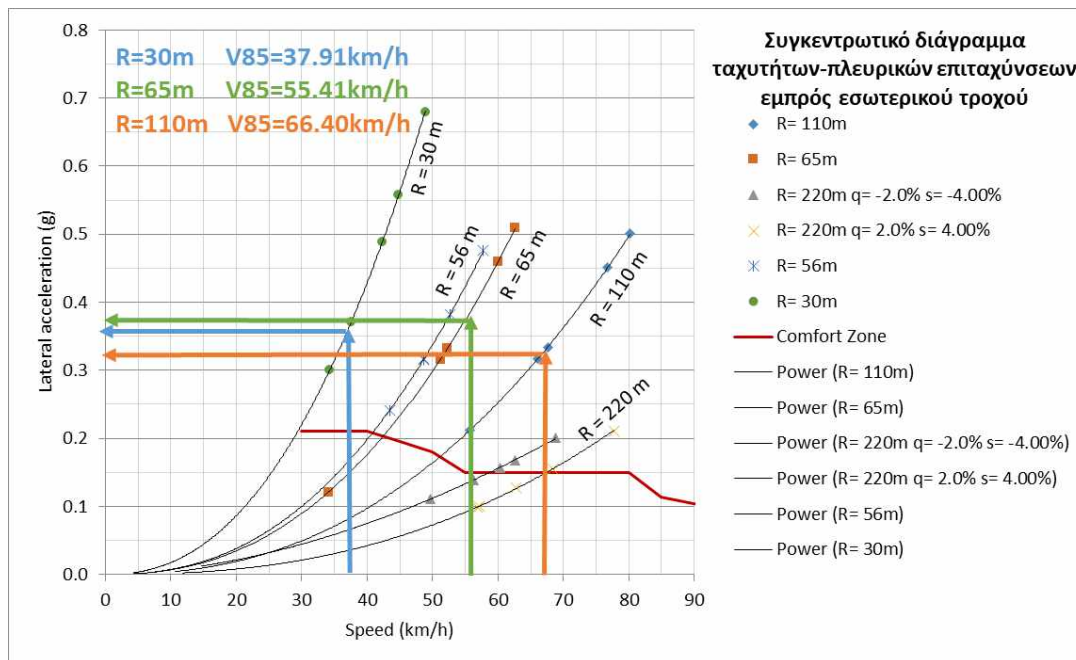
Στην συνέχεια κατασκευάστηκε το συγκεντρωτικό διάγραμμα ταχυτήτων-πλευρικών επιταχύνσεων που προκύπτει από το μοντέλο δυναμικής κίνησης οχημάτων (Μαυρομάτης, 2017) για τον εμπρός εσωτερικό τροχό, σε συνδυασμό με το όριο άνεσης και φαίνεται στο Σχήμα 5-44.



Σχήμα 5-44 Συγκεντρωτικό διάγραμμα ταχυτήτων και πλευρικών επιταχύνσεων από το θεωρητικό μοντέλο δυναμικής κίνησης οχημάτων (Μαυρομάτης, 2017) για τον εμπρός εσωτερικό τροχό για κάθε ακτίνα

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι στις καμπύλες ακτίνας μικρότερη από 220m καμία διέλευση δεν αντιστοιχούσε σε πλευρική επιτάχυνση άνεσης. Οι ακτίνες αυτές αντιστοιχούν στην θέση μέτρησης ATC-3. Αυτό το συμπέρασμα οδήγησε στην εξέταση των λειτουργικών ταχυτήτων V_{85} που επικρατούν στις καμπύλες αυτές σε σχέση με το όριο άνεσης που ορίζεται από τις οδηγίες AASHTO.

Εφόσον παρατηρείται ικανοποιητική συσχέτιση των πλευρικών επιταχύνσεων που καταγράφηκαν από τις επί τόπου διελεύσεις με τις προβλεπόμενες από τα θεωρητικά μοντέλα για τον εμπρός εσωτερικό τροχό, βρέθηκαν οι πλευρικές επιταχύνσεις που δέχονται τα οχήματα που καταγράφηκαν το τριήμερο 6-8 Ιουλίου 2018 από το Σχήμα 5-44. Το διάγραμμα που προέκυψε παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-45.



Σχήμα 5-45 Πλευρικές επιταχύνσεις που δέχονται τα οχήματα που κινούνται στον ανισόπεδο κόμβο σύμφωνα με τις μετρήσεις ταχυτήτων του τριημέρου 6/7-8/7

Παρατηρείται ότι και στις τρεις εξεταζόμενες περιπτώσεις οι λειτουργικές ταχύτητες V_{85} οι οποίες καταγράφηκαν κατά το τριήμερο αυτό, δημιουργούν πλευρικές επιταχύνσεις μεγαλύτερες από τις τιμές άνεσης που ορίζουν οι αμερικάνικοι κανονισμοί, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5-20.

Ακτίνα (m)	30	65	110
Πλευρική επιτάχυνση (g) για λειτουργική ταχύτητα	0.364	0.386	0.320
Πλευρική επιτάχυνση (g) άνεσης	0.210	0.150	0.150

Πίνακας 5-20 Πλευρική επιτάχυνση λειτουργικής ταχύτητας συγκριτικά με την πλευρική επιτάχυνση άνεσης

5.4.3 Υπολογισμός πλευρικών επιταχύνσεων για διαφορετικές τιμές του συντελεστή τριβής

Η κατάσταση του οδοστρώματος μεταβάλλεται λόγω της παρόδου του χρόνου, της φθοράς των υλικών, των περιβαλλοντικών συνθηκών και του καιρού. Συνέπεια αυτού είναι η μείωση του συντελεστή τριβής μεταξύ οδοστρώματος και ελαστικού όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 3-5 στο Κεφάλαιο 3.10.

Λόγω αυτής της μεταβολής των χαρακτηριστικών τριβής του οδοστρώματος κρίθηκε σκόπιμο να κατασκευαστούν τα διαγράμματα που υπολογίζουν την μέγιστη σταθερή ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα σε κάθε οριζοντιογραφική ακτίνα χωρίς να υπάρχει κίνδυνος ολίσθησης για διάφορες τιμές του συντελεστή τριβής. Ο κρίσιμος τροχός είναι ο εμπρός εσωτερικός τροχός αφού κατά την διάρκεια στροφής, αυτός θα ολισθήσει πρώτος στα εμπροσθοκίνητα οχήματα.

Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά χρονοβόρα χρησιμοποιώντας το φύλλο εργασίας που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο διότι απαιτεί πολλές δοκιμές για να βρεθεί η ταχύτητα για οριακή πλευρική επιτάχυνση στον κρίσιμο τροχό. Δημιουργήθηκε λοιπόν η ανάγκη να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία ώστε να υπολογίζεται εύκολα η μέγιστη ταχύτητα για δοσμένες τιμές ακτίνας και συντελεστών τριβής. Έτσι χρησιμοποιώντας την γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic for Applications κατασκευάστηκε μια μακροεντολή για την άμεση εύρεση της μέγιστης ταχύτητας. Στο Παράρτημα 6 δίνεται ο κώδικας που απαρτίζει αυτό το πρόγραμμα.

Στην Εικόνα 5-3 φαίνεται το τροποποιημένο περιβάλλον διεπαφής χρήστη του λογιστικού φύλλου Excel για την συγκεκριμένη ανάλυση.

Στην συνέχεια παρουσιάζεται συνοπτικά τρόπος χρήσης του παραπάνω φύλλου εργασίας:

- Αυτή η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για κάθε καμπύλη που έγιναν οι επί τόπου διελεύσεις. Στον υπό ανάλυση ανισόπεδο κόμβο η επίκλιση στις καμπύλες είναι $q=2.00\%$ στις ακτίνες $R=110m$, $R=65m$ και $R=220m$ προς Κόρινθο, $q=-2.00\%$ στην ακτίνα $R=220m$ προς Πειραιά και $q=3.50\%$ στις ακτίνες $R=56m$, $R=30m$. Για αυτές τις τιμές έγινε ανάλυση της μέγιστης ταχύτητας για διάφορες τιμές του συντελεστή τριβής και αποτυπώθηκε η υφιστάμενη κατάσταση. Έπειτα αναλύθηκε η μέγιστη

ταχύτητα που θα είχαν τα οχήματα για επίκλιση 2.50% που είναι και η ελάχιστη που προτείνεται από τις οδηγίες (OMOE-AK, 2003 / RAA, 2008) και για επίκλιση 7.00% που είναι και η προτεινόμενη μέγιστη επίκλιση στις οριζόντιες καμπύλες κλάδων ανισόπεδων κόμβων.

Εξετάστηκαν οι συντελεστές τριβής:

- Υφιστάμενος συντελεστής τριβής $f=0.88$
- Συντελεστής τριβής στεγνού οδοστρώματος $f=0.80$
- Συντελεστής τριβής παλιάς επιφάνειας οδοστρώματος $f=0.70$
- Συντελεστής τριβής λειασμένης επιφάνειας οδοστρώματος $f=0.60$
- Συντελεστής τριβής υγρού οδοστρώματος $f=0.5$

Οι τιμές αυτές λήφθηκαν μέσω του Πίνακα 3-5 για την καλύτερη εποπτεία των ταχυτήτων ανάλογα με την μεταβολή του συντελεστή τριβής. Στην συνέχεια από το θεωρητικό μοντέλο δυναμικής ανάλυσης κίνησης οχημάτων (Μαυρομάτης, 2017) προέκυψαν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στα παρακάτω κεφάλαια.

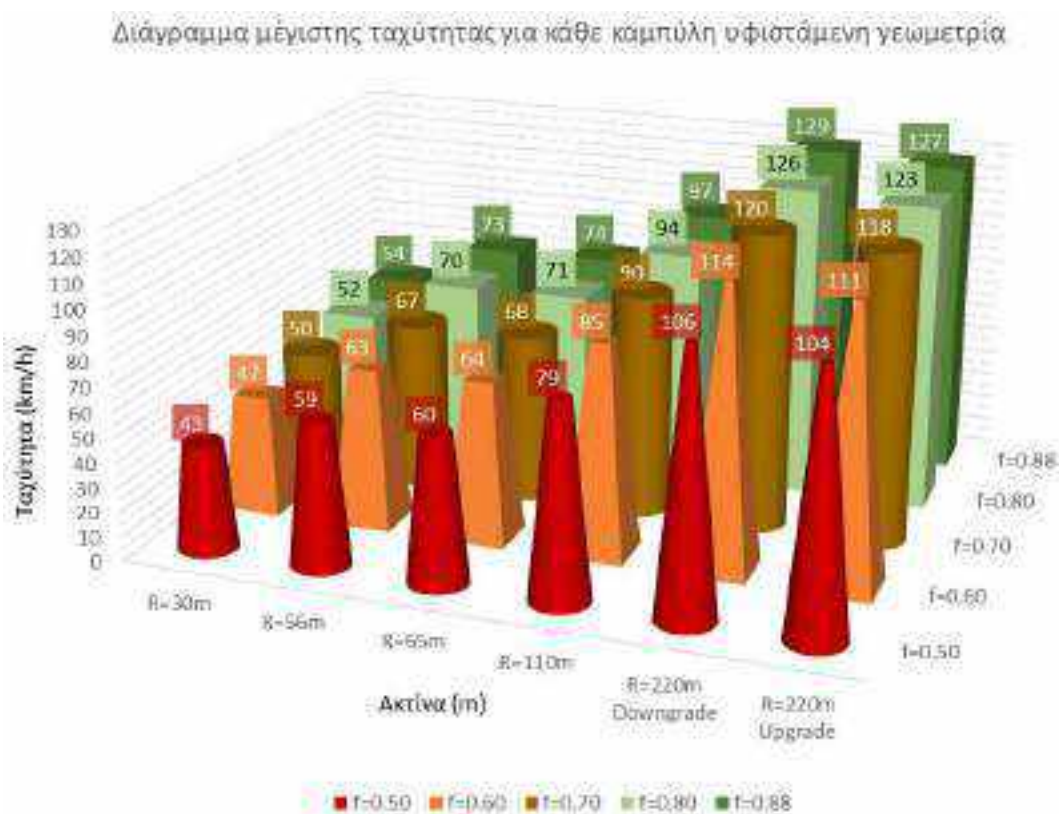
5.5 Μέγιστες σταθερές ταχύτητες

Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε μέσω του εξειδικευμένου λογισμικού που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 5.4.2 και στο Κεφάλαιο 5.4.3 υπολογίστηκαν οι μέγιστες σταθερές ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα κινούμενο στους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου μελέτης χωρίς να βρεθεί σε οριακή κατάσταση ολίσθησης. Η ανάλυση έγινε για τον εμπρός εσωτερικό τροχό και εξετάζοντας το όχημα ως τετράτροχο σύμφωνα με την δυναμική ανάλυση κίνησης οχημάτων (Μαυρομάτης, 2017).

5.5.1 Μέγιστες σταθερές ταχύτητες υφιστάμενης κατάστασης

Ο ανισόπεδος κόμβος που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία χαρακτηρίζεται από επικλίσεις μικρότερες από τις ελάχιστες επιτρεπόμενες σύμφωνα με τις σύγχρονες οδηγίες σχεδιασμού και σε μια περίπτωση υπάρχει και αρνητική

επίκλιση. Ήταν απαραίτητο να βρεθούν οι μέγιστες σταθερές ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα κινούμενο στον ανισόπεδο κόμβο για την υφιστάμενη κατάσταση προκειμένου να συσχετισθεί με τις καταγεγραμμένες ταχύτητες των επιβατηγών οχημάτων. Για αυτό δημιουργήθηκε το διάγραμμα μεγίστων σταθερών ταχυτήτων που μπορούν να αναπτυχθούν στον υπό μελέτη ανισόπεδο κόμβο με βάση τα υφιστάμενα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του ανισόπεδου κόμβου και για τους συντελεστές τριβής $f=0.88$, $f=0.80$, $f=0.70$, $f=0.60$, $f=0.50$. Στο Σχήμα 5-46 φαίνονται οι μέγιστες σταθερές ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει ένα τυπικό όχημα για διάφορες τιμές συντελεστή τριβής του οδοστρώματος με βάση την υφιστάμενη γεωμετρία του ανισόπεδου κόμβου μελέτης.



Σχήμα 5-46 Μέγιστη ταχύτητα για κάθε οριζόντια καμπύλη του ανισόπεδου κόμβου με βάση την υφιστάμενη γεωμετρία

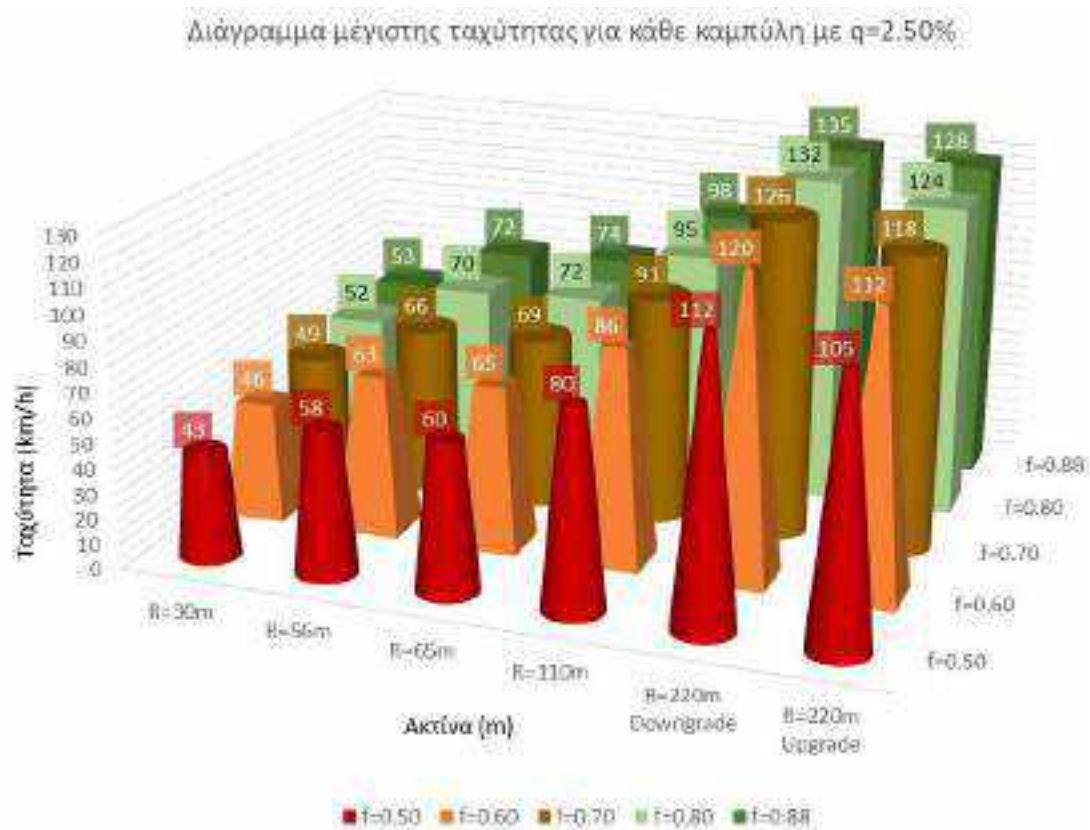
Όπως αναμένεται, παρουσιάζεται πτώση της μέγιστης ταχύτητας που μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα όσο μειώνεται ο συντελεστής τριβής και το εύρος αυτής της πτώσης είναι μεγαλύτερο όσο αυξάνει η ακτίνα. Η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης ταχύτητας για κάθε συντελεστή τριβής συγκριτικά την μέγιστη ταχύτητα για $f=0.88$ και την υφιστάμενη επίκλιση, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-47.



Σχήμα 5-47 Ποσοστιαία μείωση της μέγιστης ταχύτητας συγκριτικά με τον υφιστάμενο συντελεστή τριβής $f=0.88$ και υφιστάμενη επίκλιση για διάφορους συντελεστές τριβής

5.5.2 Μέγιστες σταθερές ταχύτητες για ελάχιστη επίκλιση 2.50%

Κατασκευάστηκε το αντίστοιχο διάγραμμα για την θεωρητική κατάσταση στην οποία η επίκλιση της οδού είναι 2.50% σε όλες τις καμπύλες. Ο λόγος που έγινε αυτή η ανάλυση είναι διότι η επίκλιση 2.50% είναι η ελάχιστη που προτείνεται από τις διεθνείς οδηγίες σχεδιασμού (AASHTO, 2018 / RAA, 2008 / OMOE-AK, 2003). Στο Σχήμα 5-48 φαίνονται οι μέγιστες σταθερές ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει ένα τυπικό όχημα για διάφορες τιμές συντελεστή τριβής του οδοστρώματος με την παραδοχή επικλίσεων $q=2.50\%$ σε όλες τις οριζοντιογραφικές καμπύλες του ανισόπεδου κόμβου.

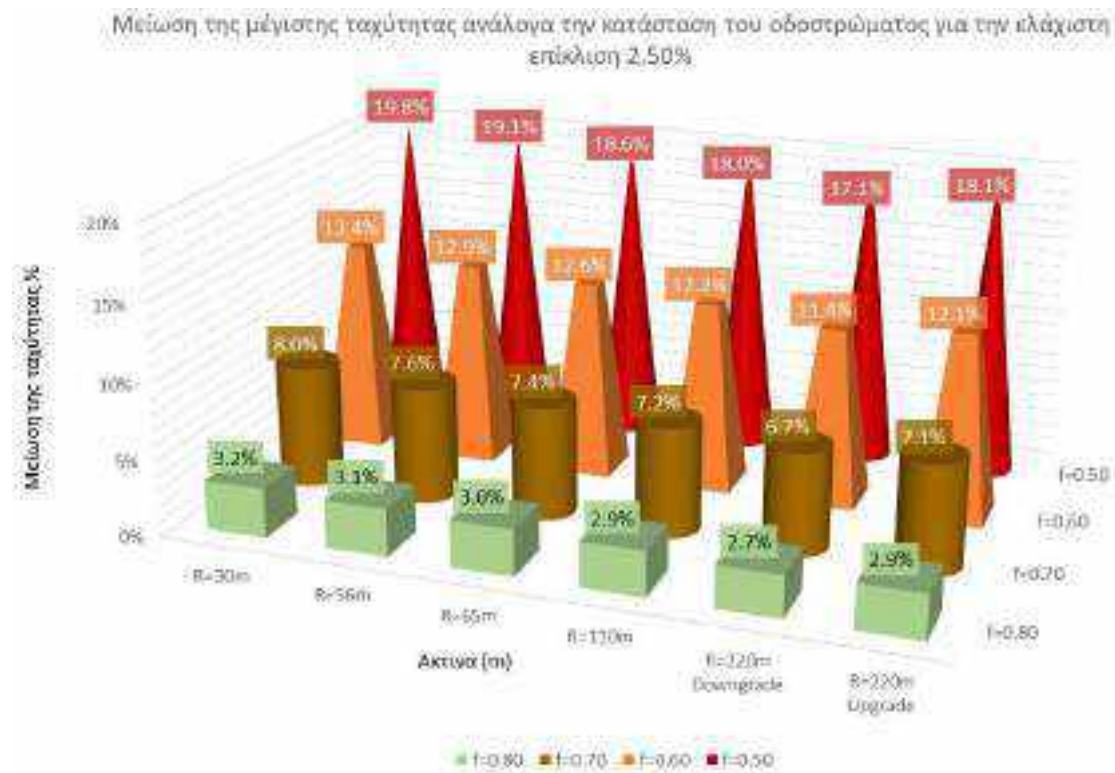


Σχήμα 5-48 Μέγιστη ταχύτητα για κάθε οριζόντια καμπύλη του ανισόπεδου κόμβου για ελάχιστη επίκλιση 2.50%

Συγκρίνοντας το Σχήμα 5-46 με το Σχήμα 5-48, παρατηρούνται διαφορές στην μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να διατηρήσει σταθερή ένα όχημα κατά την στροφή σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση. Συνοπτικά για κάθε ακτίνα οι διαφορές που παρατηρούνται είναι οι ακόλουθες:

- R=30m: Η **μείωση** στις μέγιστες σταθερές ταχύτητες είναι **~1.2%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- R=56m: Η **μείωση** στις μέγιστες σταθερές ταχύτητες είναι **~1.2%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- R=65m: Η **αύξηση** στις μέγιστες σταθερές ταχύτητες είναι **~0.6%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- R=110m: Η **μείωση** στις μέγιστες σταθερές ταχύτητες είναι **~0.6%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- R=220m κατωφέρεια: Η **αύξηση** στις μέγιστες σταθερές ταχύτητες είναι **~5.3%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- R=220m ανωφέρεια: Η **αύξηση** στις μέγιστες σταθερές ταχύτητες είναι **~0.6%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.

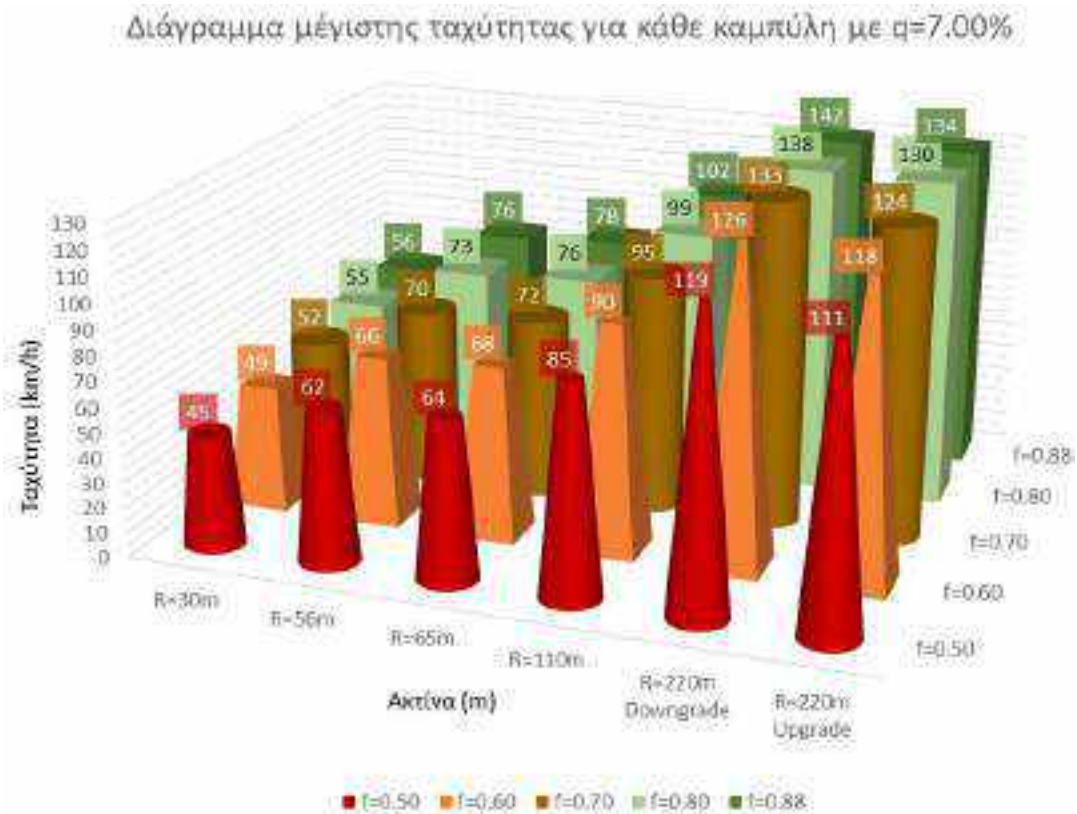
Η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης σταθερής ταχύτητας για κάθε συντελεστή τριβής συγκριτικά με την μέγιστη σταθερή ταχύτητα για συντελεστή τριβής $f=0.88$ και επίκλιση 2.50%, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-49.



Σχήμα 5-49 Ποσοστιαία μείωση της μέγιστης ταχύτητας συγκριτικά με τον υφιστάμενο συντελεστή τριβής $f=0.88$ και επίκλιση 2.50% για διάφορους συντελεστές τριβής

5.5.3 Μέγιστες σταθερές ταχύτητες για μέγιστη επίκλιση 7.00%

Κατασκευάστηκε το αντίστοιχο διάγραμμα για την θεωρητική κατάσταση στην οποία η επίκλιση της οδού είναι 7.00% σε όλες τις καμπύλες. Ο λόγος που έγινε αυτή η ανάλυση είναι διότι η επίκλιση 7.00% είναι η μέγιστη που προτείνεται από τους διεθνείς κανονισμούς (AASHTO, 2018 / RAA, 2008 / OMOE-AK, 2003). Στο Σχήμα 5-50 φαίνονται οι μέγιστες σταθερές ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει ένα τυπικό όχημα για διάφορες τιμές συντελεστή τριβής του οδοστρώματος με την παραδοχή επικλίσεων $q=7.00\%$ σε όλες τις οριζοντιογραφικές καμπύλες του ανισόπεδου κόμβου.



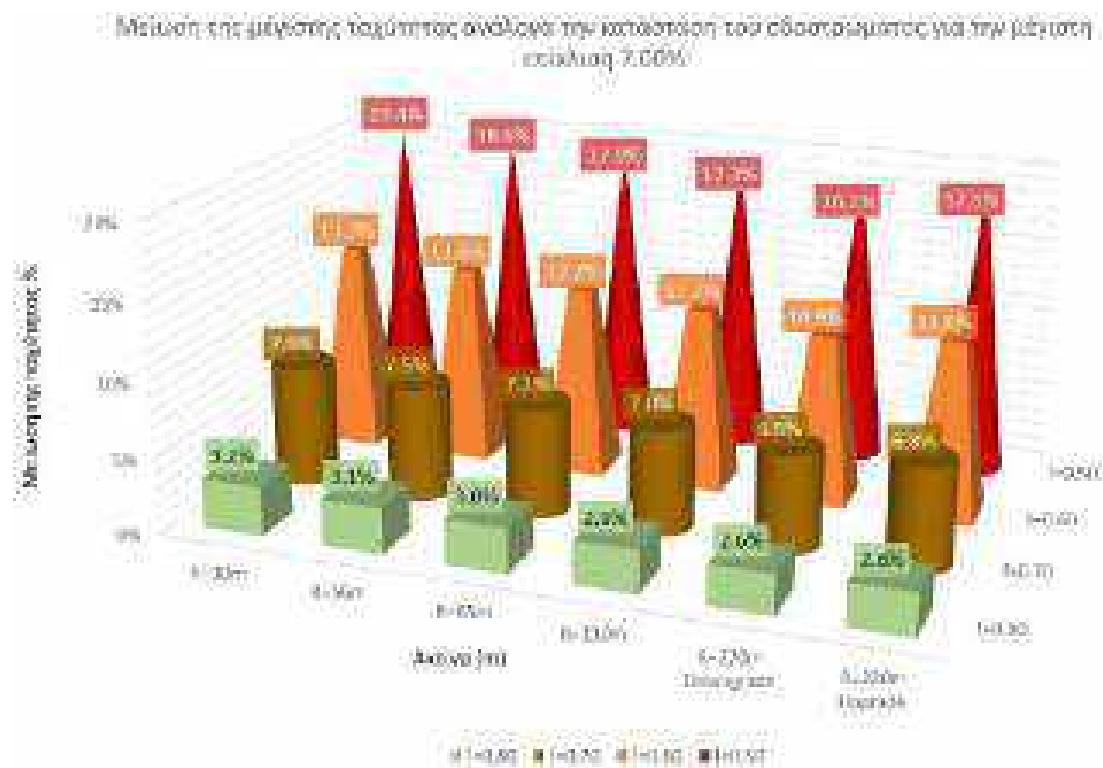
Σχήμα 5-50 Μέγιστη ταχύτητα για κάθε οριζόντια καμπύλη του ανισόπεδου κόμβου για μέγιστη επίκλιση 7.00%

Στο Σχήμα 5-50 υπάρχουν διαφορές στην μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να διατηρήσει σταθερή ένα όχημα κατά την στροφή σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση.

Παρατηρείται αποκλειστικά αύξηση της μέγιστης σταθερής ταχύτητας που μπορεί να αναπτυχθεί σε οποιαδήποτε οριζοντιογραφική καμπύλη. Συνοπτικά για κάθε ακτίνα:

- R=30m: Η **αύξηση** στις μέγιστες ταχύτητες είναι **~4.4%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- R=56m: Η **αύξηση** στις μέγιστες ταχύτητες είναι **~4.3%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- R=65m: Η **αύξηση** στις μέγιστες ταχύτητες είναι **~6.1%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- R=110m: Η **αύξηση** στις μέγιστες ταχύτητες είναι **~5.9%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- R=220m κατωφέρεια: Η **αύξηση** στις μέγιστες ταχύτητες είναι **~10.7%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.
- R=220m ανωφέρεια: Η **αύξηση** στις μέγιστες ταχύτητες είναι **~5.8%** συγκριτικά με την υφιστάμενη κατάσταση.

Η ποσοστιαία μεταβολή της μέγιστης σταθερής ταχύτητας για κάθε συντελεστή τριβής συγκριτικά με την μέγιστη σταθερή ταχύτητα για συντελεστή τριβής $f=0.88$ και επίκλιση 7.00%, παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-51.



Σχήμα 5-51 Ποσοστιαία μείωση της μέγιστης ταχύτητας συγκριτικά με τον υφιστάμενο συντελεστή τριβής $f=0.88$ και επίκλιση 7.00% για διάφορους συντελεστές τριβής

5.5.4 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Από τα όσα αναλύθηκαν προηγουμένως παρατηρείται ότι για μεταβολή της επίκλισης από την υπάρχουσα κατάσταση $q=2.00\%$ στην ελάχιστη επίκλιση $q=2.50\%$, η μέγιστη σταθερή ταχύτητα με την οποία μπορεί να διέλθει ένα όχημα από την καμπύλη αυξάνεται $\sim 0.6\%$. Στην περίπτωση που η επίκλιση των κάδων του ανισόπεδου κόμβου διαμορφωθεί σε $q=7.00\%$ τότε η αύξηση αυτή κυμαίνεται από 4.3-10.7% με την μεγαλύτερη αύξηση να υπάρχει για τις μεγάλες ακτίνες.

Από την παραπάνω ανάλυση προκύπτει επίσης ότι για την μέγιστη επίκλιση $q=7.00\%$ που προτείνεται από τις διεθνείς οδηγίες σχεδιασμού προκύπτει αύξηση της ταχύτητας της τάξης του $\sim 5.0\%$ συγκριτικά με την ελάχιστη επίκλιση 2.50%, διατηρώντας ίδια τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και τον ίδιο συντελεστή τριβής.

Η μείωση της μέγιστης ταχύτητας για επίκλιση 2.50% παρατηρείται στις καμπύλες με ακτίνα $R=30\text{m}$ και $R=56\text{m}$ επειδή σε αυτές η κατασκευασμένη επίκλιση είναι 3.50%. Στις περιπτώσεις των οριζοντιογραφικών ακτινών $R=65\text{m}$, $R=110\text{m}$, $R=220\text{m}$ παρατηρείται αύξηση της μέγιστης σταθερής ταχύτητας που μπορεί να κινηθεί ένα όχημα και στις δύο θεωρητικές εξεταζόμενες επικλίσεις λόγω της μικρής κατασκευασμένης επίκλισης 2.00%. Συγκεκριμένα στην οριζοντιογραφική ακτίνα $R=220\text{m}$ (κατωφέρεια) η αύξηση της μέγιστης σταθερής ταχύτητας που μπορεί να αναπτυχθεί κυμαίνεται από 5.3%~10.7% ανάλογα την θεωρητική επίκλιση που εξετάζεται, λόγω της αρνητικής κατασκευασμένης επίκλισης -2.00%.

Τέλος προκύπτει ότι ανεξάρτητα από την κατά μήκος κλίση, την ακτίνα και την τιμή της επίκλισης, η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα κινούμενο σε καμπύλη μειώνεται ανάλογα με τον συντελεστή τριβής κατά ποσοστό που διατηρείται σχετικά σταθερό σε όλες τις περιπτώσεις. Συγκεκριμένα για μεταβολή συντελεστή τριβής:

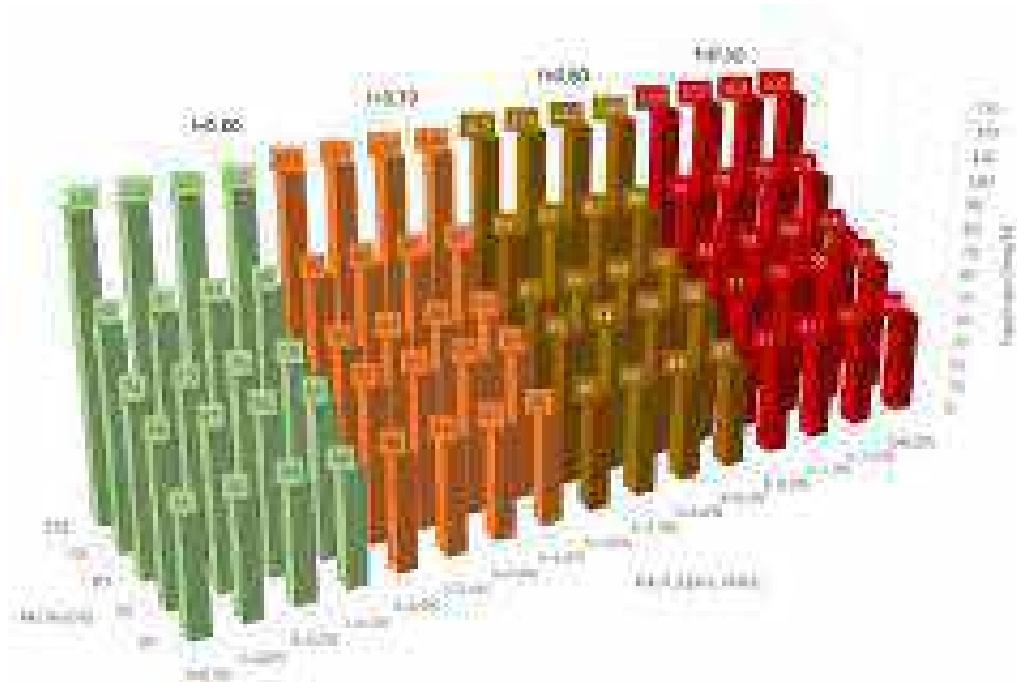
- $f=0.88 \rightarrow f=0.80$ η μέγιστη ταχύτητα **μειώνεται ~3.0%** σε όλες τις ακτίνες
- $f=0.88 \rightarrow f=0.70$ η μέγιστη ταχύτητα **μειώνεται ~7.3%** σε όλες τις ακτίνες
- $f=0.88 \rightarrow f=0.60$ η μέγιστη ταχύτητα **μειώνεται ~12.4%** σε όλες τις ακτίνες
- $f=0.88 \rightarrow f=0.50$ η μέγιστη ταχύτητα **μειώνεται ~18.3%** σε όλες τις ακτίνες

Αυτό σημαίνει ότι για ορισμένες καταστάσεις του οδοστρώματος η μέγιστη διαθέσιμη ταχύτητα μπορεί να μειωθεί έως και 18% για $f=0.50$ (υγρό οδόστρωμα) και τα οχήματα που κινούνται στους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου πρέπει να μειώσουν αναλόγως την ταχύτητά τους εγκαίρως προκειμένου να συνεχίσουν να κινούνται με ασφάλεια.

5.5.5 Μέγιστη σταθερή ταχύτητα ανάλογα με την ακτίνα, την κατά μήκος κλίση και την επίκλιση

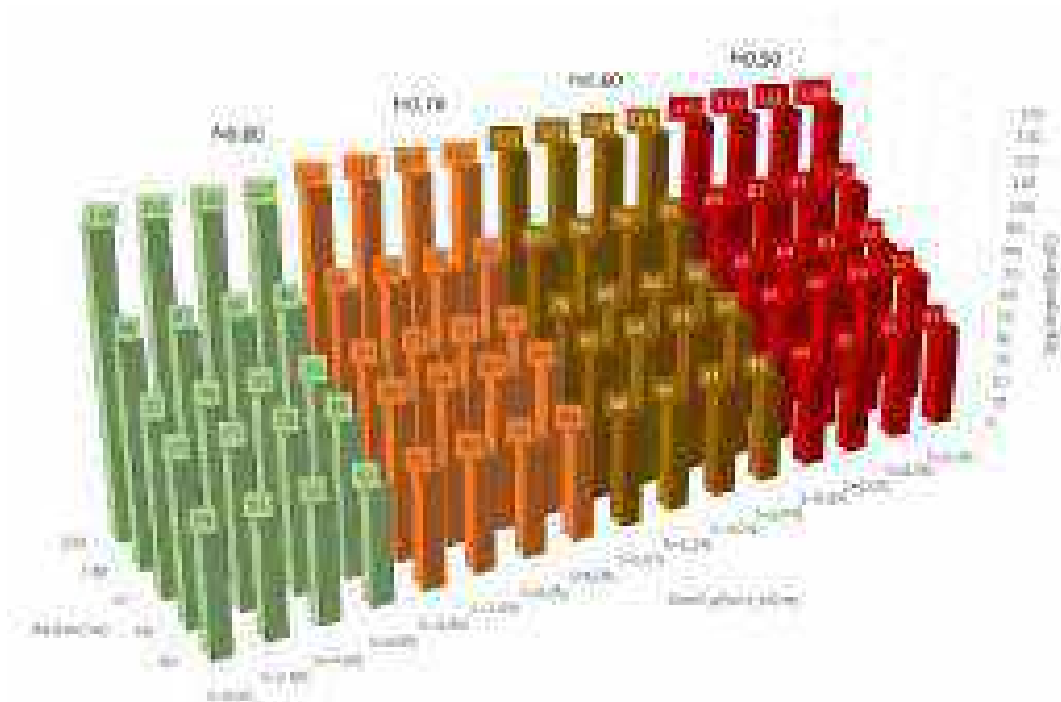
Στο κεφάλαιο αυτό υπολογίσθηκαν οι μέγιστες σταθερές ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα για κάθε ακτίνα του ανισόπεδου κόμβου, για διάφορες τιμές του συντελεστή τριβής του οδοστρώματος, για κατά μήκος κλίσεις οδού $s=0\%$, $s=2\%$, $s=4\%$, $s=6\%$ και για επικλίσεις 2.50% και 7.00%. Η ανάλυση αυτή έγινε σύμφωνα με την διαδικασία που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5.4.3 και τα συνολικά αποτελέσματα

παρουσιάζονται στο Παράρτημα 7. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προέκυψαν για επίκλιση $q=2.50\%$, παρουσιάζονται στο Σχήμα 5-52.



Σχήμα 5-52 Συγκεντρωτικό διάγραμμα μέγιστων ταχυτήτων για διάφορες κατά μήκος κλίσεις και συντελεστές τριβής για επίκλιση 2.50%

Το συγκεντρωτικά αποτελέσματα για επίκλιση $q=7.00\%$ παρουσιάζονται στο Σχήμα 5-53.

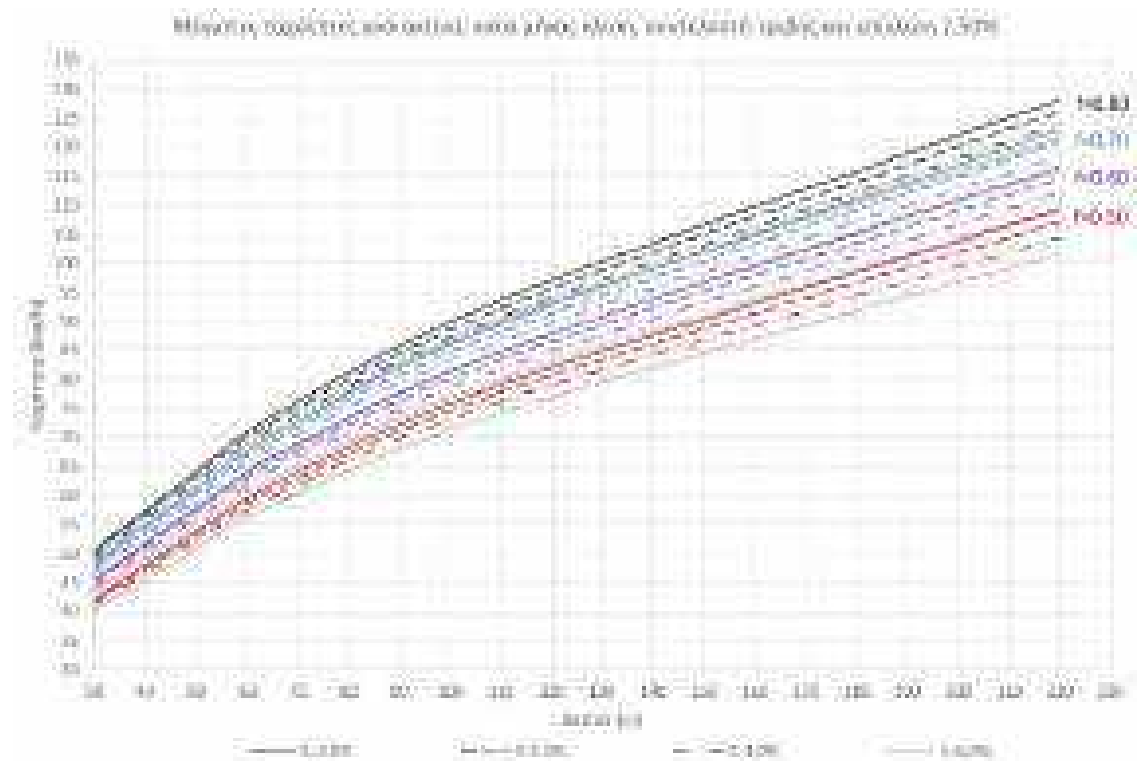


Σχήμα 5-53 Συγκεντρωτικό διάγραμμα μέγιστων ταχυτήτων για διάφορες κατά μήκος κλίσεις και συντελεστές τριβής για επίκλιση 7.00%

Με βάση την παραπάνω ανάλυση κατασκευάστηκε ένα διάγραμμα για επίκλιση 2.50% και ένα για επίκλιση 7.00% με το οποίο μπορεί να υπολογιστεί άμεσα η μέγιστη σταθερή ταχύτητα για κάθε ακτίνα, κατά μήκος κλίση και συντελεστή τριβής οδοστρώματος. Με βάση τις τέσσερις κατά μήκος κλίσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των προηγούμενων διαγραμμάτων υπάρχει η δυνατότητα να υπολογιστούν οι μέγιστες ταχύτητες για πάρα πολλές περιπτώσεις σχεδιασμού οδού.

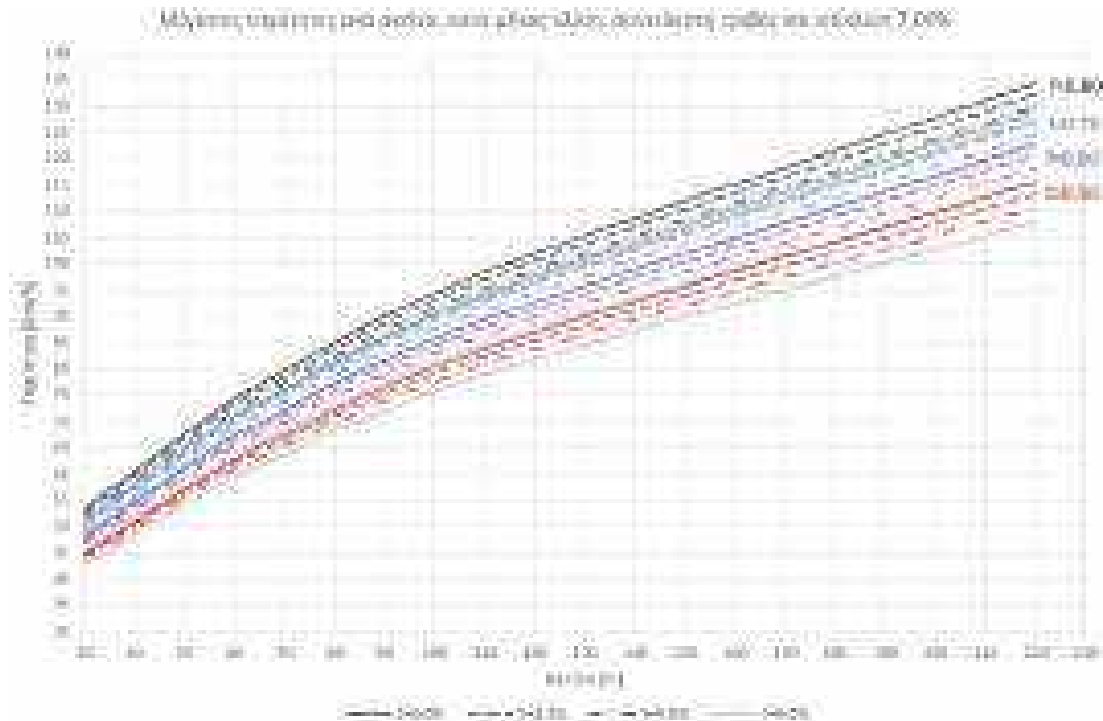
Στόχος της δημιουργίας των διαγραμμάτων αυτών ήταν η παροχή ενός έτοιμου εργαλείου για την άμεση συσχέτιση των καταγεγραμμένων ταχυτήτων σε μια οδό μελέτης συγκριτικά με τις μέγιστες ταχύτητες που προκύπτουν για απαίτηση των πλευρικών επιταχύνσεων. Έτσι αρκεί ο μελετητής να απεικονίσει στα παρεχόμενα διαγράμματα τις πληροφορίες των ταχυτήτων που καταγράφηκαν ώστε να μπορέσει άμεσα να έχει εποπτεία του περιθωρίου ασφαλείας της κίνησης των οχημάτων στην οδό μελέτης.

Για την κατασκευή των διαγραμμάτων αυτών χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία που παρουσιάζονται στο Παράρτημα 7. Το διάγραμμα μέγιστων σταθερών ταχυτήτων για ελάχιστη επίκλιση $q=2.50\%$ παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-54.



Σχήμα 5-54 Μέγιστες ταχύτητες για επίκλιση οδού 2.50% ανάλογα με την ακτίνα, κατά μήκος κλίση και συντελεστή τριβής οδοστρώματος

Στην συνέχεια κατασκευάστηκε το διάγραμμα μέγιστων σταθερών ταχυτήτων για μέγιστη επίκλιση $q=7.00\%$ και παρουσιάζεται στο Σχήμα 5-55.



Σχήμα 5-55 Μέγιστες ταχύτητες για επίκλιση οδού 7.00% ανάλογα με την ακτίνα, κατά μήκος κλίση και συντελεστή τριβής οδοστρώματος

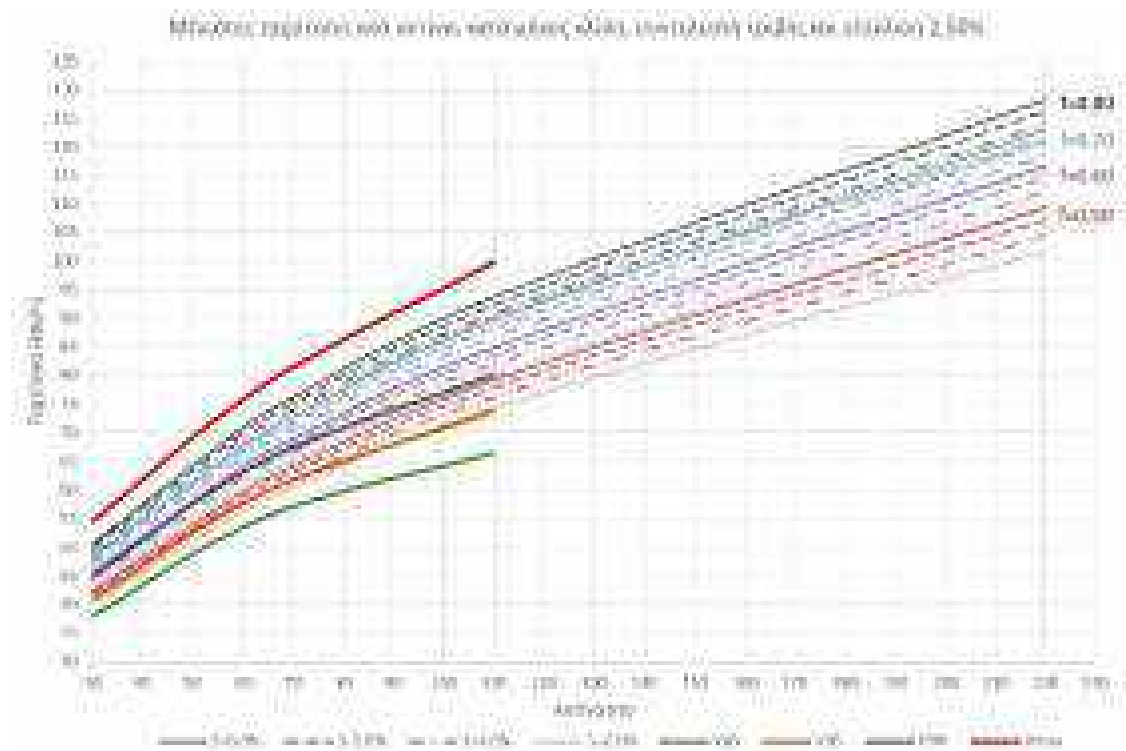
Από τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί ένα όχημα σε μια καμπύλη μειώνεται όσο αυξάνεται η κατά μήκος κλίση.
- Η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί ένα όχημα σε μια καμπύλη αυξάνεται αναλογικά με τον συντελεστή τριβής του οδοστρώματος.
- Η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί ένα όχημα σε μια καμπύλη αυξάνεται όσο αυξάνεται η επίκλιση.

Τα παραπάνω διαγράμματα συσχετίστηκαν με τις μετρήσεις ταχυτήτων που προέκυψαν από το τριήμερο 6/7-8/7 όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 5.3. Ο λόγος αυτής της συσχέτισης ήταν για να βρεθεί το περιθώριο ασφάλειας σχετικά με την ταχύτητα των οχημάτων στον ανισόπεδο κόμβο και την μέγιστη σταθερή ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει θεωρητικά ένα τυπικό όχημα. Οι ακτίνες $R=220m$ δεν έχουν ληφθεί υπόψη γιατί όπως έχει προαναφερθεί η ταχύτητα διέλευσης των οχημάτων σε εκείνη

την θέση είναι επηρεασμένη από τον φωτεινό σηματοδότη που βρίσκεται σε απόσταση 150m και την αλληλουχία καμπυλών πριν από αυτή τη θέση.

Τα στοιχεία ταχυτήτων συνδυάστηκαν στο διάγραμμα που κατασκευάστηκε για ελάχιστη επίκλιση 2.50% επειδή οι κατασκευασμένες επικλίσεις ($q=2.00\%$ και $q=3.50\%$) είναι πλησιέστερα σε αυτή την τιμή. Στο διάγραμμα αυτό αποτυπώθηκαν οι ταχύτητες V_{85} , V_{95} , V_{99} , V_{max} προκειμένου να συγκριθούν με τις θεωρητικές μέγιστες ταχύτητες που προέκυψαν για κάθε ακτίνα και φαίνεται στο Σχήμα 5-56.



Σχήμα 5-56 Συγκριτικό διάγραμμα καταγεγραμμένων ταχυτήτων και θεωρητικών μεγίστων σταθερών ταχυτήτων

Στο Σχήμα 5-56 παρουσιάζονται οι ταχύτητες που καταγράφηκαν κατά την περίοδο μελέτης στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης ως εξής:

- Πράσινη γραμμή: Λειτουργική ταχύτητα V_{85}
- Πορτοκαλί γραμμή: Ταχύτητα V_{95}
- Σκούρα μπλε γραμμή: Ταχύτητα V_{99}
- Κόκκινη γραμμή: Μέγιστη καταγεγραμμένη ταχύτητα

Από το Σχήμα 5-56 φαίνεται ότι οι λειτουργικές ταχύτητες V_{85} βρίσκονται πολύ χαμηλότερα από τις μέγιστες ταχύτητες που μπορεί να αναπτύξει το όχημα ακόμα και για συντελεστή τριβής που αντιστοιχεί σε υγρό οδόστρωμα. Ακόμα και οι ταχύτητες

που αντιστοιχούν στην ταχύτητα που δεν ξεπερνάει το 95% και το 99% των οχημάτων βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα από την μέγιστη δυνατή ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα για συντελεστή τριβής $\mu > 0.70$.

Επειδή το Σχήμα 5-56 υπολογίζει τις μέγιστες σταθερές ταχύτητες για $q=2.50\%$ και $f=0.80$ μπορεί να θεωρηθεί ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά την υφιστάμενη κατάσταση των κλάδων του ανισόπεδου κόμβου μελέτης. Ωστόσο παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 5-21 οι παρατηρούμενες ταχύτητες και οι μέγιστες σταθερές ταχύτητες, όπως προέκυψαν από την ανάλυση που προηγήθηκε για υφιστάμενες επικλίσεις και συντελεστή τριβής $f=0.88$ για την ακριβέστερη διερεύνηση του περιθωρίου ασφαλείας.

Ακτίνα (m)	Θεωρία	Παρατηρούμενες ταχύτητες			
	$V_{\max} (f=0.88)$	V_{85}	V_{95}	V_{99}	$V_{\max}$
30	54.1	37.9	40.9	44.9	54.5
65	73.7	55.4	59.8	65.3	78.7
110	97.0	66.4	73.8	80.1	99.8

Πίνακας 5-21 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μεγίστων σταθερών ταχυτήτων και παρατηρούμενων ταχυτήτων

Σημείωση: Η ταχύτητα που υπολογίστηκε από το θεωρητικό μοντέλο αφορά στην μέγιστη σταθερή ταχύτητα ($dv/dt=0$).

Στον Πίνακα 5-22 παρουσιάζεται η διαφορά των καταγεγραμμένων ταχυτήτων και των μεγίστων σταθερών ταχυτήτων που προκύπτουν από τον Πίνακα 5-21.

Ακτίνα (m)	Διαφορά ταχυτήτων			
	$V_{85}-V_{\max, \text{theory}}$	$V_{95}-V_{\max, \text{theory}}$	$V_{99}-V_{\max, \text{theory}}$	$V_{\max}-V_{\max, \text{theory}}$
30	-16.2	-13.2	-9.2	0.4
65	-18.3	-13.9	-8.4	5.0
110	-30.6	-23.3	-16.9	2.8

Πίνακας 5-22 Διαφορά παρατηρούμενων ταχυτήτων και μεγίστων ταχυτήτων

Από τον Πίνακα 5-22 φαίνεται ότι οι λειτουργικές ταχύτητες V_{85} που καταγράφηκαν κατά την περίοδο μετρήσεων βρίσκονται χαμηλότερα από την μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτυχθεί από ~ 16 km/h έως ~ 30 km/h. Παρατηρείται ότι η διαφορά στις ταχύτητες μεγαλώνει όσο αυξάνεται η οριζοντιογραφική ακτίνα με αποτέλεσμα τα οχήματα που κινούνται στις μικρές οριζοντιογραφικές ακτίνες να κινδυνεύουν περισσότερο. Δηλαδή, το περιθώριο ασφαλείας στις μικρές οριζοντιογραφικές καμπύλες είναι μικρότερο από ότι στις μεγαλύτερες.

Ακόμη και η ταχύτητα που κινείται το 95% και το 99% των ανεμπόδιστα κινούμενων οχημάτων είναι χαμηλότερη από την μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτυχθεί στους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου.

Αυτό σημαίνει ότι σε γενικές γραμμές τα επιβατηγά οχήματα που κινούνται στον ανισόπεδο κόμβο κινούνται με ταχύτητες που δεν πλησιάζουν τις κρίσιμες ταχύτητες ολίσθησης και ως εκ τούτου κινούνται με ασφάλεια. Σημειώνεται ωστόσο πως λόγω της έλλειψης δεδομένων ατυχημάτων δεν υπήρχε δυνατότητα πλήρους συσχέτισης της οδικής ασφάλειας με τα παραπάνω ευρήματα.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι όλες οι μέγιστες ταχύτητες που καταγράφηκαν για κάθε θέση μέτρησης, ξεπερνάνε το όριο για την μέγιστη σταθερή ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει το όχημα πριν ολισθήσει. Αυτό δεν σημαίνει υποχρεωτικά ότι το όχημα που πέρασε από εκείνη την θέση μέτρησης βρέθηκε σε κατάσταση ολίσθησης διότι οι υπολογισμοί του θεωρητικού μοντέλου έγιναν με βάση το τυπικό όχημα που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Αυτό σημαίνει ότι για διαφορετικά χαρακτηριστικά οχήματος όπως μήκος μεταξονίου, βάρος οχήματος, ίχνος τροχών, απόσταση κέντρου βάρους από το οδόστρωμα κλπ. η μέγιστη ταχύτητα που μπορεί να αναπτυχθεί διαφέρει από τα παραπάνω Σχήματα 5-54 και 5-55.

6 Συμπεράσματα

Η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια έχει σαν στόχο την διερεύνηση του περιθωρίου ασφαλείας της κίνησης επιβατηγών οχημάτων στους κλάδους ανισόπεδων κόμβων. Ο τρόπος που έγινε αυτή η διερεύνηση είναι μέσω της καταγραφής δεδομένων ταχυτήτων σε ανισόπεδο κόμβο μελέτης και την συσχέτισή τους με τις μέγιστες σταθερές ταχύτητες που προκύπτουν με βάση τις απαιτήσεις συγκράτησης σε καμπύλη τροχιά. Από την καταγραφή των δεδομένων ταχυτήτων προέκυψαν και τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας για τον ανισόπεδο κόμβο μελέτης.

Ως κόμβος μελέτης επιλέχθηκε ο ανισόπεδος κόμβος Σχιστού που συνδέει την Λεωφόρο Αθηνών με την Λεωφόρο Σχιστού-Σκαρामαγκά λόγω της μορφής του που είναι δεξιά σάλπιγγα. Ο κλάδος του ανισόπεδου κόμβου με κατεύθυνση από Αθήνα

προς Πειραιά έχει διαδοχικές ακτίνες 110m-65m-220m και ο κλάδος με κατεύθυνση από Πειραιά προς Κόρινθο έχει διαδοχικές ακτίνες 220m-56m-30m.

Από τις προηγούμενες αναλύσεις εξάγονται μερικά χρήσιμα συμπεράσματα ανά συνδετήριο κλάδο.

6.1 Συμπεράσματα κυκλοφοριακών δεδομένων

- Υπάρχει ένα άνω όριο στον αριθμό των οχημάτων που κινούνται με συνθήκες ελεύθερης ροής (free flow) ο οποίος δεν φαίνεται να σχετίζεται με τον κυκλοφοριακό φόρτο. Στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης ο αριθμός αυτός ήταν περίπου 2300 οχήματα/ημέρα για τον κλάδο με κατεύθυνση προς Πειραιά και 1890 οχήματα/ημέρα για τον κλάδο με κατεύθυνση προς Κόρινθο. Το άνω όριο αυτό πιθανώς να οφείλεται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού.
- Η σύνθεση της κυκλοφορίας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της περιοχής, την ημέρα και την ώρα. Για κάθε κατεύθυνση στον ανισόπεδο κόμβο υπολογίστηκε ο κυκλοφοριακός φόρτος των επιβατηγών οχημάτων, των φορτηγών και των δικύκλων. Συγκεκριμένα για την κατεύθυνση προς Πειραιά η σύνθεση της κυκλοφορίας παρουσιάζεται στον Πίνακα 6-1.

Κατεύθυνση προς Πειραιά			
Ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος (% σύνθεσης κυκλοφορίας)			
Τύπος Οχήματος	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή
Επιβατηγά οχήματα	4632 (76.74%)	3511 (84.12%)	3688 (85.42%)
Φορτηγά	717 (11.80%)	246 (5.86%)	158 (3.63%)
Δίκυκλα	696 (11.46%)	421 (10.03%)	476 (10.95%)

Πίνακας 6-1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σύνθεσης κυκλοφορίας για την κατεύθυνση προς Πειραιά

Παρατηρείται μείωση των επιβατηγών οχημάτων κατά 24.2% το Σάββατο και κατά 20.4% την Κυριακή σε σχέση με την Παρασκευή. Παρόλα αυτά τα επιβατηγά οχήματα συνθέτουν μεγαλύτερο ποσοστό της κυκλοφορίας αυτές τις μέρες.

Αντίστοιχα παρατηρείται μείωση των φορτηγών κατά 65.7% το Σάββατο και κατά 78.0% την Κυριακή σε σχέση με την Παρασκευή που είναι εργάσιμη ημέρα και μειώνεται το ποσοστό τους στην σύνθεση της κυκλοφορίας.

Τα δίκυκλα διατηρούν σταθερό ποσοστό στη σύνθεση της κυκλοφορίας για όλες τις εξεταζόμενες ημέρες όμως ο αριθμός τους μειώνεται κατά 39.5% το Σάββατο και κατά 31.6% την Κυριακή σε σχέση με την Παρασκευή.

Ομοίως για την κατεύθυνση προς Κόρινθο η σύνθεση της κυκλοφορίας δίνεται στον παρακάτω Πίνακα 6-2.

Κατεύθυνση προς Κόρινθο			
Ημερήσιος κυκλοφοριακός φόρτος (% σύνθεσης κυκλοφορίας)			
Τύπος Οχήματος	Παρασκευή	Σάββατο	Κυριακή
Επιβατηγά οχήματα	15371 (77.28%)	10899 (84.70%)	8208 (87.90%)
Φορτηγά	3546 (17.83%)	1373 (10.67%)	652 (6.98%)
Δίκυκλα	974 (4.90%)	596 (4.63%)	478 (5.12%)

Πίνακας 6-2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα σύνθεσης κυκλοφορίας για την κατεύθυνση προς Κόρινθο

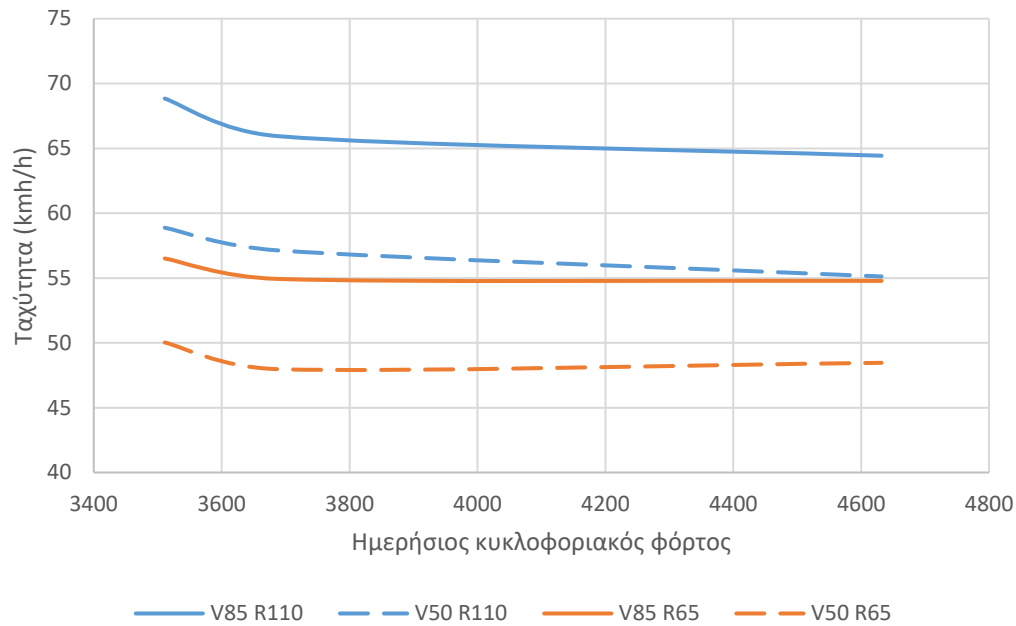
Παρατηρείται μείωση των επιβατηγών οχημάτων κατά 29.1% το Σάββατο και κατά 46.6% την Κυριακή σε σχέση με την Παρασκευή. Παρόλα αυτά τα επιβατηγά οχήματα συνθέτουν μεγαλύτερο ποσοστό της κυκλοφορίας αυτές τις μέρες.

Αντίστοιχα παρατηρείται μείωση των φορτηγών κατά 61.3% το Σάββατο και κατά 81.6% την Κυριακή σε σχέση με την Παρασκευή που είναι εργάσιμη ημέρα και μειώνεται το ποσοστό τους στην σύνθεση της κυκλοφορίας.

Τα δίκυκλα διατηρούν και σε αυτή την περίπτωση σταθερό ποσοστό στην σύνθεση της κυκλοφορίας για όλες τις εξεταζόμενες ημέρες όμως ο αριθμός τους μειώνεται κατά 38.8% το Σάββατο και κατά 50.9% την Κυριακή σε σχέση με την Παρασκευή.

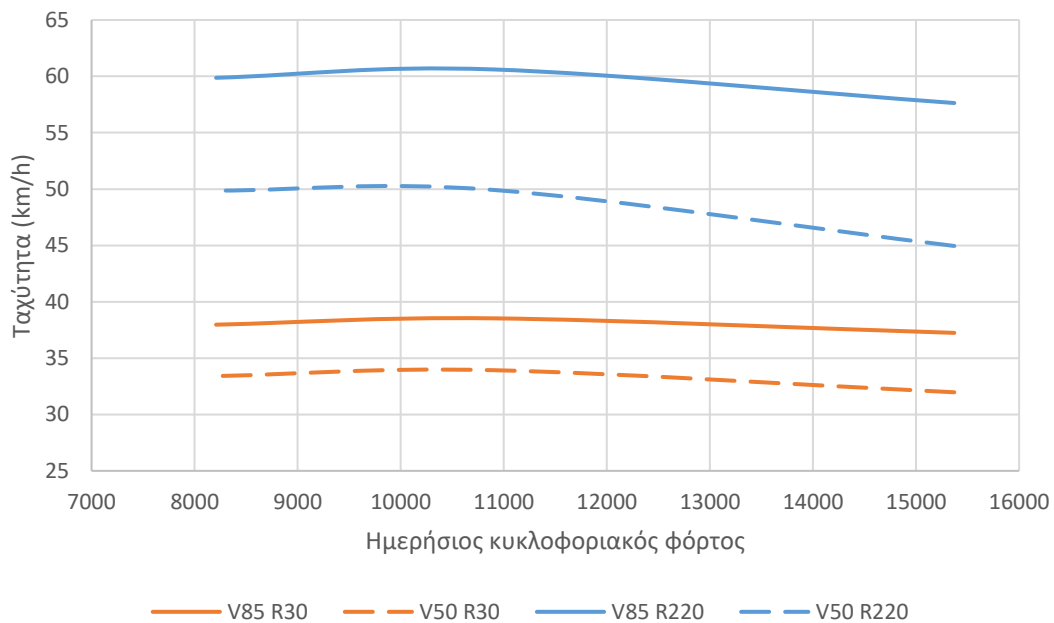
6.2 Συμπεράσματα από μετρήσεις ταχυτήτων

- Οι ταχύτητες μεταβάλλονται σχετικά ήπια αλλά συνεχώς κατά την διάρκεια της μέρας και εξαρτώνται από τον κυκλοφοριακό φόρτο των οχημάτων όπως παρουσιάζεται στο Παράρτημα 1. Αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου επιφέρει μείωση των παρατηρούμενων ταχυτήτων. Στο Σχήμα 6-1 φαίνεται η μεταβολή των ταχυτήτων σε σχέση με τον ημερήσιο κυκλοφοριακό φόρτο και για διάφορες τιμές οριζοντιογραφικών ακτινών στο συνδετήριο κλάδο με κατεύθυνση από Αθήνα προς Πειραιά.



Σχήμα 6-1 Μεταβολή ταχυτήτων ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φόρτο για την κατεύθυνση προς Πειραιά

Αντίστοιχα το διάγραμμα ταχυτήτων σε σχέση με τον ημερήσιο κυκλοφοριακό φόρτο για διάφορες τιμές οριζοντιογραφικών ακτινών στο συνδεδητήριο κλάδο με κατεύθυνση από Πειραιά προς Κόρινθο παρουσιάζεται στο Σχήμα 6-2.



Σχήμα 6-2 Μεταβολή ταχυτήτων ανάλογα με τον κυκλοφοριακό φόρτο για την κατεύθυνση προς Κόρινθο

- Η λειτουργική ταχύτητα V_{85} στον ανισόπεδο κόμβο δεν ακολουθεί το διάγραμμα ταχυτήτων της FHWA, 1999 αλλά ως προς τη μορφή της βρίσκεται σε συμφωνία με τα διαγράμματα σχετικής έρευνας (de Jong, 2017).

- Η μέση ταχύτητα των οχημάτων που χρησιμοποιούν τον ανισόπεδο κόμβο μειώνεται κατά τις νυχτερινές ώρες εκτός από τις περιοχές αυξημένης οριζοντιογραφικής καμπυλότητας ($R=30m$). Αυτό το αποτέλεσμα συμφωνεί με τα αποτελέσματα σχετικής έρευνας (de Jong, 2017). Ωστόσο η λειτουργική ταχύτητα V_{85} αυξάνεται σε όλες τις θέσεις μέτρησης κατά τις νυχτερινές ώρες, πιθανώς λόγω μείωσης κυκλοφοριακού φόρτου, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα ατυχήματος. Επισημαίνεται ότι στον κόμβο που μελετήθηκε λειτουργεί ηλεκτροφωτισμός.
- Η λειτουργική ταχύτητα V_{85} που μετρήθηκε σε όλες τις επιλεγείσες θέσεις παρατήρησης μετά από έντονη βροχόπτωση (όπου το οδόστρωμα παρουσιάζεται υγρό και καθαρό) μειώνεται περίπου 9% σε σχέση με το αντίστοιχο στεγνό. Το εύρημα αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με σχετική έρευνα (de Jong, 2017). Σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ, η V_{85} δεν διαφέρει ουσιαστικά σε στεγνό και υγρό οδόστρωμα. Ωστόσο στην παρούσα διπλωματική εργασία βρέθηκε μείωση της ταχύτητας V_{85} από στεγνό σε υγρό οδόστρωμα της τάξης του 9%.
- Σε συνθήκες έντονης βροχόπτωσης η λειτουργική ταχύτητα V_{85} μειώνεται από 20% έως 34% ανάλογα με την εξεταζόμενη καμπύλη του ανισόπεδου κόμβου και σε συνθήκες βροχόπτωσης η λειτουργική ταχύτητα μειώνεται από 11% έως 18% ανάλογα με την εξεταζόμενη καμπύλη του ανισόπεδου κόμβου (Σχήμα 5-31). Οι λόγοι που παρατηρούνται αυτά τα ποσοστά είναι η μείωση του μήκους ορατότητας, η έλλειψη ηλιακού φωτός κατά την διάρκεια που παρατηρήθηκε βροχόπτωση και το ψυχολογικό αντίκτυπο της έντονης βροχόπτωσης στους οδηγούς.
- Η λειτουργική ταχύτητα V_{85} που καταγράφηκε κατά την διάρκεια των μετρήσεων είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα που ορίζεται από τις οδηγίες AASHTO για άνεση των επιβατών.
- Η κατανομή των ταχυτήτων που μετρήθηκαν ακολουθούν την κανονική κατανομή.

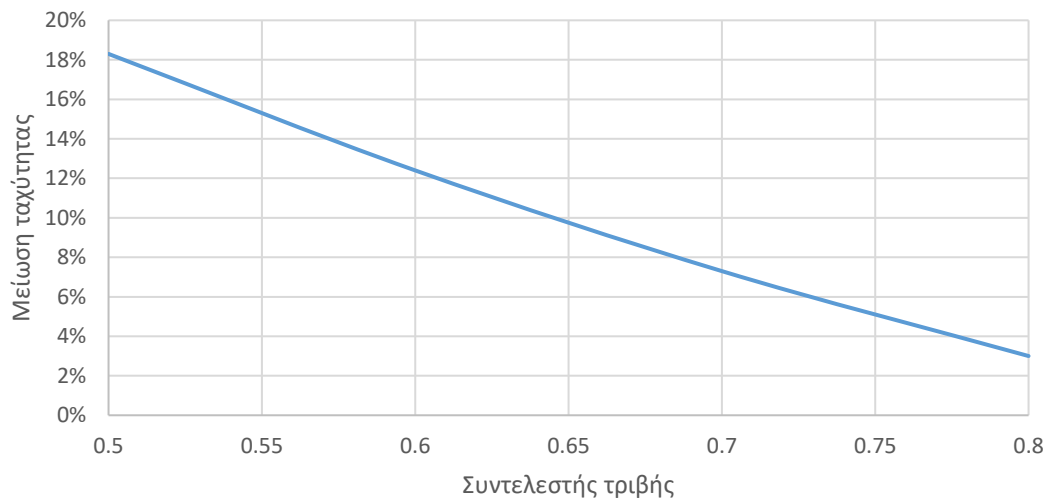
6.3 Συμπεράσματα από μετρήσεις πλευρικών επιταχύνσεων

- Η πλευρική επιτάχυνση που προκύπτει από το μοντέλο δυναμικής ανάλυσης σχετικού λογισμικού (Μαυρομάτης, 2017) ως προς τον εμπρόσθιο άξονα, εξετάζοντας το όχημα ως δίτροχο, ταυτίζεται με τα αποτελέσματα της υφιστάμενης πρακτικής όπου το όχημα θεωρείται ως σημειακή μάζα. Ωστόσο η πλευρική επιτάχυνση που προκύπτει, εξετάζοντας το όχημα ως τετράτροχο, στον εμπρόσθιο εσωτερικό τροχό (που είναι ο

πιο κρίσιμος σε εμπροσθοκίνητα οχήματα), είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή πλευρικής επιτάχυνσης που προκύπτει για σημειακή μάζα. Αυτό σημαίνει ότι ο εμπρός εσωτερικός τροχός δύναται να ολισθήσει ακόμα και για τιμές πλευρικής επιτάχυνσης οι οποίες θεωρούνται ασφαλείς αν θεωρηθεί το όχημα ως σημειακό σώμα. Δηλαδή στις περισσότερες περιπτώσεις η υπάρχουσα πρακτική υποεκτιμά την πλευρική επιτάχυνση για την οποία θα ολισθήσει ένα όχημα.

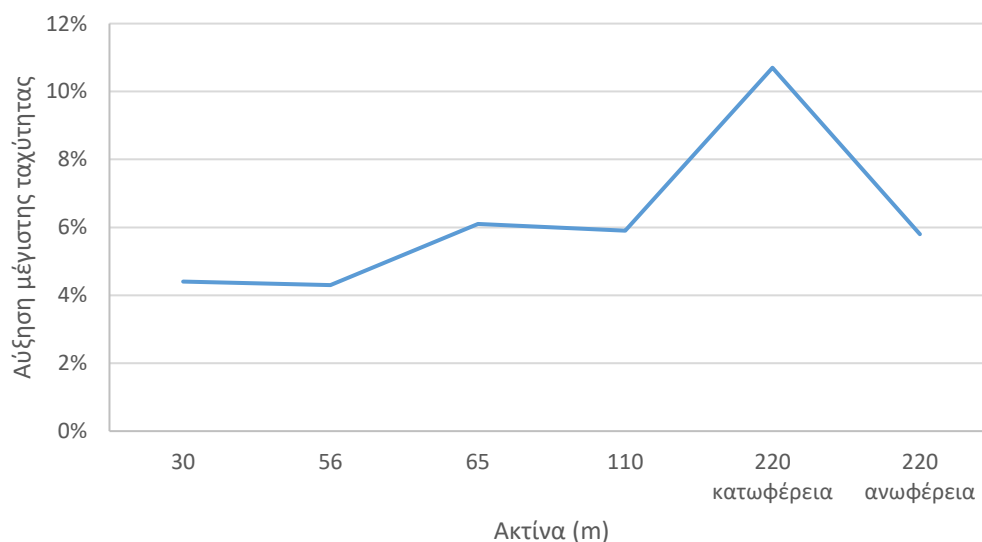
- Οι αναπτυσσόμενες πλευρικές επιταχύνσεις που μετρήθηκαν για κάθε καμπύλη και ταχύτητα είναι μικρότερες από τις προβλεπόμενες με βάση υπάρχοντα μοντέλα υπολογισμού. Αυτό σημαίνει ότι σε γενικές γραμμές τα οχήματα δεν κινούνται στο όριο αστάθειας άρα υπερεκτιμάται ο απαιτούμενος συντελεστής πλευρικής τριβής για την διέλευση του οχήματος.
- Η πλευρική επιτάχυνση που δέχεται το όχημα αυξάνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα όπως ήταν αναμενόμενο. Ο ρυθμός αύξησης της πλευρικής επιτάχυνσης σε σχέση με την ταχύτητα για δεδομένη καμπύλη προσεγγίζεται ικανοποιητικά από εκθετικό μοντέλο.
- Η πλευρική επιτάχυνση που δέχεται ένα όχημα μειώνεται όσο αυξάνεται η ακτίνα της καμπύλης. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αύξηση της ταχύτητας, αφού οι οδηγοί δεν αισθάνονται δυσφορία λόγω πλευρικών επιταχύνσεων, γεγονός που συμφωνεί και συνεπικουρείται από την απλοποιημένη σχέση του μοντέλου της σημειακής μάζας.
- Στην περίπτωση διέλευσης στην ακτίνα με $R=220\text{m}$ ($s=-4.00\%$) από Αθήνα προς Πειραιά, παρατηρείται ταύτιση των αποτελεσμάτων από όλα τα μοντέλα πρόβλεψης. Αυτό συμβαίνει διότι στην κατωφέρεια, η μέγιστη σταθερή ταχύτητα του οχήματος προσδιορίζεται με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και όχι με βάση τα χαρακτηριστικά του οχήματος.
- Από την ανάλυση των πλευρικών επιταχύνσεων που μετρήθηκαν κατά τις διελεύσεις από τις διάφορες θέσεις του ανισόπεδου κόμβου, προκύπτει ότι το θεωρητικό πρότυπο δυναμικής ανάλυσης κίνησης οχημάτων (Μαυρομάτης, 2017) προσομοιάζει με ακρίβεια τις μετρημένες πλευρικές επιταχύνσεις. Συνεπώς είναι ένα ολοκληρωμένο μοντέλο υπολογισμού με το πλεονέκτημα της αυξημένης ακρίβειας σε σχέση με το υφιστάμενο απλοποιημένο πρότυπο της σημειακής μάζας.
- Η μείωση του συντελεστή τριβής από την υφιστάμενη κατάσταση ($f=0.88$) επιφέρει μείωση των μέγιστων σταθερών ταχυτήτων που μπορούν να αναπτυχθούν. Αυτή η μείωση είναι σχετικά σταθερή και φαίνεται να είναι ανεξάρτητη των γεωμετρικών

χαρακτηριστικών της οδού. Στο Σχήμα 6-3 που ακολουθεί φαίνεται το ποσοστό μείωσης της μέγιστης δυνατής σταθερής ταχύτητας κατά τη μείωση του συντελεστή τριβής από την υφιστάμενή του τιμή.



Σχήμα 6-3 Μείωση ταχύτητας ανάλογα με την μεταβολή του συντελεστή τριβής του οδοστρώματος

- Η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί ένα όχημα σε μια καμπύλη αυξάνεται όσο αυξάνεται η επίκλιση.
- Σε περίπτωση ανακατασκευής των επικλίσεων στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης στην τιμή 7.0% τότε οι μέγιστες σταθερές ταχύτητες που μπορούν να αναπτυχθούν στις ακτίνες του κλάδου αυξάνονται όπως φαίνεται στο Σχήμα 6-4.



Σχήμα 6-4 Αύξηση μέγιστης ταχύτητας που μπορεί να αναπτυχθεί στον ανισόπεδο κόμβο Σχιστού για ανακατασκευή των επικλίσεων σε 7.0%

Η αύξηση της ταχύτητας που μπορεί με ασφάλεια να αναπτυχθεί στον ανισόπεδο κόμβο μέσω ανακατασκευής των επικλίσεων, συμβάλλει ουσιαστικά στην ασφαλέστερη διέλευση οχημάτων από αυτόν.

- Η αύξηση της μέγιστης σταθερής ταχύτητας που μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα σε μια καμπύλη με επίκλιση 7.0% είναι αυξημένη κατά 5% περίπου σε σχέση με την ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει σε καμπύλη με επίκλιση 2.5%. Δηλαδή η μέγιστη επίκλιση που προτείνεται από τις διεθνείς οδηγίες σχεδιασμού, συνεπάγεται 5% αύξηση στην μέγιστη ταχύτητα συγκριτικά με την ελάχιστη επίκλιση.
- Η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί ένα όχημα σε μια καμπύλη μειώνεται όσο αυξάνεται η κατά μήκος κλίση. Αυτό συμβαίνει καθώς ένα ποσοστό της τριβής δεσμεύεται για τη συγκράτηση του οχήματος στην εφαπτομενική διεύθυνση της καμπύλης με αποτέλεσμα η διαθέσιμη πλευρική τριβή να μειώνεται.
- Η μέγιστη ταχύτητα με την οποία μπορεί να κινηθεί ένα όχημα σε μια καμπύλη αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση του συντελεστή τριβής του οδοστρώματος.
- Η ταχύτητα V_{85} των μετρήσεων είναι μικρότερη από την μέγιστη σταθερή ταχύτητα που μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα ακόμα και σε συνθήκες υγρού οδοστρώματος. Αυτό σημαίνει ότι τα οχήματα δεν κινούνται σε συνθήκες οριακής ολίσθησης στον συγκεκριμένο ανισόπεδο κόμβο.
- Η ταχύτητα των οχημάτων που κινούνται στους κλάδους ανισόπεδων κόμβων φαίνεται να επηρεάζεται από την ελκτικότητα των οριζοντιογραφικών καμπυλών όπως παρουσιάστηκε στον Πίνακα 5-13. Συγκεκριμένα οι λειτουργικές ταχύτητες που παρατηρήθηκαν είναι περίπου 7% μειωμένες σε σχέση με τις προβλεπόμενες από την ελκτικότητα. Η ελκτικότητα μιας οριζοντιογραφικής καμπύλης ενδέχεται να επιβάλλει περιορισμούς στην ταχύτητα που αναπτύσσουν τα οχήματα που κινούνται σε αυτή.
- Παρατηρήθηκε μικρός αριθμός μετρήσεων που ξεπερνούν το όριο μέγιστης ταχύτητας που μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα στον ανισόπεδο κόμβο σε συνθήκες στεγνού οδοστρώματος. Αυτό συμβαίνει διότι το κάθε όχημα διαφέρει σε χαρακτηριστικά όπως μήκος, πλάτος, βάρος κ.λπ. τα οποία επιδρούν στον απαιτούμενο συντελεστή πλευρικής τριβής. Επιπλέον δεν είναι γνωστές οι συνθήκες κίνησης του κάθε οχήματος (πχ. αγνοείται η επιρροή ενδεχόμενης πέδησης κατά την κίνησή του)
- Το Σχήμα 5-54 και Σχήμα 5-55 που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 5.5.5 μπορούν να αποτελέσουν εργαλείο άμεσης συσχέτισης των ταχυτήτων που επικρατούν σε συνδεδημένους κλάδους ανισόπεδων κόμβων με τις μέγιστες σταθερές ταχύτητες που

μπορούν να αναπτυχθούν σε αυτούς και ως εκ τούτου να υπολογιστεί άμεσα το περιθώριο ασφάλειας της κίνησης των οχημάτων.

6.4 Σύνοψη

Συνοψίζοντας τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, το μοντέλο δυναμικής ανάλυσης κίνησης οχημάτων (Μαυρομάτης, 2017) αποτελεί ένα ουσιώδες και ακριβές εργαλείο στον υπολογισμό των πλευρικών επιταχύνσεων και των μεγίστων σταθερών ταχυτήτων που μπορεί να αναπτύξει ένα όχημα κατά την κίνησή του σε καμπύλη τροχιά. Η ακρίβεια του μοντέλου αυτού οφείλεται στο ότι λαμβάνει υπόψη όλα τα χαρακτηριστικά του οχήματος κάτι που δεν γίνεται στο απλοποιημένο μοντέλο που προσομοιάζει το όχημα ως σημειακή μάζα.

Στον ανισόπεδο κόμβο μελέτης τα οχήματα κινούνται με ταχύτητες αρκετά μικρότερες των οριακών που προκύπτουν από το πρότυπο δυναμικής ανάλυσης κίνησης οχημάτων και συνεπώς δεν κινούνται σε συνθήκες οριακής ολίσθησης. Από αυτό συμπεραίνεται ότι η ίδια η ελκτικότητα μιας οριζοντιογραφικής καμπύλης επιβάλλει ένα άνω όριο ταχύτητας το οποίο δεν ξεπερνούν οι οδηγοί.

Οι ταχύτητες που παρατηρήθηκαν για τα επιβατηγά οχήματα βρίσκονται σε συμφωνία με σχετική έρευνα (de Jong, 2017) σε όλες τις κατηγορίες συσχέτισης, που σημαίνει ότι τα αποτελέσματα αυτά είναι αντιπροσωπευτικά για τους κλάδους ανισόπεδων κόμβων.

6.5 Προτάσεις για περαιτέρω μελέτη

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας προέκυψαν ορισμένα ζητήματα που δεν ήταν δυνατό να διερευνηθούν περαιτέρω στα χρονικά πλαίσια της. Τα ακόλουθα θέματα προτείνονται για μελλοντική διερεύνηση:

- Πραγματοποίηση περισσότερων διελεύσεων και με διαφορετικά οχήματα από τους κλάδους του ανισόπεδου κόμβου ώστε να συσχετισθεί πλήρως η πλευρική επιτάχυνση με την μέγιστη ταχύτητα.

- Εξέταση της επιρροής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών μιας οδού στον αριθμό οχημάτων που διέρχονται από αυτή και κινούνται σε συνθήκες ελεύθερης ροής (free flow).
- Πραγματοποίηση αντίστοιχων μετρήσεων σε άλλους τύπους ανισόπεδων κόμβων προκειμένου να υπάρξει μια πιο ευρεία βάση δεδομένων, λαμβάνοντας υπόψη ότι η θέση των συνδετήριων κλάδων τόσο προς την γειτνίαση τους με την κύρια αρτηρία όσο και ως προς την γενικότερη γεωμετρία τους (ακτίνες καμπυλών, κατά μήκος κλίσεις) πιθανώς να επηρεάζουν τις τιμές που μετρήθηκαν.
- Λεπτομερής διερεύνηση της επιρροής της επιτάχυνσης κατά την διάρκεια της κίνησης ενός οχήματος στους κλάδους των ανισόπεδων κόμβων.
- Διερεύνηση της ασφάλειας κίνησης των βαρέων οχημάτων στους κλάδους ανισόπεδων κόμβων διότι σε αυτούς τους τύπους οχημάτων υπάρχει αυξημένος κίνδυνος για ανατροπή στην περίπτωση στεγνού οδοστρώματος και ολίσθησης στην περίπτωση υγρού οδοστρώματος.
- Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι σε συμφωνία με τα αποτελέσματα σχετικής έρευνας (de Jong, 2017) όπου βρέθηκε ότι η επιβράδυνση των οχημάτων στους ανισόπεδους κόμβους κυμαίνεται από 0.5-1.7m/s². Προτείνεται συνεπώς να εξεταστεί η επιρροή της επιβράδυνσης αυτής στις μέγιστες ταχύτητες που μπορούν να αναπτύξουν τα οχήματα χωρίς να φτάσουν σε συνθήκες οριακής ολίσθησης.
- Εξέταση της συσχέτισης του περιθωρίου ασφάλειας που προκύπτει από το Σχήμα 5-54 και Σχήμα 5-55 και τις καταγεγραμμένες ταχύτητες, σε συνδυασμό με στοιχεία ατυχημάτων σε ανισόπεδους κόμβους.

Βιβλιογραφία

1. AASHTO. (2018). *A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF HIGHWAYS AND STREETS*. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
2. Al-Kaisy, A., & Durbin, C. (2008). Evaluating new methodologies for estimating performance on two-lane highways. *Canadian Journal of Civil Engineering*.
3. Al-Kaisy, A., & Karjala, S. (2010). Car-following interaction and the definition of free-moving vehicles on two-lane rural highways. *Journal of Transportation Engineering*.
4. Boora, A., Ghosh, I., Chandra, S., & Rani, K. (2018). Measurement of free-flow conditions on multilane intercity highways under heterogeneous traffic conditions. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*.
5. Broeren, P. T., Jong, J. d., Uittenbogerd, G., & Groot, J. (2015). Ramps in interchanges/Relations between geometric design, crash rates and driving speeds. *5th International Symposium on Highway Geometric Design*. Vancouver.
6. Carlson, P., & Mason, J. (1999). Relationship Between Ball Bank Indicator Readings, Lateral Acceleration Rates and Vehicle Body-Roll Rates. *Transportation Research Record, 1658*. Washington DC: Transportation Research Board.
7. D'Andrea, A., Carbone, F., Salviera, S., & Pellegrino, O. (2012). The Most Influential Variables in the Determination of V85 Speed. *SIIV - 5th International Congress - Sustainability of Road Infrastructures*. Elsevier Ltd.
8. de Jong, J. (2017). Evaluation of driving behaviour in horizontal curves in interchanges using floating car and meteorological data. *ROAD SAFETY & SIMULATION INTERNATIONAL CONFERENCE*.
9. Dixon, K., Wu, C. H., Sarasua, W., & Daniel, J. (1999). Estimating free-flow speeds for rural multilane highways. *Transportation Research Record*.

-
10. Elvik, R. (2009). *The Power Model of the relationship between speed and road safety. Update and new analyses*. Oslo: Institute of Transport Economics.
 11. Elvik, R., Christensen, P., & Amundsen, A. (2004). *Speed and road accidents, An evaluation of the Power Model*. Oslo: Institute of Transport Economics.
 12. Figueroa, A. M., & Tarko, A. P. (2005). Speed factors on two-lane rural highways in free-flow conditions. *Paper presented at the 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.
 13. Fitzpatrick, K. (2000). *EVALUATION OF DESIGN CONSISTENCY METHODS FOR TWO-LANE RURAL HIGHWAYS, EXECUTIVE SUMMARY*. U.S Department of Transportation Federal Highway Administration.
 14. Fitzpatrick, K., Elefteriadou, L., Harwood, D., Collins, J., McFadden, J., Anderson, I., . . . Bauer, K. (1999). *Speed Prediction for Two-Lane Rural Highways. Final Report FHWA-RD-99-171*. Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
 15. *Guidelines for the Design of Motorways RAA*. (2011). Cologne, Germany: Road and Transportation Research Association.
 16. Hardwood, D. W., & Mason, J. M. (1994). Horizontal Curve Design for Passenger Cars and Trucks. *Transportation Research Record 1445*. Washington, DC: Transportation Research Board.
 17. Kanellaidis, G. (1995). Factors Affecting Drivers' Choice of Speed on Roadway Curves. *Journal of Safety Research*.
 18. Lamm, R. P. (1999). Safety Evaluation Processes for Two-Lane Rural Roads. Στο 1. McGraw-Hill, *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill.
 19. Lobo, A., Jacques, M., Rodrigues, C., & Couto, A. (2011). Free-gap evaluation for two-lane rural highways. *Transportation Research Record*.
 20. Mavromatis, S. (2017). Safety Assessment of Control Design Parameters through Vehicle Dynamics Model. *ROAD SAFETY & SIMULATION INTERNATIONAL CONFERENCE 2017*.

-
21. Mavromatis, S. (2017). VEHICLE SKIDDING ASSESSMENT THROUGH MAXIMUM ATTAINABLE CONSTANT SPEED INVESTIGATION. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*.
 22. Mavromatis, S., & Psarianos, B. (2003). Analytical Model to Determine the Influence of Horizontal Alignment of Two-Axle Heavy Vehicles on Upgrades. *Journal of Transportation Engineering*.
 23. Mavromatis, S., Apostoleris, K., Laiou, A., Yannis, G., & Psarianos, B. (2017). ACCELERATION IMPACT INVESTIGATION FOR CONTROL ROAD GEOMETRY PARAMETERS. *Transportation Research Board (TRB)*.
 24. Mavromatis, S., B.Psarianos, D'Apuzzo, M., & Nicolosi, V. (2000). Design Speed Ranges to Accommodate a Safe Highway Geometric Design for Heavy Vehicles. *Transportation 37 Research Board. 2nd International Symposium on Highway Geometric Design*. Mainz Germany.
 25. Mavromatis, S., Psarianos, B., Tsekos, P., & Kleioutis, G. (2016). Investigation of Vehicle Motion on Sharp Horizontal Curves Combined with Steep Longitudinal Grades. *Transportation Letters DOI: 10.1080/19427867.2015.1114748*.
 26. McGowen, P., & Sanderson, M. (2011). Accuracy of Pneumatic Road Tube Counters. *Western District Annual Meeting* . Anchorage, AK: Institute of Transportation Engineers.
 27. Navin, F. (2015). Some Factors in the Design of Rural Highway Curves. *Proceedings of the 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington D.C.: (Transportation Research Board).
 28. Nilsson, G. (2004). Traffic safety dimensions and the Power Model to describe the effect of speed on safety. *Bulletin 221. Lund Institute of Technology, Department of Technology and Society, Taffic Engineering*.
 29. Papadimitriou, E., Mavromatis, S., Pavlou, D., & Yannis, G. (2017). Simulation based safety margin assessment on speed variation between tangent to curved road alignment. *Advances in Transportation Studies: an international Journal Section A 43*.

-
30. Psarianos, B., & Apostoleris, K. (2017). Operational Evaluation of the use of Skew Superelevation on motorways for heavy vehicles through simulation tests. *Road Safety and Simulation International Conference*. Hague.
 31. Robertson, J., Fitzpatrick, K., Park, E., & Irigavarapu, V. (2014). Determining level of service on freeways and multilane highways with higher speeds. *Transportation Research Record*.
 32. Sekhar, C., J.Nataraju, S.Velmurugan, Kumar, P., & K.Sitaramanjaneyulu. (2014). Free Flow Speed Analysis of Two Lane Inter Urban Highways. *Transportation Research Procedia*.
 33. Semeida, A. M. (2013). New models to evaluate the level of service and capacity for rural multilane highways in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*.
 34. TRB (Transportation Research Board) 2010. (2010). *HCM (Highway Capacity Manual) 2010*. Washington, DC: National Research Council.
 35. Tseng, P., Lin, F., & Shieh, S. L. (2005). Estimation of free-flow speeds for multilane rural and suburban highways. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*.
 36. Velenis, E., Frazzoli, E., & Tsiotras, P. (2010). Steady-State Cornering Equilibria and Stabilization for a Vehicle During Extreme Operating Conditions. *International Journal of Vehicle Autonomous Systems*.
 37. Wang, J. (2006). *OPERATING SPEED MODELS FOR LOW SPEED URBAN ENVIRONMENTS BASED ON IN-VEHICLE GPS DATA*. Georgia Institute of Technology.
 38. *Weather History Elefsis Air Base, Greece*. (2018, July 7-9). Ανάκτηση από Weather Underground: <https://www.wunderground.com>
 39. Xu, J., Yang, K., Shao, Y., & Lu, G. (2015). An Experimental Study on Lateral Acceleration of Cars in Different Environments in Sichuan, Southwest China. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, vol. 2015, Article ID 494130.
 40. Zhang, Z.-y., Hao, X.-y., & Wu, W.-b. (2014). Research on the Running Speed Prediction Model of Interchange Ramp. *9th International Conference on Traffic & Transportation Studies (ICTTS'2014)*. Elsevier Ltd.

-
41. Αποστολέρης, Α. Ι. (2015). *Οδοποιία Ι - Χαράξεις και υπολογισμός χωματισμών θεωρία και πρακτική*.
42. Γιαννής, Γ., Γκόλιας, Ι., & Κανελλαΐδης, Γ. (2004). *ΕΝΝΟΙΕΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
43. Γλαρός, Γ., & Κανελλαΐδης, Γ. (2017). Β. Στοιχεία Ισόπεδων και Ανισόπεδων Κόμβων. Στο *Σημειώσεις Οδοποιίας ΙΙ*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
44. ΖΑΧΑΡΗ, Ι., & ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΗΣ, Σ. (1999). *ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ "ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ ΑΝΙΣΜΟΠΕΔΟΥ ΚΟΜΒΟΥ ΕΙΣΟΔΟΥ ΚΑΣΤΟΡΙΑΣ"*. ΒΟΛΟΣ: ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ.
45. Καλτσάς, Λ. (2018). *Διπλωματική Εργασία "ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΟΔΟΥ ΒΑΣΕΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ – ΕΦΑΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΕΟ3 (ΤΜΗΜΑ ΛΑΜΙΑ – ΔΟΜΟΚΟΣ)"*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
46. Μαυρομάτης, Σ. (2002). *ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ ΟΔΟΥ ΔΥΟ ΛΩΡΙΔΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΙΝΗΣΗ ΔΙΑΞΟΝΙΚΩΝ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΙΣΕΙΣ*. ΑΘΗΝΑ.
47. Μαυρομάτης, Σ. (2018). *Σημειώσεις για το μάθημα Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
48. ΟΜΟΕ-ΑΚ. (2003). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τευχος 9: Ανισόπεδοι κόμβοι (ΟΜΟΕ-ΑΚ)*. Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων.
49. ΟΜΟΕ-Χ. (2001). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 3: Χαράξεις (ΟΜΟΕ-Χ)*. Στο *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων*. ΝΑΜΑ ΑΕ.
50. ΤΕΕ. (2006). *ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΤΡΟΧΑΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΔΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ, ΟΔΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ - ΟΧΗΜΑ*. Αθήνα: Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.
51. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. (2004, Ιούλιος-Αύγουστος). Ανάκτηση από http://library.tee.gr/digital/techr/2004/techr_2004_4_egnatia.pdf