



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΞΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ
ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΟΔΟΥ**

ΚΑΤΣΑΝΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

Επιβλέπων: Ψαριανός Βασίλειος, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

#

Αθήνα, Μάιος 2014

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ
ΤΕΧΝΙΚΗΣ**





NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

SCHOOL OF RURAL & SURVEYING ENGINEERING

#

DEP. OF INFRASTRUCTURE AND RURAL DEVELOPMENT

#

#

#

#

Diploma Thesis

**COMPARATIVE STUDY BETWEEN MATHEMATICS
MODEL AND EXPERIMENTAL MEASUREMENTS FOR
CALCULATING THE COEFFICIENT OF FRICTION IN
URBAN STREET**

KATSANOS EYAGGELOS

Supervisor: PSARIANOS BASIL, Professor N.T.U.A.

#

#

#

#

#

#

#

Athens, May 2014

#

**LABORATORY OF
TRANSPORTATION ENGINEERING**



#

#

#

ΔΗΛΩΣΗ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

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

Κατσάνος Ευάγγελος

#

#

#

#

#

#

#

#

#

#

#

#

Ευχαριστίες

Πριν από ένα χρόνο περίπου μου ανατέθηκε η διπλωματική εργασία που ακολουθεί, από το Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών.

Στην αρχή υπήρχαν δυσκολίες, καθώς πρόκειται για μια δουλειά που απαιτούσε υπομονή κόπο και χρόνο και ο δρόμος για την ολοκλήρωση της ήταν μακρύς. Στη δύσκολη αυτή πορεία όλων αυτών των μηνών υπήρξαν κάποιοι άνθρωποι χωρίς τη βοήθεια των οποίων δε θα μπορούσα να έχω ολοκληρώσει την εργασία μου. Για το λόγο αυτό, θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν και στάθηκαν αρωγοί στην προσπάθειά μου.

Πρώτα από όλα ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Β. Ψαριανό για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε με την ανάθεση της εργασίας, καθώς και για την καθοδήγηση και τις συμβουλές του όλο αυτό το διάστημα.

Ένα ευχαριστώ στον Μιχάλη Ξινόγαλο, τοπογράφο μηχανικό, για τη βοήθειά του, τις ουσιαστικές συμβουλές του αλλά και για την παροχή του οπτικού σαρωτή.

Ευχαριστώ τον επίκουρο Καθηγητή κ. Στέργιο Μαυρομάτη για τη συνεργασία του ως προς την ανάλυση των αποτελεσμάτων και την ουσιαστική του συμβολή για την ολοκλήρωση της εργασίας.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Λεωνίδα Αλαφούζο, που διέθεσε το αυτοκίνητο του και για την συμβολή του, στις μετρήσεις πεδίου.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την αδερφή μου για την βοήθεια στις μετρήσεις πεδίου και για τη γενικότερη υποστήριξη της.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τη μητέρα μου και τον πατέρα μου για τη βοήθεια τους σε αυτό το στάδιο της ζωής μου.

#

#

Σύνοψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προσδιορίζεται πειραματικά ο συντελεστής τριβής οδοστρώματος κατά μήκος καμπύλου οδικού τμήματος, αστικής οδού στα σύνορα Γαλατσίου-Ψυχικού. Ο συντελεστής τριβής θα προσδιοριστεί με την χρήση επιταχυνσιόμετρου. Αυτό μας εξυπηρετεί, καθώς το ενδιαφέρον μας εστιάζεται στον συντελεστή της εγκάρσιας τριβής και πιο συγκεκριμένα η τιμή του κατά την διάρκεια της ολίσθησης.

Η περιοχή μελέτης επιλέχθηκε με βάση τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά, καθώς στόχος ήταν η μελέτη αστικής οδού με μεγάλη καμπυλότητα, με μεγάλη κατά μήκος κλίση και επίκλιση. Το συγκεκριμένο οδικό τμήμα έχει ακτίνα κυκλικού τόξου της τάξης των 30 μέτρων, κατά μήκος κλίση της τάξης του 8% και επίκλιση της τάξης του 5%.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα συγκριθούν μεταξύ τους καθώς η πειραματική διαδικασία θα επαναληφθεί για τέσσερις τιμές ταχυτήτων. Στην συνέχεια θα συγκριθούν τα αποτελέσματα της ανωφέρειας με αυτά της κατωφέρειας, με στόχο τον προσδιορισμό του πιο κρίσιμου για τον σχεδιασμό της καμπύλης άξονα, αυτόν της ανωφέρειας ή της κατωφέρειας.

Θα αποδείξουμε ότι η ανωφέρεια αποτελεί την κρίσιμη διαδρομή στον σχεδιασμό της καμπύλης, επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα άλλων μελετών που προήλθαν από λογισμικά προσομοίωσης.

Τέλος θα συγκριθεί ο απαιτούμενος συντελεστής τριβής, χρησιμοποιώντας το pass- point model, με τα αποτελέσματα των μετρήσεων και τα αντίστοιχα αποτελέσματα χρησιμοποιώντας το μοντέλο που ανέπτυξε στο διδακτορικό του ο κ. Μαυρομάτης.

Λέξεις -Κλειδιά

Καμπύλη, τροχιά οχήματος, ταχύτητα οχήματος, απαιτούμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής, διατιθέμενος συντελεστής εγκάρσιας τριβής, ολίσθηση.

Abstract

The aim of this study is to determine experimentally the coefficient of friction on pavement along curved in a section of road in the borders Galatsi-Psychikon, in suburban of Athens. The friction coefficient will be determined by the use of an accelerometer. This serves us as our interest focuses on the friction coefficient of the cross and in particular it's value during sliding.

The study area was chosen based on the geometric characteristics, and the aim was to study urban road with sharp curvature, along with a steep slope and superelevation rates. This road segment is a circular arc radius of about 30 meters along the slope of 8% and superelevation of around 4%.

The measurement results will be compared with each other as the experimental procedure will be repeated for four values speed. Then we will compare the results of downgrade with those of uphill slope, with a view to identifying the most critical for the design of curved axis, that of upslope or downgrade.

We are going to prove, that the upslope is the critical traversal is road design, as other studies from simulation software suggest.

Eventually a comparison will take place between the values of coefficient of friction, from the mass-point model, the field measurements and the model, developed by professor Mauromatis, in his doctored thesis.

Keywords

Curve orbit vehicle, vehicle speed, lateral friction coefficient required, available cross-friction coefficient, sliding.

Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες	ii
Σύνοψη	iii
Συνομογραφίες	xi
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.	1
1.1 Παρουσίαση του προβλήματος.	1
1.2 Σκοπός της εργασίας και διάρθρωση αυτής.	3
2.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ.	4
2.1 Ορισμοί μεγεθών.	4
2.1.1 Εγκάρσιος συντελεστής τριβής.	4
2.1.2 Καμπύλη διαδρομή.	4
2.1.3 Ταχύτητα οχήματος	4
2.1.4 Πρότυπο σημειακής μάζας (Mass-point model).	5
2.1.5 Επίκλιση.	6
2.2 Δυναμική κίνησης Οχήματος.	6
2.2.1 Υπολογισμός Απαιτούμενου και του Επιτρεπόμενου Συντελεστή Τριβής.	7
2.2.2 Γερμανικοί και Ελληνικοί Κανονισμοί.	8
2.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών τμημάτων.	10
2.3.1 Ο προσδιορισμός της θέσης του κυκλικού τόξου και ο υπολογισμός της ακτίνας του.	11
2.3.2 Ο προσδιορισμός της θέσης της κλοθωειδούς και ο υπολογισμός της παραμέτρου της.	13
2.3.3 Προσδιορισμός ελικτότητας των καμπυλών.	13
2.3.4 Προσδιορισμός της ανηγμένης ακτίνας.	14
2.4 Παρουσίαση σχετικών μελετών.	14
2.4.1 Comparison of field measurements of vehicle dynamics to simulations using both design plans and LIDAR- scanned road geometry των Alexander Brown και Sean Brennan.	14
2.4.2 Influence of vehicle parameters on horizontal curve design of rural highways των Basil Psarianos, Marios Kontaratos και Demetrios Kasios.	15
2.4.3 Superelevation design for sharp horizontal curves on steep grades των D.J. Torbic, E.T. Donnel, S.N. Brennan, A. Brown, M.K. O' Laughlin και K.M. Bauer.	17
2.4.4 Multi-Body Simulation Modeling of Vehicle Skidding and Roll over 1 for Horizontal Curves on Longitudinal Grades των Amirarsalan Mehrara Molan και Ali Abdi Kordani.	18

2.4.5 Effect of vehicles suspension on highway horizontal curve design του Chang, T.H.	20
2.4.6 Side Friction and Speed as Controls for Horizontal Curve Design του Bonneson, J.A.	20
2.4.7 Minimum horizontal curve radius as function of grade incurrent by vehicle motion in driving mode των Basil Psarianos, Marios Kontaratos και Apostolos Yiotis.	21
2.5 Συμπεράσματα σχετικών μελετών.	22
3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.	24
4. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.	29
4.1 Εισαγωγή.	29
4.2 Μέθοδοι Σάρωσης.	30
4.2.1 Μέθοδος Time Of Flight.	30
4.2.2 Μέθοδος Διαφοράς Φάσης.	31
4.2.3 Μέθοδος Τριγωνισμού.	31
4.2.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά σάρωσης με χρήση επίγειου σαρωτή.	32
4.3 Αποτύπωση με Laser Scanner.	35
4.3.1 Επίγειος σαρωτής Faro Focus 3D.	35
4.3.2 Διαδικασία σάρωσης.	38
4.4 Σύνδεση στο ΕΓΣΑ87.	42
4.5 Αποτελέσματα Αποτύπωσης.	45
5. Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.	48
5.1 Παρουσίαση της πειραματικής διαδικασίας.	48
5.2 Ορισμός της τροχιάς του οχήματος.	52
5.3 Αποτελέσματα των διαδρομών.	54
5.4 Αποτελέσματα πέδησης στην ευθυγραμμία.	57
5.5 Αποτελέσματα μοντέλου της διδακτορικής διατριβής του επίκουρου καθηγητή κ. Μαυρομάτη.	58
6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.	60
6.1 Αποτελέσματα ανωφέρειας.	60
6.2 Αποτελέσματα κατωφέρειας.	63
6.3 Σύγκριση του απαιτούμενου συντελεστή τριβής με βάση την εξίσωση του μοντέλου mass-point και των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας με τα αποτελέσματα της διδακτορικής διατριβής του κ. Μαυρομάτη.	67
6.4 Σύγκριση της ταχύτητας ολίσθησης και της ταχύτητας ασφαλείας.	69
6.5 Συμπεράσματα από την σύγκριση των μετρήσεων.	70

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	74
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΩΝ	76

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 1: Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής μελέτης.	24
Εικόνα 2: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης, ορθή λήψη.	25
Εικόνα 3: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης, πλάγια λήψη.	25
Εικόνα 4: Φωτογραφία της περιοχής μελέτης, με κατεύθυνση προς Γαλάτσι. (επίγεια λήψη)	26
Εικόνα 5: Φωτογραφία της περιοχής μελέτης, από τη στάση του λεωφορείου. (επίγεια λήψη).....	27
Εικόνα 6: Φωτογραφία της περιοχής μελέτης, απεικόνιση της κορυφής του κυκλικού τόξου . (επίγεια λήψη).....	27
Εικόνα 7: Φωτογραφία της περιοχής μελέτης, με κατεύθυνση προς Ψυχικό. (επίγεια λήψη)	28
Εικόνα 8: Διάταξη σάρωσης με την μέθοδο του τριγωνισμού.	32
Εικόνα 9: Επίγειος σαρωτής Faro Focus 3D.	36
Εικόνα 10: Επίγειος σαρωτής Faro Focus 3D.	36
Εικόνα 11: Επίγειος σαρωτής Faro Focus 3D.	37
Εικόνα 12: Επίγειος σαρωτής Faro Focus 3D.	37
Εικόνα 13: Σαρωτής Faro Focus 3D στο πεδίο (Στάση 01).	39
Εικόνα 14: Διάταξη των στάσεων στην περιοχή μελέτης.	40
Εικόνα 15: Στιγμιότυπο της πρώτης στάσης από το πρόγραμμα Faros SCENE LT.....	41
Εικόνα 16: Στιγμιότυπο της δεύτερης στάσης από το πρόγραμμα Faros SCENE LT.....	41
Εικόνα 17: Στιγμιότυπο της πέμπτης στάσης από το πρόγραμμα Faros SCENE LT.	42
Εικόνα 18: Ο δέκτης Leica viva 08gs.....	43
Εικόνα 19: Το επιταχυνσιόμετρο VC4000 εγκατεστημένο κατά την πειραματική διαδικασία.	50
Εικόνα 20: Στιγμιότυπο από τις μετρήσεις κατά την ανωφέρεια της οδού (στην αρχή της καμπύλης).	50
Εικόνα 21: Στιγμιότυπο από τις μετρήσεις κατά την κατωφέρεια της οδού (στην αρχή της καμπύλης).	50
Εικόνα 22: Στιγμιότυπο από τις μετρήσεις κατά την ανωφέρεια της οδού (στο τέλος της καμπύλης).	51
Εικόνα 23: Στιγμιότυπο από τις μετρήσεις κατά την κατωφέρεια της οδού (στο τέλος της καμπύλης).	51
Εικόνα 24: Η τροχιά της ανωφέρειας.....	53
Εικόνα 25: Η τροχιά της κατωφέρειας.	54

#

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 1: Συντελεστές τριβής επιφανειών οδών σύμφωνα με τους αμερικάνικους κανονισμούς.....	2
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Faro Focus 3D.....	38
Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά Leica viva 08gs.....	43
Πίνακας 4: Συντεταγμένες σημείων μετρημένων με GPS.....	44
Πίνακας 5: Γεωμετρικά στοιχεία ρεύματος τόξων συναρμογής.....	45
Πίνακας 6: Γεωμετρικά στοιχεία ευθυγραμμίων.....	46
Πίνακας 7: Γεωμετρικά στοιχεία κυκλικών τόξων.....	46
Πίνακας 8: Στοιχεία επικλίσεων.....	47
Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά Opel Corsa Orc.....	48
Πίνακας 10: Στοιχεία τροχιάς του οχήματος κατά την ανωφέρεια.....	52
Πίνακας 11: Στοιχεία τροχιάς του οχήματος κατά την κατωφέρεια.....	53
Πίνακας 12: Αποτελέσματα του μοντέλου (13) για την ανωφέρεια.....	59
Πίνακας 13: Αποτελέσματα του μοντέλου (13) για την κατωφέρεια.....	59

Ευρετήριο διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Οι διαμήκεις συντελεστές τριβής συναρτήσει της ταχύτητας για κάθε μία από τις τέσσερις διαδρομές για την ανωφέρεια.....	55
Διάγραμμα 2: Οι διαμήκεις συντελεστές τριβής συναρτήσει της ταχύτητας για κάθε μία από τις τέσσερις διαδρομές για την κατωφέρεια.....	55
Διάγραμμα 3: Οι εγκάρσιοι συντελεστές τριβής συναρτήσει της ταχύτητας για κάθε μία από τις τέσσερις διαδρομές για την ανωφέρεια.....	56
Διάγραμμα 4: Οι εγκάρσιοι συντελεστές τριβής συναρτήσει της ταχύτητας για κάθε μία από τις τέσσερις διαδρομές για την κατωφέρεια.....	57
Διάγραμμα 5: Στοιχεία πέδησης από τις μετρήσεις πεδίου.....	58
Διάγραμμα 6: Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της πέδησης για την ανωφέρεια και την κατωφέρεια.....	58
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 39km/h.....	62
Διάγραμμα 8: Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 42km/h.....	63
Διάγραμμα 9: Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 38km/h.....	64
Διάγραμμα 10 Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 42km/h.....	65
Διάγραμμα 11: : Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 46km/h.....	66
Διάγραμμα 12 Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 59km/h.....	67
Διάγραμμα 13: Σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τον απαιτούμενο συντελεστή τριβής και τον αντίστοιχο του δυναμικού μοντέλου (13) στην ανωφέρεια.....	68
Διάγραμμα 14: Σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τον απαιτούμενο συντελεστή τριβής και τον αντίστοιχο του δυναμικού μοντέλου (13) στην κατωφέρεια.....	69
Διάγραμμα 15: Σύγκριση της ταχύτητας ολίσθησης με την ταχύτητα ασφαλείας για την ανωφέρεια και την κατωφέρεια σύμφωνα με το μοντέλο (13).	70

Συντομογραφίες

χ _ω	χιλιόμετρα την ώρα
f _R	ο εγκάρσιος συντελεστής τριβής
Χ.Θ.	χιλιομετρική θέση
πχ	παραδείγματος χάρη
κτλ	και τα λοιπά
LiDAR	Light Detection And Ranging
GPS	Global Positioning System
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
RAS-L	Richtlinien für die Anlage von Straßen
SUV	Sport Utility Vehicle
m-p	mass-point
ToF	Time of Flight
MP	Mega Pixel

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

1.1 Παρουσίαση του προβλήματος.

Οι οριζόντιες καμπύλες αποτελούν ένα σημαντικό πρόβλημα στο θέμα της ασφάλειας εξ' αιτίας παραγόντων, όπως η φυγόκεντρος δύναμη και η αντίληψη του οδηγού. Αυτοί οι παράγοντες θεωρούνται το ίδιο σημαντικοί όσο και η ορατότητα.

Πέρα από την ορατότητα, οι οδηγοί των βαρέων οχημάτων βρίσκονται αντιμέτωποι με τον κίνδυνο της ολίσθησης και της ανατροπής. Αντίθετα οι οδηγοί των επιβατηγών βρίσκονται αντιμέτωποι κυρίως με την ολίσθηση και λιγότερο με την ανατροπή, εντός της καμπύλης. Και οι δύο οφείλονται στην φυγόκεντρο και τείνουν να θέσουν εκτός της καμπύλης το όχημα. Ιδιαίτερα στις κατωφέρειες η εγκάρσια δύναμη μπορεί να μετατοπίσει το κέντρο βάρους του οχήματος και να μεταβάλει τις δυνάμεις που καταπονούν τα ελαστικά.

Γενικά οι σχεδιαστές προσπαθούν να αποφεύγουν το συνδυασμό καμπυλών με κατά μήκος κλίσεις, κάτι που όμως είναι σπάνια εφικτό λόγω του αναγλύφου. Για αυτό το λόγο γίνονται μελέτες χρησιμοποιώντας και μοντέλα προσομοίωσης, ώστε να βελτιωθούν οι παράμετροι σχεδιασμού όσο το δυνατόν περισσότερο.

Βασική παράμετρο στην διαδικασία της χάραξης ενός οδικού άξονα αποτελεί ο συντελεστής τριβής του οδοστρώματος. Ο συντελεστής τριβής είναι άμεσα συνδεδεμένος τόσο με την ελάχιστη τιμή της ακτίνας του κυκλικού τόξου της καμπύλης, όσο με την επίκλιση αλλά και την κατά μήκος κλίση της οδού.

Ο συντελεστής τριβής έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών μελετών, ιδιαίτερα αυτό τον καιρό που γίνεται μια προσπάθεια αναθεώρησης των κανονισμών.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο συντελεστής τριβής f_R που διατίθεται κατά την διέλευση επιβατηγών οχημάτων από μια καμπύλη, προκειμένου για δεδομένη ταχύτητα και ακτίνα καμπύλης το όχημα να μην εκτραπεί. Σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς ασφαλείας, για τα βαρέα οχήματα είναι μειωμένος στο 70% για λόγους ασφαλείας.

Συντελεστής τριβής				
Κατάσταση οδοστρώματος	Στεγνό <50 Km/h	Στεγνό >50 Km/h	Υγρό <50 Km/h	Υγρό >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
Ασφαλτος				
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	0,55-0,85	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
Επιφάνεια με παγετό	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 1: Συντελεστές τριβής επιφανειών οδών σύμφωνα με τους αμερικάνικους κανονισμούς.

Οι τιμές αυτές αναφέρονται στον διαμήκη συντελεστή τριβής.

Το πρόβλημα που καλείται να λύσει ο μελετητής, κατά την διάρκεια της χάραξης μιας οδού, σε όποια κατηγορία και αν αυτή, ανήκει είναι η επιλογή της ακτίνας του κυκλικού τόξου της καμπύλης ώστε να είναι ασφαλής η διέλευση των οχημάτων. Σε αυτό το συλλογισμό προστίθεται και προκύπτει η λειτουργική ταχύτητα της οδού, η οποία προσδιορίζει και την χάραξη.

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας, αφορά κατηγορία οδών με μικρή ακτίνα κυκλικού τόξου στην καμπύλη και μεγάλη κατά μήκος κλίση και επίκλιση. Για την κατηγορία αυτή θα συσχετίσουμε, με κριτήριο την ασφάλεια κίνησης οχήματος, τα πρότυπα του υλικού σημείου (mass-point) και σχετικής θεωρητικής εργασίας (Μαυρομάτης), με μετρήσεις πεδίου.

1.2 Σκοπός της εργασίας και διάρθρωση αυτής.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός του συντελεστή τριβής σε οδικό άξονα, με καμπύλη, κυκλικού τόξου μικρής ακτίνας και μεγάλη κατά μήκος κλίση και επίκλιση. Οι μετρήσεις θα γίνουν χρησιμοποιώντας το επιταχυνσιόμετρο VC4000, και οι μετρήσεις θα γίνουν κατά μήκος της καμπύλης κατά την ανωφέρεια όσο και για την κατωφέρεια.

Προτού γίνουν οι μετρήσεις αυτές κρίθηκε σκόπιμη η αποτύπωση την περιοχής μελέτης για τον ακριβή προσδιορισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών, χρησιμοποιώντας οπτικό σαρωτή, ο οποίος μπορεί να μας δώσει με μεγάλη ακρίβεια όλη την γεωμετρική πληροφορία που είναι απαραίτητη για την σύγκριση του εγκάρσιου συντελεστή τριβής με εκείνου που προκύπτει πειραματικά.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά αποσπάσματα από τις εργασίες άλλων μελετών που σχετίζονται με τον συντελεστή τριβής και γενικότερα την συμπεριφορά του οχήματος σε συνθήκες ολίσθησης.

Στο τρίτο κεφάλαιο θα γίνει η περιγραφή της περιοχής μελέτης και στην συνέχεια θα περιγραφεί η μέθοδος της αποτύπωσης και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται η μέθοδος αποτύπωσης με οπτικό σαρωτή, καθώς και η αποτύπωση της περιοχής μελέτης. Στο τέλος του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αποτύπωσης.

Το πέμπτο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στην περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας και στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων της πέδησης στην ευθυγραμμία.

Στο έκτο κεφάλαιο θα μελετηθούν και θα συγκριθούν μεταξύ τους τα αποτελέσματα αυτά και με αυτά των άλλων μοντέλων κατά μήκος του κυκλικού τόξου.

Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο θα αναπτύξουμε τα συμπεράσματα της μελέτης και θα προσδιορίσουμε την απόκλιση που εμφανίζεται μεταξύ των μοντέλων και των μετρήσεων που προκύψαν από την πειραματική διαδικασία.

2.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ.

2.1 Ορισμοί μεγεθών.

2.1.1 Εγκάρσιος συντελεστής τριβής.

Με τον όρο εγκάρσιος συντελεστής τριβής, ορίζουμε το συντελεστή εκείνο που δηλώνει το ποσό της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ του οδοστρώματος και των ελαστικών του οχήματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε τροχός έχει διαφορετική συμπεριφορά και συνεισφέρει διαφορετικά στην πέδηση του οχήματος, όπως έχει αναλυθεί εκτενώς στο Influence of Vehicle Parameters on Horizontal Curve Design of Rural Highways (B. Psarianos, M. Kontaratos, and D. Katsios). Στην έρευνα αυτή θα ασχοληθούμε με τρεις τιμές του συντελεστή αυτού:

- Την τιμή που δίνεται από το πρότυπο του Mass-Point.
- Την τιμή που δίνεται από το πρότυπο της θεωρητικής εργασίας του επίκουρου καθηγητή κ. Μαυρομάτη.
- Την τιμή που καταγράφεται πειραματικά με το επιταχυνσιόμετρο.

2.1.2 Καμπύλη διαδρομή.

Στην παρούσα εργασία, θα μετρηθεί η πλευρική επιτάχυνση του οχήματος σε καμπύλη διαδρομή. Η διαδρομή αυτή θα αναφέρεται στο τμήμα μόνο του κυκλικού τόξου. Αυτό συμβαίνει επειδή τα μοντέλα που θα χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό του συντελεστή τριβής αναφέρονται μόνο για τμήματα με σταθερή καμπυλότητα.

2.1.3 Ταχύτητα οχήματος

Η ταχύτητα του οχήματος που θα χρησιμοποιήσουμε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας είναι η μέση ταχύτητα του οχήματος, όταν αυτό διαγράφει καμπύλη διαδρομή. Πιο συγκεκριμένα θα χρησιμοποιήσουμε το μήκος της τροχιάς, που διέγραψε το όχημα και θα το διαιρέσουμε με την χρονική διάρκεια που το επιταχυνσιόμετρο άρχισε να καταγράφει σημαντικές μεταβολές στην εγκάρσια διεύθυνση.

2.1.4 Πρότυπο σημειακής μάζας (Mass-point model).

Από τους νόμους της φυσικής είναι γνωστό ότι η κεντρομόλος δύναμη που ασκείται σε μια σημειακή μάζα ισούται με:

$$\alpha_r = \frac{V^2}{R}, \text{ όπου} \quad (2.1)$$

- α_r : η κεντρομόλος δύναμη
- V : η ταχύτητα του mass-point
- R : η ακτίνα που διαγράφει το mass-point

Υποθέτοντας ότι το όχημα αποτελεί σημειακή μάζα τότε η επιτάχυνση ισούται με την πλευρική τριβή που αναπτύσσεται ανάμεσα στην επιφάνεια του οδοστρώματος και τα ελαστικά του οχήματος. Η συνιστώσα του βάρους του οχήματος λόγω επίκλισης μειώνει την πλευρική δύναμη υποβοηθώντας την πλευρική πρόσφυση.

Από το μοντέλο mass-point προκύπτει η σχέση:

$$R_{min} = \frac{V_D^2}{127(f_R + e_{max})}, \text{ όπου} \quad (2.2)$$

- R_{min} , η ελάχιστη ακτίνα της καμπύλης
- f_R , ο απαιτούμενος συντελεστής της εγκάρσιας τριβής
- e_{max} , η μέγιστη % επίκλιση του οδοστρώματος και
- V , η λειτουργική ταχύτητα του οχήματος.

Οι αμερικάνικοι κανονισμοί AASHTO καθώς και οι περισσότερες οδηγίες σχεδιασμού οδών διεθνώς βασίζονται στο mass-point model για την βασική εξίσωση χάραξης καμπύλων. Το μοντέλο αυτό αποτελεί το πιο απλό, με αποτέλεσμα οι κανονισμοί να εμφανίζουν τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- Ο υπολογισμός της ελάχιστης ακτίνας της καμπύλης να μην συμπεριλαμβάνει την κατά μήκος κλίση.
- Δεν λαμβάνονται υπ' όψιν η διαφορετική συμπεριφορά του κάθε ελαστικού.
- Ακόμα δεν λαμβάνονται υπ' όψιν και τα χαρακτηριστικά του οχήματος.

2.1.5 Επίκλιση.

Η επίκλιση του οδοστρώματος ορίζεται από την εγκάρσια ανύψωση του οδοστρώματος εντός της καμπύλης η οποία λαμβάνει τη μέγιστη τιμή της εντός του κυκλικού τόξου και εκφράζεται ως ποσοστό %.

2.2 Δυναμική κίνησης Οχήματος.

Οι περισσότερες οδηγίες χάραξης οδών στην οριζοντιογραφία έχουν προσεγγίσει εμπειρικά τη δυναμική του οχήματος και ο προσδιορισμός του κρίσιμου μεγέθους της οριζοντιογραφίας, που είναι η ακτίνα της οριζόντιας καμπύλης, έγινε με βάση τη συμπεριφορά του οχήματος στην πέδηση [Ψαριανός, 2001]. Συγκεκριμένα, ο προσδιορισμός της γίνεται έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ισχυρό απόθεμα πρόσφυσης (90% περίπου της μέγιστης επιτρεπόμενης) στην επιτόχια κατεύθυνση. Με στόχο τη διάθεση του αποθέματος αυτού στην περίπτωση της πέδησης και των ανεπιθύμητων ελιγμών. Τέλος πρέπει να επισημάνουμε ότι στους υπολογισμούς των κρίσιμων μεγεθών, οι κανονισμοί αγνοούν τη δυναμική κίνησης των βαρέων οχημάτων δεδομένου ότι ως όχημα σχεδιασμού θεωρείται το επιβατηγό όχημα.

Στην οδοποιία σήμερα η υφιστάμενη προσέγγιση της δυναμικής εμπεριέχει τις εξής απλοποιήσεις [Ψαριανός, 2001] και [Ψαριανός, 2005 - 2006]:

- Το όχημα προσομοιώνεται με υλικό σημείο, δηλαδή με μια σημειακή μάζα, η οποία είναι συγκεντρωμένη στο Κ.Β. του οχήματος.
- Οι δυνάμεις ασκούνται στη προβολή του Κ.Β. του οχήματος.
- Αγνοείται παντελώς το πραγματικό σύστημα δυνάμεων που εμφανίζεται σε διάφορα μέρη του οχήματος (π.χ στους τροχούς) και προφανώς ο διαχωρισμός μεταξύ κινητήριου και μη κινητήριου άξονα.
- Η κίνηση του οχήματος εξετάζεται ανεξάρτητα στην επιτόχια και στην εγκάρσια κατεύθυνση.
- Οι δυνάμεις μεταφέρονται εξίσου σε καθένα από τα ελαστικά του.

Έτσι, κατά την κίνηση του οχήματος σε καμπύλη τροχιά στην εγκάρσια διεύθυνση η φυγόκεντρος δύναμη εξισορροπείται από τη συνιστώσα του βάρους του και την αναπτυσσόμενη πλευρική τριβή μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος. Από την ισορροπία αυτή υπολογίζεται και η ελάχιστη οριζόντια ακτίνα σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση.

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(f_R + e_{max})} \quad (2.3)$$

όπου :

- R_{\min} [m] = η ελάχιστη οριζόντια ακτίνα,
- V [km/h] = η ταχύτητα οχήματος - συνήθως ταχύτητα μελέτης,
- f_R = ο απαιτούμενος συντελεστής εγκάρσιας πρόσφυσης,
- e_{\max} = η μέγιστη επίκλιση (%/100).

Η ελάχιστη οριζόντια ακτίνα με βάση τις απλοποιήσεις, που αναφέραμε πιο πάνω, είναι ανεξάρτητη, τόσο από τη κατά μήκος κλίση του οδικού δικτύου, όσο και των χαρακτηριστικών του οχήματος. Στην πραγματικότητα, κατά την κίνηση του οχήματος στην καμπύλη οι δυνάμεις που μεταβιβάζονται στα τέσσερα ελαστικά είναι διαφορετικές και για τον προσδιορισμό αυτών απαιτείται θεώρηση κάποιου προτύπου συμπεριφοράς οχήματος και ελαστικών. Αν και η εγκυρότητα του μοντέλου προβληματίσε στο παρελθόν αρκετούς μελετητές, εντούτοις, τουλάχιστον ως τα μέσα της προηγούμενης δεκαετίας, η έρευνα δεν είχε προχωρήσει στο βαθμό που να καθιστά την εισαγωγή της κατά μήκος κλίσης αναγκαία στον προσδιορισμό των ελάχιστων γεωμετρικών μεγεθών. Στο πρόσφατο παρελθόν διάφοροι ερευνητές Macadam et al. [1985], Κονταράτος [1990], ανέπτυξαν μοντέλα δίτροχου, με βάση τα οποία σε αντίθεση με την κλασική οδοποιία, μελετήθηκε το όχημα σε όλες τις διευθύνσεις κίνησης υπό την επίδραση προωθητικής ροπής. Ιδιαίτερα στη δεύτερη περίπτωση, Κονταράτος [1990], συνδυάζοντας τα στοιχεία μηκοτομής με αυτά της οριζοντιογραφίας αποδείχθηκαν περιπτώσεις όπου οι Κανονισμοί χάραξης οδών άλλοτε υποσχεδιάζουν και άλλοτε υπερσχεδιάζουν.

Στους Ελληνικούς Κανονισμούς χάραξης οδών ΟΜΟΕ-Χ [Ψαριανός, 2001], επιχειρείται μια ποσοτική αξιολόγηση μεταξύ των στοιχείων μελέτης της οδού και της δυναμικής των οχημάτων. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το Κριτήριο Ασφαλείας III, ελέγχεται η σχέση που υπάρχει μεταξύ της απαιτούμενης πρόσφυσης του οδοστρώματος και της διατιθέμενης, σε συνάρτηση με την αναμενόμενη ταχύτητα των οχημάτων σε καμπύλα οδικά τμήματα. Η συσχέτιση αυτή, αξιοποιεί έμμεσα την υφιστάμενη προσέγγιση της δυναμικής του οχήματος μέσω της συσχέτισης της απαιτούμενης πρόσφυσης με τα ατυχήματα σε μία οδό.

2.2.1 Υπολογισμός Απαιτούμενου και του Επιτρεπόμενου Συντελεστή Τριβής.

Για τον υπολογισμό του αναπτυσσόμενου ή απαιτούμενου συντελεστή τριβής κατά την κίνηση του οχήματος στην καμπύλη χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω εξίσωση [Glenon and Weaver, 1971], σύμφωνα με τις παραδοχές του προηγούμενου εδαφίου:

$$f_R = \frac{V^2}{127R} - e \quad (2.4)$$

όπου :

- f_R = ο απαιτούμενος συντελεστής πλευρικής τριβής,
- V [km/h] = η ταχύτητα που αναπτύσσει το όχημα στην καμπύλη,
- R [m] = η ακτίνα της τροχιάς που ακολουθεί το όχημα στην καμπύλη,
- e = η επίκλιση στην καμπύλη (%/100).

Επισημαίνεται ότι η ακτίνα R στη συγκεκριμένη έρευνα αποτελεί την ακτίνα της πραγματικής τροχιάς του οχήματος, όπως αυτή θα προσδιοριστεί στη συνέχεια. Η δύναμη της τριβής στα ελαστικά του οχήματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. [Ψαριανός, 2005-2006]. Αρχικά, το είδος και η κατάσταση του οδοστρώματος αποτελούν καθοριστικές παράμετρος καθώς το οδόστρωμα μπορεί να είναι στεγνό, βρεγμένο, με πάγο ή ακόμα και με λάσπη. Είναι προφανές ότι ανάλογα με την κατάσταση του οδοστρώματος, η αντίσταση που προκαλείται στο όχημα είναι διαφορετική. Η εμφάνιση της τριβής επίσης εξαρτάται από τις ιδιότητες και την κατάσταση του οχήματος. Σε αυτή την περίπτωση ως όχημα θεωρείται το επιβατηγό. Για παράδειγμα, η συμπεριφορά του οχήματος στο οδόστρωμα είναι διαφορετική ανάλογα με τον κινητήριο άξονα του οχήματος, με το φορτίο του, με τα χαρακτηριστικά των ελαστικών και την κατάστασή τους, αλλά και τον τύπο του οχήματος (sedan, coupe κλπ.). Τέλος, η τριβή εξαρτάται από το είδος της κίνησης του οχήματος, δηλαδή αν το όχημα επιταχύνει ή επιβραδύνει ή αν έχει σταθερή ταχύτητα.

2.2.2 Γερμανικοί και Ελληνικοί Κανονισμοί.

Σύμφωνα με τις Γερμανικές Οδηγίες RAS-L 1995, η τιμή του απαιτούμενου συντελεστή τριβής κατά την πέδηση οχήματος με ακινητοποιημένους τροχούς για το 95% των οδοστρωμάτων δίνεται από τη σχέση:

$$f_{T_{\max}} = 0.241 \left(\frac{V}{100} \right)^2 - 0.721 \left(\frac{V}{100} \right) + 0.708 \quad (2.5)$$

όπου:

- $f_{T_{\max}}$ = η μέγιστη θεωρητική τιμή του συντελεστή τριβής που επιτρέπεται να ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς,
- V [km/h] = η ταχύτητα του οχήματος.

Η σχέση αυτή έχει προκύψει από μετρήσεις ολισθηρότητας σε αντιπροσωπευτικά υγρά οδοστρώματα της ομοσπονδίας της Γερμανίας και οι τιμές που προκύπτουν για το

συντελεστή διαμήκης τριβής καλύπτουν το 95% των περιπτώσεων και επομένως, μόνο στο 5% των οδοστρωμάτων της Γερμανίας μπορεί να προκύψουν ανεπιθύμητες καταστάσεις.

Για τον συντελεστή πλευρικής τριβής προβλέπονται αυξημένα περιθώρια ασφαλείας, διότι αποδείχθηκε ότι ένα πολύ μεγάλο ποσοστό οδηγών κινείται στις καμπύλες με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα μελέτης ακόμα και σε υγρό οδόστρωμα. Κατά συνέπεια, ορίζεται ο συντελεστής εκμετάλλευσης n της τιμής του συντελεστή εγκάρσιας τριβής, ο οποίος έχει προκύψει εμπειρικά και εμπεριέχει μεταξύ άλλων και την επιρροή παραμέτρων που αγνοούνται. Τέλος, η τιμή του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή διαμήκης τριβής πολλαπλασιάζεται, εκτός από το n , και με τον συντελεστή 0.925 που καλύπτει την επίδραση της μορφής και της κατάστασης των ελαστικών. Άρα ο επιτρεπόμενος συντελεστής πλευρικής τριβής δίνεται τελικά από τη σχέση:

$$f_R = 0.925nf_{T_{\max}} \quad (2.6)$$

Οι συνηθέστερες τιμές του n είναι 50%, 60% και 70%, ανάλογα με τη κατηγορία της οδού και τις ταχύτητες που αναπτύσσονται. Όταν ένα όχημα κινείται με μικρή ταχύτητα ή διαγράφει πολύ μικρή ακτίνα ή και τα δύο μαζί, τότε ο συντελεστής πρέπει να είναι μεγαλύτερος διότι αλλιώς το όχημα θα ολισθήσει προς το εσωτερικό της καμπύλης.

Στη συνέχεια είναι δυνατός ο υπολογισμός του διατιθέμενου συντελεστή της διαμήκου τριβής για τροχοπέδηση στην καμπύλη. Σύμφωνα με την διάταξη των διανυσμάτων της εγκάρσιας και διαμήκου τριβής, τα οποία σχηματίζουν ορθή γωνία, ισχύει το πυθαγόρειο θεώρημα και κατ' επέκταση η σχέση του Kreppele (1953):

$$f_T^2 = f_{T_{\max}}^2 - f_R^2 \quad (2.7)$$

όπου:

- f_T = ο απαιτούμενος συντελεστής διαμήκου τριβής για τροχοπέδηση στη καμπύλη,
- f_R = ο συντελεστής πλευρικής τριβής,
- $f_{T_{\max}}$ = ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής διαμήκου τριβής που αναπτύσσεται στα ευθύγραμμα τμήματα.

Ο διατιθέμενος συντελεστής τριβής στην καμπύλη για n ίσον με 50%, 60% και 70% προκύπτει 89%, 83% και 76% του μέγιστου διατιθέμενου συντελεστή διαμήκου τριβής στα ευθύγραμμα τμήματα αντίστοιχα.

Οι Ελληνικές Οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ [Ψαριανός, 2001], ακολουθούν την ίδια μεθοδολογία για τον υπολογισμό του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή εγκάρσιας τριβής με τις Γερμανικές Οδηγίες. Η σχέση όμως για τον μέγιστο επιτρεπόμενο συντελεστή διαμήκους τριβής προκύπτει με διαφορετική πρακτική. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι στην Ελλάδα παρατηρήθηκαν μικρότερες τιμές πρόσφυσης και άρα μικρότερες τιμές συντελεστών τριβής. Κάτι τέτοιο θα οδηγούσε όμως σε επιλογή μεγαλύτερων ακτίνων χάραξης και συνεπώς σε αντικοινωνομικές κατασκευές.

Σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Χ, ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής διαμήκους τριβής δίνεται από τη σχέση:

$$f_{T_{\max}} = 0.59 - 4.85 \left(\frac{V}{100} \right) + 1.51 \left(\frac{V^2}{10000} \right) \quad (2.8)$$

όπου:

- $f_{T_{\max}}$ = ο μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής διαμήκους τριβής,
- V [km/h] = η ταχύτητα.

Οι συντελεστές εκμετάλλευσης n των ΟΜΟΕ-Χ, για τις διάφορες κατηγορίες οδού και για τα διάφορα είδη εδάφους είναι υπό αμφισβήτηση στις μέρες μας.

Το ζητούμενο στην παρούσα εργασία είναι να εξεταστεί για τις τέσσερις ταχύτητες των μετρήσεων του πεδίου για την ανωφέρεια και την κατωφέρεια αντίστοιχα, αν ο διατιθέμενος από τους κανονισμούς συντελεστής πλευρικής τριβής είναι μεγαλύτερος από τον συντελεστή της αναπτυσσόμενης πλευρικής τριβής των οχημάτων.. Με αυτή τη λογική, οι διατιθέμενες τιμές διαμήκους και εγκάρσιας τριβής προκύπτουν από τις προηγούμενες σχέσεις, ενώ ο αναπτυσσόμενος συντελεστής πλευρικής τριβής προκύπτει από τις μετρημένες τιμές.

2.3 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά οδικών τμημάτων.

Σε αυτό το στάδιο κρίθηκε απαραίτητη η τοπογραφική αποτύπωση της καμπύλης, ώστε να μετρηθούν και να υπολογιστούν τα απαραίτητα χαρακτηριστικά της. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν για την συγκεκριμένη αποτύπωση είναι:

- Ο προσδιορισμός της θέσης του κυκλικού τόξου και ο υπολογισμός της ακτίνας του.
- Ο προσδιορισμός των θέσεων των τόξων συναρμογής και ο υπολογισμός των παραμέτρων τους.
- Η κατά μήκος κλίση της οδού.

- Και τέλος η επίκλιση, η οποία θα υπολογιστεί σε συγκεκριμένες διατομές.

Τα Γεωμετρικά και Υψομετρικά Στοιχεία της καμπύλης παρουσιάζονται στην παράγραφο 4.5. Για κάθε διατομή υπολογίστηκαν η επίκλιση % και το καθαρό πλάτος της λωρίδας κυκλοφορίας σε μέτρα. Τα σημεία του νέφους σημείων που προκύπτει από την σάρωση θα ενταχθούν στο ΕΓΣΑ87. Αυτό θα επιτευχθεί αποτυπώνοντας χαρακτηριστικά σημεία με ένα δέκτη GPS και στη συνέχεια μεταφέροντας όλο το νέφος σημείων στο ΕΓΣΑ87 προσαρμόζοντας την θέση στου στα κοινά σημεία.

2.3.1 Ο προσδιορισμός της θέσης του κυκλικού τόξου και ο υπολογισμός της ακτίνας του.

Για να βρούμε την ακριβή θέση του κυκλικού τόξου θα χρησιμοποιήσουμε τις συντεταγμένες του άξονα της οδού και με βάση τα διαδοχικά κυκλικά τόξα, που διέρχονται από τρία σημεία πύκνωσης, ο υπολογισμός της Χ.Θ. και της γωνίας διεύθυνσης σε κάθε σημείο πύκνωσης γίνεται σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις σε γεωδαιτικό δεξιόστροφο σύστημα αναφοράς :

- Υπολογισμός των γωνιών διεύθυνσης των δημιουργημένων χορδών:

$$t_{i-1}^i = a \tan \frac{x_i - x_{i-1}}{y_i - y_{i-1}} \quad (2.9)$$

$$t_i^{i+1} = a \tan \frac{x_{i+1} - x_i}{y_{i+1} - y_i} \quad (2.10)$$

$$t_{i-1}^{i+1} = a \tan \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{y_{i+1} - y_{i-1}} \quad (2.11)$$

- Υπολογισμός της επίκεντρης γωνίας α:

$$\frac{\alpha}{2} = t_{i-1}^i - t_i^{i+1} \quad (2.12)$$

- Υπολογισμός των μηκών των χορδών s:

$$s_{i-1}^i = \frac{x_i - x_{i-1}}{\sin t_{i-1}^i} \quad (2.13)$$

$$s_{i-1}^{i+1} = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{\sin t_{i-1}^{i+1}} \quad (2.14)$$

- Υπολογισμός της ακτίνας του κυκλικού τόξου R:

$$R_i = \frac{S_{i-1}^{i+1}}{2 \sin(a/2)} \quad (2.15)$$

- Υπολογισμός της μεταβολής Δτ της γωνίας διεύθυνσης:

$$\Delta \tau_i = 2a \sin \frac{S_{i-1}^i}{2R_i} \quad (2.16)$$

- Υπολογισμός της γωνίας διεύθυνσης στο ενδιάμεσο σημείο:

$$\tau_i = \sum_{i=0}^i \Delta \tau_i \quad (2.17)$$

- Υπολογισμός του μήκους του τόξου μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου σημείου του κυκλικού τόξου:

$$\Delta l_i = \frac{R_i \Delta \tau_i}{\rho}, \text{ όπου } \rho=63,6620 \quad (2.18)$$

- Υπολογισμός της χιλιομετρικής θέσης του μεσαίου σημείου του κυκλικού τόξου:

$$l_i = \sum_{i=0}^i \Delta l_{i-1} \quad (2.19)$$

Η παραπάνω διαδικασία θα διαμορφώσει ένα διακριτό γωνιακό διάγραμμα, η μορφή του οποίου θα οδηγήσει στην αναγνώριση των γεωμετρικών στοιχείων και στη συνέχεια στον αναλυτικό προσδιορισμό των παραμέτρων του κάθε τόξου ξεχωριστά (π.χ. ακτίνα, παράμετρος κλωθοειδούς, μήκη κλπ). Η συγκεκριμένη έρευνα περιορίζεται στον προσδιορισμό της ακτίνας του κυκλικού τόξου της καμπύλης.

Ο αναλυτικός προσδιορισμός της ακτίνας του κυκλικού τόξου θα πραγματοποιηθεί με γραφική προσαρμογή. Η γραφική προσαρμογή λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή της γωνίας και της Χ.Θ. του αρχικού και του τελικού σημείου του κυκλικού τόξου. Λόγω, όμως της αποτύπωσης με laser scanner έχουμε όλα τα σημεία του κυκλικού τόξου και μπορούμε να επαναλάβουμε την διαδικασία σε περισσότερες τριάδες σημείων, μέχρις ότου να επαληθευτεί η τιμή της ακτίνας. Δεδομένου ότι η οριογραμμή μιας ευθυγραμμίας είναι επίσης μια ευθυγραμμία και του κυκλικού τόξου επίσης ένα κυκλικό τόξο με ακτίνα R+B, αν πρόκειται για την εξωτερική και R-B αν πρόκειται για την εσωτερική, όπου B το ημιπλάτος του οδοστρώματος, μελετώντας είτε την εσωτερική είτε την εξωτερική οριογραμμή μπορεί να υπολογιστεί η ακτίνα του κυκλικού τόξου R στον άξονα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνολικά στο τέλος του κεφαλαίου.

2.3.2 Ο προσδιορισμός της θέσης της κλοθωειδούς και ο υπολογισμός της παραμέτρου της.

Έχοντας υπολογίσει την ακτίνα του κυκλικού τόξου σύμφωνα με την παραπάνω παράγραφο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση της κλοθωειδούς, ώστε να υπολογίσουμε την παράμετρο της κλοθωειδούς.

$$A^2 = LR, \quad (2.20)$$

όπου:

- A, η παράμετρος της κλοθωειδούς.
- L, το μήκος της κλοθωειδούς από το τέλος του κυκλικού τόξου έως την αρχή της ευθυγραμμίας.
- R, η ακτίνα του κυκλικού τόξου που ακολουθεί.

Το μήκος της κλοθωειδούς θα προκύψει με την ίδια διαδικασία που προέκυψε και η ακτίνα του κυκλικού τόξου. Μόνο που αυτή τη φορά αναζητούμε τα σημεία εκείνα, τα οποία μεταβάλουν το R από την σταθερή τιμή του κυκλικού τόξου μέχρις ότου οι τιμές αυτές να ξεπεράσουν το R=3000 m, όπου για την δεδομένη καμπύλη μπορούμε να πούμε ότι αρχίζει η ευθυγραμμία.

2.3.3 Προσδιορισμός ελικτότητας των καμπυλών.

Η ελικτότητα K_E της μεμονωμένης καμπύλης είναι συνάρτηση της γωνίας αλλαγής της κατεύθυνσης και του συνολικού μήκους της καμπύλης που αποτελείται από το μήκος του κυκλικού τόξου και τα μήκη των εκατέρωθεν τόξων συναρμογής. Η ελικτότητα κάθε καμπύλης υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$K_E = \frac{|\gamma|}{L} \quad (2.21)$$

όπου :

- K_E [gon/km] = η ελικτότητα μεμονωμένης καμπύλης,
- γ [gon] = γωνία αλλαγής κατεύθυνσης σε κάθε μία καμπύλη,
- L [km] = συνολικό μήκος καμπύλης.

2.3.4 Προσδιορισμός της ανηγμένης ακτίνας.

Η σχέση που συνδέει την ελικτότητα K_E της μεμονωμένης καμπύλης και της ανηγμένης ακτίνας R που αντιστοιχεί στη δεδομένη καμπύλη είναι:

$$R_{AN} = \frac{63700}{K_E} \quad (2.22)$$

όπου :

- R_{AN} [m] = η ανηγμένη ακτίνα της καμπύλης,
- K_E [gon/km] = η ελικτότητα της μεμονωμένης καμπύλης.

2.4 Παρουσίαση σχετικών μελετών.

2.4.1 Comparison of field measurements of vehicle dynamics to simulations using both design plans and LIDAR- scanned road geometry των Alexander Brown και Sean Brennan.

Οι συγγραφείς A. Brown και S. Brennan στο άρθρο τους με τίτλο Comparison of field measurements of vehicle dynamics to simulations using both design plans and LIDAR-scanned road geometry, που παρουσίασαν στο συνέδριο της Ρώμης τον Οκτώβριο του 2013, αναφέρονται στην ευκολία που χαρακτηρίζει σήμερα τον σχεδιασμό των οδικών έργων, κάνοντας χρήση λογισμικών προσομοίωσης. Ωστόσο, επισημαίνουν, ότι για να είναι ακριβή τα αποτελέσματα θα πρέπει και τα δεδομένα να είναι ακριβή.

Πιο συγκεκριμένα επιλέγουν μια καμπύλη με αρνητική κατά μήκος κλίση και συγκρίνουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που ορίζονται στα σχέδια της καμπύλης αυτής με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που μέτρησαν οι ίδιοι, χρησιμοποιώντας όργανα GPS, LIDAR και γυροσκόπιο. Αφού ολοκλήρωσαν την σύγκριση μεταξύ των σχεδίων και των μετρημένων γεωμετρικών στοιχείων κατέγραψαν την ταχύτητα του οχήματος καθώς και την εγκάρσια επιτάχυνση εντός της καμπύλης. Στην συνέχεια σύγκριναν τα μετρημένα μεγέθη με εκείνα που έδωσαν τα προγράμματα προσομοίωσης, χρησιμοποιώντας και τα

γεωμετρικά χαρακτηριστικά από τα σχέδια αλλά και από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που κατέγραψαν οι ίδιοι.

Έτσι κατέληξαν στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που μετρήθηκαν βρέθηκαν σε συμφωνία με αυτά των σχεδίων.
- Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων σε ότι αφορά τις εγκάρσιες επιταχύνσεις βρέθηκαν και αυτές σε συμφωνία με τις μετρημένες, με αποτέλεσμα οι προσομοιώσεις να θεωρούνται έγκυρες μέθοδοι σχεδιασμού οδών.

2.4.2 Influence of vehicle parameters on horizontal curve design of rural highways των Basil Psarianos, Marios Kontaratos και Demetrios Kasios.

Οι συγγραφείς Β. Ψαριανός, Μ. Κονταράτος και Δ. Κασιός συγκρίνουν στο άρθρο τους τις διαφορές μεταξύ των αμερικάνικων κανονισμών σχεδιασμού οδών και των αντίστοιχων γερμανικών. Οι αμερικάνικοι κανονισμοί ή AASHTO-90 ή Green Book όπως αλλιώς μπορούν να εμφανιστούν στην βιβλιογραφία, βασίζονται στην άνεση που βιώνει ο οδηγός κατά την οδήγηση, ενώ οι γερμανικοί ή RAS-L-95 είναι πιο αυστηροί στα θέματα της ασφάλειας. Παρόλο που τους δυο κανονισμούς τους διαπνέει διαφορετική φιλοσοφία, οι διαφορές που επισήμαναν οι συγγραφείς εντοπίζονται στο σχεδιασμό των οδών με υψηλές ταχύτητες και στις οδούς με έντονες θετικές κλίσεις.

Σύμφωνα με τους αμερικάνικους κανονισμούς η ελάχιστη τιμή της ακτίνας μιας καμπύλης δίνεται από την σχέση:

$$R_{min} = \frac{V_D^2}{127(f_R + e_{max})}, \text{ όπου} \quad (2.23)$$

- R_{min} , η ελάχιστη ακτίνα της καμπύλης
- f_R , ο απαιτούμενος συντελεστής της εγκάρσιας τριβής
- e_{max} , η μέγιστη % επίκλιση του οδοστρώματος και
- V , η ταχύτητα σχεδιασμού

Πρέπει να σημειωθεί ότι η σχέση αυτή χρησιμοποιείται ευρέως διότι είναι ανεξάρτητη των παραμέτρων του οχήματος και λειτουργεί άψογα στο σχεδιασμό των αυτοκινητοδρόμων.

Ακόμα θεωρείται σκόπιμο να υπολογιστεί και η χρησιμοποιούμενη ποσότητα της συνολικής διαθέσιμης ποσότητας n . Το n δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\left(\frac{f_T}{f_{Tmax}}\right)^2 + \left(\frac{f_R}{f_{Rmax}}\right)^2 = n^2, \text{ όπου} \quad (2.24)$$

Όπου:

- f_T , ο συντελεστής της διαμήκουσ τριβής
- f_{Tmax} , ο μέγιστος συντελεστής της διαμήκουσ τριβής
- f_R , ο συντελεστής της εγκάρσιασ τριβής
- f_{Rmax} , ο μέγιστος συντελεστής της εγκάρσιασ τριβής
- n , η χρησιμοποιούμενη ποσότητα της συνολικής διαθέσιμης ποσότητας

Σύμφωνα με τους αμερικάνικους κανονισμούς η ακτινική τριβή αποτελεί το 35 - 47% της επιτρεπόμενης συνολικής τριβής και το 10 - 50 % της μέγιστης διαθέσιμης πλευρικής τριβής κατά μήκος της καμπύλης, σε υπεραστικές οδούς, ακολουθώντας τους γερμανικούς κανονισμούς. Οι γερμανικοί κανονισμοί ανεβάζουν το ποσοστό αυτό στο 70% για τις αστικές οδούς. Τέλος σε ότι αφορά τα βαρέα οχήματα, στα ποσοστά αυτά προστίθεται ένα 10% επιπλέον.

Οι συγγραφείς στο άρθρο τους συγκρίνουν την συμπεριφορά οπισθοκίνητων οχημάτων σε σχέση με τα προσθιοκίνητα και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι τα πισωκίνητα οχήματα λειτουργούν καλύτερα στις θετικές κλίσεις, μιας και η τριβή ολίσθησης περιορίζεται από το απόθεμα τριβής που δεν χρησιμοποιείται στην διαμήκη κίνηση και εξουδετερώνει την στρεπτική δύναμη.

Ακόμα στο άρθρο τους οι συγγραφείς επισημαίνουν τον κίνδυνο της απώλειας ελέγχου των βαρέων οχημάτων στο βρεγμένο οδόστρωμα και καταλήγουν στα έξης συμπεράσματα:

- Ότι η απαιτούμενη τριβή μπορεί να υπερβαίνει την διαθέσιμη, γεγονός που όμως οδηγεί στην απώλεια ελέγχου του οχήματος. Πιο συγκεκριμένα η έλλειψη της απαραίτητης τριβής κατά την διάρκεια, είτε επιθυμητού είτε ανεπιθύμητου ελιγμού, μπορεί να αποτελέσει κύρια αιτία ατυχήματος, ιδιαίτερα σε καμπύλες με απότομες κλίσεις.
- Ότι το παραπάνω φαινόμενο είναι πιο πιθανό να συμβεί σε οχήματα που κινούνται σε καμπύλες με απότομες θετικές κλίσεις. Τέλος το φαινόμενο αυτό οξύνεται ακόμα περισσότερο, όταν οι οδηγοί κινούνται με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα σχεδιασμού.

- Ότι πρέπει να συνυπολογίζονται στον υπολογισμό της ελάχιστης ακτίνας και άλλοι παράγοντες, όπως η κατά μήκος κλίση, μιας και η κλίση και η ελάχιστη οριζόντια ακτίνα είναι άμεσα συνδεδεμένες.

2.4.3 Superelevation design for sharp horizontal curves on steep grades των D.J. Torbic, E.T. Donnel, S.N. Brennan, A. Brown, M.K. O' Laughlin και K.M. Bauer.

Οι συγγραφείς στοχεύουν με το άρθρο αυτό, στην διατύπωση κριτηρίων για την επίκλιση σε μεγάλες κλίσεις ανωφέρειας και κατωφέρειας, για τα επιβατηγά οχήματα αλλά και για τα βαρέα οχήματα, στα οποία μέτρησαν την επιβράδυνση σε κατωφέρεια, τόσο σε επιβατηγά οχήματα όσο και σε βαρέα οχήματα.

Στην μελέτη τους, οι μετρήσεις πεδίου έγιναν σε 20 κλειστές στροφές με κλίση μεγαλύτερη από 4% σε εθνικές οδούς, αλλά και σε αυτοκινητόδρομους. Στις περιοχές αυτές μέτρησαν την ταχύτητα ελεύθερης ροής σε επιβατηγά οχήματα και σε βαρέα χρησιμοποιώντας μετρητές ραντάρ μέτρησης ταχύτητας (Laserguns). Ακόμα βιντεοσκοπώντας την κίνηση των οχημάτων ήταν σε θέση να προσδιορίσουν την θέση των προσπεράσεων. Σε πέντε από αυτές τις περιοχές η ακριβής θέση των οχημάτων προσδιορίστηκε με GPS και γυροσκοπία laser. Επιπροσθέτως ένας αισθητήρας στην οροφή του οχήματος που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις αυτές, κατέγραφε την επιφάνεια του οδοστρώματος και μία κάμερα στο κέντρο του ταμπλό του οχήματος σε συνδυασμό με ένα μετρητή γωνιών στο τιμόνι του οχήματος, κατέγραφαν την πορεία του οχήματος στις καμπύλες.

Τα ευρήματα των συγγραφέων συνοψίζονται στα εξής:

- Ότι με έναν καλό σχεδιασμό ακόμα και σε κλειστές καμπύλες σε έντονη κατωφέρεια είναι δυνατό να υπάρξει αρκετό περιθώριο ασφαλείας έναντι της ολίσθησης, φρενάροντας ομαλά χωρίς να χρειάζεται αναγκαστικό φρενάρισμα. Το συμπέρασμα αυτό αφορά και οχήματα επιβατικού τύπου, όσο και τύπου SUV.
- Αντίστοιχα και τα βαρέα οχήματα μπορούν να έχουν περίσσεια ασφαλείας έναντι της ολίσθησης σε ομαλό ή αναγκαστικό φρενάρισμα. Αυτό επιβεβαιώνεται χρησιμοποιώντας τα μοντέλα steady-state δικύκλου και του transient δικύκλου, ενώ σύμφωνα με το μοντέλο multi-body, τόσο για το ομαλό φρενάρισμα, όσο και για το αναγκαστικό, θα πρέπει να είναι εφοδιασμένα με ABS, ώστε να διατηρήσουν τον έλεγχο.

Οι συγγραφείς ακολουθούν τους αμερικάνικους κανονισμούς και χρησιμοποιώντας μετρήσεις πεδίου, αναλυτικά μοντέλα προσομοίωσης και μοντέλα προσομοίωσης της δυναμικής οχημάτων καταλήγουν στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Σε μια απλή οριζόντια καμπύλη η μέγιστη επίκλιση δεν πρέπει να ξεπερνά το 12%. Εάν απαιτείται επίκλιση μεγαλύτερη του 12% προτείνεται η εφαρμογή σπειροειδούς καμπύλης, ώστε να αυξηθούν τα περιθώρια έναντι της ολίσθησης.
- Για ανωφέρειες με κλίση 4% ή μεγαλύτερες, η επίκλιση περιορίζεται στο 9% σε κλειστές καμπύλες για ταχύτητες σχεδιασμού 100 χω ή μεγαλύτερες. Αυτό διότι υπάρχει κίνδυνος κάποιος τροχός να χάσει την επαφή με το οδόστρωμα. Εναλλακτικά για να μην χαθεί η επαφή με το οδόστρωμα μπορεί να εφαρμοστεί ένα ομαλό φρενάρισμα, κάτι όμως που θεωρείται απίθανο σε κλίσεις μεγαλύτερες του 4%. Επικλίσεις έως 12% μπορούν να εφαρμοστούν σε καμπύλες που σχεδιάζονται με την ελάχιστη ακτίνα.
- Σε οριζόντιες καμπύλες η επίκλιση στην αρχή της καμπύλης θα πρέπει να ελέγχεται και να συγκρίνεται με το περιθώριο της εγκάρσιας τριβής, έτσι ώστε η επίκλιση στην είσοδο της καμπύλης να μην είναι λιγότερη από αυτήν εντός της καμπύλης.
- Σε αυτοκινητοδρόμους με πολλές λωρίδες κυκλοφορίας, με ακτίνα σχεδιασμού κοντά στην ελάχιστη και κατωφέρεια άνω του 4%, θα πρέπει να τοποθετούνται προειδοποιητικές πινακίδες, που να υποδεικνύουν στους οδηγούς να διατηρούν την λωρίδα στην οποία κινούνται.
- Τέλος οι κλειστές καμπύλες κατωφέρειας άνω του 4% δεν πρέπει να σχεδιάζονται για χαμηλές ταχύτητες. Σε περιπτώσεις που δεν μπορεί να αποφευχθεί αυτό θα πρέπει να προειδοποιούνται οι οδηγοί έγκαιρα, ώστε να μειώσουν ταχύτητα.

2.4.4 Multi-Body Simulation Modeling of Vehicle Skidding and Roll over 1 for Horizontal Curves on Longitudinal Grades των Amirarsalan Mehrara Molan και Ali Abdi Kordani.

Οι συγγραφείς στο άρθρο τους ερευνούν τις επιπτώσεις λόγω της ολίσθησης και της ανατροπής σε οχήματα που κινούνται σε οριζόντιες καμπύλες που εμφανίζουν κατά μήκος κλίσεις. Στην μελέτη τους χρησιμοποιούν τα λογισμικά προσομοίωσης Car Sim και Truck Sim. Στην προσομοίωση μπορεί να επιλεγεί η συμπεριφορά του οδηγού. Πιο συγκεκριμένα αν θα επιλέξει να μειώσει ταχύτητα, πατώντας φρένο ή θα διατηρήσει την ταχύτητα του καθ' όλο το μήκος της καμπύλης.

Σύμφωνα με τους Molan και Kordani τα βαρέα οχήματα υπόκεινται σε μεγαλύτερες εγκάρσιες επιταχύνσεις στις κατωφέρειες, από ότι στις ανωφέρειες. Ακόμα οι μεγαλύτερες τιμές της πλευρικής τριβής παρατηρούνται στην κατωφέρεια για όλα τα οχήματα. Παρατηρούν ακόμα ότι το φρενάρισμα επηρεάζει σημαντικά τους συντελεστές τριβής, ιδιαίτερα στα επιβατηγά οχήματα και ότι ένα φρενάρισμα αυξάνει τον κίνδυνο το όχημα να ολισθήσει και στην περίπτωση των βαρέων οχημάτων να ανατραπεί.

Σχετικά με την πέδηση, επισημαίνουν ότι δεν υπάρχει σαφής εκτίμηση της επίδρασης της στον εγκάρσιο συντελεστή τριβής ή στον ρόλο που παίζει στην ανατροπή. Από δυναμικής πλευράς έχει μελετηθεί ο εγκάρσιος συντελεστής τριβής στα ελαστικά, χωρίς όμως να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα συμπεράσματα αυτά στο σχεδιασμό των οδών.

Στην εργασία τους οι Molan και Kordani συμπεριλαμβάνουν και τον συντελεστή τριβής κατά την διάρκεια της πέδησης και πιο συγκεκριμένα τον πραγματικό συντελεστή που αναπτύσσεται κατά την διάρκεια της εμπλοκής των τροχών.

Για την διεξαγωγή των συμπερασμάτων τους πραγματοποίησαν 112 προσομοιώσεις, ώστε να προσδιορίσουν την ασφαλή διέλευση του οχήματος σε οριζόντιες καμπύλες με καταμήκος κλίσεις. Εκτελώντας τις προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας το μοντέλο multi-body κατέληξαν στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το πιο επικίνδυνο σημείο μιας καμπύλης είναι στην αρχή της, διότι η πλευρική επιτάχυνση στην αρχή είναι 5-10% μεγαλύτερη από αυτή σε οποιοδήποτε άλλο σημείο.
- Στις προσομοιώσεις της ανωφέρειας απαιτείται περισσότερη εγκάρσια τριβή για τα βαρέα οχήματα, παρόλο που τα επιβατηγά απαιτούν λιγότερη και τα τύπου SUV περίπου την ίδια.
- Η εγκάρσια τριβή αυξάνεται στην κατωφέρεια όταν δεν εφαρμόζεται πέδηση, δηλαδή αυτό σημαίνει ότι παράγεται περισσότερη τριβή σε έντονες κατωφέρειες σε σχέση με τις πιο ομαλές.
- Οι ανωφέρειες δεν έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις αρνητικές εγκάρσιες επιταχύνσεις για τα επιβατηγά οχήματα, παρ' όλα αυτά σύμφωνα με τις προσομοιώσεις η εγκάρσια επιτάχυνση στα βαρέα οχήματα αυξάνει στις κατωφέρειες και μειώνεται στις ανωφέρειες. Έτσι η εγκάρσια επιτάχυνση δεν αποτελεί απειλή για τα επιβατηγά οχήματα, για οποιαδήποτε κατα μήκος κλίση. Αντίστοιχα η απειλή για τα βαρέα οχήματα είναι η ανατροπή.
- Η πλευρική τριβή κατά την διάρκεια της πέδησης δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα μελέτης.
- Τέλος σε ότι αφορά την πέδηση κίνδυνο αποτελεί, τόσο για τα βαρέα οχήματα τόσο και για τα επιβατηγά, η μεγάλη διακύμανση του συντελεστή τριβής κατά την διάρκεια της πέδησης.

2.4.5 Effect of vehicles suspension on highway horizontal curve design του Chang, T.H.

Ο συγγραφέας στο άρθρο αυτό καταλήγει στην διατύπωση των ακόλουθων εξισώσεων για τον υπολογισμό της ελάχιστης ακτίνας μιας καμπύλης. Η πρώτη αφορά τα επιβατηγά οχήματα και η δεύτερη τα βαρέα οχήματα.

$$R = \frac{V^2}{121(0,5e + f)} \quad (2.25)$$

$$R = \frac{V^2}{122,5(0,75e + f)} \quad (2.26)$$

όπου,

- V η ταχύτητα σχεδιασμού .
- e η επίκλιση του οδοστρώματος.
- f ο απαιτούμενος εγκάρσιος συντελεστής τριβής.
- R η ελάχιστη ακτίνα της καμπύλης.

2.4.6 Side Friction and Speed as Controls for Horizontal Curve Design του Bonneson, J.A.

Ο συγγραφέας παρουσιάζει μια σειρά από συντελεστές τριβής και δεδομένα δυναμικής οχημάτων. Σύμφωνα με τη μελέτη του, η οριζόντια καμπύλη με κατωφέρεια είναι πιο κρίσιμη διότι οι οδηγοί χρησιμοποιούν το φρένο για να διατηρήσουν την ταχύτητα που θεωρούν ασφαλή και μάλιστα έχουν την τάση να φρενάρουν περισσότερο στην αρχή που είναι και το πιο κρίσιμο σημείο.

Ο συγγραφέας καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι αμερικάνικοι κανονισμοί υποτιμούν τον εγκάρσιο συντελεστή τριβής στις περισσότερες οριζόντιες καμπύλες, ιδιαίτερα εκείνες που έχουν μεγάλες κλίσεις με μικρή επίκλιση και μεγάλη ακτίνα.

2.4.7 Minimum horizontal curve radius as function of grade incurrent by vehicle motion in driving mode των Basil Psarianos, Marios Kontaratos και Apostolos Yiotis.

Οι συγγραφείς στο άρθρο τους αυτό επισημαίνουν ότι ο υπολογισμός της ελάχιστης ακτίνας με βάση το μοντέλο mass-point είναι ελλειπής. Έτσι αναλύοντας τις δυνάμεις σε κάθε τροχό ξεχωριστά καταλήγουν σε δύο βελτιωμένες σχέσεις για τον υπολογισμό της ελάχιστης ακτίνας της καμπύλης. Οι σχέσεις αυτές χρησιμοποιούν περισσότερους παράγοντες, όπως η κλίση του οδοστρώματος, τα χαρακτηριστικά του οχήματος και η αεροδυναμική αντίσταση. Η πρώτη σχέση αφορά οχήματα με κίνηση στον πρόσθιο άξονα και η δεύτερη με κίνηση στον πίσω. Οι σχέσεις αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Για την πρόσθια κίνηση

$$R_{min} = \frac{V^2}{g(n_F f_{Rmax} + q)} \quad (2.27)$$

και

$$n_F = \sqrt{1 - \frac{f_{RF}^2}{f_{Rmax}^2} \left[1 - \frac{h}{l_R} s - \frac{A_z}{mg} - \frac{Ax}{mg} \frac{h}{l_R} \right]} \quad (2.28)$$

- Για την πίσω κίνηση

$$R_{min} = \frac{V^2}{g(n_R f_{Rmax} + q)} \quad (2.29)$$

και

$$n_R = \sqrt{1 - \frac{f_{RR}^2}{f_{Rmax}^2} \left[1 + \frac{h}{l_F} s - \frac{A_z}{mg} + \frac{Ax}{mg} \frac{h}{l_F} \right]} \quad (2.30)$$

όπου:

- R_{min} η ελάχιστη ακτίνα.
- V η ταχύτητα.
- g η επιτάχυνση της βαρύτητας.
- f_{Rmax} ο μέγιστος συντελεστής της εγκάρσιας τριβής.
- q η επίκλιση του οδοστρώματος.

- f_{RF} ο εγκάρσιος συντελεστής τριβής στον μπροστινό άξονα.
- f_{Rmax} ο μέγιστος εγκάρσιος συντελεστής τριβής στον μπροστινό άξονα.
- h η απόσταση του κέντρου βάρους του οχήματος από το οδόστρωμα.
- s η κλίση του οδοστρώματος
- m η μάζα του οχήματος
- l_R η απόσταση του κέντρου βάρους του οχήματος από τον πίσω άξονα.
- f_{RR} ο εγκάρσιος συντελεστής τριβής στον πίσω άξονα.
- l_F η απόσταση του κέντρου βάρους του οχήματος από τον πίσω άξονα.

2.5 Συμπεράσματα σχετικών μελετών.

Οι παραπάνω έρευνες αποδεικνύουν την κρισιμότητα στην χάραξη μιας οδού, του συντελεστή τριβής. Συνοψίζοντας τα βασικότερα ευρήματα των ερευνητών καταλήγουμε στα εξής:

- Το πιο επικίνδυνο σημείο μιας καμπύλης είναι στην αρχή της.
- Πιο κρίσιμη στον σχεδιασμό μιας οδού με κατά μήκος κλίση, άνω του 4%, θεωρείται η ανωφέρεια.
- Η εγκάρσια τριβή αυξάνεται στην κατωφέρεια όταν δεν εφαρμόζεται πέδηση, δηλαδή αυτό σημαίνει ότι παράγεται περισσότερη τριβή σε έντονες κατωφέρειες σε σχέση με τις πιο ομαλές.
- Η πλευρική τριβή κατά την διάρκεια της πέδησης δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα μελέτης.
- Ότι με έναν καλό σχεδιασμό ακόμα και σε κλειστές καμπύλες σε έντονη κατωφέρεια είναι δυνατό να υπάρξει αρκετό περιθώριο ασφαλείας έναντι της ολίσθησης, φρενάροντας ομαλά χωρίς να χρειάζεται αναγκαστικό φρενάρισμα.
- Σε οριζόντιες καμπύλες η επίκλιση στην αρχή της καμπύλης θα πρέπει να ελέγχεται και να συγκρίνεται με το περιθώριο της εγκάρσιας τριβής, έτσι ώστε η επίκλιση στην είσοδο της καμπύλης να μην είναι λιγότερη από αυτήν εντός της καμπύλης.
- Ότι η απαιτούμενη τριβή μπορεί να υπερβαίνει την διαθέσιμη, γεγονός που όμως οδηγεί στην απώλεια ελέγχου του οχήματος. Πιο συγκεκριμένα η έλλειψη της απαραίτητης τριβής κατά την διάρκεια, είτε επιθυμητού είτε ανεπιθύμητου ελιγμού, μπορεί να αποτελέσει κύρια αιτία ατυχήματος, ιδιαίτερα σε καμπύλες με απότομες κλίσεις..

- Τέλος σε ότι αφορά την πέδηση κίνδυνο αποτελεί, τόσο για τα βαρέα οχήματα τόσο και για τα επιβατηγά, η μεγάλη διακύμανση του συντελεστή τριβής κατά την διάρκεια της πέδησης.

Τα συμπεράσματα αυτά αποδεικνύονται μέσα από προσομοιώσεις ή μετρήσεις πεδίου των ερευνητών, ή αποτελούν σύγκριση και των δύο. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι τα συμπεράσματα αυτά αφορούν έρευνες σε εθνικές οδούς ή αυτοκινητόδρομους. Η παρούσα μελέτη διαφοροποιείται στον τομέα αυτό και εξετάζει τον συντελεστή τριβής σε αστικό επίπεδο και πιο συγκεκριμένα για οδό κατηγορίας ΒΙΙΙ.

Η περιοχή μελέτης που παρουσιάζεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο, επιλέχθηκε με αυτό το κριτήριο, να διαπιστωθεί κατά πόσο επιβεβαιώνονται τα συμπεράσματα αυτά και σε αστικό επίπεδο.

3.ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.

Προσπαθώντας η περιοχή μελέτης να περιλαμβάνει μία καμπύλη που η ακτίνα του κυκλικού της τόξου να μην υπερβαίνει τα 50 μέτρα και να έχει κατά μήκος κλίση άνω του 5% και επίκλιση άνω του 3%, επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης μία καμπύλη στην οδό Πρωτοπαπαδάκη, η οποία αποτελεί συνέχεια της λεωφόρου Γαλατσίου, μετά την διασταύρωση της με την λεωφόρο Βεΐκου και συνδέει το Γαλάτσι με το Ψυχικό. Το σημείο το οποίο επιλέχθηκε βρίσκεται στην περιοχή Πανόραμα, ανάμεσα στο Ψυχικό και στο Γαλάτσι. Στο σημείο που επιλέχθηκε συμβαίνουν συχνά ατυχήματα τα οποία συμβαίνουν κατά κύριο λόγο, εξ' αιτίας της υπερβολικής ταχύτητας.

Στην συνέχεια απεικονίζεται η ευρύτερη περιοχή, του επιλεγμένου σημείου από δορυφορική λήψη και ακολούθως η ακριβής τοποθεσία, σημειώνοντας το υπό μελέτη κυκλικό τόξο με κόκκινο χρώμα. Η ακριβής τοποθεσία εμφανίζεται σε δύο λήψεις, μια ορθή και μια πλάγια, στην οποία είναι ορατό το έντονο ανάγλυφο του επιλεγμένου σημείου.



Εικόνα 1: Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

(πηγή: Google Earth)



Εικόνα 2: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης, ορθή λήψη.

(πηγή: Google Earth)



Εικόνα 3: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης, πλάγια λήψη.

(πηγή: Google Earth)

Η οδός Πρωτοπαπαδάκη αποτελεί αστική αρτηρία κατηγορίας ΒΙΙΙ, βρίσκεται σε περιοχή με έντονο ανάγλυφο και αποτελεί κύρια συνδυαστική οδική αρτηρία μεταξύ του Γαλασίου και του Ψυχικού. Πρέπει να προστεθεί ότι εξυπηρετεί τους οδηγούς που κατευθύνονται προς την λεωφόρο Κηφισίας, γεγονός που αυξάνει τον κυκλοφοριακό φόρτο της οδού.

Στην οδό Πρωτοπαπαδάκη βρίσκονται κατά κύριο λόγο καταστήματα ειδών αυτοκινήτου και μοτοσυκλέτας, καθώς και συνεργεία και φανοποιεία. Το γεγονός αυτό συντελεί στην περαιτέρω αύξηση του κυκλοφοριακού φόρτου. Αποτέλεσμα αυτών είναι η αυξημένη κυκλοφοριακή ροή κατά τις ώρες αιχμής, χωρίς όμως να παρατηρείται κυκλοφοριακή συμφόρηση. Ακόμα πρέπει να σημειωθεί ότι στην κορυφή της στροφής υπάρχει στάση αστικών λεωφορείων, η οποία όμως, παρά την εσφαλμένη της θέση δεν αποτελεί εμπόδιο στην ροή των οχημάτων, μιας και το πλάτος της οδού επαρκεί για την διέλευση τους.

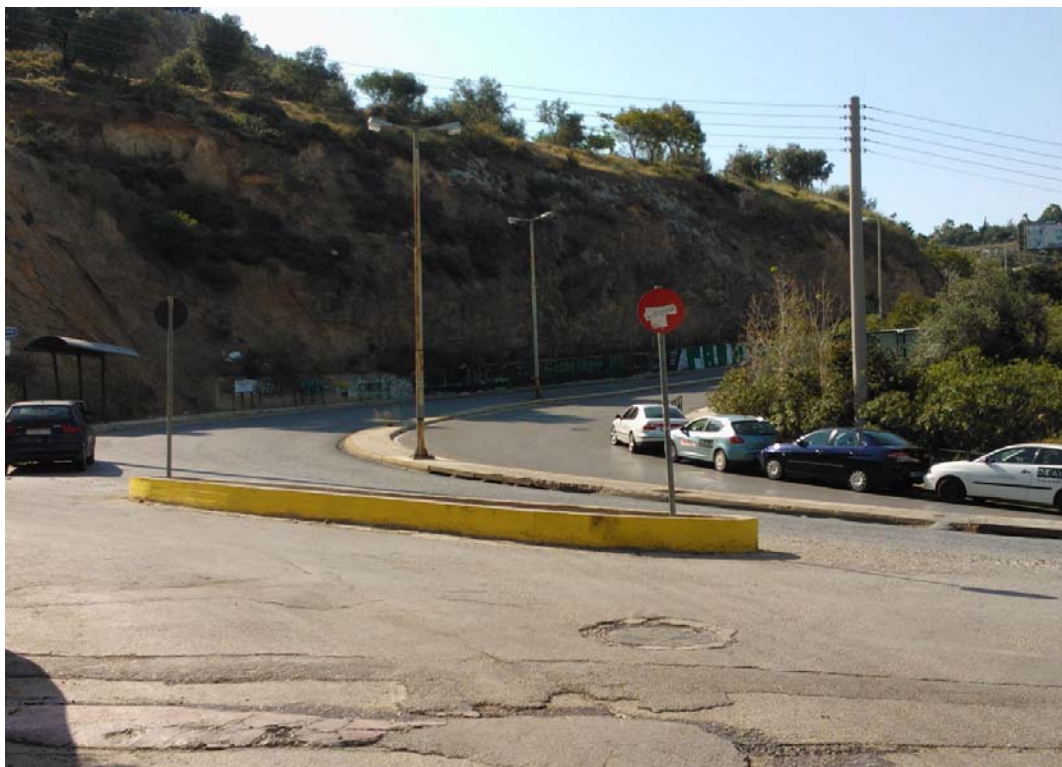
Οι εικόνες που ακολουθούν αποτελούν επίγειες λήψεις του υπό μελέτη σημείου. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάζονται το ρεύμα ανόδου και το ρεύμα καθόδου, στα χαρακτηριστικά σημεία της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 4: Φωτογραφία της περιοχής μελέτης, με κατεύθυνση προς Γαλάτσι. (επίγεια λήψη)



Εικόνα 5: Φωτογραφία της περιοχής μελέτης, από τη στάση του λεωφορείου. (επίγεια λήψη)



Εικόνα 6: Φωτογραφία της περιοχής μελέτης, απεικόνιση της κορυφής του κυκλικού τόξου . (επίγεια λήψη)



Εικόνα 7: Φωτογραφία της περιοχής μελέτης, με κατεύθυνση προς Ψυχικό. (επίγεια λήψη)

4. ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.

4.1 Εισαγωγή.

Η επιστήμη που ασχολείται με την απεικόνιση των τμημάτων της γήινης επιφάνειας συμπεριλαμβανομένων και των ανθρώπινων κατασκευών είναι η επιστήμη της Τοπογραφίας. Η τεχνολογική ανάπτυξη και εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων καθώς και των προγραμμάτων επεξεργασίας των μετρήσεων του πεδίου αύξησε σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία και ακρίβεια τόσο των μετρήσεων όσο και των αποτελεσμάτων.

Η χρήση τοπογραφικών οργάνων και συγκεκριμένα θεοδόλιχων και αποστασιομέτρων για αποτύπωση σημείων του τρισδιάστατου χώρου έχει ξεκινήσει από πολύ παλιά και μπορούμε να πούμε ότι η σημερινή τεχνολογία των οργάνων μέτρησης είναι αρκετά ικανοποιητική ώστε να είναι σε θέση να αποτυπώνει με σημαντική ακρίβεια μετρήσεων ακόμα και αρχαιολογικά και αρχιτεκτονικά μνημεία.

Ωστόσο αν και η τοπογραφική αποτύπωση μπορεί να προσδιορίσει με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια τα σημεία ενός αντικειμένου στο χώρο υπολείπεται της φωτογραμμετρικής αποτύπωσης σε αλλά θέματα όπως:

- Θα πρέπει να τηρείται στο πεδίο ένα αρκετά λεπτομερές σκαρίφημα-κροκί των μετρήσεων με σκοπό την πλήρη ανακατασκευή του μοντέλου στον Η/Υ που γίνεται με χειροκίνητο τρόπο. Το γεγονός αυτό καθιστά υπερβολικά χρονοβόρα τη διαδικασία των μετρήσεων ενός αντικειμένου και ταυτόχρονα αντιοικονομική λόγω του αυξημένου αριθμού των εργατωρών των χειριστών των οργάνων.
- Ο προσδιορισμός των τρισδιάστατων συντεταγμένων των σημείων που προσδιορίζονται στο χώρο δεν οδηγούν άμεσα στην κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου του χώρου. Περαιτέρω επεξεργασία σε ένα πακέτο τρισδιάστατης σχεδίασης πρέπει να ακολουθήσει προκειμένου να συνδεθούν τα προσδιορισμένα σημεία στο χώρο ώστε να σχηματιστούν τα επίπεδα των εξωτερικών επιφανειών που περιγράφουν το χώρο.

Τα όργανα μετρήσεων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και είναι σε θέση να ορίσουν ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο αναφέρονται όλες οι μετρήσεις των σημείων, θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν μέτριου κόστους (μέχρι 10.000€) και η χρήση τους πρέπει να γίνεται από έμπειρους μηχανικούς (συνήθους Αγρονόμους Τοπογράφους Μηχανικούς, Πολιτικούς Μηχανικούς ή Αρχιτέκτονες Μηχανικούς) ή τεχνολόγους. Το όργανο που κατά κόρον χρησιμοποιείται σήμερα στην τοπογραφική αποτύπωση είναι ο Γεωδαιτικός Σταθμός (Total Station) που αποτελεί την μετεξέλιξη του θεοδόλιχου (όργανο για τη μέτρηση των γωνιών) που είναι το παραδοσιακό όργανο για τη μέτρηση γωνιών και

του ηλεκτρονικού αποστασιόμετρου (που συνδυάζεται με χρήση κάτοπτρων, ή άλλης ανακλαστικής επιφάνειας ή υπέρυθρης ακτίνας ή ακτίνας laser) για τη μέτρηση αποστάσεων.

Πολλές φορές η πολυπλοκότητα του αντικειμένου και η μεγάλη λεπτομέρεια που εμφανίζουν τα αρχιτεκτονικά και αρχαιολογικά μνημεία καθιστούν ασύμφορη οικονομικά αλλά και χρονικά την τοπογραφική μέθοδο αποτύπωσης. Για το λόγο αυτό μπορεί η τοπογραφική αποτύπωση να συνδυαστεί με την φωτογραμμετρική μεθοδολογία ώστε να ληφθούν μόνο οι ελάχιστες τοπογραφικές μετρήσεις (μέτρηση φωτοσταθερών) που είναι απαραίτητες για τον καθορισμό του επίγειου τρισσορθογώνιου συστήματος συντεταγμένων στο οποίο θα αναφερθούν οι φωτογραφίες των στερεομοντέλων που θα επεξεργαστούν φωτογραμμετρικά και θα αποδώσουν το τελικό προϊόν.

Άλλωστε η μέθοδος αποτύπωσης που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται τόσο από το τελικό παραδοτέο προϊόν, που θα προδιαγράψει και την ακρίβεια του σχεδιαγράμματος αποτύπωσης-ψηφιοποίησης όσο και από το κόστος της εφαρμοσμένης τεχνικής.

Για την αποτύπωση της περιοχής μελέτης επιλέχθηκε η χρήση οπτικού σαρωτή. Ο οπτικός σαρωτής αποτελεί ένα εύχρηστο όργανο, ικανό να αποτυπώνει, μεγάλες περιοχές με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Μειονέκτημα του οπτικού σαρωτή προς το παρόν είναι το μεγάλο κόστος απόκτησης ενός. Η επιλογή του οπτικού σαρωτή έγινε, επειδή όλο και περισσότερο αρχίζει να κερδίζει έδαφος, έναντι των κλασικών μεθόδων αποτύπωσης, στον τομέα της οδοποιίας.

4.2 Μέθοδοι Σάρωσης.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της σάρωσης. Για να γίνει αποτύπωση μεγάλων, σε έκταση περιοχών, χρησιμοποιείται η μέθοδος "time of flight" (ToF). Άλλες μέθοδοι σάρωσης όπως η μέθοδος της διαφοράς φάσης και του τριγωνισμού, χρησιμοποιούνται για περισσότερο ακριβείς μετρήσεις. Αυτές οι τεχνικές περιορίζονται ως προς την εμβέλεια τους για λιγότερο από 10 μέτρα. Από την άλλη τα ToF συστήματα έχουν την απαιτούμενη εμβέλεια αλλά δεν υποστηρίζουν τις μεγάλες ακρίβειες που δίνουν τα συστήματα που χρησιμοποιούν τις μεθόδους της διαφοράς φάσης και του τριγωνισμού.

4.2.1 Μέθοδος Time Of Flight.

Σύμφωνα με τη μέθοδο ToF, ένας παλμός laser στέλνεται και μια ποσότητα αυτού του παλμού ανακλάται από την επιφάνεια που θα συναντήσει. Η απόσταση της επιφάνειας από το όργανο, υπολογίζεται σύμφωνα με το χρόνο που κάνει ο παλμός να επιστρέψει στο όργανο. Από τη στιγμή που η ταχύτητα του φωτός θεωρείται δεδομένη, η απόσταση του αντικειμένου μπορεί να υπολογιστεί πολύ εύκολα. Στα περισσότερα συστήματα, υψηλής ακρίβειας, συστήματα ανακλαστικών επιφανειών ελέγχουν τις οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες της ακτίνας, συντελώντας στο να κινείται ο παλμός στο σύνολο της επιφάνειας με

κανονικό ρυθμό. Οι γωνίες των ανακλαστικών επιφανειών χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι τιμές των τετμημένων και των τεταγμένων για κάθε παλμό. Κάθε σύστημα τότε παράγει ένα σύνολο δεδομένων που περιλαμβάνει πολλαπλές τιμές (X,Y,Z,I), όπου το I αντιπροσωπεύει την τιμή έντασης του σαρωτή. (Γεωργαλάς Σ.,2011)

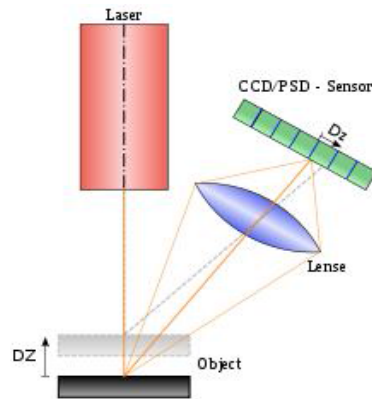
Παλαιότερα η ακρίβεια και η ανάλυση των σαρωτών που χρησιμοποιούν τη μέθοδο ToF ήταν αρκετά περιορισμένη εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας του φωτός και της συνακόλουθης δυσκολίας ακριβούς μέτρησης του ταξιδιού, όμως. Επιπλέον η ακρίβεια μπορεί να χαθεί όταν η ακτίνα προσπίπτει στη γωνία ενός αντικειμένου καθώς η πληροφορία που επιστρέφει στο όργανο είναι από 2 τοποθεσίες για ένα μόνο παλμό laser. Έτσι, οι συντεταγμένες που θα προκύψουν στο σύστημα του σαρωτή, θα υπολογιστούν με βάση το μέσο όρο με αποτέλεσμα την εσφαλμένη τοποθέτηση του σημείου στο χώρο. Όταν η σάρωση γίνεται με μεγάλη ανάλυση, αυξάνονται και οι πιθανότητες να προσπέσει η ακτίνα σε γωνία αντικειμένου δημιουργώντας "θόρυβο" στο αποτέλεσμα. Τα τελευταία χρόνια όμως η εξέλιξη των σαρωτών έχει φέρει την ακρίβεια της μεθόδου ToF από τα +/- 8mm με +/-6mm στα +/- 2mm με +/- 1mm.

4.2.2 Μέθοδος Διαφοράς Φάσης.

Η μέθοδος της διαφοράς φάσης είναι πολύ γνωστή καθώς σε αυτήν βασίζεται η χρήση των ταχυμετρικών οργάνων. Σε αυτήν την μέθοδο, η εκπεμπόμενη δέσμη διαμορφώνεται από ένα αρμονικό κύμα και η απόσταση υπολογίζεται βάσει της διαφοράς φάσης ανάμεσα στο εκπεμπόμενο και το λαμβανόμενο κύμα. Η μέθοδος αυτή δε διαφέρει σημαντικά από τη μέθοδο ToF αλλά εξαιτίας της πολυπλοκότερης ανάλυσης του σήματος ενδέχεται τα αποτελέσματα να είναι πιο ακριβή σε βάρος βέβαια της ταχύτητας μέτρησης. Η ακρίβεια με αυτήν την μέθοδο είναι της τάξης των 1-2mm. Δεδομένου ότι είναι απαραίτητο ένα καλά ορισμένο επιστρεφόμενο σήμα, οι σαρωτές που βασίζονται τη λειτουργία τους στη συγκεκριμένη μέθοδο ενδέχεται να έχουν μειωμένη εμβέλεια (της τάξης των 200m) και τείνουν να παράγουν περισσότερα λανθασμένα σημεία (Boehler et al., 2002).

4.2.3 Μέθοδος Τριγωνισμού.

Κατά τη μέθοδο του τριγωνισμού, μια λεπτή λωρίδα λέιζερ φωτός προβάλλεται σε όλη την επιφάνεια ενός αντικειμένου και παρακολουθείται από μια ψηφιακή κάμερα. Ανάλογα με την απόσταση κατά την οποία η λωρίδα laser προσπίπτει σε ένα αντικείμενο, διαφέρει και η θέση της στο οπτικό πεδίο της ψηφιακής κάμερας. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται τριγωνισμός καθώς το στίγμα του laser, η κάμερα και η πηγή εκπομπής της δέσμης δημιουργούν ένα τρίγωνο. Μια τέτοια διάταξη φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



(πηγή: <http://en.wikipedia.org>)

Εικόνα 8: Διάταξη σάρωσης με την μέθοδο του τριγωνισμού.

Καθώς οι θέσεις της κάμερας και της πηγής εκπομπής του λέιζερ είναι γνωστές, γίνεται απλώς ο υπολογισμός της θέσης των σημείων κατά μήκος της λωρίδας laser σε 3 διαστάσεις. Οι σαρωτές που χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη μεθοδολογία έχουν πολύ υψηλή ανάλυση και ακρίβεια, γεγονός που τους κάνει ιδανικούς για την αποτύπωση λεπτομερειών με υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας. Συγκεκριμένα η ακρίβεια της μεθόδου είναι της τάξης των δεκάδων μικρομέτρων. Αντίθετα, η μέθοδος του τριγωνισμού δεν συνιστάται για μεγάλες αποστάσεις καθώς η ακρίβεια του βεληνεκούς μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ σαρωτή και αντικειμένου. (Γεωργαλάς Σ.,2011)

4.2.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά σάρωσης με χρήση επίγειου σαρωτή.

Υπάρχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των συστημάτων σάρωσης laser που ειδικά στην περίπτωση σάρωσης μεγάλων περιοχών, επηρεάζουν σημαντικά το αποτέλεσμα. Αυτά έχουν να κάνουν κυρίως με τις ιδιότητες του φωτός, τη γεωμετρία των συστημάτων αλλά και με τις επιφάνειες που πρόκειται να σαρωθούν (Boehler et al., 2002).

- **Οπτικό πεδίο σάρωσης**

Η χρήση του σαρωτή επηρεάζεται από δυο βασικά στοιχεία της γεωμετρίας των συστημάτων. Το πρώτο στοιχείο είναι ότι η περιοχή που μπορεί να μετρηθεί πρέπει να φαίνεται καθαρά από τον σαρωτή, χωρίς να εμποδίζεται από άλλα αντικείμενα ενδιάμεσα. Κάθε σαρωτής έχει ένα αποτελεσματικό οπτικό πεδίο. Το οπτικό πεδίο αυτό αυξομειώνεται και έτσι ένα μεγαλύτερο οπτικό πεδίο θα απαιτούσε λιγότερες μεμονωμένες σαρώσεις. Όμως συχνά περιοχές που είναι αρκετά απομακρυσμένες από τον σαρωτή, δεν φαίνονται καθαρά από το όργανο και δεν απεικονίζονται στα αποτελέσματα των μετρήσεων. Επιπλέον, ένα αντικείμενο μπροστά από ένα άλλο πιθανότατα θα εμποδίσει την απόκτηση πληροφορίας από το δεύτερο. Η πρόκληση της "σκιάς" στην σάρωση είναι πολύ σημαντική για την μεγάλων περιοχών με υψηλή πυκνότητα και πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή κατά τον προγραμματισμό των μετρήσεων. Είναι πολύ σημαντική η προεπισκόπηση κάθε σάρωσης ώστε να γίνει αναγνώριση τυχόν περιοχών που δεν διακρίνονται και να εξασφαλιστεί η κάλυψη όλων των περιοχών. Κατά συνέπεια, σε ιδιαίτερα μεγάλες περιοχές επιβάλλεται η πραγματοποίηση πολλαπλών σαρώσεων ώστε να αποκλειστεί η πιθανότητα απώλειας πληροφορίας. Ο αριθμός των σαρώσεων αυτών καθώς και η τοποθεσία τους

εξαρτάται από την πολυπλοκότητα της περιοχής. Τα νέφη σημείων που προκύπτουν από κάθε σάρωση συγχωνεύονται στη συνέχεια μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται registration ή αλλιώς συνένωση.(Γεωργαλάς Σ.,2011)

- **Ιδιότητες φωτός**

Το δεύτερο στοιχείο αφορά τις έμφυτες ιδιότητες της μετάδοσης του φωτός σύμφωνα με τις οποίες ο παλμός διαχέεται καθώς κινείται έξω από το όργανο. Για να γίνει η μέτρηση μιας απόστασης, μόνο μια ποσότητα του παλμού πρέπει να ανακλαστεί από την επιφάνεια προς το αντικείμενο. Όσο αυξάνεται η απόσταση από την επιφάνεια προς σάρωση, μειώνεται αντίστοιχα και η ενέργεια του επιστρεφόμενου παλμού. Επιπλέον, αν το οπτικό πεδίο είναι μεγάλο και η απόσταση από την επιφάνεια προς σάρωση είναι επίσης μεγάλη, τότε επιφάνειες στις άκρες του οπτικού πεδίου μπορεί να βρίσκονται σημαντικά μακρύτερα και σε πολύ περισσότερο λοξές γωνίες. Αυτό είναι το πρόβλημα με τις μεγάλες επιφάνειες αποτύπωσης όπου ο σαρωτής δεν μπορεί να τοποθετηθεί σε θέση που να αποκλείει την ύπαρξη τέτοιων γωνιών. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις, ακόμα και με σαρωτές με αρκετά σημαντικά οπτικά πεδία, συνιστάται η μείωση του πεδίου και η πραγματοποίηση πολλαπλών σαρώσεων με σκοπό την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων. Παράλληλα, χρησιμοποιούνται σαρωτές με μικρότερο πλάτος δέσμης που όμως διαθέτουν περιορισμένη εμβέλεια εξαιτίας της αύξησης του πλάτους της δέσμης συναρτήσει της απόστασης. Μια άλλη λύση προέρχεται από το λογισμικό που χρησιμοποιείται κατά την επεξεργασία των δεδομένων στο οποίο μπορεί να καθοριστεί ότι το πρώτο αντικείμενο στο οποίο θα προσπέσει η δέσμη απορρίπτει τα δεδομένα από την ύπαρξη ενός δεύτερου. (Γεωργαλάς Σ.,2011)

- **Κινήσεις και κραδασμοί αντικειμένου**

Ένα άλλο πρόβλημα έχει να κάνει με τις παραμορφώσεις που δημιουργούνται στο τελικό αποτέλεσμα λόγω κινήσεων ή κραδασμών του αντικειμένου. Με ταχύτητα σάρωσης 10.000 σημείων το δευτερόλεπτο, οι σαρώσεις χαμηλής ανάλυσης μπορούν να πραγματοποιηθούν σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο, αλλά οι σαρώσεις υψηλής ανάλυσης που απαιτούν εκατομμύρια σημεία θα χρειαστούν αρκετά λεπτά για σαρωτές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο ToF. Από τη στιγμή που κάθε σημείο μετράται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, οποιαδήποτε κίνηση του αντικειμένου της σάρωσης θα προκαλέσει σφάλματα κατά τη συλλογή των πληροφοριών. Γι' αυτό το λόγο είναι απαραίτητο να τοποθετείται τόσο ο σαρωτής όσο και το αντικείμενο σε σταθερές βάσεις ώστε να επιτευχθεί η ελαχιστοποίηση των κραδασμών. Η χρήση των συγκεκριμένων σαρωτών για αποτύπωση αντικειμένων εν κινήσει κρίνεται εξαιρετικά δύσκολη. (Γεωργαλάς Σ.,2011)

- **Θερμοκρασία**

Ένα ακόμα στοιχείο που μπορεί να επιδράσει στις μετρήσεις είναι η θερμοκρασία. Κάθε επίγειος σαρωτής λειτουργεί ικανοποιητικά σε περιβάλλον όπου η θερμοκρασία βρίσκεται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος. Ακόμα βέβαια και σε αυτό το εύρος μπορεί να

παρατηρηθούν σφάλματα ιδιαίτερα σε μετρήσεις μεγάλων αποστάσεων. Επιπλέον κατά την σάρωση σε ένα σημείο για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, ενδέχεται να προκύψει ελαφρά μετακίνηση στη θέση του οργάνου εξαιτίας μιας αλλαγής στη θερμοκρασία. Για παράδειγμα, αν ο σαρωτής έχει τοποθετηθεί σε ένα τρίποδο, η ύπαρξη ισχυρής ηλιακής ακτινοβολίας σε μία πλευρά του οργάνου ενδέχεται να προκαλέσει επέκταση εκείνης της πλευράς του τρίποδα και μια συνακόλουθη παραμόρφωση της πληροφορίας. Γι' αυτό το λόγο κάποιοι σαρωτές διαθέτουν ένα σύστημα αντιστάθμισης έτσι ώστε να εξουδετερώνεται οποιαδήποτε κίνηση του σαρωτή κατά τη διάρκεια της σάρωσης. (Γεωργαλάς Σ., 2011)

- **Ανακλαστικότητα αντικειμένου**

Η επίδραση της ανακλαστικότητας της επιφάνειας του αντικειμένου προς σάρωση, αποδεικνύεται ιδιαίτερα σημαντική. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι επίγειοι σαρωτές laser βασίζονται εν πολλοίς στην επιστροφή του σήματος από την επιφάνεια του αντικειμένου. Ανεξαρτήτως της μεθόδου που θα χρησιμοποιηθεί, η ένταση του επιστρεφόμενου σήματος εξαρτάται - μαζί με άλλα στοιχεία όπως η απόσταση, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, η γωνία πρόσπτωσης - από τις δυνατότητες αντανάκλασης της επιφάνειας. Επιφάνειες που ανακλούν τον παλμό σε υψηλό βαθμό, επιστρέφουν μεγαλύτερη ενέργεια και άρα είναι δυνατή η μέτρησή τους σε μεγαλύτερες αποστάσεις και η πραγματοποίηση σαρώσεων με αυξημένο οπτικό πεδίο. Παράλληλα, επιφάνειες που καλύπτονται από ένα λεπτό στρώμα νερού, όπως είναι το βρεγμένο οδόστρωμα είναι πολύ δύσκολο να σαρωθούν εξαιτίας της μεγάλης ανακλαστικότητας του νερού. Λευκές επιφάνειες αποδίδουν εντονότερη αντανάκλαση σε αντίθεση με σκούρες και κυρίως μαύρες επιφάνειες όπου η αντανάκλαση είναι ασθενής. Οι επιδράσεις των χρωματισμένων επιφανειών εξαρτώνται από τα φασματικά χαρακτηριστικά του laser (πράσινο, κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο). Επιπλέον η καταγραφή λαμπερών επιφανειών αποδεικνύεται αρκετά δύσκολη. Παράλληλα έχει παρατηρηθεί ότι επιφάνειες που παρουσιάζουν διαφορές ως προς την ανακλαστικότητά τους, οδηγούν σε συστηματικά σφάλματα κατά την μέτρηση. Για κάποια υλικά αυτά τα σφάλματα μπορεί να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερα από την τυπική απόκλιση μιας μέτρησης (Boehler et al., 2002).

- **Ατμοσφαιρικές επιδράσεις**

Η επίδραση της ατμόσφαιρας μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα σημαντική κατά τις μετρήσεις ενός επίγειου σαρωτή. Από τη στιγμή που μετρώνται σχετικά μικρές αποστάσεις, οι αλλαγές που ενδέχεται να προκύψουν στην ταχύτητα διάδοσης του φωτός εξαιτίας των μεταβολών πίεσης και θερμοκρασίας είναι αμελητέες. Αντιθέτως κατά τις μετρήσεις μεγάλων αποστάσεων, που πραγματοποιούνται σε περιβάλλον, όπου υπάρχει σκόνη και ατμός, μπορεί να προκύψουν συστηματικά σφάλματα. Γενικά, οι επίγειοι σαρωτές δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες όπως σε ομιχλώδη ή και βροχερό καιρό καθώς οι σταγόνες της βροχής μπορεί να προκαλέσουν θόρυβο στις μετρήσεις (Boehler et al., 2002).

- **Φυσικό περιβάλλον**

Η χρήση των επίγειων σαρωτών σε μετρήσεις στο φυσικό περιβάλλον ενδέχεται να παρουσιάσει δυσκολίες πέρα από αυτές των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Όπως συμβαίνει και με τα συμβατικά όργανα μετρήσεων, είναι απαραίτητη η ανεμπόδιστη οπτική επαφή κατά την μέτρηση στοιχείων στο έδαφος. Έτσι, δεν είναι εύκολο ο σαρωτής να πραγματοποιήσει μετρήσεις για την αποτύπωση του προφίλ του εδάφους ενός πρανού που καλύπτεται από βλάστηση. Για να υπάρξει μια πλήρης εικόνα του εδαφικού προφίλ, είναι απαραίτητος ο καθαρισμός της βλάστησης, πριν τη σάρωση ή η πραγματοποίηση συμπληρωματικών μετρήσεων με συμβατικές μεθόδους. (Γεωργαλάς Σ.,2011)

- **Απόδοση σαρωτών**

Πέρα από τις παραπάνω επισημάνσεις υπάρχουν και άλλες παράμετροι που επηρεάζουν τις μετρήσεις και έχουν να κάνουν με την απόδοση των επίγειων σαρωτών σύμφωνα με τους Boehler και Marbs (2002). Τέτοιες είναι η ταχύτητα μέτρησης, η εμβέλεια, το οπτικό πεδίο, η ποιότητα του laser, οι δυνατότητες των προγραμμάτων συνένωσης των διαφόρων νεφών, η διαθεσιμότητα των ψηφιακών καμερών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί με τον σαρωτή, το βάρος και η ευκολία μεταφοράς, η πηγή τροφοδοσίας (μπαταρία), η δυνατότητα λειτουργίας σε κακές καιρικές συνθήκες και εχθρικά περιβάλλοντα και φυσικά η ποιότητα του λογισμικού που χρησιμοποιείται. (Γεωργαλάς Σ.,2011)

4.3 Αποτύπωση με Laser Scanner.

Ένα σημαντικό τμήμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η χρήση της επίγειας σάρωσης σε εφαρμογές αποτύπωσης αστικής οδού. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε, ήταν ο επίγειος σαρωτής Focus 3D της εταιρίας Faro. Κατά την σάρωση της περιοχής μελέτης βρεθήκαμε αντιμέτωποι με μια δυσκολία. Αυτή έγκειται κατά βάση στη διέλευση πεζών και κυρίως οχημάτων.

Κατά συνέπεια, γίνεται σάρωση σημείων, τα οποία δεν ανήκουν στην περιοχή μελέτης και αποτελούν «θόρυβο» στις μετρήσεις. Παράλληλα, η σάρωση αυτών των σημείων αφήνει κενά στην επιφάνεια που πρέπει να σαρωθεί, με αποτέλεσμα την απώλεια πληροφορίας κατά την επεξεργασία. Στην περιοχή μελέτης, όπου οι ταχύτητες των οχημάτων είναι μικρές, ο θόρυβος που λαμβάνεται από τον σαρωτή είναι μεγαλύτερος και άρα μεγαλύτερα και τα κενά στην πληροφορία.

4.3.1 Επίγειος σαρωτής Faro Focus 3D.

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής είναι ο επίγειος σαρωτής Focus 3D (Εικόνες 9,10,11,12) της εταιρείας Faro (<http://www.faro.com>). Ο συγκεκριμένος σαρωτής κατασκευάστηκε το 2007 και αποτελεί ένα άρτιο όργανο επίγειας

σάρωσης, καθώς διαθέτει μεγάλη ταχύτητα στιγμιαίας σάρωσης, σε συνδυασμό με την ακρίβεια και την ελευθερία ενός ολοκληρωμένου γεωδαιτικού σταθμού. Επιπλέον, διαθέτει ενσωματωμένη ψηφιακή κάμερα υψηλής ανάλυσης.



Εικόνα 9: Επίγειος σαρωτής Faro Focus 3D.



Εικόνα 10: Επίγειος σαρωτής Faro Focus 3D.



Εικόνα 11: Επίγειος σαρωτής Faro Focus 3D.



Εικόνα 12: Επίγειος σαρωτής Faro Focus 3D.

Ο σαρωτής Faro Focus 3D λειτουργεί με ενσωματωμένη πηγή τροφοδοσίας ρεύματος (μπαταρία). Η μέθοδος σάρωσης που χρησιμοποιείται, είναι η time of flight, που έχει περιγραφεί στην ενότητα 4.3.1. Σύμφωνα με τα στοιχεία που συλλέχτηκαν από τον ιστότοπο της εταιρίας Faro, το μεγάλο πλεονέκτημα του οργάνου είναι η ταχύτητα του, που μπορεί να φτάσει τα 976000 σημεία το δευτερόλεπτο, καθώς και το σχεδόν πλήρες οπτικό του πεδίο. Πιο συγκεκριμένα, διαθέτει πλήρες οριζόντιο και κατακόρυφο πεδίο.

Με την ψηφιακή κάμερα, την ακρίβεια σε κάθε μέτρηση, που φτάνει τα 2mm στις αποστάσεις και την εξαιρετική εμβέλεια, το Focus 3D διακρίνεται για την πολύπλευρη χρήση του. Ο χρήστης μπορεί να τοποθετήσει το όργανό σε γνωστό σημείο ή σε οποιοδήποτε σημείο και να σαρώσει μια περιοχή εμβέλειας έως 40 μέτρων. Παράλληλα, ο σαρωτής διαθέτει ενσωματωμένη ψηφιακή κάμερα υψηλής ανάλυσης, που φτάνει τα 70 MP. Οι φωτογραφίες που λαμβάνονται, δίνουν τη δυνατότητα στο χρήστη να καθορίσει επακριβώς το παράθυρο σάρωσης στην οθόνη του υπολογιστή. Η εμβέλεια του οργάνου φτάνει τα 40m για το 90% της επιφάνειας ανάκλασης και του επιτρέπει έτσι να χρησιμοποιείται σε πληθώρα εφαρμογών. Τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του οργάνου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Βάρος	5 kg
Ακρίβεια στην απόσταση	± 2 mm
Ελάχιστο εύρος αποτύπωσης	0,6 m
Μέγιστο εύρος αποτύπωσης	40 m
Ρυθμός αποτύπωσης	976000 points / sec

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Faro Focus 3D.

4.3.2 Διαδικασία σάρωσης.

Για να ξεκινήσει η διαδικασία των μετρήσεων, αρχικά ο επίγειος σαρωτής τοποθετείται πάνω σε τρίποδα. Ο συγκεκριμένος σαρωτής δεν απαιτεί οριζοντίωση ή κέντρωση. Ο σαρωτής απλά τοποθετείται στην επιθυμητή θέση προσεκτικά, προσπαθώντας απλά να έχει σταθερή και συνεχή επαφή με το έδαφος. Το συγκεκριμένο όργανο δεν απαιτεί μέτρηση ύψους οργάνου. Η μόνη απαίτηση του οργάνου από τον χειριστή του είναι η σωστή διάταξη των σφαιρών σύνδεσης. Οι σφαίρες αυτές έχουν διάμετρο 14,5 εκατοστά και στην βάση τους είναι τοποθετημένος ένας μαγνήτης που διευκολύνει την τοποθέτησή τους σε μεταλλικές επιφάνειες. Για να μπορούμε να συνδέσουμε ικανοποιητικά τα νέφη των σημείων το όργανο πρέπει η επόμενη θέση του οργάνου να έχει τρεις κοινές σφαίρες με την προηγούμενη.

Η αποτύπωση της περιοχής υπολογίστηκε ότι θα χρειαστεί 9 στάσεις, οι οποίες θα σχηματίσουν μία κλειστή όδευση. Για τον λόγο αυτό οι τρεις πρώτες σφαίρες θα πρέπει να παραμείνουν στην θέση τους καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων. Στην διάθεση μας είχαμε συνολικά 12 σφαίρες, εκ' των οποίων οι εννέα επανατοποθετούνταν ανάλογα με την θέση του οργάνου.

Επιλέχθηκε να ξεκινήσει η όδευση από το τμήμα με το μεγαλύτερο υψόμετρο της περιοχής μελέτης, που βρίσκεται πιο κοντά στο Ψυχικό. Η επιλογή αυτή έγινε διότι το κομμάτι εκείνο της περιοχής μελέτης είναι πιο ανοικτό και ήταν πιο ασφαλές για τις τρεις πρώτες σφαίρες να μείνουν στην θέση τους καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων.

Στην συνέχεια επιλέγοντας την εκκίνηση της σάρωση το όργανο είναι ικανό να σαρώσει ολόκληρο το φάσμα των 360 μοιρών σε 2 λεπτά μόνο. Ακολούθως, γίνεται η λήψη φωτογραφιών της περιοχής που περιβάλλει το σαρωτή. Η φωτογράφιση της περιοχής μελέτης από το όργανο είναι προαιρετική και διαρκεί 2 λεπτά για την έγχρωμη και 1 λεπτό για την ασπρόμαυρη φωτογράφιση. Εμείς επιλέξαμε την έγχρωμη για να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

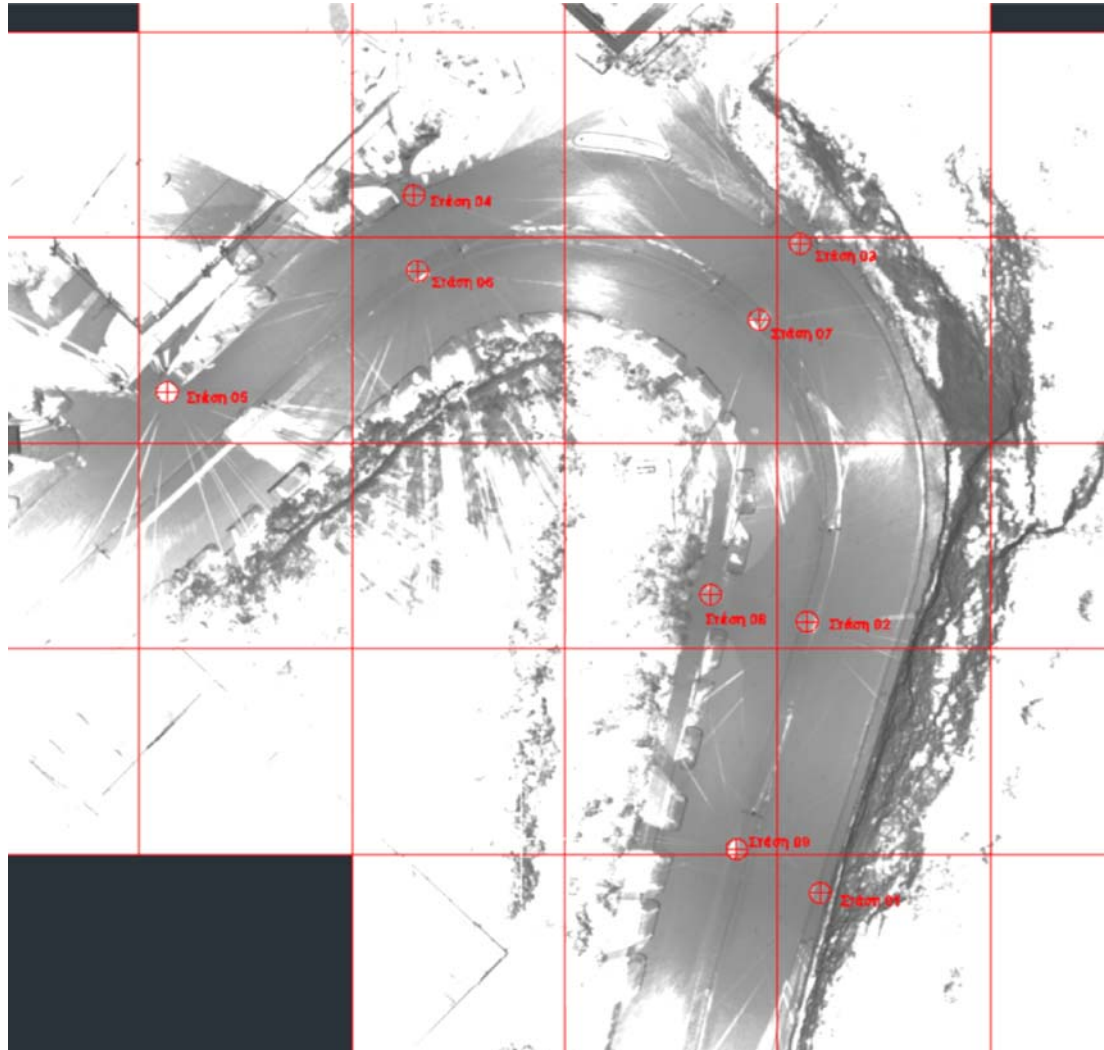


Εικόνα 13: Σαρωτής Faro Focus 3D στο πεδίο (Στάση 01).

Η όδευση που κατασκευάστηκε έχει όπως προαναφέρθηκε εννέα στάσεις, οι πρώτες πέντε στοχεύουν στο ρεύμα με κατεύθυνση προς Γαλάτσι, ενώ οι υπόλοιπες τέσσερις στο ρεύμα προς Ψυχικό. Θα μπορούσαμε να αρκεστούμε σε λιγότερες στάσεις, όμως προτιμήθηκε η εισαγωγή δύο επιπλέον στάσεων, με σκοπό να έχουμε καλύτερη συνδεσιμότητα μεταξύ τους.

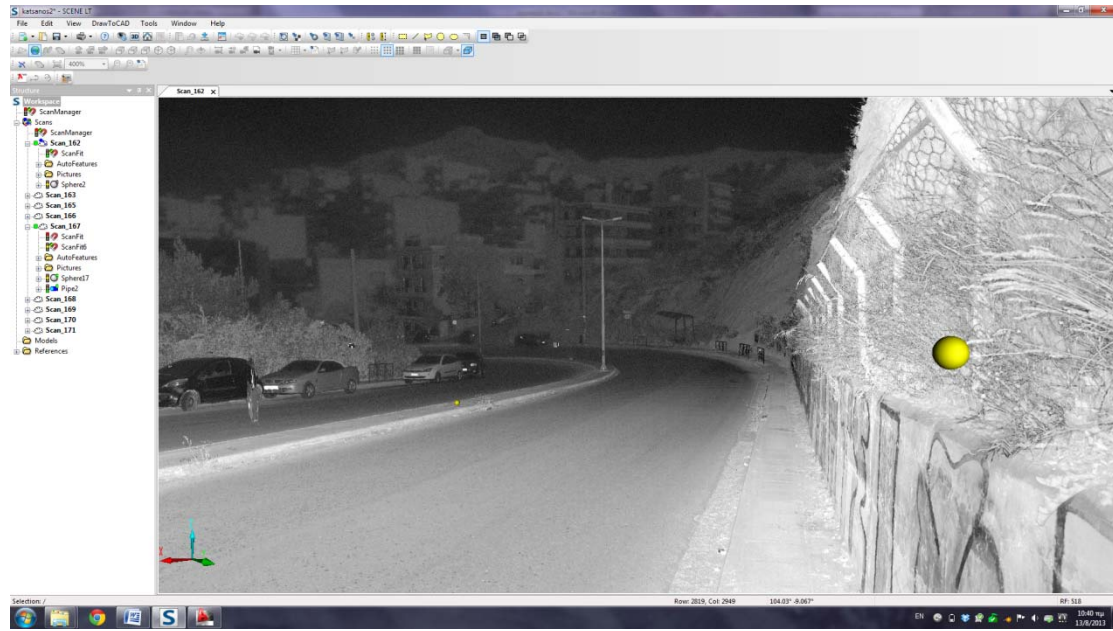
Στην συνέχεια ακολουθεί η διάταξη της όδευσης, η οποία συνοδεύεται και από στιγμιότυπα από το πρόγραμμα Faros SCENE LT στο οποίο έγινε και η σύνδεση των στάσεων χρησιμοποιώντας κυρίως τις σφαίρες σύνδεσης αλλά και κάποια άλλα χαρακτηριστικά σημεία με έντονες αιχμές, όπως βίδες κολώνες και κάγκελα. Το πρόγραμμα συνδέει τα νέφη σχεδόν αυτόματα και το μόνο που απαιτείται από τον χειριστή του προγράμματος είναι ο έλεγχος της σύνδεσης.

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνονται χαρακτηριστικά τα σημεία σύνδεσης, οι σφαίρες κυρίως αλλά και κάποια άλλα που χρησιμοποιήθηκαν, όπως κολώνες για παράδειγμα, χρωματισμένα με κίτρινο ή πράσινο χρώμα.

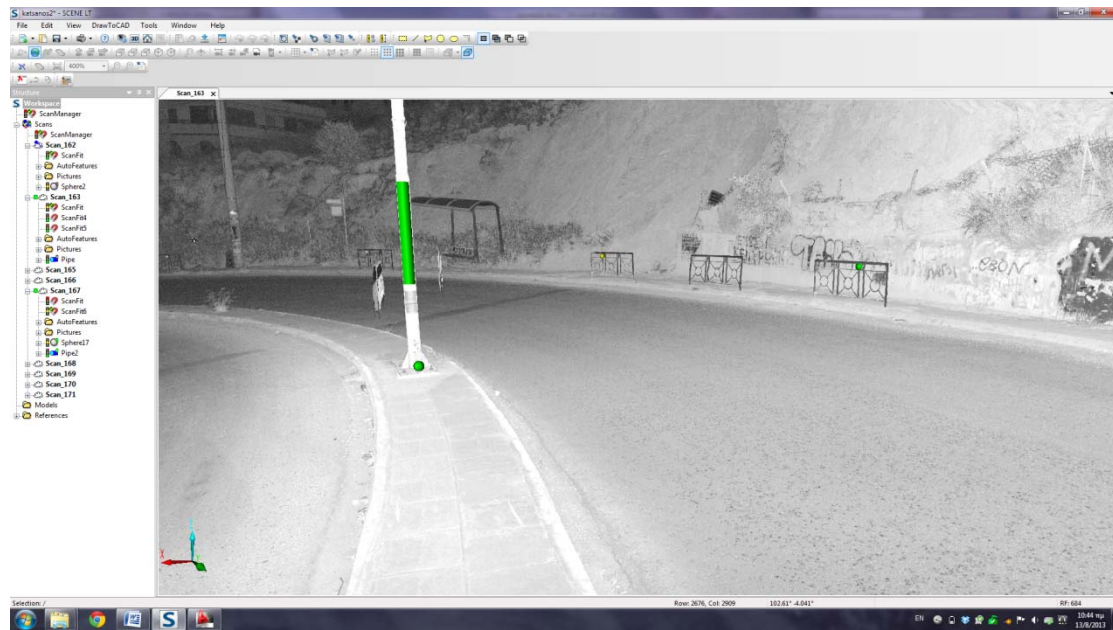


Εικόνα 14: Διάταξη των στάσεων στην περιοχή μελέτης.

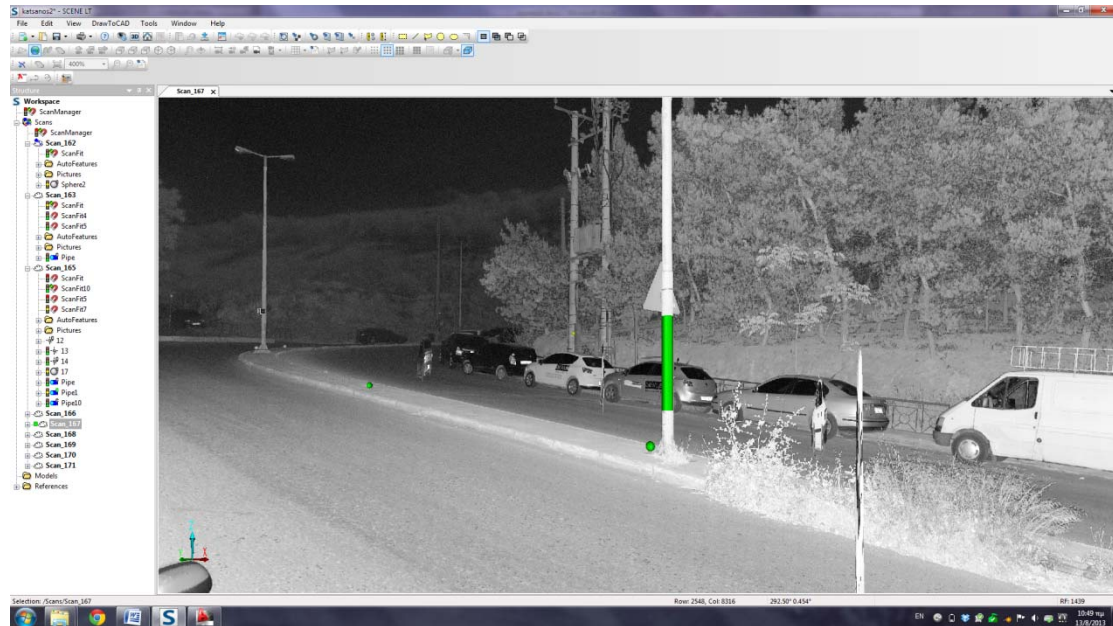
ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΞΥ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΤΡΙΒΗΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΟΔΟΥ



Εικόνα 15: Στιγμιότυπο της πρώτης στάσης από το πρόγραμμα Faros SCENE LT.



Εικόνα 16: Στιγμιότυπο της δεύτερης στάσης από το πρόγραμμα Faros SCENE LT.



Εικόνα 17: Στιγμιότυπο της πέμπτης στάσης από το πρόγραμμα Faros SCENE LT.

Στις παραπάνω εικόνες παρατηρούμε κάποιες σκιές. Οι σκιές αυτές οφείλονται στα διερχόμενα οχήματα και αποτελούν θόρυβο στις μετρήσεις. Ο θόρυβος αυτός αντιμετωπίστηκε χάρις την πυκνή όδευση που κατασκευάσαμε.

4.4 Σύνδεση στο ΕΓΣΑ87.

Η αποτύπωση με laserscanner, έχει ως αποτέλεσμα την απόδοση της περιοχής μελέτης με ένα νέφος σημείων, το οποίο βρίσκεται σε ένα αυθαίρετο σύστημα συντεταγμένων, το οποίο κατασκευάζεται από το Faros SCENE LT, κατά την σύνδεση των στάσεων. Το αυθαίρετο αυτό σύστημα συντεταγμένων θα το εντάξουμε στο ΕΓΣΑ87.

Η ένταξη στο ΕΓΣΑ87 θα γίνει μέσω συστήματος GPS. Ο δέκτης που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ο Leica νίνα 08gs plus. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δέκτη παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Αξιοπιστία 99,99%
120 δυναμικά κανάλια (GPS + GLONASS)
Είναι πλήρως συμβατό με οποιοδήποτε σύστημα σταθμών αναφοράς
GPS: L1,L2,L2C (C/A,P, C Code) GLONASS: L1,L2 (C/A,P narrow code)
Αποκλειστικές πατέντες αλγορίθμων: SmartCheck, SmartTrack, SmartRTK
Μέθοδοι δικτυακού προσδιορισμού θέσης: VRS, FKP, iMAX, MAX αλλά & Nearest Station
Σύνδεση GSM/GPRS στο χειριστήριο
CS10 3.5G χειριστήριο με ενσωματωμένο μόντεμ 3.5G για σύνδεση με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας & ίντερνετ (mobile broadband) & Wi-fi
ενσωματωμένο μόντεμ 3.5G για σύνδεση με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας & ίντερνετ (mobile broadband) & Wi-fi
ενσωματωμένη 2Mp κάμερα για «αποτύπωση» της υφιστάμενης κατάστασης και «σύνδεσης» της εικόνας με τα ταχυμετρικά σημεία
Τεχνολογία Bluetooth class 2.0 - απαλλαγμένο από καλώδια
SmartWorx Viva LT λογισμικό
Leica, Leica 4G, RTCM 2.1, RTCM 2.3, RTCM 3.0, RTCM 3.1, Leica proprietary
Ελληνικό μενού
Ανθεκτικό σε σκόνη, υγρασία και βροχή κατά IP67, ανθεκτικό σε πτώση από 1m και υψηλές θερμοκρασίες
2 Μεγαρίxel φωτογραφική μηχανή σταθερής εστίασης
Φωνητική καθοδήγηση
Πληθώρα ενσωματωμένων προγραμμάτων (αποτύπωσης, χάραξης, CoGo κλπ.)
Ανθεκτικότητα κατασκευής - MILITARY MIL Standard (MIL-STD-810F)-αντοχή σε πτώση απο 1m, και αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες
Καταγραφή δεδομένων στο χειριστήριο: 1GB εσωτερική μνήμη, κάρτα SD (4GB), κάρτα CF, USB stick
Ακρίβειες RTK: Οριζοντιογραφική 10mm+1ppm, RTK, Υψομετρική 20mm+1ppm, RTK

Πίνακας 3: Τεχνικά χαρακτηριστικά Leica viva 08gs.

(<http://www.metrica.gr/products/geo-equipment.html>)



(<http://www.leica.com>)

Εικόνα 18: Ο δέκτης Leica viva 08gs.

Για την ένταξη του συστήματος αρκούν 10 σημεία, τα οποία όμως θα πρέπει να είναι αιχμές σημείων, όπως οι βίδες στις βάσεις των στύλων φωτισμού ή των βάσεων των πλευρικών κιγκλιδωμάτων. Τα ποιά αξιοποιήσιμα σημεία είναι εκείνα τα σημεία στα οποία είχαν τοποθετηθεί οι σφαίρες, όπου ήταν δυνατή η μέτρηση. Προτιμήθηκε η καταγραφή 24 σημείων γιατί δεν είναι όλα τα σημεία αξιοποιήσιμα. Τα σημεία αυτά παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Σημείο	X	Y	Z	Θέση
GPS0001	478.889.820	4.206.498.469	235.288	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0002	478.885.182	4.206.448.184	240.872	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0003	478.885.170	4.206.448.138	240.867	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0004	478.895.464	4.206.497.808	234.477	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0005	478.883.438	4.206.439.813	241.830	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0006	478.898.432	4.206.433.186	241.908	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0007	478.898.511	4.206.433.264	241.895	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0008	478.891.054	4.206.434.555	242.153	Θέση Σφαίρας
GPS0009	478.900.497	4.206.473.688	237.333	Θέση Σφαίρας
GPS0010	478.905.241	4.206.491.721	235.622	Θέση Σφαίρας
GPS0011	478.915.617	4.206.499.775	235.463	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0012	478.915.619	4.206.499.764	235.466	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0013	478.908.187	4.206.513.638	234.507	Θέση Σφαίρας
GPS0014	478.898.749	4.206.525.160	233.890	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0015	478.894.198	4.206.515.941	233.543	Θέση Σφαίρας
GPS0016	478.886.087	4.206.519.728	232.838	Θέση Σφαίρας
GPS0017	478.875.701	4.206.520.409	232.071	Θέση Σφαίρας
GPS0018	478.874.133	4.206.533.643	232.362	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0019	478.848.665	4.206.513.026	229.753	Αιχμή στο κάγκελο
GPS0020	478.841.290	4.206.508.756	229.822	Αιχμή σε πινακίδα
GPS0021	478.881.589	4.206.529.623	233.370	Αιχμή σε πινακίδα
GPS0022	478.889.440	4.206.528.145	234.030	Αιχμή σε πινακίδα
GPS0023	478.881.653	4.206.529.665	233.368	Αιχμή σε πινακίδα
GPS0024	478.889.518	4.206.528.136	234.016	Αιχμή σε πινακίδα
GPS0025	478.889.440	4.206.528.145	234.030	Αιχμή σε πινακίδα

Πίνακας 4: Συντεταγμένες σημείων μετρημένων με GPS

Το πρόγραμμα Faros SCENE LT δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει τις συντεταγμένες επιλέγοντας το κάθε σημείο και στο τέλος του υπολογισμού συνορθώνει τις αποκλίσεις και δίνει στο νέφος σημείων συντεταγμένες ΕΓΣΑ87.

Το σφάλμα που προέκυψε μετά τη συνόρθωση είναι της τάξης του εκατοστού, σφάλμα. Αν και επειδή το πρόγραμμα δεν παραμορφώνει το νέφος των σημείων, η ακρίβεια της αποτύπωσης παραμένει στα 2 χιλιοστά, η θέση του νέφους ως προς το ΕΓΣΑ87, έχει σφάλμα 1 εκατοστό. Έτσι καταλήγουμε σε ένα νέφος σημείων με γεωδαιτικές συντεταγμένες στο ΕΓΣΑ87.

4.5 Αποτελέσματα Αποτύπωσης.

Για την παραγωγή των σχεδίων της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και των διατομών μεταφέρθηκε το παραγόμενο από το πρόγραμμα Fagos SCENE LT νέφος σημείων στο Autocad 2012, όπου μετά την ένωση των σημείων καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η περιοχή μελέτης αποτελείται από δύο ευθυγραμμίες ανάμεσα στις οποίες παρεμβάλλεται ένα κυκλικό τόξο, με δύο τόξα συναρμογής, στην αρχή και στο τέλος του. Τα τόξα αυτά είναι κλωθειδούς μορφής. Η διατομή της οδού αποτελείται από δύο ρεύματα κυκλοφορίας, τα οποία χωρίζονται με νησίδα στην μέση, και το κάθε ρεύμα έχει πλάτος 8 μέτρα. Τα γεωμετρικά στοιχεία του οδικού αυτού τμήματος υπολογίστηκαν στο σύνολο της διατομής, αλλά και ανά κατεύθυνση. Αυτό κρίθηκε σκόπιμο για την καλύτερη επεξεργασία των μετρήσεων της δεύτερης φάσης της εργασίας, μιας και τα στοιχεία που θα έχουμε από τις μετρήσεις του επιταχυνσιόμετρου θα είναι ανά κατεύθυνση. Για την διευκόλυνση των υπολογισμών, η αποτυπωμένη περιοχή χωρίστηκε σε πέντε ζώνες:

- Η πρώτη (Α-Β) αντιπροσωπεύει την ευθυγραμμία από το μέρος του Ψυχικού.
- Η δεύτερη (Β-Γ) αντιπροσωπεύει την κλωθειδή καμπύλη από το μέρος του Ψυχικού.
- Η τρίτη (Γ-Δ) αντιπροσωπεύει το κυκλικό τόξο της καμπύλης.
- Η τέταρτη (Δ-Ε) αντιπροσωπεύει την κλωθειδή καμπύλη από το μέρος του Γαλασίου.
- Η πέμπτη (Ε-Ζ) αντιπροσωπεύει την ευθυγραμμία από το μέρος του Γαλασίου.

Τα σχέδια επισυνάπτονται στο παράρτημα των σχεδίων και τα γεωμετρικά στοιχεία παραθέτονται στους ακόλουθους πίνακες:

Τόξα συναρμογής				
Από Ψυχικό προς Γαλάτσι				
	L	R	Amin	A
Δ-Ε	27,18	29,8	9,93	28,45
Β-Γ	37,26	29,8	9,93	33,32
Από Γαλάτσι προς Ψυχικό				
	L	R	Amin	A
Δ-Ε	20,23	21,8	7,26	21
Β-Γ	33,46	21,8	7,26	27

Πίνακας 5: Γεωμετρικά στοιχεία ρεύματος τόξων συναρμογής.

Ευθυγραμμία	
Από Ψυχικό προς Γαλάτσι	
A-B	11,09
E-Z	20,27
Από Γαλάτσι προς Ψυχικό	
A-B	20,27
E-Z	11,09
Άξονας	
A-B	20,27
E-Z	11,09

Πίνακας 6: Γεωμετρικά στοιχεία ευθυγραμμιών.

Κυκλικά τόξα		
Από Ψυχικό προς Γαλάτσι		
	L	R
Γ-Δ	37,39	29,8
Από Γαλάτσι προς Ψυχικό		
Γ-Δ	27,42	21,8
Άξονας		
Γ-Δ	32,45	25,79

Πίνακας 7: Γεωμετρικά στοιχεία κυκλικών τόξων.

Κλίσεις					
Από Ψυχικό προς Γαλάτσι			Από Γαλάτσι προς Ψυχικό		
	Υμ. Διαφ. (m)	Κλίση		Υμ. Διαφ. (m)	Κλίση
A-B	-1,21	-10,91%	A-B	-2,17	-10,71%
B-Γ	-3,26	-8,75%	B-Γ	-2,05	-6,13%
Γ-Δ	-2,35	-7,89%	Γ-Δ	-2,3	-8,39%
Δ-E	-2,22	-8,17%	Δ-E	-2,05	-10,13%
E-Z	-2,25	-11,10%	E-Z	-1,37	-10,70%
Κλίσεις Άξονα					
	Υμ. Διαφ. (m)	Μήκος (m)	Κλίση		
A-B	-1,3	11,09	11,72%		
B-Γ	-3,44	43,88	7,84%		
Γ-Δ	-2,32	32,45	7,15%		
Δ-E	-2,12	23,71	8,94%		
E-Z	-2,21	20,27	10,90%		

Πίνακας 8: Στοιχεία κατά μήκος κλίσεων.

Σε ότι αφορά τις επικλίσεις πρέπει να σημειωθεί ότι το οδόστρωμα είναι αλλοιωμένο, λόγω της ηλικίας του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κοίλων και κυρτών επιφανειών, τις γνωστές ως "λακκούβες". Αυτές οι ανομοιογένειες επηρεάζουν την ακριβή απόδοση της επίκλισης του οδοστρώματος. Οι τιμές που ακολουθούν στον επόμενο πίνακα, είναι αποτέλεσμα της μελέτης εγκάρσιων τμημάτων κατά μήκος του άξονα κάθε ρεύματος κυκλοφορίας. Πιο συγκεκριμένα εντοπίστηκαν και μετρήθηκαν συγκεκριμένα μήκη κάθετα στον άξονα του οδοστρώματος και στην συνέχεια διαιρέθηκε η υψομετρική διαφορά αρχής- πέρατος του ευθυγράμμου τμήματος προς το μήκος του. Αποτέλεσμα αυτής της διαίρεσης είναι οι επικλίσεις στις επιλεγμένες θέσεις των διατομών.

Επικλίσεις							
Από Ψυχικό προς Γαλάτσι				Από Γαλάτσι προς Ψυχικό			
	Υμ. Διαφ. (m)	L (m)	Επίκλιση		Υμ. Διαφ. (m)	L (m)	Επίκλιση
Δ1	-0,14	6,79	-2,06%	Δ1	0,07	4,89	1,43%
Δ2	0	6	0,00%	Δ2	0	5,48	0,00%
Δ3	0	6,24	0,00%	Δ3	0	5,42	0,00%
Δ4	0,41	6,97	5,88%	Δ4	0,3	4,64	6,47%
Δ5	0,4	6,97	5,74%	Δ5	0,35	6,12	5,72%
Δ6	0,27	5,86	4,61%	Δ6	0,18	4,96	3,63%
Δ7	0,36	7,15	5,03%	Δ7	0,37	5,95	6,22%
Δ8	0,36	6,71	5,37%	Δ8	0,34	5,98	5,69%
Δ9	0,32	7,83	4,09%	Δ9	0,32	5,97	5,36%
Δ10	0,25	5,04	4,96%	Δ10	0,46	6,85	6,72%
Δ11	0,3	7,11	4,22%	Δ11	0,29	6,42	4,52%
Δ12	0,32	6,46	4,95%	Δ12	0,32	6,08	5,26%
Δ13	0,24	6,95	3,45%	Δ13	0,19	6,51	2,92%
Δ14	0,08	4,69	1,71%	Δ14	0,23	5,54	4,15%

Πίνακας 8: Στοιχεία επικλίσεων.

Η μέση επίκλιση, στην καμπύλη και στο κυκλικό τόξο της καμπύλης που θα μετρηθεί ο συντελεστής τριβής πειραματικά, είναι 5% για την κατωφέρεια (από το Ψυχικό στο Γαλάτσι) και 5,5% για την ανωφέρεια (από το Γαλάτσι στο Ψυχικό).

5. Η ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.

5.1 Παρουσίαση της πειραματικής διαδικασίας.

Η πειραματική διαδικασία περιλαμβάνει δυο σκέλη, το πρώτο αφορά την μέτρηση της διαμήκους και της εγκάρσιας επιτάχυνσης και κατ' επέκταση της τριβής στην ανωφέρεια της οδού και κατά δεύτερον στην κατωφέρεια. Αυτό επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση του επιταχυνσιόμετρου VC 4000, στο όχημα. Για τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε το Opel Corsa Op, τα χαρακτηριστικά του οποίου ακολουθούν στον επόμενο πίνακα.

Μεταξόνιο	2511 mm
Έμπροσθεν Μετατρόχιο	1485 mm
Όπισθεν Μετατρόχιο	1478 mm
Απόβαρο	1488 kg
Ελαστικά	225/35 R18

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά Opel Corsa Op

Αρχικά εγκαθιστούμε το VC 4000 στο παρμπρίζ του οχήματος, αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας την βεντούζα στο πίσω μέρος του οργάνου. Η βεντούζα εφάπτεται στο παρμπρίζ του οχήματος και μέσω μίας βαλβίδας αφαιρείται ο αέρας, με αποτέλεσμα το όργανο να πακτωθεί στο παρμπρίζ. Στη συνέχεια το όργανο οριζοντιώνεται. Πρέπει να σημειωθεί σε αυτό το σημείο, ότι η τοποθέτηση και η οριζοντίωση του οργάνου δεν έγιναν στην περιοχή μελέτης, αλλά σε κλειστό χώρο στάθμευσης, ώστε να διασφαλιστεί η οριζόντια θέση του οχήματος.

Με το VC 4000 τοποθετημένο και οριζοντιωμένο, φτάνουμε στην περιοχή μελέτης. Εκεί τοποθετούμε μια ψηφιακή κάμερα στο εσωτερικό του οχήματος, στο κέντρο του παρμπρίζ. Αυτό γίνεται, ώστε να μπορέσουμε στην συνέχεια να εξασφαλίσουμε την τροχιά του οχήματος μέσα στην καμπύλη. Ακόμα μπορεί να φανεί χρήσιμη στον προσδιορισμό της χρονικής διάρκειας που το όχημα χρειάστηκε να διανύσει την καμπύλη.

Το συνεργείο που εκτέλεσε τις μετρήσεις ήταν τριμελές. Αποτελούνταν από έναν οδηγό, τον χειριστή του οργάνου και το τρίτο μέλος είχε αναλάβει να προειδοποιεί τους διερχόμενους οδηγούς για την ασφαλή διεξαγωγή των μετρήσεων.

Ο οδηγός είχε σαφείς οδηγίες να διατηρεί την ίδια πορεία σε κάθε μια από τις τέσσερις επαναλήψεις της διαδρομής της ανωφέρειας. Αυτό καθίσταται εύκολο, διότι η ύπαρξη

παρκαρισμένων οχημάτων στα δεξιά του οδοστρώματος, δεν άφηνε στον οδηγό άλλη πιθανή διαδρομή.

Ο χειριστής του οργάνου παρακολουθούσε και κατέγραφε τις μετρήσεις του οργάνου μέσω ενός φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με το όργανο μέσω Bluetooth. Η σύνδεση αυτή είχε ως αποτέλεσμα την άμεση προβολή των μετρήσεων στην οθόνη του υπολογιστή, με αποτέλεσμα τον άμεσο έλεγχο των μετρήσεων.

Για να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις με ασφαλή τρόπο ήταν επιβεβλημένη η έγκαιρη ενημέρωση των διερχόμενων, από το σημείο, οδηγών. Για αυτό το λόγο το τρίτο μέλος του συνεργείου, φορώντας το ειδικό ανακλαστικό γελέκο, έκανε σήμα στους διερχόμενους οδηγούς να περιορίσουν την ταχύτητα τους.

Αφού εξασφαλίστηκε η ασφάλεια προχωρήσαμε στην διεξαγωγή των μετρήσεων. Για τις μετρήσεις που αφορούσαν την ανωφέρεια, ως σημείο εκκίνησης επιλέχθηκε η έξοδος της προηγούμενης καμπύλης. Έτσι υπήρχε αρκετή απόσταση ώστε να επιτύχουμε την επιθυμητή ταχύτητα.

Για την ανωφέρεια η πειραματική διαδικασία επαναλήφθηκε τέσσερις φορές με ταχύτητες, όπως προέκυψαν μετά την επεξεργασία, 34, 37, 39 και 42 χαω. Σκοπός μας ήταν να επιτύχουμε την ολίσθηση του οχήματος το οποίο επετεύχθη στις δυο τελευταίες προσπάθειες. Ακόμα πρέπει να σημειωθεί ότι, όσο αυτό ήταν εφικτό, η ταχύτητα εντός της καμπύλης ήταν σταθερή.

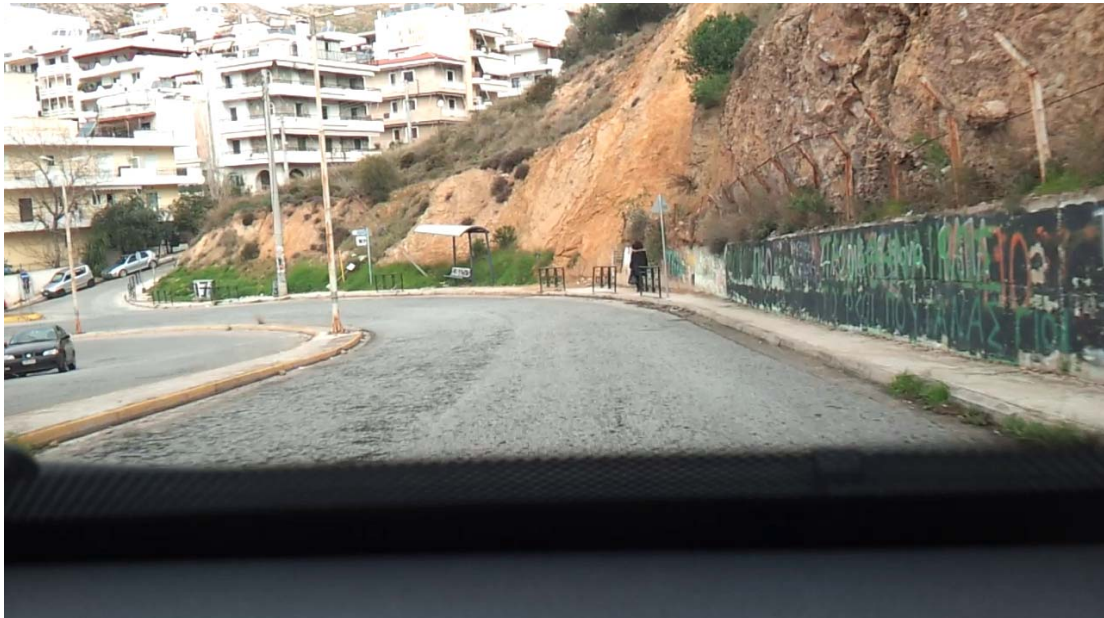
Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για την κατωφέρεια. Όμως δεν ήταν εφικτή η επανάληψη των μετρήσεων με τις ίδιες ακριβώς ταχύτητες, εξαιτίας της γεωμετρίας της οδού. Παρόλα αυτά όμως επετεύχθη ο βασικός στόχος να μείνει σταθερή η ταχύτητα εντός της καμπύλης. Οι ταχύτητες με τις οποίες εκτελέστηκαν οι τέσσερις διαδρομές της κατωφέρειας είναι 38, 42, 46 και 59 χαω αντίστοιχα. Ακολουθεί φωτογραφικό υλικό από την διαδικασία των μετρήσεων.



Εικόνα 19: Το επιταχυνσιόμετρο VC4000 εγκατεστημένο κατά την πειραματική διαδικασία.



Εικόνα 20: Στιγμιότυπο από τις μετρήσεις κατά την ανωφέρεια της οδού (στην αρχή της καμπύλης).



Εικόνα 21: Στιγμιότυπο από τις μετρήσεις κατά την κατωφέρεια της οδού (στην αρχή της καμπύλης).



Εικόνα 22: Στιγμιότυπο από τις μετρήσεις κατά την ανωφέρεια της οδού (στο τέλος της καμπύλης).



Εικόνα 23: Στιγμιότυπο από τις μετρήσεις κατά την κατωφέρεια της οδού (στο τέλος της καμπύλης).

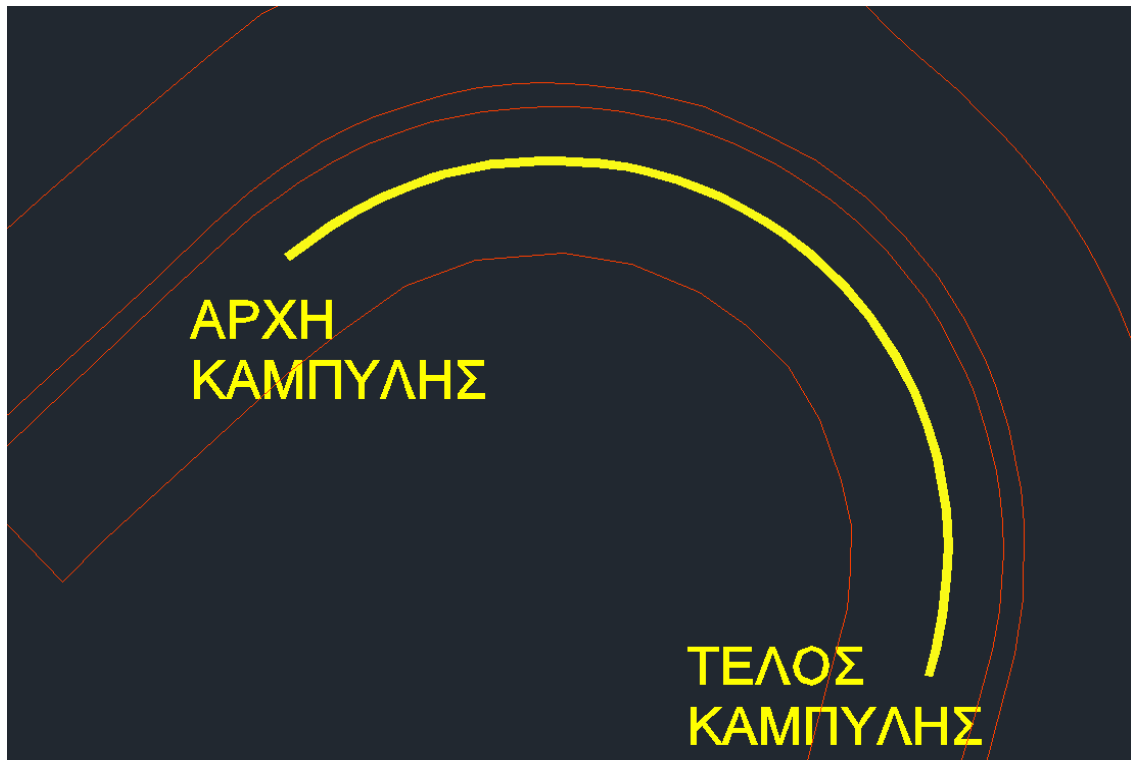
5.2 Ορισμός της τροχιάς του οχήματος.

Όπως είναι φανερό από τις εικόνες, που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, για την ανωφέρεια η πορεία του οχήματος ήταν καθορισμένη, διότι περιορίζονταν από την παρουσία των παρκαρισμένων στην δεξιά μεριά του οδοστρώματος οχημάτων. Από τα συνολικά 8 μέτρα του καταστρώματος της οδού τα 5,8 ήταν διαθέσιμα. Για να εξασφαλιστεί, ότι η πορεία του οχήματος θα παραμείνει ίδια και στις τέσσερις δοκιμαστικές διαδρομές, ο οδηγός του προσπάθησε να κρατήσει σταθερή απόσταση ανάμεσα από την νησίδα της οδού και τα παρκαρισμένα οχήματα. Έτσι λοιπόν τοποθετούμε τον άξονα της τροχιάς στο μέσο της απόστασης του ελευθέρου καταστρώματος ή στα 2,9 μέτρα από την άκρη της νησίδας του οδοστρώματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η τροχιά του οχήματος να είναι μετατοπισμένη κατά 30 εκατοστά από τον άξονα της ανωφέρειας. Τα γεωμετρικά στοιχεία της τροχιάς του οχήματος στην ανωφέρεια συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Από Γαλάτσι προς Ψυχικό				
Τόξα συναρμογής				
	L (m)	R (m)	Amin (m)	A(m)
Δ-Ε	20,49	22,1	7,36	21,27
Β-Γ	33,61	22,1	7,36	27,25
Κυκλικά τόξα				
	L (m)		R (m)	
Γ-Δ	27,79		22,1	
Ευθυγραμμία (m)				
A-B	20,27			
E-Z	11,09			

Πίνακας 10: Στοιχεία τροχιάς του οχήματος κατά την ανωφέρεια.

Τα παραπάνω στοιχεία αφορούν όλη την περιοχή μελέτης. Οι μετρήσεις που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο αφορούν μόνο την καμπύλη. Χρησιμοποιώντας τη βιντεοσκόπηση της κάθε διαδρομής καταλήγουμε στην ακόλουθη τροχιά για την ανωφέρεια. Η τροχιά του οχήματος που θα χρησιμοποιήσουμε στους υπολογισμούς που ακολουθούν είναι 58,40 μέτρα.



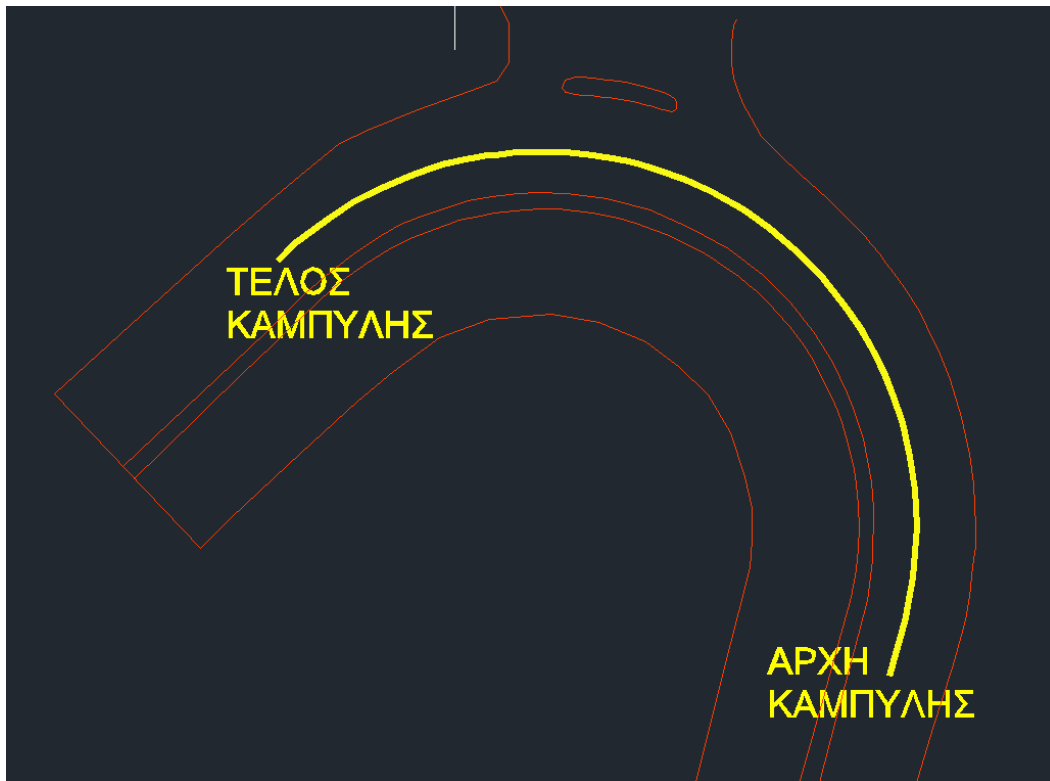
Εικόνα 24: Η τροχιά της ανωφέρειας.

Η περίπτωση της κατωφέρειας ήταν πιο εύκολη καθώς η απουσία παρκαρισμένων οχημάτων επέτρεψε στον οδηγό του οχήματος να διατηρήσει τον άξονα του ρεύματος ως τροχιά και στις τέσσερις δοκιμαστικές διαδρομές. Τα στοιχεία της τροχιάς της κατωφέρειας συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Από Ψυχικό προς Γαλάτσι				
Τόξα συναρμογής				
	L (m)	R (m)	Amin (m)	A (m)
Δ-Ε	27,18	29,8	9,93	28,45
Β-Γ	37,26	29,8	9,93	33,32
Κυκλικά τόξα				
	L (m)		R (m)	
Γ-Δ	37,39		29,8	
Ευθυγραμμία (m)				
A-B	20,27			
E-Z	11,09			

Πίνακας 11: Στοιχεία τροχιάς του οχήματος κατά την κατωφέρεια.

Αντίστοιχα με την ανωφέρεια θα μας απασχολήσει το μέρος της τροχιάς που διαγράφει καμπύλη διαδρομή, έτσι για την κατωφέρεια έχουμε τροχιά με μήκος 82,80 μέτρα τα οποία απεικονίζονται στη συνέχεια.

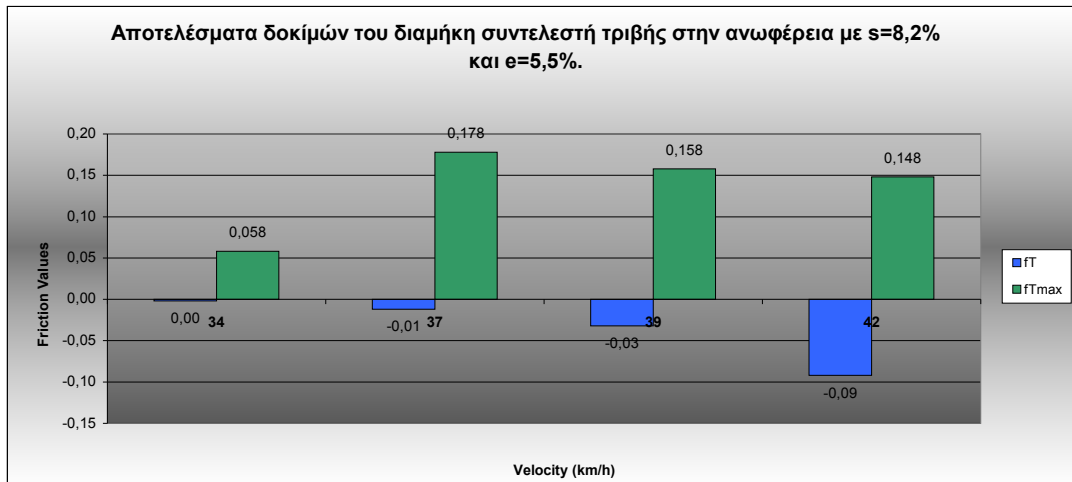


Εικόνα 25: Η τροχιά της κατωφέρειας.

5.3 Αποτελέσματα των διαδρομών.

Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων των τεσσάρων διαδρομών και για τα δύο ρεύματα κυκλοφορίας. Πρώτα θα παραθέσουμε τα στοιχεία που αφορούν τον διαμήκη συντελεστή τριβής και στη συνέχεια τα αντίστοιχα με τον εγκάρσιο. Στα ακόλουθα διαγράμματα συγκρίνεται η μέση τιμή του συντελεστή τριβής με την αντίστοιχη μέγιστη.

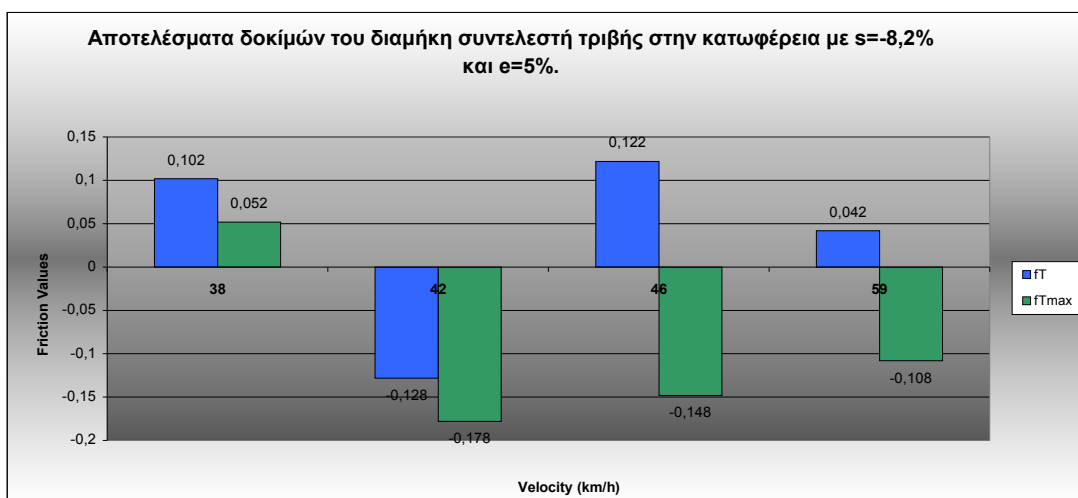
Οι τιμές αυτές προέκυψαν από τις τιμές που κατέγραψε το όργανο αφαιρώντας την κλίση από για τις τιμές του διαμήκη συντελεστή τριβής και την επίκλιση από την αντίστοιχη του εγκάρσιου. Αυτό είναι απαραίτητο, διότι το όργανο δεν είναι σε θέση να υπολογίσει την αντίσταση, που οφείλεται στην γεωμετρία της οδού.



Διάγραμμα 1: Οι διαμήκεις συντελεστές τριβής συναρτήσει της ταχύτητας για κάθε μία από τις τέσσερις διαδρομές για την ανωφέρεια.

Από το διάγραμμα παρατηρεί κανείς ότι όλες οι τιμές του μέγιστου διαμήκη συντελεστή τριβής είναι θετικές. Αυτό οφείλεται στην επιτάχυνση του οχήματος, ή οποία εφαρμόζεται εντός της καμπύλης. Οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στο τέλος της καμπύλης, μιας και εντός της καμπύλης λόγω του ανάγλυφου, παρατηρείται μια πτώση στην ταχύτητα, η οποία αποτυπώνεται, όμως στις μέσες τιμές του διαμήκη συντελεστή τριβής, οι ποίες εμφανίζουν αρνητικό πρόσημο.

Παρατηρείται ακόμα μια απολύτως αυξανόμενη τάση στις τιμές του μέσου συντελεστή τριβής σε σχέση με την ταχύτητα, μιας και όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα εισόδου στην καμπύλη, τόσο μεγαλύτερη είναι και διόρθωση της εντός της καμπύλης. Αυτό δικαιολογείται από το αίσθημα ανασφάλειας του οδηγού το οποίο αυξάνεται, όπως είναι λογικό, όσο αυξάνεται και η ταχύτητα.

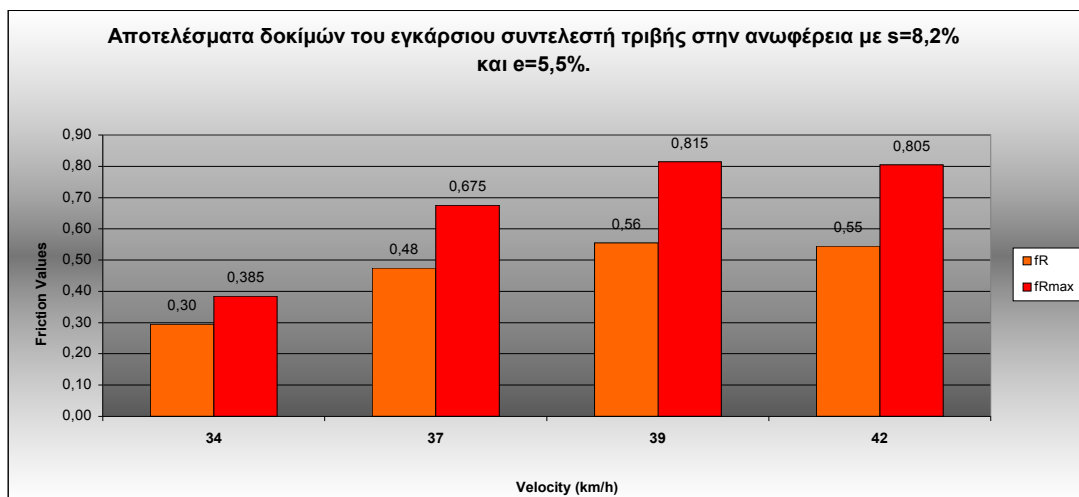


Διάγραμμα 2: Οι διαμήκεις συντελεστές τριβής συναρτήσει της ταχύτητας για κάθε μία από τις τέσσερις διαδρομές για την κατωφέρεια.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα για την κατωφέρεια παρατηρεί κανείς μια διακύμανση στις τιμές του μέγιστου διαμήκη συντελεστή τριβής, όπου για τις τρεις μεγαλύτερες ταχύτητες είναι αρνητικός, ενώ για την διαδρομή των 38km/h, είναι θετικός. Στην πρώτη διαδρομή παρατηρείται και το παράδοξο η μέγιστη τιμή να είναι μικρότερη της μέσης.

Αυτό οφείλεται στην διόρθωση των τιμών λόγω της κλίσης, μιας και οι αντίστοιχες καταγεγραμμένες τιμές ήταν 0,02 για τον μέσο και -0,03 για τον κατ' απόλυτο μέγιστο. Όμως αφαιρώντας την κλίση προκύπτουν ανάποδα πρόσημα, τα οποία οφείλονται στην μεγάλη κατά μήκος κλίση. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στην τελευταία διαδρομή, μόνο όμως για την μέση τιμή.

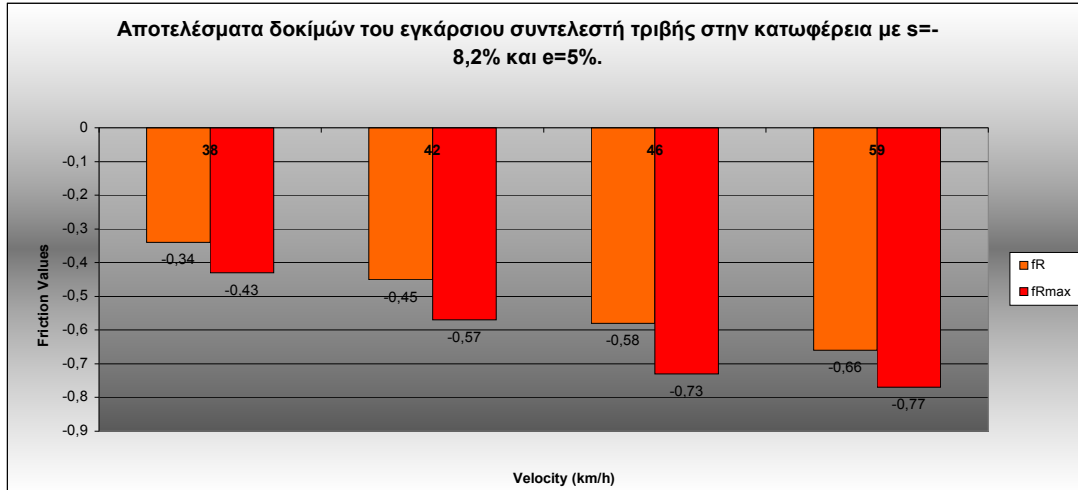
Στην κατωφέρεια επίσης παρατηρούμε μια πιο ασταθή διακύμανση και στις δύο τιμές του συντελεστή τριβής, η οποία οφείλεται εν' μέρη, στην διόρθωση λόγω της κλίσης, αλλά και στο γεγονός, ότι στην κατωφέρεια δεν υπήρχε το ίδιο αίσθημα ανασφάλειας για τον οδηγό, με αποτέλεσμα να έχει μια πιο ελεύθερη συμπεριφορά εντός της καμπύλης.



Διάγραμμα 3: Οι εγκάρσιοι συντελεστές τριβής συναρτήσει της ταχύτητας για κάθε μία από τις τέσσερις διαδρομές για την ανωφέρεια.

Τα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν στον διαμήκη συντελεστή τριβής δεν εμφανίζονται και στον εγκάρσιο, όπου οι τιμές αυξάνονται μαζί με την ταχύτητα και οι μέσες τιμές είναι μικρότερες των μέγιστων και μετά την αφαίρεση της επίκλισης.

Οι τιμές για την ανωφέρεια είναι θετικές γιατί η στροφή είναι δεξιόστροφη ενώ για την κατωφέρεια επειδή είναι αριστερόστροφη είναι αρνητικές, αλλά όπως φαίνεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί, και στην κατωφέρεια οι τιμές αυξάνονται κατ' απόλυτο μαζί με την ταχύτητα.



Διάγραμμα 4: Οι εγκάρσιοι συντελεστές τριβής συναρτήσει της ταχύτητας για κάθε μία από τις τέσσερις διαδρομές για την κατωφέρεια.

5.4 Αποτελέσματα πέδησης στην ευθυγραμμία.

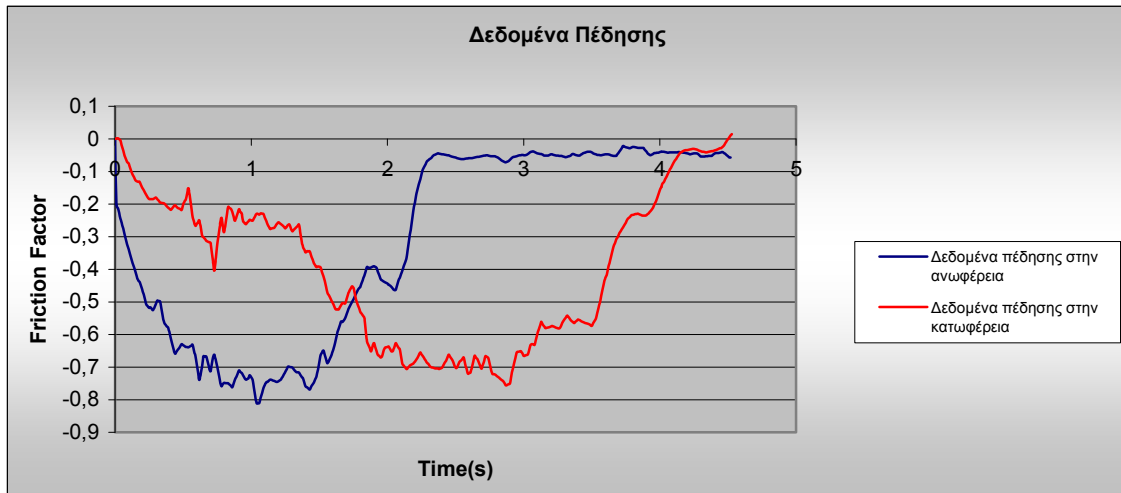
Για τον προσδιορισμό της τριβής στην διαμήκη διεύθυνση, διενεργήθηκαν μετρήσεις πέδησης, για την ανωφέρεια και την κατωφέρεια αντίστοιχα. Με βάση αυτές τις μετρήσεις θα προκύψουν, από το μοντέλο (13), οι μέγιστες δυνατές τιμές του συντελεστή τριβής για το συγκεκριμένο οδόστρωμα.

Το ευθύγραμμο τμήμα στην ανωφέρεια είχε κατά μήκος κλίση 10,7% και το όχημα ακινητοποιήθηκε με αρχική ταχύτητα 46 km/h. Η μέγιστη τιμή που καταγράφει από το επιταχυνσιόμετρο ήταν -0,81 και η μέση -0,40.

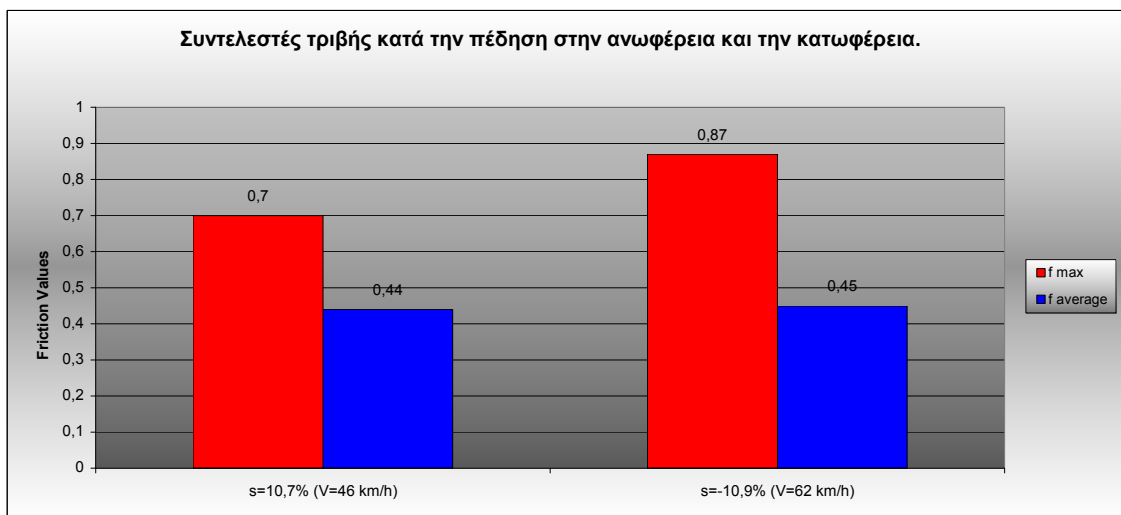
Αντίστοιχα το ευθύγραμμο τμήμα στην κατωφέρεια είχε κατά μήκος κλίση -10,9% και το όχημα ακινητοποιήθηκε με αρχική ταχύτητα 62 km/h. Η μέγιστη τιμή που καταγράφει από το επιταχυνσιόμετρο ήταν -0,76 και η μέση -0,39.

Από τις τιμές αυτές θα αφαιρεθεί η κατά μήκος κλίση και με βάση το μοντέλο (13), το οποίο συν υπολογίζει και την ταχύτητα θα υπολογιστούν οι μέγιστες και οι αντίστοιχες μέσες τιμές του συντελεστή τριβής κατά την πέδηση στην ανωφέρεια και την κατωφέρεια. Οι μέγιστες τιμές θα αποτελέσουν και την τιμή της τριβής ολίσθησης.

Τα δεδομένα που κατέγραψε το όργανο παραθέτονται στο ακόλουθο διάγραμμα και στο επόμενο οι τιμές μετά την εφαρμογή του μοντέλου.



Διάγραμμα 5: Στοιχεία πέδησης από τις μετρήσεις πεδίου.



Διάγραμμα 6: Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της πέδησης για την ανωφέρεια και την κατωφέρεια.

5.5 Αποτελέσματα μοντέλου της διδακτορικής διατριβής του επίκουρου καθηγητή κ. Μαυρομάτη.

Το μοντέλο (13) που χρησιμοποιήσαμε για να υπολογίσουμε τον απαιτούμενο συντελεστή τριβής, στην προηγούμενη παράγραφο, μπορεί να μας υπολογίσει πέρα από τις μέσες και τις μέγιστες τιμές του συντελεστή τριβής την ταχύτητα ολίσθησης, την ταχύτητα ασφαλούς διέλευσης του οχήματος, τον κρίσιμο τροχό, αλλά και τον τροχό που πρόκειται να ολισθήσει.

Το μοντέλο ως δεδομένα χρειάζεται τις τιμές που κατέγραψε το όργανο, την γεωμετρία της οδού (κατά μήκος κλίση, επίκλιση, ακτίνα κυκλικού τόξου) και την ταχύτητα της κάθε διαδρομής.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου της διδακτορικής διατριβής του επίκουρου καθηγητή κ. Μαυρομάτη για την ανωφέρεια για τις αντίστοιχες ταχύτητες της πειραματικής διαδικασίας παραθέτονται στον ακόλουθο πίνακα:

	model					
Vact (km/h)	fR (g)	fT (g)	critical tire	Vskid	tire skidding	Vsafe
34	0,390	0,581	front in	43	rear in	37,6
37	0,480	0,510	front in			
39	0,535	0,451	front in			
42	0,644	-0,013	rear in			

Πίνακας 12: Αποτελέσματα του μοντέλου (13) για την ανωφέρεια.

Στον ακόλουθο πίνακα ακολουθούν τα αντίστοιχα για την κατωφέρεια:

	model					
Vact (km/h)	fR (g)	fT (g)	critical tire	Vskid	tire skidding	Vsafe
38	0,390	0,778	front in	58	rear in	53,8
42	0,510	0,705	front in			
46	0,640	0,590	front in			
59						

Πίνακας 13: Αποτελέσματα του μοντέλου (13) για την κατωφέρεια.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα του μοντέλου (13), το όχημα θα πρέπει να ολισθαίνει μόνο στην τελευταία διαδρομή της ανωφέρειας, όμως σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα που παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο, ολίσθηση κατεγράφη και στις δύο τελευταίες διαδρομές τις ανωφέρειας.

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

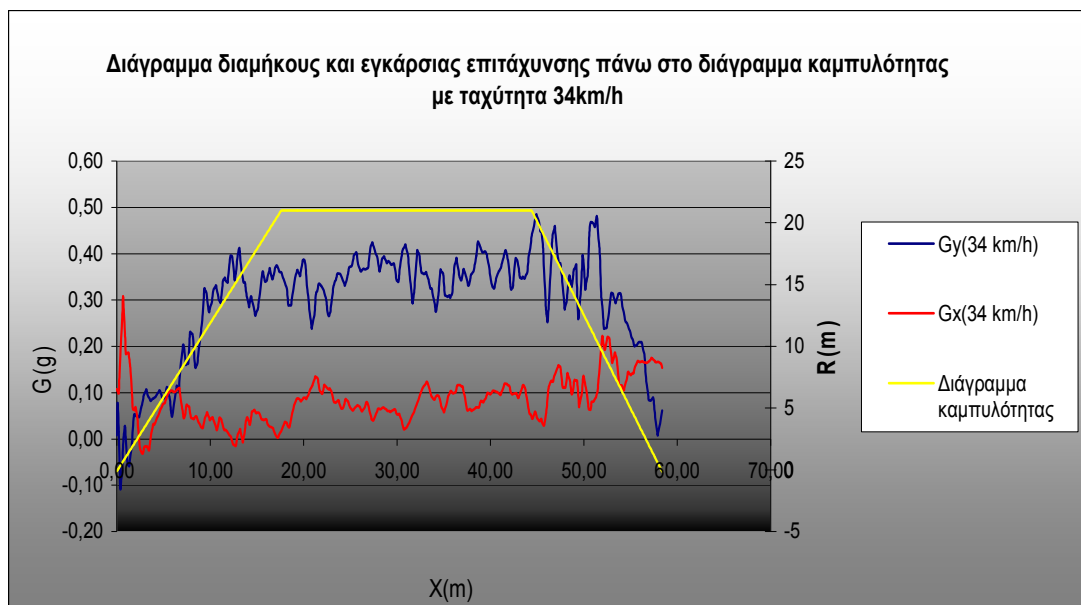
Στο κεφάλαιο θα γίνει η παρουσίαση αναλυτικά των αποτελεσμάτων της κάθε διαδρομής για την ανωφέρεια και την κατωφέρεια αντίστοιχα. Θα ξεκινήσει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των συγκρίσεων στην ανωφέρεια και θα ακολουθήσει αντίστοιχα η κατωφέρεια.

6.1 Αποτελέσματα ανωφέρειας.

- **Πρώτη Δοκιμή**

Η πρώτη διαδρομή της ανωφέρειας έχει μέση ταχύτητα τα 34 km/h. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί η μέγιστη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,44 και μέση τιμή υπολογίστηκε στο 0,35. Η διαδρομή αυτή εκτελέστηκε χωρίς να ολισθήσει το όχημα. Από τις τιμές αυτές πρέπει να αφαιρεθεί η αντίσταση λόγω επίκλισης (drag). Η μέγιστη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,385 και η μέση τιμή 0,30, μετά την επεξεργασία, ενώ η τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής, σύμφωνα με την οποία το όχημα ολισθαίνει είναι θεωρητικά τουλάχιστον 0,7. Οι τιμές εδώ είναι θετικές καθώς η καμπύλη στην ανωφέρεια είναι δεξιόστροφη.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί προβάλλονται οι εγκάρσιες και διαμήκεις επιταχύνσεις στο διάγραμμα καμπυλότητας.



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 34km/h.

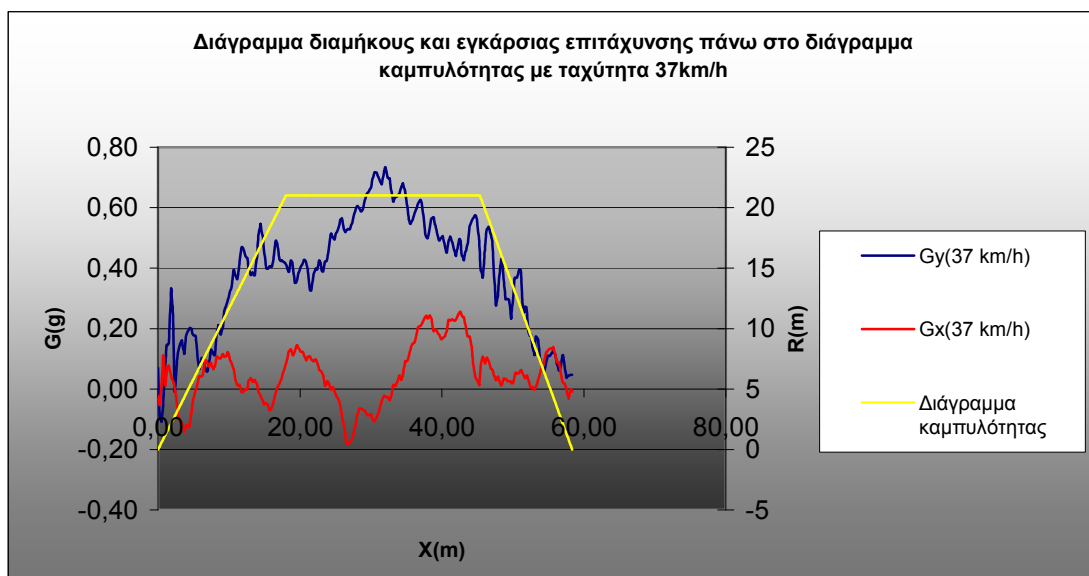
Ακόμα σύμφωνα με το πρότυπο της σημειακής μάζας για την δεδομένη καμπύλη ($R=22,1m$, $e=0,055$, $V=34km/h$) απαιτείται $f_R=0,357$. Το f_R σύμφωνα με το πρότυπο της διδακτορικής

διατριβής του κ. Μαυρομάτη ήταν 0,39. Τέλος σύμφωνα με το ίδιο μοντέλο το μπροστινό εσωτερικό στην καμπύλη ελαστικό είναι το κρίσιμο σε ότι αφορά τον κίνδυνο ολίσθησης .

- **Δεύτερη Δοκιμή**

Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα, για την δεύτερη διαδρομή η μέγιστη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,73 και μέση τιμή το 0,53. Από τις τιμές αυτές πρέπει να αφαιρεθεί η αντίσταση λόγω επίκλισης (drag). Στην διαδρομή αυτή το όχημα δεν εμφανίστηκε το φαινόμενο της ολίσθησης. Η μέγιστη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,675 και η μέση τιμή 0,48, μετά την επεξεργασία, ενώ η τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής, σύμφωνα με την οποία το όχημα ολισθαίνει είναι 0,7. Οι τιμές και εδώ είναι θετικές καθώς η καμπύλη στην ανωφέρεια είναι δεξιόστροφη.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί προβάλλονται οι εγκάρσιες και διαμήκεις επιταχύνσεις στο διάγραμμα καμπυλότητας.



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 37km/h

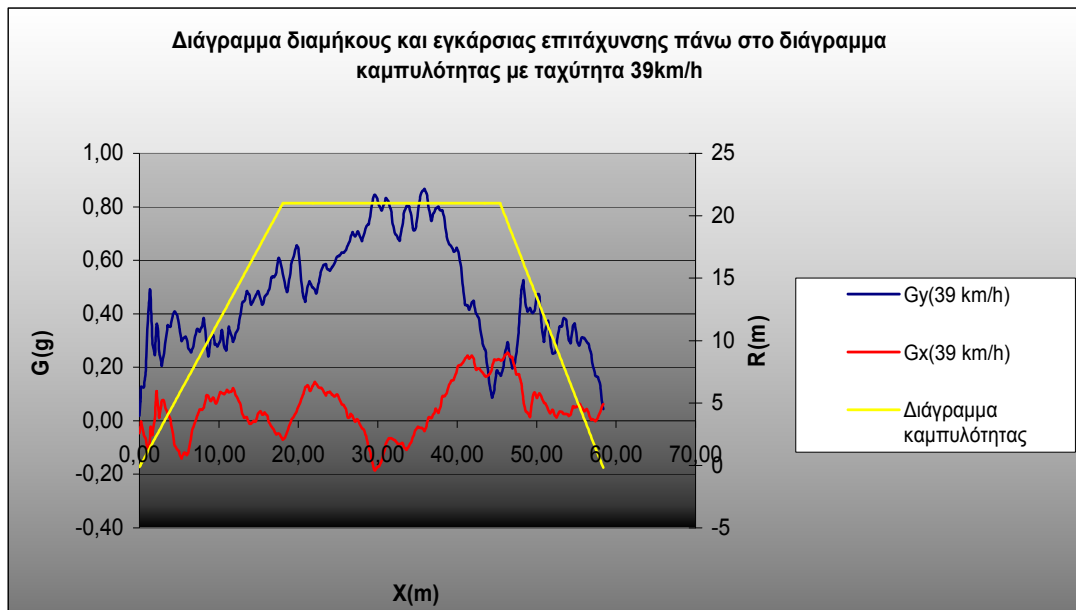
Ακόμα σύμφωνα με την εξίσωση 1.2 και τους αμερικανικούς κανονισμούς για την δεδομένη καμπύλη ($R=22,1m$, $e=0,04$, $V=37km/h$) απαιτείται $f_r=0,433$. Το f_r σύμφωνα με το δυναμικό μοντέλο (13) ήταν 0,48. Τέλος σύμφωνα με το ίδιο μοντέλο το μπροστινό αριστερό ελαστικό είναι το κρίσιμο σε ότι αφορά τον κίνδυνο ολίσθησης .

- **Τρίτη Δοκιμή**

Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα η μέγιστη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,87 και μέση τιμή το 0,61. Από τις τιμές αυτές πρέπει να αφαιρεθεί η

αντίσταση λόγω επίκλισης (drag). Στην διαδρομή αυτή το όχημα ολίσθησε στην κορυφή της καμπύλης. Η μέγιστη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,815 και η μέση τιμή 0,56, μετά την επεξεργασία, ενώ η τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής, σύμφωνα με την οποία το όχημα ολισθαίνει είναι 0,7. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το φαινόμενο της ολίσθησης που παρατηρήθηκε από τους επιβαίνοντες. Οι τιμές και εδώ είναι θετικές καθώς η καμπύλη στην ανωφέρεια είναι δεξιόστροφη.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί προβάλλονται οι εγκάρσιες και διαμήκεις επιταχύνσεις στο διάγραμμα καμπυλότητας.



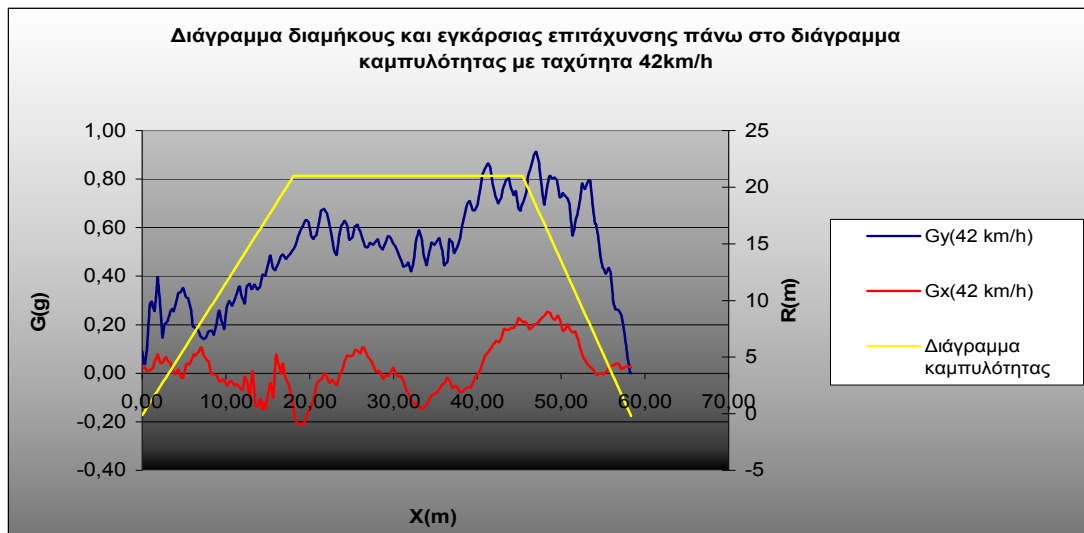
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 39km/h

Ακόμα σύμφωνα με την εξίσωση 1.2 και τους αμερικανικούς κανονισμούς για την δεδομένη καμπύλη ($R=22,1m$, $e=0,04$, $V=39km/h$) απαιτείται $f_R=0,487$. Το f_R σύμφωνα με το δυναμικό μοντέλο (13) ήταν 0,535. Τέλος σύμφωνα με το ίδιο μοντέλο το μπροστινό αριστερό ελαστικό είναι το κρίσιμο σε ότι αφορά τον κίνδυνο ολίσθησης .

- **Τέταρτη Δοκιμή**

Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα η μέγιστη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,86 και μέση τιμή το 0,60. Από τις τιμές αυτές πρέπει να αφαιρεθεί η αντίσταση λόγω επίκλισης (drag). Στην διαδρομή αυτή το όχημα ολίσθησε στην κορυφή της καμπύλης. Η μέγιστη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,805 και η μέση τιμή 0,55, μετά την επεξεργασία, ενώ η τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής, σύμφωνα με την οποία το όχημα ολισθαίνει είναι 0,70, η ολίσθηση του οχήματος παρατηρήθηκε και από τους επιβαίνοντες στο όχημα . Οι τιμές και εδώ είναι θετικές καθώς η καμπύλη στην ανωφέρεια είναι δεξιόστροφη.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί προβάλλονται οι εγκάρσιες και διαμήκεις επιταχύνσεις στο διάγραμμα καμπυλότητας.



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 42km/h

Ακόμα σύμφωνα με την εξίσωση 1.2 και τους αμερικανικούς κανονισμούς για την δεδομένη καμπύλη ($R=22,1\text{m}$, $e=0,04$, $V=39\text{km/h}$) απαιτείται $f_R=0,573$. Το f_R σύμφωνα με το δυναμικό μοντέλο (13) ήταν 0,644. Τέλος σύμφωνα με το ίδιο μοντέλο το πίσω εσωτερικό στην καμπύλη ελαστικό είναι το κρίσιμο σε ότι αφορά τον κίνδυνο ολίσθησης.

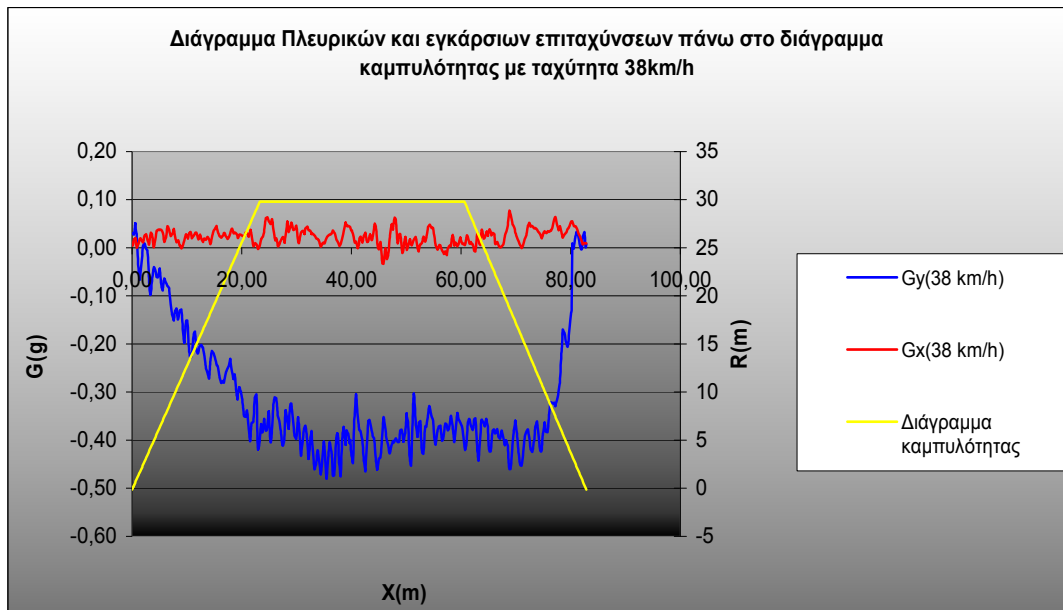
6.2 Αποτελέσματα κατωφέρειας.

- **Πρώτη Δοκιμή**

Θα συνεχίσουμε με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της κατωφέρειας με μέση ταχύτητα τα 38 km/h. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί η απόλυτη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,48 και μέση τιμή 0,39. Από τις τιμές αυτές πρέπει να αφαιρεθεί η αντίσταση λόγω επίκλισης (drag). Η διαδρομή αυτή εκτελέσθηκε χωρίς να ολισθήσει το όχημα. Οι τιμές εδώ είναι αρνητικές καθώς η καμπύλη στην κατωφέρεια είναι αριστερόστροφη.

Η απόλυτη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,43 και μέση τιμή το 0,34, μετά την επεξεργασία. Στην διαδρομή αυτή το όχημα δεν ολίσθησε. Η τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,43, ενώ η τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής, σύμφωνα με την οποία το όχημα ολισθαίνει θεωρητικά τουλάχιστον είναι 0,87. Πρέπει να επισημάνουμε ότι σε αυτή την διαδρομή, οι μεγαλύτερες τιμές του εγκάρσιου συντελεστή τριβής εμφανίζονται στην αρχή της καμπύλης, όπως αναμενόταν.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί προβάλλονται οι εγκάρσιες και διαμήκεις επιταχύνσεις στο διάγραμμα καμπυλότητας.



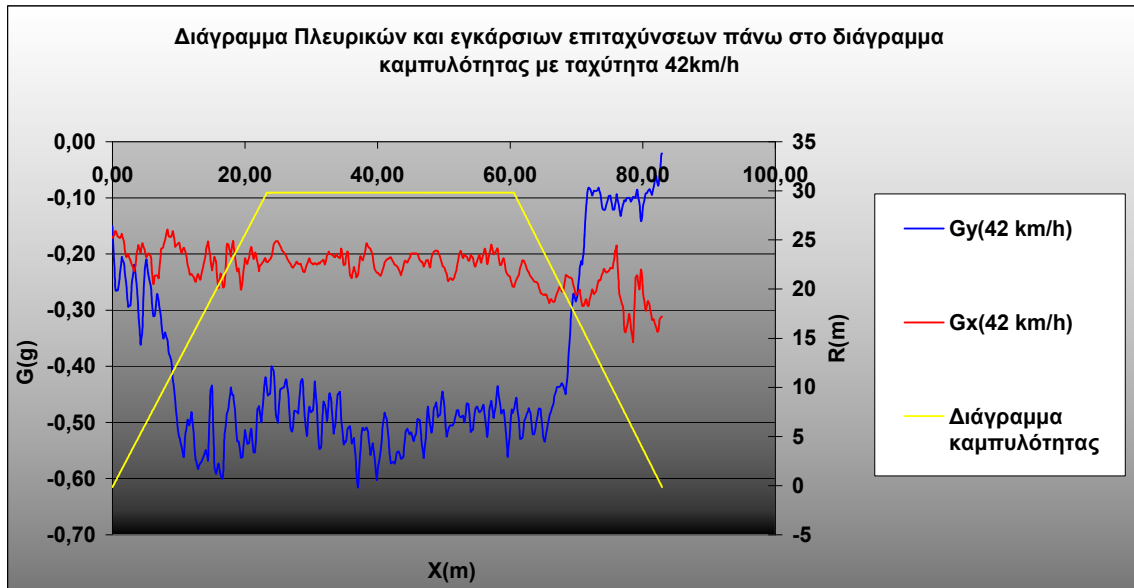
Διάγραμμα 9: Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 38km/h

Ακόμα σύμφωνα με την εξίσωση 1.2 και τους αμερικανικούς κανονισμούς για την δεδομένη καμπύλη ($R=29,8m$, $e=0,05$, $V=38km/h$) απαιτείται $f_r=0,332$. Το f_r σύμφωνα με το δυναμικό μοντέλο (13) ήταν 0,39. Τέλος σύμφωνα με το ίδιο μοντέλο το μπροστινό δεξιά ελαστικό είναι το κρίσιμο σε ότι αφορά τον κίνδυνο ολίσθησης .

- **Δεύτερη Δοκιμή**

Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα η απόλυτη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,62 και μέση τιμή το 0,47. Από τις τιμές αυτές πρέπει να αφαιρεθεί η αντίσταση λόγω επίκλισης (drag). Στην διαδρομή αυτή το όχημα δεν ολίσθησε. Η ελάχιστη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,57 μέση τιμή το 0,45, μετά την επεξεργασία των μετρήσεων, ενώ η τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής, σύμφωνα με την οποία το όχημα ολισθαίνει είναι 0,87.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί προβάλλονται οι εγκάρσιες και διαμήκεις επιταχύνσεις στο διάγραμμα καμπυλότητας.



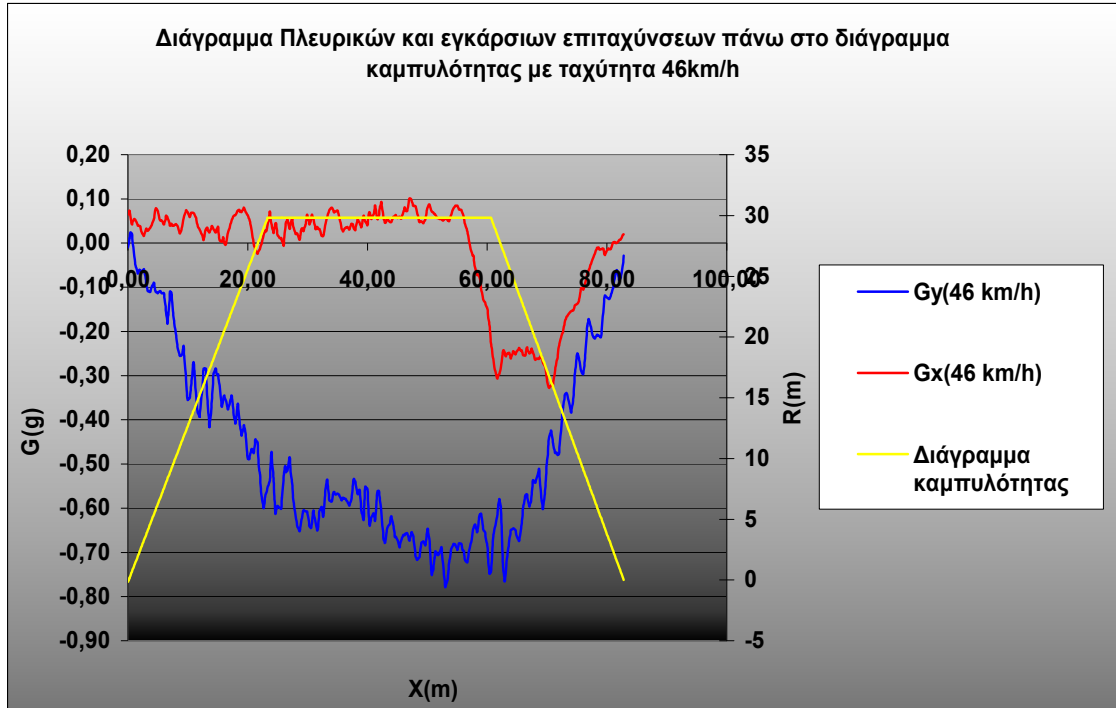
Διάγραμμα 10 Διάγραμμα διαμήκουσ και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 42km/h

Ακόμα σύμφωνα με την εξίσωση 1.2 και τους αμερικανικούς κανονισμούς για την δεδομένη καμπύλη ($R=29,8m$, $e=0,05$, $V=42km/h$) απαιτείται $f_R=0,416$. Το f_R σύμφωνα με το δυναμικό μοντέλο (13) ήταν 0,510. Τέλος σύμφωνα με το ίδιο μοντέλο το μπροστινό δεξιά ελαστικό είναι το κρίσιμο σε ότι αφορά τον κίνδυνο ολίσθησης.

- **Τρίτη Δοκιμή**

Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα η απόλυτη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,78 και μέση τιμή το 0,63. Από τις τιμές αυτές πρέπει να αφαιρεθεί η αντίσταση λόγω επίκλισης (drag). Στην διαδρομή αυτή το όχημα ολίσθησε. Μιας και όπως είδαμε στο διάγραμμα η ελάχιστη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,73 μέση τιμή το 0,58, μετά την επεξεργασία των μετρήσεων, ενώ η τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής, σύμφωνα με την οποία το όχημα ολισθαίνει είναι 0,87.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί προβάλλονται οι εγκάρσιες και διαμήκεις επιταχύνσεις στο διάγραμμα καμπυλότητας.



Διάγραμμα 11: : Διάγραμμα διαμήκους και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 46km/h

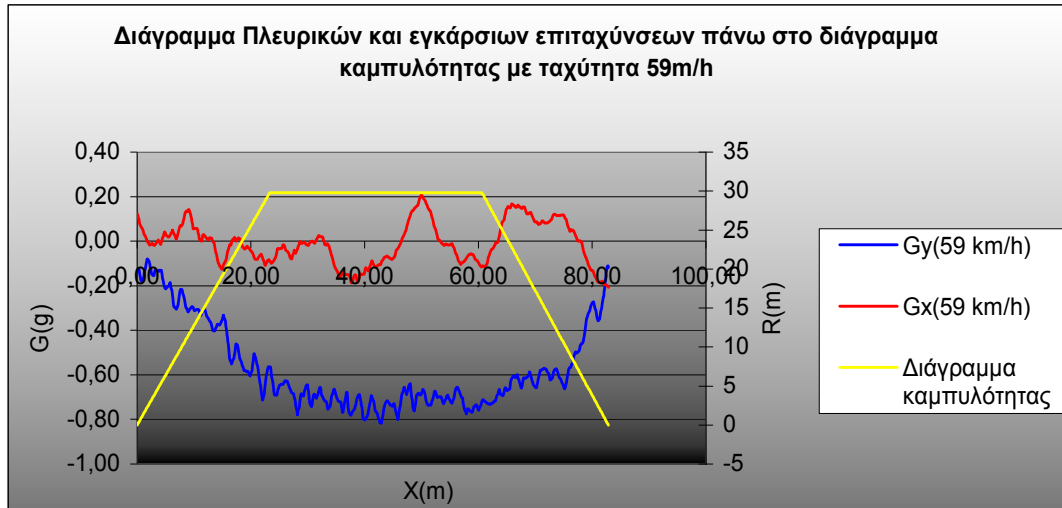
Ακόμα σύμφωνα με την εξίσωση 1.2 και τους αμερικανικούς κανονισμούς για την δεδομένη καμπύλη ($R=29,8m$, $e=0,05$, $V=46km/h$) απαιτείται $f_R=0,509$. Το f_R σύμφωνα με το δυναμικό μοντέλο (13) ήταν 0,640. Τέλος σύμφωνα με το ίδιο μοντέλο το μπροστινό δεξιά ελαστικό είναι το κρίσιμο σε ότι αφορά τον κίνδυνο ολίσθησης

- **Τέταρτη Δοκιμή**

Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζονται οι συντελεστές της εγκάρσιας τριβής της τελευταίας διαδρομής στην κατωφέρεια.

Όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα η απόλυτη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,82 και μέση τιμή το 0,71. Από τις τιμές αυτές πρέπει να αφαιρεθεί η αντίσταση λόγω επίκλισης (drag). Στην διαδρομή αυτή το όχημα ολίσθησε. Η ελάχιστη τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής είναι ίση με 0,77 μέση τιμή το 0,66, μετά την επεξεργασία των μετρήσεων, ενώ η τιμή του εγκάρσιου συντελεστή τριβής, σύμφωνα με την οποία το όχημα ολισθαίνει είναι 0,87, με αποτέλεσμα σε αυτή τη διαδρομή το όχημα να ολισθαίνει.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί προβάλλονται οι εγκάρσιες και διαμήκους επιταχύνσεις στο διάγραμμα καμπυλότητας.



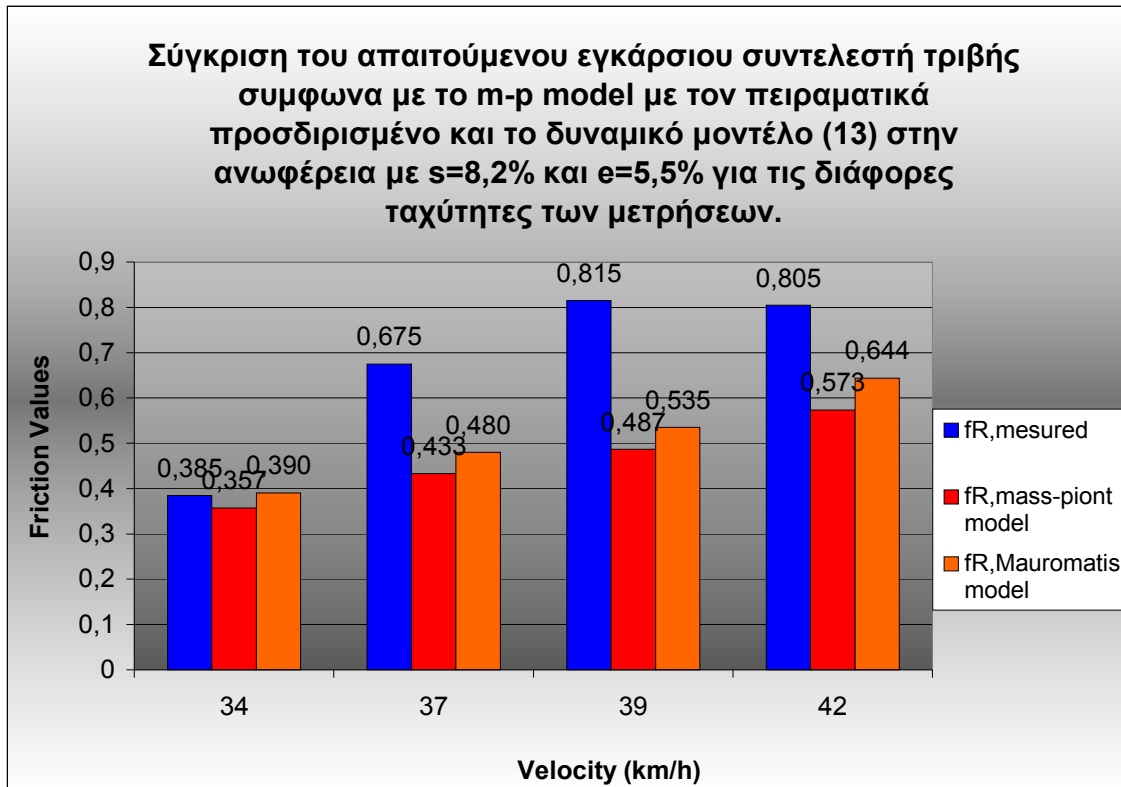
Διάγραμμα 12 Διάγραμμα διαμήκουσ και εγκάρσιας επιτάχυνσης πάνω στο διάγραμμα καμπυλότητας με ταχύτητα 59km/h

Ακόμα σύμφωνα με την εξίσωση 1.2 και τους αμερικανικούς κανονισμούς για την δεομένη καμπύλη ($R=29,8\text{m}$, $e=0,05$, $V=59\text{km/h}$) απαιτείται $f_r=0,87$. Το μέγιστο που κατεγράφη ήταν 0,77, το οποίο δεν αρκεί για να μην ολισθήσει το όχημα. Το f_r σύμφωνα με δυναμικό μοντέλο (13) δεν μπορεί να λάβει τιμή καθώς το όχημα ολισθαίνει.

6.3 Σύγκριση του απαιτούμενου συντελεστή τριβής με βάση την εξίσωση του μοντέλου mass-point και των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας με τα αποτελέσματα της διδακτορικής διατριβής του κ. Μαυρομάτη.

Η εξίσωση αυτή, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, στην αρχική της μορφή υπολογίζει την ελάχιστη ακτίνα του κυκλικού τόξου της καμπύλης. Αν την λύσουμε ως προς τον εγκάρσιο συντελεστή τριβής, χρησιμοποιώντας την ακτίνα της καμπύλης που διέγραψε το όχημα, τότε υπολογίζουμε τον απαιτούμενο συντελεστή της εγκάρσιας τριβής που απαιτείται να αναπτυχθεί μεταξύ του οδοστρώματος και των ελαστικών.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί προβάλλονται οι τιμές αυτές για την κάθε ταχύτητα της πειραματικής διαδικασίας, μαζί με το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των μετρήσεων για την κάθε διαδρομή. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται ο διατιθέμενος συντελεστής τριβής, όπως μετρήθηκε στην περιοχή μελέτης, με κόκκινο ο απαιτούμενος με βάση το πρότυπο του mass- point model και με πορτοκαλί ο αντίστοιχος απαιτούμενος, όπως προέκυψε σύμφωνα με το δυναμικό μοντέλο (13).

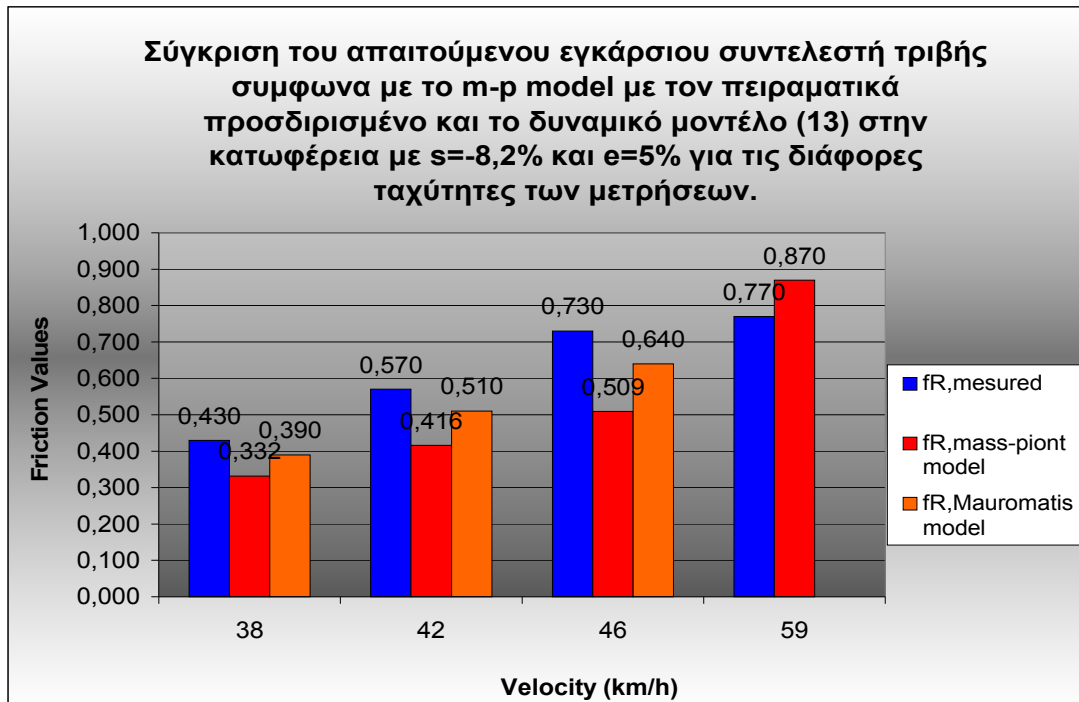


Διάγραμμα 13: Σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τον απαιτούμενο συντελεστή τριβής και τον αντίστοιχο του δυναμικού μοντέλου (13) στην ανωφέρεια.

Ο μπλε (διαθέσιμος) πρέπει να είναι πάντα μικρότερος του 0,70 (που υπολογίστηκε για την ευθυγραμμία) στην ανωφέρεια. Το γεγονός ότι είναι μεγαλύτερος φανερώνει ότι εκεί η ταχύτητα ήταν μεγαλύτερη της μέσης και ολίσθησε και το όχημα. Το γεγονός αυτό εμφανίστηκε στις δυο τελευταίες διαδρομές.

Τα δυο πρότυπα δίνουν χαμηλότερες τιμές από αυτές της διατιθέμενης σε όλες τις διαδρομές, με εξαίρεση το μοντέλο (13), που για την πρώτη διαδρομή δίνει ελαφρώς μεγαλύτερη τιμή. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην χαμηλή ταχύτητα της διαδρομής.

Στην συνέχεια ακολουθεί το αντίστοιχο διάγραμμα για την κατωφέρεια, όπου και εκεί ο διαθέσιμη τιμή υπερβαίνει τις τιμές των δύο προτύπων, με εξαίρεση την τελευταία διαδρομή όπου η διαθέσιμη είναι λιγότερη της απαιτούμενης.

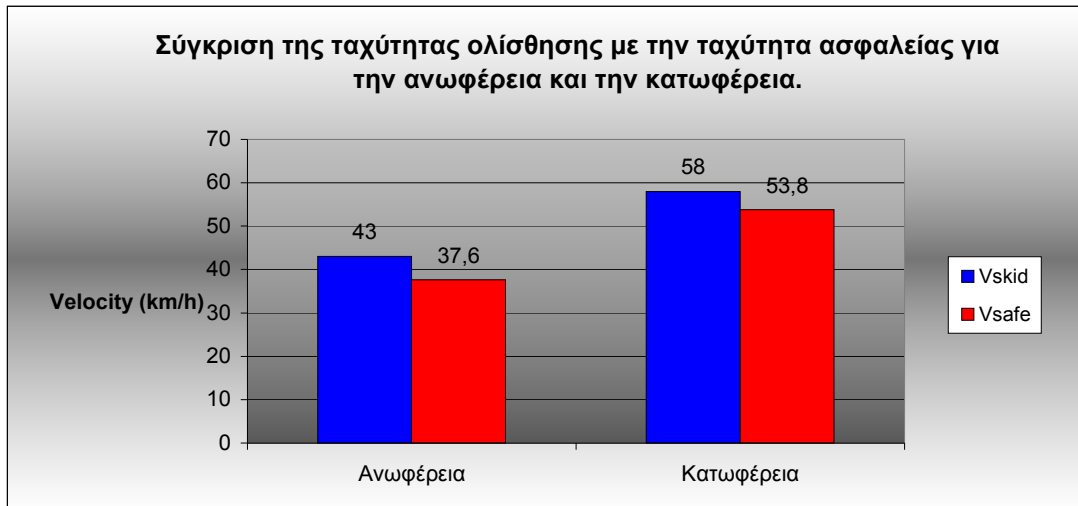


Διάγραμμα 14: Σύγκριση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων με τον απαιτούμενο συντελεστή τριβής και τον αντίστοιχο του δυναμικού μοντέλου (13) στην κατωφέρεια.

Πρέπει να επισημάνουμε και στην κατωφέρεια, το f_{RMAX} που μετρήθηκε στην ευθυγραμμία είναι 0,87 τιμή που δίνει και το μοντέλο mass-piont. Όμως ο διατιθέμενος που μετρήθηκε πειραματικά είναι μικρότερος. Τέλος σύμφωνα με το μοντέλο (13) το όχημα ολισθαίνει και δεν είναι σε θέση να δώσει κάποια τιμή. Χρησιμοποιώντας τις τιμές του μοντέλου (13) στην συνέχεια θα συγκρίνουμε τις ταχύτητες ολίσθησης και ασφαλείας.

6.4 Σύγκριση της ταχύτητας ολίσθησης και της ταχύτητας ασφαλείας.

Χρησιμοποιώντας τον συντελεστή τριβής, με βάση τον οποίο το όχημα ολισθαίνει, 0,7 για την ανωφέρεια και 0,87 για την κατωφέρεια (όπως υπολογίστηκε από το μοντέλο (13) στην ευθυγραμμία), υπολογίζουμε την ταχύτητα ολίσθησης, για κάθε μία περίπτωση, χρησιμοποιώντας το μοντέλο(13). Αντίστοιχα για την δεδομένη γεωμετρία της οδού υπολογίζεται η μέγιστη σταθερή ταχύτητα του οχήματος στην καμπύλη με βάση το ίδιο μοντέλο. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 15: Σύγκριση της ταχύτητας ολίσθησης με την ταχύτητα ασφαλείας για την ανωφέρεια και την κατωφέρεια σύμφωνα με το μοντέλο (13).

Όπως αναμενόταν η ταχύτητα ολίσθησης είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα ασφαλείας. Ένα ακόμη γεγονός που πρέπει να παρατηρήσουμε είναι, ότι οι ταχύτητες που αφορούν την κατωφέρεια είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες στην ανωφέρεια. Αυτό οφείλεται:

- Στον μεγαλύτερο εγκάρσιο συντελεστή τριβής στην κατωφέρεια.
- Στην μεγαλύτερη ακτίνα της καμπύλης στην κατωφέρεια.

6.5 Συμπεράσματα από την σύγκριση των μετρήσεων.

Στην ανωφέρεια το όχημα ολίσθησε στις δυο τελευταίες διαδρομές, χωρίς να είναι στόχος η ολίσθηση, όπως έγινε με την κατωφέρεια, που το όχημα δεν είχε ολισθήσει μέχρι την τρίτη διαδρομή και για αυτό το λόγο και η ταχύτητα της τέταρτης διαδρομής στην κατωφέρεια είναι πολύ μεγαλύτερη από τις προηγούμενες .

Με τον όρο ολίσθηση, το δυναμικό μοντέλο (13) αναφέρεται τον προσδιορισμό των συνθηκών οριακής ολίσθησης του κρίσιμου τροχού. Η περαιτέρω επεξεργασία των τιμών ολίσθησης του πρώτου τροχού δεν σημαίνει αναγκαστικά και καταστρατήγηση της ασφάλειας στην κίνησή του, αλλά τη μετάβαση σε μια ασταθή κατάσταση η οποία προφανώς είναι ανεπιθύμητη.

Στην ανωφέρεια, αλλά και στην κατωφέρεια κρίσιμος τροχός ολίσθησης με βάση το δυναμικό μοντέλο (13) είναι ο πίσω εσωτερικός στην καμπύλη. Στην κατωφέρεια όταν επίκεινται συνθήκες ολίσθησης, ο μπροστινός εσωτερικός στην καμπύλη τροχός απαιτεί σχεδόν όλη την πρόσφυση στη διαμήκη διεύθυνση με αποτέλεσμα η απαίτηση σε εγκάρσια πρόσφυση να είναι μικρής τάξης. Στη δε ανωφέρεια στον μπροστινό εσωτερικό στην καμπύλη τροχό απαιτείται συνεχώς ισχυρό απόθεμα πλευρικής πρόσφυσης γεγονός που

αποδεικνύει ότι η κίνηση στην ανωφέρεια είναι πιο κρίσιμη στις αυξημένες κλίσεις. Η μεγάλη αυτή διαφορά επιβεβαιώνει την κρισιμότητα στον σχεδιασμό της ανωφέρειας.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.

Στη μελέτη αυτή επιχειρήσαμε, μέσα από πειραματικές μετρήσεις του συντελεστή τριβής, οδοστρώματος αστικής οδού κατηγορίας ΒΙΙΙ, που αποτυπώθηκε με οπτικό σαρωτή και στην συνέχεια συγκρίθηκε με τις αντίστοιχες τιμές υπολογισμού των μαθηματικών μοντέλων mass-point και του δυναμικού μοντέλου (13), να συγκρίνουμε τον απαιτούμενο συντελεστή τριβής με τον αντίστοιχο διατιθέμενο.

Από την σύγκριση αυτή καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Η ανωφέρεια είναι πιο κρίσιμη στη διαδικασία του σχεδιασμού από την κατωφέρεια και για αυτό το λόγο ο υπολογισμός της χάραξης θα πρέπει να γίνεται με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ανωφέρειας.
- Οι μετρήσεις στην κατωφέρεια παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιογένεια από τις αντίστοιχες τις ανωφέρειας. Γεγονός που καθιστά την μελέτη της κατωφέρειας πιο εύκολη και την μελέτη της ανωφέρειας πιο κρίσιμη, λόγω της συνεχούς διακύμανσης των τιμών κατά μήκος της καμπύλης.
- Το μοντέλο mass-point ακολουθεί μια πιο συντηρητική προσέγγιση του υπολογισμού του εγκάρσιου συντελεστή τριβής από το αντίστοιχο μοντέλο του κ. Μαυρομάτη. Οι τιμές του μοντέλου του κ. Μαυρομάτη πλησιάζουν περισσότερο τις μετρήσεις πεδίου.
- Το πρότυπο μοντέλου του mass-point που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του απαιτούμενου συντελεστή τριβής, δίνει τιμές χαμηλότερες του διατιθέμενου συντελεστή τριβής, δηλαδή χρησιμοποιώντας τους αμερικανικούς κανονισμούς, έχουμε περιθώρια ασφαλείας στο σχεδιασμό, αφού το όχημα θα ολισθήσει με ταχύτητα μεγαλύτερη της υπολογισθείσας.

Τέλος μπορούμε να επιβεβαιώσουμε κάποια συμπεράσματά των ερευνών που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 2.4, και αφορούσαν εθνικές οδούς ή αυτοκινητόδρομους και για αστικές οδούς. Τα συμπεράσματα αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του απαιτούμενου συντελεστή τριβής δίνουν τιμές μικρότερες του αντίστοιχου διατιθέμενου, συνεπώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον ασφαλή σχεδιασμό, όχι μόνο οδών υψηλών ταχυτήτων αλλά και στον αστικό χώρο.
- Τα μοντέλα αυτά δεν λειτουργούν σε συνθήκες ολίσθησης του οχήματος, γεγονός που δεν επηρεάζει τον σχεδιασμό, διότι οι χαράξεις των οδών δεν υπολογίζονται για την οριακή κατάσταση της ολίσθησης.
- Η εγκάρσια τριβή αυξάνεται στην κατωφέρεια όταν δεν εφαρμόζεται πέδηση, δηλαδή αυτό σημαίνει ότι παράγεται περισσότερη τριβή σε έντονες κατωφέρειες σε σχέση με τις πιο ομαλές.

- Ως επακόλουθο του προηγούμενου συμπεράσματος, η ανωφέρεια χαρακτηρίζεται ως πιο κρίσιμη στον σχεδιασμό της οδού, είτε αυτή είναι εθνικού δικτύου είτε αστικού.

Τέλος θα θέλαμε να κλείσουμε με δυο προτάσεις για τους επόμενους ερευνητές που θα ασχοληθούν με παρόμοιες συγκρίσεις:

- Για τον σχεδιασμό της χάραξης αστικής οδού και τα δύο μοντέλα δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα, παρόλα αυτά επειδή το μοντέλο mass-point, έχει μεγαλύτερο περιθώριο ασφαλείας προτιμάται για την χάραξη των οδών.
- Ενώ αντίθετα το μοντέλο του κ. Μαυρομάτη επειδή βασίζεται σε πειραματικά δεδομένα είναι πολύ πιο κοντά στις μετρήσεις πεδίου προκρίνεται έναντι του μοντέλου mass-point για ακριβείς μελέτες προσδιορισμού του συντελεστή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. American Associations of State Highway and Transportations Officials, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, AASHTO, Washington D.C., 1984.
2. American Associations of State Highway and Transportations Officials, A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – The Green Book, AASHTO, Washington D.C., 2004.
- 3.Boehler W., Bordas V.M., Marbs A. (2003), Investigating Laser Scanner Accuracy, Institute for Spatial Information and Surveying Technology, XIXth Cipa Symposium at Antalya, Turkey
- 4.Bonneson A.J., Side Friction and Speed as Controls for Horizontal Curve Design, Journal of Transportation Engineering, Vol 125, No 6, pp473-480, 1999.
5. Brennan S.N, Torbic D.J., Donnel E.T., Brown A., O' Laughlin M.K. and Bauer K.M., Superelevation design for sharp horizontal curves on steep grades, Transportation Research Board 93rd 6 Annual Meeting, 2013.
6. Brown A., Brennan S., Simulating Vehicle Dynamics on Both Design Plans and LIDAR-scanned Road Geometry to Guide Highway Design Policy, American Control Conference 2014.
- 7.Γεωργαλάς Σ., Επίγεια Σάρωση Laser σε Εφαρμογές Οδοποιίας-Μελέτη Ορατότητας και Επισκόπηση Επιφανείας Οδοστρώματος, Διπλωματική εργασία Ε.Μ.Π., Αθήνα,2011
- 8.Chang T.H, Effect of Vehicles' Suspension on Highway Horizontal Curve Design, *Journal of Transportation Engineering* , Vol. 127, No. 1, pp. 89-91,2001
9. German Road and Transportation Research Association, Guidelines for the Design of Roads, (RAS-L-1), Committee 2.3, Geometric Design Standards, Germany, 1995.
- 10.Kontaratos M., B.Psarianos, and A.Yiotis. “Minimum Horizontal Curve Radius as a Function of Grade Incurred by Vehicle Motion in Driving Mode”. In Transportation Research Record 1445, TRB, National Research Council, Washington, D.C. 1994.
- 11.Κονταράτος Μ., Σχέσεις Γεωμετρικών Μεγεθών Οδών με Βάση τα Κριτήρια Ασφαλείας και της Κατανάλωσης Καυσίμου κατά την Προώθηση επιβατηγού οχήματος, Διδακτορική Διατριβή Ε.Μ.Π. Αθήνα,1990.
12. Macadam C.C., Fancher P.S. and Segal L., Side Friction for Superelevation on Horizontal Curves, Final Technical Report, DTFH61-85-C-00019, Federal Highway Administration, Washington D.C., USA, 1985.
13. Μαυρομάτης Σ., Διερεύνηση ασφαλείας και λειτουργικότητας οδού δύο λωρίδων κυκλοφορίας ως προς την κίνηση διαξονικών οχημάτων σε αυξημένες κατά μήκος κλίσεις, Διδακτορική Διατριβή Ε.Μ.Π. Αθήνα,2002.

14.Μαυρομάτης Σ., Ψαριανός Β., Παλάσκας Σ., Δυναμική προσέγγιση στον προσδιορισμό Κρίσιμων Γεωμετρικών Μεγεθών σε επιβατηγά οχήματα, 2ο Πανελλήνιο συνέδριο οδοποιίας, Βόλος 18-20 Μαΐου, Βόλος 2005.

15.Molan A.M. and Kordani A.A., Multi-Body Simulation Modeling of Vehicle Skidding and Roll over 1 for Horizontal Curves on Longitudinal Grades, Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, Washington DC, 2014.

16. Psarianos B., Kontaratos M.,Kasios D., Influence of vehicle parameters on horizontal curve design of rural highways, Transportation Reseach Board, 1998.

17. Psarianos B., Lamm, R., and Mainlaender, T., Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook, McGraw – Hill, New York, 1999.17.Ψαριανός Β., Σημειώσεις Οδοποιιας Ι - Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών, Ε.Μ.Π.- Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2001

18.Ψαριανός Β., Γεωμετρικός Σεδιασμός Οδών - Διαφάνειες Διαλέξεων, Ε.Μ.Π.- Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 2005-2006

19.Ψαριανός Β., Υπολογισμοί Στοιχείων Εφαρμογής Χάραξης, Ε.Μ.Π.- Σ.Α.Τ.Μ., Αθήνα 1999.

Ιστότοποι

http://www.en.wikipedia.org/wiki/3d_scanner

<http://www.faro.com/products/3d-surveying/laser-scanner-faro-focus-3d/overview>

http://www.leica-geosystems.com/en/leica-viva_79268.htm

<http://www.vericomcomputers.com/vc4000>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΩΝ

