



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

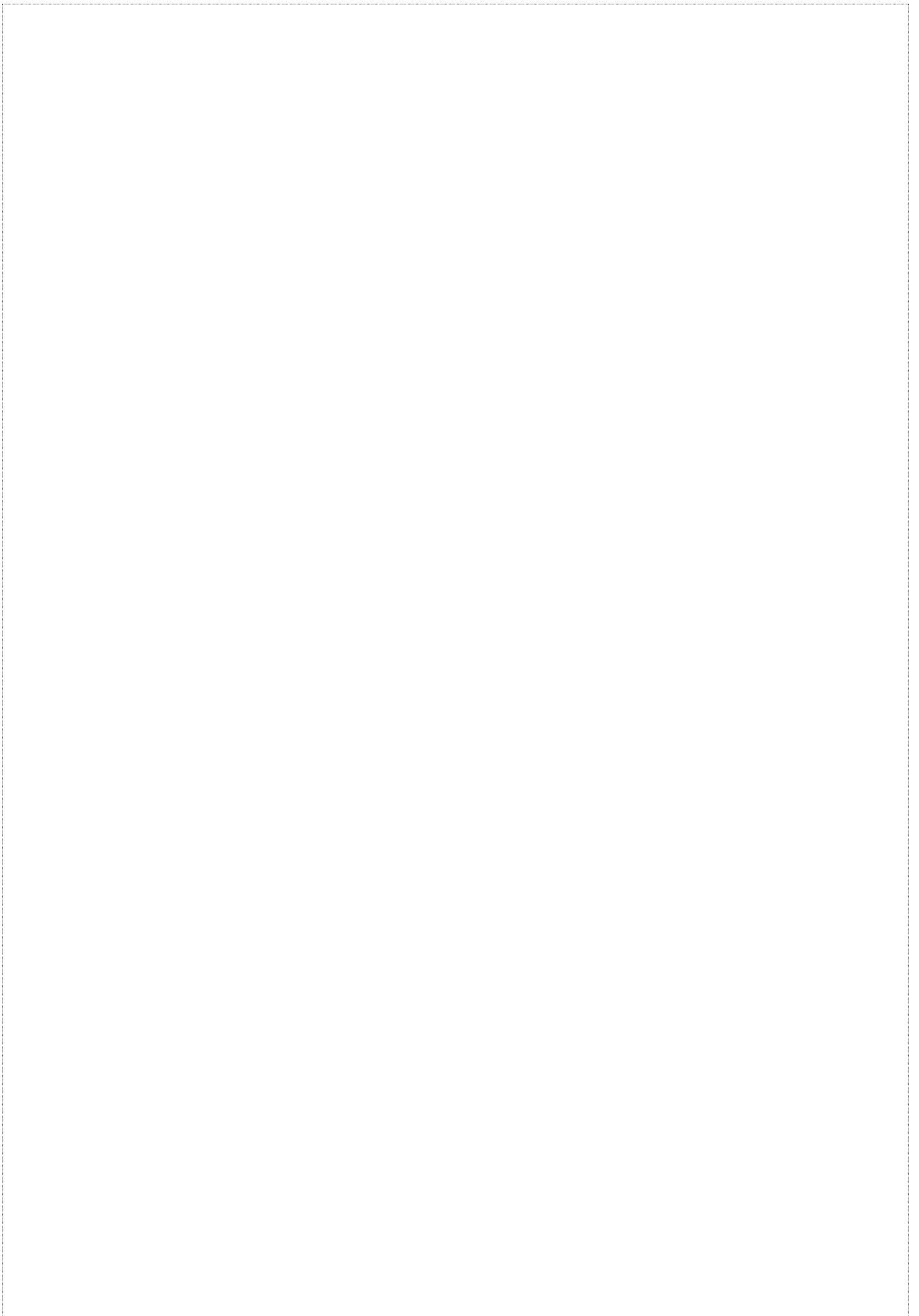
Επιρροή της Δυναμικής Υδρολίσθησης στην Επιλογή Κρίσιμων  
Γεωμετρικών Παραμέτρων Σχεδιασμού Οδών



Κοντιζάς Αντώνιος

Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2024



Copyright © Κοντιζάς Αντώνιος, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια της συγγραφέως. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέως  
(Ν. 5343/1932, Άρθρο 202)

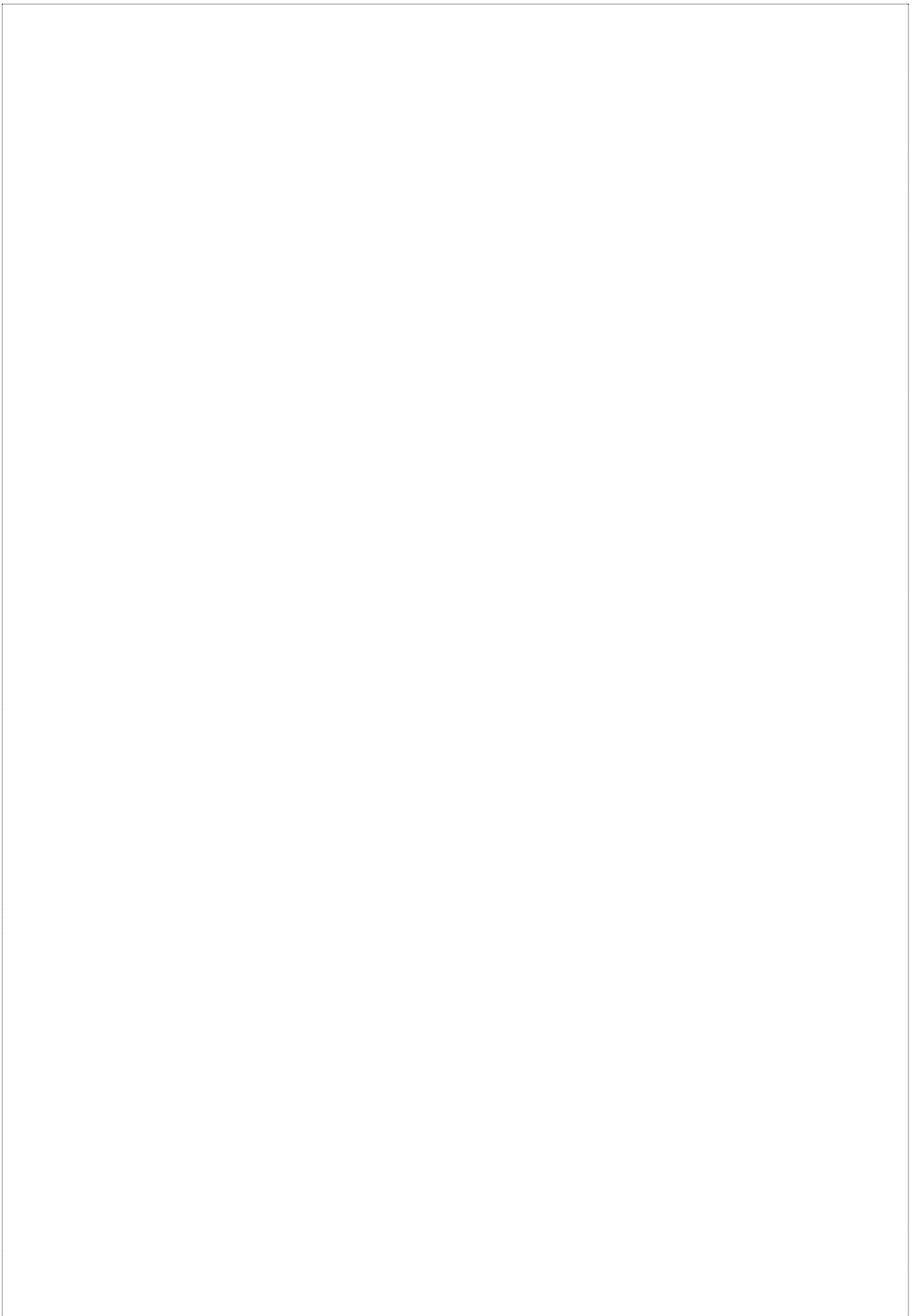
Copyright © Kontizas Antonios, 2024

All Rights Reserved

All Rights Reserved Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing, and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organization.

(L. 5343/1932, art. 202).



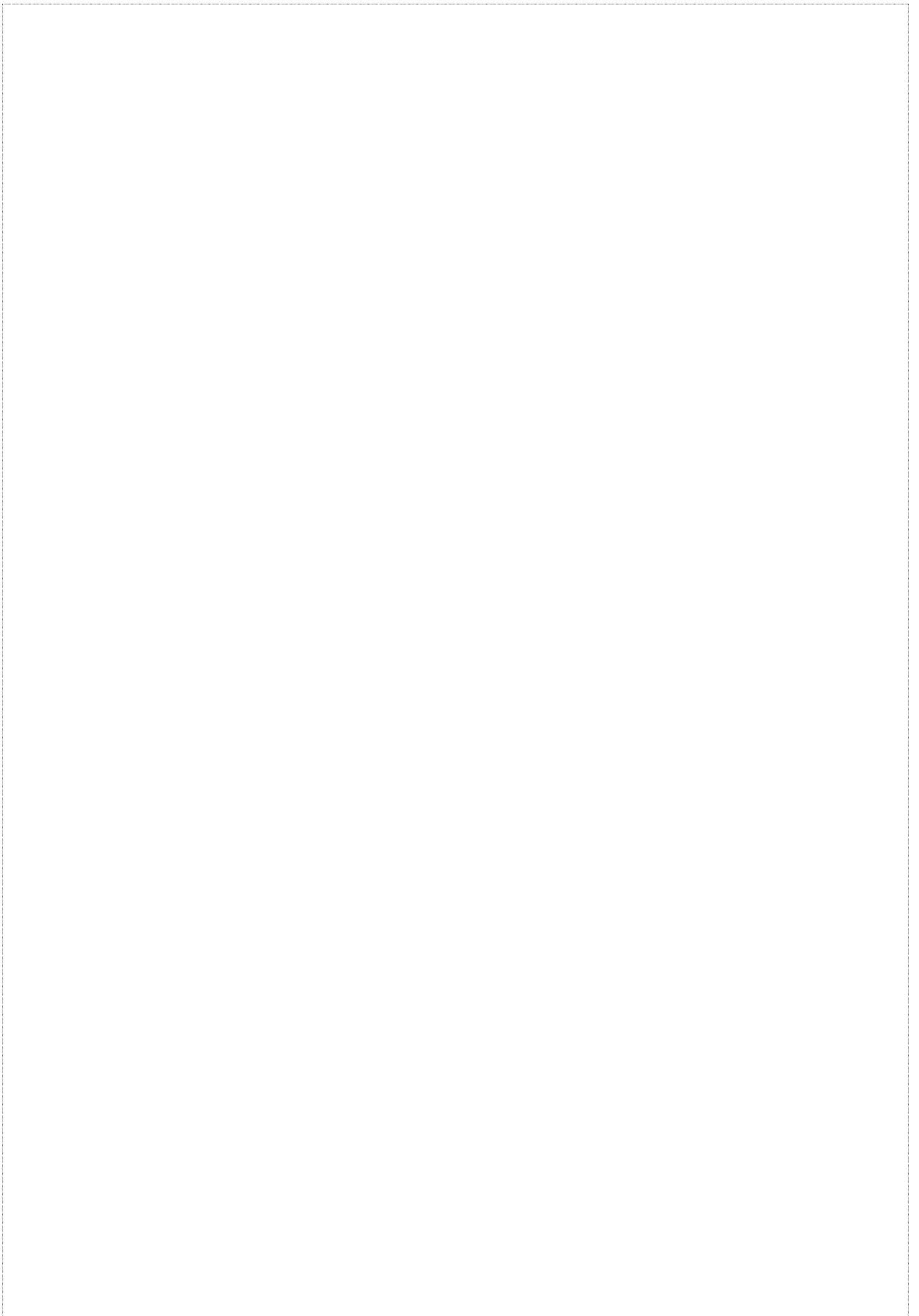
## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με τη παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται ένας απαιτητικός κύκλος προπτυχιακών σπουδών. Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Στέργιο Μαυρομάτη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., που μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την εξαιρετική συνεργασία μας, την καθοδήγηση, την υπομονή, την επιμονή του, αλλά και το αμείωτο ενδιαφέρον του, ώστε να βγει το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω το Βασίλη Ματράγκο, Υποψήφιο Διδάκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τη σημαντική βοήθεια του στο τμήμα της στατιστικής ανάλυσης των αποτελεσμάτων.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόηση τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Αθήνα, Μάρτιος 2024



## Περίληψη

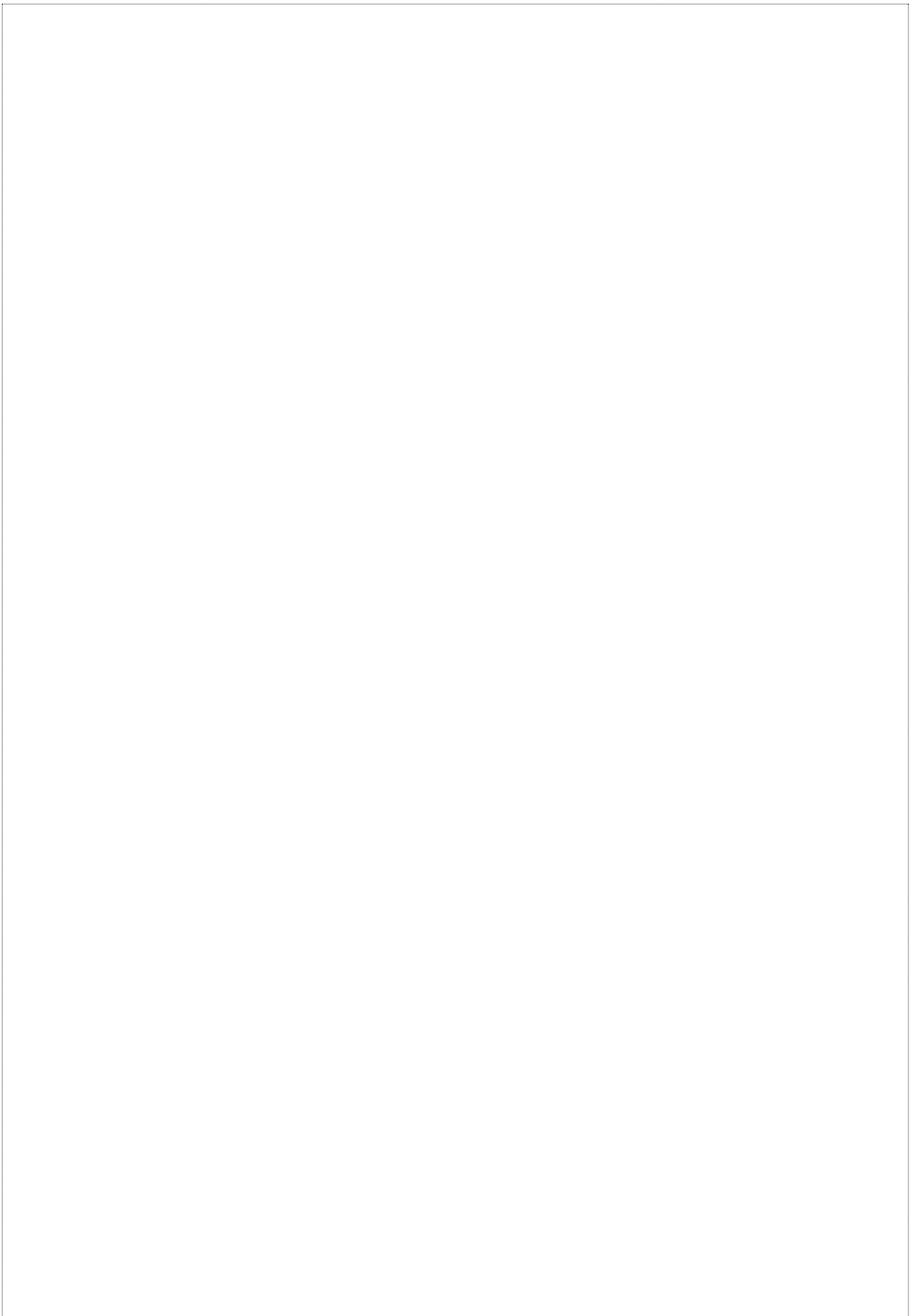
### **Επιρροή της Δυναμικής Υδρολίσθησης στην Επιλογή Κρίσιμων Γεωμετρικών Παραμέτρων Σχεδιασμού Οδών**

Κοντιζάς Αντώνιος

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

Κύριος στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η **διερεύνηση σε βάθος του φαινομένου της υδρολίσθησης μέσω αναλυτικών εξισώσεων οι οποίες προκύπτουν από θεώρηση της οδού στον χώρο (3D)**. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε σε δεξιόστροφη καμπύλη με κατηφορική κλίση με οριζοντιογραφική ακτίνα  $R=900$  m και παράμετρο κλωθοειδούς  $A=350$  m, σε τέσσερις διατομές (RQ 11, RQ 25, RQ 36, RQ 43.5) κατά RAL 2012 και RAA 2008. Βασικός στόχος ήταν η συσχέτιση των γεωμετρικών παραμέτρων της οδού **με το ύψος ροής νερού και τη ταχύτητα υδρολίσθησης**. Αναπτύχθηκε λογισμικό σε γλώσσα προγραμματισμού Python, όπου εξετάσθηκαν συνολικά **1701 σενάρια**. Μέσα από το **λογισμικό** ο χρήστης μπορεί να εισάγει τις παραμέτρους σχεδιασμού έχοντας ως εξαγόμενο αποτέλεσμα θερμοδιάγραμμα των σύνθετων κλίσεων, τις γραμμές ροής (με τη κατεύθυνση τους), το ύψος του νερού που θα σχηματιστεί στο οδόστρωμα και τη ταχύτητα υδρολίσθησης. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση του Gallaway (1979) που θεωρείται η πιο ευρέως αποδεκτή σχέση υδρολίσθησης διεθνώς. Για κάθε διατομή κατασκευάστηκαν δύο μοντέλα πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, ένα για το ύψος του νερού και ένα για τη ταχύτητα υδρολίσθησης.

Λέξεις Κλειδιά: υδρολίσθηση, γραμμή ροής, βάθος ροής νερού, απορροή ομβρίων, σχεδιασμός, γραμμική παλινδρόμηση





## **Abstract**

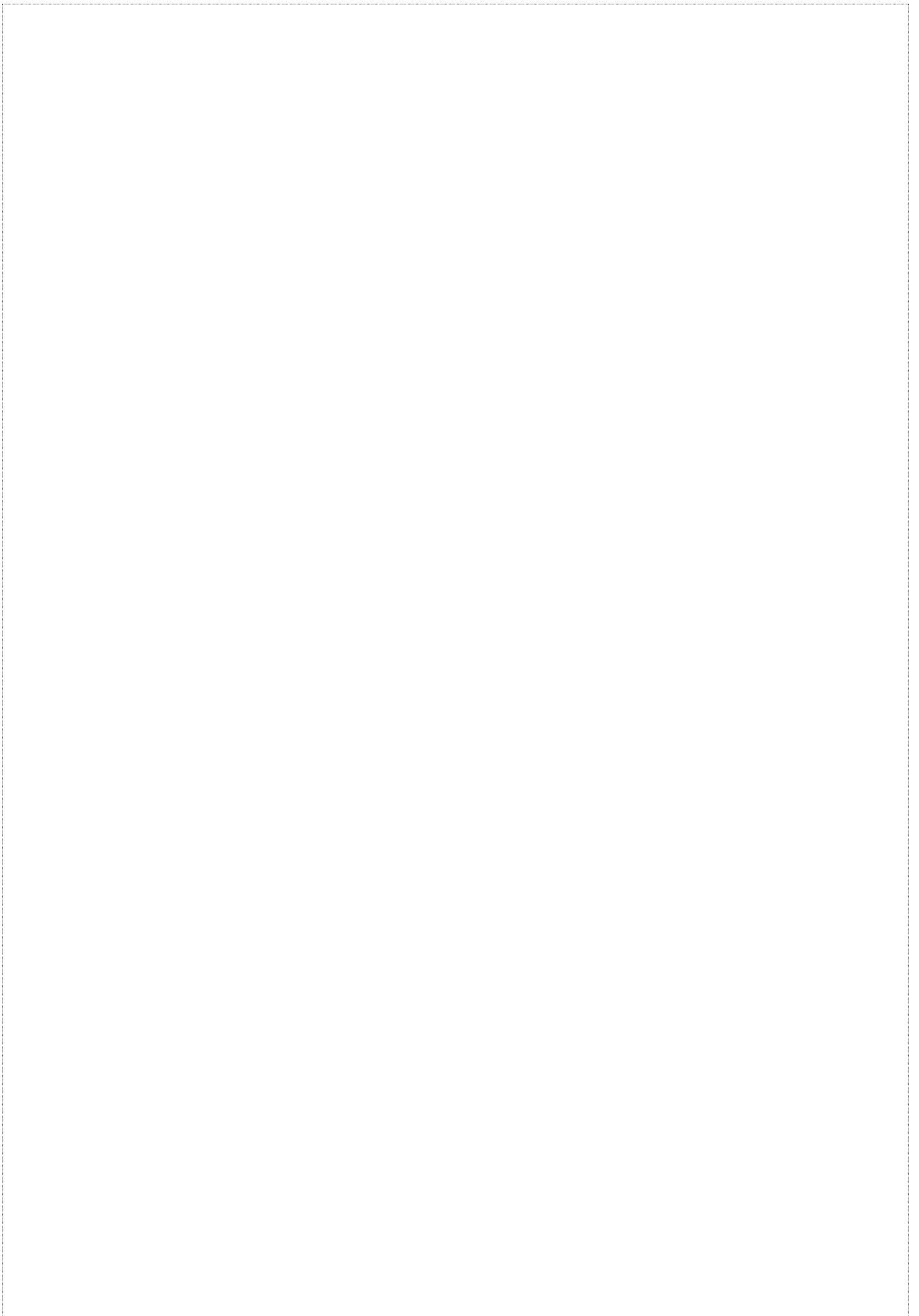
### **Influence of Dynamic Hydroplaning on the Selection of Critical Geometric Parameters of Road Design**

Kontizas Antonios

Supervisor: Stergios Mavromatis, Associate Professor, NTUA

The main objective of this Diploma Thesis is to **investigate in depth the phenomenon of hydroplaning through analytical formulas that result from a 3D view of the road**. This investigation was carried out on a right-handed curve with a downhill longitudinal slope with a horizontal radius  $R = 900$  m and spiral parameter  $A = 350$  m, which is representative of a motorway, in four typical cross sections (RQ 11, RQ 25, RQ 36, RQ 43.5) according to RAL 2012 and RAA 2008. The main objective is to correlate the geometric parameters of the road with the **water film depth and the hydroplaning speed**. Software was developed in Python Programming language, where a total of **1701 scenarios** were tested. Through the **software**, the user can input the design parameters and having as output a heatmap of combined slope, the flow lines (with their direction), the water film depth that will form on the road surface and the hydroplaning speed. For the analysis, **Gallaway's** (1979) formula was used, which is considered the most widely accepted hydroplaning equation. **Two multiple linear regression models** were constructed for each typical cross section, one for water film depth and one for hydroplaning speed.

Key words: hydroplaning, flow line, water film depth, rainwater runoff, design, linear regression



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	13
1.1	Γενική Ανασκόπηση.....	13
1.2	Στόχος Διπλωματικής Εργασίας .....	14
2	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	16
2.1	Γενικά.....	16
2.2	Υδρολίσθηση .....	16
2.2.1	Παράγοντες που επηρεάζουν την Υδρολίσθηση .....	17
2.2.2	Μέθοδοι Προσδιορισμού Βάθους Ροής Ομβρίων .....	19
2.2.2.1	Charbeneau et al. 2010 .....	19
2.2.2.2	New Zealand (NZ) Modified WFT Model (2006) .....	27
2.2.2.3	Βρετανική Μέθοδος (U.K. Road Research Laboratory (RRL)) (1968) .....	27
2.2.2.4	PAVDRN WFT Model (1997) .....	28
2.2.3	Εξισώσεις προσδιορισμού μέγιστης ταχύτητας για τον κίνδυνο υδρολίσθησης 29	
2.3	Οδική Ασφάλεια σε Έντονες Καιρικές Συνθήκες .....	31
2.4	Επιρροή της Βροχόπτωσης στην κυκλοφορία .....	32
2.5	Οδηγίες Σχεδιασμού Οδών .....	36
2.5.1	AASHTO (2018) .....	37
2.5.2	Γερμανικές Οδηγίες RAL (2012), RAA (2008) .....	45
2.5.3	Ισπανικές Οδηγίες NORMA 3.1-IC de la Instrucción de carreteras 2016.....	53
2.5.4	ΟΜΟΕ-Χ 2001 .....	58
2.5.5	Σύγκριση - Σύνοψη Μοντέλων Υδρολίσθησης – Υφιστάμενων Οδηγιών.....	63
3	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	65
3.1	Εισαγωγή.....	65
3.2	Κατά μήκος κλίση .....	65
3.2.1	Τμήματα Σταθερής Κλίσης .....	65
3.3	Τμήματα Μεταβαλλόμενης Κλίσης .....	66
3.4	Διατομές.....	67
3.4.1	Επικλίση σε ευθυγραμμία.....	68
3.4.2	Επικλίση σε κυκλικό τόξο .....	68
3.4.3	Πρόσθετη κλίση οριογραμμών στην περιοχή του τόξου συναρμογής .....	71
3.5	Κρίσιμα Μεγέθη .....	76
3.5.1.1	Βροχόπτωση .....	76

3.5.1.2	Μήκος της ροής του νερού ( $L_f$ ).....	77
3.5.1.3	Κλίση κατά μήκος της ροής του νερού ( $S_f$ ) .....	78
3.5.1.4	Μέσο Βάθος Τραχύτητας Οδοστρώματος (MTD).....	78
3.5.1.5	Μεταβολή Γωνιακής Ταχύτητας Περιστροφής Ελαστικού [Spin Down Effect Υδρολίσθησης (SD)].....	79
3.5.1.6	Πίεση Ελαστικών ( $P_t$ ) .....	79
3.5.1.7	Βάθος Αυλακώσεων Ελαστικών (TD).....	79
4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	81
4.1	Αναλυτικός Υπολογισμός Ελάχιστης Σύνθετης Κλίσης .....	81
4.2	Κρίσιμες Περιοχές Υδρολίσθησης .....	86
4.3	Επιλογή Διατομών.....	87
4.4	Πεδίο Εφαρμογής του Μοντέλου.....	90
4.5	Παραδοχές Μοντέλου Υδρολίσθησης.....	93
4.6	Σχέση Υπολογισμού Ύψους Νερού .....	93
4.7	Σχέση Υπολογισμού Ταχύτητας Υδρολίσθησης .....	94
4.8	Διάγραμμα Ροής.....	95
4.9	Ανάπτυξη κώδικα σε Python .....	96
4.10	Συσχέτιση με Λογισμικό OpenRoads Designer 2021.....	104
5	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	106
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ .....	120
6.1	Σύνοψη αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα.....	120
6.2	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	123
7	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	125
8	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	129
8.1	Λογισμικό Οδοποιίας OpenRoads Designer 2021 .....	129
8.2	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β .....	136
8.3	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ .....	139

## 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενική Ανασκόπηση

Το δίκτυο μεταφορών επιτρέπει τη μετακίνηση των ανθρώπων και αγαθών και αποτελεί τη βάση της οικονομικής δραστηριότητας. Η κλιματική αλλαγή εκτιμάται ότι θα αυξήσει την συχνότητα και την ένταση των βροχοπτώσεων σε παγκόσμιο επίπεδο. (Choo et al. 2020). Τα οδικά ατυχήματα λόγω βροχόπτωσης οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στη μείωση της ορατότητας του οδηγού, και τη συχνότητα εμφάνισης της υδρολίσθησης. (Ong et al. 2005). Η υδρολίσθηση συμβαίνει όταν τα ελαστικά του οχήματος χάνουν την επαφή μερικώς ή πλήρως με το οδόστρωμα μέσω της δημιουργίας ενός στρώματος νερού που έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια του ελέγχου του οχήματος. Εάν ο συνδυασμός του βάθους του νερού στην επιφάνεια του οδοστρώματος, της ταχύτητας του οχήματος και της κατάστασης των ελαστικών υπερβαίνει το σημείο όπου το νερό μπορεί να απομακρυνθεί, τότε το πάχος της μεμβράνης νερού μπροστά από το ελαστικό αυξάνεται και αρχίζει να διεισδύει στο σημείο επαφής του ελαστικού. Η ολίσθηση του οχήματος (vehicle skidding) διαφέρει από την υδρολίσθηση, καθώς το πρώτο φαινόμενο λαμβάνει χώρα χωρίς διαχωρισμό μεταξύ ελαστικού και οδού, ενώ το δεύτερο όταν η επαφή του οδοστρώματος με το ελαστικό μειώνεται ή χάνεται. Η ολίσθηση εμφανίζεται συνήθως ως συνέπεια ελιγμών του οχήματος που πηγάζουν από την απότομη επιτάχυνση ή πέδηση και συμβαίνει συνήθως σε καμπύλα οδικά τμήματα και κόμβους. Γενικά, συμβάντα στα οποία παρατηρείται συνδυασμός υδρολίσθησης και ολίσθησης χαρακτηρίζονται ως περιστατικά μερικής υδρολίσθησης. (DN-GEO-03031,2023)

Το ύψος ροής του νερού σε οδοστρώματα αυτοκινητοδρόμων μπορεί να ελεγχθεί μέσω της διαδικασίας σχεδιασμού με 4 βασικούς τρόπους:

- 1) Ελέγχοντας τη γεωμετρία της οδού προκειμένου να μειωθεί η απόσταση επί της οποίας το νερό (γραμμή ροής) ρέει πριν εξέλθει από την επιφάνεια του οδοστρώματος.
- 2) Αυξάνοντας την μακροϋφή του οδοστρώματος ώστε να μειωθεί το ύψος ροής του νερού.
- 3) Απομακρύνοντας το νερό από την επιφάνεια του οδοστρώματος μέσω κατασκευών που βρίσκονται είτε στην οριογραμμή.
- 4) Εσωτερική αποστράγγιση οδοστρώματος με τη χρήση επιφανειακών μειγμάτων όπως πορώδης άσφαλτος (Huebner et al. 1999).



**Εικόνα 1-1 - Recovery Law Center**



**Εικόνα 1-2 - F1 Chronicle**

Σε συνθήκες βροχής, ο συντελεστής τριβής μεταξύ οδοστρώματος και ελαστικού είναι 0.7-0.9 μπορεί να μειωθεί σε 0.3-0.6. Σύμφωνα με το National Transportation Safety Board (NTSB), τα θανατηφόρα ατυχήματα σε υγρό οδόστρωμα συμβαίνουν 3.9-4.5 φορές συχνότερα από ό,τι σε στεγνό οδόστρωμα. (Shams et al. 2020).

## **1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας**

Η εφαρμογή μεταβαλλόμενων ορίων ταχύτητας, αν και θεωρείται επιτυχημένη στρατηγική διαχείρισης της κυκλοφορίας για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας, εντούτοις δεν έχει διερευνηθεί σε βάθος ως προς την αλληλεπίδραση έντασης βροχόπτωσης και γεωμετρίας οδού.

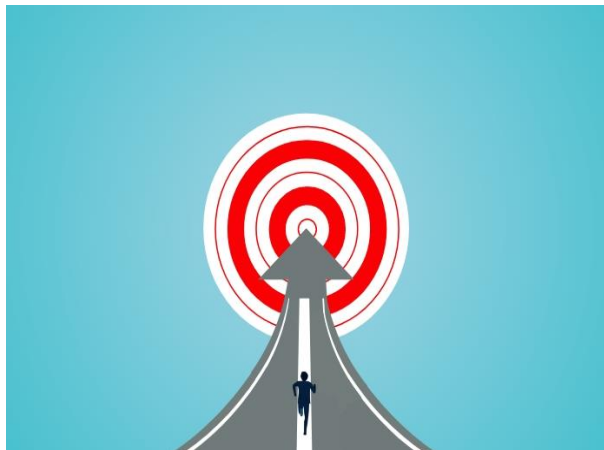
Στο πλαίσιο της επικείμενης κλιματικής αλλαγής ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, παρατηρούνται βροχοπτώσεις αυξημένης έντασης αλλά και διάρκειας. Η βροχόπτωση αποτελεί ένα δυναμικό φαινόμενο όπου οι επιπτώσεις στην οδική ασφάλεια γενικά έχουν απασχολήσει κατά καιρούς τους ερευνητές, χωρίς όμως να υπάρχει ξεκάθαρη συσχέτιση μεταξύ του φαινομένου της υδρολίστεσης, με την ένταση βροχόπτωσης και κρίσιμων γεωμετρικών παραμέτρων.

Οι υφιστάμενες οδηγίες για την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας υδρολίστεσης κατά το γεωμετρικό σχεδιασμό οδών βασίζονται σε περιορισμένο αριθμό πειραμάτων (Kang et al 2019). Στις περισσότερες έρευνες που διερευνάται το φαινόμενο της υδρολίστεσης, η γεωμετρία της οδού αν και αφορά σε τρισδιάστατη (3D) χάραξη, εντούτοις η επιφάνεια της αναλύεται αποσπασματικά σε επιμέρους επίπεδα δισδιάστατης απεικόνισης (2D) στα οποία δεν λαμβάνεται υπόψη η αλληλεπίδραση των επιμέρους παραμέτρων σχεδιασμού (πχ. συνδυασμός κλίσεων και επικλίσεων). Ως αποτέλεσμα, η συνδυαστική επιρροή των παραμέτρων που

λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση της υδρολίσθησης γίνεται ελλιπώς όπου προτείνονται εμπειρικές σχέσεις οι οποίες πιθανόν να εμπεριέχουν σφάλματα.

Στη παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται σε βάθος το φαινόμενο της υδρολίσθησης μέσω αναλυτικών εξισώσεων οι οποίες προκύπτουν από θεώρηση της οδού στο χώρο (3D).

Με βάση τις εξισώσεις αυτές από την τρισδιάστατη θεώρηση της οδού, προσδιορίζεται η σύνθετη κλίση σε κάθε σημείο της επιφάνειας της και εκφράζονται αναλυτικά οι γραμμές ροής των ομβρίων υδάτων.



**Εικόνα 1-3: Στόχος Διπλωματικής Εργασίας**

Η παρούσα εργασία, διερευνά κρίσιμες περιοχές επί της επιφάνειας της οδού όπου τα ύψη των γραμμών ροής, τα οποία έχουν προκύψει μέσω προσεγγιστικών σχέσεων από εργαστηριακά πειράματα, δύνανται να δημιουργήσουν προϋποθέσεις υδρολίσθησης. Στο πλαίσιο αυτό εξετάζεται ευρύ φάσμα γεωμετρικών παραμέτρων διαφόρων τύπων οδών συσχετίζοντας μεταξύ άλλων την ένταση βροχόπτωσης καθώς και παραμέτρων από την αλληλεπίδραση ελαστικού – οδοστρώματος.

Απώτερος στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της ταχύτητας της δυναμικής υδρολίσθησης βάσει παραμέτρων από τη γεωμετρία της οδού, το οδόστρωμα, το ελαστικό καθώς και την ένταση βροχόπτωσης, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στην τεκμηριωμένη επιλογή μεταβαλλόμενων ορίων ταχύτητας.

## 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

### 2.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο φαινόμενο της υδρολίσθησης καθώς και σε βασικές οδηγίες που διέπουν το γεωμετρικό σχεδιασμό οδών αναφορικά με κρίσιμες παραμέτρους που επηρεάζουν την υδρολίσθηση και την ασθενή απορροή ομβρίων εν γένει. Συγκεκριμένα, εξετάζονται οι Αμερικάνικες (AASHTO 2008), οι Γερμανικές (RAL 2012 και RAA 2008), οι Ελληνικές (ΟΜΟΕ – Χ), και οι Ισπανικές Οδηγίες Μελετών (NORMA 3.1, 2016).

### 2.2 Υδρολίσθηση

Η υδρολίσθηση συμβαίνει όταν τα ελαστικά του οχήματος χάνουν την επαφή μερικώς ή πλήρως με το οδόστρωμα μέσω της δημιουργίας ενός στρώματος νερού που έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια του ελέγχου του οχήματος. Εάν ο συνδυασμός του βάθους του νερού στην επιφάνεια του οδοστρώματος, της ταχύτητας του οχήματος και της κατάστασης των ελαστικών υπερβαίνει το σημείο όπου το νερό μπορεί να απομακρυνθεί, τότε το πάχος της μεμβράνης νερού μπροστά από το ελαστικό αυξάνεται και αρχίζει να διεισδύει στο σημείο επαφής του ελαστικού.

Υπάρχουν 3 κατηγορίες υδρολίσθησης:

- 1) Δυναμική Υδρολίσθηση (Dynamic Hydroplaning) είναι ο πιο συχνός τύπος υδρολίσθησης που παρατηρείται στις οδούς. Συμβαίνει όταν το ελαστικό υπερβαίνει τη συνδυασμένη ικανότητα αποστράγγισης του πέλματος και της υψής του οδοστρώματος. Η δυναμική υδρολίσθηση συνήθως συμβαίνει σε υψηλές ταχύτητες (τυπικά πάνω από 70 km/h).
- 2) Ιξώδης Υδρολίσθηση (Viscous Hydroplaning) συμβαίνει μόνο όταν το οδόστρωμα έχει μικρή ή καθόλου μακροϋφή. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι όταν το οδόστρωμα είναι καλυμμένο πλήρως με άσφαλτο. Η ιξώδης υδρολίσθηση μπορεί να συμβεί κάτι το οδόστρωμα έχει λειανθεί από τη διερχούσα κυκλοφορία. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, ακόμη και ένα πολύ μικρό φιλμ νερού μπορεί να διαχωρίσει το όχημα με το οδόστρωμα. Η ιξώδης υδρολίσθηση μπορεί να συμβεί σε οποιαδήποτε ταχύτητα.



- 3) Υδρολίσθηση Ανεστραμμένης Κατάστασης Ελαστικού (Reverted – Rubber Hydroplaning) συμβαίνει όταν η τριβή μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος εκλύει θερμότητα στο σημείο όπου η γόμα του ελαστικού ρευστοποιείται και μετατρέπεται σε μία ασταθή κατάσταση. Αυτός ο τύπος υδρολίσθησης τυπικά δε συμβαίνει σε οδούς αλλά συμβαίνει σπανίως σε διαδρόμους αεροδρομίων με αεροσκάφη υψηλών ταχυτήτων.

Στην εικόνα 2-1 παρουσιάζονται οι τρεις κατηγορίες υδρολίσθησης.



**Εικόνα 2-1 Οι 3 κατηγορίες υδρολίσθησης**

Στη παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η δυναμική υδρολίσθηση που αποτελεί το πιο συχνό στα οδικά έργα υποδομής.

### **2.2.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την Υδρολίσθηση**

Η ταχύτητα υδρολίσθησης κυρίως εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες και ιδιότητες (Fwa et al.2012):

- 1) Ιδιότητες Οδοστρώματος: Σύνθεση μείγματος, τύπος αδρανών, υφή επιφάνειας
- 2) Παράγοντες που αφορούν το όχημα: Ταχύτητα σχεδιασμού, Πίεση Ελαστικών, Συντελεστής Ολίσθησης, Πέλμα Ελαστικού
- 3) Περιβαλλοντικοί Παράγοντες: Ύψος νερού στο οδόστρωμα

Όταν η βροχή πέφτει σε ένα οδόστρωμα με κλίση, η διαδρομή του νερού μέχρι να φτάσει στην οριογραμμή ονομάζεται γραμμή ροής. Το μήκος γραμμής ροής είναι συνάρτηση του αριθμού των λωρίδων από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος, το πλάτος των λωρίδων, την μηκοτομική κλίση και την επίκλιση. Υπολογίζεται από τις εξισώσεις 2-1 και 2-2 (Gallaway et al.1979; Guvenand Mcville

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1999). Βασισμένοι στις παρακάτω εξισώσεις, το μήκος ροής κατά μήκος της επιφάνειας του οδοστρώματος αυξάνεται είτε με την αύξηση του πλάτους του οδοστρώματος είτε με την αύξηση κατά απόλυτη τιμή της κατά μήκος κλίσης.

$$S_f = \sqrt{S_x^2 + S_g^2} \quad (2-1)$$

$$L_f = L_x \cdot \left(\frac{S_x}{S_g}\right) \quad (2-2)$$

Όπου:  $S_x$  : η επίκλιση (%);  $S_g$  : η κατά μήκος κλίση (%);  $L_x$  : το πλάτος του οδοστρώματος (μονάδες μήκους);  $L_f$  : το μήκος της γραμμής ροής (μονάδες μήκους)

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της υδρολίσθησης συνοψίζονται στον Πίνακα 2-1:

Παράγοντες Οδοποιίας	Παράγοντες Περιβάλλοντος	Παράγοντες Οδηγού	Παράγοντες Οχήματος
Επιφάνεια Οδοστρώματος	Ένταση Βροχόπτωσης	Ταχύτητα	Σχεδιασμός αυλακώσεων ελαστικών
Τραχύτητα	Διάρκεια Βροχόπτωσης	Επιτάχυνση και Επιβράδυνση	Βάθος Αυλακώσεων Ελαστικών
Βάθος Αυλακώσεων	Θερμοκρασία	Ελιγμοί	Πίεση Ελαστικών
Διαπερατότητα Οδοστρώματος			Τύπος Οχήματος
Επίκλιση			Βάρος Οχήματος
Κατά Μήκος Κλίση			

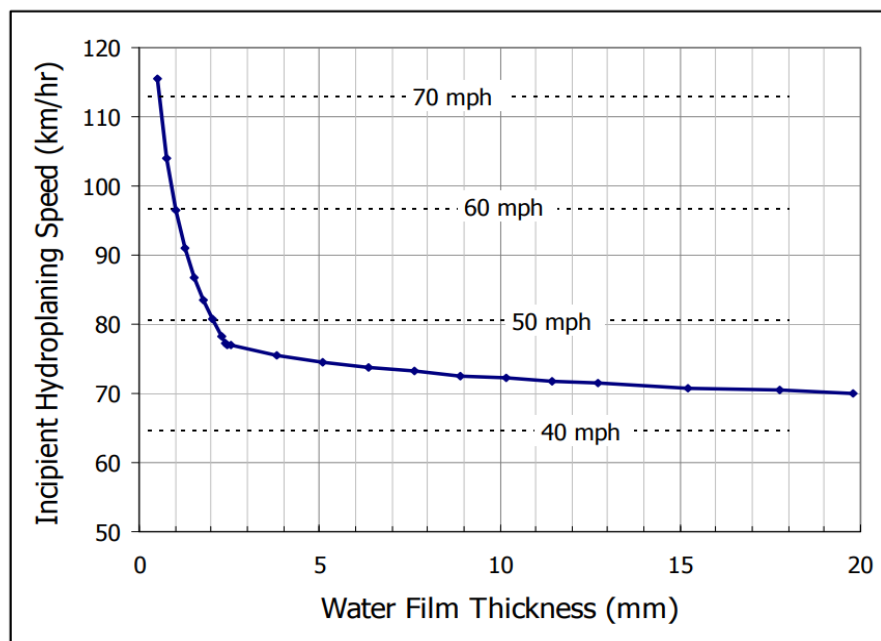
**Πίνακας 2-1 Παράγοντες Επιρροής Υδρολίσθησης (Lee et al, 2020)**

## 2.2.2 Μέθοδοι Προσδιορισμού Βάθους Ροής Ομβρίων

### 2.2.2.1 Charbeneau et al. 2010

Σε ερευνητικό πρόγραμμα που πραγματοποιήθηκε από το Center for Transportation Research The University of Texas at Austin και χρηματοδοτήθηκε από το Texas Department of Transportation Research and Technology Implementation Office διερευνήθηκαν οι παράμετροι που επηρεάζουν την υδρολίσθηση συναρτήσει της γεωμετρίας της οδού. (Charbeneau et al. 2010)

Η ταχύτητα του οχήματος όταν επέρχεται υδρολίσθηση (HPS) εξαρτάται από το ύψος του στρώματος νερού που σχηματίζεται, το σχήμα του πέλματος του ελαστικού, η μέση τιμή της μακροϋφής κ.α.. Το ύψος ροής του νερού (WFT) είναι η βασική παράμετρος. Στην εικόνα 2-2 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου των εξισώσεων του HPS συναρτήσει WFT. Επίσης, όσον αφορά την ασφάλεια στις περιοχές συναρμογών των επικλίσεων, δεν είναι ξεκάθαρη εάν η τιμή του WFT ή η αλλαγή του WFT στη διαμήκη και την εγκάρσια διεύθυνση της οδού είναι πιο κρίσιμη μεταβλητή. Το μοντέλο προτείνει ότι το HPS είναι πολύ ευαίσθητο στο WFT για τιμές μέχρι 2.4 mm.



Εικόνα 2-2 – Ύψος νερού συναρτήσει ταχύτητας υδρολίσθησης

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ο στόχος της έρευνας είναι η αναλυτική εύρεση του ύψους του νερού στην επιφάνεια του οδοστρώματος μέσω της εξίσωσης του Manning που περιγράφει τη σχέση μεταξύ της γεωμετρίας του αγωγού, της τριβής και της παροχής για ανοικτούς αγωγούς. Για επίπεδη ροή η εξίσωση γράφεται ως εξής:

$$h = \left( \frac{n \cdot q}{\sqrt{S_f}} \right)^{0.6} \quad (2-3)$$

όπου:

$h$  = ύψος νερού (m)

$n$  = ο συντελεστής Manning

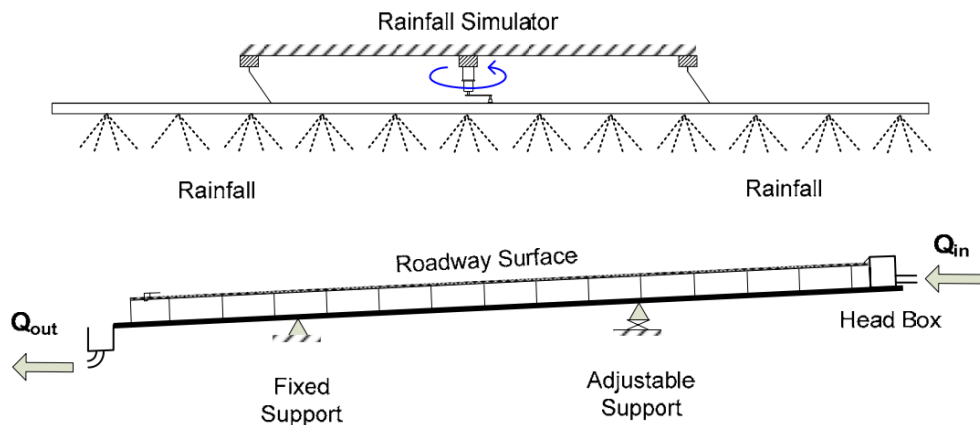
$q$  = η παροχή του νερού (m<sup>3</sup>/sec)

$s_f$  = υδραυλική κλίση (αδιάστατο (m/m))

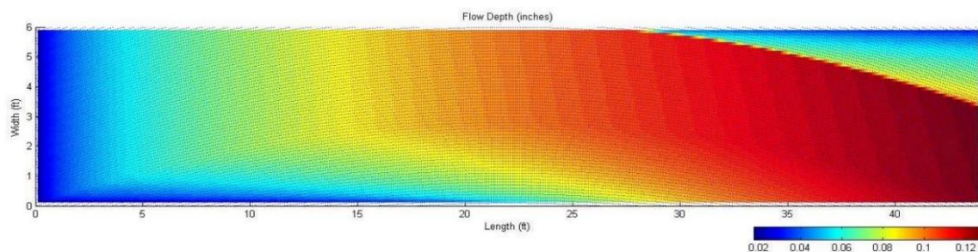
Σημειώνεται ότι το διάγραμμα επικλίσεων έχει γίνει με βάσει τους Αμερικάνικους Κανονισμούς.

Για να εξαχθούν αξιόπιστα στοιχεία οι ερευνητές πραγματοποίησαν πειράματα πάνω σε πλάκες που προσομοιώνουν την επιφάνεια του οδοστρώματος.

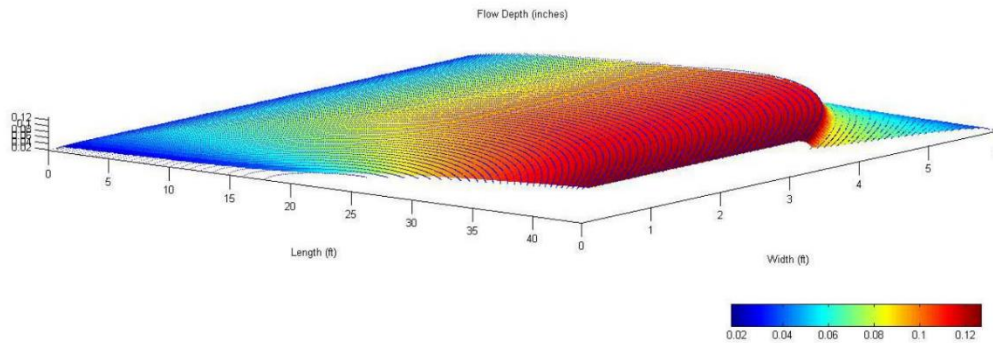
Στην εικόνα 2-3 φαίνεται το φυσικό μοντέλο της έρευνας που πραγματοποιήθηκε και στις εικόνες 2-4 και 2-5 παρουσιάζονται θερμοδιαγράμματα της ανάλυσης σε 2D και το ύψος του νερού που προέκυψε.



Εικόνα 2-4 - Φυσικό Μοντέλο Έρευνας

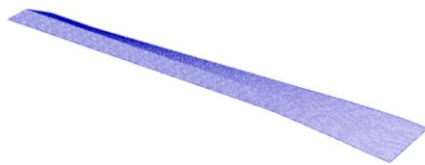


Εικόνα 2-3 - Κινηματική Ανάλυση Ροής σε 2D

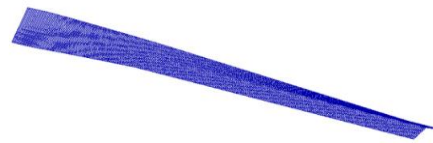


Εικόνα 2-5 - Ύψος νερού στο οδόστρωμα

Στην εικόνα 2-6 φαίνονται οι τύποι των επιφανειών που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα και στην εικόνα 2-7 το διάγραμμα επικλίσεων στην περιοχή περιστροφής του οδοστρώματος.

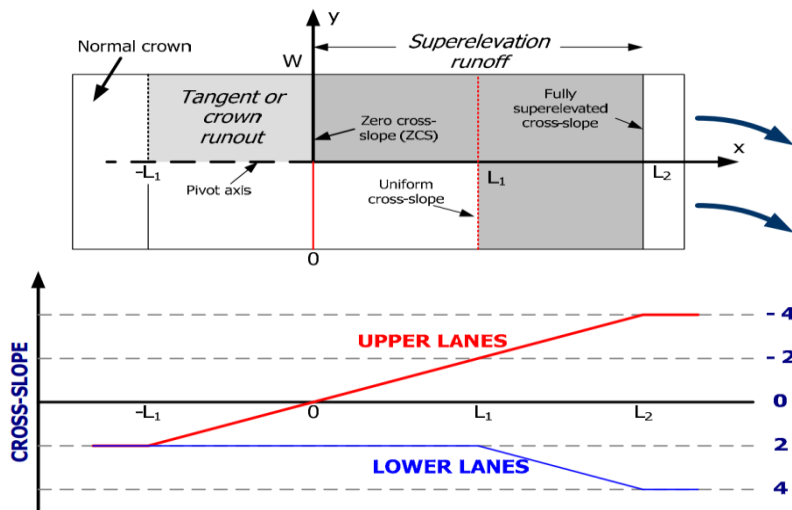


Type-I: Transition from normal crown to superelevation



Type-II: Transition from superelevation to normal crown

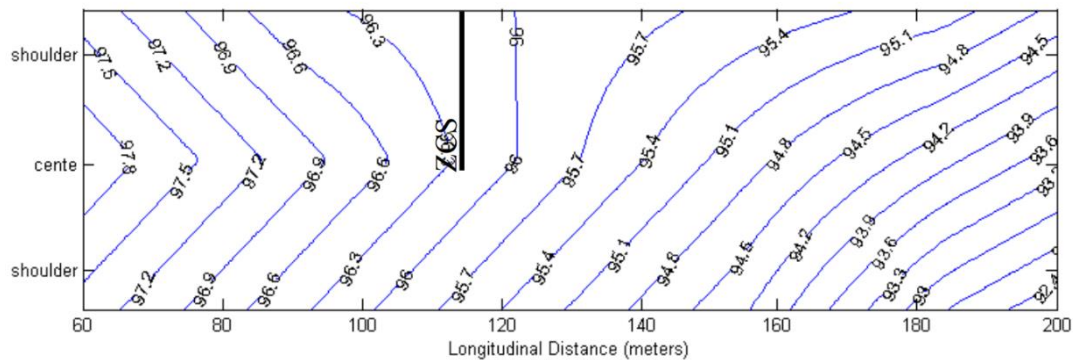
Εικόνα 2-6 - Τύποι Επιφανειών που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα



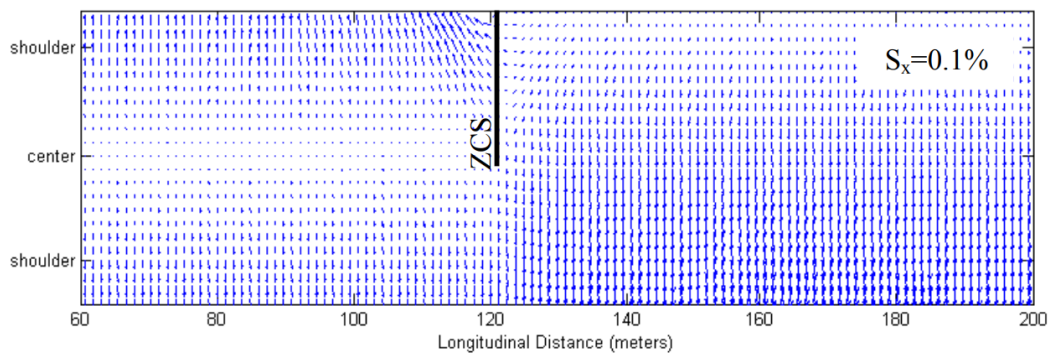
Εικόνα 2-7 – Περιοχή Μεταβολής – Ενδεικτικό Διάγραμμα Επικλίσεων

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στην εικόνα 2-8 παρουσιάζονται οι ισοψείς στην επιφάνεια του οδοστρώματος και στην εικόνα 2-9 οι κατευθύνσεις των σύνθετων κλίσεων όπως προέκυψε από την κινηματική ανάλυση



**Εικόνα 2-8 - Τύπος 1 (4 λωρίδες  $S_x=1\%$ ,  $ZCS=122m$ )**



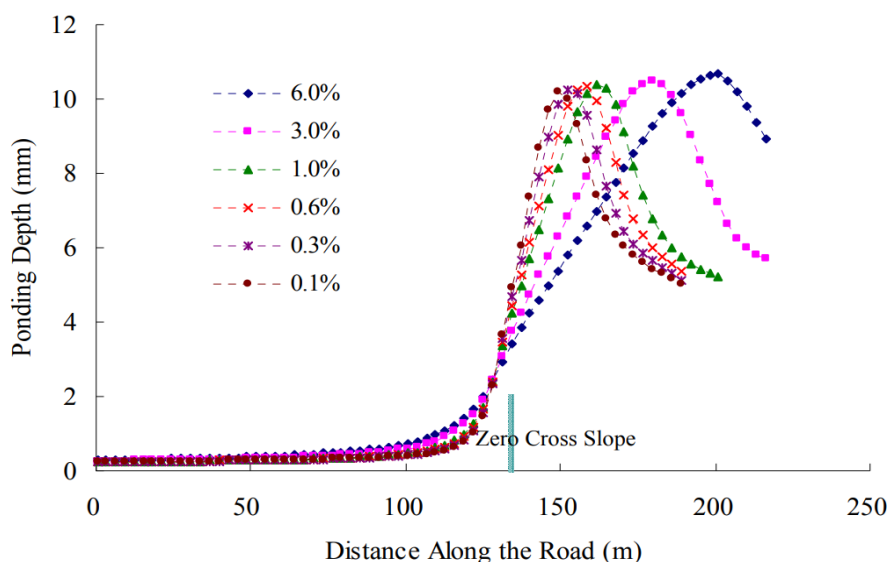
**Εικόνα 2-9 - Βέλη Σύνθετων Κλίσεων**

Οι αρχικές και οριακές συνθήκες για την επίλυση των εξισώσεων είναι ότι:

- Δεν υπάρχει λιμνάζον νερό στην επιφάνεια του οδοστρώματος πριν την έναρξη της βροχής. (Αρχική Συνθήκη)
- Στην άκρη του οδοστρώματος υπάρχουν οι κατάλληλες υδραυλικές διατάξεις έτσι ώστε να παραλάβουν το νερό του οδοστρώματος. (Κινηματική Οριακή Συνθήκη)

Κατά μήκος κλίση

Η συγκέντρωση του νερού με 0.1 % κλίση περιορίζεται στην εξωτερική οριογραμμή του οδοστρώματος κοντά στο σημείο ZCS (Zero-Cross-Slope). Οι θετικές κατά μήκος κλίσεις προς τα κατόντη της εξωτερικής λωρίδας δημιουργεί αντίστροφη ροή στην περιοχή αυτή. Ως εκ τούτου το συσσωρευμένο νερό στο εξωτερικό άκρο της λωρίδας ρέει προς την εσωτερική οριογραμμή καθώς διέρχεται από το σημείο ZCS. Οι αποκρίσεις της ροής σε διαφορετικές κατά μήκος κλίσεις, 0.1%, 1.0% και 6.0% είναι ευθέως συγκρινόμενα σε διαφορετικές τοποθεσίες όπως φαίνεται και στην εικόνα 2-10. Οι διατομές είναι σε διαφορετικές κατά μήκος κλίσεις. Οι επιλεγμένες θέσεις περιλαμβάνουν την περιοχή της ευθυγραμμίας και τις περιοχές όπου το μέγιστο ύψος προκύπτει σε κάθε κατά μήκος κλίση: 0.1% στα 118 m, 1% στα 135 m και 6% στα 185 m. Στο αμφικλινές οδόστρωμα, το προφίλ του βάθους ροής σε 0.1% είναι ελάχιστα μικρότερο από το 1% αλλά υπάρχει μία διαφορά μεταξύ των 2 τιμών. Υποθέτοντας ότι η ροή του νερού κατά μήκος της πιο απότομης κλίσης, οι γραμμές ροής στα 7.3 m πλάτος (από το κέντρο του οδοστρώματος έως την οριογραμμή) είναι 7.388 m, 8.138 m, 23.10 m για 0.1%, 1.0%, 6.0% αντίστοιχα. Το βάθος ροής είναι αναλογική της γραμμής ροής αλλά αντιστρόφως ανάλογη της κλίσης της επιφάνειας του οδοστρώματος.

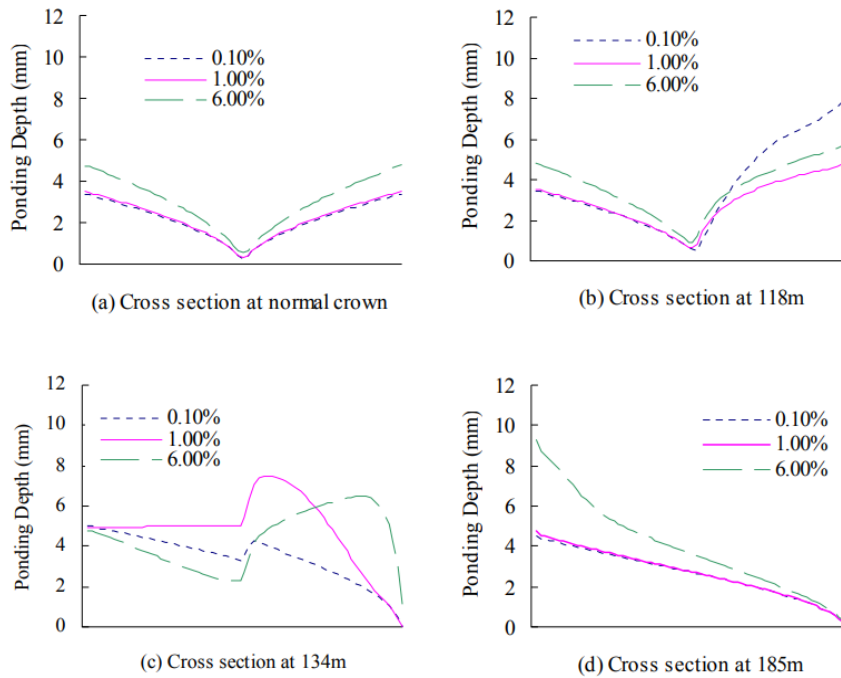


**Εικόνα 2-10 - Ύψος Νερού στην εσωτερική οριογραμμή σε οδό 8 λωρίδων κυκλοφορίας με 250 mm/hr ένταση βροχής (Type 2)**

Στα γραφήματα της εικόνας 2-11 παρουσιάζονται τα ύψη του νερού κατά μήκος των διατομών σε τέσσερα χαρακτηριστικά σημεία.

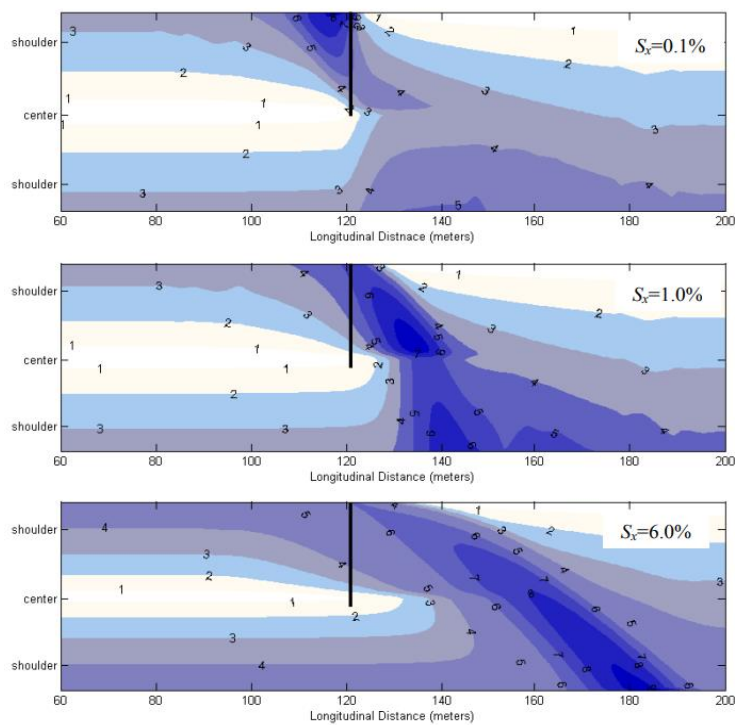


## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ



**Εικόνα 2-11 Ύψος Νερού στη Διατομή**

Στην εικόνα 2-12 παρουσιάζονται τα ύψη του νερού σε μορφή θερμοδιαγράμματος για μηκτομικές κλίσεις 0.1 %, 1.0 % και 6.0 %.



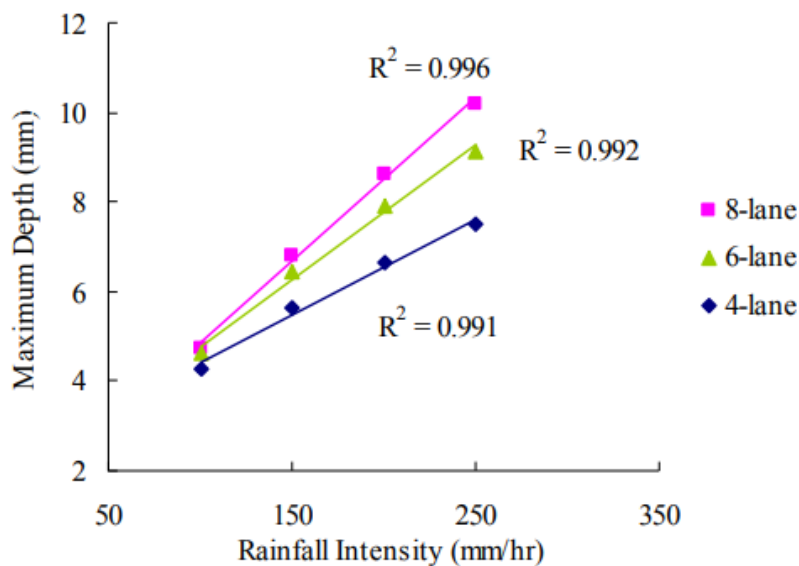
*Figure 5.4: The profile of water depth at the steady state condition (Type-I,  $r = 250$  mm/hr, 4-lane road)*

**Εικόνα 2-12 Ύψος Νερού σε διάφορες μηκτομικές κλίσεις**



Ένταση Βροχής

Διερευνήθηκε το μέγιστο βάθος για διάφορα πλάτη και κατά μήκος κλίσεις με ένταση βροχής 150 mm/hr, 200 mm/hr, 250 mm/hr. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μέγιστη στάθμη του λιμνάζοντος νερού είναι σχεδόν γραμμική σε σχέση με τις διαφορετικές τιμές της εντάσεως της βροχόπτωσης με  $R^2 > 0.99$ . Ωστόσο, η κλίση και τομή της γραμμικής παρεμβολής με τον άξονα του μέγιστου βάθους διαφέρουν σε σχέση με τον αριθμό των λωρίδων και την κατά μήκος κλίση. Παρόλα αυτά, με αυτές τις γραμμικές σχέσεις, μπορεί κανείς απλά να παρεμβάλει το μέγιστο βάθος σε μία συναρμογή επικλίσεων για οποιαδήποτε επιθυμητή ένταση βροχόπτωσης. Στο γράφημα της εικόνας 2-13 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης (με υποπερίπτωση κατά μήκος κλίσης 1%).



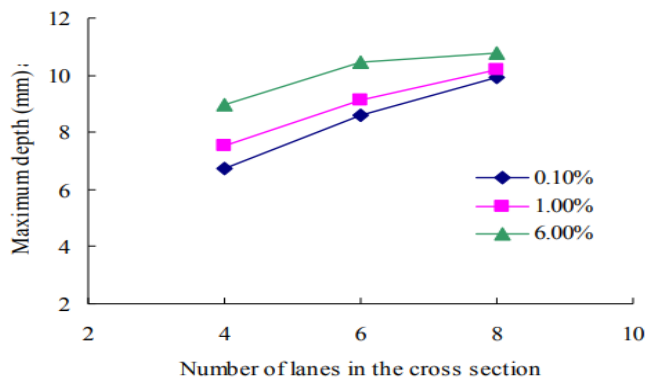
**Εικόνα 2-13 - Γραμμικότητα του μέγιστου βάθους ροής σε σχέση με την ένταση της βροχής**

Αριθμός Λωρίδων

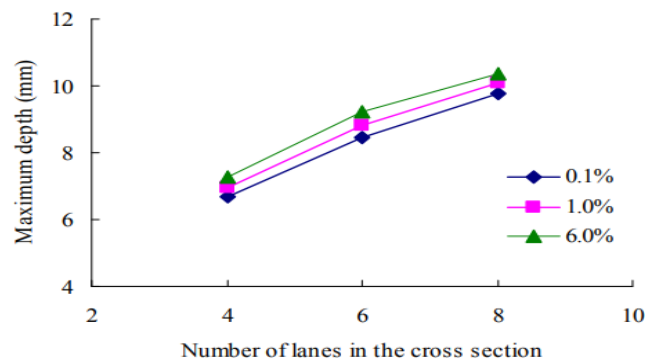
Σύμφωνα με τον AASHTO 2004 το superelevation runoff είναι ανάλογο του αριθμού των λωρίδων. Για παράδειγμα το runoff length είναι διπλάσιο σε μία οδό 8 λωρίδων κυκλοφορίας (4 ανά κατεύθυνση) από μία των 4 λωρίδων (σύνολο) αν οι υπόλοιπες μεταβλητές παραμείνουν σταθερές. Η ευαισθησία του μέγιστου βάθους

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

ροής συναρτήσει του αριθμού των λωρίδων δε μπορεί ευθέως να μετρηθεί επειδή η αύξηση του αριθμού των λωρίδων είναι ισοδύναμη με της επιφάνειας αποστράγγισης. Στο γράφημα της εικόνας 2-14 παρουσιάζονται τα μέγιστα βάθη σε σχέση με τον συνολικό αριθμό λωρίδων κυκλοφορίας.



(a) Type-I roads



(b) Type-II roads

**Εικόνα 2-14 - Μέγιστα Βάθη για ένταση βροχής  $r=250$  mm/hr**

Συμπερασματικά η έρευνα παρουσιάζει τη μεθοδολογία για την εύρεση σε κάθε σημείο του κανάβου που έχει δημιουργηθεί το βάθος ροής του νερού. Για την εύρεση του χρησιμοποιείται η εξίσωση του Manning δίδοντας έτσι μία αναλυτική προσέγγιση στο πρόβλημα.

Κάποια από τα μειονεκτήματα της ανάλυσης είναι η παραδοχή ότι το οδόστρωμα είναι αδιαπέρατο και ότι δε λαμβάνεται υπόψη η μακροϋφή του οδοστρώματος. Επίσης δεν εξάγεται ένα τελικό μοντέλο που θα συσχετίζει γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού με το ύψος της βροχόπτωσης. Τέλος δίδεται ένα διάγραμμα που συσχετίζει το ύψος του νερού στο οδόστρωμα με τη ταχύτητα υδρολίστεσης χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη τα χαρακτηριστικά του οχήματος ενώ δεν διαχωρίζονται οι περιοχές ασθενούς – μη ασθενούς απορροής ομβρίων.

### 2.2.2.2 New Zealand (NZ) Modified WFT Model (2006)

Το ύψος νερού που συγκεντρώνεται στο οδόστρωμα εξαρτάται από την ένταση της βροχής, το μήκος της γραμμής ροής, την κλίση της γραμμής ροής και το βάθος υφής (TXD). Η μέση τιμή βάθους υφής για ένα τυπικό οδόστρωμα είναι 1.02 mm (0.04 in.) ωστόσο TXD=0.51 mm (0.02 in) προτείνεται για το σχεδιασμό (AASHTO 2007). Το ύψος του νερού πάνω από το οδόστρωμα μπορεί να υπολογιστεί με τις παρακάτω εμπειρικές εξισώσεις. (Gallaway et al.1979; Guvenand McIville 1999).

$$WD_0 = 0.00338 \cdot TXD^{0.11} \cdot L_f^{0.43} \cdot I^{0.59} \cdot S_x^{-0.42} - TXD \quad (2-4)$$

$$WD = (WD_0 + TXD) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{S_g}{S_x}\right)^2} - TXD \quad (2-5)$$

Όπου: WD = το ύψος νερού (in);  $WD_0$  = το ύψος νερού που προκύπτει στην οριογραμμή του οδοστρώματος για μηδενική κατά μήκος κλίση; TXD = βάθος υφής (in); I = ένταση βροχής (in/h)

Οι παραπάνω εξισώσεις τροποποιούνται για το μετρικό σύστημα ως εξής:

$$WD_0 = 0.09159 \cdot TXD^{0.11} \cdot L_f^{0.43} \cdot I^{0.59} \cdot S_x^{-0.42} - TXD \quad (2-6)$$

$$WD = (WD_0 + TXD) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{S_g}{S_x}\right)^2} - TXD \quad (2-7)$$

Όπου: WD (mm); TXD (mm); I (mm/h)

### 2.2.2.3 Βρετανική Μέθοδος (U.K. Road Research Laboratory (RRL) (1968))

Το μοντέλο RRL αναπτύχθηκε στα πλαίσια έρευνας του Βρετανικού Υπουργείου Μεταφορών (Ross and Russan, 1968). Το πάχος του νερού δίδεται από το τύπο:

$$y = \frac{0.015 \cdot (L \cdot I)^{0.5}}{S^{0.2}} \quad (2-8)$$

όπου:

y = Το πάχος νερού (cm)

L = Το μήκος γραμμής ροής (m)

I = Η πλεονάζουσα ένταση βροχόπτωσης (cm/hr)

S = Η κλίση του οδοστρώματος (αδιάστατο)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Κάνοντας την παραδοχή ότι το ύψος νερού ισούται με:

$$WFT = y - MTD \quad (2-9)$$

Και κάνοντας μετατροπή μονάδων προκύπτει :

$$WFT = \frac{0.046 \cdot (L \cdot I)^{0.5}}{S^{0.2}} - MTD \quad (2-10)$$

Όπου:

WFT = το ύψος του νερού (mm)

L = το μήκος γραμμής ροής (m)

I = η πλεονάζουσα ένταση βροχόπτωσης (mm/hr)

S = η κλίση του οδοστρώματος (αδιάστατο)

MTD = το βάθος υφής οδοστρώματος (mm)

### 2.2.2.4 PAVDRN WFT Model (1997)

Το PAVDRN Model αναπτύχθηκε από μία έρευνα του NCHRP (Anderson et. 1998, Huebner et al 1997). Η εξίσωση είναι:

$$WFT = \left( \frac{n \cdot L \cdot I}{36.1 \cdot S^{0.5}} \right)^{0.6} - MTD \quad (2-11)$$

όπου:

WFT = το ύψος του νερού (mm)

L = το μήκος γραμμής ροής (m)

I = η πλεονάζουσα ένταση βροχόπτωσης (mm/hr)

S = η κλίση του οδοστρώματος (αδιάστατο)

MTD = βάθος υφής οδοστρώματος (mm)

n = ο συντελεστής Manning (αδιάστατο)

Ο συντελεστής Manning της παραπάνω εξίσωσης υπολογίζεται με τον παρακάτω τρόπο, εξαρτώμενο από τον τύπο του οδοστρώματος.

1) Portland Cement Concrete (PCC):

$$n = \begin{cases} = \frac{0.388}{N_R^{0.535}}, N_R < 240 \\ = \frac{0.345}{N_R^{0.502}}, N_R < 500 \\ = \frac{0.319}{N_R^{0.480}}, N_R < 100 \\ = 0.017 \text{ else} \end{cases} \quad (2-12)$$

2) Κλειστού Τύπου Οδοστρώματα (DGFC):

$$n = 0.0823 \cdot N_R^{-0.174} \quad (2-13)$$

3) Ανοικτού Τύπου Οδοστρώματα (OGFC):

$$n = \frac{1.490 \cdot S^{0.306}}{N_R^{0.424}} \quad (2-14)$$

όπου:

$N_R$  είναι ο αριθμός Reynolds

### 2.2.3 Εξισώσεις προσδιορισμού μέγιστης ταχύτητας για τον κίνδυνο υδρολίσθησης

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι προσδιορισμού της ταχύτητας στην οποία επέρχεται η υδρολίσθηση:

1) Fwa et al (2008): Πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις για 40 περιπτώσεις (8 διαφορετικά πέλματα ελαστικού και 5 διαφορετικά ύψη νερού). Η ταχύτητα υδρολίσθησης με πέλμα ελαστικού με βάθος 9.8 mm είναι υψηλότερη από ελαστικό με μηδενικό πέλμα από 14.2 έως 17.1 km/h, το οποίο εξαρτάται από το ύψος νερού της επιφάνειας. Μία εκδοχή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης είναι ότι το μεγαλύτερο βάθος πέλματος προσφέρει μια πιο αποτελεσματική ροή του νερού, και η υδρολίσθηση συμβαίνει σε μεγαλύτερες ταχύτητες λόγω της μικρότερης δύναμης άνωσης που προκύπτει λόγω της παρουσίας νερού. Η εξίσωση που προτείνεται είναι η ακόλουθη:

$$V = 96.45 + 1.631 \cdot TD - 1.307 \cdot WD \quad R^2 = 0.99 \quad (2-15)$$

Όπου:  $V$  = η ταχύτητα υδρολίσθησης (km/h)

$TD$  = το βάθος πέλματος σε (mm)

$WD$  = το ύψος νερού (mm)

2) Η NASA προτείνει την παρακάτω εξίσωση βασισμένη σε εμπειρικά δεδομένα (Alani 2022):

$$v_p = 1.6 \cdot (51.8 - 17.15 \cdot F_{AR} + 0.72 \cdot p) \quad (2-16)$$

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Όπου:  $v_p$  = η ταχύτητα υδρολίσθησης (km/h)

$F_{AR}$  = το ύψος ή το προφίλ του ελαστικού (%)

$p$  = πίεση του ελαστικού (psi)

- 3) Το Τμήμα Μεταφορών της Φλόριντα υιοθέτησε μία διαφορετική εξίσωση για τη ταχύτητα υδρολίσθησης βασισμένη στην έρευνα των Gunaratne et al (2012) που βρήκαν μία αναλυτική λύση βασισμένη σε δεδομένα των Ong and Fwa (2007) για να δημιουργήσουν ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων. Η παραγόμενη εξίσωση από την μελέτη των Guanarante et al. είναι η εξής (Alani 2022):

$$v_p = WL^{0.2} \cdot p^{0.5} \cdot \left( \frac{0.82}{WFT^{0.06}} + 0.49 \right) \quad (2-17)$$

Όπου:  $v_p$  = η ταχύτητα υδρολίσθησης (km/h)

WL = το φορτίο του τροχού σε (N)

$p$  = η πίεση των ελαστικών (kPa)

WFT = το ύψος του νερού (mm)

- 4) Το μοντέλο για την υδρολίσθηση που επιλέχθηκε από το PAVDRN βασίστηκε στην μελέτη των Gallaway et al (1979) και άλλων (Huebner, Reed, and Henry, 1986). Για ύψη νερού κάτω από 2.4 mm η ταχύτητα υδρολίσθησης δίδεται από το τύπο (Huebner, Anderson 1997):

$$HPS = 26.04 \cdot WFT^{-0.259} \quad (2-18)$$

Όπου: HPS = η ταχύτητα υδρολίσθησης (mi/hr)

WFT = ύψος νερού (in)

Για ύψη νερού μεγαλύτερα ή ίσα των 2.4 mm η ταχύτητα υδρολίσθησης είναι:

$$HPS = 3.09 \cdot A$$
$$A = \max \left\{ \frac{10.409}{WFT^{0.06}} + 3.507, \left[ \frac{28.952}{WFT^{0.06}} - 7.817 \right] \cdot MTD^{0.14} \right\} \quad (2-19)$$

Όπου: MTD = η μακροϋφή (in)

WFT = ύψος νερού (in)

- 5) Σύμφωνα με το μοντέλο του Gallaway (1979) η ταχύτητα υδρολίσθησης δίδεται από τον παρακάτω τύπο:

$$HPS = SD^{0.04} \cdot p_t^{0.3} \cdot (1 + TD)^{0.06} \cdot A \quad (2-20)$$

Όπου:

HPS = η ταχύτητα υδρολίσθησης (mph)

SD = Μεταβολή γωνιακής ταχύτητας περιστροφής ελαστικού (Spindown of the tire rotational speed), τυπικά 10 %

$p_t$  = Πίεση Ελαστικών (psi)

TD = Το βάθος υφής του ελαστικού (1/32 της ίντσας)

και A ίσο με:

$$A = \max \left\{ \frac{10.409}{WFT^{0.06}} + 3.507, \left[ \frac{28.952}{WFT^{0.06}} - 7.817 \right] \cdot MTD^{0.14} \right\} \quad (2-21)$$

### 2.3 Οδική Ασφάλεια σε Έντονες Καιρικές Συνθήκες

Έχει βρεθεί ότι η υδρολίσθηση σε αυτοκινητόδρομους σχετίζεται με (Psarianos et al 2020):

- 17% των ατυχημάτων
- 23% των ατυχημάτων σε βρεγμένο οδόστρωμα
- 28% των ατυχημάτων λόγω ολίσθησης σε βρεγμένο οδόστρωμα

Οι McGovern et al. (2011) βρήκαν ότι τα χαμηλά επίπεδα τριβής είναι σημαντικός παράγοντας στα ατυχήματα με υγρό οδόστρωμα, όπου σύμφωνα με κάποιες εκτιμήσεις αναφέρεται ότι η μείωση των ατυχημάτων της τάξης του 70% σε υγρό οδόστρωμα είναι εφικτή με τη βελτίωση της τριβής.

Σε άλλη έρευνα αναφέρεται (Wang et al. 2015) ότι η τριβή είναι απαραίτητη σε περιοχές πλέξης, όπου ο δείκτης ατυχημάτων μπορεί να αυξηθεί 77% σε συνθήκες υγρού οδοστρώματος. Κάποιοι από τους παράγοντες που συνεισφέρουν σε αυτό το φαινόμενο είναι οι απότομες επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις, η αλλαγή λωρίδων και η πολυπλοκότητα του ελιγμού στην κίνηση. Οι Wang et al (2015) προτείνουν ότι επεμβάσεις για την αύξηση της τριβής μπορούν να λύσουν τα σοβαρά ατυχήματα σε υγρό οδόστρωμα σε περιοχές πλέξης.

Σύμφωνα με το FHWA των Η.Π.Α κατά μέσο όρο καταγράφονται 5.891.000 οδικά ατυχήματα κάθε χρόνο. Στη δεκαετία 2007-2016 σημειώθηκαν κατά μέσο όρο κάθε χρόνο 1.235.145 ατυχήματα (21%), 418.005 άνθρωποι τραυματίστηκαν (19%) και 5.376 άνθρωποι σκοτώθηκαν σε ατυχήματα που οφείλονται σε καιρικές συνθήκες. Στον Πίνακα 2-2 παρουσιάζονται τα ατυχήματα, οι τραυματισμοί και οι νεκροί σε οδικά ατυχήματα σε απόλυτο αριθμό αλλά και σε ποσοστό επί των συνολικών, κάθε χρόνο στις Η.Π.Α. την περίοδο 2007-2016.

Καιρικές Συνθήκες	Στατιστικά κάθε χρόνο για την περίοδο 2007-2016		
	Υγρό Οδόστρωμα	860.286	Ατυχήματα
324.394		Τραυματισμοί	15%
4050		Θάνατοι	12%
Βροχή	556.151	Ατυχήματα	10%
	212.647	Τραυματισμοί	10%
	2.473	Θάνατοι	8%
Χιόνι / Χιονόνερο	219.942	Ατυχήματα	4%
	54.839	Τραυματισμοί	3%
	688	Θάνατοι	2%
Πάγος	156.164	Ατυχήματα	3%
	45.860	Τραυματισμοί	2%
	521	Θάνατοι	2%
Χιόνι / Μισολιωμένο	186.076	Ατυχήματα	4%
	42.036	Τραυματισμοί	2%
	496	Θάνατοι	2%
Ομίχλη	25.451	Ατυχήματα	1%
	8.902	Τραυματισμοί	1%
	464	Θάνατοι	2%

**Πίνακας 2-2 Ποσοστό ατυχημάτων συναρτήσει των καιρικών συνθηκών (FHWA, 2023)**

## 2.4 Επιρροή της Βροχόπτωσης στην κυκλοφορία

### Μεταβολή Κυκλοφοριακών Χαρακτηριστικών συναρτήσει καιρικών συνθηκών

Έχει εκτιμηθεί ότι το 23% των μεμονωμένων καθυστερήσεων στους αυτοκινητοδρόμους των Η.Π.Α. προέρχεται από τη χιονόπτωση, τον πάγο και την ομίχλη. Αυτό ισοδυναμεί με 544 εκατομμύρια οχηματοώρες καθυστέρησης κάθε χρόνο.

Στον Πίνακα 2-3 παρουσιάζεται η επιρροή των καιρικών συνθηκών στην μεταβολή βασικών κυκλοφοριακών μεγεθών

Καιρικές Συνθήκες	Μέση Ταχύτητα	Ταχύτητα Ελεύθερης Ροής	Πυκνότητα	Κυκλοφοριακή Ικανότητα
Ελαφρά Βροχή / Χιόνι	3% - 13%	2% - 13%	5% - 10%	4% - 11%
Υψηλή Βροχόπτωση	3% - 16%	6% - 17%	14%	10% - 30%
Υψηλή Χιονόπτωση	5% - 40%	5% - 64%	30% - 44%	12% - 27%
Χαμηλή Ορατότητα	10% - 12%	-	-	12%

**Πίνακας 2-3 (FHWA, 2023)**



Επιρροή της Βροχόπτωσης σε Συνθήκες Ελεύθερης Ροής Οχημάτων

Μία έρευνα που έγινε από τους Smith et al (2003) διερευνά την επιρροή της βροχόπτωσης, με διάφορα επίπεδα έντασης, σε συνθήκες ελεύθερης ροής και λειτουργικών ταχυτήτων. Τα δεδομένα της μελέτης παρήχθησαν από την περιοχή Hampton Roads της Βιρτζίνια. Τα ευρήματα συνοψίζονται παρακάτω:

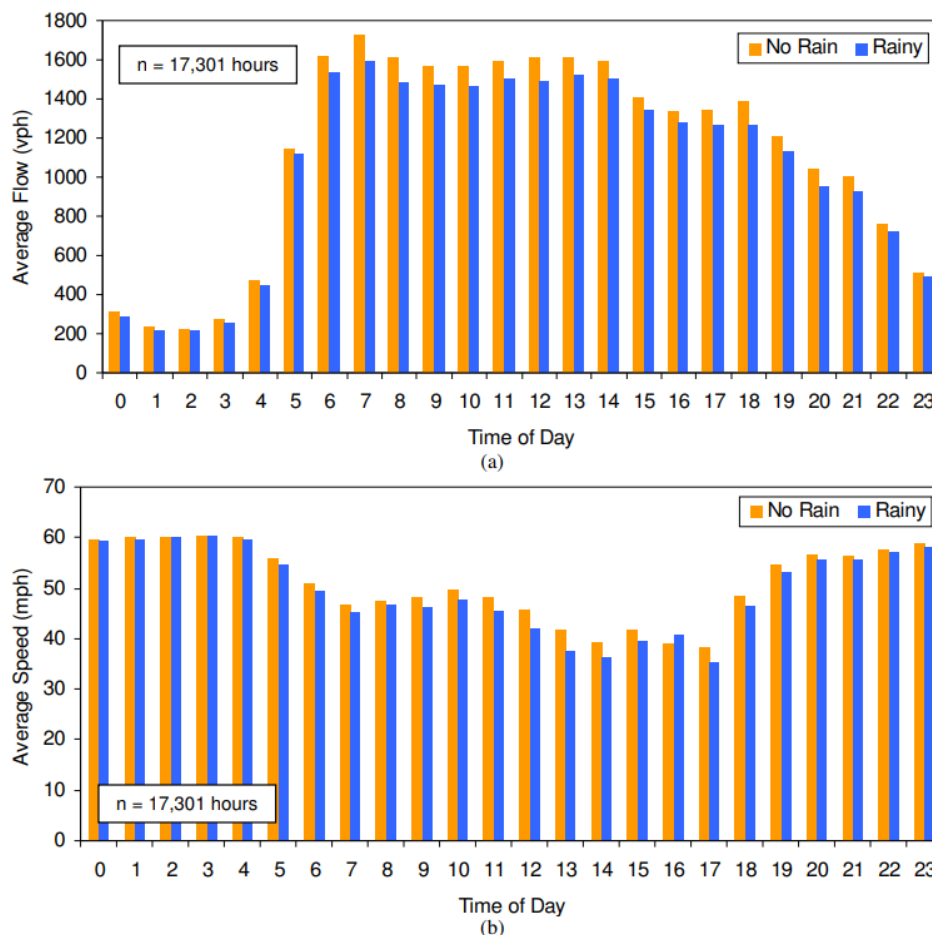
- Ελαφριά Βροχή (0.254-6.35 mm/h) μειώνει την κυκλοφοριακή ικανότητα 4-10 %
- Υψηλή Ένταση (6.35 mm/h και πάνω) μειώνει την κυκλοφοριακή ικανότητα 25-30 %
- Η παρουσία της βροχής, ανεξαρτήτου έντασης, έχει ως αποτέλεσμα μείωση περίπου 5.0 – 6.5 % στις λειτουργικές ταχύτητες.

Επίσης μία εμπειρική ανάλυση της επιρροής της βροχής στις κυκλοφορικές παραμέτρους έγινε από τους Saberi & Bertini το 2010. Σε αυτήν την έρευνα περιεγράφηκε μία ανάλυση της ωριαίας βροχής και των κυκλοφορικών παραμέτρων (ταχύτητα και φόρτος) σε διάφορες περιοχές βορείως του Interstate 5 του Portland. Με στόχο να αναλυθούν ταυτόχρονα ο καιρός και οι κυκλοφοριακές παράμετροι, χρησιμοποιήθηκαν 3 πηγές: δεδομένα από ωριαία βροχή, κυκλοφοριακά δεδομένα ανά 20 δευτερόλεπτα και καταγεγραμμένα συμβάντα. Στον πίνακα 2-4 παρουσιάζονται οι κατηγορίες της βροχόπτωσης σε σχέση με τον αριθμό παρατηρήσεων.

Συνθήκες Βροχής	Ένταση (mm/hr)	Συνολικές Ώρες	Ποσοστό Παρατηρήσεων	Ώρες Επηρεασμένες από συμβάντα	Ποσοστό Παρατηρήσεων
<b>Σύνολο</b>		17301	100	2336	100
<b>No Rain</b>	0	15402	89	2013	86
<b>Rain</b>		1899	11	323	14
<b>Πολύ Ελαφριά</b>	< 0.25	692	4	90	4
<b>Ελαφριά</b>	0.25 – 1	709	4	137	6
<b>Μέτρια</b>	1 - 4.05	459	3	88	4
<b>Έντονη</b>	> 4.05	39	0	8	0

**Πίνακας 2-4 Κατηγορίες βροχόπτωσης σε σχέση με τον αριθμό των παρατηρήσεων (Saberi & Bertini, 2010)**

Στα παρακάτω διαγράμματα της εικόνας 2-15 παρουσιάζεται η μείωση και του κυκλοφοριακού φόρτου αλλά και της ταχύτητας σε συνθήκες βροχής.



**Εικόνα 2-15 Μείωση Κυκλοφοριακών Μεγεθών σε συνθήκες βροχής (Saberi & Bertini, 2010)**

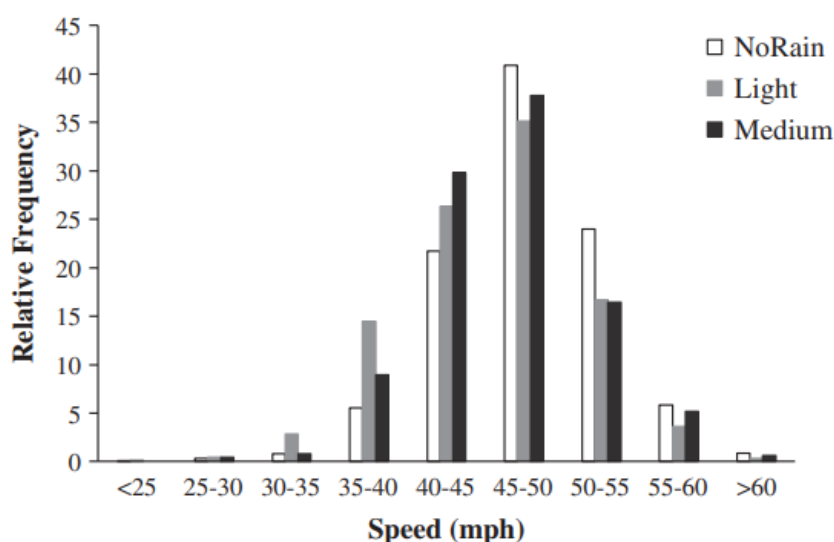
Ανάλυση της επίδρασης της έντασης της βροχόπτωσης στους διαχωρισμούς και τις ταχύτητες σε συνθήκες φάλαγγας

Οι Rahman and Lownes ερεύνησαν την επίδραση της βροχόπτωσης στη συμπεριφορά των οδηγών σε συνθήκες φάλαγγας αναλύοντας τις διαφορές στους χρονικούς διαχωρισμούς, τη ταχύτητα, και την ακολουθούμενη απόσταση μεταξύ συνθηκών βροχόπτωσης και μη, σε επαρχιακή οδό 2 λωρίδων. Η μειωμένη ορατότητα λόγω της παρουσίας νερού, χιονιού, ή ομίχλης στον ανεμοθώρακα (παρμπρίζ) του οχήματος (Morris et al (1977)) μειώνει το διαθέσιμο άνοιγμα και συνεπώς αυξάνει την αβεβαιότητα της παρουσίας και της συμπεριφορά των άλλων οχημάτων στην οδό (Van der Hulst et al (1999)). Η αυξημένη ολισθηρότητα που έρχεται μέσω της μείωσης της διατιθέμενης τριβής του οδοστρώματος, το οποίο επίσης δείχνει μία αύξηση στον κίνδυνο ατυχήματος (Kokkalis & Panagouli (1999)). Στον Πίνακα 2-5 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση της βροχόπτωσης ανάλογα με την έντασης της:

Ένταση (mm/h)	Smilth et al (2004)	Saberi & Bertini (2010)	American Meteorological Association (AMS)
Πολύ Ελαφριά	-	< 0.25	-
Ελαφριά	0.25 - 6.35	0.25 – 1	< 2.5
Μέτρια	-	1 - 4.05	2.6 -7.6
Έντονη	> 6.35	> 4.05	7.6

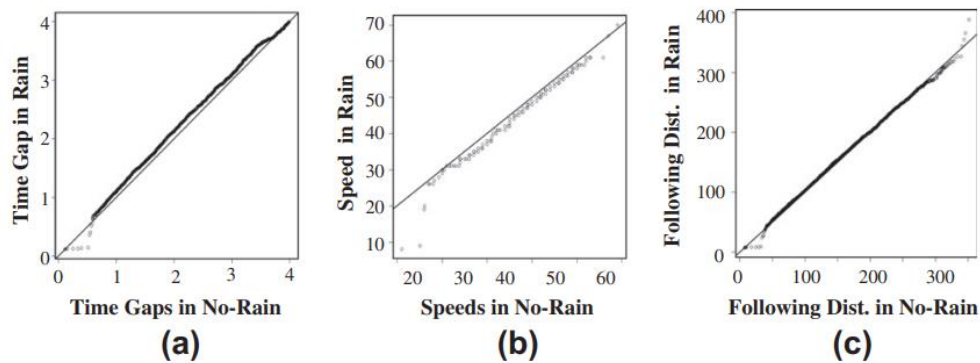
**Πίνακας 2-5 Κατηγοριοποίηση Βροχόπτωσης συναρτήσει έντασης (Kokkalis & Panagouli, 1999)**

Η συλλογή των κυκλοφοριακών δεδομένων έγινε στο Route 195 (Storrs Road) στο Mansfield, Connecticut. Πρόκειται για οδό 2 λωρίδων κυκλοφορίας με λίγες προσβάσεις. Αυτή η περιοχή έχει όριο ταχύτητας τα 72.5 km/h (45 mph) και ευρύ έρεισμα. Η οδός δεν έχει έντονα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ούτε οριζοντιογραφικά ούτε μηκοτομικά. Ένας αυτόματος καταγραφέας οχημάτων με φωρατές εγκαταστάθηκε στην περιοχή μελέτης και σύλλεγε 24 ώρες ανά ημέρα για περίπου 4 μήνες, από τον Μάιο 2009 έως τον Οκτώβριο 2009. Τα δεδομένα του καιρού συλλέχθηκαν από τον κοντινότερο μετεωρολογικό σταθμό περίπου 2 miles (3.2 km) από την περιοχή εγκατάστασης του φωρατή. Ο σταθμός έδινε δεδομένα βροχόπτωση (in) και ένταση βροχόπτωσης (mm/h) σε διαστήματα των 5 min. Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκε το σύστημα κατηγοριοποίησης του AMS. Προηγούμενη βιβλιογραφία δείχνει ότι η οδηγική συμπεριφορά και επίδοση μπορεί να διαφέρει την ημέρα και τη νύχτα (Ivey et al (1975)) και όταν μειώνεται η ορατότητα τότε και η ταχύτητα μειώνεται (Liang et al 1998). Συνεπώς, στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα σε συνθήκες ημέρας. Επίσης τα δεδομένα που εξήχθησαν ήταν στο διάστημα Δευτέρα έως Παρασκευή, για να μειώσει την πιθανότητα αλλοίωσης του σκοπού της μετακίνησης.



**Εικόνα 2-16 Κατανομή συχνότητας ταχυτήτων συναρτήσει έντασης βροχής**

Συγκεντρικά Αποτελέσματα				
Παράμετρος	Καιρός	Μέσος	Ελάχιστο	Μέγιστο
Time Gap	No – Rain	1,971	0,113	3,993
	Rain	2,083	0,119	3,997
Speed	No – Rain	47,0	21,0	69,0
	Rain	45,3	8,0	70,0



**Εικόνα 2-17 Συσχέτιση Κυκλοφοριακών Μεγεθών**

Οι μετρήσεις έδειξαν ότι οι οδηγοί μειώνουν τη ταχύτητα τους σε συνθήκες βροχής. Κάποιοι από αυτούς τους οδηγούς, οι επικεφαλής της φάλαγγας, το κάνουν από επιλογή. Οι ακολουθούντες της φάλαγγας έχουν επιλογή της ταχύτητας που τους υπαγορεύεται έως ένα βαθμό. Αυτή η μείωση της ταχύτητας οδήγησε σε αύξηση των χωρικών διαχωρισμών, ωστόσο φάνηκε ότι οι οδηγοί επιλέγουν να μην αυξήσουν την απόσταση με το προπορευόμενο όχημα σε συνθήκες βροχής.

Εν συνεχεία θα γίνει παρουσίαση μία σειρά από κανονισμούς στο θέμα της ασθενούς απορροής ομβρίων υδάτων.

## 2.5 Οδηγίες Σχεδιασμού Οδών

Γενικά, στις υφιστάμενες οδηγίες μελετών, το φαινόμενο της υδρολίσθησης δεν αναλύεται επαρκώς, αλλά περιορίζονται στον εντοπισμό περιοχών με ασθενή απορροή ομβρίων.

Στα εδάφια που ακολουθούν, θα εξεταστεί η υφιστάμενη πρακτική αναφορικά με την απορροή ομβρίων. Συγκεκριμένα θα εξεταστούν οι οδηγίες AASHTO 2018, RAA 2008, RAL 2012, Ισπανικές Οδηγίες NORMA 3.1-IC de la Instrucción de carreteras 2016 και οι ΟΜΟΕ 2001.

### 2.5.1 AASHTO (2018)

Στις Αμερικάνικες Οδηγίες Σχεδιασμού Οδών και ειδικότερα στα κεφάλαια 3-10 του AASHTO αλλά και το AASHTO Drainage Manual 2000 περιγράφονται και αναλύονται οι παράμετροι σχεδιασμού αναφορικά με τις κατά μήκος κλίσεις και επικλίσεις που είναι καθοριστικές για τη δυναμική συμπεριφορά των οχημάτων αλλά και για την επαρκή απορροή των υδάτων στην επιφάνεια του οδοστρώματος.

Υπάρχουν ανώτερα όρια στην τιμή της επίκλισης σε μία οριζοντιογραφική καμπύλη. Αυτά τα όρια σχετίζονται με παραδοχές στις καιρικές συνθήκες, στην κατασκευασσιμότητα, στις παρακείμενες χρήσεις γης και στη συχνότητα των οχημάτων χαμηλής ταχύτητας. Αν το χιόνι και ο πάγος είναι παράγοντες σχεδιασμού, τότε η μέγιστη επίκλιση δεν θα πρέπει να ξεπερνά την τιμή την οποία τα οχήματα που είναι ακίνητα ή κινούνται με μικρή ταχύτητα δυνητικά μπορεί να ολισθήσουν προς το κέντρο της καμπύλης όταν στο οδόστρωμα υπάρχει παρουσία χιονιού.

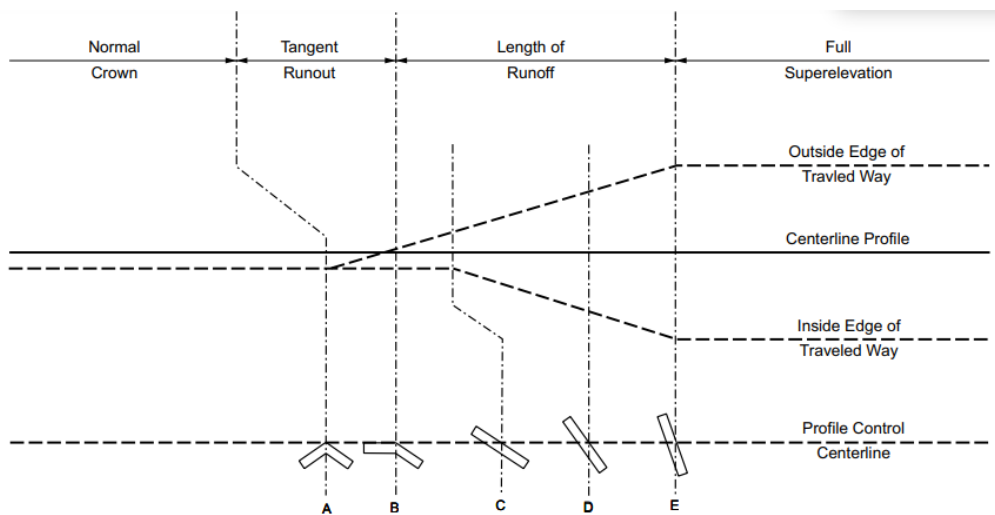
Η επιλογή των παραπάνω παραγόντων δεν οδηγεί σε μία μονοσήμαντη τιμή της μέγιστης επίκλισης. Ωστόσο είναι επιθυμητό για λόγους συνέχειας γενικά να εφαρμόζονται κοινές τιμές επικλίσεων σε περιοχές με ίδιες αναμενόμενες λειτουργικές ταχύτητες και κοινά κλιματολογικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Η μέγιστη επίκλιση στις υπεραστικές οδούς είναι συνήθως 10 %, ενώ 12 % επιλέγεται σε κάποιες περιπτώσεις. Οι επικλίσεις άνω του 8 % χρησιμοποιούνται μόνο σε περιοχές που δεν υπάρχει κίνδυνος χιονιού ή πάγου. Ωστόσο υψηλότερες τιμές προσφέρουν το πλεονέκτημα της αύξησης των ταχυτήτων για δεδομένη τιμή της ακτίνας του κυκλικού τόξου. Γενικά 8 % είναι αναγνωρισμένο ως το μέγιστο ποσοστό της επίκλισης. Μία σειρά από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν προσδιόρισαν το συντελεστή τριβής του πάγου είναι από 0.05 έως 0.2, αναλόγως με την μορφή του πάγου. Πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε χαλαρό αλλά και σε πεπιεσμένο χιόνι δίνουν συντελεστές τριβής από 0.2 έως 0.4. Οι μικρότερες τιμές των συντελεστών συμβαίνουν όταν σχηματιστεί ένα λεπτό στρώμα πάγου σε θερμοκρασίες περίπου -1°C και με τη ταυτόχρονη παρουσία του νερού. Επίσης μικρές τιμές των συντελεστών μπορεί να εμφανιστούν σε περιοχές με φερτά στερεά υλικά στην επιφάνεια του οδοστρώματος και σε συνδυασμό με τις υψηλές ταχύτητες αλλά και το ύψος του νερού υπάρχει η περίπτωση η εμφάνιση του φαινομένου της υδρολίσθησης. Γι' αυτό το λόγο κάποιοι οργανισμοί έχουν υιοθετήσει ως μέγιστο ποσοστό επίκλισης το 8 %.

Υπάρχουν 4 μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη μεταβολή των επικλίσεων. Ο άξονας περιστροφής μπορεί να βρίσκεται:

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

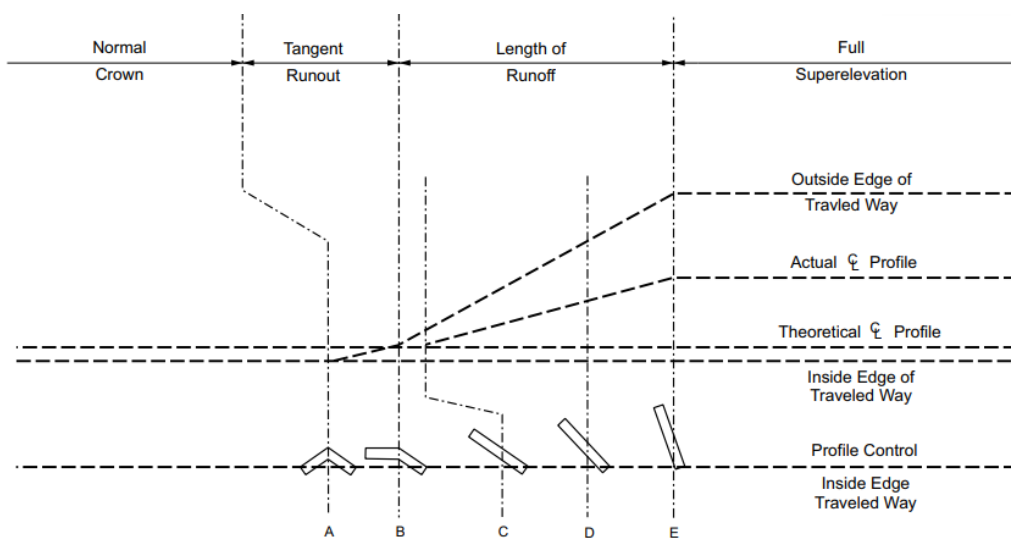
- 1) Κέντρο του οδοστρώματος (αμφικλινές)
- 2) Στην εσωτερική οριογραμμή του οδοστρώματος (αμφικλινές)
- 3) Στην εξωτερική οριογραμμή του οδοστρώματος (αμφικλινές)
- 4) Στην εξωτερική οριογραμμή του οδοστρώματος (μονοκλινές)

Στις παρακάτω εικόνες (2-18) παρουσιάζονται οι 4 μέθοδοι:



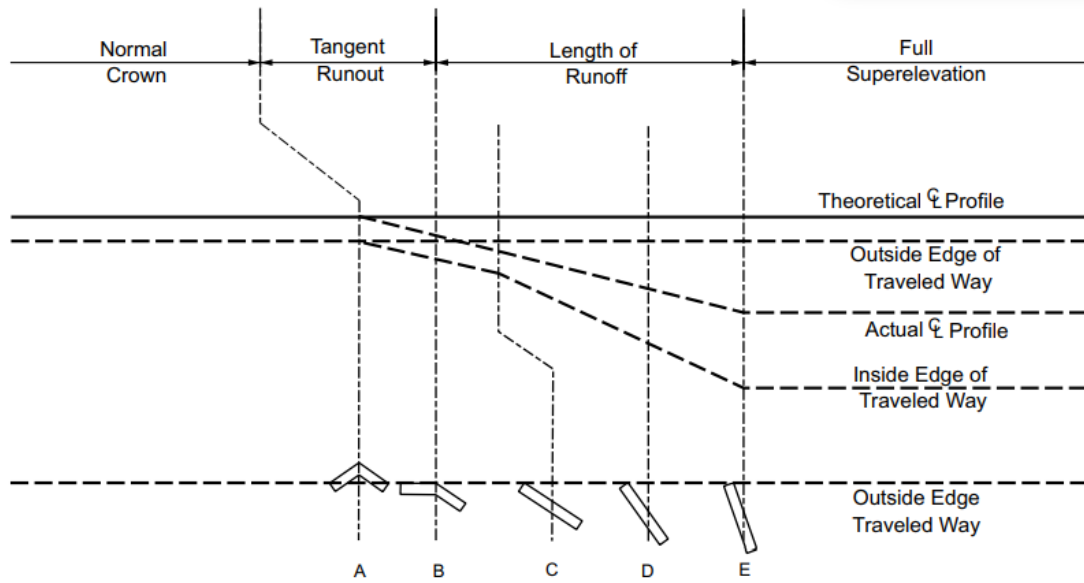
Crowned  
Traveled Way Revolved about Centerline

- A -



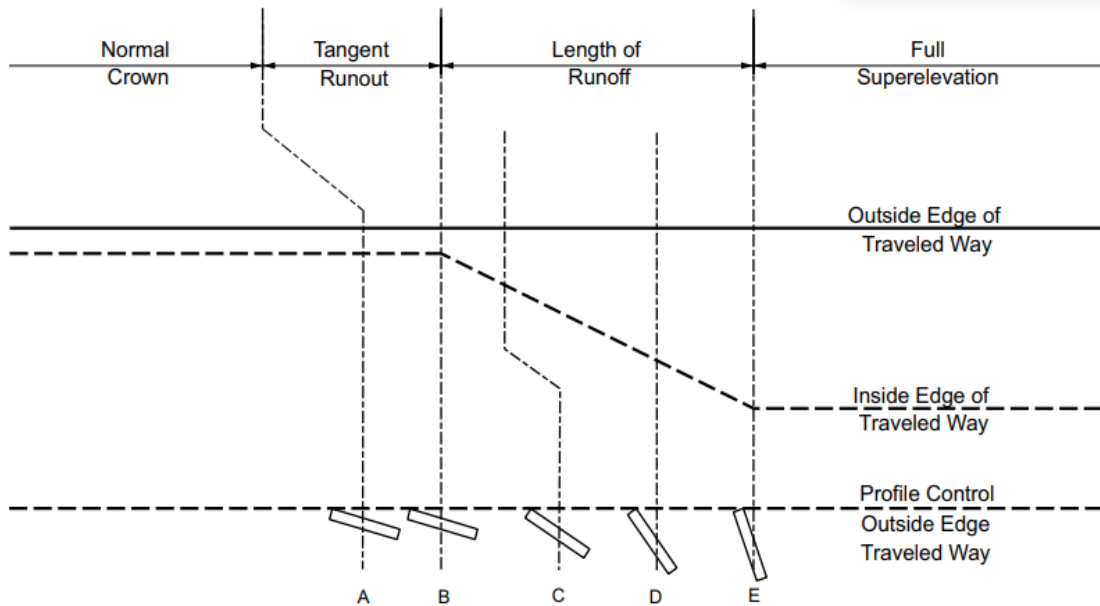
Crowned  
Traveled Way Revolved about Inside Edge

- B -



Crowned  
Traveled Way Revolved about Outside Edge

- C -



Straight Cross Slope  
Traveled Way Revolved about Outside Edge

- D -

Εικόνα 2-18 - Αλλαγή Επίκλισης στις Συναρμογές

Στη πρώτη μέθοδο, σχήμα 2-18 1A, έχουμε περιστροφή του οδοστρώματος περί το μέσο του. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως επειδή η μεταβολή του ύψους στην οριογραμμή της λωρίδας κυκλοφορίας επιτυγχάνεται με μικρότερη στρέβλωση σε σχέση με τις άλλες μεθόδους. Έτσι η αλλαγή στα υψόμετρα γίνεται σε κάθε οριογραμμή.

Στη δεύτερη μέθοδο, σχήμα 1B, έχουμε περιστροφή του οδοστρώματος περί την εσωτερική οριογραμμή (αμφικλινές). Σε αυτή τη περίπτωση η μηκοτομή της εσωτερικής οριογραμμής υπολογίζεται ως μία γραμμή παράλληλη στη μηκοτομή αναφοράς. Το ένα μισό της αλλαγής γίνεται αυξάνοντας τη μηκοτομή του άξονα σε σχέση με την εσωτερική οριογραμμή, ενώ το υπόλοιπο μισό αυξάνοντας τη μηκοτομή της εξωτερικής οριογραμμής ένα ίσο ποσό σε σχέση με την μηκοτομή του άξονα.

Στη τρίτη μέθοδο, σχήμα 1C, έχουμε περιστροφή του οδοστρώματος περί την εξωτερική οριογραμμή. Αυτή η μέθοδος είναι παρόμοια με την δεύτερη αλλά με την εξαίρεση ότι η αλλαγή του υψομέτρου επιτυγχάνεται μέσω της εξωτερικής και όχι της εσωτερικής οριογραμμής.

Στη τέταρτη μέθοδο, σχήμα 1D, έχουμε περιστροφή του μονόκλινούς οδοστρώματος, σε οδό δύο λωρίδων μονής κατεύθυνσης περί την εξωτερική οριογραμμή του.

### Έλεγχος Ικανοποιητικής Απορροής Ομβρίων

Δύο δυνητικά προβλήματα στην επιφάνεια του οδοστρώματος μπορεί να παρουσιαστούν όσον αφορά την περιοχή του τόξου συναρμογής. Το ένα πρόβλημα σχετίζεται με την μειωμένη κατά μήκος κλίση. Δηλαδή στις περιπτώσεις στις οποίες το αλγεβρικό άθροισμα μεταξύ κλίσης άξονα περιστροφής οδοστρώματος και πρόσθετης κλίσης οριογραμμής αναφοράς είναι μικρότερο του 0.5%, πιθανόν να εμφανίζονται περιοχές ασθενούς απορροής ομβρίων. Το άλλο δυνητικό πρόβλημα που μπορεί να εμφανιστεί είναι η ανεπάρκεια εγκάρσιας απορροής ομβρίων λόγω μηδενικών επικλίσεων. Το πρόβλημα αυτό συμβαίνει στο τόξο συναρμογής όπου η επίκλιση της εξωτερικής οριογραμμής από την αρνητική τιμή που έχει στην ευθυγραμμία μεταβαίνει σε θετικές τιμές στην περιοχή του κυκλικού τόξου. Αυτό το μήκος της συναρμογής περιλαμβάνει ένα tangent runout section και ένα μήκος του runoff section. Μέσα σε αυτό μήκος, η επίκλιση του οδοστρώματος μπορεί να μην είναι επαρκής ώστε να απομακρύνει με τρόπο αποτελεσματικό τα όμβρια ύδατα εγκάρσια. Δύο τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα. Η πρώτη λύση είναι η εφαρμογή υποχρεωτικής ελάχιστης τιμής κατά μήκος κλίσης στις περιοχές της συναρμογής. Η δεύτερη λύση είναι η εφαρμογή υποχρεωτικής ελάχιστης κλίσης στην περιοχή της τόξου συναρμογής. Και οι 2



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν κατά το σχεδιασμό με την χρήση των παρακάτω κανόνων:

- 1) Ελάχιστη κατά μήκος κλίση 0.5 % σε όλο το τμήμα της συναρμογής
- 2) Ελάχιστη κλίση της οριογραμμής ίση με 0.2 % (0.5 % για οδούς με κράσπεδο) μέσα στην περιοχή της συναρμογής

Το δεύτερο κριτήριο είναι ισοδύναμο με την ακόλουθη σειρά εξισώσεων που συσχετίζουν την κατά μήκος κλίση και την πρόσθετη κλίση οριογραμμής. Για το μετρικό σύστημα έχουμε:

$$G \leq -\Delta^* - 0.5 \quad (2-22)$$

$$G \geq -\Delta^* + 0.5 \quad (2-23)$$

$$G \leq \Delta^* - 0.5 \quad (2-24)$$

$$G \geq \Delta^* + 0.5 \quad (2-25)$$

όπου:

$$\Delta^* = \frac{(w \cdot n_l) \cdot e_d}{L_r} \quad (2-26)$$

$G$  = η κατά μήκος κλίση ως ποσοστό

$\Delta^*$  = πρόσθετη κλίση οριογραμμής

$w$  = πλάτος της μίας λωρίδας κυκλοφορίας (συνήθως 3.6 m)

$n_l$  = ο αριθμός των λωρίδων που περιστρέφονται

$e_d$  = η επίκλιση σχεδιασμού ως ποσοστό

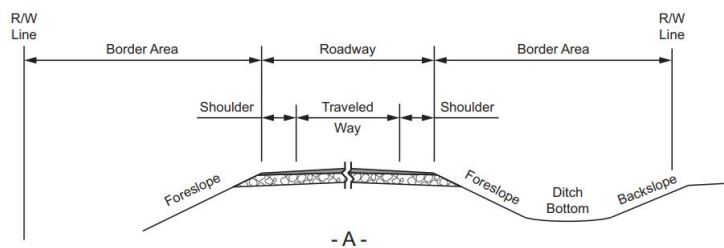
$L_r$  = το μήκος του τόξου συναρμογής που απαιτείται για τη μετάβαση από μηδενική επίκλιση στην επίκλιση του κυκλικού τόξου (αναφέρεται ως runoff length στη βιβλιογραφία και τους κανονισμούς) σε περίπτωση καμπύλης της μορφής Ευθυγραμμία – Τόξο Συναρμογής – Κυκλικό Τόξο

Η τιμή του  $G$  σε 0.2 δείχνει την ελάχιστη κλίση της οριογραμμής οδοστρώματος για οδούς χωρίς κράσπεδο (εκφράζεται ως ποσοστό). Εάν αυτή η εξίσωση χρησιμοποιείται για οδούς με κράσπεδο, η τιμή του 0.2 πρέπει να αντικατασταθεί με την τιμή 0.5. Για να αποτυπωθεί τη συνδυασμένη χρήση αυτών των 2 κριτηρίων, θεωρούμε μία καμπύλη μίας οδού χωρίς κράσπεδο έχοντας μέγιστη πρόσθετη κλίση 0.65 % στη περιοχή της συναρμογής. Το πρώτο κριτήριο αποκλείει τις κλίσεις μεταξύ -0.5 και 0.5 %. Το δεύτερο κριτήριο αποκλείει τις κλίσεις

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

μεταξύ  $-0.85$  και  $-0.45$  % (μέσω των δύο πρώτων όρων της εξίσωσης) και το διάστημα  $0.45$  έως  $0.85$  (μέσω των δύο τελευταίων όρων της εξίσωσης). Δεδομένου ότι η αλληλοεπικάλυψη μέσω των κριτηρίων 1 και 2 η κατά μήκος κλίση στην περιοχή της συναρμογής πρέπει να είναι εκτός του διαστήματος  $-0.85$  έως  $0.85$  ώστε να ικανοποιούνται και τα 2 κριτήρια και να υπάρχει επαρκής απορροή ομβρίων.

Η απορροή των ομβρίων όσο στην επιφάνεια του οδοστρώματος, όσο και στα πρανή που δημιουργούνται είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος σχεδιασμού. Ανεπαρκής απορροή μπορεί να οδηγήσει σε υψηλά κόστη συντήρησης και σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα όσον αφορά τις λειτουργικές συνθήκες που επικρατούν. Στις περιοχές που η χιονόπτωση είναι σημαντική παράμετρος, οι οδοί θα πρέπει να σχεδιάζονται με επαρκή χώρο έξω από το χώρο κυκλοφορίας για το συγκεντρωμένο χιόνι αλλά και για την καλύτερη απορροή του όταν λιώσει. Περισσότερες και πιο αναλυτικές πληροφορίες υπάρχουν στο AASHTO Drainage Manual.



**Εικόνα 2-19 - Τυπική Διατομή**

Οι κλίσεις στις οδούς κατοικημένων περιοχών πρέπει να παραμένουν σε επίπεδα, όπου θα υπάρχει ομοιογένεια με το παρακείμενο περιβάλλον και δε θα πρέπει να ξεπερνούν το  $15$  %. Όπου η κλίση είναι μεγαλύτερη του  $4$  % τότε ο σχεδιασμός συστήματος απορροής γίνεται ολοένα και πιο κρίσιμος. Οδοί με ταχύτητες μεγαλύτερες των  $70$  km/h έχουν μεγαλύτερο κίνδυνο για υδρολίσθηση. Πρόσθετες σχάρες για την απορροή των ομβρίων πρέπει να τοποθετούνται σε κοίλες καμπύλες, ώστε να αποφευχθεί το 'λίμνασμα' των υδάτων στις περιοχές που η κλίση είναι σχεδόν μηδενική και υπάρχει κίνδυνος η παροχή σχεδιασμού να είναι μικρότερη από την απαιτούμενη λόγω της βροχόπτωσης.

### Μήκος Μεταβολής της Επίκλισης

Σύμφωνα με τον AASHTO η μεταβολή της επίκλισης, όπως προαναφέρθηκε, γίνεται σε 2 φάσεις. Το πρώτο μήκος που ονομάζεται length of tangent runout και το δεύτερο length of runoff.

Ευθυγραμμία – Κυκλικό Τόξο

Στην περίπτωση που δεν υπάρχει τόξο συναρμογής για τη σύνδεση της ευθυγραμμίας με το κυκλικό τόξο η μεταβολή της επίκλισης πρέπει να γίνει στην περιοχή της αλλαγής.

Το length of runoff υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$L_r = \frac{(w \cdot n_l) \cdot e_d}{\Delta} \cdot (b_w) \quad (2-27)$$

Όπου το  $b_w$  είναι συντελεστής προσαρμογής λόγω του αριθμού των λωρίδων που περιστρέφονται και επιλέγεται σύμφωνα με την Εικόνα 2-20.

U.S. Customary			Metric		
Number of Lanes Rotated, $n_l$	Adjustment Factor, $b_w$	Length Increase Relative to One-Lane Rotated, ( $= n_l \cdot b_w$ )	Number of Lanes Rotated, $n_l$	Adjustment Factor, $b_w$	Length Increase Relative to One Lane Rotated, ( $= n_l \cdot b_w$ )
1	1.00	1.0	1	1.00	1.0
1.5	0.83	1.25	1.5	0.83	1.25
2	0.75	1.5	2	0.75	1.5
2.5	0.70	1.75	2.5	0.70	1.75
3	0.67	2.0	3	0.67	2.0
3.5	0.64	2.25	3.5	0.64	2.25

One Lane Rotated	Two Lanes Rotated	Three Lanes Rotated

\*  $b_w = [1 + 0.5(n_l - 1)]/n_l$

**Εικόνα 2-20 - Συντελεστής  $b_w$**

Το length of tangent of runoff υπολογίζεται ως εξής:

$$L_t = \frac{e_{NC}}{e_d} \cdot L_r \quad (2-28)$$

Η συνήθης πρακτική είναι μερισμός του runoff length μεταξύ της ευθυγραμμίας και του κυκλικού τόξου και την αποφυγή τοποθέτησης του εξ ολοκλήρου είτε στην ευθυγραμμία είτε στο κυκλικό τόξο. Με την μέγιστη τιμή της επίκλισης να επιτυγχάνεται στο PC (Point of Curvature) το runoff βρίσκεται στην ευθυγραμμία, όπου θεωρητικά δεν χρειάζεται η επίκλιση. Από την άλλη πλευρά, η

τοποθέτηση του runoff εξ ολοκλήρου στο κυκλικό τόξο έχει ως αποτέλεσμα ότι στο αρχικό τμήμα του του τόξου θα υπάρχει επίκλιση λιγότερη από την απαιτούμενη. Και οι 2 επιλογές εξαρτώνται από την μέγιστη κεντρομόλο επιτάχυνση που επιλέγεται για τον σχεδιασμό. Η εμπειρία δείχνει ότι η τοποθέτηση ενός μέρους του runoff στην ευθυγραμμία πριν το PC είναι επιθυμητό, με στόχο να μειωθεί η μέγιστη κεντρομόλος επιτάχυνση και του απαιτούμενου συντελεστή τριβής. Το μέγεθος του απαιτούμενου πλευρικού συντελεστή τριβής μπορεί να διαφέρει στην περιοχή του runoff από την πραγματική πορεία του οχήματος. Παρατηρήσεις δείχνουν ότι οι ίδιοι οι οδηγοί ακολουθούν μία πορεία που προσεγγίζει την κλωθοειδή καμπύλη, έχοντας ως αποτέλεσμα την μείωση της πλευρικής επιτάχυνσης κατά 50% σε σχέση με το κυκλικό τόξο. Πολλές έρευνες δείχνουν ότι το μήκος αυτής της φυσικής κίνησης κυμαίνεται από 2 έως 4 sec, ωστόσο αυτό το μήκος εξαρτάται από το πλάτος της λωρίδας και την παρουσία των άλλων οχημάτων. Για να επιτευχθεί μία ισορροπία στην πλευρική επιτάχυνση οι περισσότεροι οργανισμοί προτείνουν ένα μήκος του runoff να τοποθετείται στην ευθυγραμμία και το υπόλοιπο στην καμπύλη. Προτείνεται το ποσοστό του runoff στην ευθυγραμμία να κυμαίνεται από 50 έως 80 % με την πλειοψηφία των οργανισμών να χρησιμοποιούν το 67 %.

#### Ευθυγραμμία – Τόξο Συναρμογής – Κυκλικό Τόξο

Στην περίπτωση που υπάρχει τόξο συναρμογής μεταξύ ευθυγραμμίας και κυκλικού τόξου προτείνεται το superelevation runoff να τοποθετείται εξ ολοκλήρου στο τόξο συναρμογής.

Το ελάχιστο μήκος της κλωθοειδούς καμπύλης υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$L_{s,min} = \max \left\{ \sqrt{24 \cdot p_{min} \cdot R}, 0.0214 \cdot \frac{V^3}{R \cdot C} \right\} \quad (2-29)$$

Όπου:

$p_{min}$ : το ελάχιστο  $\Delta R$  μεταξύ κυκλικού τόξου και ευθυγραμμίας (0.2 m)

R: η ακτίνα του κυκλικού τόξου (m)

V: η ταχύτητα σχεδιασμού σε km/h

C: ο μέγιστος ρυθμός αλλαγής της πλευρικής επιτάχυνσης (1.2 m/s<sup>2</sup>)

Το μέγιστο μήκος της κλωθοειδούς καμπύλης υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$L_{s,max} = \sqrt{24 \cdot p_{max} \cdot R} \quad (2-30)$$

Όπου:

$p_{max}$ =1 m.

## 2.5.2 Γερμανικές Οδηγίες RAL (2012), RAA (2008)

### RAL 2012

Με την παρουσίαση των Γερμανικών Οδηγιών για το Σχεδιασμό Υπεραστικών οδών RAL 2012, πραγματοποιήθηκε μια ριζική αλλαγή στην φιλοσοφία προσδιορισμού βασικών γεωμετρικών μεγεθών για τη χάραξη υπεραστικών Οδών. Από τα βασικότερα είναι η κατάργηση της πληθώρας ταχυτήτων και ο προσδιορισμός μια συγκεκριμένης επιτρεπόμενης ταχύτητας κίνησης σε υπεραστικά οδικά δίκτυα. Αυτό το βήμα είχε ως άμεσο αποτέλεσμα να διαφοροποιηθούν οι διαδικασίες για την επιλογή μιας τυπικής διατομής. Πλέον η τυπική διατομή είναι προκαθορισμένη για κάθε κλάση μελέτης, γεγονός που διευκολύνει μέγιστα το μελετητή.

**Οδοί των κλάσεων μελέτης EKL 1** είναι οδοί τριών λωρίδων κυκλοφορίας με χαρακτηριστική διατομή την RQ 15,5. Στους κόμβους συνδέονται ισόπεδα αλλά και ανισόπεδα. Το οδόστρωμα τους είναι ενιαίο. Από την διαρκή εναλλαγή τμημάτων μιας ή δύο λωρίδων κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση παρέχεται ασφαλής δυνατότητα προσπέρασης η οποία ανέρχεται το 40 %.

Οδοί των EKL 1 συνίσταται / θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά από μηχανοκίνητα οχήματα εξαιρουμένων των αντίστοιχων αγροτικών. Οχήματα αγροτικής χρήσης και μη μηχανοκίνητα οχήματα θα οδηγούνται σε ξεχωριστό δίκτυο. Προβλέπεται ισόπεδη σύνδεση των οδών που ανήκουν στην ίδια κλάση. Λόγω της χρήσης του δικτύου και τις μεγάλες έως πολύ μεγάλες αποστάσεις που διανύονται σε αυτό, συνίσταται ταχύτητα μελέτης 110 km/h. Γι' αυτό τον λόγο οι δύο κατευθύνσεις χωρίζονται μέσω συνεχόμενης διαχωριστικής γραμμής.

**Οδοί των κλάσεων μελέτης EKL 2** είναι οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας χαρακτηριστική διατομή την RQ 11,5+, στις οποίες κατασκευάζονται κατά τμήματα λωρίδες προσπέρασης και για τις δυο κατευθύνσεις. Αυτό γίνεται με σκοπό η διαδικασία προσπέρασης να πραγματοποιείται σε ελεγχόμενα τμήματα και να αποφεύγεται η χρήση της αντίθετης λωρίδας για την διαδικασία της προσπέρασης. Και οι δυο κατευθύνσεις κυκλοφορίας είναι στα τμήματα των τριών λωρίδων πάντα, οι οποίες χωρίζονται μεταξύ τους μέσω διπλής συνεχόμενης διαχωριστικής γραμμής. Η εφαρμογή διπλής συνεχόμενης διαχωριστικής γραμμής ισχύει και για τα τμήματα δυο λωρίδων, όπου λόγου μεγάλης επικινδυνότητας, θα πρέπει να απαγορευτεί η προσπέραση. Στα υπόλοιπα τμήματα οι δυο διαφορετικές κατευθύνσεις χωρίζονται μέσω διπλών διακεκομμένων διαχωριστικών γραμμών.

Η διαδικασία προσπέρασης είναι ασφαλής όταν υπάρχει δυνατότητα κατασκευής και τρίτης λωρίδας. Γι' αυτό συνίσταται να παρέχεται αυτή η δυνατότητα στο 20% του συνολικού τμήματος. Προφανώς μεγαλύτερο ποσοστό δυνατότητας προσπέρασης συμβάλει στην ασφάλεια της κυκλοφορίας και την ποιότητα κυκλοφοριακής ροής. Εάν δεν μπορεί να σχεδιαστεί επιπλέον λωρίδα, θα πρέπει να ελεγχθεί (ιδιαίτερα σε επαρκή μήκη ορατότητας) η δυνατότητα χρήσης της αντίθετης λωρίδας κυκλοφορίας για την προσπέραση. Σε τμήματα, όπου δεν υπάρχουν επαρκή μήκη ορατότητας, η προσπέραση θα πρέπει να απαγορεύεται.

Σε δρόμους της EKL 2 συνίσταται η εκτροπή των οχημάτων αγροτικής χρήσης, μέσω άλλων διαδρομών. Μη μηχανοκίνητα οχήματα δεν θα πρέπει να κινούνται σε αυτά τα τμήματα αλλά σε ειδικές διαμορφωμένες ανεξάρτητες οδεύσεις (π.χ. ποδηλατόδρομοι).

Λόγω της χρήσης του δικτύου και τις μεγάλες έως πολύ μεγάλες αποστάσεις που διανύονται σε αυτό, συνίσταται ταχύτητα μελέτης 100 km/h. Γι' αυτό οι δύο κατευθύνσεις χωρίζονται μέσω συνεχόμενης διαχωριστικής γραμμής.

Σύνδεση με οδούς της ίδιας κατηγορίας θα πρέπει να πραγματοποιείται με κόμβους ή μέσω φωτεινούς σηματοδότες.

**Οδοί των κλάσεων μελέτης EKL 3** είναι οδοί 2 λωρίδων κυκλοφορίας με χαρακτηριστική διατομή την RQ 11. Οι λωρίδες κυκλοφορίας διαχωρίζονται μέσω οριζόντιας διαχωριστικής σήμανσης κατευθύνσεων, όπου επιτρέπεται η προσπέραση, εάν το επιτρέπουν τα γεωμετρικά και κυκλοφοριακά χαρακτηριστικά κάθε φορά. Οι λωρίδες κυκλοφορίας διαχωρίζονται μέσω μιας συνεχόμενης διαχωριστικής λωρίδας στη μέση, όπου δεν επιτρέπεται η προσπέραση, λόγω μη επαρκούς μήκους ορατότητας.

Σε περιπτώσεις μεγάλου κυκλοφοριακού φόρτου, δύναται να προταθεί πρόσθετη λωρίδας προσπέρασης. Η κίνηση των ποδηλάτων μπορεί να γίνει στην λωρίδα κυκλοφορίας ή σε ποδηλατόδρομο επί του πεζόδρομου.

Συνδέσεις με οδούς της ίδιας κατηγορίας γίνεται μέσω κόμβων, είτε συμβατικών είτε κυκλικών. Θα πρέπει να μελετηθεί, εάν λόγω ενδεχόμενης κυκλοφοριακής επιβάρυνσης του κόμβου, απαιτηθεί ρύθμιση μέσω φωτεινών σηματοδοτών. Σε ότι αφορά στους συμβατικούς ισόπεδους κόμβους, προτιμάται η τρισκελής διάταξη. Λόγω της χρήσης του δικτύου και τις μικρές έως πολύ μέτριες αποστάσεις που διανύονται σε αυτό, συνίσταται ταχύτητα μελέτης 90 km/h. Με βάση αυτή την ταχύτητα μπορούν να σχεδιαστούν άνετες καμπύλες στην οριζοντιογραφία.

**Οδοί των κλάσεων μελέτης EKL 4** είναι οδοί ενιαίου οδοστρώματος με χαρακτηριστική διατομή την RQ 9 και χρησιμεύουν στην εξυπηρέτηση της τοπικής κυκλοφορίας. Λόγω της χαμηλής κυκλοφοριακής ζήτησης και τις σπάνιες διασταυρώσεις, η οδός διαμορφώνεται με σταθερό πλάτος, όπου όμως δεν είναι δυνατή η ανάπτυξη δυο λωρίδων κυκλοφορίας. Αντί μίας κεντρικής διαγράμμισης, σχεδιάζονται δυο λωρίδες καθοδήγησης στην άκρη της οδού. Σε περίπτωση προσπέρασης, τα οχήματα καταλαμβάνουν όλο το πλάτος της οδού. Η πλευρική διαγράμμιση και η έλλειψη κεντρικής διαγράμμισης προειδοποιούν τον οδηγό, πως θα πρέπει να οδηγεί με μεγάλη προσοχή, σε περίπτωση συνάντησης με άλλο όχημα. Είναι προφανές, ότι σε αυτή τη περίπτωση, είναι απαραίτητη η μείωση της ταχύτητας, η οποία είναι σε συμφωνία με τον γενικότερο χαρακτήρα τήρησης χαμηλών τιμών ταχυτήτων στις οδούς αυτές.

RAA 2008

Οι RAA 2008 αποτελούν τη βάση για τον σχεδιασμό ασφαλών αυτοκινητοδρόμων που να εξυπηρετούν την προβλεπόμενη λειτουργία τους. Στόχος είναι να δημιουργηθούν ενιαία πρότυπα για αυτοκινητοδρόμους του ίδιου τύπου.

Για την εξασφάλιση της ομοιομορφίας αυτοκινητοδρόμων με συγκρίσιμη λειτουργία δικτύωσης και σημασία από κυκλοφοριακής άποψης, αυτοί ταξινομούνται και σχεδιάζονται σύμφωνα με τάξεις μελέτης (TMA, Τάξεις Μελέτης Αυτοκινητοδρόμων).

Κατηγορία οδού	AS 0 / AS I		AS II		
Θέση σε σχέση με οικοδομημένες περιοχές	Εκτός ή εντός		Εκτός ή εντός	Εκτός	Εντός
Χαρακτηρισμός	Αυτοκινητόδρομος μεγάλων αποστάσεων	Οδός παρόμοια με αυτοκινητόδρομο	Υπερτοπικός αυτοκινητόδρομος	Οδός παρόμοια με αυτοκινητόδρομο	Αστικός Αυτοκινητόδρομος
Τάξη μελέτης	TMA 1 A	TMA 2	TMA 1 B	TMA 2	TMA 3

**Πίνακας 2-6 Τάξεις Μελέτης Αυτοκινητοδρόμων κατά RAA 2008**

Μεγέθη προσδιορισμού της τάξης μελέτης αποτελούν η κατηγορία της οδού, η θέση σε σχέση με δομημένες περιοχές (περιοχές εντός σχεδίου) και η κατάταξη σύμφωνα με το Γερμανικό Οδικό Δίκαιο (Πίνακας 2-6). Έτσι, λαμβάνονται υπόψη η χωροταξική και η κυκλοφοριακή σημασία του αυτοκινητοδρόμου, καθώς και οι απαιτήσεις που προκύπτουν από το παρόδιο οδικό περιβάλλον.

Οι αυτοκινητόδρομοι των κατηγοριών AS 0 και AS I, εκτός και εντός δομημένων περιοχών (εκτός και εντός σχεδίου) (αυτοκινητόδρομοι μεγάλων αποστάσεων), καθώς και αυτοκινητόδρομοι της κατηγορίας AS II εκτός δομημένων περιοχών (εκτός σχεδίου) (υπερτοπικοί αυτοκινητόδρομοι), σχεδιάζονται σύμφωνα με την ΤΜΑ 1. Για τον κατάλληλο συνυπολογισμό της λειτουργίας σύνδεσης (λειτουργική βαθμίδα σύνδεσης), γίνεται περαιτέρω διάκριση στην ΤΜΑ 1 Α (AS 0 και I) και στην ΤΜΑ 1 Β (AS II). Για τους αυτοκινητόδρομους μεγάλων αποστάσεων (ΤΜΑ 1Α) η ταχύτητα μελέτης είναι 130 km/h. Για τους υπερτοπικούς αυτοκινητόδρομους (ΤΜΑ 1Β) η ταχύτητα μελέτης είναι 120 km/h.

Στις παρόμοιες με αυτοκινητοδρόμους οδούς της ΤΜΑ 2 ανήκουν οι μη Ομοσπονδιακοί αυτοκινητόδρομοι, αλλά όχι και οι αστικοί αυτοκινητόδρομοι. Προβλέπονται κυρίως για συνδέσεις μεσαίων ή βραχύτερων αποστάσεων και υπόκεινται σε χαμηλότερες απαιτήσεις όσον αφορά τις ταχύτητες κίνησης για τις οποίες θα πρέπει να παρέχουν τη δυνατότητα. Για τον λόγο αυτό η ΤΜΑ 2 έχει χαμηλότερες οριακές τιμές όσον αφορά τα στοιχεία μελέτης και, συνεπώς, επιτρέπει μια πιο ευέλικτη χάραξη σε σύγκριση με την ΤΜΑ 1. Η ταχύτητα μελέτης για ΤΜΑ 2 είναι 100 km/h.

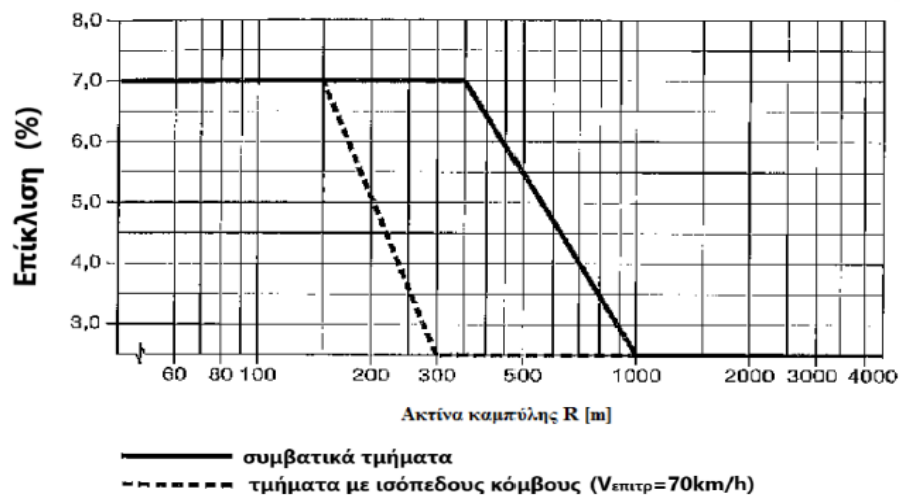
Οι αστικοί αυτοκινητόδρομοι διέρχονται σε μεγάλο βαθμό μέσα από δομημένες, αστικές περιοχές. Κατά κανόνα αποτελούν μέρος του αστικού δικτύου κυρίων οδών και ενδέχεται, καθώς αποτελούν σύνδεση του αστικού οδικού δικτύου με το ιεραρχικά ανώτερο κυκλοφοριακό δίκτυο μεγάλων αποστάσεων, να είναι ενσωματωμένες στο δίκτυο των αυτοκινητοδρόμων μεγάλων αποστάσεων ή των υπερτοπικών αυτοκινητοδρόμων. Υπόκεινται σχεδόν πάντοτε σε περιορισμούς από τον δομημένο περίγυρό τους και μελετώνται σύμφωνα με την ΤΜΑ 3. Η ταχύτητα μελέτης για ΤΜΑ 3 είναι 80 km/h.

### Διαμόρφωση της επιφάνειας της οδού

#### Επίκλιση σε ευθυγραμμία

Στις ευθυγραμμίες τα οδοστρώματα μίας κατεύθυνσης κυκλοφορίας κατασκευάζονται μονοκλινή με ελάχιστη επίκλιση (εγκάρσια κλίση)  $q=2.5\%$ . Οι πρόσθετες λωρίδες κυκλοφορίας (ΠΛΚ), οι λωρίδες επιτάχυνσης και επιβράδυνσης, θα πρέπει κατά τη διεύθυνση και το μέγεθος να παρουσιάζουν την ίδια επίκλιση όπως η επιφάνεια κυκλοφορίας. Τα κυκλικά τόξα, για λόγους δυναμικής και για την καλύτερη αναγνώριση τους, έχουν επίκλιση προς το εσωτερικό του κυκλικού τόξου. Η μέγιστη επίκλιση είναι  $q = 7\%$ . Η ελάχιστη είναι  $q = 2.5\%$ . Η εικόνα 2-21 παρουσιάζει το διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε σχέση με την ακτίνα με πεδίο εφαρμογής τις υπεραστικές οδούς (RAL, 2012). Αντίστοιχο είναι και το διάγραμμα στις οδηγίες RAA, 2008. Οι τιμές συνίσταται να στρογγυλεύονται 0.5 % προς τα πάνω.





Εικόνα 2-21 – Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών, 2023

Για την αποφυγή της ολίσθησης των οχημάτων από τον παγετό, θα πρέπει να περιορίζεται η μέγιστη λοξή κλίση μέχρι  $\max p = 10.0 \%$ .

$$p = \sqrt{s^2 + e^2} \quad (2-31)$$

όπου





$p$  [%] = η λοξή κλίση

$s$  [%] = κατά μήκος κλίση

$e$  [%] = επίκλιση

Τα μη σταθεροποιημένα ερείσματα κατασκευάζονται με επίκλιση  $q = 12 \%$  προς τα έξω, εάν η απορροή των ομβρίων πραγματοποιείται μέσω του κύριου οδοστρώματος, αλλιώς εφαρμόζεται επίκλιση  $q = 6 \%$ .

Η προσαρμογή της εγκάρσιας κλίσης γίνεται κατά βάση μέσα στο τόξο συναρμογής. Εάν δεν υπάρχει τόξο συναρμογής, τότε το οδόστρωμα περιστρέφεται κατά το ήμισυ πριν και κατά το άλλο μισό μετά από το σημείο αλλαγής της καμπυλότητας. Εάν, σε εξαιρέσεις, πραγματοποιείται η περιστροφή του οδοστρώματος σε ευθύγραμμα τμήματα, θα πρέπει να πραγματοποιείται στην αρχή ή στο τέλος. Περιστροφή του οδοστρώματος θα πρέπει να αποφεύγεται σε γέφυρες. Σε οδούς ενιαίου οδοστρώματος το οδόστρωμα περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της οδού (σε οδούς με διαχωρισμένα οδοστρώματα στο άκρο της εσωτερικής λωρίδας καθοδήγησης). Για καλύτερη προσαρμογή στις τοπικές συνθήκες, μπορεί να γίνει περιστροφή του οδοστρώματος, γύρω από την εσωτερική ή εξωτερική οριογραμμή. Στην εικόνα 2-22 παρουσιάζονται οι τύποι περιστροφής του οδοστρώματος.

Τύπος	
1	
2	
3	
4	

**Εικόνα 2-22 Τύποι Περιστροφής Οδοστρώματος**

Κλίση οριογραμμών οδού ως προς τον άξονα

Το  $\Delta s$  [%] ορίζεται ως διαφορά των κατά μήκος κλίσεων μεταξύ άξονα και των οριογραμμών του οδοστρώματος.

Προκύπτει από:

$$\Delta s = \frac{q_e - q_a}{L_v} \cdot a \quad (2-32)$$

Όπου:

$q_e$  [%] = η επίκλιση του οδοστρώματος στο τέλος του τόξου συναρμογής

$q_a$  [%] = η επίκλιση του οδοστρώματος στην αρχή του τόξου συναρμογής (τίθεται  $q_a$  με αρνητικό πρόσημο όταν έχει αντίθετη κατεύθυνση προς την  $q_e$ )

$L_v$  [m] = το μήκος συναρμογής της επίκλισης

$a$  [m] = η απόσταση της οριογραμμής του οδοστρώματος από τον άξονα περιστροφής

Για την αποφυγή απότομων επικλίσεων, θα πρέπει η μέγιστη τιμή της πρόσθετης κλίσης  $\max \Delta s$  να μην υπερβαίνει τις τιμές του Πίνακα 2-7. Οι τιμές αυτές τηρούνται αυτομάτως με την χρήση προτεινόμενων ακτινών και την κατάλληλη

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

παράμετρο κλωθειδούς. Η υπέρβαση της  $\max \Delta s$  ισοσταθμίζεται με τη χρήση μεγαλύτερης παραμέτρου της κλωθειδούς. Σε περίπτωση που η τιμή της  $\min \Delta s$  είναι βάσει του Πίνακα 2-7, είναι μεγαλύτερη από την τιμή της  $\max \Delta s$ , τότε εφαρμόζεται η  $\min \Delta s$ .

Κλάση Μελέτης	Max $\Delta s$ [%]		Min $\Delta s$ [%] για $q \leq 2.5\%$
	$a < 4,00 \text{ m}$	$a \geq 4,00 \text{ m}$	
EKL1/EKL2	0,8		0,1 · a
EKL3	1,0		
EK4	1,5		
EKA 1A	0,225 · a	0,9	
EKA 1B	0,225 · a	0,9	
EKA 2	0,225 · a	0,9	
EKA 3	0,25 · a	1	
α [m]: Απόσταση της οριογραμμής από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος			

**Πίνακας 2-7 [RAL (2012) – RAA (2008)]**

Το ελάχιστο μήκος συναρμογής της επίκλισης προκύπτει από:

$$\min L_v = \frac{q_e - q_a}{\max \Delta s} \cdot a \quad (2-33)$$

Όπου:  $\min L_v$  = το ελάχιστο μήκος συναρμογής της επίκλισης

### Ελεγχος Ικανοποιητικής Απορροής Ομβρίων Υδάτων

Για τη γρήγορη απορροή των ομβρίων υδάτων από το οδόστρωμα δε θα πρέπει η πρόσθετη κλίση στο τμήμα προσαρμογής των επικλίσεων  $q = +2.5\%$  έως  $q = -2.5\%$  να είναι μικρότερη από τις οριακές τιμές του Πίνακα 2-7. Σε αυτή τη περίπτωση θα πρέπει να ελέγχεται για κάθε τόξο συναρμογής αν ισχύει  $\Delta s < \min \Delta s$ . Σε αυτή την περίπτωση είναι αναγκαία χωριστή συναρμογή, με χρήση της  $\min \Delta s$  στην περιοχή  $q = +2.5\%$  έως  $q = -2.5\%$ . Στο υπόλοιπο τμήμα του εκάστοτε τόξου συναρμογής γίνεται η πρόσθετη κλίση οριογραμμής έως ότου λάβει τη τιμή της επίκλισης στην αρχή του κυκλικού τόξου. Για να εξασφαλίζεται επαρκής απορροή των ομβρίων θα πρέπει να υπάρχει διαφορά της κατά μήκος κλίσης της οδού και της κλίσης υπερύψωσης της οριογραμμής του οδοστρώματος ως προς τον άξονα.

$$s - \Delta s \leq 0.2 \quad (2-34)$$

Όπου:

s [%] κατά μήκος κλίση της οδού

$\Delta s$  [%] = πρόσθετη κλίση οριογραμμής του οδοστρώματος

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Έτσι αποφεύγεται καμία από τις δύο οριογραμμές του οδοστρώματος να παρουσιάζει κλίση αντίθετη προς την κατά μήκος κλίση. Λόγω της απαίτησης για επίκλιση  $p \geq 0.5\%$  βάσει των RAS-Ew μπορεί να προκύψουν μεγαλύτερες τιμές. Εάν δεν μπορεί να παρέχεται επαρκής κατά μήκος κλίση, λόγω ιδιαίτερων συνθηκών σε σημεία καμπής στην οριζοντιογραφία, τότε επιτρέπεται το σημείο μηδενικής επίκλισης να μετατεθεί σε σχέση με το σημείο καμπής της καμπύλης μορφής S κατά το μήκος  $L=0.1A$ . Εναλλαγές επικλίσεων σε ευθυγραμμίες επιτρέπεται μόνο, εάν μέσω αυτό επιτυγχάνεται καλύτερη απορροή ομβρίων. Για την υπερύψωση των οριογραμμών σε διαπλάτυνση ή σε περίπτωση επιπρόσθετης λωρίδας προσπέρασης, η πρόσθετη κλίση της οριογραμμής πραγματοποιείται βάσει της συμβατικής επιφάνειας κυκλοφορίας.

### 2.5.3 Ισπανικές Οδηγίες NORMA 3.1-IC de la Instrucción de carreteras 2016

Σε αυτό το σημείο θα μελετηθούν οι Ισπανικοί Κανονισμοί που είναι από τους πιο πρόσφατους που δημοσιεύτηκαν στην Ευρώπη, το 2016.

Οι ισπανικοί κανονισμοί διαχωρίζουν την έννοια των αυτοκινητοδρόμων με 2 λέξεις. Η πρώτη είναι las autonías που χρηματοδοτούνται από Δημόσιο Φορέα και οι las autopistas που χρηματοδοτούνται από ιδιωτικές εταιρίες.

(<https://www.lavanguardia.com/motor/actualidad/20220623/8074479/diferencias-autovia-autopista.html>)

#### Λειτουργική Κατάταξη Οδών

Στον πίνακα 2-8 παρουσιάζονται η ελάχιστες οριζοντιογραφικές ακτίνες και οι μέγιστες επικλίσεις συναρτήσει λειτουργικής κατάταξης της οδού και ταχύτητας σχεδιασμού.

Grupo 1	Αυτοκινητόδρομοι A-140 και A-130
Grupo 2	Αυτοκινητόδρομοι A-120, A-110, A-100, A-90 και A-80 και οδοί C-100
Grupo 3	Οδοί C-90, C-80, C-70, C-60, C-50 και C-40

Ταχύτητα Σχεδιασμού (V <sub>p</sub> ) (km/h)	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3	
	Ελάχιστη Ακτίνα (m)	Μέγιστη Επικλίση (%)	Ελάχιστη Ακτίνα (m)	Μέγιστη Επικλίση (%)	Ελάχιστη Ακτίνα (m)	Μέγιστη Επικλίση (%)
140	1050	8.00	-	-	-	-
130	850	8.00	-	-	-	-
120	-	-	700	8.00	-	-
110	-	-	550	8.00	-	-
100	-	-	450	8.00	-	-
90	-	-	350	8.00	350	7.00
80	-	-	250	8.00	265	7.00
70	-	-	-	-	190	7.00
60	-	-	-	-	130	7.00
50	-	-	-	-	80	7.00
40	-	-	-	-	50	7.00

Πίνακας 2-8 Ελάχιστες Οριζοντιογραφικές Ακτίνες και Μέγιστες Επικλίσεις

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στον πίνακα 2-9 παρουσιάζονται οι σχέσεις υπολογισμού της επίκλισης της οδού σε καμπύλα τμήματα συναρτήσει της ομάδας της οδού και της ακτίνας.

Grupο	Ακτίνα	Επίκλιση
1	850 < R < 1050	8
	1050 < R < 5000	$8 - 7.96 \cdot \left(1 - \frac{1050}{R}\right)^{1.2}$
	5000 < R < 7500	2
	7500 < R	Αμφικλινές
2	250 < R < 700	8
	700 < R < 5000	$8 - 7.3 \cdot \left(1 - \frac{700}{R}\right)^{1.3}$
	5000 < R < 7500	2
	7500 < R	Αμφικλινές
3	50 < R < 350	7
	350 < R < 2500	$7 - 6.65 \cdot \left(1 - \frac{350}{R}\right)^{1.9}$
	2500 < R < 3500	2
	3500 < R	Αμφικλινές

**Πίνακας 2-9 Υπολογισμός Επίκλισης Συναρτήσει Ομάδας Οδού και Ακτίνας**

Σύμφωνα με τον κανονισμό πρέπει να εφαρμόζεται μία ελάχιστη παράμετρος κλωθοειδούς στις συναρμογές κυκλικών τόξων που δίδεται από την σχέση 2.35

$$A_{min} = \sqrt{\frac{R_0 \cdot V_e}{46.656 \cdot J} \cdot \left[ \frac{V_e^2}{R_0} - 1.27 \cdot \frac{(p_0 - p_1)}{\left(1 - \frac{R_0}{R_1}\right)} \right]} \quad (2-35)$$

Όπου:

$V_e$  = η ταχύτητα σχεδιασμού στην καμπύλη με την μικρότερη ταχύτητα (km/h)

$J$  = Μεταβολή της φυγόκεντρης επιτάχυνσης ( $m/s^2$ )

$R_1$  = η μεγαλύτερη ακτίνα καμπύλης (m)

$R_0$  = η μικρότερη ακτίνα καμπύλης (m)

$p_1$  = επίκλιση στην καμπύλη με την μεγαλύτερη ακτίνα (%)

$p_0$  = επίκλιση στην καμπύλη με την μικρότερη ακτίνα (%)

Το  $J$  δίδεται από τον πίνακα 2-10:

$V_e$ (km/h)	$V_e < 80$	$80 \leq V_e < 100$	$100 \leq V_e < 120$	$V_e \geq 120$
$J$ ( $m/s^3$ )	0,5	0,4	0,4	0,4
$J_{max}$ ( $m/s^3$ )	0,7	0,6	0,5	0,4

**Πίνακας 2-10**

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η μέγιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμής δίνεται από τον τύπο:

Άρα το ελάχιστο μήκος κλωθοειδούς που προκύπτει είναι:

$$L_{\min} = \frac{|p_f - p_i|}{\nabla_{ip}} \cdot B \cdot k$$

$$\nabla_{ip} = 0,86 - 0,004 \cdot V_p$$

Όπου:

$p_f$  = επίκλιση στο τέλος της συναρμογής (%)

$p_i$  = επίκλιση στην αρχή της κλωθοειδούς καμπύλης (%)

$B$  = απόσταση της οριογραμμής ως τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος (m)

$V_p$  = Ταχύτητα Σχεδιασμού σε km/h

$k$  = Συντελεστής προσαρμογής, που εξαρτάται από τον αριθμό των λωρίδων που περιστρέφονται

$k = 1.00$  αν περιστρέφεται μία λωρίδα

$k = 0.75$  αν περιστρέφονται δύο λωρίδες

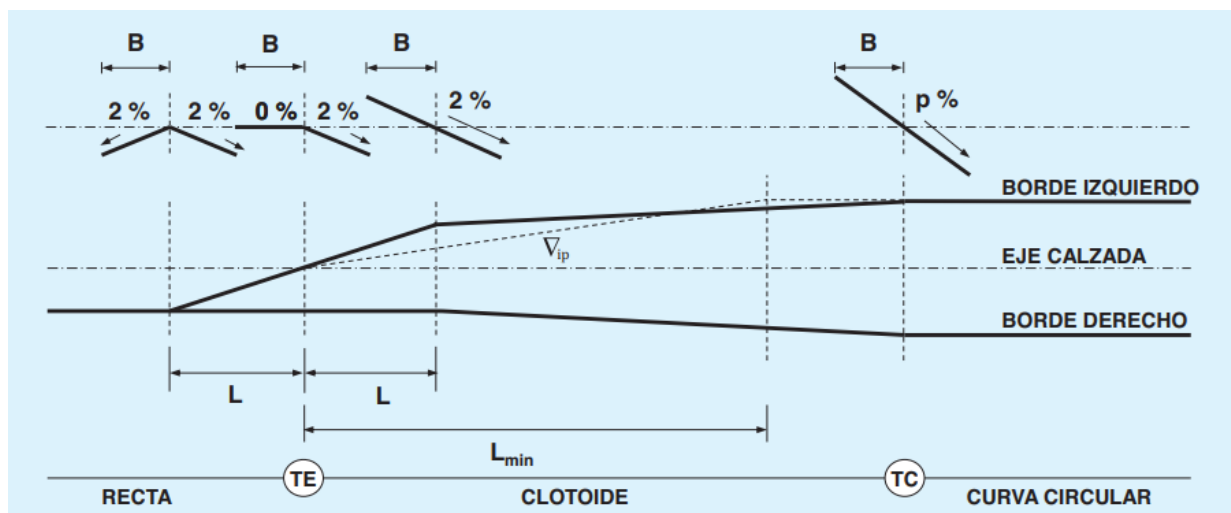
$k = 0.67$  αν περιστρέφονται τρεις οι περισσότερες λωρίδες

Κατά συνέπεια η τιμή του  $A_{\min}$  θα είναι:

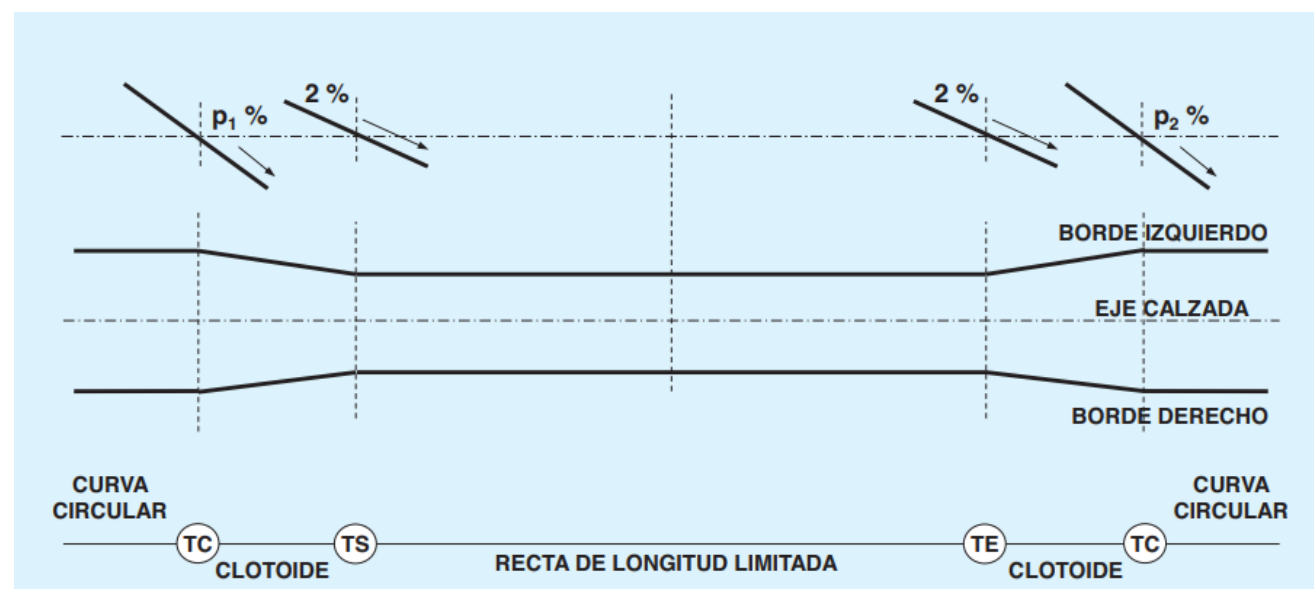
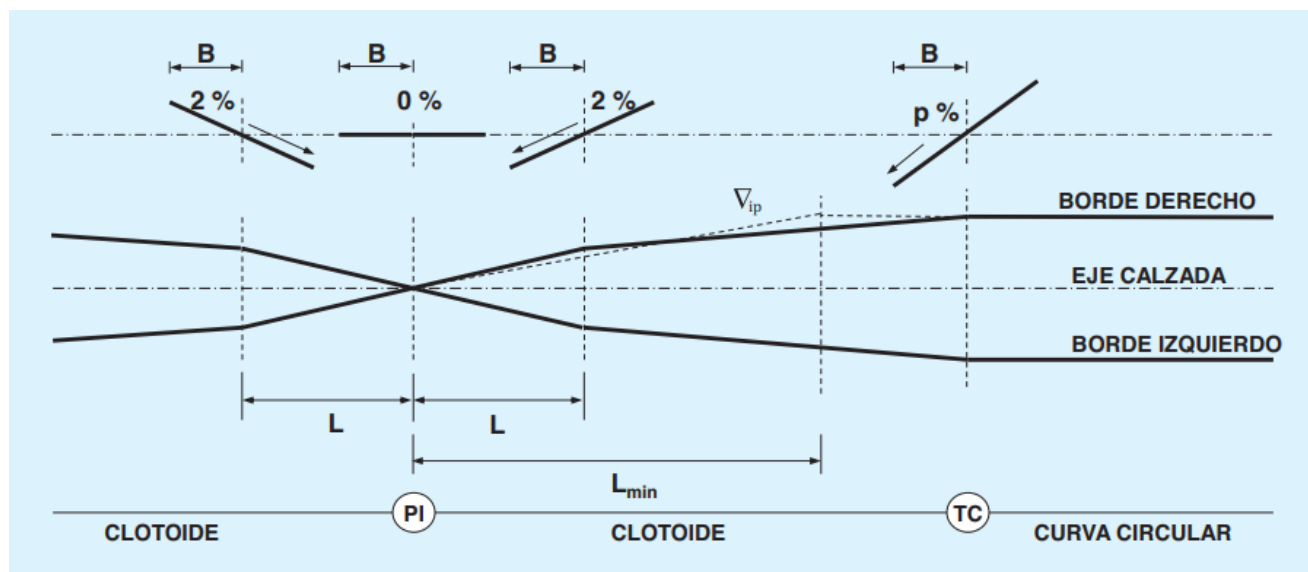
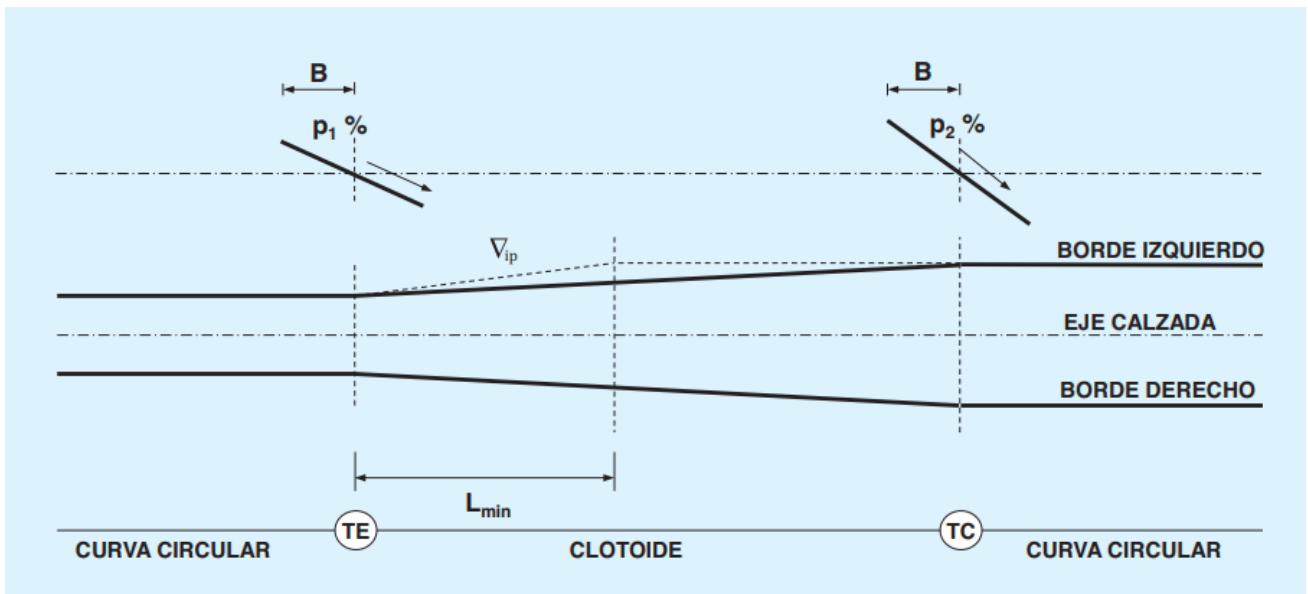
$$A_{\min} = \sqrt{R \cdot B \cdot k \cdot \frac{|p_f - p_i|}{\nabla_{ip}}}$$

Για λόγους ορατότητας  $A_{\min} = \frac{R}{3}$  και  $A_{\min} = (12 \cdot R_0^3)^{\frac{1}{4}}$ .

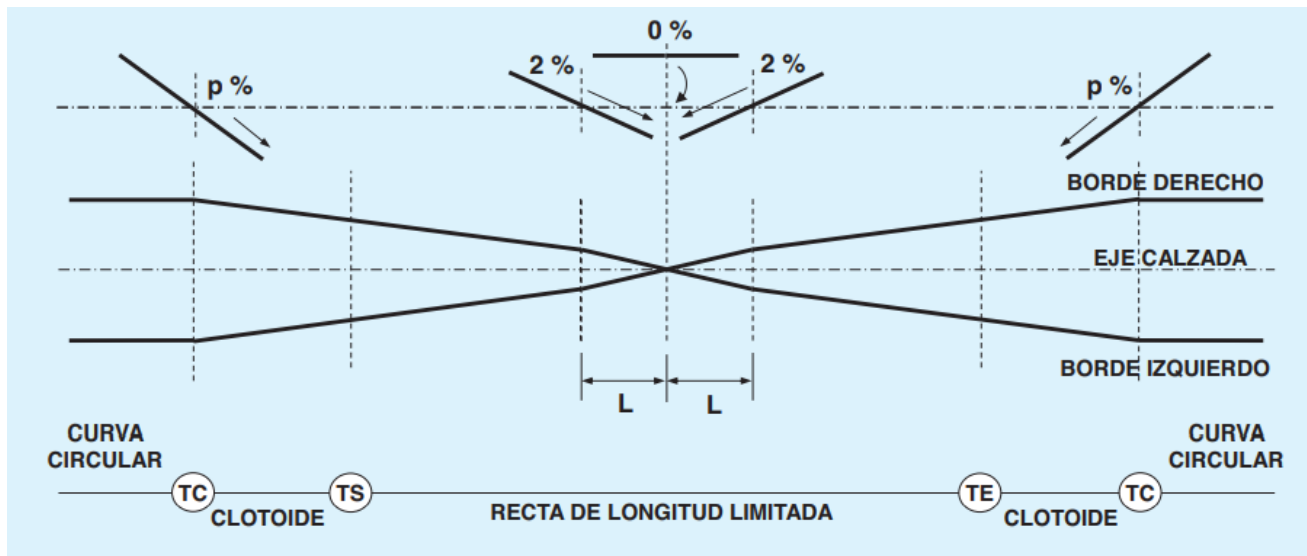
Δε θα πρέπει το μήκος της συναρμογής να ξεπερνά 1.5 φορές το ελάχιστο μήκος της κλωθοειδούς καμπύλης. Στην εικόνα 2-23 παρουσιάζονται οι τρόποι μεταβολής των επικλίσεων σύμφωνα με τις Ισπανικές Οδηγίες.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ







Εικόνα 2-23 Τρόποι Μεταβολής της Επίκλισης

Στο πίνακα 2-11 παρουσιάζονται οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις των οδών.

Ταχύτητα Σχεδιασμού (km/h)	Μέγιστη Κατά Μήκος Κλίση (%)	Εξαιρέση (%)
100	4	5
90 και 80	5	7
70 και 60	6	8
50 και 40	7	10

Πίνακας 2-11 Μέγιστη Κατά Μήκος Κλίση Οδών

Έλεγχος ικανοποιητικής απορροής ομβρίων

Η ελάχιστη κατά μήκος κλίση είναι 0.5% και κατ' εξαίρεση μπορεί να φτάσει τη τιμή 0.2%. Η ελάχιστη σύνθετη κλίση σε κάθε σημείο της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι 0.5%.

Στο κεφάλαιο 6 των ισπανικών οδηγιών δίδονται διαγράμματα για τρισδιάστατη χάραξη στο χώρο με τις αντίστοιχες επικλίσεις και κατά μήκος κλίσεις χωρίς ωστόσο να διερευνάται το φαινόμενο της υδρολίσθησης.

### 2.5.4 ΟΜΟΕ-Χ 2001

Σύμφωνα με τους ΟΜΟΕ-Χ 2001 (παρ. 5.3) η ελάχιστη οριζοντιογραφική ακτίνα δίδεται από το Πίνακα 2-12:

V (km/h)	A			B	
	Πεδινά	Ημιορεινά και Ορεινά Εδάφη	Όλες οι Κατηγορίες Εδαφών	Όλες οι Κατηγορίες Εδαφών	
	q <sub>max</sub> = 8 (9) %	q <sub>max</sub> = 7 %	q <sub>max</sub> = 2.5 %	q <sub>max</sub> = 6 %	q <sub>max</sub> = 2.5 %
50	82 (79)	93	325	72	149
60	125 (120)	141	491	111	230
70	179 (171)	203	701	161	335
80	247 (235)	279	958	223	467
90	327 (311)	371	1263	299	628
100	422 (401)	478	1618	390	820
110	531 (503)	601	2022	494	1043
120	652 (617)	739	2473	-	-
130	786 (742)	890	2966	-	-
140	929 (876)	1053	3496	-	-

**η V αντιπροσωπεύει τη V<sub>e</sub> ή V<sub>85</sub> για τον προσδιορισμό αντίστοιχα της R<sub>min</sub>. Οι τιμές σε () εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις**

**Πίνακας 2-12 (ΟΜΟΕ-Χ)**

Όσον αφορά το τόξο συναρμογής η ελάχιστη παράμετρος κλωθειδούς είναι  $A_{min} = \frac{R}{3}$  και μπορεί να υπάρξει μείωση αυτής της τιμής εφόσον η ακτίνα είναι μεγάλη και η εκτροπή ΔR είναι τουλάχιστον ίση με 0.25 m. Για λόγους ασφαλείας η μέγιστη τιμή της παραμέτρου είναι  $A_{max} = R$ .

Οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις δίδονται στον Πίνακα 2-13:

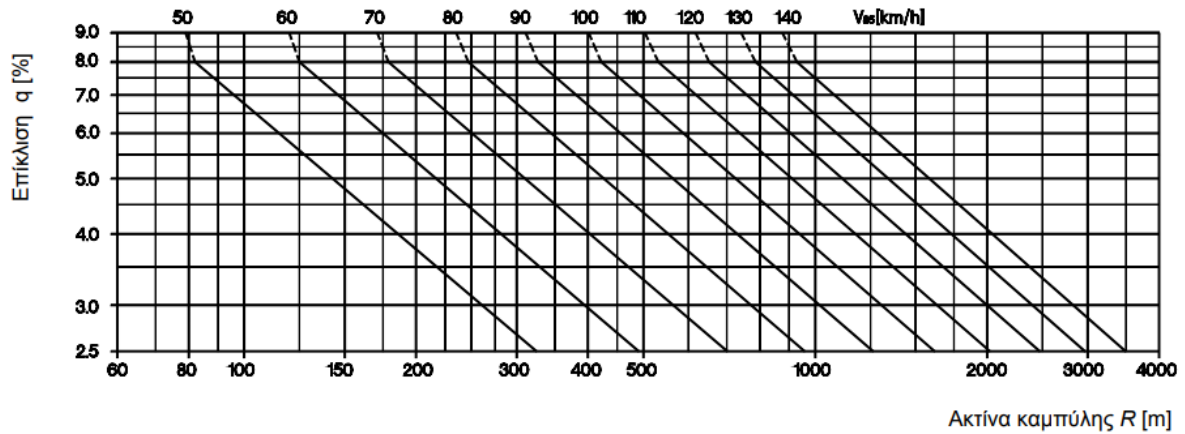
V (km/h)	s <sub>max</sub> [%] για τις οδούς της ομάδας			
	A			B (πλήν BI)
	Πεδινά Εδάφη	Λοφώδη Εδάφη	Ορεινά Εδάφη	Όλες οι Κατηγορίες Εδαφών
50	7 (8)	8 (9)	10 (11)	8 (12)
60	6 (8)	7 (9)	9 (10)	7 (10)
70	5 (7)	6 (8)	8 (9)	6 (9)
80	4 (6)	5 (7)	7 (9)	5 (7)
90	4 (5)	5 (6)	7 (8)	-
100	3 (5)	4 (6)	6 (8)	-
110	3 (5)	4 (6)	5 (6)	-
120	3 (5)	4(6)	-	-
130	3 (4)	-	-	-

**Οι τιμές σε () εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις**

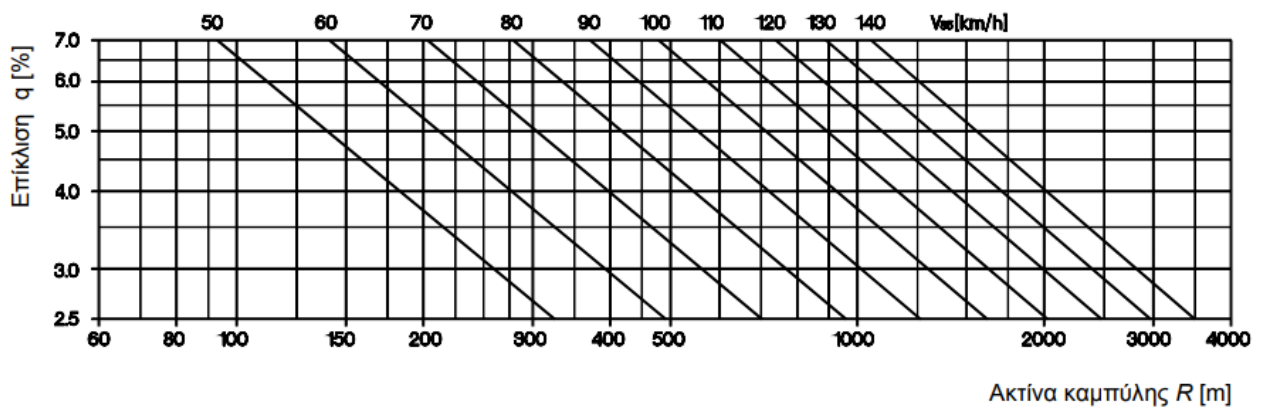
**Πίνακας 2-13 Μέγιστη Κατά Μήκος Κλίση Οδού**

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

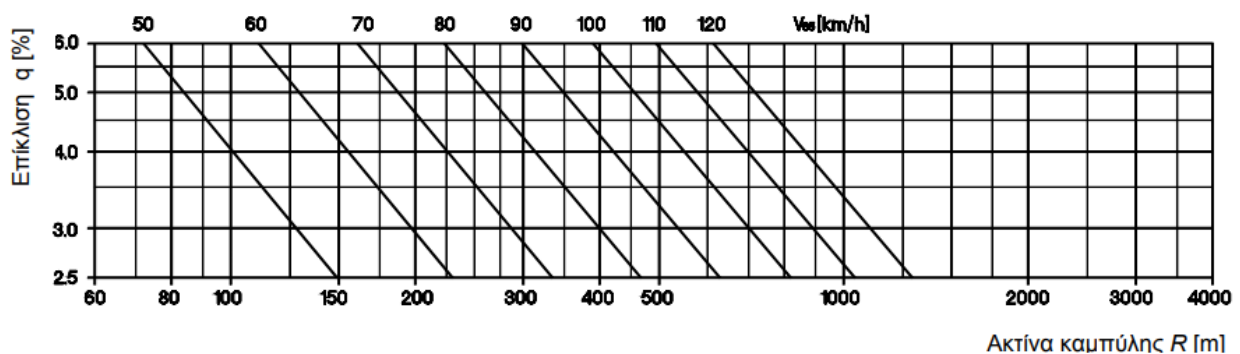
Όσον αφορά τις επικλίσεις οι ΟΜΟΕ-Χ δίνουν νομογραφήματα για την μέγιστη επίκλιση με μία διατομή. Στις εικόνες 2-24 έως 2-26 την τιμή της επίκλισης για δεδομένη ταχύτητα και ακτίνα οριζοντιογραφικής καμπύλης.



Εικόνα 2-24 - Ομάδα Α Πεδινά Εδάφη



Εικόνα 2-25 – Ορεινά και Λοφώδη Εδάφη





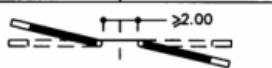



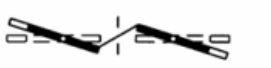
Εικόνα 2-26 – Ομάδα Β

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Ο άξονας περιστροφής της επιφάνειας του οδοστρώματος εξαρτάται από τον τύπο της οδού. Διακρίνονται οι εξής τύποι:

- 1) Ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, όπου η επιφάνεια του οδοστρώματος περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της οδού – τύπος 1.
- 2) Διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας, όπου η επιφάνεια του οδοστρώματος περιστρέφεται γύρω από το εσωτερικό άκρο του ασφαλικού της επιφάνειας κυκλοφορίας κάθε κατεύθυνσης – τύπος 2 (εξαιρετικά σπάνια, η περιστροφή των επιφανειών μπορεί να γίνει περί τον άξονα της νησίδας).
- 3) Ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, όπου η επιφάνεια του οδοστρώματος περιστρέφεται γύρω από τη μία οριογραμμή κυκλοφορίας – τύπος 3 (συνηθίζεται στις περιπτώσεις συνδεδήριων κλάδων ανισόπεδων κόμβων).
- 4) Διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας, όπου η επιφάνεια του οδοστρώματος περιστρέφεται γύρω από συγκεκριμένο σημείο του ασφαλικού της επιφάνειας κυκλοφορίας κάθε κατεύθυνσης – τύπος 4 (συνηθίζεται το σημείο αυτό να είναι το εξωτερικό άκρο της λωρίδας προσπέρασης και γενικά εφαρμόζεται σε θέσεις γεφυρών, σηράγγων, ή σε νησίδες πλάτους  $\geq 6\text{m}$ ).

Σε όλες τους τύπους, το ερυθρό υψόμετρο της οδού εφαρμόζεται στον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος.

Κανόνας	1		
	2		
	3		
Εξαιρεση	4		
	5*		

\* εφαρμόζεται ως κανόνας, μόνο σε θέσεις γεφυρών, σηράγγων ή με νησίδα  $\geq 6,0\text{ m}$  (περιστροφή στο μέσο των λωρίδων κυκλοφορίας).

**Εικόνα 2-27 - Τύποι Περιστροφής Οδοστρώματος**

Η πρόσθετη κλίση οριογραμμής δίδεται από τον τύπο:

$$\Delta s = \frac{q_T - q_a}{L_v} \cdot a \quad (2-36)$$

Η μέγιστη τιμή της πρόσθετης κλίσης της οριογραμμής παρουσιάζεται στον πίνακα 2-14:

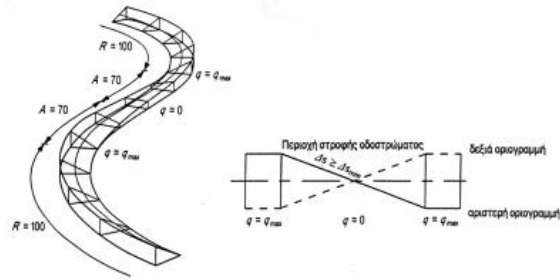
V <sub>e</sub> (km/h)	Δs <sub>max</sub> [%] για		Δs <sub>min</sub> [%]
	α < 4 m	α > 4 m	
50	0.50 · a	2.0	0.1 · a ≤ Δs <sub>max</sub>
60-70	0.40 · a	1.6	
80-90	0.25 · a	1.0	
100-130	0.20 · a	0.9	

**Πίνακας 2-14 Δs<sub>max</sub> και Δs<sub>min</sub> κατά ΟΜΟΕ-Χ**

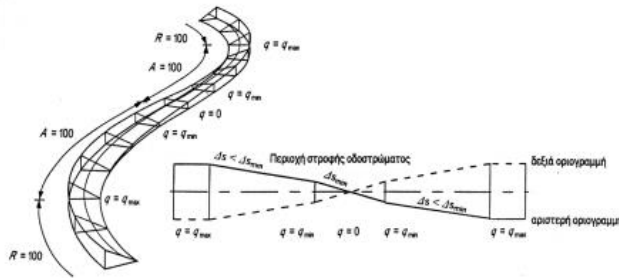
Όπου α η απόσταση του άξονα περιστροφής της επιφάνειας κυκλοφορίας από την εξωτερική οριογραμμή της απώτατης, ως προς αυτόν, λωρίδας κυκλοφορίας (δεν νοούνται οι πρόσθετες λωρίδες, ΛΕΑ ή ΛΠΧ και λωρίδες καθοδήγησης).

Σε περιοχές προσαρμογής της επίκλισης όπου η επίκλιση μεταβάλλεται από +q<sub>min</sub> μέσω της τιμής 0% σε - q<sub>min</sub> η πρόσθετη κλίση των οριογραμμών, δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την τιμή Δs<sub>min</sub> του πίνακα 2-14. Στο τμήμα του τόξου συναρμογής που εναπομένει, η πρόσθετη κλίση οριογραμμών μεταβάλλεται γραμμικά έως την αρχή του κυκλικού τόξου όπου η επίκλιση λαμβάνει την προβλεπόμενη τιμή της. Όταν το επιβάλλει η ανάγκη ικανοποιητικής απορροής ομβρίων, επιτρέπεται σε S-καμπύλες η μετάθεση του σημείου μηδενισμού της επίκλισης σε οδούς της ομάδας Α έως και L = 0.1 · A (A=παράμετρος κλωθειδούς) και σε οδούς της ομάδος Β έως και L = 0.2·A από το σημείο καμπής της κλωθειδούς. Η μετάθεση αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί και για την αλληλουχία των στοιχείων : "ευθυγραμμία-κλωθειδής-κυκλικό τόξο". Στις εικόνες 2-28, 2-29 φαίνονται τα διαγράμματα καμπυλότητας και επικλίσεων κατά την περιστροφή του οδοστρώματος.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ



α. Μικρό μήκος προσαρμογής ( $\Delta s \geq \Delta s_{min}$ )



β. Μεγάλο μήκος προσαρμογής ( $\Delta s < \Delta s_{min}$ )

**Εικόνα 2-28**

Προσαρμογή	$\Delta s$	Είκοι-Κλιμακωτές Τύοι κιάου	Τύοι κιάου-Κλιμακωτές Τύοι κιάου	
επί ομοιόμορως	$\geq \Delta s_{min}$			
σε μονοκλιές	$< \Delta s_{min}$			
μεταβλητότερον επικλίσεων	$\geq \Delta s_{min}$			Στροφή περί τον άξονα
	$< \Delta s_{min}$			Στροφή περί τον άξονα
	$\geq \Delta s_{min}$			Στροφή περί την οριογραμμή
μεταβλητότερον επικλίσεων	τυράου			Στροφή περί τον άξονα

**Εικόνα 2-29**

Έλεγχος ικανοποιητικής απορροής ομβρίων

Σε οδούς των ομάδων Α και Β που δε διαθέτουν κράσπεδα, στις περιοχές συναρμογής των αντίρροπων επικλίσεων, πρέπει να επιλέγεται ελάχιστη κατά μήκος κλίση  $s_{min} \geq 0.7\%$  ή καλύτερα  $s_{min} \geq 1.0\%$  ώστε να αποφεύγονται ζώνες κακής απορροής ομβρίων. Σε κάθε περίπτωση η κατά μήκος κλίση της οδού δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την πρόσθετη κλίση των οριογραμμών (διαφορά κατά μήκος κλίσεων οριογραμμών και άξονα περιστροφή). Για την πλήρη εξασφάλιση της απορροής των ομβρίων της οδού η διαφορά μεταξύ της κατά μήκος κλίσης και της πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών πρέπει να είναι  $0.2\%$  (καλύτερα  $0.5\%$ ).

$$s - \Delta s \geq 0.2\% \text{ (καλύτερα } 0.5\%)$$

Εφόσον πληρούνται οι προηγούμενοι περιορισμοί, εξασφαλίζεται ότι καμία από τις δύο οριογραμμές του οδοστρώματος δεν εμφανίζει αντίθετη κλίση από αυτή του άξονα περιστροφής της οδού. Η τιμή  $0.5\%$  είναι επιθυμητή εξαιτίας των κατασκευαστικών ανοχών του οδοστρώματος.

Σε οδούς με κράσπεδα η κατά μήκος κλίση πρέπει να είναι τουλάχιστον  $0.5\%$  στις περιοχές όπου υπάρχουν κρασπεδόρειθρα. Γι' αυτό το λόγο η κατά μήκος κλίση του άξονα της οδού στην περιοχή της προσαρμογής της επίκλισης πρέπει να είναι μεγαλύτερη κατά  $0.5\%$  από την πρόσθετη κλίση των οριογραμμών, εφόσον η απαγωγή των επιφανειακών υδάτων δεν είναι δυνατόν να εξασφαλισθεί με ιδιαίτερα αποχετευτικά μέτρα, όπως π.χ. με την κατασκευή ρείθρων τριγωνικής διατομής :

$$s - \Delta s \geq 0.5\%$$

### **2.5.5 Σύγκριση - Σύνοψη Μοντέλων Υδρολίσθησης – Υφιστάμενων Οδηγιών**

Οι προαναφερθείσες σχέσεις για το ύψος του νερού (πλην του Charbeneau) συσχετίζουν τα χαρακτηριστικά του οδοστρώματος με το ύψος του νερού και τη ταχύτητα υδρολίσθησης αλλά με βασικό μειονέκτημα ότι οι εξισώσεις είναι εμπειρικές και είναι βασισμένες σε πειράματα και μετρήσεις.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Η Βρετανική Μέθοδος (1968) για τον υπολογισμό του ύψους του νερού στα οδοστρώματα είναι πιο συντηρητική σε σχέση με το μοντέλο του Gallway (1979). Αυτή η συντηρητική προσέγγιση δημιουργεί δυσκολίες για το γεωμετρικό σχεδιασμό και προσθέτει ένα αχρειαστό κόστος στα έργα οδικής υποδομής (Chesterson, 2006).

Κατά συνέπεια, οι εξισώσεις ύψους ροής και ταχύτητας υδρολίσθησης που θα χρησιμοποιηθούν στην ανάλυση που θα ακολουθήσει θα είναι αυτές του Gallaway, καθώς θεωρούνται οι πιο πλήρεις.

Γενικά αν και το φαινόμενο της υδρολίσθησης αναγνωρίζεται ως σημαντική παράμετρος κινδύνου οδικών ατυχημάτων, εντούτοις δεν υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της πλέον κρίσιμης παραμέτρου οδικής ασφάλειας (ταχύτητας) με χαρακτηριστικά βροχόπτωσης (ένταση), οδοστρώματος (υφή), ελαστικών (πίεση), και γεωμετρικών χαρακτηριστικών των οδών στη πραγματική (τρισεδιάστατη) επιφάνεια κύλισης.



### 3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

#### 3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται το Θεωρητικό Υπόβαθρο που είναι απαραίτητο για τον ορισμό εννοιών που θα χρειαστούν στο στάδιο της σύνθεσης του μοντέλου για την επαρκή απορροή ομβρίων στο οδόστρωμα.

Για το σκοπό της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε πρόγραμμα που αποτυπώνει τις περιοχές όπου θα υπάρχει ανεπαρκής απορροή των ομβρίων υδάτων. Στη συνέχεια, αναλύθηκαν τα αποτελέσματα για διάφορες τιμές των παραμέτρων που υπεισέρχονται στις εξισώσεις.

#### 3.2 Κατά μήκος κλίση

##### 3.2.1 Τμήματα Σταθερής Κλίσης

Η κατά μήκος κλίση μεταξύ δύο σημείων στον άξονα μίας οδού προκύπτει από τη διαφορά των μεταξύ τους υψομέτρων προς την αντίστοιχη διαφορά των ΧΘ (Χιλιομετρική Θέση). Η κατά μήκος κλίση εκφράζει δηλαδή την εφαπτόμενη της γωνίας που σχηματίζει ο άξονας της οδού με το οριζόντιο επίπεδο προβολής και αφορά στο 'ανηγμένο' μήκος της οδού. (Μαυρομάτης 2021)

$$s(\%) = 100 \cdot a = \frac{h_B - h_A}{X\Theta_B - X\Theta_A} \cdot 100 \quad (3-1)$$

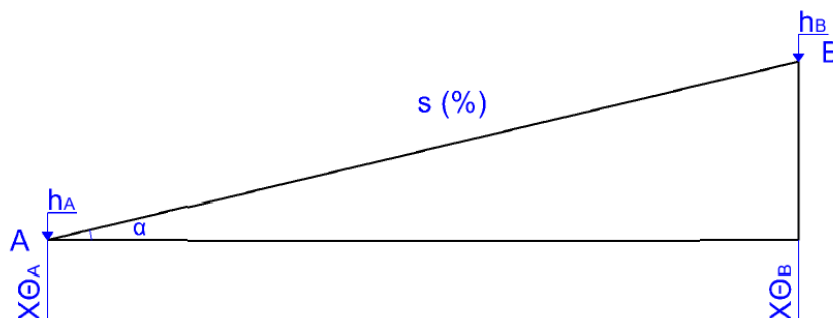
Όπου:

$h_A$ : υψόμετρο αρχικού σημείου (m)

$h_B$ : υψόμετρο τελικού σημείου (m)

$X\Theta_A$ : χιλιομετρική θέση αρχικού σημείου (m)

$X\Theta_B$ : χιλιομετρική θέση τελικού σημείου (m)



Εικόνα 3-1

Οι οριακές τιμές που επιλέγονται για το σχεδιασμό των οδών έχουν προαναφερθεί στο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης.

### 3.3 Τμήματα Μεταβαλλόμενης Κλίσης

Περιοχές με μεταβαλλόμενη κλίση προκύπτουν κατά τη μετάβαση από περιοχή σταθερής κλίσης  $s_1$  σε περιοχή με σταθερή κλίση  $s_2$ . Οι περιοχές αυτές αφορούν σε στρογγύλευση της μηκοτομής. Στην οδοποιία η στρογγύλευση της μηκοτομής γίνεται συνήθως με χρήση της τετραγωνικής παραβολής ως προσέγγισης του εγγύτατου κύκλου της καμπύλης, του οποίου η ακτίνα ισούται με την ακτίνα καμπυλότητας  $H$  στην κορυφή της παραβολής.

Οι βασικές σχέσεις υπολογισμού μίας κυρτής ή κοίλης κατακόρυφης καμπύλης είναι:

$$T = \frac{H}{2} \cdot \frac{s_2 - s_1}{100} \quad (3-2)$$

$$y(x) = \frac{s_1}{100} \cdot x + \frac{x^2}{2 \cdot H} \quad (3-3)$$

$$s_x = s_1 + \frac{x}{H} \cdot 100 \quad (3-4)$$

$$f = \frac{T^2}{2 \cdot H} = \frac{T}{4} \cdot \frac{s_2 - s_1}{100} = \frac{H}{8} \cdot \left( \frac{s_2 - s_1}{100} \right)^2 \quad (3-5)$$

Όπου:

$H$ : η παράμετρος της τετραγωνικής παραβολής (m) (ακτίνα καμπυλότητας στη θέση αλλαγής προσήμου της κατά μήκος κλίσης)

$T$ : μήκος εφαπτομένης (m)





$s_1, s_2$ : κατά μήκος κλίσεις (%)

$y(x)$ : τεταγμένη καμπύλης σε τυχαία απόσταση " $x$ " από την αρχή της (m)

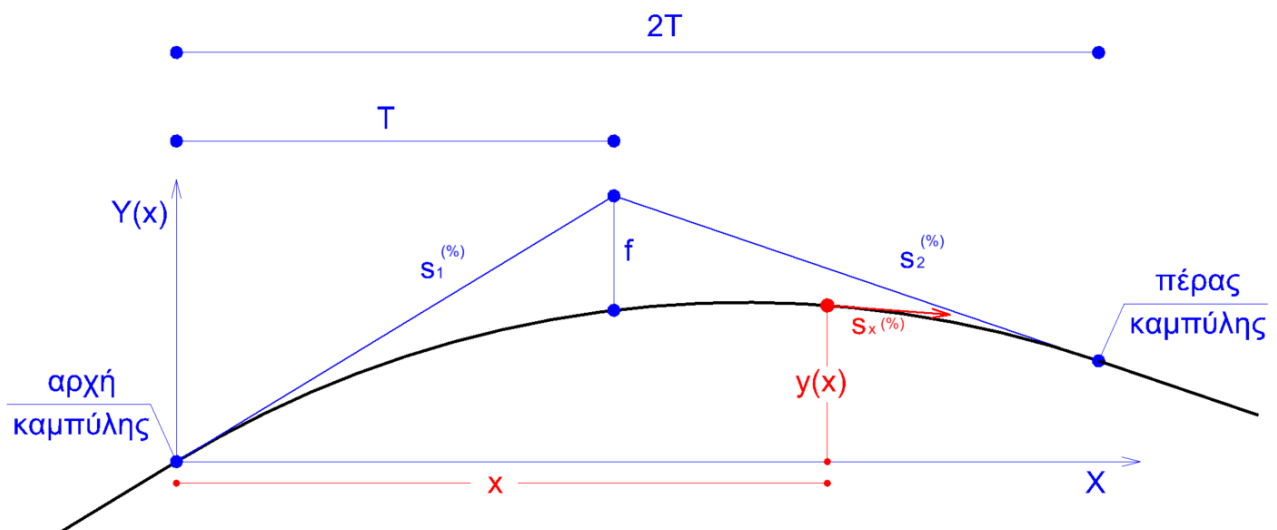
$s_x$ : κατά μήκος κλίση σε τυχαία απόσταση " $x$ " από την αρχή της καμπύλης (%)

$f$ : βέλος καμπύλης (m)

Επισημαίνεται ότι οι τιμές των εξισώσεων 3.2-3.5 εισάγονται αλγεβρικά ως εξής:

Περιγραφή	Συμβολισμός	Μονάδα	Πρόσημο
Κλίση ανωφέρειας	$s$ 	(%)	(+)
Κλίση κατωφέρειας	$s$ 	(%)	(-)
Παράμετρος κυρτής κατακόρυφης καμπύλης	$H_k$ 	(m)	(-)
Παράμετρος κοίλης κατακόρυφης καμπύλης	$H_w$ 	(m)	(+)

Πίνακας 3-1



Εικόνα 3-2

### 3.4 Διατομές

Η διατομή της οδού προκύπτει από την προβολή στο κατακόρυφο επίπεδο της κάθετης τομής στον άξονα της οδού. Η εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος στη διατομή ονομάζεται επίκλιση. Η επίκλιση είναι αναγκαία τόσο σε ευθύγραμμα όσο και σε καμπύλα τμήματα οδών. (Μαυρομάτης 2021)



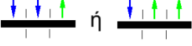
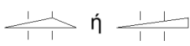




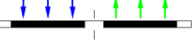

### 3.4.1 Επίκλιση σε ευθύγραμμία

Σε ευθύγραμμα τμήματα, η επίκλιση εξυπηρετεί την απορροή των ομβρίων και η τιμή της εξαρτάται κυρίως από βροχομετρικά στοιχεία της περιοχής μελέτης. Γενικά, ως τυπική τιμή ελάχιστης επίκλισης στις ευθύγραμμίες για τα ευρωπαϊκά δεδομένα λαμβάνεται:

$$e_{min} = 2.50 \% (2.00\%) \quad (3-6)$$

Η τιμή εντός παρένθεσης αφορά στις οδηγίες AASHTO.

Η επίκλιση του οδοστρώματος στα ευθύγραμμα τμήματα μπορεί να έχει μονοκλινή ή αμφικλινή διαμόρφωση όπου σε κάθε περίπτωση υπάρχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η μονοκλινή διαμόρφωση είναι πιο εύκολη κατασκευαστικά και υπερτερεί ως προς το κόστος των υδραυλικών διατάξεων στις οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας. Η αμφικλινή διάταξη επικλίσεων, παρέχει ισοσταθμία μεταξύ των οριογραμμών και από υδραυλικής άποψης προτιμάται στις οδούς με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας δεδομένου ότι αποφεύγονται υδραυλικά έργα στην κεντρική νησίδα. Κατά κανόνα, σε οδούς δύο λωρίδων και άνω ανά κατεύθυνση, επιλέγεται αμφικλινή διαμόρφωση επικλίσεων.

Οδόστρωμα	Επίκλιση
	
	
	
	
	

Εικόνα 3-3 - Μορφές Επικλίσεων

### 3.4.2 Επίκλιση σε κυκλικό τόξο

Σε καμπύλα τμήματα, όπως έχει ήδη αναφερθεί σχετικά, η εφαρμογή επίκλισης σχετίζεται με τη δυναμική της κίνησης όπου γενικά ανασηκώνεται η εξωτερική στην καμπύλη οριογραμμή, εκτός και αν επιβάλλεται η εφαρμογή αρνητικής επίκλισης. Στις οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας εφαρμόζεται πάντα μονοκλινή διαμόρφωση επικλίσεων και κατά κανόνα (εξαρτάται από τη

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

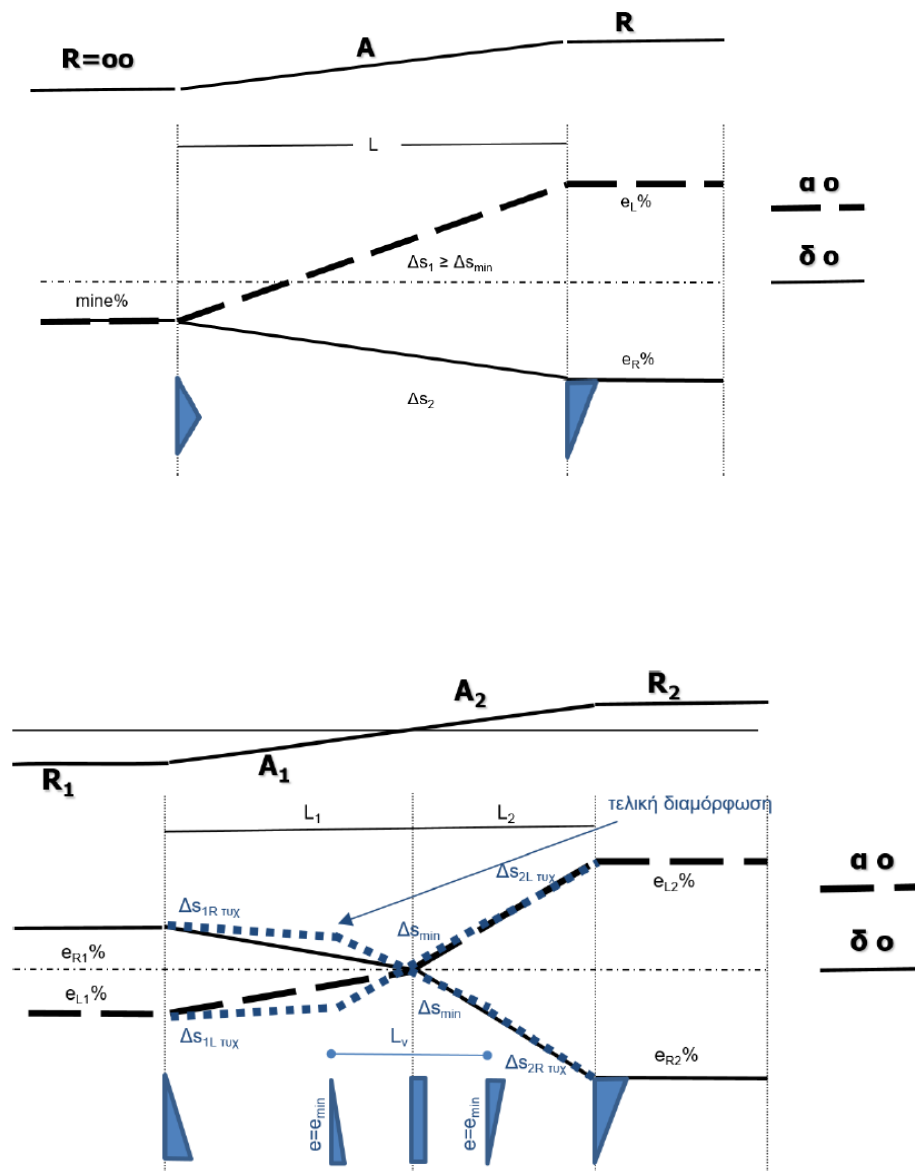
δυνατότητα απορροής ομβρίων), στις περιπτώσεις οδών με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας.

Κατά την κίνηση οχημάτων σε καμπύλες, προκειμένου να αποφευχθεί εγκάρσια ολίσθηση λόγω παγετού, υπάρχουν άνω όρια στην εφαρμογή της επίκλισης, η οποία κυμαίνεται από:

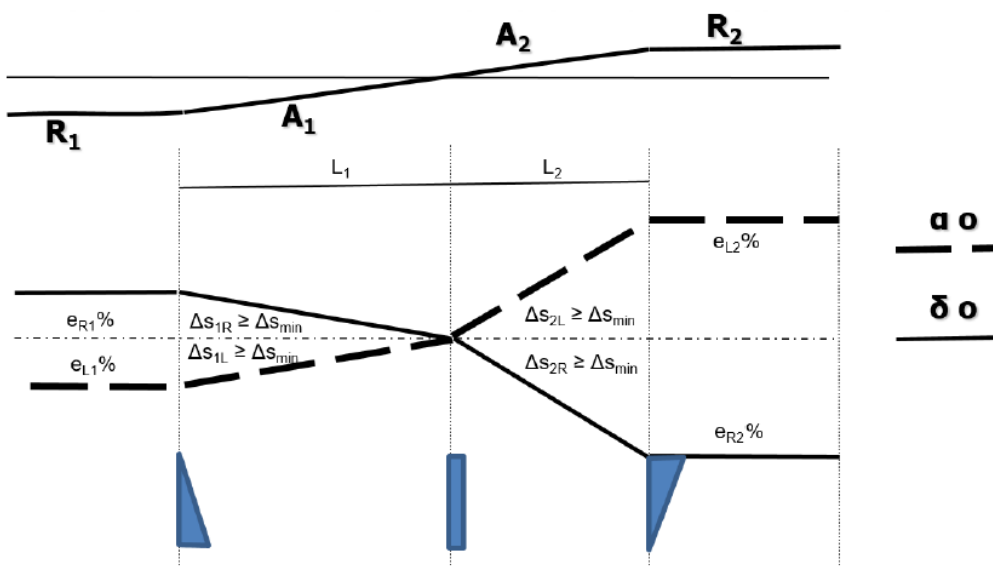
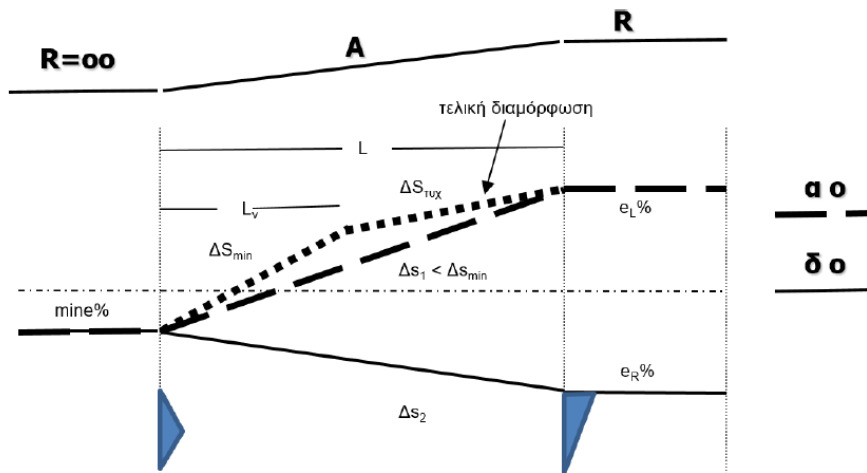
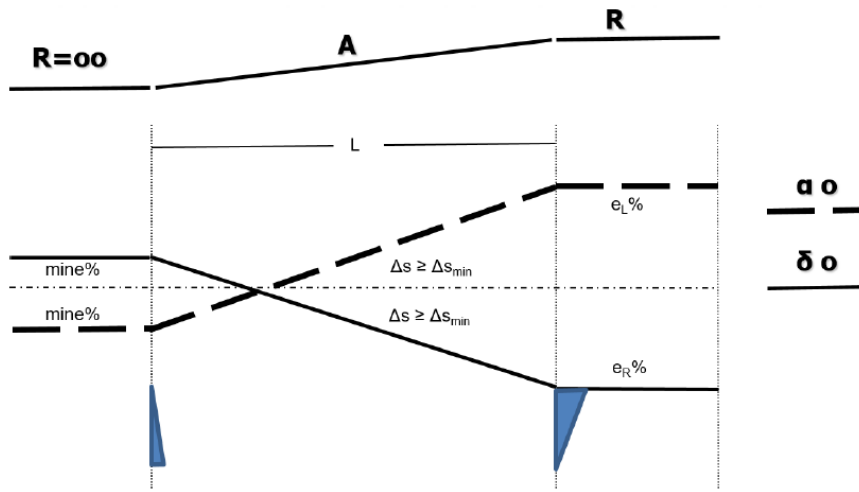
$$2.50\% \leq e_{max} = 6.00\% - 7.00\% (8.00\% - 9.00\%) (3-7)$$

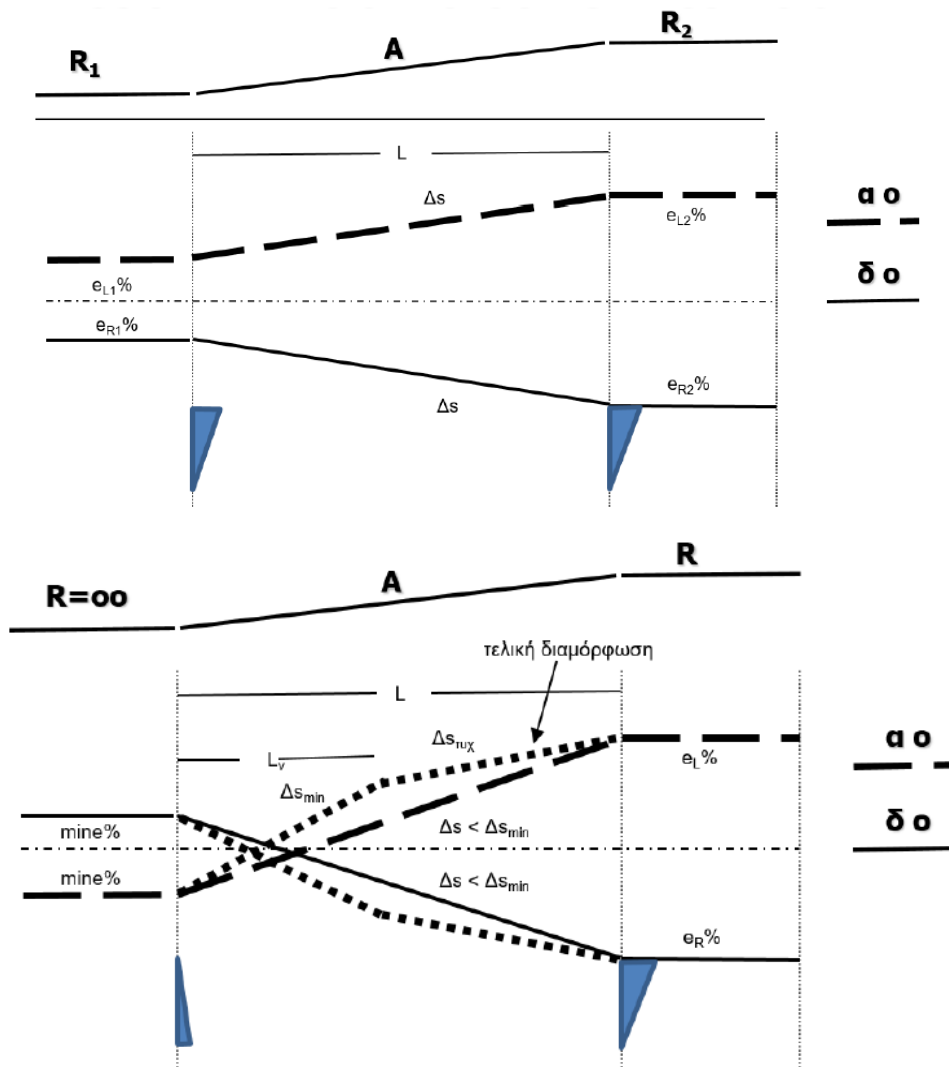
Όπως προαναφέρθηκε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση με βάση τις Αμερικάνικες Οδηγίες (AASHTO) η μέγιστη τιμή της επίκλισης κυμαίνεται από 4.00% έως 12.00%. Στις Γερμανικές RAA και RAL εφαρμόζεται η μέγιστη τιμή επίκλισης 6.00% έως 7.00%

Βασικές μορφές του μήκους συναρμογής παρουσιάζονται στην Εικόνα 3-4



ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ





Εικόνα 3-4 (Μαυρομάτης 2023)

### 3.4.3 Πρόσθετη κλίση οριογραμμών στην περιοχή του τόξου συναρμογής

Έστω ότι σε οδικό τμήμα τα σημεία A και B βρίσκονται επί του άξονα περιστροφής οδοστρώματος και οριοθετούν την περιοχή μεταβαλλόμενης επίκλισης μήκους L. Αν το υψόμετρο του σημείου A είναι  $h_A$  και το υψόμετρο του σημείου B είναι  $h_B$  τότε για την κατά μήκος κλίση s του οδικού τμήματος μεταξύ των A και B ισχύει:

$$s = \frac{h_B - h_A}{L} \cdot 100 \quad (3-8)$$

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Θεωρώντας ότι η εγκάρσια απόσταση του άξονα περιστροφής από την οριογραμμή της οδού είναι  $a$ , τα υψόμετρα στην αριστερή και τη δεξιά οριογραμμή των σημείων A και B υπολογίζονται ως εξής:

$$h_{AL} = h_A + \frac{e_{AL}}{100} \cdot a \quad (3-9)$$

$$h_{AR} = h_A + \frac{e_{AR}}{100} \cdot a \quad (3-10)$$

$$h_{BL} = h_B + \frac{e_{BL}}{100} \cdot a \quad (3-11)$$

$$h_{BR} = h_B + \frac{e_{BR}}{100} \cdot a \quad (3-12)$$

Όπου (οι τιμές των επικλίσεων εισάγονται αλγεβρικά):

$e_{AL}$ : επίκλιση αριστερής ημι-διατομής στο σημείο A (%)

$e_{AR}$ : επίκλιση δεξιάς ημι-διατομής στο σημείο A (%)

$e_{BL}$ : επίκλιση αριστερής ημι-διατομής στο σημείο B (%)

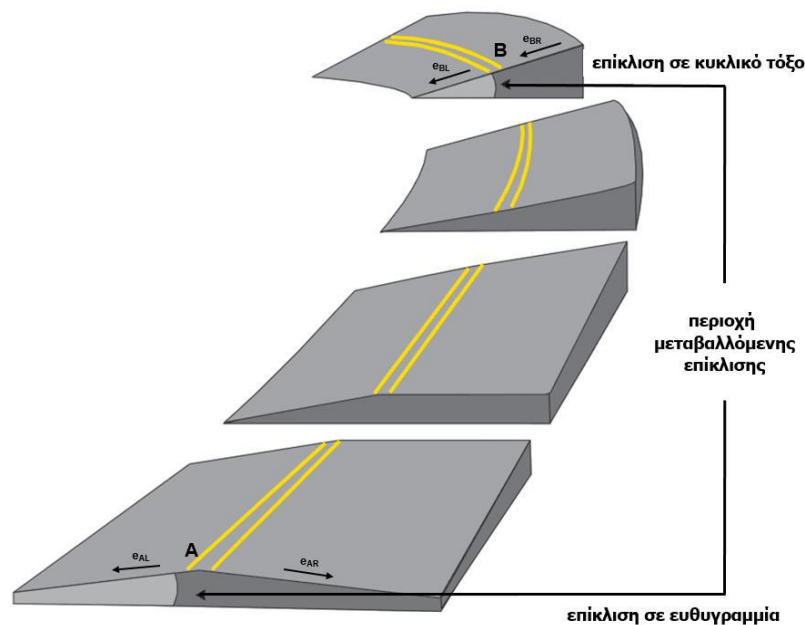
$e_{BR}$ : επίκλιση δεξιάς ημι-διατομής στο σημείο B (%)

$h_{AL}$ : υψόμετρο αριστερής ημι-διατομής στο σημείο A (%)

$h_{AR}$ : υψόμετρο δεξιάς ημι-διατομής στο σημείο A (%)

$h_{BL}$ : υψόμετρο αριστερής ημι-διατομής στο σημείο B (%)

$h_{BR}$ : υψόμετρο δεξιάς ημι-διατομής στο σημείο B (%)



Εικόνα 3-5 - Μαυρομάτης 2021



## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Το μήκος της αριστερής  $L_L$  και δεξιάς  $L_R$  οριογραμμής μεταξύ των σημείων A και B προσεγγιστικά είναι:

$$L_L \sim L_R \sim L$$

Η κλίση της αριστερής οριογραμμής  $s_L$  μεταξύ των σημείων A και B τότε είναι:

$$s_L = \frac{h_{BL} - h_{AL}}{L_L} \cdot 100 = s + \frac{e_{BL} - e_{AL}}{L} \cdot 100 \quad (3-13)$$

Όμοια η κλίση  $s_R$  της δεξιάς οριογραμμής μεταξύ των σημείων A και B τότε είναι:

$$s_R = \frac{h_{BR} - h_{AR}}{L_R} \cdot 100 = s + \frac{e_{BR} - e_{AR}}{L} \cdot 100 \quad (3-14)$$

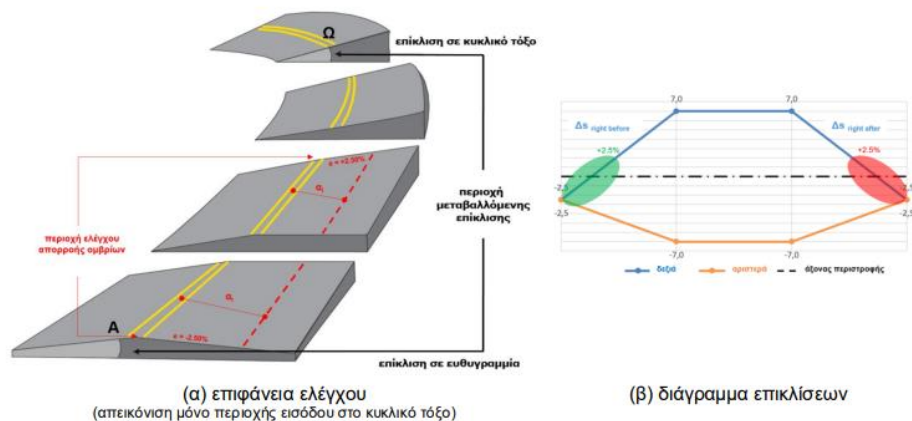
Με βάση την εξίσωση 3-13 και την εξίσωση 3-14 προκύπτει ότι η κλίση των οριογραμμών είναι πάντα μεγαλύτερη, κατά απόλυτη τιμή, από την κλίση του άξονα κατά το μέγεθος  $\Delta s$  το οποίο ορίζεται ως πρόσθετη κλίση οριογραμμής.

$$\Delta s = \frac{e_T - e_a}{L} \cdot a \quad (3-15)$$

Η ικανοποιητική απορροή των ομβρίων του οδοστρώματος καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ασφάλεια μιας οδού, δεδομένου ότι από την ύπαρξη λιμναζόντων υδάτων στην οδό μειώνεται η διατιθέμενη τριβή μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος με απρόβλεπτες συνέπειες στην ευστάθειά του οχήματος, ιδιαίτερα κατά τις απότομες επιβραδύνσεις και επιταχύνσεις.

Ο έλεγχος απορροής ομβρίων λαμβάνει χώρα εντός της περιοχής στην οποία η επίκλιση μεταβάλλεται από -2.50% σε +2.50% ή αντίθετα. Η δυνατότητα ικανοποιητικής απορροής ομβρίων του οδοστρώματος αξιολογείται βάσει των εξής κριτηρίων: (Μαυρομάτης 2023)

- 1) Έλεγχος ελάχιστης πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών
- 2) Έλεγχος σύνθετης κλίσης



Σημείωση. Στις περιοχές μεταβολής επίκλισης από -2.50% σε +2.50% και αντίθετα, θεωρείται ότι  $\Delta s > \Delta s_{min}$ .

### Εικόνα 3-6 – Περιοχή Ελέγχου Ικανοποιητικής Απορροής Ομβρίων

Η πρόσθετη κλίση υπερύψωσης της οριογραμμής, στα τμήματα προσαρμογής των επικλίσεων με περιστροφή του οδοστρώματος στην περιοχή από  $+e_{min}$  (+2.50%) μέσω 0% έως  $-e_{min}$  (-2.50%), ή αντίθετα, δεν πρέπει να είναι κατ' απόλυτη τιμή μικρότερη της ελάχιστης κλίσης υπερύψωσης ( $\Delta s_{min}$ ). Άρα θα πρέπει να ισχύει:

$$\Delta s = \frac{e_{\tau} - e_a}{L} \cdot a \geq 0.1a = \Delta s_{min} \quad (3-16)$$

Υπενθυμίζεται ότι όταν εξασφαλίζεται επίκλιση  $e > 2.50\%$  εντός του μήκους εφαρμογής της πρόσθετης κλίσης της οριογραμμής, δεν απαιτείται να ισχύει  $\Delta s \geq \Delta s_{min}$ .

Ο έλεγχος της ικανοποιητικής απορροής των ομβρίων του οδοστρώματος με βάση τη σύνθετη κλίση θεωρείται ο πλέον αξιόπιστος, καθώς δύνανται να οριοθετηθούν με ακρίβεια οι περιοχές με μειωμένη απορροή.

Η σύνθετη κλίση ελέγχεται στην περιοχή της κρίσιμης οριογραμμής (η επίκλιση μεταβάλλεται από -2.50% σε +2.50% ή αντίθετα), σε απόσταση μεταξύ του άξονα περιστροφής της οδού και του εξωτερικού ορίου των λωρίδων κυκλοφορίας (οριογραμμή αναφοράς). Η απόσταση αυτή είναι η απόσταση "α".

Θα πρέπει δηλαδή να εξασφαλίζεται ότι εντός της επιφάνειας που ορίζεται από το μήκος της οδού στο οποίο η επίκλιση μεταβάλλεται από -2.50% σε +2.50% (ή αντίθετα) και της απόστασης "α", η τιμή της σύνθετης κλίσης είναι μεγαλύτερη του 0.50% (0.70%). Κατά συνέπεια, σε δεδομένη θέση οδού, με επίκλιση  $e$ , από την οποία

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

διέρχεται οριογραμμή με απόσταση από τον άξονα περιστροφής της οδού  $a_i < \alpha$  η σημειακή σύνθετη κλίση υπολογίζεται ως εξής:

$$p_{ai} = \sqrt{s_{\text{οριογραμμής (σε απόσταση } a_i)^2} + e^2} \geq 0.5 \quad (3-17)$$

Δεδομένου ότι η κλίση οριογραμμής (αριστερή ή δεξιά) εντός τόξου συναρμογής προκύπτει από το άθροισμα της κατά μήκος κλίσης του άξονα περιστροφής της οδού και της πρόσθετης κλίσης της αντίστοιχης αριστερής ή δεξιάς οριογραμμής  $\Delta s$ , ισχύει:

$$s_{\text{left οριογραμμή}} = s_{\text{άξονα}} + \Delta s_{\text{left}} \quad (3-18)$$

$$s_{\text{right οριογραμμή}} = s_{\text{άξονα}} + \Delta s_{\text{right}} \quad (3-19)$$

Με βάση τις παραπάνω 3 εξισώσεις, προκύπτει ότι στην περιοχή της κρίσιμης οριογραμμής (μεταβολή επίκλισης από -2.50% σε +2.50%, ή αντίθετα), η σημειακή σύνθετη κλίση σε απόσταση  $a_i < \alpha$  από τον άξονα περιστροφής της οδού, λαμβάνοντας υπόψη και την πρόσθετη κλίση οριογραμμής ( $\Delta s$ ) που αντιστοιχεί στην οριογραμμή αναφοράς, η οποία απέχει απόσταση " $\alpha$ " από τον άξονα περιστροφής της οδού, είναι:

$$p_{ai, \text{left}} = \sqrt{(s_{\text{άξονα}} + \Delta s_{\text{left}})^2 + e^2} \geq 0.5 \quad (3-20)$$

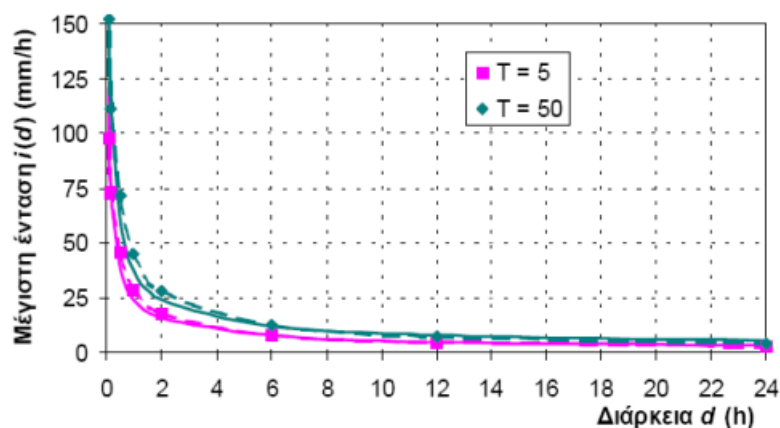
$$p_{ai, \text{right}} = \sqrt{(s_{\text{άξονα}} + \Delta s_{\text{right}})^2 + e^2} \geq 0.5 \quad (3-21)$$

Με βάση τις 2 παραπάνω εξισώσεις, ικανοποιητική απορροή ομβρίων οδοστρώματος υφίσταται όταν:

- 1)  $|s_{\text{άξονα}}| \geq 0.50\%$ , στην περίπτωση κατά την οποία η πρόσθετη κλίση υπερύψωσης  $\Delta s$  έχει το ίδιο πρόσημο με την κλίση του άξονα περιστροφής της οδού ( $s_{\text{άξονα}}$ )
- 2)  $|s_{\text{άξονα}} + \Delta s_{\alpha_i, \alpha}| \geq 0.50\%$ , δηλαδή το αλγεβρικό άθροισμα που δίδει την κλίση οριογραμμής ( $s_{\text{οριογραμμής}}$ ) σε όλο το φάσμα  $a_i \leq \alpha$  είναι κατ' απόλυτη τιμή μεγαλύτερο ή ίσο του 0.50%, στην περίπτωση κατά την οποία η πρόσθετη κλίση υπερύψωσης ( $\Delta s$ ) έχει αντίθετο πρόσημο με την κλίση του άξονα περιστροφής της οδού ( $s_{\text{άξονα}}$ ).



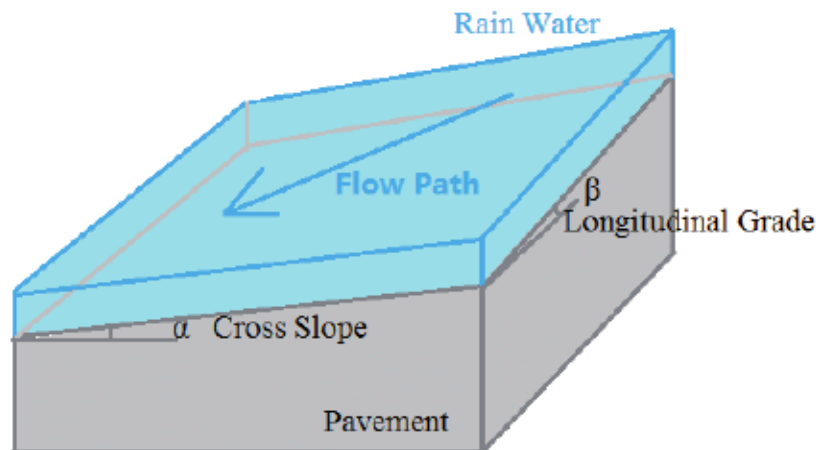
24ωρες βροχοπτώσεις είναι μια ικανοποιητική διάρκεια αναφοράς για τον σχεδιασμό στην οδοποιία (ΟΜΟΕ-ΑΣΕΥΟ 2013), μια τιμή αντιπροσωπευτική για τα έργα οδικής υποδομής. Επίσης σημαντική παράμετρος σχεδιασμού είναι η περίοδος επαναφοράς (T) που συμμετέχει στο προσδιορισμό της έντασης της βροχόπτωσης, δηλαδή πόσο συχνά επαναλαμβάνεται βροχόπτωση δεδομένης έντασης. Η τιμή της περιόδου επαναφοράς επιλέγεται με βάση την σπουδαιότητα του έργου και των ενδεχόμενων καταστροφών από μια δυνατή αστοχία, ενώ οι τιμές κυμαίνονται από 5 έτη (κατασκευή τάφρων αυτοκινητόδρομων) έως 10.000 έτη (σχεδιασμός υπερχειλιστών φραγμάτων). Τυπική τιμή είναι τα 10-25 έτη (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ). Τέλος για να υπολογιστεί η μέγιστη ένταση βροχόπτωσης, υπολογίζονται οι όμβριες καμπύλες αφού πρώτα έχει καθοριστεί η περίοδος επαναφοράς. Τυπικές τιμές σχεδιασμού έντασης βροχόπτωσης στα έργα οδικής υποδομής είναι από 50 έως 150 mm/h. (DN-GEO-03031,2023)



Εικόνα 3-8 Παράδειγμα Όμβριων Καμπυλών (Λουκάς)

### 3.5.1.2 Μήκος της ροής του νερού (L<sub>f</sub>)

Το μήκος της ροής του νερού η συνολική απόσταση που θα διανύσει μία σταγόνα νερού από το σημείο που θα πέσει στο οδόστρωμα ως κατακρήμνισμα (σημείο A) ως το σημείο B που είτε θα λιμνάσει είτε θα απομακρυνθεί από το οδόστρωμα. Σημειώνεται ότι οποιαδήποτε σταγόνα πέσει στη διαδρομή αυτή θα χρησιμοποιήσει την ίδια γραμμή ροής. Είναι προφανές ότι όσο πιο μεγάλο είναι το μήκος της γραμμής ροής τόσο πιο μεγάλο θα είναι το ύψος του νερού που θα συσσωρευτεί. Συνεπώς κρισιμότερη (συνήθως) είναι η γραμμή ροής που έχει το μεγαλύτερο μήκος. Στην εικόνα 3-9 παρουσιάζεται ένα σχηματικό παράδειγμα της επιφάνειας ενός τμήματος του οδοστρώματος, όπου φαίνεται η ροή του νερού στη διεύθυνση της σύνθετης κλίσης.



Εικόνα 3-9 Γραμμή Ροής (Luo et al, 2016)

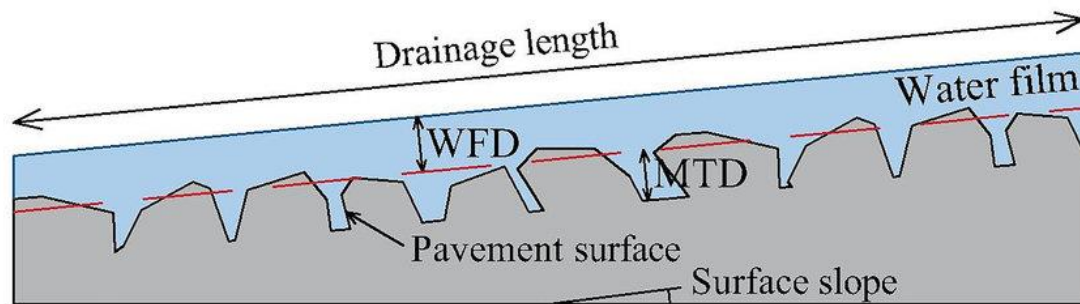
### 3.5.1.3 Κλίση κατά μήκος της ροής του νερού ( $S_f$ )

Λόγω των βαρυτικών δυνάμεων η ροή του νερού είναι πάντα από τα υψηλότερα στα χαμηλότερα υψόμετρα (μείωση ενεργειακής στάθμης). Στη πλειονότητα των μοντέλων προσδιορισμού για τον προσδιορισμό του ύψους του νερού η κλίση της διαδρομής αποτελεί από τις βασικές παραμέτρους σχεδιασμού. Είναι φυσικό, ότι όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της γραμμής ροής τόσο μικρότερο είναι το ύψος που σχηματίζεται αφού το νερό κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα και συνεπώς απομακρύνεται πιο γρήγορα από το οδόστρωμα. Συνήθως η κλίση δεν είναι ενιαία, αφού κατά μήκος της γραμμής η κλίση αλλάζει.

Σε κάθε περίπτωση η κλίση αναφέρεται στη σύνθετη (συνδυασμένη) κλίση η οποία προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα κατά μήκος κλίσης και επίκλισης του οδοστρώματος.

### 3.5.1.4 Μέσο Βάθος Τραχύτητας Οδοστρώματος (MTD)

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες σχεδιασμού οδικών έργων είναι η πρόσφυση των ελαστικών του οχήματος με το οδόστρωμα. Αρκετές φορές η τραχύτητα του οδοστρώματος είναι κρίσιμη παράμετρος στο φαινόμενο της υδρολίσθησης. Στις σύγχρονες οδικές υποδομές δίδεται μεγάλη έμφαση στη λειτουργική και μηχανική συμπεριφορά της αντιολισθηρής στρώσης και η επίτευξη της επιθυμητής τραχύτητας γίνεται μέσα από πορώδης στρώσεις κυκλοφορίας. Τυπικές τιμές κυμαίνονται από 1 έως 2 mm (σε υφιστάμενα οδοστρώματα μπορεί αυτή η τιμή να πέσει και στο 0.5 mm) (ΤΠ 1501-05-03-12-01,2018). Στην εικόνα 3-10 παρουσιάζεται σχηματικά η μακροϋφή του οδοστρώματος και το βάθος ροής νερού κατά μήκος της γραμμής ροής.



Εικόνα 3-10 Ύψος Νερού και Μέσο Βάθος Υφής

### 3.5.1.5 Μεταβολή Γωνιακής Ταχύτητας Περιστροφής Ελαστικού [Spin Down Effect Υδρολίσησης (SD)]

Στην έναρξη της υδρολίσησης εμφανίζεται μια μεταβολή στην ταχύτητα περιστροφής του ελαστικού, όπου μαθηματικά εκφράζεται ως εξής:

$$SD = \frac{\omega_d - \omega_v}{\omega_d} \cdot 100$$

Όπου:

SD = Μεταβολή Γωνιακής Ταχύτητας Περιστροφής Ελαστικού (%)

$\omega_d$  = Ταχύτητα Περιστροφής Ελαστικού σε Ξηρή Επιφάνεια

$\omega_w$  = Ταχύτητα Περιστροφής Ελαστικού μετά την παρεμβολή της στρώσης νερού και την απομάκρυνση του ελαστικού από το οδόστρωμα.

Τυπική τιμή σχεδιασμού είναι περίπου 10 %. (Lee et al, 2020)

### 3.5.1.6 Πίεση Ελαστικών ( $P_t$ )

Ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της υδρολίσησης είναι η πίεση των ελαστικών. Γενικά, σε επιβατηγά οχήματα κυμαίνεται μεταξύ 24 psi – 36 psi.

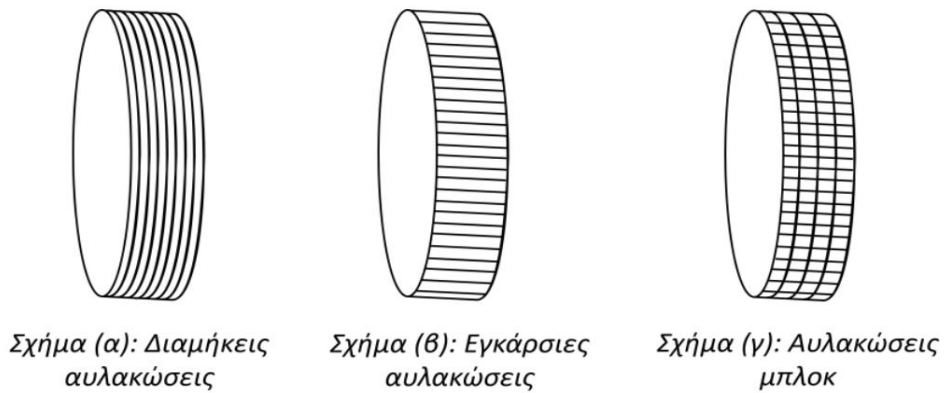
### 3.5.1.7 Βάθος Αυλακώσεων Ελαστικών (TD)

Για την αύξηση της αντολισθηρότητας των ελαστικών η πλειονότητα των ελαστικών σχεδιάζονται με αυλακώσεις. Κατά την επιλογή των αυλακώσεων επιλέγεται το πρότυπο και το βάθος τους. Όσον αφορά το πρότυπο, στην υδρολίσηση γίνεται ερευνητικά κυρίως λόγος για το εάν οι αυλακώσεις θα είναι εγκάρσιες, διαμήκειες ή ένας συνδυασμός σχηματίζοντας ένα μπλοκ. Όσον αφορά με το βάθος των αυλακώσεων, που εμφανίζεται και στα μαθηματικά μοντέλα για την υδρολίσηση, φαίνεται ότι αύξηση του βάθους επιτυγχάνει τις ταχύτητες υδρολίσησης (Kumar and Kumar 2009). Αυτό είναι λογικό αφού είναι η δυνατή η αποθήκευση νερού στις αυλακώσεις του ελαστικού, αποτρέπει το γρήγορο



## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

σχηματισμό στρώσης νερού ανάμεσα στο οδόστρωμα και το ελαστικό. Τυπικές τιμές σχεδιασμού βάθους αυλακώσεων ελαστικών είναι από 0.5 mm έως 2 mm. (Pirelli, 2024)



**Εικόνα 3-11 Συνηθισμένα Πρότυπα Αυλακώσεων Ελαστικών**



**Εικόνα 3-12 Κίνδυνος Υδρολίσθησης συναρτήσει βάθους αυλάκωσης ελαστικού**



#### 4 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η παρουσίαση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση της σύνθετης κλίσης ως προς το μέτρο αλλά και την κατεύθυνση τόσο σε τοπικό όσο και σε γενικό σύστημα αξόνων.

Επίσης παρουσιάζεται λογισμικό που αναπτύχθηκε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού Python για τη διερεύνηση των γεωμετρικών παραμέτρων της οδού αναφορικά με το φαινόμενο της υδρολίστεσης. Τέλος με τη βοήθεια του λογισμικού OpenRoads Designer 2021 της Bentley Systems θα συσχετιστούν τα αποτελέσματα και θα αξιολογηθεί ο κίνδυνος υδρολίστεσης συναρτήσει των γεωμετρικών παραμέτρων.

Στην ανάλυση που θα ακολουθήσει, θεωρείται ότι δεν υφίσταται ασθενής απορροή ομβρίων, καθώς κάτι τέτοιο επιβάλλεται να διορθώνεται στη φάση μελέτης του οδικού έργου.

##### 4.1 Αναλυτικός Υπολογισμός Ελάχιστης Σύνθετης Κλίσης

Επίσης αναπτύχθηκαν εξισώσεις υπολογισμού της ελάχιστης σύνθετης κλίσης με αναλυτικό τρόπο.

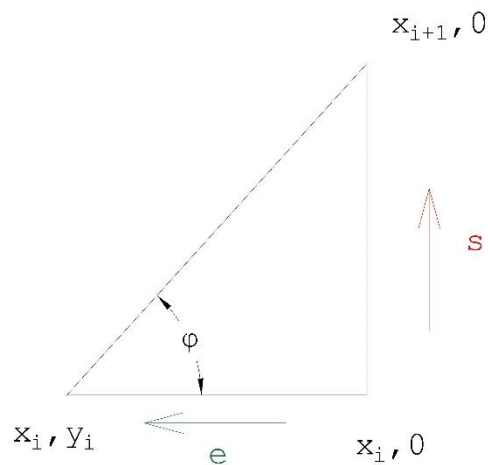
Έστω  $x_A$  η  $X\Theta$  της έναρξης του τόξου συναρμογής και  $x_B$  η  $X\Theta$  του πέρατος του τόξου συναρμογής. Επίσης έστω  $y$  η κάθετη απόσταση ενός σημείου του οδοστρώματος από τον άξονα.

Η σύνθετη κλίση έχει μέτρο:

$$p = \sqrt{s^2 + e^2} \quad (4-1)$$

Και διεύθυνση ως προς το τοπικό σύστημα συντεταγμένων όπως ορίζεται σε κάθε σημείο του άξονα.

$$\tan(\varphi) = \frac{s}{e} \quad (4-2)$$



**Εικόνα 4-1**

Σε εγκάρσια απόσταση  $y$  από τον άξονα η κατά μήκος κλίση είναι:

$$s(x, y) = s(x) + \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot y \quad (4-3)$$

Έστω  $e_1$  και  $e_2$  η επίκλιση στην αρχή και στο πέρας της καμπύλης της κλωθοειδούς.

Αφού η μεταβολή της επίκλισης είναι γραμμική μέσα στην κλωθοειδή τότε θα είναι της μορφής:

$$Y = a \cdot x + b$$

Για  $x=0$  η επίκλιση είναι  $e_1$  και για  $x=L$  η επίκλιση είναι  $e_2$

$$e_1 = a \cdot 0 + b$$

$$e_1 = b$$

$$e_2 = a \cdot L + e_1$$

$$a = \frac{e_2 - e_1}{L}$$

Άρα η τελική μορφή της εξίσωσης η οποία δίνει τιμή επίκλισης σε διαμήκη απόσταση  $x$  από την αρχή της περιοχής περιστροφής του οδοστρώματος είναι:

$$e(x, y) = \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot x + e_1 \quad (4-4)$$

$$\begin{aligned} p(x, y) &= \sqrt{\left(s(x) + \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot y\right)^2 + \left(\frac{e_2 - e_1}{L} \cdot x + e_1\right)^2} \\ &= \sqrt{s^2(x) + 2 \cdot s(x) \cdot \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot y + \left(\frac{e_2 - e_1}{L} \cdot y\right)^2 + \left(\frac{e_2 - e_1}{L} \cdot x\right)^2 + 2 \left(\frac{e_2 - e_1}{L} \cdot x \cdot e_1\right) + (e_1)^2} \\ &= \sqrt{s^2(x) + 2 \cdot \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot (x \cdot e_1 + y \cdot s(x)) + \left(\frac{e_2 - e_1}{L}\right)^2 (x^2 + y^2) + (e_1)^2} \end{aligned}$$

Ισχύει ότι  $a^2 \geq 0 \quad \forall a \in \mathbb{R}$

Συνεπώς  $s^2(x) + \frac{R^2}{A^4} ((e_2 - e_1)(x + y))^2 (e_1)^2 \geq 0 \quad \forall$  τιμή των παραμέτρων αφού όλοι οι όροι βρίσκονται είναι υψωμένοι σε δύναμη ζυγού ακέραιου αριθμού.

Υπενθυμίζεται ότι η εισαγωγή των παραμέτρων είναι αλγεβρική άρα μπορεί να προκύψουν αρνητικές τιμές στον όρο  $2 \cdot \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot (x \cdot e_1 + y \cdot s(x))$ .

Σύμφωνα με τον λογισμό πολλών μεταβλητών μία συνάρτηση  $f(x, y)$  μπορεί να παρουσιάσει ακρότατα στα σημεία  $(x_0, y_0)$  του πεδίου ορισμού της τα οποία ικανοποιούν ένα από τα παρακάτω:

1) Υπάρχουν οι μερικές παράγωγοι της  $f$  και είναι  $\frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0) = 0, \frac{\partial f}{\partial y}(x_0, y_0) = 0$

2) Δεν υπάρχει τουλάχιστον μία από τις μερικές παραγώγους της  $f$  σε αυτά.

3) Είναι σημεία του πεδίου ορισμού της και ανήκουν στο σύνορο.

(Kaniadakis et al)

Για να βρούμε την ελάχιστη τιμή της σύνθετη κλίσης θα χρησιμοποιήσουμε τα αξιώματα 1 και 3 μιας και η συνάρτηση  $p(x, y)$  είναι παραγωγίσιμη στο  $(0, +\infty)$  και ως προς τις 2 μεταβλητές. Για να μειώσουμε τους όρους της μερικής παραγώγου που θα προκύψουν θα βρούμε την ελάχιστη τιμή του  $p(x, y)^2$ . Σε πρώτο στάδιο θα εξετάσουμε την περίπτωση της σταθερούς κατά μήκος κλίσης:

$$\frac{\partial p(x, y)^2}{\partial x} = 2 \cdot \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot e_1 + 2 \cdot \left(\frac{e_2 - e_1}{L}\right)^2 \cdot x = 0$$

$$x = \frac{-L \cdot e_1}{e_2 - e_1}$$

$$\frac{\partial p(x, y)^2}{\partial y} = 2 \cdot \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot s + 2 \cdot y \cdot \left(\frac{e_2 - e_1}{L}\right)^2 = 0$$

$$y = \frac{-L \cdot s}{e_2 - e_1}$$

Όσον αφορά την τιμή του  $x$  δε θα διερευνήσουμε τις ακρότατες τιμές ( $x=0$  και  $x=L$ ) μιας και στην αρχή και στο πέρας της καμπύλης συναρμογής η απόλυτη κατά μέτρο τιμή της επίκλισης είναι πάνω από 2.5%.

Όσον αφορά την τιμή του  $y$  διακρίνουμε 2 περιπτώσεις:

- 1) Η κρίσιμη τιμή του  $y$  να βρίσκεται στο διάστημα  $[0, \alpha]$  όπου  $\alpha$  η απόσταση του άξονα περιστροφής της επιφάνειας κυκλοφορίας από την εξωτερική οριογραμμή της απώτατης, ως προς, αυτόν, λωρίδας κυκλοφορίας (εξαιρούνται ΛΕΑ, ΛΠΧ, πρόσθετες λωρίδες και λωρίδα καθοδήγησης).  $0 \leq \frac{-L \cdot s}{e_2 - e_1} \leq \alpha$  και λύνοντας ως προς  $s$  έχουμε  $0 \geq s \geq \frac{-\alpha \cdot (e_2 - e_1)}{L}$ . Λύνοντας ως προς  $L$  έχουμε  $L \geq \frac{-\alpha \cdot (e_2 - e_1)}{s}$ . Σε αυτή τη περίπτωση η ελάχιστη τιμή της σύνθετης κλίσης είναι 0.
- 2) Η κρίσιμη τιμή του  $y$  να βρίσκεται έξω από το διάστημα  $[0, \alpha]$  με  $\alpha$  όπως ορίστηκε παραπάνω. Σε αυτή την περίπτωση η ελάχιστη τιμή της σύνθετης κλίσης βρίσκεται πάνω στο σύνορο της επιφάνειας που σχηματίζεται.

$$\text{Για } y=0 \quad p(x, 0) = \sqrt{\left(s + \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot 0\right)^2 + \left(\frac{e_2 - e_1}{L} \cdot \frac{-L \cdot e_1}{e_2 - e_1} + e_1\right)^2} =$$

$$\sqrt{s^2 + \left(\frac{e_2 - e_1}{L} \cdot \frac{-L \cdot e_1}{e_2 - e_1} + e_1\right)^2} = |s|$$

$$\text{Για } y=\alpha \quad p(x, \alpha) = \sqrt{\left(s + \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot \alpha\right)^2 + \left(\frac{e_2 - e_1}{L} \cdot \frac{-L \cdot e_1}{e_2 - e_1} + e_1\right)^2} = \sqrt{\left(s + \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot \alpha\right)^2} =$$

$$\left|s + \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot \alpha\right|$$

Σε περίπτωση συνύπαρξης μηκοτομικής και οριζοντιογραφικής συναρμογής οι όροι των εξισώσεων αλλάζουν ακολούθως:

Έστω  $x_s$  η απόσταση μεταξύ της αρχής της μηκοτομικής σε σχέση με την οριζοντιογραφική συναρμογή.

$$s(x) = s_1 + \frac{x - x_s}{H} \cdot 100$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial p(x, y)^2}{\partial x} &= 2 \cdot \left( s_1 + \frac{x}{H} \cdot 100 - \frac{x_s}{H} \cdot 100 + \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot y \right) \cdot \frac{100}{H} \\ &+ 2 \cdot \left( \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot x + e_1 \right) \cdot \left( \frac{e_2 - e_1}{L} \right) = 0 \end{aligned}$$

$$\frac{\partial p(x, y)^2}{\partial y} = \left( s_1 + \frac{x}{H} \cdot 100 - \frac{x_s}{H} \cdot 100 + \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot y \right) \cdot \frac{e_2 - e_1}{L} = 0$$

Οι κρίσιμες τιμές που προκύπτουν είναι:

$$x = \frac{-\frac{s_1 \cdot 100}{H} + \frac{x_s \cdot 10000}{H^2} - \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot y \cdot \frac{100}{H} - e_1 \cdot \frac{e_2 - e_1}{L}}{\frac{10000}{H^2} + \left( \frac{e_2 - e_1}{L} \right)^2}$$

$$y = - \left( s_1 + \frac{x}{H} \cdot 100 - \frac{x_s}{H} \cdot 100 \right) \cdot \frac{L}{e_2 - e_1}$$

Επιλύοντας το σύστημα έχουμε  $x = \frac{-L \cdot e_1}{e_2 - e_1}$ ,

$$y = - \left( s_1 + \frac{-L \cdot e_1}{(e_2 - e_1) \cdot H} \cdot 100 - \frac{x_s}{H} \cdot 100 \right) \cdot \frac{L}{e_2 - e_1}$$

Αντικαθιστώντας αυτές τις τιμές του  $x, y$  στον τύπο της σύνθετης κλίσης παρατηρούμε ότι η ελάχιστη τιμή της σύνθετης κλίσης είναι 0 στην περίπτωση που η τιμή του  $x$  βρίσκεται ανάμεσα στο  $x_s$  και στο  $x_s + 2 \cdot T$ . Έξω από αυτό το διάστημα εφαρμόζεται η μεθοδολογία για την σταθερή κατά μήκος κλίση.

Όσον αφορά την τιμή του  $y$  έξω από το διάστημα  $[0, \alpha]$  τότε διακρίνουμε δύο περιπτώσεις. Είτε το  $y=0$  ή το  $y=\alpha$ . Στην πρώτη περίπτωση:

$$\begin{aligned} p(x, 0) &= \sqrt{\left( s_1 + \frac{x - x_s}{H} \cdot 100 + \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot 0 \right)^2 + \left( \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot x + e_1 \right)^2} \\ \frac{\partial p(x, 0)^2}{\partial x} &= \left( s_1 + \frac{x - x_s}{H} \cdot 100 \right) \cdot \frac{100}{H} + \left( \frac{e_2 - e_1}{L} \right) \cdot \left( \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot x + e_1 \right) = 0 \end{aligned}$$

$$x = \frac{\frac{-s_1 \cdot 100}{H} + \frac{x_s \cdot 10000}{H^2} - e_1 \cdot \frac{e_2 - e_1}{L}}{\frac{10000}{H^2} + \left(\frac{e_2 - e_1}{L}\right)^2}$$

Αντικαθιστούμε την τιμή του x στον τύπο της σύνθετης κλίσης για y=0

Στη δεύτερη περίπτωση:

$$x = \frac{\frac{-s_1 \cdot 100}{H} + \frac{x_s \cdot 10000}{H^2} - \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot \alpha \cdot \frac{100}{H} - e_1 \cdot \frac{e_2 - e_1}{L}}{\frac{10000}{H^2} + \left(\frac{e_2 - e_1}{L}\right)^2}$$

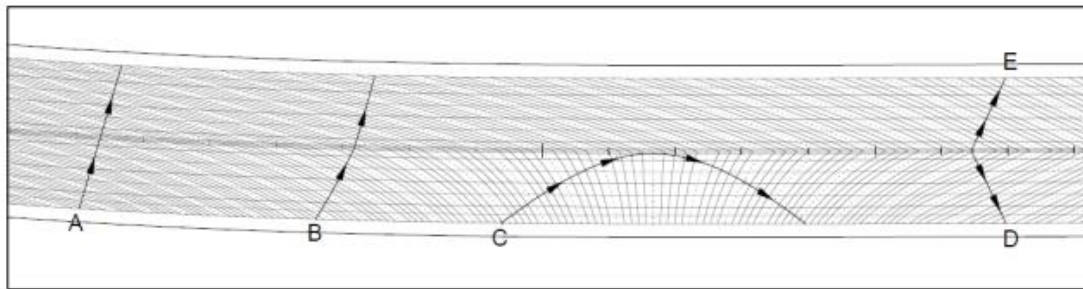
Αντικαθιστούμε την τιμή του x στον τύπο της σύνθετης κλίσης για y=L

## 4.2 Κρίσιμες Περιοχές Υδρολίσησης

Οι κρίσιμες περιοχές για την εμφάνιση του φαινομένου της υδρολίσησης είναι στις περιοχές που μεταβάλλεται η επίκλιση από αρνητική σε θετική τιμή και αντίστροφα. Σε αυτό το τμήμα της οδού υπάρχει μία διατομή που η επίκλιση είναι ίση με το μηδέν και συνεπώς μόνο η κατά μήκος κλίση είναι ικανή να αποστραγγίζει τα όμβρια της οδού. (DN-GEO-03031-12,2023)

Συνήθως η πιο δυσμενής περίπτωση είναι εκεί που το μήκος της γραμμής ροής μεγιστοποιείται, που έχει ως αποτέλεσμα της μεγιστοποίηση του ύψος του νερού. Στην εικόνα 4-2 παρατηρούμε ότι σε αμφικλινές οδόστρωμα η κρίσιμη γραμμή ροής είναι η C, δηλαδή αυτή με το μεγαλύτερο μήκος.

Η ανάλυση χρησιμοποιεί τη βασική παραδοχή ότι πρώτα θα ελεγχθεί ότι δεν υπάρχει ασθενής απορροή ομβρίων. Η σχέση του Gallaway (1979) είναι πολύ ευαίσθητη στις περιοχές που η κλίση είναι κάτω του 0.5 % και δεν είναι σαφής η κατανομή και η ροή του νερού στο οδόστρωμα. Σε κάθε περίπτωση όμως, ο μελετητής οφείλει να διαμορφώσει την οδό έτσι ώστε να υπάρχει ικανοποιητική απορροή ομβρίων (σύνθετη κλίση μεγαλύτερη του 0.50%) και μετά να χρησιμοποιήσει το μοντέλο, για να εξετάσει το φαινόμενο της υδρολίσησης.

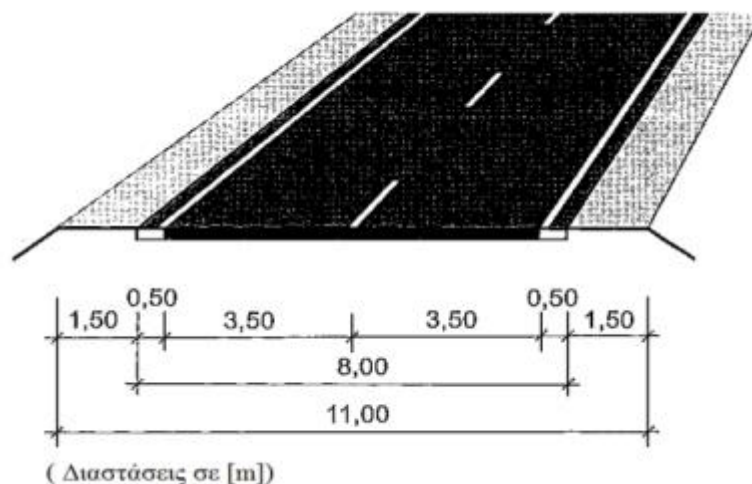


Εικόνα 4-2 Παράδειγμα γραμμών ροής

### 4.3 Επιλογή Διατομών

Στο πλαίσιο της διερεύνησης, επελέγησαν τέσσερις τύποι διατομών, κατά RAL (2012) και RAA (2008), οι οποίες, τουλάχιστον με κριτήριο το εύρος οδοστρώματος καλύπτουν τις πιο τυπικές απαιτήσεις κυκλοφορίας. Συγκεκριμένα, επελέγησαν διατομές με μία, δύο, τρεις και τέσσερις λωρίδες ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας, οι οποίες περιγράφονται στα εδάφια που ακολουθούν.

1. Η διατομή RQ 11 με δυνατότητα προσπέρασης κατά RAL 2012 (EKL3)



Εικόνα 4-3 RQ 11

Πρόκειται για διατομή δύο λωρίδων κυκλοφορίας με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας, η οποία αφορά ταχύτητα  $V=90$  km/h. Ο άξονας περιστροφής χωροθετείται στο μέσο των δύο λωρίδων κυκλοφορίας. Άρα στη περιοχή της κλωθοειδούς τα όμβρια θα περάσουν από τη μία λωρίδα κυκλοφορίας στην άλλη

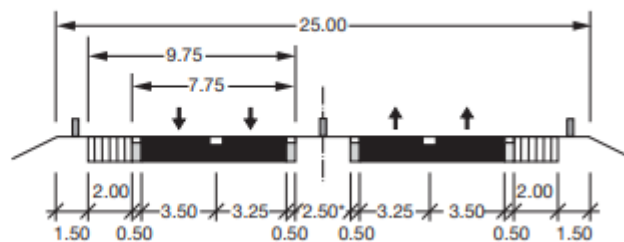
## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

αυξάνοντας το μήκος της γραμμής ροής. Η λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση είναι 3.5 m με εξωτερική λωρίδα καθοδήγησης ίση με 0.5 m. Ο άξονας περιστροφής του οδοστρώματος στη μέση του χώρου κυκλοφορίας. Συνεπώς το  $\alpha$  είναι 3.5 m και το συνολικό πλάτος του οδοστρώματος ανά κατεύθυνση ίσο με 4 m. Το  $\Delta s_{\min} = 0.10 \cdot 3.50 = 0.350\%$  στην οριογραμμή της λωρίδας.

Για να υπάρχει ικανοποιητική απορροή ομβρίων, δηλαδή να υπάρχει κλίση τουλάχιστον 0.50% εντός των λωρίδων κυκλοφορίας (εντός της περιοχής επιρροής το "α") δηλαδή επελέγη ελάχιστη τιμή κατά μήκος κλίσης:  $s_1 = -0.85\%$ ,

### 2. Η Διατομή RQ25 κατά RAA 2008 (EKA 3)

RQ 25



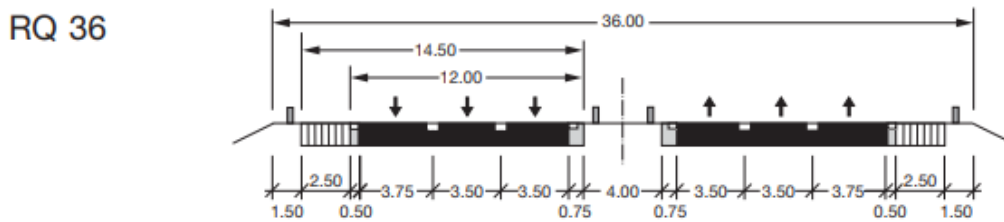
Εικόνα 4-4 RQ 25

Πρόκειται για διατομή διαχωρισμένων επιφανειών με άξονα περιστροφής οδοστρώματος στην εσωτερική λωρίδα καθοδήγησης, η οποία αφορά ταχύτητα  $V=80$  km/h. Οι λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση είναι 6.75 m και εξωτερική λωρίδα καθοδήγησης και η Λ.Ε.Α ίσα με 2.5 m. Ο άξονας περιστροφής του οδοστρώματος είναι στο άκρο του χώρου κυκλοφορίας. Συνεπώς το  $\alpha$  είναι 7.25 m και το συνολικό πλάτος του οδοστρώματος ανά κατεύθυνση ίσο με 9.75 m. Το  $\Delta s_{\min} = 0.10 \cdot 7.25 = 0.725\%$  στην οριογραμμή της λωρίδας.

Για να υπάρχει ικανοποιητική απορροή ομβρίων, δηλαδή να υπάρχει κλίση τουλάχιστον 0.50% εντός των λωρίδων κυκλοφορίας (εντός της περιοχής επιρροής το "α") δηλαδή επελέγη ελάχιστη τιμή κατά μήκος κλίσης:  $s_1 = -1.225\%$



3. Η Διατομή RQ 36 κατά RAA 2008 (EKA 1)

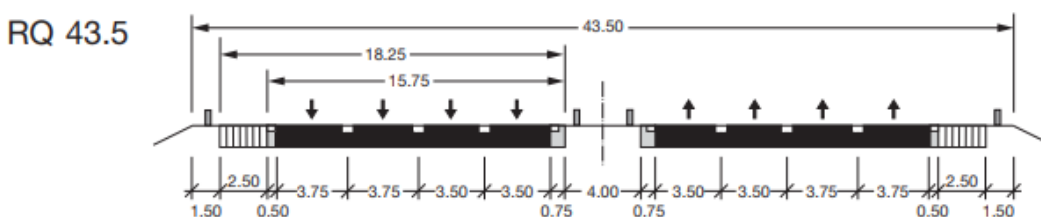


**Εικόνα 4-5 RQ 36**

Πρόκειται για διατομή διαχωρισμένων επιφανειών με άξονα περιστροφής οδοστρώματος στην εσωτερική λωρίδα καθοδήγησης, η οποία αφορά ταχύτητα  $V=120$  km/h. Οι λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση είναι 10.75 m και εξωτερική λωρίδα καθοδήγησης και η Λ.Ε.Α. ίσα με 3 m. Ο άξονας περιστροφής του οδοστρώματος είναι στο άκρο του χώρου κυκλοφορίας. Συνεπώς το  $\alpha$  είναι 11.5 m και το συνολικό πλάτος του οδοστρώματος ανά κατεύθυνση ίσο με 14.5 m. Το  $\Delta s_{\min} = 0.10 \cdot 11.5 = 1.15$  % στην οριογραμμή της λωρίδας.

Για να υπάρχει ικανοποιητική απορροή ομβρίων, δηλαδή να υπάρχει κλίση τουλάχιστον 0.50% εντός των λωρίδων κυκλοφορίας (εντός της περιοχής επιρροής το "α") δηλαδή επελέγη ελάχιστη τιμή κατά μήκος κλίσης:  $s_1 = -1.65$  %

4. Η Διατομή RQ 43.5 κατά RAA 2008 (EKA 1)



**Εικόνα 4-6 RQ 43.5**

Πρόκειται για διατομή διαχωρισμένων επιφανειών με άξονα περιστροφής οδοστρώματος στην εσωτερική λωρίδα καθοδήγησης, η οποία αφορά ταχύτητα  $V=120$  km/h. Οι λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση είναι 14.5 m και εξωτερική λωρίδα καθοδήγησης και η Λ.Ε.Α. ίσα με 3 m. Ο άξονας περιστροφής του οδοστρώματος είναι στο άκρο του χώρου κυκλοφορίας. Συνεπώς το  $\alpha$  είναι 15.25 m και το συνολικό πλάτος του οδοστρώματος ανά κατεύθυνση ίσο με 18.25 m. Το  $\Delta s_{\min} = 0.10 \cdot 15.25 = 1.525$  % στην οριογραμμή της λωρίδας.

Για να υπάρχει ικανοποιητική απορροή ομβρίων, δηλαδή να υπάρχει κλίση τουλάχιστον 0.50% εντός των λωρίδων κυκλοφορίας (εντός της περιοχής επιρροής το "α") δηλαδή επελέγη ελάχιστη τιμή κατά μήκος κλίσης :  $s_1 = -2,025 \%$

#### 4.4 Πεδίο Εφαρμογής του Μοντέλου

Προκειμένου να είναι συγκρίσιμη και στις τέσσερις επιλεγείσες διατομές η διερεύνηση του φαινομένου της υδρολίσθησης, επελέγησαν κοινές παράμετροι οριζοντιογραφίας και επικλίσεων.

Συγκεκριμένα, εξετάστηκε ακτίνα κυκλικού τόξου ίση με 900 m και παράμετρο κλωθοειδούς ίση με 350 m. Αυτό ισοδυναμεί με μήκος κλωθοειδούς  $L = 136.11$  m. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός αποτελεί μία τυπική καμπύλη αυτοκινητόδρομου, όπου ο οδηγός έχει τη δυνατότητα να αναπτύξει αυξημένες ταχύτητες. Η επίκλιση στην αρχή του κυκλικού τόξου επιλέγεται 7 %. Στην κρίσιμη περιοχή από -2.5 % έως 2.5 % το  $\Delta s_{\min}$  πρέπει να ισούται με  $0.1 \cdot a$ . Αυτό το μήκος αντιστοιχεί σε μήκος 50 m.

$$\Delta s = \frac{e_\tau - e_\alpha}{L} \cdot a \Rightarrow L = \frac{e_\tau - e_\alpha}{\Delta s} \cdot a = \frac{e_\tau - e_\alpha}{0.1 \cdot a} \cdot a = \frac{e_\tau - e_\alpha}{0.1} = \frac{2.5 - (-2.5)}{0.1} = 50 \text{ m}$$

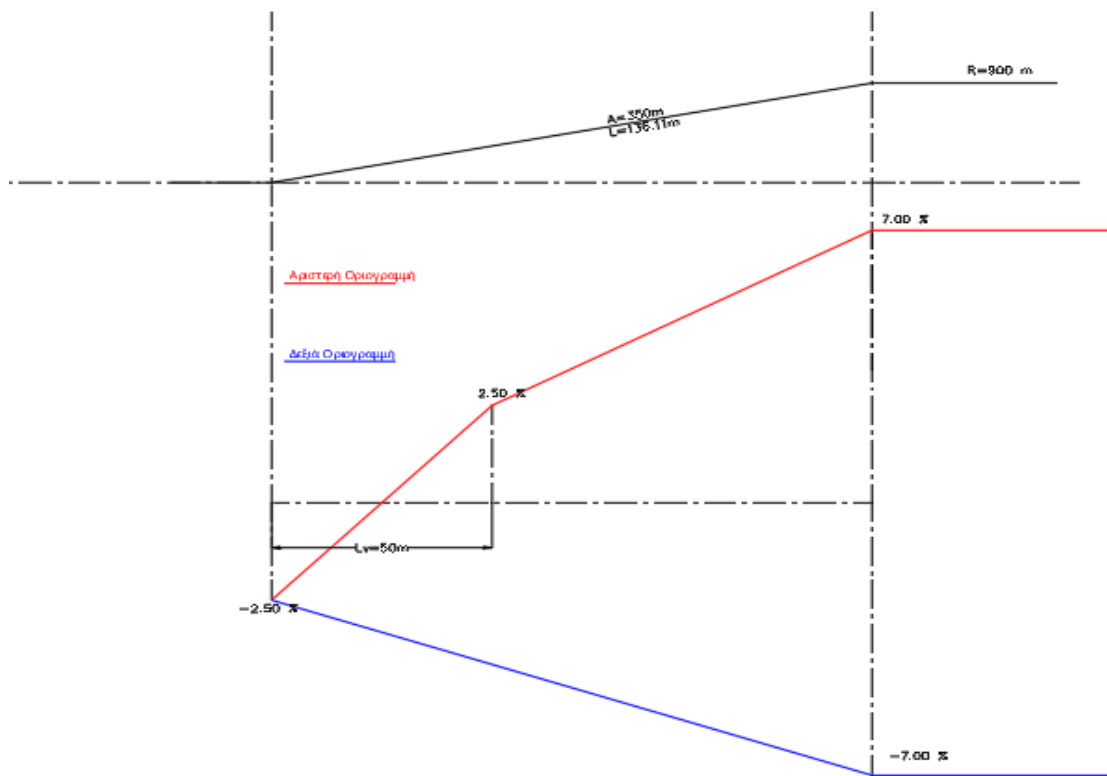
Στο διάστημα από 2.5 % έως 7 % το διάγραμμα επικλίσεων συνεχίζει με  $\Delta s_{\text{τυχαίο}}$  το οποίο ισούται με:

$$\Delta s_{\text{τυχ}} = \frac{e_\tau - e_\alpha}{L} \cdot a = \frac{7 - 2.5}{136} \cdot a = 0.03 \cdot a$$

Επισημαίνεται ότι κρίσιμη παράμετρος στην επιλογή των γεωμετρικών παραμέτρων είναι η επίκλιση της οδού, και συγκεκριμένα το μήκος περιστροφής από θετική επίκλιση σε αρνητική και όχι η οριζοντιογραφία της οδού.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην εικόνα 4-7 φαίνεται το διάγραμμα καμπυλοτήτων και επικλίσεων στην περιοχή εισόδου δεξιόστροφης καμπύλης.



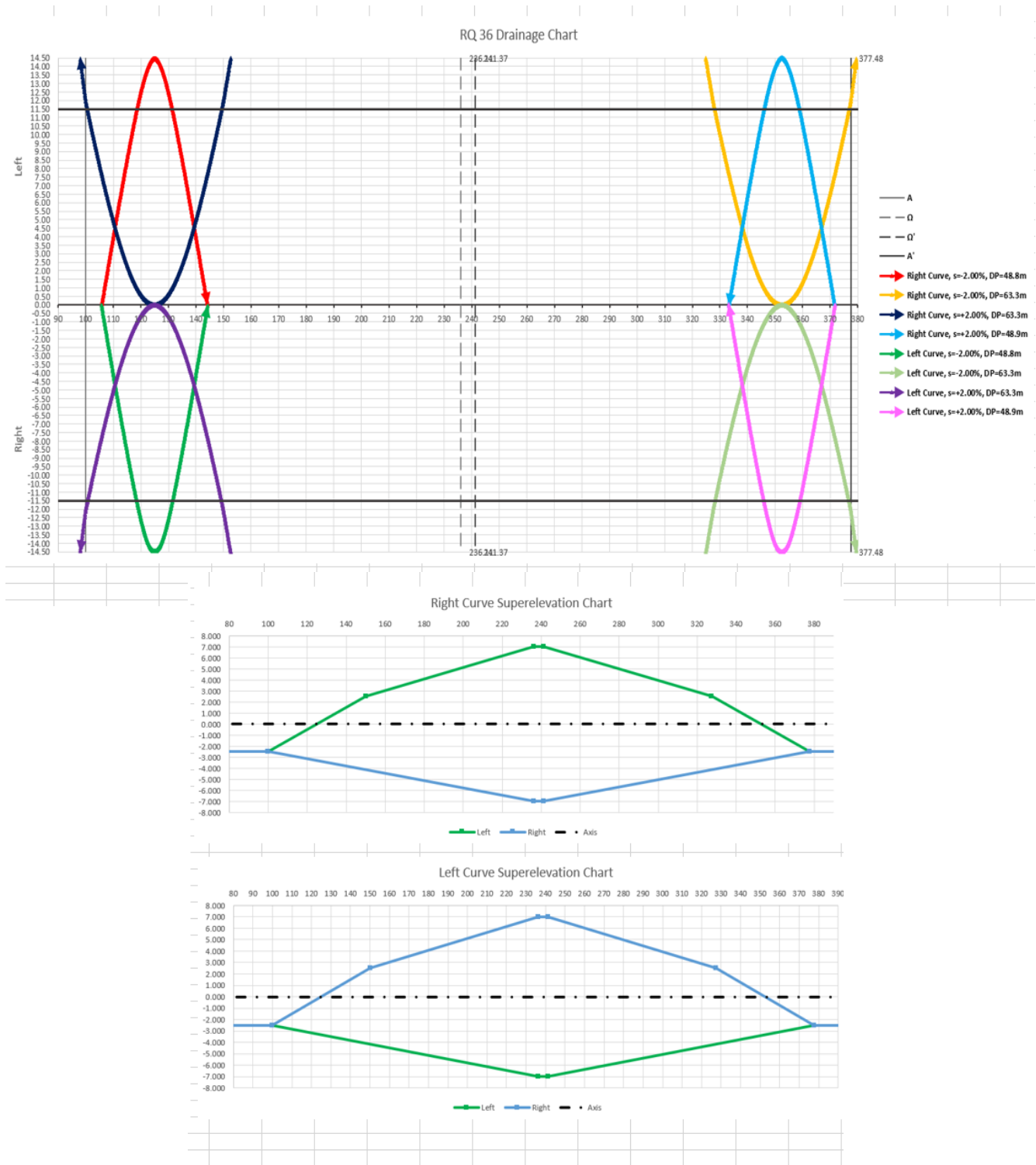
**Εικόνα 4-7 Διάγραμμα Καμπυλοτήτων και Επικλίσεων σε δεξιόστροφη καμπύλη**

Στο Σχήμα 4-8 φαίνονται οι κρίσιμες γραμμές ροής για τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν θεωρώντας τα στοιχεία οριζοντιογραφίας που αναφέρονται παραπάνω σε δεξιόστροφη και αριστερόστροφη καμπύλη και κλίση  $\pm 2.0\%$ .

Με βάση το Σχήμα 4-8, στην ανάλυση που θα ακολουθήσει, επελέγη δεξιόστροφη καμπύλη σε κατηφορική κλίση, (μπλε γραμμή ροής στο Σχήμα 4-8), καθώς ο υπόψη συνδυασμός είναι ο πιο δυσμενής δεδομένου ότι η γραμμή ροής ξεκινά και καταλήγει στη λωρίδα προσπέρασης έχοντας διανύσει οριακή απόσταση μέχρι το εξωτερικό άκρο του χώρου κυκλοφορίας. Προφανώς αυτή η απόσταση είναι και η πιο κρίσιμη και αφορά σε όμβρια τα οποία εκκινούν και καταλήγουν στη λωρίδα προσπέρασης, δηλαδή εκεί που αναπτύσσονται μεγαλύτερες ταχύτητες.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Συνεπώς θα πρέπει ανά συνδυασμό παραμέτρων να προσδιοριστούν τα μήκη των γραμμών ροής και οι αντίστοιχες κλίσεις ροής έτσι ώστε να βρεθεί το ύψος του νερού που θα σχηματιστεί.



**Εικόνα 4-8 Κρίσιμες Γραμμές Ροής (α) διάγραμμα γραμμών ροής (β) διάγραμμα επικλίσεων δεξιόστροφης καμπύλης (γ) διάγραμμα επικλίσεων αριστερόστροφης καμπύλης**

#### 4.5 Παραδοχές Μοντέλου Υδρολίθωσης

Οι παραδοχές που έγιναν στην ανάπτυξη του μοντέλου που είναι αναγκαίες για την εφαρμογή των πειραματικών σχέσεων είναι οι εξής:

- Υπάρχει ικανοποιητική απορροή ομβρίων, δηλαδή σε κάθε σημείο του οδοστρώματος η σύνθετη κλίση είναι ίση ή μεγαλύτερη του 0.5 %. (γεγονός το οποίο ισχύει με την επιλογή των ελάχιστων κλίσεων).
  - Αυτή η παραδοχή ισχύει δεδομένου ότι για κάθε διατομή επελέγη διαφορετική κατά μήκος κλίση η οποία αντιστοιχεί σε οριακή επάρκεια απορροής ομβρίων.
- Το οδόστρωμα είναι αδιαπέρατο.
- Η ένταση της βροχόπτωσης είναι σταθερή και δεν υπάρχουν διακυμάνσεις.
- Υπάρχουν οι κατάλληλες υδραυλικές διατάξεις στο παρόδιο οδικό περιβάλλον για την απομάκρυνση των ομβρίων υδάτων.
- Η ελάχιστη ένταση βροχής τα 50 mm/hr είναι η ελάχιστη για το βάθος ροής νερού (DN-GEO-03031).

#### 4.6 Σχέση Υπολογισμού Ύψους Νερού

Το ύψος του νερού θα υπολογιστεί με βάση το τύπο του Gallway (1979).

Όπου το ύψος του νερού υπολογίζεται από το τύπο:

$$D = \frac{0.103 \cdot T^{0.11} \cdot L^{0.43} \cdot I^{0.59}}{S^{0.42}} - T \quad (4-5)$$

Όπου:

D = το ύψος του νερού πάνω από το οδόστρωμα (mm)

T = το μέσο βάθος υφής (mm)

L = το μήκος της γραμμής ροής (m)

I = η ένταση της βροχόπτωσης (mm/h)

S = η κλίση της γραμμής ροής (%)

Η κοινή αποδοχή του τύπου του Gallway (1979) από τις τοπικές αρχές της Αυστραλίας και των Η.Π.Α. δείχνει ότι ο τύπος αυτός είναι η πιο ευρέως αποδεκτή μέθοδος για την εκτίμηση του ύψους του νερού.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η Βρετανική Μέθοδος (1968) για τον υπολογισμό του ύψους του νερού στα οδοστρώματα είναι πιο συντηρητική σε σχέση με το μοντέλο του Gallway (1979).

### 4.7 Σχέση Υπολογισμού Ταχύτητας Υδρολίσθησης

Η ταχύτητα υδρολίσθησης του νερού θα υπολογιστεί με βάση το τύπο του Gallaway (1979).

Όπου η ταχύτητα υδρολίσθησης υπολογίζεται από το τύπο:

$$HPS = 1.61 \cdot (SD)^{0.04} \cdot p_t^{0.3} \cdot (1 + (TD \cdot 0.79375)^{0.06} \cdot A) \quad (4-6)$$

HPS = η ταχύτητα υδρολίσθησης (km/h)

SD = Μεταβολή γωνιακής ταχύτητας περιστροφής ελαστικού (tire spindown), τυπικά 10 %

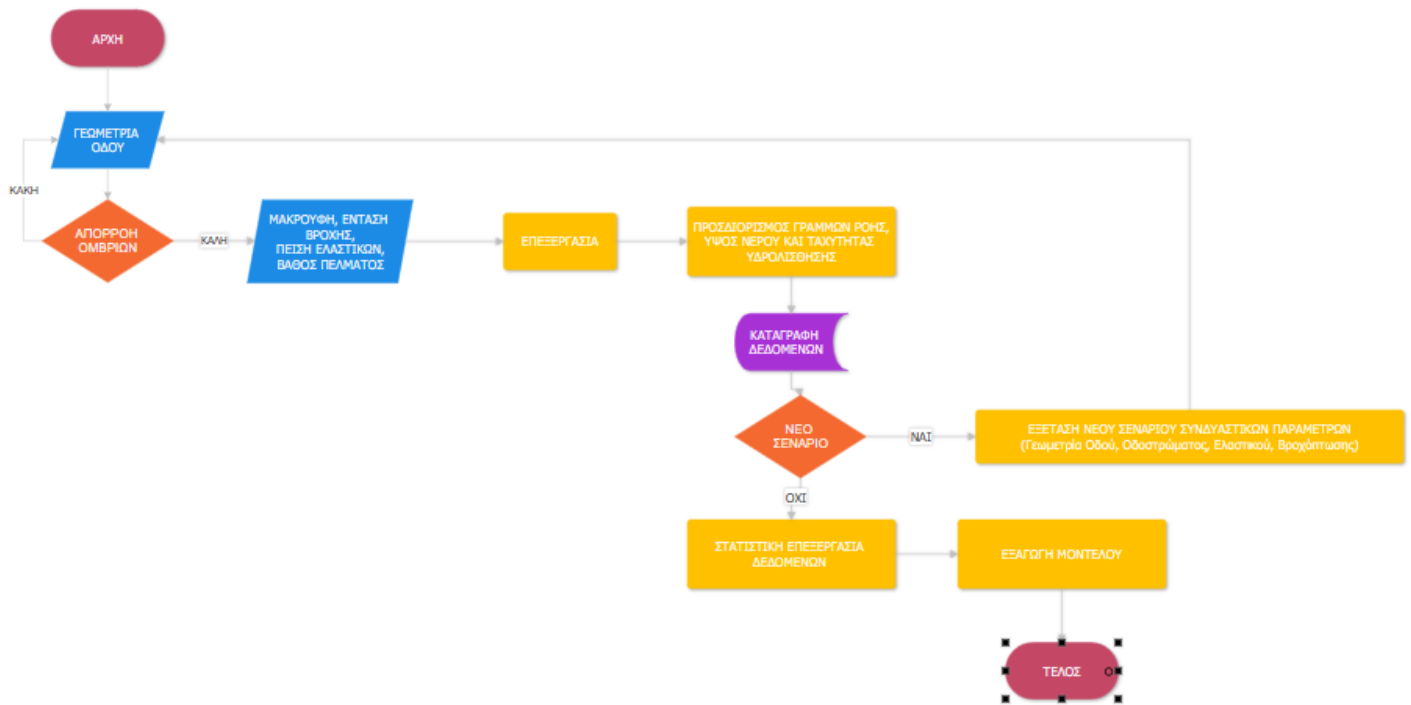
$p_t$  = Πίεση Ελαστικών (psi) (Τυπικό φάσμα 24-36 psi)

TD = Βάθος υφής του ελαστικού (mm) (Τυπικές Τιμές 0.5 -1.5 mm)

$$A = \max \left\{ \frac{10.409}{WFT^{0.06}} + 3.507, \left[ \frac{28.952}{WFT^{0.06}} - 7.817 \right] \cdot MTD^{0.14} \right\} \quad (4-7)$$

### 4.8 Διάγραμμα Ροής

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή του μοντέλου συνοψίζεται στο διάγραμμα ροής της Εικόνας 4-9



Εικόνα 4-9 Διάγραμμα Ροής

#### 4.9 Ανάπτυξη κώδικα σε Python

Μέσω της γλώσσας προγραμματισμού Python πραγματοποιήθηκε η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Δημιουργήθηκε ένα GUI (Graphical User Interface) έτσι ώστε ο χρήστης να εισάγει τα οριζοντιογραφικά και τα μηκοτομικά χαρακτηριστικά της καμπύλης. Δίδεται η δυνατότητα στο χρήστη να επιλέγει το πλήθος των σημείων που θέλει να γίνει η ανάλυση (όσο πιο πολλά σημεία τόσο ακριβέστερη ανάλυση) κατά  $x$  και κατά  $y$  διεύθυνση αλλά και αν υπάρχει μηκοτομική συναρμογή ή όχι. Επίσης προσδιορίζεται το βήμα υπολογισμού της γραμμής ροής σε cm. Ακόμα υπάρχει δυνατότητα εμφάνισης της καμπύλης στο πραγματικό μήκος ή στρεβλωμένο έτσι ώστε και οι 2 διαστάσεις να καλύπτουν το παράθυρο του γραφήματος.

Όσον αφορά τη κατά μήκος κλίση, στην περίπτωση σταθερής τιμής, το πρόγραμμα θέτει σε κάθε σημείο σταθερή κλίση. Στην περίπτωση της μηκοτομικής συναρμογής ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Έστω  $x_s$  είναι διαφορά χιλιομετρικής θέσης της οριζοντιογραφικής και της μηκοτομικής συναρμογής.

Αν το  $x$  της κλωθειδούς καμπύλης είναι στο διάστημα  $[x_s, x_s+2T]$  τότε η κλίση είναι:

$s = \lambda x: s_{x1} + \text{abs}(x-x_s)/H*100$  , πριν από το  $x_s$  είναι  $s=s_1$  , και μετά το  $x_s+2T$  είναι  $s=s_2$

Αν το  $x$  της κλωθειδούς είναι πριν το  $x_s$  τότε η κλίση σε όλο το μήκος είναι:

$$s = s_1$$

Αν το  $x$  της κλωθειδούς είναι πριν το  $x_s$  τότε η κλίση σε όλο το μήκος είναι:

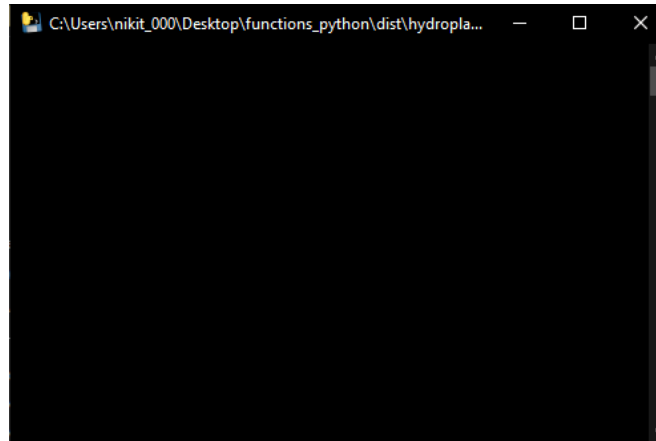
$$s=s_2$$

Για να ξεκινήσει το πρόγραμμα ο χρήστης πατάει 2 φορές πάνω στο εικονίδιο. Μετά από λίγη ώρα εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο.



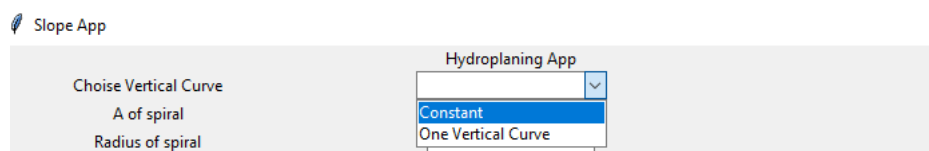
## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Ο χρήστης περιμένει για ένα μικρό χρονικό διάστημα και στη συνέχεια εμφανίζεται το κυρίως παράθυρο του προγράμματος.



**Εικόνα 4-10 - Αρχικό Παράθυρο**

Στην επιλογή Choice Vertical Curve επιλέγει αν έχει σταθερή μηκοτομική κλίση (Constant) ή μηκοτομική καμπύλη (One Vertical Curve)



**Εικόνα 4-11 - Επιλογή Μηκοτομής**

Στο κελί A of spiral εισάγει την παράμετρο της κλωθοειδούς A σε m και στο κελί Radius of spiral σε m εισάγει την ακτίνα στο τέλος της κλωθοειδούς καμπύλης.

Έπειτα είτε έχει μηκοτομική συναρμογή είτε όχι εισάγει την παράμετρο H (ακτίνα μηκοτομικής καμπύλης) και στην συνέχεια εισάγει την αλγεβρική απόσταση μεταξύ της αρχής της οριζοντιογραφικής καμπύλης και της αρχής της μηκοτομικής καμπύλης.

Σε επόμενο βήμα στο κελί "The constant of the first slope of the curve" εισάγεται την πρώτη κλίση της μηκοτομικής καμπύλης και στο δεξί κελί τη δεύτερη. Σημειώνεται σε περίπτωση που έχει επιλεγεί στο πρώτο κελί "Constant" δε θα ληφθεί υπόψη η δεύτερη κλίση.

Ακόμα επιλέγεται αν τα οδοστρώματα είναι ενιαίας ή διαχωρισμένης κυκλοφορίας. Στο κελί "Start Left Superelevation" εισάγεται την επίκλιση στην αρχή

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

της αριστερής οριογραμμής της αριστερής λωρίδας της κλωθοειδούς και στο κελί "End Left Superelevation" την επίκλιση για το πέρας της αριστερής οριογραμμής της αριστερής λωρίδας. Τα ίδια ισχύουν και στη δεξιά λωρίδα όπου εισάγεται το "Start Right Superelevation" και "End Left Superelevation" αντίστοιχα. Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να εξεταστούν οι κλίσεις μόνο στο τμήμα -2.5 %, 2.5 % πρέπει να υπολογίσει την ακτίνα της κλωθοειδούς σε αυτό το σημείο.

Έπειτα στα κελιά "Step in x direction" και " Step in y direction " εισάγεται το βήμα υπολογισμού και κατά συνέπεια πλήθος των σημείων του κανάβου (απόσταση x μεταξύ αρχών δύο γραμμών ροής και επίσης την απόσταση x και y στον υπολογισμό του θερμοδιαγράμματος σύνθετων επικλίσεων). Προτείνεται ο αριθμός να είναι μικρότερο του 0.1 m για τη x διεύθυνση και 0.1 m για τη y διεύθυνση, πρώτον για ακριβέστερη ανάλυση. Σε περίπτωση που σκοπός είναι το καλύτερο οπτικό αποτέλεσμα (αναγνωριστική μελέτη) τότε το βήμα μπορεί να αυξηθεί χωρίς να αλλοιωθεί το γενικό αποτέλεσμα της ανάλυσης.

Σε επόμενο στάδιο υπάρχουν δύο ακόμα επιλογές το "Equal axis or not" όπου υπάρχουν δύο επιλογές "Yes" ή "No". Όπως προαναφέρθηκε αν επιλεγεί "No" η κλωθοειδής θα φαίνεται στρεβλή ωστόσο θα φαίνονται πλήρως και οι 2 διαστάσεις. Ακόμα με την επιλογή Iteration Distance σε εκατοστά (cm) επιλέγεται το βήμα υπολογισμού dl στη γραμμή ροής (αναλύεται εκτενέστερα στα επόμενα εδάφια). Το τελευταίο βήμα για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση επιλέγεται το πλήκτρο "Submit" και στην συνέχεια εμφανίζεται το γράφημα των σύνθετων κλίσεων.

Τέλος πρέπει να εισαχθεί από το χρήστη η μακροουφή (mm) και η ένταση της βροχής σχεδιασμού (mm/h).

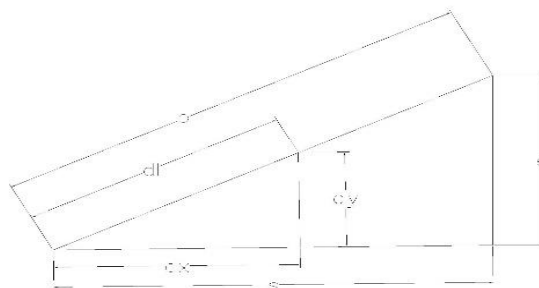
Για να υπολογιστεί το μήκος της γραμμής ροής πραγματοποιήθηκε η ακόλουθη διαδικασία:

- 1) Εξ ορισμού η σύνθετη κλίση είναι πάντα μεγαλύτερη ή ίση του 0 για όλα τα σημεία του οδοστρώματος ( $p = \sqrt{e^2 + s^2} \geq 0$ ), έχοντας ως αποτέλεσμα ότι τα όμβρια θα απορρεύσουν σε κάποια χρονική στιγμή t. Η απορροή μπορεί να γίνει είτε στην αριστερή ή στη δεξιά οριογραμμή της στρώσης κυκλοφορίας. Συνεπώς θεωρείται ότι κάθε γραμμή ροής ξεκινάει είτε από την αριστερή, είτε από τη δεξιά πλευρά του οδοστρώματος. (Γίνεται η παραδοχή της ομοιόμορφης κατανομής της βροχόπτωσης στην επιφάνεια του οδοστρώματος)
- 2) Με βάση τον αριθμό των σημείων που έχει επιλεγεί η ανάλυση στη x διεύθυνση, χαράσσονται 4 γραμμές, μία από την αριστερή, μία από τη δεξιά οριογραμμή του οδοστρώματος, μία που θα είναι offset κατά 1 mm αριστερά του άξονα και μία που θα είναι offset κατά 1 mm δεξιά άξονα όπου θα

εκκινούν οι γραμμές ροής. Σε περίπτωση διαχωρισμένων οδοστρωμάτων θεωρείται δεξιός κλάδος με πλάτος όσο είναι το βήμα της γραμμής ροής

- 3) Έστω  $x_i$  το σημείο εκκίνησης. Οι γραμμές ροής του πεδίου ταχύτητας ορίζονται ως οι καμπύλες (εντός του πεδίου ροής) οι οποίες για κάθε χρονική στιγμή ( $t$ =σταθ.) έχουν την ιδιότητα το διάνυσμα της ταχύτητας στο τυχόν σημείο της καμπύλης να είναι εφαπτόμενο στην καμπύλη. (Λιακόπουλος, 2019). Συνεπώς το επόμενο σημείο της γραμμής ροής θα έχει κατεύθυνση ίδια με το διάνυσμα της σύνθετης κλίσης και μέτρο  $dl$ , το οποίο ορίζεται από το χρήστη. Είναι πολύ πιθανό στις περιοχές η κατά μήκος κλίση να είναι 0 δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται από το  $s$  και από τη σύνθετη κλίση να προσεγγίζει τις 90 μοίρες ( $\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{e}{s}\right)$ ). Αυτή η μεθοδολογία μπορεί να κριθεί αναποτελεσματική για την ανάλυση διότι ο υπολογισμός των τριγωνομετρικών μεγεθών γίνεται με ανάπτυγμα Taylor και σε περιπτώσεις όπου ο λόγος  $e/s$  τείνει στο άπειρο, τότε υπάρχει ο κίνδυνος το διάνυσμα της γραμμής ροής σε αυτό το σημείο να έχει την αντίθετη κατεύθυνση και συνεπώς να εξαχθεί λάθος αποτέλεσμα. Γι' αυτό το λόγο προτείνεται η εξής μεθοδολογία:

Με το λόγο ομοιότητας τριγώνων έχουμε:  $\frac{dx}{s} = \frac{dy}{e} = \frac{dl}{p}$ .



**Εικόνα 4-12 Λόγος Ομοιότητας Τριγώνων**

Συνεπώς το  $dx$  του βήματος  $i$  είναι  $dx = s \cdot \frac{dl}{p}$ , και το  $dy$  του ίδιου βήματος είναι  $dy = e \cdot \frac{dl}{p}$ , όπου είναι γνωστά τα  $s, e, p, dl$ . (Σημειώνεται ότι όλα τα μεγέθη υπολογίζονται με  $s$  και  $e$  αντίθετου πρόσημου αφού η υδραυλική κλίση είναι αντίθετη στην γεωμετρική κλίση).

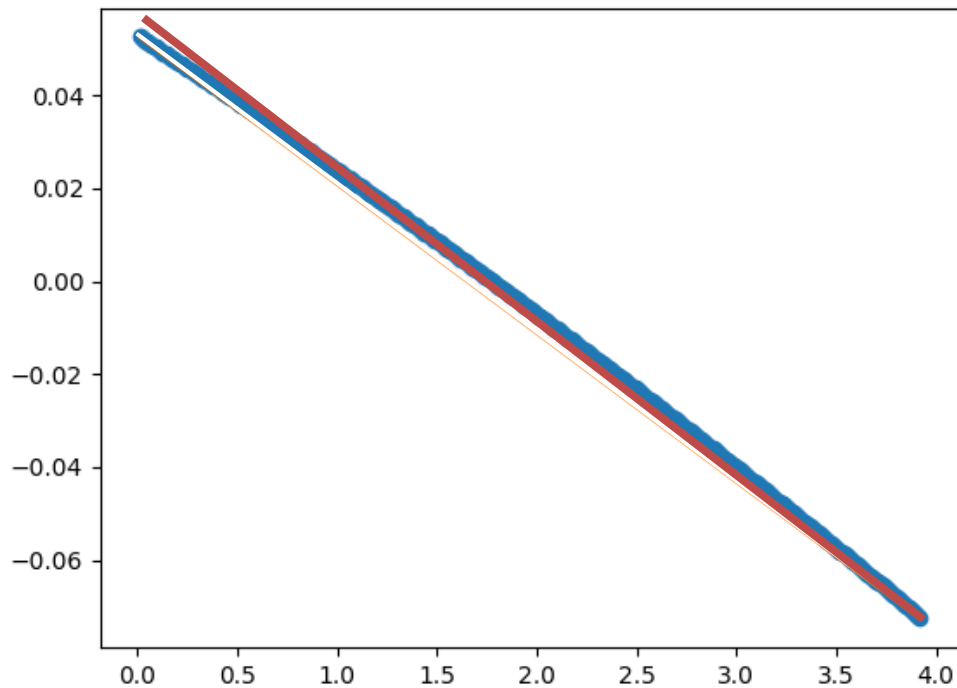
- 4) Το πρόγραμμα θεωρεί by default ευθυγραμμία μήκους 50 m πριν την έναρξη της κλωθοειδούς έτσι ώστε να λάβει υπόψη τη κρίσιμη γραμμή ροής που θα ξεκινάει από την ευθυγραμμία, θα περνάει από την κλωθοειδή και μετά θα εξέρχεται του οδοστρώματος.

- 5) Το πρόγραμμα επαναλαμβάνει τη διαδικασία μέχρι είτε το  $x$  του βήματος  $i$  βρεθεί εκτός του διαστήματος  $[0, \text{Length}]$ , όπου  $\text{Length}$  το συνολικό μήκος ελέγχου, δηλαδή ευθυγραμμία μήκους 50 m και τμήμα μεταβολής επικλίσεων, είτε το  $y$  βρεθεί εκτός του διαστήματος  $[0, \text{Width}]$ , όπου  $\text{Width}$  είναι το πλάτος του οδοστρώματος. Γίνεται η παραδοχή ότι ο μέγιστος αριθμός σημείων της γραμμής ροής θα είναι 10000 και το πρόγραμμα προσπερνάει την εντολή της επανάληψης (break) όταν το  $x, y$  βρεθούν εκτός των διαστημάτων που προαναφέρθηκαν.
- 6) Επειδή το τελευταίο σημείο της γραμμής ροής είναι εκτός του διαστήματος, αφαιρείται από το πίνακα τιμών η τελευταία τιμή.
- 7) Η μηκοτομική κλίση σε κάθε σημείο του βήματος είναι  $s(x, y) = s(x) + \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot y$ .
- 8) Για τον υπολογισμό της επίκλισης ελέγχεται αν οι επικλίσεις στην ίδια πλευρά του οδοστρώματος είναι αντίρροπες. Αν είναι αντίρροπες ελέγχεται αν ικανοποιείται το κριτήριο  $\Delta s > \Delta s_{\min} = 0.1 \cdot \alpha$ . Αν δεν ικανοποιείται το κριτήριο τότε η επίκλιση από την αρχή της κλωθοειδούς και για 50 m (μήκος μεταβολής από -2.5 % σε 2.5 %) είναι  $e(x, y) = e_1 + \frac{e_2 - e_1}{50} \cdot x$  και στο υπόλοιπο τμήμα  $e(x, y) = e_2 + \frac{e_3 - e_2}{L - 50} \cdot x$ . Σε περίπτωση που είτε ικανοποιείται ο έλεγχος του  $\Delta s_{\min}$  είτε οι επικλίσεις είναι ομόσημες τότε η επίκλιση σε κάθε σημείο υπολογίζεται ως εξής  $e(x, y) = e_1 + \frac{e_2 - e_1}{L} \cdot x$
- 9) Υπολογίζεται σε κάθε σημείο το υψόμετρο.
- 10) Υπολογίζεται σε κάθε σημείο η σύνθετη κλίση. Επειδή πιθανότατα η σύνθετη κλίση θα διαφέρει από σημείο σε σημείο χρησιμοποιήθηκε ενιαία κλίση που βασίστηκε στο Equal Area Slope.

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο η γραμμή ροής έχει μία σταθμισμένη κλίση κάνοντας την παραδοχή ότι το μήκος της γραμμής ροής παραμένει σταθερό.

Κατασκευάζεται το διάγραμμα μήκους γραμμής ροής με το υψόμετρο. Η κλίση σε κάθε σημείο της γραφικής παράστασης ισοδυναμεί με την σύνθετη κλίση του βήματος 9. Επίσης γίνεται η παραδοχή ότι το μήκος της γραμμής ροής παραμένει σταθερό. Άρα γίνεται αναζήτηση μίας ευθείας γραμμής όπου το εμβαδόν μεταξύ της ευθείας και του υψομέτρου θα ισούται με το ολοκλήρωμα της γραφικής παράστασης μήκους γραμμής ροής με υψόμετρο. Η κλίση αυτής της ευθείας είναι η Equal Area Slope.

Στην Εικόνα 4-13 φαίνεται ένα παράδειγμα της μηκοτομής μίας γραμμής ροής όπου αναπαρίστανται με μπλε τα σημεία κάθε βήματος και με κόκκινα η σταθμισμένη ευθεία.



**Εικόνα 4-13 Διάγραμμα Μήκους Γραμμής Ροής (x-axis) με Υψόμετρο (y-axis)**

11) Το ύψος του νερού υπολογίζεται από το τύπο του Gallaway.

Όπου το ύψος του νερού υπολογίζεται από το τύπο

$$D = \frac{0.103 \cdot T^{0.11} \cdot L^{0.43} \cdot I^{0.59}}{S^{0.42}} - T \quad (4-8)$$

Όπου:

D = το ύψος του νερού πάνω από το οδόστρωμα (mm)

T = το μέσο βάθος υφής (mm)

L = το μήκος της γραμμής ροής (m)

I = η ένταση της βροχόπτωσης (mm/h)

S = η κλίση της γραμμής ροής (%)

12) Η ταχύτητα υδρολίσθησης υπολογίστηκε με βάση το μοντέλο του Gallaway.

Όπου η ταχύτητα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$HPS = 1.61 \cdot (SD^{0.04} \cdot p_t^{0.3} \cdot (1 + (TD \cdot 0.79375)^{0.06} \cdot A) \quad (4-9)$$

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

HPS = η ταχύτητα υδρολίσθησης (km/h)

SD = Μεταβολή γωνιακής ταχύτητας περιστροφής ελαστικού, τυπικά 10 %

$p_t$  = Πίεση Ελαστικών (psi) (Τυπικό φάσμα 24-36 psi)

TD = Βάθος υφής του ελαστικού (mm) (Τυπικές Τιμές 0.5 -1.5 mm)

και A ίσο με:

$$A = \max \left\{ \frac{10.409}{WFT^{0.06}} + 3.507, \left[ \frac{28.952}{WFT^{0.06}} - 7.817 \right] \cdot MTD^{0.14} \right\} \quad (4-10)$$

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα ανάλυσης.

The image shows a screenshot of a software application titled "Slope App" and "Hydroplaning App". The interface is divided into two main sections: a list of input parameters on the left and a corresponding set of input fields on the right. The input fields include dropdown menus, text boxes, and a "Submit" button. At the bottom right, there is a footer that reads "Created by Antonis Kontizas Last Date Modified 25/".

Parameter	Value
Choise Vertical Curve	Constant
A of spiral	350
Radius of spiral	900
H of Vertical Curve	0
x start of Vertical Curve	0
The constant of the first slope of the curve	-2
Start Left Superelevation	-2.5
End Left Superelevation	7
Start Right Superelevation	-2.5
End Right Superelevation	-7
Width of left lanes	4
Width of right lanes	4
Step in x direction	1
Step in y direction	1
Equal axis or not	Equal
Iteration Distance in cm	1
Divided or Not	Divided
Texture Depth in mm	1
Rainfall Intensity	100

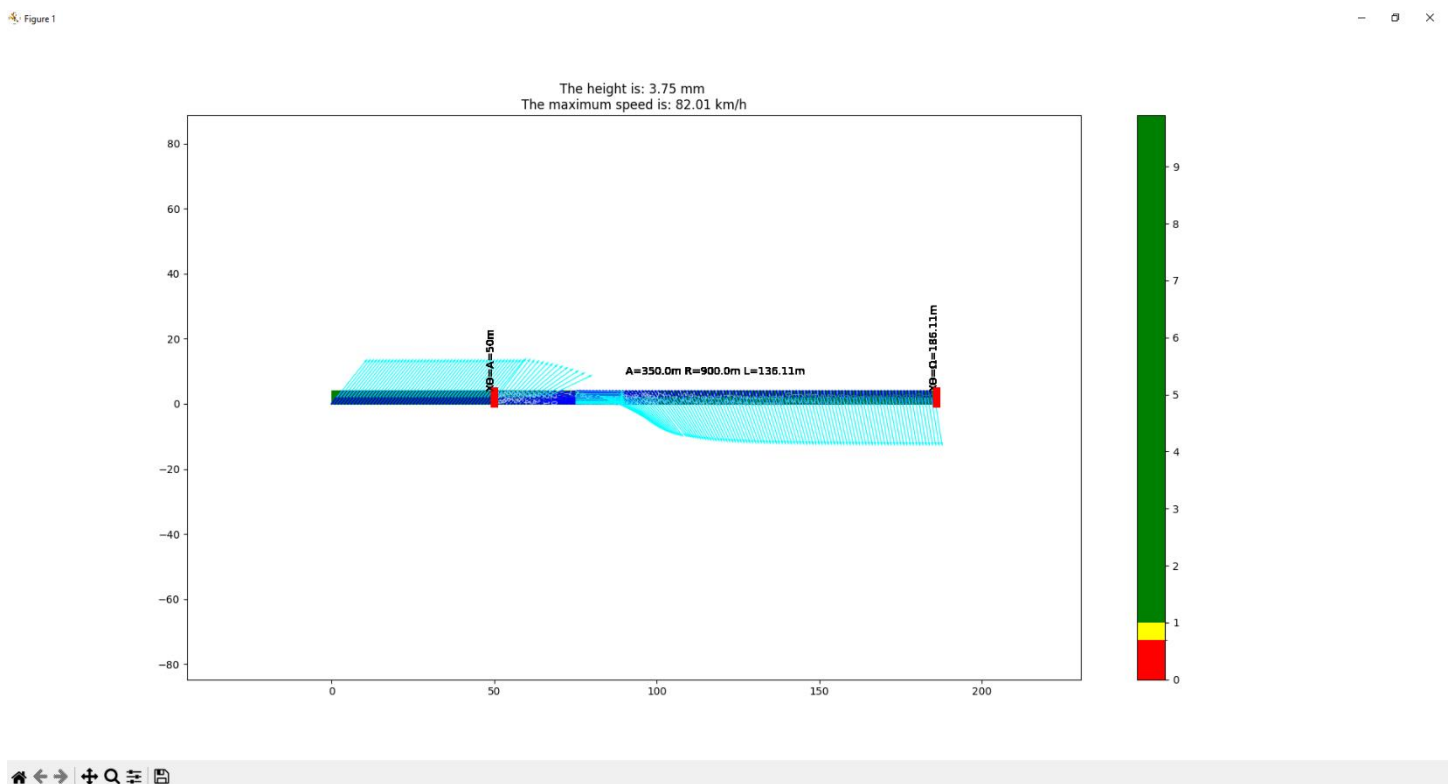
**Εικόνα 4-14**

Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να εστιάσει στην κρίσιμη περιοχή πατάει το κουμπί του "Zoom" και επιλέγεται το εν λόγω παράθυρο.

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Σε επόμενο βήμα αν θέλει ο χρήστης να αποθηκεύσει το γράφημα πατάει "Save the figure" και επιλέγει το φάκελο που επιθυμεί.

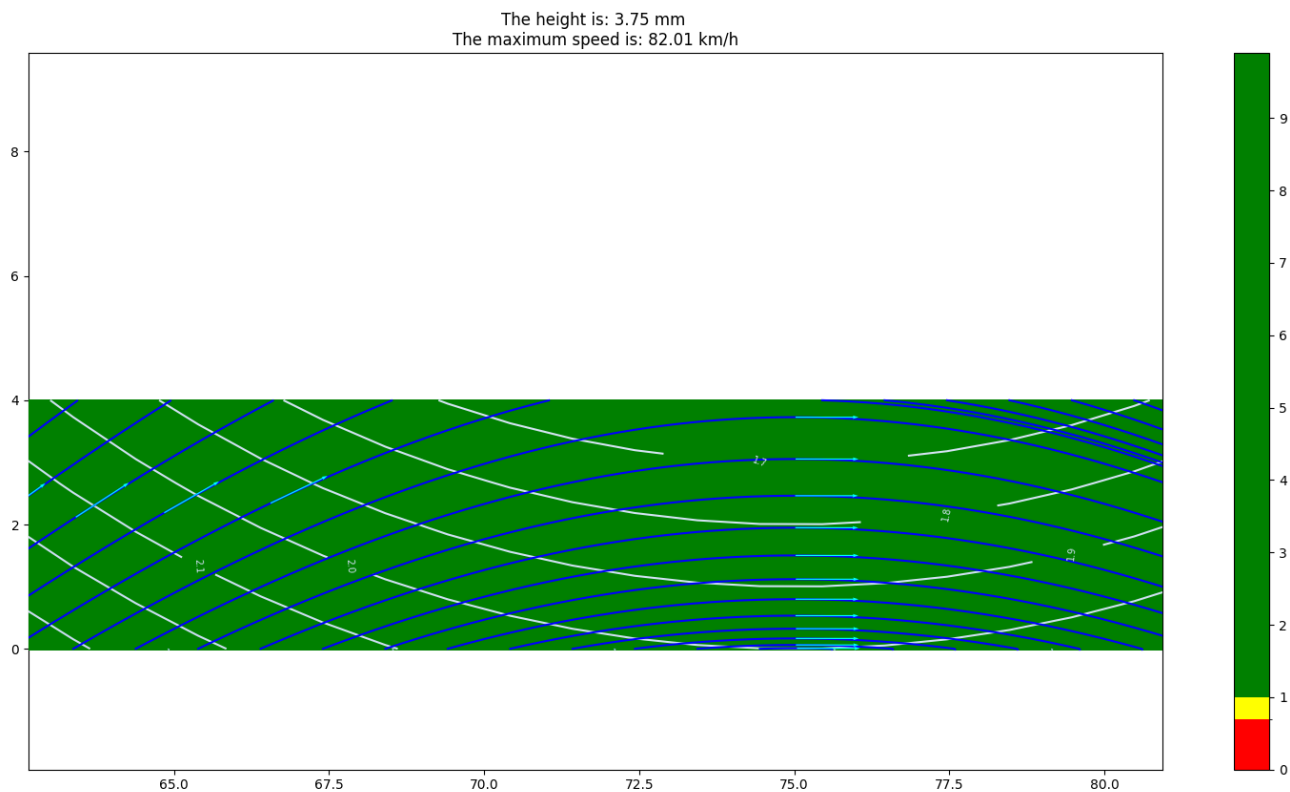
Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται μία ανάλυση με τα δεδομένα της εικόνας 4-14, όπου στο πάνω μέρος της οθόνης φαίνεται το ύψος του νερού και η ταχύτητα υδρολίστεσης για  $SD = 10\%$ , βάθος πέλματος 1.5 mm και πίεση ελαστικών 30 psi. Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να υπολογίσει τη ταχύτητα υδρολίστεσης για διαφορετικούς συνδυασμούς μέσω φύλλου Excel μπορεί να χρησιμοποιήσει το ύψος του νερού και τις αντίστοιχες μη γεωμετρικές παραμέτρους. Το colorbar στα δεξιά της οθόνης αναφέρεται στις τιμές της σύνθετης κλίσης στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Επίσης εμφανίζεται η αρχή και το πέρας της κλωθοειδούς καμπύλης και σχετικό label με τη παράμετρο κλωθοειδούς, την ακτίνα και το μήκος της κλωθοειδούς.



Εικόνα 4-15

## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Και κάνοντας zoom φαίνονται με άσπρο χρώμα οι ισοψείς των σύνθετων κλίσεων με μπλε χρώμα οι γραμμές ροής και με τυρκουάζ χρώμα τα μέλη κατεύθυνσης της γραμμής ροής :



Εικόνα 4-16

### 4.10 Συσχέτιση με Λογισμικό OpenRoads Designer 2021

Μέσα από το λογισμικό OpenRoads Designer 2021 πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για διάφορα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού με σκοπό να βρεθεί το μέγιστο ύψος νερού που έχει η οδός.

Το λογισμικό OpenRoads χρησιμοποιεί την παρακάτω σχέση του Gallaway για να βρει το ύψος του νερού:

$$D = \frac{0.103 \cdot T^{0.11} \cdot L^{0.43} \cdot I^{0.59}}{S^{0.42}} - T \quad (4-11)$$

Όπου:

D = το ύψος του νερού πάνω από το οδόστρωμα (mm)

T = το μέσο βάθος υφής (mm)

L = το μήκος της γραμμής ροής (m)

I = η ένταση της βροχόπτωσης (mm/h)

S = η κλίση της γραμμής ροής (%)



## ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για μήκη κλωθοειδούς από 30 έως 110 με βήμα 20 m, επικλίσεις από 3 έως 7 % με βήμα 1 % και σταθερές κατά μήκος κλίσεις - 1.5 %, -1 %, -0.5 %, -0.3 %, 0.3 %, 0.5 %, 1 %, 1.5 %. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρατίθενται στο παράρτημα Β. Σημειώνεται ότι η αρχική επίκλιση της οδού είναι - 2.5%

Επειδή και το βάθος υφής αλλά και η ένταση της βροχόπτωσης δεν αποτελούν γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού χρησιμοποιήθηκαν σταθερές τιμές  $T = 1\text{mm}$  και  $I = 100\text{ mm/h}$ .

Τα πλεονεκτήματα της ανάλυσης με το OpenRoads είναι η δυναμική ανάλυση του φαινομένου της υδρολίσθησης την ώρα της χάραξης της οριζοντιογραφίας και της μηκοτομής.

Τα μειονεκτήματα της ανάλυσης με το OpenRoads είναι η δημιουργία μοντέλου τριγώνων, που έχει ως αποτέλεσμα τη λήψη εσφαλμένης κλίσης αφού η δημιουργία τριγώνων κάνει τη βασική παραδοχή ότι τρία σημεία δημιουργούν ένα επίπεδο. Αυτή η παραδοχή δεν ισχύει αφού στην περιοχή της κλωθοειδούς η κλίση στην επιφάνεια του οδοστρώματος είναι συνεχώς μεταβαλλόμενη. Εν γένει τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με την αναλυτική προσέγγιση που παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 4.5.

Στο παράρτημα Α παρουσιάζεται το λογισμικό OpenRoads Designer 2021 και τον τρόπο λειτουργίας του έτσι ώστε εξαχθούν τα αποτελέσματα των γραμμών ροής.

## 5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η επεξεργασία των στοιχείων με τη βοήθεια των εξισώσεων που διατυπώθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η επεξεργασία θα γίνει μέσω της γλώσσας προγραμματισμού Python όπως και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Όπως έχει προαναφερθεί στο Κεφάλαιο 4 η ελάχιστη τιμή της σύνθετης κλίσης αφορά σε όλη την επιφάνεια οδοστρώματος. Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις για τις τέσσερις διατομές κατά RAL 2012 και RAA 2008, με αντίστοιχα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 4. Επίσης επιλέχθηκαν τρεις τιμές για την μακροϋφή, τρεις για την ένταση της βροχόπτωσης, τρεις τιμές για την πίεση των ελαστικών και τρεις για το βάθος πέλματος ελαστικού.

Συνοπτικά παρουσιάζονται στους Πίνακα 5-1 και Πίνακα 5-2:

Διατομή	Κατά Μήκος Κλίση	Ακτίνα Κυκλικού Τόξου (m)	Παράμετρος Κλωθοειδούς (m)	Πλάτος Οδοστρώματος (m)	α (m)
RQ 11	-0.85, -1, -2, -3, -4, -5	900	350	4.00	3.50
RQ 25	-1.225, -1.5, -2, -3, -4, -5	900	350	9.75	7.25
RQ 36	-1.65, -2, -3, -4, -5	900	350	14.50	11.50
RQ 43.5	-2.025, -3, -4, -5	900	350	18.25	15.25

Πίνακας 5-1

Σημειώνεται ότι 'α' η απόσταση του άξονα περιστροφής της επιφάνειας κυκλοφορίας από την εξωτερική οριογραμμή της απώτατης, ως προς αυτόν, λωρίδας κυκλοφορίας (δεν νοούνται οι πρόσθετες λωρίδες, ΛΕΑ ή ΛΠΧ και λωρίδες καθοδήγησης).

Βροχόπτωση (mm/h)	Βάθος Πέλματος (mm)	Μακροϋφή (mm)	Πίεση Ελαστικών (psi)	SD (%)
50	0.5	0.5	24	10
100	1	1	30	10
150	1.5	1.5	36	10

Πίνακας 5-2

Άρα για τη διατομή RQ 11 εξετάστηκαν 486 περιπτώσεις, για τη RQ 25 486 περιπτώσεις, για τη RQ 36 405 περιπτώσεις, και για τη RQ 43.5 324 περιπτώσεις.

Για κάθε διατομή θα ακολουθήσει στατιστική ανάλυση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ώστε να βρεθούν οι παράμετροι που συσχετίζουν τη γεωμετρία της οδού και άλλων παραμέτρων σχεδιασμού με το ύψος του νερού που θα σχηματιστεί

στο οδόστρωμα και τη ταχύτητα υδρολίσθησης. Μέσω του λογισμικού Excel έγινε το Data Analysis και εξήχθησαν οι αντίστοιχες στατιστικές παράμετροι. Για το ύψος του νερού οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι: η κατά μήκος κλίση, η ένταση της βροχόπτωσης και η μακροϋφή του οδοστρώματος. Για την ταχύτητα υδρολίσθησης οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι: η κατά μήκος κλίση, η ένταση της βροχόπτωσης και η μακροϋφή του οδοστρώματος, η πίεσης ελαστικών και το βάθος πέλματος των ελαστικών. Δεδομένου ότι συσχετίζονται μεταβλητές με διαφορετικές μονάδες μέτρησης ακολούθησε ανάλυση ευαισθησίας ώστε βρεθούν ποιες είναι οι κρίσιμες παράμετροι των μοντέλων. Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση ευαισθησίας έγινε διαίρεση κάθε μεταβλητής με τη μέγιστη τιμή της έτσι ώστε να προκύψει ένας όρος που θα είναι μεταξύ του 0 και του 1. Έπειτα ξαναγίνεται το Data Analysis αλλά με τις ανηγμένες τιμές. Με αυτό τον τρόπο οι μεταβλητές θα είναι συγκρίσιμες και γίνεται ευκολότερα αντιληπτό ποια παράμετρος επηρεάζει περισσότερο το μοντέλο.

Άρα κάτω από κάθε πίνακα εξαγωγής αποτελέσματος παρατίθεται ο πίνακας της ανάλυσης ευαισθησίας που μέσω των συντελεστών γίνεται αντιληπτή η στατιστική σημαντικότητα κάθε μεταβλητής.

Πιο συγκεκριμένα για κάθε διατομή παρουσιάζονται τα εξαγόμενα που αφορούν στο ύψος νερού της πλέον δυσμενούς γραμμής ροής και της αντίστοιχης ταχύτητας υδρολίσθησης. Τα εξαγόμενα αυτά συνοψίζονται με τους εξής πίνακες:

- Στατιστικά Στοιχεία Παλινδρόμησης
- Ανάλυση Διακύμανσης
- Συντελεστές Μοντέλου
- Ανάλυση ευαισθησίας

1) RQ 11

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για το ύψος νερού παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-3, 5-4, 5-5.

<b>Έξοδος Συμπεράσματος</b>	
<b>Στατιστικά Παλινδρόμησης</b>	
<b>Πολλαπλό R</b>	0.994985
<b>R Τετράγωνο</b>	0.989996
<b>Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο</b>	0.989934
<b>Τυπικό Σφάλμα</b>	0.114126
<b>Παρατηρήσεις</b>	486

**Πίνακας 5-3**

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ					
	<i>Βαθμοί Ελευθερίας</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Σημαντικότητα F</i>
Παλινδρόμηση	3	621.2627	207.0876	15899.48	0
Υπόλοιπο	482	6.277952	0.013025		
Σύνολο	485	627.5406			

Πίνακας 5-4

	<i>Συντελεστές</i>	<i>Τυπικό Σφάλμα</i>	<i>t Stat</i>	<i>τιμή-P</i>	<i>Κατώτερο 95%</i>	<i>Ανώτερο 95%</i>
Σταθερός Όρος	1.501292	0.020722	72.44866	2.9E-261	1.460575	1.542009
Μακρουφή (mm)	-0.48113	0.012681	-37.9423	7.5E-147	-0.50605	-0.45622
Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)	0.026753	0.000127	210.9726	0	0.026504	0.027002
Κατά Μήκος Κλίση	0.142505	0.003407	41.82575	1.7E-162	0.13581	0.149199

Πίνακας 5-5

Στο πίνακα 5-6 παρατίθεται η ανάλυση ευαισθησίας για το ύψος του νερού.

	<i>Συντελεστές</i>	<i>Τυπικό σφάλμα</i>	<i>t</i>	<i>τιμή-P</i>	<i>Κατώτερο 95%</i>	<i>Υψηλότερο 95%</i>
Σταθερός Όρος	1.501292	0.020722	72.44866	2.9E-261	1.460575	1.542009
Μακρουφή (mm)	-0.7217	0.019021	-37.9423	7.5E-147	-0.75908	-0.68433
Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)	4.012918	0.019021	210.9726	0	3.975544	4.050293
Κατά Μήκος Κλίση	-0.71252	0.017036	-41.8258	1.7E-162	-0.746	-0.67905

Πίνακας 5-6

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τη ταχύτητα υδρολίσησης παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-7, 5-8, 5-9.

<b>Έξοδος Συμπεράσματος</b>	
<b>Στατιστικά Παλινδρόμησης</b>	
<b>Πολλαπλό R</b>	0.984602
<b>R Τετράγωνο</b>	0.969442
<b>Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο</b>	0.969124
<b>Τυπικό Σφάλμα</b>	1.063852
<b>Παρατηρήσεις</b>	486

Πίνακας 5-7

<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ</b>					
	<i>Βαθμοί Ελευθερίας</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Σημαντικότητα F</i>
<b>Παλινδρόμηση</b>	5	17234.52	3446.904	3045.555	0
<b>Υπόλοιπο</b>	480	543.2552	1.131782		
<b>Σύνολο</b>	485	17777.77			

Πίνακας 5-8

	<i>Συντελεστές</i>	<i>Τυπικό Σφάλμα</i>	<i>t Stat</i>	<i>τιμή-P</i>	<i>Κατώτερο 95%</i>	<i>Ανώτερο 95%</i>
<b>Σταθερός Όρος</b>	49.92056	0.37231	134.0834	0	49.189	50.65212
<b>Μακροφγή (mm)</b>	8.869002	0.118206	75.03017	2.7E-267	8.636738	9.101267
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	-0.05094	0.001182	-43.0955	4.2E-167	-0.05326	-0.04862
<b>Κατά Μήκος Κλίση (%)</b>	-0.2645	0.03176	-8.32817	8.65E-16	-0.32691	-0.2021
<b>Βάθος Πέλματος (mm)</b>	2.818646	0.118206	23.84524	1.76E-83	2.586381	3.050911
<b>Πίεση Ελαστικών (psi)</b>	0.830196	0.00985	84.27972	8.1E-290	0.810841	0.849551

Πίνακας 5-9

Στο πίνακα 5-10 παρατίθεται η ανάλυση ευαισθησίας για την ταχύτητα υδρολίσησης.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

	<b>Συντελεστές</b>	<b>Τυπικό σφάλμα</b>	<b>t</b>	<b>τιμή-Ρ</b>	<b>Κατώτερο 95%</b>	<b>Υψηλότερο 95%</b>
<b>Σταθερός Όρος</b>	49.92056	0.37231	134.0834	0	49.189	50.65212
<b>Μακροϋφή (mm)</b>	13.3035	0.177309	75.03017	2.7E-267	12.95511	13.6519
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	-7.64121	0.177309	-43.0955	4.2E-167	-7.98961	-7.29282
<b>Κατά Μήκος Κλίση (%)</b>	1.322515	0.1588	8.328167	8.65E-16	1.010486	1.634545
<b>Βάθος Πέλματος (mm)</b>	4.227969	0.177309	23.84524	1.76E-83	3.879572	4.576366
<b>Πίεση Ελαστικών (psi)</b>	29.88706	0.354617	84.27972	8.1E-290	29.19026	30.58385

**Πίνακας 5-10**

Άρα για τη διατομή RQ 11:

- 1) Για το ύψος του νερού
  - a.  $R^2=0.97$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - b.  $|t\text{-student}| = 8.3 > 1.5$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - c. P-value  $\sim 0$  (κρίνεται πολύ καλό)
  
- 2) Για τη ταχύτητα υδρολίσησης
  - a.  $R^2=0.99$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - b.  $|t\text{-student}| = 37.9 > 1.5$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - c. P-value  $\sim 0$  (κρίνεται πολύ καλό)

**2) RQ 25**

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για το ύψος νερού παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-11, 5-12, 5-13.

<b>Έξοδος Συμπεράσματος</b>	
<b>Στατιστικά Παλινδρόμησης</b>	
<b>Πολλαπλό R</b>	0.983084
<b>R Τετράγωνο</b>	0.966455
<b>Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο</b>	0.966246
<b>Τυπικό Σφάλμα</b>	0.300571
<b>Παρατηρήσεις</b>	486

**Πίνακας 5-11**

<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ</b>					
	<i>Βαθμοί Ελευθερίας</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Σημαντικότητα F</i>
<b>Παλινδρόμηση</b>	3	1254.573	418.191	4628.921	0
<b>Υπόλοιπο</b>	482	43.54537	0.090343		
<b>Σύνολο</b>	485	1298.118			

Πίνακας 5-12

	<i>Συντελεστές</i>	<i>Τυπικό Σφάλμα</i>	<i>t Stat</i>	<i>τιμή-P</i>	<i>Κατώτερο 95%</i>	<i>Ανώτερο 95%</i>
<b>Σταθερός Όρος</b>	2.942266	0.056527	52.05096	5.7E-200	2.831197	3.053335
<b>Μακρουφή (mm)</b>	-0.31976	0.033397	-9.57462	5.37E-20	-0.38538	-0.25414
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	0.035073	0.000334	105.0195	0	0.034417	0.035729
<b>Κατά Μήκος Κλίση</b>	0.526488	0.010011	52.59268	8.1E-202	0.506818	0.546158

Πίνακας 5-13

Στο πίνακα 5-14 παρατίθεται η ανάλυση ευαισθησίας για το ύψος του νερού.

	<i>Συντελεστές</i>	<i>Τυπικό σφάλμα</i>	<i>t</i>	<i>τιμή-P</i>	<i>Κατώτερο 95%</i>	<i>Υψηλότερο 95%</i>
<b>Σταθερός Όρος</b>	2.942266	0.056527	52.05096	5.7E-200	2.831197	3.053335
<b>Μακρουφή (mm)</b>	-0.47964	0.050095	-9.57462	5.37E-20	-0.57807	-0.38121
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	5.260975	0.050095	105.0195	0	5.162543	5.359407
<b>Κατά Μήκος Κλίση</b>	-2.63244	0.050053	-52.5927	8.1E-202	-2.73079	-2.53409

Πίνακας 5-14

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τη ταχύτητα υδρολίσθησης παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-15, 5-16, 5-17.

<b>Έξοδος Συμπεράσματος</b>	
<b>Στατιστικά παλινδρόμησης</b>	
<b>Πολλαπλό R</b>	0.981582
<b>R Τετράγωνο</b>	0.963504
<b>Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο</b>	0.963123
<b>Τυπικό σφάλμα</b>	1.077277
<b>Μέγεθος δείγματος</b>	486

Πίνακας 5-15

<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ</b>					
	<b>Βαθμοί ελευθερίας</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>Σημαντικότητα F</b>
<b>Παλινδρόμηση</b>	5	14706.16	2941.233	2534.397	0
<b>Υπόλοιπο</b>	480	557.0523	1.160526		
<b>Σύνολο</b>	485	15263.22			

Πίνακας 5-16

	<b>Συντελεστές</b>	<b>Τυπικό σφάλμα</b>	<b>t</b>	<b>τιμή-P</b>	<b>Κατώτερο 95%</b>	<b>Υψηλότερο 95%</b>
<b>Σταθερός Όρος</b>	48.50725	0.380683	127.4216	0	47.75924	49.25527
<b>Μακρουφή (mm)</b>	7.324799	0.119697	61.19429	7.8E-229	7.089604	7.559995
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	-0.04565	0.001197	-38.1344	2.3E-147	-0.048	-0.04329
<b>Κατά Μήκος Κλίση (%)</b>	-0.66159	0.035879	-18.4392	8.57E-58	-0.73208	-0.59109
<b>Βάθος Πέλματος (mm)</b>	2.752187	0.119697	22.99287	1.99E-79	2.516991	2.987383
<b>Πίεση Ελαστικών (psi)</b>	0.810621	0.009975	81.26705	1E-282	0.791022	0.830221

Πίνακας 5-17

Στο πίνακα 5-18 παρατίθεται η ανάλυση ευαισθησίας για την ταχύτητα υδρολίσθησης.



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

	<b>Συντελεστές</b>	<b>Τυπικό σφάλμα</b>	<b>t</b>	<b>τιμή-P</b>	<b>Κατώτερο 95%</b>	<b>Υψηλότερο 95%</b>
<b>Σταθερός Όρος</b>	48.50725	0.380683	127.4216	0	47.75924	49.25527
<b>Μακρουφή (mm)</b>	10.9872	0.179546	61.19429	7.8E-229	10.63441	11.33999
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	-6.84689	0.179546	-38.1344	2.3E-147	-7.19968	-6.4941
<b>Κατά Μήκος Κλίση (%)</b>	3.307926	0.179396	18.43921	8.57E-58	2.955427	3.660425
<b>Βάθος Πέλματος (mm)</b>	4.128281	0.179546	22.99287	1.99E-79	3.775487	4.481074
<b>Πίεση Ελαστικών (psi)</b>	29.18237	0.359092	81.26705	1E-282	28.47679	29.88796

**Πίνακας 5-18**

Άρα για τη διατομή RQ 25:

- 1) Για το ύψος του νερού
  - a.  $R^2=0.96$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - b.  $|t\text{-student}| = 9.6 > 1.5$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - c. P-value  $\sim 0$  (κρίνεται πολύ καλό)
  
- 2) Για τη ταχύτητα υδρολίσθησης
  - a.  $R^2=0.96$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - b.  $|t\text{-student}| = 18.4 > 1.5$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - c. P-value  $\sim 0$  (κρίνεται πολύ καλό)

**3) RQ 36**

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για το ύψος νερού παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-19, 5-20, 5-21.

<b>ΈΞΟΔΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ</b>	
<b>Στατιστικά παλινδρόμησης</b>	
<b>Πολλαπλό R</b>	0.987362
<b>R Τετράγωνο</b>	0.974884
<b>Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο</b>	0.974696
<b>Τυπικό σφάλμα</b>	0.26966
<b>Μέγεθος δείγματος</b>	405

**Πίνακας 5-19**

<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ</b>					
	<b>Βαθμοί ελευθερίας</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>Σημαντικότητα F</b>
<b>Παλινδρόμηση</b>	3	1131.811	377.2702	5188.22	0
<b>Υπόλοιπο</b>	401	29.15939	0.072717		
<b>Σύνολο</b>	404	1160.97			

Πίνακας 5-20

	<b>Συντελεστές</b>	<b>Τυπικό σφάλμα</b>	<b>t</b>	<b>τιμή-P</b>	<b>Κατώτερο 95%</b>	<b>Υψηλότερο 95%</b>
<b>Σταθερός Όρος</b>	3.235498	0.058913	54.92011	1.1E-188	3.119682	3.351315
<b>Μακρουφή (mm)</b>	-0.27197	0.032822	-8.28614	1.78E-15	-0.33649	-0.20744
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	0.037537	0.000328	114.3667	3.4E-308	0.036892	0.038183
<b>Κατά Μήκος Κλίση</b>	0.529459	0.010771	49.1555	7.5E-172	0.508284	0.550634

Πίνακας 5-21

Στο πίνακα 5-22 παρατίθεται η ανάλυση ευαισθησίας για το ύψος του νερού.

	<b>Συντελεστές</b>	<b>Τυπικό σφάλμα</b>	<b>t</b>	<b>τιμή-P</b>	<b>Κατώτερο 95%</b>	<b>Υψηλότερο 95%</b>
<b>Σταθερός Όρος</b>	3.235498	0.058913	54.92011	1.1E-188	3.119682	3.351315
<b>Μακρουφή (mm)</b>	-0.40795	0.049233	-8.28614	1.78E-15	-0.50474	-0.31116
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	5.630616	0.049233	114.3667	3.4E-308	5.533829	5.727403
<b>Κατά Μήκος Κλίση</b>	-2.64729	0.053856	-49.1555	7.5E-172	-2.75317	-2.54142

Πίνακας 5-22

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τη ταχύτητα υδρολίσησης παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-23, 5-24, 5-25.

<b>ΈΞΟΔΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ</b>	
<b>Στατιστικά παλινδρόμησης</b>	
<b>Πολλαπλό R</b>	0.981348
<b>R Τετράγωνο</b>	0.963045
<b>Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο</b>	0.962581
<b>Τυπικό σφάλμα</b>	1.057581
<b>Μέγεθος δείγματος</b>	405

Πίνακας 5-23

<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ</b>					
	<b>Βαθμοί ελευθερίας</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>Σημαντικότητα F</b>
<b>Παλινδρόμηση</b>	5	11629.7	2325.94	2079.559	3.6E-283
<b>Υπόλοιπο</b>	399	446.2726	1.118478		
<b>Σύνολο</b>	404	12075.97			

Πίνακας 5-24

	<b>Συντελεστές</b>	<b>Τυπικό σφάλμα</b>	<b>t</b>	<b>τιμή-P</b>	<b>Κατώτερο 95%</b>	<b>Υψηλότερο 95%</b>
<b>Σταθερός Όρος</b>	48.40864	0.416554	116.2122	0	47.58972	49.22755
<b>Μακρουφή (mm)</b>	6.946311	0.128725	53.96255	2E-185	6.693248	7.199375
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	-0.04446	0.001287	-34.5396	5.9E-122	-0.04699	-0.04193
<b>Κατά Μήκος Κλίση (%)</b>	-0.59905	0.042243	-14.1811	2.98E-37	-0.6821	-0.51601
<b>Βάθος Πέλματος (mm)</b>	2.735204	0.128725	21.24848	1.45E-67	2.48214	2.988267
<b>Πίεση Ελαστικών (psi)</b>	0.805619	0.010727	75.10162	1.6E-237	0.784531	0.826708

Πίνακας 5-25

Στο πίνακα 5-26 παρατίθεται η ανάλυση ευαισθησίας για την ταχύτητα υδρολίσθησης.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

	<b>Συντελεστές</b>	<b>Τυπικό σφάλμα</b>	<b>t</b>	<b>τιμή-P</b>	<b>Κατώτερο 95%</b>	<b>Υψηλότερο 95%</b>
<b>Σταθερός Όρος</b>	48.40864	0.416554	116.2122	0	47.58972	49.22755
<b>Μακρουφή (mm)</b>	10.41947	0.193087	53.96255	2E-185	10.03987	10.79906
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	-6.66915	0.193087	-34.5396	5.9E-122	-7.04874	-6.28955
<b>Κατά Μήκος Κλίση (%)</b>	2.995266	0.211216	14.18106	2.98E-37	2.580031	3.410502
<b>Βάθος Πέλματος (mm)</b>	4.102806	0.193087	21.24848	1.45E-67	3.723211	4.482401
<b>Πίεση Ελαστικών (psi)</b>	29.00229	0.386174	75.10162	1.6E-237	28.2431	29.76148

Πίνακας 5-26

Άρα για τη διατομή RQ 36:

- 1) Για το ύψος του νερού
  - a.  $R^2=0.97$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - b.  $|t\text{-student}| = 8.3 > 1.5$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - c. P-value  $\sim 0$  (κρίνεται πολύ καλό)
  
- 2) Για τη ταχύτητα υδρολίσθησης
  - a.  $R^2=0.96$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - b.  $|t\text{-student}| = 14.2 > 1.5$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - c. P-value  $\sim 0$  (κρίνεται πολύ καλό)

**4) RQ 43.5**

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για το ύψος νερού παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-27, 5-28, 5-29.

<b>ΈΞΟΔΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ</b>	
<b>Στατιστικά παλινδρόμησης</b>	
<b>Πολλαπλό R</b>	0.990832
<b>R Τετράγωνο</b>	0.981748
<b>Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο</b>	0.981577
<b>Τυπικό σφάλμα</b>	0.227945
<b>Μέγεθος δείγματος</b>	324

Πίνακας 5-27

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ					
	βαθμοί ελευθερίας	SS	MS	F	Σημαντικότητα F
Παλινδρόμηση	3	894.3323	298.1108	5737.436	9.1E-278
Υπόλοιπο	320	16.62684	0.051959		
Σύνολο	323	910.9592			

Πίνακας 5-28

	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%
Τεταγμένη επί την αρχή	3.315819	0.060711	54.61627	3E-164	3.196376	3.435263
Μακρουφή (mm)	-0.2549	0.031019	-8.21759	5.22E-15	-0.31593	-0.19388
Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)	0.038417	0.00031	123.8491	2.1E-272	0.037807	0.039028
Κατά Μήκος Κλίση	0.485001	0.011412	42.49906	1.2E-133	0.462549	0.507453

Πίνακας 5-29

Στο πίνακα 5-30 παρατίθεται η ανάλυση ευαισθησίας για το ύψος του νερού.

	Συντελεστές	Τυπικό σφάλμα	t	τιμή-P	Κατώτερο 95%	Υψηλότερο 95%
Σταθερός Όρος	3.315819	0.060711	54.6162	2.95E-164	3.196	3.435
Μακρουφή (mm)	-0.382356	0.04652906	-8.2175	5.21E-15	-0.473	-0.290
Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)	5.762584	0.04652906	123.849	2.07E-272	5.6710	5.854
Κατά Μήκος Κλίση	-2.425006	0.057060242	-42.499	1.23E-133	-2.537	-2.312

Πίνακας 5-30

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τη ταχύτητα υδρολίσθησης παρουσιάζονται στους Πίνακες 5-31, 5-32, 5-33.

<b>ΈΞΟΔΟΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΟΣ</b>	
<b>Στατιστικά παλινδρόμησης</b>	
<b>Πολλαπλό R</b>	0.981453
<b>R Τετράγωνο</b>	0.96325
<b>Προσαρμοσμένο R Τετράγωνο</b>	0.962672
<b>Τυπικό σφάλμα</b>	1.044086
<b>Μέγεθος δείγματος</b>	324

Πίνακας 5-31

<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ</b>					
	<b>Βαθμοί ελευθερίας</b>	<b>SS</b>	<b>MS</b>	<b>F</b>	<b>Σημαντικότητα F</b>
<b>Παλινδρόμηση</b>	5	9086.179	1817.236	1667.012	1.1E-225
<b>Υπόλοιπο</b>	318	346.6568	1.090116		
<b>Σύνολο</b>	323	9432.836			

Πίνακας 5-32

	<b>Συντελεστές</b>	<b>Τυπικό σφάλμα</b>	<b>t</b>	<b>τιμή-P</b>	<b>Κατώτερο 95%</b>	<b>Υψηλότερο 95%</b>
<b>Σταθερός Όρος</b>	48.42512	0.472957	102.3879	1.7E-245	47.4946	49.35564
<b>Μακρουφή (mm)</b>	6.809201	0.142082	47.9244	1.6E-147	6.529661	7.08874
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	-0.04403	0.001421	-30.9917	4.3E-98	-0.04683	-0.04124
<b>Κατά Μήκος Κλίση (%)</b>	-0.52307	0.052272	-10.0067	1.13E-20	-0.62592	-0.42023
<b>Βάθος Πέλματος (mm)</b>	2.729042	0.142082	19.2075	3.99E-55	2.449503	3.008582
<b>Πίεση Ελαστικών (psi)</b>	0.803804	0.01184	67.88787	2.7E-191	0.780509	0.827099

Πίνακας 5-33

Στο πίνακα 5-34 παρατίθεται η ανάλυση ευαισθησίας για την ταχύτητα υδρολίσησης.

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

	<b>Συντελεστές</b>	<b>Τυπικό σφάλμα</b>	<b>t</b>	<b>τιμή-P</b>	<b>Κατώτερο 95%</b>	<b>Υψηλότερο 95%</b>
<b>Σταθερός Όρος</b>	48.42512	0.472957	102.3879	1.7E-245	47.4946	49.35564
<b>Μακροϋφή (mm)</b>	10.2138	0.213123	47.9244	1.6E-147	9.794491	10.63311
<b>Ένταση Βροχόπτωσης (mm/h)</b>	-6.60504	0.213123	-30.9917	4.3E-98	-7.02435	-6.18573
<b>Κατά Μήκος Κλίση (%)</b>	2.615364	0.261361	10.00673	1.13E-20	2.10115	3.129578
<b>Βάθος Πέλματος (mm)</b>	4.093563	0.213123	19.2075	3.99E-55	3.674254	4.512873
<b>Πίεση Ελαστικών (psi)</b>	28.93696	0.426246	67.88787	2.7E-191	28.09834	29.77558

**Πίνακας 5-34**

Άρα για τη διατομή RQ 43.5:

- 1) Για το ύψος του νερού
  - a.  $R^2=0.98$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - b.  $|t\text{-student}| = 8.2 > 1.5$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - c.  $P\text{-value} \sim 0$  (κρίνεται πολύ καλό)
  
- 2) Για το βάθος του νερού
  - a.  $R^2=0.96$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - b.  $|t\text{-student}| = 10.0 > 1.5$  (κρίνεται πολύ καλό)
  - c.  $P\text{-value} \sim 0$  (κρίνεται πολύ καλό)

Συνεπώς τα αποτελέσματα γραμμικής παλινδρόμησης συνοψίζονται στον πίνακα στον Πίνακα 5-35

<b>Διατομή</b>	<b>Εξίσωση για Ύψος Νερού</b>	<b>Εξίσωση για Ταχύτητα Υδρολίσησης</b>
<b>RQ 11</b>	$1.501-0.481 \cdot \text{TXD}+0.026 \cdot \text{RI}+0.142 \cdot s$	$49.92+8.869 \cdot \text{TXD}-0.051 \cdot \text{RI}-0.265 \cdot s+2.818 \cdot \text{TD}+0.830 \cdot p_t$
<b>RQ 25</b>	$2.942-0.319 \cdot \text{TXD}+0.035 \cdot \text{RI}+0.526 \cdot s$	$48.50+7.324 \cdot \text{TXD}-0.045 \cdot \text{RI}-0.661 \cdot s+2.752 \cdot \text{TD}+0.811 \cdot p_t$
<b>RQ 36</b>	$3.235-0.272 \cdot \text{TXD}+0.037 \cdot \text{RI}+0.529 \cdot s$	$48.41+6.946 \cdot \text{TXD}-0.044 \cdot \text{RI}-0.599 \cdot s+2.735 \cdot \text{TD}+0.806 \cdot p_t$
<b>RQ 43.5</b>	$3.316-0.255 \cdot \text{TXD}+0.038 \cdot \text{RI}+0.485 \cdot s$	$48.42+6.809 \cdot \text{TXD}-0.044 \cdot \text{RI}-0.523 \cdot s+2.729 \cdot \text{TD}+0.803 \cdot p_t$

**Πίνακας 5-35 Εξισώσεις Προσδιορισμού Ύψος Νερού και Ταχύτητας Υδρολίσησης**

Όπου:

TXD = η μακροϋφή του οδοστρώματος (mm)

RI = η ένταση της βροχόπτωσης (mm/h)

s = η κατά μήκος κλίση (%)

TD = το βάθος πέλματος του ελαστικού (mm)

$p_t$  = η πίεση ελαστικών του οχήματος (psi)

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

### 6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων και Συμπεράσματα

Στόχος της διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση φαινομένου της υδρολίσθησης και της ασθενούς απορροής των ομβρίων σε κρίσιμες περιοχές της οδού. Αναλυτικότερα διερευνήθηκαν τέσσερις διατομές κατά RAL 2012 και RAA 2008 (μιας έως τεσσάρων λωρίδων κυκλοφορίας αντίστοιχα), σε δεξιόστροφη καμπύλη, με σταθερή κατά μήκος κλίση σε όλο το κρίσιμο τμήμα επιρροής των γραμμών ροής. Για την εξαγωγή του μοντέλου εφαρμόστηκαν οι οδηγίες RAL 2012 και RAA 2008.

Αρχικά παρουσιάστηκε η βιβλιογραφική ανασκόπηση με τις υφιστάμενες οδηγίες σχεδιασμού οδών αλλά και έρευνες που πραγματοποιήθηκαν για το φαινόμενο της δυναμικής υδρολίσθησης. Έπειτα ακολούθησε το θεωρητικό υπόβαθρο στο οποίο περιγράφονται οι εξισώσεις που είναι απαραίτητες για την εξαγωγή του μοντέλου, τηρούμενων των διατάξεων των RAL 2012 και RAA 2008. Ακολούθησε η μεθοδολογία όπου έγινε παρουσίαση του λογισμικού σε γλώσσα προγραμματισμού Python όπου ο χρήστης έχει δυναμική αλληλεπίδραση με το πρόγραμμα, αφού εισάγει τις γεωμετρικές παραμέτρους και έχει ως εξαγόμενο αποτέλεσμα τις γραμμές ροής, ένα θερμοδιάγραμμα των σύνθετων κλίσεων, το ύψος νερού αλλά και η ταχύτητα υδρολίσθησης.

Δημιουργήθηκαν τέσσερα μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης – ένα για κάθε διατομή – που συσχετίζουν τα γεωμετρικά στοιχεία της οδού, τις καιρικές συνθήκες και τα χαρακτηριστικά του οχήματος με το ύψος του νερού και τη ταχύτητα υδρολίσθησης. Η συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών με τις εξαρτημένες θεωρείται πολύ καλή αφού όλες οι τιμές των στατιστικών παραμέτρων είναι πληρούν τα κριτήρια για διάστημα εμπιστοσύνης 95 % ( $R^2 > 0.95$ ,  $t\text{-student}_{\min} > 8$ ,  $P\text{-value} < 0.01$ , Χαμηλή τιμή σταθερού όρου).

Ακολούθησε ανάλυση ευαισθησίας έτσι ώστε να προσδιοριστεί η επιρροή κάθε παραμέτρου σε κάθε μοντέλο - με τη διαδικασία που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο της Επεξεργασίας Δεδομένων - .

Για όλες τις εξετασθείσες περιπτώσεις ως προς το ύψος ροής νερού προέκυψε ότι η πιο σημαντική παράμετρος είναι η ένταση της βροχόπτωσης μετά η κατά μήκος κλίση και τέλος η μακροϋφή του οδοστρώματος.

Αντίστοιχα αναφορικά με την ταχύτητα υδρολίσθησης, πιο σημαντική παράμετρος είναι κατά φθίνουσα σειρά η πίεση των ελαστικών η μακροϋφή του οδοστρώματος, μετά η ένταση βροχόπτωσης, το βάθος πέλματος και τέλος η κατά μήκος κλίση.



Όσον αφορά στο ύψος του νερού είναι αναμενόμενο η ένταση της βροχόπτωσης να είναι ο καθοριστικός παράγοντας που επηρεάζει το ύψος της στρώσης νερού που σχηματίζεται. Συνεπώς ο μελετητής έχει τη δυνατότητα να μειώσει το ύψος είναι αυξάνοντας τη μακροϋφή είτε τροποποιώντας την μηκοτομή στο σημείο αλλαγής των επικλίσεων.

Όσον αφορά στην ταχύτητα υδρολίσθησης παρατηρήθηκε ότι καθοριστικός παράγοντας είναι η πίεση των ελαστικών και ο παράγοντας ήσσονος σημασίας είναι κατά μήκος κλίση.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ταχύτητα υδρολίσθησης να μην επηρεάζεται μόνο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού, αλλά γίνεται αντιληπτό ότι η επιλογή τυπικού οχήματος σχεδιασμού αποτελεί κρίσιμη παράμετρο ως προς τον κίνδυνο υδρολίσθησης. Άρα ο μελετητής πρέπει να κάνει ορθές παραδοχές έτσι ώστε να κάνει σωστή εκτίμηση του κινδύνου για υδρολίσθηση.

Τα μοντέλα δομήθηκαν στη βάση ότι η οδός έχει διαμορφωθεί κατάλληλα προκειμένου να υπάρχει ικανοποιητική απορροή ομβρίων. Παρατηρήθηκε μέσω των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ότι παρόλο που η εξεταζόμενη οδός έχει καλή απορροή ομβρίων υπάρχουν συνδυασμοί παραμέτρων που αυξάνουν αισθητά τον κίνδυνο για υδρολίσθηση. Άρα η καλή απορροή ομβρίων δεν συνεπάγεται απουσία κινδύνου υδρολίσθησης και ο μελετητής θα πρέπει να εξετάσει τις κρίσιμες περιοχές αφού η ταχύτητα υδρολίσθησης εξαρτάται από τη τρισδιάστατη χάραξη και παράγοντες που αφορούν στο όχημα, την ένταση βροχόπτωσης και το οδόστρωμα.

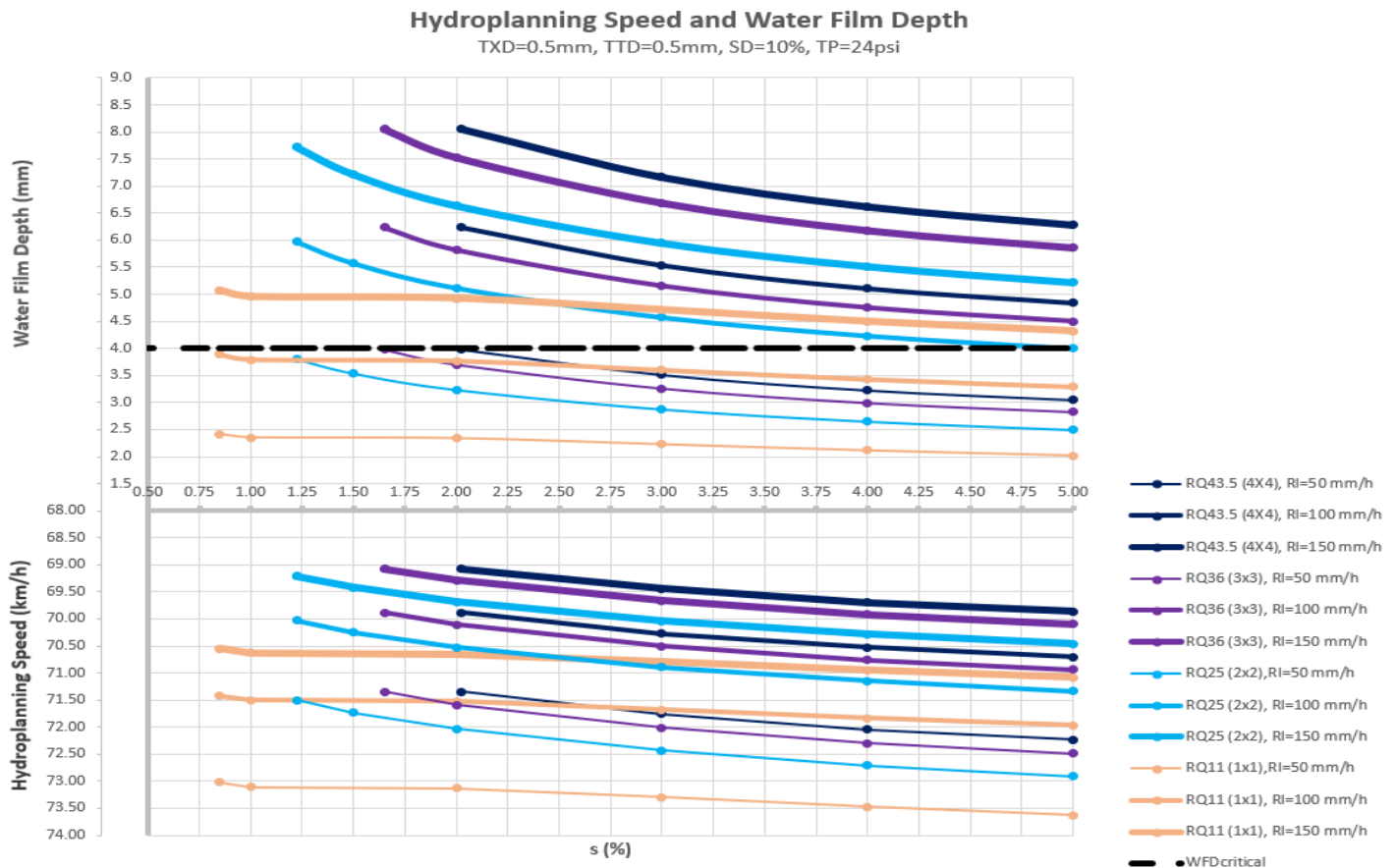
Στην εικόνα 6-1 αποτυπώνεται η γραφική παράσταση επιρροής της κατά μήκος κλίσης με το βάθος ύψους ροής νερού (πάνω διάγραμμα) και την ταχύτητα υδρολίσθησης (κάτω διάγραμμα) για κάθε μία από τις διατομές, διατηρώντας σταθερές τιμές (τυπικές - συντηρητικές τιμές σχεδιασμού) μακροϋφής (0.5 mm), πίεσης ελαστικών (24 psi), βάθους αυλακώσεων ελαστικών (0.5 mm), και SD (10 %).

Σύμφωνα με τους Horne et al (1963) το κρίσιμο βάρος ροής νερού για την ανάπτυξη της υδρολίσθησης κυμαίνεται από 2.54 mm (0.1 in) έως 10.16 mm (0.4 in). Επειδή τα χαρακτηριστικά των οχημάτων έχουν βελτιωθεί από το 1963 γίνεται η παραδοχή ότι η κρίσιμη τιμή σχεδιασμού για το ύψος του νερού στην επιφάνεια του οδοστρώματος είναι τα 4 mm γίνεται αντιληπτό ότι για ένταση βροχόπτωσης πάνω από 50 mm/h και χαμηλές σχετικά κατά μήκος κλίσεις το βάθος ροής υπερβαίνει τη τιμή σχεδιασμού.

Συνεπώς τα διαγράμματα της εικόνας 6-1 επιβεβαιώνουν τον ισχυρισμό ότι η καλή απορροή ομβρίων δεν συνεπάγεται εξαφάνιση του κινδύνου υδρολίσθησης αφού υπάρχουν συνδυασμοί παραμέτρων που δίνουν ύψη νερού πάνω από 4 mm

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

και ταυτόχρονα οι ταχύτητες είναι πολύ χαμηλότερες από αυτές που θα μπορούν να επιτευχθούν σε στεγνό οδόστρωμα, ακόμα και μικρότερες των 70km/h. Επίσης γίνεται εμφανές ότι οδοστρώματα διαχωρισμένης επιφάνειας κυκλοφορίας αυξάνουν το ύψος ροής αφού αυξάνεται το μήκος της γραμμής ροής.



**Εικόνα 6-1 Διάγραμμα κατά μήκος κλίσης με βάθος ροής και ταχύτητα υδρολίσθησης συναρτήσει διατομής διατηρώντας σταθερές μη γεωμετρικές παραμέτρους**

Ένα βασικό πλεονέκτημα της μεθοδολογίας που παρουσιάστηκε είναι ότι λήφθηκε υπόψη η τρισδιάστατη χάραξη της οδού και όχι η δισδιάστατη όπως συμβαίνει στις υφιστάμενες οδηγίες. Συνεπώς δίδεται ένα εργαλείο στους μελετητές οδοποιούς μηχανικούς με το οποίο μπορούν να υπολογίσουν τον κίνδυνο για υδρολίσθηση (ύψος νερού, ταχύτητα υδρολίσθησης) στη φάση του σχεδιασμού εξοικονομώντας χρήματα στη συντήρηση αλλά και πρωτίστως ενισχύοντας την οδική ασφάλεια της οδού.

Τέλος θεωρώντας γνωστές τις τιμές των παραμέτρων κάθε μοντέλου είναι δυνατή η εφαρμογή Πινακίδων Μεταβλητών Μηνυμάτων (VMS) όπου από το κέντρο κυκλοφορίας θα μπορεί να αλλάζει το όριο ταχύτητας δυναμικά, το οποίο θα εξαρτάται από την ένταση της βροχόπτωσης. Άρα ο οδηγός θα ενημερώνεται

εγκαίρως έτσι ώστε να προβαίνει σε μείωση ταχύτητας σε περίπτωση που το απαιτούν οι συνθήκες.

### 6.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Στη Διπλωματική αυτή εργασία γίνεται μία προσπάθεια εντοπισμού περιοχών με ασθενή απορροή ομβρίων υδάτων, αλλά και περιοχών με κίνδυνο δυναμικής υδρολίσθησης μέσω του προσδιορισμού της ταχύτητας υδρολίσθησης.

Όσον αφορά στο αντικείμενο του θέματος σε επόμενα στάδια μπορούν να διερευνηθούν τα παρακάτω:

- 1) Η περίπτωση μεταβαλλόμενης κλίσης στη μηκοτομή.
- 2) Η δυνατότητα σχεδιασμού πρόσθετων λωρίδων με αρνητική επίκλιση (δημιουργία κόγχης με αλγεβρικό άθροισμα επικλίσεων  $< 5\%$ ) στην κρίσιμη περιοχή προκειμένου να μειωθεί το εύρος της γραμμής ροής.
- 3) Επιρροή της λοξής κορυφογραμμής μέσω των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της στην ικανή απορροή ομβρίων και κινδύνου για υδρολίσθηση.
- 4) Εύρεση του ύψους του νερού μέσω αναλυτικών μεθόδων υπολογιστικής ρευστοδυναμικής (CFD – Computational Fluid Dynamics) συναρτήσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού.
- 5) Επιρροή της συμπεριφοράς του οδηγού στα όρια ταχύτητας που θα τεθούν λόγω υδρολίσθησης.
- 6) Παράμετροι οδοστρώματος όπως μέσο βάθος υφής, διαπερατότητα κλπ στον κίνδυνο υδρολίσθησης.
- 7) Κόστος συντήρησης οδικών υποδομών μέσω ανάλυσης κόστους – οφέλους από παρεμβάσεις στον γεωμετρικό σχεδιασμό λόγω υδρολίσθησης, τόσο σε δημόσια οδικά έργα, όσο και σε οδικά έργα με συμβάσεις παραχώρησης.
- 8) Διερεύνηση επιρροής της κατανομής της βροχόπτωσης στο ύψος του νερού που θα σχηματιστεί. (Χρόνος Συγκέντρωσης, Ένταση Βροχόπτωσης κλπ)
- 9) Δημιουργία συστήματος κατηγοριοποίησης και εκτίμησης κινδύνου λόγω της υδρολίσθησης συναρτήσει λειτουργικής κατάταξης οδού.
- 10) Εντοπισμός περιοχών εντός της Ελληνικής Επικράτειας (περισσότερο σε αυτοκινητόδρομους και οδούς ταχείας κυκλοφορίας) που διατρέχουν κίνδυνο υδρολίσθησης, με τη δημιουργία ενός μητρώου παρακολούθησης οδών και ιεράρχηση των κινδύνων λόγω υδρολίσθησης.
- 11) Διερεύνηση της επιρροής της κλιματικής αλλαγής στην συχνότητα έντονων εντάσεων βροχόπτωσης και το αποτέλεσμα στα οδικά ατυχήματα και τον κυκλοφοριακό φόρτο.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

- 12) Σύστημα παρακολούθησης των βροχομετρικών δεδομένων σε real - time και ενημέρωση των οδηγών για τα ανώτατα όρια ταχύτητα υδρολίσθησης μέσω πινακίδων μεταβλητών μηνυμάτων.
- 13) Διερεύνηση του κινδύνου της υδρολίσθησης σε κρίσιμες περιοχές μείωσης ή αύξησης των ταχυτήτων όπως σε κλάδους εισόδου και εξόδου ανισόπεδων κόμβων.
- 14) Συσχέτιση του μοντέλου της παρούσας διπλωματικής εργασίας, με αντίστοιχα μοντέλα που θα δημιουργηθούν βασιζόμενα στην περιστροφή του οδοστρώματος όπως ορίζεται στους AASHTO και τους Ισπανικούς Κανονισμούς.
- 15) Διερεύνηση εφαρμογής μεταβαλλόμενων ορίων ταχύτητας σε CAV (Connected and Automated Vehicles)

Όσον αφορά το αντικείμενο άλλων ειδικοτήτων σε επόμενα στάδια μπορούν να διερευνηθούν τα παρακάτω:

- 1) Διερεύνηση μέσω αναλυτικών μεθόδων (πχ Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων), των χαρακτηριστικών του ελαστικού στον κίνδυνο υδρολίσθησης λαμβάνοντας υπόψη το ύψος του νερού.

## 7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Alani, Adam JA. *An Investigation of Hydroplaning Reduction at Superelevated Highway Transitions in Kansas*. Diss. University of Kansas, 2022.
- [2] Al-Kaisy, Ahmed, and Casey Durbin. "Platooning on two-lane two-way highways: An empirical investigation." *Journal of advanced transportation* 43.1 (2009): 71-88.
- [3] AASHTO Green Book 7<sup>th</sup> Edition 2018
- [4] CHOO, Kyung-Su; KANG, Dong-Ho; KIM, Byung-Sik. Impact assessment of urban flood on traffic disruption using rainfall–depth–vehicle speed relationship. *Water*, 2020, 12.4: 926.
- [5] DN – GEO -03031 Rural Road Link Design, May 2023
- [6] Ferziger, Joel H., and Milovan Perić. "Computational methods for fluid dynamics." (2002): 2002-430.
- [7] Fwa, T. F., et al. "Analytical modeling of effects of rib tires on hydroplaning." *Transportation Research Record* 2068.1 (2008): 109-118.
- [8] Gallaway, B. M., et al. "Pavement and geometric design criteria for minimizing hydroplaning." (1979).
- [9] Guven, O., and J. Melville. "Pavement cross slope design—a technical review." *Auburn University, Highway Research Center, Auburn, Alabama* (1999).
- [10] Dreher, Robert C., and Walter B. Horne. Phenomena of pneumatic tire hydroplaning. No. NASA-TN-D-2056. 1963.
- [11] HUEBNER, R. Scott; ANDERSON, David A.; WARNER, John C. Proposed design guidelines for reducing hydroplaning on new and rehabilitated pavements. *NCHRP Research Results Digest*, 1999, 243.
- [12] HUEBNER, Richard Scott, et al. PAVDRN: Computer model for predicting water film thickness and potential for hydroplaning on new and reconditioned pavements. *Transportation research record*, 1997, 1599.1: 128-131.
- [13] JEONG, Jaehak; CHARBENEAU, Randall J. Diffusion wave model for simulating storm-water runoff on highway pavement surfaces at superelevation transition. *Journal of hydraulic engineering*, 2010, 136.10: 770-778.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[14] KANG, Yong-suk, et al. A probabilistic approach to hydroplaning potential and risk. *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 2019, 12.06-12-01-0005: 63-70.

[15] Kokkalis, Alexandros G., and Olympia K. Panagouli. "Fractal evaluation of pavement skid resistance variations. I: Surface Wetting." *Chaos, Solitons & Fractals* 9.11 (1998): 1875-1890.

[16] Lee, Hyung S., and Dinesh Ayyala. "Enhanced Hydroplaning Prediction Tool." (2020).

[17] Luo, Wenting, Kelvin CP Wang, and Lin Li. "Hydroplaning on sloping pavements based on inertial measurement Unit (IMU) and 1mm 3D laser imaging data." *Periodica Polytechnica Transportation Engineering* 44.1 (2016): 42-49.

[18] MCGOVERN, Colleen M., et al. State practices to reduce wet weather skidding crashes. United States. Federal Highway Administration. Office of Safety, 2011.

[19] Morris, Ron S., et al. "Visual performance of drivers during rainfall." *Transportation Research Record* 628 (1977): 19-25.

[20] Normativa General de Carreteras – Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible – Ministerio De Vivinda y Agenda Urbana 2016

[21] ONG, Ghim Ping; FWA, T. F. Wet-pavement hydroplaning risk and skid resistance: modeling. *Journal of Transportation Engineering*, 2007, 133.10: 590-598.

[22] Psarianos, Basil. "Direct Calculation of Water Film Paths as Geodesic Curves on a Three-Dimensional Road Surface to address Hydroplaning 2 Phenomena 3."

[23] Psarianos, Basil, et al. Pavement Grooving Pattern Direction Investigation as a Countermeasure of Hydroplaning. Diss. National Technical University of Athens, 2020.

[24] RAA 2008

[25] RAL 2012

[26] Rahman, Ashrafur, and Nicholas E. Lownes. "Analysis of rainfall impacts on platooned vehicle spacing and speed." *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 15.4 (2012): 395-403.

[27] Saberi, Meead, and Robert L. Bertini. "Empirical analysis of the effects of rain on measured freeway traffic parameters." *Transportation research board 89th annual meeting*. No. 10-2331. 2010.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[28] SHAMS, Alireza, et al. Highway cross-sectional design and maintenance to minimize hydroplaning. *Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements*, 2020, 146.4: 04020065.

[29] Smith, Brian L., et al. "An investigation into the impact of rainfall on freeway traffic flow." 83rd annual meeting of the Transportation Research Board, Washington DC. Citeseer, 2004.

[30] VELEZ RODRIGUEZ, Kenneth Xavier. Systemic Network-Level Approaches for Identifying Locations with High Potential for Wet and Hydroplaning Crashes. 2021. PhD Thesis. Virginia Tech.

[31] WANG, Ling, et al. Real-time crash prediction for expressway weaving segments. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2015, 61: 1-10.

[32] [https://ops.fhwa.dot.gov/weather/q1\\_roadimpact.htm](https://ops.fhwa.dot.gov/weather/q1_roadimpact.htm) (Ανάκτηση 08/2023)

[33] <https://www.cadventure.co.uk/openroads-designer-complete-bim-solution-for-transportation/> (Ανάκτηση 04/2023)

[34] <https://www.lavanguardia.com/motor/actualidad/20220623/8074479/diferencias-autovia-autopista.html> (Ανάκτηση 03/2023)

[35] <https://www.transportation.org/home/organization/> (Ανάκτηση 02/2023)

[36] <https://www.pirelli.com/tyres/en-au/car/driving-and-tyre-tips/safe-driving-and-tyre-features> (Ανάκτηση 03/2023)

[37] Ueng, Shyh-Kuang, Kris Sikorski, and Kwan-Liu Ma. Fast algorithms for visualizing fluid motion in steady flow on unstructured grids. No. ICASE-95-58. 1995.

### Ελληνική Βιβλιογραφία

[38] Κανιαδάκης, Καρανάσιος, Φελλούρης Λογισμός Πολλών Μεταβλητών

[39] ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-05-03-12-01 Αντιολισθηρή στρώση ασφαλτικού σκυροδέματος (2018)

[40] Λιακόπουλος Αντώνιος, Μηχανική Ρευστών

[41] Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Χαράξεις 2001 (ΟΜΟΕ-Χ)

[42] Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Διατομές 2001 (ΟΜΟΕ-Δ)

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[43] Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Αποχέτευση – Στράγγιση Υδραυλικά Έργα Οδών Σχέδιο 2013 (ΟΜΟΕ-ΑΣΕΥΟ)

[44] Σαρρής, Καρακασίδης, Αριθμητικές Μέθοδοι και Εφαρμογές για Μηχανικούς με παραδείγματα στο MATLAB

[45] Σημειώσεις Μαθήματος 'Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών' (Μαυρομάτης Σ.)

[46] Σημειώσεις Μαθήματος 'Ειδικά Κεφάλαια Γεωμετρικού Σχεδιασμού Οδών' (Μαυρομάτης Σ.)

[47] Σημειώσεις Μαθήματος 'Αξιολόγηση και Συντήρηση Οδοστρωμάτων' (Λοϊζος, Πλατή)

[48] Σημειώσεις Υδρολογίας (Όμβριες Καμπύλες – Ασκήσεις), Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (Λουκάς Αθανάσιος)

Πηγή εικόνας:

Recovery Law Center:

[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Frecoverylawcenterhawaii.com%2Fblog%2Fhydroplaning-how-to-avoid-it%2F&psig=AOvVaw3Cj4p\\_yJfeVKW\\_kwsgGlzc&ust=1680513331871000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxaFwoTCMDYiZjuiv4CFQAAAAAdAAAAABAD](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Frecoverylawcenterhawaii.com%2Fblog%2Fhydroplaning-how-to-avoid-it%2F&psig=AOvVaw3Cj4p_yJfeVKW_kwsgGlzc&ust=1680513331871000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxaFwoTCMDYiZjuiv4CFQAAAAAdAAAAABAD)

F1 Chronicle:

[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ff1chronicle.com%2Fwhat-is-aquaplaning-in-formula-1%2F&psig=AOvVaw22SuXbkh-6qm\\_Kis0aro2&ust=1680514164438000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxaFwoTCNiJpqrnxiv4CFQAAAAAdAAAAABAI](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ff1chronicle.com%2Fwhat-is-aquaplaning-in-formula-1%2F&psig=AOvVaw22SuXbkh-6qm_Kis0aro2&ust=1680514164438000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxaFwoTCNiJpqrnxiv4CFQAAAAAdAAAAABAI)

Wallpaper:

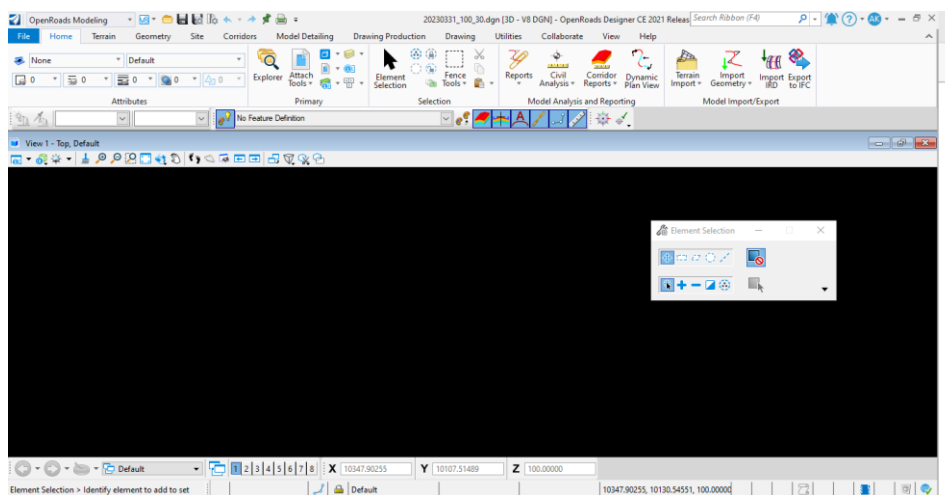
[https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.postermywall.com%2Findex.php%2Fart%2Ftemplate%2F07730d37f2e4d336fb528dcbfc60ce55%2Fmotivational-goal-target-design-template&psig=AOvVaw3C\\_rZxQivsUQYNK\\_pQxFFY&ust=1680520316857000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxaFwoTCKDn45ali\\_4CFQAAAAAdAAAAABAF](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.postermywall.com%2Findex.php%2Fart%2Ftemplate%2F07730d37f2e4d336fb528dcbfc60ce55%2Fmotivational-goal-target-design-template&psig=AOvVaw3C_rZxQivsUQYNK_pQxFFY&ust=1680520316857000&source=images&cd=vfe&ved=0CBAQjRxaFwoTCKDn45ali_4CFQAAAAAdAAAAABAF)



## 8 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

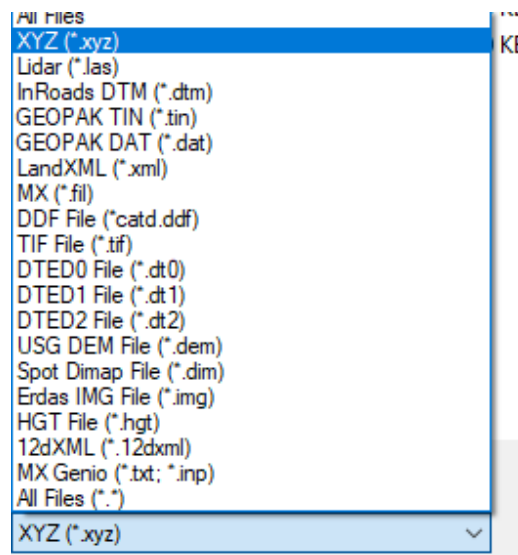
### 8.1 Λογισμικό Οδοποιίας OpenRoads Designer 2021

Το OpenRoads είναι λογισμικό οδοποιίας της εταιρείας Bentley Systems. Το πρώτο όπου θα χρησιμοποιηθεί στο πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας είναι το OpenRoads Designer όπου γίνονται αναλυτικοί υπολογισμοί και σχεδιασμός της οδού. Το δεύτερο είναι το OpenRoads ConceptStation που δίνει μία πολύ γρήγορα εικόνα της οδού έτσι ώστε ο μελετητής να εντοπίσει τα θεμελιώδη προβλήματα που θα μπορούν να εμφανιστούν κατά το σχεδιασμό αλλά η ποσότητα της πληροφορίας αλλά και η δημιουργία του μοντέλου δεν επαρκεί ώστε να γίνουν αναλυτικοί υπολογισμοί. Συνδυάζοντας τις παραδοσιακές ροές εργασίας για την οριζοντιογραφία, την μηκοτομή και τις διατομές με παραμετροποίηση 3D μοντέλου και τεχνολογία BIM, το OpenRoads Designer επιτρέπει την αποτελεσματική εφαρμογή της τεχνολογίας BIM με τη χρήση μοντέλου κεντρικής δημιουργίας όλων των παραδοτέων του σχεδιασμού. Το λογισμικό υποστηρίζει όλες τις πτυχές ενός λεπτομερούς σχεδιασμού οδού, συμπεριλαμβανόμενου του τοπογραφικού, των γεωτεχνικών παραμέτρων, η απορροής, των υπόγειων κατασκευών, το corridor modeling, της ανάλυσης και της ποσοτικοποίησης. (<https://www.cadventure.co.uk/openroads-designer-complete-bim-solution-for-transportation/>)

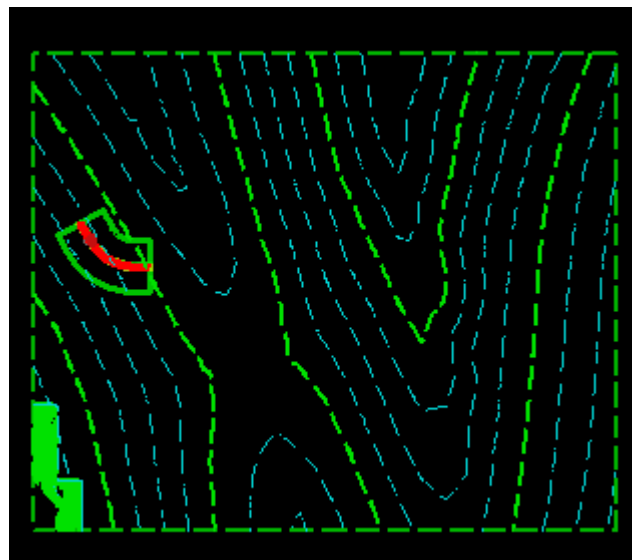


Εικόνα 8-1 - Περιβάλλον Εργασίας OpenRoads

Πρώτο βήμα είναι η εισαγωγή του τοπογραφικού υποβάθρου μέσω της καρτέλας Terrain -> Create -> From File



Υποστηρίζονται πάρα πολλοί τρόποι εισαγωγής τοπογραφικού υποβάθρου. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας έγινε εισαγωγή τοπογραφικού υποβάθρου σε μορφή XYZ.



**Εικόνα 8-2**

Υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης του τοπογραφικού με οποιαδήποτε μορφή επιθυμεί ο χρήστης γράφοντας πάνω Properties και επιλέγοντας στο Terrain Model τον τρόπο εμφάνισης. Επίσης στην περίπτωση των ισοϋψών καμπυλών καθορίζεται και η ισοδιάσταση από τον μελετητή αναλόγως με τις απαιτήσεις της μελέτης.

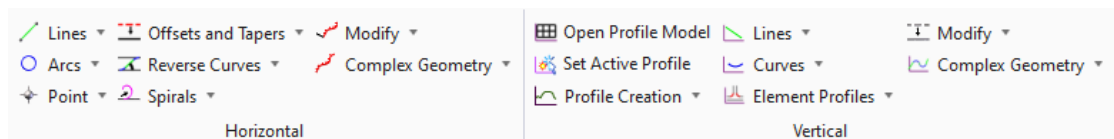
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Σε δεύτερο βήμα χαράσσεται η οδός οριζοντιογραφικά προσέχοντας στο ribbon να είναι ενεργοποιημένα μόνο οι παρακάτω επιλογές (για να υπάρχει η δυνατότητα γρήγορα η διαγραφή ή επεξεργασία παραμέτρων και στοιχείων):

Πηγαίνοντας στην καρτέλα Geometry γίνεται η οριζοντιογραφική και μηκτομική

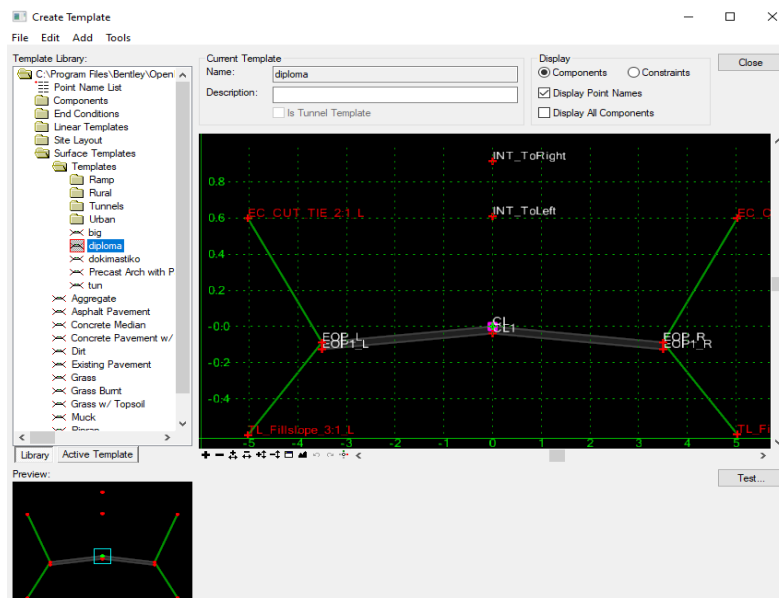


χάραξη της οδού.



Πολύ σημαντικό είναι η μηκτομή που θα χαραχθεί να γίνει Active Profile (ώστε να γίνουν κάποιες άλλες λειτουργίες).

Σε επόμενο βήμα κατασκευάζεται το Corridor μέσω της αντίστοιχης καρτέλας και επιλέγοντας New Corridor. Επιλέγεται η ΧΘ αρχής και τέλους (εμείς θα χρησιμοποιήσουμε ως αρχή την αρχή της κλωθοειδούς και ως πέρασ το τέλος της κλωθοειδούς καμπύλης). Επίσης καθορίζεται η διατομή που θα χρησιμοποιηθεί ώστε το πρόγραμμα να λάβει υπόψη το ανάλογο πλάτος επιρροής. Το πιο σημαντικό βήμα είναι ο καθορισμός της τυπικής διατομής μέσω της καρτέλας Corridor και μετά επιλέγοντας Template -> Create Template. Στη παρακάτω εικόνα φαίνεται η τυπική διατομή που θα χρησιμοποιήσουμε 3.5 m πλάτος λωρίδας με 2.5 % επίκλιση στην ευθυγραμμία.



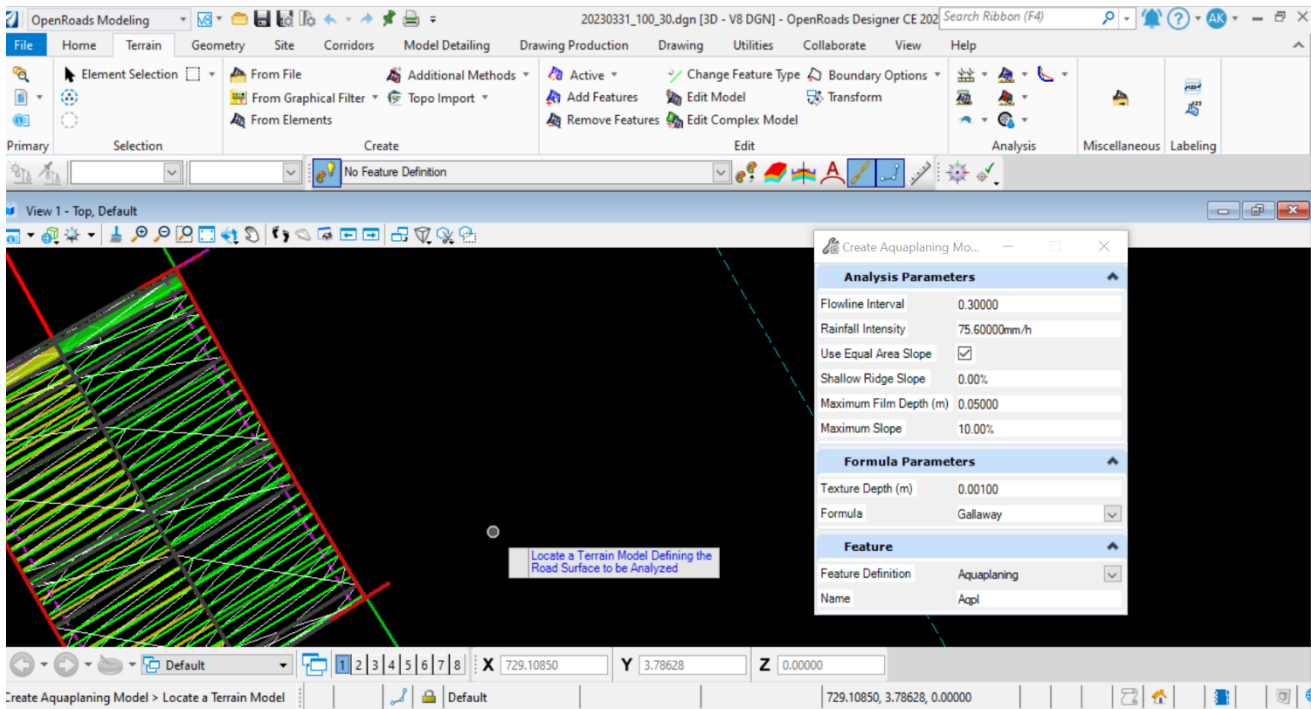
Εικόνα 8-3

Μετά την κατασκευή του Corridor, πηγαίνουμε στην καρτέλα Corridor -> Superelevation -> Create -> Create Superelevation Sections και μετά Create Superelevation Lanes by Template (τοποθετώντας την τυπική διατομή που φτιάξαμε προηγουμένως) και καθορίζουμε τους κανονισμούς που θα εφαρμοστούν ώστε να δημιουργήσει το πρόγραμμα το διάγραμμα επικλίσεων.

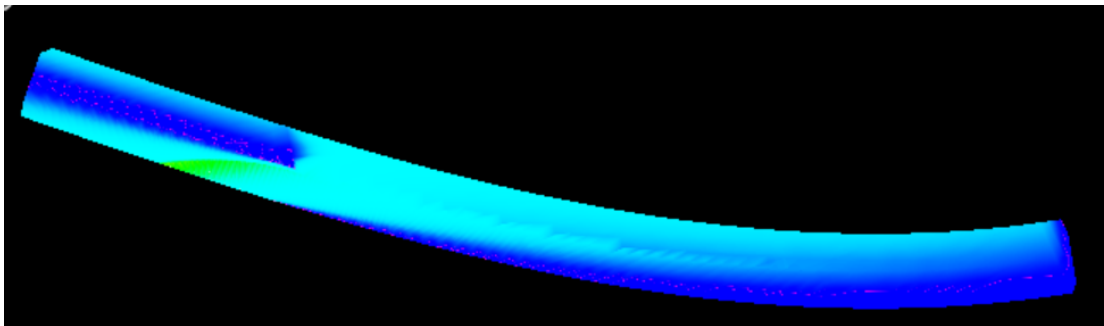
Σε επόμενο βήμα πατάμε Calculate Superelevation και βεβαιωνόμαστε ότι το διάγραμμα επικλίσεων είναι σωστό. Στην ίδια καρτέλα πατάμε Assign to Corridor έτσι ώστε οι τιμές των επικλίσεων να περάσουν στο Corridor. Μετά στην καρτέλα Terrain κάνουμε Create Terrain from Additional Methods με την επιλογή Create Corridor Alternate Surfaces

Στη συνέχεια στην καρτέλα Terrain που βρισκόμαστε πηγαίνουμε στο Analysis και πατάμε Aquaplanning. Μας εμφανίζει την παρακάτω καρτέλα όπου βάζουμε την μέγιστη κλίση, την απόσταση μεταξύ 2 μετρήσεων, την ένταση της βροχής, το μέγιστο βάθος νερού που αναμένουμε (βάζουμε μια χαμηλή τιμή διότι υπάρχουν φορές όπου δε γίνεται σωστή ανάλυση και τα αποτελέσματα δεν είναι ορθά. Τέλος καθορίζουμε την μακροϋφή και την μέθοδο ανάλυσης.

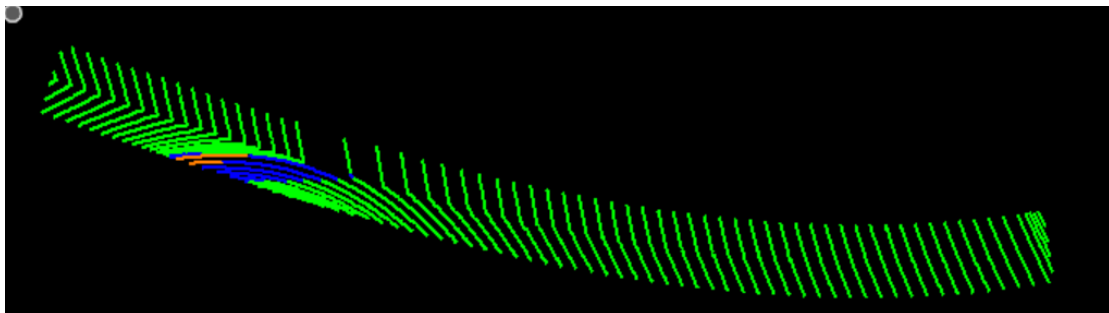
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ



Εικόνα 8-4



Εικόνα 8-5 - Slope Surface



Εικόνα 8-6 - Γραμμές Ροής

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Υπάρχουν 2 μέθοδοι ανάλυσης η μία του Gallaway όπου εφαρμόζει το πρόγραμμα τον παρακάτω τύπο για την ασφαλή εκτίμηση του ύψους του νερού:

$$D = \frac{0.103 \cdot T^{0.11} \cdot L^{0.43} \cdot i^{0.59}}{S^{0.42}} - T \quad (8-1)$$

Όπου:

D είναι το ύψος ροής του νερού πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος σε mm

T είναι η μέση τιμή της μακροϋφής του οδοστρώματος σε mm

L είναι το μήκος της γραμμής ροής του νερού σε m

i είναι η ένταση της βροχής σε mm/hr

S είναι η σύνθετη κλίση του οδοστρώματος

Η δεύτερη μέθοδος είναι του Road Research Laboratory

$$d = 0.046 \cdot \frac{(l_f \cdot I)^{0.5}}{S_f^{0.2}} \quad (8-2)$$

Όπου:

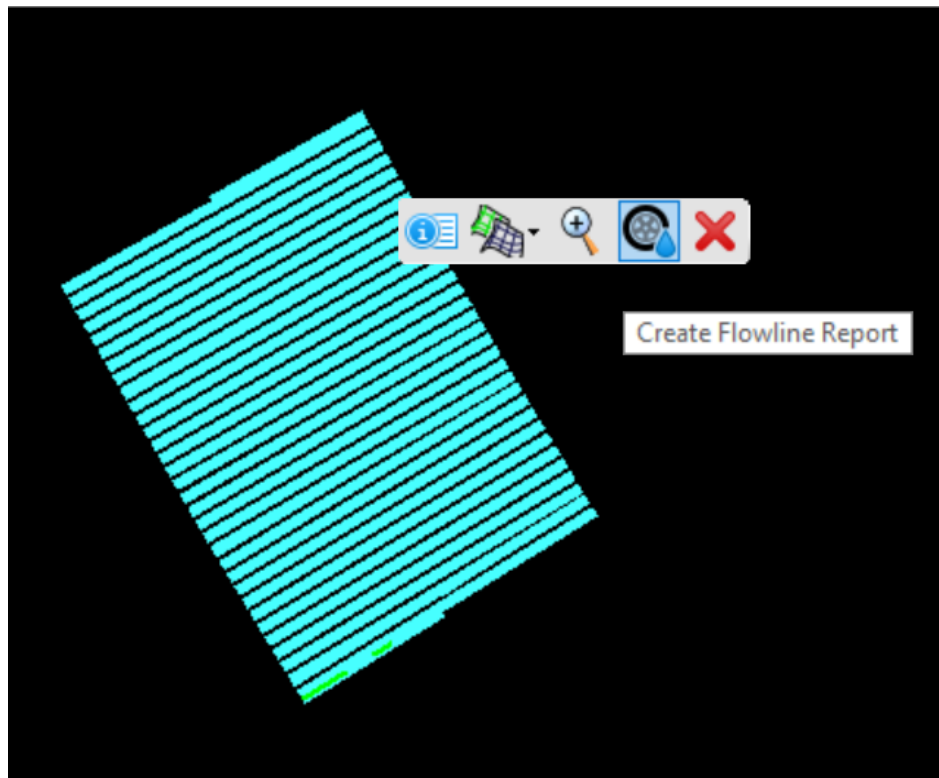
d είναι το βάθος της ροής σε mm στο τέλος της ροής

$l_f$  είναι το μήκος της γραμμής ροής του νερού σε m

I είναι η ένταση της βροχής σε mm/hr

$S_f$  είναι η σύνθετη κλίση του οδοστρώματος

Επειδή είναι δύσκολο να επιλέξουμε μόνο τις γραμμές ροής που μας εμφανίσει το πρόγραμμα πατάμε στη καρτέλα Home -> Level Display και απενεργοποιούμε προσωρινά όλα τα υπόλοιπα Layers. Αφού επιλέξουμε όλες τις γραμμές ροής αφήνουμε τον κέρσορα σε μία από αυτές και πατάμε να μας κάνει report. Εδώ υπάρχει η δυνατότητα να κάνουμε export σε οποιαδήποτε μορφή θέλουμε.



Εικόνα 8-7

Θα σχεδιάσουμε μία τυπική καμπύλη με ευθυγραμμία - κλωθοειδή – κυκλικό τόξο – κλωθοειδή – ευθυγραμμία. Θα γίνει δοκιμή όλων των τιμών των παραμέτρων που επηρεάζουν την υδρολίσηση το  $A$ , το  $R$  και η κατά μήκος κλίση.

**8.2 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**

**Δεδομένα από OpenRoads ανάλυση από -2.5% έως e για σταθερή κατά μήκος κλίση s 'χωρίς γόνατο' στο 2.5 %.**

L	e	s	WATER FILM DEPTH (mm)	L	e	s	WATER FILM DEPTH (mm)
30	7	-1.5	3.65	30	7	0.3	3.451
30	6	-1.5	3.016	30	6	0.3	6
30	3	-1.5	3.447	30	3	0.3	4.269
30	4	-1.5	2.875	30	4	0.3	3.643
30	5	-1.5	3.262	30	5	0.3	4.103
50	3	-1.5	3.555	50	3	0.3	4.415
50	4	-1.5	3.473	50	4	0.3	4.309
50	5	-1.5	3.403	50	5	0.3	4.42
50	6	-1.5	3.106	50	6	0.3	3.773
50	7	-1.5	2.979	50	7	0.3	3.774
70	3	-1.5	3.898	70	3	0.3	4.941
70	4	-1.5	3.708	70	4	0.3	4.471
70	5	-1.5	3.986	70	5	0.3	5.049
70	6	-1.5	3.639	70	6	0.3	4.345
70	7	-1.5	3.241	70	7	0.3	4.511
90	3	-1.5	4.167	90	3	0.3	5.83
90	4	-1.5	4.317	90	4	0.3	5.113
90	5	-1.5	3.99	90	5	0.3	5.277
90	6	-1.5	3.905	90	6	0.3	5.029
90	7	-1.5	3.648	90	7	0.3	4.456
110	3	-1.5	4.539	110	3	0.3	5.93
110	4	-1.5	4.358	110	4	0.3	5.876
110	5	-1.5	4.06	110	5	0.3	5.678
110	6	-1.5	4.298	110	6	0.3	4.933
110	7	-1.5	4.009	110	7	0.3	5.047
30	7	-1	13.687	30	7	0.5	3.516
30	6	-1	5.419	30	6	0.5	3.432
30	3	-1	3.625	30	3	0.5	3.296
30	4	-1	3.948	30	4	0.5	3.54
30	5	-1	6.131	30	5	0.5	3.582
50	3	-1	4.073	50	3	0.5	4.141
50	4	-1	3.625	50	4	0.5	3.728



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

50	5	-1	3.885	50	5	0.5	4.068
50	6	-1	3.768	50	6	0.5	3.64
50	7	-1	3.81	50	7	0.5	3.638
70	3	-1	4.349	70	3	0.5	4.721
70	4	-1	4.133	70	4	0.5	20.867
70	5	-1	4.256	70	5	0.5	4.096
70	6	-1	4.123	70	6	0.5	4.263
70	7	-1	3.528	70	7	0.5	3.613
90	3	-1	4.706	90	3	0.5	4.875
90	4	-1	4.675	90	4	0.5	4.813
90	5	-1	4.066	90	5	0.5	4.356
90	6	-1	4.314	90	6	0.5	4.156
90	7	-1	4.093	90	7	0.5	4.308
110	3	-1	4.962	110	3	0.5	5.377
110	4	-1	4.903	110	4	0.5	5.3
110	5	-1	4.649	110	5	0.5	5.119
110	6	-1	4.383	110	6	0.5	4.61
110	7	-1	4.288	110	7	0.5	4.621
30	7	-0.5	14.769	30	7	1	2.63
30	6	-0.5	11.791	30	6	1	2.795
30	3	-0.5	12.299	30	3	1	3.212
30	4	-0.5	9.458	30	4	1	2.942
30	5	-0.5	6.06	30	5	1	2.907
50	3	-0.5	6.519	50	3	1	3.82
50	4	-0.5	6.544	50	4	1	3.544
50	5	-0.5	36.964	50	5	1	3.38
50	6	-0.5	13.207	50	6	1	3.109
50	7	-0.5	19.942	50	7	1	3.059
70	3	-0.5	4.974	70	3	1	4.049
70	4	-0.5	5.366	70	4	1	3.728
70	5	-0.5	5.824	70	5	1	3.623
70	6	-0.5	6.55	70	6	1	3.683
70	7	-0.5	8.313	70	7	1	3.28
90	3	-0.5	5.503	90	3	1	4.506
90	4	-0.5	8.083	90	4	1	4.088
90	5	-0.5	6.111	90	5	1	4.162
90	6	-0.5	5.741	90	6	1	4.013
90	7	-0.5	5.864	90	7	1	3.706
110	3	-0.5	6.095	110	3	1	4.607

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

110	4	-0.5	5.569	110	4	1	4.599
110	5	-0.5	5.198	110	5	1	4.238
110	6	-0.5	5.478	110	6	1	4.114
110	7	-0.5	5.633	110	7	1	3.885
30	7	-0.3	18.546	30	7	1.5	2.187
30	6	-0.3	14.862	30	6	1.5	4.725
30	3	-0.3	10.926	30	3	1.5	2.751
30	4	-0.3	9.9	30	4	1.5	2.76
30	5	-0.3	7.254	30	5	1.5	2.457
50	3	-0.3	23.182	50	3	1.5	3.486
50	4	-0.3	17.35	50	4	1.5	3.245
50	5	-0.3	14.063	50	5	1.5	3.139
50	6	-0.3	11.945	50	6	1.5	2.923
50	7	-0.3	14.254	50	7	1.5	2.864
70	3	-0.3	9.06	70	3	1.5	3.689
70	4	-0.3	22.81	70	4	1.5	3.292
70	5	-0.3	21.07	70	5	1.5	3.401
70	6	-0.3	12.465	70	6	1.5	3.119
70	7	-0.3	12.482	70	7	1.5	3.094
90	3	-0.3	7.367	90	3	1.5	3.659
90	4	-0.3	10.177	90	4	1.5	3.798
90	5	-0.3	8.481	90	5	1.5	3.553
90	6	-0.3	18.253	90	6	1.5	3.658
90	7	-0.3	15.519	90	7	1.5	3.447
110	3	-0.3	7.057	110	3	1.5	3.962
110	4	-0.3	8.048	110	4	1.5	4.107
110	5	-0.3	8.409	110	5	1.5	3.616
110	6	-0.3	8.819	110	6	1.5	3.721
110	7	-0.3	10	110	7	1.5	3.759

## 8.3 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης μέσω του λογισμικού που συντάχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python και χρησιμοποιήθηκαν στην ανάπτυξη των μοντέλων.

RQ11

TXD	RI	s	TD	pt	height	max_speed	txd	RI	s	td	pt	height	max_speed
0.5	50	-0.85	0.5	24	2.413548	73.01705	1	50	-3	1	30	1.940473	84.86759
0.5	100	-0.85	0.5	24	3.885609	71.42517	1	100	-3	1	30	3.426137	81.1648
0.5	150	-0.85	0.5	24	5.070879	70.55476	1	150	-3	1	30	4.62236	79.26446
0.5	50	-1	0.5	24	2.352405	73.10413	1	50	-4	1	30	1.819494	85.29489
0.5	100	-1	0.5	24	3.793573	71.50422	1	100	-4	1	30	3.244034	81.51507
0.5	150	-1	0.5	24	4.953969	70.63047	1	150	-4	1	30	4.391041	79.58782
0.5	50	-2	0.5	24	2.33639	73.12734	1	50	-5	1	30	1.720121	85.66904
0.5	100	-2	0.5	24	3.769467	71.52526	1	100	-5	1	30	3.094453	81.81874
0.5	150	-2	0.5	24	4.923349	70.65061	1	150	-5	1	30	4.201035	79.86724
0.5	50	-3	0.5	24	2.224607	73.29416	1	50	-0.85	1	36	2.144383	88.94175
0.5	100	-3	0.5	24	3.601205	71.67623	1	100	-0.85	1	36	3.733073	85.14914
0.5	150	-3	0.5	24	4.709612	70.795	1	150	-0.85	1	36	5.01225	83.18412
0.5	50	-4	0.5	24	2.112509	73.47062	1	50	-1	1	36	2.078396	89.15936
0.5	100	-4	0.5	24	3.432471	71.83533	1	100	-1	1	36	3.633745	85.33072
0.5	150	-4	0.5	24	4.495274	70.94695	1	150	-1	1	36	4.886078	83.35277
0.5	50	-5	0.5	24	2.020432	73.62316	1	50	-2	1	36	2.061112	89.21757
0.5	100	-5	0.5	24	3.293872	71.97234	1	100	-2	1	36	3.607729	85.37916
0.5	150	-5	0.5	24	4.319217	71.07763	1	150	-2	1	36	4.853031	83.39771
0.5	50	-0.85	0.5	30	2.413548	78.07236	1	50	-3	1	36	1.940473	89.63885
0.5	100	-0.85	0.5	30	3.885609	76.37026	1	100	-3	1	36	3.426137	85.72788
0.5	150	-0.85	0.5	30	5.070879	75.4396	1	150	-3	1	36	4.62236	83.72071
0.5	50	-1	0.5	30	2.352405	78.16547	1	50	-4	1	36	1.819494	90.09017
0.5	100	-1	0.5	30	3.793573	76.45479	1	100	-4	1	36	3.244034	86.09784
0.5	150	-1	0.5	30	4.953969	75.52054	1	150	-4	1	36	4.391041	84.06224
0.5	50	-2	0.5	30	2.33639	78.19028	1	50	-5	1	36	1.720121	90.48535
0.5	100	-2	0.5	30	3.769467	76.47729	1	100	-5	1	36	3.094453	86.41859
0.5	150	-2	0.5	30	4.923349	75.54207	1	150	-5	1	36	4.201035	84.35737
0.5	50	-3	0.5	30	2.224607	78.36865	1.5	50	-0.85	1	24	1.787801	84.54691
0.5	100	-3	0.5	30	3.601205	76.63871	1.5	100	-0.85	1	24	3.448952	80.30084

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

0.5	150	-3	0.5	30	4.709612	75.69647	1.5	150	-0.85	1	24	4.786473	78.24485
0.5	50	-4	0.5	30	2.112509	78.55733	1.5	50	-1	1	24	1.718804	84.80659
0.5	100	-4	0.5	30	3.432471	76.80882	1.5	100	-1	1	24	3.345094	80.49473
0.5	150	-4	0.5	30	4.495274	75.85894	1.5	150	-1	1	24	4.654546	78.41862
0.5	50	-5	0.5	30	2.020432	78.72043	1.5	50	-2	1	24	1.700732	84.87643
0.5	100	-5	0.5	30	3.293872	76.95532	1.5	100	-2	1	24	3.317891	80.54657
0.5	150	-5	0.5	30	4.319217	75.99866	1.5	150	-2	1	24	4.619992	78.46499
0.5	50	-0.85	0.5	36	2.413548	82.46159	1.5	50	-3	1	24	1.57459	85.38701
0.5	100	-0.85	0.5	36	3.885609	80.66379	1.5	100	-3	1	24	3.128016	80.92145
0.5	150	-0.85	0.5	36	5.070879	79.68081	1.5	150	-3	1	24	4.3788	78.79932
0.5	50	-1	0.5	36	2.352405	82.55993	1.5	50	-4	1	24	1.448093	85.94454
0.5	100	-1	0.5	36	3.793573	80.75307	1.5	100	-4	1	24	2.937607	81.32243
0.5	150	-1	0.5	36	4.953969	79.7663	1.5	150	-4	1	24	4.136931	79.15479
0.5	50	-2	0.5	36	2.33639	82.58613	1.5	50	-5	1	24	1.344188	86.44258
0.5	100	-2	0.5	36	3.769467	80.77684	1.5	100	-5	1	24	2.781204	81.67298
0.5	150	-2	0.5	36	4.923349	79.78905	1.5	150	-5	1	24	3.938258	79.46366
0.5	50	-3	0.5	36	2.224607	82.77453	1.5	50	-0.85	1	30	1.787801	90.40048
0.5	100	-3	0.5	36	3.601205	80.94733	1.5	100	-0.85	1	30	3.448952	85.86044
0.5	150	-3	0.5	36	4.709612	79.95212	1.5	150	-0.85	1	30	4.786473	83.6621
0.5	50	-4	0.5	36	2.112509	82.97382	1.5	50	-1	1	30	1.718804	90.67814
0.5	100	-4	0.5	36	3.432471	81.12701	1.5	100	-1	1	30	3.345094	86.06775
0.5	150	-4	0.5	36	4.495274	80.12372	1.5	150	-1	1	30	4.654546	83.8479
0.5	50	-5	0.5	36	2.020432	83.14609	1.5	50	-2	1	30	1.700732	90.75282
0.5	100	-5	0.5	36	3.293872	81.28175	1.5	100	-2	1	30	3.317891	86.12317
0.5	150	-5	0.5	36	4.319217	80.2713	1.5	150	-2	1	30	4.619992	83.89749
1	50	-0.85	0.5	24	2.144383	77.22626	1.5	50	-3	1	30	1.57459	91.29874
1	100	-0.85	0.5	24	3.733073	73.93321	1.5	100	-3	1	30	3.128016	86.52401
1	150	-0.85	0.5	24	5.01225	72.22703	1.5	150	-3	1	30	4.3788	84.25496
1	50	-1	0.5	24	2.078396	77.41521	1.5	50	-4	1	30	1.448093	91.89487
1	100	-1	0.5	24	3.633745	74.09088	1.5	100	-4	1	30	2.937607	86.95276
1	150	-1	0.5	24	4.886078	72.37347	1.5	150	-4	1	30	4.136931	84.63504
1	50	-2	0.5	24	2.061112	77.46575	1.5	50	-5	1	30	1.344188	92.4274
1	100	-2	0.5	24	3.607729	74.13293	1.5	100	-5	1	30	2.781204	87.32757
1	150	-2	0.5	24	4.853031	72.41249	1.5	150	-5	1	30	3.938258	84.9653
1	50	-3	0.5	24	1.940473	77.83154	1.5	50	-0.85	1	36	1.787801	95.48279
1	100	-3	0.5	24	3.426137	74.43572	1.5	100	-0.85	1	36	3.448952	90.68751
1	150	-3	0.5	24	4.62236	72.69294	1.5	150	-0.85	1	36	4.786473	88.36558
1	50	-4	0.5	24	1.819494	78.22341	1.5	50	-1	1	36	1.718804	95.77606
1	100	-4	0.5	24	3.244034	74.75695	1.5	100	-1	1	36	3.345094	90.90647

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1	150	-4	0.5	24	4.391041	72.98949	1.5	150	-1	1	36	4.654546	88.56182
1	50	-5	0.5	24	1.720121	78.56654	1.5	50	-2	1	36	1.700732	95.85494
1	100	-5	0.5	24	3.094453	75.03545	1.5	100	-2	1	36	3.317891	90.96502
1	150	-5	0.5	24	4.201035	73.24574	1.5	150	-2	1	36	4.619992	88.6142
1	50	-0.85	0.5	30	2.144383	82.57299	1.5	50	-3	1	36	1.57459	96.43155
1	100	-0.85	0.5	30	3.733073	79.05195	1.5	100	-3	1	36	3.128016	91.38839
1	150	-0.85	0.5	30	5.01225	77.22764	1.5	150	-3	1	36	4.3788	88.99177
1	50	-1	0.5	30	2.078396	82.77502	1.5	50	-4	1	36	1.448093	97.0612
1	100	-1	0.5	30	3.633745	79.22053	1.5	100	-4	1	36	2.937607	91.84124
1	150	-1	0.5	30	4.886078	77.38422	1.5	150	-4	1	36	4.136931	89.39322
1	50	-2	0.5	30	2.061112	82.82906	1.5	50	-5	1	36	1.344188	97.62367
1	100	-2	0.5	30	3.607729	79.2655	1.5	100	-5	1	36	2.781204	92.23713
1	150	-2	0.5	30	4.853031	77.42594	1.5	150	-5	1	36	3.938258	89.74205
1	50	-3	0.5	30	1.940473	83.22017	0.5	50	-0.85	1.5	24	2.413548	75.56903
1	100	-3	0.5	30	3.426137	79.58925	0.5	100	-0.85	1.5	24	3.885609	73.92151
1	150	-3	0.5	30	4.62236	77.7258	0.5	150	-0.85	1.5	24	5.070879	73.02068
1	50	-4	0.5	30	1.819494	83.63917	0.5	50	-1	1.5	24	2.352405	75.65915
1	100	-4	0.5	30	3.244034	79.93272	0.5	100	-1	1.5	24	3.793573	74.00333
1	150	-4	0.5	30	4.391041	78.04289	0.5	150	-1	1.5	24	4.953969	73.09903
1	50	-5	0.5	30	1.720121	84.00606	0.5	50	-2	1.5	24	2.33639	75.68317
1	100	-5	0.5	30	3.094453	80.2305	0.5	100	-2	1.5	24	3.769467	74.0251
1	150	-5	0.5	30	4.201035	78.31688	0.5	150	-2	1.5	24	4.923349	73.11988
1	50	-0.85	0.5	36	2.144383	87.21524	0.5	50	-3	1.5	24	2.224607	75.85582
1	100	-0.85	0.5	36	3.733073	83.49625	0.5	100	-3	1.5	24	3.601205	74.18135
1	150	-0.85	0.5	36	5.01225	81.56937	0.5	150	-3	1.5	24	4.709612	73.26932
1	50	-1	0.5	36	2.078396	87.42863	0.5	50	-4	1.5	24	2.112509	76.03845
1	100	-1	0.5	36	3.633745	83.67431	0.5	100	-4	1.5	24	3.432471	74.34601
1	150	-1	0.5	36	4.886078	81.73475	0.5	150	-4	1.5	24	4.495274	73.42658
1	50	-2	0.5	36	2.061112	87.4857	0.5	50	-5	1.5	24	2.020432	76.19632
1	100	-2	0.5	36	3.607729	83.7218	0.5	100	-5	1.5	24	3.293872	74.48781
1	150	-2	0.5	36	4.853031	81.77882	0.5	150	-5	1.5	24	4.319217	73.56182
1	50	-3	0.5	36	1.940473	87.89881	0.5	50	-0.85	1.5	30	2.413548	80.80102
1	100	-3	0.5	36	3.426137	84.06376	0.5	100	-0.85	1.5	30	3.885609	79.03943
1	150	-3	0.5	36	4.62236	82.09555	0.5	150	-0.85	1.5	30	5.070879	78.07624
1	50	-4	0.5	36	1.819494	88.34136	0.5	50	-1	1.5	30	2.352405	80.89739
1	100	-4	0.5	36	3.244034	84.42654	0.5	100	-1	1.5	30	3.793573	79.12692
1	150	-4	0.5	36	4.391041	82.43045	0.5	150	-1	1.5	30	4.953969	78.16001
1	50	-5	0.5	36	1.720121	88.72888	0.5	50	-2	1.5	30	2.33639	80.92306
1	100	-5	0.5	36	3.094453	84.74106	0.5	100	-2	1.5	30	3.769467	79.1502
1	150	-5	0.5	36	4.201035	82.71985	0.5	150	-2	1.5	30	4.923349	78.1823

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1.5	50	-0.85	0.5	24	1.787801	82.90571	0.5	50	-3	1.5	30	2.224607	81.10767
1.5	100	-0.85	0.5	24	3.448952	78.74206	0.5	100	-3	1.5	30	3.601205	79.31726
1.5	150	-0.85	0.5	24	4.786473	76.72598	0.5	150	-3	1.5	30	4.709612	78.34209
1.5	50	-1	0.5	24	1.718804	83.16035	0.5	50	-4	1.5	30	2.112509	81.30294
1.5	100	-1	0.5	24	3.345094	78.93219	0.5	100	-4	1.5	30	3.432471	79.49332
1.5	150	-1	0.5	24	4.654546	76.89638	0.5	150	-4	1.5	30	4.495274	78.51024
1.5	50	-2	0.5	24	1.700732	83.22884	0.5	50	-5	1.5	30	2.020432	81.47174
1.5	100	-2	0.5	24	3.317891	78.98302	0.5	100	-5	1.5	30	3.293872	79.64494
1.5	150	-2	0.5	24	4.619992	76.94186	0.5	150	-5	1.5	30	4.319217	78.65484
1.5	50	-3	0.5	24	1.57459	83.7295	0.5	50	-0.85	1.5	36	2.413548	85.34365
1.5	100	-3	0.5	24	3.128016	79.35063	0.5	100	-0.85	1.5	36	3.885609	83.48303
1.5	150	-3	0.5	24	4.3788	77.26969	0.5	150	-0.85	1.5	36	5.070879	82.46569
1.5	50	-4	0.5	24	1.448093	84.27621	0.5	50	-1	1.5	36	2.352405	85.44543
1.5	100	-4	0.5	24	2.937607	79.74382	0.5	100	-1	1.5	36	3.793573	83.57543
1.5	150	-4	0.5	24	4.136931	77.61826	0.5	150	-1	1.5	36	4.953969	82.55417
1.5	50	-5	0.5	24	1.344188	84.76459	0.5	50	-2	1.5	36	2.33639	85.47256
1.5	100	-5	0.5	24	2.781204	80.08757	0.5	100	-2	1.5	36	3.769467	83.60002
1.5	150	-5	0.5	24	3.938258	77.92114	0.5	150	-2	1.5	36	4.923349	82.57771
1.5	50	-0.85	0.5	30	1.787801	88.64565	0.5	50	-3	1.5	36	2.224607	85.66754
1.5	100	-0.85	0.5	30	3.448952	84.19374	0.5	100	-3	1.5	36	3.601205	83.77648
1.5	150	-0.85	0.5	30	4.786473	82.03807	0.5	150	-3	1.5	36	4.709612	82.74648
1.5	50	-1	0.5	30	1.718804	88.91792	0.5	50	-4	1.5	36	2.112509	85.87379
1.5	100	-1	0.5	30	3.345094	84.39703	0.5	100	-4	1.5	36	3.432471	83.96243
1.5	150	-1	0.5	30	4.654546	82.22027	0.5	150	-4	1.5	36	4.495274	82.92408
1.5	50	-2	0.5	30	1.700732	88.99115	0.5	50	-5	1.5	36	2.020432	86.05208
1.5	100	-2	0.5	30	3.317891	84.45138	0.5	100	-5	1.5	36	3.293872	84.12258
1.5	150	-2	0.5	30	4.619992	82.26889	0.5	150	-5	1.5	36	4.319217	83.07682
1.5	50	-3	0.5	30	1.57459	89.52648	1	50	-0.85	1.5	24	2.144383	79.92535
1.5	100	-3	0.5	30	3.128016	84.84443	1	100	-0.85	1.5	24	3.733073	76.51721
1.5	150	-3	0.5	30	4.3788	82.61943	1	150	-0.85	1.5	24	5.01225	74.75139
1.5	50	-4	0.5	30	1.448093	90.11104	1	50	-1	1.5	24	2.078396	80.1209
1.5	100	-4	0.5	30	2.937607	85.26486	1	100	-1	1.5	24	3.633745	76.68039
1.5	150	-4	0.5	30	4.136931	82.99213	1	150	-1	1.5	24	4.886078	74.90295
1.5	50	-5	0.5	30	1.344188	90.63323	1	50	-2	1.5	24	2.061112	80.17321
1.5	100	-5	0.5	30	2.781204	85.6324	1	100	-2	1.5	24	3.607729	76.72391
1.5	150	-5	0.5	30	3.938258	83.31598	1	150	-2	1.5	24	4.853031	74.94333
1.5	50	-0.85	0.5	36	1.787801	93.62931	1	50	-3	1.5	24	1.940473	80.55178
1.5	100	-0.85	0.5	36	3.448952	88.92711	1	100	-3	1.5	24	3.426137	77.03728
1.5	150	-0.85	0.5	36	4.786473	86.65025	1	150	-3	1.5	24	4.62236	75.23359
1.5	50	-1	0.5	36	1.718804	93.91689	1	50	-4	1.5	24	1.819494	80.95735
1.5	100	-1	0.5	36	3.345094	89.14183	1	100	-4	1.5	24	3.244034	77.36974
1.5	150	-1	0.5	36	4.654546	86.84269	1	150	-4	1.5	24	4.391041	75.5405
1.5	50	-2	0.5	36	1.700732	93.99423	1	50	-5	1.5	24	1.720121	81.31247
1.5	100	-2	0.5	36	3.317891	89.19923	1	100	-5	1.5	24	3.094453	77.65797

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1.5	150	-2	0.5	36	4.619992	86.89405	1	150	-5	1.5	24	4.201035	75.80571
1.5	50	-3	0.5	36	1.57459	94.55965	1	50	-0.85	1.5	30	2.144383	85.45895
1.5	100	-3	0.5	36	3.128016	89.61439	1	100	-0.85	1.5	30	3.733073	81.81485
1.5	150	-3	0.5	36	4.3788	87.26429	1	150	-0.85	1.5	30	5.01225	79.92678
1.5	50	-4	0.5	36	1.448093	95.17708	1	50	-1	1.5	30	2.078396	85.66804
1.5	100	-4	0.5	36	2.937607	90.05844	1	100	-1	1.5	30	3.633745	81.98933
1.5	150	-4	0.5	36	4.136931	87.65795	1	150	-1	1.5	30	4.886078	80.08883
1.5	50	-5	0.5	36	1.344188	95.72863	1	50	-2	1.5	30	2.061112	85.72397
1.5	100	-5	0.5	36	2.781204	90.44665	1	100	-2	1.5	30	3.607729	82.03586
1.5	150	-5	0.5	36	3.938258	88	1	150	-2	1.5	30	4.853031	80.13201
0.5	50	-0.85	1	24	2.413548	74.4625	1	50	-3	1.5	30	1.940473	86.12875
0.5	100	-0.85	1	24	3.885609	72.8391	1	100	-3	1.5	30	3.426137	82.37093
0.5	150	-0.85	1	24	5.070879	71.95146	1	150	-3	1.5	30	4.62236	80.44235
0.5	50	-1	1	24	2.352405	74.5513	1	50	-4	1.5	30	1.819494	86.5624
0.5	100	-1	1	24	3.793573	72.91972	1	100	-4	1.5	30	3.244034	82.7264
0.5	150	-1	1	24	4.953969	72.02867	1	150	-4	1.5	30	4.391041	80.77052
0.5	50	-2	1	24	2.33639	74.57496	1	50	-5	1.5	30	1.720121	86.94211
0.5	100	-2	1	24	3.769467	72.94118	1	100	-5	1.5	30	3.094453	83.03459
0.5	150	-2	1	24	4.923349	72.0492	1	150	-5	1.5	30	4.201035	81.05409
0.5	50	-3	1	24	2.224607	74.74509	1	50	-0.85	1.5	36	2.144383	90.26345
0.5	100	-3	1	24	3.601205	73.09513	1	100	-0.85	1.5	36	3.733073	86.41448
0.5	150	-3	1	24	4.709612	72.19646	1	150	-0.85	1.5	36	5.01225	84.42026
0.5	50	-4	1	24	2.112509	74.92504	1	50	-1	1.5	36	2.078396	90.48429
0.5	100	-4	1	24	3.432471	73.25738	1	100	-1	1.5	36	3.633745	86.59876
0.5	150	-4	1	24	4.495274	72.35142	1	150	-1	1.5	36	4.886078	84.59142
0.5	50	-5	1	24	2.020432	75.0806	1	50	-2	1.5	36	2.061112	90.54336
0.5	100	-5	1	24	3.293872	73.39711	1	100	-2	1.5	36	3.607729	86.64791
0.5	150	-5	1	24	4.319217	72.48468	1	150	-2	1.5	36	4.853031	84.63702
0.5	50	-0.85	1	30	2.413548	79.61788	1	50	-3	1.5	36	1.940473	90.97091
0.5	100	-0.85	1	30	3.885609	77.88208	1	100	-3	1.5	36	3.426137	87.00182
0.5	150	-0.85	1	30	5.070879	76.933	1	150	-3	1.5	36	4.62236	84.96482
0.5	50	-1	1	30	2.352405	79.71283	1	50	-4	1.5	36	1.819494	91.42893
0.5	100	-1	1	30	3.793573	77.96828	1	100	-4	1.5	36	3.244034	87.37728
0.5	150	-1	1	30	4.953969	77.01554	1	150	-4	1.5	36	4.391041	85.31143
0.5	50	-2	1	30	2.33639	79.73813	1	50	-5	1.5	36	1.720121	91.82999
0.5	100	-2	1	30	3.769467	77.99123	1	100	-5	1.5	36	3.094453	87.70279
0.5	150	-2	1	30	4.923349	77.0375	1	150	-5	1.5	36	4.201035	85.61094
0.5	50	-3	1	30	2.224607	79.92003	1.5	50	-0.85	1.5	24	1.787801	85.8033
0.5	100	-3	1	30	3.601205	78.15585	1.5	100	-0.85	1.5	24	3.448952	81.49413
0.5	150	-3	1	30	4.709612	77.19495	1.5	150	-0.85	1.5	24	4.786473	79.40759
0.5	50	-4	1	30	2.112509	80.11245	1.5	50	-1	1.5	24	1.718804	86.06684
0.5	100	-4	1	30	3.432471	78.32933	1.5	100	-1	1.5	24	3.345094	81.6909
0.5	150	-4	1	30	4.495274	77.36064	1.5	150	-1	1.5	24	4.654546	79.58394
0.5	50	-5	1	30	2.020432	80.27877	1.5	50	-2	1.5	24	1.700732	86.13772

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

0.5	100	-5	1	30	3.293872	78.47872	1.5	100	-2	1.5	24	3.317891	81.74351
0.5	150	-5	1	30	4.319217	77.50313	1.5	150	-2	1.5	24	4.619992	79.63101
0.5	50	-0.85	1	36	2.413548	84.09399	1.5	50	-3	1.5	24	1.57459	86.65588
0.5	100	-0.85	1	36	3.885609	82.26061	1.5	100	-3	1.5	24	3.128016	82.12396
0.5	150	-0.85	1	36	5.070879	81.25817	1.5	150	-3	1.5	24	4.3788	79.9703
0.5	50	-1	1	36	2.352405	84.19428	1.5	50	-4	1.5	24	1.448093	87.2217
0.5	100	-1	1	36	3.793573	82.35166	1.5	100	-4	1.5	24	2.937607	82.5309
0.5	150	-1	1	36	4.953969	81.34535	1.5	150	-4	1.5	24	4.136931	80.33105
0.5	50	-2	1	36	2.33639	84.22101	1.5	50	-5	1.5	24	1.344188	87.72715
0.5	100	-2	1	36	3.769467	82.37589	1.5	100	-5	1.5	24	2.781204	82.88666
0.5	150	-2	1	36	4.923349	81.36855	1.5	150	-5	1.5	24	3.938258	80.64452
0.5	50	-3	1	36	2.224607	84.41313	1.5	50	-0.85	1.5	30	1.787801	91.74386
0.5	100	-3	1	36	3.601205	82.54977	1.5	100	-0.85	1.5	30	3.448952	87.13635
0.5	150	-3	1	36	4.709612	81.53485	1.5	150	-0.85	1.5	30	4.786473	84.90534
0.5	50	-4	1	36	2.112509	84.61636	1.5	50	-1	1.5	30	1.718804	92.02564
0.5	100	-4	1	36	3.432471	82.733	1.5	100	-1	1.5	30	3.345094	87.34674
0.5	150	-4	1	36	4.495274	81.70985	1.5	150	-1	1.5	30	4.654546	85.0939
0.5	50	-5	1	36	2.020432	84.79204	1.5	50	-2	1.5	30	1.700732	92.10143
0.5	100	-5	1	36	3.293872	82.8908	1.5	100	-2	1.5	30	3.317891	87.40299
0.5	150	-5	1	36	4.319217	81.86035	1.5	150	-2	1.5	30	4.619992	85.14423
1	50	-0.85	1	24	2.144383	78.75503	1.5	50	-3	1.5	30	1.57459	92.65547
1	100	-0.85	1	24	3.733073	75.39679	1.5	100	-3	1.5	30	3.128016	87.80978
1	150	-0.85	1	24	5.01225	73.65683	1.5	150	-3	1.5	30	4.3788	85.50701
1	50	-1	1	24	2.078396	78.94771	1.5	50	-4	1.5	30	1.448093	93.26046
1	100	-1	1	24	3.633745	75.55758	1.5	100	-4	1.5	30	2.937607	88.2449
1	150	-1	1	24	4.886078	73.80617	1.5	150	-4	1.5	30	4.136931	85.89274
1	50	-2	1	24	2.061112	78.99925	1.5	50	-5	1.5	30	1.344188	93.8009
1	100	-2	1	24	3.607729	75.60047	1.5	100	-5	1.5	30	2.781204	88.62529
1	150	-2	1	24	4.853031	73.84596	1.5	150	-5	1.5	30	3.938258	86.22791
1	50	-3	1	24	1.940473	79.37229	1.5	50	-0.85	1.5	36	1.787801	96.90169
1	100	-3	1	24	3.426137	75.90925	1.5	100	-0.85	1.5	36	3.448952	92.03515
1	150	-3	1	24	4.62236	74.13196	1.5	150	-0.85	1.5	36	4.786473	89.67872
1	50	-4	1	24	1.819494	79.77191	1.5	50	-1	1.5	36	1.718804	97.19932
1	100	-4	1	24	3.244034	76.23684	1.5	100	-1	1.5	36	3.345094	92.25737
1	150	-4	1	24	4.391041	74.43438	1.5	150	-1	1.5	36	4.654546	89.87788
1	50	-5	1	24	1.720121	80.12184	1.5	50	-2	1.5	36	1.700732	97.27937
1	100	-5	1	24	3.094453	76.52085	1.5	100	-2	1.5	36	3.317891	92.31678
1	150	-5	1	24	4.201035	74.69571	1.5	150	-2	1.5	36	4.619992	89.93103
1	50	-0.85	1	30	2.144383	84.2076	1.5	50	-3	1.5	36	1.57459	97.86455
1	100	-0.85	1	30	3.733073	80.61686	1.5	100	-3	1.5	36	3.128016	92.74645
1	150	-0.85	1	30	5.01225	78.75643	1.5	150	-3	1.5	36	4.3788	90.31421
1	50	-1	1	30	2.078396	84.41363	1.5	50	-4	1.5	36	1.448093	98.50356
1	100	-1	1	30	3.633745	80.78878	1.5	100	-4	1.5	36	2.937607	93.20602
1	150	-1	1	30	4.886078	78.91611	1.5	150	-4	1.5	36	4.136931	90.72163



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1	50	-2	1	30	2.061112	84.46874	1.5	50	-5	1.5	36	1.344188	99.07438
1	100	-2	1	30	3.607729	80.83464	1.5	100	-5	1.5	36	2.781204	93.6078
1	150	-2	1	30	4.853031	78.95866	1.5	150	-5	1.5	36	3.938258	91.07564

## RQ25

TXD	RI	s	TD	pt	height	max_speed	TXD	RI	s	TD	pt	height	max_speed
0.5	50	-5	0.5	24	2.488547	72.91338	1.5	150	-3	1.5	36	5.774035	88.35068
0.5	100	-5	0.5	24	3.9985	71.33087	0.5	50	-2	0.5	24	3.234236	72.03319
0.5	150	-5	0.5	24	5.214281	70.4644	0.5	100	-2	0.5	24	5.120947	70.52291
0.5	50	-5	0.5	30	2.488547	77.96151	0.5	150	-2	0.5	24	6.640084	69.68738
0.5	100	-5	0.5	30	3.9985	76.26943	0.5	50	-2	0.5	30	3.234236	77.02038
0.5	150	-5	0.5	30	5.214281	75.34297	0.5	100	-2	0.5	30	5.120947	75.40553
0.5	50	-5	0.5	36	2.488547	82.3445	0.5	150	-2	0.5	30	6.640084	74.51216
0.5	100	-5	0.5	36	3.9985	80.5573	0.5	50	-2	0.5	36	3.234236	81.35046
0.5	150	-5	0.5	36	5.214281	79.57875	0.5	100	-2	0.5	36	5.120947	79.64483
1	50	-5	0.5	24	2.225324	77.00275	0.5	150	-2	0.5	36	6.640084	78.70123
1	100	-5	0.5	24	3.854908	73.74578	1	50	-2	0.5	24	3.030093	75.1597
1	150	-5	0.5	24	5.167013	72.05265	1	100	-2	0.5	24	5.066284	72.16551
1	50	-5	0.5	30	2.225324	82.334	1	150	-2	0.5	24	6.70578	70.57087
1	100	-5	0.5	30	3.854908	78.85154	1	50	-2	0.5	30	3.030093	80.36335
1	150	-5	0.5	30	5.167013	77.04119	1	100	-2	0.5	30	5.066284	77.16186
1	50	-5	0.5	36	2.225324	86.96282	1	150	-2	0.5	30	6.70578	75.45681
1	100	-5	0.5	36	3.854908	83.28457	1	50	-2	0.5	36	3.030093	84.88138
1	150	-5	0.5	36	5.167013	81.37244	1	100	-2	0.5	36	5.066284	81.49989
1.5	50	-5	0.5	24	1.872433	82.60723	1	150	-2	0.5	36	6.70578	79.69899
1.5	100	-5	0.5	24	3.576344	78.51698	1.5	50	-2	0.5	24	2.713909	80.24183
1.5	150	-5	0.5	24	4.948295	76.52365	1.5	100	-2	0.5	24	4.842972	76.65452
1.5	50	-5	0.5	30	1.872433	88.32651	1.5	150	-2	0.5	24	6.557247	74.82651
1.5	100	-5	0.5	30	3.576344	83.95307	1.5	50	-2	0.5	30	2.713909	85.79734
1.5	150	-5	0.5	30	4.948295	81.82173	1.5	100	-2	0.5	30	4.842972	81.96167
1.5	50	-5	0.5	36	1.872433	93.29222	1.5	150	-2	0.5	30	6.557247	80.0071
1.5	100	-5	0.5	36	3.576344	88.67291	1.5	50	-2	0.5	36	2.713909	90.62086
1.5	150	-5	0.5	36	4.948295	86.42175	1.5	100	-2	0.5	36	4.842972	86.56955
0.5	50	-5	1	24	2.488547	74.35677	1.5	150	-2	0.5	36	6.557247	84.50509
0.5	100	-5	1	24	3.9985	72.74293	0.5	50	-2	1	24	3.234236	73.45915
0.5	150	-5	1	24	5.214281	71.85931	0.5	100	-2	1	24	5.120947	71.91898
0.5	50	-5	1	30	2.488547	79.50483	0.5	150	-2	1	24	6.640084	71.06691
0.5	100	-5	1	30	3.9985	77.77926	0.5	50	-2	1	30	3.234236	78.54507

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

0.5	150	-5	1	30	5.214281	76.83446	0.5	100	-2	1	30	5.120947	76.89826
0.5	50	-5	1	36	2.488547	83.97459	0.5	150	-2	1	30	6.640084	75.9872
0.5	100	-5	1	36	3.9985	82.15201	0.5	50	-2	1	36	3.234236	82.96087
0.5	150	-5	1	36	5.214281	81.15409	0.5	100	-2	1	36	5.120947	81.22148
1	50	-5	1	24	2.225324	78.52709	0.5	150	-2	1	36	6.640084	80.2592
1	100	-5	1	24	3.854908	75.20565	1	50	-2	1	24	3.030093	76.64756
1	150	-5	1	24	5.167013	73.479	1	100	-2	1	24	5.066284	73.59409
1	50	-5	1	30	2.225324	83.96389	1	150	-2	1	24	6.70578	71.96789
1	100	-5	1	30	3.854908	80.41248	1	50	-2	1	30	3.030093	81.95422
1	150	-5	1	30	5.167013	78.56629	1	100	-2	1	30	5.066284	78.68935
1	50	-5	1	36	2.225324	88.68433	1	150	-2	1	30	6.70578	76.95055
1	100	-5	1	36	3.854908	84.93327	1	50	-2	1	36	3.030093	86.56169
1	150	-5	1	36	5.167013	82.98329	1	100	-2	1	36	5.066284	83.11326
1.5	50	-5	1	24	1.872433	84.24252	1	150	-2	1	36	6.70578	81.27671
1.5	100	-5	1	24	3.576344	80.0713	1.5	50	-2	1	24	2.713909	81.83029
1.5	150	-5	1	24	4.948295	78.03851	1.5	100	-2	1	24	4.842972	78.17197
1.5	50	-5	1	30	1.872433	90.07501	1.5	150	-2	1	24	6.557247	76.30778
1.5	100	-5	1	30	3.576344	85.615	1.5	50	-2	1	30	2.713909	87.49578
1.5	150	-5	1	30	4.948295	83.44147	1.5	100	-2	1	30	4.842972	83.58418
1.5	50	-5	1	36	1.872433	95.13903	1.5	150	-2	1	30	6.557247	81.59091
1.5	100	-5	1	36	3.576344	90.42828	1.5	50	-2	1	36	2.713909	92.41479
1.5	150	-5	1	36	4.948295	88.13255	1.5	100	-2	1	36	4.842972	88.28328
0.5	50	-5	1.5	24	2.488547	75.46173	1.5	150	-2	1	36	6.557247	86.17795
0.5	100	-5	1.5	24	3.9985	73.82391	0.5	50	-2	1.5	24	3.234236	74.55078
0.5	150	-5	1.5	24	5.214281	72.92716	0.5	100	-2	1.5	24	5.120947	72.98771
0.5	50	-5	1.5	30	2.488547	80.6863	0.5	150	-2	1.5	24	6.640084	72.12298
0.5	100	-5	1.5	30	3.9985	78.93508	0.5	50	-2	1.5	30	3.234236	79.71227
0.5	150	-5	1.5	30	5.214281	77.97624	0.5	100	-2	1.5	30	5.120947	78.04099
0.5	50	-5	1.5	36	2.488547	85.22248	0.5	150	-2	1.5	30	6.640084	77.11639
0.5	100	-5	1.5	36	3.9985	83.37281	0.5	50	-2	1.5	36	3.234236	84.19369
0.5	150	-5	1.5	36	5.214281	82.36006	0.5	100	-2	1.5	36	5.120947	82.42845
1	50	-5	1.5	24	2.225324	79.69403	0.5	150	-2	1.5	36	6.640084	81.45187
1	100	-5	1.5	24	3.854908	76.32323	1	50	-2	1.5	24	3.030093	77.78657
1	150	-5	1.5	24	5.167013	74.57092	1	100	-2	1.5	24	5.066284	74.68772
1	50	-5	1.5	30	2.225324	85.21161	1	150	-2	1.5	24	6.70578	73.03735
1	100	-5	1.5	30	3.854908	81.60744	1	50	-2	1.5	30	3.030093	83.17209
1	150	-5	1.5	30	5.167013	79.73381	1	100	-2	1.5	30	5.066284	79.8587
1	50	-5	1.5	36	2.225324	90.00221	1	150	-2	1.5	30	6.70578	78.09406
1	100	-5	1.5	36	3.854908	86.1954	1	50	-2	1.5	36	3.030093	87.84802

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1	150	-5	1.5	36	5.167013	84.21644	1	100	-2	1.5	36	5.066284	84.34835
1.5	50	-5	1.5	24	1.872433	85.49439	1	150	-2	1.5	36	6.70578	82.48451
1.5	100	-5	1.5	24	3.576344	81.26118	1.5	50	-2	1.5	24	2.713909	83.04631
1.5	150	-5	1.5	24	4.948295	79.19818	1.5	100	-2	1.5	24	4.842972	79.33363
1.5	50	-5	1.5	30	1.872433	91.41355	1.5	150	-2	1.5	24	6.557247	77.44173
1.5	100	-5	1.5	30	3.576344	86.88727	1.5	50	-2	1.5	30	2.713909	88.79599
1.5	150	-5	1.5	30	4.948295	84.68143	1.5	100	-2	1.5	30	4.842972	84.82627
1.5	50	-5	1.5	36	1.872433	96.55282	1.5	150	-2	1.5	30	6.557247	82.80338
1.5	100	-5	1.5	36	3.576344	91.77207	1.5	50	-2	1.5	36	2.713909	93.7881
1.5	150	-5	1.5	36	4.948295	89.44222	1.5	100	-2	1.5	36	4.842972	89.5952
0.5	50	-4	0.5	24	2.64409	72.70854	1.5	150	-2	1.5	36	6.557247	87.45858
0.5	100	-4	0.5	24	4.232631	71.14398	0.5	50	-1.5	0.5	24	3.539243	71.73372
0.5	150	-4	0.5	24	5.511689	70.28509	0.5	100	-1.5	0.5	24	5.580057	70.24532
0.5	50	-4	0.5	30	2.64409	77.74249	0.5	150	-1.5	0.5	24	7.223275	69.41941
0.5	100	-4	0.5	30	4.232631	76.0696	0.5	50	-1.5	0.5	30	3.539243	76.70018
0.5	150	-4	0.5	30	5.511689	75.15125	0.5	100	-1.5	0.5	30	5.580057	75.10873
0.5	50	-4	0.5	36	2.64409	82.11317	0.5	150	-1.5	0.5	30	7.223275	74.22563
0.5	100	-4	0.5	36	4.232631	80.34624	0.5	50	-1.5	0.5	36	3.539243	81.01226
0.5	150	-4	0.5	36	5.511689	79.37625	0.5	100	-1.5	0.5	36	5.580057	79.33134
1	50	-4	0.5	24	2.393191	76.56546	0.5	150	-1.5	0.5	36	7.223275	78.3986
1	100	-4	0.5	24	4.10759	73.37631	1	50	-1.5	0.5	24	3.359265	74.55154
1	150	-4	0.5	24	5.487985	71.70801	1	100	-1.5	0.5	24	5.56177	71.63181
1	50	-4	0.5	30	2.393191	81.86644	1	150	-1.5	0.5	24	7.335177	70.06625
1	100	-4	0.5	30	4.10759	78.45649	1	50	-1.5	0.5	30	3.359265	79.71308
1	150	-4	0.5	30	5.487985	76.67269	1	100	-1.5	0.5	30	5.56177	76.59121
1	50	-4	0.5	36	2.393191	86.46897	1	150	-1.5	0.5	30	7.335177	74.91725
1	100	-4	0.5	36	4.10759	82.86731	1	50	-1.5	0.5	36	3.359265	84.19455
1	150	-4	0.5	36	5.487985	80.98322	1	100	-1.5	0.5	36	5.56177	80.89716
1.5	50	-4	0.5	24	2.047957	82.03134	1	150	-1.5	0.5	36	7.335177	79.1291
1.5	100	-4	0.5	24	3.84055	78.07609	1.5	50	-1.5	0.5	24	3.058094	79.49199
1.5	150	-4	0.5	24	5.283907	76.12549	1.5	100	-1.5	0.5	24	5.361057	76.03775
1.5	50	-4	0.5	30	2.047957	87.71074	1.5	150	-1.5	0.5	24	7.21535	74.25646
1.5	100	-4	0.5	30	3.84055	83.48166	1.5	50	-1.5	0.5	30	3.058094	84.99559
1.5	150	-4	0.5	30	5.283907	81.396	1.5	100	-1.5	0.5	30	5.361057	81.30219
1.5	50	-4	0.5	36	2.047957	92.64184	1.5	150	-1.5	0.5	30	7.21535	79.39758
1.5	100	-4	0.5	36	3.84055	88.175	1.5	50	-1.5	0.5	36	3.058094	89.77404
1.5	150	-4	0.5	36	5.283907	85.97209	1.5	100	-1.5	0.5	36	5.361057	85.873
0.5	50	-4	1	24	2.64409	74.14788	1.5	150	-1.5	0.5	36	7.21535	83.86131
0.5	100	-4	1	24	4.232631	72.55234	0.5	50	-1.5	1	24	3.539243	73.15376
0.5	150	-4	1	24	5.511689	71.67645	0.5	100	-1.5	1	24	5.580057	71.6359

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

0.5	50	-4	1	30	2.64409	79.28147	0.5	150	-1.5	1	24	7.223275	70.79363
0.5	100	-4	1	30	4.232631	77.57548	0.5	50	-1.5	1	30	3.539243	78.21853
0.5	150	-4	1	30	5.511689	76.63894	0.5	100	-1.5	1	30	5.580057	76.59558
0.5	50	-4	1	36	2.64409	83.73868	0.5	150	-1.5	1	30	7.223275	75.695
0.5	100	-4	1	36	4.232631	81.93677	0.5	50	-1.5	1	36	3.539243	82.61597
0.5	150	-4	1	36	5.511689	80.94758	0.5	100	-1.5	1	36	5.580057	80.90178
1	50	-4	1	24	2.393191	78.08115	0.5	150	-1.5	1	36	7.223275	79.95057
1	100	-4	1	24	4.10759	74.82886	1	50	-1.5	1	24	3.359265	76.02736
1	150	-4	1	24	5.487985	73.12754	1	100	-1.5	1	24	5.56177	73.04983
1	50	-4	1	30	2.393191	83.48707	1	150	-1.5	1	24	7.335177	71.45327
1	100	-4	1	30	4.10759	80.00961	1	50	-1.5	1	30	3.359265	81.29108
1	150	-4	1	30	5.487985	78.1905	1	100	-1.5	1	30	5.56177	78.1074
1	50	-4	1	36	2.393191	88.18071	1	150	-1.5	1	30	7.335177	76.40031
1	100	-4	1	36	4.10759	84.50775	1	50	-1.5	1	36	3.359265	85.86126
1	150	-4	1	36	5.487985	82.58636	1	100	-1.5	1	36	5.56177	82.4986
1.5	50	-4	1	24	2.047957	83.65523	1	150	-1.5	1	36	7.335177	80.69554
1.5	100	-4	1	24	3.84055	79.62169	1.5	50	-1.5	1	24	3.058094	81.06561
1.5	150	-4	1	24	5.283907	77.63246	1.5	100	-1.5	1	24	5.361057	77.54299
1.5	50	-4	1	30	2.047957	89.44706	1.5	150	-1.5	1	24	7.21535	75.72644
1.5	100	-4	1	30	3.84055	85.13426	1.5	50	-1.5	1	30	3.058094	86.67816
1.5	150	-4	1	30	5.283907	83.00732	1.5	100	-1.5	1	30	5.361057	82.91165
1.5	50	-4	1	36	2.047957	94.47577	1.5	150	-1.5	1	30	7.21535	80.96933
1.5	100	-4	1	36	3.84055	89.92051	1.5	50	-1.5	1	36	3.058094	91.5512
1.5	150	-4	1	36	5.283907	87.67399	1.5	100	-1.5	1	36	5.361057	87.57294
0.5	50	-4	1.5	24	2.64409	75.24973	1.5	150	-1.5	1	36	7.21535	85.52142
0.5	100	-4	1.5	24	4.232631	73.63049	0.5	50	-1.5	1.5	24	3.539243	74.24085
0.5	150	-4	1.5	24	5.511689	72.74158	0.5	100	-1.5	1.5	24	5.580057	72.70043
0.5	50	-4	1.5	30	2.64409	80.45962	0.5	150	-1.5	1.5	24	7.223275	71.84565
0.5	100	-4	1.5	30	4.232631	78.72827	0.5	50	-1.5	1.5	30	3.539243	79.38088
0.5	150	-4	1.5	30	5.511689	77.77782	0.5	100	-1.5	1.5	30	5.580057	77.73381
0.5	50	-4	1.5	36	2.64409	84.98306	0.5	150	-1.5	1.5	30	7.223275	76.81985
0.5	100	-4	1.5	36	4.232631	83.15437	0.5	50	-1.5	1.5	36	3.539243	83.84367
0.5	150	-4	1.5	36	5.511689	82.15049	0.5	100	-1.5	1.5	36	5.580057	82.104
1	50	-4	1.5	24	2.393191	79.24146	0.5	150	-1.5	1.5	36	7.223275	81.13866
1	100	-4	1.5	24	4.10759	75.94084	1	50	-1.5	1.5	24	3.359265	77.15714
1	150	-4	1.5	24	5.487985	74.21424	1	100	-1.5	1.5	24	5.56177	74.13537
1	50	-4	1.5	30	2.393191	84.72771	1	150	-1.5	1.5	24	7.335177	72.51509
1	100	-4	1.5	30	4.10759	81.19857	1	50	-1.5	1.5	30	3.359265	82.49909
1	150	-4	1.5	30	5.487985	79.35243	1	100	-1.5	1.5	30	5.56177	79.2681
1	50	-4	1.5	36	2.393191	89.4911	1	150	-1.5	1.5	30	7.335177	77.53564
1	100	-4	1.5	36	4.10759	85.76356	1	50	-1.5	1.5	36	3.359265	87.13718
1	150	-4	1.5	36	5.487985	83.81362	1	100	-1.5	1.5	36	5.56177	83.72455
1.5	50	-4	1.5	24	2.047957	84.89837	1	150	-1.5	1.5	36	7.335177	81.8947
1.5	100	-4	1.5	24	3.84055	80.80489	1.5	50	-1.5	1.5	24	3.058094	82.27027

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1.5	150	-4	1.5	24	5.283907	78.78611	1.5	100	-1.5	1.5	24	5.361057	78.6953
1.5	50	-4	1.5	30	2.047957	90.77627	1.5	150	-1.5	1.5	24	7.21535	76.85175
1.5	100	-4	1.5	30	3.84055	86.39938	1.5	50	-1.5	1.5	30	3.058094	87.96622
1.5	150	-4	1.5	30	5.283907	84.24083	1.5	100	-1.5	1.5	30	5.361057	84.14374
1.5	50	-4	1.5	36	2.047957	95.87971	1.5	150	-1.5	1.5	30	7.21535	82.17256
1.5	100	-4	1.5	36	3.84055	91.25675	1.5	50	-1.5	1.5	36	3.058094	92.91168
1.5	150	-4	1.5	36	5.283907	88.97685	1.5	100	-1.5	1.5	36	5.361057	88.8743
0.5	50	-3	0.5	24	2.871247	72.43127	1.5	150	-1.5	1.5	36	7.21535	86.79229
0.5	100	-3	0.5	24	4.574558	70.88987	0.5	50	-1.225	0.5	24	3.801715	71.49715
0.5	150	-3	0.5	24	5.946026	70.04087	0.5	100	-1.225	0.5	24	5.975142	70.02518
0.5	50	-3	0.5	30	2.871247	77.44602	0.5	150	-1.225	0.5	24	7.725137	69.20656
0.5	100	-3	0.5	30	4.574558	75.7979	0.5	50	-1.225	0.5	30	3.801715	76.44722
0.5	150	-3	0.5	30	5.946026	74.89012	0.5	100	-1.225	0.5	30	5.975142	74.87334
0.5	50	-3	0.5	36	2.871247	81.80003	0.5	150	-1.225	0.5	30	7.725137	73.99805
0.5	100	-3	0.5	36	4.574558	80.05926	0.5	50	-1.225	0.5	36	3.801715	80.74508
0.5	150	-3	0.5	36	5.946026	79.10044	0.5	100	-1.225	0.5	36	5.975142	79.08272
1	50	-3	0.5	24	2.638345	75.98205	0.5	150	-1.225	0.5	36	7.725137	78.15822
1	100	-3	0.5	24	4.476606	72.8779	1	50	-1.225	0.5	24	3.642532	74.07675
1	150	-3	0.5	24	5.956734	71.2413	1	100	-1.225	0.5	24	5.988156	71.21142
1	50	-3	0.5	30	2.638345	81.24264	1	150	-1.225	0.5	24	7.8768	69.66746
1	100	-3	0.5	30	4.476606	77.92358	1	50	-1.225	0.5	30	3.642532	79.20543
1	150	-3	0.5	30	5.956734	76.17366	1	100	-1.225	0.5	30	5.988156	76.14171
1	50	-3	0.5	36	2.638345	85.8101	1	150	-1.225	0.5	30	7.8768	74.49085
1	100	-3	0.5	36	4.476606	82.30444	1	50	-1.225	0.5	36	3.642532	83.65835
1	150	-3	0.5	36	5.956734	80.45614	1	100	-1.225	0.5	36	5.988156	80.4224
1.5	50	-3	0.5	24	2.304292	81.27809	1	150	-1.225	0.5	36	7.8768	78.67873
1.5	100	-3	0.5	24	4.226399	77.48687	1.5	50	-1.225	0.5	24	3.354281	78.91512
1.5	150	-3	0.5	24	5.774035	75.58976	1.5	100	-1.225	0.5	24	5.806891	75.55559
1.5	50	-3	0.5	30	2.304292	86.90534	1.5	150	-1.225	0.5	24	7.781677	73.80839
1.5	100	-3	0.5	30	4.226399	82.85164	1.5	50	-1.225	0.5	30	3.354281	84.37878
1.5	150	-3	0.5	30	5.774035	80.82319	1.5	100	-1.225	0.5	30	5.806891	80.78665
1.5	50	-3	0.5	36	2.304292	91.79116	1.5	150	-1.225	0.5	30	7.781677	78.91849
1.5	100	-3	0.5	36	4.226399	87.50956	1.5	50	-1.225	0.5	36	3.354281	89.12255
1.5	150	-3	0.5	36	5.774035	85.36706	1.5	100	-1.225	0.5	36	5.806891	85.32847
0.5	50	-3	1	24	2.871247	73.86511	1.5	150	-1.225	0.5	36	7.781677	83.35528
0.5	100	-3	1	24	4.574558	72.2932	0.5	50	-1.225	1	24	3.801715	72.9125
0.5	150	-3	1	24	5.946026	71.42739	0.5	100	-1.225	1	24	5.975142	71.41139
0.5	50	-3	1	30	2.871247	78.97914	0.5	150	-1.225	1	24	7.725137	70.57657
0.5	100	-3	1	30	4.574558	77.29839	0.5	50	-1.225	1	30	3.801715	77.96057
0.5	150	-3	1	30	5.946026	76.37264	0.5	100	-1.225	1	30	5.975142	76.35553
0.5	50	-3	1	36	2.871247	83.41934	0.5	150	-1.225	1	30	7.725137	75.46291
0.5	100	-3	1	36	4.574558	81.64411	0.5	50	-1.225	1	36	3.801715	82.34351
0.5	150	-3	1	36	5.946026	80.66631	0.5	100	-1.225	1	36	5.975142	80.64824
1	50	-3	1	24	2.638345	77.48619	0.5	150	-1.225	1	36	7.725137	79.70543

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1	100	-3	1	24	4.476606	74.32059	1	50	-1.225	1	24	3.642532	75.54317
1	150	-3	1	24	5.956734	72.65159	1	100	-1.225	1	24	5.988156	72.62112
1	50	-3	1	30	2.638345	82.85091	1	150	-1.225	1	24	7.8768	71.04659
1	100	-3	1	30	4.476606	79.46615	1	50	-1.225	1	30	3.642532	80.77337
1	150	-3	1	30	5.956734	77.68159	1	100	-1.225	1	30	5.988156	77.64901
1	50	-3	1	36	2.638345	87.50879	1	150	-1.225	1	30	7.8768	75.96547
1	100	-3	1	36	4.476606	83.93373	1	50	-1.225	1	36	3.642532	85.31445
1	150	-3	1	36	5.956734	82.04885	1	100	-1.225	1	36	5.988156	82.01444
1.5	50	-3	1	24	2.304292	82.88707	1	150	-1.225	1	36	7.8768	80.23625
1.5	100	-3	1	24	4.226399	79.02079	1.5	50	-1.225	1	24	3.354281	80.47732
1.5	150	-3	1	24	5.774035	77.08613	1.5	100	-1.225	1	24	5.806891	77.05129
1.5	50	-3	1	30	2.304292	88.62572	1.5	150	-1.225	1	24	7.781677	75.2695
1.5	100	-3	1	30	4.226399	84.49177	1.5	50	-1.225	1	30	3.354281	86.04914
1.5	150	-3	1	30	5.774035	82.42316	1.5	100	-1.225	1	30	5.806891	82.3859
1.5	50	-3	1	36	2.304292	93.60826	1.5	150	-1.225	1	30	7.781677	80.48075
1.5	100	-3	1	36	4.226399	89.24189	1.5	50	-1.225	1	36	3.354281	90.88682
1.5	150	-3	1	36	5.774035	87.05699	1.5	100	-1.225	1	36	5.806891	87.01763
0.5	50	-3	1.5	24	2.871247	74.96277	1.5	150	-1.225	1	36	7.781677	85.00538
0.5	100	-3	1.5	24	4.574558	73.3675	0.5	50	-1.225	1.5	24	3.801715	73.996
0.5	150	-3	1.5	24	5.946026	72.48882	0.5	100	-1.225	1.5	24	5.975142	72.47259
0.5	50	-3	1.5	30	2.871247	80.15279	0.5	150	-1.225	1.5	24	7.725137	71.62536
0.5	100	-3	1.5	30	4.574558	78.44707	0.5	50	-1.225	1.5	30	3.801715	79.11909
0.5	150	-3	1.5	30	5.946026	77.50756	0.5	100	-1.225	1.5	30	5.975142	77.4902
0.5	50	-3	1.5	36	2.871247	84.65898	0.5	150	-1.225	1.5	30	7.725137	76.58431
0.5	100	-3	1.5	36	4.574558	82.85736	0.5	50	-1.225	1.5	36	3.801715	83.56716
0.5	150	-3	1.5	36	5.946026	81.86503	0.5	100	-1.225	1.5	36	5.975142	81.84669
1	50	-3	1.5	24	2.638345	78.63766	0.5	150	-1.225	1.5	36	7.725137	80.88988
1	100	-3	1.5	24	4.476606	75.42502	1	50	-1.225	1.5	24	3.642532	76.66577
1	150	-3	1.5	24	5.956734	73.73121	1	100	-1.225	1.5	24	5.988156	73.70029
1	50	-3	1.5	30	2.638345	84.0821	1	150	-1.225	1.5	24	7.8768	72.10236
1	100	-3	1.5	30	4.476606	80.64704	1	50	-1.225	1.5	30	3.642532	81.97369
1	150	-3	1.5	30	5.956734	78.83597	1	100	-1.225	1.5	30	5.988156	78.8029
1	50	-3	1.5	36	2.638345	88.8092	1	150	-1.225	1.5	30	7.8768	77.09434
1	100	-3	1.5	36	4.476606	85.18101	1	50	-1.225	1.5	36	3.642532	86.58225
1	150	-3	1.5	36	5.956734	83.26812	1	100	-1.225	1.5	36	5.988156	83.2332
1.5	50	-3	1.5	24	2.304292	84.11879	1	150	-1.225	1.5	36	7.8768	81.42858
1.5	100	-3	1.5	24	4.226399	80.19507	1.5	50	-1.225	1.5	24	3.354281	81.67324
1.5	150	-3	1.5	24	5.774035	78.23166	1.5	100	-1.225	1.5	24	5.806891	78.19629
1.5	50	-3	1.5	30	2.304292	89.94272	1.5	150	-1.225	1.5	24	7.781677	76.38803
1.5	100	-3	1.5	30	4.226399	85.74734	1.5	50	-1.225	1.5	30	3.354281	87.32785
1.5	150	-3	1.5	30	5.774035	83.64799	1.5	100	-1.225	1.5	30	5.806891	83.61018
1.5	50	-3	1.5	36	2.304292	94.9993	1.5	150	-1.225	1.5	30	7.781677	81.67672
1.5	100	-3	1.5	36	4.226399	90.56805	1.5	50	-1.225	1.5	36	3.354281	92.23742
							1.5	100	-1.225	1.5	36	5.806891	88.31074

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

							1.5	150	-1.225	1.5	36	7.781677	86.26858
--	--	--	--	--	--	--	-----	-----	--------	-----	----	----------	----------

RQ36

TXD	RI	s	TD	pt	height	max_speed	TXD	RI	s	TD	pt	height	max_speed
0.5	50	-1.65	0.5	24	3.973706	71.35133	1	100	-3	1	30	5.104995	78.64175
0.5	100	-1.65	0.5	24	6.234032	69.88913	1	150	-3	1	30	6.754952	76.90563
0.5	150	-1.65	0.5	24	8.053995	69.07489	1	50	-4	1	30	2.767671	82.54012
0.5	50	-2	0.5	24	3.699416	71.58723	1	100	-4	1	30	4.671274	79.19828
0.5	100	-2	0.5	24	5.821157	70.10909	1	150	-4	1	30	6.204013	77.42997
0.5	150	-2	0.5	24	7.529536	69.28772	1	50	-5	1	30	2.587107	82.97854
0.5	50	-3	0.5	24	3.258065	72.00873	1	100	-5	1	30	4.399481	79.57571
0.5	100	-3	0.5	24	5.156815	70.50029	1	150	-5	1	30	5.858764	77.78436
0.5	150	-3	0.5	24	6.685646	69.66556	1	50	-1.65	1	36	3.82815	84.98005
0.5	50	-4	0.5	24	2.991079	72.29422	1	100	-1.65	1	36	6.267557	81.7166
0.5	100	-4	0.5	24	4.754935	70.76381	1	150	-1.65	1	36	8.231713	79.95309
0.5	150	-4	0.5	24	6.175152	69.91954	1	50	-2	1	36	3.532128	85.52203
0.5	50	-5	0.5	24	2.82377	72.48725	1	100	-2	1	36	5.821972	82.19866
0.5	100	-5	0.5	24	4.503095	70.94128	1	150	-2	1	36	7.665702	80.41115
0.5	150	-5	0.5	24	5.855249	70.09031	1	50	-3	1	36	3.05581	86.50412
0.5	50	-1.65	0.5	30	3.973706	76.29132	1	100	-3	1	36	5.104995	83.06299
0.5	100	-1.65	0.5	30	6.234032	74.72788	1	150	-3	1	36	6.754952	81.22926
0.5	150	-1.65	0.5	30	8.053995	73.85726	1	50	-4	1	36	2.767671	87.18052
0.5	50	-2	0.5	30	3.699416	76.54354	1	100	-4	1	36	4.671274	83.65081
0.5	100	-2	0.5	30	5.821157	74.96306	1	150	-4	1	36	6.204013	81.78308
0.5	150	-2	0.5	30	7.529536	74.08483	1	50	-5	1	36	2.587107	87.64359
0.5	50	-3	0.5	30	3.258065	76.99423	1	100	-5	1	36	4.399481	84.04945
0.5	100	-3	0.5	30	5.156815	75.38135	1	150	-5	1	36	5.858764	82.1574
0.5	150	-3	0.5	30	6.685646	74.48883	1.5	50	-1.65	1	24	3.548366	80.12096
0.5	50	-4	0.5	30	2.991079	77.29948	1.5	100	-1.65	1	24	6.099036	76.75032
0.5	100	-4	0.5	30	4.754935	75.66312	1.5	150	-1.65	1	24	8.152779	74.98881
0.5	150	-4	0.5	30	6.175152	74.76039	1.5	50	-2	1	24	3.238842	80.6998
0.5	50	-5	0.5	30	2.82377	77.50587	1.5	100	-2	1	24	5.633127	77.23801
0.5	100	-5	0.5	30	4.503095	75.85287	1.5	150	-2	1	24	7.560951	75.44327
0.5	150	-5	0.5	30	5.855249	74.94299	1.5	50	-3	1	24	2.740798	81.76694
0.5	50	-1.65	0.5	36	3.973706	80.58041	1.5	100	-3	1	24	4.883448	78.12032
0.5	100	-1.65	0.5	36	6.234032	78.92908	1.5	150	-3	1	24	6.608661	76.26018
0.5	150	-1.65	0.5	36	8.053995	78.00951	1.5	50	-4	1	24	2.439517	82.51756

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

0.5	50	-2	0.5	36	3.699416	80.84682	1.5	100	-4	1	24	4.429945	78.72682
0.5	100	-2	0.5	36	5.821157	79.17749	1.5	150	-4	1	24	6.032593	76.81741
0.5	150	-2	0.5	36	7.529536	78.24988	1.5	50	-5	1	24	2.250718	83.03986
0.5	50	-3	0.5	36	3.258065	81.32284	1.5	100	-5	1	24	4.145755	79.14144
0.5	100	-3	0.5	36	5.156815	79.61929	1.5	150	-5	1	24	5.671597	77.19615
0.5	150	-3	0.5	36	6.685646	78.67659	1.5	50	-1.65	1	30	3.548366	85.6681
0.5	50	-4	0.5	36	2.991079	81.64526	1.5	100	-1.65	1	30	6.099036	82.0641
0.5	100	-4	0.5	36	4.754935	79.91689	1.5	150	-1.65	1	30	8.152779	80.18063
0.5	150	-4	0.5	36	6.175152	78.96342	1.5	50	-2	1	30	3.238842	86.28702
0.5	50	-5	0.5	36	2.82377	81.86325	1.5	100	-2	1	30	5.633127	82.58555
0.5	100	-5	0.5	36	4.503095	80.11731	1.5	150	-2	1	30	7.560951	80.66655
0.5	150	-5	0.5	36	5.855249	79.15628	1.5	50	-3	1	30	2.740798	87.42804
1	50	-1.65	0.5	24	3.82815	73.7864	1.5	100	-3	1	30	4.883448	83.52895
1	100	-1.65	0.5	24	6.267557	70.95282	1.5	150	-3	1	30	6.608661	81.54002
1	150	-1.65	0.5	24	8.231713	69.4216	1.5	50	-4	1	30	2.439517	88.23063
1	50	-2	0.5	24	3.532128	74.25698	1.5	100	-4	1	30	4.429945	84.17744
1	100	-2	0.5	24	5.821972	71.37137	1.5	150	-4	1	30	6.032593	82.13583
1	150	-2	0.5	24	7.665702	69.81932	1.5	50	-5	1	30	2.250718	88.7891
1	50	-3	0.5	24	3.05581	75.10972	1.5	100	-5	1	30	4.145755	84.62076
1	100	-3	0.5	24	5.104995	72.12186	1.5	150	-5	1	30	5.671597	82.54079
1	150	-3	0.5	24	6.754952	70.52967	1.5	50	-1.65	1	36	3.548366	90.48436
1	50	-4	0.5	24	2.767671	75.69702	1.5	100	-1.65	1	36	6.099036	86.67774
1	100	-4	0.5	24	4.671274	72.63225	1.5	150	-1.65	1	36	8.152779	84.68838
1	150	-4	0.5	24	6.204013	71.01054	1.5	50	-2	1	36	3.238842	91.13807
1	50	-5	0.5	24	2.587107	76.0991	1.5	100	-2	1	36	5.633127	87.22851
1	100	-5	0.5	24	4.399481	72.97838	1.5	150	-2	1	36	7.560951	85.20162
1	150	-5	0.5	24	5.858764	71.33555	1.5	50	-3	1	36	2.740798	92.34325
1	50	-1.65	0.5	30	3.82815	78.89497	1.5	100	-3	1	36	4.883448	88.22495
1	100	-1.65	0.5	30	6.267557	75.86521	1.5	150	-3	1	36	6.608661	86.1242
1	150	-1.65	0.5	30	8.231713	74.22797	1.5	50	-4	1	36	2.439517	93.19096
1	50	-2	0.5	30	3.532128	79.39814	1.5	100	-4	1	36	4.429945	88.90989
1	100	-2	0.5	30	5.821972	76.31274	1.5	150	-4	1	36	6.032593	86.7535
1	150	-2	0.5	30	7.665702	74.65324	1.5	50	-5	1	36	2.250718	93.78082
1	50	-3	0.5	30	3.05581	80.30991	1.5	100	-5	1	36	4.145755	89.37814
1	100	-3	0.5	30	5.104995	77.11519	1.5	150	-5	1	36	5.671597	87.18123
1	150	-3	0.5	30	6.754952	75.41276	0.5	50	-1.65	1.5	24	3.973706	73.84509
1	50	-4	0.5	30	2.767671	80.93787	0.5	100	-1.65	1.5	24	6.234032	72.33179
1	100	-4	0.5	30	4.671274	77.66091	0.5	150	-1.65	1.5	24	8.053995	71.48909
1	150	-4	0.5	30	6.204013	75.92693	0.5	50	-2	1.5	24	3.699416	74.08923



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1	50	-5	0.5	30	2.587107	81.36779	0.5	100	-2	1.5	24	5.821157	72.55943
1	100	-5	0.5	30	4.399481	78.03101	0.5	150	-2	1.5	24	7.529536	71.70936
1	150	-5	0.5	30	5.858764	76.27444	0.5	50	-3	1.5	24	3.258065	74.52547
1	50	-1.65	0.5	36	3.82815	83.33045	0.5	100	-3	1.5	24	5.156815	72.9643
1	100	-1.65	0.5	36	6.267557	80.13034	0.5	150	-3	1.5	24	6.685646	72.1004
1	150	-1.65	0.5	36	8.231713	78.40107	0.5	50	-4	1.5	24	2.991079	74.82094
1	50	-2	0.5	36	3.532128	83.8619	0.5	100	-4	1.5	24	4.754935	73.23704
1	100	-2	0.5	36	5.821972	80.60304	0.5	150	-4	1.5	24	6.175152	72.36326
1	150	-2	0.5	36	7.665702	78.85024	0.5	50	-5	1.5	24	2.82377	75.02071
1	50	-3	0.5	36	3.05581	84.82493	0.5	100	-5	1.5	24	4.503095	73.4207
1	100	-3	0.5	36	5.104995	81.4506	0.5	150	-5	1.5	24	5.855249	72.54
1	150	-3	0.5	36	6.754952	79.65247	0.5	50	-1.65	1.5	30	3.973706	78.95773
1	50	-4	0.5	36	2.767671	85.4882	0.5	100	-1.65	1.5	30	6.234032	77.33965
1	100	-4	0.5	36	4.671274	82.02701	0.5	150	-1.65	1.5	30	8.053995	76.4386
1	150	-4	0.5	36	6.204013	80.19554	0.5	50	-2	1.5	30	3.699416	79.21877
1	50	-5	0.5	36	2.587107	85.94228	0.5	100	-2	1.5	30	5.821157	77.58306
1	100	-5	0.5	36	4.399481	82.41791	0.5	150	-2	1.5	30	7.529536	76.67413
1	150	-5	0.5	36	5.858764	80.56258	0.5	50	-3	1.5	30	3.258065	79.68521
1.5	50	-1.65	0.5	24	3.548366	78.56568	0.5	100	-3	1.5	30	5.156815	78.01596
1.5	100	-1.65	0.5	24	6.099036	75.26047	0.5	150	-3	1.5	30	6.685646	77.09225
1.5	150	-1.65	0.5	24	8.152779	73.53315	0.5	50	-4	1.5	30	2.991079	80.00113
1.5	50	-2	0.5	24	3.238842	79.13328	0.5	100	-4	1.5	30	4.754935	78.30757
1.5	100	-2	0.5	24	5.633127	75.73869	0.5	150	-4	1.5	30	6.175152	77.3733
1.5	150	-2	0.5	24	7.560951	73.97878	0.5	50	-5	1.5	30	2.82377	80.21474
1.5	50	-3	0.5	24	2.740798	80.17971	0.5	100	-5	1.5	30	4.503095	78.50396
1.5	100	-3	0.5	24	4.883448	76.60387	0.5	150	-5	1.5	30	5.855249	77.56227
1.5	150	-3	0.5	24	6.608661	74.77984	0.5	50	-1.65	1.5	36	3.973706	83.39673
1.5	50	-4	0.5	24	2.439517	80.91576	0.5	100	-1.65	1.5	36	6.234032	81.68768
1.5	100	-4	0.5	24	4.429945	77.1986	0.5	150	-1.65	1.5	36	8.053995	80.73598
1.5	150	-4	0.5	24	6.032593	75.32625	0.5	50	-2	1.5	36	3.699416	83.67245
1.5	50	-5	0.5	24	2.250718	81.42792	0.5	100	-2	1.5	36	5.821157	81.94477
1.5	100	-5	0.5	24	4.145755	77.60517	0.5	150	-2	1.5	36	7.529536	80.98475
1.5	150	-5	0.5	24	5.671597	75.69764	0.5	50	-3	1.5	36	3.258065	84.16511
1.5	50	-1.65	0.5	30	3.548366	84.00514	0.5	100	-3	1.5	36	5.156815	82.40201
1.5	100	-1.65	0.5	30	6.099036	80.4711	0.5	150	-3	1.5	36	6.685646	81.42637
1.5	150	-1.65	0.5	30	8.152779	78.62419	0.5	50	-4	1.5	36	2.991079	84.4988
1.5	50	-2	0.5	30	3.238842	84.61204	0.5	100	-4	1.5	36	4.754935	82.71002
1.5	100	-2	0.5	30	5.633127	80.98242	0.5	150	-4	1.5	36	6.175152	81.72322
1.5	150	-2	0.5	30	7.560951	79.10068	0.5	50	-5	1.5	36	2.82377	84.72441
1.5	50	-3	0.5	30	2.740798	85.73092	0.5	100	-5	1.5	36	4.503095	82.91745

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1.5	100	-3	0.5	30	4.883448	81.90751	0.5	150	-5	1.5	36	5.855249	81.92282
1.5	150	-3	0.5	30	6.608661	79.95719	1	50	-1.65	1.5	24	3.82815	76.36527
1.5	50	-4	0.5	30	2.439517	86.51793	1	100	-1.65	1.5	24	6.267557	73.43265
1.5	100	-4	0.5	30	4.429945	82.54341	1	150	-1.65	1.5	24	8.231713	71.84791
1.5	150	-4	0.5	30	6.032593	80.54143	1	50	-2	1.5	24	3.532128	76.8523
1.5	50	-5	0.5	30	2.250718	87.06555	1	100	-2	1.5	24	5.821972	73.86583
1.5	100	-5	0.5	30	4.145755	82.97813	1	150	-2	1.5	24	7.665702	72.25954
1.5	150	-5	0.5	30	5.671597	80.93853	1	50	-3	1.5	24	3.05581	77.73484
1.5	50	-1.65	0.5	36	3.548366	88.72791	1	100	-3	1.5	24	5.104995	74.64255
1.5	100	-1.65	0.5	36	6.099036	84.99518	1	150	-3	1.5	24	6.754952	72.99471
1.5	150	-1.65	0.5	36	8.152779	83.04444	1	50	-4	1.5	24	2.767671	78.34266
1.5	50	-2	0.5	36	3.238842	89.36893	1	100	-4	1.5	24	4.671274	75.17077
1.5	100	-2	0.5	36	5.633127	85.53525	1	150	-4	1.5	24	6.204013	73.49239
1.5	150	-2	0.5	36	7.560951	83.54771	1	50	-5	1.5	24	2.587107	78.75879
1.5	50	-3	0.5	36	2.740798	90.55071	1	100	-5	1.5	24	4.399481	75.529
1.5	100	-3	0.5	36	4.883448	86.51235	1	150	-5	1.5	24	5.858764	73.82875
1.5	150	-3	0.5	36	6.608661	84.45238	1	50	-1.65	1.5	30	3.82815	81.65239
1.5	50	-4	0.5	36	2.439517	91.38196	1	100	-1.65	1.5	30	6.267557	78.51673
1.5	100	-4	0.5	36	4.429945	87.184	1	150	-1.65	1.5	30	8.231713	76.82227
1.5	150	-4	0.5	36	6.032593	85.06947	1	50	-2	1.5	30	3.532128	82.17314
1.5	50	-5	0.5	36	2.250718	91.96037	1	100	-2	1.5	30	5.821972	78.9799
1.5	100	-5	0.5	36	4.145755	87.64316	1	150	-2	1.5	30	7.665702	77.2624
1.5	150	-5	0.5	36	5.671597	85.4889	1	50	-3	1.5	30	3.05581	83.11678
0.5	50	-1.65	1	24	3.973706	72.7638	1	100	-3	1.5	30	5.104995	79.81039
0.5	100	-1.65	1	24	6.234032	71.27266	1	150	-3	1.5	30	6.754952	78.04847
0.5	150	-1.65	1	24	8.053995	70.44229	1	50	-4	1.5	30	2.767671	83.76669
0.5	50	-2	1	24	3.699416	73.00437	1	100	-4	1.5	30	4.671274	80.37519
0.5	100	-2	1	24	5.821157	71.49697	1	150	-4	1.5	30	6.204013	78.58061
0.5	150	-2	1	24	7.529536	70.65934	1	50	-5	1.5	30	2.587107	84.21163
0.5	50	-3	1	24	3.258065	73.43422	1	100	-5	1.5	30	4.399481	80.75822
0.5	100	-3	1	24	5.156815	71.89591	1	150	-5	1.5	30	5.858764	78.94026
0.5	150	-3	1	24	6.685646	71.04466	1	50	-1.65	1.5	36	3.82815	86.24288
0.5	50	-4	1	24	2.991079	73.72536	1	100	-1.65	1.5	36	6.267557	82.93093
0.5	100	-4	1	24	4.754935	72.16465	1	150	-1.65	1.5	36	8.231713	81.14122
0.5	150	-4	1	24	6.175152	71.30366	1	50	-2	1.5	36	3.532128	86.79291
0.5	50	-5	1	24	2.82377	73.9222	1	100	-2	1.5	36	5.821972	83.42015
0.5	100	-5	1	24	4.503095	72.34563	1	150	-2	1.5	36	7.665702	81.60609
0.5	150	-5	1	24	5.855249	71.47782	1	50	-3	1.5	36	3.05581	87.7896
0.5	50	-1.65	1	30	3.973706	77.80158	1	100	-3	1.5	36	5.104995	84.29733
0.5	100	-1.65	1	30	6.234032	76.20719	1	150	-3	1.5	36	6.754952	82.43635
0.5	150	-1.65	1	30	8.053995	75.31934	1	50	-4	1.5	36	2.767671	88.47605
0.5	50	-2	1	30	3.699416	78.0588	1	100	-4	1.5	36	4.671274	84.89388
0.5	100	-2	1	30	5.821157	76.44703	1	150	-4	1.5	36	6.204013	82.99841
0.5	150	-2	1	30	7.529536	75.55141	1	50	-5	1.5	36	2.587107	88.946

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

0.5	50	-3	1	30	3.258065	78.51841	1	100	-5	1.5	36	4.399481	85.29845
0.5	100	-3	1	30	5.156815	76.87359	1	150	-5	1.5	36	5.858764	83.37828
0.5	150	-3	1	30	6.685646	75.96341	1.5	50	-1.65	1.5	24	3.548366	81.31158
0.5	50	-4	1	30	2.991079	78.8297	1.5	100	-1.65	1.5	24	6.099036	77.89085
0.5	100	-4	1	30	4.754935	77.16094	1.5	150	-1.65	1.5	24	8.152779	76.10316
0.5	150	-4	1	30	6.175152	76.24035	1.5	50	-2	1.5	24	3.238842	81.89902
0.5	50	-5	1	30	2.82377	79.04018	1.5	100	-2	1.5	24	5.633127	78.38579
0.5	100	-5	1	30	4.503095	77.35445	1.5	150	-2	1.5	24	7.560951	76.56437
0.5	150	-5	1	30	5.855249	76.42655	1.5	50	-3	1.5	24	2.740798	82.98202
0.5	50	-1.65	1	36	3.973706	82.17558	1.5	100	-3	1.5	24	4.883448	79.28121
0.5	100	-1.65	1	36	6.234032	80.49156	1.5	150	-3	1.5	24	6.608661	77.39343
0.5	150	-1.65	1	36	8.053995	79.55379	1.5	50	-4	1.5	24	2.439517	83.7438
0.5	50	-2	1	36	3.699416	82.44726	1.5	100	-4	1.5	24	4.429945	79.89672
0.5	100	-2	1	36	5.821157	80.74488	1.5	150	-4	1.5	24	6.032593	77.95894
0.5	150	-2	1	36	7.529536	79.79891	1.5	50	-5	1.5	24	2.250718	84.27386
0.5	50	-3	1	36	3.258065	82.93271	1.5	100	-5	1.5	24	4.145755	80.3175
0.5	100	-3	1	36	5.156815	81.19543	1.5	150	-5	1.5	24	5.671597	78.3433
0.5	150	-3	1	36	6.685646	80.23407	1.5	50	-1.65	1.5	30	3.548366	86.94116
0.5	50	-4	1	36	2.991079	83.26151	1.5	100	-1.65	1.5	30	6.099036	83.2836
0.5	100	-4	1	36	4.754935	81.49893	1.5	150	-1.65	1.5	30	8.152779	81.37214
0.5	150	-4	1	36	6.175152	80.52658	1.5	50	-2	1.5	30	3.238842	87.56927
0.5	50	-5	1	36	2.82377	83.48381	1.5	100	-2	1.5	30	5.633127	83.81279
0.5	100	-5	1	36	4.503095	81.70331	1.5	150	-2	1.5	30	7.560951	81.86528
0.5	150	-5	1	36	5.855249	80.72325	1.5	50	-3	1.5	30	2.740798	88.72725
1	50	-1.65	1	24	3.82815	75.24708	1.5	100	-3	1.5	30	4.883448	84.77022
1	100	-1.65	1	24	6.267557	72.35739	1.5	150	-3	1.5	30	6.608661	82.75173
1	150	-1.65	1	24	8.231713	70.79587	1.5	50	-4	1.5	30	2.439517	89.54177
1	50	-2	1	24	3.532128	75.72697	1.5	100	-4	1.5	30	4.429945	85.42834
1	100	-2	1	24	5.821972	72.78424	1.5	150	-4	1.5	30	6.032593	83.35639
1	150	-2	1	24	7.665702	71.20146	1.5	50	-5	1.5	30	2.250718	90.10853
1	50	-3	1	24	3.05581	76.59659	1.5	100	-5	1.5	30	4.145755	85.87825
1	100	-3	1	24	5.104995	73.54958	1.5	150	-5	1.5	30	5.671597	83.76737
1	150	-3	1	24	6.754952	71.92587	1.5	50	-1.65	1.5	36	3.548366	91.82898
1	50	-4	1	24	2.767671	77.19552	1.5	100	-1.65	1.5	36	6.099036	87.9658
1	100	-4	1	24	4.671274	74.07007	1.5	150	-1.65	1.5	36	8.152779	85.94687
1	150	-4	1	24	6.204013	72.41626	1.5	50	-2	1.5	36	3.238842	92.49241
1	50	-5	1	24	2.587107	77.60555	1.5	100	-2	1.5	36	5.633127	88.52475
1	100	-5	1	24	4.399481	74.42306	1.5	150	-2	1.5	36	7.560951	86.46774
1	150	-5	1	24	5.858764	72.7477	1.5	50	-3	1.5	36	2.740798	93.71549
1	50	-1.65	1	30	3.82815	80.45678	1.5	100	-3	1.5	36	4.883448	89.53599
1	100	-1.65	1	30	6.267557	77.36703	1.5	150	-3	1.5	36	6.608661	87.40403
1	150	-1.65	1	30	8.231713	75.69739	1.5	50	-4	1.5	36	2.439517	94.5758
1	50	-2	1	30	3.532128	80.9699	1.5	100	-4	1.5	36	4.429945	90.23112
1	100	-2	1	30	5.821972	77.82343	1.5	150	-4	1.5	36	6.032593	88.04269

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1	150	-2	1	30	7.665702	76.13107	1.5	50	-5	1.5	36	2.250718	95.17443
1	50	-3	1	30	3.05581	81.89973	1.5	100	-5	1.5	36	4.145755	90.70632
							1.5	150	-5	1.5	36	5.671597	88.47677

### RQ43.5

TXD	RI	s	TD	pt	height	max_speed	TXD	RI	s	TD	pt	height	max_speed
0.5	50	-2.025	0.5	24	3.9743181	71.350827	1	50	-4	1	30	3.0202768	81.975156
0.5	100	-2.025	0.5	24	6.2349527	69.888659	1	100	-4	1	30	5.0515086	78.707618
0.5	150	-2.025	0.5	24	8.0551651	69.07443	1	150	-4	1	30	6.6870109	76.967792
0.5	50	-3	0.5	24	3.5095815	71.761619	1	50	-5	1	30	2.8298072	82.396223
0.5	100	-3	0.5	24	5.5354095	70.271234	1	100	-5	1	30	4.7648049	79.073763
0.5	150	-3	0.5	24	7.1665609	69.444442	1	150	-5	1	30	6.3228216	77.312835
0.5	50	-4	0.5	24	3.2251405	72.042573	1	50	-2.025	1	36	3.8288104	84.978896
0.5	100	-4	0.5	24	5.1072556	70.531587	1	100	-2.025	1	36	6.2685511	81.715568
0.5	150	-4	0.5	24	6.6226926	69.69575	1	150	-2.025	1	36	8.2329757	79.952109
0.5	50	-5	0.5	24	3.0486537	72.230433	1	50	-3	1	36	3.3272536	85.92611
0.5	100	-5	0.5	24	4.8415994	70.705036	1	100	-3	1	36	5.5135844	82.555772
0.5	150	-5	0.5	24	6.2852391	69.862934	1	150	-3	1	36	7.2739689	80.749689
0.5	50	-2.025	0.5	30	3.9743181	76.290773	1	50	-4	1	36	3.0202768	86.583796
0.5	100	-2.025	0.5	30	6.2349527	74.727373	1	100	-4	1	36	5.0515086	83.132558
0.5	150	-2.025	0.5	30	8.0551651	73.856771	1	150	-4	1	36	6.6870109	81.294919
0.5	50	-3	0.5	30	3.5095815	76.730006	1	50	-5	1	36	2.8298072	87.028536
0.5	100	-3	0.5	30	5.5354095	75.136435	1	100	-5	1	36	4.7648049	83.519288
0.5	150	-3	0.5	30	7.1665609	74.252401	1	150	-5	1	36	6.3228216	81.65936
0.5	50	-4	0.5	30	3.2251405	77.030411	1.5	50	-2.025	1	24	3.549056	80.11973
0.5	100	-4	0.5	30	5.1072556	75.414813	1.5	100	-2.025	1	24	6.1000752	76.749279
0.5	150	-4	0.5	30	6.6226926	74.521108	1.5	150	-2.025	1	24	8.1540986	74.987834
0.5	50	-5	0.5	30	3.0486537	77.231278	1.5	50	-3	1	24	3.0246229	81.135866
0.5	100	-5	0.5	30	4.8415994	75.600271	1.5	100	-3	1	24	5.3106738	77.601265
0.5	150	-5	0.5	30	6.2852391	74.699866	1.5	150	-3	1	24	7.1513509	75.780453
0.5	50	-2.025	0.5	36	3.9743181	80.579838	1.5	50	-4	1	24	2.7036447	81.854649
0.5	100	-2.025	0.5	36	6.2349527	78.928543	1.5	100	-4	1	24	4.8275224	78.191812
0.5	150	-2.025	0.5	36	8.0551651	78.008996	1.5	150	-4	1	24	6.5376212	76.32605
0.5	50	-3	0.5	36	3.5095815	81.043764	1.5	50	-5	1	24	2.5044876	82.347679
0.5	100	-3	0.5	36	5.5354095	79.360603	1.5	100	-5	1	24	4.527742	78.590631
0.5	150	-3	0.5	36	7.1665609	78.426868	1.5	150	-5	1	24	6.156821	76.692605
0.5	50	-4	0.5	36	3.2251405	81.361059	1.5	50	-2.025	1	30	3.549056	85.666787

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

0.5	100	-4	0.5	36	5.1072556	79.654631	1.5	100	-2.025	1	30	6.1000752	82.062984
0.5	150	-4	0.5	36	6.6226926	78.710682	1.5	150	-2.025	1	30	8.1540986	80.179587
0.5	50	-5	0.5	36	3.0486537	81.573218	1.5	50	-3	1	30	3.0246229	86.753275
0.5	100	-5	0.5	36	4.8415994	79.850516	1.5	100	-3	1	30	5.3106738	82.973958
0.5	150	-5	0.5	36	6.2852391	78.89949	1.5	150	-3	1	30	7.1513509	81.027082
1	50	-2.025	0.5	24	3.8288104	73.785397	1.5	50	-4	1	30	2.7036447	87.521822
1	100	-2.025	0.5	24	6.2685511	70.951917	1.5	100	-4	1	30	4.8275224	83.605391
1	150	-2.025	0.5	24	8.2329757	69.420743	1.5	150	-4	1	30	6.5376212	81.610453
1	50	-3	0.5	24	3.3272536	74.607843	1.5	50	-5	1	30	2.5044876	88.048988
1	100	-3	0.5	24	5.5135844	71.681449	1.5	100	-5	1	30	4.527742	84.031822
1	150	-3	0.5	24	7.2739689	70.113264	1.5	150	-5	1	30	6.156821	82.002387
1	50	-4	0.5	24	3.0202768	75.178898	1.5	50	-2.025	1	36	3.549056	90.482971
1	100	-4	0.5	24	5.0515086	72.18226	1.5	100	-2.025	1	36	6.1000752	86.676563
1	150	-4	0.5	24	6.6870109	70.586677	1.5	150	-2.025	1	36	8.1540986	84.687281
1	50	-5	0.5	24	2.8298072	75.565056	1.5	50	-3	1	36	3.0246229	91.630541
1	100	-5	0.5	24	4.7648049	72.51805	1.5	100	-3	1	36	5.3106738	87.638751
1	150	-5	0.5	24	6.3228216	70.903114	1.5	150	-3	1	36	7.1513509	85.582422
1	50	-2.025	0.5	30	3.8288104	78.893899	1.5	50	-4	1	36	2.7036447	92.442297
1	100	-2.025	0.5	30	6.2685511	75.864245	1.5	100	-4	1	36	4.8275224	88.305683
1	150	-2.025	0.5	30	8.2329757	74.22706	1.5	150	-4	1	36	6.5376212	86.198591
1	50	-3	0.5	30	3.3272536	79.773287	1.5	50	-5	1	36	2.5044876	92.999099
1	100	-3	0.5	30	5.5135844	76.644286	1.5	100	-5	1	36	4.527742	88.756089
1	150	-3	0.5	30	7.2739689	74.967528	1.5	150	-5	1	36	6.156821	86.612558
1	50	-4	0.5	30	3.0202768	80.383879	0.5	50	-2.025	1.5	24	3.9743181	73.844569
1	100	-4	0.5	30	5.0515086	77.17977	0.5	100	-2.025	1.5	24	6.2349527	72.331298
1	150	-4	0.5	30	6.6870109	75.473717	0.5	150	-2.025	1.5	24	8.0551651	71.488611
1	50	-5	0.5	30	2.8298072	80.796773	0.5	50	-3	1.5	24	3.5095815	74.269718
1	100	-5	0.5	30	4.7648049	77.538808	0.5	100	-3	1.5	24	5.5354095	72.727244
1	150	-5	0.5	30	6.3228216	75.812062	0.5	150	-3	1.5	24	7.1665609	71.871555
1	50	-2.025	0.5	36	3.8288104	83.329311	0.5	50	-4	1.5	24	3.2251405	74.560491
1	100	-2.025	0.5	36	6.2685511	80.12933	0.5	100	-4	1.5	24	5.1072556	72.996696
1	150	-2.025	0.5	36	8.2329757	78.400103	0.5	150	-4	1.5	24	6.6226926	72.131647
1	50	-3	0.5	36	3.3272536	84.258138	0.5	50	-5	1.5	24	3.0486537	74.754917
1	100	-3	0.5	36	5.5135844	80.953225	0.5	100	-5	1.5	24	4.8415994	73.176207
1	150	-3	0.5	36	7.2739689	79.1822	0.5	150	-5	1.5	24	6.2852391	72.304673
1	50	-4	0.5	36	3.0202768	84.903058	0.5	50	-2.025	1.5	30	3.9743181	78.957168
1	100	-4	0.5	36	5.0515086	81.518815	0.5	100	-2.025	1.5	30	6.2349527	77.339126
1	150	-4	0.5	36	6.6870109	79.716847	0.5	150	-2.025	1.5	30	8.0551651	76.438097
1	50	-5	0.5	36	2.8298072	85.339165	0.5	50	-3	1.5	30	3.5095815	79.411752

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1	100	-5	0.5	36	4.7648049	81.898037	0.5	100	-3	1.5	30	5.5354095	77.762485
1	150	-5	0.5	36	6.3228216	80.074214	0.5	150	-3	1.5	30	7.1665609	76.847554
1.5	50	-2.025	0.5	24	3.549056	78.56447	0.5	50	-4	1.5	30	3.2251405	79.722657
1.5	100	-2.025	0.5	24	6.1000752	75.259445	0.5	100	-4	1.5	30	5.1072556	78.050593
1.5	150	-2.025	0.5	24	8.1540986	73.532193	0.5	150	-4	1.5	30	6.6226926	77.125652
1.5	50	-3	0.5	24	3.0246229	79.560881	0.5	50	-5	1.5	30	3.0486537	79.930544
1.5	100	-3	0.5	24	5.3106738	76.094893	0.5	100	-5	1.5	30	4.8415994	78.242533
1.5	150	-3	0.5	24	7.1513509	74.309426	0.5	150	-5	1.5	30	6.2852391	77.310658
1.5	50	-4	0.5	24	2.7036447	80.265711	0.5	50	-2.025	1.5	36	3.9743181	83.396138
1.5	100	-4	0.5	24	4.8275224	76.673977	0.5	100	-2.025	1.5	36	6.2349527	81.68713
1.5	150	-4	0.5	24	6.5376212	74.844432	0.5	150	-2.025	1.5	36	8.0551651	80.735444
1.5	50	-5	0.5	24	2.5044876	80.749171	0.5	50	-3	1.5	36	3.5095815	83.876278
1.5	100	-5	0.5	24	4.527742	77.065054	0.5	100	-3	1.5	36	5.5354095	82.13429
1.5	150	-5	0.5	24	6.156821	75.203871	0.5	150	-3	1.5	36	7.1665609	81.167921
1.5	50	-2.025	0.5	30	3.549056	84.00385	0.5	50	-4	1.5	36	3.2251405	84.204662
1.5	100	-2.025	0.5	30	6.1000752	80.470003	0.5	100	-4	1.5	36	5.1072556	82.438595
1.5	150	-2.025	0.5	30	8.1540986	78.623165	0.5	150	-4	1.5	36	6.6226926	81.461654
1.5	50	-3	0.5	30	3.0246229	85.069247	0.5	50	-5	1.5	36	3.0486537	84.424237
1.5	100	-3	0.5	30	5.3106738	81.363293	0.5	100	-5	1.5	36	4.8415994	82.641325
1.5	150	-3	0.5	30	7.1513509	79.45421	0.5	150	-5	1.5	36	6.2852391	81.657061
1.5	50	-4	0.5	30	2.7036447	85.822876	1	50	-2.025	1.5	24	3.8288104	76.364228
1.5	100	-4	0.5	30	4.8275224	81.982469	1	100	-2.025	1.5	24	6.2685511	73.431717
1.5	150	-4	0.5	30	6.5376212	80.026256	1	150	-2.025	1.5	24	8.2329757	71.847028
1.5	50	-5	0.5	30	2.5044876	86.339808	1	50	-3	1.5	24	3.3272536	77.215419
1.5	100	-5	0.5	30	4.527742	82.400622	1	100	-3	1.5	24	5.5135844	74.186747
1.5	150	-5	0.5	30	6.156821	80.410581	1	150	-3	1.5	24	7.2739689	72.563753
1.5	50	-2.025	0.5	36	3.549056	88.726544	1	50	-4	1.5	24	3.0202768	77.806433
1.5	100	-2.025	0.5	36	6.1000752	84.994024	1	100	-4	1.5	24	5.0515086	74.705061
1.5	150	-2.025	0.5	36	8.1540986	83.043357	1	150	-4	1.5	24	6.6870109	73.053711
1.5	50	-3	0.5	36	3.0246229	89.851837	1	50	-5	1.5	24	2.8298072	78.206087
1.5	100	-3	0.5	36	5.3106738	85.937535	1	100	-5	1.5	24	4.7648049	75.052586
1.5	150	-3	0.5	36	7.1513509	83.921123	1	150	-5	1.5	24	6.3228216	73.381208
1.5	50	-4	0.5	36	2.7036447	90.647835	1	50	-2.025	1.5	30	3.8288104	81.651274
1.5	100	-4	0.5	36	4.8275224	86.59152	1	100	-2.025	1.5	30	6.2685511	78.515733
1.5	150	-4	0.5	36	6.5376212	84.52533	1	150	-2.025	1.5	30	8.2329757	76.821328
1.5	50	-5	0.5	36	2.5044876	91.193829	1	50	-3	1.5	30	3.3272536	82.561397
1.5	100	-5	0.5	36	4.527742	87.033183	1	100	-3	1.5	30	5.5135844	79.323036
1.5	150	-5	0.5	36	6.156821	84.931262	1	150	-3	1.5	30	7.2739689	77.587675
0.5	50	-2.025	1	24	3.9743181	72.763286	1	50	-4	1.5	30	3.0202768	83.19333
0.5	100	-2.025	1	24	6.2349527	71.272173	1	100	-4	1.5	30	5.0515086	79.877236

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

0.5	150	-2.025	1	24	8.0551651	70.441826	1	150	-4	1.5	30	6.6870109	78.111556
0.5	50	-3	1	24	3.5095815	73.182209	1	50	-5	1.5	30	2.8298072	83.620654
0.5	100	-3	1	24	5.5354095	71.662321	1	100	-5	1.5	30	4.7648049	80.248822
0.5	150	-3	1	24	7.1665609	70.819162	1	150	-5	1.5	30	6.3228216	78.461726
0.5	50	-4	1	24	3.2251405	73.468725	1	50	-2.025	1.5	36	3.8288104	86.241706
0.5	100	-4	1	24	5.1072556	71.927827	1	100	-2.025	1.5	36	6.2685511	82.929885
0.5	150	-4	1	24	6.6226926	71.075445	1	150	-2.025	1.5	36	8.2329757	81.140221
0.5	50	-5	1	24	3.0486537	73.660304	1	50	-3	1.5	36	3.3272536	87.202996
0.5	100	-5	1	24	4.8415994	72.104711	1	100	-3	1.5	36	5.5135844	83.782575
0.5	150	-5	1	24	6.2852391	71.245938	1	150	-3	1.5	36	7.2739689	81.949652
0.5	50	-2.025	1	30	3.9743181	77.801023	1	50	-4	1.5	36	3.0202768	87.870456
0.5	100	-2.025	1	30	6.2349527	76.206673	1	100	-4	1.5	36	5.0515086	84.367932
0.5	150	-2.025	1	30	8.0551651	75.318837	1	150	-4	1.5	36	6.6870109	82.502985
0.5	50	-3	1	30	3.5095815	78.24895	1	50	-5	1.5	36	2.8298072	88.321805
0.5	100	-3	1	30	5.5354095	76.623833	1	100	-5	1.5	36	4.7648049	84.760408
0.5	150	-3	1	30	7.1665609	75.722299	1	150	-5	1.5	36	6.3228216	82.872842
0.5	50	-4	1	30	3.2251405	78.555303	1.5	50	-2.025	1.5	24	3.549056	81.310332
0.5	100	-4	1	30	5.1072556	76.907722	1.5	100	-2.025	1.5	24	6.1000752	77.889795
0.5	150	-4	1	30	6.6226926	75.996325	1.5	150	-2.025	1.5	24	8.1540986	76.102175
0.5	50	-5	1	30	3.0486537	78.760146	1.5	50	-3	1.5	24	3.0246229	82.341568
0.5	100	-5	1	30	4.8415994	77.096851	1.5	100	-3	1.5	24	5.3106738	78.754443
0.5	150	-5	1	30	6.2852391	76.178622	1.5	150	-3	1.5	24	7.1513509	76.906572
0.5	50	-2.025	1	36	3.9743181	82.174994	1.5	50	-4	1.5	24	2.7036447	83.071032
0.5	100	-2.025	1	36	6.2349527	80.49101	1.5	100	-4	1.5	24	4.8275224	79.353765
0.5	150	-2.025	1	36	8.0551651	79.55326	1.5	150	-4	1.5	24	6.5376212	77.460277
0.5	50	-3	1	36	3.5095815	82.648104	1.5	50	-5	1.5	24	2.5044876	83.571389
0.5	100	-3	1	36	5.5354095	80.931622	1.5	100	-5	1.5	24	4.527742	79.758511
0.5	150	-3	1	36	7.1665609	79.979404	1.5	150	-5	1.5	24	6.156821	77.832279
0.5	50	-4	1	36	3.2251405	82.971679	1.5	50	-2.025	1.5	30	3.549056	86.93982
0.5	100	-4	1	36	5.1072556	81.231472	1.5	100	-2.025	1.5	30	6.1000752	83.282464
0.5	150	-4	1	36	6.6226926	80.268836	1.5	150	-2.025	1.5	30	8.1540986	81.371078
0.5	50	-5	1	36	3.0486537	83.188039	1.5	50	-3	1.5	30	3.0246229	88.042454
0.5	100	-5	1	36	4.8415994	81.431234	1.5	100	-3	1.5	30	5.3106738	84.206975
0.5	150	-5	1	36	6.2852391	80.461382	1.5	150	-3	1.5	30	7.1513509	82.231168
1	50	-2.025	1	24	3.8288104	75.24605	1.5	50	-4	1.5	30	2.7036447	88.822422
1	100	-2.025	1	24	6.2685511	72.356479	1.5	100	-4	1.5	30	4.8275224	84.847791
1	150	-2.025	1	24	8.2329757	70.794994	1.5	150	-4	1.5	30	6.5376212	82.823208
1	50	-3	1	24	3.3272536	76.084777	1.5	50	-5	1.5	30	2.5044876	89.357421
1	100	-3	1	24	5.5135844	73.100453	1.5	100	-5	1.5	30	4.527742	85.280559
1	150	-3	1	24	7.2739689	71.501224	1.5	150	-5	1.5	30	6.156821	83.220966
1	50	-4	1	24	3.0202768	76.667137	1.5	50	-2.025	1.5	36	3.549056	91.827574
1	100	-4	1	24	5.0515086	73.611178	1.5	100	-2.025	1.5	36	6.1000752	87.964601
1	150	-4	1	24	6.6870109	71.984008	1.5	150	-2.025	1.5	36	8.1540986	85.945758
1	50	-5	1	24	2.8298072	77.06094	1.5	50	-3	1.5	36	3.0246229	92.992198

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

1	100	-5	1	24	4.7648049	73.953614	1.5	100	-3	1.5	36	5.3106738	88.941088
1	150	-5	1	24	6.3228216	72.306709	1.5	150	-3	1.5	36	7.1513509	86.854202
1	50	-2.025	1	30	3.8288104	80.45568	1.5	50	-4	1.5	36	2.7036447	93.816016
1	100	-2.025	1	30	6.2685511	77.366051	1.5	100	-4	1.5	36	4.8275224	89.617931
1	150	-2.025	1	30	8.2329757	75.696457	1.5	150	-4	1.5	36	6.5376212	87.479526
1	50	-3	1	30	3.3272536	81.352476	1.5	50	-5	1.5	36	2.5044876	94.381093
1	100	-3	1	30	5.5135844	78.161533	1.5	100	-5	1.5	36	4.527742	90.07503
1	150	-3	1	30	7.2739689	76.451583	1.5	150	-5	1.5	36	6.156821	87.899646