



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διερεύνηση Γεωμετρικών Παραμέτρων ως προς τη Δυνατότητα
Ικανοποιητικής Απορροής Ομβρίων

Μαλβίνα Μπουζέτου
Επιβλέπων: Στέργιος Μαυρομάτης, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Αθήνα, Νοέμβριος 2023

Ευχαριστίες

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Στέργιο Μαυρομάτη, Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, ο οποίος μου ανέθεσε ένα τόσο ενδιαφέρον και επίκαιρο θέμα. Η καθοδήγησή και η στήριξή του κρίθηκαν απαραίτητα εφόδια για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Τον ευχαριστώ επίσης για τις γνώσεις που μου προσέφερε μέσα από την διδασκαλία του, καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου, καθώς και το κίνητρο που μου έδωσε να ασχοληθώ με την οδοποιία.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που στάθηκε δίπλα μου σε όλες τις όμορφες και δύσκολες στιγμές, σε όλη την ακαδημαϊκή μου πορεία στη σχολή, αλλά και στα χρόνια που προηγήθηκαν αυτής. Τέλος, ευχαριστώ τους φίλους μου που ήταν κοντά μου, και με τους οποίους βιώσαμε αξέχαστες εμπειρίες κατά την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

Περίληψη

Διερεύνηση Γεωμετρικών Παραμέτρων ως προς τη Δυνατότητα Ικανοποιητικής Απορροής Ομβρίων

Μαλβίνα Μπουζέτου

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

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η **διερεύνηση των Γεωμετρικών Παραμέτρων ως προς τη Δυνατότητα Ικανοποιητικής Απορροής Ομβρίων**. Η διερεύνηση αυτή πραγματοποιήθηκε για την αριστερή λωρίδα οδού δύο λωρίδων με ενιαίο οδόστρωμα, σε δεξιόστροφη καμπύλη σύμφωνα με τους κανονισμούς **ΟΜΟΕ-Χ**. Βασικός στόχος ήταν να υπολογιστεί η τιμή **σύνθετης κλίσης** p σε κάθε σημείο της επιφάνειας του οδοστρώματος για τις διάφορες περιπτώσεις γεωμετρικών χαρακτηριστικών που εξετάστηκαν. Κατασκευάστηκε λοιπόν κώδικας σε περιβάλλον **MATLAB** μέσω του οποίου εξετάσθηκαν συνολικά **3402 σενάρια**. Μέσω αυτών, παράχθηκαν θερμικά διαγράμματα όπου γίνεται η απεικόνιση της τιμής της σύνθετης κλίσης με διαφορετικό χρώμα σε κάθε σημείο πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Τα αποτελέσματα της έρευνας παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την εύρεση των κατάλληλων συνδυασμών γεωμετρικών χαρακτηριστικών που συμβάλλουν στην Ικανοποιητική απορροή των ομβρίων από την επιφάνεια του οδοστρώματος στις κρίσιμες περιοχές και συνεπώς στην αποφυγή φαινομένων υδρολίσθησης.

Λέξεις κλειδιά: απορροή ομβρίων, σχεδιασμός, χάραξη, υδρολίσθηση, σύνθετη κλίση

Abstract

Parametric Investigation for the Acceptable Rainwater Runoff from a Road Pavement

Malvina Bouzetou

Supervisor: Stergios Mavromatis, Associate Professor NTUA

The main aim of this thesis is to **investigate the Geometric Parameters which contribute to the Acceptable Rainwater Runoff from a Road Pavement**. This investigation was carried out for the left lane of a two-lane road with a single road surface, on a right-hand curve according to the OMOE-X guidelines. The value of the **resultant slope** p was calculated at each point of the road surface for the different cases of geometric characteristics considered. A code was constructed in MATLAB environment through which a total of 3402 scenarios were examined. Through these, thermal diagrams were generated where the value of the resultant slope is plotted in different colours at each point on the pavement surface. The results of this study provide useful information in finding the appropriate combinations of geometric features that contribute to the acceptable runoff of rainwater from the pavement surface in critical areas and thus avoiding hydroplaning.

Key words: rainwater runoff, design, road surveying, hydroplaning, resultant slope

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενική Ανασκόπηση	1
1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας	2
1.3 Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας.....	2
1.4 Συμπεράσματα – Περαιτέρω Έρευνα.....	3
1.5 Δομή Διπλωματικής Εργασίας.....	4
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	7
2.1 Βασικές Παράμετροι	7
2.1.1 Κατηγορίες οδών	7
2.1.2 Ομάδες Οδών	7
2.1.3 Καθοριστικές Ταχύτητες.....	8
2.1.3.1 Επιτρεπόμενη ταχύτητα (V _{επιτρ})	9
2.1.3.2 Ταχύτητα μελέτης (V _e)	9
2.1.3.3 Λειτουργική ταχύτητα V ₈₅	9
2.1.4 Τόξο Συναρμογής	10
2.1.5 Κατά μήκος κλίση	11
2.1.6 Επίκλιση	11
2.2 Οδηγίες	12
2.2.1 Γερμανικές Οδηγίες RAA, 2008 [5].....	12
2.2.1.1 Επικλίσεις	12
2.2.1.2 Μεταβολή επίκλισης	13
2.2.1.3 Πρόσθετη κλίση οριογραμμής (Δs)	14
2.2.1.4 Κατά μήκος κλίση (s)	14
2.2.1.5 Σύνθετη κλίση (p)	15
2.2.2 Γερμανικές Οδηγίες RAL, 2012 [6].....	15
2.2.2.1 Επικλίσεις	15
2.2.2.2 Μεταβολή επίκλισης	16
2.2.2.3 Πρόσθετη κλίση οριογραμμής (Δs)	17
2.2.2.4 Κατά μήκος κλίση (s)	18
2.2.2.5 Σύνθετη κλίση (p)	18
2.2.3 AASHTO 2018.....	18
2.2.3.1 Επικλίσεις	18
2.2.3.2 Μεταβολή επίκλισης	19
2.2.3.3 Κατά μήκος κλίση (s)	20

2.2.3.4 Τρόποι περιστροφής οδοστρώματος κατά AASHTO	20
2.2.4 AUSTROADS [8], [9]	23
2.2.4.1 Επικλίσεις	23
2.2.4.2 Κατά μήκος κλίση (s)	25
2.2.4.3 Τρόποι περιστροφής οδοστρώματος κατά AUSTROADS	26
2.2.5 Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ)	27
2.2.5.1 Επικλίσεις	27
2.2.5.2 Μεταβολή επίκλισης	29
2.2.5.3 Πρόσθετη κλίση οριογραμμής (Δs)	29
2.2.5.4 Κατά μήκος κλίση (s)	30
2.2.5.5 Σύνθετη κλίση (p)	30
2.3 Συναφείς έρευνες	31
2.3.1 Διερεύνηση του προβλήματος της απορροής των ομβρίων σε κρίσιμες για την ασφάλεια περιοχές των οδικών χαράξεων. [12]	31
2.3.2 Parametric Investigation of Rainwater Runoff from Road Pavement with a Constant Longitudinal Slope [13]	33
2.4 Σύνοψη Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης	37
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	38
3.1 Μήκος προσαρμογής L_v κατά την μετάβαση από επίκλιση -2.50% σε +2.50%	38
3.2 Ενδιάμεσες τιμές επικλίσεων κατά το μήκος προσαρμογής L_v	39
3.3 Πρόσθετη κλίση οριογραμμής	39
3.4 Ελάχιστο και μέγιστο μήκος προσαρμογής επίκλισης	40
3.5 Σύνθετη κλίση p	42
3.6 Κλίση οριογραμμής σε απόσταση a από τον άξονα περιστροφής της οδού με λωρίδα κυκλοφορίας a	42
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	44
4.1 Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Οδού	44
4.2 Κατασκευή θερμικού διαγράμματος	44
4.2.1 Εύρεση τιμών μήκους προσαρμογής επίκλισης	46
4.2.2 Υπολογισμός ενδιάμεσων τιμών επικλίσεων στο μήκος προσαρμογής επίκλισης	47
4.2.3 Εύρεση πρόσθετης κλίσης οριογραμμής (Δs)	48
4.2.4 Προσδιορισμός σύνθετης κλίσης p	48
4.2.5 Αποτύπωση αποτελεσμάτων σε θερμικό διάγραμμα	49
4.3 Προσδιορισμός ποσοστού των τιμών της σύνθετης κλίσης κάτω του 0.5%	50
4.3.1 Εύρεση του ποσοστού των τιμών της σύνθετης κλίσης κάτω του 0.5%	51
4.3.2 Κατασκευή 1ου τεταρτημρίου διαγράμματος	51

4.3.3 Κατασκευή 2ου τεταρτημόριου διαγράμματος	53
4.4 Επαλήθευση της επιφάνειας εντός της λωρίδας του οδοστρώματος όπου $p \leq 0.5\%$	57
4.5 Τρόπος χρήσης των διαγραμμάτων	62
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ	66
5.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων	66
5.2 Συμπεράσματα	67
5.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα	70
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	73
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	74

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 2-1. Παραδείγματα οδών Ομάδας Α	8
--	---

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1-1. Διάγραμμα ροής διαδικασίας δημιουργίας των τελικών διαγραμμάτων.	4
Σχήμα 2-1. Μορφές επίκλισης σε ευθυγραμμία.....	11
Σχήμα 2-2. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα οδών κατά RAA, 2008.....	13
Σχήμα 2-3. Άξονες περιστροφής του οδοστρώματος κατά RAA, 2008.	14
Σχήμα 2-4. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα οδών κατά RAL, 2012. [6]	16
Σχήμα 2-5. Άξονες περιστροφής του οδοστρώματος κατά RAL, 2012. [6]	17
Σχήμα 2-6. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα, για αστικές περιοχές με χαμηλές ταχύτητες σχεδιασμού κατά AASHTO, 2018. [7]	19
Σχήμα 2-7. Άξονες περιστροφής του οδοστρώματος κατά AASHTO, 2018 [7]	21
Σχήμα 2-8. Στρογγύλευση κυρτωμάτων και κοιλωμάτων στην κορυφή της αλλαγής της επίκλισης. [7].....	23
Σχήμα 2-9. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα, για αστικές περιοχές με ταχύτητες σχεδιασμού $V \geq 80$ km/h και για υπεραστικές περιοχές για ταχύτητες σχεδιασμού $V \geq 90$ km/h, κατά AUSTROADS, 2021. [8]	24
Σχήμα 2-10. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα για υπεραστικές περιοχές για ταχύτητες σχεδιασμού $V < 80$ km/h, κατά AUSTROADS, 2021. [8].....	24
Σχήμα 2-11. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα για αστικές περιοχές για ταχύτητες σχεδιασμού $V < 90$ km/h, κατά AUSTROADS, 2021. [8].....	25
Σχήμα 2-12. Περιστροφή οδοστρώματος για οδούς δύο λωρίδων - διπλής κατεύθυνσης κατά AUSTROADS, 2021. [9].....	26
Σχήμα 2-13. Περιστροφή του οδοστρώματος για αστικές οδούς με διαχωρισμένα οδοστρώματα κατά AUSTROADS, 2021. [9]	27
Σχήμα 2-14. Περιστροφή του οδοστρώματος για υπεραστικές οδούς με διαχωρισμένα οδοστρώματα κατά AUSTROADS, 2021. [9]	27
Σχήμα 2-15. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε καμπύλες υπεραστικών οδών ΟΜΑΔΑ ΟΔΩΝ Α – ΠΕΔΙΝΑ ΕΔΑΦΗ, ΟΜΟΕ-Χ, 2001. [10]	28
Σχήμα 2-16. . Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε καμπύλες υπεραστικών οδών ΟΜΑΔΑ ΟΔΩΝ Α – ΛΟΦΩΔΗ ΚΑΙ ΟΡΕΙΝΑ ΕΔΑΦΗ, ΟΜΟΕ-Χ, 2001. [10]	28
Σχήμα 2-17. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε καμπύλες ημιαστικών οδών ΟΜΑΔΑ ΟΔΩΝ Β, ΟΜΟΕ-Χ, 2001. [10].....	28
Σχήμα 2-18. Άξονες περιστροφής του οδοστρώματος κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001. [10].....	29
Σχήμα 2-19. Εμβαδό της επιφάνειας οδοστρώματος με σύνθετη κλίση $\rho \leq \rho_0 = 0.5\%$ για τις διάφορες τιμές της κατά μήκος κλίσης $s\%$ και για $\Delta s = 0.75\%$	34
Σχήμα 2-20. Εμβαδό της επιφάνειας οδοστρώματος με σύνθετη κλίση $\rho \leq \rho_0 = 0.5\%$ ή $\rho \leq \rho_0 = 0.25\%$ για τις διάφορες τιμές της κατά μήκος κλίσης $s\%$ (για 5 διαφορετικές τιμές Δs και 7 διαφορετικές τιμές C)......	35
Σχήμα 2-21. Εμβαδό της επιφάνειας οδοστρώματος με σύνθετη κλίση $\rho \leq \rho_0 = 0.5\%$ ή $\rho \leq \rho_0 = 0.25\%$ για τις διάφορες τιμές της κατά μήκος κλίσης $s\%$ (για 5 διαφορετικές τιμές Δs και 4 διαφορετικές τιμές C).	36
Σχήμα 3-1. Γεωμετρική απεικόνιση του μήκους προσαρμογής L_v κατά την μετάβαση από επίκλιση -2.50% σε $+2.50\%$	38
Σχήμα 3-2. Γεωμετρική απεικόνιση εύρεσης της τιμής της επίκλισης $e_x\%$, σε απόσταση x από την αρχή του τόξου συναρμογής.....	39

Σχήμα 3-3. Μετάβαση από αμφικλινές οδόστρωμα στην ευθυγραμμία σε καμπύλη μέσω τόξου συναρμογής ($\Delta s_1 \geq \Delta s_{min}$) [4].....	41
Σχήμα 3-4. Μετάβαση από αμφικλινές οδόστρωμα στην ευθυγραμμία σε καμπύλη μέσω τόξου συναρμογής, όπου $\Delta s_1 < \Delta s_{min}$ [4]	41
Σχήμα 3-5. Περιοχή ελέγχου ικανοποιητικής απορροής ομβρίων οδοστρώματος (απεικόνιση μόνο περιοχής εισόδου στο κυκλικό τόξο). [4]	43
Σχήμα 4-1. Διαδικασία κατασκευής θερμικού χάρτη τιμών σύνθετης κλίσης.	45
Σχήμα 4-2. Ενδεικτικό Θερμικό διάγραμμα για $R=200m$, $A=R/3$, $e_t=4.0\%$, $\alpha=3.25m$, $s=-0.5\%$	50
Σχήμα 4-3. Διάγραμμά επικλίσεων	52
Σχήμα 4-4. Κατασκευή καμπύλης $s = -0.7\%$, για $a = 3.25m$	54
Σχήμα 4-5. Διάγραμμα κατά μήκος κλίσεων (2ο τεταρτημόριο).	55
Σχήμα 4-6. Τελικό διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.25m$	55
Σχήμα 4-7. Τελικό διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.50m$	56
Σχήμα 4-8. Τελικό διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.75m$	56
Σχήμα 4-9. Γεωμετρική απεικόνιση εύρεσης της απόστασης r , για κλίση ίση με 0.5% ή -0.5%	59
Σχήμα 4-10. Επιφάνεια με μη ικανοποιητική αποστράγγιση ($p \leq 0.5\%$) για $R=200m$, $A=R/3$, $e_t=4.0\%$, $\alpha=3.25m$, $s=-0.5\%$	60
Σχήμα 4-11. Διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.50m$	61
Σχήμα 4-12. Διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.25m$	61
Σχήμα 4-13. Διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.75m$	62
Σχήμα 4-14. Τρόπος ανάγνωσης του διαγράμματος και εύρεση του ποσοστού.	63
Σχήμα 5-1. Σύγκριση των 2 διαγραμμάτων για ποσοστά που προέκυψαν από την πρώτη μέθοδο (αριστερά) με αυτά που προέκυψαν από την δεύτερη (δεξιά) για $\alpha = 3.75m$	68
Σχήμα 5-2. Διάγραμμα εύρεσης ποσοστού των τιμών της σύνθετης κλίσης όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha=3.25m$ και $R=400m$	69

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 2-1. Ομάδες Οδών κατά ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ, 2001 [11]	8
Πίνακας 2-2. Οριακές τιμές πρόσθετης κλίσης οριογραμμών Δs κατά RAA, 2008. [5].....	14
Πίνακας 2-3. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά RAA, 2008. [5]	15
Πίνακας 2-4. Οριακές τιμές πρόσθετης κλίσης οριογραμμών Δs κατά RAL, 2012. [6]	17
Πίνακας 2-5. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά RAL, 2012. [6].....	18
Πίνακας 2-6. Μέγιστες κατά μήκος τιμές κλίσεων σε υπεραστικές αρτηρίες κατά AASHTO, 2018. [7]	20
Πίνακας 2-7. Τυπικές επικλίσεις σε ευθυγραμμίες κατά AUSTROADS, 2021. [8]	23
Πίνακας 2-8. Μέγιστες επικλίσεις για διάφορους τύπους οδών κατά AUSTROADS, 2021. [8]	25
Πίνακας 2-9. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά AUSTROADS, 2021. [8]	25
Πίνακας 2-10. Ελάχιστες κατά μήκος κλίσεις κατά AUSTROADS, 2021. [8]	26
Πίνακας 2-11. Οριακές τιμές πρόσθετης κλίσης οριογραμμών Δs. Ομάδες Α και Β κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001.[10].....	30
Πίνακας 2-12. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001. [10]	30
Πίνακας 2-13. Εμβαδό της επιφάνειας του οδοστρώματος με σύνθετη κλίση $\rho \leq \rho_0 = 0.5\%$	34
Πίνακας 4-1. Τιμές L_{vmin} για τις διάφορες τιμές ταχύτητας μελέτης V_e	46
Πίνακας 4-2. Αποχρώσεις θερμικού διαγράμματος.....	49

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική Ανασκόπηση

Το νερό είναι πολύ σημαντικό για όλη τη ζωή στη γη, μπορεί όμως να προκαλέσει καταστροφές μέσω της διάβρωσης και των πλημμυρών. Τα φαινόμενα αυτά, απαντώνται κυρίως σε αστικές περιοχές ως αποτέλεσμα της ανάπτυξης των υποδομών. Το νερό πρέπει να απομακρύνεται από την επιφάνεια του οδοστρώματος και να διοχετεύεται με ασφάλεια σε ποτάμια ή κανάλια εκροής ώστε να αποφευχθούν οι ζημιές που μπορεί να προκληθούν στην οδό και σε προέκταση στις γειτονικές υποδομές. Επιπλέον, η παροχή επαρκούς αποστράγγισης στις αστικές περιοχές έχει αποδειχθεί ως απαραίτητο στοιχείο για τη διατήρηση της υγείας, της ασφάλειας, της ευημερίας και της καλής οικονομίας των κατοίκων της περιοχής.

Η αποστράγγιση των ομβρίων στην επιφάνεια του οδοστρώματος είναι πολύ σημαντική στο σχεδιασμό των οδών, καθώς εκτός από τη λειτουργικότητα του δρόμου επηρεάζει και τη διάρκεια ζωής του. Υπάρχουν δύο κύρια συστήματα αποστράγγισης οδών, η επιφανειακή αποστράγγιση και η υπόγεια αποστράγγιση. Η επιφανειακή αφορά τον σωστό γεωμετρικό σχεδιασμό του οδοστρώματος, όπου με την εφαρμογή των κατάλληλων εγκάρσιων και διαμηκών κλίσεων, επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των υδάτων. Η υπόγεια, αφορά τον κατάλληλο σχεδιασμό συστήματος αποχέτευσης ο οποίος πρέπει να περιλαμβάνει την παροχή εγκαταστάσεων που συλλέγουν και μεταφέρουν τα ύδατα από το οδόστρωμα. Τα συστήματα αυτά αποστράγγισης, είναι απαραίτητα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι ένα οδόστρωμα αποδίδει ικανοποιητικά.

Η μη ικανοποιητική αποστράγγιση δημιουργεί σοβαρές προκλήσεις στις αστικές και προαστιακές περιοχές παγκοσμίως. Τα προβλήματα κακής απορροής των ομβρίων μπορούν να προκαλέσουν πρώιμες δυσχέρειες και να οδηγήσουν σε δομικές ή λειτουργικές αστοχίες του οδοστρώματος, εάν δεν ληφθούν μέτρα αντιμετώπισης. Υπερβολική ποσότητα νερού στο οδόστρωμα μπορεί να προκαλέσει μία ή περισσότερες μορφές φθοράς του οδοστρώματος, όπως μείωση της αντοχής της υπόβασης και της βάσης/υπόβασης και απογύμνωση της ασφάλτου σε εύκαμπτα οδοστρώματα.

Στη συνέχεια το πρόβλημα επεκτείνεται και στους οδηγούς, μιας και ο κίνδυνος υδρόλυσθης και συνεπώς ενός ατυχήματος είναι αυξημένος σε οδοστρώματα που στην επιφάνειά τους δημιουργούνται λιμνάζοντα όμβρια. Τα τροχαία ατυχήματα που προκαλούνται από βρεγμένο οδόστρωμα αντιπροσωπεύουν περίπου το 70%

όλων των τροχαίων ατυχημάτων που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες. Αυτό ανέρχεται σε περισσότερα από 900.000 συνολικά αυτοκινητιστικά ατυχήματα που προκαλούνται από βρεγμένο οδόστρωμα και σχεδόν 4.500 θανάτους τον χρόνο.

Έτσι, ένα σύστημα αποστράγγισης που αποτελείται τόσο από τον σωστό σχεδιασμό του οδοστρώματος όσο και από ένα ικανοποιητικό σύστημα διαχείρισης του νερού (αποχέτευση) πρέπει να σχεδιάζεται, να κατασκευάζεται και να συντηρείται σωστά.

1.2 Στόχος Διπλωματικής Εργασίας

Έχοντας λάβει υπόψη τις παραπάνω αναφορές, κατανοείται η αναγκαιότητα της σωστής χάραξης των οδών, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η γρήγορη και εύκολη απομάκρυνση των υδάτων. Παρόλο που οι διατάξεις (όπως αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2 της Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης), καλύπτουν πλήρως το κομμάτι αυτό θεωρητικά ως απαίτηση, σε ερευνητικό επίπεδο υπάρχει ένα κενό αναφορικά με την παροχή πιο αναλυτικών οδηγιών ως προς κρίσιμους συνδυασμούς γεωμετρικών παραμέτρων που πρέπει να αποφεύγονται. Στόχος λοιπόν της Διπλωματικής Εργασίας είναι η κάλυψη αυτού του κενού, μέσω της διερεύνησης της απορροής των ομβρίων σε κρίσιμες περιοχές της επιφάνειας του οδοστρώματος. Η διερεύνηση γίνεται για όλους τους κρίσιμους πιθανούς συνδυασμούς των γεωμετρικών χαρακτηριστικών που είναι απαραίτητα στον σωστό σχεδιασμό μιας οδού, για την αποφυγή δημιουργίας λιμναζόντων ομβρίων στην επιφάνεια του οδοστρώματος και κατά συνέπεια φαινομένων υδρολίσθησης.

1.3 Μεθοδολογία Διπλωματικής Εργασίας

Στην ενότητα της μεθοδολογίας αναλύεται ο τρόπος με τον οποίο επιτεύχθηκε ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας.. Αρχικά παρατίθεται η απαραίτητη βιβλιογραφική ανασκόπηση σε οδηγίες αλλά και σε συναφείς έρευνες οι οποίες θα συμβάλλουν στον καθορισμό του θεωρητικού υποβάθρου.

Στην συνέχεια, επιλέχθηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά με τα οποία έγινε η προσέγγιση της διερεύνησης που πραγματοποιήθηκε. Τα μεγέθη που εξετάστηκαν είναι:

- Ταχύτητα μελέτης V_e
- Ακτίνα καμπύλης R
- Παράμετρος κλωθοειδούς A
- Επίκλιση στο πέρας του τόξου συναρμογής e_t

- Εύρος λωρίδας κυκλοφορίας α
- Κατά μήκος κλίση s

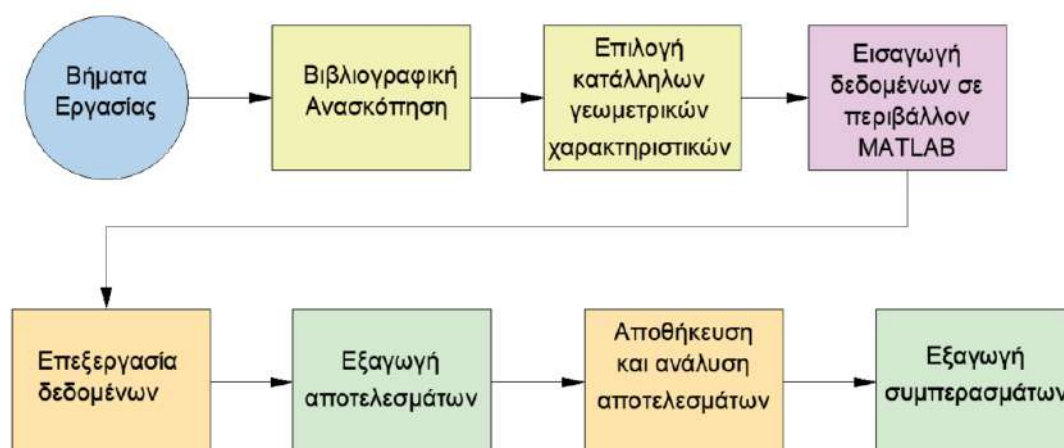
Κατασκευάστηκε κώδικας σε περιβάλλον MATLAB, με τον οποίο πραγματοποιούνται εμφωλευμένοι βρόγχοι επανάληψης, έτσι ώστε να εξεταστούν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των παραπάνω μεγεθών, οι τιμές των οποίων καθορίστηκαν από τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές που ορίζουν οι διατάξεις των εθνικών οδηγιών σχεδιασμού οδών ΟΜΟΕ-Χ.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία θερμικών διαγράμμάτων, στα οποία αποτυπώνεται η επιφάνεια του οδοστρώματος και υποδεικνύονται περιοχές με ικανοποιητική ή μη αποστράγγιση των ομβρίων. Κατασκευάστηκαν επίσης διαγράμματα, τα οποία, ουσιαστικά, με δεδομένα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν, μπορούν να προβλέψουν εάν στην επιφάνεια του οδοστρώματος θα γίνεται η απομάκρυνση των υδάτων ή αν θα δημιουργούνται περιοχές με λιμνάζοντα όμβρια, σύμφωνα με τα χαμηλά ή υψηλά ποσοστά, τιμών της οριακής συνθέτης κλίσης που προσδιορίστηκε για κάθε εξετασθείσα επιφάνεια οδοστρώματος.

1.4 Συμπεράσματα – Περαιτέρω Έρευνα

Μετά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, ακολουθήσε η ερμηνεία τους και στη συνέχεια διατυπώθηκαν τα σχετικά συμπεράσματα, για το πώς και αν κάθε παράμετρος που εξετάστηκε επηρεάζει την απορροή των ομβρίων στην επιφάνεια του οδοστρώματος.

Συνεπώς, προέκυψαν σημαντικές πληροφορίες για το πρόβλημα το οποίο διερευνά η παρούσα Διπλωματική Εργασία και διατυπώθηκαν αξιόλογες προτάσεις για περαιτέρω έρευνα πάνω σε αυτό.



Σχήμα 1-1. Διάγραμμα ροής διαδικασίας δημιουργίας των τελικών διαγραμμάτων.

1.5 Δομή Διπλωματικής Εργασίας

Αφού αναλύθηκε και η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την εκπόνηση της Διπλωματικής Εργασίας, στη συνέχεια θα οριστεί η δομή της. Παρακάτω, περιγράφονται συνοπτικά τα κεφάλαια από τα οποία αποτελείται η εργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας. Αρχικά, παρουσιάζεται συνοπτικά η αναγκαιότητα της καλής αποστράγγισης των οδοστρωμάτων και τα προβλήματα που προκαλούνται όταν αυτό δεν πραγματοποιείται με σωστό τρόπο. Έπειτα, αναφέρεται ο στόχος της Διπλωματικής Εργασίας, ο οποίος είναι η διερεύνηση της απορροής των ομβρίων σε κρίσιμες περιοχές της επιφάνειας του οδοστρώματος. Ακολουθεί συνοπτικά η μεθοδολογία βάσει της οποίας προσεγγίστηκε το ζήτημα της απορροής ομβρίων και τα βασικά συμπεράσματα που εξήχθησαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Το θέμα του 2^{ου} κεφαλαίου αναφέρεται στην ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε σε διατάξεις και κανονισμούς (Γερμανικές Οδηγίες RAA, 2008 και RAL, 2012, AASHTO, AUSTRROADS, ΟΜΟΕ-Χ). Από όλες τις προαναφερθέντες οδηγίες, συλλέχθηκαν και παρουσιάστηκαν όλοι οι κανονισμοί που αφορούσαν την απορροή των ομβρίων και την καλή αποστράγγιση της επιφάνειας του οδοστρώματος. Προστέθηκαν συναφείς

έρευνες, οι οποίες συσχετίζονται άμεσα με το θέμα και τον στόχο της Διπλωματικής Εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται οι μαθηματικές εξισώσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εργασίας, όπως αυτές δίνονται από τις οδηγίες του ΟΜΟΕ-Χ (οι οδηγίες στις οποίες βασίστηκαν όλοι οι υπολογισμοί που έγιναν) ή όπως αυτές προέκυψαν με την χρήση της γεωμετρίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο 4^ο κεφάλαιο αναφέρονται αρχικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού που θα εξεταστούν και στη συνέχεια δίνονται τιμές, σύμφωνα με αυτές που προτείνονται από τις οδηγίες του ΟΜΟΕ-Χ. Τα μεγέθη αυτά επεξεργάζονται μέσω κώδικα ο οποίος κατασκευάστηκε σε περιβάλλον MATLAB, και μέσω αλληπάλληλων επαναλήψεων, προκύπτουν τα τελικά αποτελέσματα. Κατασκευάζονται επίσης, θερμικά διαγράμματα, τα οποία αποτυπώνουν την επιφάνεια του οδοστρώματος όπου και απεικονίζεται η τιμή της σύνθετης κλίσης η με κατάλληλους χρωματικούς συνδυασμούς. Τέλος, με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, δημιουργήθηκαν διαγράμματα, έτσι ώστε με κατάλληλα στοιχεία εισαγωγής, να υπολογίζεται ως ποσοστιαία επιφάνεια επί της δυνητικά κρίσιμης, το εύρος των τιμών της σύνθετης κλίσης το οποίο είναι κάτω από το επιθυμητό, ώστε να επιτυγχάνεται καλή απορροή των ομβρίων ($p\% \leq 0.5\%$).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Στο κεφάλαιο αυτό συγκεντρώνονται όλα τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει και γίνεται η επεξήγηση τους. Έτσι, εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα της διερεύνησης που πραγματοποιήθηκε κατά την εκπόνηση της εργασίας. Τέλος προστίθενται ενδιαφέρουσες συναφείς προτάσεις ή διαφορετικές προσεγγίσεις για περαιτέρω έρευνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει έναν κατάλογο με τις βιβλιογραφικές αναφορές, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της συγγραφής της Διπλωματικής Εργασίας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει ενδεικτικά κάποια από τα θερμικά διαγράμματα που προέκυψαν για ορισμένα σενάρια.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Στην παρούσα ενότητα εξετάστηκαν οι διάφοροι κανονισμοί (Γερμανικές οδηγίες RAA, 2008, RAL, 2012, AASHTO, 2018, AUSTROADS και ΟΜΟΕ-Χ) και συγκεκριμένα τα σημεία τους τα οποία αναφέρονται στο θέμα της Διπλωματικής Εργασίας. Παράλληλα, αποσαφηνίστηκαν βασικές παράμετροι, οι οποίες ήταν άμεσα συσχετισμένες με το θέμα και συνέβαλαν στην εκπόνηση της εργασίας. Τέλος, έγινε αναζήτηση για συναφείς με το αντικείμενο έρευνες, αν και αξίζει να σημειωθεί το ερευνητικό κενό που υπάρχει όσον αφορά τον σωστό σχεδιασμό μιας οδού ώστε να επιτυγχάνεται καλή αποστράγγιση του οδοστρώματος.

2.1 Βασικές Παράμετροι

2.1.1 Κατηγορίες οδών

Η διαμόρφωση ενός οδικού δικτύου προϋποθέτει τον προσδιορισμό ή ορισμό των κατηγοριών των οδών, που είναι καθοριστικές για το σχεδιασμό και τη χρήση τους. Σε ένα τυπικό υπεραστικό οδικό δίκτυο οι εξής ομάδες οδών:

- **Αρτηρίες**
Ομάδα οδών με υψηλά γεωμετρικά χαρακτηριστικά και υψηλές ταχύτητες που εξυπηρετούν πχ. μετακινήσεις μεταξύ πόλεων μεγάλου και μεσαίου μεγέθους
- **Συλλεκτήριες**
Ομάδα οδών με γεωμετρικά χαρακτηριστικά και στάθμες ταχυτήτων κατώτερες των αρτηριών που συνδέουν πχ. μικρές πόλεις μεταξύ τους είτε άμεσα είτε ή μέσω δικτύου αρτηριών
- **Τοπικές**
Ομάδα οδών με κύριο στόχο την εξυπηρέτηση τοπικών μετακινήσεων όπως πχ. αγροκτήματα και άλλες παρόδιες χρήσεις

2.1.2 Ομάδες Οδών

Ένα οδικό τμήμα κατατάσσεται σε μία ομάδα οδών με βάση τη θέση και τις απαιτήσεις των διαφόρων χρήσεων γης. Οι οδοί διακρίνονται κατά τμήματα με βάση τα επόμενα κριτήρια:

- Θέση εντός ή εκτός σχεδίου πόλης

- Δυνατότητα εξυπηρέτησης παρόδιων ιδιοκτησιών.
- Καθοριστικά λειτουργικά χαρακτηριστικά, αποτέλεσμα της στάθμισης των απαιτήσεων στη χρήση της οδού από τις τρεις λειτουργικές δυνατότητες: σύνδεση, πρόσβαση, παραμονή.

Με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά προκύπτουν πέντε ομάδες οδών Α έως Ε, όπως φαίνονται στον παρακάτω Πίνακα 2-1.

Πίνακας 2-1. Ομάδες Οδών κατά ΟΜΟΕ-ΛΚΟΔ, 2001 [11]

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

Στην διπλωματική εργασία εξετάζονται ομάδες οδών Α, οι οποίες περιλαμβάνουν οδούς (οδικά τμήματα) που διατρέχουν περιοχές εκτός σχεδίου (υπεραστικές), οι οποίες εξυπηρετούν κατ'αρχήν και κυρίως στη σύνδεση (Εικόνα 2-1). Η λειτουργία της πρόσβασης επιτρέπεται με περιορισμούς, ενώ η λειτουργία της παραμονής λαμβάνεται υπόψη μόνο σε ειδικές περιπτώσεις.



Εικόνα 2-1. Παραδείγματα οδών Ομάδας Α

2.1.3 Καθοριστικές Ταχύτητες

Υπάρχουν τρία είδη καθοριστικών ταχυτήτων, η επιτρεπόμενη ταχύτητα ($V_{\text{επιτρ}}$), η ταχύτητα μελέτης (V_e) και η λειτουργική ταχύτητα V_{85} . Οι ορισμοί δίνονται αναλυτικά παρακάτω:

2.1.3.1 Επιτρεπόμενη ταχύτητα ($V_{\text{επιτρ}}$)

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

2.1.3.2 Ταχύτητα μελέτης (V_e)

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

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

Με αυτόν τον τρόπο η ταχύτητα μελέτης επηρεάζει μεταξύ άλλων αποφασιστικά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά ενός οδικού τμήματος, ιδιαίτερα αυτών της ομάδας Α, το επίπεδο εξυπηρέτησης της οδού και την οικονομικότητα. Επομένως η ταχύτητα μελέτης V_e πρέπει να παραμένει σταθερή κατά το δυνατόν σε οδικά τμήματα μεγάλου μήκους, που αποτελούν χαρακτηριστικές ενότητες και αλληλοεξαρτώνται. Επιπλέον η ταχύτητα μελέτης χρησιμεύει στην αξιολόγηση μιας οδού από την άποψη της ενσωματωμένης στα χαρακτηριστικά της οδού ασφάλειας σύμφωνα με τα Κριτήρια Ασφαλείας I και III των κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ.

2.1.3.3 Λειτουργική ταχύτητα V_{85}

Η λειτουργική ταχύτητα V_{85} είναι ένα μέγεθος που χρησιμοποιείται στο γεωμετρικό υπολογισμό μεμονωμένων στοιχείων μελέτης της οριζοντιογραφίας, της μηκοτομής και της διατομής και έχει άμεση σχέση με τη δυναμική της κίνησης των οχημάτων. Στις οδούς της ομάδας Α η ταχύτητα V_{85} αντιστοιχεί στη ταχύτητα, με την οποία θα

κινηθεί ανεμπόδιστα το 85% των επιβατηγών οχημάτων σε καθαρό και υγρό οδόστρωμα. Στις οδούς της ομάδας Β η ταχύτητα V_{85} συνδέεται με τη μέγιστη επιτρεπόμενη ταχύτητα. Με την ταχύτητα V_{85} καθορίζονται:

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

Η ταχύτητα V_{85} μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού και χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ποιότητας σχεδιασμού των οδικών τμημάτων όσον αφορά την ασφάλεια, σύμφωνα με τα Κριτήρια Ασφάλειας Ι έως ΙΙΙ των κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ.

2.1.4 Τόξο Συναρμογής

Για την ομαλή μετάβαση από ευθυγραμμία ($R=\infty$) σε κυκλικό τόξο ακτίνας R χρειάζεται ένα τόξο συναρμογής. Η κλωθοειδής καμπύλη είναι ένας τύπος τόξου συναρμογής στην οποία η καμπυλότητα μεταβάλλεται γραμμικά με το μήκος του και εκφράζεται από την Σχέση [2-1].

$$A^2 = R \cdot L \quad [2-1]$$

όπου:

A [m] παράμετρος της κλωθοειδούς

R [m] ακτίνα καμπυλότητας στο πέρας του τμήματος της κλωθοειδούς.

L [m] μήκος του τόξου της κλωθοειδούς από την αρχή του ($R=\infty$) μέχρι την ακτίνα R

Οι οριακές τιμές που μπορεί να πάρει η παράμετρος κλωθοειδούς A είναι:

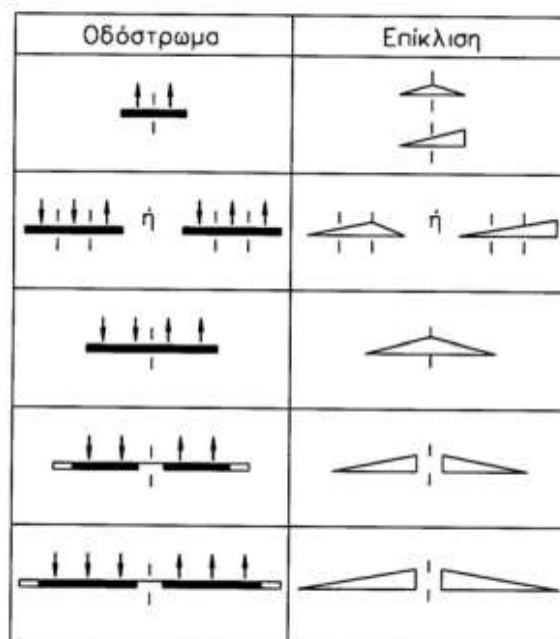
$$\frac{R}{3} \leq A \leq R \quad [2-2]$$

2.1.5 Κατά μήκος κλίση

Ως κατά μήκος κλίση ($s\%$) ορίζεται το πηλίκο της υψομετρικής διαφοράς δύο σημείων προς την διαφορά των χιλιομετρικών τους θέσεων (Χ.Θ.). Η κατά μήκος κλίση μπορεί να είναι είτε σταθερή είτε μεταβαλλόμενη. 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.

2.1.6 Επίκλιση

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 ευθύγραμμο όσο και σε καμπύλα τμήματα οδών για την καλή απορροή των ομβρίων. Αξίζει να σημειωθεί ότι στις οδούς με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας και μια λωρίδα κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση των ομάδων Α και Β εφαρμόζεται αμφικλινές οδόστρωμα. Όμως συνιστάται η διαμόρφωση μονοκλινούς οδοστρώματος εφόσον επιτυγχάνεται οικονομία στα έργα αποχέτευσης.



Σχήμα 2-1. Μορφές επίκλισης σε ευθυγραμμία

Σε οδούς της ομάδας Β με τέσσερις λωρίδες κυκλοφορίας χωρίς κεντρική νησίδα, το οδόστρωμα στην ευθυγραμμία διαμορφώνεται ως αμφικλινές. Σε οδούς όλων των ομάδων με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας, η κάθε επιφάνεια διαμορφώνεται ως μονοκλινής. Η απορροή των ομβρίων πραγματοποιείται κατά κανόνα μέσω της εξωτερικής λωρίδας (π.χ. Λ.Ε.Α.). Κατά την επιλογή της τιμής της επίκλισης λαμβάνεται υπόψη και η κυκλοφορία των φορτηγών (βαρέων οχημάτων), εφόσον κρίνεται σκόπιμο. Σε ευθύγραμμα τμήματα, η επίκλιση εξυπηρετεί την απορροή των ομβρίων και η τιμή της εξαρτάται κυρίως από βροχομετρικά στοιχεία της περιοχής μελέτης. Μπορεί να έχει μονοκλινή ή αμφικλινή διαμόρφωση. Κατά κανόνα, σε οδούς δύο λωρίδων και άνω ανά κατεύθυνση, επιλέγεται αμφικλινής διαμόρφωση επικλίσεων. Σε καμπύλα τμήματα, 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 μονοκλινής διαμόρφωση επικλίσεων και κατά κανόνα (εξαρτάται από τη δυνατότητα απορροής ομβρίων), στις περιπτώσεις οδών με διαχωρισμένες επιφάνειες κυκλοφορίας.

Η μεταβολή της επίκλισης του οδοστρώματος λαμβάνει χώρα κατά μήκος ενός τμήματος προσαρμογής (συνήθως τόξο συναρμογής). Κατά μήκος του τμήματος αυτού η επιφάνεια του οδοστρώματος περιστρέφεται γύρω από καθορισμένο άξονα και οι οριογραμμές του ανέρχονται ή κατέρχονται.

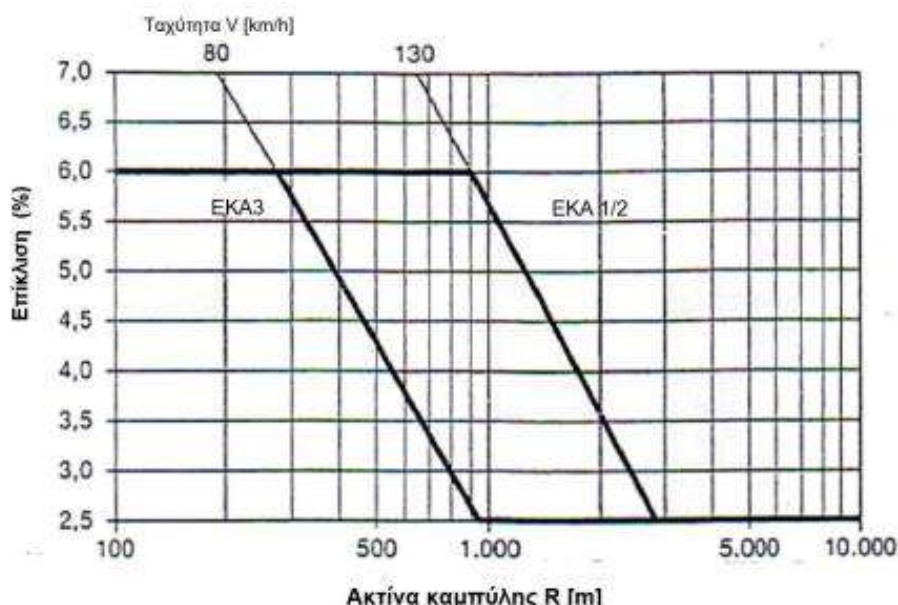
2.2 Οδηγίες

2.2.1 Γερμανικές Οδηγίες RAA, 2008 [5]

2.2.1.1 Επικλίσεις

Σύμφωνα με τις Γερμανικές οδηγίες για αυτοκινητόδρομους RAA, 2008, στις ευθυγραμμίες, τα οδοστρώματα σχεδιάζονται με μονοκλινή επίκλιση e , τουλάχιστον 2.5% προς το την εξωτερική οριογραμμή.

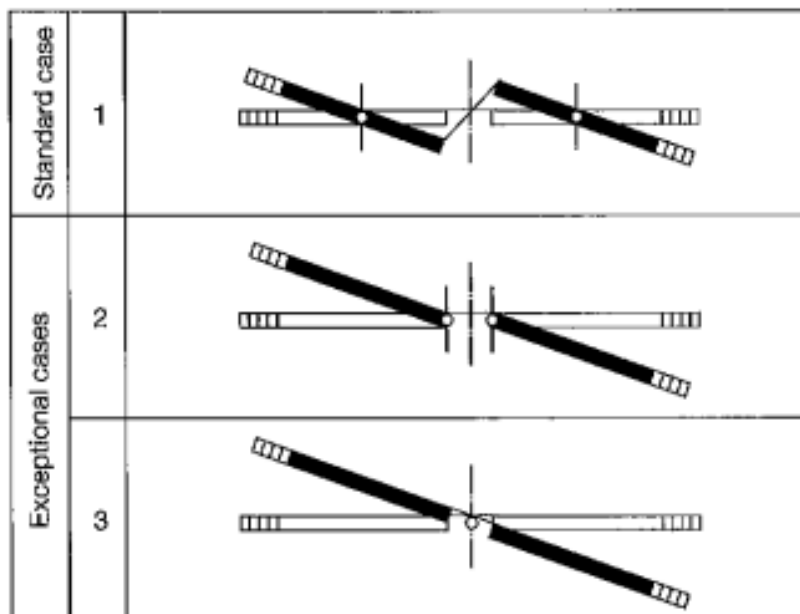
Κατά το σχεδιασμό πρόσθετων λωρίδων, (λωρίδες επιτάχυνσης, επιβράδυνσης, κλπ), θα πρέπει να σχεδιάζεται η ίδια επίκλιση με το κυρίως οδόστρωμα. Σε κυκλικό τόξο, η επίκλιση μπορεί να πάρει τιμές από 2.5% έως 6.0%, προς το εσωτερικό της καμπύλης, αν και σε εξαιρετικές περιπτώσεις όπως π.χ. όταν η ακτίνα είναι μικρότερη από την ελάχιστη ακτίνα, η επίκλιση μπορεί να φτάσει έως και 7.0%. (Σχήμα 2-2). Σε γέφυρες η μέγιστη τιμή επίκλισης περιορίζεται στο 5.0%



Σχήμα 2-2. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα οδών κατά RAA, 2008

2.2.1.2 Μεταβολή επίκλισης

Η μεταβολή της επίκλισης σε καμπύλη γίνεται με δύο τρόπους, σύμφωνα με την ύπαρξη ή μη, τόξου συναρμογής. Ο πιο συνηθισμένος είναι κατά το μήκος στο οποίο η επίκλιση μεταβάλλεται, τα άκρα του του οδοστρώματος να υπερυψώνονται και το οδόστρωμα να περιστρέφεται γύρω από έναν ορισμένο "άξονα αναφοράς". Η μεταβολή (ή η περιστροφή του οδοστρώματος) πραγματοποιείται γενικά εντός του τόξου συναρμογής (κλωθοειδής), ανεξάρτητα από τον άξονα γύρω από τον οποίο περιστρέφεται το οδόστρωμα. Σε πιο σπάνιες περιπτώσεις, όταν το τόξο συναρμογής απουσιάζει, η επίκλιση μεταβάλλεται ως εξής: η μισή μεταβολή λαμβάνει χώρα στο τμήμα της ευθυγραμμίας και η άλλη μισή στο κυκλικό τόξο. Στους αυτοκινητόδρομους οι οποίοι συνίστανται από διαφορετική γεωμετρία ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας (κλάδοι), η επίκλιση μεταβάλλεται γενικά περιστρέφοντας το οδόστρωμα γύρω από άξονα ο οποίος βρίσκεται στην εξωτερική οριογραμμή της λωρίδας προσπέρασης (Σχήμα 2-3, περίπτωση 1). Σε ειδικές περιπτώσεις, όπως π.χ. σε σήραγγες ή σε περιπτώσεις όπου η ορατότητα μειώνεται, τα οδοστρώματα μπορούν να περιστραφούν γύρω από τα άκρα του οδοστρώματος. (Σχήμα 2-3, περίπτωση 2).



Σχήμα 2-3. Άξονες περιστροφής του οδοστρώματος κατά RAA, 2008.

2.2.1.3 Πρόσθετη κλίση οριογραμμής (Δs)

Για να αποφευχθεί η απότομη αύξηση της επίκλισης, η μέγιστη τιμή της πρόσθετης κλίσης οριογραμμής ($\Delta s_{\max}$) δεν πρέπει να ξεπερνάει τις τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 2-2. Αντίστοιχα, για να εξαλειφθούν περιοχές με κακή απορροή ομβρίων, στον Πίνακα 2-2 φαίνονται οι ελάχιστες τιμές πρόσθετης κλίσης οριογραμμής ($\Delta s_{\min}$), σε περιοχές όπου η επίκλιση μεταβάλλεται από $e_{\min}$ (+2.5%) σε $e_{\min}$ (-2.5%), μέσω 0%.

Πίνακας 2-2. Οριακές τιμές πρόσθετης κλίσης οριογραμμών Δs κατά RAA, 2008. [5]

Κλάση Οδού	$\Delta s_{\min}$ [%] q ≤ 2.5%	$\Delta s_{\max}$ [%] a < 4.00 m	$\Delta s_{\max}$ [%] a ≥ 4.00 m
ΕΚΑ 1, ΕΚΑ 2	0.10 · a	0.225 · a	0.9
ΕΚΑ 3		0.25 · a	1.0
a [m]: απόσταση άξονα περιστροφής της επιφάνειας κυκλοφορίας από την εξωτερική οριογραμμή της απώτατης, ως προς αυτόν, λωρίδας κυκλοφορίας, $\Delta s_{\max} \geq \Delta s_{\min}$			

2.2.1.4 Κατά μήκος κλίση (s)

Προκειμένου να υπάρχει ικανοποιητική απορροή ομβρίων, η ελάχιστη κλίση του άξονα του οδοστρώματος πρέπει γενικά να είναι μεγαλύτερη του 1.0% (κατ'

εξαίρεση 0.7%), ενώ της οριογραμμής με 0.5% (κατ' εξαίρεση 0.2%). Οι μέγιστες κλίσεις ανά κλάση οδού, φαίνονται στον Πίνακα 2-3.

Με βάση εμπειρικά δεδομένα, επαρκής απορροή ομβρίων υπάρχει όταν μεταξύ της κλίσης του οδοστρώματος (s) και της πρόσθετης κλίσης οριογραμμής (Δs) ισχύει ($|s| - |\Delta s| \geq 0.2\%$, καλύτερα 0.5%).

Πίνακας 2-3. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά RAA, 2008. [5]

Κλάση Οδού	$s_{\max}$ [%]
EKA 1 A	4.0
EKA 1 B	4.5
EKA 2	4.5
EKA 3	6.0

2.2.1.5 Σύνθετη κλίση (p)

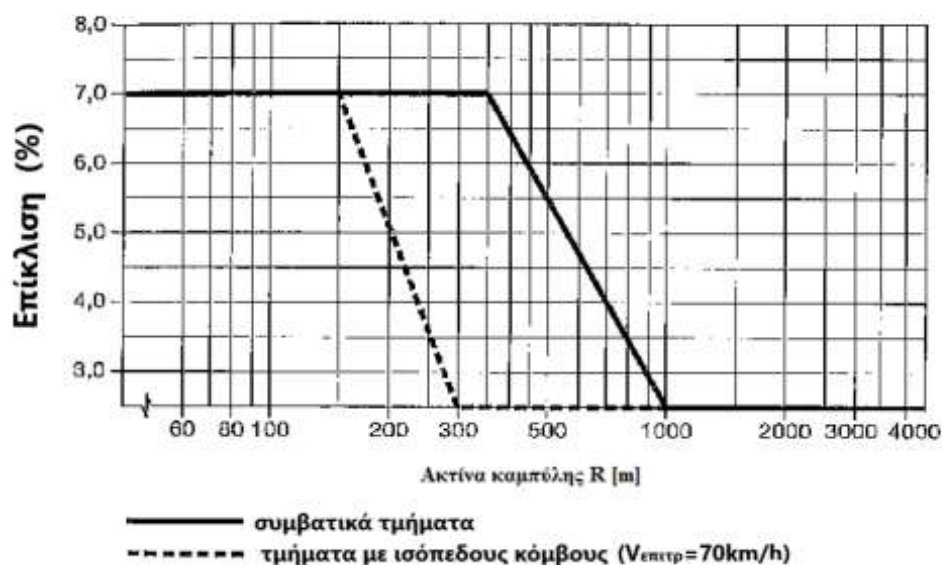
Η πιο ενδεδειγμένη μέθοδος αξιολόγησης της δυνατότητας απορροής του οδοστρώματος είναι μέσω του προσδιορισμού της σύνθετης κλίσης “p”, η οποία αποτελεί τη συνισταμένη μεταξύ κλίσης και επίκλισης και ουσιαστικά καθορίζει τη φορά ροής των ομβρίων.

Η ελάχιστη τιμή της σύνθετης κλίσης p είναι 0.5% έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλή απορροή ομβρίων, ενώ συγχρόνως δεν πρέπει να ξεπερνάει την τιμή 9.0%, έτσι ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα ολίσθησης των οχημάτων λόγω παγετού.

2.2.2 Γερμανικές Οδηγίες RAL, 2012 [6]

2.2.2.1 Επικλίσεις

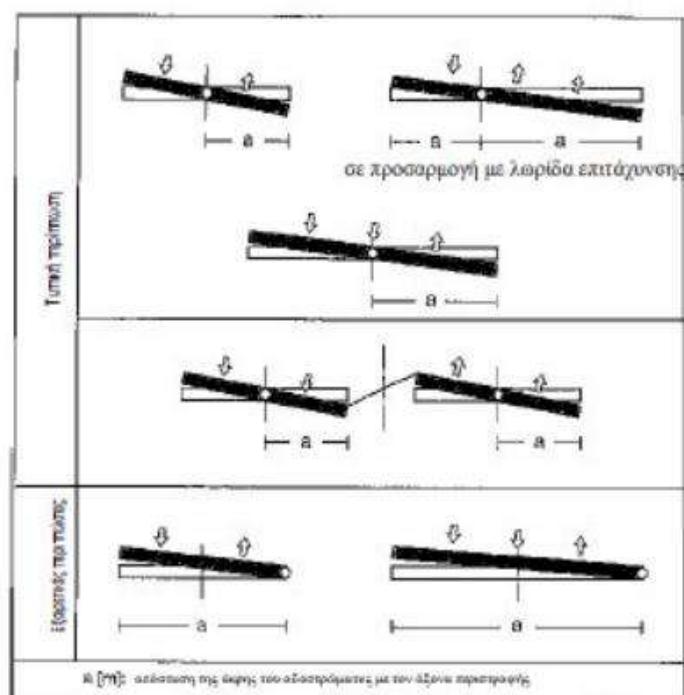
Όπως και στις Γερμανικές οδηγίες RAA, 2008, έτσι και στις οδηγίες RAL 2012 για υπεραστικές οδούς, στις ευθυγραμμίες, τα οδοστρώματα σχεδιάζονται κατά βάση με μονοκλινή επίκλιση e, τουλάχιστον 2.5% προς τα έξω. Γενικά, κατά το σχεδιασμό πρόσθετων λωρίδων, (λωρίδες επιτάχυνσης, επιβράδυνσης, κλπ.), θα πρέπει να σχεδιάζεται η ίδια επίκλιση με το κυρίως οδόστρωμα. Σε κυκλικό τόξο, η επίκλιση μπορεί να πάρει τιμές από 2.5% έως 7.0%, της το εσωτερικό της καμπύλης (Σχήμα 2-4). Σε γέφυρες η μέγιστη τιμή επίκλισης περιορίζεται στο 5.0%



Σχήμα 2-4. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα οδών κατά RAL, 2012. [6]

2.2.2.2 Μεταβολή επίκλισης

Η μεταβολή επίκλισης σε καμπύλη γίνεται κατά βάση εντός του τόξου συναρμογής, ανεξάρτητα, γύρω από τον άξονα αναφοράς του οδόστρωμα που περιστρέφεται, όπως και στην περίπτωση των RAA, 2008. 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 περιστρέφεται γύρω από τον άξονα αναφοράς της οδού), (Σχήμα 2-5). Για καλύτερη προσαρμογή στις τοπικές συνθήκες, μπορεί να γίνει περιστροφή του οδοστρώματος, σε τεκμηριωμένες περιπτώσεις, γύρω από την εσωτερική ή εξωτερική οριογραμμή (πχ. περίπτωση συνδετήριων κλάδων).



Σχήμα 2-5. Άξονες περιστροφής του οδοστρώματος κατά RAL, 2012. [6]

2.2.2.3 Πρόσθετη κλίση οριογραμμής (Δs)

Για την αποφυγή απότομων επικλίσεων, θα πρέπει η μέγιστη τιμή της πρόσθετης κλίσης οριογραμμής ($\Delta s_{\max}$) να μην υπερβαίνει τις τιμές του Πίνακα 2-4. Οι τιμές αυτές τηρούνται αυτομάτως με την χρήση των προτεινόμενων ακτινών για την αντίστοιχη κλάση οδού και την κατάλληλη παράμετρο της κλωθοειδούς. Η υπέρβαση της $\Delta s_{\max}$ ισοσταθμίζεται με τη χρήση μεγαλύτερης παραμέτρου της κλωθοειδούς. Σε περίπτωση που η τιμή της $\Delta s_{\min}$ είναι, βάσει του Πίνακα 2-4, μεγαλύτερη από την τιμή της $\Delta s_{\max}$, τότε εφαρμόζεται η $\Delta s_{\min}$. Για την ταχύτερη απορροή των όμβριων υδάτων από το οδόστρωμα, δεν θα πρέπει η πρόσθετη κλίση οριογραμμής στο τμήμα προσαρμογής μεταξύ των επικλίσεων $e_{\min} = +2.5\%$ έως $e_{\min} = -2.5\%$ να είναι μικρότερη από τις οριακές τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 2-4.

Πίνακας 2-4. Οριακές τιμές πρόσθετης κλίσης οριογραμμών Δs κατά RAL, 2012. [6]

Κλάση Οδού	$\Delta s_{\max} [\%]$	$\Delta s_{\min} [\%]$ $q \leq 2.5\%$
EKL 1/EKL 2	0.8	0.1 · a
EKL3	1.0	
EKL4	1.5	
a [m] : Απόσταση της οριογραμμής από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος		

2.2.2.4 Κατά μήκος κλίση (s)

Για να εξασφαλίζεται επαρκής απορροή ομβρίων, θα πρέπει η διαφορά της κατά μήκος κλίσης της οδού και της πρόσθετης κλίσης οριογραμμής να είναι τουλάχιστον 0.2%, ($|s| - |\Delta s| \geq 0.2\%$ καλύπτεται 0.5%). Επίσης, οι μέγιστες κλίσεις ανά κλάση οδού, φαίνονται στον Πίνακα 2-5.

Πίνακας 2-5. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά RAL, 2012. [6]

Κλάση Οδού	$s_{\max}$ [%]
EKL 1	4.5
EKL 2	5.5
EKL 3	6.5
EKL 4	8.0

2.2.2.5 Σύνθετη κλίση (p)

Η ελάχιστη τιμή της σύνθετης κλίσης p είναι 0.5% έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλή απορροή ομβρίων, ενώ συγχρόνως δεν πρέπει να ξεπερνάει την τιμή 10.0%, έτσι ώστε να αποφευχθεί η πιθανότητα ολίσθησης των οχημάτων λόγω παγετού.

2.2.3 AASHTO 2018

2.2.3.1 Επικλίσεις

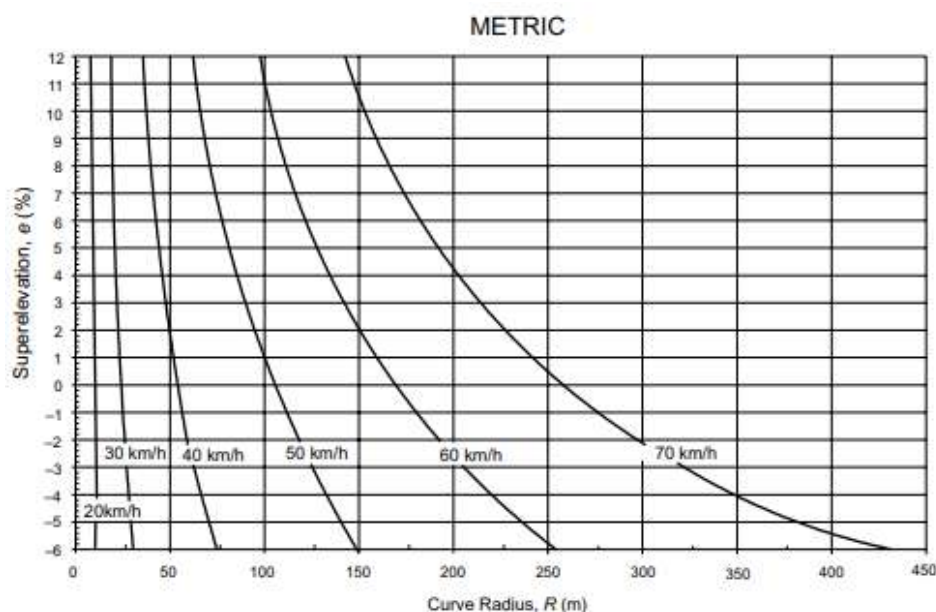
Οι αμερικάνικες οδηγίες σχεδιασμού AASHTO, 2018 αναφέρουν ότι η ελάχιστη τιμή της επίκλισης που εφαρμόζεται σε μια οδό καθορίζεται από τις ανάγκες για καλή αποστράγγιση. Σύμφωνα με τον τύπο της οδού και την ποσότητα βροχόπτωσης, την ύπαρξη χιονιού και πάγου, οι ελάχιστες τιμές για την εγκάρσια κλίση κυμαίνονται από 1.5% έως 2.0%. Γενικά απαιτούνται πιο απότομες εγκάρσιες κλίσεις (2.0% – 6.0%), όταν υπάρχουν οδοστρώματα με κράσπεδο, για την ελαχιστοποίηση λιμναζόντων ομβρίων στην οριογραμμή.

2.2.3.2 Μεταβολή επίκλισης

Οι μέγιστες τιμές της μεταβολής της επίκλισης σε καμπύλες οδών ελέγχονται από τέσσερις παράγοντες: κλιματολογικές συνθήκες (δηλ. συχνότητα και ποσότητα χιονιού και παγετού), κατηγορίες εδάφους (δηλ. πεδινό, λοφώδες ή ορεινό), τύπος περιοχής (αστική ή υπεραστική) και συχνότητα διέλευσης πολύ αργών οχημάτων των οποίων η λειτουργία τους μπορεί να επηρεαστεί από υψηλά ποσοστά υπερύψωσης (επίκλισης). Η συνεκτίμηση αυτών των παραγόντων από κοινού οδηγεί στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει μία ενιαία μέγιστη τιμή επίκλισης που να είναι καθολικά εφαρμόσιμη. Ωστόσο, η χρήση μίας μόνο μέγιστης τιμής σε μια περιοχή με παρόμοιες κλιματολογικές συνθήκες και κατηγορίες εδάφους είναι επιθυμητή, καθώς μια τέτοια πρακτική προάγει τη συνοχή του σχεδιασμού.

Η μέγιστη τιμή της επίκλισης σε καμπύλες οδών είναι 10.0%, αν και το 12.0% χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις. Τιμές έως 8.0% χρησιμοποιούνται μόνο σε περιοχές χωρίς χιόνι και παγετό. Σε αστικές περιοχές, η έντονη κυκλοφοριακή συμφόρηση περιορίζει τις ταχύτητες και συνηθίζεται να χρησιμοποιείται χαμηλότερη μέγιστη τιμή επίκλισης, συνήθως 4.0% έως 6.0%. Ομοίως, σε κόμβους ή όπου υπάρχει τάση για αργή οδήγηση λόγω στροφής και διασταύρωσης, σήμανσης ή και σηματοδότησης, είτε χρησιμοποιείται χαμηλή μέγιστη μεταβολή της τιμής e , είτε δεν μεταβάλλεται καθόλου.

Συνιστάται λοιπόν, ανάλογα με την περιοχή και τις συνθήκες που επικρατούν, να ορίζεται διαφορετική μέγιστη τιμή για την επίκλιση.



Σχήμα 2-6. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα, για αστικές περιοχές με χαμηλές ταχύτητες σχεδιασμού κατά AASHTO, 2018. [7]

2.2.3.3 Κατά μήκος κλίση (s)

Οι μέγιστες κατά μήκος κλίσεις της οδού εξαρτώνται από:

- την περιοχή (αστική ή υπεραστική)
- την κατηγορία της οδού (αυτοκινητόδρομοι, αρτηρίες, συλλεκτικές οδοί, τοπικές οδοί, κλπ)
- την ταχύτητα σχεδιασμού
- την κατηγορία εδάφους (πεδινό, λοφώδες ή ορεινό)

Στον Πίνακα 2-6, φαίνονται οι μέγιστες τιμές κλίσεων s_{max} για υπεραστικές αρτηρίες.

Πίνακας 2-6. Μέγιστες κατά μήκος τιμές κλίσεων σε υπεραστικές αρτηρίες κατά AASHTO, 2018. [7]

Ταχύτητα σχεδιασμού V (km/h)	s_{max} [%]		
	Κατηγορία εδάφους		
	πεδινό	λοφώδες	ορεινό
60	5	6	8
70	5	6	7
80	4	5	7
90	4	5	6
100	3	4	6
110	3	4	5
120	3	4	5
130	3	4	5

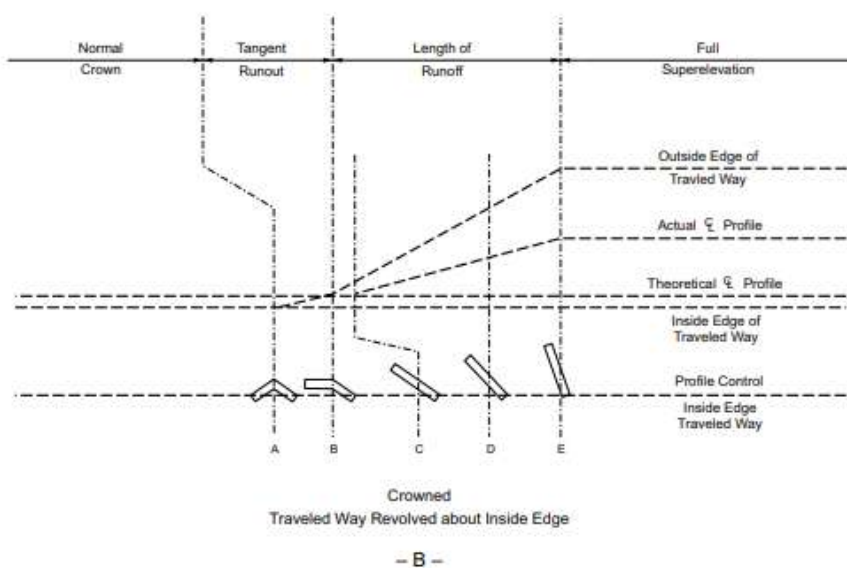
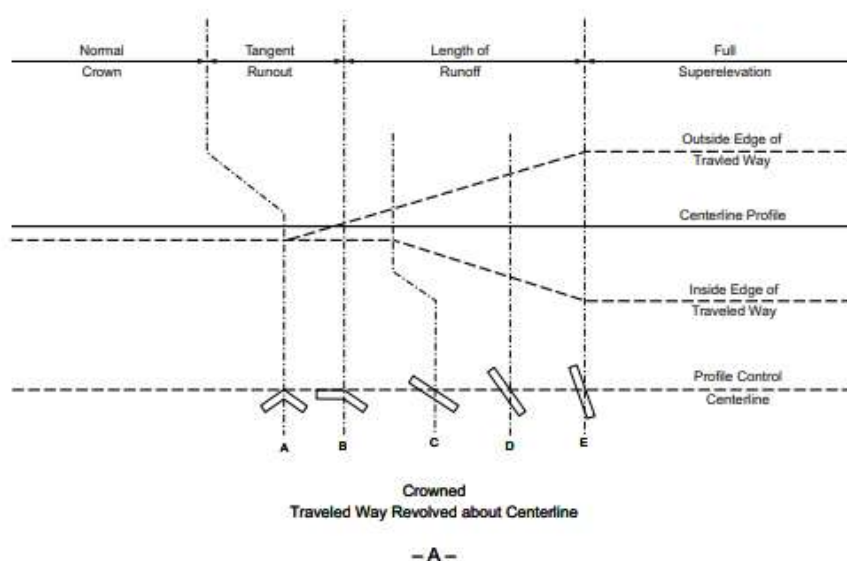
Για την ικανοποιητική απορροή των ομβρίων, η ελάχιστη τιμή που μπορεί να λάβει η κατά μήκος κλίση είναι 0.5%, αν και δεκτή μπορεί να γίνει και η τιμή 0.3%. Ωστόσο, στα τόξα συναρμογής οι τιμές της κατά μήκος κλίσης είναι αυστηρά άνω του 0.5% και η διαφορά τους με την τιμή της κλίσης της πρόσθετης οριογραμμής (Δs), πρέπει να ξεπερνάει το 0.2% (η το 0.5% για δρόμους με κράσπεδο).

2.2.3.4 Τρόποι περιστροφής οδοστρώματος κατά AASHTO

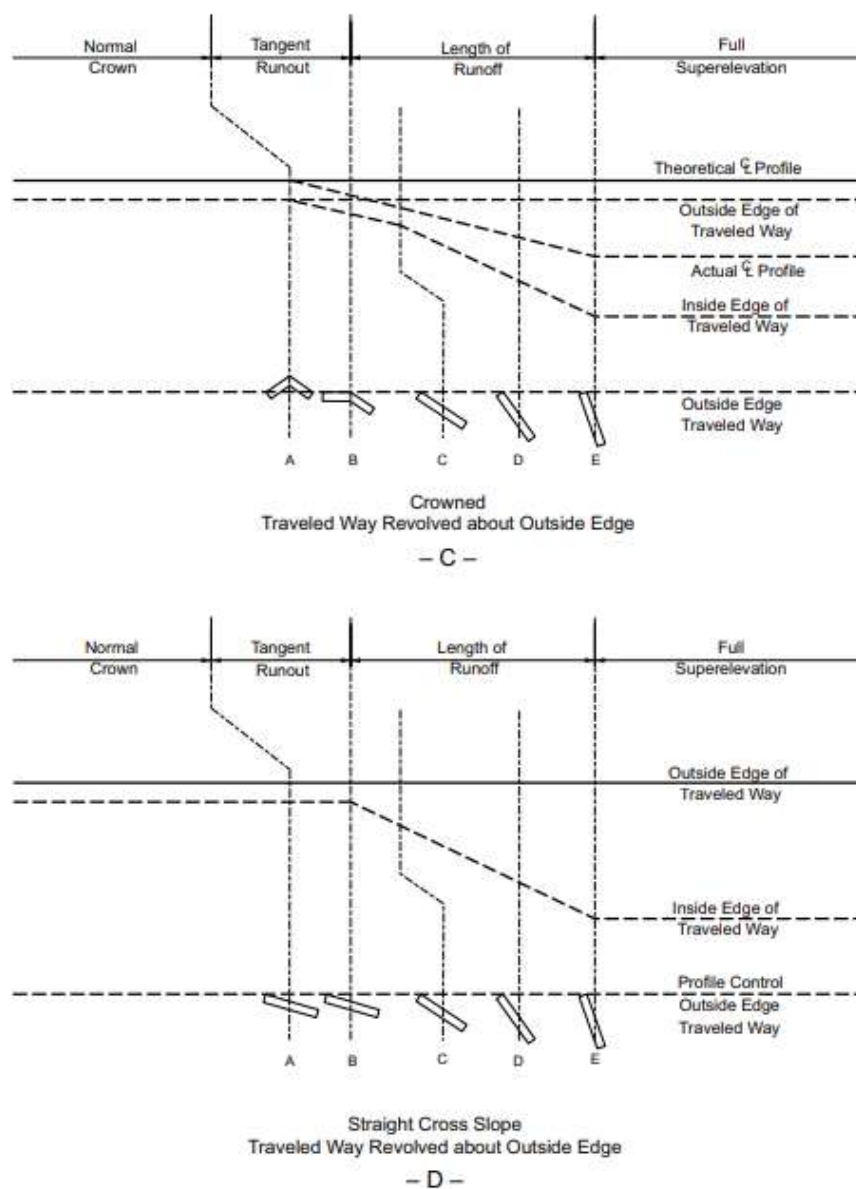
Η περιστροφή του οδοστρώματος κατά AASHTO γίνεται με τους παρακάτω 4 διαφορετικούς τρόπους:

1. Γύρω από τον άξονα της οδού, με τις τιμές των επικλίσεων που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2.2.3.2. Η μέθοδος αυτή είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη, επειδή επιτυγχάνεται η μικρότερη μεταβολή του υψομέτρου των οριογραμμών από ό,τι με τις άλλες μεθόδους (Σχήμα 2-7Α).

2. Γύρω από την εσωτερική οριογραμμή. Σε αυτή την περίπτωση η μεταβολή της επίκλισης επιτυγχάνεται τόσο με την ανύψωση του άξονα της οδού, όσο και με την ανύψωση της εξωτερικής οριογραμμής (Σχήμα 2-7B).
3. Γύρω από την εξωτερική οριογραμμή. Η μέθοδος αυτή είναι παρόμοια με αυτή που περιγράφηκε στη 2^η περίπτωση, με την διαφορά ότι η μεταβολή της επίκλισης πραγματοποιείται “κάτω” από την εξωτερική οριογραμμή (Σχήμα 2-7C).
4. Μέσω μονοκλινούς επίκλισης γύρω από την εξωτερική οριογραμμή. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για οδούς δύο λωρίδων ίδιας κατεύθυνσης (Σχήμα 2-7D).



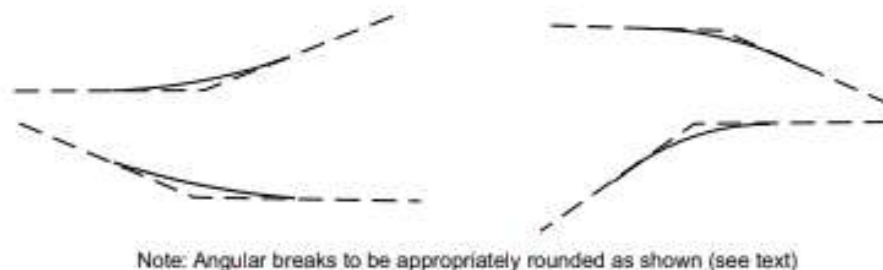
Σχήμα 2-7. Άξονες περιστροφής του οδοστρώματος κατά AASHTO, 2018 [7]



Σχήμα 2-4. (συνέχεια) Άξονες περιστροφής του οδοστρώματος κατά AASHTO, 2018 [7]

Γενικά, η μέθοδος που περιγράφεται στο Σχήμα 2-7Α είναι συνήθως η πιο αποδεκτή. Ωστόσο, αυτή που απεικονίζεται στο Σχήμα 2-7Β προτιμάται σε περιοχές όπου η αποστράγγιση του οδοστρώματος γίνεται με την βοήθεια της εσωτερικής οριογραμμής.

Στον άξονα της οδού, λόγω της αλλαγής της επίκλισης δημιουργείται μια κορυφή, ένα “σπάσιμο”. Για λόγους εμφάνισης αλλά και ασφάλειας, αυτά τα “σπασίματα”, θα πρέπει να στρογγυλεύονται στον τελικό σχεδιασμό με την εισαγωγή καμπυλών όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-8.



Σχήμα 2-8. Στρογγύλευση κυρτωμάτων και κοιλωμάτων στην κορυφή της αλλαγής της επίκλισης. [7]

2.2.4 AUSTRROADS [8], [9]

2.2.4.1 Επικλίσεις

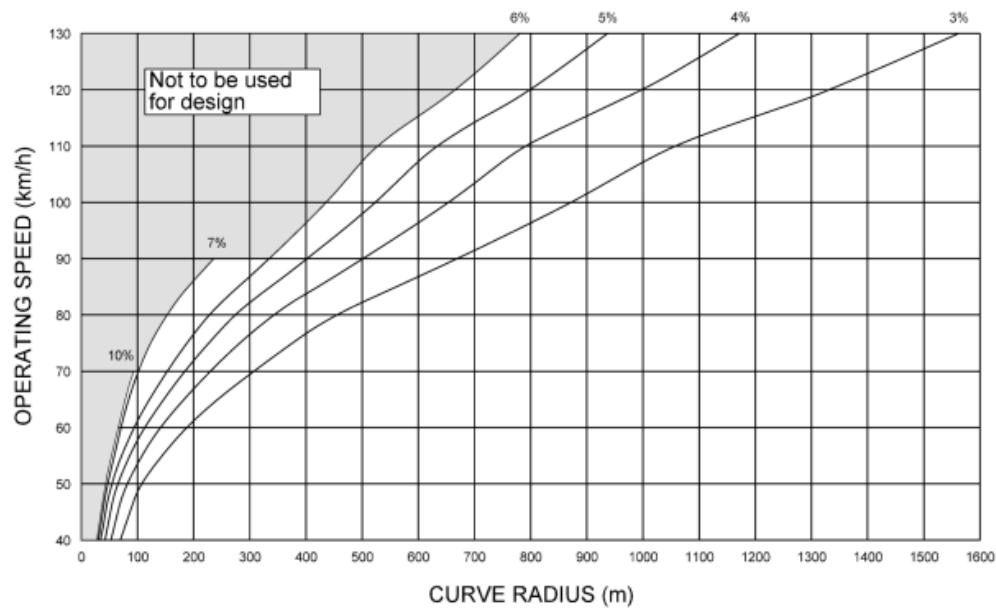
Στις αυστραλιανές οδηγίες δίνονται τυπικές τιμές επικλίσεων ανάλογα με το υλικό του οδοστρώματος (Πίνακας 2-7). Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να αποφεύγονται τιμές κάτω του 2.0%, για την ικανοποιητική αποστράγγιση του οδοστρώματος, και ακόμη και το 2.0% πρέπει να προβλέπεται μόνο για οδοστρώματα από σκυρόδεμα, όπου το ανάγλυφο της επιφάνειας ελέγχεται αυστηρά. Εάν το σχήμα της επιφάνειας δεν ελεγχθεί σωστά κατά την διάρκεια της κατασκευής, οδοστρώματα με επίκλιση μικρότερη από 2.5% θα δημιουργήσουν λιμνάζοντα όμβρια στην επιφάνεια, τα οποία μπορεί να προκαλέσουν την ανάπτυξη αυλακώσεων και να επιταχύνουν την αστοχία του οδοστρώματος.

Πίνακας 2-7. Τυπικές επικλίσεις σε ευθυγραμμίες κατά AUSTRROADS, 2021. [8]

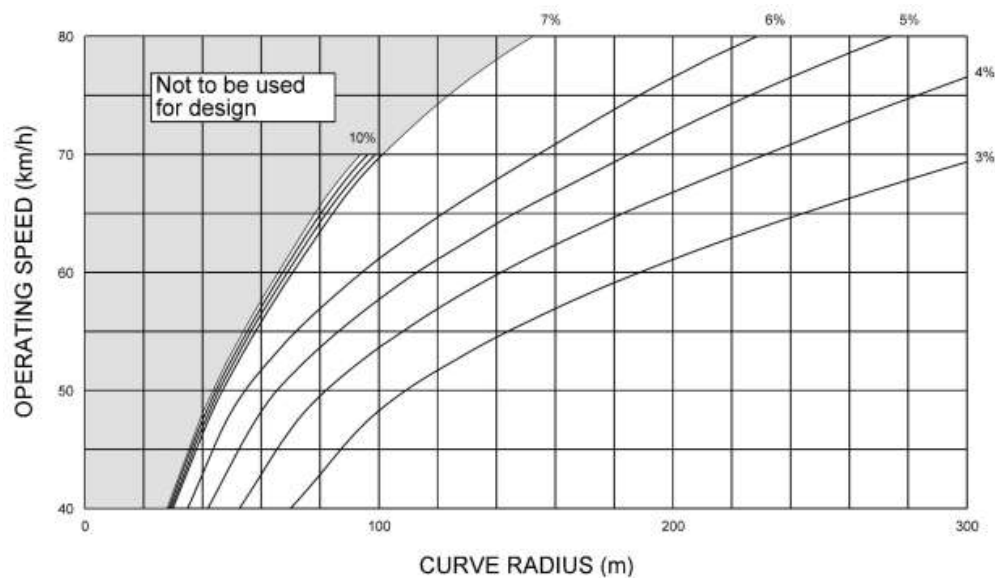
Κατηγορία Οδοστρώματος	Επίκλιση [%]
Χώμα, άργιλος	5
Χαλίκι	4
Bituminous sprayed seal	3
Άσφαλτος	2.5 – 3
Σκυρόδεμα	2 - 3

Σε καμπύλες, η τιμή της επίκλισης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως από την ταχύτητα σχεδιασμού, την τάση των βαρέων οχημάτων να στραφούν προς το κέντρο της καμπύλης, το διαθέσιμο μήκος της καμπύλης κλωθοειδούς. Στα παρακάτω σχήματα (Σχήμα 2-9, Σχήμα 2-10, Σχήμα 2-11) απεικονίζονται οι επιτρεπόμενες τιμές επικλίσεων e ανάλογα με την περιοχή, τις ταχύτητες σχεδιασμού και τις ακτίνες της καμπύλης. Στον Πίνακα 2-8 αποτυπώνονται οι μέγιστες τιμές της επίκλισης ανάλογα με τον τύπο της οδού. Όσο αναφορά τις

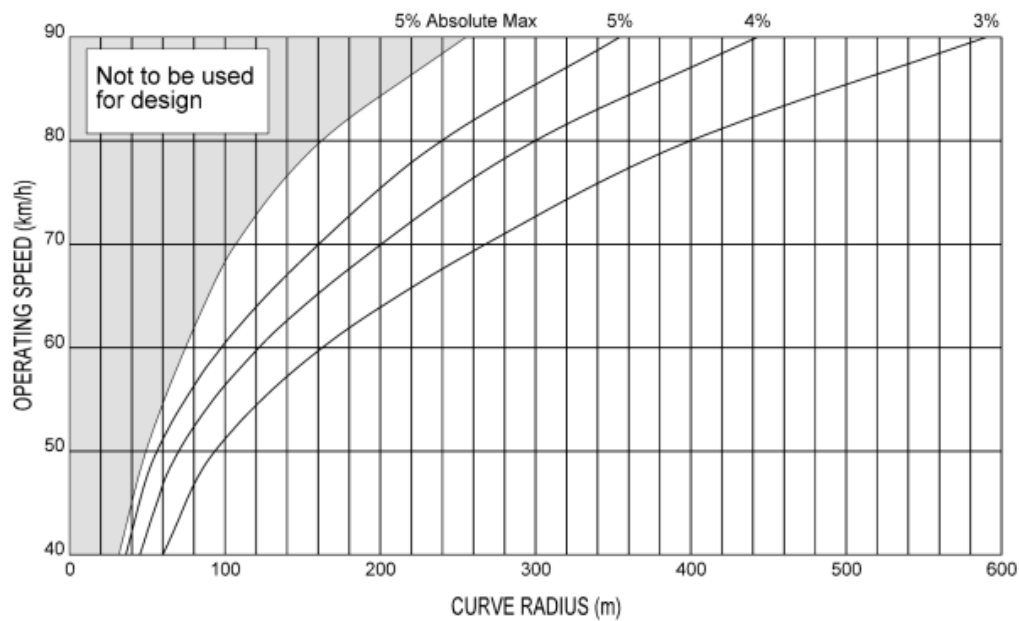
ελάχιστες τιμές, αυτές δεν διαφέρουν από αυτές που εφαρμόζονται στις ευθυγραμμίες.



Σχήμα 2-9. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα, για αστικές περιοχές με ταχύτητες σχεδιασμού $V \geq 80$ km/h και για υπεραστικές περιοχές για ταχύτητες σχεδιασμού $V \geq 90$ km/h, κατά AUSTROADS, 2021. [8]



Σχήμα 2-10. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα για υπεραστικές περιοχές για ταχύτητες σχεδιασμού $V < 80$ km/h, κατά AUSTROADS, 2021. [8]



Σχήμα 2-11. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε κυκλικά τμήματα για αστικές περιοχές για ταχύτητες σχεδιασμού $V < 90$ km/h, κατά AUSTROADS, 2021. [8]

Πίνακας 2-8. Μέγιστες επικλίσεις για διάφορους τύπους οδών κατά AUSTROADS, 2021. [8]

Τύπος Οδού	Εύρος Ταχύτητας [km/h]	Μέγιστη Επίκλιση $e_{\max}$ [%]
Αστική	Όλες οι ταχύτητες	5
Ταχείας Κυκλοφορίας	≥ 90	6
Υπεραστική μεσαίας ταχύτητας	$70 < \text{και} < 90$	7
Υπεραστική μικρής ταχύτητας	≤ 70	10

2.2.4.2 Κατά μήκος κλίση (s)

Κατά AUSTROADS, 2021, οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές των κατά μήκος κλίσεων εξαρτώνται από την λειτουργική ταχύτητα και την κατηγορία εδάφους (πεδινό, λοφώδες ή ορεινό), όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2-9.

Πίνακας 2-9. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά AUSTROADS, 2021. [8]

Λειτουργική ταχύτητα [km/h]	$s_{\max}$ [%]		
	Κατηγορία εδάφους		
	Πεδινό	Λοφώδες	Ορεινό
60	9 – 8	7 – 9	9 – 10
80	4 – 6	5 – 7	7 – 9
100	3 – 5	4 – 6	6 – 8
120	3 – 5	4 – 6	-
130	3 – 5	4 – 6	-

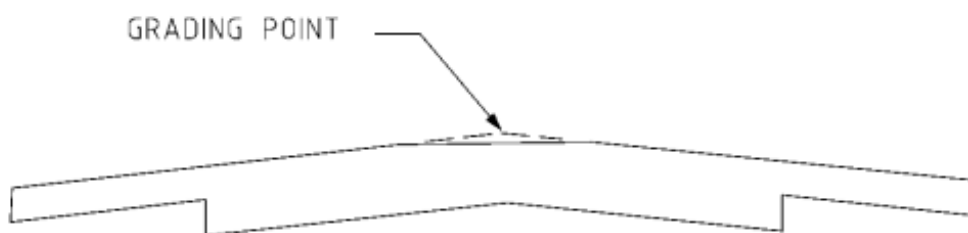
Η ύπαρξη ελάχιστων τιμών των κατά μήκος κλίσεων, είναι απαραίτητη για την καλή απορροή των ομβρίων και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως την ύπαρξη ή μη, κρασπέδου, ρείθρων, ορυγμάτων, κλπ. Αναλυτικά, οι οριακές τιμές φαίνονται στον Πίνακα 2-10.

Πίνακας 2-10. Ελάχιστες κατά μήκος κλίσεις κατά AUSTROADS, 2021. [8]

Τύποι Οδών	Ελάχιστες κλίσεις s_{min} [%]
Οδοί με κράσπεδο και ρείθρα	Επιθυμητή: 1.0 Ελάχιστη: 0.5
<u>Οδοί σε όρυγμα</u>	
Στεγανοποιημένα ρείθρα (π.χ. σκυρόδεμα)	0.5
Μη στεγανοποιημένα ρείθρα (χωμάτινα)	0.3
Οδοί χωρίς κράσπεδο και ρείθρα και που δεν είναι σε όρυγμα	0

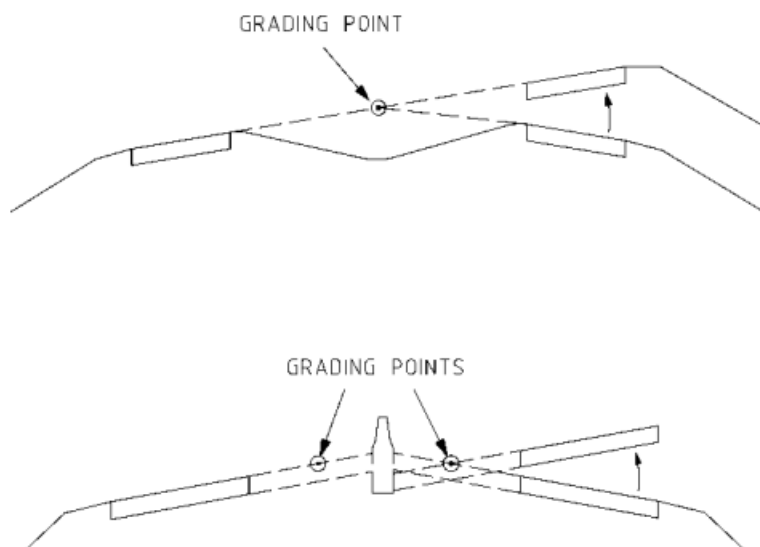
2.2.4.3 Τρόποι περιστροφής οδοστρώματος κατά AUSTROADS

Ο άξονας περιστροφής του οδοστρώματος σύμφωνα με τις οδηγίες AUSTROADS εξαρτάται από το εάν η οδός αποτελείται από ενιαία ή διαχωρισμένα οδοστρώματα, αλλά και για τον τύπο της οδού (αστική ή υπεραστική). Συγκεκριμένα, για οδούς δύο λωρίδων διπλής κατεύθυνσης, ο άξονας περιστροφής συνήθως ταυτίζεται με τον άξονα της οδού (Σχήμα 2-12).

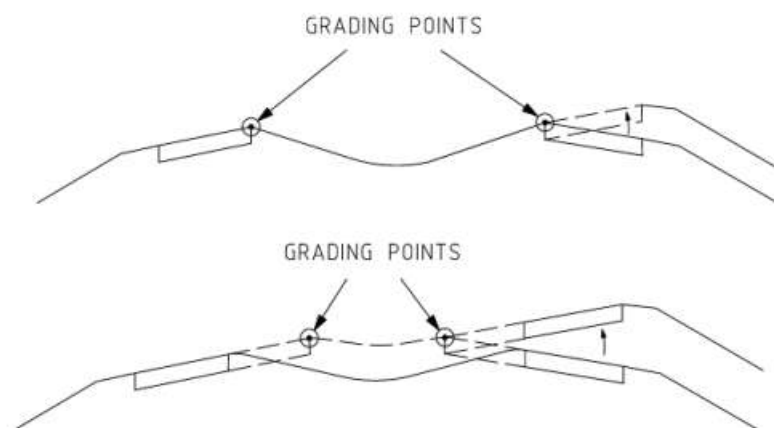


Σχήμα 2-12. Περιστροφή οδοστρώματος για οδούς δύο λωρίδων - διπλής κατεύθυνσης κατά AUSTROADS, 2021. [9]

Σε οδούς με διαχωρισμένα οδοστρώματα, ο άξονας περιστροφής του οδοστρώματος γίνεται όπως φαίνεται στα Σχήματα 2-13 και 2-14 για αστικές και υπεραστικές οδούς αντίστοιχα.



Σχήμα 2-13. Περιστροφή του οδοστρώματος για αστικές οδούς με διαχωρισμένα οδοστρώματα κατά AUSTROADS, 2021. [9]



Σχήμα 2-14. Περιστροφή του οδοστρώματος για υπεραστικές οδούς με διαχωρισμένα οδοστρώματα κατά AUSTROADS, 2021. [9]

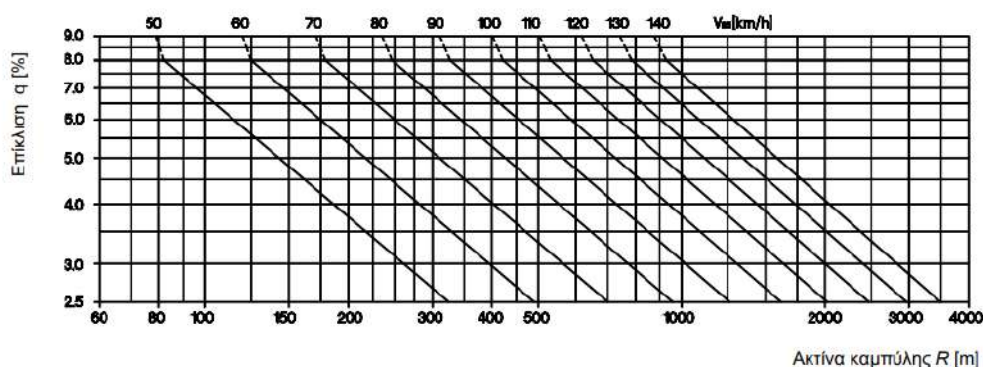
2.2.5 Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ)

Το τεύχος 3 των κανονισμών ΟΜΟΕ-Χ (χαράξεις), βασίζεται στις γερμανικές οδηγίες RAS-K-2-B, που έχουν αντικατασταθεί με τις καινούργιες RAA, 2008 οι οποίες αναφέρθηκαν στο Κεφάλαιο 2.2.1.

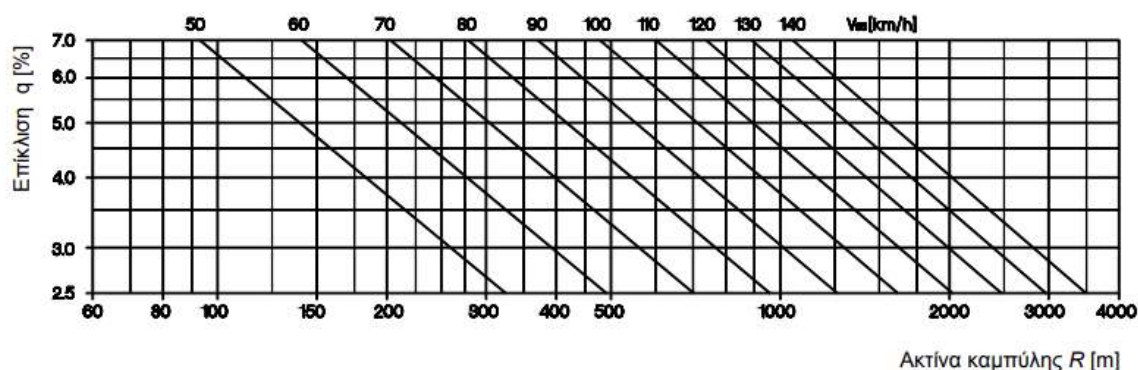
2.2.5.1 Επικλίσεις

Η ελάχιστη τιμή της επίκλισης του οδοστρώματος στην ευθυγραμμία για όλες τις κατηγορίες οδών είναι $e_{\min} = 2.5\%$. Το ίδιο ισχύει και για κυκλικό τόξο, με την

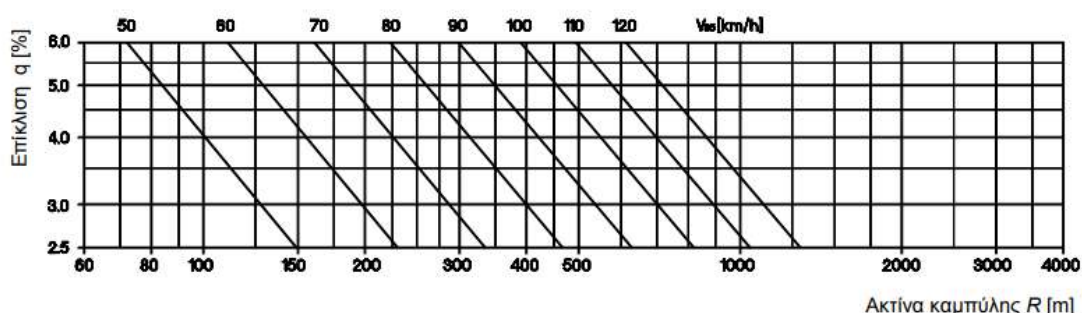
διαφορά ότι εδώ υπάρχουν και μέγιστες τιμές επικλίσεων, οι οποίες διαμορφώνονται ως εξής: για οδούς ομάδας Α, $e_{\max} = 8.0\%$ (9.0%) σε πεδινά εδάφη και $e_{\max} = 7.0\%$ σε λοφώδη και ορεινά εδάφη, ενώ για οδούς ομάδας Β, $e_{\max} = 6.0\%$. Στις οδούς των ομάδων Α και Β η μέγιστη τιμή της επίκλισης είναι δυνατόν να αυξηθεί κατά 1.0% (τιμή παρένθεσης), όταν σε εξαιρετικές περιπτώσεις για ορισμένες ταχύτητες μελέτης V_e , οι ελάχιστες ακτίνες πρέπει να μειωθούν.



Σχήμα 2-15. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε καμπύλες υπεραστικών οδών ΟΜΑΔΑ ΟΔΩΝ Α – ΠΕΔΙΝΑ ΕΔΑΦΗ, ΟΜΟΕ-Χ, 2001. [10]



Σχήμα 2-16. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε καμπύλες υπεραστικών οδών ΟΜΑΔΑ ΟΔΩΝ Α – ΛΟΦΩΔΗ ΚΑΙ ΟΡΕΙΝΑ ΕΔΑΦΗ, ΟΜΟΕ-Χ, 2001. [10]



Σχήμα 2-17. Διάγραμμα προσδιορισμού της επίκλισης σε καμπύλες ημιαστικών οδών ΟΜΑΔΑ ΟΔΩΝ Β, ΟΜΟΕ-Χ, 2001. [10]

2.2.5.2 Μεταβολή επίκλισης

Όπως και στις Γερμανικές οδηγίες RAA, 2008, έτσι κι εδώ, αν υπάρχει τόξο συναρμογής, η μεταβολή της επίκλισης λαμβάνει χώρα κατά μήκος του τόξου συναρμογής ανεξάρτητα του είδους της επίκλισης, που έχει εφαρμοσθεί για το οδόστρωμα στην ευθυγραμμία (μονοκλινής ή αμφικλινής) και ανεξάρτητα της θέσης του άξονα περιστροφής. Η επέκταση του μήκους προσαρμογής της επίκλισης στην ευθυγραμμία ή στο κυκλικό τόξο επιτρέπεται μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις. Αν δεν υπάρχει τόξο συναρμογής, η μεταβολή της επίκλισης κατά τη σειρά των στοιχείων: “ευθυγραμμία-κυκλικό τόξο” λαμβάνει χώρα κατά το ήμισυ στην ευθυγραμμία και κατά το ήμισυ στο κυκλικό τόξο. Σε ειδικές μόνο περιπτώσεις επιτρέπεται η προσαρμογή της επίκλισης να λάβει χώρα εξ ολοκλήρου στην ευθυγραμμία ή στο κυκλικό τόξο. Σε τόξα κανίστρου η προσαρμογή της επίκλισης γίνεται εξ ολοκλήρου στο κυκλικό τόξο με τη μεγαλύτερη ακτίνα.

Κανόννας	1		
	2		
	3		
Εξαιρέση	4		
	5*		

Σχήμα 2-18. Άξονες περιστροφής του οδοστρώματος κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001. [10]

2.2.5.3 Πρόσθετη κλίση οριογραμμής (Δs)

Για λόγους δυναμικής της κυκλοφορίας και λόγους οπτικής, ορίζεται μια μέγιστη τιμή της πρόσθετης κλίσης οριογραμμής $\Delta s_{\max}$, και για να υφίσταται καλή αποστράγγιση ορίζεται μια ελάχιστη τιμή $\Delta s_{\min}$, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2-11.

Πίνακας 2-11. Οριακές τιμές πρόσθετης κλίσης οριογραμμών Δs. Ομάδες Α και Β κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001.[10]

V_e [km/h]	$\Delta s_{\max}$ [%] για		$\Delta s_{\min}$ [%]
	$\alpha < 4.00$ m	$\alpha \geq 4.00$ m	
50	$0.50 \cdot \alpha$	2.0	$0.10 \cdot \alpha$ ($\leq \Delta s_{\max}$)
60...70	$0.40 \cdot \alpha$	1.6	
80...90	$0.25 \cdot \alpha$	1.0	
100...130	$0.20 \cdot \alpha$	0.9	

2.2.5.4 Κατά μήκος κλίση (s)

Με βάση εμπειρική προσέγγιση, όμοια με αυτήν κατά RAA, 2008, για την 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%), δηλαδή, $s - \Delta s \geq 0.2\%$ (καλύτερα 0.5%). Η ελάχιστη κατά μήκος κλίση που μπορεί να επιλεγθεί είναι $s_{\min} = 0.7\%$, ή καλύτερα $s_{\min} = 1.0\%$ για να αποφευχθούν κακές ζώνες απορροής ομβρίων. Οι μέγιστες τιμές των κατά μήκος κλίσεων φαίνονται στον Πίνακα 2-12, (οι τιμές που βρίσκονται σε παρένθεση εφαρμόζονται σε εξαιρετικές περιπτώσεις).

Πίνακας 2-12. Μέγιστες κατά μήκος κλίσεις κατά ΟΜΟΕ-Χ, 2001. [10]

V_e [km/h]	$s_{\max}$ [%] για τις οδούς της ομάδας			
	Α			Β (πλην ΒΙ)
	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)	-	-	-

2.2.5.5 Σύνθετη κλίση (p)

Προκειμένου να αποφευχθεί η ολίσθηση των οχημάτων σε συνθήκες χιονιού ή παγετού, επιβάλλεται η τιμή της σύνθετης κλίσης να μην υπερβαίνει το 10%.

2.3 Συναφείς έρευνες

2.3.1 Διερεύνηση του προβλήματος της απορροής των ομβρίων σε κρίσιμες για την ασφάλεια περιοχές των οδικών χαράξεων. [12]

Σε σχετική έρευνα για την διερεύνηση του προβλήματος της απορροής των ομβρίων σε κρίσιμες για την ασφάλεια περιοχές των οδικών χαράξεων, υπολογίστηκαν οι τιμές που λαμβάνει η σύνθετη κλίση, αναλυτικά για όλο το εύρος λωρίδας κυκλοφορίας. Επιλέχθηκε κρίσιμη περιοχή του οδοστρώματος η οποία υπό προϋποθέσεις μπορεί να οδηγήσει σε κακή απορροή των ομβρίων. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκε περιοχή με μεταβαλλόμενη κλίση από κατωφέρεια προς ανωφέρεια που συγχρόνως βρίσκεται σε στο τόξο συναρμογής εισόδου σε κυκλική καμπύλη. Ορίσθηκε ένα σύστημα συντεταγμένων με τετμημένη x την απόσταση από την αρχή της κλωθοειδούς κατά μήκος του άξονα του δρόμου και τεταγμένη y την εγκάρσια απόσταση από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος, ο οποίος έχει επιλεγθεί, να ταυτίζεται με τον άξονα του δρόμου. Η σύνθετη κλίση σε οποιαδήποτε θέση του οδοστρώματος είναι πάντα μεγαλύτερη ή ίση του μηδενός και εκφράζεται από τη Σχέση [2-3]:

$$p_{x,y} = \sqrt{(s_x + \Delta s_y)^2 + q_x^2} \quad [2-3]$$

όπου s_x είναι η κατά μήκος κλίση του άξονα σε απόσταση x από την αρχή της καμπύλης, Δs_y η πρόσθετη κλίση οριογραμμής σε απόσταση y από τον άξονα, q_x η επίκλιση σε απόσταση x από την αρχή της καμπύλης. Τα μεγέθη αυτά περιγράφονται αντίστοιχα από τις Σχέσεις [2-4], [2-5] και [2-6].

$$\Delta s_y = \frac{q+q_0}{L} y \quad [2-4]$$

$$q_x = -q_0 + \frac{q+q_0}{L} x \quad [2-5]$$

$$s_x = s_0 + \frac{x+x_0}{R} \quad [2-6]$$

όπου:

- q_0 η επίκλιση στην ευθυγραμμία,
- q η επίκλιση στο κυκλικό τόξο,
- L το μήκος κλωθοειδούς

- y η απόσταση από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος
 s_0 η σταθερή κατά μήκος κλίση πριν την κατακόρυφη καμπύλη συναρμογής ακτίνας R .
 x_0 η απόσταση της αρχής της κατακόρυφης καμπύλης από την αρχή της οριζόντιας καμπύλης συναρμογής,

Για να ισούται η Σχέση [2-3] με το μηδέν, πρέπει να μηδενιστεί και ο όρος $(s_x + \Delta s_y)$ και η επίκλιση q_x . Οι συντεταγμένες x, y όπου συμβαίνει αυτό δίνονται από τις παρακάτω Σχέσεις [2-7] και [2-8]:

$$X_C = \frac{q_0}{q+q_0} L \quad [2-7]$$

$$Y_C = - \frac{L}{q+q_0} \left(s_0 + \frac{x+x_0}{R} \right) \quad [2-8]$$

Στην συνέχεια έγινε μια μαθηματική διερεύνηση η οποία οδήγησε στην τελική σχέση της μορφής:

$$\frac{x^2}{\left(\frac{p_0}{a}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{p_0}{b}\right)^2} = 1 \quad [2-9]$$

Η εξίσωση αυτή περιγράφει μια έλλειψη η οποία εξαρτάται από μια συγκεκριμένη τιμή σύνθετης κλίσης p_0 . Το κέντρο της έλλειψης είναι το σημείο μηδενισμού της σύνθετης κλίσης, μπορεί να είναι πραγματικό (βρίσκεται στα όρια του οδοστρώματος) ή όχι (βρίσκεται σε μία θεωρητική θέση) και οι συντεταγμένες του περιγράφονται από τις Σχέσεις [2-7] και [2-8]. Ωστόσο, το σημείο αυτό δεν εξαρτάται από την συγκεκριμένη τιμή (p_0), αλλά οι ακτίνες της έλλειψης εξαρτώνται από αυτήν.

Ο γεωμετρικός τόπος των σημείων με συνισταμένη κλίση μικρότερη από p_0 είναι ο εσωτερικός χώρος μιας έλλειψης. Αν ως τιμή του p_0 επιλεγεί μια οριακή (π.χ. 0.5%) τότε η πραγματική προβληματική περιοχή θα είναι το τμήμα του εσωτερικού της αντίστοιχης έλλειψης, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στον άξονα του δρόμου και την εξωτερική οριογραμμή.

2.3.2 Parametric Investigation of Rainwater Runoff from Road Pavement with a Constant Longitudinal Slope [13]

Στην παρούσα έρευνα σκοπός είναι ο υπολογισμός του εμβαδού της επιφάνειας του οδοστρώματος όπου η σύνθετη κλίση p είναι μικρότερη ή ίση από μια συγκεκριμένη τιμή για τις διάφορες τιμές των παραμέτρων που αναφέρονται παρακάτω. Συγκεκριμένα εξετάστηκαν:

- Ακτίνα καμπύλης: $R = 200\text{m}$
- Παράμετρος κλωθοειδούς: $A = 100\text{m}$
- Αρχική επίκλιση στην αρχή του τόξου συναρμογής: $q_0\% = 2.5$
- Μέγιστη επίκλιση: $q\% = 7.5$
- Εύρος λωρίδας κυκλοφορίας: $\alpha = 3.75\text{m}$
- Πρόσθετη κλίση οριογραμμής: $\Delta s\% = 0.75$
- Κατά μήκος κλίση οδού: $s\% = -0.5$ έως -2.0

Για κάθε περίπτωση, υπολογίστηκαν οι συντεταγμένες του σημείου μηδενισμού της σύνθετης κλίσης (X_c, Y_c), (Σχέση [2-10]), και η ακτίνα της κυκλικής περιοχής (r_{ab}), (Σχέση [2-11]), που ισχύει για τις τιμές της σύνθετης κλίσης $p \leq 0.5\%$.

$$(X_c, Y_c) = \left(\frac{q_0}{C}, -\frac{s_0}{C} \right) \quad [2-10]$$

$$r_{ab} = \frac{p_0}{C} \quad [2-11]$$

Όπου:

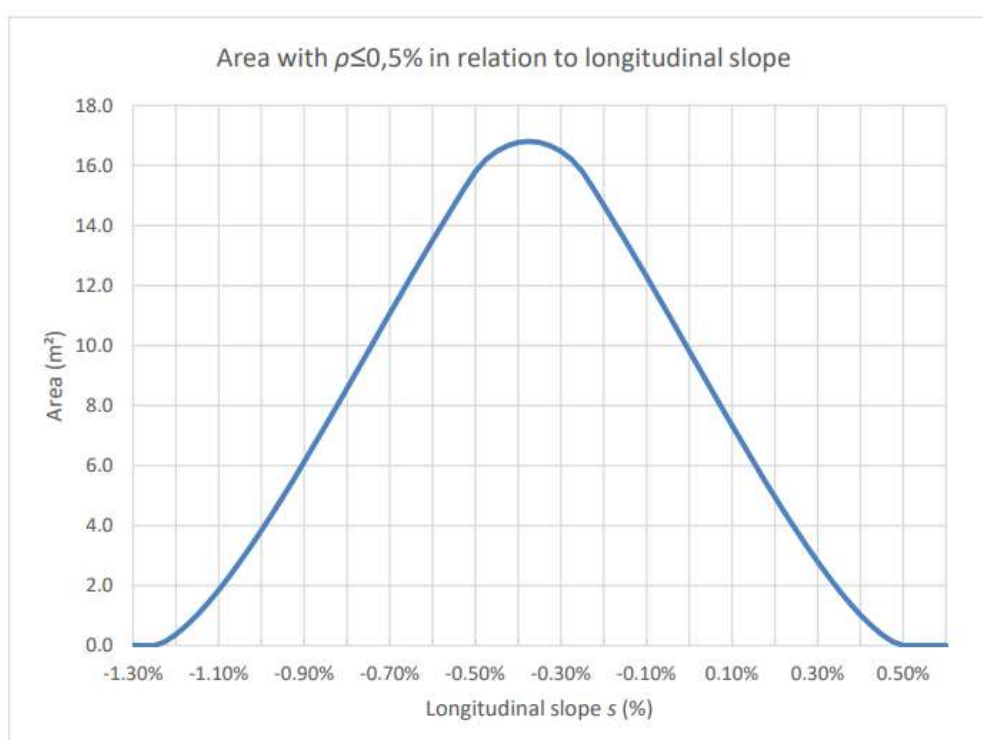
$$C = \frac{q+q_0}{L} \quad \text{ή} \quad C = \frac{\Delta s}{\alpha} \quad [2-12]$$

Στη συνέχεια, υπολογίζεται το εμβαδό που περικλείεται από την κύκλο, τον άξονα και την οριογραμμή σε απόσταση α , και προκύπτει ο παρακάτω Πίνακας 2-13:

Πίνακας 2-13. Εμβαδό της επιφάνειας του οδοστρώματος με σύνθετη κλίση $\rho \leq \rho_0 = 0.5\%$

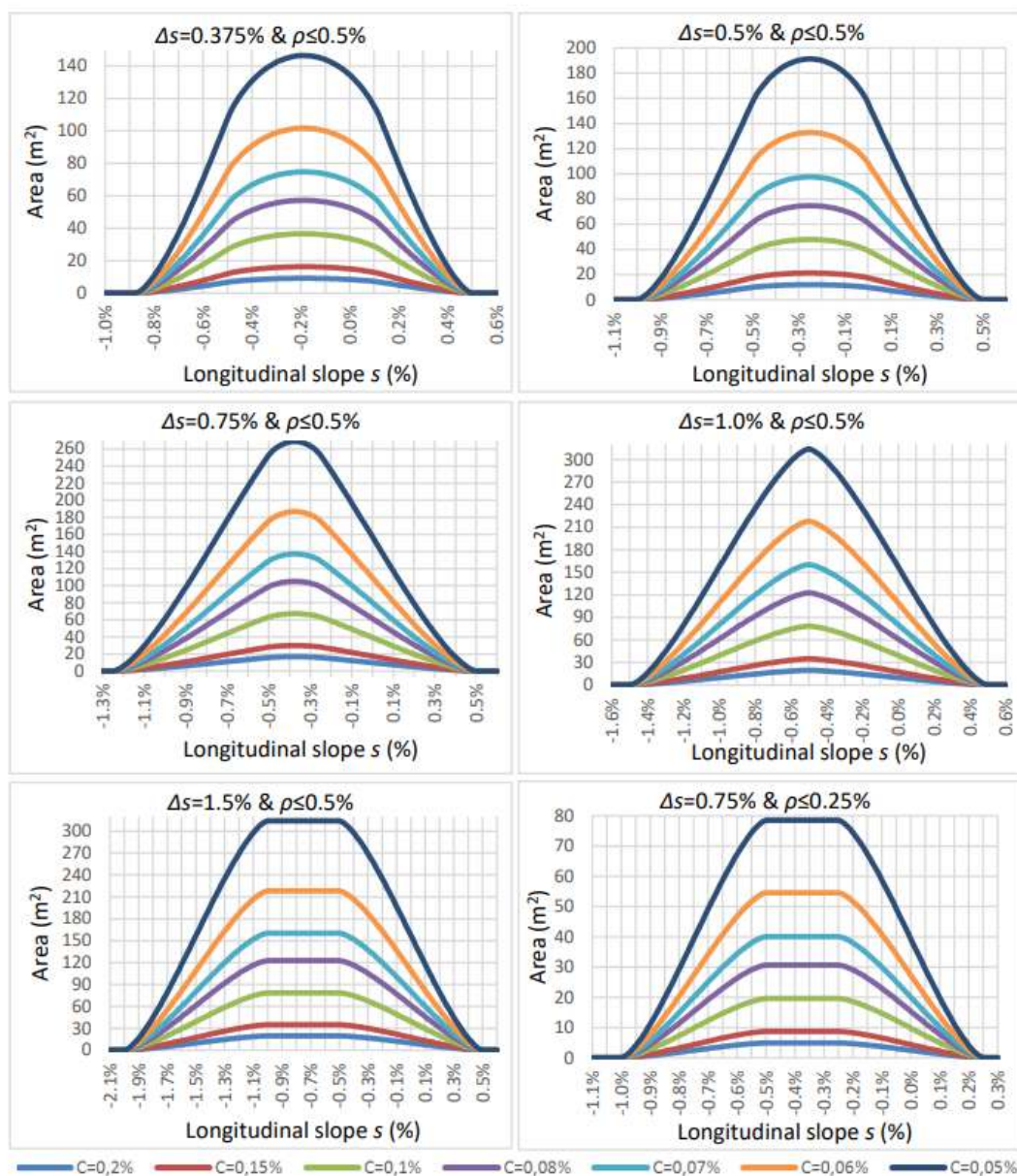
Tangent Cross slope	Max. Superelevation	Clothoid length	Superelevation rate per unit length	Longitudinal slope	Coordinates of zero resultant slope point		Radius of circle where $\rho_0 = 0.5\%$	Area of circle where $\rho_0 \leq 0.5\%$
q_0 (%)	q (%)	L (m)	C (%)	s_0 (%)	X_c (m)	Y_c (m)	r_{ab} (m)	E (m ²)
2.50	7.50	50.0	0.20	-0.5	12.50	2.45	2.50	15.98
2.50	7.50	50.0	0.20	-1.0	12.50	5.00	2.50	3.84
2.50	7.50	50.0	0.20	-1.5	12.50	7.50	2.50	0.00
2.50	7.50	50.0	0.20	0.00	12.50	0.00	2.50	9.82
2.50	7.50	50.0	0.20	0.25	12.50	-1.25	2.50	3.84
2.50	7.50	50.0	0.20	0.40	12.50	-2.00	2.50	1.02
2.50	7.50	50.0	0.20	0.45	12.50	-2.25	2.50	0.37
2.50	7.50	50.0	0.20	0.50	12.50	-2.50	2.50	0.00

Τέλος, με τη βοήθεια του Πίνακα 2-13, σχεδιάστηκε το παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2-19), στο οποίο απεικονίζεται η καμπύλη που συνδέει το εμβαδό της επιφάνειας του οδοστρώματος με σύνθετη κλίση $\rho \leq 0.5\%$, με την αντίστοιχη κατά μήκος κλίση για $\Delta s = 0.75\%$.



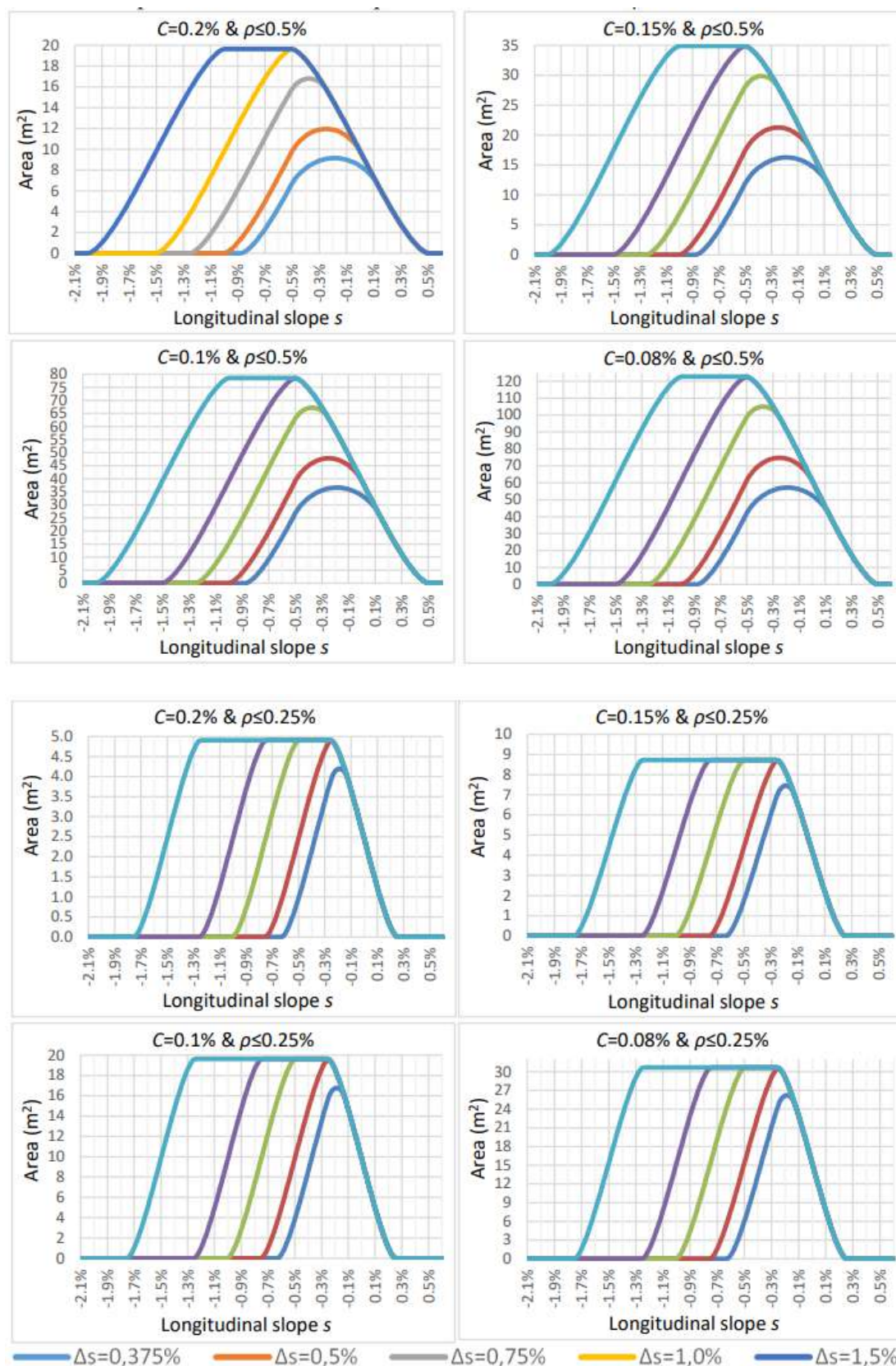
Σχήμα 2-19. Εμβαδό της επιφάνειας οδοστρώματος με σύνθετη κλίση $\rho \leq \rho_0 = 0.5\%$ για τις διάφορες τιμές της κατά μήκος κλίσης $s\%$ και για $\Delta s = 0.75\%$.

Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε για διάφορες τιμές του Δs , αλλά και του C , και προέκυψαν τα παρακάτω διαγράμματα (Σχήμα 2-20):



Σχήμα 2-20. Εμβαδό της επιφάνειας οδοστρώματος με σύνθετη κλίση $\rho \leq \rho_0 = 0.5\%$ ή $\rho \leq \rho_0 = 0.25\%$ για τις διάφορες τιμές της κατά μήκος κλίσης $s\%$ (για 5 διαφορετικές τιμές Δs και 7 διαφορετικές τιμές C).

Τέλος, σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα, αυτή τη φορά κρατώντας το C σταθερό σε κάθε περίπτωση, με τις καμπύλες να απεικονίζουν τις διάφορες τιμές του Δs , όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 2-21:



Σχήμα 2-21. Εμβαδό της επιφάνειας οδοστρώματος με σύνθετη κλίση $\rho \leq 0.5\%$ ή $\rho \leq 0.25\%$ για τις διάφορες τιμές της κατά μήκος κλίσης s (για 5 διαφορετικές τιμές Δs και 4 διαφορετικές τιμές C).

Συμπεράσματα:

Από τα παρακάτω διαγράμματα προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Η μέγιστη επιφάνεια οδοστρώματος με μη ικανοποιητική απορροή των ομβρίων προκύπτει όταν η κατά μήκος κλίση ισούται με το αντίθετο μισό της πρόσθετης κλίσης οριογραμμής ($s = -\Delta s/2$).
2. Όταν ισχύουν οι συνθήκες που περιγράφονται στο συμπέρασμα 1, τότε το σημείο όπου η προκύπτουσα κλίση είναι μηδενική, βρίσκεται στο μέσο του πλάτους του οδοστρώματος.
3. Η επιλογή της διαμήκου κλίσης $s > \rho_0$ εξασφαλίζει ότι η προκύπτουσα κλίση δεν θα είναι μικρότερη από ρ_0 υπό όλες τις συνθήκες.
4. Η επιλογή της διαμήκου κλίσης $s < -\rho_0 - \Delta s$ εξασφαλίζει ότι η προκύπτουσα κλίση δεν θα είναι μικρότερη από ρ_0 υπό όλες τις συνθήκες.
5. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος του οδοστρώματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η περιοχή της μη ικανοποιητικής αποστράγγισης.

2.4 Σύνοψη Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης

Όπως παρατηρήθηκε, όλοι οι προαναφερθέντες κανονισμοί παρέχουν πολλές οδηγίες για να επιτυγχάνεται η ικανοποιητική αποστράγγιση των ομβρίων στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Ωστόσο, οι έρευνες που καλύπτουν το θέμα αυτό, είναι ελλιπείς. Πιο συγκεκριμένα, δεν έχουν εξεταστεί συνδυασμοί χάραξης εγκάρσιας και διαμήκου κλίσης, προκειμένου να προκύψουν κρίσιμες περιπτώσεις προς αποφυγήν και επιπλέον δεν διατίθεται ποσοτικός προσδιορισμός ως προς το ποσοστό της επιφάνειας του οδοστρώματος στο οποίο παρατηρούνται λιμνάζοντα όμβρια και κατά συνέπεια υφίσταται κίνδυνος υδρολίσθησης οχημάτων.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία επιχειρείται να καλυφθεί αυτό το κενό, καθώς θα εξεταστούν κρίσιμοι συνδυασμοί επίκλισης και κατά μήκος κλίσης, αλλά και άλλων γεωμετρικών χαρακτηριστικών.

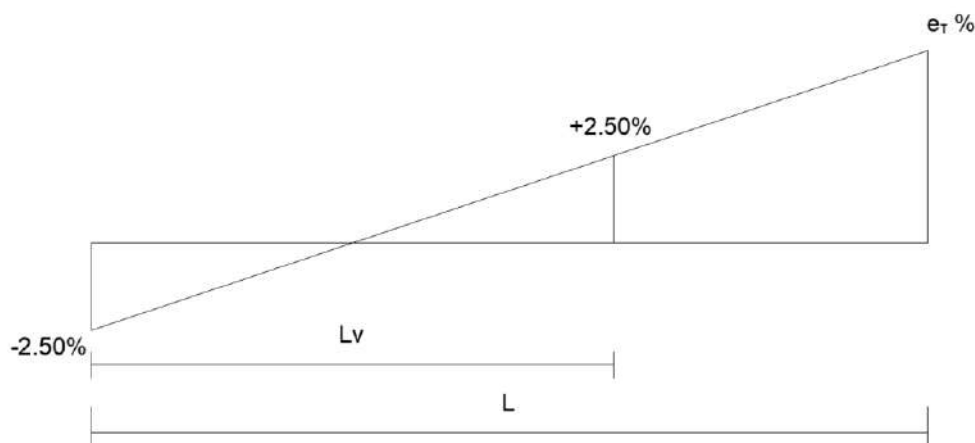
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν και θα οριστούν βασικές έννοιες και οι εξισώσεις που τις περιγράφουν, οι οποίες είτε έχουν ήδη προαναφερθεί ονομαστικά στην ενότητα της βιβλιογραφίας, είτε θα χρειαστούν στις επόμενες για την ομαλή συνέχεια της διπλωματικής εργασίας. Μιας και η παρούσα εργασία βασίζεται στις οδηγίες ΟΜΟΕ, όλοι οι ορισμοί που θα εξεταστούν σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται σε αυτές τις διατάξεις.

3.1 Μήκος προσαρμογής L_v κατά την μετάβαση από επίκλιση -2.50% σε $+2.50\%$

Το κρίσιμο τμήμα της γεωμετρίας εντός του οποίου ελέγχεται η επάρκεια απορροής είναι στην περιοχή όπου το οδόστρωμα περιστρέφεται μεταξύ -2.50% έως $+2.50\%$.

Από το Σχήμα 3-1 υπολογίζεται γεωμετρικά η εξίσωση (Σχέση [3-1]), η οποία συνδέει το συνολικό μήκος L του τόξου συναρμογής, όπως αυτό προέκυψε από την Σχέση [2-1], με το μήκος προσαρμογής L_v κατά την μετάβαση από επίκλιση -2.5% σε $+2.5\%$. Απαραίτητο δεδομένο αποτελεί η τιμή της επίκλισης e_t (%) του οδοστρώματος στο πέρας του τμήματος συναρμογής.

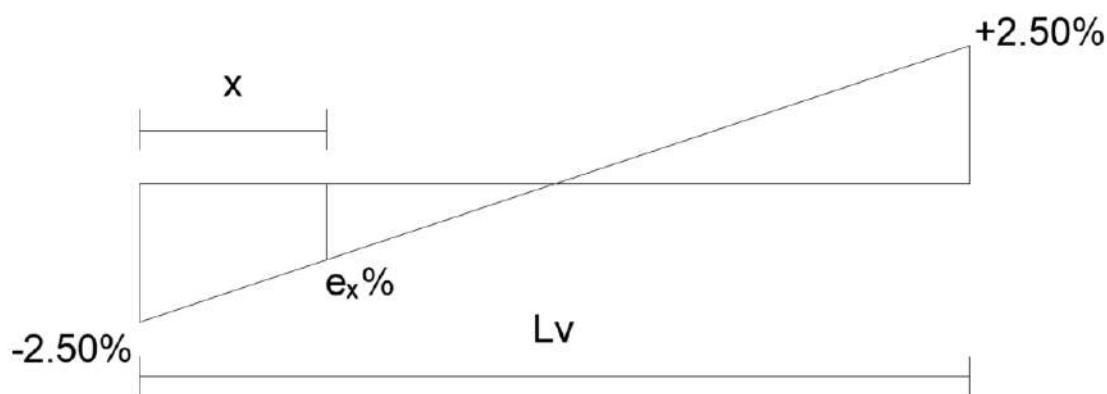


Σχήμα 3-1. Γεωμετρική απεικόνιση του μήκους προσαρμογής L_v κατά την μετάβαση από επίκλιση -2.50% σε $+2.50\%$

$$L_v = \frac{2 \cdot 2.5}{2.5 + e_t} \cdot L \quad [3-1]$$

3.2 Ενδιάμεσες τιμές επικλίσεων κατά το μήκος προσαρμογής L_v

Από το Σχήμα 3-2 υπολογίζεται με την βοήθεια της γεωμετρίας, η τιμή της επίκλισης $e_x\%$ σε κάθε θέση x του μήκους προσαρμογής L_v κατά την μετάβαση από επίκλιση -2.50% σε $+2.50\%$, όπου $x \in [0, L_v]$.



Σχήμα 3-2. Γεωμετρική απεικόνιση εύρεσης της τιμής της επίκλισης $e_x\%$, σε απόσταση x από την αρχή του τόξου συναρμογής.

Προκύπτει λοιπόν η παρακάτω Σχέση [3-2], η οποία εξαρτάται από την τιμή του μήκους προσαρμογής L_v , όπως υπολογίστηκε και από την Σχέση [3-1], και την απόσταση x από την αρχή του τόξου συναρμογής.

$$e_x\% = \frac{-2.5 \cdot \left(\frac{L_v}{2} - x\right)}{\frac{L_v}{2}} \quad [3-2]$$

Συνεπώς η τιμή της e_x παίρνει τιμές από -2.5% , για $x = 0$ έως $+2.5\%$ για $x = L_v$.

3.3 Πρόσθετη κλίση οριογραμμής

Ως πρόσθετη κλίση οριογραμμής Δs , ορίζεται η διαφορά μεταξύ των κατά μήκος κλίσεων της οριογραμμής του οδοστρώματος και του άξονα περιστροφής του. Αυτή υπολογίζεται από τη Σχέση [3-3]:

$$\Delta s = \frac{e_t - e_a}{L} \cdot \alpha \quad [3-3]$$

όπου:

Δs [%] πρόσθετη κλίση οριογραμμής

e_t [%] επίκλιση οδοστρώματος στο τέλος του τμήματος προσαρμογής

e_a [%] επίκλιση οδοστρώματος στην αρχή του τμήματος προσαρμογής (η e_a έχει αρνητική τιμή όταν είναι αντίρροπη της e_t)

L [m] μήκος προσαρμογής της επίκλισης

α [m] 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).

3.4 Ελάχιστο και μέγιστο μήκος προσαρμογής επίκλισης

Το ελάχιστο μήκος προσαρμογής της επίκλισης L_{Vmin} προκύπτει από την Σχέση [3-4], σε συνάρτηση με τη μέγιστη τιμή της πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών Δs_{max} σύμφωνα με τον Πίνακα 2-11 και της απόστασης α της οριογραμμής του οδοστρώματος από τον άξονα περιστροφής του.

$$L_{Vmin} = \frac{e_t - e_a}{\Delta s_{max}} \cdot \alpha \quad [3-4]$$

όπου:

L_{Vmin} [m] ελάχιστο μήκος προσαρμογής της επίκλισης

Δs_{max} [%] μέγιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμής

e_t [%] επίκλιση οδοστρώματος στο τέλος του τμήματος προσαρμογής

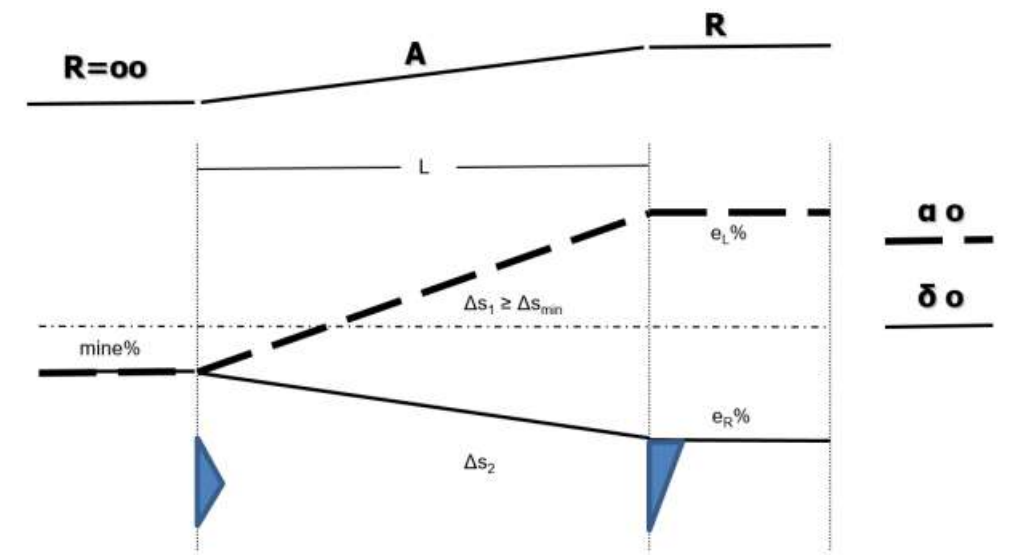
e_a [%] επίκλιση οδοστρώματος στην αρχή του τμήματος προσαρμογής (η e_a έχει αρνητική τιμή όταν είναι αντίρροπη της e_t).

Στις περιοχές προσαρμογής της επίκλισης όπου η επίκλιση μεταβάλλεται από $+e_{min}$ μέσω της τιμής 0% σε $-e_{min}$ η πρόσθετη κλίση των οριογραμμών, δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την τιμή Δs_{min} του Πίνακα 2-11. Συνεπώς, ορίζεται L_{Vmax} σύμφωνα με την Σχέση [3-5]:

$$L_{Vmax} = \frac{e_{min} - (-e_{min})}{\Delta s_{min}} \cdot \alpha = \frac{2.5 - (-2.5)}{0.1 \cdot a} \cdot a = 50 \text{ m} \quad [3-5]$$

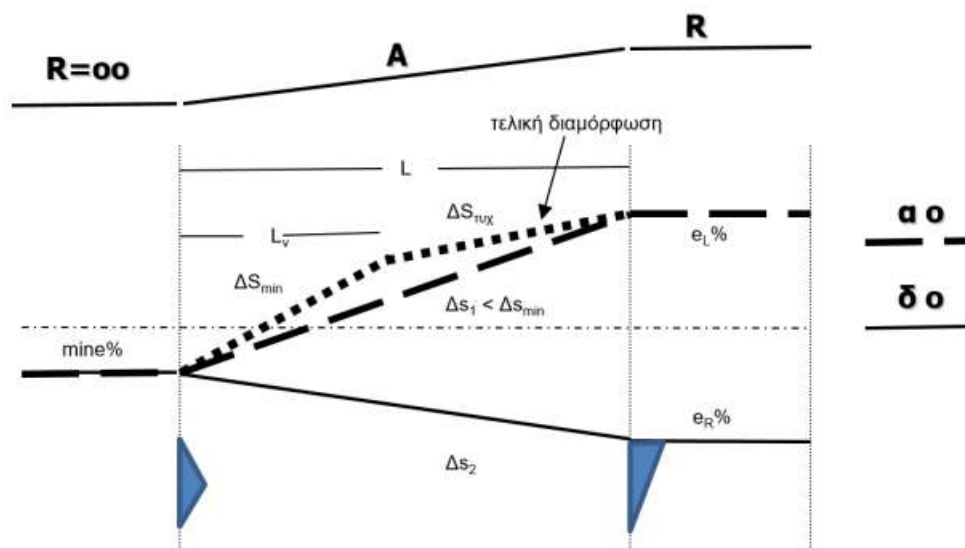
Στα παρακάτω Σχήματα [3-3], [3-4], φαίνονται τα διαγράμματα καμπυλότητας – επικλίσεων με τις διάφορες περιπτώσεις μεταβολής των επικλίσεων για μετάβαση από αμφικλινές οδόστρωμα από ευθυγραμμία σε καμπύλη μέσω τόξου συναρμογής.

Περίπτωση 1α



Σχήμα 3-3. Μετάβαση από αμφικλινές οδόστρωμα στην ευθυγραμμία σε καμπύλη μέσω τόξου συναρμογής
 $(\Delta S_1 \geq \Delta S_{min})$ [4]

Περίπτωση 1β



Σχήμα 3-4. Μετάβαση από αμφικλινές οδόστρωμα στην ευθυγραμμία σε καμπύλη μέσω τόξου συναρμογής, όπου $\Delta s_1 < \Delta s_{min}$ [4]

Στις περιπτώσεις αυτής της μορφής, βάσει της Σχέσης [3-4] και του Πίνακα 2-11, ορίζεται μήκος $L_v=50.00\text{m}$ όπου $\Delta s=\Delta s_{\min}$ και στη συνέχεια, στο διάστημα μεταξύ L_v και L , η πρόσθετη κλίση οριογραμμής $\Delta s_{\text{τυχ}}$ υπολογίζεται με την Σχέση [3-6]:

$$\Delta s_{\text{τυχ}} = \frac{e_L - 2.50}{L - L_v} \cdot a \quad [3-6]$$

3.5 Σύνθετη κλίση p

Η σύνθετη κλίση ορίζεται ως το διανυσματικό άθροισμα της κατά μήκος κλίσης s και της επίκλισης e , (Σχέση [3-7]). Είναι απαραίτητη για ελέγχους για τη σωστή αποστράγγιση του οδοστρώματος και της αποφυγής ολίσθησης των οχημάτων σε συνθήκες παγετού.

$$p = \sqrt{(s + \Delta s)^2 + e^2} \quad [3-7]$$

όπου:

p [%] σύνθετη κλίση

s [%] κατά μήκος κλίση

Δs [%] πρόσθετη κλίση οριογραμμής

e [%] επίκλιση

Αναμένεται με βάση την Σχέση [3-7] ότι η επιφάνεια με συγκεκριμένη τιμή σύνθετης κλίσης είναι εξίσωση κύκλου με μεταβλητές x^2 την κλίση και y^2 την επίκλιση.

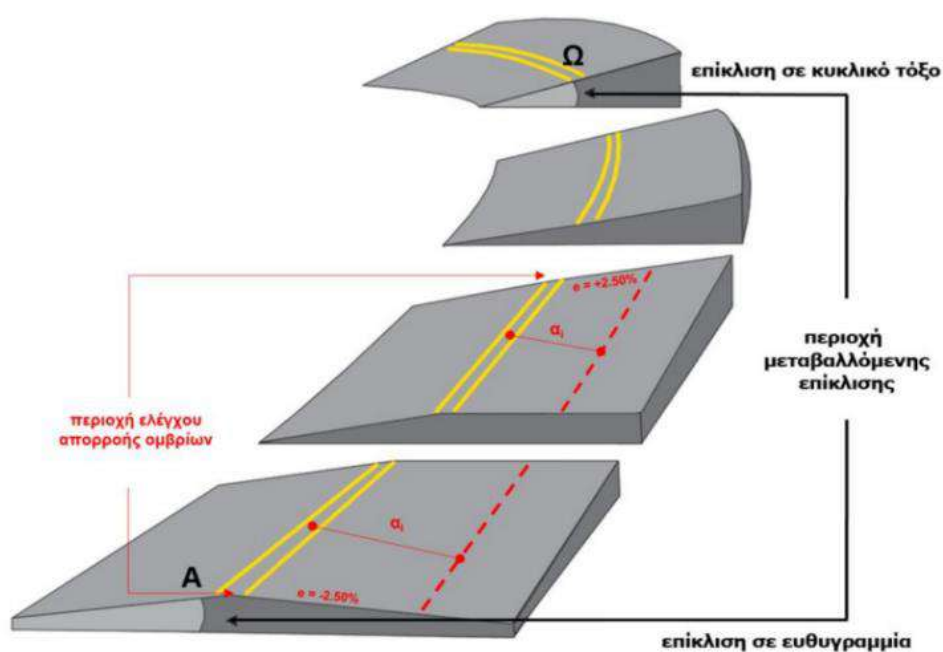
3.6 Κλίση οριογραμμής σε απόσταση a_i από τον άξονα περιστροφής της οδού με λωρίδα κυκλοφορίας α

Η κλίση οριογραμμής (αριστερή ή δεξιά) εντός τόξου συναρμογής προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα της κατά μήκος κλίσης του άξονα περιστροφής της οδού και της πρόσθετης κλίσης της αντίστοιχης αριστερής ή δεξιάς οριογραμμής Δs . Έτσι, σε απόσταση $a_i < a$ από τον άξονα περιστροφής ισχύει:

$$S_{op}(\text{σε απόσταση } a_i) = S_{\text{άξονα}} + \Delta s \frac{a_i}{a} \quad [3-8]$$

Με βάση την Σχέση [3-7] προκύπτει ότι στην περιοχή της οριογραμμής σε απόσταση a_i από τον άξονα περιστροφής της οδού, για να επιτυγχάνεται ικανοποιητική απορροή ομβρίων, η σύνθετη κλίση πρέπει να ισούται με:

$$p = \sqrt{\left(s_{\text{άξονα}} + \Delta s \frac{a_i}{a}\right)^2 + e^2} \geq 0.5\% \quad [3-9]$$



Σχήμα 3-5. Περιοχή ελέγχου ικανοποιητικής απορροής ομβρίων οδοστρώματος (απεικόνιση μόνο περιοχής εισόδου στο κυκλικό τόξο). [4]

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Κατασκευάστηκε κώδικας σε περιβάλλον MATLAB με στόχο την εύρεση της σύνθετης κλίσης p σε κάθε σημείο της επιφάνειας του οδοστρώματος για τις διάφορες περιπτώσεις γεωμετρικών χαρακτηριστικών που εξετάστηκαν. Συγκεκριμένα, θεωρώντας αμφικλινή επίκλιση στην ευθυγραμμία, εξετάστηκε η αριστερή λωρίδα υπεραστικής οδού δύο λωρίδων με ενιαίο οδόστρωμα σε δεξιόστροφη καμπύλη, η οποία αποτελεί και την κρίσιμη περίπτωση δεδομένου ότι η επίκλιση μεταβαίνει από αρνητική σε θετική τιμή. Η οδός είναι κατηγορίας Α και το έδαφος επιλέχθηκε λοφώδες και ορεινό. Η κατά μήκος κλίση θεωρήθηκε σταθερή. Κατασκευάστηκαν για κάθε υποπερίπτωση θερμικά διαγράμματα στα οποία απεικονίζεται η τιμή της σύνθετης κλίσης με διαφορετικό χρώμα. Τέλος, με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν, δημιουργήθηκαν διαγράμματα, έτσι ώστε με τα κατάλληλα δεδομένα, να υπολογίζεται το ποσοστό της επιφάνειας οδοστρώματος με τιμές σύνθετης κλίσης μικρότερης του 0.5% ($p \leq 0.5\%$) ως προς τη δυνητικά κρίσιμη η οποία ορίζεται μεταξύ τιμών επίκλισης από -2.5% έως +2.5%

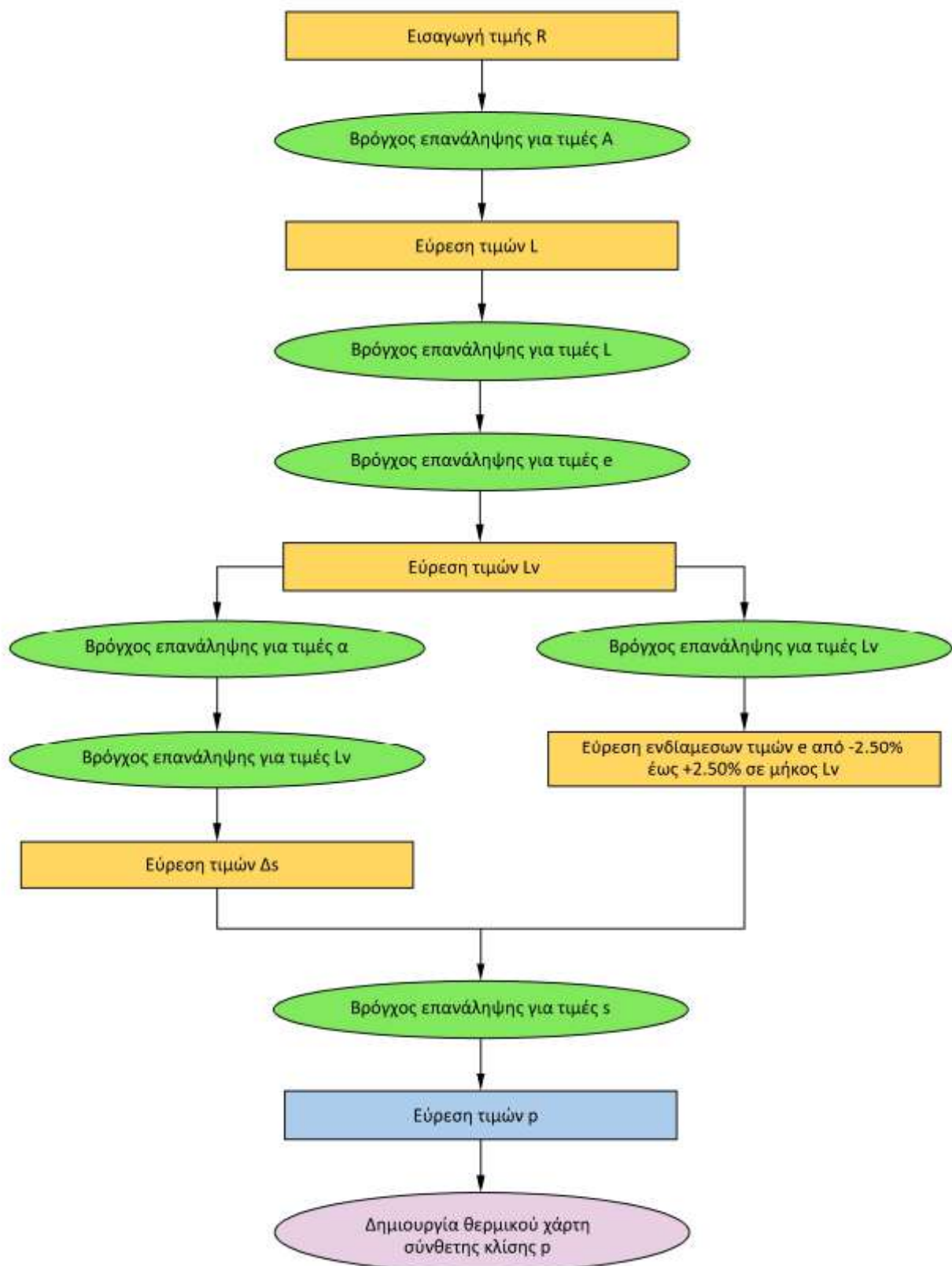
4.1 Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Οδού

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, εξετάστηκαν υπεραστικές οδοί δύο λωρίδων, με ενιαία επιφάνεια κυκλοφορίας και χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω δεδομένα:

- $V_e \geq 60$, (ταχύτητα μελέτης, [km/h])
- $R = [140 (R_{\min} \text{ για } V_e=60\text{km/h}), 200, 400, 600, 800, 1000]$, (ακτίνα καμπύλης, [m])
- $A = [R/3, R/2, R]$, (παράμετρος κλωθοειδούς, [m])
- $e_a\% = 2.5$, (αρχική επίκλιση στην αρχή του τόξου συναρμογής)
- $e_t\% = [4, 5.5, 7]$, (τελική επίκλιση στο κυκλικό τόξο).
- $\alpha = [3.25, 3.50, 3.75]$, (εύρος λωρίδας κυκλοφορίας, [m])
- $s\% = [-1.0 \text{ έως } 1.0]$, με βήμα 0.1, (κατά μήκος κλίση οδού)

4.2 Κατασκευή θερμικού διαγράμματος

Η κατασκευή του θερμικού διαγράμματος (heat map) με τις τιμές της σύνθετης κλίσης p , δομήθηκε μετά από αλληπάλληλους βρόγχους επαναλήψεων για τους διάφορους συνδυασμούς των παραπάνω γεωμετρικών χαρακτηριστικών της οδού. Στο Σχήμα 4-1 απεικονίζονται σε διάγραμμα τα βήματα που πραγματοποιήθηκαν. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε περιγράφεται αναλυτικά στα παρακάτω υποκεφάλαια.



Σχήμα 4-1. Διαδικασία κατασκευής θερμικού χάρτη τιμών σύνθετης κλίσης.

4.2.1 Εύρεση τιμών μήκους προσαρμογής επίκλισης

Η υπολογιστική διαδικασία ξεκίνησε με ακτίνα την R_{min} . Με δεδομένη λοιπόν ακτίνα $R = 140m$, και για τις τρεις διαφορετικές τιμές της παραμέτρου κλωθοειδούς A , από την Σχέση [2-1], προκύπτουν τρία διαφορετικά μήκη L κλωθοειδούς καμπύλης. Χρησιμοποιώντας τις συγκεκριμένες τιμές A για την εύρεση του μήκους του τόξου συναρμογής υπολογίζονται οι οριακές τιμές L . Στη συνέχεια, με την διαδικασία η οποία περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3.1, και με τις τρεις διαφορετικές τιμές τελικών επικλίσεων (e_t) όπως αναφέρονται στα δεδομένα, υπολογίζονται εννέα μήκη προσαρμογής επίκλισης L_v . Αξίζει να αναφερθεί, ότι οι τιμές αυτές των επικλίσεων, αναλόγως και με την δεδομένη ακτίνα R , αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες τιμές λειτουργικής ταχύτητας V_{85} (Σχήμα 2-16). Σύμφωνα όμως με τις οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ, και τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές της πρόσθετης κλίσης οριογραμμής Δs , πρέπει να ελεγχθεί αν τα μήκη προσαρμογής που προέκυψαν είναι μέσα στα επιθυμητά όρια. Συγκεκριμένα:

Για ταχύτητα μελέτης $V_e = 60 \text{ km/h}$, και για εύρος λωρίδας κυκλοφορίας μικρότερο των $4.0m$, από Πίνακα 2-11, προκύπτουν:

$$\Delta s_{max} = 0.4 \cdot a \rightarrow \frac{e_t - e_a}{L_{vmin}} \cdot a = 0.4 \cdot a \rightarrow L_{vmin} = \frac{2.5 - (-2.5)}{0.4} = 12.5 \text{ m} \quad [4-1]$$

$$\Delta s_{min} = 0.1 \cdot a \rightarrow \frac{e_t - e_a}{L_{vmax}} \cdot a = 0.1 \cdot a \rightarrow L_{vmax} = \frac{2.5 - (-2.5)}{0.1} = 50 \text{ m} \quad [4-2]$$

Για τους παραπάνω υπολογισμούς θεωρήθηκε $e_t = +2.5\%$ και $e_a = -2.5\%$, καθώς η περιοχή που εξετάζεται, είναι το τμήμα της οδού μέσα στο οποίο η επίκλιση από -2.5% παίρνει την τιμή $+2.5\%$.

Επιπλέον, για τις υπόλοιπες τιμές της ταχύτητας μελέτης V_e ισχύει:

Πίνακας 4-1. Τιμές L_{vmin} για τις διάφορες τιμές ταχύτητας μελέτης V_e .

Ταχύτητα Μελέτης (V_e)	Δs_{max} (για $\alpha < 4$)	L_{vmin} [m]	L_{vmax} [m]
60...70	$0.40 \cdot \alpha$	12.5	50
80...90	$0.25 \cdot \alpha$	20	
100...110	$0.20 \cdot \alpha$	25	

Συνεπώς όσες τιμές του μήκους προσαρμογής της επίκλισης, L_v δεν ανήκουν στο διάστημα $[L_{vmin}, L_{vmax}]$, θα πρέπει να αλλάξουν και να πάρουν τις οριακές τιμές L_{vmin}, L_{vmax} . Δηλαδή:

- Εάν $L_v < L_{vmin}$, τότε, $L_v = L_{vmin}$. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι πρέπει να αυξηθεί η τιμή του L_v , το οποίο θα επιτευχθεί με την αύξηση του μήκους L της κλωθοειδούς. Η τιμή του L υπολογίζεται γεωμετρικά, όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 3.1, με την βοήθεια της Σχέσης [3-1], λυμένη ως προς L και θέτοντας $L_v = L_{vmin}$. Άρα θα αλλάξει και η ελάχιστη τιμή του μήκους L του τόξου συναρμογής, όπως υπολογίστηκε προηγουμένως θέτοντας $A_{min} = R/3$. Συγκεκριμένα, αφού η ελάχιστη τιμή του μήκους προσαρμογής L_v είναι τα 12.5m, με την εφαρμογή της Σχέσης [3-1], θέτοντας $\Delta s = \Delta s_{max}$ προκύπτουν τα εξής:

1. Για $e_t = 4.0\%$, η L_{min} που προκύπτει ισούται με 16.25m.
2. Για $e_t = 5.5\%$, η L_{min} που προκύπτει ισούται με 20m.
3. Για $e_t = 7.0\%$, η L_{min} που προκύπτει ισούται με 23.75m.

Προφανώς, εάν η L_{min} που έχει προκύψει από την εφαρμογή της $A_{min} = R/3$ είναι μεγαλύτερη, θα θεωρηθεί αυτή η τιμή ως το ελάχιστο επιτρεπτό όριο. Ο έλεγχος αυτός γίνεται συνήθως για τις μικρές τιμές της ακτίνας R , καθώς με την αύξηση της ακτίνας ακολουθεί η αύξηση της τιμής του μήκους του τόξου συναρμογής, συνεπώς και η αύξηση του μήκους προσαρμογής της επίκλισης L_v .

- Αντίστοιχα, εάν $L_v > L_{vmax}$, τότε, $L_v = L_{vmax}$. Εδώ δεν αλλάζει το μήκος του τόξου συναρμογής, αλλά υπολογίζεται μια πρόσθετη κλίση οριογραμμής $\Delta s_{\text{τυχ}}$ στο διάστημα μεταξύ L_v και L . Η τιμή αυτή δεν απασχολεί την παρούσα εργασία, μιας και όλοι οι υπολογισμοί αφορούν το διάστημα L_v .

4.2.2 Υπολογισμός ενδιάμεσων τιμών επικλίσεων στο μήκος προσαρμογής επίκλισης

Για τα εννέα διαφορετικά L_v που έχουν προκύψει, υπολογίζεται σε όλο το μήκος τους η επίκλιση σε κάθε θέση, ανά 0.1 m, με την βοήθεια της Σχέσης [3-2]. Οι τιμές συγκεντρώνονται σε εννέα πίνακες, έναν για κάθε μήκος προσαρμογής, με το πλήθος των στοιχείων τους να εξαρτάται από την τιμή του L_v . Συγκεκριμένα το πλήθος αυτό μπορεί να υπολογιστεί εύκολα, με την διαίρεση της τιμής του κάθε L_v με το 0.1, και στην συνέχεια να προστεθεί μονάδα. Προφανώς, για $x = 0$, η e_0 ισούται με -2.5% και για $x = L_v$, $e_{Lv} = +2.5\%$.

4.2.3 Εύρεση πρόσθετης κλίσης οριογραμμής (Δs)

Για τον υπολογισμό της σύνθετης κλίσης, απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός της πρόσθετης κλίσης σε κάθε σημείο του οδοστρώματος. Το εύρος λωρίδας κυκλοφορίας χωρίζεται ανά 0.25 m, και σε κάθε θέση, υπολογίζεται με την Σχέση [3-3] μια διαφορετική τιμή πρόσθετης κλίσης. Δηλαδή, για $\alpha = 3.25$ m, χωρισμένο ανά 0.25m, προκύπτουν $3.25/0.25 = 13$ τιμές Δs , από τον άξονα μέχρι την οριογραμμή. Αντίστοιχα, για $\alpha = 3.50$ m, προκύπτουν 14 τιμές, ενώ για $\alpha = 3.75$ m, 15 τιμές. Οι τιμές των επικλίσεων αρχή και τέλους θεωρούνται -2.5% και +2.5% αντίστοιχα, ενώ αυτή του L_v , εξαρτάται από ποια περίπτωση από τις εννέα εξετάζεται. Η διαδικασία αυτή πρέπει να γίνει και για τις εννέα τιμές μήκους προσαρμογής επίκλισης L_v που έχουν υπολογιστεί. Τελικά, δημιουργούνται 27 πίνακες με τιμές πρόσθετης κλίσης, όπου το πλήθος των στοιχείων τους κυμαίνεται από 13 έως 15, ανάλογα με το εύρος λωρίδας της κυκλοφορίας.

4.2.4 Προσδιορισμός σύνθετης κλίσης p

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην παρούσα Διπλωματική Εργασία, εξετάζονται οδοί με σταθερή κλίση. Οι τιμές των κλίσεων για τις οποίες γίνεται η διερεύνηση είναι από -1% έως 1%, ανά 0,1%, δηλαδή 21 διαφορετικές τιμές κλίσεων s . Έχοντας υπολογίσει τις πρόσθετες κλίσεις και τις επικλίσεις σε κάθε θέση του οδοστρώματος όπως περιγράφονται στα κεφάλαια 4.2.3 και 4.2.2 αντίστοιχα, με την χρήση της Σχέσης [3-7], προσδιορίζεται η τιμή της σύνθετης κλίσης σε όλα τα σημεία της επιφάνειας της οδού. Ουσιαστικά, για κάθε περίπτωση παράγεται ένας πίνακας διαστάσεων (x,y) , όπου x είναι ο αριθμός των στηλών και αντιστοιχεί στο μήκος προσαρμογής επίκλισης διαιρεμένο ανά 0.1 m, και y είναι ο αριθμός των σειρών, που αντιστοιχούν στο εύρος λωρίδας κυκλοφορίας διαιρεμένο ανά 0.25m. Σε κάθε κελί του πίνακα αυτού, που αντιστοιχεί σε μια μικρότερη επιφάνεια του οδοστρώματος διαστάσεων $0.25m \cdot 0.1m$ αναγράφεται η σύνθετη κλίση p της θέσης αυτής.

Συνεπώς, για 3 διαφορετικές τιμές παραμέτρων κλωθοειδών A , για 3 τιμές τελικής επίκλισης e_t , για 3 διαφορετικά εύρη λωρίδας κυκλοφορίας α και για 21 τιμές διαμήκους κλίσης s , εξετάζονται τελικά $3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 21 = 567$ διαφορετικές περιπτώσεις.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις υπόλοιπες 5 τιμές της ακτίνας της καμπύλης R, οι οποίες φαίνονται στα δεδομένα. Συνολικά λοιπόν εξετάστηκαν $6 \cdot 567 = 3402$ περιπτώσεις.

Θεωρητικά, με τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν να κατασκευαστούν 3402 διαφορετικά θερμικά διαγράμματα ένα για κάθε περίπτωση που εξετάστηκε. Ωστόσο, με την αύξηση της ακτίνας R, άρα και του μήκους L του τόξου συναρμογής, τείνει να μεγαλώνει και το μήκος L_v της προσαρμογής της επίκλισης. Καθώς όμως το μέγιστο επιτρεπτό μήκος είναι τα 50m, εν τέλει πολλά από τα διαγράμματα που θα προκύψουν, θα είναι πανομοιότυπα. Ωστόσο αυτό θα αναλυθεί περαιτέρω στο Κεφάλαιο 5 με τα συμπεράσματα.

4.2.5 Αποτύπωση αποτελεσμάτων σε θερμικό διάγραμμα.

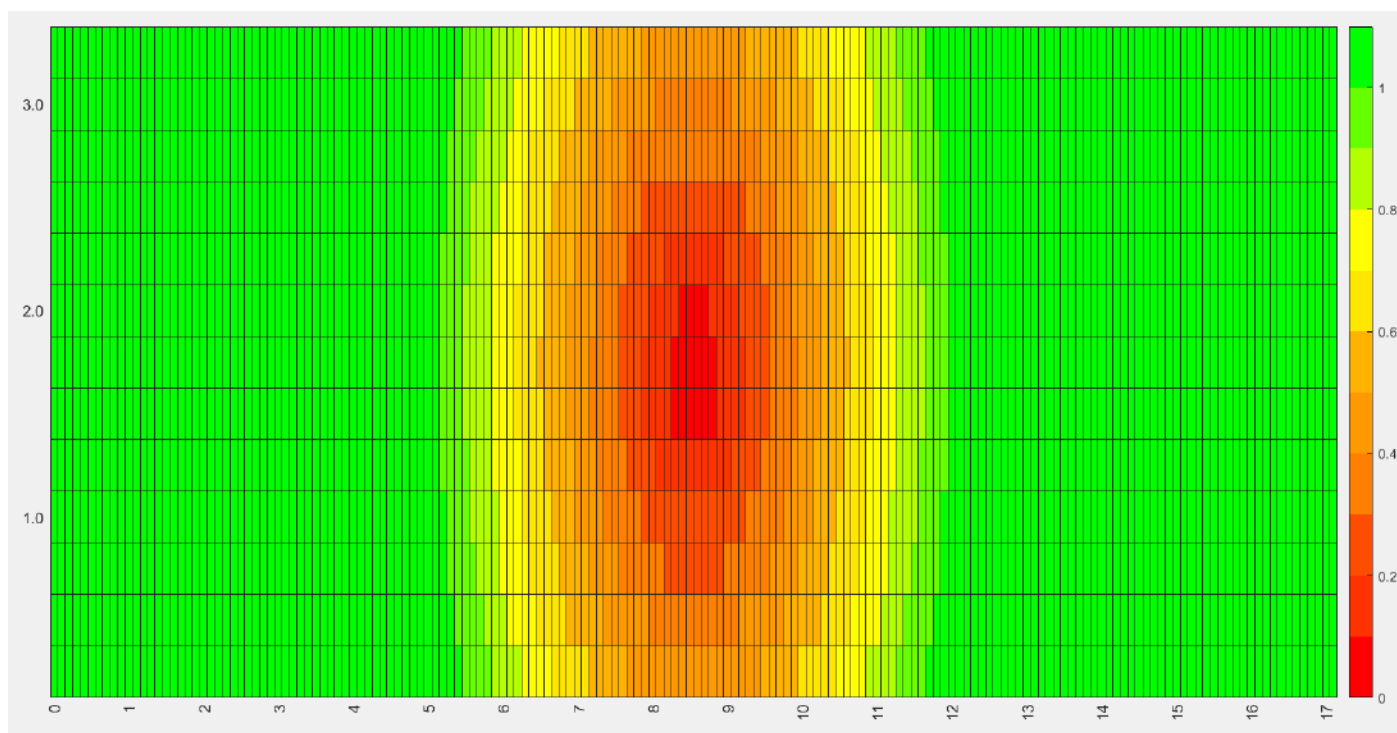
Κατασκευάστηκε αλγόριθμος στο περιβάλλον του MATLAB, με την βοήθεια του οποίου, εισάγοντας έναν από τους πίνακες με τις τιμές των σύνθετων κλίσεων, όπως αυτοί δημιουργήθηκαν στο Κεφάλαιο 4.2.4, παράγει ένα θερμικό διάγραμμα. Κάθε τιμή λαμβάνει και διαφορετικό χρώμα σύμφωνα με το παρακάτω υπόμνημα:

Πίνακας 4-2. Αποχρώσεις θερμικού διαγράμματος

Τιμές σύνθετης κλίσης p [%]
0
0.7
≥ 1

Για τις ενδιάμεσες τιμές, ($> 0\% \ \& \ < 0.7\%$, αλλά και $> 0.7\% \ \& \ < 1$), εφαρμόζεται μια διαβάθμιση χρωμάτων από κόκκινο $\rightarrow$ κίτρινο και από κίτρινο $\rightarrow$ πράσινο, αντίστοιχα. Στο παρακάτω Σχήμα 4-2, παρατίθεται ένα παράδειγμα θερμικού διαγράμματος, όπως ακριβώς εξάγεται από τον κώδικα που δημιουργήθηκε στο MATLAB, για δεδομένα:

- $R = 200\text{m}$ (ακτίνα καμπύλης)
- $A = R/3 = 66.67\text{m}$ (παράμετρος κλωθοειδούς)
- $e_t = 4.0\%$ (επίκλιση στο τέλος του τόξου συναρμογής)
- $\alpha = 3.25\text{m}$ (εύρος λωρίδας κυκλοφορίας)
- $s = -0.5\%$ (κατά μήκος κλίση)



Σχήμα 4-2. Ενδεικτικό Θερμικό διάγραμμα για $R=200m$, $A=R/3$, $\epsilon_t=4.0\%$, $\alpha=3.25m$, $s=-0.5\%$

4.3 Προσδιορισμός ποσοστού των τιμών της σύνθετης κλίσης κάτω του 0.5%

Με τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν στο Κεφάλαιο 4.2.4 και μετά από την κατάλληλη επεξεργασία τους, προσδιορίστηκαν τα ποσοστά των τιμών της σύνθετης κλίσης ρ που είναι μικρότερα ή ίσα του 0.5%, σε σχέση με την συνολική επιφάνεια εντός της οποίας το οδόστρωμα περιστρέφεται μεταξύ -2.5% και 2.5%. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν 3 διαγράμματα, ένα για κάθε εύρος λωρίδας κυκλοφορίας α (3.25, 3.50 και 3.75m). Αποτελούνται από δύο τεταρτημόρια, το 1^ο έχει άξονες x το μήκος του τόξου συναρμογής L και y το μήκος προσαρμογής επίκλισης L_v με την βοήθεια των οποίων χαράσσονται οι καμπύλες που περιγράφουν τις επικλίσεις e_t (4, 5.5, 7). Το 2^ο τεταρτημόριο αποτελείται από άξονες x τις τιμές των ποσοστών και y επίσης το μήκος προσαρμογής επίκλισης L_v . Σε αυτό το τεταρτημόριο απεικονίζονται οι καμπύλες των κατά μήκος κλίσεων s .

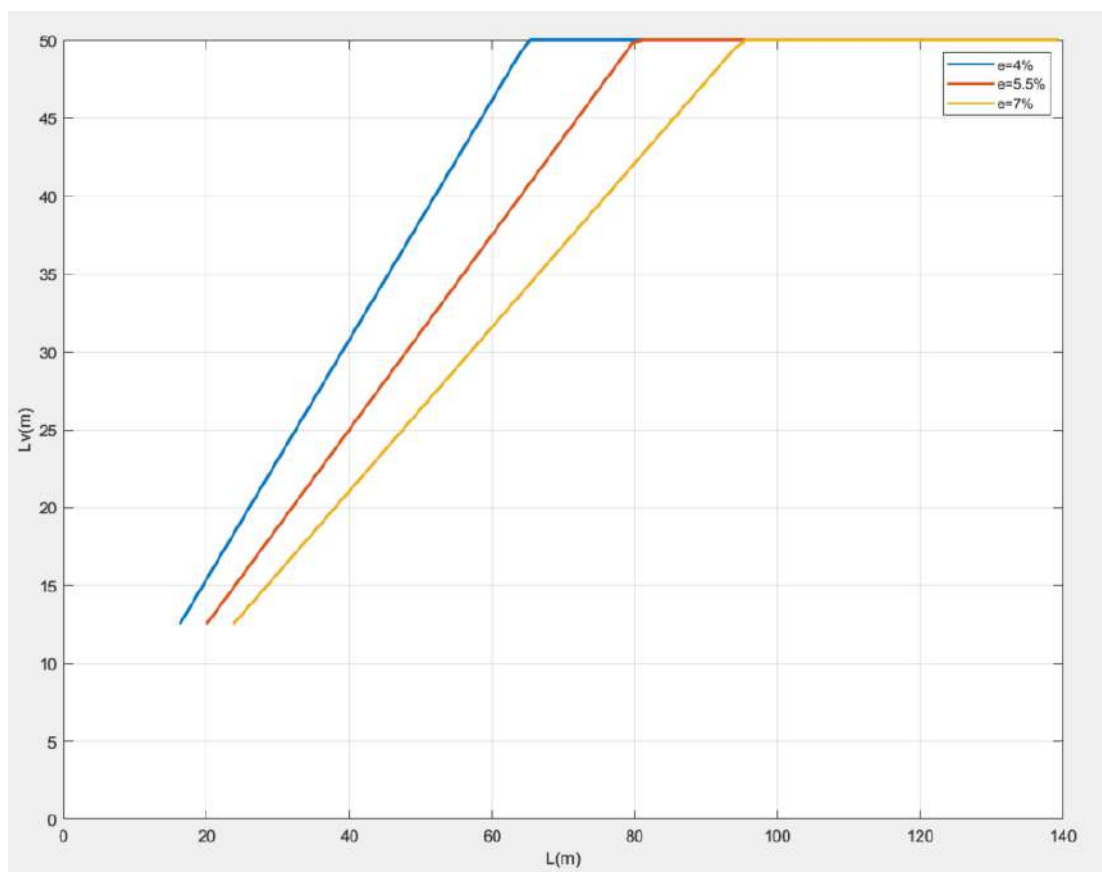
Για τον υπολογισμό των ποσοστών, και εν τέλει την κατασκευή των επιθυμητών διαγραμμάτων, έγινε διερεύνηση για ακτίνα $R=140m$. Όμως, όπως θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 5 με τα συμπεράσματα, η τιμή της ακτίνας δεν επηρέασε τα αποτελέσματα, ούτε την μορφή των διαγραμμάτων.

4.3.1 Εύρεση του ποσοστού των τιμών της σύνθετης κλίσης κάτω του 0.5%

Από τα 567 θερμικά διαγράμματα με τιμές της σύνθετης κλίσης p που αντιστοιχούν στην ακτίνα με τιμή $R = 140\text{m}$, υπολογίστηκε ο αριθμός των κελιών με τιμή $p \leq 0.5\%$ και διαιρέθηκε με τον συνολικό αριθμό των κελιών. Δηλαδή ουσιαστικά είναι σαν να υπολογίστηκε το εμβαδό της κόκκινης περιοχής ενός θερμικού διαγράμματος και να διαιρέθηκε με το συνολικό εμβαδό της επιφάνειας της λωρίδας του οδοστρώματος. Προέκυψαν λοιπόν, 567 τιμές από κάθε διαφορετικό συνδυασμό που εξετάστηκε, οι οποίες εκφράζουν ως ποσοστιαία επιφάνεια επί της δυνητικά κρίσιμης, το εύρος των τιμών της σύνθετης κλίσης το οποίο είναι κάτω από το επιθυμητό, ώστε να επιτυγχάνεται καλή απορροή των ομβρίων ($p\% \leq 0.5\%$). Από αυτές τις τιμές, για κάθε εύρος λωρίδας κυκλοφορίας α αντιστοιχούν $567/3=189$ τιμές, και για κάθε τιμή κατά μήκος κλίσης s , $189/21 = 9$ τιμές.

4.3.2 Κατασκευή 1ου τεταρτημόριου διαγράμματος

Το 1^ο τεταρτημόριο των διαγραμμάτων είναι πανομοιότυπο και στα 3 διαγράμματα που κατασκευάστηκαν ανεξάρτητα από την τιμή του εύρους λωρίδας κυκλοφορίας. Οι άξονες x και y είναι το μήκος της κλωθοειδούς L και το μήκος προσαρμογής επίκλισης L_v αντίστοιχα. Τα δύο αυτά μεγέθη είναι ανάλογα και συνδέονται με την Σχέση [3-1]. Με την χρήση της εξίσωσης αυτής βρέθηκαν τα ζεύγη τιμών x , y που να την επαληθεύουν και για τις τρεις τιμές της επίκλισης e_t . Συγκεκριμένα τέθηκαν τιμές από $L_{\min} = R/9$ έως $L_{\max} = R$ (όπως προκύπτουν από την Σχέση [2-1] για τιμές $A_{\min} = R/3$ έως $A_{\max} = R$) και υπολογίστηκαν οι τιμές L_v που αντιστοιχούν. Με το σύνολο λοιπόν των ζευγών x , y (L , L_v), σχεδιάστηκαν και οι καμπύλες των επικλίσεων. Όμως, όπως έχει ήδη αναφερθεί, το μήκος προσαρμογής επίκλισης έχει κάποιες οριακές τιμές $L_{v\min}$, $L_{v\max}$ που μπορεί να πάρει. Οι τιμές αυτές ισούνται με 12.5m και 50m αντίστοιχα. Αυτό είναι και το επιτρεπτό εύρος τιμών στο οποίο μπορούν να εκτείνονται οι καμπύλες των επικλίσεων κατά y . Τέλος οι καμπύλες των επικλίσεων χρωματίζονται με διαφορετικό χρώμα έτσι ώστε να ξεχωρίζουν, όπως φαίνεται στο βοηθητικό υπόμνημα που προστέθηκε. Το 1^ο τεταρτημόριο λοιπόν προκύπτει ως εξής (Σχήμα 4-3):



Σχήμα 4-3. Διάγραμμα επικλίσεων

Λόγω της ύπαρξης ελάχιστης τιμής της παραμέτρου κλωθοειδούς A , υπάρχει και μια ελάχιστη τιμή μήκους κλωθοειδούς L , αναλόγως με την τιμή της ακτίνας R . Το $L_{\min}$ της κάθε ακτίνας, προκύπτει όταν τεθεί η ελάχιστη τιμή της παραμέτρου $A_{\min} = R/3$, δηλαδή:

- Για $R = 140\text{m}$, $x = L_{\min} = R/9 = 15.56\text{m}^*$
- Για $R = 200\text{m}$, $x = L_{\min} = R/9 = 22.22\text{m}^*$
- Για $R = 300\text{m}$, $x = L_{\min} = R/9 = 33.33\text{m}$
- Για $R = 400\text{m}$, $x = L_{\min} = R/9 = 44.44\text{m}$
- Για $R = 500\text{m}$, $x = L_{\min} = R/9 = 55.56\text{m}$
- Για $R = 600\text{m}$, $x = L_{\min} = R/9 = 66.67\text{m}$
- Για $R = 700\text{m}$, $x = L_{\min} = R/9 = 77.78\text{m}$
- Για $R = 800\text{m}$, $x = L_{\min} = R/9 = 88.89\text{m}$
- Για $R = 900\text{m}$, $x = L_{\min} = R/9 = 100\text{m}$
- Για $R = 1000\text{m}$, $x = L_{\min} = R/9 = 111.11\text{m}$

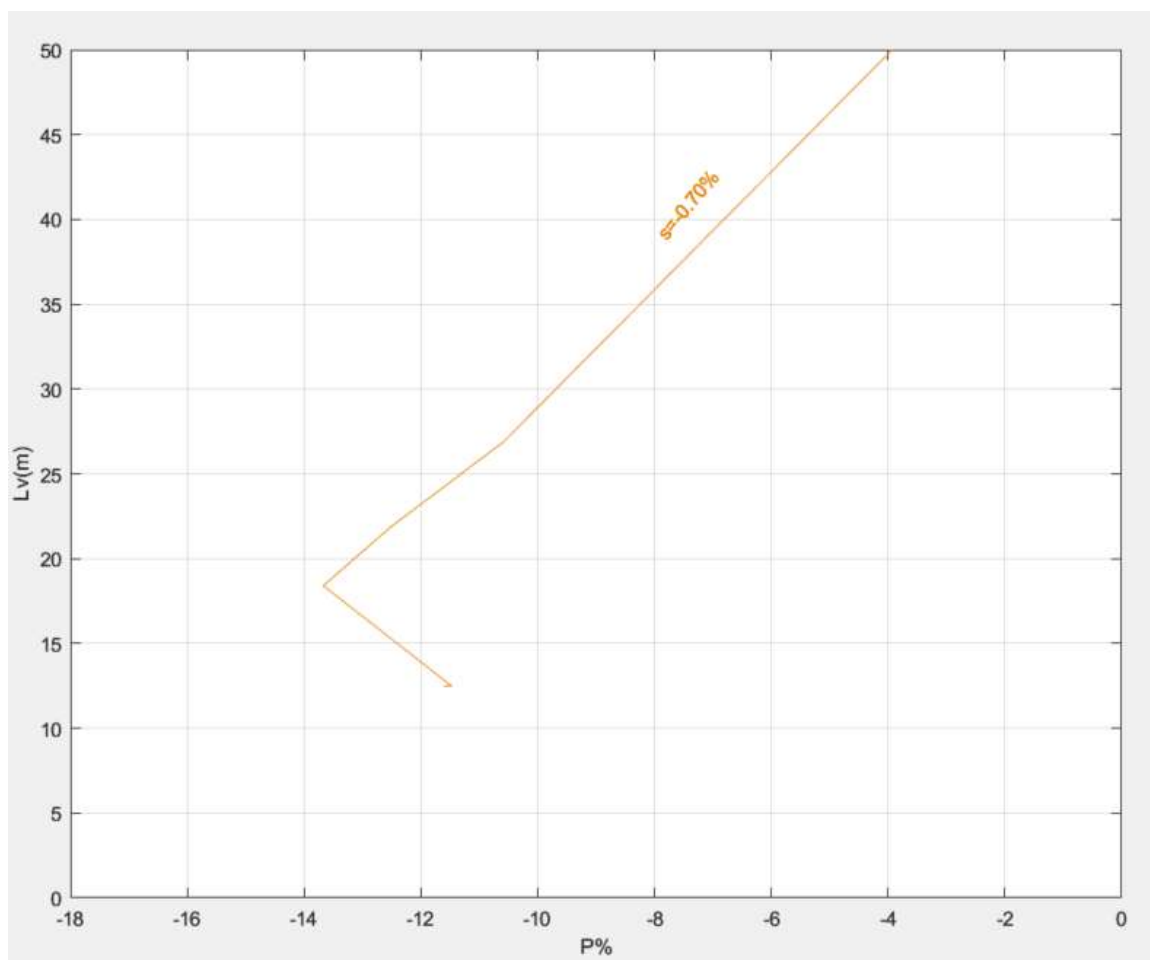
Όμως, πρέπει κάθε φορά να ελέγχεται το $L_{\min}$ που προκύπτει λόγω του $\Delta s_{\max}$ (Πίνακας 4-1) και αυτό που προκύπτει από το $R/9$ και να εφαρμόζεται ως $L_{\min}$ το μεγαλύτερο εκ των δύο.

Για παράδειγμα, για ταχύτητα μελέτης $V_e = 60-70\text{km/h}$, δηλαδή για $\Delta s_{\max} = 0.4 \cdot \alpha$, και για $R = 200\text{m}$, πράγματι η $L_{\min}$ που προκύπτει από την θεώρηση της ελάχιστης τιμής της παραμέτρου κλωθοειδούς A , ισούται με 22.22m . Όμως, χρησιμοποιώντας αυτή την τιμή, και θέτοντας τιμή επίκλισης $e_t = 7\%$, με την χρήση της Σχέσης [3-1], προκύπτει ότι το μήκος προσαρμογής επίκλισης L_v ισούται με $11.7 < L_{v\min} = 12.5\text{m}$. Έτσι, με την μέθοδο που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4.2.1, η τιμή L_v θα πάρει τελικά την τιμή της $L_{v\min}$, και το μήκος $L_{\min}$ θα αυξηθεί σε 23.75m . Ωστόσο, για τις υπόλοιπες τιμές επικλίσεων το $L_{\min} = 22.22\text{m}$, θεωρείται επιτρεπτό. Το ίδιο πρόβλημα παρουσιάστηκε και με την θεώρηση $R = 140\text{m}$ σε συνδυασμό με όλες τις πιθανές τιμές επικλίσεων (4%, 5.5%, 7%), όπου προέκυψαν λόγω $\Delta s_{\max}$ τιμές $L_{\min}$ (16.25, 20, 23.75) αντίστοιχα, οι οποίες είναι μεγαλύτερες από την $L_{\min} = R/9 = 15.56\text{m}$. Έγινε έλεγχος και για τις υπόλοιπες τιμές των ακτινών, χωρίς όμως να παρουσιάσουν αντίστοιχο πρόβλημα.

4.3.3 Κατασκευή 2ου τεταρτημρίου διαγράμματος

Το διάγραμμα που αποτυπώνεται στο 2^ο τεταρτημύριο έχει σχεδιαστεί για τιμές ακτίνας $R = 140\text{m}$. Ωστόσο, εάν χρησιμοποιούταν κάποια άλλη τιμή, δεν θα επηρεαζόταν ουσιαστικά το αποτέλεσμα και η εικόνα του διαγράμματος. Οι άξονες x και y είναι τα ποσοστά που υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 4.3.1 και το μήκος προσαρμογής επίκλισης L_v αντίστοιχα. Όπως αποδείχθηκε προηγουμένως, για ένα εύρος λωρίδας κυκλοφορίας α και για μια τιμή της κατά μήκος ακτίνας s , αντιστοιχούν 9 τιμές ποσοστών από αυτές που προέκυψαν από την διερεύνηση που έγινε στην παρούσα εργασία. Αυτές είναι και οι τιμές που θα χρησιμοποιηθούν για την χάραξη των καμπυλών που περιγράφουν τις κατά μήκος κλίσεις.

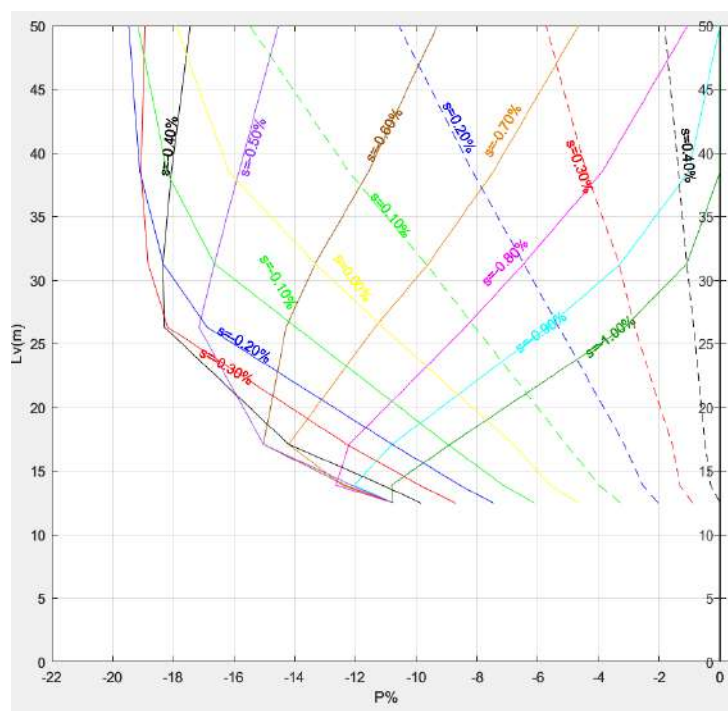
Στη συνέχεια θα περιγραφεί αναλυτικά ο τρόπος κατασκευής μιας καμπύλης s , έστω για εύρος λωρίδας κυκλοφορίας $\alpha = 3.25\text{m}$. Συγκεκριμένα, γίνεται η αντιστοιχία των 9 τιμών του μήκους προσαρμογής επίκλισης L_v και των 9 τιμών των ποσοστών όπου η σύνθετη κλίση p είναι μικρότερη ή ίση του 0.5% και που αφορούν την συγκεκριμένη κλίση s που θα εξεταστεί (έστω εδώ $s = -0.7\%$), (Σχήμα 4-4).



Σχήμα 4-4. Κατασκευή καμπύλης $s = -0.7\%$, για $a = 3.25m$.

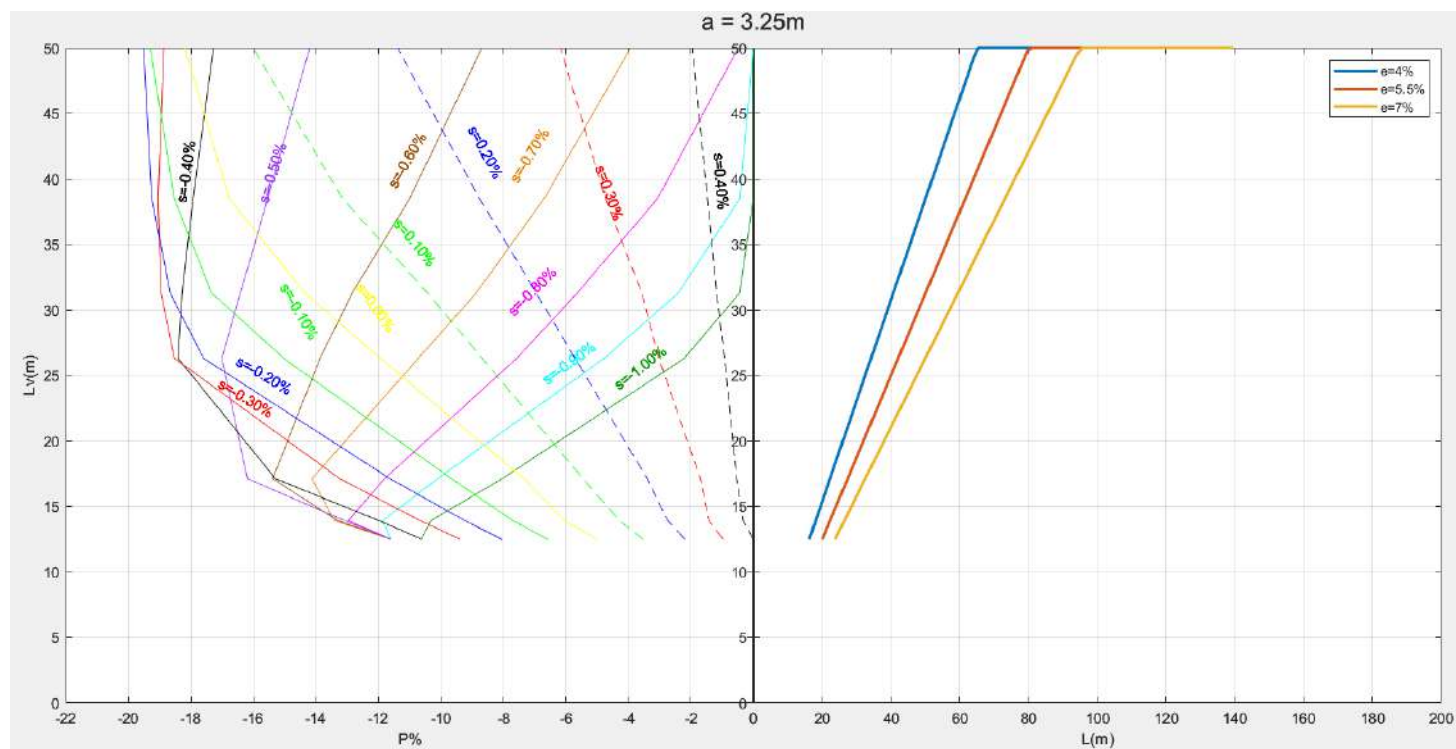
Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται και για τις υπόλοιπες τιμές των κατά μήκος κλίσεων s , (21 τιμές που εξετάστηκαν άρα 21 καμπύλες). Χρωματίζονται με διαφορετικό χρώμα, έτσι ώστε το διάγραμμα να είναι πιο ευανάγνωστο και πάνω στην κάθε μία τοποθετείται η τιμή της. Στις αρνητικές τιμές η χάραξη πραγματοποιήθηκε με συνεχή γραμμή, ενώ στις θετικές με διακεκομμένη. Οι κατά απόλυτη τιμή ίσες κλίσεις, χρωματίστηκαν με το ίδιο χρώμα.

Τελικά, το 2^ο τεταρτημόριο προέκυψε όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-5.

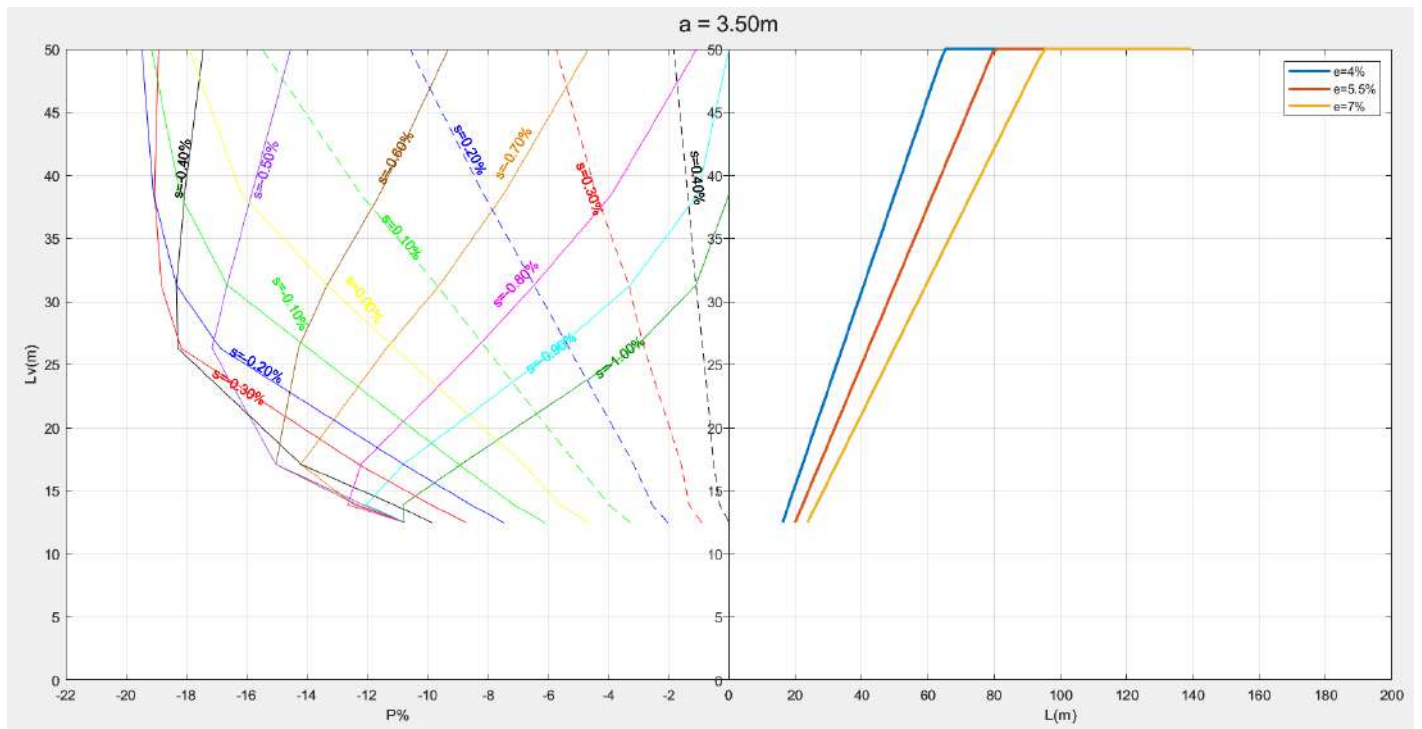


Σχήμα 4-5. Διάγραμμα κατά μήκος κλίσεων (2ο τεταρτημόριο).

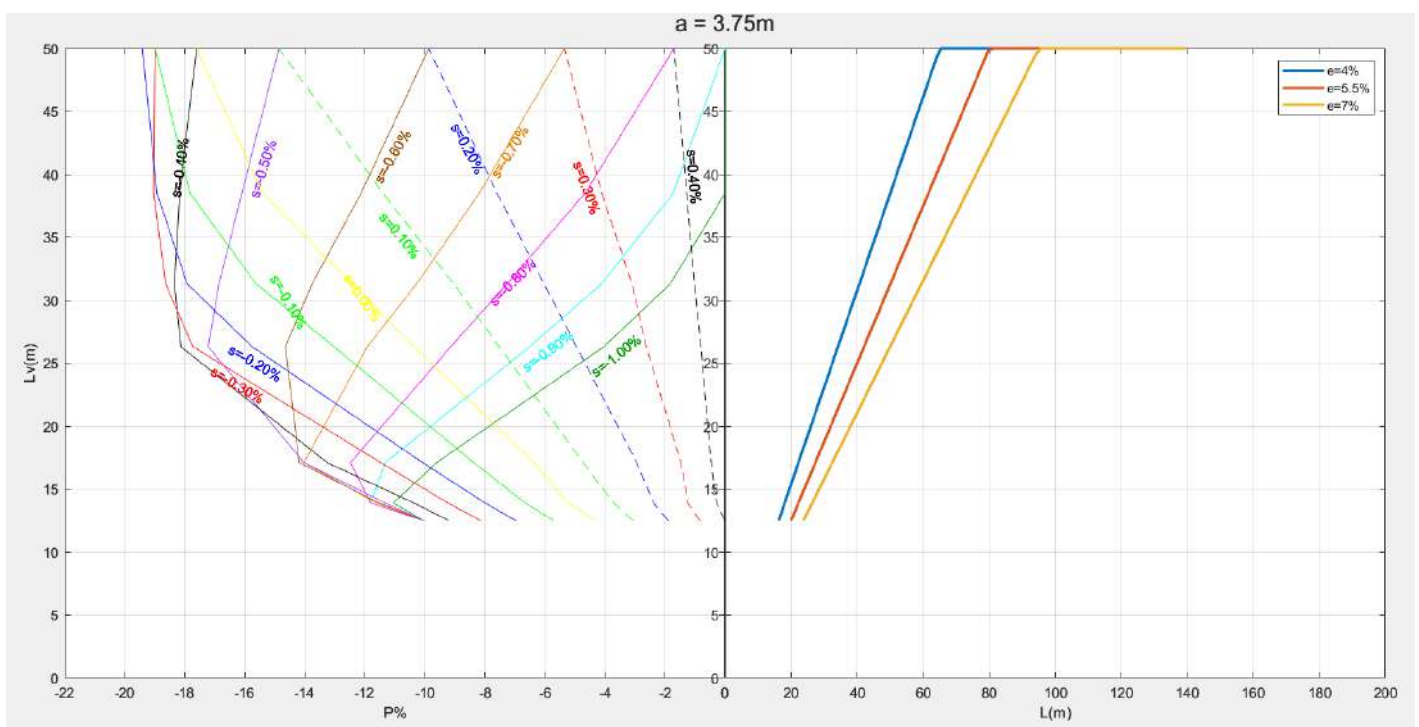
Τα τελικά διαγράμματα θα προκύψουν με την ένωση των δύο επιμέρους διαγραμμάτων που μόλις αναλύθηκαν. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατασκευάστηκαν τρία διαφορετικά διαγράμματα (Σχήματα 4-6, 4-7 και 4-8) για τις τρεις διαφορετικές τιμές του εύρους λωρίδας κυκλοφορίας α που εξετάστηκε.



Σχήμα 4-6. Τελικό διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.25m$.



Σχήμα 4-7. Τελικό διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.50$ m.



Σχήμα 4-8. Τελικό διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.75$ m.

4.4 Επαλήθευση της επιφάνειας εντός της λωρίδας του οδοστρώματος όπου $p \leq 0.5\%$

Η εύρεση της περιοχής του οδοστρώματος όπου δεν υφίσταται ικανοποιητική απορροή ομβρίων, επαληθεύθηκε με μια ακόμη μέθοδο εκτός από την κατασκευή των θερμικών διαγραμμάτων, χρησιμοποιώντας όμως τα ίδια δεδομένα με την πρώτη, έτσι ώστε να καθίσταται εφικτή η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, με την βοήθεια της Σχέσης [3-8], κατασκευάστηκε κύκλος, ο οποίος έχει ως κέντρο το σημείο μηδενισμού της κλίσης και της επίκλισης, ενώ η ακτίνα του ορίζεται από όλα τα σημεία που έχουν κλίση $s=0.5\%$ και $e=0\%$. Το εμβαδό που περικλείεται από τον κύκλο, τον άξονα της οδού και την εξωτερική οριογραμμή του οδοστρώματος, αποτελούν την περιοχή όπου $p \leq 0.5\%$, το οποίο συνεπάγεται με μη ικανοποιητική απορροή των ομβρίων.

Για μετάβαση της επίκλισης από -2.5% σε $+2.5\%$, το μήκος προσαρμογής ισούται με L_V (Σχήμα 3-1) και η Σχέση [3-3] θα γίνει:

$$\Delta S = \frac{2.5 - (-2.5)}{L_V} \cdot \alpha = \frac{5}{L_V} \cdot \alpha \quad [4-3]$$

Με την βοήθεια της παραπάνω Σχέσης [4-3], η [3-8] θα γίνει:

$$S_{op}(σε\ απόσταση\ a_i) = S_{\acute{\alpha}\xi\sigma\nu\alpha} + \frac{5}{L_V} \cdot \alpha \cdot \frac{a_i}{a} \rightarrow$$

$$a_i = \frac{(S_{op}(σε\ απόσταση\ a_i) - S_{\acute{\alpha}\xi\sigma\nu\alpha}) \cdot L_V}{5} \quad [4-4]$$

Με την παραπάνω Σχέση [4-4], υπολογίστηκαν οι αποστάσεις a_i από τον άξονα της οδού, όπου $s_{op} = -0.5\%$, $s_{op} = 0\%$ και $s_{op} = 0.5\%$, για τις τιμές L_V που υπολογίστηκαν προηγουμένως και για τις 21 διαφορετικές τιμές $s_{\acute{\alpha}\xi\sigma\nu\alpha}$. Οι τιμές a_i μπορεί να είναι και αρνητικές, κάτι το οποίο σημαίνει ότι το κέντρο του κύκλου θα βρίσκεται αριστερά από τον άξονα της οδού.

Για την εύρεση της ακτίνας r , ισχύει:

$$r = a_0 - a_{-0.5} \quad ή \quad r = a_{0.5} - a_0 \quad [4-5\alpha] \text{ και } [4-5\beta]$$

Όπου:

α_0 : η απόσταση από τον άξονα της οδού όπου η $s_{op} = 0\%$

$\alpha_{-0.5}$: η απόσταση από τον άξονα της οδού όπου η $s_{op} = 0.5\%$

$\alpha_{0.5}$: η απόσταση από τον άξονα της οδού όπου η $s_{op} = 0.5\%$

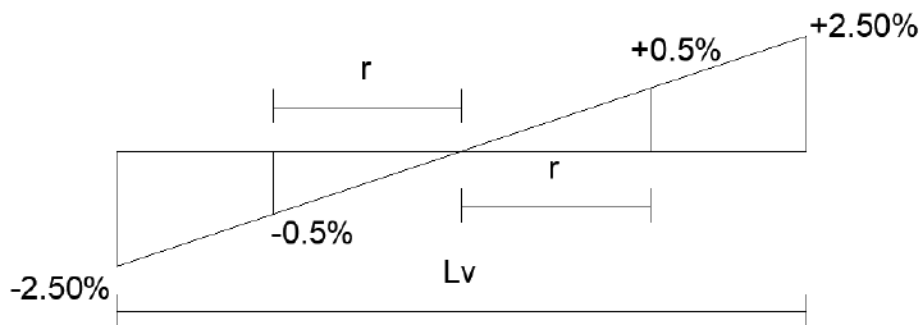
Εφαρμόζοντας την Σχέση [4-5α] και [4-5β], συνδυάζοντάς τη με την Σχέση [4-4] προκύπτει:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{(s_0 - s_{\acute{\alpha}\xi\sigma\nu\alpha}) \cdot L_V}{5} - \frac{(s_{-0.5} - s_{\acute{\alpha}\xi\sigma\nu\alpha}) \cdot L_V}{5} \rightarrow \\
 r &= \frac{-s_{\acute{\alpha}\xi\sigma\nu\alpha} \cdot L_V}{5} - \frac{-0.5}{5} \cdot L_V - \frac{-s_{\acute{\alpha}\xi\sigma\nu\alpha} \cdot L_V}{5} \rightarrow \\
 r &= \frac{L_V}{10} \quad [4-6\alpha]
 \end{aligned}$$

Αντίστοιχα:

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{(s_{0.5} - s_{\acute{\alpha}\xi\sigma\nu\alpha}) \cdot L_V}{5} - \frac{(s_0 - s_{\acute{\alpha}\xi\sigma\nu\alpha}) \cdot L_V}{5} \rightarrow \\
 r &= \frac{0.5}{5} \cdot L_V + \frac{-s_{\acute{\alpha}\xi\sigma\nu\alpha} \cdot L_V}{5} - \frac{-s_{\acute{\alpha}\xi\sigma\nu\alpha} \cdot L_V}{5} \rightarrow \\
 r &= \frac{L_V}{10} \quad [4-6\beta]
 \end{aligned}$$

Επίσης, η τιμή r της ακτίνας μπορεί να επαληθευθεί με τη βοήθεια του διαγράμματος των επικλίσεων. Με την βοήθεια της γεωμετρίας υπολογίζεται η απόσταση r από κλίση ίση με το μηδέν μέχρι την επιθυμητή κλίση 0.5% ή -0.5% . Αναλυτικότερα, φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4-9:



Σχήμα 4-9. Γεωμετρική απεικόνιση εύρεσης της απόστασης r , για κλίση ίση με 0.5% ή -0.5%.

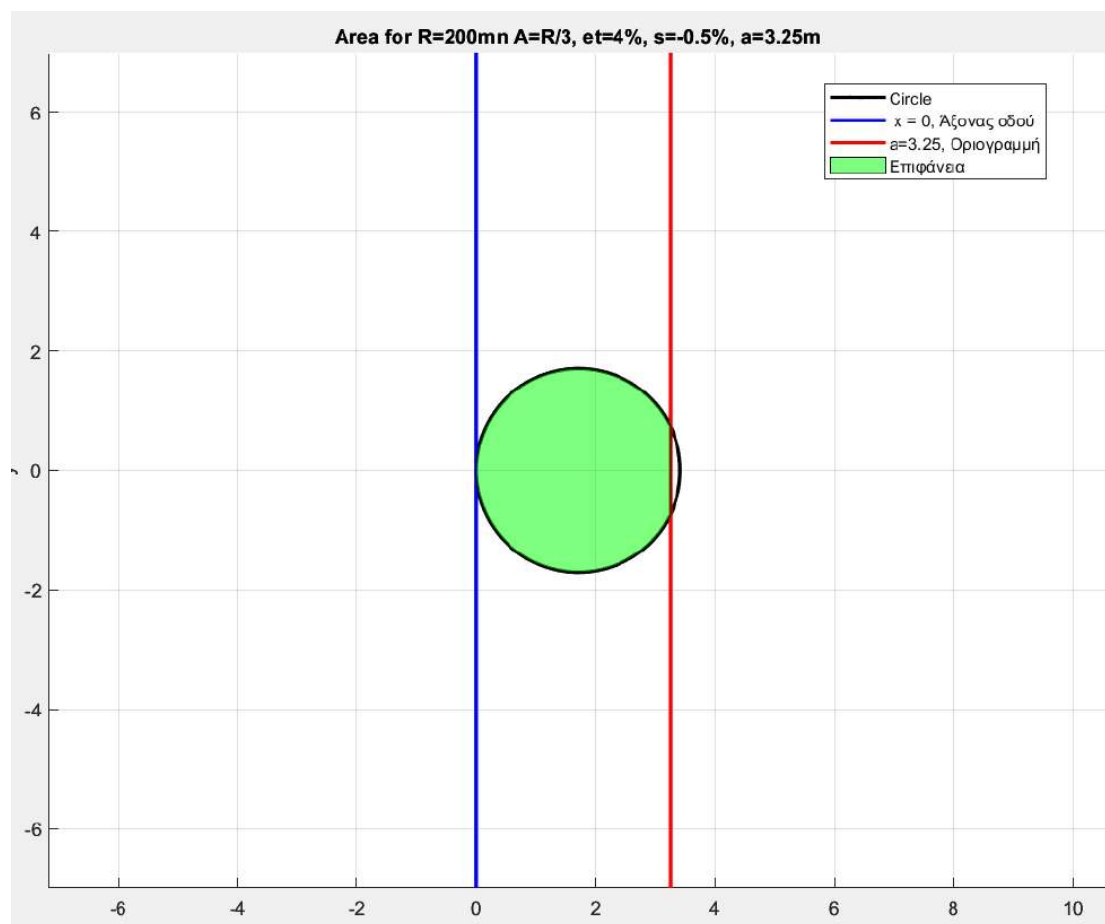
Προκύπτει λοιπόν η παρακάτω Σχέση [4-7], η οποία εξαρτάται από την τιμή του μήκους προσαρμογής L_v , και είναι η ίδια με την Σχέση [4-6].

$$\frac{r}{0.5} = \frac{L_v/2}{2.5} \rightarrow r = \frac{L_v}{10} \quad [4-7]$$

Κατά συνέπεια προκύπτει, ότι η περιοχή με μη ικανοποιητική αποστράγγιση των ομβρίων βρίσκεται εντός κύκλου, του οποίου το κέντρο βρίσκεται σε απόσταση α_0 από τον άξονα της οδού, όπου $s=0\%$, $e=0\%$ (Σχέση [4-4]) με ακτίνα r (Σχέση [4-7]).

Κατασκευάστηκε κώδικας σε περιβάλλον MATLAB με την βοήθεια του οποίου υπολογίστηκαν:

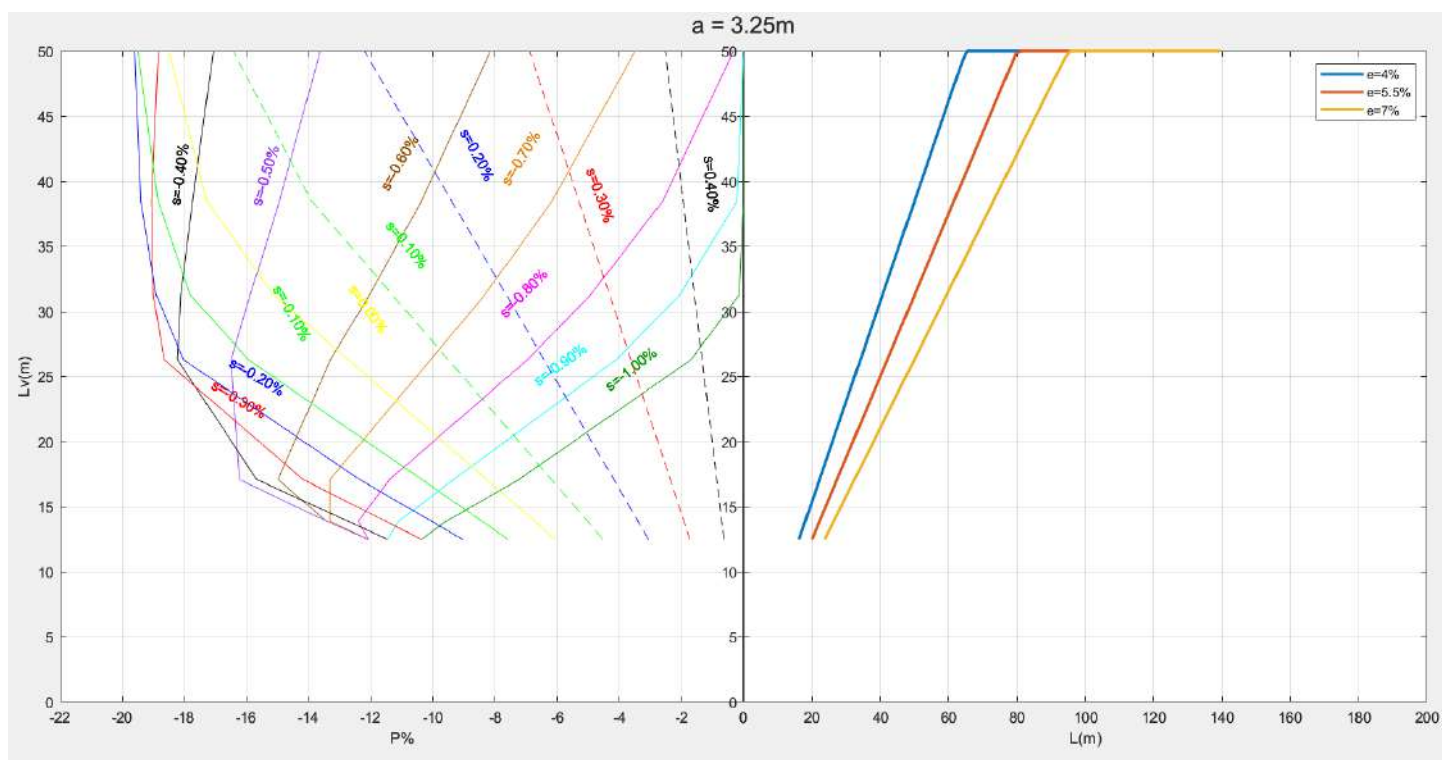
- οι 9 διαφορετικές ακτίνες r για τις 9 διαφορετικές τιμές μηκών προσαρμογής επίκλισης L_v , έτσι ακριβώς όπως αυτές έχουν προκύψει προηγουμένως
- οι $21 \cdot 9 = 189$ τιμές α_0 (κέντρο κύκλου), για τις 21 διαφορετικές τιμές της ακτίνας s και τις 9 διαφορετικές τιμές L_v
- το εμβαδό που περικλείεται από τον άξονα της οδού, την δεξιά οριογραμμή και τον κύκλο με κέντρο α_0 και ακτίνα r . Για 3 διαφορετικά εύρη λωρίδας κυκλοφορίας α και για 189 διαφορετικές τιμές του α_0 , προέκυψαν $3 \cdot 189 = 567$ διαφορετικές επιφάνειες. Στο Σχήμα 4-10, με πράσινο χρώμα απεικονίζεται η επιθυμητή επιφάνεια για $R=200\text{m}$, $A=R/3$, $e_t=4.0\%$, $\alpha=3.25\text{m}$, $s=-0.5\%$



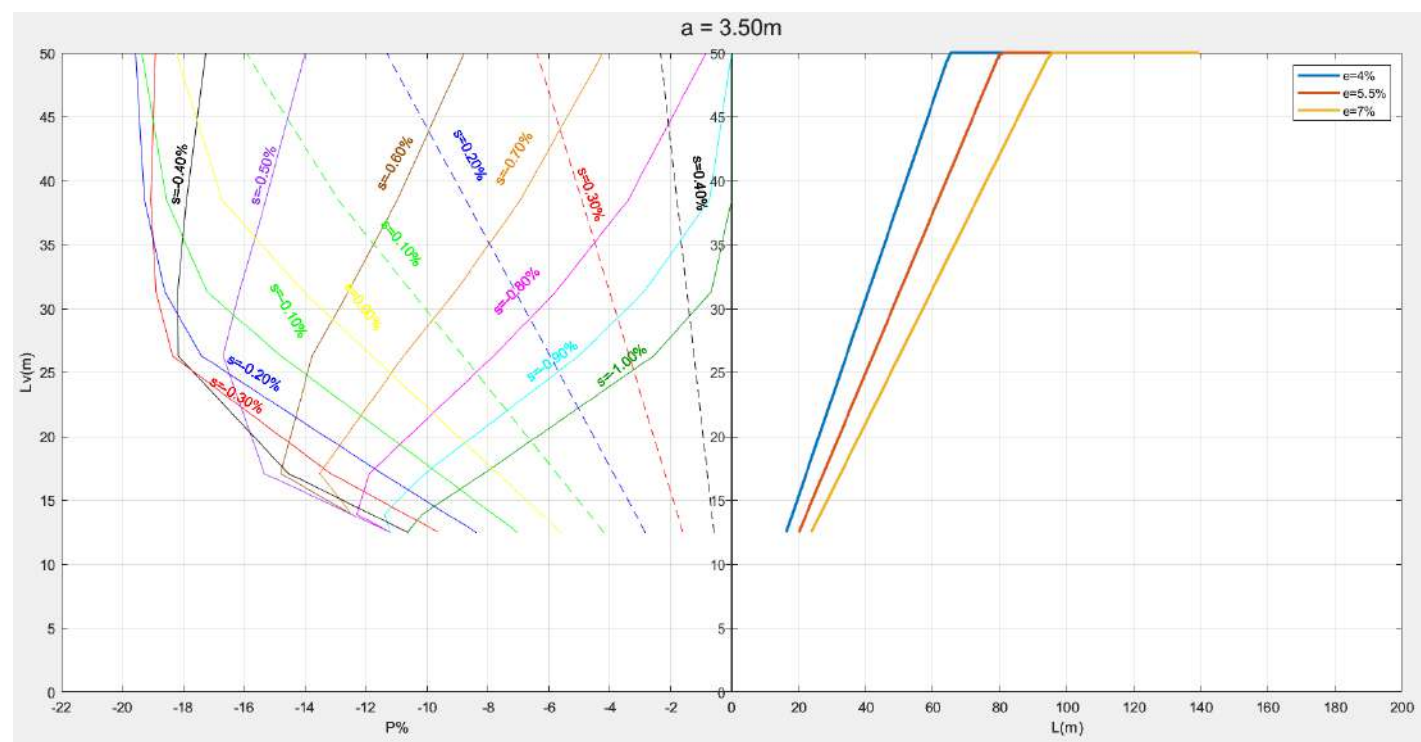
Σχήμα 4-10. Επιφάνεια με μη ικανοποιητική αποστράγγιση ($p \leq 0.5\%$) για $R=200m$, $A=R/3$, $e_t=4.0\%$, $a=3.25m$, $s=-0.5\%$

Όπως και προηγουμένως, σκοπός είναι ο υπολογισμός του ποσοστού αυτής της επιφάνειας σε σχέση με την επιφάνεια ολόκληρου του οδοστρώματος. Έτσι, το εμβαδό που προέκυψε διαιρείται με τις διαστάσεις του τμήματος του οδοστρώματος που μελετάται ($L_v \cdot \alpha$). Προέκυψαν λοιπόν, 567 ποσοστά για κάθε διαφορετικό συνδυασμό που εξετάστηκε. Από αυτά, για κάθε εύρος λωρίδας κυκλοφορίας α αντιστοιχούν $567/3=189$ τιμές, και για κάθε τιμή κατά μήκος κλίσης s , $189/21 = 9$ ποσοστά.

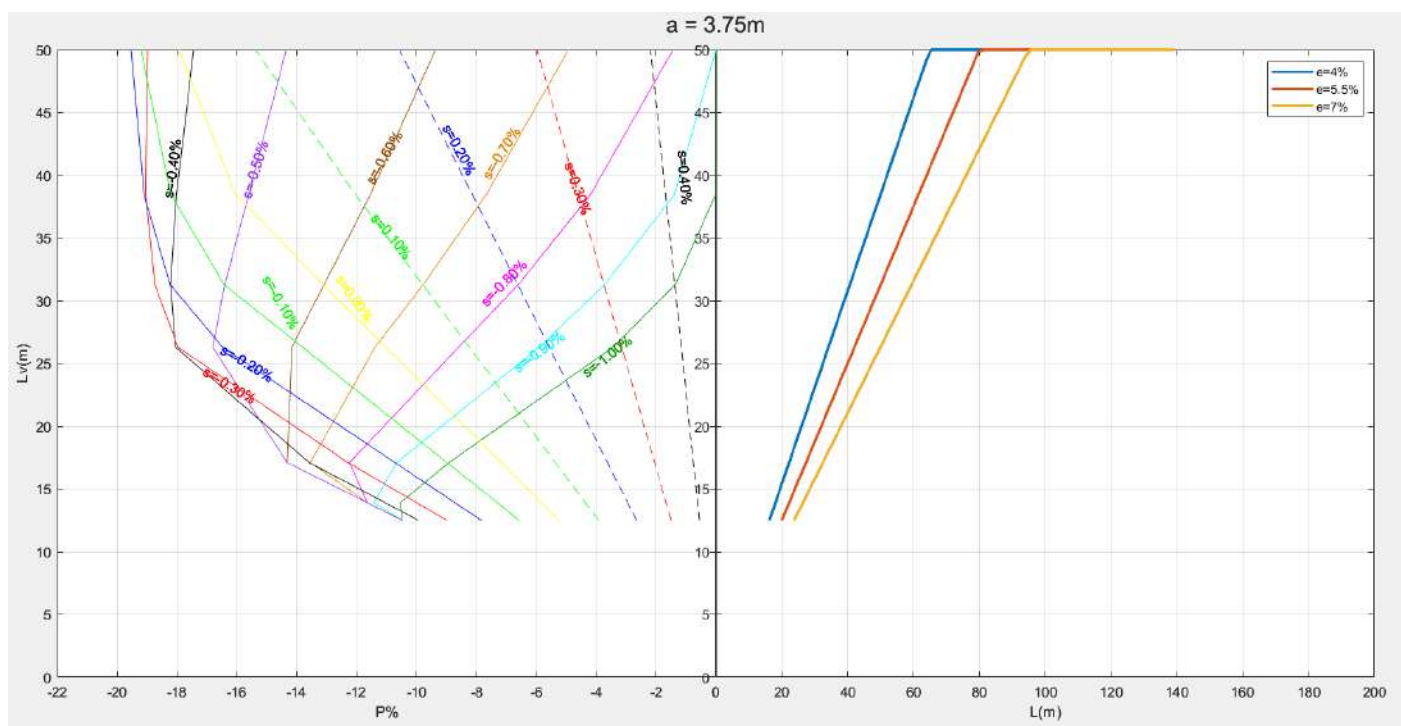
Τέλος, σχεδιάστηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα (Σχήματα 4-11, 4-12, 4-13) με την ίδια διαδικασία, όπως ακριβώς αυτή περιγράφεται στις παραγράφους 4.3.2 και 4.3.3.



Σχήμα 4-12. Διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.25m$.



Σχήμα 4-11. Διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.50m$.



Σχήμα 4-13. Διάγραμμα υπολογισμού του ποσοστού όπου $p \leq 0.5\%$, για $a = 3.75m$.

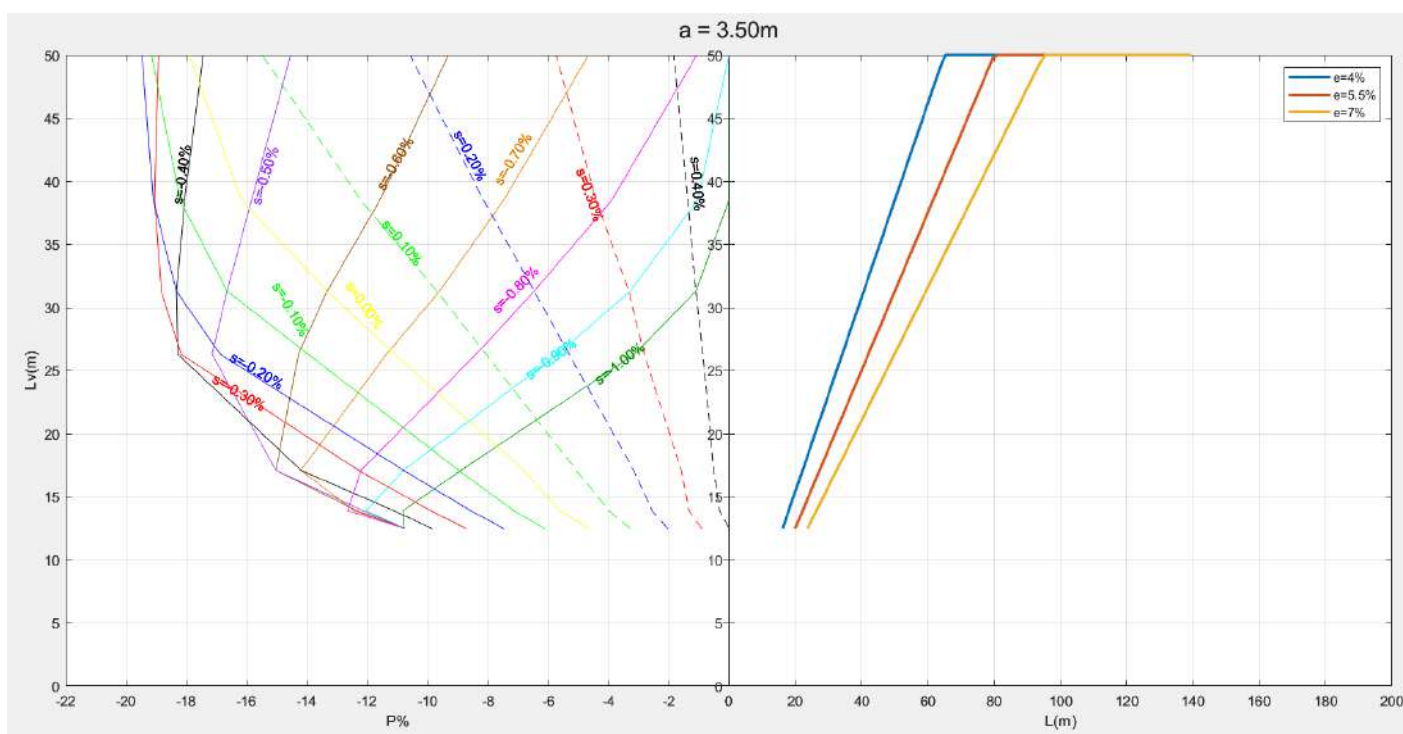
4.5 Τρόπος χρήσης των διαγραμμάτων

Ο σκοπός της κατασκευής των διαγραμμάτων είναι με δεδομένα το εύρος της λωρίδας κυκλοφορίας a , το μήκος της κλωθοειδούς L , την τιμή της τελικής επίκλισης στο πέρας της κλωθοειδούς e_t , και την κατά μήκος κλίση s , να προσδιορίζεται το ποσοστό των τιμών της σύνθετης κλίσης p που είναι κάτω του επιθυμητού. Έτσι μπορεί να κριθεί εάν σε μια περιοχή γίνεται ικανοποιητική ή μη αποστράγγιση των ομβρίων στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Το διάγραμμα διαβάζεται ως εξής:

- Πρώτα γίνεται η επιλογή της λωρίδας κυκλοφορίας, ώστε να επιλεγθεί και το κατάλληλο διάγραμμα. Έστω $a = 3.50m$
- Στη συνέχεια επιλέγονται οι τιμές και των υπολοίπων παραμέτρων. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η διερεύνηση έγινε για μήκος κλωθοειδούς $L = 35m$, τελική επίκλιση στο πέρας της κλωθοειδούς $e_t = 4.0\%$ και κατά μήκος κλίση $s = -0.1\%$.
- Ύστερα, χαράσσεται γραμμή $x = L = 35m$, μέχρι να “χτυπήσει” την καμπύλη τις επίκλισης e_t που επιλέχθηκε, 4.0% .

- Από το σημείο αυτό, συνεχίζει ευθεία παράλληλη στον άξονα x , προς το 2^ο τεταρτημόριο, μέχρι αυτή να τμήσει την επιθυμητή καμπύλη κατά μήκους κλίσης που επιλέχθηκε, $s = -0.1\%$
- Τέλος από το σημείο αυτό τραβιέται κάθετη γραμμή μέχρι αυτή να τμήσει τον άξονα x και διαβάζεται το ποσοστό που προκύπτει. Στην προκειμένη περίπτωση ισούται με 14.40%

Στο παρακάτω Σχήμα 4-14, απεικονίζεται με βοηθητικά βέλη η διαδικασία που μόλις περιγράφηκε.



Σχήμα 4-14. Τρόπος ανάγνωσης του διαγράμματος και εύρεση του ποσοστού.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

5.1 Σύνοψη Αποτελεσμάτων

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, αποτέλεσε η διερεύνηση της απορροής των ομβρίων σε κρίσιμες περιοχές του οδοστρώματος. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε η αριστερή λωρίδα οδού δύο λωρίδων, κατηγορίας Α, με ενιαίο οδόστρωμα, σε δεξιόστροφη καμπύλη, για λοφώδες και ορεινό έδαφος. Η κλίση θεωρήθηκε σταθερή σε όλο το μήκος της στροφής και η διερεύνηση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις οδηγίες ΟΜΟΕ-Χ.

Ακολούθησε το Θεωρητικό Υπόβαθρο, στο οποίο περιγράφονται εξισώσεις απαραίτητες για την εκπόνηση της εργασίας, βασισμένες στις οδηγίες κατά ΟΜΟΕ-Χ. Στις εξισώσεις αυτές έχει στηριχθεί το επόμενο κεφάλαιο, αυτό της Μεθοδολογίας. Με την εισαγωγή τους στον κώδικα που δημιουργήθηκε σε περιβάλλον MATLAB και με τον συνδυασμό των διαφόρων γεωμετρικών χαρακτηριστικών που αναφέρονται στα δεδομένα, εξετάζονται εν τέλει 3402 διαφορετικές περιπτώσεις. Συνεπώς, μπορούν να κατασκευαστούν 3402 θερμικά διαγράμματα, και τα αντίστοιχα διαγράμματα στα οποία χρωματίζεται η κυκλική επιφάνεια η οποία περικλείεται από τον άξονα της οδού και την αριστερή οριογραμμή (σε απόσταση α από τον άξονα) για σημεία με $p \leq 0.5\%$. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα μέρος αυτών, που φαίνεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.

Ύστερα, βρέθηκε για κάθε σενάριο, το ποσοστό της επιφάνειας οδού όπου η τιμή της σύνθετης κλίσης που είναι κάτω από το επιθυμητό ($p \leq 0.5\%$). Τα ποσοστά αυτά, συγκεντρώθηκαν για τα 3402 σενάρια και χωρίστηκαν ανά λωρίδα κυκλοφορίας α που τους αντιστοιχεί, (1134 σενάρια για την κάθε τιμή α). Κατασκευάστηκαν λοιπόν, 3 διαφορετικά διαγράμματα (για τις τρεις διαφορετικές τιμές του εύρους λωρίδας κυκλοφορίας), αποτελούμενα από δύο τεταρτημόρια, στα οποία με δεδομένα το μήκος της κλωθοειδούς L , την τελική επίκλιση στο τέλος του τόξου συναρμογής (e_t), αλλά και την επιθυμητή σταθερή κλίση s , υπολογίζεται κατευθείαν το ποσοστό της επιφάνειας όπου οι τιμές της σύνθετης κλίσης p είναι μικρότερες ή ίσες του 0.5% . Έτσι, από την τιμή αυτού του ποσοστού, κρίνεται εάν στην επιφάνεια του οδοστρώματος πραγματοποιείται ικανοποιητική απορροή των ομβρίων (μικρές τιμές ποσοστών κατά προτίμηση μηδενικές), ή μη ικανοποιητική (μεγάλες τιμές, στην διερεύνηση που έγινε μέχρι περίπου 20%). Με την χρήση των διαγραμμάτων αυτών, ο μελετητής είναι σε θέση να προσδιορίσει με σαφήνεια και ακρίβεια στην φάση σχεδιασμού την επιφάνεια με μη ικανοποιητική απορροή ομβρίων για τις διάφορες τιμές των γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Το πρόβλημα προσεγγίστηκε με

δύο διαφορετικές μεθόδους, των οποίων τα αποτελέσματα θα συγκριθούν παρακάτω.

5.2 Συμπεράσματα

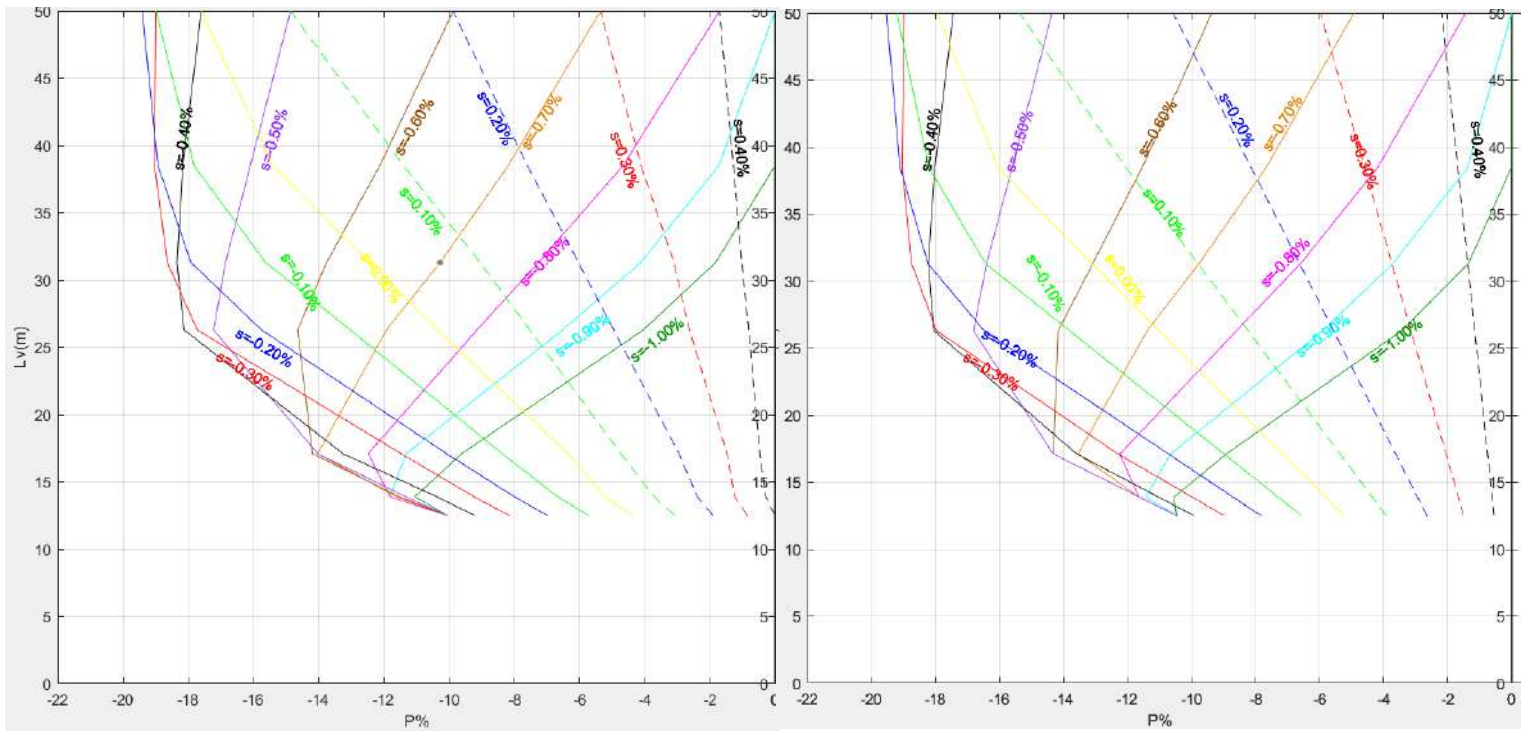
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν, τα οποία αναφέρονται αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο και τα 3402 σενάρια που κατασκευάστηκαν, είναι δυνατή η διατύπωση βασικών συμπερασμάτων της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας.

Με την κατασκευή των θερμικών διαγραμμάτων παρατηρήθηκε ότι οι προβληματικές επιφάνειες, δηλαδή οι επιφάνειες όπου η τιμή της σύνθετης κλίσης είναι μικρότερη ή ίση του 0.5%, έχουν κυκλική μορφή. Αυτό προκύπτει καθώς η εξίσωση της σύνθετης κλίσης είναι η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων κλίσης και επίκλισης. Το φαινόμενο αυτό επαληθεύεται με τον προσδιορισμό των ακτινών και του κέντρου της κρίσιμης επιφάνειας, αλλά και από σχετική έρευνα η οποία έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο της Βιβλιογραφικής Ανασκόπησης. Επίσης, όσον αφορά και στα δύο είδη διαγραμμάτων λόγω του ότι η τιμή του μήκους προσαρμογής της επίκλισης δεν μπορεί να λάβει τιμή μεγαλύτερη από την $L_{vmax} = 50m$, πολλά από αυτά, παρόλο που θα έχουν κατασκευαστεί για διαφορετικές ακτίνες και διαφορετικές τιμές e_t , θα προκύπτουν πανομοιότυπα. Δηλαδή, τα διαγράμματα στα οποία ισχύει $L_v = L_{vmax} = 50m$, για κοινή τιμή εύρους λωρίδας κυκλοφορίας α και κοινή τιμή κατά μήκος κλίσης s , προκύπτουν ίδια, ανεξάρτητα από τις τιμές R και e_t . Το αντίστοιχο ισχύει και όταν η τιμή L_v παίρνει την ελάχιστη δυνατή, δηλαδή $L_v = L_{vmin} = 12.5m$.

Τα συμπεράσματα που θα ακολουθήσουν αφορούν τα διαγράμματα που αναφέρονται στα ποσοστά των τιμών της σύνθετης κλίσης κάτω του επιθυμητού ($\leq 0.5\%$), (Σχήμα 4-6, Σχήμα 4-7, Σχήμα 4-8 και Σχήμα 4-12, Σχήμα 4-11, Σχήμα 4-13,). Με την ανάγνωση των διαγραμμάτων αυτών, προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Συγκρίνοντας δύο διαφορετικά διαγράμματα που αναφέρονται όμως στο ίδιο εύρος λωρίδας κυκλοφορίας α του οδοστρώματος, παρατηρούνται μικρές, αμελητέες αποκλίσεις. Αυτό οφείλεται στο ότι εφαρμόζοντας την πρώτη μέθοδο, τα επιθυμητά ποσοστά προέκυψαν από τα θερμικά διαγράμματα, και συγκεκριμένα διαιρώντας τον αριθμό των κελιών με τιμή $p \leq 0.5\%$ με τον συνολικό αριθμό των κελιών. Τα κελιά αυτά είναι προφανώς ορθογωνικά, έχουν διάσταση 0.1×0.25 . Συνεπώς, αφού η περιοχή με μη ικανοποιητική απορροή των ομβρίων πάνω στο οδόστρωμα είναι κυκλική, με αυτή τη μέθοδο γίνεται ο υπολογισμός της

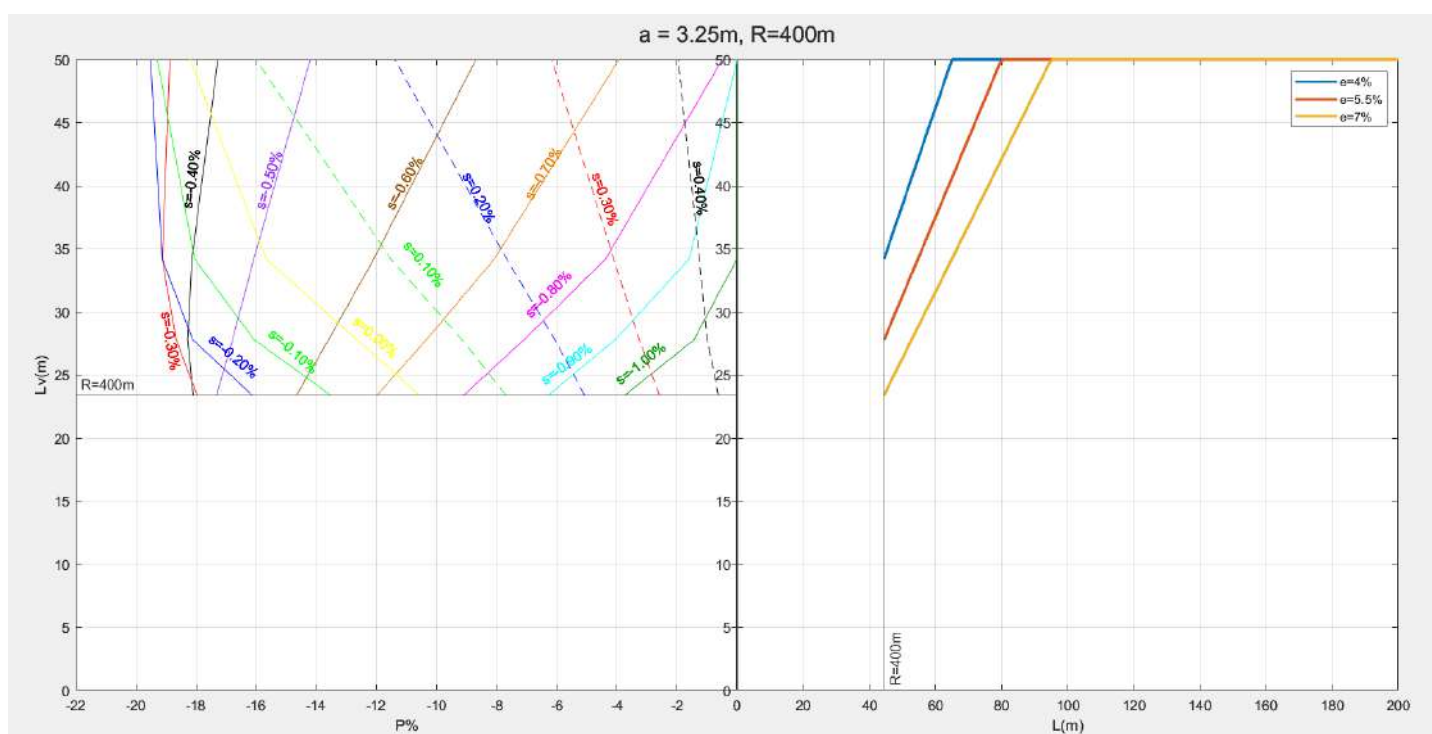
επιθυμητής επιφάνειας προσεγγιστικά. Με την δεύτερη μέθοδο ωστόσο, υπολογίζεται αναλυτικά το εμβαδό της επιφάνειας αυτής και διαιρείται με το συνολικό εμβαδό του οδοστρώματος, δίνοντας έτσι πιο ακριβή αποτελέσματα.



Σχήμα 5-1. Σύγκριση των 2 διαγραμμάτων για ποσοστά που προέκυψαν από την πρώτη μέθοδο (αριστερά) με αυτά που προέκυψαν από την δεύτερη (δεξιά) για $\alpha = 3.75\text{m}$.

- Η τιμή της ακτίνας R , πρακτικά, δεν επηρεάζει την τελική εικόνα των διαγραμμάτων. Όσο αυξάνεται η τιμή της, τόσο αυξάνονται και τα επιτρεπόμενα όρια της τιμής της παραμέτρου κλωθοειδούς A , άρα συνεπώς και τα όρια της τιμή του μήκους της, L . Η σχέση όμως που περιγράφει το μήκος του τόξου συναρμογής L , και το μήκος L_v στο οποίο η επίκλιση από τιμή -2.5% φτάνει να έχει την τιμή $+2.5\%$, είναι γραμμικής μορφής ($y=ax$). Αυτό φαίνεται και στο 1^ο τεταρτημόριο των διαγραμμάτων, όπου οι καμπύλες που περιγράφουν τις διάφορες επικλίσεις e_t (4%, 5.5% και 7%) είναι ημιευθείες. Όμως, όπως έχει αναλυθεί στο 4.2.1 Εύρεση τιμών μήκους προσαρμογής επίκλισης, η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει το μήκος L_v ισούται με τα 50m. Με την επίλυση της Σχέσης [3-1] ως προς L , και θέτοντας $L_v = L_{v_{max}} = 50\text{m}$ και $e_t = [4\%, 5.5\%, 7\%]$, προκύπτει η μέγιστη τιμή του μήκους κλωθοειδούς L , που δίνει διαφορετικό L_v . Οι τιμές αυτές ισούνται με $L = [65, 80, 95]\text{m}$, για τιμές επίκλισης $e = [4\%, 5.5\%, 7\%]$ αντίστοιχα. Από εκεί και πέρα, όσο και να αυξάνεται η τιμή του μήκους L , θα προκύπτει πάντα $L_v = 50\text{m}$.

Συνεπώς, η αύξηση στην ακτίνα R , άρα και της τιμής L , δεν θα επηρεάσει το αποτέλεσμα. Αυτό επιβεβαιώθηκε όταν έγινε απόπειρα κατασκευής διαγραμμάτων για κάθε ακτίνα ξεχωριστά. Το αποτέλεσμα ήταν να προκύψει ένα ίδιο διάγραμμα στο οποίο “λείπει” το κομμάτι που αναφέρεται σε μικρότερες τιμές ακτίνων, όπως φαίνεται στο παράδειγμα στο Σχήμα 5-2.



Σχήμα 5-2. Διάγραμμα εύρεσης ποσοστού των τιμών της σύνθετης κλίσης όπου $p \leq 0.5\%$, για $\alpha = 3.25m$ και $R = 400m$.

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί, ότι για μεγάλες τιμές ακτίνων ($R = 1000m$), το μήκος της κλωθοειδούς αυξάνεται σε βαθμό όπου το μήκος συναρμογής της επίκλισης L_v , για οποιαδήποτε τιμή επίκλισης στο τέλος του τόξου συναρμογής (e_t) παίρνει την τιμή 50m. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι στο 2^ο τεταρτημόριο οι καμπύλες που απεικονίζουν τις τιμές της κλίσης s θα αποτελούνται μόνο από ένα σημείο.

Για να αποφευχθεί η κατασκευή πολλών πανομοιότυπων διαγραμμάτων για κάθε ακτίνα ξεχωριστά, τοποθετήθηκαν όλα σε ένα διάγραμμα, με τις βοηθητικές κάθετες ευθείες να υποδεικνύουν ποια είναι η ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει το μήκος L του τόξου συναρμογής, ανάλογα με την τιμή της ακτίνας, όπως επεξηγήθηκε αναλυτικά στο Κεφάλαιο της Μεθοδολογίας.

- Δεν υπάρχει καμία γραμμική συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού της επιφάνειας όπου οι τιμές της σύνθετης κλίσης το οποίο είναι κάτω του επιθυμητού ($p \leq 0.5\%$) με κανένα από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οδού που εξετάστηκαν. Δηλαδή, πχ. η αύξηση της τιμής της κατά μήκος κλίσης s , δεν εξασφαλίζει απαραίτητα την αύξηση της τιμής του ποσοστού αυτού. Το αντίστοιχο ισχύει και για τις τιμές των υπολοίπων γεωμετρικών χαρακτηριστικών, (ακτίνα, τελική επίκλιση στο κυκλικό τόξο, εύρος λωρίδας κυκλοφορίας, παράμετρος κλωθοειδούς).

Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση που εξετάστηκε, παρατηρήθηκε από τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν, ότι τα ποσοστά αυτά παίρνουν τις μεγαλύτερες τιμές τους στους εξής 2 συνδυασμούς:

1. Για μικρότερες τιμές μήκους L της κλωθοειδούς και όταν συγχρόνως η κατά μήκος κλίση s παίρνει τιμές -0.5% , -0.6% , ανεξάρτητα από τις τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων.
2. Για μεγαλύτερες τιμές μήκους L της κλωθοειδούς και όταν συγχρόνως η κατά μήκος κλίση s παίρνει τιμές -0.3% , -0.2% , -0.1% ανεξάρτητα από τις τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων.

Συγκεκριμένα, το μέγιστο ποσοστό που προέκυψε είναι 19.52% , για $s=-0.2\%$, μήκος προσαρμογής επίκλισης $L_v = 50m$ και εύρος λωρίδας κυκλοφορίας $\alpha = 3.25m$. Αντιθέτως, τα μικρότερα ποσοστά προέκυψαν για μεγαλύτερες τιμές μήκους L της κλωθοειδούς και όταν συγχρόνως η κατά μήκος κλίση s παίρνει τιμές -0.9% , -1.0% , ανεξάρτητα από τις τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων. Επίσης, οι καμπύλες για κατά μήκος κλίσεις $s \geq 0.3\%$, δεν φαίνονται καν στο διάγραμμα, μιας και για όλες τις περιπτώσεις έδωσαν ποσοστά 0% .

5.3 Προτάσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Η παρούσα διπλωματική αφορούσε αποκλειστικά την διερεύνηση της απορροής των ομβρίων στην επιφάνεια του οδοστρώματος, υπό συγκεκριμένες όμως συνθήκες. Συγκεκριμένα, εξετάστηκε αριστερή λωρίδα οδού δύο λωρίδων με ενιαίο οδόστρωμα, σε δεξιόστροφη καμπύλη, κατηγορίας Α, το έδαφος επιλέχθηκε λοφώδες και ορεινό και η κατά μήκος κλίση θεωρήθηκε σταθερή. Όλα τα αποτελέσματα προέκυψαν με συγκεκριμένες τιμές των κατάλληλων παραμέτρων που αναφέρονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4.1 και διατάξεις στις οποίες βασίστηκαν τα αποτελέσματα αυτά ήταν αυτές του ΟΜΟΕ-Χ. Παρόλο που καλύφθηκε ένα μεγάλο κομμάτι πάνω σε στο αντικείμενο της διερεύνησης αυτής, υπάρχει περιθώριο για περαιτέρω έρευνα και μελέτη. Συγκεκριμένα, ενδιαφέρον θα παρουσίαζαν οι παρακάτω προσεγγίσεις:

- Να πραγματοποιηθεί διερεύνηση σε οδικά τμήματα με μεταβαλλόμενη κλίση. Περιοχές με μεταβαλλόμενη κλίση προκύπτουν κατά τη μετάβαση από περιοχή σταθερής κλίσης s_1 σε περιοχή με σταθερή κλίση s_2 . Σε αυτή την περίπτωση, η σημειακή κλίση s είναι εφαπτομενική στην καμπύλη του τόξου στρογγύλευσης, συνεπώς μεταβάλλεται συνεχώς όσο απομακρύνεται από την αρχή της καμπύλης. Πρέπει επίσης, να ληφθούν υπόψη οι επιπλέον παράμετροι:

1. H_K , H_W : παράμετρος κυρτής και κοίλης κατακόρυφής καμπύλης [m] και

2. T_{min} : μήκος εφαπτομένης [m]

Οι οριακές τιμές που θα επιλεγθούν πρέπει να είναι σύμφωνες με αυτές που ορίζουν οι εκάστοτε οδηγίες. Στη συνέχεια, θα πρέπει να γίνει έλεγχος για διάφορες τιμές των δύο αυτών παραμέτρων, πιθανόν με κάποιο βρόγχο επανάληψης, σε συνδυασμό όμως και με τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που έχουν εξεταστεί στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

- Στην εργασία, εξετάστηκε μόνο το ενδεχόμενο υδρολίσθησης από την κακή απορροή των ομβρίων στην επιφάνεια του οδοστρώματος, το οποίο προκύπτει για μικρές τιμές της σύνθετης κλίσης p ($\leq 0.5\%$), και όχι για την αποφυγή της ολίσθησης των οχημάτων σε συνθήκες χιονιού ή παγετού, η οποίες αφορούν σε σύνθετη κλίση άνω του 10%. Θα μπορούσε λοιπόν να γίνει μία αντίστοιχη διερεύνηση, η οποία να αφορά αυτές τις περιπτώσεις.
- Επίσης, θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η διερεύνηση της απορροής των ομβρίων στην επιφάνεια του οδοστρώματος σε περιοχές με διαχωρισμένα οδοστρώματα όπου υπάρχουν πάνω από μία λωρίδες ανά κατεύθυνση κυκλοφορίας. Στην περίπτωση αυτή, καταγράφονται περισσότερες δυνατότητες περιστροφής του οδοστρώματος και γενικά απαιτείται ιδιαίτερη διερεύνηση καθώς το Δs_{max} δύναται να είναι μικρότερο του Δs_{min} .
- Η παρούσα Διπλωματική Εργασία έχει πραγματοποιηθεί μόνο για 3 τιμές τελικών επικλίσεων στο τέλος του τόξου συναρμογής ($e_t = 4\%, 5.5\%, 7\%$). Μια διερεύνηση σε περισσότερες τιμές των επικλίσεων θα οδηγούσε σε περισσότερες καμπύλες άρα και σε ακριβέστερη προσέγγιση των τελικών ποσοστών όπου η τιμή της σύνθετης κλίσης p είναι μικρότερη ή ίση του 0.5%.
- Η πιο σωστή απεικόνιση των διαγραμμάτων για καλύτερη ανάγνωση μπορεί επίσης να επιτευχθεί με την εύρεση της εξίσωσης που περιγράφει τις καμπύλες της κατά μήκος κλίσης s , όπως αυτές φαίνονται στο 2^ο τεταρτημόριο των διαγραμμάτων που παρήχθησαν. Κάτι τέτοιο,

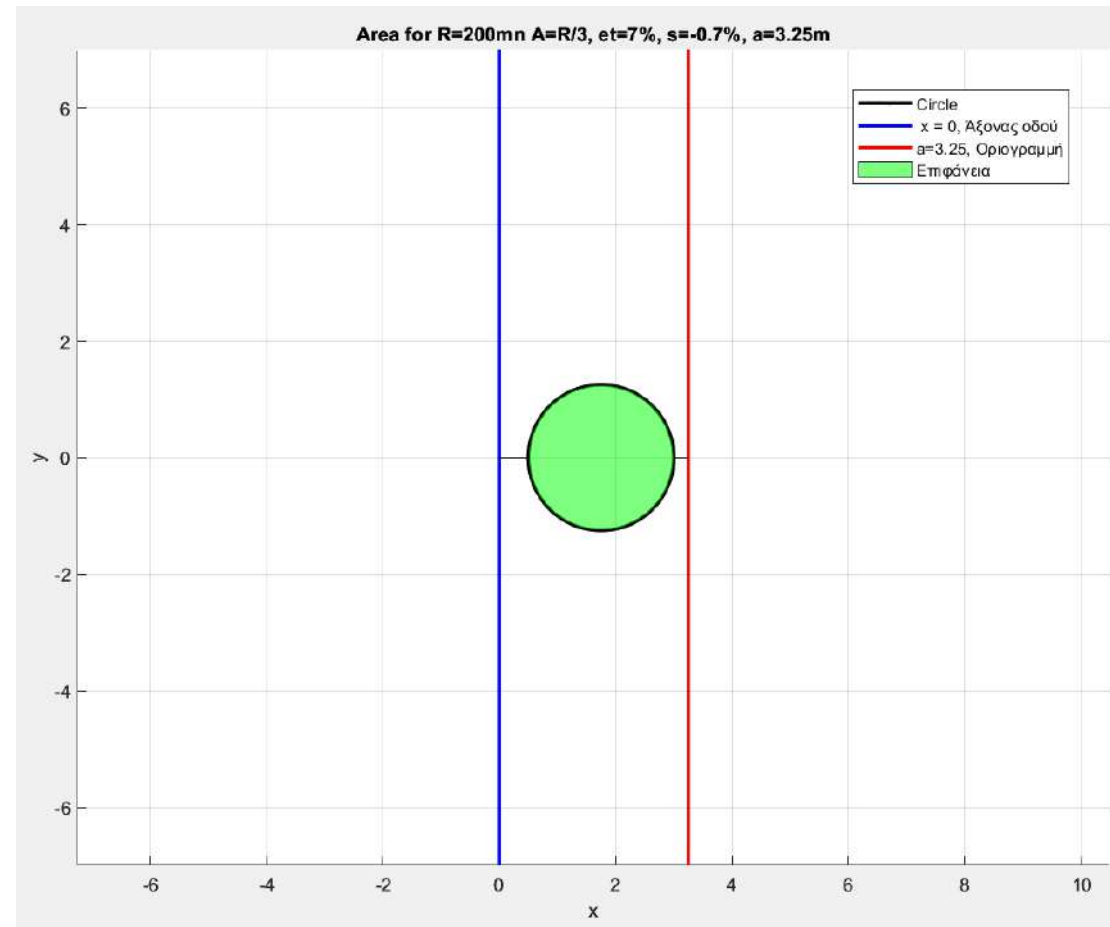
προφανώς, θα οδηγούσε και σε πιο ακριβή αποτελέσματα μιας και οι καμπύλες αυτές σχεδιαστεί μόνο με εννέα γνωστά σημεία.

- Άλλη δυνατή διερεύνηση είναι η μελέτη ως προς τη δυνατότητα απορροής συνδετήριων κλάδων ανισόπεδων κόμβων όπου η περιστροφή του οδοστρώματος λαμβάνει χώρα στην εξωτερική οριογραμμή και η επιφάνεια κυκλοφορίας είναι μεγαλύτερη.
- Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η προσέγγιση στην παρούσα εργασία έχει γίνει σύμφωνα με τις διατάξεις ΟΜΟΕ-Χ. Θα μπορούσε λοιπόν η διερεύνηση να πραγματοποιηθεί με οδηγίες μελετών άλλων χωρών (Γερμανικές οδηγίες RAA, 2008, RAL, 2012, AASHTO, 2018, AUSTRROADS) και να συσχετιστούν τα αποτελέσματα.
- Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό της επιφάνειας με την μη ικανοποιητική απορροή των ομβρίων, το ύψος βροχόπτωσης και την υφή του οδοστρώματος θα μπορούσε να προσδιοριστεί το όριο ταχύτητας. Το όριο αυτό θα μπορούσε να εφαρμόζεται με την βοήθεια Πινακίδων Μεταβλητών Μηνυμάτων (VMS).

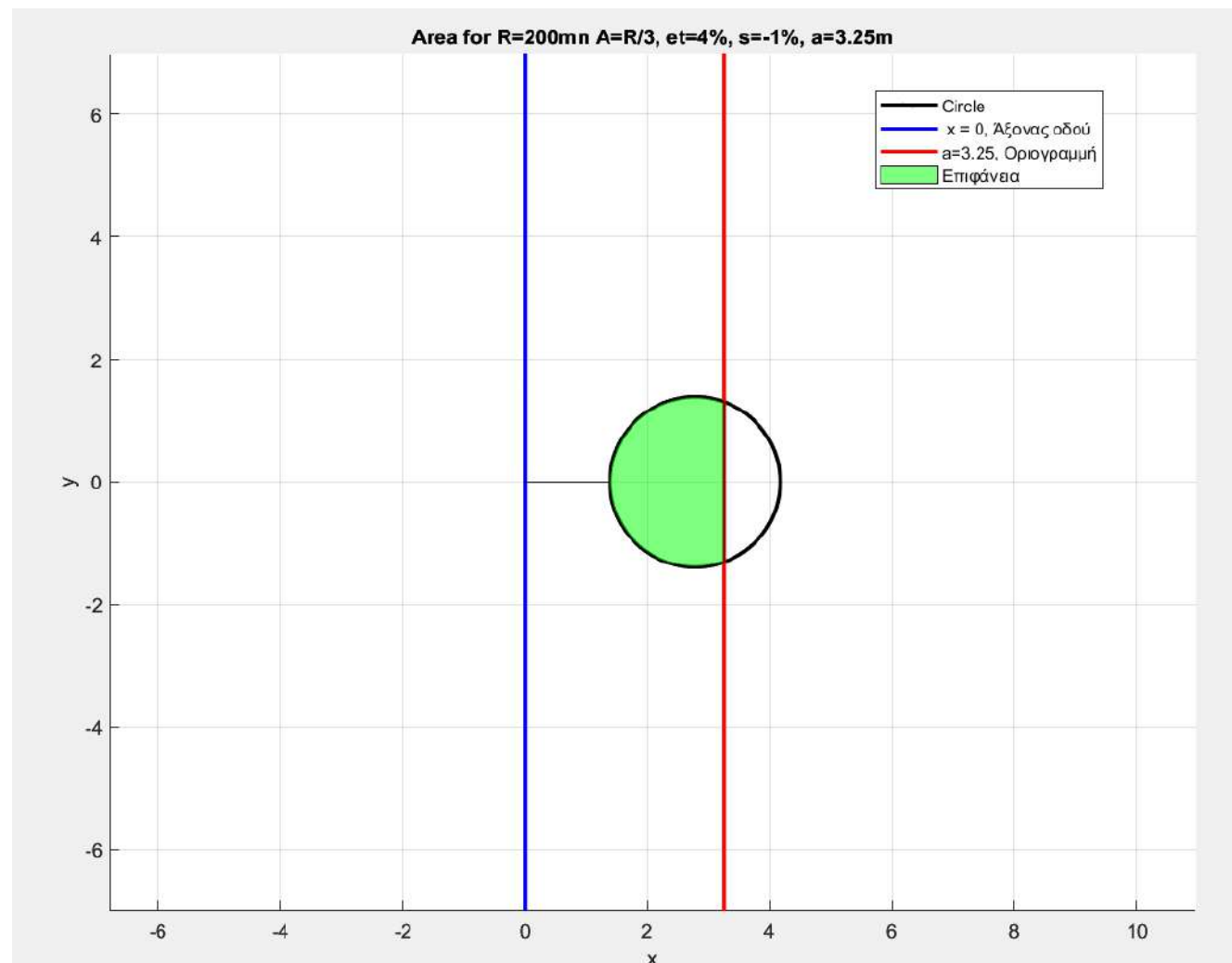
6. BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Zumrawi, M. M. "Investigating surface drainage problem of roads in Khartoum state." *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)* 7.3 (2016): 91-103.
- [2] Hongrong, Qiu, et al. "Study of problems and corrective actions of urban drainage network." *2011 International Conference on Electric Technology and Civil Engineering (ICETCE)*. IEEE, 2011.
- [3] Toryila, Tiza Michael, Iorver Vitalis Terpase, and Iortyom Enoch Terlumun. "The effects of poor drainage system on road pavement: A review." *International Journal for innovative research in multidisciplinary field* 2.8 (2016): 216-223.
- [4] Μαυρομάτης Σ. "Σημειώσεις για το μάθημα Γεωμετρικός Σχεδιασμός Οδών" Τεύχος Α: Στοιχεία Σχεδιασμού ,ΕΜΠ (2023)
- [5] Ed.German Road and Transportation Research Association, Committee, Geometric Design Standards. Guidelines for the Design of Roads, (RAA), Germany 2008.
- [6] Ed.German Road and Transportation Research Association, Committee, Geometric Design Standards. Guidelines for the Design of Rural Roads, (RAL), Germany 2012.
- [7] AASHTO. A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF HIGHWAYS AND STREETS. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), (2018).
- [8] Austroads, Guide to road design: part 3: geometric design, AGRD03-16 (Edn 3.4 published February 2021), Austroads, Sydney, NSW, (2016).
- [9] Austroads, Guide to road design: part 5A: drainage – road surface, networks, basins and subsurface, AGRD05A-21, Austroads, Sydney, NSW, (2023b).
- [10] Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων. Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ). Τεύχος 3: Χαράξεις (ΟΜΟΕ - Χ), 2001.
- [11] Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών, Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων. Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ). Τεύχος 1: Λειτουργική κατάταξη οδικού δικτύου (ΟΜΟΕ - ΛΚΟΔ), 2001.
- [12] Ν. Ηλιού και Γ. Καλιαμπέτσος, "Διερεύνηση του προβλήματος της απορροής των ομβρίων σε κρίσιμες για την ασφάλεια περιοχές των οδικών χαράξεων," Αθήνα, 2012.
- [13] Panagiotis Lemonakis, George Kaliabetsos , Nikos Eliou and Fotini Kehagia, "Parametric Investigation of Rainwater Runoff from Road Pavement with a Constant Longitudinal Slope", 6th International Symposium on Highway Geometric Design (ISHGD), Amsterdam, 2020.

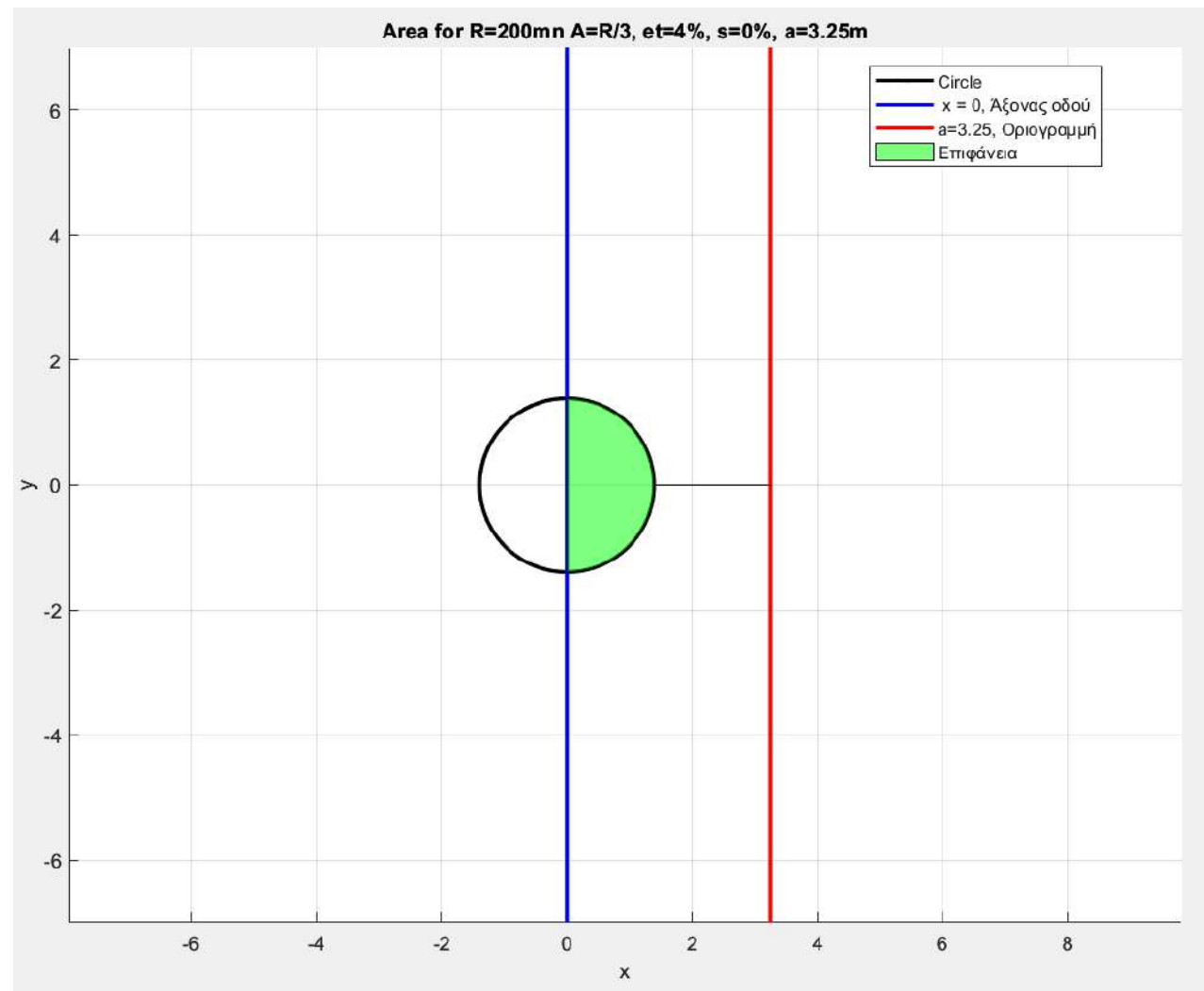
7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



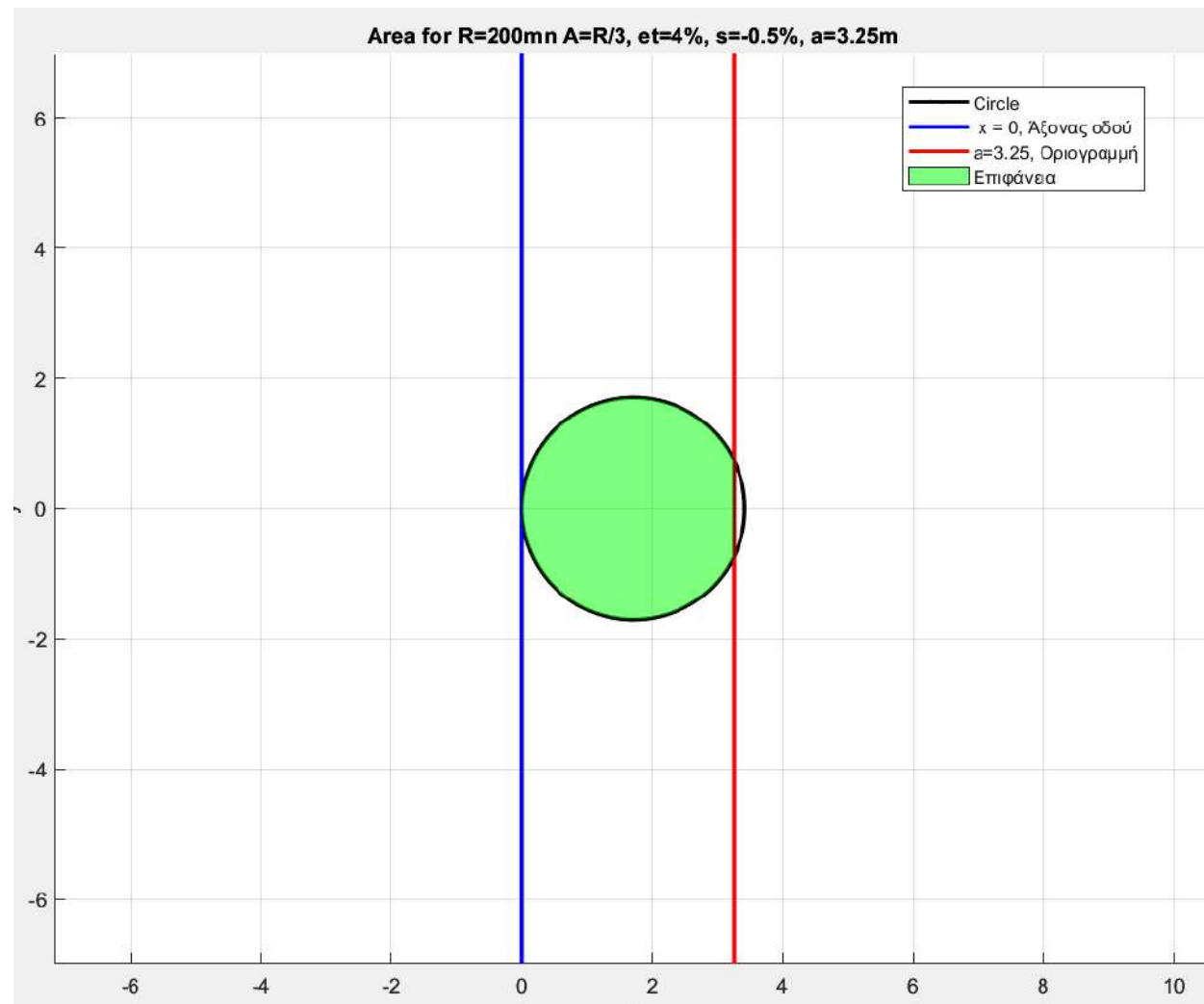
Π 1. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200\text{m}$, $A=R/3$, $e=7\%$, $s=-0.7\%$ και $a=3.25\text{m}$.



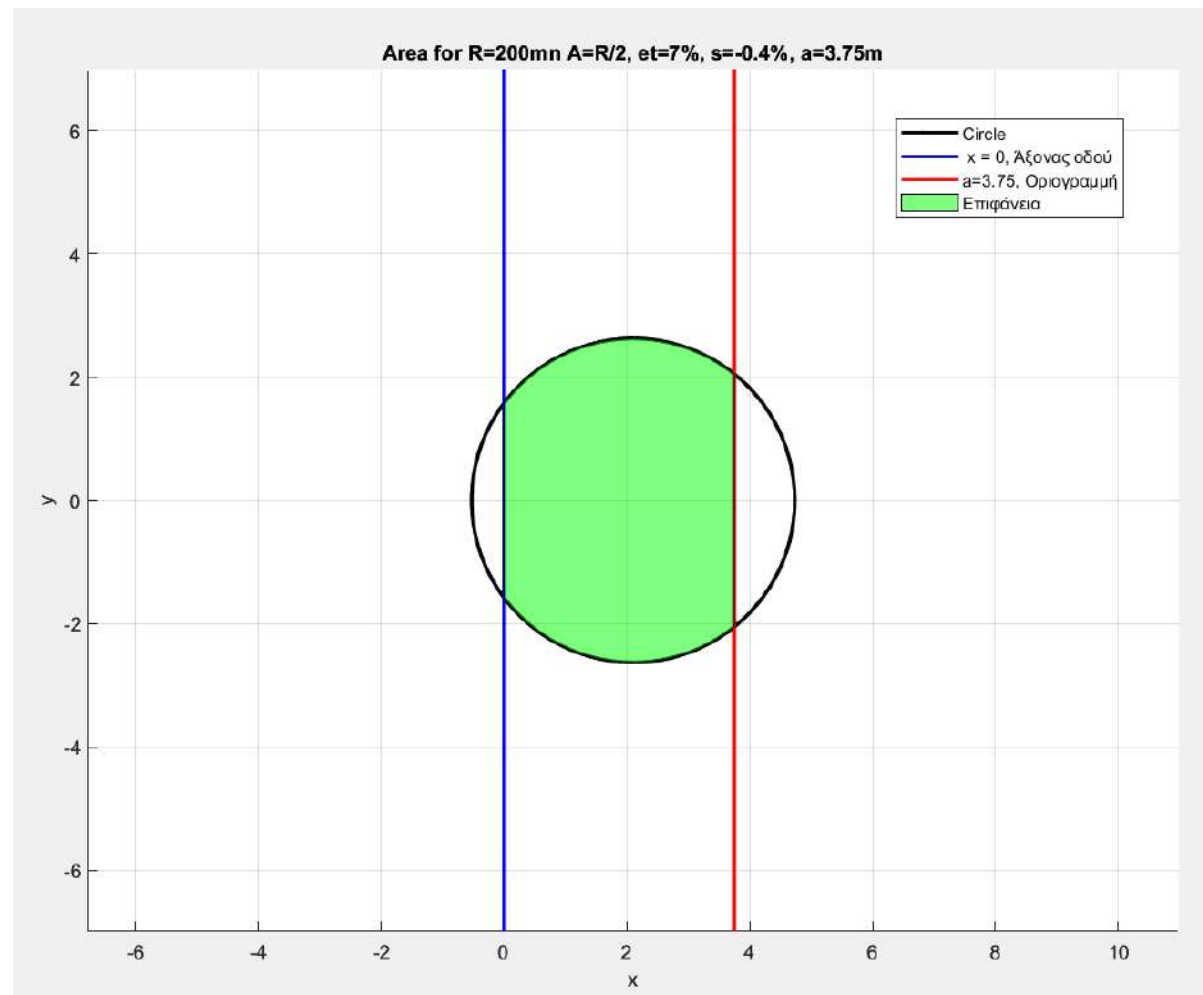
Π 2. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200m$, $A=R/3$, $e=7\%$, $s=-1\%$ και $a=3.25m$.



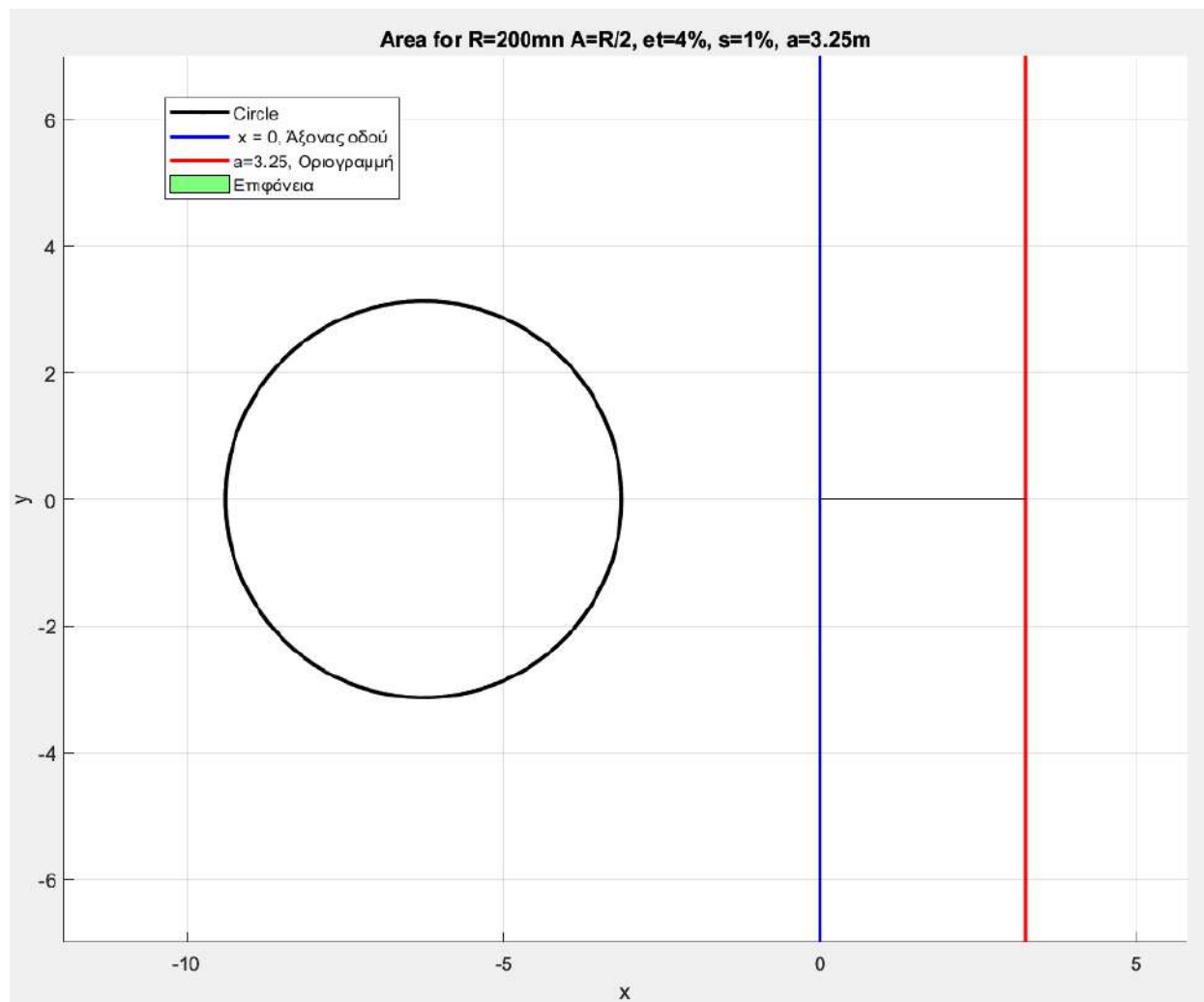
Π 3. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200m$, $A=R/3$, $e=4\%$, $s=0\%$ και $a=3.25m$.



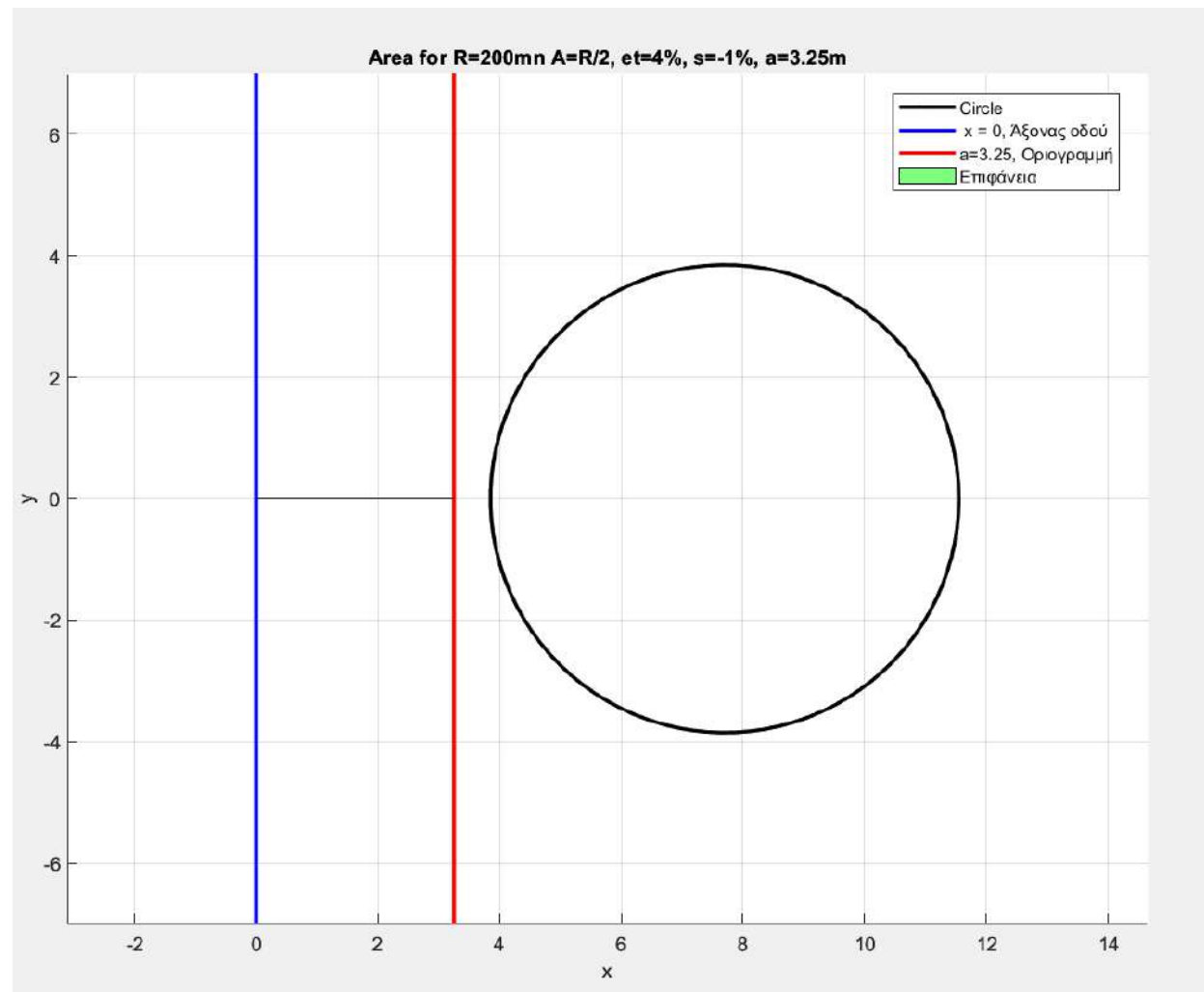
Π 4. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200m$, $A=R/3$, $e=4\%$, $s=-0.5\%$ και $a=3.25m$.



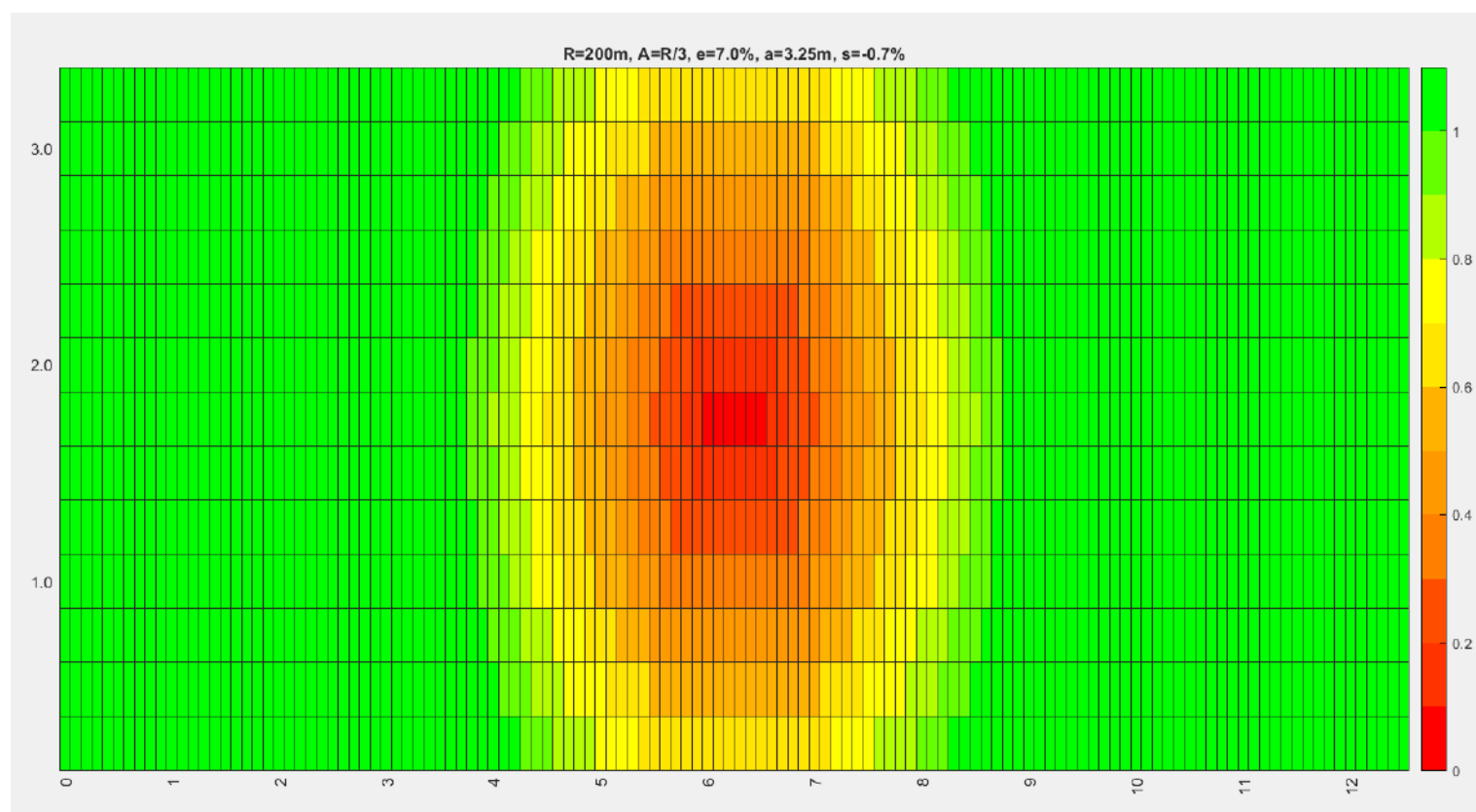
Π 5. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200m$, $A=R/2$, $e=7\%$, $s=-0.4\%$ και $a=3.75m$.



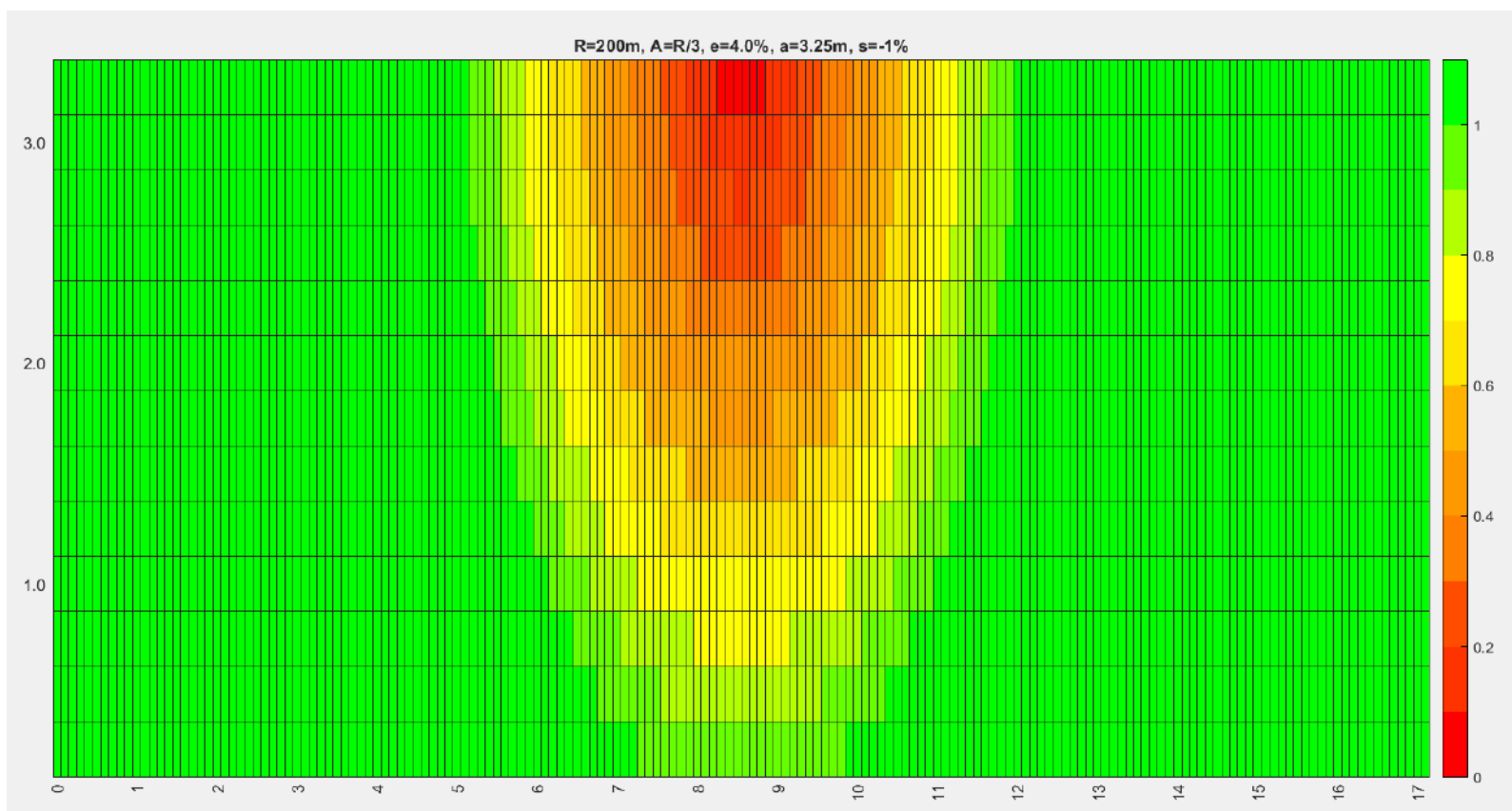
Π 6. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200m$, $A=R/2$, $e=4\%$, $s=1\%$ και $a=3.25m$.



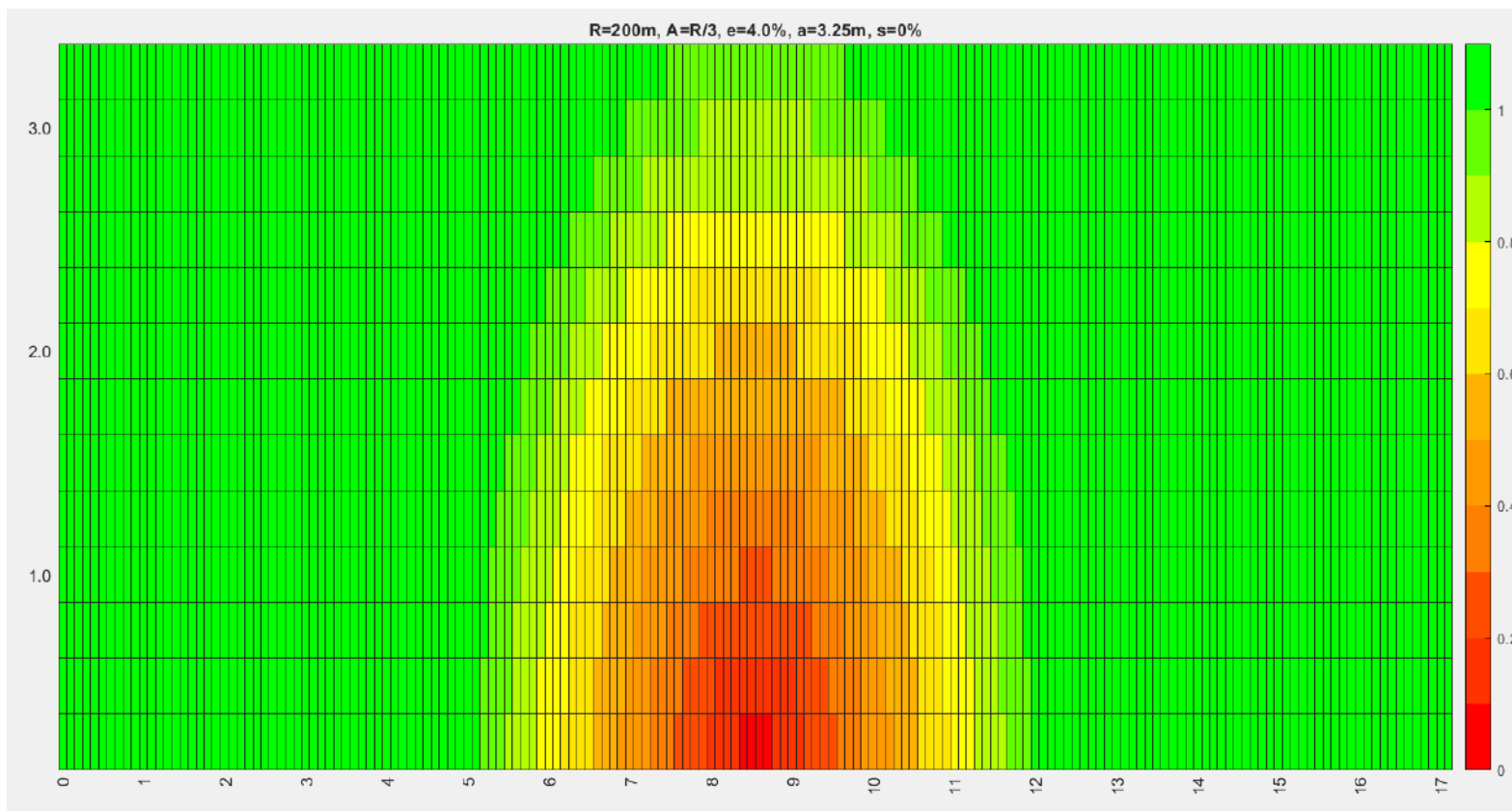
Π 7. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200m$, $A=R/2$, $e=4\%$, $s=-1\%$ και $a=3.25m$.



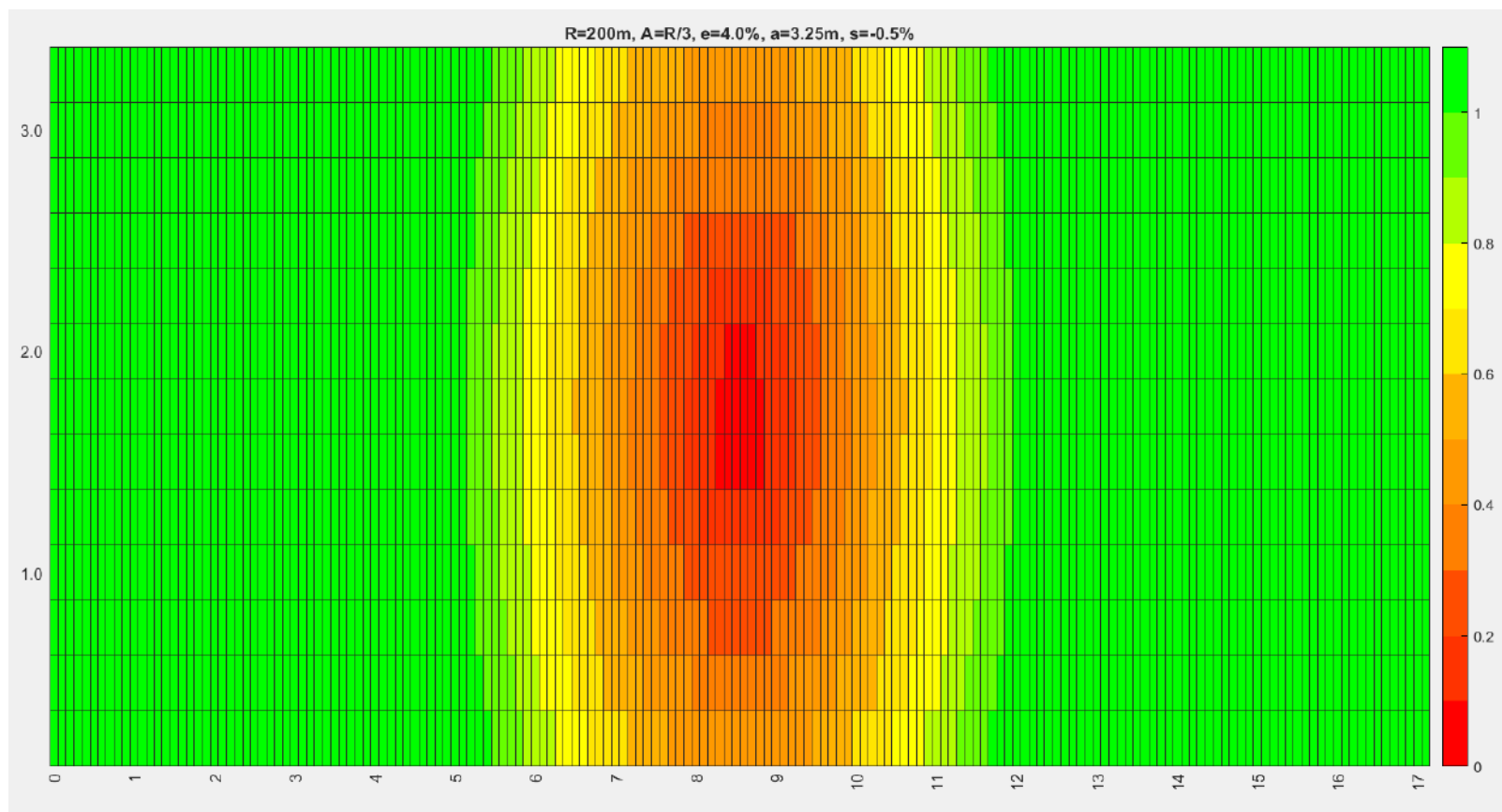
Π 8. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200m, A=R/3, e=7\%, s=-0.7\%$ και $a=3.25m$.



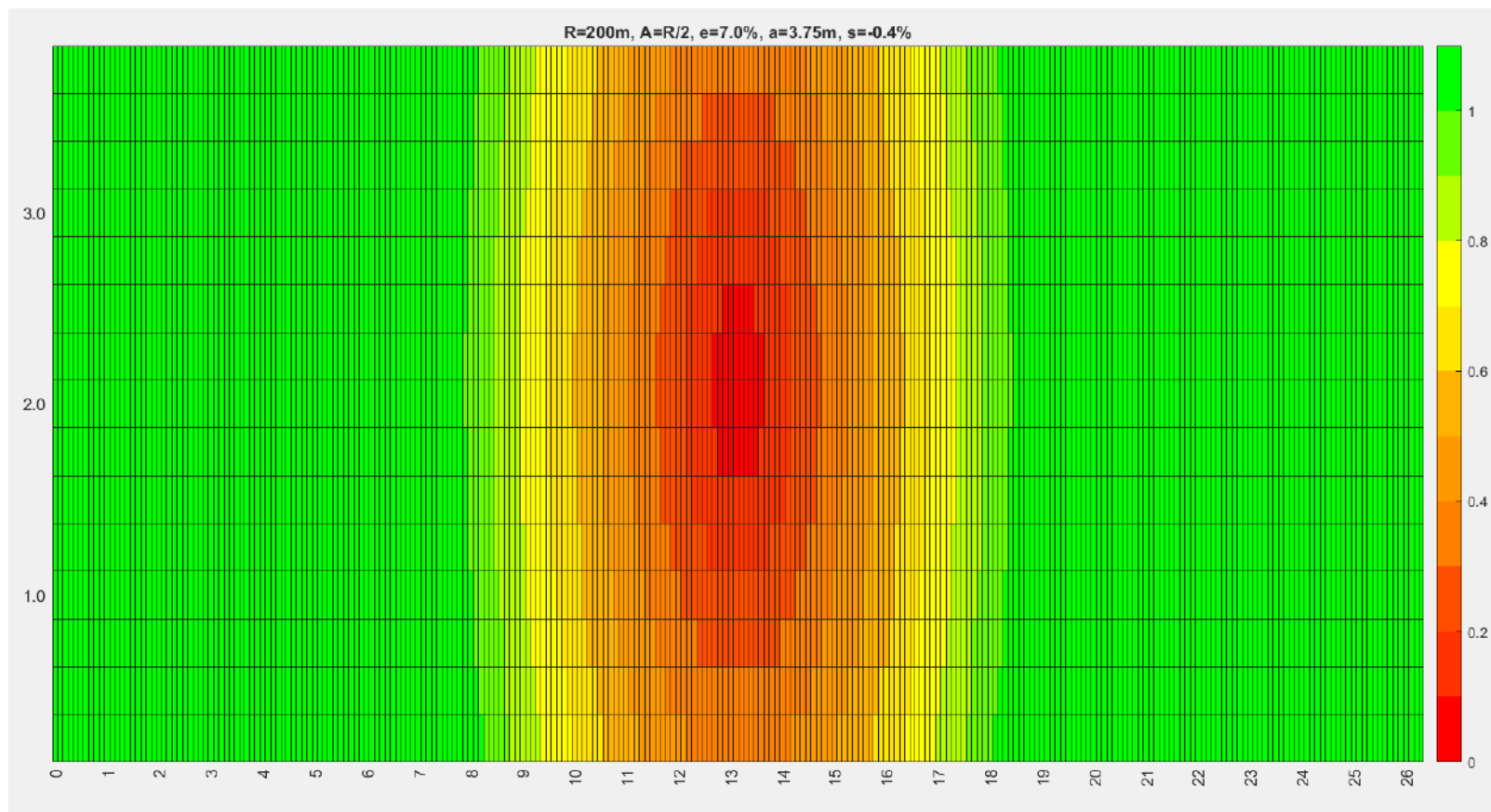
Π 9. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200m$, $A=R/3$, $e=4\%$, $s=-1\%$ και $a=3.25m$.



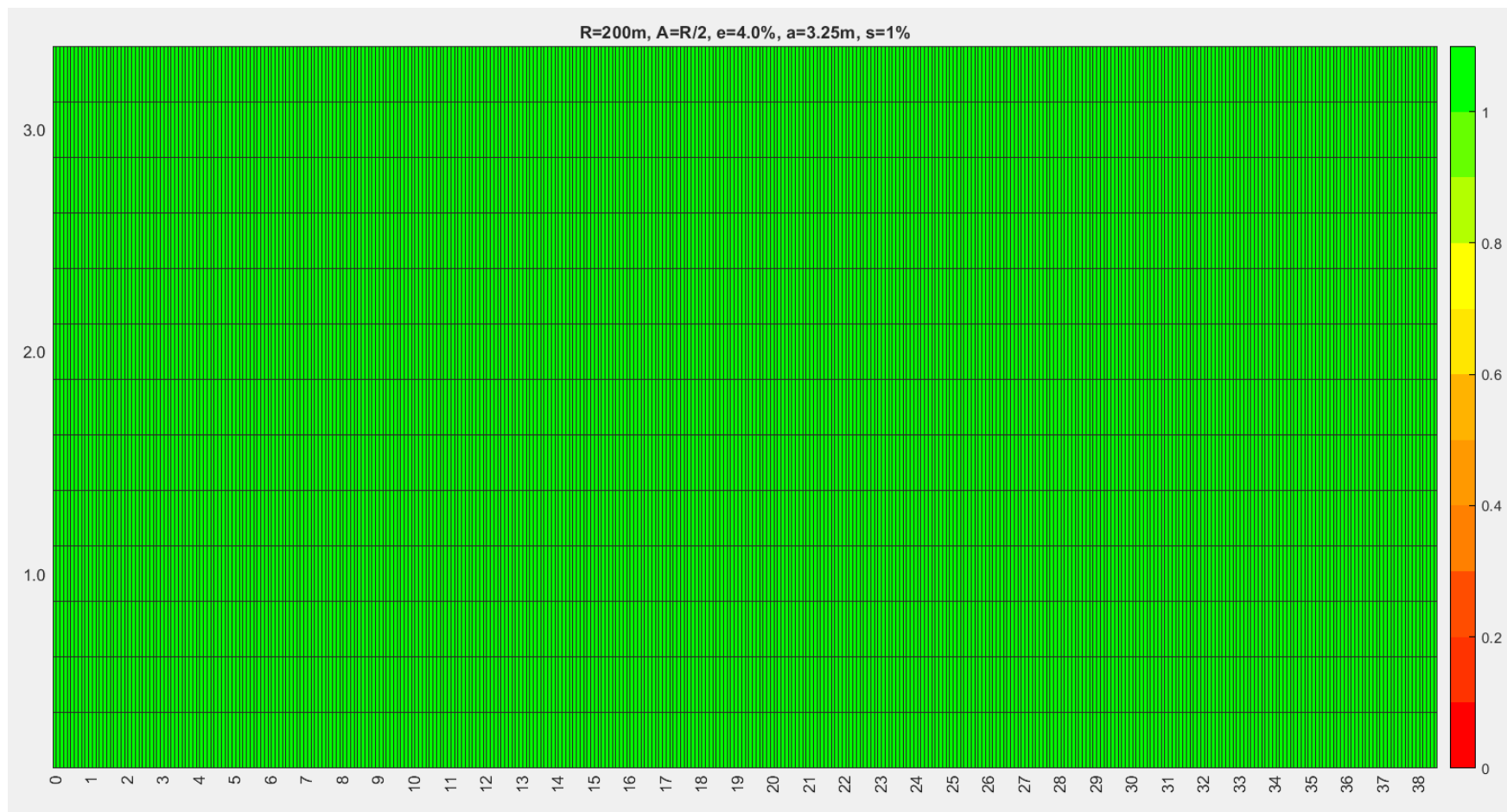
Π 10. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200m, A=R/3, e=4\%, s=0\%$ και $a=3.25m$.



Π 11. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200m, A=R/3, e=4\%, s=-0.5\%$ και $a=3.25m$.



Π 12. Επιφάνεια ασθενούς απορρόγης ομβρίων για $R=200m$, $A=R/2$, $e=7\%$, $s=-0.4\%$ και $a=3.75m$.



Π 13. Επιφάνεια ασθενούς απορροής ομβρίων για $R=200m, A=R/2, e=4\%, s=1\%$ και $a=3.25m$.