

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ  
ΟΛΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΟΞΩΝ ΕΠΙΚΛΙΣΕΩΝ**

υπό

**ΣΤΥΛΙΑΝΟΥ ΑΠΟΣΤΟΛΑΚΗ**

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

2020

© 2020 Στυλιανός Αποστολάκης

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

## **Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Ηλιού Νικόλαος  
(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Καλιαμπέτσος Γεώργιος  
Επιστημονικός συνεργάτης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Κοπελιάς Παντελεήμων  
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

## **Ευχαριστίες**

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητή κ. Ηλιού Νικόλαο, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της εργασίας μου. Οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες στον κ. Καλιαμπέτσο Γεώργιο, επιστημονικό συνεργάτη στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας τον οποίο και ευχαριστώ αρχικά για την ανάθεση του θέματος και στην συνέχεια για την συμβολή, τη βοήθεια, την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της συγκεκριμένης Διπλωματικής Εργασίας. Επίσης, είμαι ευγνώμων στο τρίτο μέλος της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής μου εργασίας, τον επίκουρο καθηγητή κ. Κοπελιά Παντελεήμονα για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις του. Τέλος ευχαριστώ την οικογένειά μου, τους συγγενείς, τους συμφοιτητές και τους φίλους μου για την ηθική συμπαράσταση όλα αυτά τα χρόνια.

Αποστολάκης Στυλιανός

# ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΛΟΞΩΝ ΕΠΙΚΛΙΣΕΩΝ

Στυλιανός Αποστολάκης

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2020

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Ηλιού Νικόλαος, Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Περίληψη

Το θέμα της απορροής των ομβρίων στις κρίσιμες περιοχές των οδών είναι σημαντικό, γιατί υπό συνθήκες συμβάλλει στην εμφάνιση του φαινομένου της υδρολίθωσης. Στις ΟΜΟΕ (Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων), με σκοπό την καλή απορροή του οδοστρώματος, προτείνεται η διαφορά  $s-\Delta s$  να είναι τουλάχιστον 0,5%. Σε περιπτώσεις συναρμογής αντίρροπων επικλίσεων είναι σημαντικό ο συνδυασμός οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης να είναι τέτοιος ώστε να αποφεύγονται μικρές τιμές στις συνισταμένες κλίσεις, έτσι ώστε να μην εμφανίζονται περιοχές με πρόβλημα ως προς την απορροή των ομβρίων υδάτων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η απορροή των ομβρίων υδάτων. Εκτός από τους δύο γνωστούς τρόπους περιστροφής του οδοστρώματος, αυτού όπου η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο και αυτού όπου εφαρμόζεται λοξή κορυφογραμμή στην επιφάνεια του οδοστρώματος με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%, προτάθηκε και διερευνήθηκε και η περίπτωση όπου εφαρμόζεται λοξή κορυφογραμμή στην επιφάνεια του οδοστρώματος με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%.

Αυτοί οι τρεις τρόποι περιστροφής του οδοστρώματος εφαρμόστηκαν σε μοντέλα δρόμων για τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις κατά μήκος κλίσης, σταθερής αρνητικής και θετικής κατά μήκος κλίσης 0,5%, σταθερής αρνητικής κατά μήκος κλίσης 1% και σταθερής μηδενικής κατά μήκος κλίσης, έτσι ώστε να γίνει σύγκριση στα πάχη νερού που εμφανίζονται στο οδόστρωμα κατά την διάρκεια μιας βροχόπτωσης.

Πραγματοποιήθηκε σχεδιασμός γραμμών ροής που σχηματίζονται στο οδόστρωμα κατά την διάρκεια της βροχόπτωσης. Έγινε ο υπολογισμός του πάχους νερού που συσσωρεύεται στο τέλος των γραμμών

ροής με χρήση της επέκτασης του τύπου του Gallaway για τις περιπτώσεις όπου η εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος μεταβάλλεται.

Τέλος έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τους υπολογισμούς καθώς και η διατύπωση των συμπερασμάτων.

## Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή</b> .....	<b>1</b>
1.1	Δομή εργασίας.....	2
<b>2</b>	<b>Θεωρητικό Υπόβαθρο</b> .....	<b>3</b>
2.1	Μαθηματική Περιγραφή .....	3
2.1.1	Επικλίσεις οδοστρώματος (q) - Πρόσθετη κλίση οριογραμμών ( $\Delta_S$ ).....	3
2.1.2	Τύπος υπολογισμού της συνισταμένης κλίσης οδοστρώματος .....	7
2.2	Το Φαινόμενο της Υδρολίσθησης.....	12
<b>3</b>	<b>Πάχος Υδατικής Στρώσης στο Οδόστρωμα</b> .....	<b>15</b>
3.1	Παράγοντες που επηρεάζουν το Πάχος Υδατικής Στρώσης.....	15
	Μήκος διαδρομής της ροής ( $L_f$ ) και Συνισταμένη κλίση της διαδρομής ροής ( $S_f$ ) .....	15
	Ένταση βροχόπτωσης ( $i$ ) .....	16
	Βάθος της υφής του οδοστρώματος ( $BY$ ) .....	16
3.2	Εξίσωση Υπολογισμού του Πάχους Υδατικής Στρώσης .....	18
3.3	Παράμετροι για το Αποδεκτό Πάχος Υδατικής Στρώσης.....	19
<b>4</b>	<b>Εφαρμογές Μοντέλων Δρόμου</b> .....	<b>21</b>
4.1	Χαρακτηριστικά των Τυπικών Διατομών .....	21
4.2	Περιπτώσεις εφαρμογών Μοντέλων Δρόμων.....	22
	Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% .....	22
	Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%.....	23
	Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%.....	24
4.3	Γραμμές Ροής στα μοντέλα των δρόμων .....	24
4.3.1	Σταθερή αρνητική κατά μήκος κλίση 0,5% .....	25
4.3.2	Σταθερή κατά μήκος κλίση 0,5%.....	28
4.3.3	Σταθερή αρνητική κατά μήκος κλίση 1% .....	31

4.3.4	Σταθερή κατά μήκος κλίση 0%.....	34
<b>5</b>	<b>Πάχη Νερού στα μοντέλα των δρόμων .....</b>	<b>37</b>
5.1	Εφαρμογή του τύπου στα μοντέλα δρόμων .....	37
5.2	Πάχη νερού στο τέλος των Γραμμών Ροής.....	38
	Σταθερή αρνητική κατά μήκος κλίση 0,5% .....	38
	Σταθερή κατά μήκος κλίση 0,5% .....	40
	Σταθερή αρνητική κατά μήκος κλίση 1% .....	41
	Σταθερή κατά μήκος κλίση 0% .....	43
<b>6</b>	<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>45</b>
6.1	Σύνοψη αποτελεσμάτων.....	45
6.1.1	Γενικά.....	45
6.1.2	Αποτελέσματα.....	46
6.2	Διατύπωση συμπερασμάτων .....	47
<b>7</b>	<b>Βιβλιογραφικές Αναφορές.....</b>	<b>49</b>
<b>8</b>	<b>Παράρτημα.....</b>	<b>51</b>



## **Κατάλογος Πινάκων**

Πίνακας 2.1: Οριακές τιμές πρόσθετης κλίσης οριογραμμών $\Delta S$ για ομάδες .....	5
Πίνακας 3.1: Ελάχιστο Βάθος Επιφανειακής Υφής (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών & Δικτύων, 2013).....	17
Πίνακας 3.2 : Σχέση χαρακτηριστικών παραμέτρων - Βάθους νερού (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, 2002) .....	20

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2-1: Μεταβολή επίκλισης (Ψαριανός, 2018).....	4
Σχήμα 2-2: Κλίση υπερέψωσης $\Delta s$ (Ψαριανός, 2018).....	5
Σχήμα 2-3: Ορισμός πλάτους $a$ (ΟΜΟΕ-Χ, 2001).....	6
Σχήμα 2-4: Σύστημα συντεταγμένων για την συνισταμένη κλίση (Καλιαμπέτσος, 2017) .....	7
Σχήμα 2-5: Απεικόνιση συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος (Αλιμονάκης, 2018) .....	12
Σχήμα 2-6: Το φαινόμενο της υδρολίσθησης (Spitzhüttl et al.,2020) .....	13
Σχήμα 2-7: Δυνάμεις στον τροχό: a) ο τροχός κυλά ελεύθερα σε στεγνή επιφάνεια b) ο τροχός δεν περιστρέφεται, 100% κατάσταση σπιναρίσματος (Gallaway et al., 1979) ....	14
Σχήμα 3-1: Συνισταμένη πορεία της ροής στο οδόστρωμα (Güven & Melville, 1999).....	16
Σχήμα 3-2: Γραφική αναπαράσταση της μικροϋφής και μακροϋφής (Κοσμέτου, 2014) .....	16
Σχήμα 3-3: Σχηματισμός πάχους νερού στην επιφάνεια οδοστρώματος BY : Βάθος Υφής οδοστρώματος, BN : Βάθος Νερού (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, 2002) .....	18
Σχήμα 4-1: Τυπική διατομή “α4νσ” (ΟΜΟΕ-Δ, 2001) .....	22
Σχήμα 4-2: Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος .....	23
Σχήμα 4-3: Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% .....	23
Σχήμα 4-4: Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1% .....	24
Σχήμα 4-5: Περιοχές με πρόβλημα απορροής των ομβρίων $s=-0,5\%$ .....	26
Σχήμα 4-6: Ισοΰψεις Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% .....	26
Σχήμα 4-7: Ισοΰψεις Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	27
Σχήμα 4-8: Γραμμές Ροής - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος.....	27
Σχήμα 4-9: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% .....	28
Σχήμα 4-10: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	28
Σχήμα 4-11: Περιοχές με πρόβλημα απορροής των ομβρίων $s=0,5\%$ .....	29
Σχήμα 4-12: Ισοΰψεις Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% .....	29
Σχήμα 4-13: Ισοΰψεις Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	30
Σχήμα 4-14: Γραμμές Ροής - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος.....	30

Σχήμα 4-15: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% .....	31
Σχήμα 4-16: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	31
Σχήμα 4-17: Περιοχές με πρόβλημα απορροής των ομβρίων $s=-1%$ .....	32
Σχήμα 4-18: Ισοϋψείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% .....	32
Σχήμα 4-19: Ισοϋψείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	33
Σχήμα 4-20: Γραμμές Ροής - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος.....	33
Σχήμα 4-21: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% .....	33
Σχήμα 4-22: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	34
Σχήμα 4-23: Περιοχές με πρόβλημα απορροής των ομβρίων $s=0%$ .....	34
Σχήμα 4-24: Ισοϋψείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% .....	35
Σχήμα 4-25: Ισοϋψείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	35
Σχήμα 4-26: Γραμμές Ροής - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος.....	36
Σχήμα 4-27: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% .....	36
Σχήμα 4-28: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	36
Σχήμα 5-1: Βάθος Νερού (mm) - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος.....	39
Σχήμα 5-2: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% .....	39
Σχήμα 5-3: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	39
Σχήμα 5-4: Βάθος Νερού (mm) - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος.....	40
Σχήμα 5-5: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% .....	41
Σχήμα 5-6: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	41
Σχήμα 5-7: Βάθος Νερού (mm) - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος.....	42
Σχήμα 5-8: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% .....	42
Σχήμα 5-9: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	42
Σχήμα 5-10: Βάθος Νερού (mm) - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος.....	43
Σχήμα 5-11: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% ....	44
Σχήμα 5-12: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1% .....	44

Σχήμα 8-1: Εντολή Νέα σημεία εδάφους (AnadeltaTessera).....	51
Σχήμα 8-2: Επιλογές Εδάφους (AnadeltaTessera).....	52
Σχήμα 8-3: Εντολή-Υπολογισμός τριγώνων (AnadeltaTessera) .....	52
Σχήμα 8-4: Έδαφος-Βάση (AnadeltaTessera) .....	52
Σχήμα 8-5: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Νέος Τύπος (AnadeltaTessera) .....	53
Σχήμα 8-6: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Ορισμός τύπου ως τρέχοντα (AnadeltaTessera) ..	53
Σχήμα 8-7: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Γενικά (AnadeltaTessera) .....	53
Σχήμα 8-8: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Πλάτη (AnadeltaTessera).....	54
Σχήμα 8-9: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Κλίσεις (AnadeltaTessera).....	55
Σχήμα 8-10: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Διαγράμματα (AnadeltaTessera).....	56
Σχήμα 8-11: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Πύκνωση (AnadeltaTessera).....	57
Σχήμα 8-12: Δημιουργία δρόμου (AnadeltaTessera).....	57
Σχήμα 8-13: Επεξεργασία διαγραμμάτων-διάγραμμα επικλίσεων αριστερά (AnadeltaTessera) .....	58
Σχήμα 8-14: Εντολή-Νέα πολυγωνική (AnadeltaTessera) .....	59
Σχήμα 8-15: Νέα τυπική διατομή (AnadeltaTessera) .....	59
Σχήμα 8-16: Στοιχεία τυπικής-“Αυτόματες επικλίσεις” Α)Κλάδοι Β) Πρανή (AnadeltaTessera) .....	60
Σχήμα 8-17: Μαζικός Υπολογισμός Διατομών- “Αυτόματες επικλίσεις” (AnadeltaTessera) .	61
Σχήμα 8-18: Χρωματισμός κλίσεων (AnadeltaTessera).....	62
Σχήμα 8-19: Επεξεργασία διαγραμμάτων-διάγραμμα Δχ αριστερού ημιάξονα (λοξή 2,5%) (AnadeltaTessera) .....	63
Σχήμα 8-20: Διαμόρφωση τυπικής διατομής “λοξή 2,5%” (AnadeltaTessera).....	64
Σχήμα 8-21: Διόρθωση Σημείων Α)Σημείο 2 Β)Σημείο 3 (λοξή 2,5%) (AnadeltaTessera) ....	64
Σχήμα 8-22: Επεξεργασία διαγραμμάτων-διάγραμμα Δχ αριστερού ημιάξονα (λοξή 1%) (AnadeltaTessera) .....	65
Σχήμα 8-23: Διόρθωση Σημείων Α)Σημείο 2 Β)Σημείο 3 (λοξή 1%) (AnadeltaTessera) .....	66

Σχήμα 8-24: Προσθήκη σημείων στις διατομές (AnadeltaTessera) .....	67
Σχήμα 8-25: Προσθήκη σημείων ανά 1μ στις διατομές (AnadeltaTessera) .....	68
Σχήμα 8-26: Πλέγμα εδάφους-Για τις περιπτώσεις λοξής κορυφογραμμής (AnadeltaTessera) .....	68
Σχήμα 8-27: Μετατροπή του Δρόμου σε Έδαφος (AnadeltaTessera).....	69
Σχήμα 8-28: Επιλογές Εδάφους-Για τον υπολογισμό ισοϋψών (AnadeltaTessera) .....	69
Σχήμα 8-29: Υπολογισμός ισοϋψών (AnadeltaTessera).....	69



# 1 Εισαγωγή

Η απορροή των ομβρίων είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα, το οποίο κάθε μελετητής πρέπει να το εξετάσει προσεκτικά κατά τη διαδικασία σχεδιασμού ενός οδικού δικτύου. Μπορεί να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό την δυναμική της κίνησης των οχημάτων και για τον λόγο αυτό όταν υπάρχει κακή απορροή αυξάνεται ο κίνδυνος δημιουργίας τροχαίων ατυχημάτων.

Η εκτίμηση του αριθμού των ατυχημάτων εξαιτίας της υδρολίστεσης είναι δύσκολη γιατί είναι δύσκολη και ελλιπής η συλλογή των δεδομένων για τους παράγοντες που δημιουργούν την υδρολίστεση (Spitzhüttl, Goizet, Unger & Biesse, 2020).

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες για την πρόβλεψη του βάθους νερού που σχηματίζεται κατά την βροχόπτωση το οποίο υπό προϋποθέσεις συμβάλλει στην εμφάνιση της υδρολίστεσης. Έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα-προβλέψεις του βάθους νερού, μερικά από αυτά είναι το εμπειρικό και το αναλυτικό μοντέλο PAVDRN, το NZ modified και το Gallaway. Το μοντέλο όπου οι εκτιμήσεις για το βάθος νερού είναι πιο κοντά σε αυτές που έγιναν στο πεδίο, σύμφωνα με τον Luo (2015), είναι το Gallaway και αυτό θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία.

Η εμφάνιση της υδρολίστεσης στα οχήματα που κινούνται σε αυτοκινητόδρομο εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (Gallaway et al., 1979). Κάποιοι από αυτούς είναι η πίεση των ελαστικών, το βάθος του πέλματος του ελαστικού και η ταχύτητα του οχήματος (που αφορούν το εκάστοτε διερχόμενο όχημα από τον αυτοκινητόδρομο), η ένταση της βροχόπτωσης, η υφή της επιφάνειας του οδοστρώματος και τέλος η γεωμετρία της οδού.

Ακόμα έχουν γίνει έρευνες για τον προσδιορισμό των προβληματικών περιοχών στην οδική χάραξη και ανάλυση της συμπεριφοράς των ομβρίων στην επιφάνεια του οδοστρώματος σε αυτές τις περιοχές (Αλιμονάκης, 2018; Δαλαμπύρα & Κατσικανή, 2019).

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη της απορροής των ομβρίων υδάτων, με εφαρμογή λοξών κορυφογραμμών στην επιφάνεια του οδοστρώματος, στις προβληματικές περιοχές ως προς την απορροή. Οι λοξές κορυφογραμμές έχουν ως στόχο να μειώσουν τα πάχη νερού που

σχηματίζονται σε αυτές τις περιοχές του οδοστρώματος κατά την διάρκεια μιας βροχόπτωσης, αποτρέποντας την εμφάνιση του φαινομένου της υδρολίστεσης.

## 1.1 Δομή εργασίας

Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, παρουσιάζεται το **θεωρητικό υπόβαθρο** που λήφθηκε υπόψη για την εκπόνηση της εργασίας. Γίνεται η μαθηματική περιγραφή, η οποία περιλαμβάνει τον προσδιορισμό της επίκλισης, της πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών και τον τύπο υπολογισμού της συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται και η περιγραφή του φαινομένου της υδρολίστεσης.

Το **τρίτο κεφάλαιο**, αφορά το **πάχος υδατικής στρώσης στο οδόστρωμα**. Περιλαμβάνει τους παράγοντες που το επηρεάζουν, την εξίσωση με την οποία υπολογίζεται και τις παραμέτρους για το αποδεκτό πάχος υδατικής στρώσης.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, περιγράφονται τα **μοντέλα δρόμων που χρησιμοποιήθηκαν** και αναφέρονται τα χαρακτηριστικά των τυπικών διατομών που επιλέχτηκαν για τα μοντέλα των δρόμων. Επιπλέον γίνεται ο **σχεδιασμός των γραμμών ροής** για τις διαφορετικές περιπτώσεις μοντέλων δρόμων και για διαφορετικές σταθερές κατά μήκος κλίσεις.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο**, γίνεται η **εφαρμογή του τύπου υπολογισμού του πάχους νερού** στα μοντέλα των δρόμων, έτσι ώστε να γίνει ο υπολογισμός του πάχους νερού στο τέλος των γραμμών ροής που σχεδιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα **συμπεράσματα** της εργασίας.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** υπάρχουν οι **βιβλιογραφικές αναφορές** της εργασίας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο, το **όγδοο**, βρίσκεται το **Παράρτημα** της εργασίας που περιλαμβάνει την διαδικασία που ακολουθήθηκε για την δημιουργία των μοντέλων δρόμων, τον υπολογισμό των ισοϋψών γραμμών και τον σχεδιασμό των γραμμών ροής στο οδόστρωμα, στο πρόγραμμα Anadelta Tessera.



## 2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 2.1 Μαθηματική Περιγραφή

Στις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), στο τεύχος 3 (ΟΜΟΕ-Χ, 2001), υπάρχουν περιορισμοί για τις ελάχιστες τιμές της επίκλισης του οδοστρώματος στην ευθυγραμμία και των ελαχίστων και μεγίστων τιμών στις κυκλικές καμπύλες.

#### 2.1.1 Επικλίσεις οδοστρώματος (q) - Πρόσθετη κλίση οριογραμμών ( $\Delta_S$ )

##### Επίκλιση στην ευθυγραμμία

Για όλες τις κατηγορίες των οδών, για λόγους απορροής, η ελαχίστη τιμή επίκλισης του οδοστρώματος στην ευθυγραμμία είναι:

$$q_{min} = 2,5\% \quad (2.1)$$

##### Επίκλιση στο κυκλικό τόξο

Η επίκλιση στις καμπύλες διαμορφώνεται με κατεύθυνση προς το εσωτερικό της καμπύλης για λόγους δυναμικής της κίνησης.

Η μέγιστη τιμή της επίκλισης σε κυκλικές καμπύλες είναι :

- Για οδούς της κατηγορίας A (υπεραστικές οδοί)

$$q_{max} = \quad \text{σε πεδινά εδάφη} \quad (2.2)$$

$$q_{max} = 7\% \quad \text{σε λοφώδη και ορεινά εδάφη} \quad (2.3)$$

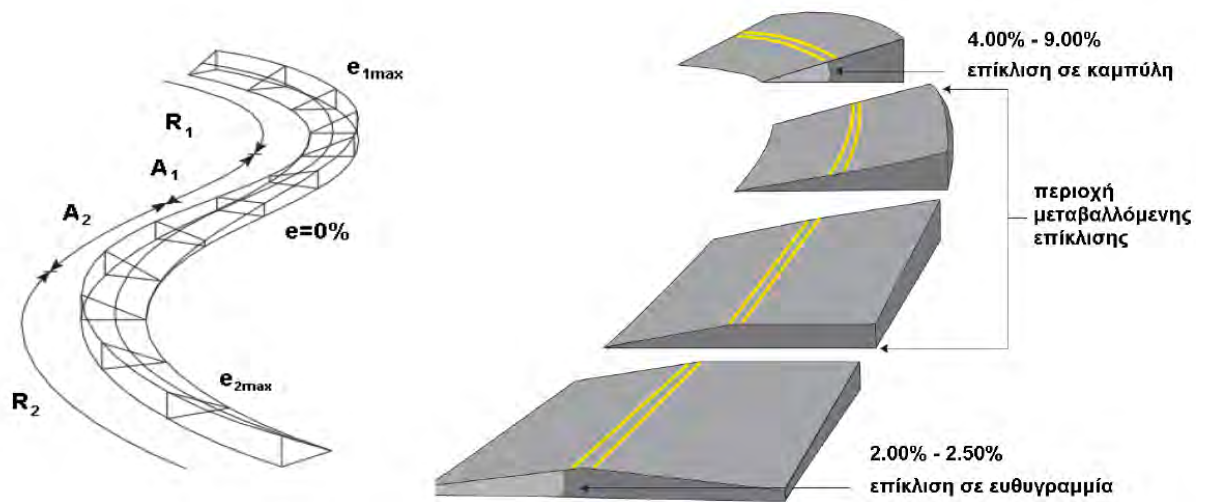
- Για οδούς της κατηγορίας B (αστικές και ημιαστικές οδοί)

$$q_{max} = 6\% \quad (2.4)$$

Η ελάχιστη τιμή της επίκλισης, για λόγους απορροής, σε κυκλικές καμπύλες είναι :

$$q_{min} = 2,5\% \quad (2.5)$$

Το μήκος στο οποίο λαμβάνει χώρα η μεταβολή της επίκλισης, από την τιμή της στην ευθυγραμμία σε αυτήν που έχει επιλεγεί για την κυκλική καμπύλη, είναι συνήθως το μήκος της καμπύλης συναρμογής. Για την επίτευξη της καλύτερης λύσης, ως προς την απορροή, το μήκος μεταβολής πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μικρό, εφόσον βέβαια ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί που επιβάλλονται από λόγους αισθητικής ή δυναμικής.



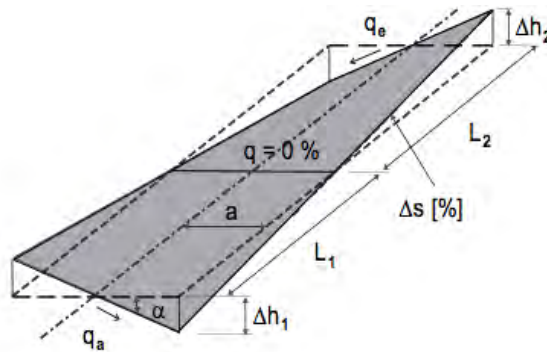
Σχήμα 2-1: Μεταβολή επίκλισης (Ψαριανός, 2018)

Η κατά μήκος κλίση της οριογραμμής σε σχέση με την κατά μήκος κλίση του άξονα λέγεται **σχετική κλίση ή πρόσθετη κλίση οριογραμμών**. Αυτή δίνεται από την σχέση:

$$\Delta s = \frac{q_T - q_a}{L_V} \cdot a \quad (2.6)$$

όπου:

- $\Delta s$  : σχετική ή πρόσθετη κλίση οριογραμμών
- $q_T$  : υπερύψωση ή επίκλιση στο τέλος του διαστήματος μεταβολής
- $q_a$  : υπερύψωση ή επίκλιση στην αρχή του διαστήματος μεταβολής (έχει αρνητική τιμή όταν είναι αντίθετη της τιμής της  $q_T$ )
- $L_V$  : μήκος μεταβολής των επικλίσεων
- $a$  : 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)

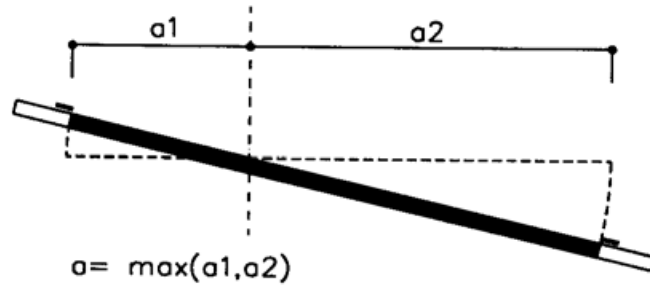


Σχήμα 2-2: Κλίση υπερύψωσης  $\Delta s$  (Ψαριανός, 2018)

Η μέγιστη τιμή της πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών  $\Delta s_{max}$ , για λόγους δυναμικής της κυκλοφορίας και λόγους οπτικής, δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές του Πίνακα 2.1 για τις ομάδες οδών Α και Β.

$V_e$ [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	

Πίνακας 2.1: Οριακές τιμές πρόσθετης κλίσης οριογραμμών  $\Delta S$  για ομάδες οδών Α και Β (ΟΜΟΕ-Χ, 2001)



Σχήμα 2-3: Ορισμός πλάτους  $\alpha$  (ΟΜΟΕ-Χ, 2001)

Από την μέγιστη τιμή της πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών  $\Delta s_{max}$  προκύπτει το **ελάχιστο μήκος προσαρμογής της επίκλισης**  $L_{v_{min}}$  από την σχέση:

$$L_{v_{min}} = \frac{q_T - q_\alpha}{\Delta s_{max}} \cdot \alpha \quad (2.7)$$

όπου:

- $L_{v_{min}}$  : το ελάχιστο μήκος προσαρμογής της επίκλισης
- $q_T$  : υπερύψωση ή επίκλιση στο τέλος του διαστήματος μεταβολής
- $q_\alpha$  : υπερύψωση ή επίκλιση στην αρχή του διαστήματος μεταβολής (έχει αρνητική τιμή όταν είναι αντίθετη της τιμής της  $q_T$ )
- $\Delta s_{max}$  : μέγιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμών
- $\alpha$  : 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)

Σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων σε οδούς των ομάδων Α και Β, στις περιοχές συναρμογής των αντίρροπων επικλίσεων, πρέπει να επιλέγεται ελάχιστη κατά μήκος κλίση  $s_{min} \geq 0,7\%$ , ή καλύτερα  $s_{min} \geq 1,0\%$ , ώστε να αποφεύγονται ζώνες κακής απορροής των ομβρίων. Σε κάθε περίπτωση η κατά μήκος κλίση της οδού δεν πρέπει να είναι μικρότερη από την πρόσθετη κλίση των οριογραμμών. Για την πλήρη εξασφάλιση της απορροής των ομβρίων της οδού η διαφορά μεταξύ της κατά μήκος κλίσης και της πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών αρκεί να είναι 0,5%. Πρέπει δηλαδή να ισχύει:

$$s - \Delta s \geq 0,5\% \quad (2.8)$$

όπου:

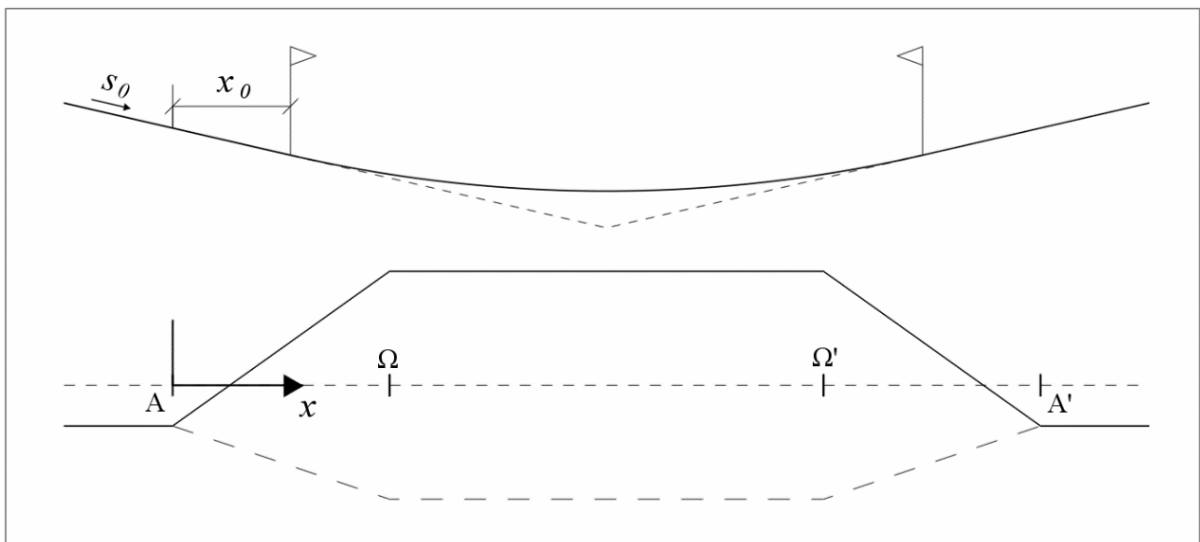
- $s$  [%] = κατά μήκος κλίση της οδού
- $\Delta s$  [%] = πρόσθετη κλίση των οριογραμμών.

Ο έλεγχος όμως για προβληματικές περιοχές πρέπει να γίνεται σε κάθε διατομή και σε κάθε χιλιομετρική θέση, για αυτό έχει αναπτυχτεί ο παρακάτω τύπος, όπου υπολογίζει την συνισταμένη κλίση του οδοστρώματος.

### 2.1.2 Τύπος υπολογισμού της συνισταμένης κλίσης οδοστρώματος

Για τον τύπο υπολογισμού της συνισταμένης κλίσης (Καλιαμπέτσος, 2017), επιλέχτηκε μια περιοχή του οδοστρώματος όπου χαρακτηρίζεται από έναν συνδυασμό οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης, η οποία υπό προϋποθέσεις παρουσιάζει όχι και τόσο καλή απορροή των ομβρίων υδάτων. Συγκεκριμένα μία καθοδική κατά μήκος κλίση, η οποία βαίνει συνεχώς μειούμενη, συνδυάζεται με την καμπύλη συναρμογής εισόδου της οριζόντιας καμπύλης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-4.

Η χάραξη που απεικονίζεται στο Σχήμα 2-4 είναι συμμετρική ως προς το κέντρο της στροφής, όμως η ανάλυση που θα ακολουθήσει δεν έχει σαν προϋπόθεση αυτήν τη συμμετρία.



Σχήμα 2-4: Σύστημα συντεταγμένων για την συνισταμένη κλίση (Καλιαμπέτσος, 2017)

Επιλέγεται ένα σύστημα συντεταγμένων με τετμημένη  $x$  την απόσταση από την αρχή της οριζόντιας καμπύλης (αλλά και της καμπύλης συναρμογής, της κλωθοειδούς) κατά μήκος του άξονα του δρόμου. Η τεταγμένη  $y$  είναι η εγκάρσια απόσταση από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος, ο οποίος ταυτίζεται με τον άξονα του δρόμου. Η συνισταμένη κλίση σε οποιαδήποτε θέση του οδοστρώματος είναι πάντα μεγαλύτερη ή ίση του μηδενός και εκφράζεται από τη σχέση:

$$\rho(x,y) = \sqrt{(S_x + \Delta s_y)^2 + q_x^2} \quad (2.9)$$

όπου:

- $\rho(x,y)$  : συνισταμένη κλίση σε απόσταση  $x$  από το σημείο A, αρχή της οριζόντιας καμπύλης, και σε απόσταση  $y$  από τον άξονα του δρόμου
- $S_x$  : κατά μήκος κλίση του άξονα σε απόσταση  $x$  από το σημείο A, αρχή της οριζόντιας καμπύλης
- $\Delta s_y$  : πρόσθετη κατά μήκος κλίση σε απόσταση  $y$  από τον άξονα του δρόμου
- $q_x$  : η επίκλιση σε απόσταση  $x$ , επίσης από την αρχή της καμπύλης

Ορίζεται για την απλούστερη αναπαράσταση των παρακάτω τύπων η σταθερά  $C$ , όπου παριστάνει την μεταβολή της επίκλισης ανά μονάδα μήκους και δίνεται από την σχέση:

$$C = \frac{q + q_0}{L} \quad (2.10)$$

όπου:

- $C$  : μεταβολή της επίκλισης ανά μονάδα μήκους
- $-q_0$  : επίκλιση στην ευθυγραμμία
- $q$  : επίκλιση στο κυκλικό τόξο
- $L$  : μήκος μεταβολής - περιστροφής του οδοστρώματος, που συνήθως ισούται με το μήκος κλωθοειδούς

Το άθροισμα  $S_x + \Delta s_y$  ορίζεται ως η σύνθετη κατά μήκος κλίση οποιουδήποτε σημείου με συντεταγμένες  $(x,y)$ .

Η πρόσθετη (σε σχέση με τον άξονα) κατά μήκος κλίση στην εξωτερική πλευρά του οδοστρώματος δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta s_y = C y \quad (2.11)$$

όπου:

- $\Delta s_y$  : πρόσθετη κατά μήκος κλίση σε απόσταση  $y$  από τον άξονα του δρόμου
- $C$  : μεταβολή της επίκλισης ανά μονάδα μήκους
- $y$  : απόσταση από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος

Η επίκλιση, στο εξωτερικό ρεύμα του οδοστρώματος, σε απόσταση  $x$  από την αρχή της οριζόντιας καμπύλης συναρμογής δίνεται από την σχέση:

$$q_x = -q_0 + C x \quad (2.12)$$

όπου:

- $q_x$  : η επίκλιση σε απόσταση  $x$ , επίσης από την αρχή της καμπύλης
- $q_0$  : επίκλιση στην ευθυγραμμία
- $C$  : μεταβολή της επίκλισης ανά μονάδα μήκους
- $x$  : απόσταση από την αρχή της καμπύλης

Η κατά μήκος κλίση  $S_x$  σε απόσταση  $x$  από την αρχή της κατακόρυφης καμπύλης εκφράζεται από τη σχέση:

$$s_x = s_0 + n \frac{x}{R} \quad \forall x \geq 0 \quad (2.13)$$

όπου:

- $s_x$  : κατά μήκος κλίση του άξονα σε απόσταση  $x$  από την αρχή της κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής
- $s_0$  : κατά μήκος κλίση του άξονα στην εφαπτομένη πριν την κατακόρυφη καμπύλη συναρμογής
- $n$  : πρόσημο: (+1) για κοίλη καμπύλη συναρμογής ή (-1) για κυρτή καμπύλη συναρμογής, (0) στην περίπτωση σταθερής κατά μήκος κλίσης
- $x$  : απόσταση από την αρχή της κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής, η οποία θεωρείται πάντα θετική
- $R$  : ακτίνα καμπυλότητας της κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής

Το μέγεθος  $n$  επιλέχτηκε έτσι ώστε η δυσμενής περίπτωση να αντιστοιχεί σε θετικό πρόσημο. Επιπλέον αν θεωρηθεί ότι η αρχή της κατακόρυφης καμπύλης βρίσκεται σε απόσταση  $x_0$  μετά την αρχή της οριζόντιας καμπύλης συναρμογής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1, τότε η σχέση (2.13) παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$s_x = s_0 + n \frac{x - x_0}{R} \quad \forall x \geq 0 \quad (2.14)$$

όπου τώρα:

- $x$  : η απόσταση από την αρχή της οριζόντιας καμπύλης συναρμογής, η οποία θεωρείται πάντα θετική και μεγαλύτερη ή ίση της απόστασης  $x_0$
- $x_0$  : η απόσταση της αρχής της κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής από την αρχή της οριζόντιας καμπύλης

Αν η αρχή της κατακόρυφης καμπύλης βρίσκεται πριν την αρχή της οριζόντιας καμπύλης συναρμογής τότε, σύμφωνα με την παραπάνω σύμβαση, η απόσταση  $x_0$  θα έχει αρνητική τιμή. Σε εκείνη την περίπτωση θα ισχύει πάντα το  $x \geq x_0$  αλλά το διάστημα μελέτης θα είναι  $x \geq 0$ .

Τέλος η περιοχή για την οποία ισχύει ότι το θετικό  $x < x_0$  αντιστοιχεί στο τμήμα της κλωθοειδούς όπου η κατά μήκος κλίση είναι σταθερή και ανάγεται στη γενική, θεωρώντας το  $n=0$ .

### **Θέση μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης οδοστρώματος**

Αν υπάρχουν σημεία-θέσεις στα οποία μηδενίζεται η συνισταμένη κλίση, όπως αυτή ορίζεται από τη σχέση (2.9), αυτά πρέπει να χαρακτηρίζονται από μηδενική επίκλιση  $q_x$  και ταυτόχρονα από μηδενική σύνθετη κατά μήκος κλίση ( $S_x + \Delta s_y$ ). Αυτό προκύπτει από την ίδια την σχέση (2.9).

Η θέση στην οποία μηδενίζεται η επίκλιση προσδιορίζεται από την τιμή του  $x$  στην οποία μηδενίζεται η  $q_x$ . Χρησιμοποιώντας τη σχέση (2.12) προκύπτει ότι αυτό συμβαίνει σε απόσταση  $x=X_c$  από την αρχή της καμπύλης, το οποίο δίνεται από την σχέση:

$$X_c = \frac{q_0}{C} \quad (2.15)$$



Η θέση στην οποία μηδενίζεται η σύνθετη κατά μήκος κλίση προσδιορίζεται από την τιμή του  $y$ , στην οποία μηδενίζεται η  $(S_x + \Delta s_y)$ . Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (2.11) και (2.14) προκύπτει ότι αυτό συμβαίνει όταν:

$$s_0 + n \frac{x - x_0}{R} + Cy = 0 \quad (2.16)$$

Η μεταβλητή  $X$  πρέπει να λάβει την τιμή της  $X_c$  για το σημείο μηδενισμού, αντικαθιστώντας λοιπόν την σχέση (2.16) προκύπτει το  $Y_c$  το οποίο δίνεται από την σχέση:

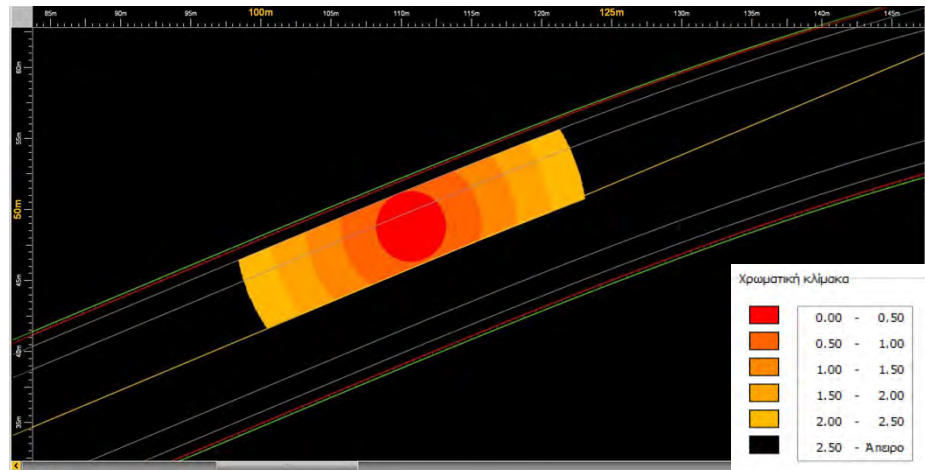
$$Y_c = -\frac{1}{C} \left( s_0 - n \frac{x_0}{R} + n \frac{q_0}{C R} \right) \quad (2.17)$$

Όταν η τιμή του  $Y_c$ , της εγκάρσιας απόστασης, η οποία προκύπτει από την παραπάνω σχέση, είναι μεγαλύτερη του μηδενός και μικρότερη του πλάτους του οδοστρώματος, τότε υπάρχει σημείο στο οποίο μηδενίζεται η συνισταμένη κλίση εντός του οδοστρώματος. Αυτό το σημείο θα έχει συντεταγμένες  $(X_c, Y_c)$  και θα είναι μοναδικό σε αυτήν την περιοχή. Αν δεν υπάρχει (εντός του εξωτερικού ρεύματος του οδοστρώματος) σημείο με μηδενική συνισταμένη κλίση αυτό δεν σημαίνει ότι το πρόβλημα της απορροής έχει λυθεί.

Στην περίπτωση σταθερής κατά μήκος κλίσης, γύρω από το κέντρο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης δημιουργούνται κυκλικές ζώνες, όπου προσδιορίζουν τις συνισταμένες κλίσεις του οδοστρώματος. Οι ακτίνες των κύκλων δίνονται από την σχέση:

$$r_{ab} = \frac{\rho_0}{C} \quad (2.18)$$

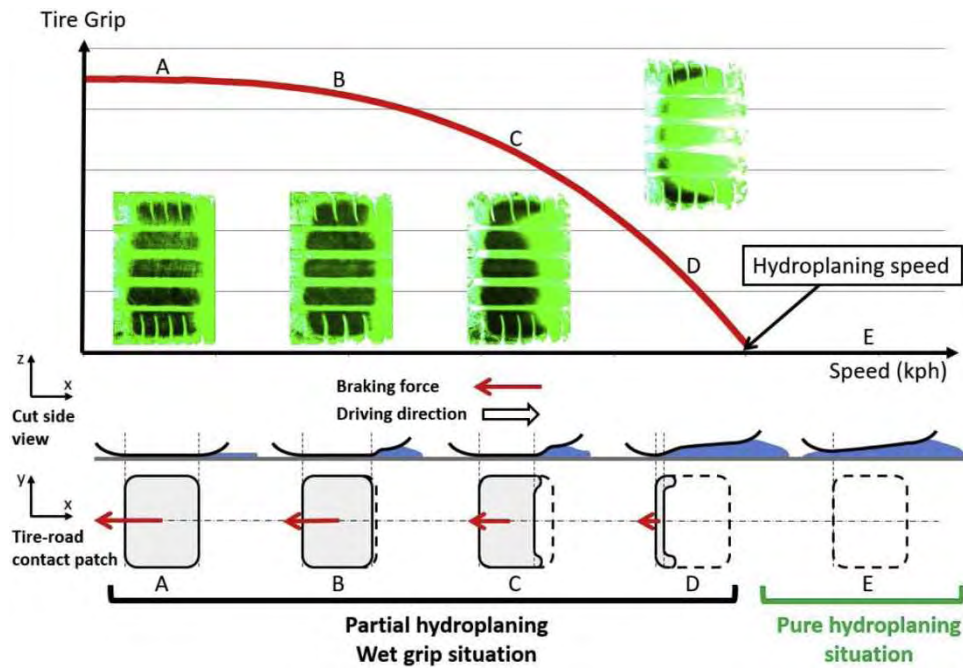
Η χρωματική απεικόνιση της συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος στις προβληματικές περιοχές μπορεί να γίνει με την βοήθεια του προγράμματος Anadelta Tessera, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2-5.



Σχήμα 2-5: Απεικόνιση συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος (Αλιμονάκης, 2018)

## 2.2 Το Φαινόμενο της Υδρολίσθησης

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες για την υδρολίσθηση, σύμφωνα με τους Spitzhüttl, Goizet, Unger & Biesse (2020), όπως περιγράφεται στο Σχήμα 2-6, το φαινόμενο υδρολίσθησης οδηγεί σε μείωση της επιφάνειας επαφής μεταξύ του ελαστικού και του δρόμου καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του οχήματος (περιπτώσεις Α, Β, Γ και Δ). Αυτό οφείλεται στην παρουσία νερού μεταξύ του ελαστικού και του δρόμου. Η μείωση της επιφάνειας επαφής, έχει επίσης ως αποτέλεσμα τη μείωση του επιπέδου πρόσφυσης των ελαστικών. Το κόκκινο βέλος απεικονίζει τη δύναμη πέδησης ανάμεσα στο ελαστικό και την επιφάνεια του οδοστρώματος. Εάν η ταχύτητα του οχήματος αυξάνεται και υπερβεί ένα συγκεκριμένο όριο (ταχύτητα υδρολίσθησης -  $V_h$ ), το ελαστικό χάνει εντελώς την επαφή του με το οδόστρωμα (περίπτωση Ε). Σε αυτήν την περίπτωση, εμφανίζεται μια καθαρή κατάσταση υδρολίσθησης, η οποία αναστέλλει οποιαδήποτε προσπάθεια αλλαγής κατεύθυνσης ή πέδησης, με αποτέλεσμα να έχουμε πλήρη αποσταθεροποίηση του οχήματος.



Σχήμα 2-6: Το φαινόμενο της υδρολίσθησης (Spitzhüttl et al.,2020)

Η υδρολίσθηση, σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ (2002), θεωρείται ότι αρχίζει στο 10% του σπιναρίσματος. Αυτό συμβαίνει όταν ο τροχός περιστρέφεται 1,1 φορές του μήκους της περιφέρειας του προκειμένου να προχωρήσει σε μήκος όσο είναι το μήκος της περιφέρειας του τροχού.

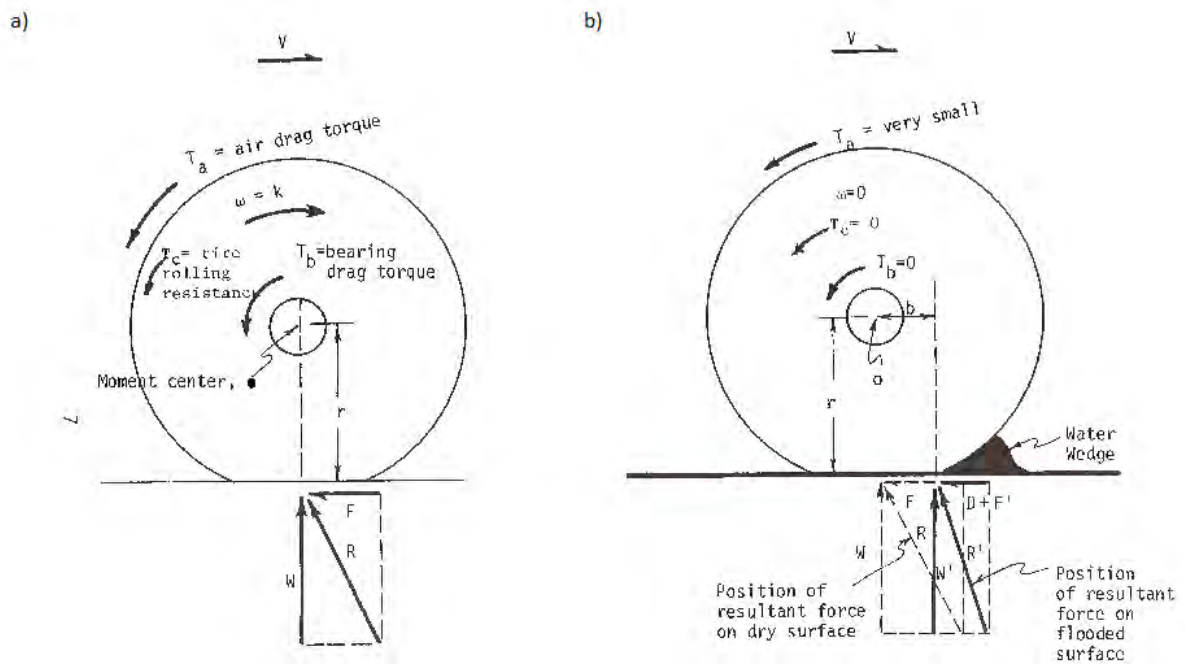
Το ποσοστό σπιναρίσματος, όπως γνωρίζουμε από την βιβλιογραφία (Gallaway et al., 1979) υπολογίζεται από την σχέση:

$$SD = \frac{\omega_d - \omega_w}{\omega_d} (100) \quad (2.19)$$

Όπου:

- $\omega_d$  : περιστροφική ταχύτητα του τροχού, όταν βρίσκεται σε ξηρή επιφάνεια
- $\omega_w$  : περιστροφική ταχύτητα του τροχού, μετά την περιστροφή λόγω επαφής με πλημμυρισμένο οδόστρωμα.

Στο Σχήμα 2-7 απεικονίζονται οι δυνάμεις που δρουν στο ελαστικό σε δυο περιπτώσεις, την περίπτωση (a) όπου ο τροχός κυλά ελεύθερα σε ξηρή επιφάνεια και την περίπτωση (b) με 100% ποσοστό σπιναρίσματος, όταν το ελαστικό γλιστρά πάνω από το νερό με καθόλου ή μικρή επαφή μεταξύ ελαστικού και επιφάνειας οδοστρώματος. Με 100% ποσοστό σπιναρίσματος, η ταχύτητα περιστροφής του ελαστικού είναι μηδενική.



Σχήμα 2-7: Δυνάμεις στον τροχό: a) ο τροχός κυλά ελεύθερα σε στεγνή επιφάνεια  
 b) ο τροχός δεν περιστρέφεται, 100% κατάσταση σπινάρισμού (Galloway et al., 1979)

### 3 Πάχος Υδατικής Στρώσης στο Οδόστρωμα

#### 3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν το Πάχος Υδατικής Στρώσης

Το βάθος του νερού ( $BN$ ) που συσσωρεύεται στο οδόστρωμα, σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων, Τεύχος 8 (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, 2002), εξαρτάται από την ένταση βροχόπτωσης ( $i$ ), το μήκος διαδρομής της ροής ( $L_f$ ), την συνισταμένη κλίση της διαδρομής ροής ( $S_f$ ) και το βάθος της υφής ( $BY$ ) της επιφάνειας του οδοστρώματος.

#### Μήκος διαδρομής της ροής ( $L_f$ ) και Συνισταμένη κλίση της διαδρομής ροής ( $S_f$ )

Όταν υπάρχει βροχόπτωση, η διαδρομή που ακολουθούν τα όμβρια ύδατα στην επιφάνεια του οδοστρώματος ονομάζεται διαδρομή ροής. Όταν και η εγκάρσια και η κατά μήκος κλίση του οδοστρώματος είναι σταθερές, η διαδρομή ροής είναι όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-1.

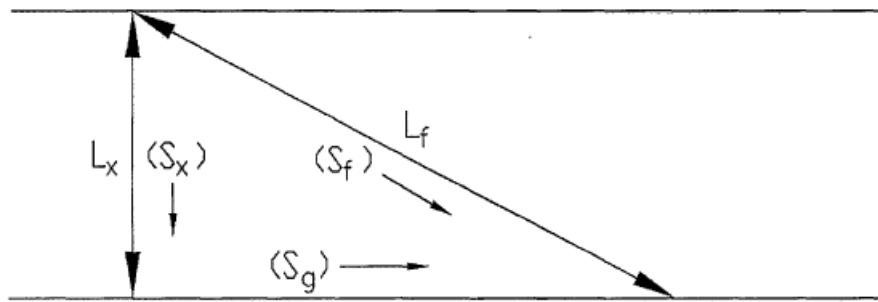
Η συνισταμένη κλίση της διαδρομής της ροής και το μήκος της υπόψη διαδρομής, σύμφωνα με τις Highway Drainage Guidelines AASHTO (1992 όπως αναφέρεται στο Güven & Melville, 1999) υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$S_f = (S_x^2 + S_g^2)^{0,5} = S_x [1 + (S_g/S_x)^2]^{0,5} \quad (3.1)$$

$$L_f = L_x \frac{S_f}{S_x} = L_x [1 + (S_g/S_x)^2]^{0,5} \quad (3.2)$$

Όπου:

- $S_f$  [m/m] : συνισταμένη κλίση της διαδρομής ροής
- $S_x$  [m/m] : εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος
- $S_g$  [m/m] : διαμήκης κλίση του οδοστρώματος
- $L_f$  [m] : μήκος διαδρομής της ροής
- $L_x$  [m] : πλάτος του οδοστρώματος



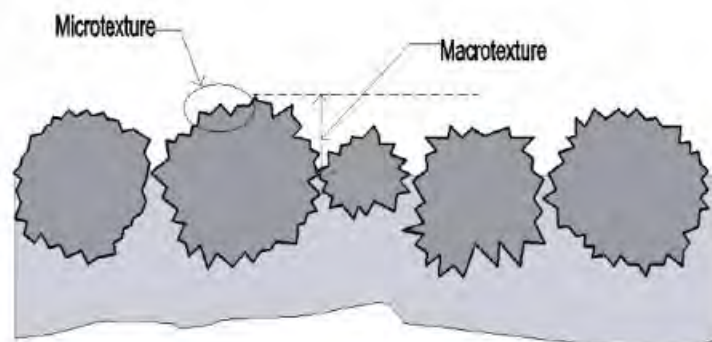
Σχήμα 3-1: Συνισταμένη πορεία της ροής στο οδόστρωμα (Güven & Melville, 1999)

### Ένταση βροχόπτωσης ( $i$ )

Η ένταση βροχόπτωσης  $i = 100\text{mm/h}$  είναι η στάθμη βροχόπτωσης πάνω από την οποία η ορατότητα φτάνει σε επίπεδα που δεν συνδράμουν την οδήγηση. Από την άποψη της ασφάλειας του οδηγού η τιμή της έντασης  $i = 100\text{mm/h}$  αποτελεί το άνω αποδεκτό όριο μελέτης. Ο έλεγχος της αποχέτευσης του οδοστρώματος για εντάσεις μεγαλύτερες από  $100\text{mm/h}$  έχει αμελητέα αξία από την άποψη της ασφάλειας του οδηγού. Κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων με  $i > 100\text{mm/h}$  οι οδηγοί απομακρύνονται από τις λωρίδες κυκλοφορίας ενώ εκείνοι οι οδηγοί που παραμένουν, αναγκαστικά περιορίζονται σε πολύ χαμηλές ταχύτητες. (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, 2002)

### Βάθος της υφής του οδοστρώματος ( $BY$ )

Η Ολισθηρότητα ενός οδοστρώματος είναι μια ιδιότητα που εξαρτάται από δύο παραμέτρους, την μακροϋφή και την μικροϋφή. Ο ρόλος του αδρανούς είναι πρωταρχικός στην δημιουργία «μικροτραχύτητας» και «μακροτραχύτητας» στην επιφανειακή στρώση.



Σχήμα 3-2: Γραφική αναπαράσταση της μικροϋφής και μακροϋφής (Κοσμέτου, 2014)

Η **μικροϋφή** είναι η παράμετρος που προσδιορίζεται από την αδρότητα της επιφάνειας των αδρανών υλικών του ασφαλτοτάπητα, από την οποία εξαρτάται η επαφή **ελαστικού-αδρανούς**. Η μικροϋφή εξαρτάται από την προέλευση και την πετρογραφική σύσταση των αδρανών. Καθοριστικό ρόλο στον ποιοτικό προσδιορισμό της μικροϋφής παίζει η αντίσταση στη λείανση υπό τη δράση των φορτίων της κυκλοφορίας, η διατήρηση, δηλαδή, της μικροϋφής για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η **μακροϋφή** από την οποία εξαρτάται η επαφή **ελαστικού-οδοστρώματος** είναι η παράμετρος που περιγράφει το ανάγλυφο της επιφάνειας κυκλοφορίας και συναρτάται με την σύσταση του τάπητα και ιδιαίτερα με την κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών. Η μακροϋφή χαρακτηρίζει την τραχύτητα της επιφάνειας κυκλοφορίας και υφίσταται και αυτή φθορά λόγω της δράσης των φορτίων.

Το ελάχιστο μέσο βάθος υφής (μακροϋφή) του οδοστρώματος φαίνεται στον Πίνακα 3.1 και εξαρτάται από το ονομαστικό μέγεθος των αδρανών και τον τύπο του οδοστρώματος. Όπου **Τύπος 1** οδόστρωμα συνεχούς διαβάθμισης και ημιτραχείας υφής και όπου **Τύπος 2** ασυνεχούς διαβάθμισης και τραχείας υφής. Γενικώς, τιμές της μακροϋφής τουλάχιστον 60% των τιμών του πίνακα θεωρούνται ικανοποιητικές για οδοστρώματα που έχουν κυκλοφορηθεί. Μικρότερες τιμές αποτελούν ένδειξη για την λήψη βελτιωτικών μέτρων.

(Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών & Δικτύων, 2013)

Ονομαστικό μέγεθος αδρανών	Τύπος 1		Τύπος 2	
	12,5 mm	9,5 mm	12,5 mm	9,5 mm
Ελάχιστο βάθος επιφανειακής υφής	0,7 mm	0,6 mm	1,0 mm	0,9 mm

Πίνακας 3.1: Ελάχιστο Βάθος Επιφανειακής Υφής (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών & Δικτύων, 2013)

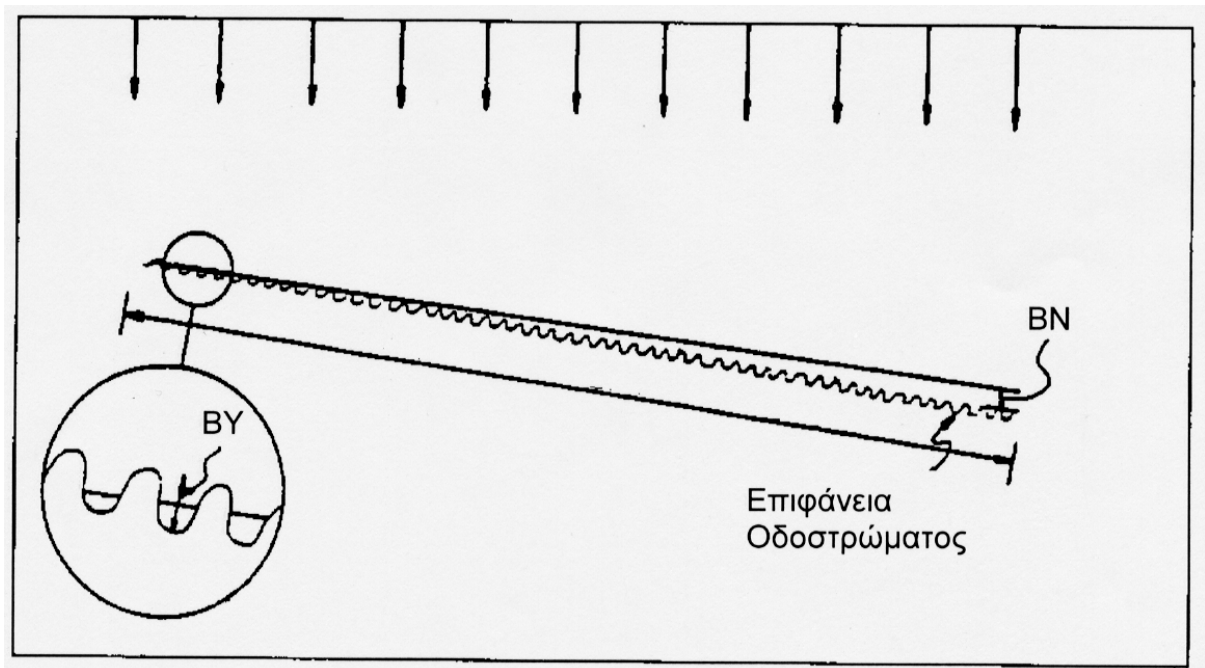
### 3.2 Εξίσωση Υπολογισμού του Πάχους Υδατικής Στρώσης

Η εξίσωση που υπολογίζει το βάθος νερού όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-3 είναι εμπειρική, αναπτύχθηκε από τον GALLAWAY (Highway Drainage Guidelines AASHTO, 1999) και βρίσκεται στις ΟΜΟΕ, στο τεύχος 8 (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, 2002), στο SI είναι:

$$BN = 0,01485 (BY^{0,11} L_f^{0,43} i^{0,59} S_f^{-0,42}) - BY \quad (3.3)$$

Όπου:

- $BN$  [mm] : το βάθος νερού πάνω από την ανώτατη επιφάνεια του οδοστρώματος (δεν περιλαμβάνεται το βάθος της υφής)
- $L_f$  [m] : μήκος ροής
- $BY$  [mm] : το μέσο βάθος της υφής
- $i$  [mm/h] : ένταση βροχόπτωσης
- $S_f$  [m/m] : συνισταμένη κλίση της διαδρομής ροής



Σχήμα 3-3: Σχηματισμός πάχους νερού στην επιφάνεια οδοστρώματος  
BY : Βάθος Υφής οδοστρώματος, BN : Βάθος Νερού (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, 2002)



### 3.3 Παράμετροι για το Αποδεκτό Πάχος Υδατικής Στρώσης

Διεθνώς από πειραματικά δεδομένα έχει συμφωνηθεί ένα πεδίο τιμών του βάθους νερού που χρειάζεται για να παραχθεί το «σπινάρισμα» του τροχού οχήματος με απώλεια της επαφής του ελαστικού με το οδόστρωμα. Αυτό το κατά προσέγγιση επικίνδυνο βάθος είναι της τάξης των 1,5 έως 5mm.

Με βάση την εξίσωση (3.3) ανάλογα με τις συνθήκες της επιφάνειας του οδοστρώματος και της έντασης βροχόπτωσης, όταν εμφανίζονται μεγαλύτερα βάθη νερού, πρέπει να λαμβάνονται μέτρα πρόληψης για την αποφυγή της υδρολίσθησης ή/και μείωσης της σοβαρότητας των συνεπειών από τις αναμενόμενες εκτροπές οχημάτων.

Κάποιοι από τους παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την υδρολίσθηση είναι το βάθος πέλματος ελαστικών, η πίεση των ελαστικών και η ταχύτητα των οχημάτων.

Η κατά 1% αύξηση της αδρότητας του οδοστρώματος αυξάνει το αποδεκτό μέγιστο βάθος νερού, όπου δεν αναμένεται υδρολίσθηση, κατά 1,6%. Η κατά 1% αύξηση του βάθους του πέλματος των ελαστικών αυξάνει το μέγιστο αποδεκτό βάθος νερού, όπου δεν αναμένεται υδρολίσθηση, κατά 0,8%. Η κατά 1% αύξηση της πίεσης των ελαστικών αυξάνει το αποδεκτό μέγιστο βάθος, όπου δεν αναμένεται υδρολίσθηση, κατά 2,4%.

Σε συνθήκες μέσης κατάστασης επιφάνειας κυκλοφορίας και ελαστικών οχήματος, η ταχύτητα  $V=90\text{km/h}$  είναι εκείνη που ενδιαφέρει πρακτικά τον έλεγχο για υδρολίσθηση. Για μικρότερες ταχύτητες, η κατά 1% μείωση της ταχύτητας, αυξάνει το αποδεκτό μέγιστο βάθος νερού, όπου δεν αναμένεται υδρολίσθηση, κατά 25%. Σε μικρότερες ταχύτητες, η έντονη βροχόπτωση από μόνη της γενικά δεν επαρκεί για να δημιουργηθεί αιτία υδρολίσθησης. Για ταχύτητες μεγαλύτερες από 90km/h, η κατά 1% αύξηση της ταχύτητας μειώνει το αποδεκτό μέγιστο βάθος, όπου δεν αναμένεται υδρολίσθηση, κατά 25%. Αυτό σημαίνει ότι για ταχύτητες μεγαλύτερες από 90km/h η υδρολίσθηση μπορεί να συμβεί σε εξαιρετικά λεπτές μεμβράνες νερού σε συνδυασμό με πολύ ασθενείς βροχοπτώσεις της τάξης των 25mm/h και λιγότερο.

Οι προαναφερόμενες σχέσεις μεταβολής των παραμέτρων που επηρεάζουν την ανάπτυξη του κρίσιμου βάθους υδρολίσθησης συνοψίζονται στον επόμενο Πίνακα 3.2.

(ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, 2002)

Μεταβάλλοντας τους παράγοντες, αυξάνεται το μέγιστο αποδεκτό ύψος όπου δεν αναμένεται υδρολίσθηση.

	Παράμετρος		Βάθος νερού υδρολίσθησης
	Ιδιότητα	Μεταβολή μεγέθους	Μεταβολή μεγέθους
1	Αδρότητα οδοστρώματος	<b>+1%</b>	<b>+1,6%</b>
2	Βάθος πέλματος ελαστικού	<b>+1%</b>	<b>+0,8%</b>
3	Πίεση ελαστικών	<b>+1%</b>	<b>+2,4%</b>
4	Ταχύτητα <90km/h	<b>-1%</b>	<b>+25,0%</b>
5	Ταχύτητα >90km/h	<b>+1%</b>	<b>-25,0%</b>

Πίνακας 3.2 : Σχέση χαρακτηριστικών παραμέτρων - Βάθους νερού (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, 2002)

## 4 Εφαρμογές Μοντέλων Δρόμου

Στο τμήμα των οδών όπου γίνεται η μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%, εάν δεν είναι κατάλληλος ο συνδυασμός της οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης, σε αυτή την περιοχή του οδοστρώματος εμφανίζονται μικρές συνισταμένες κλίσεις, επομένως δημιουργούνται προβληματικές περιοχές από πλευράς απορροής των ομβρίων. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η περίπτωση δεξιάς στροφής, μελετήθηκε το τμήμα της οδού όπου γίνεται η συναρμογή της ευθυγραμμίας με το κυκλικό τόξο. Οι υπολογισμοί έγιναν στο αριστερό οδόστρωμα αφού σε αυτό μηδενίζεται η επίκλιση και δημιουργούνται κρίσιμες περιοχές. Πραγματοποιήθηκαν εφαρμογές λοξής κορυφογραμμής στο αριστερό εύρος οδοστρώματος, σε αυτό το τμήμα της οδού όπου γίνεται η μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι μικρές συνισταμένες κλίσεις. Η οριζόντια καμπυλότητα αυτού του τμήματος συναρμογής θεωρήθηκε αμελητέα στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, για τον υπολογισμό του βάθους νερού που σχηματίζεται στο οδόστρωμα κατά την διάρκεια μιας βροχόπτωσης. Για τον σχεδιασμό μοντέλων δρόμου έγινε χρήση του προγράμματος Anadelta Tessera.

### 4.1 Χαρακτηριστικά των Τυπικών Διατομών

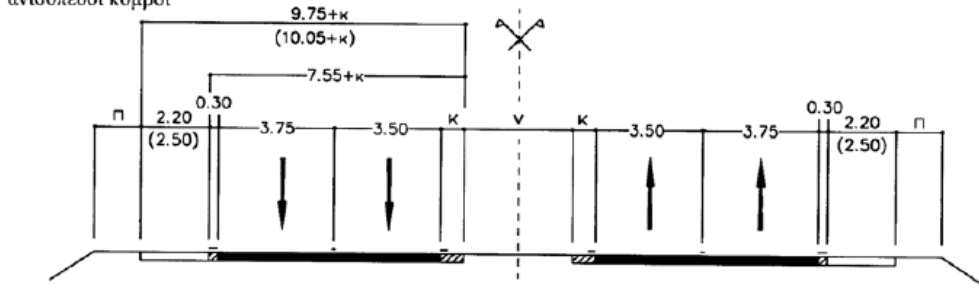
Για τις οδούς επιλέχθηκε κατηγορία οδού ΑΙ, Αυτοκινητόδρομος,  $V_{επιτρ.} \leq 120 \text{ km/h}$  και τυπική διατομή “α4νσ” (Σχήμα 4-1) στα πρότυπα του Ε65 με τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Συνολικό πλάτος διατομής 23,30m
- 2 λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση συνολικού πλάτους 14,50m [2x(3,50+3,75)]
- Λωρίδα Έκτακτης Ανάγκης (Λ.Ε.Α.) πλάτους 2,5 (2,25 + 0,25)m ανά κατεύθυνση, 0,25m είναι η εξωτερική λωρίδα καθοδήγησης
- Κεντρική νησίδα συνολικού πλάτους 3,80m
- Πλάτος κεντρικής νησίδας New Jersey ( $\nu$ ) 1,90m
- Πλάτος εσωτερικής λωρίδας καθοδήγησης ( $\kappa$ ) 0,95m
- Πλάτος ερείσματος 1,5m με κλίση 12%

- Πρανές με κλίση 2:3

## α 4 νσ

Κατηγορία οδού ΑΙ  
 $V_{\max} \leq 120 \text{ km/h}$   
 ανισόπεδοι κόμβοι



Σχήμα 4-1: Τυπική διατομή “α4νσ” (ΟΜΟΕ-Δ, 2001)

## 4.2 Περιπτώσεις εφαρμογών Μοντέλων Δρόμων

Για τα μοντέλα των δρόμων εφαρμόστηκε μεταβολή της επίκλισης στην αριστερή επιφάνεια κυκλοφορίας από -2,5% σε 2,5%. Επιλέχτηκε η ελαχίστη πρόσθετη κλίση των οριογραμμών, που σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1 είναι:

$$\Delta s_{min} = 0,1 * a = 0,82\% \quad (4.1)$$

Όπου:

$a$  [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).

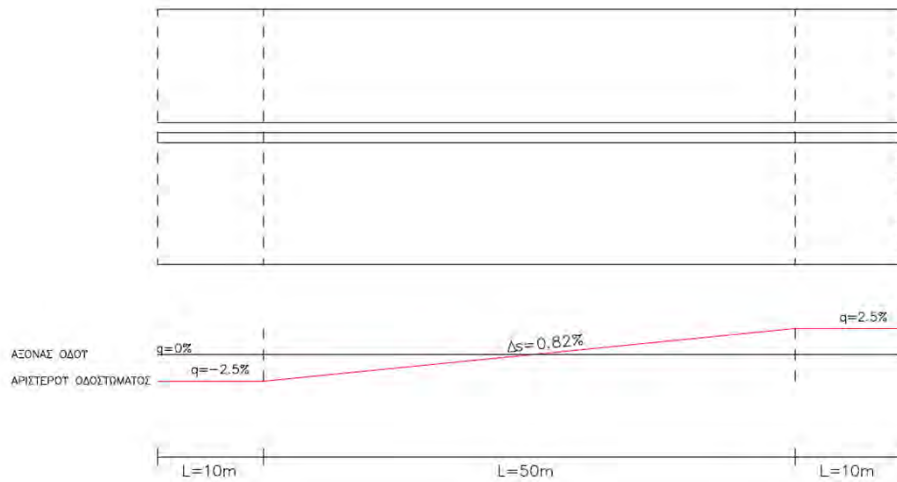
Το μήκος μεταβολής της επίκλισης που προκύπτει, αφού επιλέχτηκε η ελαχίστη πρόσθετη κλίση των οριογραμμών, είναι:

$$Lv = \frac{q_T - q_a}{\Delta s_{min}} \cdot a = 50m \quad (4.2)$$

### Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%

Η περίπτωση κλασικής περιστροφής του οδοστρώματος με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% φαίνεται στο Σχήμα 4-2. Για τα τελευταία 10m η επίκλιση θεωρήθηκε σταθερή στο 2,5%, για λόγους διευκόλυνσης των υπολογισμών του βάθους νερού, καθώς για επικλίσεις μεγαλύτερες από 2,5% είναι γνωστό ότι δεν υπάρχει πρόβλημα ως προς την

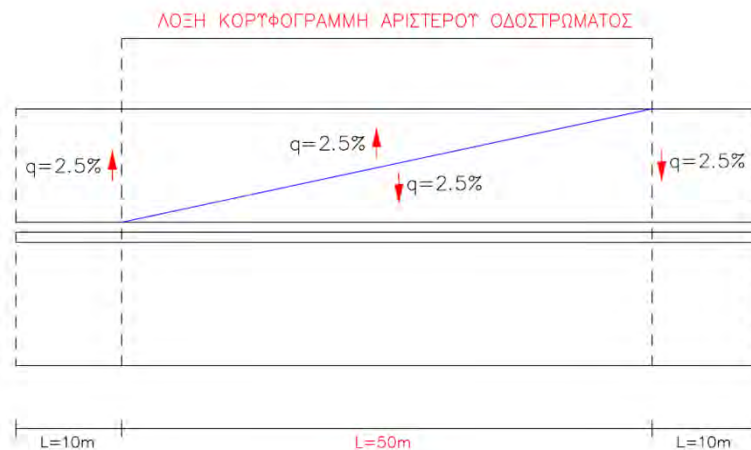
απορροή των ομβρίων υδάτων από το οδόστρωμα. Το συνολικό μήκος του τμήματος της οδού είναι 70m.



Σχήμα 4-2: Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος

### Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%

Για την περίπτωση λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%, η λοξή κορυφογραμμή εφαρμόζεται στην περιοχή όπου γίνεται η μεταβολή της επίκλισης, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 4-3.

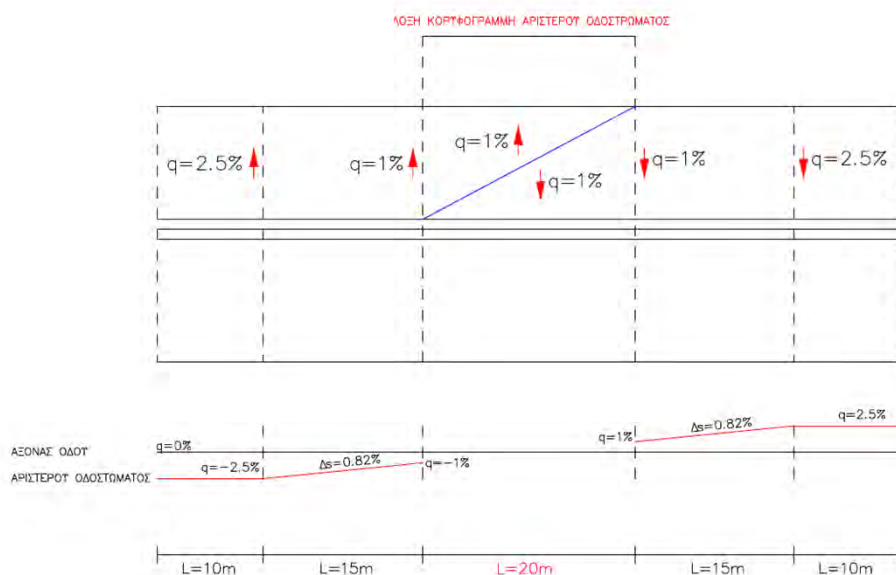


Σχήμα 4-3: Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%

Στην παρούσα εργασία εκτός από αυτούς τους τρόπους περιστροφής του οδοστρώματος διερευνήθηκε και η περιστροφή με λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%.

### Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%

Το μήκος μεταβολής της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% είναι 50m. Στο τμήμα της οδού όπου η επίκλιση μεταβάλλεται από -1% έως 1% εφαρμόστηκε λοξή κορυφογραμμή στο οδοστρώμα, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-4.



Σχήμα 4-4: Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%

Έπειτα και για τις τρεις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν έγινε ενδεικτικός σχεδιασμός των γραμμών ροής, για τις περιπτώσεις σταθερής αρνητικής και θετικής κατά μήκος κλίσης 0,5%, σταθερής αρνητικής κατά μήκος κλίσης 1% και σταθερής μηδενικής κατά μήκος κλίσης.

### 4.3 Γραμμές Ροής στα μοντέλα των δρόμων

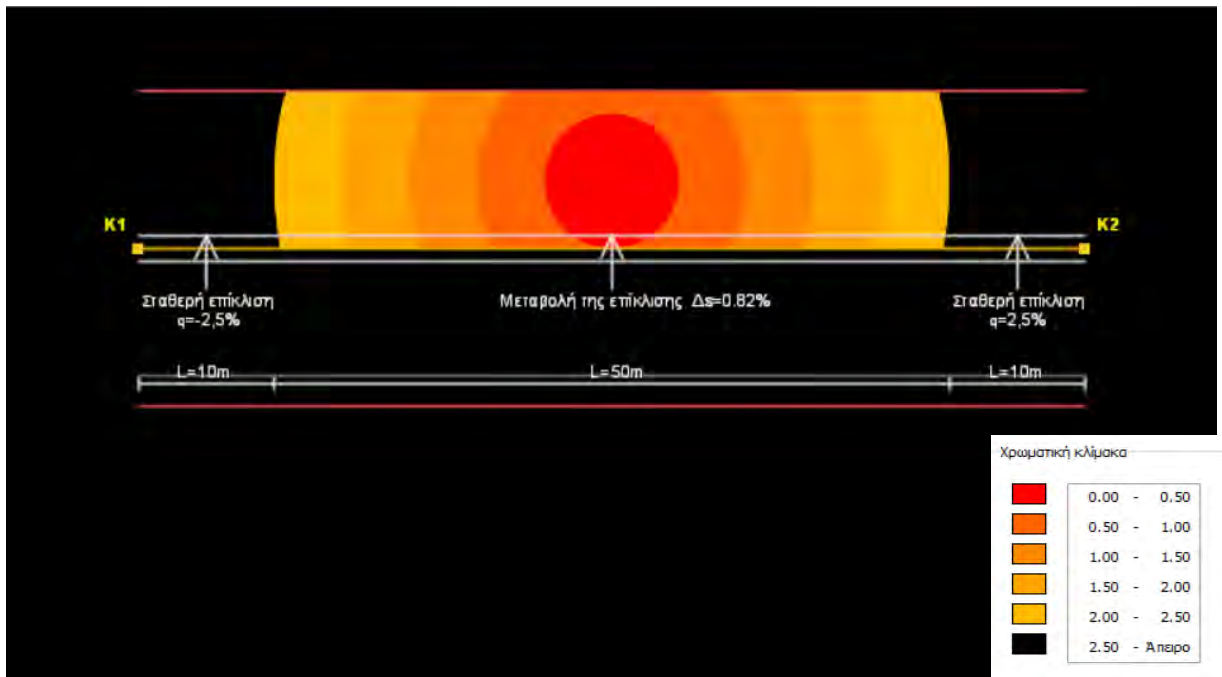
Για τις περιπτώσεις όπου γίνεται η κλασική περιστροφή του οδοστρώματος, με την βοήθεια του προγράμματος Anadelta Tessera πραγματοποιείται η χρωματική απεικόνιση της συνισταμένης κλίσης σε όλη την επιφάνεια του οδοστρώματος καθώς και ο σχεδιασμός των γραμμών ροής. Ενώ για τις περιπτώσεις όπου υπάρχει λοξή κορυφογραμμή του οδοστρώματος, για να σχεδιαστούν οι γραμμές ροής, χρειάστηκε να δημιουργηθεί ένα

έδαφος-δρόμος. Έγινε προσθήκη σημείων ανά 1m στις διατομές και πύκνωση των διατομών ανά 0,5m, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα πλέγμα εδάφους, στο οποίο αποτυπώνονται οι υψομετρικές διαφορές που δημιουργούνται στο οδόστρωμα με την εφαρμογή των λοξών κορυφογραμμών. Έπειτα σε αυτό έγινε ο υπολογισμός των ισοϋψών γραμμών στην επιφάνεια του οδοστρώματος με ισοδιάσταση 1cm και κύριες ισοϋψείς ανά 5cm. Τέλος, στις περιοχές όπου εφαρμόζονται οι λοξές κορυφογραμμές, σχεδιάστηκαν χειροκίνητα κάθετα στις ισοϋψείς γραμμές, γραμμές ροής με φορά, την φορά κίνησης του νερού, από τα σημεία που έχουν υψηλότερο υδραυλικό φορτίο σε αυτά που έχουν χαμηλότερο. Δεν υπάρχει εντολή στο πρόγραμμα Anadelta Tessera όπου να σχεδιάζονται γραμμές σχεδίου κάθετα στις ισοϋψείς γραμμές. Χρειάστηκε λοιπόν να γίνει χειροκίνητα η επιλογή των σημείων των γραμμών σχεδίου, που αποτελούν τις γραμμές ροής, έτσι ώστε να είναι κατά το δυνατόν κάθετες στις ισοϋψείς γραμμές.

#### **4.3.1 Σταθερή αρνητική κατά μήκος κλίση 0,5%**

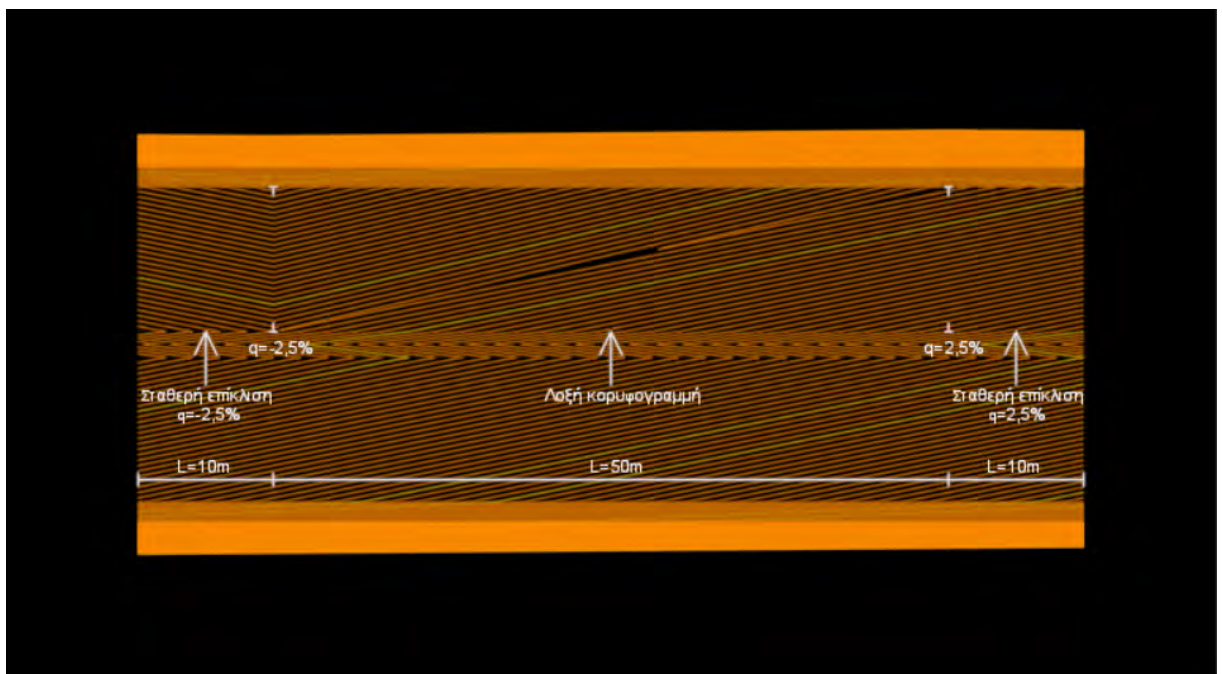
Όταν η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο, με εντολή του προγράμματος Anadelta Tessera γίνεται η χρωματική απεικόνιση της συνισταμένης κλίσης στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Για την περίπτωση της σταθερής αρνητικής κατά μήκος κλίσης 0,5% παρουσιάζεται με ομόκεντρους κύκλους, όπως φαίνονται στο Σχήμα 4-5. Έτσι γίνονται εύκολα αντιληπτές οι περιοχές που έχουν μικρές συνισταμένες κλίσεις και υπάρχει πρόβλημα απορροής των ομβρίων. Για το σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης, η οριζόντια απόσταση από το σημείο που ξεκινάει η μεταβολή της επίκλισης, είναι  $X_c=25m$ , ενώ η κατακόρυφη από τον άξονα της οδού είναι  $Y_c=5m$ . Η κυκλική περιοχή όπου οι τιμές της συνισταμένης κλίσης είναι από 0% έως 0,5% είναι μεγάλη για την περίπτωση της σταθερής αρνητικής κατά μήκος κλίσης 0,5%, διότι το σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης βρίσκεται κοντά στο μέσο του αριστερού πλάτους οδοστρώματος, καθώς η κατακόρυφη απόσταση του από τον άξονα της οδού είναι  $Y=5.825m$ .

Η μεγαλύτερη κρίσιμη περιοχή στο οδόστρωμα εμφανίζεται όταν ισχύει  $s=-\Delta s/2$ , καθώς το σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης βρίσκεται στο μέσο του αριστερού πλάτους οδοστρώματος.



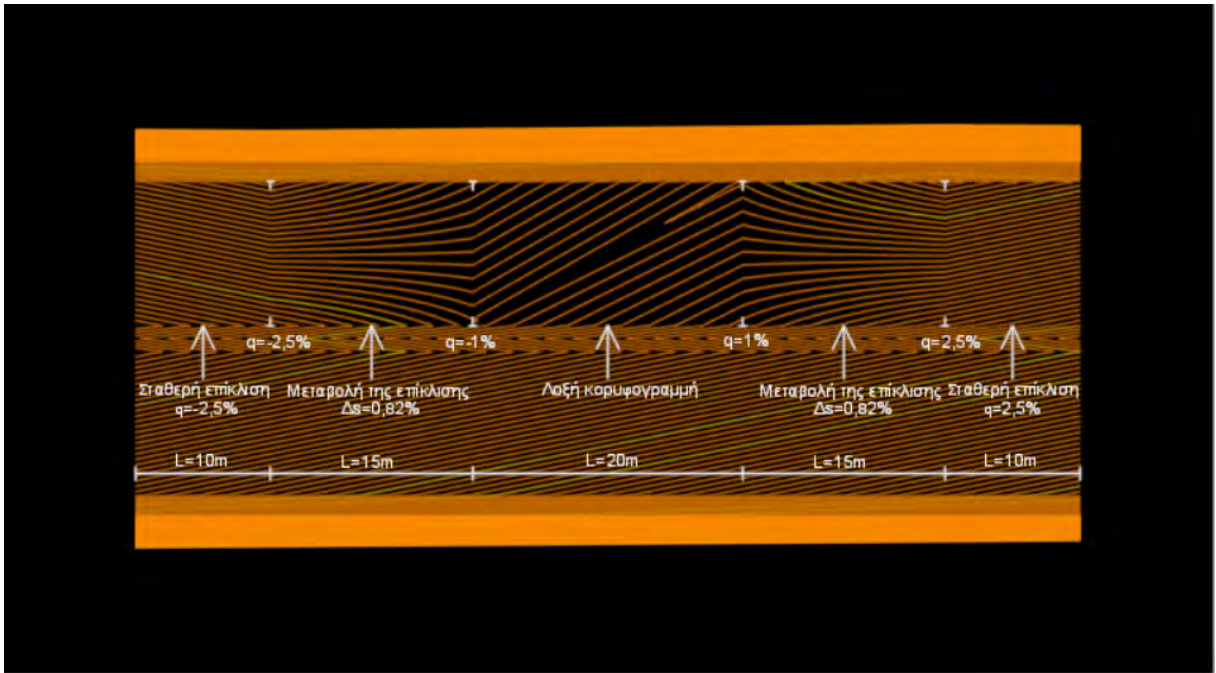
Σχήμα 4-5: Περιοχές με πρόβλημα απορροής των ομβρίων  $s=-0,5\%$

Για τις δύο περιπτώσεις λοξής κορυφογραμμής, την λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από  $-2,5\%$  σε  $2,5\%$  και αυτήν με μεταβολή της επίκλισης από  $-1\%$  σε  $1\%$ , οι ισοϋψείς γραμμές που υπολογίστηκαν φαίνονται στα Σχήματα 4-6 και 4-7.



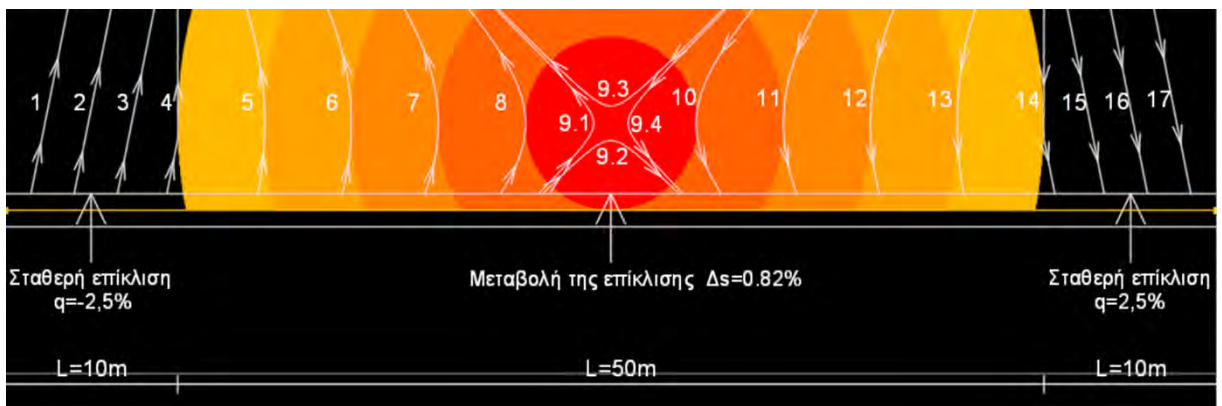
Σχήμα 4-6: Ισοϋψείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από  $-2,5\%$  σε  $2,5\%$



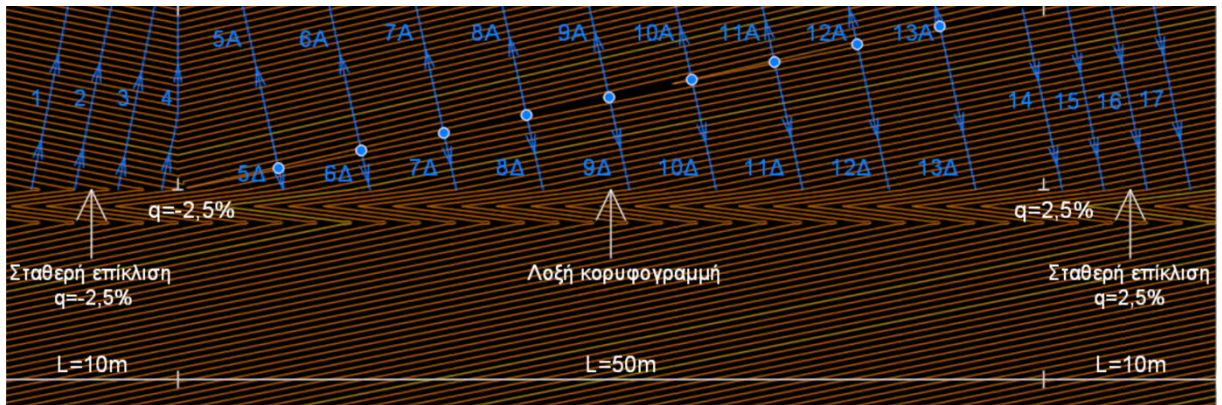


Σχήμα 4-7: Ισοϋψείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1%

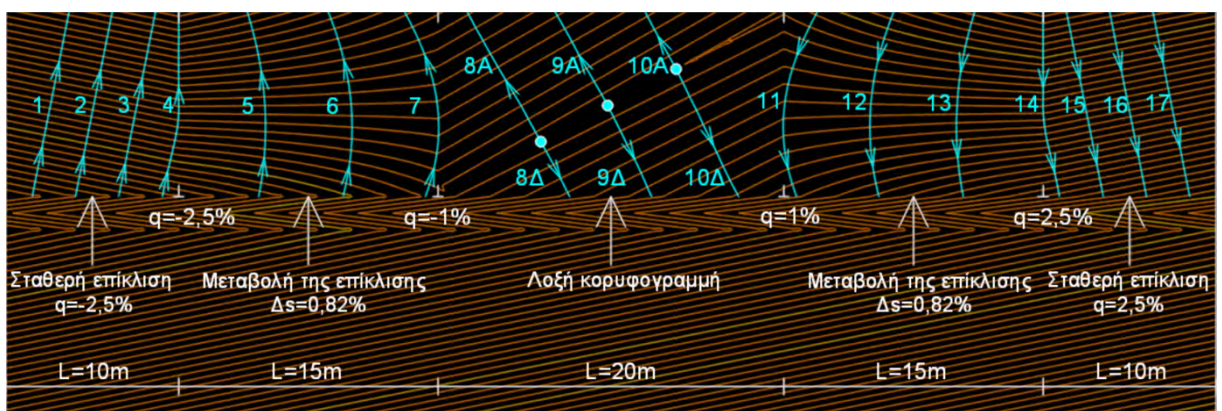
Στην περίπτωση που γίνεται η κλασική περιστροφή του οδοστρώματος, σχεδιάστηκαν με εντολή του προγράμματος ενδεικτικά κάποιες γραμμές ροής, Σχήμα 4-8. Ενώ για τις περιπτώσεις με λοξή κορυφογραμμή στο οδόστρωμα, στην περιοχή όπου εφαρμόζονται οι λοξές κορυφογραμμές, ο σχεδιασμός των γραμμών ροής έγινε χειροκίνητα. Οι γραμμές ροής στις περιπτώσεις με λοξή κορυφογραμμή στο οδόστρωμα φαίνονται στα Σχήματα 4-9 και 4-10.



Σχήμα 4-8: Γραμμές Ροής - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος



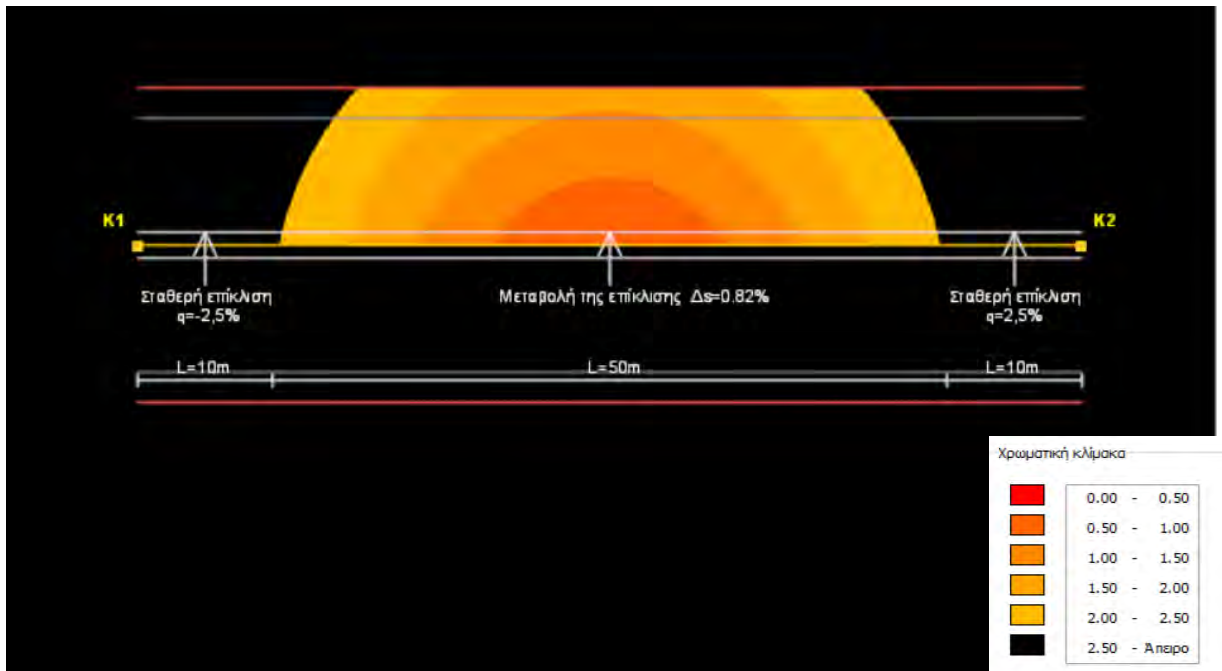
Σχήμα 4-9: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5%



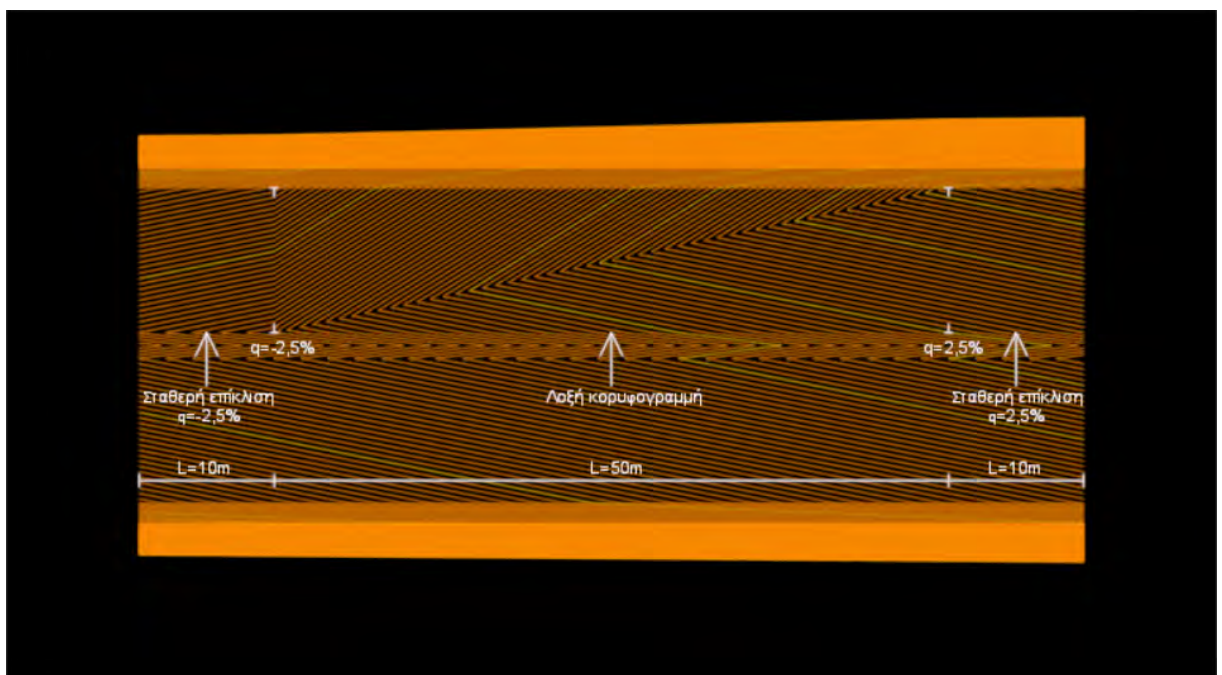
Σχήμα 4-10: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1%

#### 4.3.2 Σταθερή κατά μήκος κλίση 0,5%

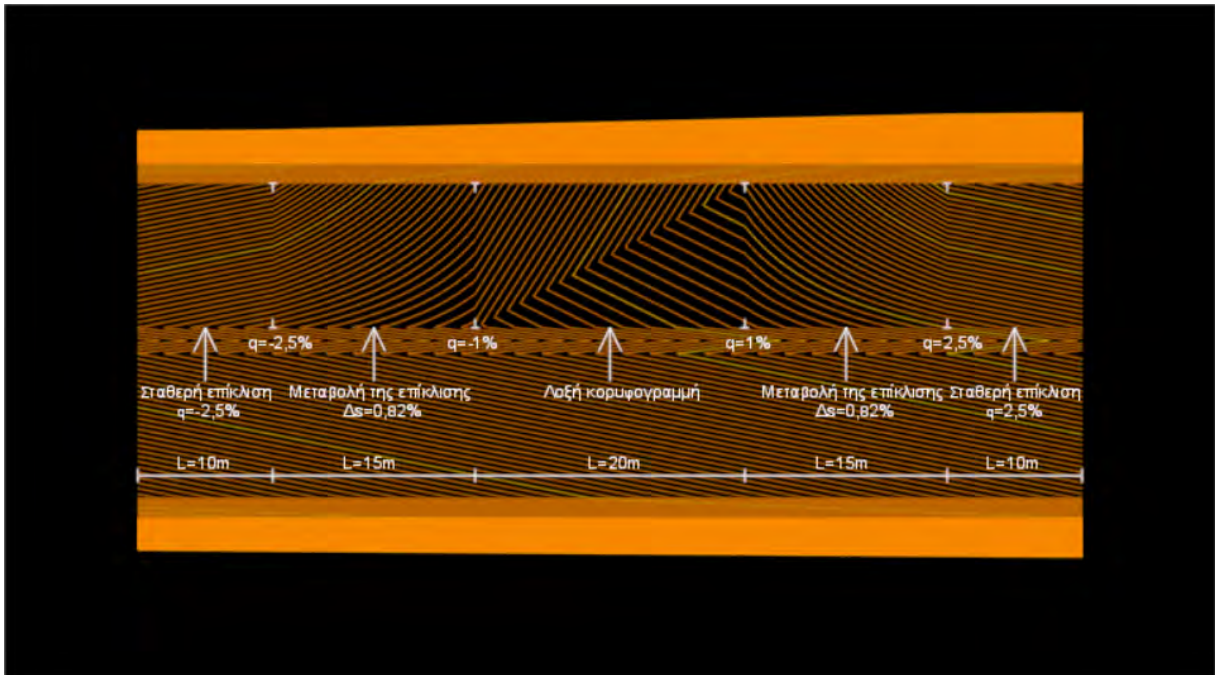
Όταν η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο, για την περίπτωση της σταθερής κατά μήκος κλίσης 0,5%, η χρωματική απεικόνιση της συνισταμένης κλίσης γίνεται με ομόκεντρους κύκλους, όπως απεικονίζονται στο Σχήμα 4-11. Για το σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης, η οριζόντια απόσταση από το σημείο που ξεκινάει η μεταβολή της επίκλισης είναι  $X_c=25m$ , ενώ η κατακόρυφη από τον άξονα της οδού είναι  $Y_c=-5m$ . Παρότι η τιμή της πρόσθετης κλίσης οριογραμμών ( $\Delta s$ ) είναι μεγαλύτερη από την τιμή της κατά μήκος κλίσης ( $S$ ), δεν φαίνεται να δημιουργούνται προβληματικές περιοχές. Για τις περιπτώσεις λοξής κορυφογραμμής υπολογίστηκαν ισοϋψείς γραμμές, οι οποίες παρουσιάζονται στα Σχήματα 4-12 και 4-13.



Σχήμα 4-11: Περιοχές με πρόβλημα απορροής των ομβρίων  $s = 0,5\%$

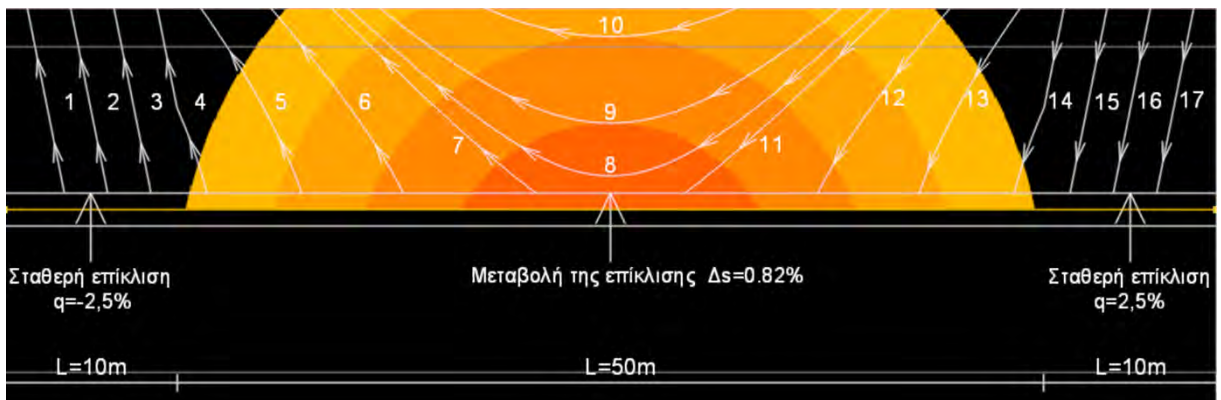


Σχήμα 4-12: Ισοϋνείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από  $-2,5\%$  σε  $2,5\%$

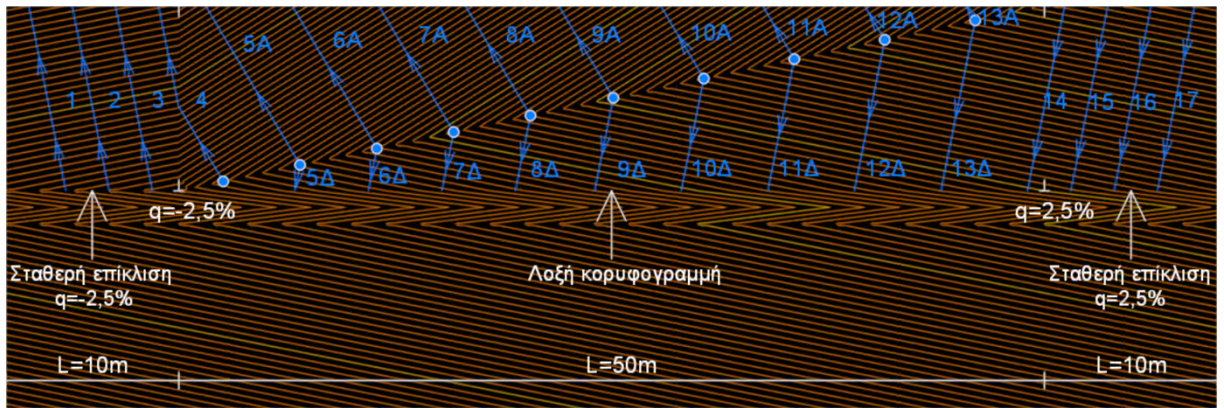


Σχήμα 4-13: Ισοϋψείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1%

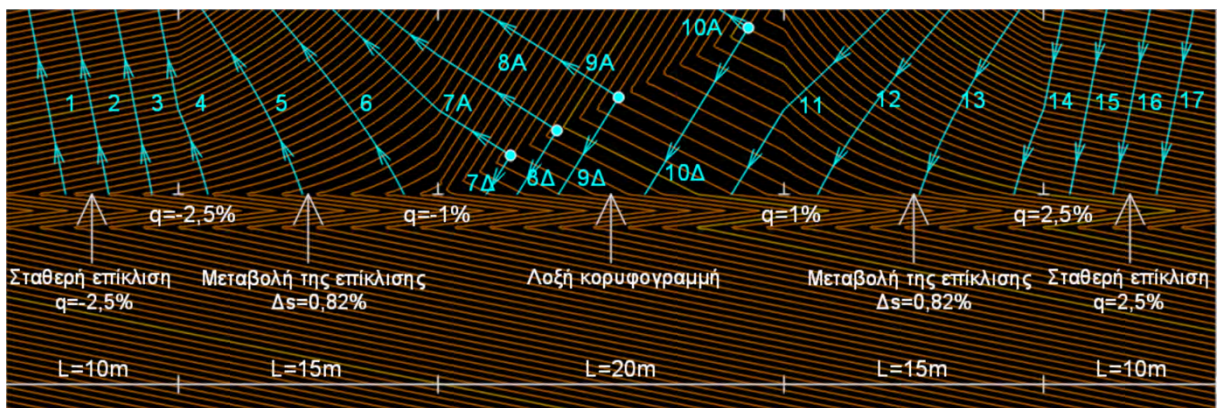
Στην περίπτωση που η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο, σχεδιάστηκαν με εντολή του προγράμματος ενδεικτικά κάποιες γραμμές ροής, Σχήμα 4-14. Ενώ για τις περιπτώσεις με λοξή κορυφογραμμή στο οδόστρωμα, στην περιοχή όπου εφαρμόζονται οι λοξές κορυφογραμμές, ο σχεδιασμός των γραμμών ροής έγινε χειροκίνητα. Οι γραμμές ροής στις περιπτώσεις με λοξή κορυφογραμμή στο οδόστρωμα φαίνονται στα Σχήματα 4-15 και 4-16.



Σχήμα 4-14: Γραμμές Ροής - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος



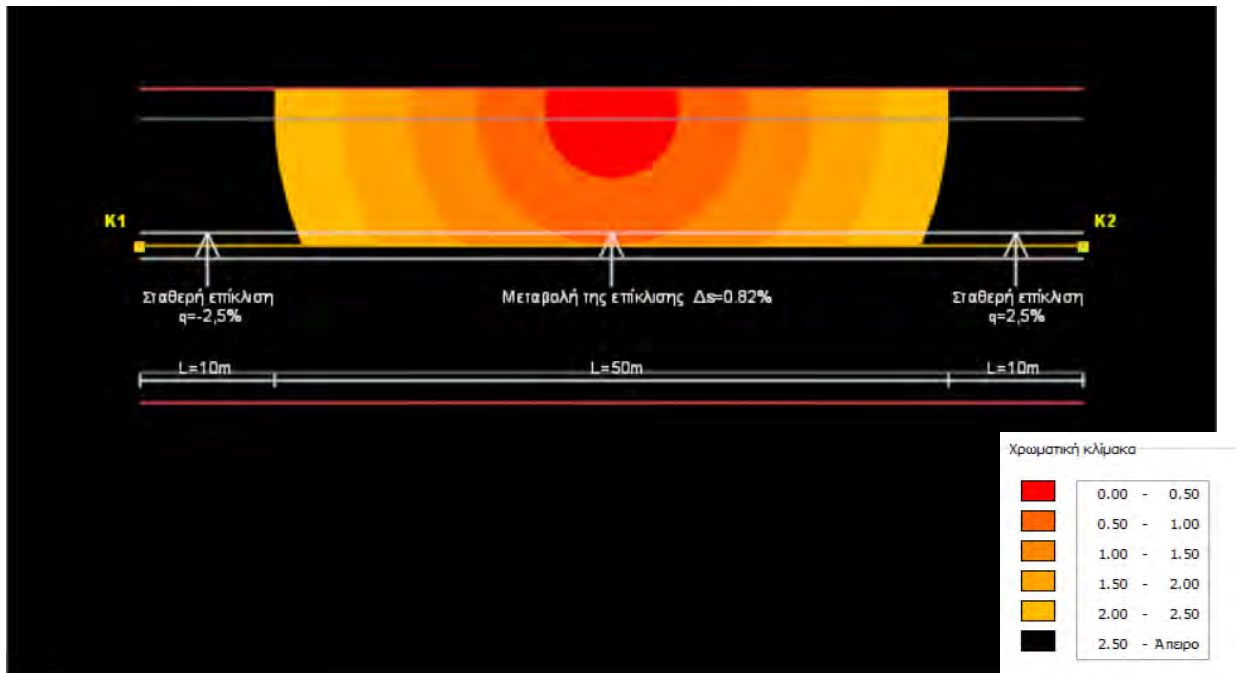
Σχήμα 4-15: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5%



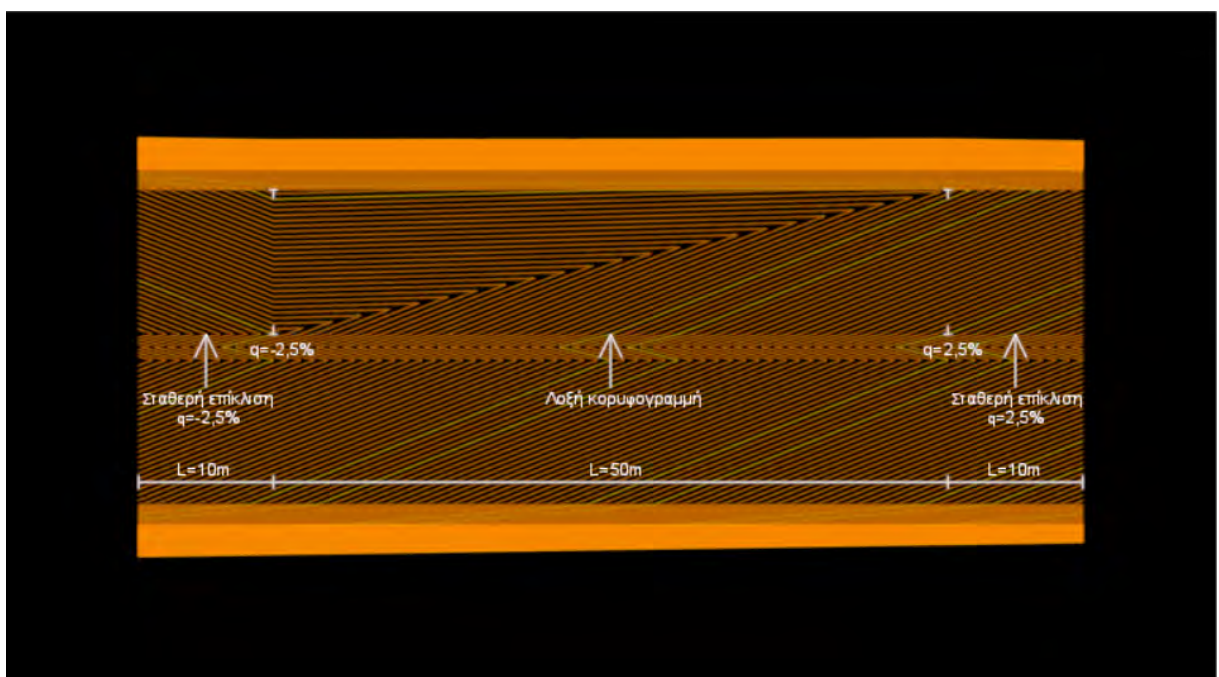
Σχήμα 4-16: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1%

#### 4.3.3 Σταθερή αρνητική κατά μήκος κλίση 1%

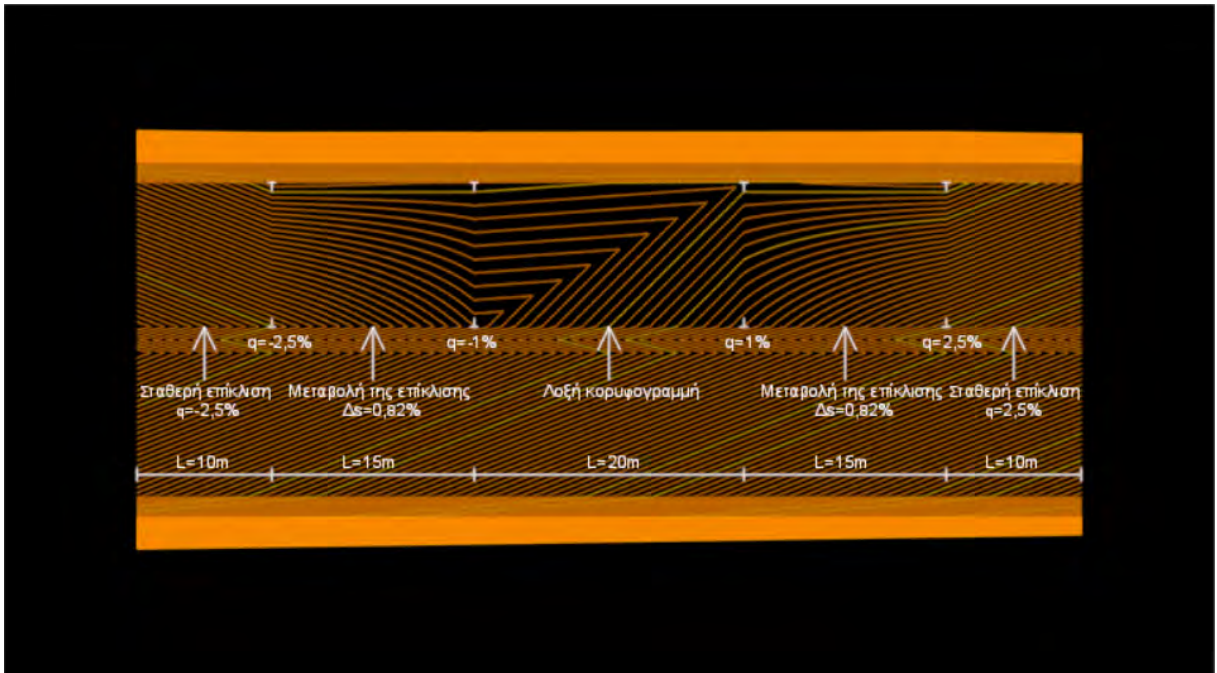
Όταν η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο, για την περίπτωση της σταθερής κατά μήκος κλίσης 1%, το σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης, που αποτελεί και το κέντρο των ομόκεντρων κύκλων που απεικονίζουν τις ζώνες για τις τιμές της συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος, βρίσκεται σε οριζόντια απόσταση  $X_c=25m$  από το σημείο που ξεκινάει η μεταβολή της επίκλισης και σε κατακόρυφη απόσταση  $Y_c=10m$  από τον άξονα της οδού. Εμφανίζονται μικρές τιμές συνισταμένης κλίσης στο οδόστρωμα, Σχήμα 4-17. Για τις περιπτώσεις λοξής κορυφογραμμής υπολογίστηκαν ισοϋψείς γραμμές στην επιφάνεια του οδοστρώματος, οι οποίες παρουσιάζονται στα Σχήματα 4-18 και 4-19. Έπειτα και για τα τρία μοντέλα έγινε ο σχεδιασμός γραμμών ροής, όπως φαίνονται στα Σχήματα 4-20, 4-21 και 4-22.



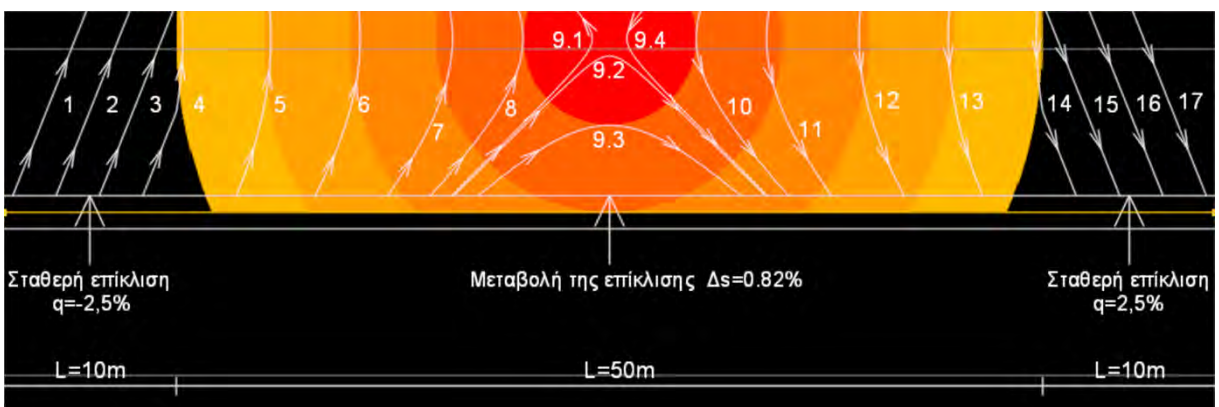
Σχήμα 4-17: Περιοχές με πρόβλημα απορροής των ομβρίων  $s=-1\%$



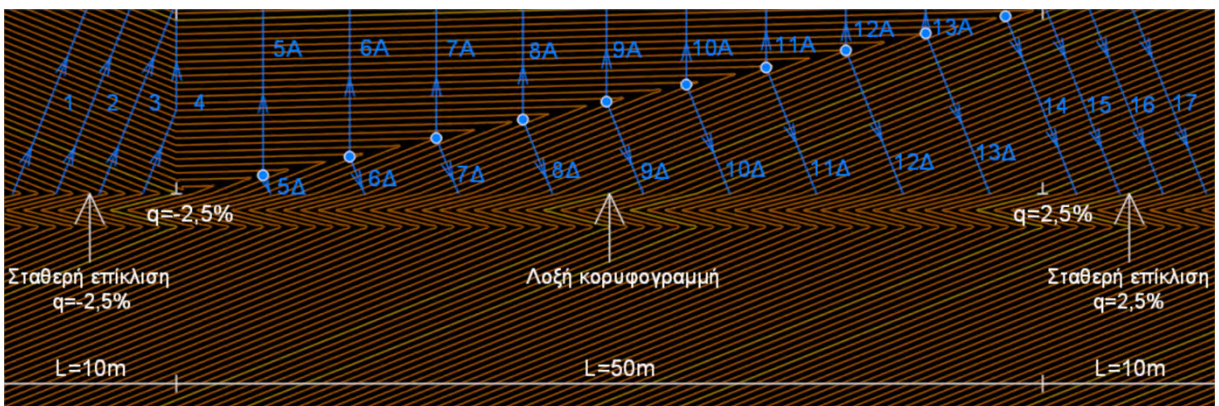
Σχήμα 4-18: Ισοϋψείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από  $-2,5\%$  σε  $2,5\%$



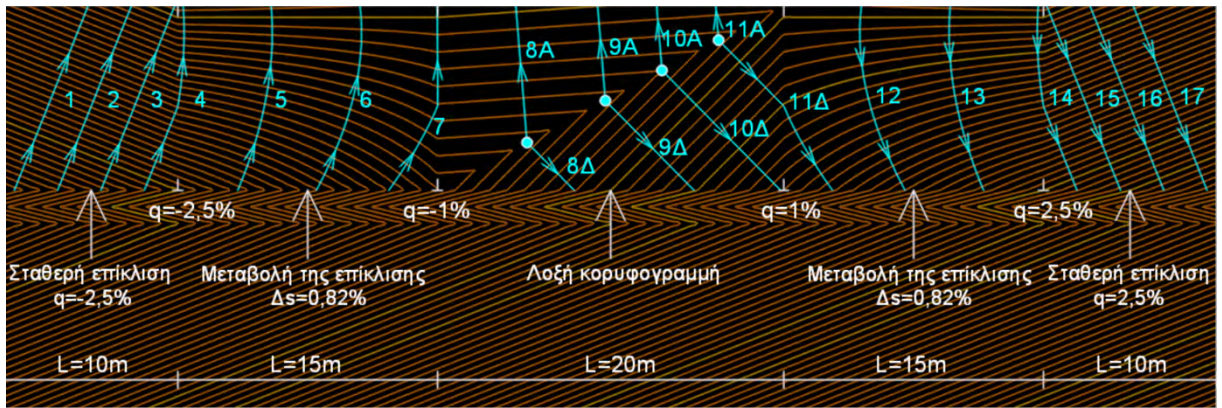
Σχήμα 4-19: Ισοϋψείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1%



Σχήμα 4-20: Γραμμές Ροής - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος



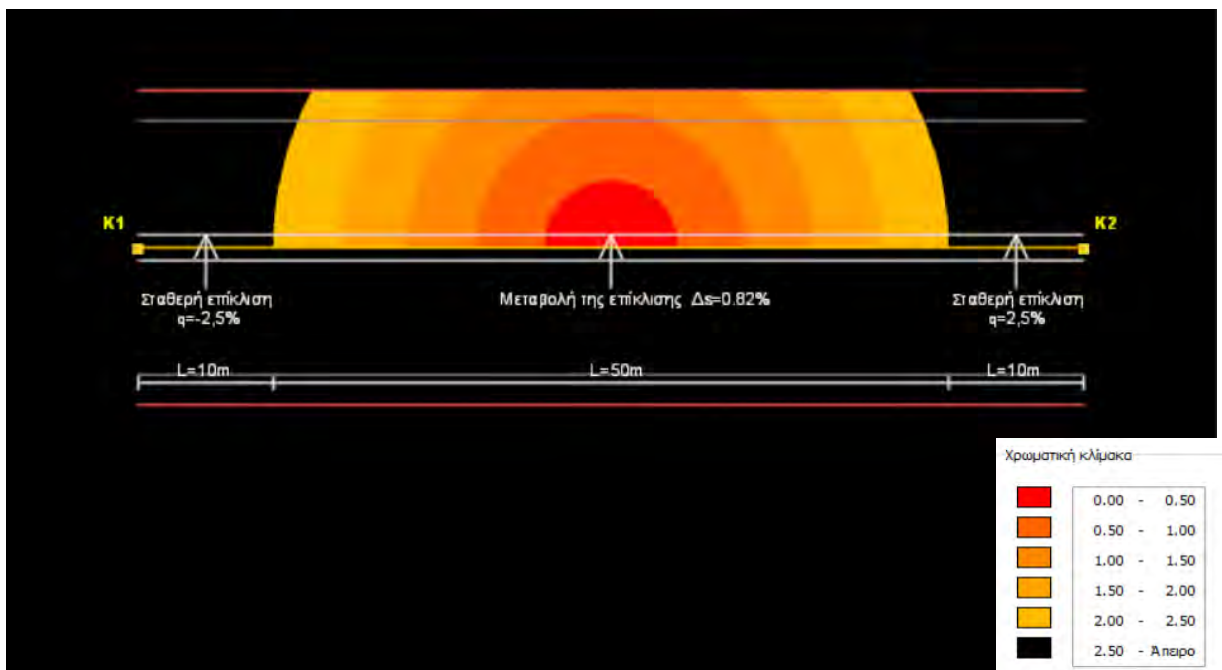
Σχήμα 4-21: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5%



Σχήμα 4-22: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1%

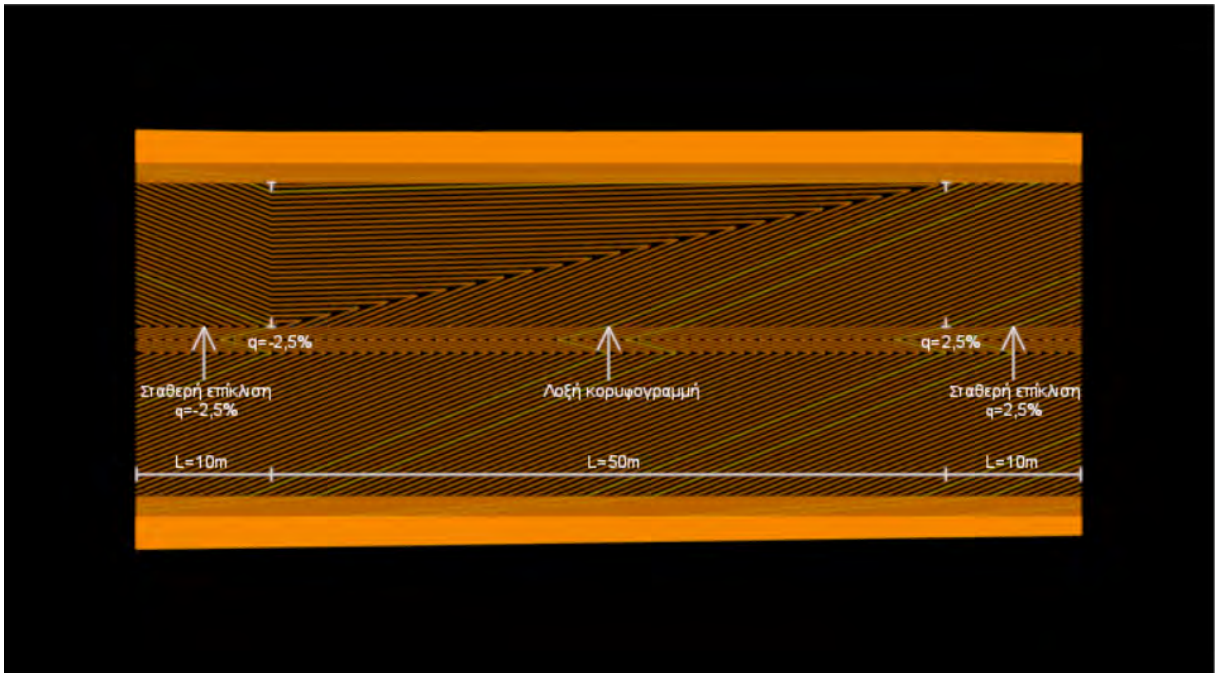
#### 4.3.4 Σταθερή κατά μήκος κλίση 0%

Για την περίπτωση όπου η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο και η κατά μήκος κλίση είναι σταθερή, με μηδενική τιμή, το σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης βρίσκεται σε οριζόντια απόσταση  $X_c=25m$  από το σημείο που ξεκινάει η μεταβολή της επίκλισης και πάνω στον άξονα της οδού  $Y_c=0m$ . Η χρωματική απεικόνιση της συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος φαίνεται στο Σχήμα 4-23. Για τις περιπτώσεις λοξής κορυφογραμμής υπολογίστηκαν ισοϋψείς γραμμές, οι οποίες απεικονίζονται στα Σχήματα 4-24 και 4-25. Στην συνέχεια και για τα τρία μοντέλα έγινε ο σχεδιασμός γραμμών ροής, όπως φαίνονται στα Σχήματα 4-26, 4-27 και 4-28.

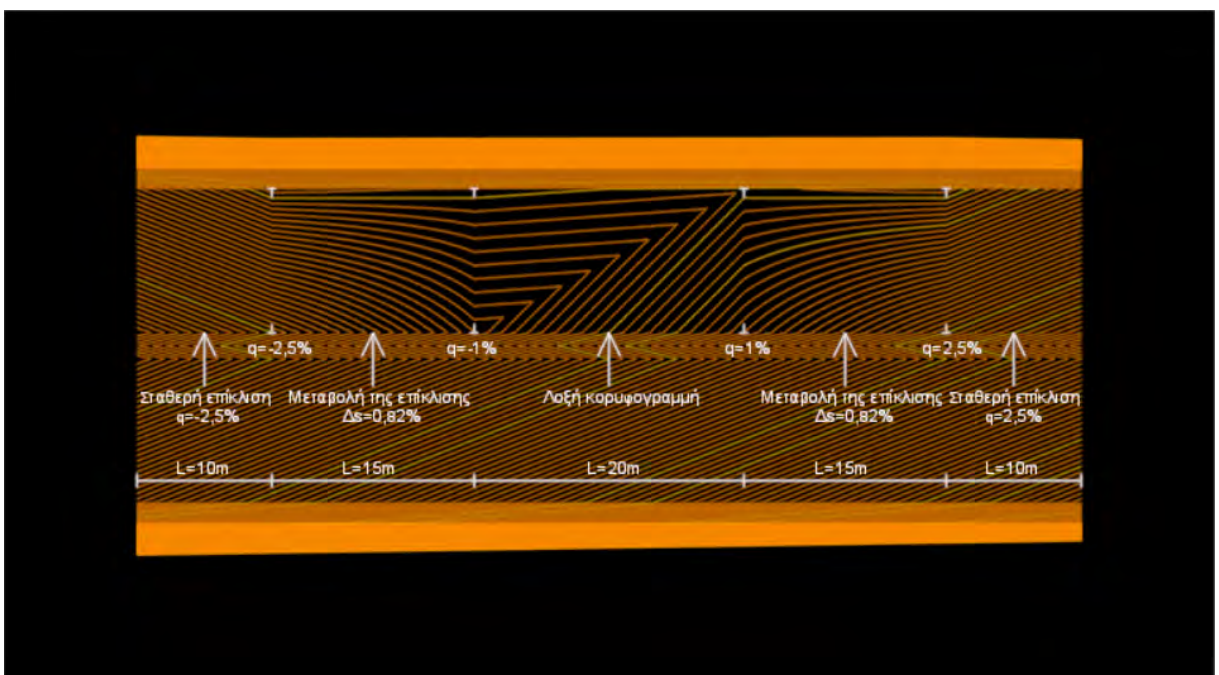


Σχήμα 4-23: Περιοχές με πρόβλημα απορροής των ομβρίων  $s=0\%$

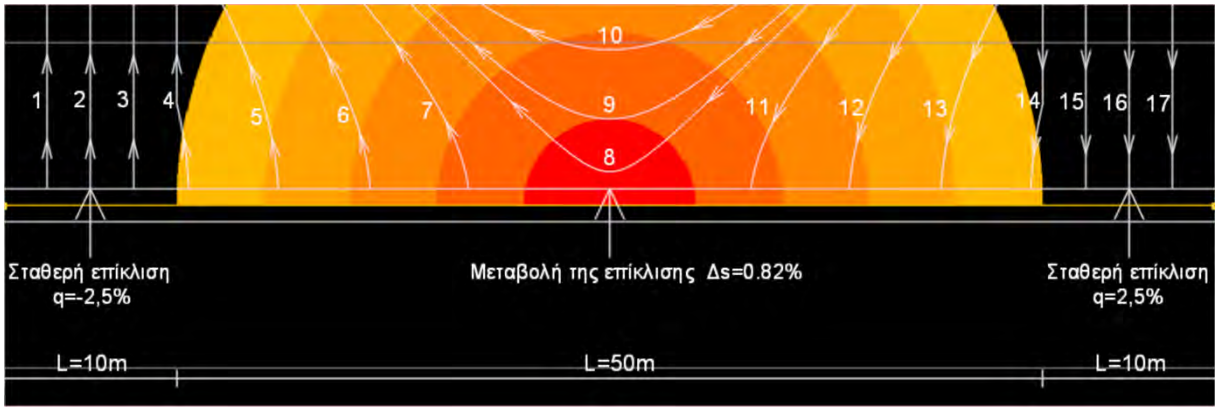




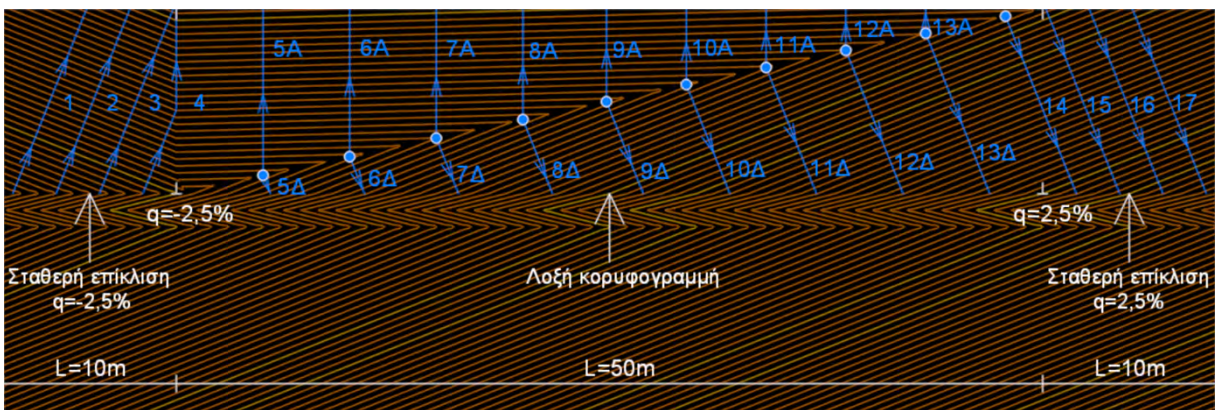
Σχήμα 4-24: Ισοϋψείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από  $-2,5\%$  σε  $2,5\%$



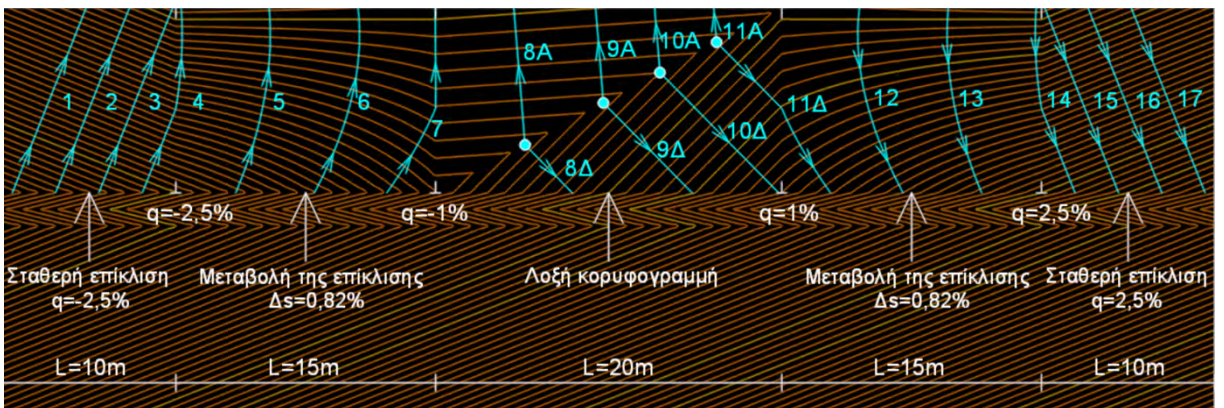
Σχήμα 4-25: Ισοϋψείς Γραμμές - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από  $-1\%$  σε  $1\%$



Σχήμα 4-26: Γραμμές Ροής - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος



Σχήμα 4-27: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5%



Σχήμα 4-28: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1%

## 5 Πάχη Νερού στα μοντέλα των δρόμων

### 5.1 Εφαρμογή του τύπου στα μοντέλα δρόμων

Για να γίνει η εφαρμογή του τύπου υπολογισμού του πάχους νερού, επειδή η εγκάρσια κλίση δεν παραμένει σταθερή, χρησιμοποιήθηκε η διερεύνηση επέκτασης του (Δαλαμπύρα & Κατσικανή, 2019).

Καταρχάς χρειάστηκε να χωριστεί το μήκος ροής ( $L_f$ ) σε διαστήματα ( $\Delta l$ ), τα οποία θεωρείται ότι έχουν σταθερή συνισταμένη κλίση, έτσι ώστε να γίνει ο υπολογισμός του πάχους νερού ανά διαστήματα. Η εκάστοτε συνιστάμενη κλίση υπολογίστηκε από το πρόγραμμα AnadeltaTessera και ο υπολογισμός των διαστημάτων ( $\Delta l$ ) πραγματοποιήθηκε από την εξίσωση (5.1), αφού πρώτα έγινε εξαγωγή των συντεταγμένων ( $X, Y$ ) κάθε σημείου των γραμμών ροής από το AnadeltaTessera.

$$\Delta l = \sqrt{(X_n - X_{n+1})^2 + (Y_n - Y_{n+1})^2} \quad (5.1)$$

Ως αρχικό μήκος ροής θεωρήθηκε το πρώτο διάστημα  $\Delta l$  που δημιουργήθηκε. Έπειτα υπολογίστηκε το ύψος του επιφανειακού νερού για το πρώτο διάστημα, χρησιμοποιώντας την εξίσωση (5.2). Ως ισοδύναμο μήκος ροής ορίζεται η οριζόντια προβολή που αντιστοιχεί στο πάχος νερού των προηγούμενων διαστημάτων, με την κατά μήκος κλίση του τρέχοντος διαστήματος. Για τον υπολογισμό του ισοδύναμου μήκους ροής γίνεται χρήση της εξίσωσης (5.3), στο ισοδύναμο μήκος προστίθενται το μήκος διαστήματος-βήματος  $\Delta l$  του τρέχοντος διαστήματος και υπολογίζεται το βάθος νερού στο τέλος αυτού από την εξίσωση (5.4). Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλο το μήκος της διαδρομής, βρίσκοντας το τελικό βάθος νερού που παραμένει στο οδόστρωμα στο τέλος της κάθε γραμμής ροής.

$$BN_1 = 0,01485(BY^{0,11}\Delta l^{0,43}i^{0,59}S_f^{-0,42}) \quad (5.2)$$

$$L_{fισοδi} = \left( \frac{BN_{i-1}}{0,01485(BY^{0,11}i^{0,59}S_f^{-0,42})} \right)^{\frac{1}{0,43}} \quad (5.3)$$

$$BN_i = 0,01485(BY^{0,11}(L_{fισοδ} + \Delta l)^{0,43}i^{0,59}S_f^{-0,42}) \quad (5.4)$$

Το βάθος υψής αφαιρείται από το τελικό βάθος νερού που υπολογίζεται στο τέλος της διαδρομής καθώς απαλείφεται από την διαδοχική πρόσθεση του βάθους νερού των προηγούμενων τμημάτων.

## 5.2 Πάχη νερού στο τέλος των Γραμμών Ροής

Για τους υπολογισμούς του πάχους νερού στην επιφάνεια κυκλοφορίας, επιλέχτηκε η κατώτερη τιμή του βάθους υψής (Πίνακας 3.1), που είναι 0,6mm και η τιμή της έντασης βροχόπτωσης να είναι 60mm/h, για όλες τις διαδρομές.

Έτσι προέκυψαν τα παρακάτω πάχη νερού στο τέλος των γραμμών ροής που σχηματίστηκαν, για την κάθε περίπτωση σταθερής κατά μήκος κλίσης.

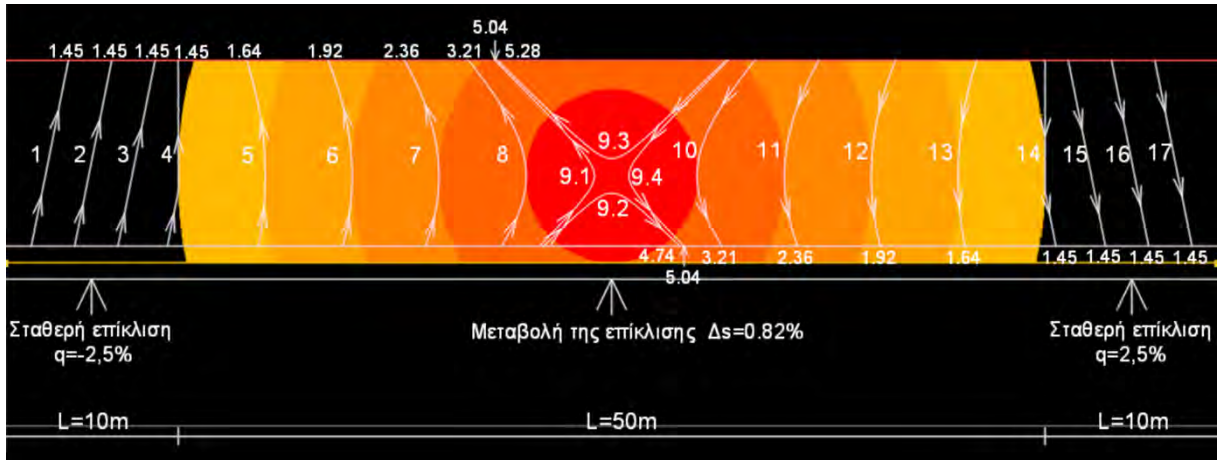
### Σταθερή αρνητική κατά μήκος κλίση 0,5%

Για την περίπτωση σταθερής αρνητικής κατά μήκος κλίσης 0,5%, όταν η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο (Σχήμα 5-1), στην περιοχή όπου η συνισταμένη κλίση του οδοστρώματος είναι από 0 έως 0,5%, οι γραμμές ροής 9.1, 9.2, 9.3 και 9.4 εμφανίζουν μεγάλα βάθη νερού 5.04, 4.74, 5.28 και 5.04mm αντίστοιχα. Οι γραμμές ροής 8 και 10, οι οποίες βρίσκονται στην ζώνη με συνισταμένη κλίση από 0,5 έως 1%, εμφανίζουν βάθος νερού 3.21mm.

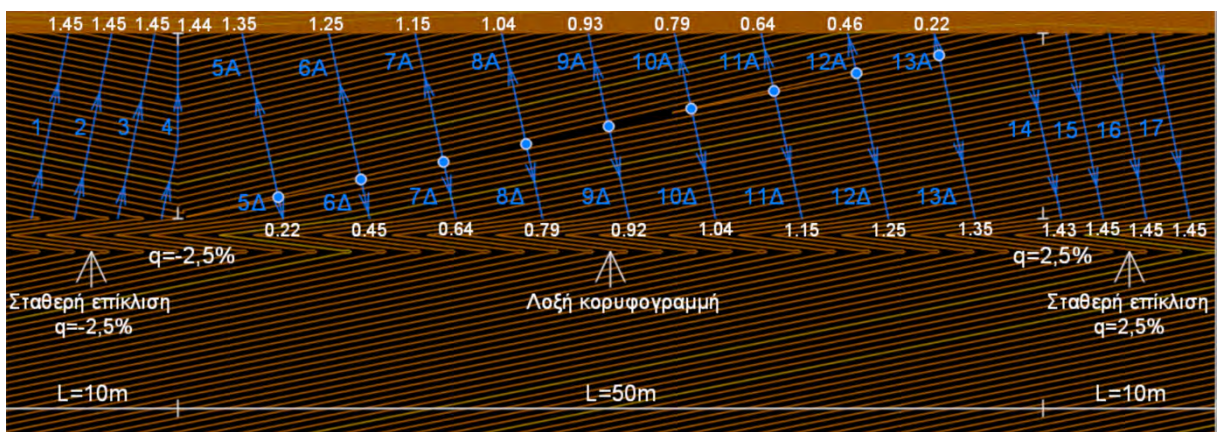
Αν εφαρμοστεί λοξή κορυφογραμμή στο οδόστρωμα με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% (Σχήμα 5-2), δεν υπάρχει πρόβλημα απορροής των ομβρίων, καθώς οι γραμμές ροής που σχηματίζονται στην περιοχή όπου γίνεται η μεταβολή της επίκλισης, γραμμές ροής 5Α έως 13Δ, έχουν μικρότερα βάθη νερού από αυτές στην περιοχή της σταθερής επίκλισης, γραμμές ροής 1 έως 4 και 14 έως 17.

Ενώ εάν εφαρμοστεί λοξή κορυφογραμμή στο οδόστρωμα με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1% (Σχήμα 5-3), οι γραμμές ροής που σχηματίζονται σε αυτήν την περιοχή

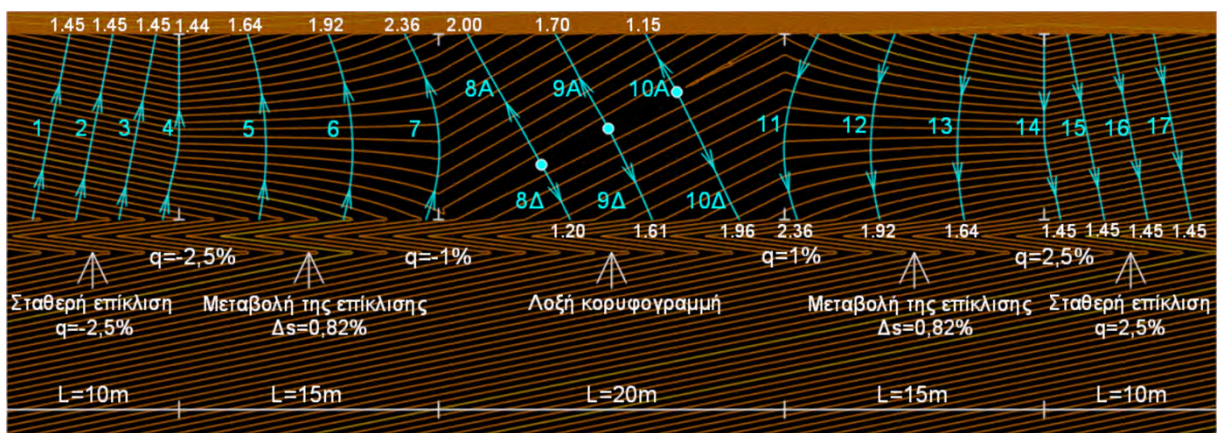
εμφανίζουν μικρότερα βάθη νερού, καθώς το μεγαλύτερο βάθος νερού που εμφανίζεται είναι 2mm, το πρόβλημα της απορροής φαίνεται να αντιμετωπίζεται.



Σχήμα 5-1: Βάθος Νερού (mm) - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος



Σχήμα 5-2: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5%



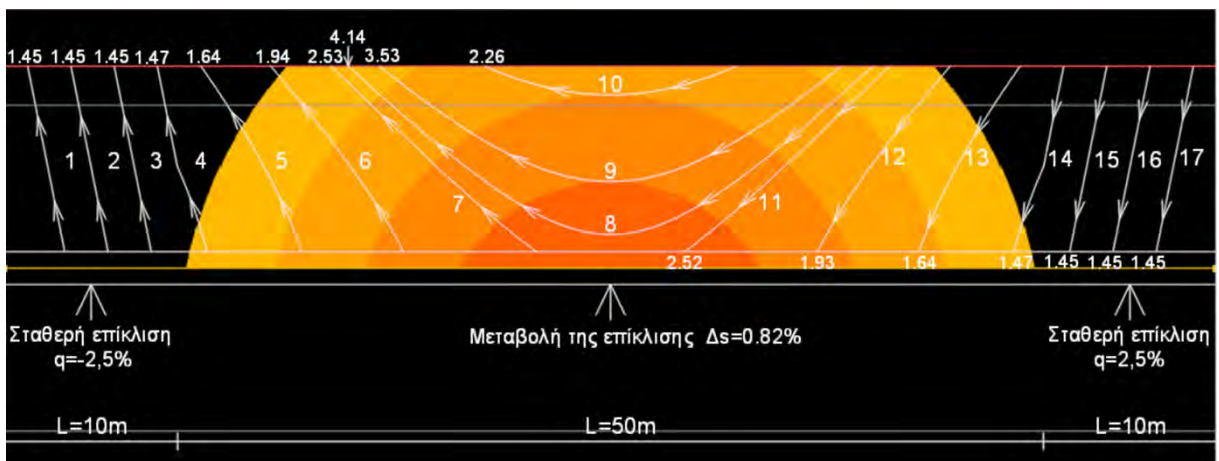
Σχήμα 5-3: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1%

### Σταθερή κατά μήκος κλίση 0,5%

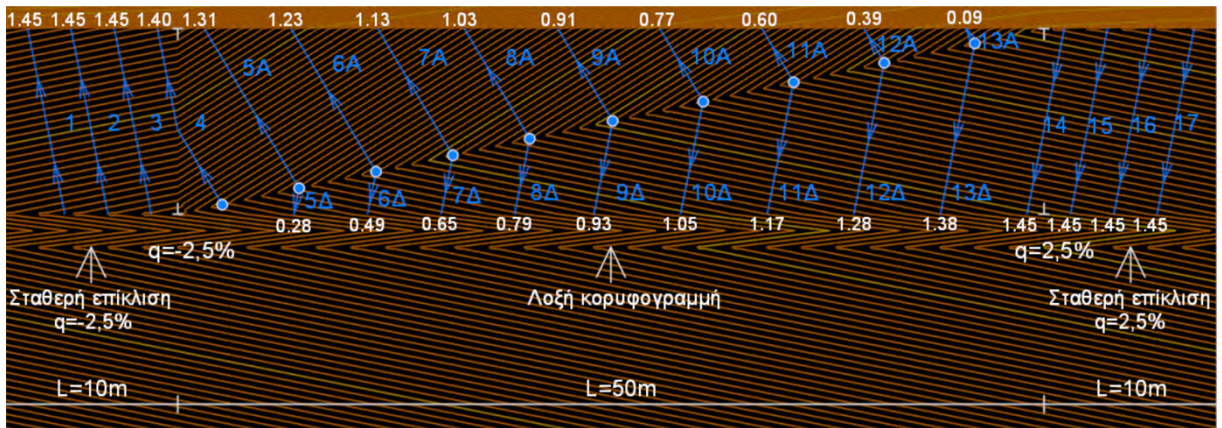
Στην περίπτωση σταθερής κατά μήκος κλίσης 0,5%, όταν η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο (Σχήμα 5-4), οι γραμμές ροής που εμφανίζουν τα μεγαλύτερα βάθη είναι οι 8, 9, 10, οι οποίες εμφανίζουν βάθη νερού 4.14, 3.53, 2.26mm αντίστοιχα και οι 7 και 11 οι οποίες εμφανίζουν βάθη νερού 2.53 και 2.52mm αντίστοιχα.

Αν εφαρμοστεί λοξή κορυφογραμμή στο οδόστρωμα με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% (Σχήμα 5-5), δεν υπάρχει πρόβλημα απορροής των ομβρίων, καθώς οι γραμμές ροής που σχηματίζονται στην περιοχή όπου γίνεται η μεταβολή της επίκλισης, γραμμές ροής 5Α έως 13Δ, έχουν μικρότερα βάθη νερού από αυτές στην περιοχή της σταθερής επίκλισης, γραμμές ροής 1 έως 4 και 14 έως 17.

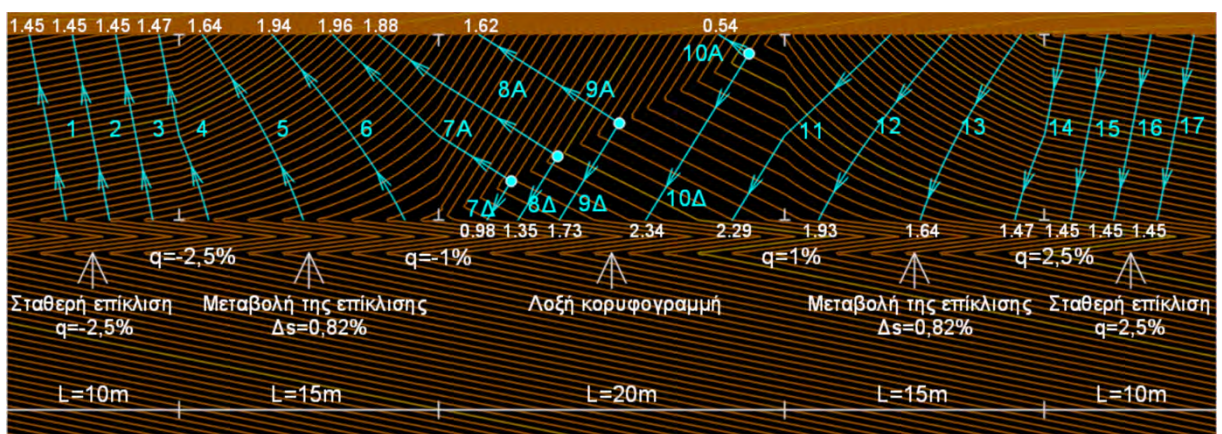
Ενώ εάν εφαρμοστεί λοξή κορυφογραμμή στο οδόστρωμα με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1% (Σχήμα 5-6), τα μεγαλύτερα βάθη νερού εμφανίζονται στις γραμμές ροής 10Δ και 11, τα οποία είναι 2.34 και 2.29mm κατά αντιστοιχία. Η εφαρμογή λοιπόν αυτής της λοξής κορυφογραμμής προσφέρει σημαντική μείωση του μέγιστου βάθους νερού που σχηματίζεται στο τέλος των γραμμών ροής.



Σχήμα 5-4: Βάθος Νερού (mm) - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος



Σχήμα 5-5: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5%



Σχήμα 5-6: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1%

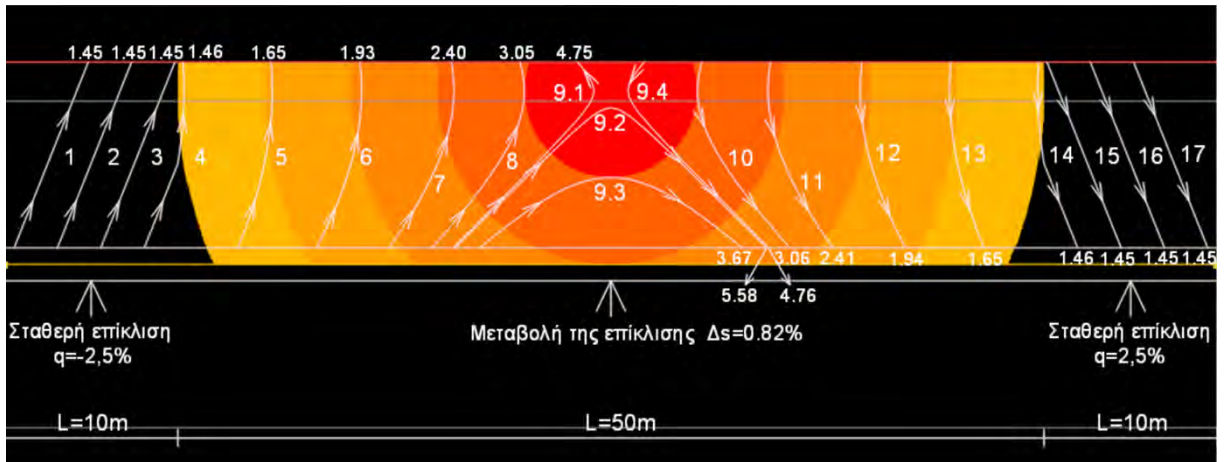
### Σταθερή αρνητική κατά μήκος κλίση 1%

Για την περίπτωση όπου η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο και η κατά μήκος κλίση παραμένει σταθερή αρνητική στο 1%, οι γραμμές ροής που βρίσκονται κοντά στο σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος εμφανίζουν μεγάλα βάθη νερού (Σχήμα 5-7). Η γραμμή ροής 9.2 εμφανίζει το μεγαλύτερο βάθος νερού 5.58mm, που είναι και το μεγαλύτερο βάθος που εμφανίζεται σε όλες τις περιπτώσεις. Μεγάλα βάθη νερού εμφανίζουν και όλες οι γραμμές ροής από την 7 έως την 11, διότι εμφανίζουν βάθη νερού από 2.4 έως 4.75mm.

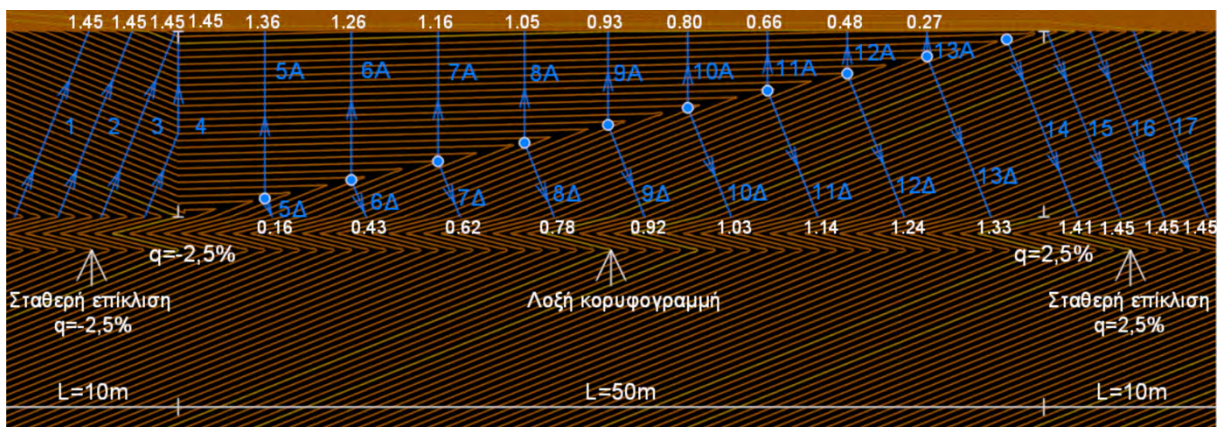
Δεν δημιουργούνται μεγάλα βάθη νερού εάν εφαρμοστεί κορυφογραμμή στο οδόστρωμα με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5-8.

Εάν εφαρμοστεί λοξή κορυφογραμμή στο οδόστρωμα με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5-9, το μεγαλύτερο βάθος νερού ανέρχεται στα 2.35mm,

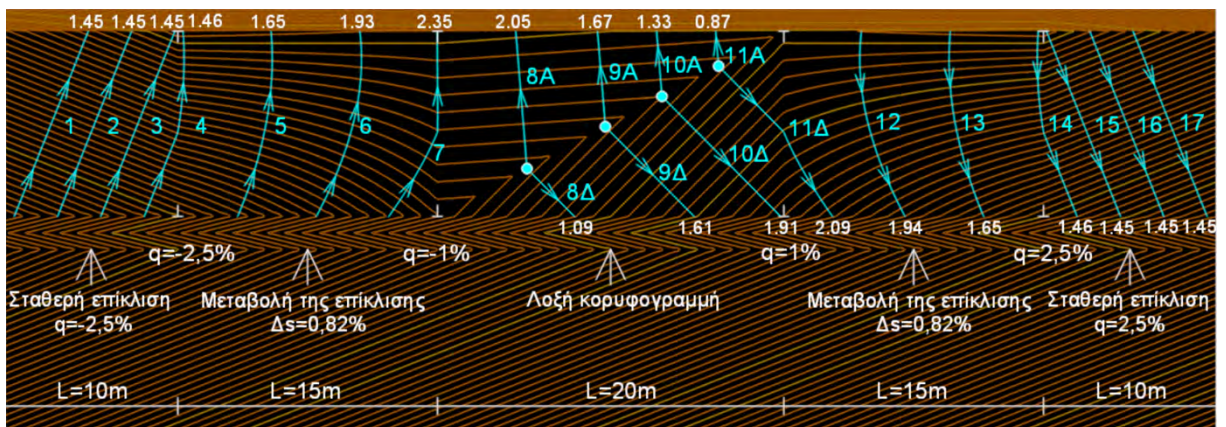
σημαντικά μικρότερο από το μεγαλύτερο που προκύπτει στην περίπτωση όπου δεν εφαρμοστεί λοξή κορυφογραμμή. Σε όλες τις άλλες γραμμές ροής δεν εμφανίζονται μεγαλύτερα βάθη από 2.09mm.



Σχήμα 5-7: Βάθος Νερού (mm) - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος



Σχήμα 5-8: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5%



Σχήμα 5-9: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1%

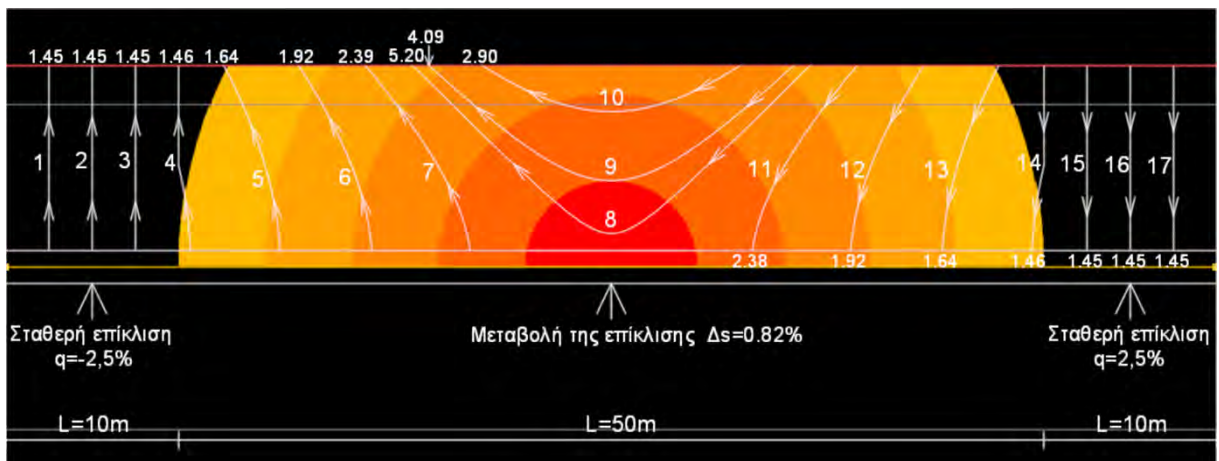


## Σταθερή κατά μήκος κλίση 0%

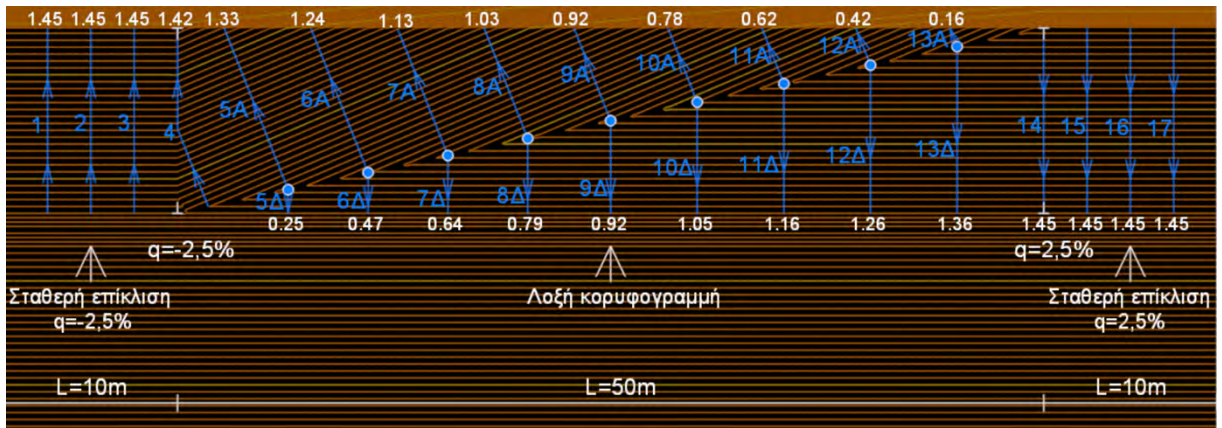
Οι γραμμές ροής 8, 9, 10 εμφανίζουν βάθη νερού 5.20, 4.09 και 2.90mm αντίστοιχα και οι γραμμές ροής 7 και 11 εμφανίζουν 2.38mm, για την περίπτωση όπου η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο και η κατά μήκος κλίση είναι σταθερή, με μηδενική τιμή (Σχήμα 5-10).

Εάν εφαρμοστεί λοξή κορυφογραμμή στο οδόστρωμα με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5-11, δεν δημιουργούνται προβληματικές περιοχές, καθώς τα βάθη νερού που εμφανίζονται στην περιοχή της λοξής κορυφογραμμής είναι μικρότερα από 1.45mm, μικρότερα δηλαδή από τα βάθη που εμφανίζονται στην περίπτωση σταθερής επίκλισης.

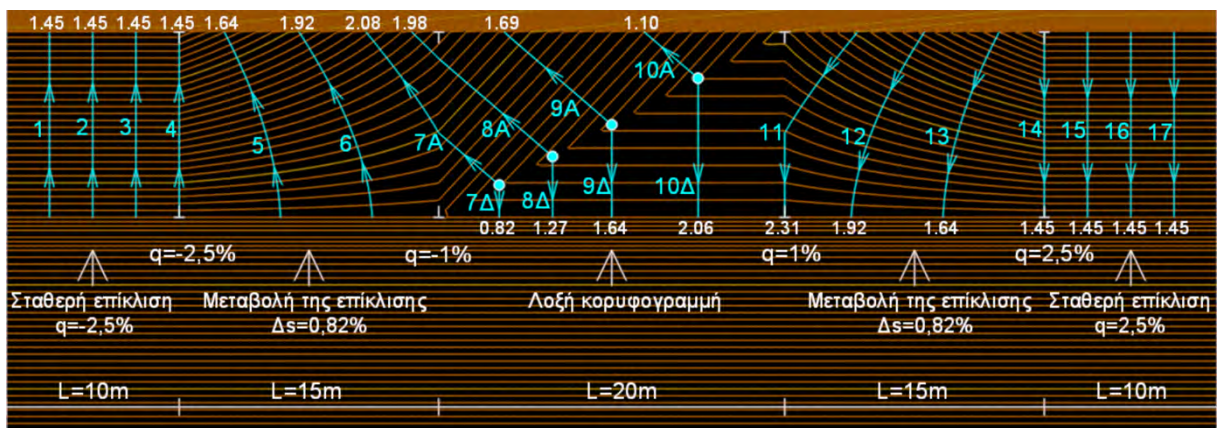
Εάν εφαρμοστεί λοξή κορυφογραμμή στο οδόστρωμα με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5-12, οι γραμμές ροής που σχηματίζονται σε αυτήν την περιοχή εμφανίζουν μικρότερα βάθη νερού σε σύγκριση με αυτά όπου η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο. Οι γραμμές ροής 11, 7A και 10Δ εμφανίζουν τα μεγαλύτερα βάθη που είναι 2.31, 2.08 και 2.06mm αντίστοιχα ενώ οι υπόλοιπες γραμμές ροής εμφανίζουν βάθη μικρότερα από 2mm.



Σχήμα 5-10: Βάθος Νερού (mm) - Κλασική περιστροφή του οδοστρώματος



Σχήμα 5-11: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5%



Σχήμα 5-12: Βάθος Νερού (mm) - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -1% σε 1%

## **6 Συμπεράσματα**

### **6.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων**

#### **6.1.1 Γενικά**

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η απορροή των ομβρίων υδάτων από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Η μελέτη έγινε για τρεις τρόπους περιστροφής του οδοστρώματος. Εκτός από τους δυο γνωστούς τρόπους περιστροφής του οδοστρώματος, αυτού όπου η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο και αυτού όπου εφαρμόζεται λοξή κορυφογραμμή στην επιφάνεια του οδοστρώματος με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%, διερευνήθηκε και η περιστροφή με λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%. Σκοπός της εφαρμογής λοξών κορυφογραμμών είναι η μείωση του πάχους νερού που σχηματίζεται στο οδόστρωμα κατά την διάρκεια μιας βροχόπτωσης, έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της υδρολίστεσης.

Αυτοί οι τρεις τρόποι περιστροφής του οδοστρώματος εφαρμόστηκαν σε τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις σταθερής κατά μήκος κλίσης του οδοστρώματος. Με σταθερή κλίση -1%, -0,5%, 0% και 0,5%, ώστε να γίνει η σύγκριση στα πάχη νερού που εμφανίζονται στο οδόστρωμα κατά την διάρκεια μιας βροχόπτωσης.

Για να γίνει ο υπολογισμός του πάχους νερού που εμφανίζεται στο οδόστρωμα έγινε ο σχεδιασμός γραμμών ροής που σχηματίζονται στο οδόστρωμα κατά την διάρκεια της βροχόπτωσης και χρησιμοποιήθηκε η επέκταση του τύπου του Gallaway για τον υπολογισμό του πάχους νερού, για τις περιπτώσεις όπου η εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος μεταβάλλεται. Η ένταση της βροχόπτωσης και το βάθος της υφής της επιφάνειας του οδοστρώματος, για όλες τις διαδρομές, θεωρήθηκε ότι έχουν τιμές 60mm/h και 0,6mm αντίστοιχα.

### 6.1.2 Αποτελέσματα

Οι παράγοντες που επηρεάζουν το βάθος νερού που σχηματίζεται στο οδόστρωμα κατά την διάρκεια της βροχόπτωσης είναι η ένταση βροχόπτωσης, το μήκος διαδρομής της ροής, η συνισταμένη κλίση της διαδρομής ροής και το βάθος της υφής της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Το πάχος νερού που σχηματίζεται στο τέλος μιας γραμμής ροής είναι ανάλογο του μήκους διαδρομής της ροής και αντιστρόφως ανάλογο της συνιστάμενης κλίσης της ροής.

Για όλες τις περιπτώσεις κατά μήκος κλίσης που μελετήθηκαν, σε κανένα σημείο του οδοστρώματος δεν εμφανίστηκε συνισταμένη κλίση μικρότερη από 1% όταν η περιστροφή του οδοστρώματος έγινε με την εφαρμογή λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%.

Με την εφαρμογή λοξής κορυφογραμμής, στην περιοχή όπου εφαρμόζεται, παρατηρήθηκε σημαντική μείωση του μήκους των γραμμών ροής, καθώς διαχωρίζεται η επιφάνεια απορροής των ομβρίων.

Το μεγαλύτερο βάθος νερού στο οδόστρωμα εμφανίζεται όταν η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο και η κατά μήκος κλίση είναι σταθερή -1%. Η τιμή αυτού του βάθους είναι 5,58mm. Όμως, για την ίδια σταθερή κατά μήκος κλίση, με την εφαρμογή της λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%, το μεγαλύτερο βάθος που εμφανίζεται είναι 2,35mm. Με εφαρμογή της λοξής κορυφογραμμής επιτεύχθηκε σημαντική μείωση στα πάχη νερού που σχηματίζονται στο οδόστρωμα.

Με την εφαρμογή της λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%, για όλες τις περιπτώσεις κατά μήκος κλίσης που μελετήθηκαν, δεν εμφανίζεται βάθος νερού μεγαλύτερο από 1,45mm, που είναι και το βάθος νερού που σχηματίζεται στην περιοχή της σταθερής επίκλισης.

Για όλες τις περιπτώσεις κατά μήκος κλίσης που μελετήθηκαν, όταν η περιστροφή του οδοστρώματος έγινε με εφαρμογή λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%, δεν εμφανίζονται ιδιαίτερα ψηλά βάθη νερού. το μεγαλύτερο βάθος νερού που εμφανίζεται στο οδόστρωμα είναι 2,36mm και εμφανίζεται όταν η κατά μήκος κλίση είναι σταθερή -0,5%.

Αξίζει να σημειωθεί ότι με την εφαρμογή των λοξών κορυφογραμμών αποτρέπεται η εμφάνιση μηδενικής συνιστάμενης κλίσης στην επιφάνεια του οδοστρώματος.

## 6.2 Διατύπωση συμπερασμάτων

Αρχικά συμπεραίνουμε ότι στην περίπτωση που η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο, τα μεγαλύτερα ύψη νερού συσσωρεύονται στο τέλος των γραμμών ροής οι οποίες διέρχονται από τις περιοχές όπου οι τιμές της συνισταμένης κλίσης είναι μικρές.

Το πρόβλημα αυτό όμως, της απορροής των ομβρίων, αντιμετωπίζεται πλήρως εάν η περιστροφή του οδοστρώματος γίνει με εφαρμογή λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%, καθώς τα πάχη νερού που εμφανίζονται στην περιοχή όπου γίνεται η μεταβολή της επίκλισης είναι μικρότερα από αυτά που εμφανίζονται στην περιοχή όπου η επίκλιση παραμένει σταθερή.

Στην περίπτωση όπου η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με εφαρμογή λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%, η λοξή κορυφογραμμή εφαρμόζεται στην περιοχή όπου οι συνισταμένες κλίσεις του οδοστρώματος είναι μικρές. Σε αυτή την περιοχή, όπως προαναφέρθηκε, σχηματίζονται μεγάλα βάθη νερού, τα οποία όμως μειώνονται αισθητά με την εφαρμογή της.

Μια ακόμα παρατήρηση είναι ότι η μεγαλύτερη κρίσιμη ζώνη, με συνισταμένες κλίσεις του οδοστρώματος από 0% έως 0,5%, εμφανίζεται στην περίπτωση σταθερής αρνητικής κατά μήκος κλίσης 0,5%. Αυτό συμβαίνει επειδή το σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης, όσο πιο κοντά βρίσκεται στο μέσο του πλάτους του οδοστρώματος, τόσο η κρίσιμη ζώνη με μικρές συνισταμένες κλίσεις μεγαλώνει.

Κατά την πορεία κίνησης των οχημάτων, το ύψος του επιφανειακού νερού, το οποίο είναι ικανό να προκαλέσει σπινάρισμα του τροχού και κατ' επέκταση υδρολίσθηση, κυμαίνεται από 1,5 έως 5mm. Η τιμή του αποδεκτού ύψους έναντι υδρολίσθησης μεταβάλλεται ανάλογα με την επιφάνεια του οδοστρώματος και την κατάσταση των ελαστικών του οχήματος.

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο ότι η εφαρμογή λοξών κορυφογραμμών στην επιφάνεια του οδοστρώματος, συνεισφέρει στην απορροή των ομβρίων υδάτων.

Η εφαρμογή λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% επιλύει πλήρως το πρόβλημα της απορροής, αλλά η υπερύψωση του οδοστρώματος είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%, οπότε υστερεί ως προς τη δυναμική κίνηση των οχημάτων. (σε σύγκριση με την -1% σε 1%)

Η εφαρμογή λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1% μειώνει σημαντικά το πάχος νερού στη περιοχή που εφαρμόζεται, ενώ ταυτόχρονα καταλαμβάνει μικρότερο χώρο εφαρμογής σε σύγκριση με την περίπτωση από -2,5% σε 2,5%.

Τέλος, προτείνεται η εφαρμογή λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1% στις προβληματικές ως προς την απορροή περιοχές, άλλα χρειάζεται μεγαλύτερη προσοχή ως προς τις κατασκευαστικές ανοχές του οδοστρώματος, η οποία, όμως χρειάζεται και στην περίπτωση όπου η περιστροφή του οδοστρώματος γίνεται με τον κλασικό τρόπο.

## 7 Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Αλιμονάκης Θ., (2018). Διερεύνηση απορροής των ομβρίων σε κρίσιμες περιοχές του οδοστρώματος, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- Δαλαμπύρα Ε. & Κατσικανή Β., (2019). Διερεύνηση απορροής ομβρίων σε κρίσιμες περιοχές στην επιφάνεια του οδοστρώματος, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- Καλιαμπέτσος Γ., (2017), Ανάπτυξη και βελτιστοποίηση αλγορίθμων για τον σχεδιασμό συγκοινωνιακών έργων, Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- Κοσμέτου Π., (2014), Ανάλυση και αξιολόγηση της υφής ασφαλτικών οδοστρωμάτων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) (2001). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Τεύχος 2: Διατομές (ΟΜΟΕ-Δ), ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) (2001). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Τεύχος 3: Χαράξεις (ΟΜΟΕ-Χ), ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ) (2002). Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Τεύχος 8: Αποχέτευση-Στράγγιση, Υδραυλικά, Έργα Οδών (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ), ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα.
- Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών & Δικτύων (2013), Εγκύκλιος 34 της 20/12/2013, Δημοσίευση υπουργικής απόφασης, “Προσθήκη-Συμπλήρωση Άρθρου στα Τιμολόγια Έργων Οδοποιίας”.
- Ψαριανός, Β., 2018, Οδοποιία 1: Διάγραμμα επικλίσεων, Πανεπιστημιακές σημειώσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Σχολή Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ, Εργαστήριο Συγκοινωνιακής Τεχνικής

- B.M. Gallaway, D.L Ivey, G.Hayes, W.B. Ledbetter, R.M. Olson, D.L Woods et al. (1979). Pavement and geometric design criteria for minimizing hydroplaning. No. FHWA-RD-79-31 Final Rpt.
- F. Spitzhüttl, F. Goizet, T. Unger & F. Biesse (2020). The real impact of full hydroplaning on driving safety, *Accident Analysis & Prevention*, 138, 105458.
- Luo, W. (2015). Pavement hydroplaning risk evaluation with Inertial Measurement Unit (IMU) and 1mm 3D texture data, Dissertation, Oklahoma State University. Retrieved from <https://shareok.org/handle/11244/48896>
- Oktay Güven & Joel G. Melville (1999), Pavement cross slope - A technical review, Auburn University, Auburn.

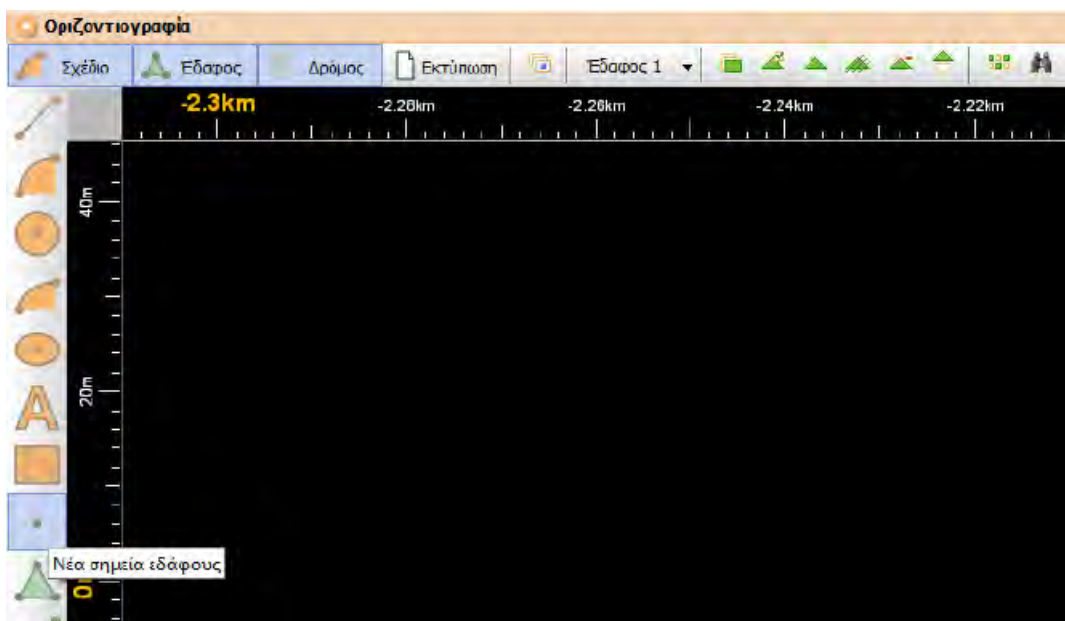


## 8 Παράρτημα

### Δημιουργία γραμμών ροής στο anadelta tessera

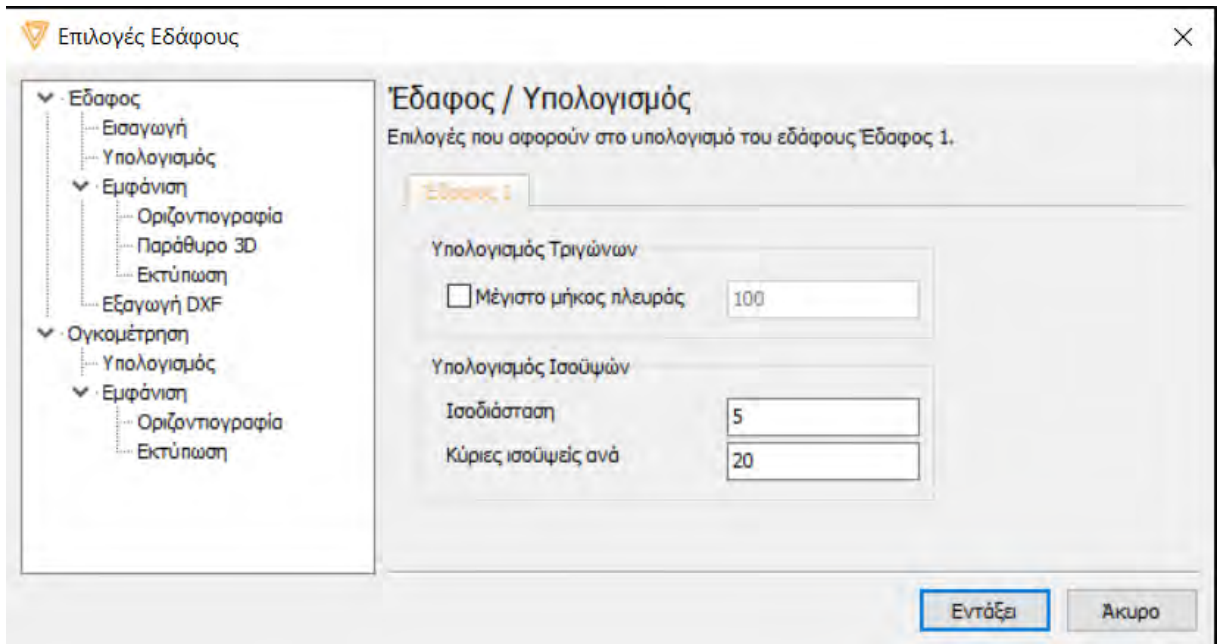
Το πρόγραμμα περιλαμβάνει τα εξής περιβάλλοντα ή χώρους εργασίας: της Οριζοντιογραφίας, της Μηκοτομής, των Διατομών και του 3D περιβάλλοντος, των οποίων η εναλλαγή γίνεται από το κάτω αριστερό μέρος.

Αρχικά στο περιβάλλον της Οριζοντιογραφίας προστίθενται τέσσερα σημεία εδάφους με την εντολή “Νέα σημεία εδάφους” (Σχήμα 8-1), σε απόσταση μεταξύ τους, για να δημιουργηθεί ένα έδαφος-βάση, για τον δρόμο που θα εισαχτεί αργότερα.

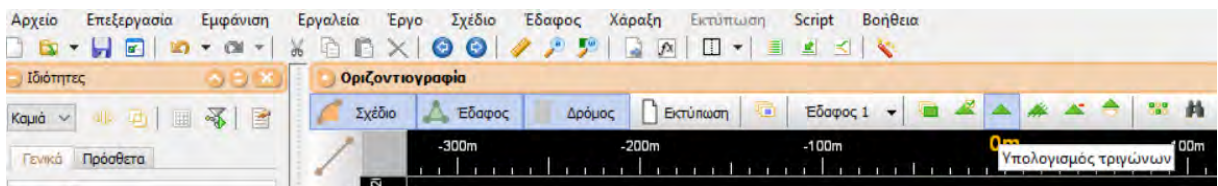


Σχήμα 8-1: Εντολή Νέα σημεία εδάφους (AnadeltaTessera)

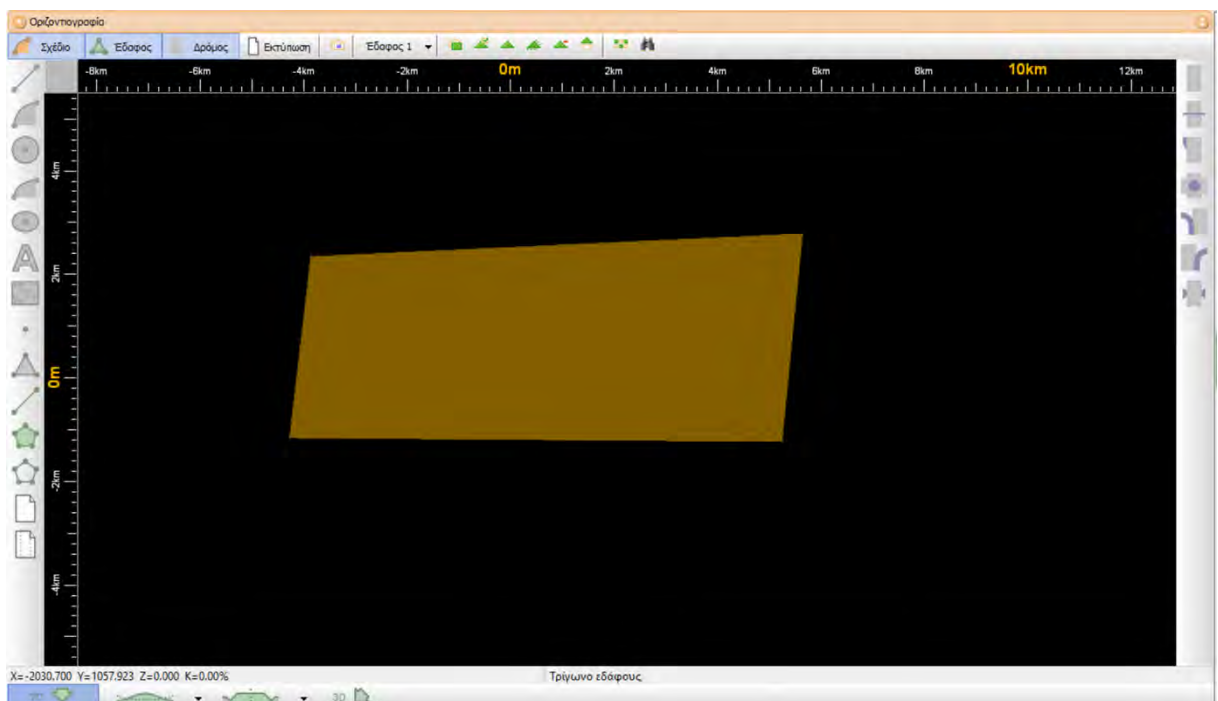
Από την οριζόντια γραμμή εργαλείων επιλέχτηκε “Εδαφος->Επιλογές Εδάφους” και έγινε αποεπιλογή του μεγίστου μήκους πλευράς. (Σχήμα 8-2). Τέλος έγινε υπολογισμός τριγώνων με την εντολή που βρίσκεται στην οριζόντια γραμμή εργαλείων. (Σχήμα 8-3).



Σχήμα 8-2: Επιλογές Εδάφους (AnadeltaTessera)

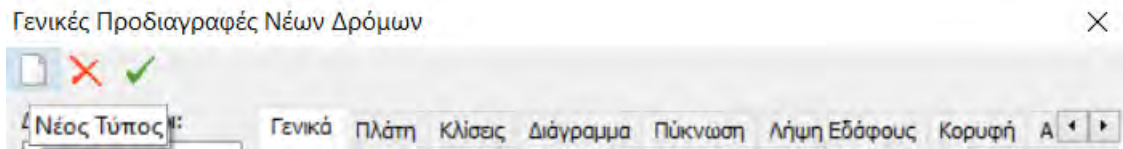


Σχήμα 8-3: Εντολή-Υπολογισμός τριγώνων (AnadeltaTessera)

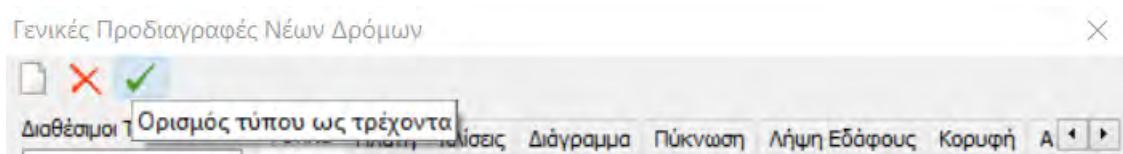


Σχήμα 8-4: Έδαφος-Βάση (AnadeltaTessera)

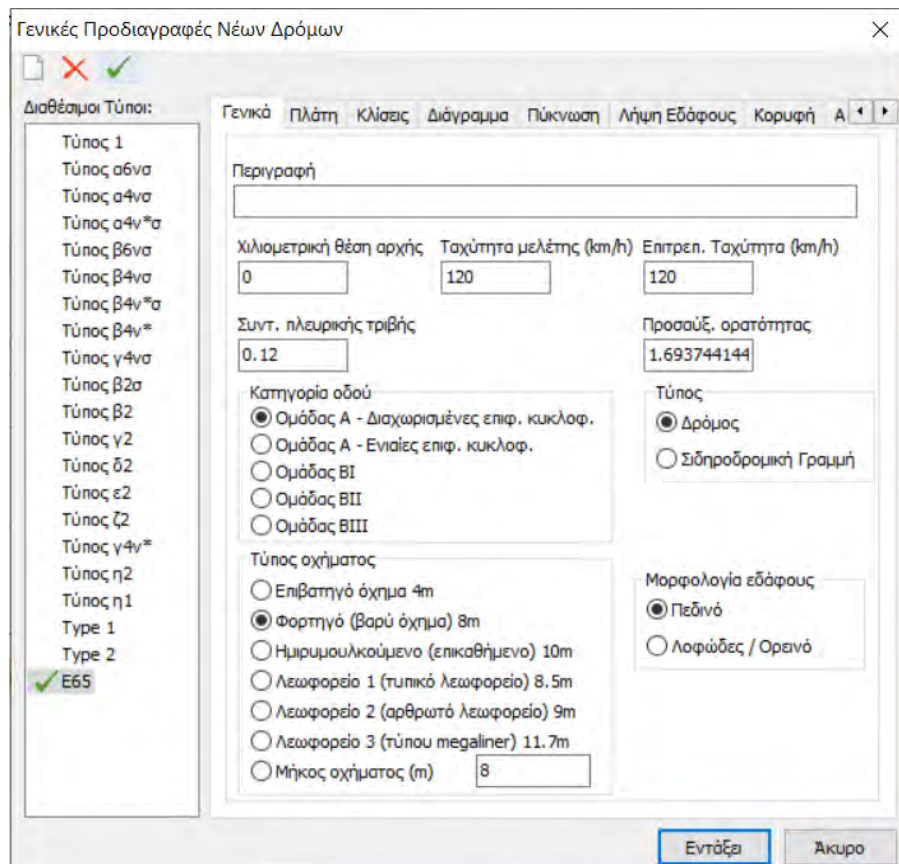
Για την διαμόρφωση των προδιαγραφών του δρόμου, από την οριζόντια γραμμή εργαλείων επιλέχτηκε “Χάραξη->Προδιαγραφές δρόμων (εξ ορισμού)” και δημιουργήθηκε ένας νέος τύπος (Σχήμα 8-5), ο οποίος επιλέχτηκε ως τρέχων. (Σχήμα 8-6). Στην συνέχεια για τα πεδία που εμφανίστηκαν έγιναν οι επιλογές που φαίνονται στα παρακάτω σχήματα. Πάνω σε αυτό το έδαφος-βάση που δημιουργήθηκε προηγουμένως, δημιουργήθηκε ένας δρόμος με δυο κορυφές και συνολικό μήκος 70m. (Σχήμα 8-12).



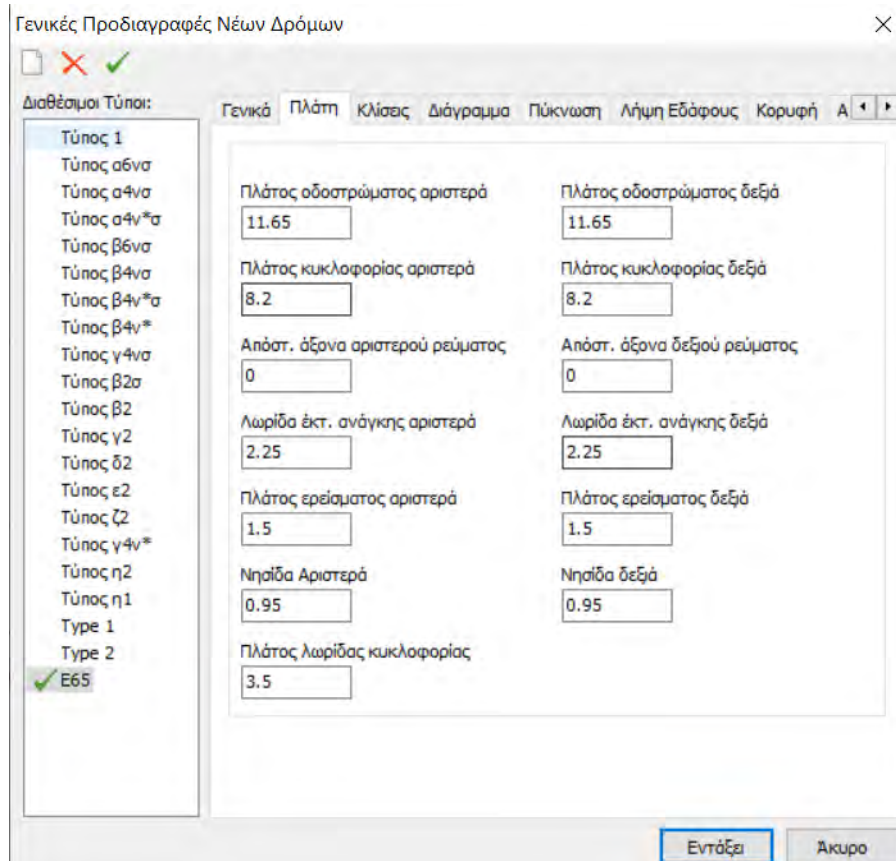
Σχήμα 8-5: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Νέος Τύπος (AnadeltaTessera)



Σχήμα 8-6: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Ορισμός τύπου ως τρέχοντα (AnadeltaTessera)



Σχήμα 8-7: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Γενικά (AnadeltaTessera)



Σχήμα 8-8: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Πλάτη (AnadeltaTessera)

Διαθέσιμοι Τύποι:

- Τύπος 1
- Τύπος α6νσ
- Τύπος α4νσ
- Τύπος α4ν\*σ
- Τύπος β6νσ
- Τύπος β4νσ
- Τύπος β4ν\*σ
- Τύπος β4ν\*
- Τύπος γ4νσ
- Τύπος β2σ
- Τύπος β2
- Τύπος γ2
- Τύπος δ2
- Τύπος ε2
- Τύπος ζ2
- Τύπος γ4ν\*
- Τύπος η2
- Τύπος η1
- Type 1
- Type 2
- ✓ E65

Γενικά Πλάτη Κλίσεις Διάγραμμα Πύκνωση Λήψη Εδάφους Κορυφή A

Επικλίσεις στην ευθυγραμμία (%)

Οδοστρώματος αριστερά: 2.5 Οδοστρώματος δεξιά: 2.5

Ερείσματος αριστερά: 4 Ερείσματος δεξιά: 4

Οριακές τιμές (%)

Μέγιστη επίκλιση καμπύλης: 7 Υπερύψωση (m): 0.16

Ερείσματα

Διαφορά επικλίσεων στην αιχμή: 8

Επίκλιση στο εξωτερικό καμπύλης: 6

Μέγιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμών ( $\Delta s_{max}$ ): 0.9

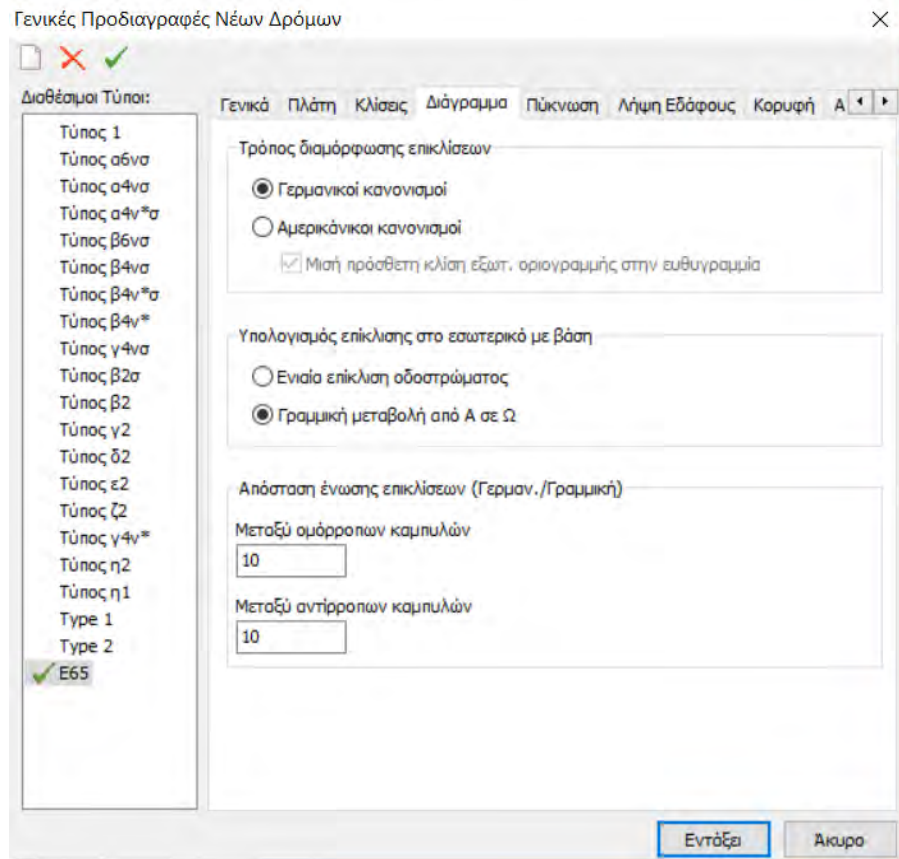
Ελάχιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμών ( $\Delta s_{min}$ ): 0.82

Πρόσθετη κλίση οριογραμμών (ελλείψει τόξου συναρμογής): 2

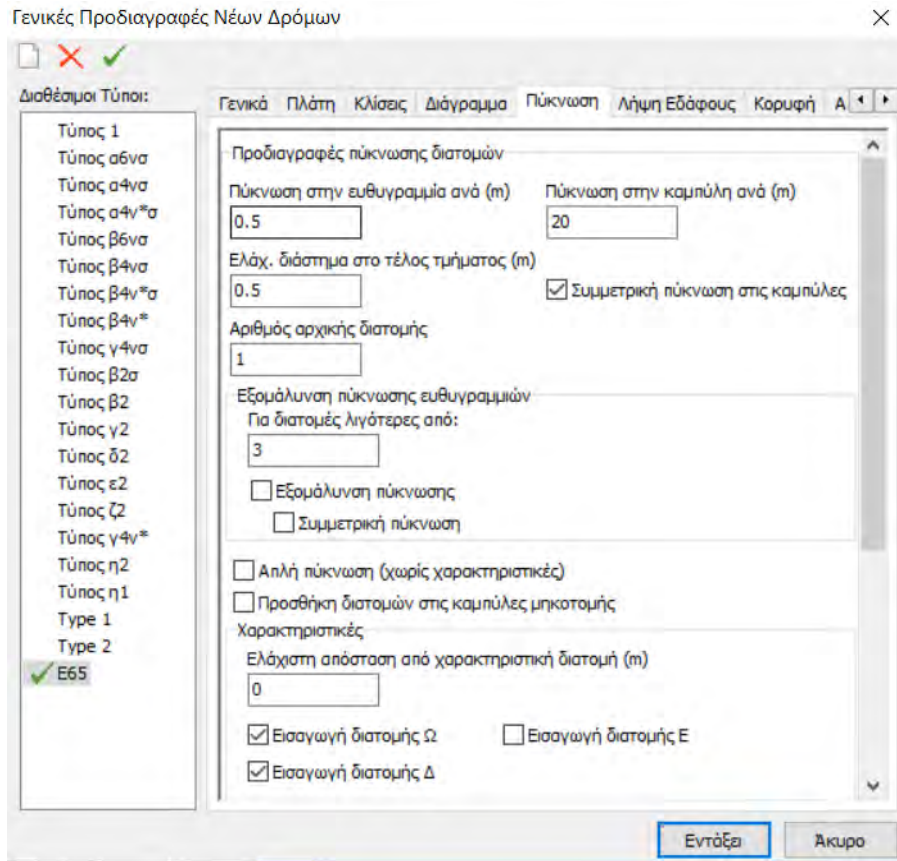
Μεταβολή επίκλισης στην ευθυγραμμία % (ελλείψει τόξου συναρμογής): 50

Εντάξει Άκυρο

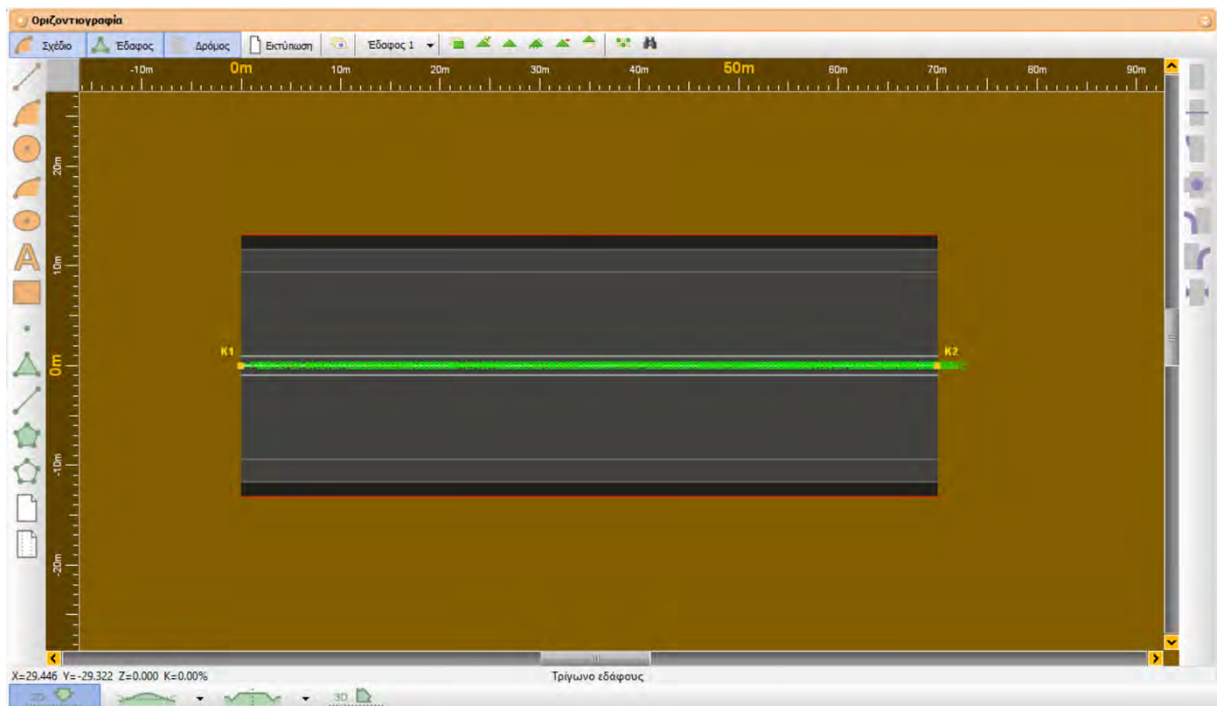
Σχήμα 8-9: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Κλίσεις (AnadeltaTessera)



Σχήμα 8-10: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Διαγράμματα (AnadeltaTessera)



Σχήμα 8-11: Γενικές προδιαγραφές δρόμου-Πύκνωση (AnadeltaTessera)



Σχήμα 8-12: Δημιουργία δρόμου (AnadeltaTessera)

Έπειτα, αφού επιλέχτηκε ο δρόμος για να είναι ενεργός, από την οριζόντια γραμμή εργαλείων επιλέχτηκε “Έργο->Επεξεργασία διαγραμμάτων” και από τα διαγράμματα, το διάγραμμα “επικλίσεων αριστερά” διαμορφώθηκε όπως φαίνεται στο Σχήμα 8-13.

A/A	Χ.Θ.	Τιμή	Ακτίνα
1	0.000	-2.500	0.000
2	10.000	-2.500	0.000
3	60.000	2.500	0.000
4	70.000	2.500	0.000

Σχήμα 8-13: Επεξεργασία διαγραμμάτων-διάγραμμα επικλίσεων αριστερά (AnadeltaTessera)

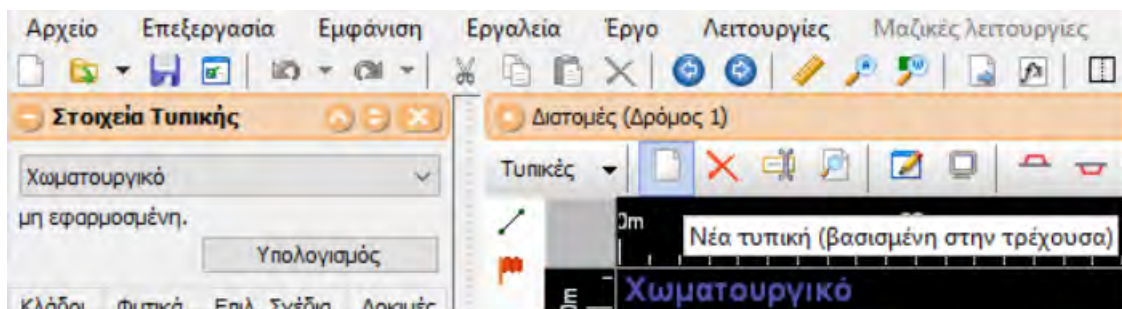
Αφού πήγαμε στο περιβάλλον της μηκοτομής, με την εντολή “Νέα πολυγωνική”, που βρίσκεται στην κατακόρυφη γραμμή εργαλείων (Σχήμα 8-14), σχεδιάστηκε η πολυγωνική γραμμή. Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκαν τέσσερις περιπτώσεις πολυγωνικής, με σταθερή κατά μήκος κλίση  $s=-1\%$ ,  $s=-0,5\%$ ,  $s=0,5\%$  και  $s=0\%$ .



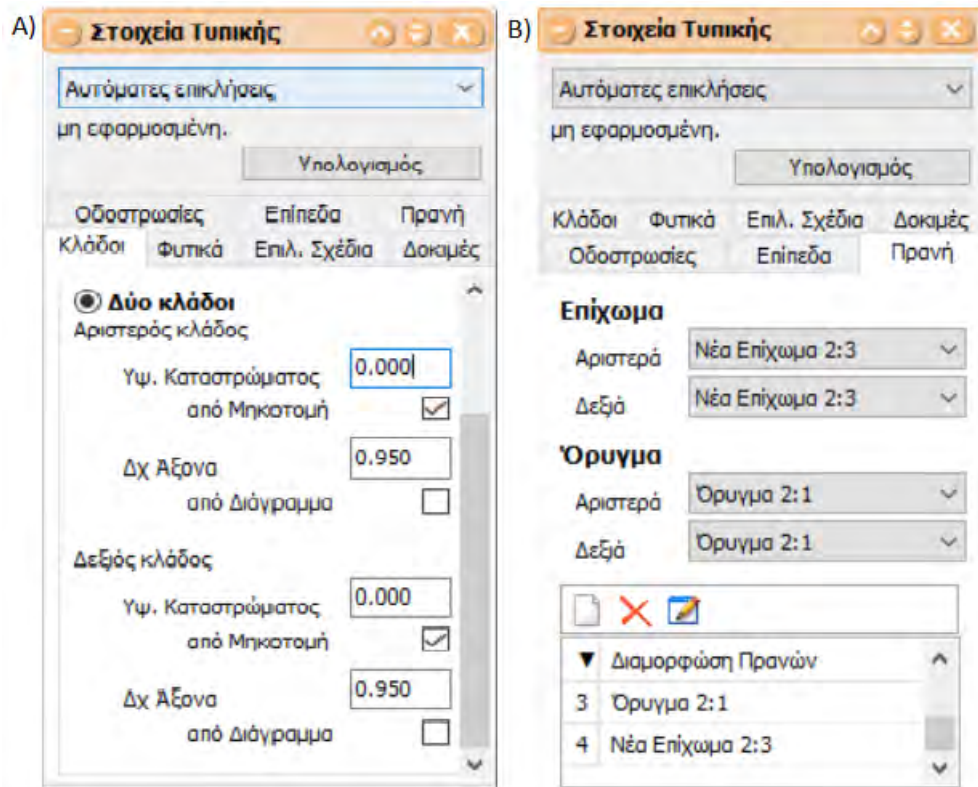


Σχήμα 8-14: Εντολή-Νέα πολυγωνική (AnadeltaTessera)

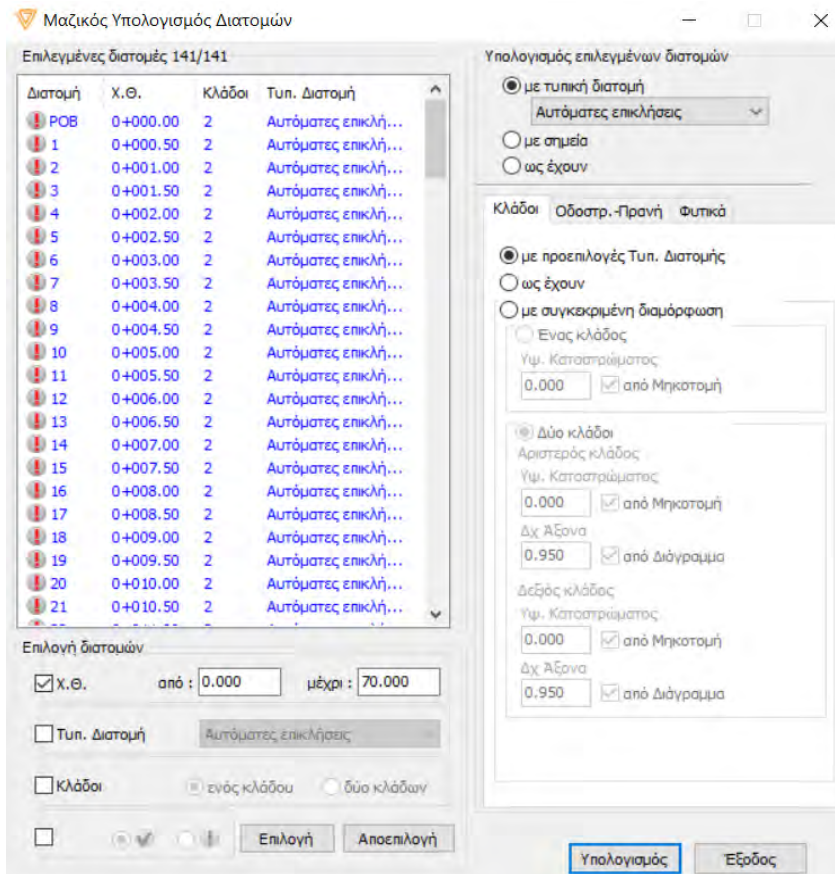
Στην συνέχεια, προκειμένου να δημιουργηθεί μια νέα τυπική διατομή μεταφερθήκαμε στο περιβάλλον των Διατομών. Από τα στοιχεία τυπικής, επιλέχτηκε το “χωματουργικό” και πατήθηκε το εικονίδιο “Νέα τυπική (βασισμένη στην τρέχουσα)”. (Σχήμα 8-15). Η νέα τυπική ονομάστηκε “Αυτόματες επικλίσεις”. Από τα στοιχεία τυπικής αφαιρέθηκαν τα φυτικά, οι κλάδοι και τα πρνή διαμορφώθηκαν όπως φαίνεται στο Σχήμα 8-16. Έπειτα πήγαμε στην οριζόντια γραμμή εργαλείων και πατήσαμε “Μαζικές λειτουργίες->Υπολογισμός”, έγινε η επιλογή όλων των διατομών και ο υπολογισμός τους έγινε με τυπική διατομή, την διατομή “Αυτόματες επικλίσεις”. (Σχήμα 8-17).



Σχήμα 8-15: Νέα τυπική διατομή (AnadeltaTessera)



Σχήμα 8-16: Στοιχεία τυπικής-“Αυτόματες επικλίσεις” Α)Κλάδοι Β) Πρανή (AnadeltaTessera)

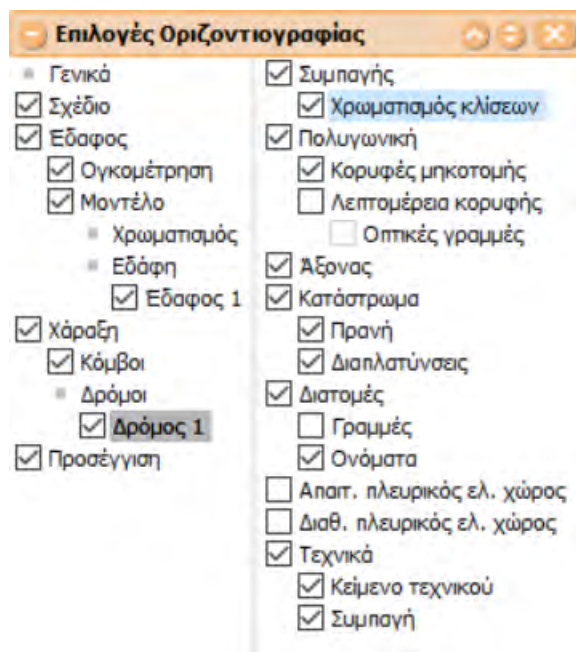


Σχήμα 8-17: Μαζικός Υπολογισμός Διατομών- “Αυτόματες επικλίσεις” (AnadeltaTessera)

**Για την περίπτωση όπου γίνεται η κλασική περιστροφή του οδοστρώματος, με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%.**

Για την χρωματική απεικόνιση της συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος, χρειάστηκε απλώς από τις επιλογές της οριζοντιογραφίας, να επιλέξουμε τον δρόμο να είναι συμπαγής και να πατήσουμε την εντολή “χρωματισμός κλίσεων”. (Σχήμα 8-18).

Για την δημιουργία γραμμών ροής, επιλέξαμε ένα σημείο του δρόμου, πατήσαμε “δεξί κλικ->Εργαλεία->Δημιουργία γραμμής ροής” και επιλέξαμε το σημείο του οδοστρώματος που θέλαμε. Αυτήν την διαδικασία την επαναλάβαμε για τον σχεδιασμό όλων των γραμμών ροής.



Σχήμα 8-18: Χρωματισμός κλίσεων (AnadeltaTessera)

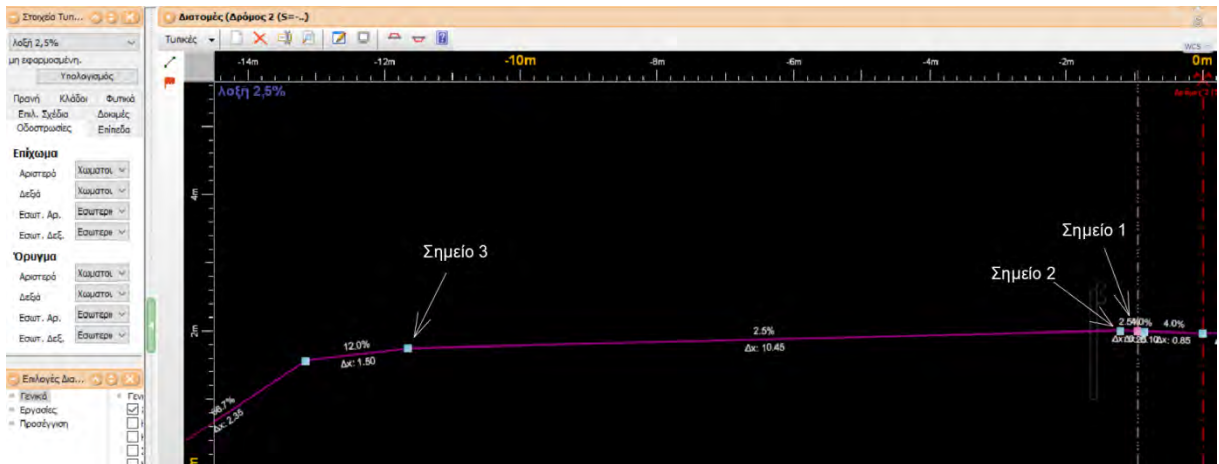
**Για την περίπτωση της λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%.**

Αρχικά επιλέχτηκε ο δρόμος για να είναι ενεργός και από την οριζόντια γραμμή εργαλείων επιλέχτηκε “Εργο->Επεξεργασία διαγραμμάτων”. Από το παράθυρο που εμφανίστηκε το διάγραμμα “Δχ αριστερού ημιάξονα” διαμορφώθηκε όπως φαίνεται στο Σχήμα 8-19.

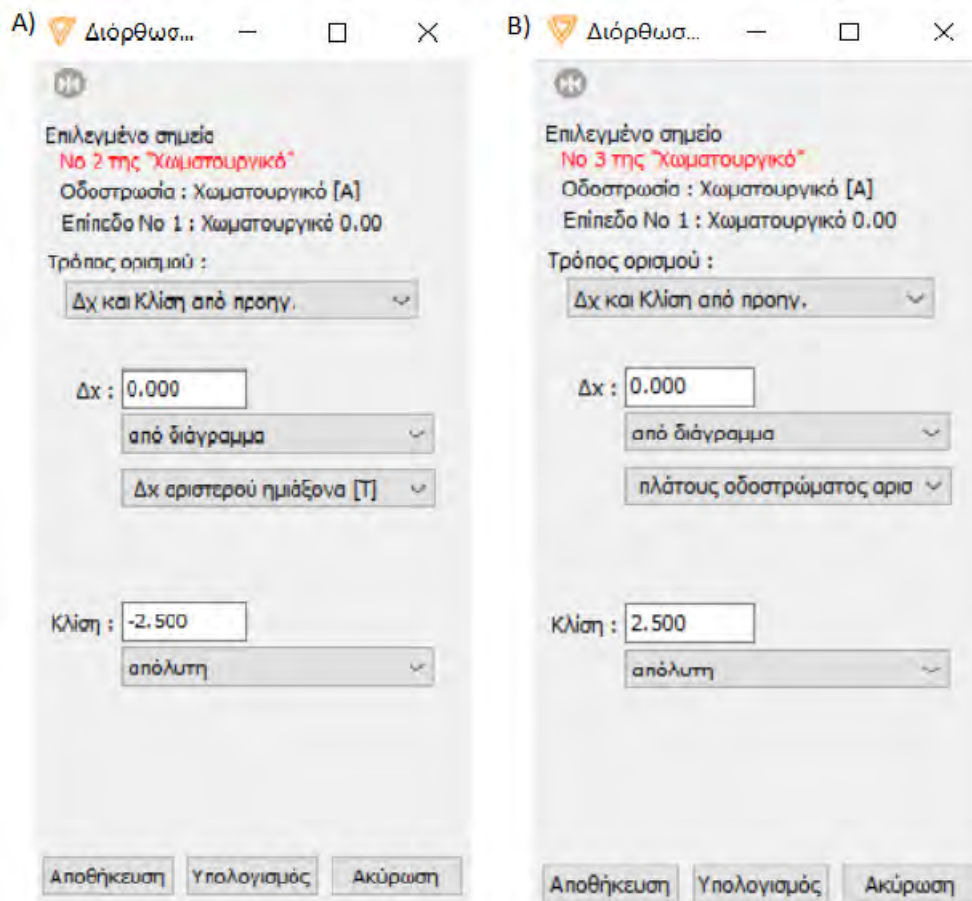
A/A	Χ.Θ.	Τιμή	Ακτίνα
1	0.000	0.950	0.000
2	10.000	0.950	0.000
3	60.000	11.650	0.000
4	70.000	11.650	0.000

Σχήμα 8-19: Επεξεργασία διαγραμμάτων-διάγραμμα Δχ αριστερού ημιάξονα (λοξή 2,5%)  
(AnadeltaTessera)

Έπειτα πήγαμε στο περιβάλλον των Διατομών. Στις τυπικές διατομές επιλέχτηκε να είναι ενεργή, από τα στοιχεία τυπικής, η τυπική διατομή που διαμορφώσαμε προηγουμένως (“Αυτόματες επικλίσεις”) και πατήθηκε το εικονίδιο “Νέα τυπική (βασισμένη στην τρέχουσα)”. Την νέα τυπική την ονομάσαμε “λοξή 2,5%”. Έπειτα κάναμε κάποιες τροποποιήσεις, επιλέχτηκε το σημείο που βρίσκεται στο αριστερό άκρο της κεντρικής νησίδας ‘Σημείο 1’ (Σχήμα 8-20) πατήθηκε “δεξί κλικ->Επέκταση προς αρχή” και τοποθετήσαμε το νέο σημείο ‘Σημείο 2’ σε ένα “τυχαίο” σημείο πάνω στην αριστερή επιφάνεια κυκλοφορίας. Στην συνέχεια επιλέξαμε το νέο σημείο ‘Σημείο 2’ και πατήσαμε “δεξί κλικ->Διόρθωση σημείου”. Στο παράθυρο που εμφανίστηκε έγιναν οι επιλογές που φαίνονται στο Σχήμα 8-21 (Α). Τέλος επιλέξαμε το ‘Σημείο 3’ και το διορθώσαμε όπως φαίνεται στο Σχήμα 8-21 (Β).



Σχήμα 8-20: Διαμόρφωση τυπικής διατομής “λοξή 2,5%” (AnadeltaTessera)



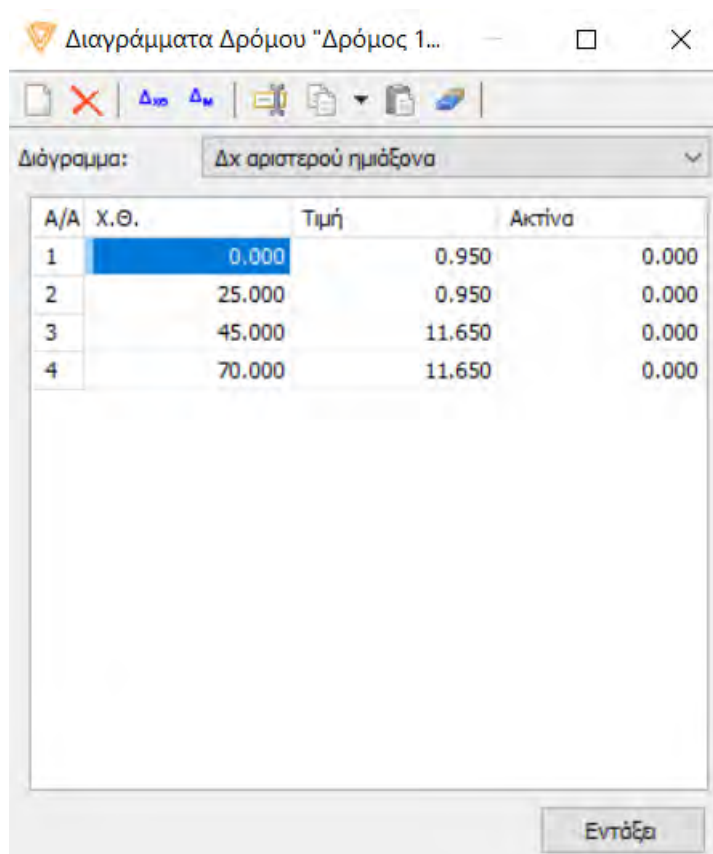
Σχήμα 8-21: Διόρθωση Σημείων A)Σημείο 2 B)Σημείο 3 (λοξή 2,5%) (AnadeltaTessera)

Ακολουθώντας, πήγαμε στην οριζόντια γραμμή εργαλείων και πατήσαμε “Μαζικές λειτουργίες->Υπολογισμός”, επιλέξαμε τις διατομές από την 20 έως την 120 και ο υπολογισμός τους έγινε με τυπική διατομή, την διατομή “λοξή 2,5%”.

**Για την περίπτωση της λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -1% σε 1%.**

Ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία με την περίπτωση της λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% με κάποιες διαφοροποιήσεις.

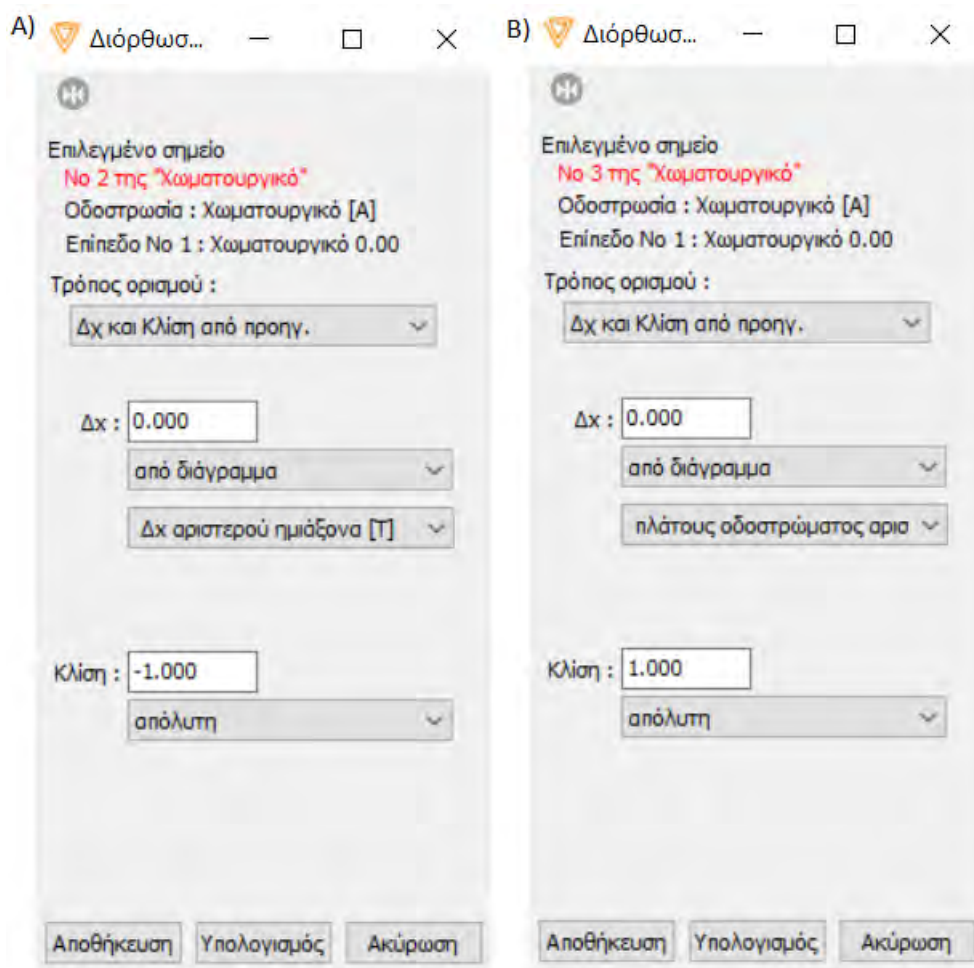
Αρχικά το διάγραμμα “Δχ αριστερού ημιάξονα” διαμορφώθηκε όπως φαίνεται στο Σχήμα 8-22.



A/A	Χ.Θ.	Τιμή	Ακτίνα
1	0.000	0.950	0.000
2	25.000	0.950	0.000
3	45.000	11.650	0.000
4	70.000	11.650	0.000

Σχήμα 8-22: Επεξεργασία διαγραμμάτων-διάγραμμα Δχ αριστερού ημιάξονα (λοξή 1%)  
(AnadeltaTessera)

Την νέα τυπική που δημιουργήσαμε την ονομάσαμε “λοξή 1%” και έγινε πάλι με τον ίδιο τρόπο η προσθήκη του Σημείου 2, όμως οι διορθώσεις των σημείων έγιναν με διαφορετικές τιμές στις κλίσεις, για το “Σημείο 2” με τιμή -1 και για το “Σημείο 3” με τιμή 1. (Σχήμα 8-23).



Σχήμα 8-23: Διόρθωση Σημείων Α)Σημείο 2 Β)Σημείο 3 (λοξή 1%) (AnadeltaTessera)

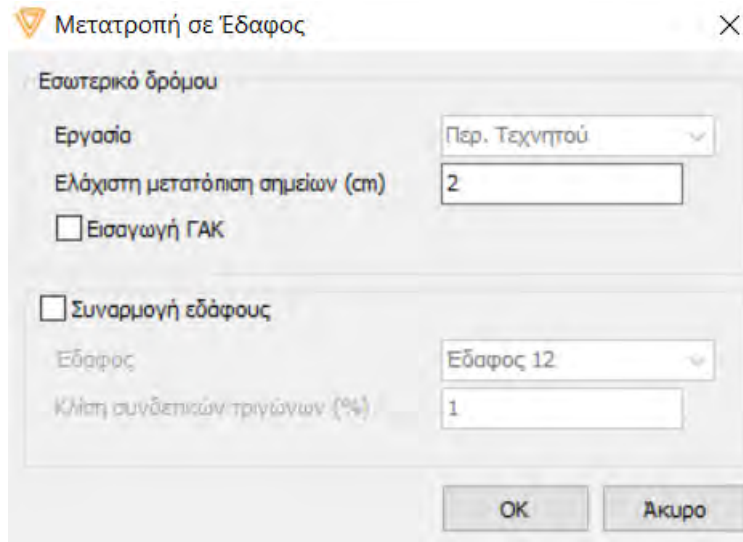
Τέλος στον υπολογισμό των διατομών η εφαρμογή της τυπικής “λοξή 1%” έγινε από την διατομή 50 μέχρι την 90.

Σε αυτό το σημείο χρειάστηκε να εισάγουμε στις διατομές, σημεία ανά 1m, για να δημιουργήσουμε ένα πλέγμα. Από το περιβάλλον των Διατομών πατήσαμε “Μαζικές λειτουργίες->Διαχείριση Γραμμών”. Στο παράθυρο που εμφανίστηκε κάναμε τις επιλογές που φαίνονται στο Σχήμα 8-24 και πατήσαμε “Εφαρμογή”. Επαναλάβαμε αυτήν την διαδικασία αλλάζοντας κάθε φορά την τιμή στο κουτάκι που βρίσκεται κάτω από το “Ορισμός X”, βάζοντας την τιμή 1.95 και όλες τις θετικές και αρνητικές τιμές ανά 1m από τα άκρα της κεντρικής νησίδας έως τις τιμές +/-10,95 (διότι το πλάτος οδοστρώματος είναι 11,65m). Αφού ολοκληρώσαμε αυτήν την διαδικασία πήγαμε πάλι και κάναμε μαζικό υπολογισμό των διατομών, όπως κάναμε και προηγουμένως, όμως τώρα επιλέξαμε την επιλογή “ως έχουν”. Τώρα πηγαίνοντας σε οποιαδήποτε διατομή, κάνοντας ένα “κλικ”,

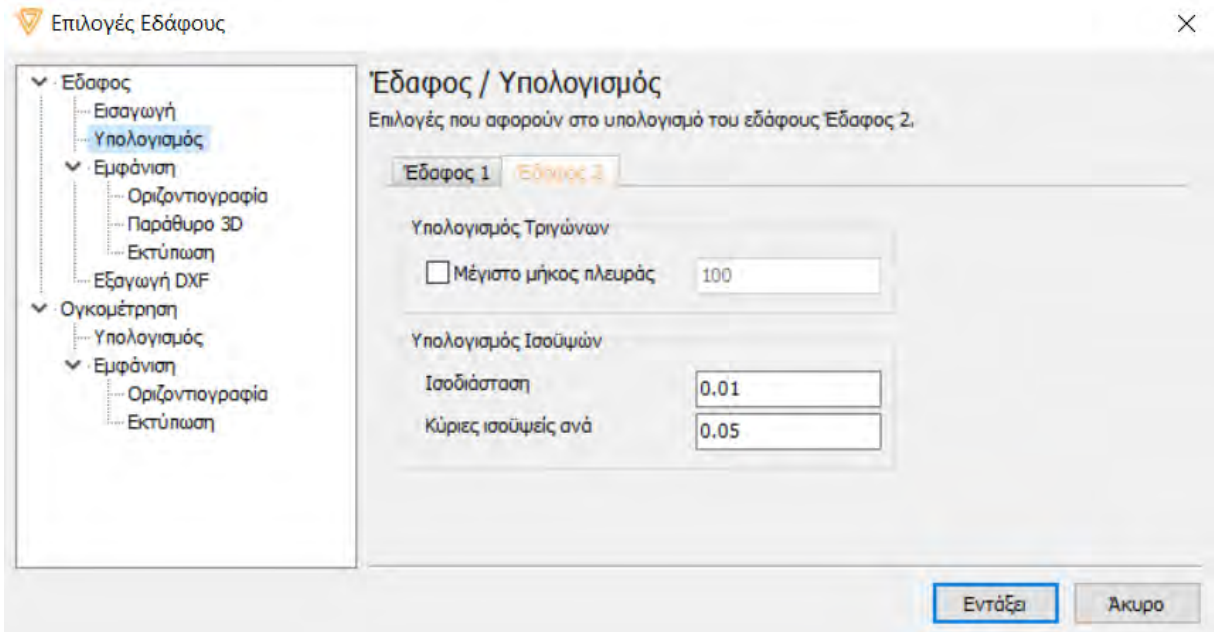




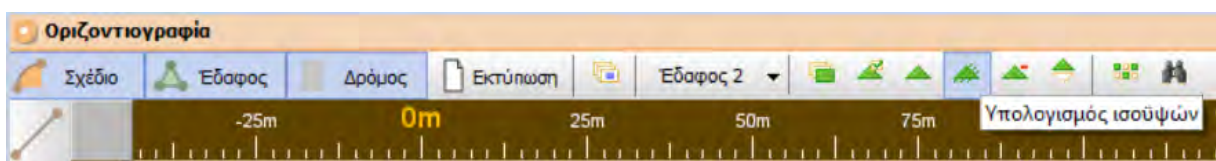




Σχήμα 8-27: Μετατροπή του Δρόμου σε Έδαφος (AnadeltaTessera)



Σχήμα 8-28: Επιλογές Εδάφους-Για τον υπολογισμό ισοϋψών (AnadeltaTessera)



Σχήμα 8-29: Υπολογισμός ισοϋψών (AnadeltaTessera)

Τέλος, στις περιοχές όπου εφαρμόζονται οι λοξές κορυφογραμμές, σχεδιάστηκαν χειροκίνητα γραμμές ροής κάθετες στις ισοϋψείς γραμμές, με φορά κίνησης του νερού από τα σημεία που έχουν υψηλότερο υδραυλικό φορτίο σε αυτά που έχουν χαμηλότερο.

Οι υπολογισμοί του βάθους νερού έγιναν στο πρόγραμμα Microsoft Excel. Ακολουθεί ένα παράδειγμα για μια γραμμή ροής, ομοίως υπολογίστηκαν και οι υπόλοιπες.

BY (Βαθος Υφής)=		0.6 mm								
I (Βροχόπτωση)=		60 mm/h								
									Χωρίς αφαίρεση του BY	
ΣΗΜΕΙΑ	X	Y	ΔL (ΒΗΜΑ)	ΜΗΚΟΣ ΡΟΗΣ	ΣΥΝΙΣΤ. ΚΛΙΣΗ (Z) % (*100)	ΣΥΝΙΣΤ. ΚΛΙΣΗ (Z) %	ΙΣΟΔΥΝΑ ΜΟ ΜΗΚΟΣ ΡΟΗΣ	ΠΑΧΟΣ ΝΕΡΟΥ (BN)	ΠΑΧΟΣ ΝΕΡΟΥ (BN)	
1	201.524	0.95	0.0216	0.0216	2.55	0.0255	0.02	0.14	0.00	
2	201.529	0.971	0.0998	0.1214	2.55	0.0255	0.02	0.30	0.00	
3	201.548	1.069	0.1000	0.2214	2.55	0.0255	0.12	0.38	0.00	
4	201.568	1.167	0.1000	0.3215	2.55	0.0255	0.22	0.45	0.00	
5	201.588	1.265	0.0998	0.4213	2.55	0.0255	0.32	0.51	0.00	
6	201.607	1.363	0.1010	0.5223	2.55	0.0255	0.42	0.56	0.00	
7	201.627	1.462	0.0998	0.6221	2.55	0.0255	0.52	0.60	0.00	
8	201.646	1.56	0.1000	0.7221	2.55	0.0255	0.62	0.64	0.04	
9	201.666	1.658	0.1000	0.8221	2.55	0.0255	0.72	0.67	0.07	
10	201.686	1.756	0.0998	0.9220	2.55	0.0255	0.82	0.71	0.11	
11	201.705	1.854	0.1000	1.0220	2.55	0.0255	0.92	0.74	0.14	
12	201.725	1.952	0.1000	1.1220	2.55	0.0255	1.02	0.77	0.17	
13	201.745	2.05	0.0998	1.2218	2.55	0.0255	1.12	0.80	0.20	
14	201.764	2.148	0.1000	1.3219	2.55	0.0255	1.22	0.83	0.23	
15	201.784	2.246	0.0998	1.4217	2.55	0.0255	1.32	0.85	0.25	
16	201.803	2.344	0.1000	1.5217	2.55	0.0255	1.42	0.88	0.28	
17	201.823	2.442	0.1000	1.6217	2.55	0.0255	1.52	0.90	0.30	
18	201.843	2.54	0.0998	1.7215	2.55	0.0255	1.62	0.93	0.33	
19	201.862	2.638	0.1000	1.8216	2.55	0.0255	1.72	0.95	0.35	
20	201.882	2.736	0.1000	1.9216	2.55	0.0255	1.82	0.97	0.37	
21	201.902	2.834	0.0998	2.0214	2.55	0.0255	1.92	0.99	0.39	
22	201.921	2.932	0.1000	2.1214	2.55	0.0255	2.02	1.01	0.41	
23	201.941	3.03	0.0998	2.2213	2.55	0.0255	2.12	1.03	0.43	
24	201.96	3.128	0.1010	2.3223	2.55	0.0255	2.22	1.05	0.45	
25	201.98	3.227	0.1000	2.4223	2.55	0.0255	2.32	1.07	0.47	
26	202	3.325	0.0998	2.5221	2.55	0.0255	2.42	1.09	0.49	
27	202.019	3.423	0.1000	2.6221	2.55	0.0255	2.52	1.11	0.51	
28	202.039	3.521	0.1000	2.7221	2.55	0.0255	2.62	1.13	0.53	
29	202.059	3.619	0.0998	2.8220	2.55	0.0255	2.72	1.15	0.55	
30	202.078	3.717	0.1000	2.9220	2.55	0.0255	2.82	1.16	0.56	
31	202.098	3.815	0.0998	3.0218	2.55	0.0255	2.92	1.18	0.58	
32	202.117	3.913	0.1000	3.1218	2.55	0.0255	3.02	1.20	0.60	
33	202.137	4.011	0.1000	3.2218	2.55	0.0255	3.12	1.21	0.61	
34	202.157	4.109	0.0998	3.3217	2.55	0.0255	3.22	1.23	0.63	
35	202.176	4.207	0.1000	3.4217	2.55	0.0255	3.32	1.25	0.65	
36	202.196	4.305	0.0998	3.5215	2.55	0.0255	3.42	1.26	0.66	
37	202.215	4.403	0.1000	3.6215	2.55	0.0255	3.52	1.28	0.68	
38	202.235	4.501	0.1000	3.7216	2.55	0.0255	3.62	1.29	0.69	
39	202.255	4.599	0.0998	3.8214	2.55	0.0255	3.72	1.31	0.71	
40	202.274	4.697	0.1000	3.9214	2.55	0.0255	3.82	1.32	0.72	
41	202.294	4.795	0.1000	4.0214	2.55	0.0255	3.92	1.34	0.74	
42	202.314	4.893	0.1008	4.1222	2.55	0.0255	4.02	1.35	0.75	

43	202.333	4.992	0.1000	4.2222	2.55	0.0255	4.12	1.36	0.76
44	202.353	5.09	0.0998	4.3221	2.55	0.0255	4.22	1.38	0.78
45	202.372	5.188	0.1000	4.4221	2.55	0.0255	4.32	1.39	0.79
46	202.392	5.286	0.1000	4.5221	2.55	0.0255	4.42	1.40	0.80
47	202.412	5.384	0.0998	4.6219	2.55	0.0255	4.52	1.42	0.82
48	202.431	5.482	0.1000	4.7220	2.55	0.0255	4.62	1.43	0.83
49	202.451	5.58	0.1000	4.8220	2.55	0.0255	4.72	1.44	0.84
50	202.471	5.678	0.0998	4.9218	2.55	0.0255	4.82	1.46	0.86
51	202.49	5.776	0.0500	4.9718	2.55	0.0255	4.92	1.46	0.86
52	202.5	5.825	0.0500	5.0218	2.55	0.0255	4.97	1.47	0.87
53	202.51	5.874	0.0998	5.1216	2.55	0.0255	5.02	1.48	0.88
54	202.529	5.972	0.1000	5.2217	2.55	0.0255	5.12	1.49	0.89
55	202.549	6.07	0.1000	5.3217	2.55	0.0255	5.22	1.51	0.91
56	202.569	6.168	0.0998	5.4215	2.55	0.0255	5.32	1.52	0.92
57	202.588	6.266	0.1000	5.5215	2.55	0.0255	5.42	1.53	0.93
58	202.608	6.364	0.1000	5.6216	2.55	0.0255	5.52	1.54	0.94
59	202.628	6.462	0.0998	5.7214	2.55	0.0255	5.62	1.55	0.95
60	202.647	6.56	0.1000	5.8214	2.55	0.0255	5.72	1.57	0.97
61	202.667	6.658	0.1008	5.9222	2.55	0.0255	5.82	1.58	0.98
62	202.686	6.757	0.1000	6.0222	2.55	0.0255	5.92	1.59	0.99
63	202.706	6.855	0.1000	6.1222	2.55	0.0255	6.02	1.60	1.00
64	202.726	6.953	0.0998	6.2221	2.55	0.0255	6.12	1.61	1.01
65	202.745	7.051	0.1000	6.3221	2.55	0.0255	6.22	1.62	1.02
66	202.765	7.149	0.1000	6.4221	2.55	0.0255	6.32	1.63	1.03
67	202.785	7.247	0.0998	6.5219	2.55	0.0255	6.42	1.64	1.04
68	202.804	7.345	0.1000	6.6220	2.55	0.0255	6.52	1.65	1.05
69	202.824	7.443	0.0998	6.7218	2.55	0.0255	6.62	1.67	1.07
70	202.843	7.541	0.1000	6.8218	2.55	0.0255	6.72	1.68	1.08
71	202.863	7.639	0.1000	6.9218	2.55	0.0255	6.82	1.69	1.09
72	202.883	7.737	0.0998	7.0216	2.55	0.0255	6.92	1.70	1.10
73	202.902	7.835	0.1000	7.1217	2.55	0.0255	7.02	1.71	1.11
74	202.922	7.933	0.0998	7.2215	2.55	0.0255	7.12	1.72	1.12
75	202.941	8.031	0.1000	7.3215	2.55	0.0255	7.22	1.73	1.13
76	202.961	8.129	0.1000	7.4215	2.55	0.0255	7.32	1.74	1.14
77	202.981	8.227	0.0998	7.5214	2.55	0.0255	7.42	1.75	1.15
78	203	8.325	0.1000	7.6214	2.55	0.0255	7.52	1.76	1.16
79	203.02	8.423	0.1010	7.7224	2.55	0.0255	7.62	1.77	1.17
80	203.04	8.522	0.0998	7.8222	2.55	0.0255	7.72	1.78	1.18
81	203.059	8.62	0.1000	7.9222	2.55	0.0255	7.82	1.79	1.19
82	203.079	8.718	0.0998	8.0220	2.55	0.0255	7.92	1.80	1.20
83	203.098	8.816	0.1000	8.1221	2.55	0.0255	8.02	1.81	1.21
84	203.118	8.914	0.1000	8.2221	2.55	0.0255	8.12	1.82	1.22
85	203.138	9.012	0.0998	8.3219	2.55	0.0255	8.22	1.83	1.23
86	203.157	9.11	0.1000	8.4219	2.55	0.0255	8.32	1.83	1.23
87	203.177	9.208	0.1000	8.5219	2.55	0.0255	8.42	1.84	1.24
88	203.197	9.306	0.0998	8.6218	2.55	0.0255	8.52	1.85	1.25

