

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ
ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ**

υπό

ΓΙΑΝΝΑΚΑ ΜΑΡΙΑΝΝΑΣ
ΓΡΕΒΕΝΙΤΗ ΜΙΧΑΗΛ

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

2024

© 2024 Γιαννάκα Μαριάννα

© 2024 Γρεβενίτης Μιχαήλ

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 Θεοφιλάτος Αθανάσιος
 Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
 Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θέλουμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας προς τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μας, τον Καθηγητή κ. Ηλιού Νικόλαο, για την πολύτιμη συνδρομή και την καθοδήγησή του κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μας. Εκφράζουμε ιδιαίτερες ευχαριστίες προς τον κ. Καλιαμπέτσο Γεώργιο, επιστημονικό συνεργάτη στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την παραχώρηση του θέματος και τη στήριξη που παρείχε καθ' όλη την πορεία της εργασίας. Τέλος, εκφράζουμε ευγνωμοσύνη προς τις οικογένειές μας, τους συγγενείς, τους συμφοιτητές και τους φίλους μας για τη στήριξη που μας προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια.

Γιαννάκα Μαριάννα, Γρεβενίτης Μιχάλης

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Γιαννάκα Μαριάννα, Γρεβενίτης Μιχάλης

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2023

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

Περίληψη

Η σύγχρονη οδοποιία αντιμετωπίζει σημαντικές προκλήσεις που απαιτούν συνεχή εξέλιξη τεχνολογίας και μεθοδολογίας. Η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στην αλληλεπίδραση των όμβριων υδάτων με το οδόστρωμα, με στόχο την ανάδειξη των παραγόντων που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια και τη συνολική απόδοση του οδικού δικτύου. Η εργασία αυτή εστιάζει στα αποτελέσματα μελετών που χρησιμοποίησαν καινοτόμα μοντέλα τα οποία αναπτύχθηκαν από φοιτητές του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, χρησιμοποιώντας κυρίως το λογισμικό Anadelta Tessera για την ολοκληρωμένη μοντελοποίηση και ανάλυση δρόμων.

Η έρευνα εξετάσει καίριους παράγοντες που επηρεάζουν τη συσσώρευση νερού σε οδοστρώματα κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων, συμπεριλαμβανομένης της έντασης της βροχόπτωσης, του μήκους ροής, της κλίσης του συστατικού και του βάθους υφής της επιφάνειας του οδοστρώματος. Τα αποτελέσματα προσφέρουν πολύτιμες γνώσεις για τον σχεδιασμό και τις στρατηγικές συντήρησης των δρόμων.

Θα εξετασθεί η υδρολίσθηση, μια σημαντική ανησυχία που επηρεάζει τον έλεγχο των οχημάτων κατά τη διάρκεια υγρών συνθηκών. Παράγοντες όπως η γεωμετρία της οδού, η ταχύτητα του οχήματος, οι αυλακώσεις των ελαστικών και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας ελέγχονται αναλυτικά, οδηγώντας σε εφαρμόσιμα μέτρα για τη μείωση του κινδύνου.

Το λογισμικό Anadelta Tessera αναδεικνύεται σε βασικό εργαλείο, παρέχοντας μια μέθοδο για την ανάλυση της απορροής των όμβριων υδάτων.

Συμπερασματικά, η παρούσα εργασία συμβάλλει ουσιαστικά στη συζήτηση για τους παράγοντες απορροής των όμβριων υδάτων, παρουσιάζοντας μια ολιστική προσέγγιση που

ενσωματώνει θεωρητική ανάλυση, καινοτόμα μοντελοποίηση και πρακτικές λύσεις. Τα αποτελέσματα χρησιμεύουν ως πολύτιμη πηγή για τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας, την ενημέρωση των επιλογών σχεδιασμού και την ενίσχυση των στρατηγικών συντήρησης ενόψει δυσμενών καιρικών συνθηκών.

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	0
1.1	Δομή εργασίας.....	0
2	Θεωρητικό Υπόβαθρο	2
2.1	Επίκλιση οδοστρώματος.....	2
2.1.1	Συνισταμένης κλίσης οδοστρώματος	5
2.2	Γραμμές Ροής	13
2.3	Το Φαινόμενο της Υδρολίσθησης	14
3	Πάχος Υδατικής Στρώσης.....	18
3.1	Παράγοντες που επηρεάζουν το πάχος της υδατικής στρώσης.....	18
3.2	Υπολογισμός Πάχους Υδάτινης Στρώσης	19
3.3	Πάχος Υδατικής Στρώσης	25
3.4	Λοξές κορυφογραμμές	27
3.5	Παράμετροι Επιρροής Πάχους Υδάτινης Στρώσης	29
3.6	Συμπεράσματα Πάχους Υδάτινης Στρώσης.....	32
4	Παρουσίαση Λογισμικού Anadelta Tessera.....	34
4.1	Βασικές Λειτουργίες.....	34
4.2	Κλίσεις Οδοστρώματος	39
5	Χρήση του Anadelta Tessera.....	44
5.1	Δημιουργία μοντέλου οδού	44
6	Εργασίες.....	50
6.1	Εργασία 1 ^η	50
6.2	Εργασία 2 ^η	51
6.3	Εργασία 3 ^η	53
6.4	Εργασία 4 ^η	54
7	Συμπεράσματα	56

8	Βιβλιογραφικές Αναφορές	58
---	-------------------------------	----

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 3.1 Πάχος υδάτινης στρώσης πάνω στο οδόστρωμα για ένταση βροχόπτωσης και σταθερό μήκος ροής 4m	20
Γράφημα 3.2 Πάχος υδάτινης στρώσης πάνω στο οδόστρωμα για διαφορετική ένταση βροχόπτωσης και σταθερό μήκος ροής 8m	21
Γράφημα 3.3 Πάχος υδάτινης στρώσης σε συνάρτηση του μήκους ροής.....	22
Γράφημα 3.4 Πάχος υδάτινης στρώσης σε συνάρτηση με τη συνισταμένη κλίση	23

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Οριακές τιμές πρόσθετης κλίσης οριογραμμών Δs για ομάδες οδών Α και Β (ΟΜΟΕ-Χ,2001)	4
Πίνακας 3.1 Τιμές ελάχιστου βάθους επιφανειακής υφής	25
Πίνακας 3.2 Σχέση χαρακτηριστικών παραμέτρων - βάθους νερού υδρολίσθησης	30

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Μεταβολή επίκλισης (Ψαριανός, 2018).....	3
Σχήμα 2.2 Κλίση υπερύψωσης Δ_s (Ψαριανός, 2018).....	4
Σχήμα 2.3 Σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνισταμένης κλίσης. (Καλιαμπέτσος, 2017)	6
Σχήμα 2.4 Προβληματική περιοχή κυκλικής δομής.....	11
Σχήμα 2.5 Προβληματική περιοχή ελλειπτικής δομής.....	12
Σχήμα 2.6 Περιοχές επιφάνειας οδοστρώματος με κλίση $\rho < \rho_0 = 0,5\%$, ανάλογα με την κλίση κατά μήκος (για $\Delta_s = 0,75\%$)	13
Σχήμα 2.7 Γραμμές ροής	14
Σχήμα 3.1 Σχηματισμός πάχους υδάτινης στρώσης στην επιφάνεια του οδοστρώματος. (ΟΜΟΕ - ΑΣΥΕΟ, 2002).....	19
Σχήμα 3.2 Κλίμακες επιφανειακής υφής (Sandburg, 1998).....	23
Σχήμα 3.3 Παρουσίαση μοντέλου δρόμου	26
Σχήμα 3.4 Προβληματική περιοχή	26
Σχήμα 3.5 Γραμμές ροής μοντέλου	27
Σχήμα 3.6 Κλασική περιστροφή οδοστρώματος.....	28
Σχήμα 3.7 Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από $-2,5\%$ σε $2,5\%$	29
Σχήμα 4.1 Περιβάλλον Οριζόντιας Χάραξης του Anadelta Tessera.....	35
Σχήμα 4.2 Περιβάλλον μηκοτομής του Anadelta Tessera	36
Σχήμα 4.3 Περιβάλλον διατομών του Anadelta Tessera.....	37
Σχήμα 4.4 Τυπικές εργασίες στο Anadelta Tessera	38
Σχήμα 4.5 Μέρος ερυθράς με διάγραμμα κλίσεων και σημειογραφία σχετικών μεγεθών ανά διατομή (Anadelta Tessera).....	40
Σχήμα 4.6 Επιλογή και προσαρμογή χρωματικών κλιμάκων και διαστήματος ανάλυσης (βήμα) στο Anadelta Tessera.....	41

Σχήμα 4.7 Χρωματική απεικόνιση της συνισταμένης κλίσης του καταστρώματος του οδοστρώματος στο Anadelta Tessera	42
Σχήμα 5.1 Εισαγωγή συντεταγμένων X και Y κάθε κορυφής	45
Σχήμα 5.2 Στοιχεία κορυφής	45
Σχήμα 5.3 Εισαγωγή στοιχείων πολυγωνικής	46
Σχήμα 5.4 Εισαγωγή πρόσθετων στοιχείων μηκοτομής	47
Σχήμα 5.5 Μαζικός υπολογισμός διατομών	47
Σχήμα 6.1 Τελικό αποτέλεσμα 1 ^{ης} Μελέτης.....	51
Σχήμα 6.2 Πάχος νερού για την 17η γραμμή ροής συναρτήσει της κλίσης.....	52
Σχήμα 6.3 Πάχος νερού για την 19η γραμμή ροής συναρτήσει του μήκους.	52
Σχήμα 6.4 Περιστροφή οδοστρώματος με εφαρμογή λοξών κορυφογραμμών με μεταβολή της επίκλισης από -2.5% σε 2.5%.....	53
Σχήμα 6.5 Απεικόνιση της λοξής υπερύψωσης με εφαρμοζόμενη κατακόρυφη καμπύλη.....	54

1 Εισαγωγή

Η σύγχρονη οδοποιία απαιτεί τη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας και της μεθοδολογίας, προκειμένου να αντιμετωπίζει αποτελεσματικά τις προκλήσεις που προκύπτουν από τις δυναμικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην εξέταση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των όμβριων υδάτων και του οδοστρώματος, με σκοπό την ανάδειξη των παραγόντων που επηρεάζουν την οδική ασφάλεια και την συνολική απόδοση του οδικού δικτύου.

Η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση των υδάτων στο οδόστρωμα, αναδεικνύει τη σημασία των μελετών που πραγματοποιήθηκε από φοιτητές του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Τα μοντέλα αυτά αντιπροσωπεύουν σημαντικούς συνδυασμούς οριζοντιογραφίας και μηκοτομής, παρέχοντας συγκεκριμένες πληροφορίες για την αντιμετώπιση παραγόντων που επηρεάζουν τη συσσώρευση νερού στο οδόστρωμα κατά τη διάρκεια βροχής. Αναλύθηκαν παράγοντες όπως η ένταση της βροχής, το μήκος της ροής, η συνισταμένη κλίση της διαδρομής της ροής, και το βάθος της υφής της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Τα αποτελέσματα της έρευνας παρουσιάζονται εκτενώς, επικεντρώνοντας την ανάλυση στις επιπτώσεις της οριζοντιογραφίας και μηκοτομής στη διαχείριση των προβληματικών περιοχών.

Συνολικά, τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας αποτελούν σημαντική συνεισφορά στον τομέα της οδοποιίας, παρέχοντας πολύτιμα εργαλεία για τη βελτίωση των στρατηγικών σχεδιασμού και συντήρησης του οδικού δικτύου, καθώς και στην πρόληψη προβληματικών καταστάσεων.

1.1 Δομή εργασίας

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο που εξετάστηκε για την υλοποίηση της έρευνας. Αναλύεται η μαθηματική περιγραφή, περιλαμβάνοντας τον

προσδιορισμό της επίκλισης, της πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών και τον υπολογισμό της συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος. Επιπλέον, παρέχεται λεπτομερής περιγραφή του φαινομένου της υδρολίσθησης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, εξετάζεται το πάχος της υδατικής στρώσης στο οδόστρωμα. Περιλαμβάνεται η ανάλυση των παραγόντων που το επηρεάζουν, η εξίσωση για τον υπολογισμό του, καθώς και οι παράμετροι που καθορίζουν το αποδεκτό πάχος της υδατικής στρώσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται η εισαγωγή στο λογισμικό Anadelta Tessera, το οποίο χρησιμοποιήθηκε σημαντικά για τη δημιουργία μοντέλων οδών και τη συλλογή αποτελεσμάτων ως προς την επίδραση των όμβριων στο οδόστρωμα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία μοντέλων οδών, καθένα με διαφορετικά χαρακτηριστικά, με σκοπό την απόκτηση σημαντικών πληροφοριών σχετικά με τον τρόπο που τα βρόχινα νερά επηρεάζουν την κίνηση των οχημάτων πάνω στο οδόστρωμα.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πορίσματα των εργασιών που διεξήχθησαν από φοιτητές του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Στο έβδομο κεφάλαιο, περιγράφονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας.

Στο όγδοο κεφάλαιο, παρατίθενται οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της εργασίας.

2 Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Επίκλιση οδοστρώματος

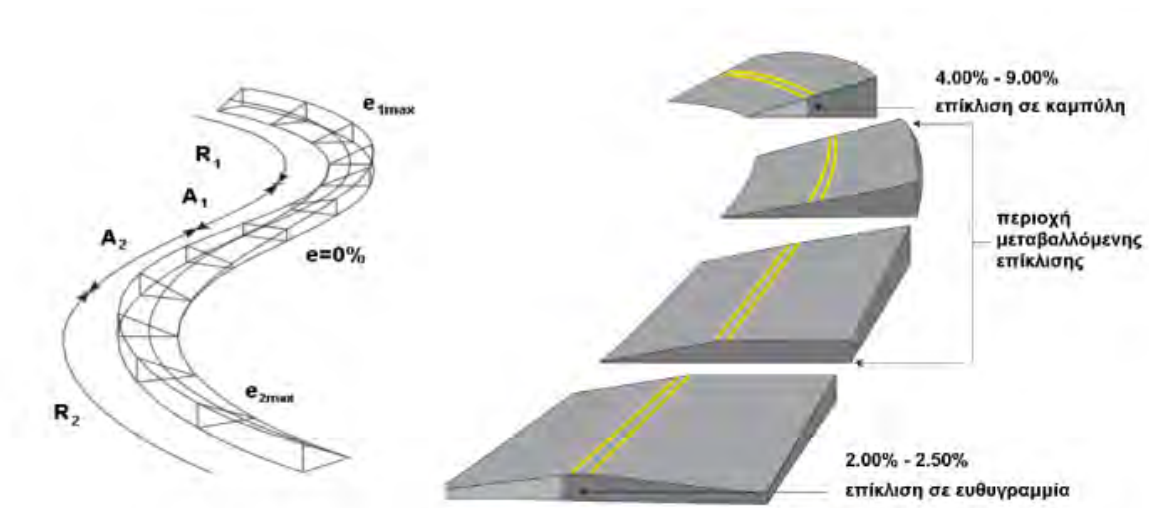
Η επίκλιση του οδοστρώματος πρέπει να είναι ικανοποιητική ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση νερού κατά τη διάρκεια της βροχής. Για όλες τις κατηγορίες οδών, η ελάχιστη ή τυπική επίκλιση στην ευθυγραμμία πρέπει να είναι 2,5%. Στα κυκλικά τόξα, η υπερύψωση του οδοστρώματος πρέπει να είναι κεκλιμένη προς το εσωτερικό της καμπύλης για λόγους δυναμικής της κίνησης. (Lamm et all 1999)

Για δεδομένη ταχύτητα, η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας καθορίζεται από τον συνδυασμό της μέγιστης επίκλισης και της θεωρητικής τιμής του μέγιστου επιτρεπόμενου συντελεστή πλευρικής τριβής. Η μέγιστη τιμή της επίκλισης εξαρτάται από τον τύπο της οδού και το έδαφος, ενώ η ελάχιστη τιμή της υπερύψωσης στις κυκλικές καμπύλες είναι 2,5%.

Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη επίκλιση σε κυκλικές καμπύλες είναι:

- για οδούς κατηγορίας A σε πεδινά εδάφη (υπεραστικοί οδοί) 8%
- για οδούς κατηγορίας A σε λοφώδη και ορεινά εδάφη (υπεραστικοί οδοί) 7%
- για οδούς κατηγορίας B (αστικές και ημιαστικές οδοί) 6%

Η μεταβολή της επίκλισης από την ευθυγραμμία στην κυκλική καμπύλη συμβαίνει στο μήκος της καμπύλης συναρμογής και πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη για βέλτιστη απορροή. Πρέπει να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί λόγω αισθητικής ή περιστροφής.



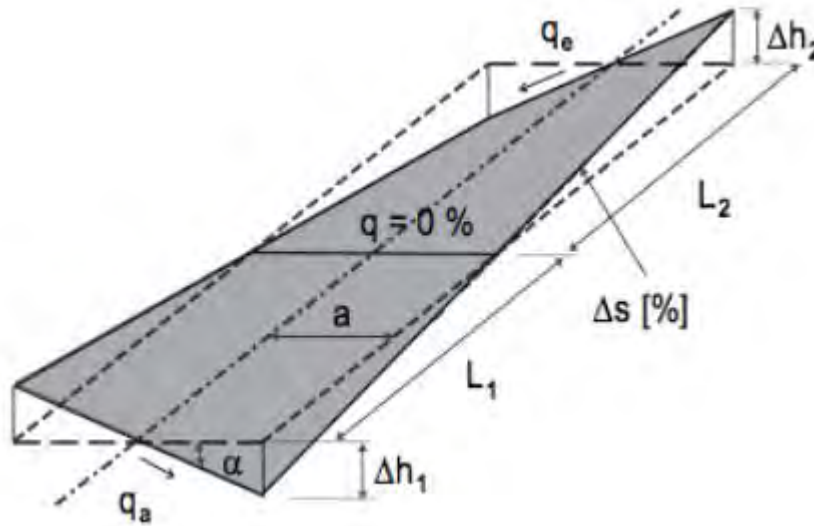
Σχήμα 2.1 Μεταβολή επίκλισης (Ψαριανός, 2018)

Το απαιτούμενο μήκος για τη μεταβολή της επίκλισης πρέπει να επαρκεί, ώστε να διασφαλίζεται η αισθητική του δρόμου, η ασφάλεια και η ποιότητα της οδήγησης. Η σχετική κλίση ή όπως αλλιώς ονομάζεται η πρόσθετη κλίση οριογραμμών, δίνεται από την παρακάτω σχέση (Lamm, R., Psarianos, B. and Mailaender, T., 1999) που συνδέει την κατά μήκος κλίση της οριογραμμής με την κατά μήκος κλίση του άξονα.

$$\Delta_s = \frac{q_T - q_a}{L_v} \cdot \alpha \quad (2.1)$$

όπου:

- Δ_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
- α : 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 Δs (Ψαριανός, 2018)

Η μέγιστη τιμή της πρόσθετης κλίσης οριογραμμών $\Delta s_{\max}$, δεν μπορεί να υπερβαίνει τις τιμές του Πίνακα 2.1 όσον αφορά τις ομάδες Α και Β λόγω οπτικών και δυναμικών παραγόντων.

V_e [km/h]	$\Delta s_{\max}$, [%] για		$\Delta s_{\min}$, [%]
	$\alpha < 4.00$ m	$\alpha \geq 4.00$ m	
50	$0.50 \cdot \alpha$	2.00	$0.10 \cdot \alpha$ ($\leq \Delta s_{\max}$)
60-70	$0.40 \cdot \alpha$	1.60	
80-90	$0.25 \cdot \alpha$	1.00	
100-130	$0.20 \cdot \alpha$	0.90	

Πίνακας 2.1 Οριακές τιμές πρόσθετης κλίσης οριογραμμών Δs για ομάδες οδών Α και Β (ΟΜΟΕ-Χ,2001)

Οι Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων συνιστούν η διαφορά της κατά μήκος κλίσης και της πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών να είναι το ελάχιστο 0,50%, για να εξασφαλίζεται η απορροή των ομβρίων της οδού. Η s (%) αναπαριστά την κατά μήκος κλίση της οδού και η Δs (%) αναπαριστά την πρόσθετη κλίση των οριογραμμών.

$$s - \Delta s \geq 0,50\% \quad (2.2)$$

όπου:

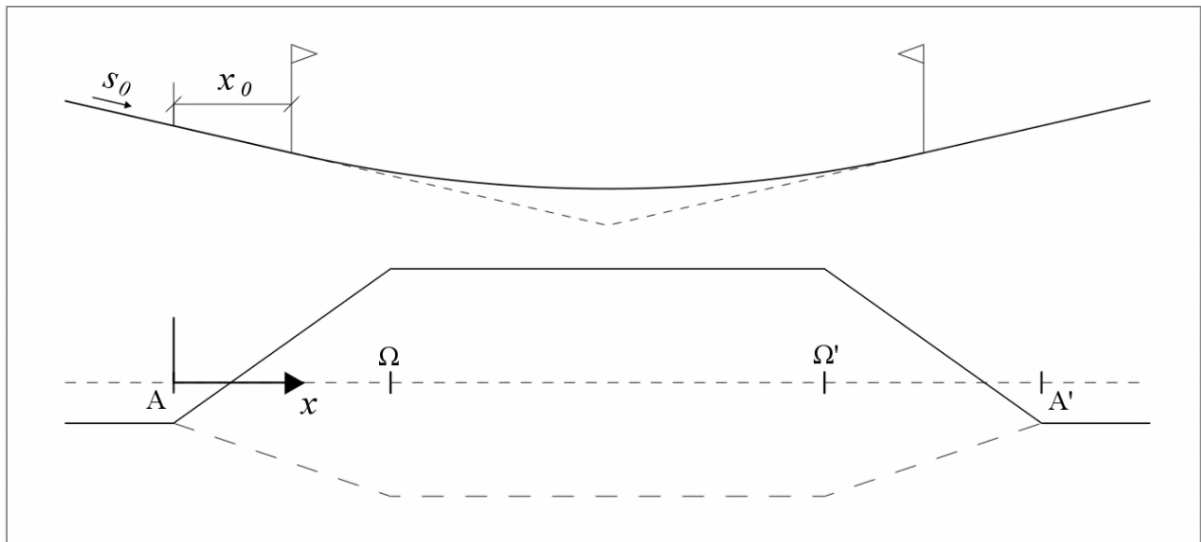
- s [%] = κατά μήκος κλίση της οδού
- Δs [%] = πρόσθετη κλίση των οριογραμμών.

Ωστόσο, είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται αξιολογήσεις για πιθανά ζητήματα σε κάθε διατομή και σε κάθε χιλιομετρική τοποθεσία. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο έχει επινοηθεί ο ακόλουθος τύπος για τον προσδιορισμό της συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος.

2.1.1 Συνισταμένη κλίση οδοστρώματος

Γίνεται μελέτη μιας περιοχής του οδοστρώματος με συνδυασμό οριζόντιας και κατακόρυφης χάραξης, που μπορεί να οδηγήσει σε κακή απορροή των όμβριων. Η καθοδική κατά μήκος κλίση, που μειώνεται συνεχώς, συνδυάζεται με την καμπύλη συναρμογής εισόδου της οριζόντιας καμπύλης. (Καλιαμπέτσος Γ., 2017)

Η περιοχή αυτή είναι μία από τις δύο κρίσιμες περιοχές που προκύπτουν από τον συνδυασμό οριζόντιας καμπύλης με κοίλη καμπύλη μηκοτομής. Η ανάλυση θα περιλάβει και την περίπτωση της κυρτής κατακόρυφης καμπύλης. Θα μελετηθεί η συνισταμένη κλίση μόνο στο εξωτερικό ρεύμα του τμήματος του οδοστρώματος που αντιστοιχεί στην κλωθοειδή εισόδου. Τα συμπεράσματα μπορούν να εφαρμοστούν ανάλογα και στο τμήμα του οδοστρώματος που αντιστοιχεί στην κλωθοειδή εξόδου, στην άλλη κρίσιμη περιοχή. Στην περίπτωση αυτή, η απόσταση x μετριέται από το A' προς την αρχή της καμπύλης και αντιστρέφεται το πρόσημο της κατά μήκος κλίσης. Η χάραξη που απεικονίζεται στο [Σχήμα 2.3](#) είναι συμμετρική ως προς το κέντρο της στροφής, όμως η ανάλυση που θα ακολουθήσει δεν έχει σαν προϋπόθεση αυτή τη συμμετρία.



Σχήμα 2.3 Σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνισταμένης κλίσης. (Καλιαμπέτσος, 2017)

Γίνεται επιλογή ενός συστήματος συντεταγμένων, όπου η τετμημένη x αντιπροσωπεύει την απόσταση από την αρχή της οριζόντιας καμπύλης (αλλά και της καμπύλης συναρμογής, της κλωθοειδούς) κατά μήκος του άξονα του δρόμου. Η τεταγμένη y αντιπροσωπεύει την εγκάρσια απόσταση από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος, ο οποίος συμπίπτει με τον άξονα του δρόμου. Η συνισταμένη κλίση είναι πάντα μεγαλύτερη ή ίση του μηδενός σε οποιαδήποτε θέση του οδοστρώματος και δίνεται από την σχέση:

$$\rho(x, y) = \sqrt{(S_x + \Delta s_y)^2 + q_x^2} \quad (2.3)$$

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_0 : κατά μήκος κλίση του άξονα στην εφαπτομένη πριν την κατακόρυφη καμπύλη συναρμογής
- n : πρόσημο (+1) για κοίλη καμπύλης συναρμογής ή (-1) για κυρτή καμπύλη συναρμογής, (0) στην περίπτωση σταθερής κατά μήκος κλίσης
- 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
- Δs_y : πρόσθετη κατά μήκος κλίση σε απόσταση y από τον άξονα του δρόμο

$$\Delta S_y = \frac{q+q_0}{L}y \quad (2.4)$$

Όπου τώρα:

- q_0 : επίκλιση στην ευθυγραμμία
- q : επίκλιση στο κυκλικό τόξο
- L :μήκος μεταβολής - περιστροφής του οδοστρώματος, που συνήθως ισούται με το μήκος κλωθοειδούς y : απόσταση από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος
- S_x : κατά μήκος κλίση του άξονα σε απόσταση x από το σημείο A, αρχή της οριζόντιας καμπύλης

$$s_x = s_0 + n \frac{x}{R} \quad \forall x \geq 0 \quad (2.5)$$

Όπου τώρα:

- S_0 : κατά μήκος κλίση του άξονα στην εφαπτομένη πριν την κατακόρυφη καμπύλη συναρμογής
- q_x : η επίκλιση σε απόσταση x , επίσης από την αρχή της καμπύλης

$$-q_0 + \frac{q+q_0}{L}x, \quad (2.6)$$

Για την απλούστερη αναπαράσταση των τύπων, ορίζεται η σταθερά C , η οποία παριστάνει τη μεταβολή της επίκλισης ανά μονάδα μήκους και υπολογίζεται από την σχέση:

$$C = \frac{q+q_0}{L}, \text{ όπου:} \quad (2.7)$$

- 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

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

$$s_x = s_0 + \frac{x}{R}n, \forall x \geq 0, \text{ όπου:} \quad (2.8)$$

- 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 καμπύλης 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

Η σύνθετη κλίση οποιουδήποτε σημείου με συντεταγμένες (x,y) πάνω στο οδόστρωμα ορίζεται από το άθροισμα $s_x + \Delta_{sy}$.

Το μέγεθος n επιλέχτηκε έτσι ώστε η χειρότερη περίπτωση να αντιστοιχεί σε θετικό αποτέλεσμα. Επιπροσθέτως, αν λάβουμε υπόψη ότι η αρχή της κατακόρυφης καμπύλης βρίσκεται σε απόσταση x_0 μετά την αρχή της οριζόντιας καμπύλης συναρμογής, όπως φαίνεται στο [Σχήμα 2.3](#), τότε η [σχέση 2.8](#) λαμβάνει την ακόλουθη μορφή:

$$s_x = s_0 + \frac{x-x_0}{R}n, \forall x \geq x_0, \quad (2.9)$$

όπου:

- x : η απόσταση από την αρχή της οριζόντιας καμπύλης συναρμογής, η οποία λαμβάνεται πάντα μεγαλύτερη του μηδενός και ίση ή μεγαλύτερη της απόστασης
- x_0 : η απόσταση της αρχής της κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής από την αρχή της οριζόντιας καμπύλης

Στην περίπτωση που η αρχή της οριζόντιας καμπύλης συναρμογής είναι μετά την κατακόρυφη καμπύλη, η απόσταση x_0 θα έχει αρνητικό πρόσημο και θα ισχύει $x \geq x_0$. Το διάστημα στο οποίο γίνεται η μελέτη θα είναι $x \geq 0$.

Η περιοχή μελέτης που μας δίνει πιο αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα είναι η $x \geq \max(x_0, 0)$ αλλά ταυτόχρονα είναι και η πιο περίπλοκη περιοχή, καθώς σε αυτή συναντάται ο

συνδυασμός των μεταβλητών της επίκλισης και της κατά μήκος κλίσης. Στο τμήμα της κλωθοειδούς το οποίο αντιστοιχείται στην περιοχή όπου το θετικό $x < x_0$, δεν χρειάζεται σημαντική μελέτη αφού η κατα μήκος κλίσης παραμένει σταθερή και τελικά μπορεί να μελετηθεί με την παραπάνω σχέση θέτωντας όπου $n=0$ δηλαδή, η κλίση είναι ίση με s_0 .

Για $x > x_0$ η κλίση δεν είναι σταθερή και εξετάζουμε το διάστημα αυτό, επιλέγοντας το σημείο A της αρχής της κατακόρυφης καμπύλης της κλωθοειδούς. Σε αυτό το διάστημα συνδυάζονται η μεταβλητή επίκλιση με τη μεταβλητή κατά μήκος κλίση. Η μελέτη πραγματοποιείται σε ολόκληρο το διάστημα. Στο τμήμα της κλωθοειδούς όπου η κατά μήκος κλίση είναι σταθερή, ανάγεται στην αρχική περίπτωση με $x < x_0$ και σταθερή κλίση s_0 .

Αν υπάρχουν σημεία στα οποία μηδενίζεται η συνισταμένη κλίση, τότε η επίκλιση και η σύνθετη κατά μήκος κλίση είναι και οι δύο μηδενικές. Η θέση στην οποία μηδενίζεται η επίκλιση προσδιορίζεται από την τιμή του x στην οποία μηδενίζεται η q_x και αυτό συμβαίνει σε απόσταση $x=x_c$ από την αρχή της καμπύλης. Από την [σχέση 2.6](#) προκύπτει:

$$0 = -q_0 + \frac{q + q_0}{L} \cdot x$$

αν και μόνο αν:

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

Η απόσταση από την αρχή στην οποία βρίσκεται το σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης $\rho(x,y)$ και με αντικατάσταση της μεταβλητή C, η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$X_c = \frac{q_0}{C} \quad (2.11)$$

Η σύνθετη κατά μήκος κλίση μηδενίζεται όταν η τιμή της συνολικής κλίσης ($s_x + \Delta s_y$), η οποία εξαρτάται από την τιμή του y , είναι ίση με μηδέν. Αυτό συμβαίνει σε απόσταση $y=Y_x$ από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος, όπου η Y_x προσδιορίζεται από την [σχέση 2.5](#) και την [σχέση 2.9](#).

$$0 = y \frac{q + q_0}{L} + s_0 + n \frac{x - x_0}{R}$$

Εφόσον ισχύει:

$$Y_x = \frac{-L}{q+q_0} (s_0 + n \frac{x-x_0}{R}) \quad (2.12)$$

Η σχέση αυτή δίνει την εγκάρσια απόσταση των σημείων μηδενισμού της σύνθετης κατά μήκος κλίσης από τον άξονα του δρόμου, βάσει της απόστασης x από την αρχή της οριζόντιας καμπύλης. Το σημείο μηδενισμού της σύνθετης κλίσης, δηλαδή $s_x=0$ και ταυτόχρονα $\Delta s_y=0$, καθορίζεται από την σύνθεση των δύο προηγούμενων σχέσεων (όπου $x=X_c$ στην [σχέση 2.12](#) και μας δίνει μία νέα σχέση:

$$Y_c = \frac{-L}{q + q_0} \left(s_0 + n \frac{L \frac{q_0}{q + q_0} - x_0}{R} \right)$$

αν ισχύει:

$$Y_c = \frac{-L}{q + q_0} \left(s_0 - n \frac{x_0}{R} + n \frac{L q_0}{R(q + q_0)} \right) \quad (2.13)$$

Με αντικατάσταση της [σχέσης 2.7](#) στην παραπάνω σχέση και θεωρώντας $n=0$, λαμβάνουμε την σχέση:

$$Y_c = -\frac{s_0}{C} \quad (2.14)$$

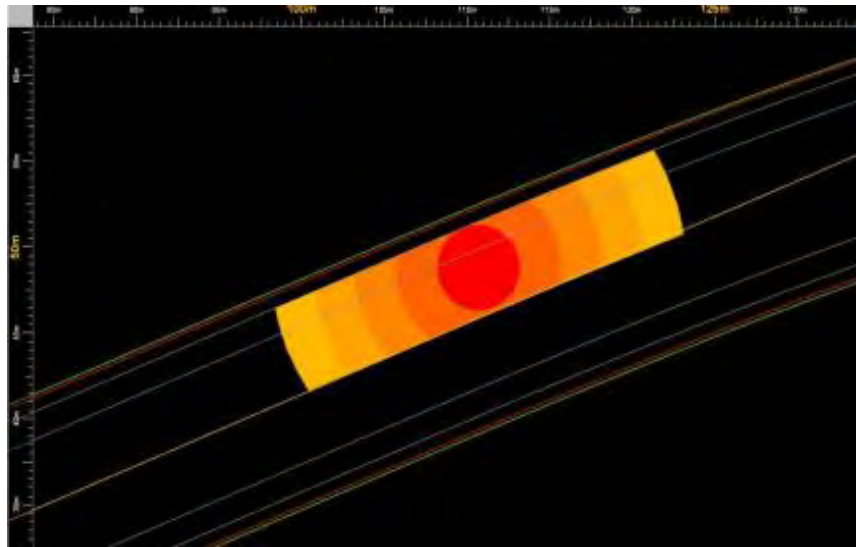
Η ακτίνα των κυκλικών δομών (Καλιαμπέτσος Γ., 2017) θα είναι:

$$r_{ab} = \frac{\rho_0}{C} \quad (2.15)$$

Στην περίπτωση που η τιμή του Y_c είναι θετική, $Y_c > 0$, και μικρότερη του πλάτους του οδοστρώματος, υπάρχει ένα μοναδικό σημείο M με συντεταγμένες (X_c, Y_c) , όπου η συνισταμένη κλίση εντός του οδοστρώματος είναι μηδέν. Αν δεν υπάρχει τέτοιο σημείο τότε αυτό δεν υποδηλώνει πως για το πρόβλημα της απορροής έχει βρεθεί λύση.

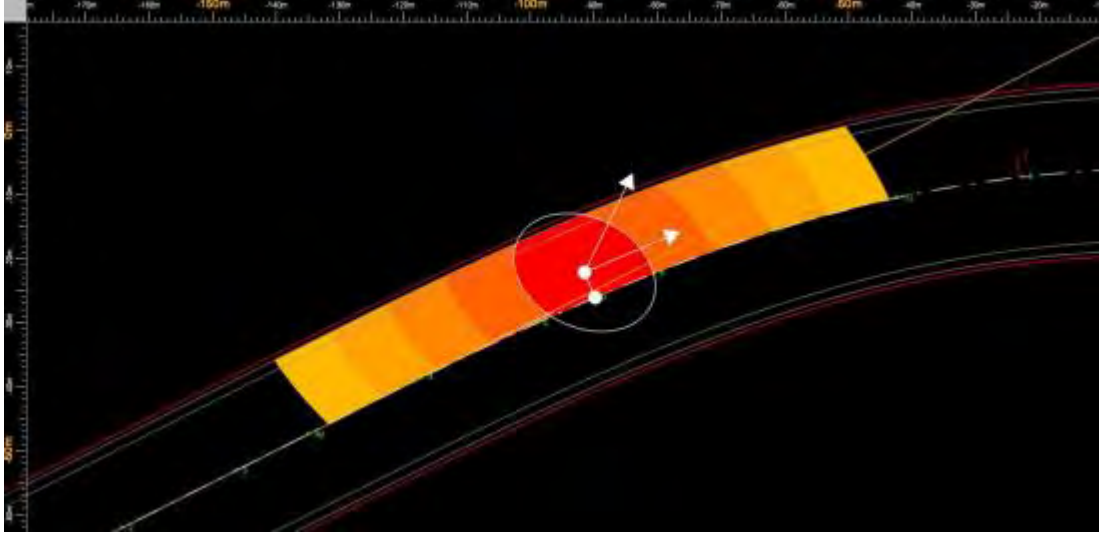
Οι συντεταγμένες X_c , Y_c καθορίζουν το σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης, το οποίο αποτελεί το κέντρο μιας περιοχής που χαρακτηρίζεται ως προβληματική διότι η συνισταμένη κλίση είναι μικρότερη του 0,5% και η απορροή των υδάτων είναι κακή. Η μορφή της προβληματικής περιοχής διαφέρει ανάλογα με το αν έχουμε σταθερή ή μεταβαλλόμενη κλίση μήκους στο μήκος της καμπύλης συναρμογής.

Η πρώτη περίπτωση απεικονίζει μια κρίσιμη περιοχή με κυκλική δομή, όπως φαίνεται στο [σχήμα 2.4](#). Στο πρόγραμμα Anadelta Tessera γίνεται εύκολος ο εντοπισμός αυτών των περιοχών καθώς δημιουργούνται και άλλες ομόκεντρες κυκλικές δομές διαφορετικών χρωμάτων, οι οποίες ορίζουν περιοχές με συγκεκριμένο εύρος τιμών συνισταμένης κλίσης οδοστρώματος. Το Anadelta Tessera είναι λογισμικό ειδικά σχεδιασμένο για οδοποιία και περιλαμβάνει σχεδιαστικές δυνατότητες και λειτουργίες διαχείρισης του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και σχεδιασμού οδικών δικτύων.



Σχήμα 2.4 Προβληματική περιοχή κυκλικής δομής

Στη δεύτερη περίπτωση, η προβληματική περιοχή απεικονίζεται με ελλειπτική δομή, όπου τα όρια της περιοχής ορίζονται από την περίμετρο μιας έλλειψης και η κλίση του οδοστρώματος είναι μικρότερη του 0,5%. Στο [σχήμα 2.5](#) απεικονίζεται αυτή η δομή με την έλλειψη κόκκινου χρώματος, ενώ στο πρόγραμμα Anadelta Tessera δημιουργούνται και άλλες ομόκεντρες ελλειπτικές δομές διαφορετικών χρωμάτων για να απεικονιστούν διαφορετικά εύρη τιμών συνισταμένης κλίσης οδοστρώματος.



Σχήμα 2.5 Προβληματική περιοχή ελλειπτικής δομής

Η εγκάρσια απόσταση του σημείου μηδενισμού από τον άξονα του δρόμου, σύμφωνα με την [σχέση 2.10](#) και την ενσωμάτωση της σταθεράς C , γράφεται:

$$Y_c = \frac{-1}{C} \left(s_0 - n \frac{x_0}{R} + n \frac{q_0}{CR} \right) \quad (2.16)$$

Το μήκος των ημιαξόνων των ελλείψεων (Καλιαμπέτσος, 2017) θα δίνεται από τις σχέσεις:

$$a = \frac{\rho_0}{\sqrt{C^2 + \frac{1 + \sqrt{1 + 4C^2 R^2}}{2R^2}}} \quad (2.17),$$

$$b = \frac{\rho_0}{\sqrt{C^2 + \frac{1 + \sqrt{1 + 4C^2 R^2}}{2R^2}}} \quad (2.18)$$

και η γωνία θ της έλλειψης (Καλιαμπέτσος, 2017) θα είναι:

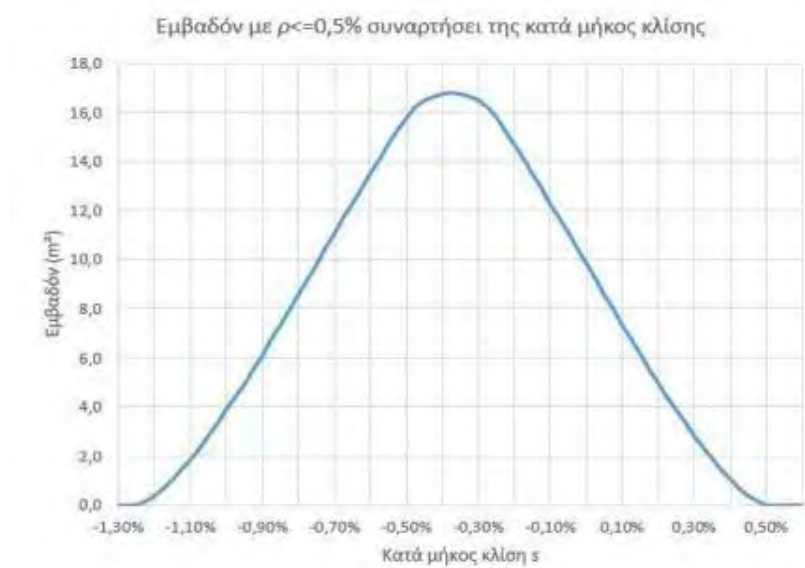
$$\theta = \cos^{-1} n \sqrt{\frac{1 + \sqrt{1 + 4C^2 R^2}}{2\sqrt{1 + 4C^2 R^2}}} \quad (2.19)$$

Η μέγιστη επιφάνεια των κυκλικών δομών επιτυγχάνεται όταν το κέντρο τους, δηλαδή το σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης, βρίσκεται στο κέντρο του ρεύματος, δηλαδή για

$$Y_c = \frac{a}{2} \quad (2.20)$$

Από την [σχέση 2.14](#) λύνοντας ως προς το s_0 , προκύπτει η τιμή της σταθερής κλίσης η οποία αντιστοιχεί στη θέση αυτή:

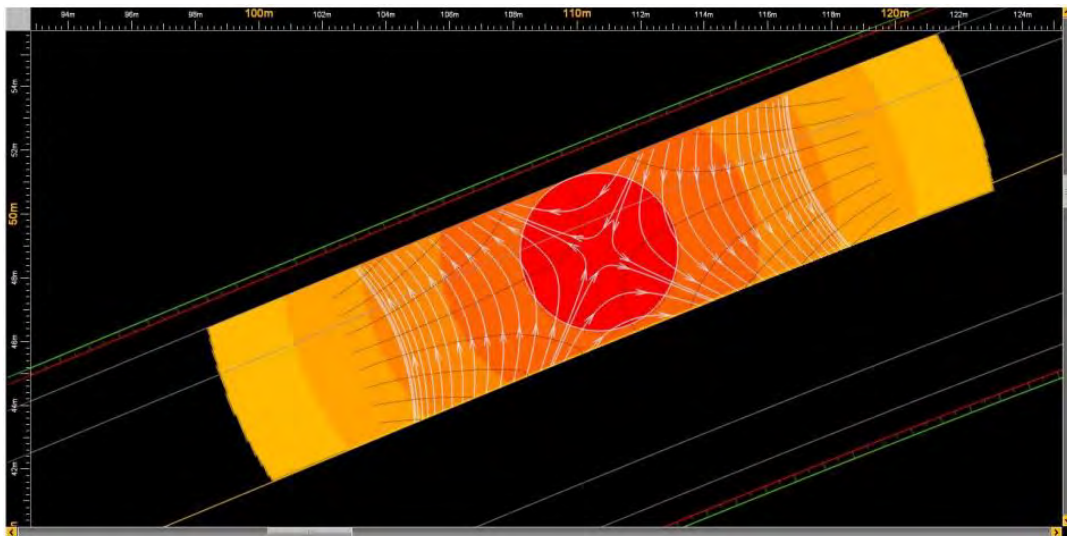
$$Y_c = -\frac{\Delta s}{2} \quad (2.21)$$



Σχήμα 2.6 Περιοχές επιφάνειας οδοστρώματος με κλίση $\rho < \rho_0 = 0,5\%$, ανάλογα με την κλίση κατά μήκος (για $\Delta_s = 0,75\%$)

2.2 Γραμμές Ροής

Οι γραμμές ροής απεικονίζουν την πορεία που ακολουθεί το ρευστό πάνω στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Είναι πάντοτε κάθετες στις ισοϋψείς γραμμές, με το νερό να ρέει από περιοχές υψηλού υδραυλικού φορτίου σε αυτές με χαμηλό υδραυλικό φορτίο (από υψηλότερα σε χαμηλότερα υψόμετρα).



Σχήμα 2.7 Γραμμές ροής

Το κέντρο της κρίσιμης περιοχής, δηλαδή το σημείο στο οποίο η κλίση μηδενίζεται, παρουσιάζεται στην αρχή της καμπύλης συναρμογής. Παρατηρείται πως το μήκος των γραμμών ροής είναι μεγαλύτερο στο κέντρο της κρίσιμης περιοχής σε σύγκριση με αυτό στα άκρα της. Αυτό συμβαίνει επειδή η κλίση μειώνεται, έχοντας σαν αποτέλεσμα την αύξηση του ύψους νερού στο τέλος κάθε γραμμής.

2.3 Το Φαινόμενο της Υδρολίσθησης

Με τον όρο “Υδρολίσθηση” εννοούμε το φαινόμενο κατά το οποίο μία στρώση νερού διαχωρίζει την επαφή του οδοστρώματος από το ελαστικό του οχήματος. Πιο αναλυτικά, η υδρολίσθηση συμβαίνει όταν ένα ελαστικό κινείται πάνω σε οδόστρωμα με περισσότερη υγρασία από αυτή που μπορεί να απομακρύνει έχοντας σαν αποτέλεσμα τον ολοκληρωτικό διαχωρισμό του από αυτό και κατά συνέπεια την μείωση ικανότητας ελέγχου του οχήματος άρα την αύξηση πιθανότητας ατυχήματος. Εμφανίζεται υπό συγκεκριμένες συνθήκες όπως όταν το όχημα κινείται με υψηλή ταχύτητα και η αποστράγγιση του νερού από την επιφάνεια του οδοστρώματος δεν γίνεται σωστά.

Σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ η υδρολίσθηση είναι ένα φαινόμενο που διαμορφώνεται από αρκετούς συντελεστές όπως είναι:

- Η γεωμετρία του οδοστρώματος. Πιο συγκεκριμένα, η εγκάρσια κλίση της οδού ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την γρήγορη απομάκρυνση του νερού από το

οδόστρωμα. Η μικρότερη τιμή της εγκάρσιας κλίσης είναι 2,5% και σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-Χ η μετάβαση της εγκάρσιας κλίσης από -2,5% σε +2.5% πρέπει να ελαχιστοποιείται όσο το δυνατόν περισσότερο,

- Η τραχύτητα με την οποία κινείται το όχημα,
- Το σύνολο των αυλακώσεων, δηλαδή το πέλμα των ελαστικών των οχημάτων, που στόχος τους είναι η διατήρηση της πρόσφυσης στο οδόστρωμα,
- Η πίεση των ελαστικών στους τροχούς των οχημάτων,
- Χαρακτηριστικά της επιφάνειας του οδοστρώματος όπως είναι η τραχύτητα.
- Τα ρεϊθρα στις άκρες του οδοστρώματος που δεν μπορούν αποχετεύσουν αποτελεσματικά το νερό που συσσωρεύεται.

Για την ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων να συμβεί η υδρολίσθηση μπορούν να ληφθούν μέτρα όπως είναι:

- Επιλογή εγκάρσιων και κατά μήκος κλίσεων κατά τον σχεδιασμό της επιφάνειας μετακίνησης των οχημάτων ώστε η απομάκρυνση των όμβριων να πραγματοποιείται όσο το δυνατόν πιο σύντομα,
- Αύξηση της τραχύτητας της επιφάνειας του οδοστρώματος με σκοπό να αυξηθεί η αποχετευτική ικανότητα του και να αποφευχθεί η υδρολίσθηση των ελαστικών των τροχών των οχημάτων,
- Είναι απαραίτητη η ύπαρξη αποχετευτικών έργων κατά μήκος της οδού για να ελαχιστοποιείται η πιθανότητα ολίσθησης και να περιορίζεται η ροή των υδάτων στο οδόστρωμα.

Ως εκ τούτου, η απομάκρυνση και ο περιορισμός των όμβριων από την επιφάνεια του οδοστρώματος είναι σημαντικές ενέργειες για την αποφυγή του φαινομένου της υδρολίσθησης.

Η επίδραση της τραχύτητας της επιφάνειας του οδοστρώματος είναι ελάχιστη στη ροή των όμβριων. Εντούτοις, επιφάνειες με μεγαλύτερη τραχύτητα είναι πιο επιθυμητές και αυτό γιατί μπορεί να λιμνάσει περισσότερο νερό στις κοιλότητες του οδοστρώματος έχοντας σαν αποτέλεσμα την καθυστέρηση της υπερχειλίσης.

Η υδρολίσθηση απαιτεί 2.5 έως 10 mm κρίσιμου βάθους για την εμφάνιση της και εξαρτάται από την υφή της επιφάνειας του οδοστρώματος και των τύπο των ελαστικών των τροχών του οχήματος.

Για να αντιμετωπιστεί το συγκεκριμένο πρόβλημα, η τιμή της περιόδου επαναφοράς που εφαρμόζεται στον σχεδιασμό του διαμήκους συστήματος αποχέτευσης δεν πρέπει να ξεπερνά αυτή που απαιτείται. Είναι σημαντικό να αποδεχτούμε έναν εν μέρει κίνδυνο, καθώς οι παράγοντες που προκαλούν υδρολίσθηση δεν συμβαίνουν για μεγάλη χρονική περίοδο στη συνολική διάρκεια ζωής του οδοστρώματος.

Αυξάνοντας την εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος δεν επηρεάζεται έντονα το βάθος της ροής. Εφαρμόζοντας στις ευθυγραμμίες την ελάχιστη εγκάρσια κλίση με τιμή 2,5%, όπως συμβουλεύουν οι ΟΜΟΕ-Χ, εμφανίζεται μείωση της συσσώρευσης του νερού στις αλλοιώσεις της επιφάνειας του οδοστρώματος.

Τελικά, ένας σχεδιασμός αποχέτευσης του οδοστρώματος μπορεί να αξιολογηθεί ως καλός με βάση κριτήρια που μας ενδιαφέρουν πιο πολύ, όπως για παράδειγμα είναι η ασφάλεια, η άνεση, το κόστος κατασκευής και συντήρησης της οδού.

3 Πάχος Υδατικής Στρώσης

3.1 Παράγοντες που επηρεάζουν το πάχος της υδατικής στρώσης

Στην επιφάνεια του οδοστρώματος συγκεντρώνεται νερό που σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ ΑΣΥΕΟ), σχηματίζει γραμμές ροής με συγκεκριμένο μήκος ροής L_f και συνισταμένη κλίση S_f . Το βάθος του νερού (BN) επηρεάζεται από παράγοντες όπως είναι η ένταση της βροχόπτωσης (i) και το βάθος της υφής (BY).

Το μήκος ροής L_f και η συνισταμένη κλίση της ροής S_f υπολογίζεται ως εξής (σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, ΤΕΥΧΟΣ 8, 2002):

$$S_f = \sqrt{S_x^2 + S_g^2} = S_x \sqrt{1 + \left(\frac{S_g}{S_x}\right)^2} \quad (3.1)$$

$$L_f = L_x \frac{S_f}{S_x} = L_x \sqrt{1 + \left(\frac{S_g}{S_x}\right)^2} \quad (3.2)$$

Όπου:

- S_f (m/m): συνισταμένη κλίση της γραμμής ροής
- S_x (m/m): εγκάρσια κλίση
- S_g (m/m): διαμήκης κλίση
- L_f (m) : μήκος ροής
- L_x (m) : πλάτος οδοστρώματος

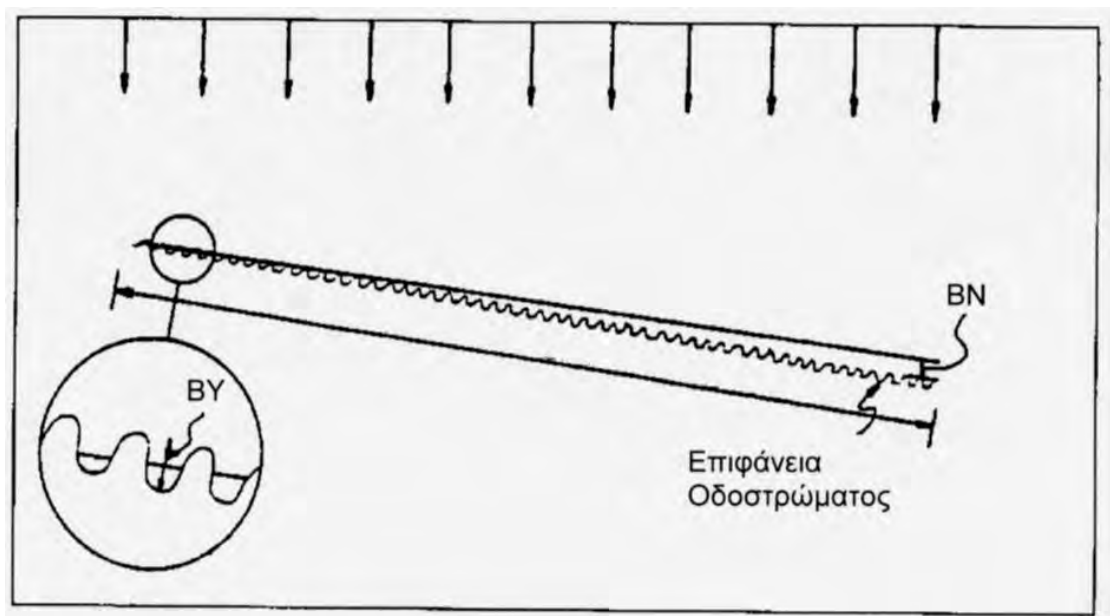
3.2 Υπολογισμός Πάχους Υδάτινης Στρώσης

Το πάχος της υδάτινης στρώσης, δηλαδή το βάθος του νερού, υπολογίζεται από την εξίσωση (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, 2002):

$$BN = 0.01485(BY^{0.11}L_f^{0.43}i^{0.59}S_r^{-0.42}) - BY \quad (3.3)$$

Όπου:

- BN : το βάθος νερού πάνω από την ανώτατη επιφάνεια του οδοστρώματος (αφαιρώντας το βάθος της υφής) (mm)
- L_f : μήκος ροής (m)
- BY : το μέσο βάθος της υφής του οδοστρώματος (mm)
- i : ένταση βροχόπτωσης (mm/h)
- S_r : σταθερή κατά μήκος κλίση της διαδρομής ροής (m/m)



Σχήμα 3.1 Σχηματισμός πάχους υδάτινης στρώσης στην επιφάνεια του οδοστρώματος.
(ΟΜΟΕ - ΑΣΥΕΟ, 2002)

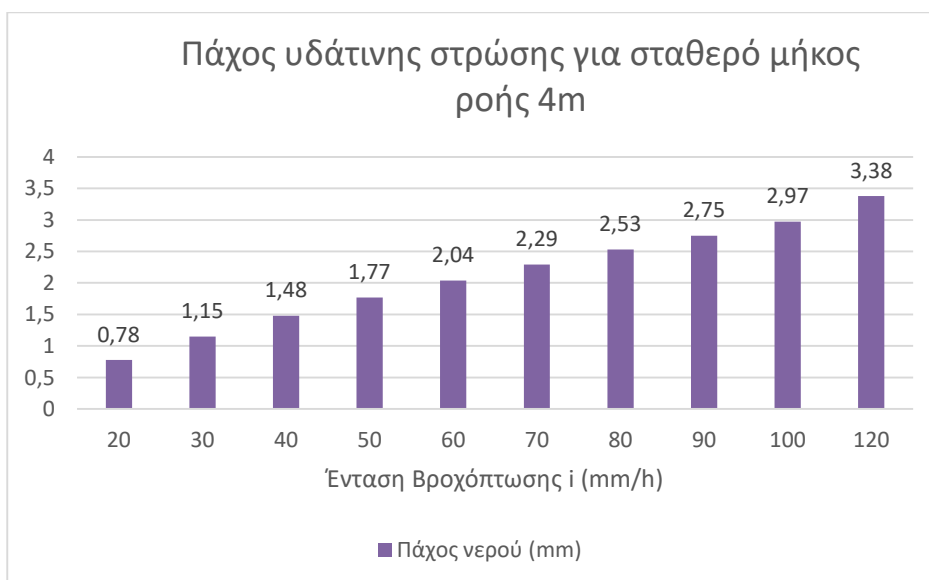
Το ύψος του νερού εξαρτάται από την ένταση της βροχόπτωσης δηλαδή, αυξάνεται ταυτόχρονα με την ένταση ενώ για χαμηλές ποσότητες βροχής και μεγάλες κλίσεις το ύψος του νερού είναι αμελητέο ή μηδενικό. Σε περίπτωση αρνητικής τιμής βάθους, υποδηλώνεται πως η επιφάνεια του υδάτινου στρώματος είναι χαμηλότερα από την κορυφή του ανάγλυφου της επιφάνειας.

Βροχόπτωση (i):

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν το ύψος του επιφανειακού νερού, άρα και την υδρολίσθηση, είναι η ένταση της βροχόπτωσης (i). Κατά την έναρξη της, η ολισθηρότητα του δρόμου αυξάνεται και σε συνδυασμό με την αδυναμία των οριζόντιων και κατακόρυφων κλίσεων να διασφαλίσουν την αποστράγγιση, οι πιθανότητες υδρολίσθησης μεγαλώνουν.

Για ασθενείς βροχοπτώσεις, το ύψος είναι ελάχιστο αν όχι μηδενικό ενώ, όπως αναμένεται, με πιο έντονες βροχοπτώσεις το πάχος νερού αυξάνεται.

Πιο αναλυτικά, στα [Γραφήματα 3.1](#) και [3.2](#), γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε περιπτώσεις που η ένταση της βροχόπτωσης μεταβάλλεται μεταξύ των τιμών $i=20$ mm/h και 120 mm/h, αλλά παραμένουν σταθερά το μήκος ροής, $L_f=4$ m και $L_f=8$ m, και η συνισταμένη κλίση $S_r=0.5\%$.



Γράφημα 3.1 Πάχος υδάτινης στρώσης πάνω στο οδόστρωμα για ένταση βροχόπτωσης και σταθερό μήκος ροής 4m



Γράφημα 3.2 Πάχος υδάτινης στρώσης πάνω στο οδόστρωμα για διαφορετική ένταση βροχόπτωσης και σταθερό μήκος ροής 8m

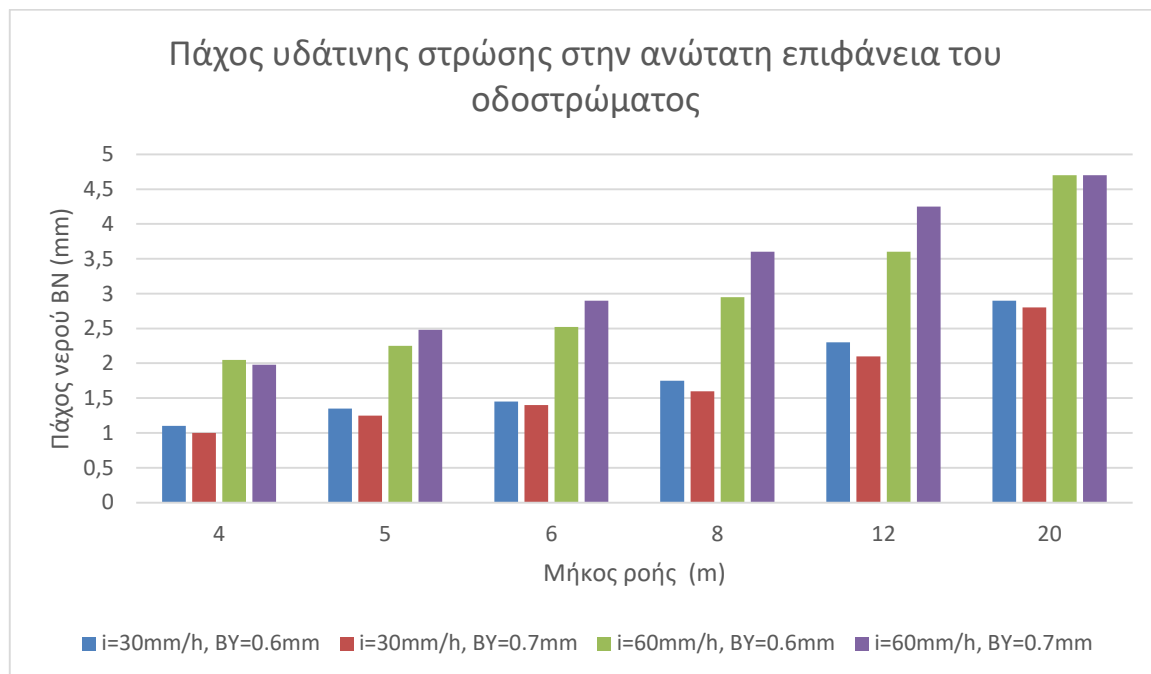
Το μέγιστη αποδεκτή τιμή της έντασης της βροχόπτωσης είναι $i=100$ mm/h. Ξεπερνώντας το όριο αυτό, η ορατότητα των οδηγών μειώνεται και η οδήγηση καθίσταται επικίνδυνη. Σε περιπτώσεις έντονης βροχόπτωσης όπου $i>100$ mm/h, οι οδηγοί απομακρύνονται από τις λωρίδες κυκλοφορίες ή παραμένουν σε αυτές κινούμενοι με πολύ χαμηλές ταχύτητες. (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ, 2002)

Μήκος ροής (L_f):

Το μήκος ροής είναι το μήκος που διασχίζουν τα ύδατα πάνω στο οδόστρωμα. Η κατά μήκος κλίση του οδοστρώματος S , όπως επίσης και η εργάρσια κλίση S_x , ορίζουν την απόσταση της ροής. Στο [Σχήμα 3.1](#) παρουσιάζεται η πορεία της ροής στο οδόστρωμα για γραμμές ροής με μη μεταβαλλόμενη κατά μήκος κλίση S . Με τη λήψη διαφορετικών τιμών μεταβλητών, προκύπτει από τον μαθηματικό τύπο πως όσο μεγαλύτερο λαμβάνεται το μήκος ροής τόσο αυξάνεται το ύψος νερού.

Ειδικότερα, για μια μεταβολή του μήκους ροής κατά +5%, το ύψος νερού μεταβάλλεται κατά +3,2%. Όταν το μήκος ροής ξεπερνάει τα 12 μέτρα ($L_f > 12m$), ακόμα και σε ήπια βροχόπτωση περίπου 30mm/h, το πάχος της υδατικής στρώσης παίρνει τιμές από 2,5mm έως 3mm, πάχος που κρίνεται κρίσιμο ([Γράφημα 3.3](#)).

Σε όλα τα σενάρια του γραφήματος, η συνισταμένη κλίση της γραμμής έχει ληφθεί σταθερή στο 0,5%, ενώ οι υπόλοιπες μεταβλητές αλλάζουν.

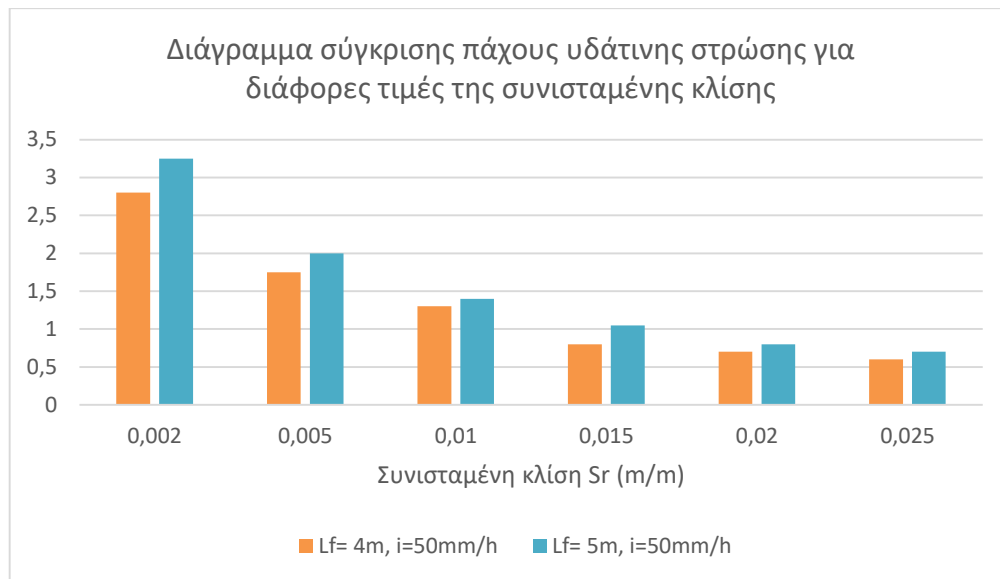


Γράφημα 3.3 Πάχος υδάτινης στρώσης σε συνάρτηση του μήκους ροής

Συνισταμένη Κλίση (S_r):

Ένας τελευταίος παράγοντας που ορίζει το πάχος της υδάτινης στρώσης, βάσει του μαθηματικού μοντέλου, είναι η συνισταμένη κλίση κατά μήκος ροής του νερού πάνω στο οδόστρωμα. Όταν η συνισταμένη κλίση παίρνει τιμές μικρότερες από 1,5%, το πάχος νερού είναι μεγαλύτερο σε αντίθεση με το πάχος που παρατηρείται όταν η κλίση παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 1,5%. Το συμπέρασμα αυτό βγαίνει παρατηρώντας το [Γράφημα 3.4](#).

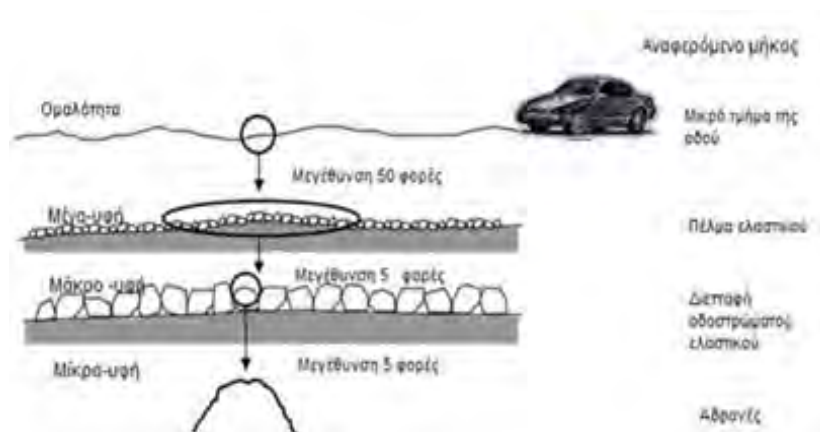
Επιπλέον, παρατηρείται πως με τη μείωση κατά 5% της κλίσης, το ύψος νερού δέχεται αύξηση περίπου κατά 8%.



Γράφημα 3.4 Πάχος υδάτινης στρώσης σε συνάρτηση με τη συνισταμένη κλίση

Βάθος της υφής του οδοστρώματος (BY)

Δύο σημαντικοί συντελεστές που επηρεάζουν την ολισθηρότητα του οδοστρώματος, είναι η μακροϋφή και η μικροϋφή. Για την δημιουργία αυτών των δύο στην επιφάνεια του οδοστρώματος, καθοριστικό ρόλο έχει το αδρανές υλικό.



Σχήμα 3.2 Κλίμακες επιφανειακής υφής (Sandburg, 1998)

Στο [σχήμα 3.2](#) παρουσιάζονται η επιρροή της μακροϋφής, της μικροϋφής και της ταχύτητας στην αντιολισθητική ικανότητα του δρόμου. Παρατηρείται ότι η μικροϋφή επιδρά στο

επίπεδο της τριβής των ελαστικών, ενώ η μακροϋφή επηρεάζει την τριβή σε πιο υψηλές ταχύτητες. Όταν οι ταχύτητες δεν είναι υψηλές, η μικροϋφή έχει πρωταγωνιστικό ρόλο στην τριβή, είτε υπάρχει υγρασία στο οδόστρωμα είτε όχι. Σε μεγαλύτερες ταχύτητες, η μακροϋφή συντελεί στην αποστράγγιση των όμβριων, με σκοπό να γίνεται πιο εύκολα η επαφή των ελαστικών με την μικροϋφή του οδοστρώματος, τις στιγμές που οι προεξοχές των αδρανών της επιφάνειας είναι υψηλότερες από το ύψος του νερού. (Flintsch et al., 2002).

Η μακροϋφή, γνωστή και ως βάθος υφής, μπορεί μετρηθεί με δύο μεθόδους: τη μέθοδο της κηλίδας άμμου και με τη βοήθεια εξειδικευμένων συστημάτων λέιζερ. Για την αποφυγή βλαβών και σφαλμάτων στην επιφάνεια του οδοστρώματος, είναι σημαντικό να πραγματοποιούνται τακτικοί έλεγχοι μετρήσεων ανά 100 μέτρα σε κάθε λωρίδα του οδοστρώματος. Οι έλεγχοι αυτοί πρέπει να γίνονται ανά δώδεκα (12) μήνες για τα πρώτα τρία (3) χρόνια.

Ο τύπος του ασφαλικού σκυροδέματος καθορίζει τα όρια του δείκτη της υφής της επιφάνειας. Στην κατασκευή της αντιολισθηρής στρώσης χρησιμοποιείται ασφατικόμιγμα που δημιουργείται με αυστηρά συγκεκριμένη διαδικασία παρασκευής και εφαρμόζεται σε θερμή κατάσταση. Η σύνθεση του ασφατικόμιγματος περιέχει καθαρή άσφαλτο τύπου 50/70 ή άσφαλτο ενισχυμένη με βελτιωτικά και σκληρά αδρανή υλικά. Εξαιτίας της μεγάλης μηχανικής αντοχής που προσφέρει το ασφατικό σκυρόδεμα, διασφαλίζεται η ενίσχυση του οδοστρώματος και επιτυγχάνονται σπουδαία επιφανειακά χαρακτηριστικά, όπως είναι η επιφανειακή υφή, η αντοχή στην ολίσθηση, η ομοιομορφία και η ομαλότητα. Η συγκεκριμένη τακτική χρησιμοποιείται όχι μόνο σε καινούριες κατασκευές αυτοκινητοδρόμων με αυξημένη κυκλοφορία αλλά και σε ανακαινίσεις και συντηρήσεις παλαιών οδών.

Για αυτό το σκοπό, έχουμε ορίσει δύο τύπους ασφαλικού σκυροδέματος:

Τύπος 1: Αυτός ο τύπος ασφαλικού σκυροδέματος χαρακτηρίζεται από πυκνή σύνθεση και χρήση αδρανών με μέγεθος 12,5 mm ή 9,5 mm. Γίνεται χρήση του όχι μόνο για την διασφάλιση της αντιολισθηρότητας αλλά και σε περιπτώσεις που είναι απαραίτητη η στεγανότητα και η βελτίωση του οδοστρώματος. Ωστόσο, το βάθος μακροϋφής δεν προσφέρεται στο βέλτιστο βαθμό.

Τύπος 2: Αυτός ο τύπος ασφαλικού σκυροδέματος χαρακτηρίζεται από ανοικτή σύνθεση με χρήση αδρανών με μέγεθος 12,5 mm ή 9,5 mm. Ο συγκεκριμένος τύπος προσφέρει ικανοποιητικό βάθος μακροϋφής και ενισχύει την αντίσταση σε ολίσθηση και μεγάλες ταχύτητες. Παρόλα αυτά, ο χρόνος ζωής του ασφαλικού σκυροδέματος του Τύπου 1 είναι

μεγαλύτερος από αυτόν του Τύπου 2 καθώς, τα ποσοστά κενών είναι περισσότερα στον δεύτερο.

Το τιμές του βάθους επιφανειακής υφής κυμαίνονται, σύμφωνα με τον [Πίνακα 3.1](#), από 0,6 mm έως 12,5 mm.

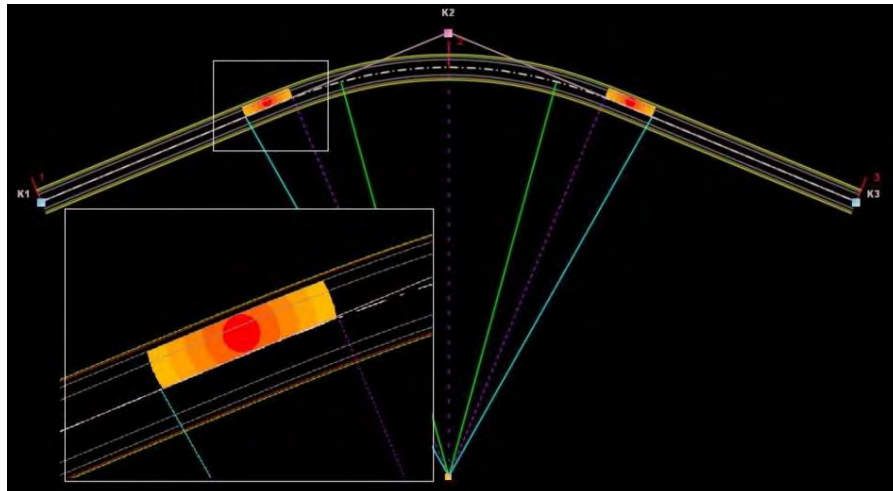
Ονομαστικό μέγεθος	Τύπος 1		Τύπος 2	
Ελάχιστο βάθος επιφανειακής υφής	12.50 mm	9.50 mm	12.50 mm	9.50 mm
	0.70 mm	0.60 mm	1.00 mm	0.90 mm

Πίνακας 3.1 Τιμές ελάχιστου βάθους επιφανειακής υφής

Συνήθως, σε οδοστρώματα με κυκλοφορία, οι τιμές βάθους επιφανειακής υφής που είναι τουλάχιστον 60% των ανωτέρω, θεωρούνται ικανοποιητικές. Σε περιπτώσεις που οι τιμές είναι χαμηλότερες από αυτό το ποσοστό, είναι απαραίτητη η βελτιστοποίηση των οδών, όπως προκύπτει από την Τεχνική Συγγραφή Υποχρεώσεων του Υ.Πε.Χω.Δ.Ε, Άρθρο ΣΤ4.

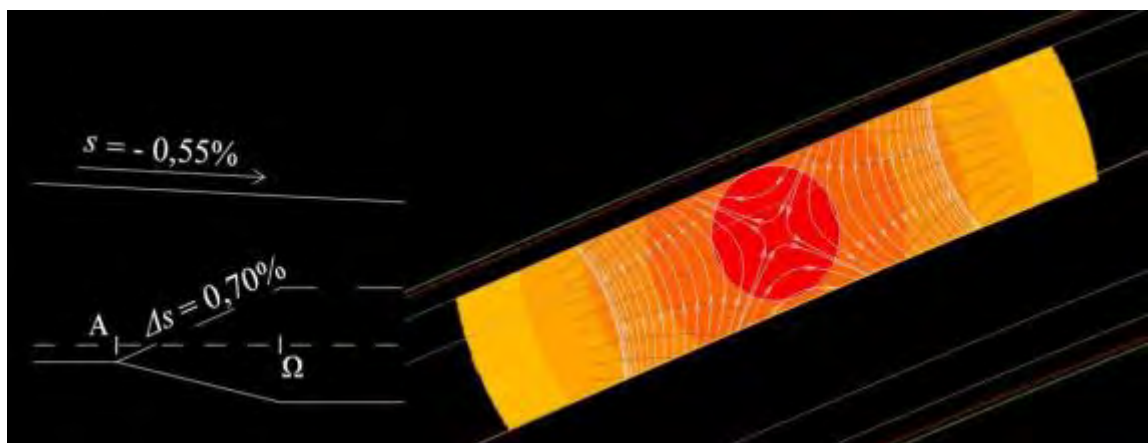
3.3 Πάχος Υδατικής Στρώσης

Σε μοντέλο με συμμετρική δεξιά στροφή ([σχήμα 3.3](#)), ακτίνα κυκλικού τόξου 200 μέτρων και μήκος κλωθοειδούς 50 μέτρα, με πρόσθετη κλίση οριογραμμών 0,70% και κατά μήκος κλίση οδοστρώματος -0,55%, παρατηρήθηκε πως το κέντρο της κρίσιμης περιοχής, δηλαδή το σημείο όπου η κλίση ισούται με μηδέν, εμφανίζεται λίγο μετά την αρχή της καμπύλης συναρμογής.



Σχήμα 3.3 Παρουσίαση μοντέλου δρόμου

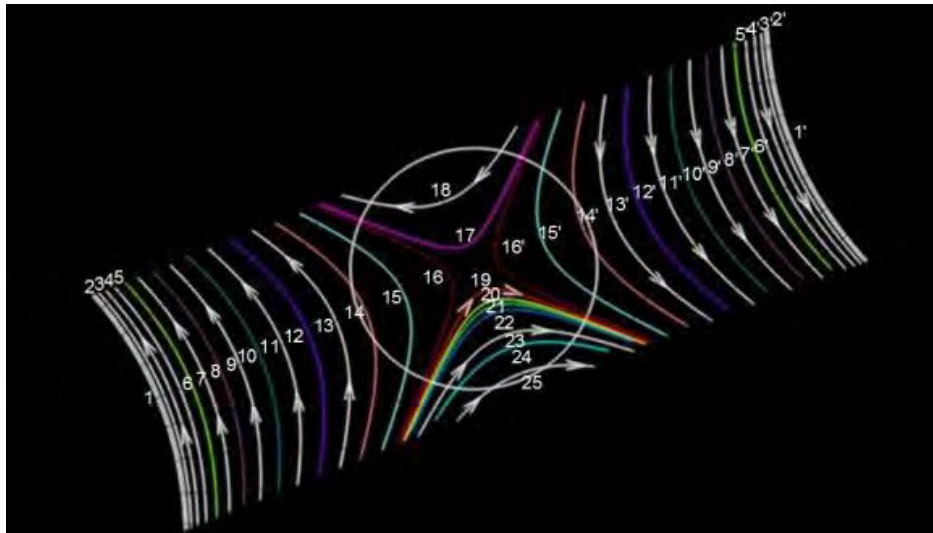
Η κρίσιμη περιοχή που απεικονίζεται με κυκλική μορφή στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζεται στην εξωτερική λωρίδα του οδοστρώματος και πιο συγκεκριμένα στην εσωτερικό μέρος αυτής ([σχήμα 3.4](#)). Το κέντρο της κρίσιμης περιοχής, δηλαδή το σημείο στο οποίο πραγματοποιείται η αντιστροφή της κίνησης του ρευστού πάνω στο οδόστρωμα, καθορίζεται από τις συντεταγμένες X_C και Y_C . Οι συντεταγμένες υπολογίζονται με την βοήθεια των σχέσεων [2.11](#) και [2.14](#), όπως περιγράφονται στο 2^ο κεφάλαιο της εργασίας, και προσδιορίζουν το σημείο μηδενισμού της συνισταμένης κλίσης δηλαδή, το κέντρο της προβληματικού τμήματος. Η ακτίνα της κρίσιμης περιοχής υπολογίζεται από την [σχέση 2.15](#).



Σχήμα 3.4 Προβληματική περιοχή

Η κρίσιμη περιοχή απεικονίζεται με 40 γραμμές ροής, με την κίνηση να γίνεται με φορά προς τον άξονα ή με αντίθετη φορά προς αυτόν όπως φαίνεται στο [σχήμα 3.5](#). Οι πρώτες δέκα

γραμμές ροής από τα άκρα της κρίσιμης περιοχής, αποτελούν τις πιο απομακρυσμένες από το σημείο μηδενισμού. Πλησιάζοντας τον κύκλο, το μήκος των γραμμών ροής μεγαλώνει και η κλίση μειώνεται μέχρι να μηδενιστεί. Αυτό έχει ως απόρροια την αύξηση του ύψους νερού στο τέλος κάθε γραμμής.



Σχήμα 3.5 Γραμμές ροής μοντέλου

Κατά την ανάλυση των γραμμών ροής εκτός της κρίσιμης περιοχής, παρατηρήθηκε ότι οι πορείες των ταχυτήτων παρουσιάζουν ομοιότητες και σε πολλές περιπτώσεις συμπίπτουν. Συγκεκριμένα, για τις γραμμές που βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από το κέντρο και δεν εμφανίζουν έντονη καμπυλότητα, παρατηρήθηκε ομοιογένεια στην πορεία της ταχύτητας.

Στον αντίποδα, οι γραμμές ροής εντός της κρίσιμης περιοχής, που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 2,5 μέτρων από το κέντρο του κύκλου, εμφανίζουν έντονες αλλαγές και υψηλότερες τιμές ταχύτητας. Αυτό οφείλεται σε χαμηλές κλίσεις και υψηλά βάθη νερού κάθε γραμμής. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η πορεία αρχικά αυξάνεται, με μια μικρή μείωση στη θέση όπου η κλίση πέφτει κάτω από το 0,2%. Καθώς η κλίση αυξάνεται, η ταχύτητα αυξάνεται γραμμικά.

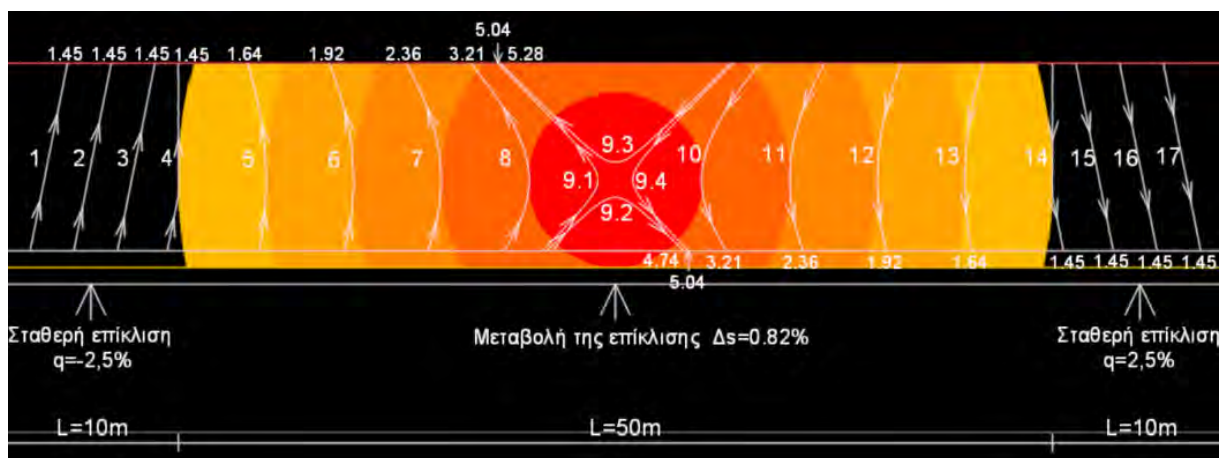
3.4 Λοξές κορυφογραμμές

Οι λοξές κορυφογραμμές στο οδόστρωμα με μεταβολή της επίκλισης από $-p\%$ σε $+p\%$ αφορούν συνήθως σε ένα τμήμα του οδοστρώματος όπου η επίκλιση αλλάζει από αρνητική

(κλίση προς τα κάτω) σε θετική (κλίση προς τα πάνω) ή αντίστροφα. Αυτό το χαρακτηριστικό συμβάλλει στην αποφυγή προβλημάτων αποστράγγισης.

Οι λοξές κορυφογραμμές με αλλαγή επίκλισης βοηθούν στην κατεύθυνση του νερού μακριά από τον δρόμο, προς περιοχές με συστήματα αποστράγγισης. Έτσι, διασφαλίζεται η αποτελεσματική αποστράγγιση των υδάτων και διαφυλάσσεται η δομή του οδοστρώματος από υδρολογικά προβλήματα.

Κατά την περιστροφή του οδοστρώματος με την κλασική μέθοδο, το πρόγραμμα Anadelta Tessera εκτελεί τη χρωματική αναπαράσταση του στοιχείου κλίσης στην επιφάνεια του οδοστρώματος. Για παράδειγμα, για σταθερή αρνητική κλίση 0,5%, η απεικόνιση θα γινόταν χρησιμοποιώντας ομόκεντρους κύκλους, όπως απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα. Αυτή η οπτικοποίηση βοηθά στον εντοπισμό περιοχών με στοιχεία μικρή συνισταμένης κλίσης και τονίζει προβλήματα αποστράγγισης των όμβριων υδάτων. Σύμφωνα με το [σχήμα 3.6](#), το σημείο μηδέν της συνισταμένης κλίσης βρίσκεται στο $X_C=25m$ οριζόντια από το σημείο έναρξης της αλλαγής επίκλισης με κάθετη απόσταση $Y_C=5m$ από τον οδικό άξονα.

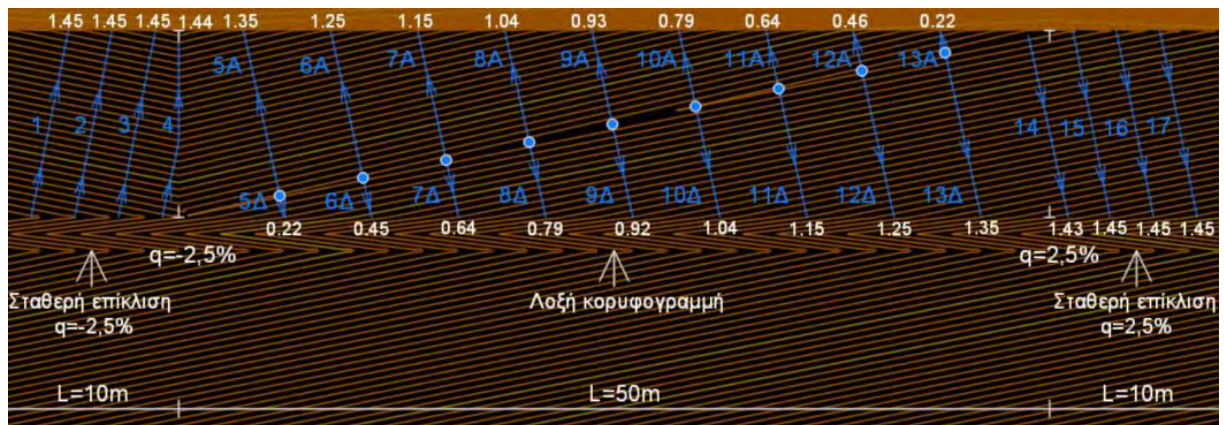


Σχήμα 3.6 Κλασική περιστροφή οδοστρώματος

Η κυκλική περιοχή που περιλαμβάνει τιμές συνισταμένης κλίσης από 0% έως 0,5% είναι σημαντική για σταθερή αρνητική κατά μήκος κλίσης -0,5%. Στην περίπτωση αυτή, το σημείο που μηδενίζεται η συνισταμένη κλίση, είναι κοντά στο μέσο του αριστερού πλάτους του οδοστρώματος, με κατακόρυφη απόσταση $Y=5,825m$ από τον οδικό άξονα.

Όταν το σημείο που μηδενίζεται η συνισταμένη κλίση συμπίπτει με το μέσο του αριστερού πλάτους οδοστρώματος, τότε ισχύει $s=-\Delta s/2$ και εμφανίζεται η πιο σημαντική κρίσιμη περιοχή.

Η εφαρμογή λοξής κορυφογραμμής στο οδόστρωμα με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% (σχήμα 3.7) διορθώνει το πρόβλημα αποστράγγισης των όμβριων, αφού οι γραμμές ροής που εμφανίζονται στην περιοχή στην οποία πραγματοποιείται η αλλαγή της επίκλισης, παρουσιάζουν βάθη υδάτων μικρότερα από αυτά της περιοχής με σταθερή επίκλιση.



Σχήμα 3.7 Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5%

3.5 Παράμετροι Επιρροής Πάχους Υδάτινης Στρώσης

Παράγοντες όπως είναι η ένταση της βροχόπτωσης, η επιφάνεια του οδοστρώματος και η συνισταμένη κλίση κατά μήκος της πορείας των υδάτων έχουν καθοριστικό ρόλο στο πάχος νερού πάνω στο οδόστρωμα. Σε περιπτώσεις που το πάχος νερού είναι μεγαλύτερο από 1.5- 5 mm, είναι απαραίτητο να γίνεται λήψη μέτρων για την πρόληψη της υδρολίσθησης σύμφωνα με τις ΟΜΟΕ- ΑΣΥΕΟ, ΤΕΥΧΟΣ 8, 2002.

Σοβαροί παράμετροι για την εφαρμογή ή όχι των προληπτικών μέτρων είναι:

- 1) το πλάτος των ερεισμάτων,
- 2) η επικλινής επιφάνεια σε περιπτώσεις που είναι μεγαλύτερη από $\alpha/\beta = 1/3$,
- 3) η τοποθέτηση των στηθαίων,
- 4) το μήκος ευθυγραμμίας της χάραξης της οδού,
- 5) τα σταθερά εμπόδια παραπλεύρως του δρόμου σε θέσεις που βρίσκονται εντός των 9 μέτρων από την οριογραμμή της κυκλοφορίας του οδοστρώματος,
- 6) ο βάθος των αυλακώσεων των ελαστικών, δηλαδή το βάθος των πελμάτων,
- 7) η ταχύτητα κίνησης των οχημάτων και

8) η πίεση των ελαστικών

Με τη μεταβολή των παραπάνω παραγόντων, παρατηρείται αύξηση του αποδεκτού ύψους και μείωση του κινδύνου υδρολίσθησης.

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

Πίνακας 3.2 Σχέση χαρακτηριστικών παραμέτρων - βάθους νερού υδρολίσθησης

Σύμφωνα με τον [Πίνακα 3.2](#), με την αύξηση της πίεσης ή του βάθους των πελμάτων των ελαστικών, αυξάνεται και το μέγιστο αποδεκτό βάθος νερού δηλαδή, η πιθανότητα υδρολίσθησης μειώνεται.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει δραματικά το βάθος νερού υδρολίσθησης, είναι η ταχύτητα. Πιο συγκεκριμένα, η ταχύτητα $V=90 \text{ Km/h}$ αποτελεί κρίσιμο σημείο του ελέγχου υδρολίσθησης καθώς, η αύξηση ή η μείωση της ταχύτητας κατά 1% επιφέρει μείωση ή αύξηση αντίστοιχα του αποδεκτού πάχους κατά 25%. Για χαμηλές ταχύτητες, η έντονη βροχόπτωση δεν δημιουργεί πολλές πιθανότητες υδρολίσθησης ενώ αντίθετα, ο συνδυασμός υψηλών ταχυτήτων με ασθενής βροχόπτωση (25 mm/h) μπορεί να προκαλέσει πολύ πιο εύκολα το φαινόμενο της υδρολίσθησης (ΟΜΟΕ - ΑΣΥΕΟ, ΤΕΥΧΟΣ 8.2002).

Αποδεκτό Πάχος Υδάτινης Στρώσης

Με βάση πειραματικών μελετών που πραγματοποιήθηκαν στο Texas Transportation Institute (FHWS, 1979), αποδείχθηκε πως με τη χρήση δύο εξισώσεων μπορεί να υπολογιστεί το

μέγιστο αποδεκτό πάχος υδάτινης στρώσης λαμβάνοντας την μικρότερη τιμή των αποτελεσμάτων. Οι εξισώσεις αυτές είναι οι:

$$WD_s = \left(\frac{10.406}{A_s - 3.507} \right)^{16.67} \quad (3.4)$$

$$WD_s = \left(\frac{28.952}{(A_s/TXD^{0.14} + 7.817)} \right)^{16.67} \quad (3.5)$$

Όπου,

- A_s : λαμβάνεται ως το αποτέλεσμα της σχέσης 3.6.

$$A_s = \frac{V}{10^{0.04p0.30}(TD+1)^{0.06}} \quad (3.6)$$

- TXD: βάθος υφής οδοστρώματος (in)
- P: πίεση των ελαστικών (psi)
- TD: βάθος πέλματος ελαστικών (in)
- V: ταχύτητα οχήματος (mph)

Με την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης, παρατηρείται ότι με τη μείωση της πίεσης των ελαστικών μειώνεται και το απαραίτητο βάθος νερού για την αποτροπή της υδρολίσθησης.

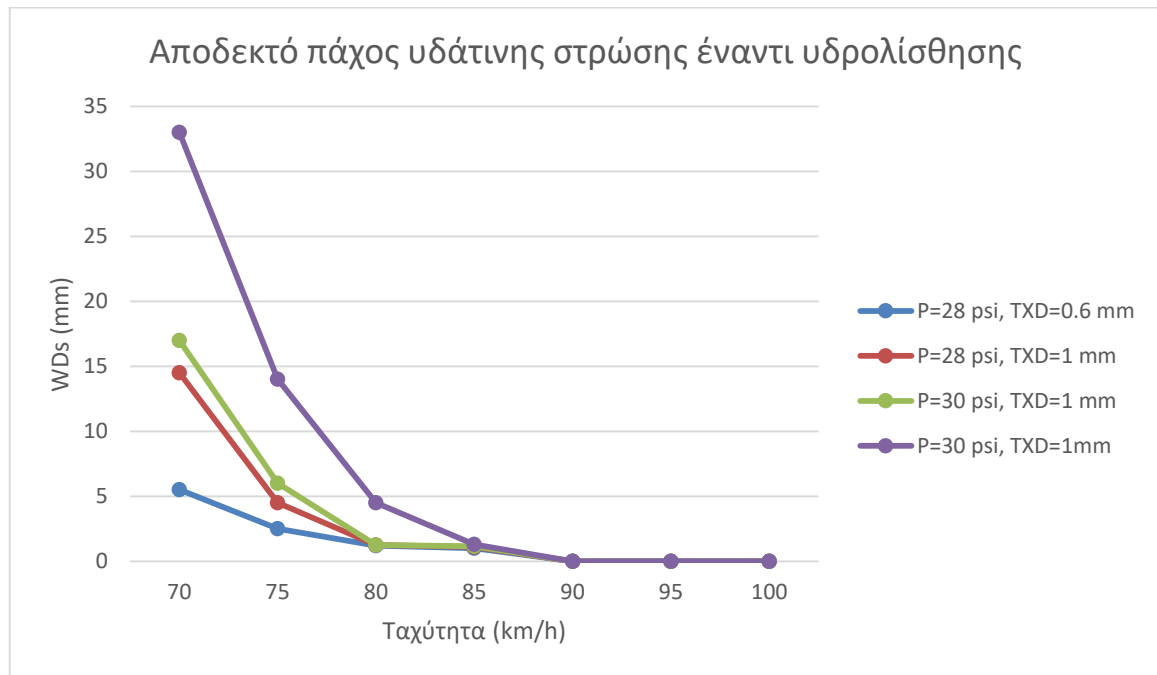
Επιπλέον, για χαμηλές ταχύτητες ($V < 80$ km/h) το αποδεκτό βάθος νερού κυμαίνεται από 5 mm έως 30 mm ενώ παράλληλα, το βάθος υφής του οδοστρώματος και το βάθος των πελμάτων βοηθούν στην αποστράγγιση του νερού. Τα ελαστικά του οχήματος ακουμπούν το οδόστρωμα και ο κίνδυνος για υδρολίσθηση ελαχιστοποιείται.

Όταν η ταχύτητα κυμαίνεται μεταξύ των 80 και 90 km/h, το αποδεκτό πάχος είναι μεταξύ των 2-5 mm. Η πρόσφυση των οχημάτων με το οδόστρωμα είναι μειωμένη αλλά η πιθανότητα για υδρολίσθηση παραμένει μικρή.

Για υψηλές ταχύτητες που ξεπερνούν τα 90 km/h, το πάχος του νερού δεν μεταβάλλεται σημαντικά λόγω του βάθους της υφής αλλά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα.

Μεταξύ του οδοστρώματος και του ελαστικού μεσολαβεί ένα λεπτό στρώμα νερού που δεν επιφέρει τριβή, με αποτέλεσμα η επαφή με το οδόστρωμα να χάνεται και η οδηγική συμπεριφορά του οχήματος να μην είναι εύκολα ελεγχόμενη.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις για τις μεταβολές του αποδεκτού πάχους υδάτινης στρώσης ως συνάρτηση των μεταβολών της ταχύτητας του οχήματος, συνοψίζονται στο [Γράφημα 3.5](#)



Γράφημα 3.5 Αποδεκτό πάχος νερού έναντι υδρολίσθησης

3.6 Συμπεράσματα Πάχους Υδάτινης Στρώσης

Το πάχος της υδάτινης στρώσης σύμφωνα με την [σχέση 3.3](#) εξαρτάται από παράγοντες όπως είναι το βάθος υφής του οδοστρώματος, το μήκος ροής, την ένταση της βροχόπτωσης και την συνισταμένη κλίση.

Παρατηρήθηκε πως για βάθη υφής ίσα ή μεγαλύτερα από 0,95 mm, το πάχος νερού στην επιφάνεια του οδοστρώματος είναι πολύ μικρό ή μηδενικό. Αυτό συνεπάγεται πως το ανάγλυφο της επιφάνειας του οδοστρώματος συμβάλλει άριστα στην αποστράγγιση των υδάτων και η στρώση νερού δεν ξεπερνά το ανάγλυφο. Το ύψος των υδάτων αυξάνεται όταν το βάθος υφής λαμβάνει τις χαμηλότερες αποδεκτές τιμές.

Προκύπτει επίσης, πως για μεγάλο μήκος ροής, το πάχος νερού στην επιφάνεια είναι μεγαλύτερο. Για μεγάλα μήκη της τάξεων των 12 μέτρων και πάνω, το πάχος τυχαίνει να είναι μεγαλύτερο από τα 2 mm ακόμα και όταν η ένταση της βροχόπτωσης είναι ασθενής (25 mm/h).

Παρόμοια, το πάχος της υδάτινης στρώσης μεταβάλλεται αυξητικά σε περιπτώσεις έντονης βροχόπτωσης. Αυτό σημαίνει πως σε ασθενείς βροχοπτώσεις το πάχος είναι μικρό, ίσως και μηδενικό ενώ, σε έντονες περιπτώσεις βροχόπτωσης όπου ξεπερνάει τα 100 mm/h, το πάχος νερού θεωρείται κρίσιμο και η οδήγηση καθίσταται επικίνδυνη. Σε αυτό το σενάριο, οι οδηγοί θα πρέπει να απομακρυνθούν από την οδό ή να κινηθούν σε αυτή με χαμηλές ταχύτητες για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου υδρολίσθησης.

Τα χαρακτηριστικά των ελαστικών των αυτοκινήτων επηρεάζουν και αυτά την κίνηση των οχημάτων πάνω σε οδόστρωμα με νερό όπως και η ταχύτητα με την οποία κινούνται. Με τη μείωση την πίεσης των ελαστικών, το απαιτούμενο βάθος υδάτων ακολουθεί και αυτό μειωτική πορεία και ο κίνδυνος για υδρολίσθηση αυξάνεται.

Για μεγάλες ταχύτητες που ξεπερνούν τα 90 km/h, το βάθος της υφής δεν επιδρά σοβαρά στο πάχος της υδάτινης στρώσης, αλλά κυρίως η ταχύτητα. Το απαιτούμενο πάχος υδάτινης στρώσης κατά της υδρολίσθησης μειώνεται κατά 25% ενώ, σε μικρότερες τιμές μειώνεται κατά 1 mm.

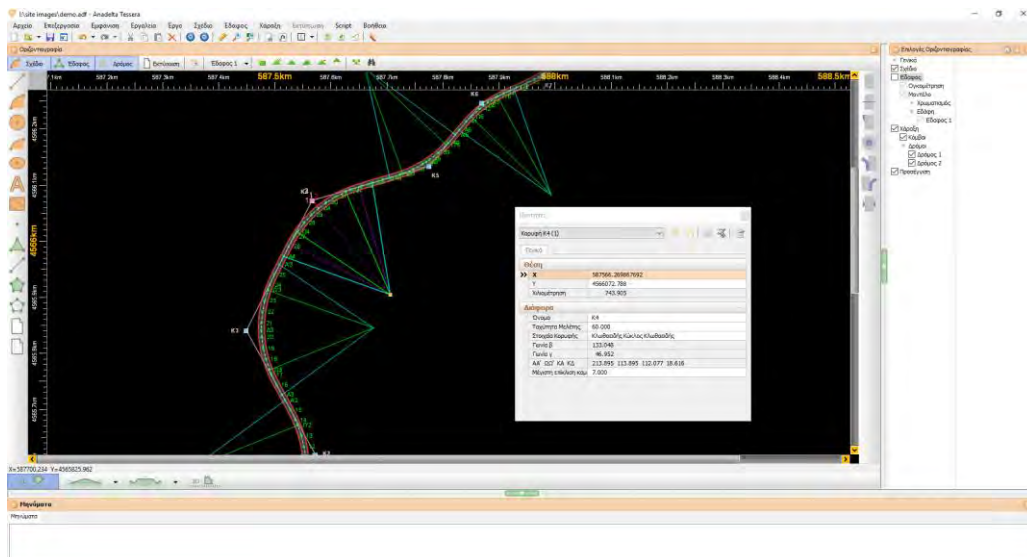
4 Παρουσίαση Λογισμικού Anadelta Tessera

Το Anadelta Tessera είναι ένα λογισμικό που προορίζεται για την δημιουργία μοντέλων της οδοποιίας και αποτελεί ένα σημαντικό μέσο για τη συλλογή αποτελεσμάτων σχετικά με την έρευνα της επίδρασης των όμβριων στο οδόστρωμα, τα οποία θα αναλυθούν στο επόμενο κεφάλαιο. Συνδυάζει δυνατότητες σχεδιασμού και διαχείρισης του ψηφιακού μοντέλου εδάφους με σχεδιαστικές λειτουργίες της οδοποιίας. Στο παρόν κεφάλαιο, αναλύονται εκείνες οι λειτουργίες που επικεντρώνονται στην αντιμετώπιση των προβλημάτων που παρουσιάζονται στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Το λογισμικό διαθέτει χώρους εργασίας ή ξεχωριστά περιβάλλοντα της οριζοντιογραφίας, της μηκτομής, των διατομών και του τρισδιάστατου περιβάλλοντος.

4.1 Βασικές Λειτουργίες

Κατά εισαγωγή μιας οδού στην χώρο εργασίας της Οριζοντιογραφίας,, συνδυάζονται τα περιβάλλοντα του “Σχεδίου”, του “Εδάφους”, του “Δρόμου” και της “Εκτύπωσης”. Επίσης, εισάγονται πληροφορίες στο λογισμικό όπως είναι η μορφολογία του εδάφους, η ταχύτητα που μελετάται, η κατηγορία της οδού και άλλα χαρακτηριστικά και λεπτομέρειες του δρόμου όπως τα πλάτη, οι κλίσεις, η μέθοδος τοποθέτησης των πασσάλων - διατομών, η ακτίνα κλπ.



Σχήμα 4.1 Περιβάλλον Οριζόντιας Χάραξης του Anadelta Tessera

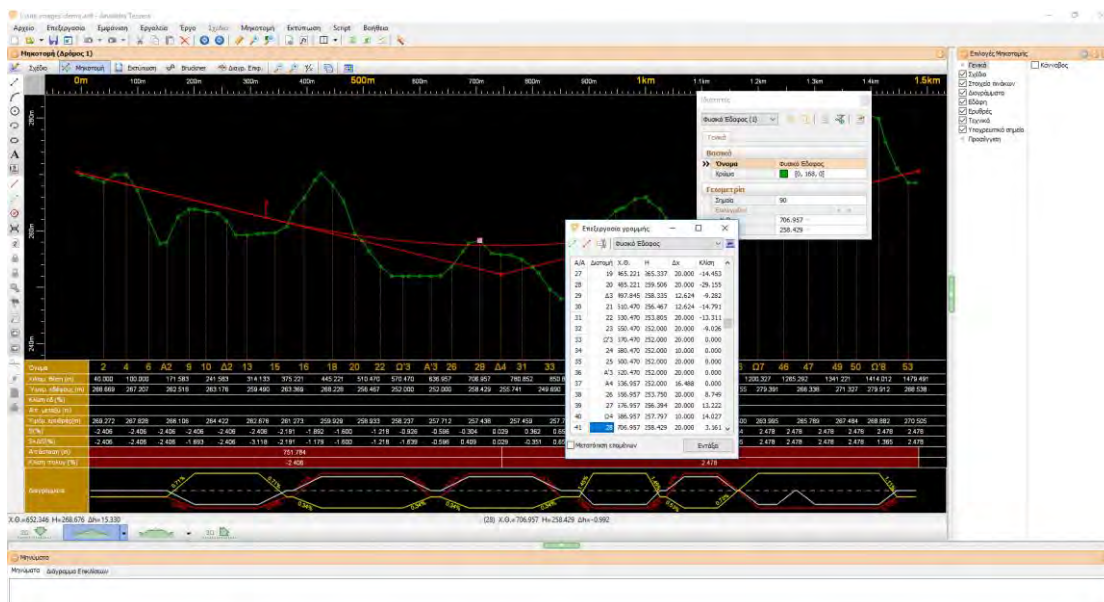
Η εισαγωγή πολυγωνικής της οριζοντιογραφίας πραγματοποιείται με το ποντίκι, τη εφαρμογή πινάκων ή την εισαγωγή από αρχεία κειμένου. Ο υπολογισμός του άξονα της οδού γίνεται αυτόματα από το λογισμικό το οποίο λαμβάνει τα στοιχεία των κορυφών και την πολυγωνική.

Κάθε κορυφή της πολυγωνικής της οριζοντιογραφίας, είναι ένα στοιχείο που εξαρτάται από μία σειρά ιδιοτήτων και παραμέτρων και φέρουν αρχικές τιμές τις οποίες έχει καθορίσει ο χρήστης. Το όνομα, οι συντεταγμένες, η ταχύτητα και η επίκλιση στο κυκλικό τόξο είναι παράμετροι κάθε κορυφής. Επιπλέον, ιδιότητά της είναι τύπος που αντιστοιχεί στην σειρά των διαφόρων δομικών στοιχείων από τα οποία συνίσταται.

Ειδικότερα, για τις απλές κορυφές έχουμε τις ακολουθίες: κλωθοειδής - κυκλικό τόξο - κλωθοειδής, παραβολή - κυκλικό τόξο - παραβολή (3ου και 4ου βαθμού), κανιστροειδής τριών κυκλικών τόξων με οποιαδήποτε υπολογίσιμη διαδοχή ακτίνων. Για κάθε δομικό στοιχείο από τα παραπάνω, το λογισμικό προτείνει τιμές και τα όρια τους (ακτίνες, παραμέτρους ή μήκη ή εκτροπές κλωθοειδών), που τροποποιούνται άμεσα.

Πιο περίπλοκες καμπύλες δημιουργούνται από την ένωση δύο διαδοχικών κορυφών της πολυγωνικής, περίπτωση που το πρόγραμμα αντιλαμβάνεται σαν ένα αντικείμενο. Σε αυτή την περίπτωση συμπεριλαμβάνονται ο ανακάμπτων ελιγμός και η ακολουθία κλωθοειδής - κυκλικό τόξο - ωοειδής - κυκλικό τόξο - κλωθοειδής. Σε αυτό το σενάριο, το πρόγραμμα υπολογίζει αυτόματα όλες τις παραμέτρους, ενώ ο χρήστης μπορεί να μεταβάλλει ορισμένες από αυτές. Ο υπολογισμός των υπόλοιπων τιμών γίνεται αυτόματα, εξασφαλίζοντας μια

μοναδική επίλυση κάθε φορά. Το ίδιο έχει εφαρμογή και για τη γραφική μετακίνηση οποιασδήποτε από τις δύο κορυφές που εμπλέκεται. Η ωσειδής υπολογίζεται σε πραγματικό χρόνο, κατά τον χρόνο μετακίνησης μιας κορυφής, και συνιστά ένα πολύ ωφέλιμο εργαλείο.



Σχήμα 4.2 Περιβάλλον μηκοτομής του Anadelta Tessera

Μετά την καθορισμό των θέσεων των διατομών στην οριζοντιογραφία, ακολουθεί η μηκοτομή του εδάφους. Επιπροσθέτως, κάθε αλλαγή στην οριζοντιογραφία οδηγεί σε μία νέα μηκοτομή του εδάφους. Η εισαγωγή της πολυγωνικής κατακόρυφης χάραξης εκτελείται με το ποντίκι, μέσω πινάκων ή με εισαγωγή από αρχεία κειμένου. Το Anadelta Tessera εντοπίζει την ερυθρά από την πολυγωνική μορφή και τις ακτίνες καμπυλότητας των κορυφών της (προτείνονται κατάλληλες τιμές που προκύπτουν από την εξέταση του απαιτούμενου μήκους ορατότητας).

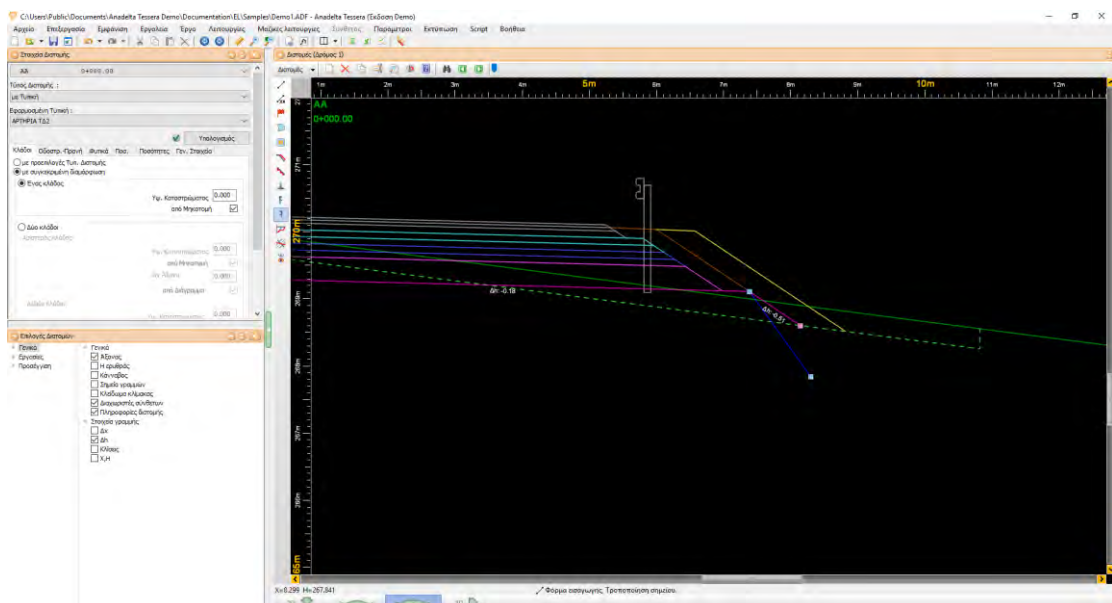
Χαμηλά της οθόνης, όπως επίσης και σε έναν ξεχωριστό πίνακα που δίνεται η δυνατότητα εκτύπωσής του, εμφανίζονται όλα τα βασικά στοιχεία, όπως θέσεις, αποστάσεις, κλίσεις και υψόμετρα. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δίνεται στις τιμές των λοξών κλίσεων και των κατά μήκος κλίσεων των οριογραμμών ($s+\Delta s$), των οποίων η επίβλεψη και ο έλεγχος αποτελούν βασικό κριτήριο για την αποτροπή σφαλμάτων στην αποστράγγιση των υδάτων.

Το πρόγραμμα προσαρμόζει τις κορυφές της πολυγωνικής κατακόρυφης χάραξης στον χώρο. Κάθε μετέπειτα τροποποίηση στην οριζοντιογραφία έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της

πολυγωνικής κατακόρυφης χάραξης, η οποία αργότερα μπορεί να χρειαστεί μόνο τοπικές βελτιώσεις από τον μελετητή.

Στο περιβάλλον εργασίας της μηκοτομής, υπάρχει επίσης το περιβάλλον του διαγράμματος κίνησης γαιών. Μετά τον υπολογισμό των χωματουργικών, το διάγραμμα κίνησης γαιών προσαρμόζεται αυτόματα στα νέα δεδομένα με την τοποθέτηση των γραμμών διανομής. Είναι όμως και ένας χρήσιμος τρόπος για την βελτίωση της χάραξης.

Η τροποποίηση και ο υπολογισμός των διατομών στηρίζεται σε μία ιδέα που επιτρέπει τον συνολικό υπολογισμό με βάση τυπικές διατομές αλλά και την μετέπειτα διόρθωσή τους σε περίπτωση που χρειάζεται. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα μαζικού υπολογισμού χωρίς τυπική διατομή όταν είναι καθορισμένες οι διάφορες γραμμές.



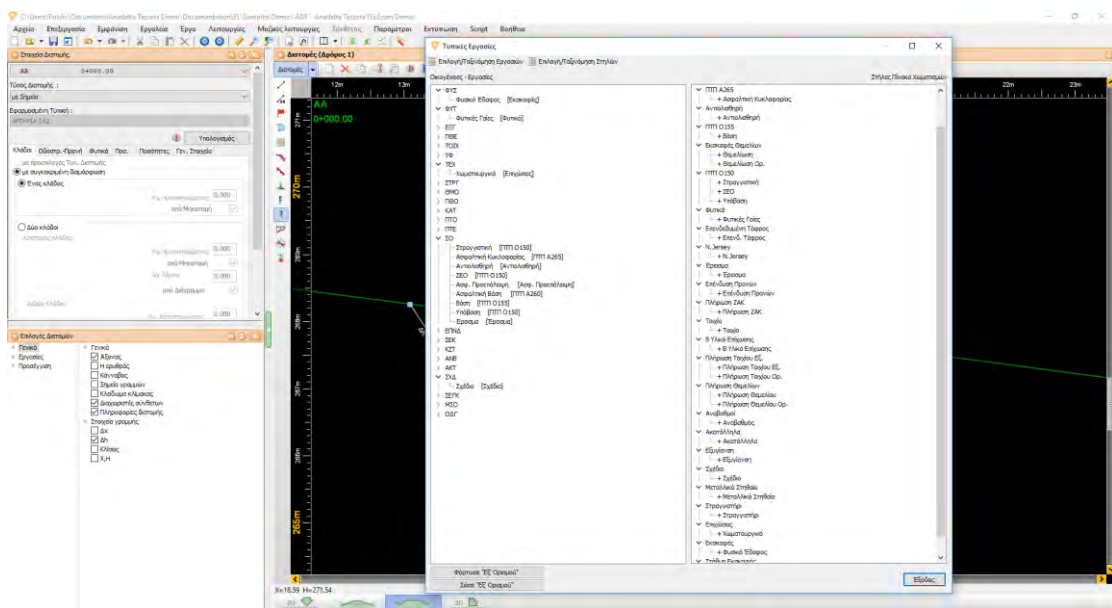
Σχήμα 4.3 Περιβάλλον διατομών του Anadelta Tessera

Το μοντέλο εδάφους και η οριζόντια χάραξη βοηθούν στον αυτόματο υπολογισμό του φυσικού εδάφους. Με οποιαδήποτε αλλαγή στην οριζόντια χάραξη, πραγματοποιείται νέος υπολογισμός. Η φύση του προγράμματος δίνει την δυνατότητα άμεσης τροποποίησης του μοντέλου εδάφους όταν θεωρηθεί αναγκαίο στο επίπεδο της διατομής.

Το φυσικό έδαφος της διατομής μπορεί να είναι αποτέλεσμα μετρήσεων στο χώρο, χωρίς την ανάγκη εφαρμογής του μοντέλου εδάφους. Μπορεί να εισαχθεί απευθείας από το φύλλο εργασίας του λογισμικού ή, για όλες τις διατομές συνολικά, να εξαχθεί μαζικά από αρχεία

ASCII ποικίλων τύπων. Το υψόμετρο καταστρώματος σε κάθε διατομή προκύπτει αυτόματα από τη μηκοτομή.

Στη διαδικασία υπολογισμού τομών και εμβαδών, οι γραμμές διαχωρίζονται σε ιεραρχημένες κατηγορίες, γνωστές ως οικογένειες, που προσδιορίζουν τη συμπεριφορά τους στη διατομή. Ο χρήστης έχει την ευχέρεια να δημιουργεί νέες εργασίες μέσα σε κάθε οικογένεια, ορίζοντας την εμφάνιση των γραμμών και τον μέθοδο υπολογισμού, με στόχο την ταξινόμηση των τελικών ποσοτήτων ανά διατομή (μήκη - εμβαδά). Επίσης, οι στήλες του πίνακα χρωματισμών τροποποιούνται ομοίως από τον χρήστη.



Σχήμα 4.4 Τυπικές εργασίες στο Anadelta Tessera

Η δομή με τις οικογένειες, εργασίες και στήλες αποτελούν τις τυπικές εργασίες του Anadelta Tessera. Για αυτές τις εργασίες δίνεται η δυνατότητα να επεξεργαστούν ανεξάρτητα και να εξάγονται ή εισάγονται σε ξεχωριστά αρχεία, παρέχοντας έτσι ευελιξία και οργάνωση στη διαχείριση του Anadelta Tessera.

Η επιλογή των τυπικών διατομών στο Anadelta Tessera εξαρτάται από τον τύπο της οδού. Το πρόγραμμα διαθέτει μια μεγάλη βιβλιοθήκη τυπικών διατομών και είναι δυνατός ο εμπλουτισμός της μέσω internet ή e-mail. Το Tessera προσφέρει ένα ειδικό περιβάλλον όπου ο χρήστης μπορεί γραφικά να μεταβάλλει μια υπάρχουσα τυπική διατομή ή ακόμα και να δημιουργήσει μια από την αρχή, παρέχοντας έτσι ευελιξία στις απαιτήσεις του χρήστη.

Κάθε τυπική διατομή στο Anadelta Tessera μπορεί να ληφθεί ως πρότυπο για τη δημιουργία νέας διατομής με την εφαρμογή αλλαγών σε αυτή, προσθέτοντας ή διαγράφοντας στοιχεία. Η νέα διατομή που έχει τροποποιηθεί μπορεί να σωθεί με νέο όνομα και να λειτουργήσει ως νέο πρότυπο για κάποια μετέπειτα διατομή. Επίσης, με την εισαγωγή ή την εξαγωγή των τυπικών διατομών σε ξεχωριστά αρχεία, προσφέρεται η ευχέρεια στην οργάνωση και διαχείριση των διατομών.

Η τυπική διατομή στο Anadelta Tessera περιέχει πληροφορίες που αφορούν τις επικλίσεις, τις κλίσεις πρανών, τα ερείσματα, τα πλάτη οδού, τις στρώσεις οδοστρωσίας, τα στηθαία New Jersey, τις επενδεδυμένες τάφρους και άλλα χαρακτηριστικά, είτε σε κωδικοποιημένη είτε σε αριθμητική μορφή. Η κωδικοποιημένη μορφή αναφέρεται σε διαγράμματα ή συναρτήσεις που το πρόγραμμα αξιοποιεί για τον υπολογισμό των τιμών στις διάφορες προδιαγραφές.

Ο υπολογισμός στο Anadelta Tessera γίνεται σε ελάχιστο χρόνο με ευκολία, δίνοντας την δυνατότητα υπολογισμού μιας διατομής αλλά και ομάδας διατομών κάνοντας χρήση απαραίτητων φίλτρων. Είναι δυνατή η ανάθεση μιας τυπικής διατομής ή η εφαρμογή συγκεκριμένων στοιχείων της από την αρχή, τα οποία μπορεί να σχετίζονται τόσο με την οδοστρωσία όσο και με τα πρανή ή τις πλευρικές διαμορφώσεις του εδάφους.

Κατά το διάστημα των πολλαπλών υπολογισμών, γίνεται αναφορά ενδεχόμενων σφαλμάτων συνολικά, με δυνατή την άμεση επίλυσή τους με αυτόματη μετάβαση σε κάθε διατομή. Μετά το πέρας του υπολογισμού, είναι εφικτή η παρέμβαση στη διατομή, είτε με μικρές αλλαγές στην τυπική διατομή, είτε με άμεση επεξεργασία των γραμμών της. Κατά τα στάδια της υπολογισμού και τροποποίησης, υλοποιείται αυτόματος υπολογισμός όλων των ποσοτήτων με βάση τις ισχύουσες τυπικές εργασίες.

4.2 Κλίσεις Οδοστρώματος

Το λογισμικό προσφέρει μία καινοτόμο μέθοδο αντιμετώπισης του ζητήματος ανάλυσης της απορροής των όμβριων σε κρίσιμες περιοχές που είναι επικίνδυνες για την ασφάλεια της οδικής χάραξης. Αυτή περιλαμβάνει την απεικόνιση της συνισταμένης κλίσης κατά μήκος ολόκληρου του οδοστρώματος, αντί να επικεντρώνεται μόνο στις οριογραμμές (Καλιαμπέτσος, 2017).

Στη συμβατική μέθοδο, το διάγραμμα κλίσεων εμφανίζεται κάτω από το σχέδιο της διατομής, μαζί με τις αντίστοιχες τιμές για τις κλίσεις και τις λοξές κλίσεις που προκύπτουν ανά τομή, όπως φαίνεται στο [σχήμα 4.5](#).



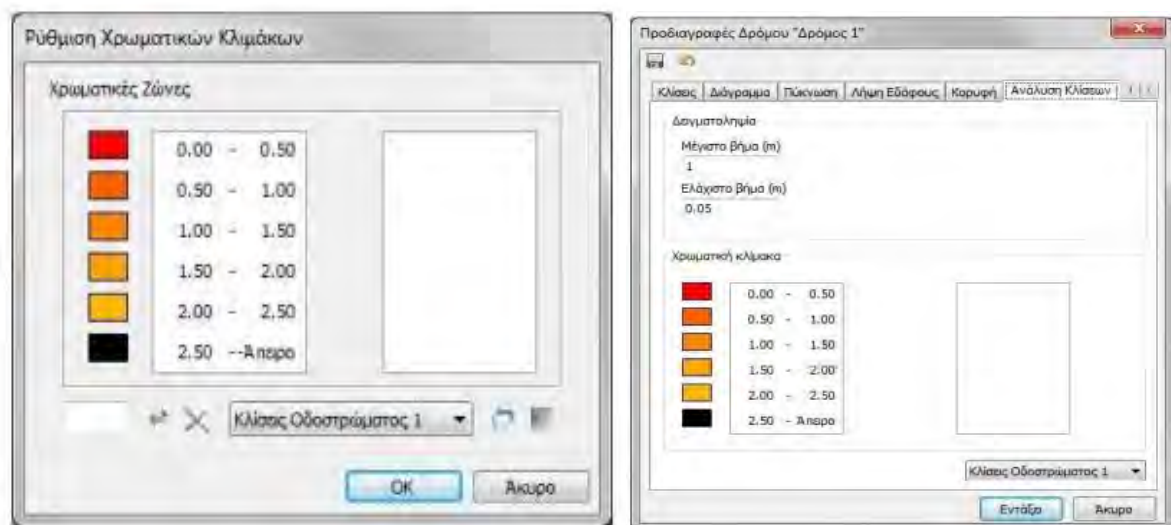
Σχήμα 4.5 Μέρος ερυθράς με διάγραμμα κλίσεων και σημειογραφία σχετικών μεγεθών ανά διατομή (Anadelta Tesser)

Στο παρεχόμενο σχήμα, μεταξύ διαφόρων λεπτομερειών, παρατηρούνται οι κλίσεις από αριστερά προς τα δεξιά, οι λοξές κλίσεις από αριστερά προς τα δεξιά, οι τιμές διαμήκους κλίσης (s) και η σύνθετη διαμήκους κλίσης της εξωτερικής οριογραμμής (s+Δs) για κάθε διατομή.

Οι ίδιες τιμές μπορεί να παρουσιάζονται τόσο στις διατομές όσο και στα διαστήματα που διαλέγει ο χρήστης (π.χ. κάθε 1 μέτρο), επιτρέποντας βελτιωμένο έλεγχο σε κρίσιμες τοποθεσίες όπου ενδέχεται να απουσιάζουν πάσσαλοι.

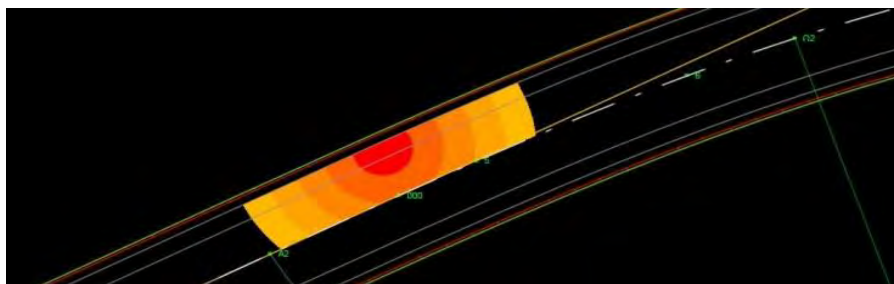
Ωστόσο, στο σενάριο που αναφέρθηκε προηγουμένως, τόσο οι τιμές κατά μήκος της κλίσης της εξωτερικής οριογραμμής (s+Δs) όσο και οι τιμές των κεκλιμένων συνιστωσών κλίσεων αντιστοιχούν στο όριο της λωρίδας κυκλοφορίας, που βρίσκεται σε απόσταση α από τον άξονα του οδοστρώματος. Κατά συνέπεια, λαμβάνουμε έμμεσα μία ένδειξη για τα σημεία όπου η προκύπτουσα κλίση γίνεται μηδενική στις περιοχές όπου αλλάζει το πρόσημο της σύνθετης κλίσης s+Δs.

Για να διεξαχθεί μια πιο λεπτομερής εξέταση της συνισταμένης κλίσης που προκύπτει, το λογισμικό παρουσιάζει την τιμή της σε ολόκληρη την επιφάνεια του δρόμου χρησιμοποιώντας μια χρωματική διαβάθμιση. Ο χρήστης έχει την ευελιξία να καθορίσει τόσο αυτή την χρωματική διαβάθμιση όσο και το διάστημα ανάλυσης (βήμα). Ειδικότερα, με πλοήγηση στο κύριο μενού, επιλέγοντας "Εργαλεία" και στη συνέχεια επιλέγοντας "Χρωματικές κλίμακες", το παράθυρο που απεικονίζεται στην [σχήμα 4.6](#) θα είναι ορατό. Οι χρήστες μπορούν στη συνέχεια να προσαρμόσουν ή να επιλέξουν τις χρωματικές κλίμακες ανάλογα.



Σχήμα 4.6 Επιλογή και προσαρμογή χρωματικών κλιμάκων και διαστήματος ανάλυσης (βήμα) στο Anadelta Tessera

Επιπλέον, μεταβαίνοντας στο κύριο μενού και κάνοντας κλικ στο "Χάραξη", ακολουθούμενο από την επιλογή "Προδιαγραφές Δρόμου", θα εμφανιστεί ένα παράθυρο. Εάν ο χρήστης επιλέξει την καρτέλα "Ανάλυση κλίσεων" σε αυτό το παράθυρο, θα παρουσιαστεί η καρτέλα που απεικονίζεται στο [σχήμα 4.6](#). Σε αυτήν τη καρτέλα, οι χρήστες έχουν την ευελιξία να ορίσουν το βήμα, την ανάλυση και μια χρωματική κλίμακα, είτε είναι προρυθμισμένη είτε προσαρμοσμένη σύμφωνα με τις προτιμήσεις τους.



Σχήμα 4.7 Χρωματική απεικόνιση της συνισταμένης κλίσης του καταστρώματος του οδοστρώματος στο Anadelta Tessera

Εφαρμόζοντας την προεπιλεγμένη χρωματική κλιμάκωση, μπορούμε να εξετάσουμε πως απεικονίζεται ένα τμήμα του οδοστρώματος, όπως φαίνεται στο [σχήμα 4.7](#). Εντός της εξωτερικής λωρίδας του οδοστρώματος, ιδιαίτερα στην περιοχή της καμπύλης συναρμογής, ένα τμήμα μιας περίπου κυκλικής μορφής είναι ορατά χρωματισμένο. Το υπόλοιπο μέρος του οδοστρώματος στερείται χρώματος (εμφανίζεται μαύρο). Αυτό σημαίνει ότι έχει κλίση που υπερβαίνει το 2,5%, όπως τονίζεται από την τελευταία χρωματική περιοχή στο [σχήμα 4.6](#). Η χρωματική επιλογή είναι σκόπιμη, με στόχο να κατευθύνει την προσοχή του ερευνητή προς συγκεκριμένα σημεία ενδιαφέροντος.

Η αρχική απεικόνιση ήταν το κίνητρο για επιπλέον έρευνα για τη συνισταμένη κλίση της επιφάνειας του οδοστρώματος. Την ίδια στιγμή, το λογισμικό λειτούργησε ως μέθοδος επιβεβαίωσης των ευρημάτων της έρευνας.

Στον χρήστη του Anadelta Tessera παρέχεται ένα εύκολο στη χρήση και οπτικά ενημερωτικό εργαλείο για την χάραξη που έχει κάνει εισαγωγή. Ωστόσο, η έρευνα που συζητήθηκε νωρίτερα, μαζί με τις εφαρμογές και τα συμπεράσματα που αναφέρονται στο επόμενο κεφάλαιο, θα προσφέρουν μια επιπλέον ευκαιρία στους χρήστες διαφορετικών λογισμικών.

5 Χρήση του Anadelta Tessera

Στο παρόν κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία μοντέλων οδών, καθένα με διαφορετικά χαρακτηριστικά, με σκοπό την απόκτηση σημαντικών πληροφοριών σχετικά με τον τρόπο που τα βρόχινα νερά επηρεάζουν την κίνηση των οχημάτων πάνω στο οδόστρωμα.

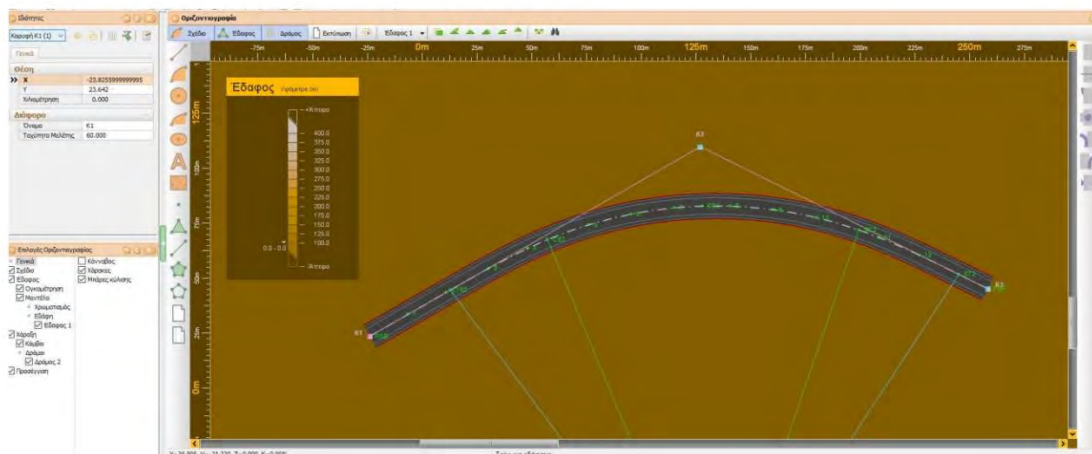
5.1 Δημιουργία μοντέλου οδού

Αρχικά, γίνεται εκκίνηση της εφαρμογής Anadelta Tessera. Με την επιλογή της εντολής “Αρχείο - Νέο Έργο” ανοίγει το περιβάλλον της οριζοντιογραφίας ώστε να οριστεί η οριζόντια χάραξη της οδού και η γεωμετρία του εδάφους με τη χρήση της εντολής “Νέα σημεία εδάφους”.

Η διαδικασία δημιουργίας νέων σημείων εδάφους γίνεται εισάγοντας τέσσερα σημεία τα οποία ορίζουν την περιοχή του δρόμου και αποτελούν τη βάση για ένα οριζόντιο έδαφος. Μετά την εισαγωγή αυτών των σημείων, γίνεται εισαγωγή νέων σημείων ώστε με την εντολή “Υπολογισμός τριγώνων” να δημιουργηθεί το επιθυμητό έδαφος.

Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει τον καθορισμό της οριζόντιας χάραξης του δρόμου. Επιλέγοντας την εντολή “Νέος Δρόμος”, τοποθετούμε προσεγγιστικά τις κορυφές του δρόμου εντός των προκαθορισμένων ορίων του εδάφους, αναλόγως με την γεωμετρία του δρόμου, όπως στροφές και ευθυγραμμίες.

Για ακρίβεια στις λεπτομέρειες κορυφής, συμπεριλαμβανομένης της χιλιομετρικής θέσης και των συντεταγμένων X και Y , χρησιμοποιούνται οι “Ιδιότητες - Γενικά - Θέση” από το μενού εντολών. Η εισαγωγή συντεταγμένων X και Y διευκολύνει τη δημιουργία μιας συμμετρικής στροφής για μελλοντικές συγκρίσεις. Οι προσαρμογές στις συντεταγμένες των κορυφών του εδάφους γίνονται για να επιτευχθούν στρογγυλεμένες τιμές για τις γωνίες β και γ , ανάλογα με τη γεωμετρία οριζόντιας χάραξης.



Σχήμα 5.1 Εισαγωγή συντεταγμένων X και Y κάθε κορυφής

Πρόσθετες λεπτομέρειες για κάθε κορυφή στροφής είναι προσβάσιμες κάνοντας δεξί κλικ στην κορυφή και επιλέγοντας "Λεπτομέρειες κορυφής". Αυτό ανοίγει ένα νέο παράθυρο με μη επεξεργάσιμα πεδία, εμφανίζοντας τιμές για τις γωνίες β και γ , τύπους καμπυλών και ιδιότητες όπως η ακτίνα κυκλικού τόξου και η παράμετρος κλωθοειδής.

Όνομα	Γωνία β (°)	Γωνία γ (°)
K2	135	45

Είδος Καμπύλης
Κλωθοειδής Κύκλος Κλωθοειδής

Παράμετροι καμπύλης
Ακτίνα κυκλικού τόξου (m)
200

Στοιχεία κλωθοειδών $115.470 < A < 165.282$

Εισόδου	Εξόδου
Παράμετρος	Παράμετρος
100	100
Μήκος (m)	Μήκος (m)
50	50
Εκκροστή (m)	Εκκροστή (m)
0.520543	0.520543

Εντάξει Ακύρο Επιστροφή

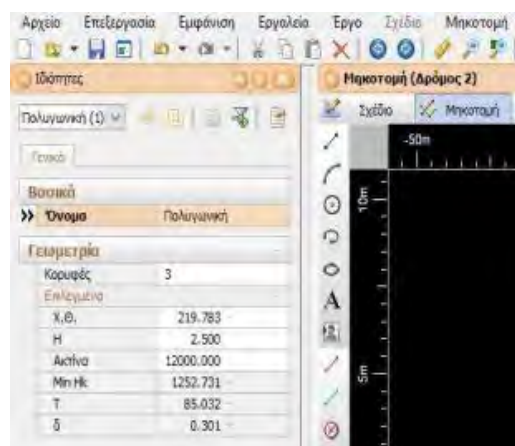
Σχήμα 5.2 Στοιχεία κορυφής

Από το μενού, με την επιλογή του εργαλείου “Χάραξη-Προδιαγραφές δρόμου”, δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής των υπόλοιπων λεπτομερειών της οριζόντιας χάραξης όπως είναι για

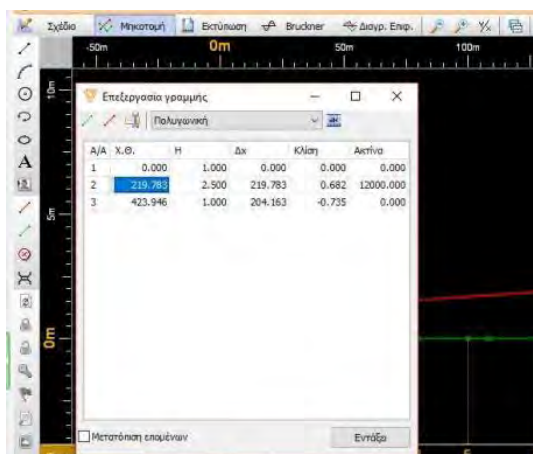
παράδειγμα η κατηγορία του δρόμου, η ταχύτητα σχεδιασμού, η πυκνότητα των διατομών, το έρεισμα, τα πλάτη λωρίδων, η λωρίδα έκτακτης ανάγκης και άλλα.

Με την ολοκλήρωση της οριζοντιογραφίας, η προσοχή μετατοπίζεται στην εντολή "Διαχείριση έργου". Αυτή η εντολή διευκολύνει την επίβλεψη έργου, επιτρέποντας εργασίες όπως η μετονομασία δρόμων και η διαγραφή. Οι κρίσιμες λειτουργίες είναι οι "Ενημερώσεις – Γρήγορη ενημέρωση". Επιλέγοντας μία από αυτές τις λειτουργίες, όπως η μετάβαση από Οριζοντιογραφία σε Μηκοτομή, το πρόγραμμα ανανεώνει αυτόματα το περιβάλλον μηκοτομής με τα σχετικά δεδομένα που εξάγονται από το περιβάλλον της οριζόντιας χάραξης. Κάθε φορά που γίνονται τροποποιήσεις σε ένα περιβάλλον, όπως της Οριζοντιογραφίας, είναι απαραίτητο να ενημερώνονται και τα υπόλοιπα περιβάλλοντα, πριν προχωρήσετε σε περαιτέρω τροποποιήσεις. Για την λήψη λογικού αποτελέσματος αυτής της διαδικασίας, το πρόγραμμα έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί αυτόματες ενημερώσεις μεταξύ περιβαλλόντων από προεπιλογή. Οι χρήστες έχουν την επιλογή να καθορίσουν ποια περιβάλλοντα υπόκεινται σε αυτόματες ενημερώσεις μέσω της καρτέλας Αυτοματισμός στο παράθυρο Διαχείριση Έργου. Συνιστάται να τηρούνται οι προεπιλεγμένες ρυθμίσεις για απρόσκοπτες αυτόματες ενημερώσεις.

Στη συνέχεια, στο περιβάλλον Μηκοτομής, εισάγεται η πολυγωνική γραμμή της μηκοτομής με την επιλογή "Νέα πολυγωνική" από την γραμμή εργαλείων. Μετά την εισαγωγή σημείων σε προσεγγιστικές θέσεις, καθορίζονται οι ακριβείς θέσεις τους. Η επιλογή σημείων επιτρέπει την επεξεργασία ιδιοτήτων όπως η χιλιομετρική θέση και το ύψος στο παράθυρο «Ιδιότητες – Γενικά». Προστίθενται πρόσθετα στοιχεία όπως η κλίση, βελτιώνοντας τον έλεγχο μέσω της επιλογής "Επεξεργασία γραμμής".

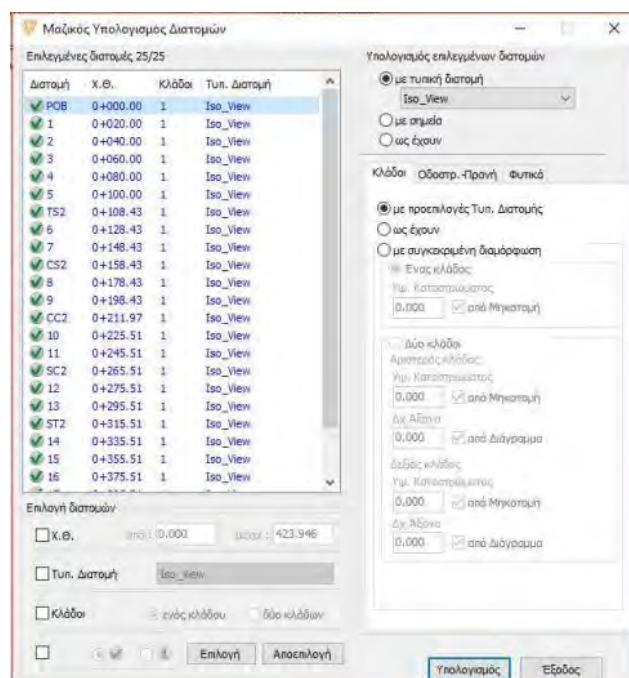


Σχήμα 5.3 Εισαγωγή στοιχείων πολυγωνικής



Σχήμα 5.4 Εισαγωγή πρόσθετων στοιχείων μηκοτομής

Μετά το πέρας της εισαγωγής της Μηκοτομής της οδού, η εστίαση μετατοπίζεται στο περιβάλλον των Διατομών. Στο συγκεκριμένο βήμα δημιουργίας μοντέλου δρόμου, είναι εφικτή η εισαγωγή ενός επιθυμητού προτύπου διατομής είτε διατομών από τη βιβλιοθήκη του προγράμματος. Η επιλογή “Μαζικές λειτουργίες - Υπολογισμός” βοηθά στον μαζικό και αυτόματο υπολογισμό διατομών, επιτρέποντας ευελιξία στην επιλογή μεθόδων υπολογισμού.



Σχήμα 5.5 Μαζικός υπολογισμός διατομών

Για τη δημιουργία ενός πλέγματος 1x1 μέτρου σε συγκεκριμένες περιοχές, καθοριστικής σημασίας (κυκλικό τόξο και καμπύλες συναρμογής) για μεταγενέστερη αναπαράσταση υψομέτρου στη δημιουργία εδάφους, εκτελούνται δύο διαδικασίες. Στο περιβάλλον της οριζόντιας χάραξης, η επιλογή «Χάραξη – Προδιαγραφές Οδού» ορίζει την πυκνότητα στην καμπύλη. Από το περιβάλλον των διατομών, το «Μαζικές λειτουργίες – Διαχείριση γραμμών» τροποποιεί τη δεξιά λωρίδα κυκλοφορίας, δημιουργώντας ενδιάμεσα σημεία σε καθορισμένες αποστάσεις.

Μετά την ολοκλήρωση της δημιουργίας πλέγματος, γίνεται επανεξέταση στο περιβάλλον της οριζόντιας χάραξης για τη μετατροπή επιλεγμένων χρησιμοποιώντας το εργαλείο «Μετατροπή σε επιφάνεια». Η προκύπτουσα "Επιφάνεια δρόμου", που υποδηλώνεται ως "Εδαφος 2", χειρίζεται μέσω του μενού "Επιλογές Οριζοντιογραφίας".

Τέλος, στο στάδιο του υπολογισμού των ισοϋψών, η προσεκτική επιλογή των τιμών για την Ισοδιάσταση και το Βήμα είναι κρίσιμη, λαμβάνοντας υπόψη την μορφολογία του εδάφους. Επιλέγοντας κατάλληλες τιμές όπως 0,01 και 0,05, ο υπολογισμός ισοϋψών εκτελείται χρησιμοποιώντας την εντολή “Υπολογισμών ισοϋψών” με επιλεγμένο το “Εδαφος 2”. Αυτό το βήμα εξασφαλίζει πιο ομαλές γραμμές ισοϋψών, ενσωματώνοντας τις ομοιόμορφες άκρες πλέγματος που δημιουργήθηκαν νωρίτερα.

Η σχολαστική εκτέλεση αυτών των βημάτων στο πρόγραμμα Anadelta Tessera εγγυάται ένα ολοκληρωμένο και ακριβές μοντέλο δρόμου, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορετικές συνθήκες εδάφους και τις γεωμετρικές περιπλοκές.

6 Εργασίες

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από εργασίες που πραγματοποιήθηκαν από φοιτητές του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο πλαίσιο των αντίστοιχων πτυχιακών εργασιών τους.

Αναπτύχθηκαν διάφορα μοντέλα δρόμων, τα οποία θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικά για την απεικόνιση των βασικών συνδυασμών οριζοντιογραφίας και μηκοτομής που οδηγούν σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από ανεπαρκή αποστράγγιση όμβριων υδάτων. Είχαν ως στόχο την κατανόηση και την αντιμετώπιση παραγόντων που επηρεάζουν το βάθος συσσώρευσης νερού στο οδόστρωμα κατά τη διάρκεια βροχής, όπως η ένταση της βροχής, το μήκος της ροής, η συνισταμένη κλίση της διαδρομής της ροής, και το βάθος της υφής της επιφάνειας του οδοστρώματος.

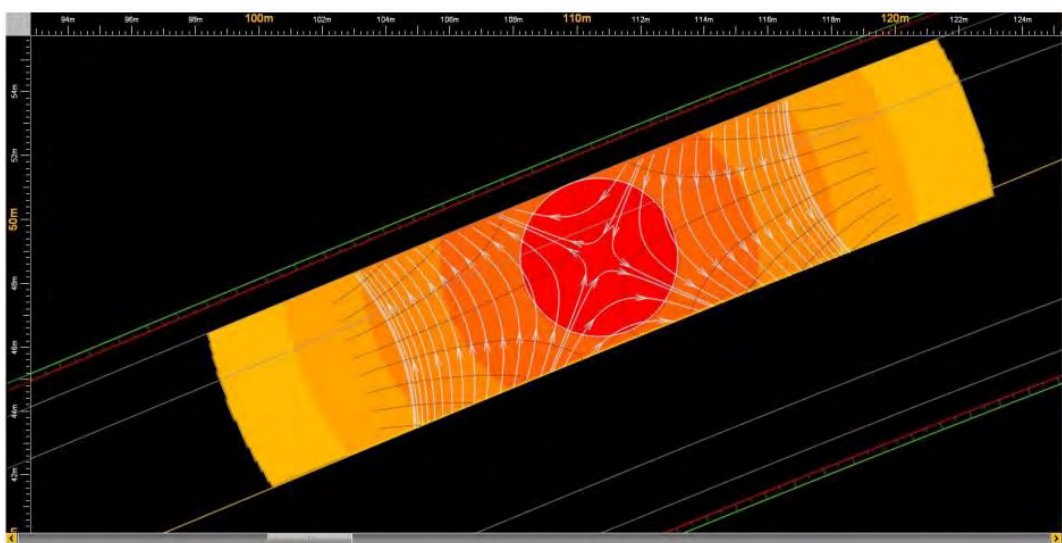
Για την αντιμετώπιση του σύνθετου ζητήματος της απορροής των όμβριων υδάτων σε δρόμους, πραγματοποιήθηκε μια ολοκληρωμένη μελέτη, η οποία συνδύασε τη μαθηματική ανάλυση με τη χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Anadelta Tessera, με τον τρόπο που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Οι προβληματικές περιοχές που παρατηρήθηκαν εντοπίζονται κυρίως σε καμπύλα τμήματα, ιδίως εντός καμπυλών συναρμογής, αναδεικνύοντας την ανάγκη για προσαρμοσμένες λύσεις για τον έλεγχο της απορροής σε αυτές τις κρίσιμες ζώνες.

6.1 Εργασία 1^η

Η πρώτη εργασία που πραγματοποιήθηκε εξέτασε διάφορες περιπτώσεις συνδυασμού οριζοντιογραφίας και μηκοτομής. Δημιουργήθηκαν μοντέλα δρόμων στα οποία διαμορφώθηκαν προβληματικές περιοχές όπου δεν γίνεται σωστά η απορροή των όμβριων υδάτων. Οι περιοχές αυτές απεικονίστηκαν με χρωματικές παραστάσεις και χαρακτηρίστηκαν ως «κρίσιμες περιοχές».

Διαπιστώθηκε ότι οι συντεταγμένες του κέντρου της κρίσιμης περιοχής επηρεάζονται από την αλλαγή της συνισταμένης κλίσης. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει αλλαγή της συντεταγμένης Y_s , ενώ η τιμή του X_s παραμένει αμετάβλητη.

Επιπλέον, παρουσιάστηκε η φορά κίνησης των όμβριων πάνω στο οδόστρωμα καθώς και οι κυκλικές ή ελλειπτικές δομές που προσδιορίζουν την κρίσιμη περιοχή με συνισταμένη κλίση μικρότερη του 0,5%.



Σχήμα 6.1 Τελικό αποτέλεσμα 1^{ης} Μελέτης

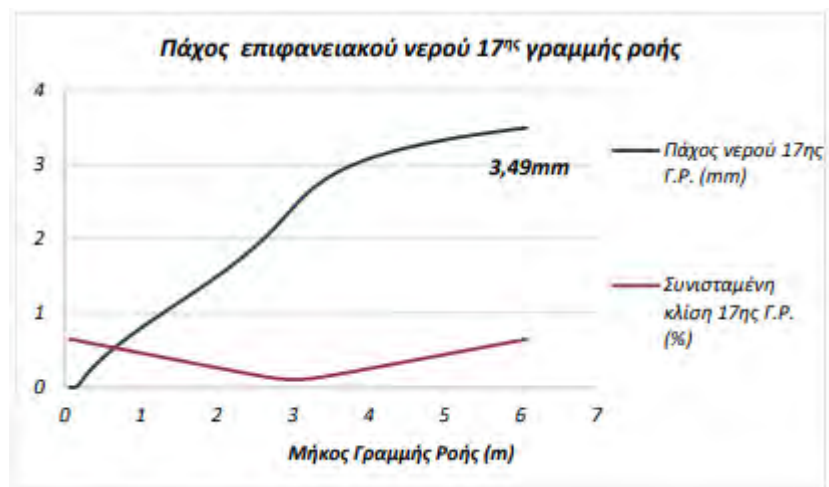
6.2 Εργασία 2^η

Βασισμένη στις γραμμές ροής της πρώτης εργασίας, η δεύτερη εργασία διερεύνησε το πάχος του νερού πάνω σε αυτές. Ο κύριος μαθηματικός τύπος του Gallaway ([σχέση 3.3](#)) υπολογίζει το ύψος του νερού όταν η συνισταμένη κλίση της γραμμής ροής παραμένει σταθερή. Στις οδούς, και ιδίως στην κρίσιμη περιοχή, οι γραμμές ροής έχουν μεταβλητή συνισταμένη κλίση. Για τον υπολογισμό του πάχους του στρώματος νερού σε αυτές τις περιοχές, ο τύπος προσαρμόστηκε για να μπορεί να εφαρμοστεί σε τμήματα.

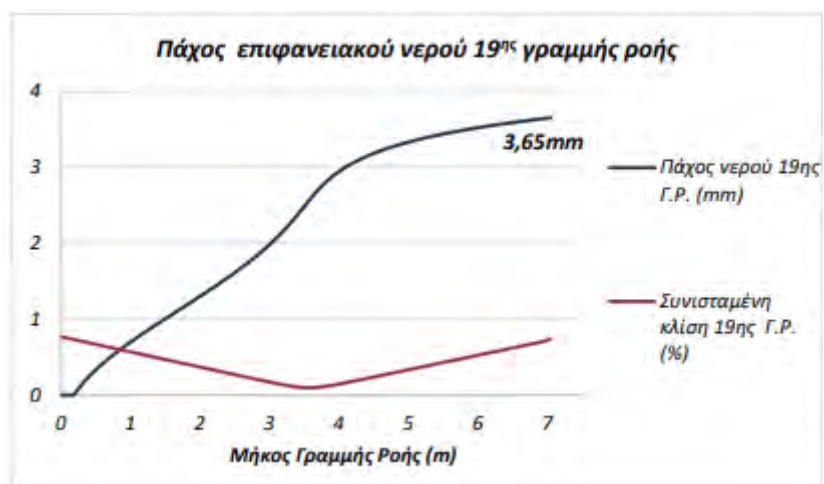
Στις γραμμές ροής όπου η συνισταμένη κλίση παρέμενε σταθερή, τα αποτελέσματα παρέμειναν τα ίδια, ανεξαρτήτως του μήκους βήματος. Στις περιπτώσεις όπου οι γραμμές ροής είχαν μεταβαλλόμενη κλίση (κυρτή ή κοίλη καμπύλη), τα αποτελέσματα ταυτίζονται όσο το μήκος των διαστημάτων μικραίνει.

Διαπιστώθηκε ότι το ύψος του νερού στο άκρο των γραμμών ροής που απέχουν την μεγαλύτερη απόσταση από το σημείο μηδέν της συνισταμένης κλίσης μεταβάλλεται σε μικρές τιμές, αναλόγως του συνολικού μήκους της γραμμής και της συνισταμένης κλίσης. Μεγαλύτερη ποσότητα νερού συσσωρεύεται στο τέλος των γραμμών που περνούν μέσα από τον κύκλο.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών απεικονίστηκαν με διάφορα διαγράμματα όπως παρουσιάζονται ενδεικτικά πιο κάτω. Η γραμμές ροής αναφέρονται στο [σχήμα 3.5](#).



Σχήμα 6.2 Πάχος νερού για την 17η γραμμή ροής συναρτήσει της κλίσης.



Σχήμα 6.3 Πάχος νερού για την 19η γραμμή ροής συναρτήσει του μήκους.

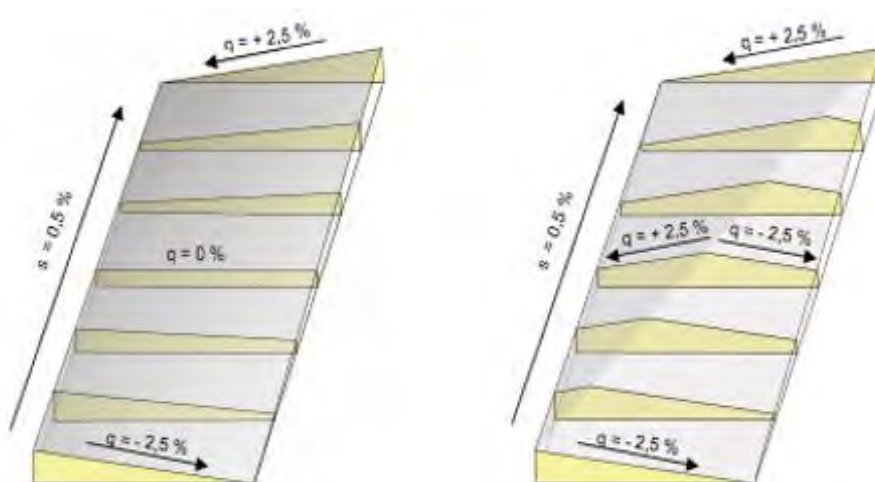
6.3 Εργασία 3^η

Στην συγκεκριμένη εργασία εξετάστηκε η εφαρμογή λοξών κορυφογραμμών ως μέσο αντιμετώπισης του προβλήματος της απορροής των όμβριων από την επιφάνεια του οδοστρώματος. Έγινε σύγκριση της περιστροφής του οδοστρώματος με τον κλασικό τρόπο αλλά και με εφαρμογή λοξής κορυφογραμμής με μεταβολή της επίκλισης από -2.5% σε 2.5%.

Η εφαρμογή των λοξών κορυφογραμμών στοχεύει στη μείωση του ύψους της υδάτινης στρώσης που σχηματίζεται στην επιφάνεια του οδοστρώματος στην περίπτωση βροχόπτωσης, δίνοντας λύση στο ζήτημα της υδρολίσθησης.

Με την βοήθεια των δύο προηγούμενων μελετών, έγινε υπολογισμός του πάχους νερού και ο σχεδιασμός των γραμμών ροής με την χρήση της επέκτασης του τύπου του Gallaway, σε περιπτώσεις που η συνισταμένη κλίση μεταβάλλεται.

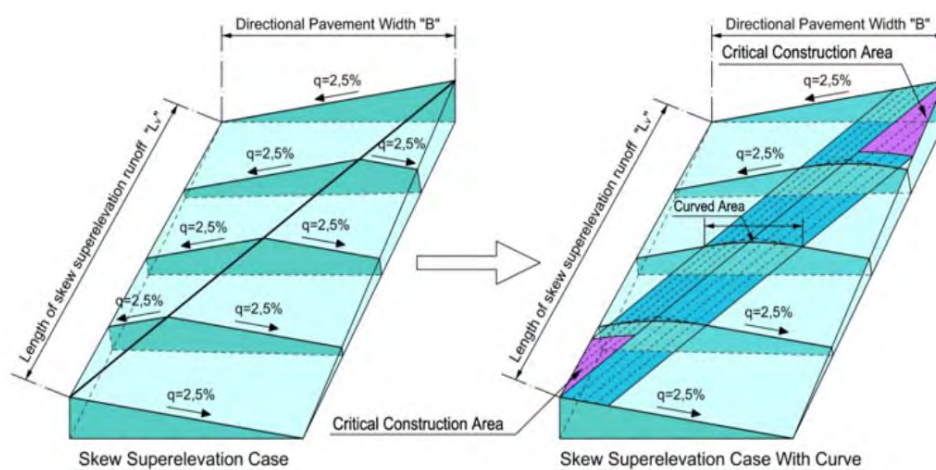
Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται το τελικό αποτέλεσμα που λαμβάνουμε από την χρήση των λοξών κορυφογραμμών.



Σχήμα 6.4 Περιστροφή οδοστρώματος με εφαρμογή λοξών κορυφογραμμών με μεταβολή της επίκλισης από -2.5% σε 2.5%

6.4 Εργασία 4^η

Στόχος αυτής της εργασίας ήταν η διερεύνηση της απορροής του οδοστρώματος, ιδίως στις κρίσιμες περιοχές όπου στις καμπύλες συναρμογής κατά την περιστροφή του οδοστρώματος υπάρχουν μικρή κατά μήκος κλίση. Η εργασία διερεύνησε εναλλακτικές τεχνικές, όπως τις λοξές κορυφογραμμές, για τον περιορισμό του προβλήματος αποστράγγισης σε αυτές τις κρίσιμες περιοχές. Έγινε πρόταση μιας βελτιωμένης μεθόδου, της εφαρμογής στρογγυλεμένων λοξών κορυφογραμμών, η οποία συγκρίθηκε με την αρχική μέθοδο των απλών λοξών κορυφογραμμών.



Σχήμα 6.5 Απεικόνιση της λοξής υπερύψωσης με εφαρμοζόμενη κατακόρυφη καμπύλη.

Τα αποτελέσματα έδειξαν μια συνολική αντίληψη των προβλημάτων αποστράγγισης σε οδικά τμήματα και προτάθηκαν λύσεις, δίνοντας κίνητρο για περαιτέρω μελέτη. Αποδείχθηκε πως η εφαρμογή στρογγυλεμένων λοξών κορυφογραμμών μπορεί να αντιμετωπίσει τα ζητήματα της κακής απορροής χωρίς να επηρεάζεται η δυναμική της κίνησης. Γενικότερα, η εργασία τόνισε την αναγκαιότητα ενός ρεαλιστικού τρόπου υπολογισμού βάθους νερού και έθεσε ως αντικείμενο ανησυχίας την κατασκευαστική εφαρμογή των στρογγυλεμένων λοξών κορυφογραμμών.

7 Συμπεράσματα

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας θα αποτελέσουν αρχή της συζήτησης για τους παράγοντες που επηρεάζουν την απορροή των όμβριων υδάτων σε δρόμους και θα αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για τη βελτίωση των στρατηγικών σχεδιασμού και συντήρησης του οδικού δικτύου.

Παρουσιάστηκαν διάφορα οδικά μοντέλα, τα οποία αντιπροσωπεύουν βασικούς συνδυασμούς οριζοντιογραφίας και μηκοτομής που οδηγούν σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από ανεπαρκή αποστράγγιση των όμβριων υδάτων. Τα μοντέλα αυτά αποσκοπούσαν στην κατανόηση και αντιμετώπιση των παραγόντων που επηρεάζουν την συσσώρευση νερού στις επιφάνειες των οδών κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης.

Για την αντιμετώπιση του πολύπλοκου ζητήματος της απορροής των όμβριων υδάτων σε δρόμους, διεξήχθη μια ολοκληρωμένη μελέτη, συνδυάζοντας τη μαθηματική ανάλυση με τη χρήση του προγράμματος Anadelta Tessera. Οι προβληματικές περιοχές, που παρατηρήθηκαν κυρίως σε καμπύλες συναρμογής, ανέδειξαν την ανάγκη για προσαρμοσμένες λύσεις για τον έλεγχο της απορροής σε αυτές τις κρίσιμες περιοχές.

Διαπιστώθηκε ότι συντεταγμένες του κέντρου της κρίσιμης περιοχής επηρεάζονται από από τον ρυθμό μεταβολής της εγκάρσιας κλίσης και από την κατά μήκος κλίση. Παρουσιάστηκε η κατεύθυνση της κίνησης του νερού στο οδόστρωμα και οι κυκλικές ή ελλειπτικές δομές που ορίζουν τις κρίσιμες περιοχές.

Με βάση τις γραμμές ροής, διερευνήθηκε το πάχος του νερού στις γραμμές αυτές με προσαρμογή του μαθηματικού τύπου του Gallaway, που υπολογίζει το ύψος του νερού όταν η συνδυασμένη κλίση της γραμμής ροής παρέμενε σταθερή, με σκοπό την εφαρμογή του σε τμήματα όπου η κλίση μεταβαλλόταν.

Εφαρμόζοντας λοξές κορυφογραμμές κατά την περιστροφή του οδοστρώματος, δίνεται λύση σε θέματα αποστράγγισης επιφανειακών υδάτων. Πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ της περιστροφής του δρόμου με την κλασική μέθοδο και της εφαρμογής λοξών κορυφογραμμών. Τα αποτελέσματα της χρήσης των λοξών κορυφογραμμών αντιμετωπίζουν το ζήτημα της

υδρολίστεσης μειώνοντας το ύψος του στρώματος νερού στο οδόστρωμα κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης.

Για την βέλτιστη εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου διερευνήθηκε η χρήση στρογγυλεμένων κορυφογραμμών κατά την περιστροφή του οδοστρώματος, λύση που αντιμετωπίζει με μεγάλη επιτυχία την απορροή των υδάτων έχοντας μικρότερη επιρροή πάνω στη δυναμική της κυκλοφορία.

Συμπερασματικά, αυτή η ολοκληρωμένη εργασία παρέχει πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τη δυναμική της απορροής των όμβριων υδάτων σε δρόμους, προσφέροντας προσαρμοσμένες λύσεις για τη μείωση των επιπτώσεων σε καμπύλες περιοχές. Ο συνδυασμός μαθηματικής ανάλυσης και προηγμένων εργαλείων λογισμικού διευκολύνει τη κατανόηση των παραγόντων που επηρεάζουν την απορροή, επιτρέποντας τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για το σχεδιασμό και τη συντήρηση των δρόμων.

8 Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. AASHTO, (2007). *Highway Drainage Guidelines and Transportation Officials*.
2. Chaithoo, D.B., & Allopi, D. (2012). *Re-evaluating superelevation in relation to drainage requirements and vehicle dynamics*. Durban University of Technology, South Africa.
3. Gallaway, B.M., Ivey, D.L., Hayes, G., Ledbetter, W.B., Olson, R.M., Woods, D.L., & Schiller, R.F. (1979). *Pavement and geometric design criteria for minimizing hydroplaning*, FHWA-RD-79-31 Final Rpt.
4. Güven, O., & Melville, J.G. (1999). *Pavement cross slope - A technical review*, Auburn University, Auburn.
5. Lamm, R., Psarianos, B., & Mailaender, T. (1999). *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*, McGraw-Hill, New York.
6. RAL-L-1, Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL): Linienführung (RAS-L)/Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf. (1979).
7. Αλιμονάκης, Θ. (2018). *Διερεύνηση απορροής των όμβριων σε κρίσιμες περιοχές του οδοστρώματος*. (Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας).
8. Ανδρεαδάκης, Ε. (χ.χ). *Υδραυλικό φορτίο - Υδροφόροι ορίζοντες - N. Darcy -Υπόγεια αποστράγγιση*, Εργαστήριο Υδρογεωλογίας, Άσκηση 5.
9. Αποστολάκης, Σ. (2020). *Διερεύνηση απορροής όμβριων στην επιφάνεια οδοστρώματος με εφαρμογή λοξών επικλίσεων*. (Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας).
10. Γιώτης, Α., Κανελλαΐδης, Γ., & Μαλέρδος, Γ. (1990). *Γεωμετρικός Σχεδιασμός των Οδών*, Αθήνα.

11. Δαλαμπύρα, Ε., & Κατσικανή, Β. (2019). *Διερεύνηση απορροής όμβριων σε κρίσιμες περιοχές στην επιφάνεια του οδοστρώματος*. (Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας).
12. Ηλιού, Ν.Ε., & Καλιαμπέτσος, Γ.Δ. (2012). *Διερεύνηση του προβλήματος της απορροής των όμβριων σε κρίσιμες για την ασφάλεια περιοχές των οδικών χαράξεων*, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Αθήνα.
13. Καλιαμπέτσος, Γ.Δ. (2017). *Ανάπτυξη και βελτιστοποίηση αλγορίθμων για τον σχεδιασμό συγκοινωνιακών έργων*. (Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας).
14. Κοσμέτου, Π. (2014). *Ανάλυση και αξιολόγηση της υφής ασφαλικών οδοστρωμάτων*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
15. Μαστοράκη, Γ. (2022). *Διερεύνηση απορροής όμβριων οδοστρώματος - Εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης*. (Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας).
16. Σκλαβούνος, Δ. (2020). *Εργαστηριακή διερεύνηση των εποχιακών μεταβολών της ολισθηρότητας σε ασφαλιστάπητες οδοστρωμάτων*. (Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο).
17. Σουμπάκας, Ε. (2016). *Διερεύνηση του προβλήματος της απορροής των όμβριων σε κρίσιμες για την ασφάλεια περιοχές των οδικών χαράξεων*. (Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας).
18. Τσάγγος, Β., Φίλικας Μ., & Ψαριώτης Α. (2016). *Υπολογισμός και μελέτη ανοικτών αγωγών Διαφόρων διατομών- υλικών*. (Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας).
19. Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων. (2001). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ). Τεύχος 3: Χαράξεις (ΟΜΟΕ - Χ)*.
20. Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων. (2002). *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ). Τεύχος 8: Αποχέτευση-Στράγγιση, Υδραυλικά, Έργα Οδών (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ)*.
21. Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών & Δικτύων. (2013, Δεκέμβριος 20). *Προσθήκη-Συμπλήρωση Άρθρου στα Τιμολόγια Έργων Οδοποιίας* (Εγκύκλιος 34).