



Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Διπλωματική Εργασία
«Διερεύνηση απορροής ομβρίων οδοστρώματος
Εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης»

Γεωργία Μαστοράκη

Επιβλέποντες καθηγητές: Παντελεήμων Κοπελιάς

Παναγιώτης Λεμονάκης

© 2022 Γεωργία Μαστοράκη

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. Κοπελιάς Παντελεήμων
(Επιβλέπων) Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,
 Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

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

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Ηλιού Νικόλαος
 Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
 Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, επίκουρο Καθηγητή κ. Κοπελιά Παντελεήμονα, για την βοήθεια και την καθοδήγησή του καθ' όλη 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 τη συμβολή, τη βοήθεια, την υποστήριξη και την καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επιπλέον σημαντική βοήθεια στην διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας, προσέφερε και ο κ. Λεμονάκης Παναγιώτης, τον οποίο και ευχαριστώ. Ακολούθως οφείλω να ευχαριστήσω τον κ. Παπανικολάου Παναγιώτη, καθηγητή του ΕΜΠ για την πολύτιμη βοήθεια του. Επίσης, είμαι ευγνώμων στο τρίτο μέλος της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής μου εργασίας, τον καθηγητή κ. Ηλιού Νικόλαο 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 υποστήριξη όλα αυτά τα χρόνια.

Μαστοράκη Γεωργία

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΟΜΒΡΙΩΝ ΣΕ ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΜΕΝΗΣ ΛΟΞΗΣ ΕΠΙΚΛΙΣΗΣ

Γεωργία Μαστοράκη

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, 2022

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Παντελεήμων Κοπελιάς, Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών
Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Το ζήτημα της απορροής των ομβρίων στις κρίσιμες περιοχές του οδοστρώματος είναι ένα από τα μείζονα θέματα που απασχολούν τη μελέτη και το σχεδιασμό της οδοποιίας. Η κρισιμότητα οφείλεται στο φαινόμενο της συσσώρευσης όγκου νερού σε τμήματα της οδού, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η δυναμική των οχημάτων, δημιουργώντας κίνδυνο ατυχημάτων. Ο κίνδυνος που εγκυμονεί είναι η αύξηση των πιθανοτήτων για υδρολίσθηση των διερχόμενων οχημάτων ή παγοπληξία του οδοστρώματος.

Στην υπό ανάλυση εργασία εξετάζεται αρχικά η αξιοπιστία της μεθόδου του Gallaway για τον υπολογισμό του βάθους νερού στις οριογραμμές του οδοστρώματος. Η μέθοδος αυτή προτείνεται από τις ΟΜΟΕ (Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων). Ο έλεγχος της αξιοπιστίας γίνεται μέσω της ορθολογικής μεθόδου, η οποία έχει ευρύτερη εφαρμογή. Για την αξιολόγηση αυτή γίνεται υπολογισμός ενός συγκρίσιμου μεγέθους το οποίο είναι η παροχή. Για τον υπολογισμό του μεγέθους αυτού, χρησιμοποιείται η εξίσωση παροχής, ενώ για τον υπολογισμό της ταχύτητας χρησιμοποιείται αρχικά ο τύπος του Manning, ο οποίος έχει εφαρμογή σε μη στρωτή ροή και ο τύπος των Navier – Stokes, ο οποίος έχει εφαρμογή σε συνθήκες στρωτής ροής.

Έπειτα δημιουργείται ένα μοντέλο προσομοίωσης οδού, στο οποίο και εφαρμόζεται στρογγυλεμένη λοξή επίκλιση, με στόχο την επίλυση του ζητήματος της απορροής στις κρίσιμες περιοχές του οδοστρώματος. Η εφαρμογή αυτή συγκρίνεται με το αντίστοιχο μοντέλο απλής λοξής επίκλισης και κριτήριο είναι η απορροή καθώς και η δυναμική της κίνησης των οχημάτων.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Γενικά	1
1.2	Δομή διπλωματικής εργασίας.....	2
2.	Θεωρητικό υπόβαθρο.....	3
2.1	Επεξήγηση όρων	3
2.2	Μαθηματική περιγραφή	4
2.2.1	Επίκλιση	4
2.2.2	Κατά μήκος κλίση	5
2.2.3	Συνισταμένη κλίση	5
2.2.4	Πρόσθετη κλίση οριογραμμών	6
2.2.5	Τόξα συναρμογής.....	9
2.3	Προγενέστερη έρευνα για μεθόδους βελτίωσης της απορροής.....	9
2.3.1	Εφαρμογή λοξής επίκλισης.....	9
2.3.2	Εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης.....	11
3.	Αξιολόγηση μεθόδου υπολογισμού βάθους νερού.....	15
3.1	Μέθοδος Gallaway.....	15
3.2	Εξίσωση του Manning	17
3.3	Ορθολογική μέθοδος	21
3.4	Αξιολόγηση μεθόδου Gallaway μέσω της ορθολογικής μεθόδου.....	23
3.5	Σύγκριση με τη μέθοδο Navier-Stokes	33
4.	Εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης	37
4.1	Μοντέλο εφαρμογής	37
4.1.1	Λοξή στρογγυλεμένη κορυφογραμμή και κατά μήκος κλίση 0%	39
4.1.2	Λοξή στρογγυλεμένη κορυφογραμμή και κατά μήκος κλίση 0,5%	42
4.1.3	Λοξή στρογγυλεμένη κορυφογραμμή και κατά μήκος κλίση -0,5%	43
4.1.4	Λοξή στρογγυλεμένη κορυφογραμμή και κατά μήκος κλίση -1%	44
4.2	Σύγκριση λοξής επίκλισης 2,5% με στρογγυλεμένη λοξή επίκλιση 2,5%.....	46
5.	Συμπεράσματα	49
6.	Βιβλιογραφικές αναφορές.....	51
7.	Παράρτημα.....	53

Εικόνες

Εικόνα 1: Διάγραμμα επικλίσεων (Βασίλειος Ψαριανός, 2018).....	4
Εικόνα 2: Κλίση υπερύψωσης Δs (Ψαριανός, 2018).	7
Εικόνα 3: Σύστημα συντεταγμένων για την συνισταμένη κλίση (Καλιαμπέτσος, 2017)	8
Εικόνα 4: Χρωματική απεικόνιση της συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος για διαφορετικές τιμές σταθερής (αρνητικής) κατά μήκος κλίσης, (Καλιαμπέτσος 2017).	8
Εικόνα 5: Υπόμνημα χρωμάτων ανάλογα με την συνισταμένη κλίση.....	9
Εικόνα 6: Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% (Αλιμονάκης 2020).	10
Εικόνα 7: Κλασσική περιστροφή οδοστρώματος από -2,5% με 2,5% με κατά μήκος κλίση 0% (Αποστολάκης 2020).....	10
Εικόνα 8: Εφαρμογή λοξής επίκλισης για μετάβαση από -2,5% σε 2,5% για κατά μήκος κλίση 0%.	10
Εικόνα 9: Εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης (Basil Psarianos, Konstantinos Apostoleris, 2019).	11
Εικόνα 10: Γεωμετρικά στοιχεία τα οποία αφορούν την περιοχή εφαρμογής της στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης (Basil Psarianos, Konstantinos Apostoleris, 2019).	13
Εικόνα 11: Λεπτομέρειες κατασκευής σε διατομή οδού με εφαρμοσμένη την λοξή επίκλιση.	13
Εικόνα 12: Συνισταμένη πορεία της ροής στο οδόστρωμα (Güven & Melville, 1999)	17
Εικόνα 13: Περιοχή με πρόβλημα απορροής για μεταβολή της επίκλισης από 2,5% σε -2,5% με μηδενική κατά μήκος κλίση (Αποστολάκης 2020).	37
Εικόνα 14: Τυπική διατομή “α 4 νσ” (ΟΜΟΕ-Δ, 2001)	38
Εικόνα 15: Τυπική διατομή στρογγυλεμένης λοξής κορυφογραμμής.....	39
Εικόνα 16: Τυπική διατομή λοξής επίκλισης.....	40
Εικόνα 17: Απεικόνιση εφαρμογής στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης σε δρόμο χωρίς κατά μήκος κλίση	40
Εικόνα 18: Γραμμές ροής για κατά μήκος κλίση 0%.....	41
Εικόνα 19: Μηκοτομές σε σημεία με απόσταση 3,65 και 7,30 από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος για κατά μήκος κλίση 0%.	41
Εικόνα 20: Απεικόνιση εφαρμογής στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης σε δρόμο με κατά μήκος κλίση 0,5%.	42
Εικόνα 21: Γραμμές ροής για κατά μήκος κλίση 0,5%.....	42
Εικόνα 22: Μηκοτομές σε σημεία με απόσταση 3,65 και 7,30 από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος για κατά μήκος κλίση 0,5%.	43
Εικόνα 23: Απεικόνιση εφαρμογής στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης σε δρόμο με κατά μήκος κλίση -0,5%.	43
Εικόνα 24: Γραμμές ροής για κατά μήκος κλίση -0,5%.	44
Εικόνα 25: Μηκοτομές σε σημεία με απόσταση 3,65 και 7,30 από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος για κατά μήκος κλίση -0,5%.....	44
Εικόνα 26: Απεικόνιση εφαρμογής στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης σε δρόμο με κατά μήκος κλίση -1%.	45

Εικόνα 27: Γραμμές ροής για κατά μήκος κλίση -1%.	45
Εικόνα 28: Μηκοτομές σε σημεία με απόσταση 3,65 και 7,30 από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος για κατά μήκος κλίση -1%.	45
Εικόνα 29: : Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% (Αποστολάκης 2020).	46
Εικόνα 30: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5% για κατά μήκος κλίση 0% (Αποστολάκης 2020).	46
Εικόνα 31: Γραμμές Ροής - Στρογγυλεμένη Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από - 2,5% σε 2,5%	47
Εικόνα 32: Μηκοτομές σε σημεία με απόσταση 3,65 και 7,30 από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος για κατά μήκος κλίση 0% σε μοντέλο δρόμου με εφαρμοσμένη λοξή επίκλιση.	47
Εικόνα 33: Περιβάλλον Tessera	53
Εικόνα 34: Σχεδιασμός σημείων για τη δημιουργία εδάφους	54
Εικόνα 35: Εντολή «Επιλογές εδάφους»	55
Εικόνα 36: Καρτέλα «Επιλογές εδάφους»	55
Εικόνα 37: Εντολή «Υπολογισμός Τριγώνων»	56
Εικόνα 38: Εντολή «Προδιαγραφές Δρόμων (Εξ Ορισμού)»	56
Εικόνα 39: Καθορισμός Γενικών στοιχείων από την Καρτέλα «Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων»	57
Εικόνα 40: Καθορισμός Πλατών από την Καρτέλα «Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων»	58
Εικόνα 41: Καθορισμός Κλίσεων από την Καρτέλα «Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων»	58
Εικόνα 42: Καθορισμός Διαγραμμάτων από την Καρτέλα «Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων»	59
Εικόνα 43: Καθορισμός Πύκνωσης από την Καρτέλα «Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων»	59
Εικόνα 44: Τοποθέτηση δύο σημείων K1 και K2 για τη δημιουργία οδού	60
Εικόνα 45: Καθορισμός συντεταγμένων για τις κορυφές K1 και K2 της οδού	60
Εικόνα 46: Εντολή «Επεξεργασία διαγραμμάτων»	61
Εικόνα 47: Καθορισμός διαγραμμάτων Δx αριστερού ημι-άξονα από την καρτέλα «Διαγράμματα Δρόμου»	62
Εικόνα 48: Περιβάλλον Μηκοτομής	63
Εικόνα 49: Σχεδιασμός ερυθράς γραμμής στο περιβάλλον της Μηκοτομής	63
Εικόνα 50: Μετάβαση στο περιβάλλον των διατομών στην επιλογή «Τυπικές»	64
Εικόνα 51: Δημιουργία τυπικής διατομής με όνομα «Στρογγ. Λοξή»	65
Εικόνα 52: Καθορισμός στοιχείων τυπικής διατομής στην καρτέλα η οποία αφορά τους Κλάδους	66
Εικόνα 53: Καθορισμός στοιχείων τυπικής διατομής στην καρτέλα η οποία αφορά τα Πρανή	66
Εικόνα 54: Δημιουργία νέου επιχώματος 2:3 και ορύγματος 2:1 από την καρτέλα Πρανή στις ρυθμίσεις της τυπικής διατομής	67
Εικόνα 55: Καθορισμένα στοιχεία τυπικής διατομής στην καρτέλα η οποία αφορά τα Πρανή	68
Εικόνα 56: Καθορισμός στοιχείων τυπικής διατομής στην καρτέλα η οποία αφορά τα Φυτικά	68

Εικόνα 57: Δυνατότητα προσθήκης σημείων στην τυπική διατομή.....	69
Εικόνα 58: Καθορισμός χαρακτηριστικών του πρώτου σημείου από της δεξιά οριογραμμή της αριστερής λωρίδας της τυπικής διατομής.....	69
Εικόνα 59: Καθορισμός χαρακτηριστικών για τα σημεία που βρίσκονται πάνω στην τυπική διατομή	70
Εικόνα 60: Τυπική διατομή	71
Εικόνα 61: Μετάβαση από την τυπική διατομή στις Διατομές	71
Εικόνα 62: Από την καρτέλα «Μαζικές λειτουργίες» γίνεται η επιλογή «Υπολογισμός» η οποία αφορά τις διατομές	72
Εικόνα 63: Εφαρμογή τυπικής διατομής στις διατομές	72
Εικόνα 64: Εφαρμοσμένη η στρογγυλεμένη λοξή επίκλιση πριν τη διόρθωση.....	73
Εικόνα 65: Επιλογή «Αντίγραφο».	73
Εικόνα 66: Συντεταγμένες αντιγράφου διατομής.	74
Εικόνα 67: Προσθήκη σημείου πάνω στην δεξιά οριογραμμή.	75
Εικόνα 68: Ορισμός συντεταγμένων σημείου στην δεξιά οριογραμμή.	75
Εικόνα 69: Εντολή μετακίνησης αντιγράφου διατομής	76
Εικόνα 70: Διόρθωση διατομής (βήμα 1).....	76
Εικόνα 71: Διόρθωση διατομής (βήμα 2).....	77
Εικόνα 72: Διόρθωση διατομής (βήμα 3).....	77
Εικόνα 73: Υπολογισμός διορθωμένης διατομής.....	78
Εικόνα 74: Επιλογή «Ενημέρωση Οριζοντιογραφίας»	78
Εικόνα 75: Εντολή «Μετατροπή σε έδαφος».....	79
Εικόνα 76: Ρυθμίσεις στην καρτέλα « Μετατροπή σε έδαφος».	79
Εικόνα 77: Εντολή «Διόρθωση τριγώνων».....	80
Εικόνα 78: Διόρθωση τριγώνων	81
Εικόνα 79: Εντολή «επιλογές εδάφους»	82
Εικόνα 80: Καρτέλα «επιλογές εδάφους».....	82
Εικόνα 81: Υπολογισμός ισοϋψών	82
Εικόνα 82: Ισοϋψείς και γραμμές ροής στο περιβάλλον του AutoCAD.....	83
Εικόνα 83: Επιλογή «Διαχείριση»	83
Εικόνα 84: Ενημέρωση από Διατομές σε Μηκοτομή	84
Εικόνα 85: Κατά μήκος γραμμή με απόσταση 3,65 μέτρα από τον άξονα περιστροφής.	84
Εικόνα 86: Κατά μήκος γραμμή με απόσταση 3,65 μέτρα από τον άξονα περιστροφής.	85
Εικόνα 87: Μηκοτομές σε σημεία με απόσταση 3,65 και 7,30 από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος.....	85

Διαγράμματα

Διάγραμμα 1: Εγκάρσιας κλίσης – παροχής με τη χρήση δύο μεθόδων (για $BY=0,7$ και $n=0,016$).	29
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό $n=0,018$ και μεταβλητό βάθος υφής.....	30

Διάγραμμα 3: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό $n=0,016$ και μεταβλητό βάθος υφής.....	30
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό βάθος υφής 0,6 και μεταβλητό συντελεστή Manning.	31
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό βάθος υφής 0,7 και μεταβλητό συντελεστή Manning.	31
Διάγραμμα 6: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό βάθος υφής 0,8 και μεταβλητό συντελεστή Manning.	32
Διάγραμμα 7: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό βάθος υφής 0,9 και μεταβλητό συντελεστή Manning.	32
Διάγραμμα 8: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό βάθος υφής 1 και μεταβλητό συντελεστή Manning.	33
Διάγραμμα 9: Εγκάρσιας κλίσης – παροχής με τη χρήση τριών μεθόδων.	35

Πίνακες

Πίνακας 1 Ελάχιστο Βάθος Επιφανειακής Υφής (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2013)	16
Πίνακας 2: Συντελεστές τραχύτητας "n" Manning (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ)	19
Πίνακας 3: Τιμές συντελεστή τραχύτητας της εξίσωσης Manning σε τεχνητές εγκαταστάσεις αποχέτευσης (ΟΜΟΕ – ΑΣΥΕΟ)	20
Πίνακας 4: Συντελεστής C – ΟΜΟΕ-Χ.....	22
Πίνακας 5: Συντελεστής διόρθωσης αναλόγως με περίοδο επαναφοράς (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ)	23
Πίνακας 6: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,016$ και $BY=0,6$	24
Πίνακας 7: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,016$ και $BY=0,7$	25
Πίνακας 8: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,016$ και $BY=0,9$	25
Πίνακας 9: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,016$ και $BY=1$	26
Πίνακας 10: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,018$ και $BY=0,6$	27
Πίνακας 11: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,018$ και $BY=0,7$	27
Πίνακας 12: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,018$ και $BY=0,7$	28
Πίνακας 13: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,018$ και $BY=1$	28

Πίνακας 14: Εύρεση ταχύτητας μέσω του τύπου Navier Stokes και βάθος νερού μέσω της μεθόδου του Gallaway για εγκάρσια κλίση 0,5% έως 5%.	34
---	----

1 Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Το ζήτημα της απορροής των ομβρίων στο οδικό δίκτυο, έχει διερευνηθεί από πλήθος μελετητών, με βασικό οδηγό τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ).

Πρώτο βήμα για την διερεύνηση της απορροής είναι βρεθούν αναλυτικά καθώς και μέσω μοντέλου προσομοίωσης οι θέσεις στις οποίες δημιουργούνται προβλήματα λόγω της κακής απορροής. Το βήμα αυτό έχει πραγματοποιηθεί υπολογιστικά καθώς και μέσω μοντέλων προσομοίωσης.

Ο τρόπος υπολογισμού των σημείων (της θέσης), των οποίων τα χαρακτηριστικά τους συμβάλλουν στην δημιουργία περιοχών με συσσώρευση ομβρίων, δίνεται στις ΟΜΟΕ. Εκτός από τις θέσεις, σημαντικό είναι να υπολογισθεί σε αυτές τις περιπτώσεις και το βάθος νερού ώστε να αντιμετωπιστεί καλύτερα, το ζήτημα. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται από τις ΟΜΟΕ, είναι μέσω του τύπου του Gallaway.

Όσον αφορά στο μοντέλο προσομοίωσης, ένα από τα προγράμματα τα οποία εξειδικεύονται στην χάραξη οδών είναι το Tessera της εταιρείας Anadelta. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα εντοπισμού των κρίσιμων περιοχών όσον αφορά την απορροή, αφότου εισαχθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της οδού.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται δυο ζητήματα, τα οποία αφορούν την διερεύνηση απορροής ομβρίων σε τμήματα οδού. Το πρώτο ζήτημα αφορά τη μαθηματική προσέγγιση για την αξιολόγηση του τύπου υπολογισμού του πάχους νερού που συσσωρεύεται σε μια περιοχή του οδοστρώματος. Στο δεύτερο ζήτημα διερευνάται η επίλυση του προβλήματος της απορροής, με την εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης κατά μήκος της οδού, μέσω μοντέλων προσομοίωσης με τη χρήση του Anadelta Tessera.

Στο πρώτο ζήτημα, χρησιμοποιώντας μεθοδολογίες από το θεωρητικό υπόβαθρο των ΟΜΟΕ-Χ, πραγματοποιήθηκε έλεγχος αξιοπιστίας της μεθόδου του Gallaway. Για τον έλεγχο αυτό χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος σύγκρισης η ορθολογική. Για να είναι εφικτή η σύγκριση χρησιμοποιήθηκαν η μέθοδος του Manning και των Navier – Stokes έτσι ώστε να υπολογισθεί με βάση το βάθος νερού, η παροχή, μέγεθος το οποίο υπολογίζεται και από την ορθολογική μέθοδο.

Στο δεύτερο ζήτημα, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο δρόμου με μήκος ικανό ώστε να εξυπηρετήσει τη διερεύνηση της παρούσας διπλωματικής, στο οποίο δόθηκε κατά μήκος κλίση ίση με 0%, 0,5%, -0,5% και -1%, η οποία κλίση αντιστοιχούσε σε τέσσερα διαφορετικά μοντέλα. Στο κάθε μοντέλο διαμορφώθηκε στρογγυλεμένη λοξή επίκλιση και έπειτα σχεδιάστηκαν οι γραμμές ροής ώστε να εξαχθούν τα αποτελέσματα για το πόσο η λύση της λοξής επίκλισης εξυπηρετεί την απορροή των ομβρίων στην κάθε περίπτωση. Τέλος έγινε σύγκριση με την εφαρμογή της απλής λοξής επίκλισης.

1.2 Δομή διπλωματικής εργασίας

Στο **πρώτο κεφάλαιο** παρατίθενται η εισαγωγή στο θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας και η δομή της

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται αρχικά επεξήγηση των ειδικών όρων που αναφέρονται καθ' όλη την έκταση της μελέτης, ενώ στη συνέχεια γίνεται μια μαθηματική αναφορά τόσο στους τρόπους υπολογισμού σημαντικών, για την παρούσα διπλωματική, μεγεθών όσο και σε προγενέστερες έρευνες που αφορούν μεθόδους εφαρμογής λοξής και στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** γίνεται αναφορά στη μέθοδο του Gallaway, στην εξίσωση του Manning, καθώς και στην εξίσωση των Navier – Stokes ούτως ώστε να γίνει σύγκριση αποτελεσμάτων με την ορθολογική μέθοδο.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** γίνεται παρουσίαση του μοντέλου προσομοίωσης που δημιουργήθηκε στο περιβάλλον του Tessler, με εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης και σύγκριση αυτού με την εφαρμογή απλής επίκλισης.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** παρατίθενται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν με το πέρας της παρούσας διπλωματικής.

Στο **έκτο κεφάλαιο** περιλαμβάνονται οι βιβλιογραφικές αναφορές.

Στο **έβδομο κεφάλαιο**, βρίσκεται το Παράρτημα το οποίο περιλαμβάνει την διαδικασία που ακολουθήθηκε στο πρόγραμμα Anadelta Tessler και στο AutoCAD, ώστε να δημιουργηθεί το μοντέλο προσομοίωσης με εφαρμοσμένη τη στρογγυλεμένη λοξή επίκλιση.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Επεξήγηση όρων

Κρίνεται απαραίτητο να αναλυθούν κάποιοι ειδικοί όροι ώστε να γίνεται πιο κατανοητό το αντικείμενο της μελέτης.

Οριζοντιογραφία : ορίζεται η χάραξη της οδού σε οριζόντιο επίπεδο με υπόβαθρο το τοπογραφικό διάγραμμα αφού σχεδιαστεί η πολυγωνική της οδού με απαραίτητο κριτήριο τις ΟΜΟΕ που αφορούν την χάραξη των οδών.

Μηκοτομή : ορίζεται η τομή κατά μήκος του άξονα της οδού, με το φυσικό έδαφος. Στη μηκοτομή σχεδιάζεται πάντα και η ερυθρά γραμμή της οδού.

Ερυθρά της οδού : μια καμπύλη γραμμή η οποία διαμορφώνεται βάσει της γραμμής του εδάφους και ορίζει υψομετρικά την θέση στον άξονα της οδού.

Διατομές : ορίζεται ως η τομή κάθετα στον άξονα της οδού και αποτυπώνει τις εγκάρσιες κλίσεις του οδοστρώματος.

Επίκλιση : Ορίζεται η κατά πλάτος κλίση της οδού και είναι υπεύθυνη για την απορροή των ομβρίων (σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες) καθώς και για την εξισορρόπηση της φυγόκεντρου δύναμης στα καμπύλα τμήματα. Στα ευθύγραμμα τμήματα η ελάχιστη τιμή της επίκλισης είναι 2,5% ενώ στα καμπύλα τμήματα η τιμή της διαμορφώνεται από τις ΟΜΟΕ-Χ.

Αμφικλινής διατομή: ορίζεται όταν η επίκλιση διαμορφώνεται περί τον άξονα της οδού προς τις δύο οριογραμμές.

Μονοκλινής διατομή: ορίζεται όταν η επίκλιση διαμορφώνεται έχοντας ενιαία κλίση καθ' όλο το πλάτος της οδού (εφαρμογή στο κυκλικό τόξο).

Ισοϋψείς: ορίζονται οι νοητές γραμμές οι οποίες σχηματίζονται από σημεία με το ίδιο υψόμετρο.

Γραμμή ροής: ορίζεται ως η γραμμή η οποία απεικονίζει τη διαδρομή που θα ακολουθήσει το νερό πάνω στο ανάγλυφο του εδάφους και στην προκειμένη περίπτωση στο οδόστρωμα.

Κλωθοειδής ή τόξο συναρμογής: ορίζεται η καμπύλη γραμμή η οποία χρησιμοποιείται για τη μετάβαση από την ευθυγραμμία στο κυκλικό τόξο και αντίστροφα καθώς και για τη συναρμογή δύο ομόρροπων κυκλικών τόξων με διαφορετικές ακτίνες.

2.2 Μαθηματική περιγραφή

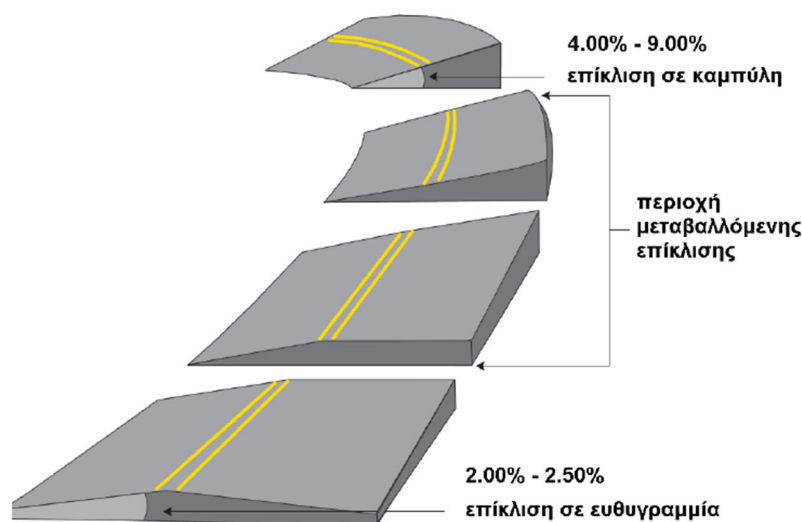
Για τη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε μια θεωρητική βάση κυρίως από τις ΟΜΟΕ καθώς και από προγενέστερες έρευνες, ώστε να υπολογισθούν τα απαιτούμενα από το θέμα μελέτης. Επομένως είναι απαραίτητο να παρατεθεί η βάση αυτή.

2.2.1 Επίκλιση

Στο κεφάλαιο 2 έγινε αναφορά στην επίκλιση, της οποίας η ελάχιστη τιμή στα ευθύγραμμα τμήματα της οδού είναι $q_{\min} = 2,5\%$ για λόγους απορροής, ανεξάρτητα από την κατηγορία της οδού, ενώ η τιμή της μέγιστης επίκλισης (q_{\max}) για τα καμπύλα τμήματα της οδού διαμορφώνεται από τις ΟΜΟΕ-X σύμφωνα με την κατηγορία της οδού.

Πιο αναλυτικά για οδούς της ομάδας Α η μέγιστη τιμή q_{\max} ισούται με 8% σε πεδινά εδάφη ενώ σε λοφώδη και ορεινά εδάφη ισούται με 7%. Για οδούς της ομάδας Β η μέγιστη τιμή ισούται με 6%. Μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις σε οδούς κατηγορίας Α, σε πεδινά εδάφη και για ορισμένες τιμές της ταχύτητας μελέτης (V_e) απαιτείται να μειωθούν οι ελάχιστες ακτίνες, επομένως είναι δυνατό να αυξηθεί κατά 1% η μέγιστη τιμή της επίκλισης.

Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται αρχικά ένα ευθύγραμμο τμήμα το οποίο και διαδέχεται μια αριστερή στροφή. Στην Εικόνα αυτή, επισημαίνονται οι επιτρεπόμενες επικλίσεις ανάλογα με το τμήμα το οποίο μελετάται.



Εικόνα 1: Διάγραμμα επικλίσεων (Βασίλειος Ψαριανός, 2018).

Ενώ η μεταβολή της επίκλισης C ανά μονάδα μήκους δίνεται από την Εξίσωση 2.1:

$$C = \frac{q+q_o}{L} \quad (\text{Εξίσωση 2.1})$$

όπου:

$-q_o$ [m / m]: επίκλιση στο ευθύγραμμο τμήμα

q [m / m]: επίκλιση στο κυκλικό τόξο

L [m]: μήκος περιστροφής ου οδοστρώματος – μήκος κλωθοειδούς

Η επίκλιση στο εξωτερικό ρεύμα του οδοστρώματος (q_x) δίνεται από την εξίσωση 2.2:

$$q_x = -q_o + C \cdot x \quad (\text{Εξίσωση 2.2})$$

με:

$-q_o$ [m/m]: επίκλιση στο ευθύγραμμο τμήμα

C [1/m]: μεταβολή της επίκλισης ανά μονάδα μήκους

x [m]: απόσταση από τον την αρχή της καμπύλης

2.2.2 Κατά μήκος κλίση

Η κατά μήκος κλίση ενός σημείου, στον άξονα της οδού, συμβολίζεται με S_x , δίνεται από την εξίσωση 2.3.

$$S_x = S_0 + n \cdot \frac{x}{R} \quad (\text{Εξίσωση 2.3})$$

με:

n [αδιάστατο]: σταθερά ίση με 1, της οποία το πρόσημο είναι θετικό για κοίλη καμπύλη συναρμογής, αρνητικό για κυρτή καμπύλη συναρμογής και μηδενικό σε περίπτωση σταθερής κατά μήκος κλίσης

x [m]: απόσταση από την αρχή της κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής (θετική)

R [m]: ακτίνα καμπυλότητας της κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής

2.2.3 Συνισταμένη κλίση

Η συνισταμένη κλίση σε ένα σύστημα συντεταγμένων δύο διαστάσεων (x,y) με x να ορίζεται η απόσταση από την αρχή της κλωθοειδούς κατά μήκος του άξονα της οδού και y η εγκάρσια απόσταση από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος (άξονας της οδού), δίνεται από την Εξίσωση 2.4. Επιπλέον το άθροισμα $S_x + \Delta s_y$ θεωρείται ως η σύνθετη κατά μήκος κλίση, σημείου με συντεταγμένες (x,y).

$$\rho(x, y) = \sqrt{(S_x + \Delta s_y)^2 + q_x^2} \quad (\text{Εξίσωση 2.4})$$

με:

s_x [m/m]: την κατά μήκος κλίση του άξονα σε απόσταση x από το σημείο A, αρχή της οριζόντιας καμπύλης

Δ_{sy} [m/m]: την πρόσθετη κατά μήκος κλίση σε απόσταση y από τον άξονα της οδού

q_x [m/m]: την επίκλιση σε απόσταση x από την αρχή της καμπύλης

2.2.4 Πρόσθετη κλίση οριογραμμών

Η κατά μήκος κλίση της οριογραμμής σε σχέση με την κατά μήκος κλίση του άξονα λέγεται σχετική κλίση ή πρόσθετη κλίση οριογραμμών και δίνεται από την παρακάτω σχέση (Εξίσωση 2.5):

$$\Delta s = \frac{q_e + q_b}{L_q} \cdot d = \frac{q + q_0}{L} \cdot d \quad (\text{Εξίσωση 2.5})$$

με:

q_e [m/m]: την υπερύψωση ή την επίκλιση στο τέλος του διαστήματος μεταβολής

q_b [m/m]: την υπερύψωση ή την επίκλιση στην αρχή του διαστήματος μεταβολής

το οποίο έχει αρνητική τιμή όταν είναι αντίθετη της τιμής που έχει η επίκλιση στο τέλος

L_q [m]: το μήκος μεταβολής των επικλίσεων

d [m]: η απόσταση της οριογραμμής από τον άξονα του δρόμου

Για να εξασφαλισθεί η σωστή απορροή των ομβρίων σε κάθε όλο το μήκος της χάραξης, οι Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων προτείνουν σε οδούς ομάδων A και B, και στις περιοχές συναρμογής των αντίρροπων επικλίσεων, η ελάχιστη κατά μήκος κλίση να είναι 0,7%, ή ιδανικά 1,0%. Εν γένει όμως η διαφορά της κατά μήκος κλίσης και της πρόσθετης κλίσης των οριογραμμών να είναι τουλάχιστον ίση με 0,5% (Εξίσωση 2.6).

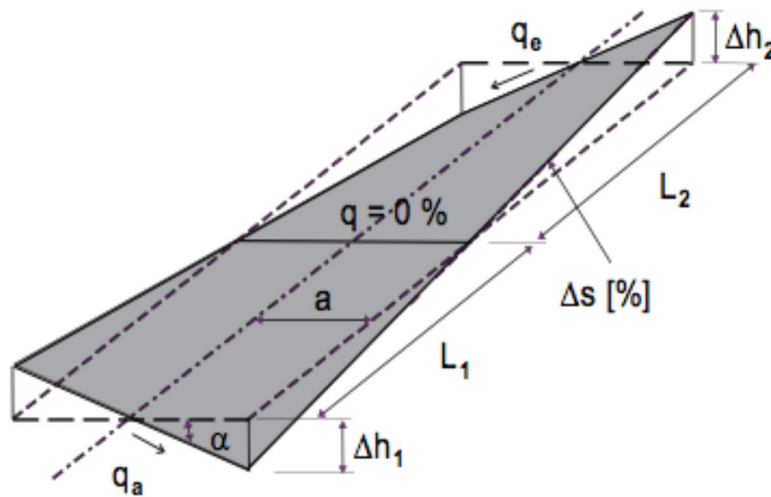
$$s - \Delta_s \geq 0,5\% \quad (\text{Εξίσωση 2.6})$$

όπου:

s [m/m] : η κατά μήκος κλίση της οδού

Δ_s [m/m]: η πρόσθετη κλίση των οριογραμμών

Ενώ στην Εικόνα 2 φαίνονται τα περιγραφόμενα μεγέθη.



Εικόνα 2: Κλίση υπερύψωσης Δs (Ψαριανός, 2018).

Η Εξίσωση 2.6 θα πρέπει να ισχύει τόσο στην ευθυγραμμία ($s \geq 0,5\%$ καθώς $\Delta s=0$) όσο και στις κλωθοειδείς ώστε καμία οριογραμμή να μην έχει αντίθετη κλίση από την κατά μήκος κλίση του άξονα περιστροφής της οδού.

Οι παρακάτω εξισώσεις δίνουν τη θέση στην οποία η συνισταμένη κλίση, των σημείων, γίνεται μηδενική. Στα σημεία αυτά η επίκλιση q_x και ταυτόχρονα η σύνθετη κατά μήκος κλίση $S_x + \Delta s_y$ είναι μηδενικές. Η Εξίσωση 2.7 δίνει την τεταγμένη X_c και η Εξίσωση 2.8 την τετμημένη Y_c του σημείου.

$$X_c = \frac{q_0}{C} \quad (\text{Εξίσωση 2.7})$$

$$Y_c = -\frac{1}{C} \cdot \left(s_0 - n \cdot \frac{x_0}{R} + n \cdot \frac{q_0}{C} \cdot \frac{1}{R} \right) \quad (\text{Εξίσωση 2.8})$$

όπου:

$-q_0$ [m/m]: η επίκλιση στο ευθύγραμμο τμήμα

C [1/m]: η μεταβολή της επίκλισης ανά μονάδα μήκους

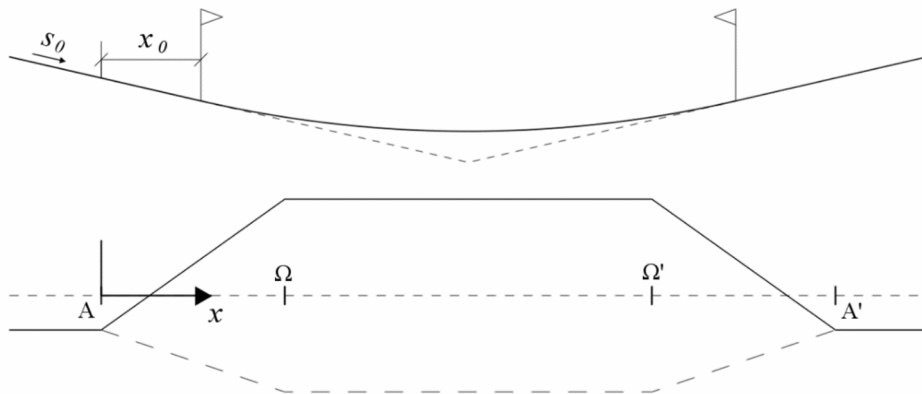
s_0 [m/m]: η κατά μήκος κλίση του άξονα στην εφαπτομένη πριν την κατακόρυφη καμπύλη συναρμογής

n [αδιάστατο]: η σταθερά ίση με 1, της οποίας το πρόσημο είναι θετικό για κοίλη καμπύλης συναρμογής, αρνητικό για κυρτή καμπύλη συναρμογής και μηδενικό σε περίπτωση σταθερής κατά μήκος κλίσης

x_0 [m]: η απόσταση μεταξύ της αρχής της κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής από την αρχή της οριζόντιας καμπύλης

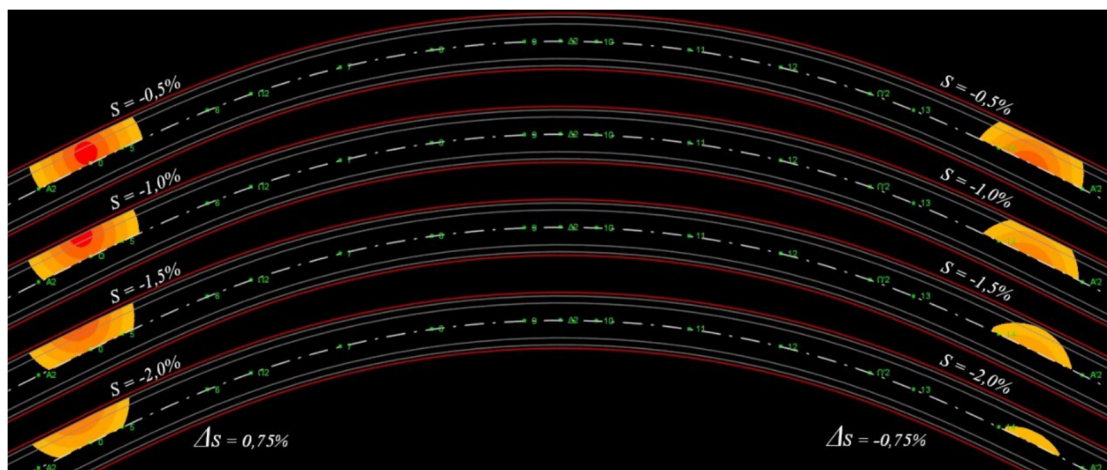
R [m]: η ακτίνα καμπυλότητας της κατακόρυφης καμπύλης συναρμογής

Στην Εικόνα 3 απεικονίζονται τα μεγέθη που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 3: Σύστημα συντεταγμένων για την συνισταμένη κλίση (Καλιαμπέτσος, 2017)

Ενώ στην Εικόνα 4 φαίνονται γραφικά στο πρόγραμμα Anadelta Tessera, οι περιοχές οι οποίες παρουσιάζουν πρόβλημα στην απορροή των ομβρίων. Στις περιοχές αυτές είναι σχεδιασμένοι από το πρόγραμμα ομόκεντροι κύκλοι των οποίων το χρώμα αντιστοιχεί σε κλίμακες της συνισταμένης κλίσης. Οι χρωματισμένες περιοχές είναι εκείνες των οποίων τα σημεία έχουν συνισταμένη κλίση μικρότερη του 2,5% ενώ όσο το χρώμα πλησιάζει στο κόκκινο τόσο μεγαλύτερο πρόβλημα απορροής δημιουργείται (Εικόνα 5).



Εικόνα 4: Χρωματική απεικόνιση της συνισταμένης κλίσης του οδοστρώματος για διαφορετικές τιμές σταθερής (αρνητικής) κατά μήκος κλίσης, (Καλιαμπέτσος 2017).



Εικόνα 5: Υπόμνημα χρωμάτων ανάλογα με την συνισταμένη κλίση.

2.2.5 Τόξα συναρμογής

Από την ενότητα 2.2.4 οι θέσεις που προκύπτουν με μηδενική συνισταμένη κλίση βρίσκονται πάνω στα τόξα συναρμογής. Επομένως σημαντικό είναι να αναφερθεί η εξίσωση τους (Εξίσωση 2.9):

$$A^2 = R \cdot L \quad (\text{Εξίσωση 2.9})$$

με:

$A[m]$: την παράμετρος της κλωθοειδούς

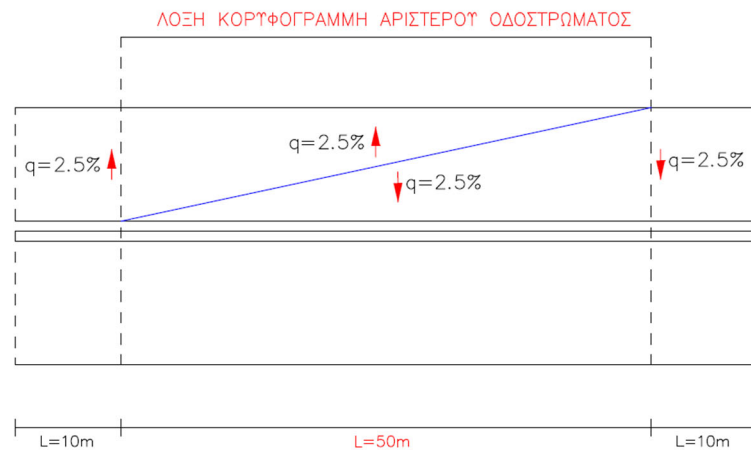
$R[m]$: την ακτίνα (η ακτίνα στο τέλος της κλωθοειδούς)

$L[m]$: το μήκος της κλωθοειδούς (από την αρχή μέχρι το κυκλικό τόξο R)

2.3 Προγενέστερη έρευνα για μεθόδους βελτίωσης της απορροής

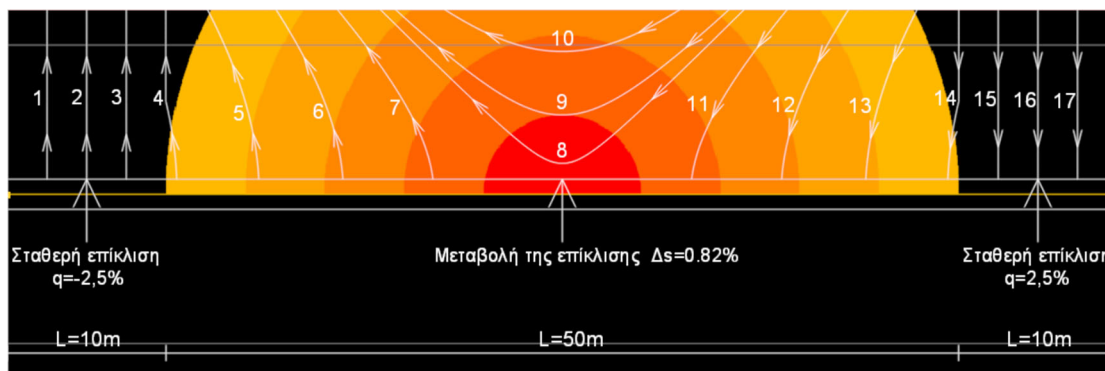
2.3.1 Εφαρμογή λοξής επίκλισης

Για την βελτιστοποίηση της απορροής των ομβρίων στις κρίσιμες περιοχές του οδοστρώματος έχουν διερευνηθεί πλήθος λύσεων. Η λύση η οποία αρχικά μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η εφαρμογή της λοξής επίκλισης. Με τον όρο λοξή επίκλιση περιγράφεται η δημιουργία λοξής κορυφογραμμής στην επιφάνεια του οδοστρώματος με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%. Η λύση αυτή δίνεται ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι περιοχές με μικρές συνισταμένες κλίσεις. Στην Εικόνα 6 φαίνεται με την συνεχόμενη μπλε γραμμή η κορυφογραμμή της λοξής επίκλισης που εφαρμόζεται σε αριστερό τμήμα οδοστρώματος.

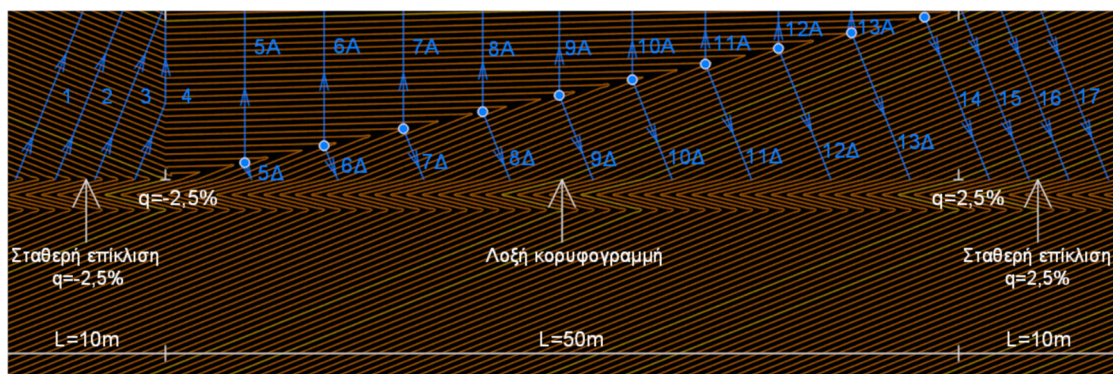


Εικόνα 6: Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5% (Αλιμονάκης 2020).

Στην Εικόνα 7 φαίνεται η περιοχή στην οποία δημιουργείται πρόβλημα απορροής σε περίπτωση κλασσικής περιστροφής του οδοστρώματος καθώς και οι γραμμές ροής που δημιουργούνται. Ενώ στην Εικόνα 8 φαίνεται η διαφοροποίηση στις γραμμές ροής με την εφαρμογή της λοξής επίκλισης.



Εικόνα 7: Κλασσική περιστροφή οδοστρώματος από -2,5% με 2,5% με κατά μήκος κλίση 0% (Αποστολάκης 2020).

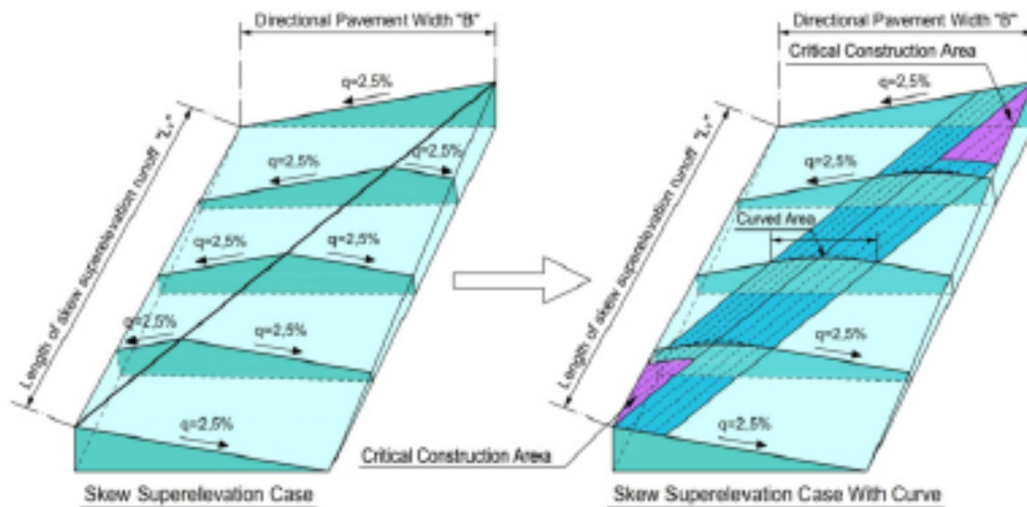


Εικόνα 8: Εφαρμογή λοξής επίκλισης για μετάβαση από -2,5% σε 2,5% για κατά μήκος κλίση 0%.

Το συμπέρασμα μετά την εφαρμογή της λοξής επίκλισης έπειτα από χρόνιες έρευνες, φαίνεται να είναι θετικό, όσον αφορά τη διατήρηση της ασφάλειας, εφόσον οι οδηγοί κινούνται με την ταχύτητα σχεδιασμού.

2.3.2 Εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης

Στη συνέχεια διερευνήθηκε το μοντέλο που αναλύει την ομαλοποίηση της ακμής που δημιουργείται στο οδόστρωμα. Στην Εικόνα 9 αριστερά βρίσκεται τμήμα της οδού με εφαρμοσμένη τη λοξή επίκλιση ενώ δεξιά με εφαρμοσμένη τη στρογγυλεμένη λοξή.



Εικόνα 9: Εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης (Basil Psarianos, Konstantinos Apostoleris, 2019).

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης είναι ότι γενικότερα μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρότερο μήκος σε σχέση με την απλή λοξή επίκλιση 2,5%.

Η Εξίσωση 2.10 (Basil Psarianos and Konstantinos Apostoleris, 2019) δίνει το μήκος εφαρμογής της λοξής επίκλισης (L_v).

$$L_v = 0,1 \cdot b \cdot V_e \quad (\text{Εξίσωση 2.10})$$

με:

b [m] : το πλάτος οδοστρώματος

V_e [km/h]: την ταχύτητα σχεδιασμού

Για την βελτιστοποίηση της λοξής επίκλισης που αναφέρεται στην ενότητα 2.3.1 γίνεται άμβλυνση της ακμής, με την εφαρμογή της στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης.

Η εξίσωση 2.11, υπολογίζει τη θέση της ακμής της λοξής επίκλισης.

$$y = x \cdot \frac{b}{L_v} \quad (\text{Εξίσωση 2.11})$$

Οπού:

y [m] : η πλευρική απόσταση από τον άξονα της λοξής επίκλισης

x [m] : η διαμήκης απόσταση από την αρχή της λοξής επίκλισης

L_v [m] : το μήκος εφαρμογής λοξής επίκλισης

b [m] : το πλάτος οδοστρώματος

Ενώ για την εύρεση του ημί-μήκους εφαρμογής της καμπύλης και της μετατόπισης στο μέσο της καμπύλης χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις 2.12 και 2.13 σύμφωνα με τα EU Standards και οι εξισώσεις 2.14 και 2.15 σύμφωνα με τα AASHTO Standards:

$$T = H \cdot 0,05 \quad (\text{Εξίσωση 2.12})$$

$$f = \frac{T^2}{2 \cdot H} = \frac{H}{800} \quad (\text{Εξίσωση 2.13})$$

$$T = H \cdot 0,04 \quad (\text{Εξίσωση 2.14})$$

$$f = \frac{T^2}{2 \cdot H} = \frac{H}{1250} \quad (\text{Εξίσωση 2.15})$$

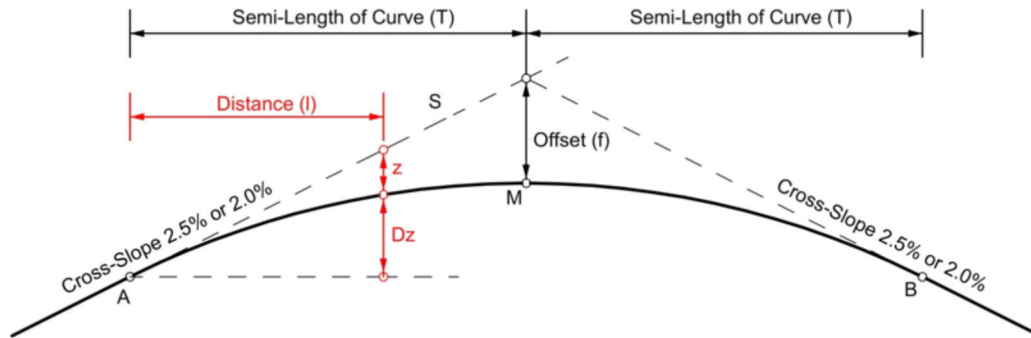
όπου:

T [m]: το καμπύλο ημί-μήκος

F [m] : η μετατόπιση στο μέσο της καμπύλης

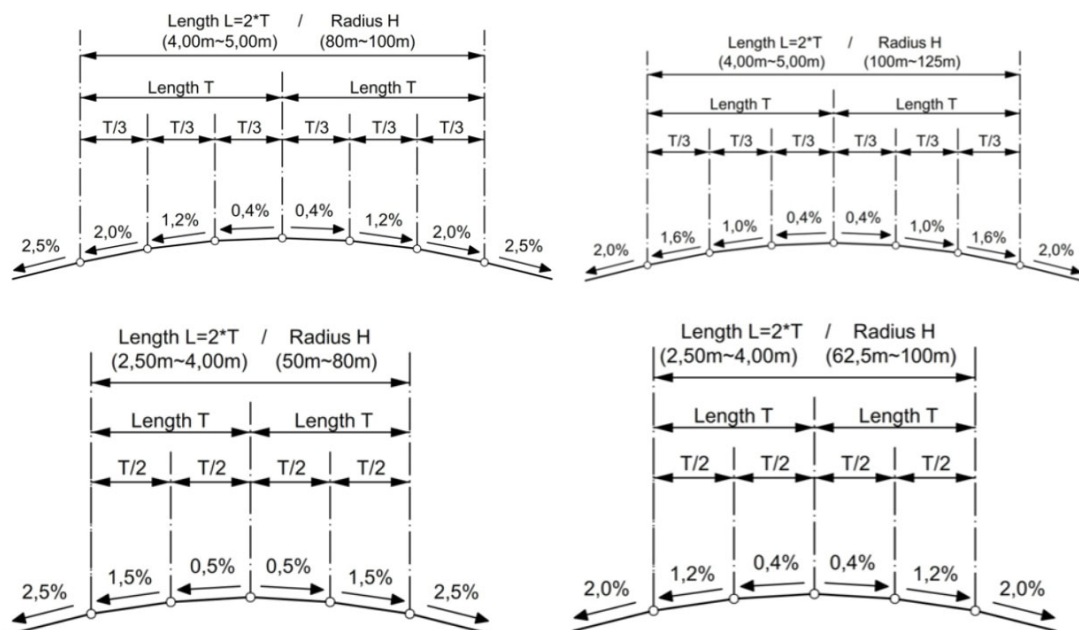
H [m]: η ακτίνα που εφαρμόζεται η καμπύλη

Στην Εικόνα 10 φαίνονται τα μεγέθη τα οποία αναφέρονται παραπάνω.



Εικόνα 10: Γεωμετρικά στοιχεία τα οποία αφορούν την περιοχή εφαρμογής της στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης (Basil Psarianos, Konstantinos Apostoleris, 2019).

Ενώ επιπλέον οι Βασίλης Ψαριανός και Κωνσταντίνος Αποστολέρης σε δημοσίευση τους παρουσιάζουν σχηματική απεικόνιση τυπικής διατομής με εφαρμοσμένη σε αυτή λοξή στρογγυλεμένη επίκλιση, η οποία διαφοροποιείται ανάλογα με την καμπυλότητα και τον αριθμό των τμημάτων που επιλέγεται να χωριστούν φαίνεται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11: Λεπτομέρειες κατασκευής σε διατομή οδού με εφαρμοσμένη την λοξή επίκλιση.

3. Αξιολόγηση μεθόδου υπολογισμού βάθους νερού

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναλυτική αναφορά της μεθόδου του Gallaway, η οποία κρίνεται σκόπιμο να αξιολογηθεί. Για να γίνει αυτή η αξιολόγηση, χρησιμοποιήθηκε η ορθολογική μέθοδος. Μέσω των εξισώσεων αρχικά του Manning και στη συνέχεια των Navier-Stokes υπολογίστηκε η παροχή, βάσει του βάθους νερού από τη μέθοδο του Gallaway, ώστε να γίνει σύγκριση αποτελεσμάτων, με την ορθολογική μέθοδο. Στα υποκεφάλαια 3.1, 3.2 και 3.3 γίνεται η μαθηματική περιγραφή των θεωρημάτων που ακολουθήθηκαν ενώ στο υποκεφάλαιο 3.4 γίνεται τελικώς η σύγκριση.

3.1 Μέθοδος Gallaway

Η μέθοδος του Gallaway χρησιμοποιείται από τις ΟΜΟΕ ώστε να υπολογισθεί το πάχος της υδάτινης στρώσης. Το βάθος νερού (BN), το οποίο συσσωρεύεται σε ένα τμήμα του οδοστρώματος, εξαρτάται από πλήθος παραγόντων. Οι παράγοντες αυτοί είναι η ένταση της βροχόπτωσης (i), το μήκος διαδρομής που ακολουθεί η ροή (L_f), την συνισταμένη κλίση της διαδρομής ροής (S_r) και το βάθος της υφής (BY) της επιφάνειας του οδοστρώματος. Για να υπολογισθεί το βάθος νερού σε ένα οποιοδήποτε σημείο του οδοστρώματος σύμφωνα με την μέθοδο του Gallaway, χρησιμοποιείται η Εξίσωση 3.1.

$$BN = 0,01485 \cdot (BY^{0,11} \cdot L_f^{0,43} \cdot i^{0,59} \cdot S_r^{-0,42}) - BY \text{ (Εξίσωση 3.1)}$$

Όπου:

S_r [m / m] : εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος

i [mm / h] : ένταση βροχόπτωσης

L_f [m] : μήκος ροής

BY [mm] : το μέσο βάθος της υφής

Στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 1) δίνονται τα ελάχιστα βάθη επιφανειακής υφής ανάλογα με τον τύπο του ασφαλικού της οδού.

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

Πίνακας 1 Ελάχιστο Βάθος Επιφανειακής Υφής (Υπουργείο Υποδομών, Μεταφορών και Δικτύων, 2013)

Για τον υπολογισμό του μήκους της διαδρομής (L_r) που ακολουθεί η ροή χρησιμοποιείται η Εξίσωση 3.2 σύμφωνα με Highway Drainage Guidelines AASHTO:

$$L_r = L_x \cdot \frac{S_f}{S_x} = L_x \cdot \left[1 + (S_g/S_x)^2 \right]^{0,5} \quad (\text{Εξίσωση 3.2})$$

με

S_x [m / m]: εγκάρσια κλίση του οδοστρώματος

S_g [m / m]: διαμήκης κλίση του οδοστρώματος

L_x [m]: πλάτος του οδοστρώματος

Ενώ για τον υπολογισμό της συνισταμένης κλίσης διαδρομής της ροής (S_r) χρησιμοποιείται η Εξίσωση 3.3:

$$S_r = (S_x^2 + S_g^2)^{0,5} = S_x \cdot \left[1 + (S_g/S_x)^2 \right]^{0,5} \quad (\text{Εξίσωση 3.3})$$

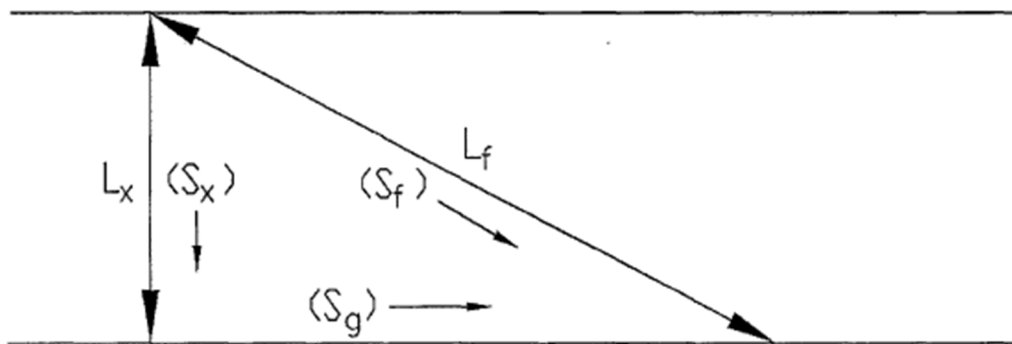
Τα περιγραφόμενα μεγέθη φαίνονται στην Εικόνα 12.

¹ ΤΥΠΟΣ 1:

Ασφαλτικό σκυρόδεμα πυκνής σύνθεσης, με ονομαστικό μέγεθος αδρανών 12,5mm, ή 9,5mm. Εφαρμόζεται σε περιπτώσεις, που ενδιαφέρει, πέρα από την εξασφάλιση της αντιστοιχισιμότητας, η ενίσχυση και η στεγανότητα του οδοστρώματος. Με αυτό τον τρόπο, δεν επιτυγχάνεται μεγάλο βάθος μακροϋφής.

² ΤΥΠΟΣ 2:

Ασφαλτικό σκυρόδεμα ανοικτής σύνθεσης, με ονομαστικό μέγεθος αδρανών 12,5mm, ή 9,5mm. Με τον τύπο αυτό, εξασφαλίζεται η μακροϋφή, με αποτέλεσμα την καλύτερη διατήρηση της αντίστασης σε ολίσθηση και σε υψηλές ταχύτητες. Λόγω αυξημένου ποσοστού κενών, η διάρκεια ζωής του ασφαλτοτάπητα είναι σχετικά μικρότερη, σε σύγκριση με τον Τύπο 1.



Εικόνα 12: Συνισταμένη πορεία της ροής στο οδόστρωμα (Güven & Melville, 1999)

Έπειτα όσον αφορά στην ένταση της βροχόπτωσης (i) πάνω από τα 100mm/h δεν έχει σημασία ο έλεγχος αποταμίευσης νερού στο οδόστρωμα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι μεγαλύτερη ένταση βροχόπτωσης δημιουργεί προβλήματα ορατότητας ενώ παράλληλα δημιουργούνται ζητήματα κίνησης των οχημάτων επί της οδού με αποτέλεσμα οι ταχύτητες των διερχόμενων οχημάτων να είναι αρκετά χαμηλές (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ). Επομένως η ένταση 100mm/h θεωρείται το άνω αποδεκτό όριο μελέτης.

3.2 Εξίσωση του Manning

Στόχος της παρούσας ενότητας είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων που δίνει η μέθοδος του Gallaway με την ορθολογική μέθοδο, επομένως κρίθηκε απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί κάποια μεθοδολογία από την οποία θα προκύπτει κάποιο συγκρίσιμο μέγεθος. Το μέγεθος αυτό είναι η παροχή η οποία υπολογίσθηκε με την εξίσωση του Manning.

Η θεώρηση για τη χρήση της εξίσωσης του Manning, είναι ότι νερό ρέει σε μια κεκλιμένη τάφρο, επιδρώντας σε αυτό μόνο η δύναμη της βαρύτητας και η τριβή. Η ποσότητα του νερού που ρέει (Q), το βάθος της ροής (y), καθώς και η ταχύτητα της ροής (V) εξαρτώνται από το σχήμα της τάφρου, την τραχύτητα (n) και την κλίση S_0 .

Η εξίσωση του Manning υπολογίζει την ταχύτητα (v) σύμφωνα με την Εξίσωση 3.4.

$$v = \frac{1}{n} \cdot B N^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Εξίσωση 3.4})$$

Όπου:

$n [m^{-1/3} \cdot s]$: ο συντελεστής τραχύτητας του Manning

R ή BN [m] : η υδραυλική ακτίνα, στην συγκεκριμένη περίπτωση θεωρείται το βάθος νερού

S [m/m] : η κλίση της ενέργειας (για σταθερή ομοιόμορφη ροή $S=S_0$)

Η υδραυλική ακτίνα στην συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης θεωρείται το βάθος νερού BN καθώς είναι το πηλίκο της επιφάνειας με την βρεχόμενη περίμετρο (Εξίσωση 3.5):

$$R = \frac{a \cdot b}{b + a + b} \quad (\text{Εξίσωση 3.5})$$

a [m] : μήκος ροής

b [m] : ύψος νερού

Στην προκειμένη περίπτωση το ύψος είναι το βάθος νερού, ενώ το μήκος είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το βάθος, προκύπτοντας έτσι ότι τελικά η ακτίνα ισούται με το βάθος νερού όπως φαίνεται στην Εξίσωση 3.6:

$$R = \frac{a \cdot BN}{BN + a + BN} \approx \frac{a \cdot BN}{a} = BN \quad (\text{Εξίσωση 3.6})$$

Ο συντελεστής τραχύτητας του Manning (n) μεταβάλλεται ανάλογα με το βάθος ροής και οι τιμές του δίνονται από τον Πίνακα 2, ανάλογα με την κατηγορία και τον τύπο της επένδυσης της μελετώμενης επιφάνειας ή από τον Πίνακα 3 .

Κατηγορία επένδυσης	Τύπος επένδυσης	Τιμή "n"		
		Πεδίο βάθους γ [cm]		
		γ ≤ 15	15 < γ ≤ 60	60 < γ
Άκαμπτη	Σκυρόδεμα	0,015	0,013	0,013
	Λιθόδεμα	0,04	0,03	0,028
	Λιθοδομή	0,042	0,032	0,03
	Έδαφος με τσιμέντο	0,025	0,022	0,02
	Ασφαλτική επίστρωση	0,018	0,016	0,016
Χωρίς επένδυση	Γυμνό έδαφος	0,023	0,02	0,02
	Βραχώδες όρυγμα	0,045	0,035	0,025
Προσωρινή ³	Πλεκτά δίχτυα	0,016	0,015	0,015
	Δίκτυα ιούτας (Jute)	0,028	0,022	0,019
	Άχυρα με δίχτυα	0,065	0,033	0,025
	Στρώματα με ροκανίδια	0,066	0,035	0,028
	Συνθετικά στρώματα	0,036	0,025	0,021
Λιθορριπή	25 mm D50	0,044	0,033	0,03
	50 mm D50	0,066	0,041	0,034
	150 mm D50	0,104	0,069	0,035
	300 mm D50	-	0,078	0,04

Πίνακας 2: Συντελεστές τραχύτητας "n" Manning (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ)

³ Μερικές «προσωρινές» επενδύσεις γίνονται μόνιμες όταν επικαλύπτονται.

Έργο	Ιδιότητες τοιχωμάτων	Συντελεστής n (m ^{-1/3} · s)
Ταπεινωμένη τάφρος νησίδας	α. Γαιώδη (χωρίς φυτική κάλυψη)	0,040
	β. Γαιώδη (με φυτική κάλυψη)	0,050
	γ. Χαλικόστρωτα	0,055
Υπενδεδυμένες τάφροι (αποχέτευσης, συνέχειας, οφρύος, κτλ.), έγχυτοι ορθογωνικοί αγωγοί	Παλιό σκυρόδεμα με καθαρές επιφάνειες	0,016
Αβαθείς Πλευρικές τάφροι επενδεδυμένες (τριγωνικές, τραπεζοειδείς), ρείθρα οδών	Παλιό σκυρόδεμα, ασφατικό οδόστρωμα (επιφάνειες με κατακάθιση φερτών)	0,018
Αγωγοί με διαμόρφωση πυθμένα με κολυμβητούς λίθους σε σκυρόδεμα	Χονδρή λιθοδομή	0,020
Οχετοί υπεραστικών οδών και συλλεκτήρες αποχέτευσης ομβρίων αστικών περιοχών	Επιφάνεια σκυροδέματος :	
	Για έλεγχο πληρότητας (ανώτατη στάθμη νερού)	0,018
	Για έλεγχο μέγιστης ταχύτητας	0,012
Τσιμεντοσωλήνες	Επιφάνεια παλαιού σκυροδέματος καθαρές επιφάνειες	0,016
Ανεπένδυτοι τάφροι σε έδαφος Γαιοημιβραχώδες	Γαιοημιβραχώδης πυθμένας με αποθέσεις	0,025
	Ανώμαλος βραχώδης πυθμένας	0,030
Ανεπένδυτοι τάφροι σε έδαφος βραχώδες		
Επενδεδυμένες τάφροι με συρματοκιβώτια ή με λιθορριπή (Rip-Rap)	Λίθοι με ομαλές επιφάνειες	0,025
Σωληνωτοί αγωγοί ακαθάρτων (για ροή λυμάτων με βαρύτητα)	α. Πλαστικοί	0,014
	β. Αμιαντοτσιμεντοσωλήνες	0,015
	γ. Τσιμεντοσωλήνες	0,016
Χαλυβδοσωλήνες Ελατός Χάλυβας	Γαλβανισμένες επιφάνειες	0,013-0,017
	Μαύρες επιφάνειες	0,012-0,015
Ελατοί Χυτοσιδηροί αγωγοί	Επενδεδυμένες επιφάνειες	0,011-0,014
	Ανεπένδυτες επιφάνειες	0,012-0,016
Κύρια κοίτη χειμάρρων-ρεμάτων	Χόρτα- χαμηλή βλάστηση	0,025-0,060
Κοίτη πλημμύρας χειμάρρων	Βλάστηση και δένδρα	0,050-0,150

Πίνακας 3: Τιμές συντελεστή τραχύτητας της εξίσωσης Manning σε τεχνητές εγκαταστάσεις αποχέτευσης (ΟΜΟΕ – ΑΣΥΕΟ)

3.3 Ορθολογική μέθοδος

Η ορθολογική μέθοδος χρησιμοποιείται ευρύτατα και βρίσκει εφαρμογή σε μικρές λεκάνες απορροής. Είναι μια μέθοδος η οποία υπολογίζει την παροχή. Η μέθοδος αυτή είναι εξαρτώμενη από τον συντελεστή απορροής, την ένταση της βροχόπτωσης και του εμβαδού της λεκάνης.

Η ορθολογική μέθοδος προϋποθέτει ομοιόμορφη ένταση βροχόπτωσης, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για λεκάνες με έκταση μέχρι 800μέτρα. Επιπλέον το σφάλμα στον προσδιορισμό της απορροής αυξάνεται, όσο αυξάνεται το μέγεθος της λεκάνης.

Ενώ παράλληλα θα πρέπει να ισχύουν οι εξής παραδοχές:

- Μέγιστη ροή θεωρείται όταν όλη η λεκάνη συνεισφέρει τα νερά της στο υπό μελέτη σημείο.
- Ο χρόνος συγκέντρωσης είναι ο χρόνος που το νερό να ταξιδεύσει από το πιο απομακρυσμένο σημείο στο υπό μελέτη σημείο.
- Η συχνότητα της μέγιστης ροής είναι ίση με τη συχνότητα της έντασης της βροχόπτωσης.
- Ο ρυθμός της απορροής είναι μέγιστος όταν αυτή η βροχή διαρκεί ίσο ή περισσότερο χρόνο, από το χρόνο συγκέντρωσης.
- Η παροχή είναι μηδενική στο χρόνο $t=0$ που ορίζεται.
- Ο συντελεστής απορροής είναι ίδιος για διαφορετικές τιμές έντασης βροχόπτωσης.

Σε περίπτωση που τα παραπάνω ικανοποιούνται μπορεί να γίνει χρήση της ορθολογικής μεθόδου που υπολογίζει την παροχή. Η Εξίσωση 3.7 περιγράφει με μαθηματικό τύπο την εύρεση της παροχής σύμφωνα με την ορθολογική μέθοδο.

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6}, \text{ με } A = L \cdot w \quad (\text{Εξίσωση 3.7})$$

Όπου:

C [αδιάστατο] : Συντελεστής απορροής που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής

i [mm/h] : Μέση ένταση βροχόπτωσης, για επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς και για διάρκεια ίση προς το χρόνο συγκέντρωσης

A [km²] : Επιφάνεια λεκάνης, που συνεισφέρει την απορροή της στο σημείο υπό μελέτη

L [km]: μήκος τμήματος μελέτης της οδού

w [km]: πλάτος οδοστρώματος ρεύματος

Ο συντελεστής απορροής αντιπροσωπεύει το ποσοστό του νερού που θα φτάσει στο εξεταζόμενο σημείο, καθώς το υπόλοιπο ποσοστό είτε διηθείται στο έδαφος, είτε απορροφάται από τη βλάστηση, είτε εξατμίζεται και κατακρατείται στις επιφανειακές κοιλότητες ή γενικά στα χαμηλά σημεία της επιφάνειας του εδάφους. Σε περιοχές εκτός ανάπτυξης, όπως οι ομάδες Α οδοί, ο συντελεστής καθορίζεται βάσει του ανάγλυφου της διηθητικότητας, της φυτικής κάλυψης και τέλος της αποθηκευτικής ικανότητας της επιφάνειας του εδάφους στα χαμηλά σημεία.

Η τιμή του συντελεστή απορροής C δίνεται από τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4) από τις ΟΜΟΕ-Χ και διαφοροποιείται ανάλογα με το είδος της επιφάνειας εδάφους.

	Είδος επιφάνειας εδάφους	Συντελεστής C
1	Περιοχή επιχειρήσεων:	
	α. κέντρο πόλης	0,70-0,95
	β. έκταση γειτονιάς	0,50-0,70
2	Περιοχή κατοικίας:	
	α. μονοκατοικίες	0,30-0,50
	β. πολυκατοικίες πανταχόθεν ελεύθερες	0,40-0,50
	γ. πολυκατοικίες συνεχούς συστήματος	0,60-0,90
3	Περιοχή βιομηχανίας	
	α. ελαφριάς	0,50-0,80
	β. βαριάς	0,60-0,90
4	Πάρκο, Κοιμητήρια:	0,10-0,25
5	Αθλοπαιδιές:	0,20-0,40
6	Υπαίθριοι χώροι σιδηροδρομικών σταθμών:	0,20-0,40
7	Αδιαμόρφωτες επιφάνειες:	0,10-0,30
8	Επιφάνειες γκαζόν:	
	α. αμμώδες έδαφος, επίπεδων κλίσεων <2%	0,05-0,10
	β. αμμώδες έδαφος, μέσων κλίσεων 2-7%	0,10-0,15
	γ. αμμώδες έδαφος, έντονων κλίσεων >7%	0,15-0,20
	δ. σύνηθες έδαφος, επίπεδων κλίσεων <2%	0,13-0,17
	ε. σύνηθες έδαφος, μέσων κλίσεων 2-7%	0,18-0,25
	ζ. σύνηθες έδαφος, έντονων κλίσεων >7%	0,25-0,35
9	Επιφάνειες Οδοστρώματος Οδών:	
	α. Οδόστρωμα ασφαλτικό	0,70-0,95
	α. Οδόστρωμα σκυροδέματος	0,80-0,95
	α. Οδόστρωμα πλακολίθων	0,70-0,85
	α. Οδόστρωμα αμμοχάλικου	0,75-0,85
10	Σκεπές κτισμάτων:	0,75-0,95

Πίνακας 4: Συντελεστής C – ΟΜΟΕ-Χ

3.4 Αξιολόγηση μεθόδου Gallaway μέσω της ορθολογικής μεθόδου

Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που έχουν προκύψει από προηγούμενες διατριβές, στην παρούσα διπλωματική τέθηκε ως ζητούμενο, ο έλεγχος της ακρίβειας που παρέχει η μέθοδος του Gallaway. Για τον υπολογισμό της παροχής, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος του Manning και έγινε σύγκριση με την ορθολογική μέθοδο και διερευνήθηκε αν υπάρχει αισθητή επιρροή της εγκάρσιας κλίσης στην απόκλιση των δύο μεθόδων.

Αρχικά για τον υπολογισμό της παροχής μέσω της ορθολογικής μεθόδου απαραίτητος ήταν ο υπολογισμός κάποιων μεγεθών και η επιλογή άλλων μεταβλητών με τις δυσμενέστερες τιμές. Ο συντελεστής C θεωρήθηκε ίσος με μονάδα προσεγγιστικά για ασφαλτικό οδόστρωμα. Η προσέγγιση αυτή προκύπτει από τον Πίνακα 5 (ΟΜΟΕ – ΑΣΥΕΟ) έπειτα από τον πολλαπλασιασμό με τον συντελεστή C_f , ο οποίος είναι διορθωτικός συντελεστής για περιόδους επαναφοράς μεγαλύτερη των 5-10 ετών. Σε κάθε περίπτωση το γινόμενο δεν θα πρέπει να ξεπερνά τη μονάδα.

Περίοδος επαναφοράς	25	50	100
Συντελεστής διόρθωσης C_f	1,1	1,2	1,25

Πίνακας 5: Συντελεστής διόρθωσης αναλόγως με περίοδο επαναφοράς (ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ)

Επιπλέον το μήκος του τμήματος της οδού (L) θεωρήθηκε 20 μέτρα ενώ το πλάτος (w) ίσο με 10 μέτρα, επομένως η επιφάνεια λεκάνης, που συνεισφέρει την απορροή της στο υπό μελέτη σημείο ισούται με $200m^2$. Η ένταση της βροχόπτωσης θεωρήθηκε η δυσμενέστερη, δηλαδή 100mm/h.

Επομένως από την Εξίσωση 3.7 προκύπτει

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6} = \frac{1 \cdot 100 \cdot (0,02 \cdot 0,01)}{3,6} = 0,005 m^3/s$$

Έπειτα για τον υπολογισμό του βάθους νερού μέσω της εξίσωσης του Gallaway, θεωρήθηκαν δεδομένα κάποια μεγέθη. Τα μεγέθη αυτά ήταν η ένταση της βροχόπτωσης 100mm/h, ένα τυπικό ημι-πλάτος οδού 10 μέτρα καθώς και το Βάθος υφής να κυμαίνεται από 0,6 έως 1mm σύμφωνα με τον Πίνακα 1.

Έπειτα υπολογίστηκε από τον τύπο του Gallaway (Εξίσωση 3.1), το βάθος νερού BN πάνω από την ανώτατη επιφάνεια του οδοστρώματος. Θεωρήθηκε σκόπιμο να βρεθεί το βάθος νερού για διαφορετικές εγκάρσιες κλίσεις με εύρος από 0,5% έως 5% με βήμα

0,1%. Το αναμενόμενο αποτέλεσμα, ήταν η μείωση του βάθους του νερού καθώς αυξάνονταν οι κλίσεις, επομένως δεν μελετήθηκαν μεγαλύτερες κλίσεις του 5%.

Για να γίνει σύγκριση της μεθόδου του Gallaway με την ορθολογική μέθοδο, υπολογίστηκε η παροχή Q μέσω της Εξίσωσης 3.8.

$$Q = v \cdot A = v \cdot (BN \cdot L) \quad (\text{Εξίσωση 3.8})$$

με:

v [m/s] : η μέση ταχύτητα

L [m]: μήκος τμήματος μελέτης της οδού

Ενώ για τον υπολογισμό της ταχύτητας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Manning.

Πραγματοποιήθηκαν κάποιες δοκιμές ώστε να εκτιμηθεί η επιρροή που έχει το βάθος υφής, στον υπολογισμό της παροχής μέσω των τύπων του Gallaway και του Manning. Θεωρήθηκε σταθερός ο συντελεστής τραχύτητας του Manning, αρχικά ίσος με $n=0,016$. Για τις δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές που δίνονται από τον πίνακα 1, για το βάθος υφής, ίσες με 0,6mm , 0,7mm , 0,9mm και 1,0mm.

Για βάθος υφής ίσο με 0,6mm και η εγκάρσια κλίση να κυμαίνεται από 0,5% έως 5% το βάθος νερού κυμαίνονταν από 4,69 mm έως 1,41mm αντίστοιχα, ενώ η παροχή από 0,0116 m³/s έως 0,0050 m³/s αντίστοιχα. Στον Πίνακα 6, φαίνονται ενδεικτικά κάποια αποτελέσματα (με βήμα 0,5).

Sr (%)	BN (mm)	V(m/s)	Q(m³/s)
0,5	4,69	0,1239	0,0116
1	3,36	0,1401	0,0094
1,5	2,74	0,1498	0,0082
2	2,36	0,1566	0,0074
2,5	2,09	0,1617	0,0068
3	1,89	0,1657	0,0063
3,5	1,74	0,1690	0,0059
4	1,61	0,1717	0,0055
4,5	1,50	0,1740	0,0052
5	1,41	0,1759	0,0050

Πίνακας 6: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,016$ και $BY=0,6$.

Για βάθος υφής ίσο με 0,7mm το βάθος νερού κυμαίνονταν από 4,68mm έως 1,35mm αντίστοιχα, ενώ η παροχή από 0,016m³/s έως 0,0046 m³/s αντίστοιχα. Στον Πίνακα 7, φαίνονται ενδεικτικά κάποια αποτελέσματα (με βήμα 0,5).

Sr (%)	BN (mm)	V(m/s)	Q(m ³ /s)
0,5	4,68	0,1237	0,0116
1	3,32	0,1392	0,0093
1,5	2,69	0,1482	0,0080
2	2,31	0,1544	0,0071
2,5	2,04	0,1589	0,0065
3	1,84	0,1624	0,0060
3,5	1,68	0,1651	0,0055
4	1,55	0,1673	0,0052
4,5	1,44	0,1690	0,0049
5	1,35	0,1705	0,0046

Πίνακας 7: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,016$ και $BY=0,7$.

Για βάθος υφής ίσο με 0,9mm το βάθος νερού κυμαίνονταν από 4,64mm έως 1,20mm αντίστοιχα, ενώ η παροχή από 0,0114m³/s έως 0,0038 m³/s αντίστοιχα. Στον Πίνακα 8, φαίνονται ενδεικτικά κάποια αποτελέσματα (με βήμα 0,5).

Sr (%)	BN (mm)	V(m/s)	Q(m ³ /s)
0,5	4,64	0,1229	0,0114
1	3,24	0,1368	0,0089
1,5	2,59	0,1443	0,0075
2	2,19	0,1492	0,0065
2,5	1,92	0,1524	0,0058
3	1,71	0,1547	0,0053
3,5	1,54	0,1562	0,0048
4	1,41	0,1573	0,0044
4,5	1,30	0,1579	0,0041
5	1,20	0,1582	0,0038

Πίνακας 8: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,016$ και $BY=0,9$.

Για βάθος υφής ίσο με 1 mm το βάθος νερού κυμαίνονταν από 4,60mm έως 1,13mm αντίστοιχα, ενώ η παροχή από 0,0112m³/s έως 0,0034 m³/s αντίστοιχα. Στον Πίνακα 9, φαίνονται ενδεικτικά κάποια αποτελέσματα (με βήμα 0,5).

Sr (%)	BN (mm)	V(m/s)	Q(m ³ /s)
0,5	4,60	0,1222	0,0112
1	3,19	0,1353	0,0086
1,5	2,53	0,1421	0,0072
2	2,13	0,1462	0,0062
2,5	1,85	0,1488	0,0055
3	1,64	0,1504	0,0049
3,5	1,47	0,1514	0,0045
4	1,34	0,1518	0,0041
4,5	1,23	0,1518	0,0037
5	1,13	0,1515	0,0034

Πίνακας 9: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,016$ και $BY=1$.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι όσο αυξάνεται η εγκάρσια κλίση μειώνεται το βάθος νερού και η παροχή, ενώ αυξάνεται η ταχύτητα. Επιπλέον η παροχή που προκύπτει από τις δύο μεθόδους ταυτίζεται ανάλογα με το επιλεγμένο βάθος υφής για διαφορετική εγκάρσια κλίση. Για βάθος υφής $BY=1$ οι μέθοδοι ταυτίζονται για $Sr = 3,9\%$, για $BY = 0,7$ για $Sr = 3,4\%$, για $BY = 0,9$ για $Sr = 2,7\%$ και για $BY = 1$ για $Sr = 2,4\%$.

Στη συνέχεια προκειμένου να ελεγχθεί αν επηρεάζει αισθητά ο κόκκος των αδρανών του ασφαλτικού την απόκλιση των αποτελεσμάτων θεωρήθηκε σταθερό το βάθος υφής ενώ ο συντελεστής τραχύτητας του Manning λήφθηκε ίσος με $n = 0,018$. Σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις, προέκυψαν τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

Για βάθος υφής ίσο με $0,6\text{mm}$ το βάθος νερού κυμαίνονταν από $4,69\text{mm}$ έως $1,41\text{mm}$ αντίστοιχα, ενώ η παροχή από $0,0103\text{m}^3/\text{s}$ έως $0,0044\text{m}^3/\text{s}$ αντίστοιχα, όπως φαίνονται στον Πίνακα 10.

Sr (%)	BN (mm)	V(m/s)	Q(m ³ /s)
0,5	4,69	0,1101	0,0103
1	3,36	0,1245	0,0084
1,5	2,74	0,1331	0,0073
2	2,36	0,1392	0,0066
2,5	2,09	0,1437	0,0060
3	1,89	0,1473	0,0056
3,5	1,74	0,1502	0,0049
4	1,61	0,1527	0,0049
4,5	1,50	0,1547	0,0047
5	1,41	0,1564	0,0044

Πίνακας 10: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,018$ και $BY=0,6$

Για βάθος υψής ίσο με 0,7mm το βάθος νερού κυμαίνονταν από 4,68mm έως 1,35mm αντίστοιχα, ενώ η παροχή από 0,0103m³/s έως 0,0041 m³/s αντίστοιχα, όπως φαίνονται στον Πίνακα 11.

Sr (%)	BN (mm)	V(m/s)	Q(m ³ /s)
0,5	4,68	0,1100	0,0103
1	3,32	0,1237	0,0082
1,5	2,69	0,1317	0,0071
2	2,31	0,1372	0,0063
2,5	2,04	0,1412	0,0058
3	1,84	0,1443	0,0053
3,5	1,68	0,1468	0,0049
4	1,55	0,1487	0,0046
4,5	1,44	0,1503	0,0043
5	1,35	0,1515	0,0041

Πίνακας 11: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,018$ και $BY=0,7$

Για βάθος υψής ίσο με 0,9mm το βάθος νερού κυμαίνονταν από 4,64mm έως 1,20mm αντίστοιχα, ενώ η παροχή από 0,0101m³/s έως 0,0034 m³/s αντίστοιχα, όπως φαίνονται στον Πίνακα 12.

Sr (%)	BN (mm)	V(m/s)	Q(m ³ /s)
0,5	4,64	0,1092	0,0101
1	3,24	0,1216	0,0079
1,5	2,59	0,1283	0,0066
2	2,19	0,1326	0,0058
2,5	1,92	0,1355	0,0052
3	1,71	0,1375	0,0047
3,5	1,54	0,1389	0,0043
4	1,41	0,1398	0,0039
4,5	1,30	0,1403	0,0036
5	1,20	0,1406	0,0034

Πίνακας 12: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,018$ και $BY=0,7$.

Ενώ τέλος για 1mm, το βάθος νερού κυμαίνονταν από 4,60mm έως 1,13mm αντίστοιχα, ενώ η παροχή από 0,0100m³/s έως 0,0030 m³/s αντίστοιχα, όπως φαίνονται στον Πίνακα 13.

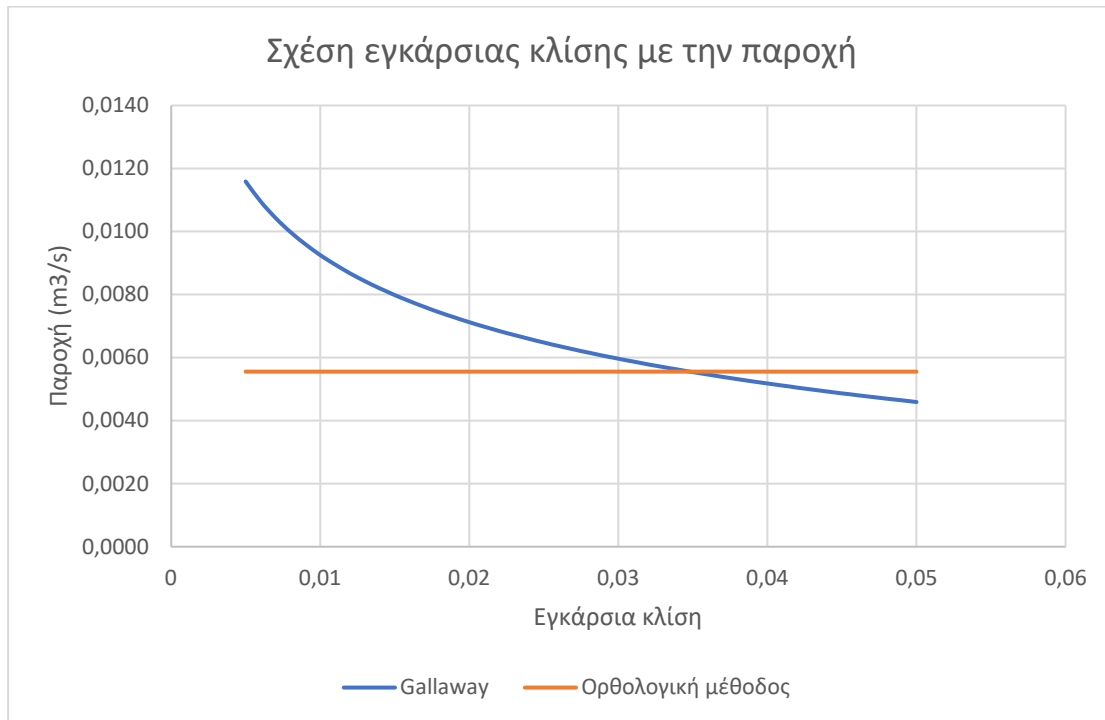
Sr (%)	BN (mm)	V(m/s)	Q(m ³ /s)
0,5	4,60	0,1086	0,0100
1	3,19	0,1203	0,0077
1,5	2,53	0,1263	0,0064
2	2,13	0,1300	0,0055
2,5	1,85	0,1323	0,0049
3	1,64	0,1337	0,0044
3,5	1,47	0,1346	0,0040
4	1,34	0,1349	0,0036
4,5	1,23	0,1349	0,0033
5	1,13	0,1347	0,0030

Πίνακας 13: Διακύμανση παροχής συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης για $n=0,018$ και $BY=1$.

Επιπλέον για συντελεστή τραχύτητας ίσο με 0,018 οι μέθοδοι ταυτίζονται για βάθος υφής $BY=0,6$ όταν $Sr = 3,0\%$, για $BY = 0,7$ όταν $Sr = 2,7\%$, για $BY = 0,9$ όταν $Sr = 2,05\%$ και για $BY = 1$ όταν $Sr = 1,95\%$.

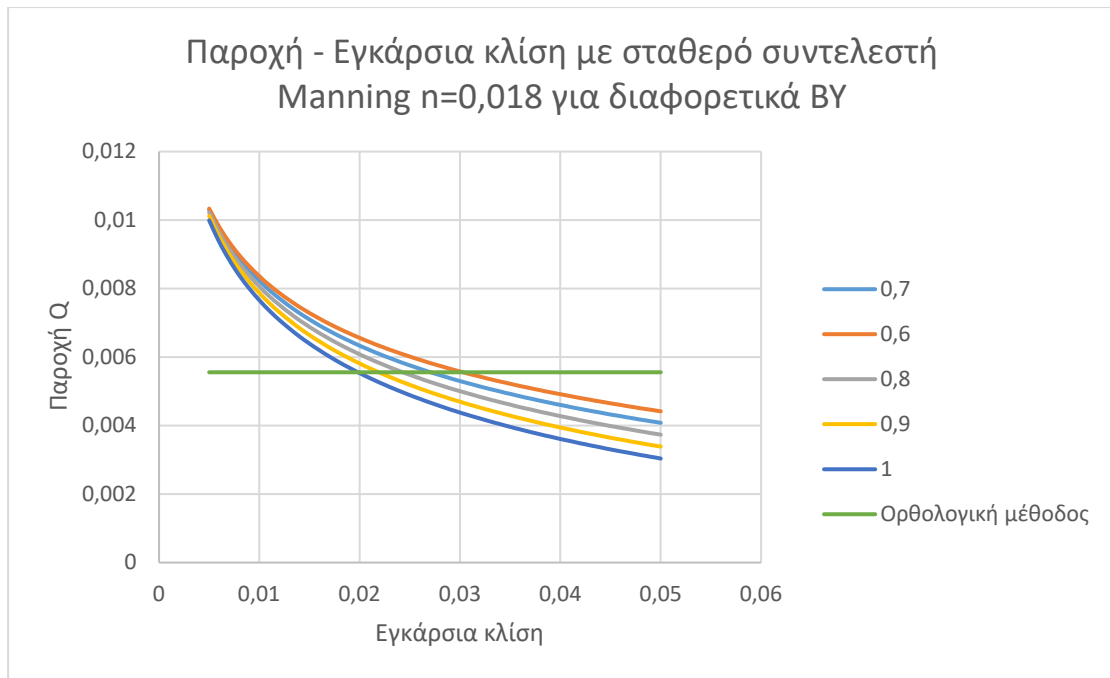
Έπειτα για την σύγκριση των δύο μεθόδων δημιουργήθηκαν διαγράμματα ώστε να παρατηρηθεί γραφικά πως συμπεριφέρονται οι δύο μέθοδοι. Το διάγραμμα που ήταν πιο εύκολο να παρατηρηθούν οι διαφορές ήταν το διάγραμμα της παροχής, που η μπλε

γραμμή απεικονίζει τα αποτελέσματα από τη μέθοδο του Manning μέσω του υπολογισμού του βάθους υψής από την μέθοδο του Gallaway, ενώ η πορτοκαλί γραμμή τις τιμές που δίνει η ορθολογική μέθοδος. Στο Διάγραμμα 1 φαίνεται η παροχή που δίνει η μέθοδος του Gallaway να είναι μεγαλύτερη για εγκάρσιες κλίσεις μικρότερες του 5% από αυτή της ορθολογικής μεθόδου. Ενώ για πολύ μικρές κλίσεις, στις οποίες το ενδιαφέρον μας είναι μεγαλύτερο λόγω κακής απορροής των ομβρίων είναι παραπάνω από διπλάσια.

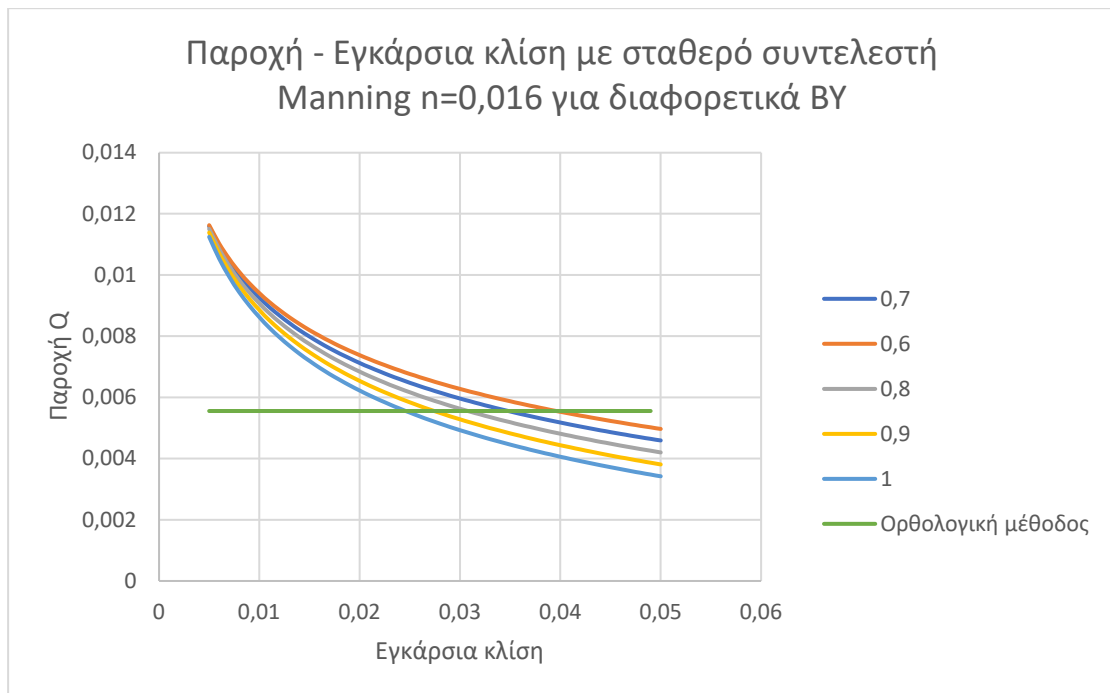


Διάγραμμα 1: Εγκάρσιας κλίσης – παροχής με τη χρήση δύο μεθόδων (για $BY=0,7$ και $n=0,016$).

Από το Διάγραμμα 1 παρατηρήθηκε ότι οι δύο μέθοδοι συγκλίνουν για εγκάρσια κλίση ίση με 5% ενώ για πολύ μικρές κλίσεις η απόκλιση των δύο μεθόδων ξεπερνά το 50%. Αντίστοιχα διαγράμματα πραγματοποιήθηκαν για τις διαφορετικές δοκιμές που αναφέρθηκαν, με διαφορετικά Βάθη υψής (BY) και συντελεστή τραχύτητας (n) και τα αποτελέσματα δεν διαφοροποιούνταν σημαντικά από το αναφερόμενο διάγραμμα. Στο Διάγραμμα 2 και 3 φαίνεται πως επηρεάζει το βάθος υψής την σύγκλιση των δυο μεθόδων.



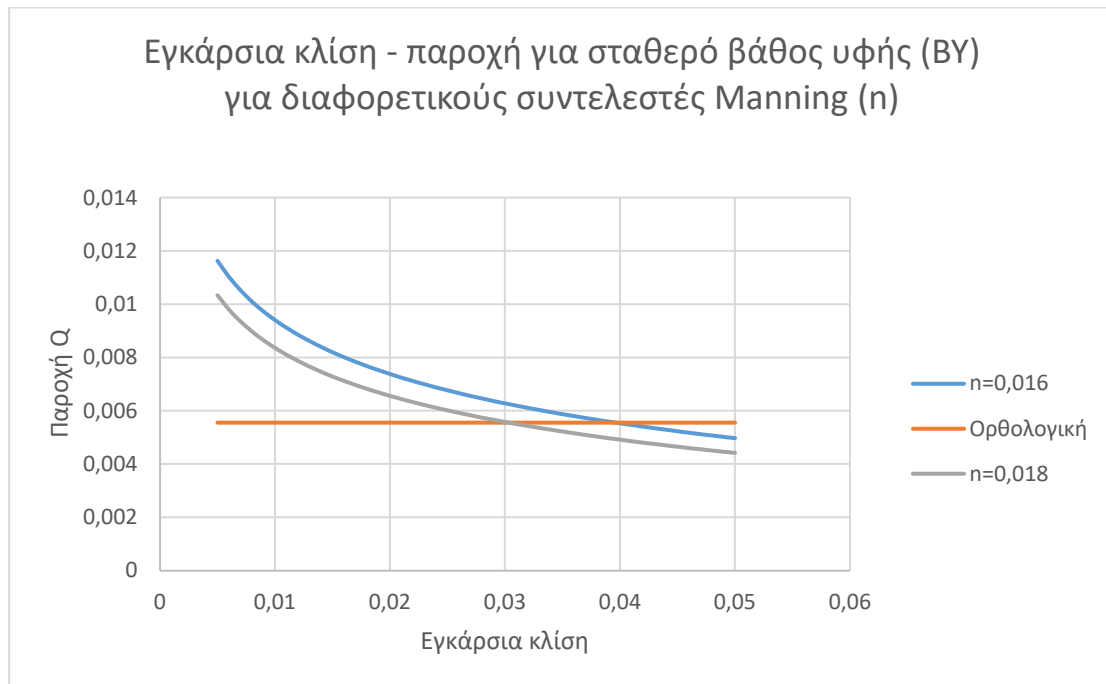
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό $n=0,018$ και μεταβλητό βάθος υφής.



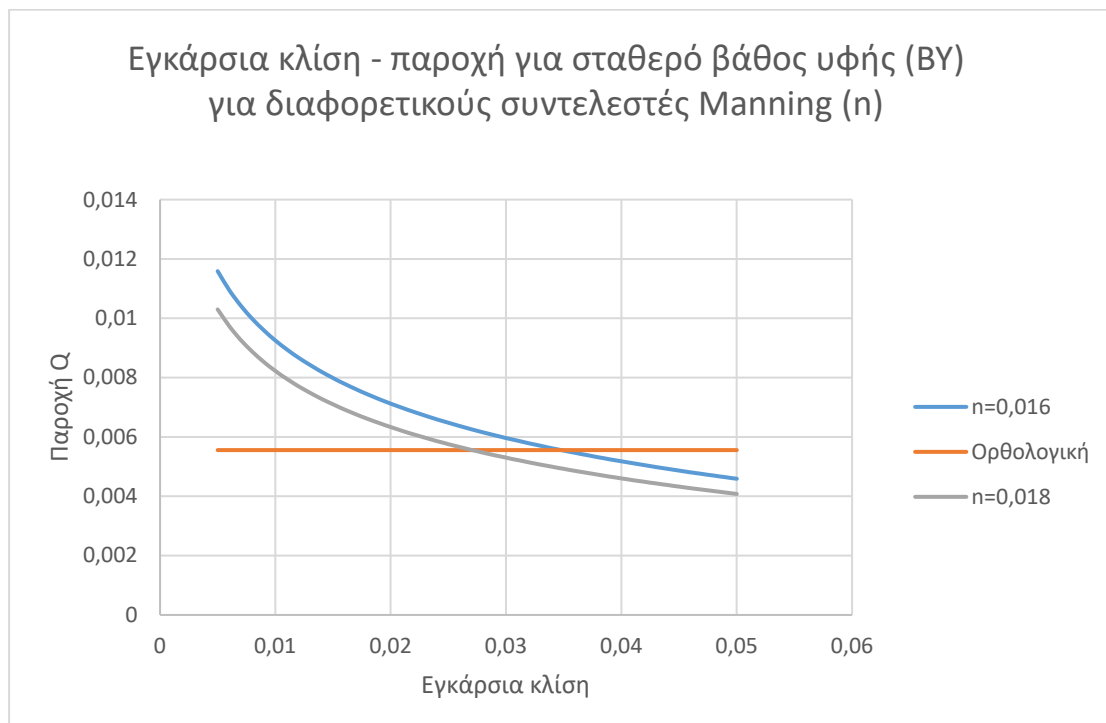
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό $n=0,016$ και μεταβλητό βάθος υφής.

Κατά τη δημιουργία διαγραμμάτων με σταθερό βάθος υφής και αλλαγή μόνο των σταθερών του Manning παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρχε διαφοροποίηση μεταξύ τους, επομένως εξήχθη το συμπέρασμα ότι ο συντελεστής αυτός, δεν επηρεάζει τα αποτελέσματα. Στα διαγράμματα Διάγραμμα 4 έως 8 παρουσιάζεται η σύγκριση των

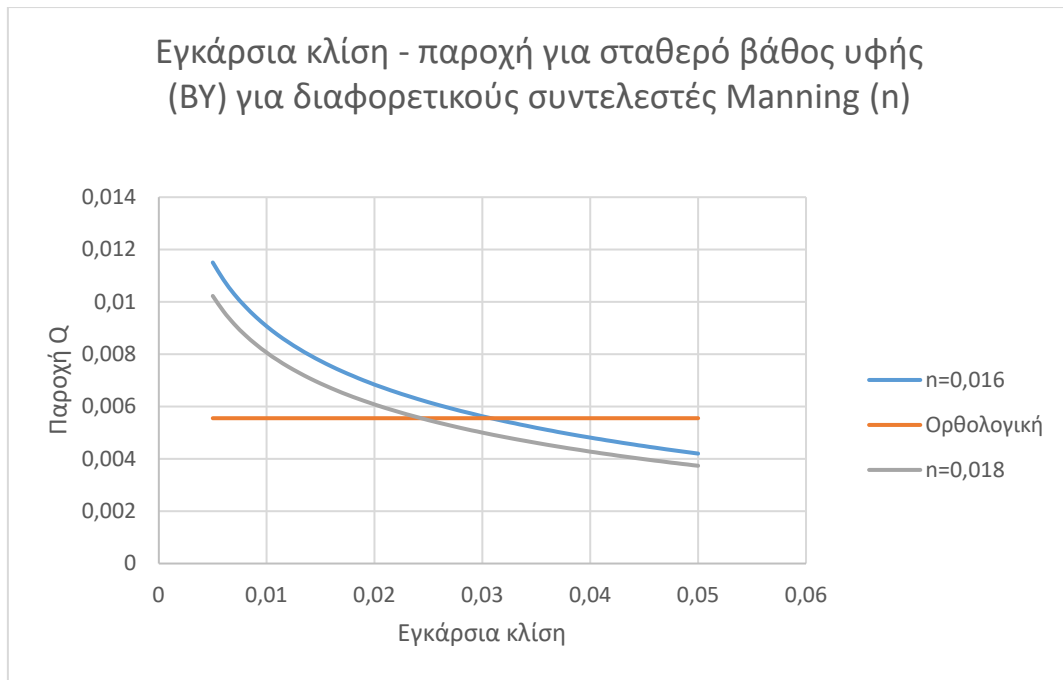
μεθόδων του Gallaway με την ορθολογική, με μεταβλητό συντελεστή Manning και σταθερό βάθος υφής.



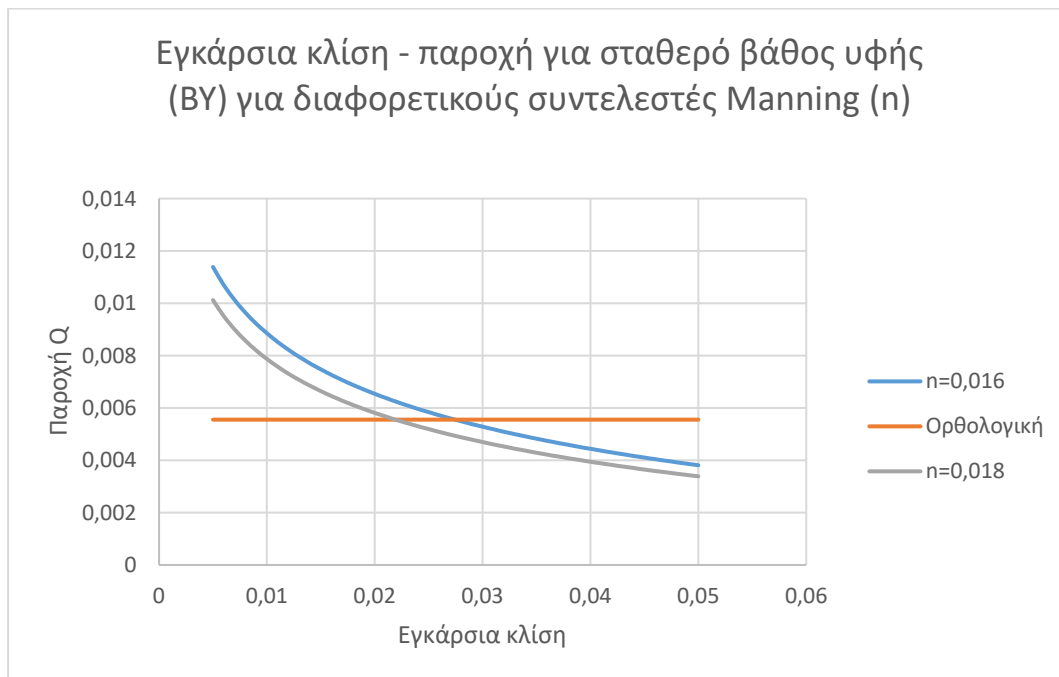
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό βάθος υφής 0,6 και μεταβλητό συντελεστή Manning.



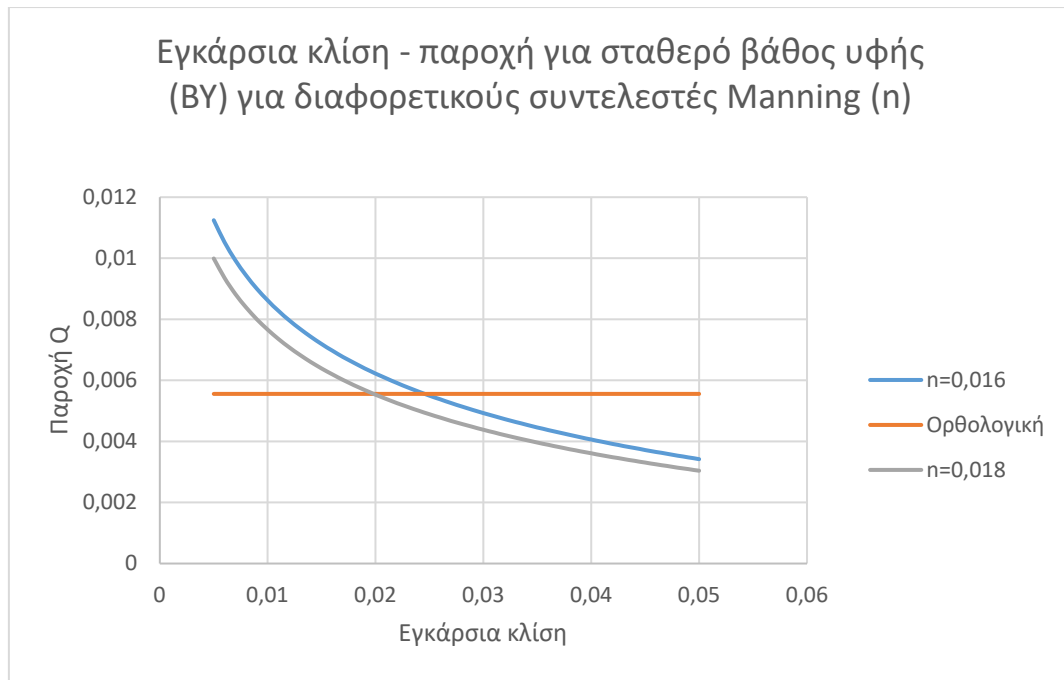
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό βάθος υφής 0,7 και μεταβλητό συντελεστή Manning.



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό βάθος υφής 0,8 και μεταβλητό συντελεστή Manning.



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό βάθος υφής 0,9 και μεταβλητό συντελεστή Manning.



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα εγκάρσιας κλίσης παροχής σύγκριση μεθόδου Gallaway με Ορθολογική μέσω της εξίσωσης του Manning με σταθερό βάθος υφής 1 και μεταβλητό συντελεστή Manning.

3.5 Σύγκριση με τη μέθοδο Navier-Stokes

Στην ενότητα 3.3 παρουσιάστηκε το διάγραμμα σύγκρισης της μεθόδου του Gallaway σε συνδυασμό με τον τύπο του Manning, με την ορθολογική μέθοδο και λόγω της απόκλισης που παρουσιάστηκε θεωρήθηκε σημαντικό να γίνει σύγκριση και με τον τύπο των Navier Stokes. Ο τύπος των Navier Stokes υπολογίζει την ταχύτητα του ρευστού, σε περιπτώσεις στρωτής ροής.

Για να υπολογισθεί η ταχύτητα από τον τύπο των Navier-Stokes γίνεται αντικατάσταση στην Εξίσωση 3.9, από την Εξίσωση 3.10:

$$V = \frac{1}{D} \cdot \frac{g \cdot (\sin \theta)}{\nu} \cdot \int_0^D \left(y \cdot D - \frac{y^2}{2} \right) dy \quad (\text{Εξίσωση 3.9})$$

$$u(y) = \frac{g \cdot y \cdot (\sin \theta)}{\nu} \cdot \left(D - \frac{y}{2} \right) \quad (\text{Εξίσωση 3.10})$$

Επομένως η Εξίσωση 3.9 γίνεται:

$$V = \frac{g \cdot (\sin \theta)}{\nu \cdot D} \cdot \left[\frac{y^2}{2} \cdot D - \frac{y^3}{6} \right]_0^D$$

$$V = \frac{g \cdot (\sin \theta)}{\nu \cdot D} \cdot \left(\frac{D^3}{2} - \frac{D^3}{6} \right) = \frac{g \cdot (\sin \theta)}{\nu \cdot D} \cdot \frac{D^3}{3}$$

$$V = \frac{g \cdot (\sin \theta)}{\nu} \cdot \frac{D^2}{3} \quad (\text{Εξίσωση 3.11})$$

Η γωνία θ υπολογίζεται συναρτήσει της εγκάρσιας κλίσης, ο συντελεστής ιξώδους ν λαμβάνεται ίσος με $1,15 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ για νερό, σε θερμοκρασία 15°C , η επιτάχυνση της βαρύτητας θεωρείται ίση με $9,81 \text{m/s}^2$ και το d είναι το πάχος του νερού ή BN όπως συμβολίζεται στην εξίσωση του Gallaway. Μετά τον υπολογισμό της ταχύτητας υπολογίζεται η παροχή από την εξίσωση παροχής 3.8.

Ενώ η παροχή υπολογίζεται από την Εξίσωση 3.8, με το εμβαδόν A να είναι όπως και στην προηγούμενη περίπτωση το γινόμενο του βάθους νερού, από τον τύπο του Gallaway, με το μήκος του δρόμου μελέτης. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε έλεγχος της αρχικής παραδοχής για στρωτή ροή μέσω του αριθμού Reynolds από την Εξίσωση 3.12.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (\text{Εξίσωση 3.12})$$

Όπου:

V : μέση ταχύτητα του ρευστού

D : υδραυλική ακτίνα, στην συγκεκριμένη περίπτωση το βάθος νερού BN

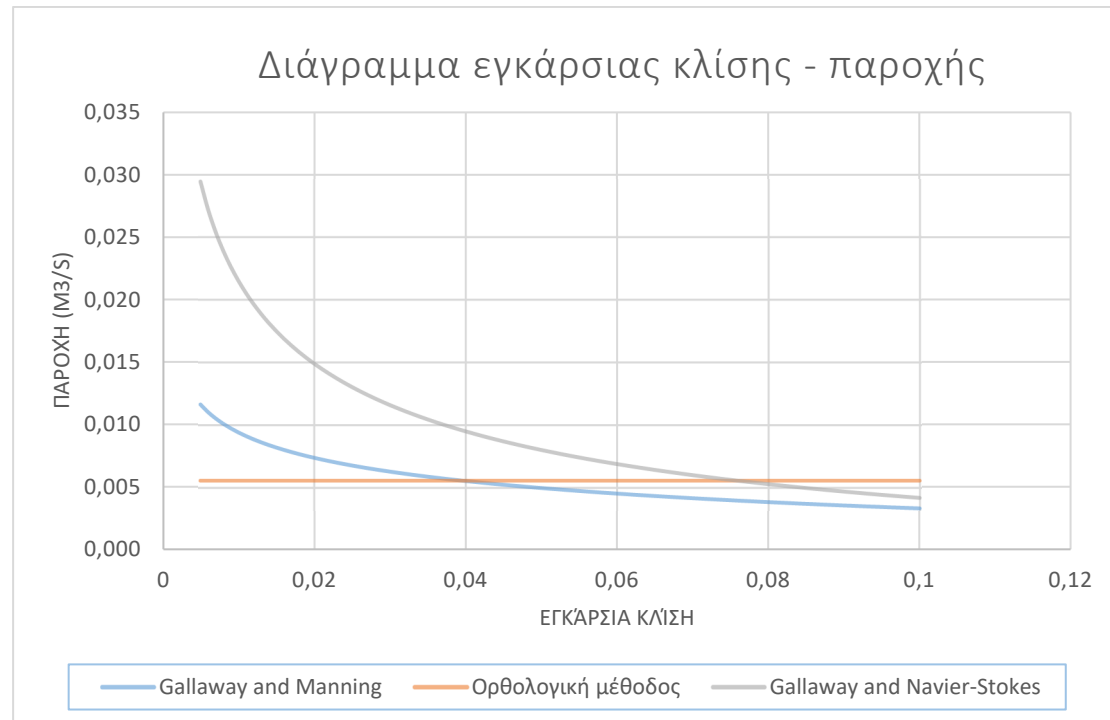
ν : συντελεστής ιξώδους ($1,15 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ για νερό, σε θερμοκρασία 15°C)

Σε όλες τις περιπτώσεις ο αριθμός Reynolds είναι μικρότερος από 2300, δηλαδή το όριο για τη στρωτή ροή. Στον Πίνακα 14 φαίνονται ενδεικτικά τα αποτελέσματα των πράξεων για εγκάρσιες κλίσεις από 0,5% έως 5%.

Sr	atan(SR)	V μέση	Q(m ³ /s)	Re
0,005	0,005	0,313211	0,029402	1278,352
0,01	0,01	0,320354	0,021506	935,0449
0,015	0,014999	0,319494	0,01749	760,4141
0,02	0,019997	0,315944	0,014895	647,6217
0,025	0,024995	0,311221	0,013026	566,3417
0,03	0,029991	0,305935	0,01159	503,917
0,035	0,034986	0,30038	0,01044	453,9234
0,04	0,039979	0,29471	0,009492	412,6794
0,045	0,04497	0,289013	0,008692	377,8914
0,05	0,049958	0,283342	0,008005	348,0406

Πίνακας 14: Εύρεση ταχύτητας μέσω του τύπου Navier Stokes και βάθος νερού μέσω της μεθόδου του Gallaway για εγκάρσια κλίση 0,5% έως 5%.

Τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό της παροχής με συνδυασμό των μεθόδων του Gallaway και των Navier-Stokes παρουσιάζονται γραφικά στο Διάγραμμα 6, σε συνδυασμό με τις άλλες δύο μεθόδους που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3.3.



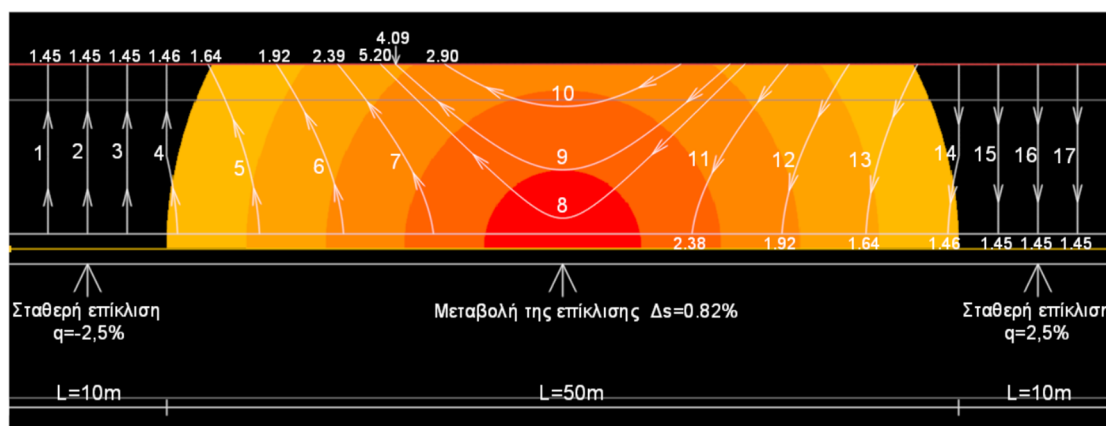
Διάγραμμα 9: Εγκάρσιας κλίσης – παροχής με τη χρήση τριών μεθόδων.

Από το Διάγραμμα 9 προκύπτει ότι η μέθοδος των Navier Stokes, αποκλίνει περισσότερο από τον τύπο του Manning, σε σχέση με την ορθολογική μέθοδο. Από το διάγραμμα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το σφάλμα που προκύπτει δεν οφείλεται στις μεθόδους του Manning ή των Navier-Stokes, αλλά στον τύπο του Gallaway που υπολογίζει το βάθος νερού, καθώς ίσως υπερεκτιμά το βάθος νερού που δημιουργείται.

4. Εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης

4.1 Μοντέλο εφαρμογής

Στο μοντέλο εφαρμογής που μελετάται στην παρούσα διπλωματική, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής κορυφογραμμής σε τμήμα του οδοστρώματος όπου γίνεται η μεταβολή της επίκλισης από -2,5% σε 2,5%, ώστε να ελαχιστοποιηθούν τα σημεία με μικρές συνισταμένες κλίσεις. Το διάστημα που ορίζουν αυτές οι δύο επικλίσεις είναι το κρίσιμο πεδίο, καθώς για τη μετάβαση από μεγαλύτερες επικλίσεις μέχρι το 2,5% (αρνητική ή θετική) δεν δημιουργείται πρόβλημα απορροής. Στην Εικόνα 13 φαίνεται η περιοχή η οποία έχει πρόβλημα απορροής.



Εικόνα 13: Περιοχή με πρόβλημα απορροής για μεταβολή της επίκλισης από 2,5% σε -2,5% με μηδενική κατά μήκος κλίση (Αποστολάκης 2020).

Με τη χρήση του λογισμικού Anadelta Tessera, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης ενός τυπικού τμήματος οδού ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για το πως επηρεάζεται η απορροή από την εφαρμογή της αναφερόμενης λύσης.

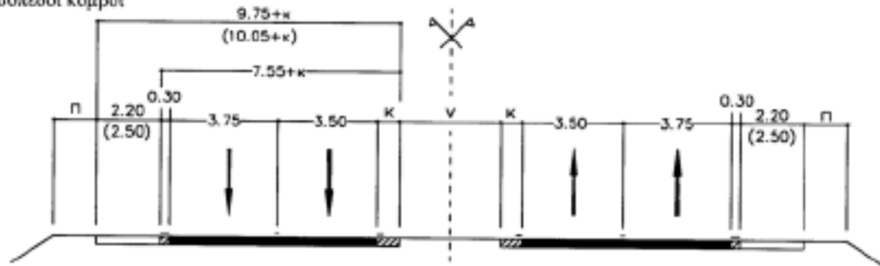
Η περίπτωση η οποία μελετήθηκε ήταν τμήμα της οδού πάνω σε κλωθοειδή καμπύλη καθώς από το θεωρητικό υπόβαθρο προκύπτει ότι είναι η δυσμενέστερη περίπτωση. Το μοντέλο βασίστηκε σε περίπτωση δεξιάς στροφής και οι υπολογισμοί έγιναν στο αριστερό οδόστρωμα καθώς εκεί δημιουργείται η κρίσιμη περιοχή. Μια τυπική κατηγορία οδού η οποία επιλέχθηκε ήταν η ΑΙ ενώ η τυπική διατομή θεωρήθηκε η α4νς (Εικόνα 14) με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Δύο λωρίδες κυκλοφορίας ανά κατεύθυνση με πλάτος 7,25 μέτρα η κάθε κατεύθυνση, δηλαδή 3,75 μέτρα η μια λωρίδα και 3,50 μέτρα η άλλη
- Λωρίδα έκτακτης ανάγκης πλάτους 2,25 μέτρα
- Ημι-πλάτος νησίδας 0,95 μέτρα

- Πλάτος ερείσματος 1,5 μέτρο με κλίση 12%
- Απόσταση από νησίδα έως εσωτερική λωρίδα καθοδήγησης 0,70 μέτρα
- Εσωτερική λωρίδα καθοδήγησης 0,25 μέτρα
- Εξωτερική λωρίδα καθοδήγησης 0,30 μέτρα

α 4 νσ

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



Εικόνα 14 Τοπική διατομή “α 4 νσ” (ΟΜΟΕ-Α, 2001)

Η ελάχιστη πρόσθετη κλίση των οριογραμμών, υπολογίστηκε σύμφωνα με την εξίσωση 4.1.

$$\Delta s_{\min} = 0,1 \cdot a = 0,1 \cdot 8,2 = 0,82\% \quad (\text{Εξίσωση 4.1})$$

a [m] : η απόσταση του άξονα περιστροφής της οδού από την εξωτερική οριογραμμή της λωρίδας κυκλοφορίας

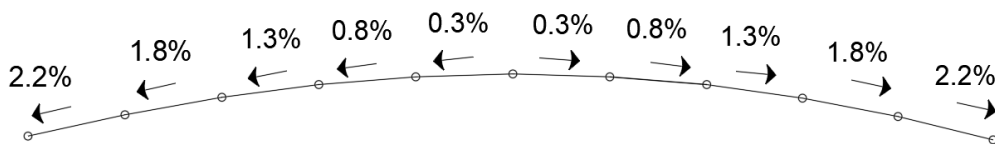
Το πλάτος «α» υπολογίζεται αν προσθέσουμε την απόσταση από τη νησίδα (0,70 μέτρα), την εσωτερική λωρίδα καθοδήγησης (0,25 μέτρα) και τις δύο λωρίδες κυκλοφορίας του αριστερού ρεύματος (3,50 μέτρα και 3,75 μέτρα).

Έπειτα όσον αφορά στο μήκος του διαστήματος εφαρμογής της λοξής επίκλισης L_v προκύπτει ίσο με 50 μέτρα, με ελάχιστη επίκλιση 2,5% από την Εξίσωση 4.2.

$$L_v = \frac{q_T - q_a}{\Delta s_{\min}} \cdot a = \frac{2,5\% - (-2,5\%)}{0,82\%} \cdot 8,2 = 50m \quad (\text{Εξίσωση 4.2})$$

Θεωρήθηκε σκόπιμο να μελετηθεί μήκος οδού ίσο με 70 μέτρα, πρωτίστως για να έχουμε ένα μοντέλο δρόμου περισσότερο διευρυμένο και έπειτα για να μην διακόπτεται απότομα η εφαρμογή της στρογγυλεμένης λοξής κορυφογραμμής. Το τμήμα της οδού σχεδιάστηκε ευθύγραμμο χωρίς αυτό να επηρεάζει τη θεώρηση για αριστερή στροφή καθώς το τμήμα του τόξου συναρμογής που μελετάται απέχει ελάχιστα από την ευθυγραμμία, ενώ επίσης σε περίπτωση εισαγωγής καμπύλης στην οριζοντιογραφία το πρόγραμμα (Anadelta Tessera), θα σχεδίαζε απευθείας τις επικλίσεις. Μετά τη

σχεδίαση της οδού και την διαμόρφωση των τεχνικών της χαρακτηριστικών όπως αναλυτικά φαίνονται στο παράρτημα της παρούσας διπλωματικής, στο περιβάλλον του Anadelta Tessera, σχεδιάστηκε η τυπική διατομή που εφαρμόζεται στην οδό. Η μορφή φαίνεται στην Εικόνα 12 και οι επί μέρους κλίσεις διαμορφώθηκαν σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναφέρεται στο κεφάλαιο 2.2.3. Οι Ψαριανός και Αποστολέρης χώρισαν διαστήματα τέσσερα ή έξι για την εφαρμογή της στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης. Η επιλογή που έγινε στην παρούσα διπλωματική ήταν δέκα διαστήματα αλλαγής κλίσης, ώστε να γίνει μεγαλύτερο στρογγύλεμα της ακμής. Τα διαστήματα αυτά διαμορφώθηκαν εκατέρωθεν της κορυφογραμμής της λοξής επίκλισης (πέντε διαστήματα αριστερά και πέντε διαστήματα δεξιά). Το βήμα για την μετάβαση από το 2,5% στο 0% ή από το -2,5% στο 0% προέκυψε περίπου 0,5% και οι κλίσεις διαμορφώνονται ως εξής (Εικόνα 15).



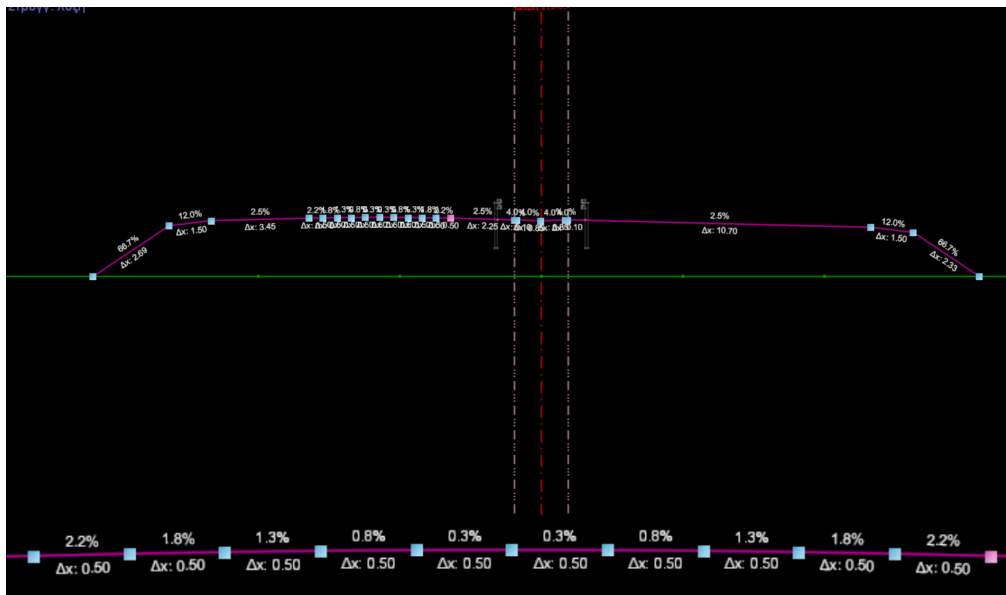
Εικόνα 15: Τυπική διατομή στρογγυλεμένης λοξής κορυφογραμμής.

Η εφαρμογή έγινε για τις τέσσερις διαφορετικές κατά μήκος κλίσεις, 0%, 0,5% , -0,5% και -1%, οι οποίες αναφέρονται στα κεφάλαια 4.1.1 έως 4.1.4.

4.1.1 Λοξή στρογγυλεμένη κορυφογραμμή και κατά μήκος κλίση 0%

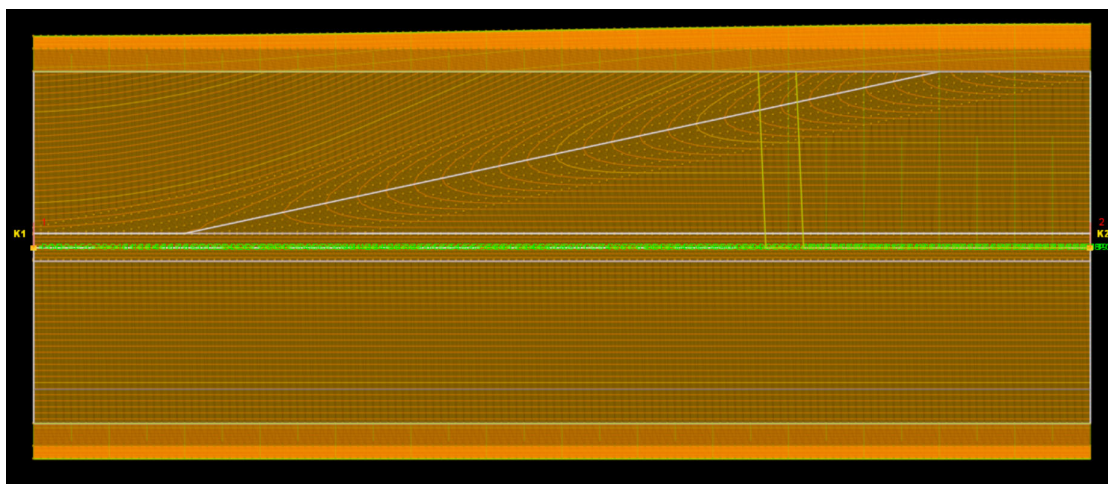
Στην παρούσα ενότητα γίνεται η εφαρμογή κατά μήκος της οδού, στρογγυλεμένης λοξής κορυφογραμμής σε οδό με μηδενική κατά μήκος κλίση. Η κατά μήκος κλίση διαμορφώνεται από το περιβάλλον της μηκοτομής, θέτοντας στα σημεία αρχής και πέρατος της οδού, το ίδιο υψόμετρο.

Η τυπική διατομή που εφαρμόζεται είναι φαίνεται στην Εικόνα 16, όπου στο κάτω μέρος φαίνεται σε μεγέθυνση οι κλίσεις που εφαρμόστηκαν στην διατομή.



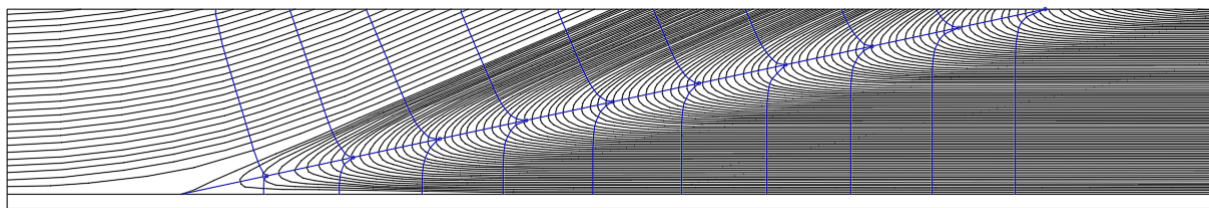
Εικόνα 16: Τυπική διατομή λοξής επίκλισης

Στην υπό ανάλυση περίπτωση το έδαφος που δημιουργήθηκε είχε την εξής μορφή (Εικόνα 17):



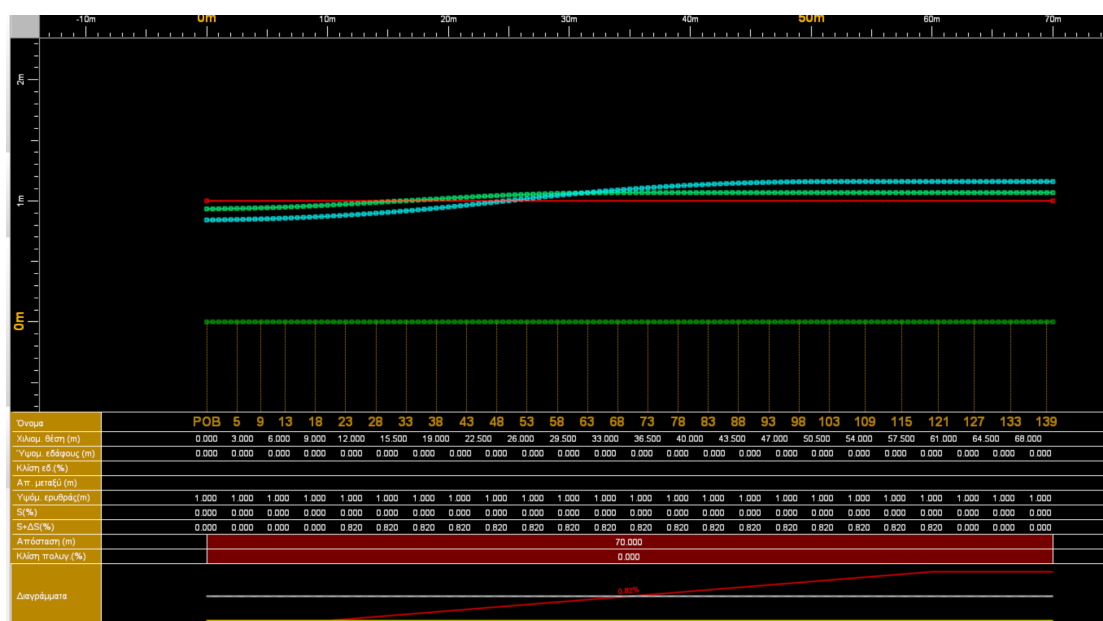
Εικόνα 17: Απεικόνιση εφαρμογής στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης σε δρόμο χωρίς κατά μήκος κλίση

Στην Εικόνα αυτή φαίνεται διαμορφωμένο το έδαφος μέσω των ισοϋψών, ενώ η λοξή κορυφογραμμή φαίνεται με την συνεχόμενη λευκή γραμμή, από την οποία και θα ξεκινούν εν συνεχεία οι γραμμές ροής για να μελετηθεί η απορροή του οδοστρώματος. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι γραμμές ροής με τη βοήθεια του προγράμματος AutoCAD και της εντολής «Perpendicular» η οποία είναι επιλεγμένη κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού των Ισοϋψών. Οι γραμμές φαίνονται στην Εικόνα 18.



Εικόνα 18: Γραμμές ροής για κατά μήκος κλίση 0%.

Για να γίνει έλεγχος της ασφάλειας και της δυναμικής της οδού έπειτα από την εφαρμογή της στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης θεωρήθηκε σκόπιμο να μελετηθούν πάνω στην οδό οι μηκοτομές και δυο νοητών κατά μήκος αξόνων της οδού μέσω της μηκοτομής του, όπως φαίνεται στην Εικόνα 19. Οι άξονες αυτοί ορίζουν το μέσο κάθε μίας από τις λωρίδες κυκλοφορίας του αριστερού ρεύματος. Με την πράσινη γραμμή φαίνεται η μηκοτομή των σημείων που απέχουν 3,65 μέτρα $(0,95 + 0,70 + 0,25 + 3,50/2 = 3,65)$ από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος, ενώ με την κυανή γραμμή φαίνεται η μηκοτομή των σημείων που απέχουν 7,30 μέτρα $(0,95 + 0,70 + 0,25 + 3,50 + 3,75/2 = 7,275)$ από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος Ως άξονας περιστροφής του οδοστρώματος νοείται το άκρο της νησίδας. Και στις δύο περιπτώσεις η μετάβαση φαίνεται να είναι ομαλή.

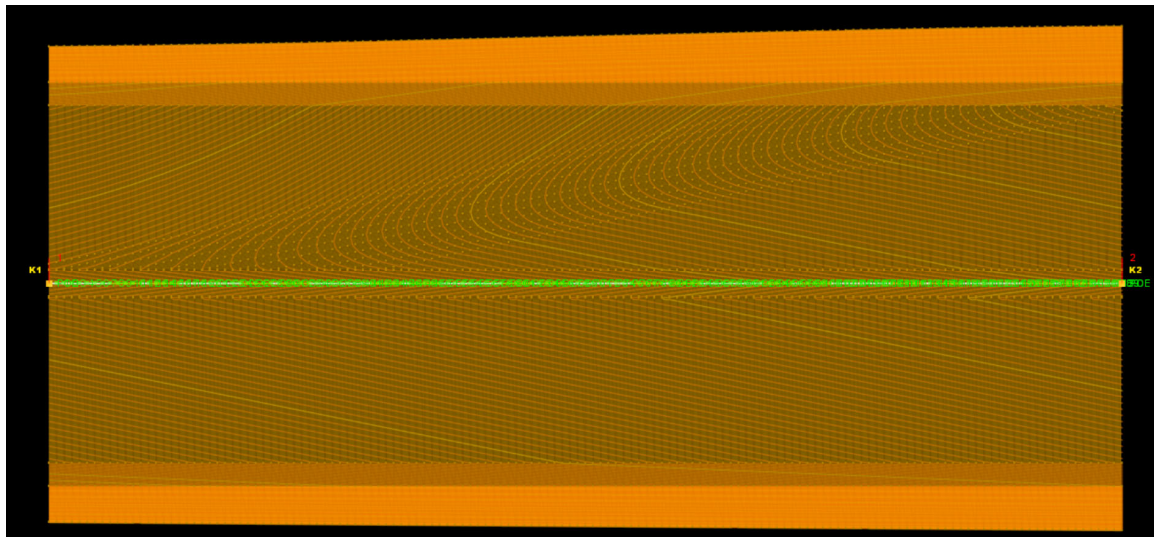


Εικόνα 19: Μηκοτομές σε σημεία με απόσταση 3,65 και 7,30 από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος για κατά μήκος κλίση 0%.

4.1.2 Λοξή στρογγυλεμένη κορυφογραμμή και κατά μήκος κλίση 0,5%

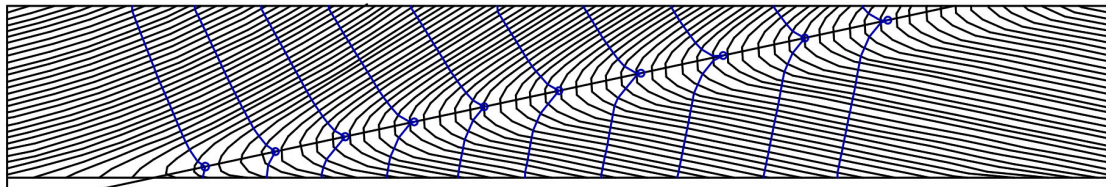
Η κατά μήκος κλίση 0,5% διαμορφώνεται από το περιβάλλον της μηκοτομής, θέτοντας στο υψόμετρο του σημείου K1 35 εκατοστά χαμηλότερα από το υψόμετρο του σημείου K2 για δρόμο με μήκος 70 μέτρα ($0,5\% \times 70\text{m} = 0,35\text{m}$).

Εφαρμόζοντας όπως και στο κεφάλαιο 4.1.1 την τυπική διατομή (Εικόνα 17), το έδαφος που διαμορφώνεται φαίνεται στην Εικόνα 20.



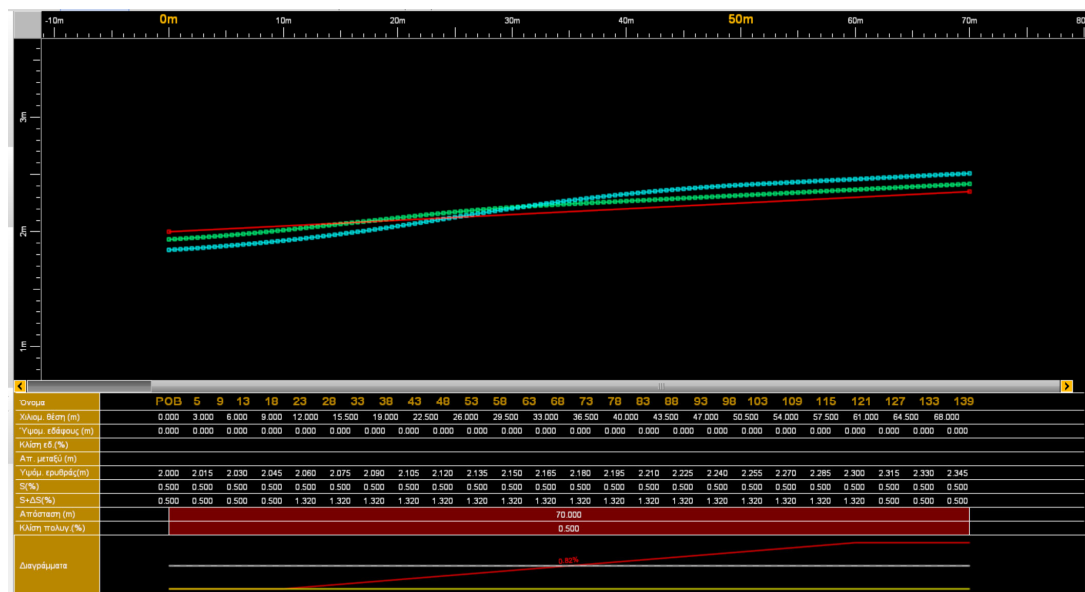
Εικόνα 20: Απεικόνιση εφαρμογής στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης σε δρόμο με κατά μήκος κλίση 0,5%.

Ενώ οι γραμμές ροής παρουσιάζονται στην Εικόνα 21.



Εικόνα 21: Γραμμές ροής για κατά μήκος κλίση 0,5%.

Ενώ στη συνέχεια στην Εικόνα 22 παρουσιάζεται η μηκοτομή με τους δύο νοητούς άξονες στη θέση 3,65 (πράσινη γραμμή) και 7,30 (κυανή γραμμή) όπως στην ενότητα 4.1.1.

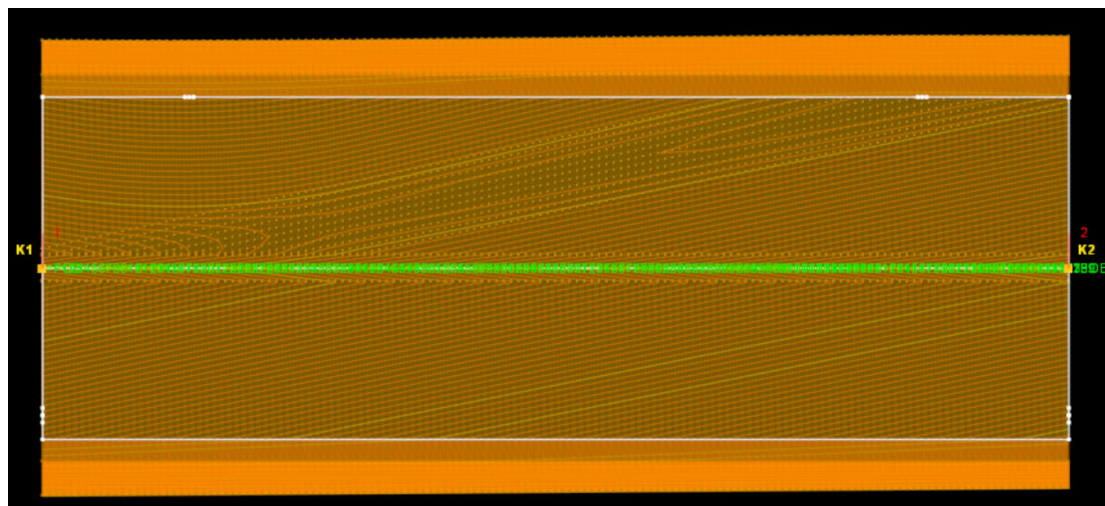


Εικόνα 22: Μηκοτομές σε σημεία με απόσταση 3,65 και 7,30 από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος για κατά μήκος κλίση 0,5%.

4.1.3 Λοξή στρογγυλεμένη κορυφογραμμή και κατά μήκος κλίση -0,5%

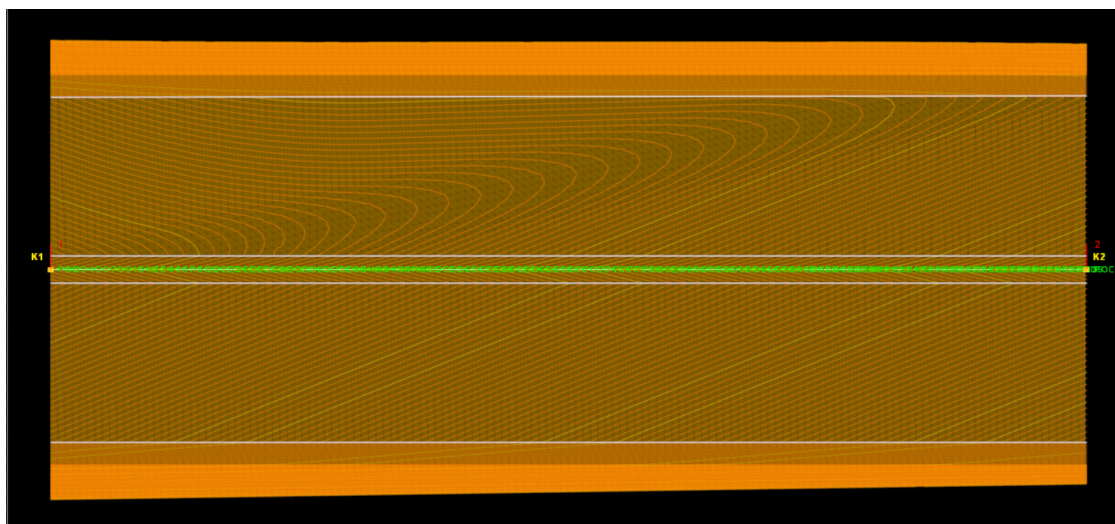
Για τη δημιουργία οδού αριστερής στροφής, με κατά μήκος κλίση -0,5%, το σημείο της αρχής της οδού, στο διάγραμμα της μηκοτομής θα είναι 35 εκατοστά πιο ψηλά από το σημείο του πέρατος.

Εφαρμόζοντας την τυπική διατομή όπως προηγουμένως, με την στρογγυλεμένη λοξή επίκλιση το έδαφος που δημιουργείται αφού σχεδιαστούν και οι ισοϋψείς είναι ως εξής (Εικόνα 23):



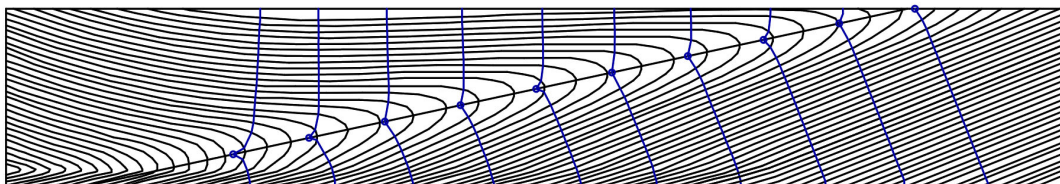
Εικόνα 23: Απεικόνιση εφαρμογής στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης σε δρόμο με κατά μήκος κλίση -0,5%.

Στην Εικόνα 24 παρουσιάζονται οι γραμμές ροής κάθετες στις ισοϋψείς για κατά μήκος κλίση -0,5%.



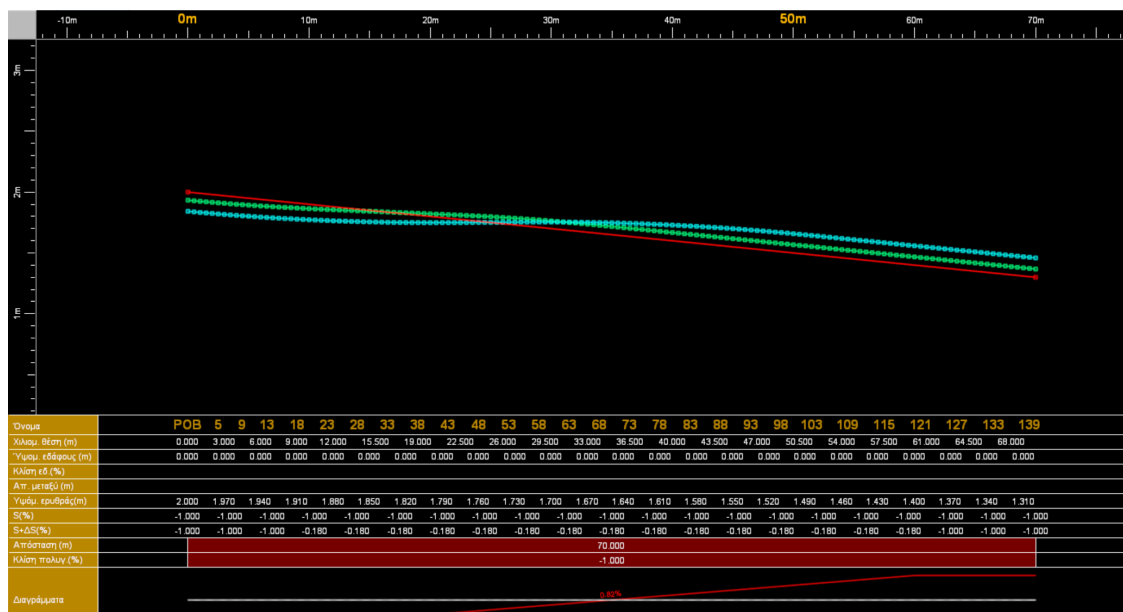
Εικόνα 26: Απεικόνιση εφαρμογής στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης σε δρόμο με κατά μήκος κλίση -1%.

Στην Εικόνα 27 παρουσιάζονται οι γραμμές ροής για κατά μήκος κλίση -1%.



Εικόνα 27: Γραμμές ροής για κατά μήκος κλίση -1%.

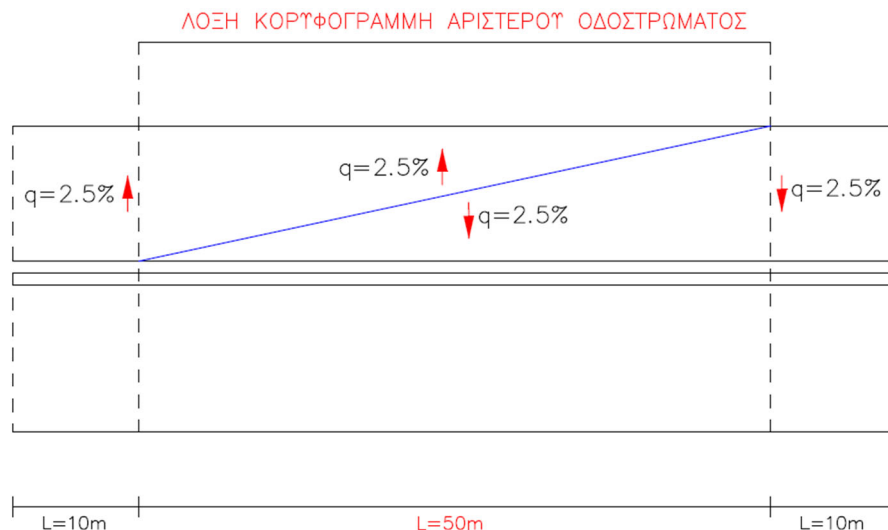
Ακολουθώντας στην Εικόνα 28 φαίνονται τα διαγράμματα των μηκοτομών, για τα σημεία που απέχουν 3,65 μέτρα και 7,30 μέτρα από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος.



Εικόνα 28: Μηκοτομές σε σημεία με απόσταση 3,65 και 7,30 από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος για κατά μήκος κλίση -1%.

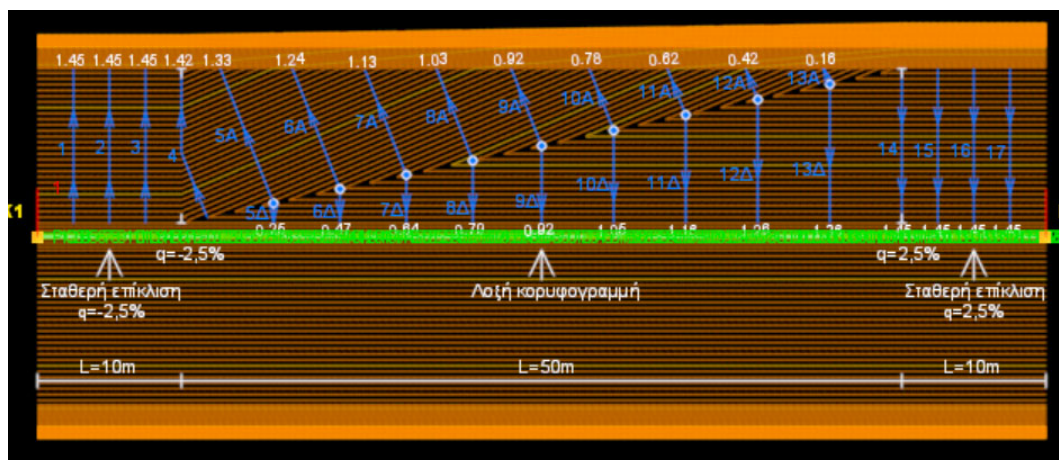
4.2 Σύγκριση λοξής επίκλισης 2,5% με στρογγυλεμένη λοξή επίκλιση 2,5%

Η εφαρμογή της λοξής επίκλισης είναι ένας τρόπος επίλυσης του προβλήματος που δημιουργείται με τη συσσώρευση ομβρίων σε μικρές συνισταμένες κλίσεις. Η εφαρμογή της γίνεται όπως φαίνεται στην Εικόνα 29.

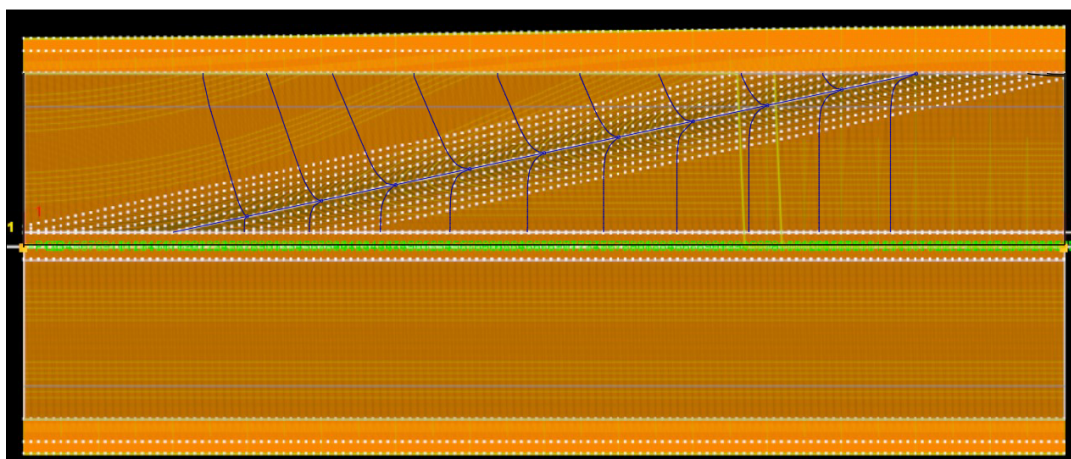


Εικόνα 29: : Λοξή κορυφογραμμή με μεταβολή της επίκλισης από $-2,5\%$ σε $2,5\%$ (Αποστολάκης 2020).

Παρακάτω φαίνονται οι ισοϋψείς που δημιουργούνται με την εφαρμογή της απλής λοξής επίκλισης, οι οποίες δημιουργούν μια αιχμή πάνω στην λοξή κορυφογραμμή (Εικόνα 30), σε σύγκριση με την στρογγυλεμένη λοξή (Εικόνα 31) της οποίας η αιχμή είναι πιο ομαλή.

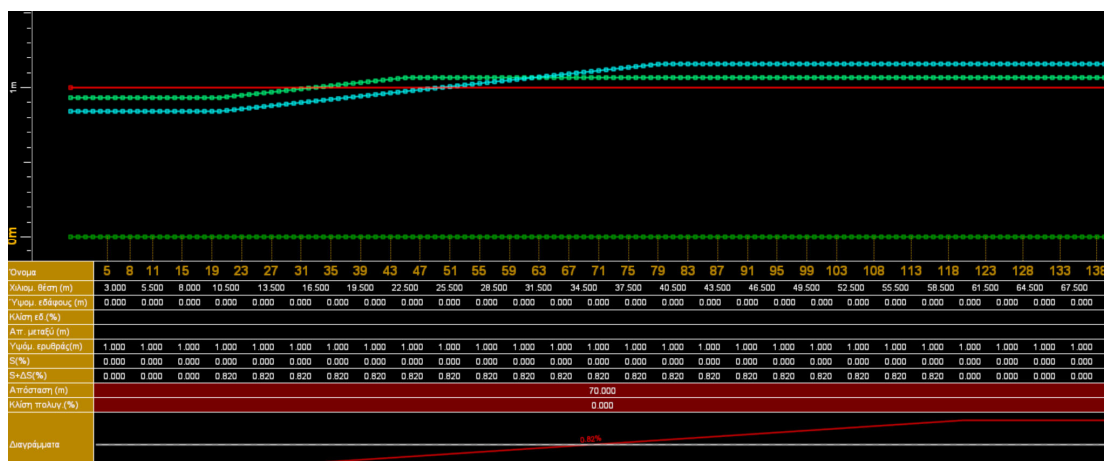


Εικόνα 30: Γραμμές Ροής - Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από $-2,5\%$ σε $2,5\%$ για κατά μήκος κλίση 0% (Αποστολάκης 2020).



Εικόνα 31: Γραμμές Ροής - Στρογγυλεμένη Λοξή κορυφογραμμή με επίκλιση από -2,5% σε 2,5%

Ένας ακόμα λόγος που πραγματοποιείται η σύγκριση της λοξής επίκλισης με την στρογγυλεμένη λοξή επίκλιση είναι καθώς η δεύτερη θεωρήθηκε ότι θα συμβάλει στη δυναμική της κίνησης των οχημάτων. Από την Εικόνα 32 φαίνονται δυο νοητοί άξονες κατά μήκος της οδού, παρατηρώντας ότι παρουσιάζουν απότομη αλλαγή σε σχέση με τα αντίστοιχα διαγράμματα που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 4.1.



Εικόνα 32: Μηκτομές σε σημεία με απόσταση 3,65 και 7,30 από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος για κατά μήκος κλίση 0% σε μοντέλο δρόμου με εφαρμοσμένη λοξή επίκλιση.

5. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής ήταν η διερεύνηση της απορροής των ομβρίων του οδοστρώματος, ιδιαίτερα σε κρίσιμες περιοχές. Εκεί όπου η περιστροφή του οδοστρώματος στις καμπύλες συναρμογής, συνδυάζεται με μικρή κατά μήκος κλίση. Επίσης πραγματοποιήθηκε διερεύνηση εναλλακτικών τεχνικών για την διαμόρφωση των επικλίσεων, όπως η εφαρμογή λοξών επικλίσεων, για την αποφυγή προβλημάτων απορροής στις παραπάνω κρίσιμες περιοχές.

Στα πλαίσια της διερεύνησης προηγούμενων σχετικών εργασιών, προηγήθηκε ο έλεγχος της αξιοπιστίας της μεθόδου που χρησιμοποιείται από τις ΟΜΟΕ για τον υπολογισμό του βάθους νερού μέσω της μεθόδου του Gallaway.

Επίσης πραγματοποιήθηκε αναλυτική διερεύνηση και προτάθηκε μια βελτιωμένη λύση, η εφαρμογή στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης και η σύγκρισή της με τη λύση της απλής λοξής επίκλισης.

Με το πέρας της διπλωματικής προκύπτουν κάποια αποτελέσματα τα οποία συντελούν στην καλύτερη κατανόηση των προβλημάτων που δημιουργεί η κακή απορροή σε τμήματα των οδών, στην προσέγγιση λύσεων εφαρμογής για την επίλυση αυτών των προβλημάτων, ενώ τέλος δημιουργείται έναυσμα για μεταγενέστερες έρευνες.

Η σύγκριση της μεθόδου του Gallaway με την ορθολογική μέθοδο, μια μέθοδο η οποία αποδεδειγμένα έχει ισχύ στο μελετώμενο πρόβλημα, δίνει αποτελέσματα στα οποία φαίνεται ότι η πρώτη μέθοδος, για μικρές εγκάρσιες κλίσεις, δίνει μεγαλύτερα βάθη νερού από τα αναμενόμενα.

Για τη σύγκριση, η εφαρμογή της ορθολογικής μεθόδου, επιλέγεται με τη δυσμενέστερη συνθήκη, δηλαδή θεωρείται ότι όση ποσότητα νερού φτάνει στην εξεταζόμενη επιφάνεια, απορρέει, δεν απορροφάται ούτε εξατμίζεται. Επομένως θεωρούμε υπερεκτιμημένη ή δυσμενή την εκτίμηση του βάθους μέσω του Gallaway.

Εν συνεχεία όσον αφορά στην εφαρμογή της στρογγυλεμένης λοξής επίκλισης σε τμήματα τα οποία έχουν μικρή συνισταμένη κλίση, αυτή φαίνεται να επιλύει το ζήτημα, χωρίς παράλληλα να επηρεάζει τη δυναμική της κίνησης, σε σχέση με την κλασσική, χωρίς λοξές επικλίσεις, περιστροφή του οδοστρώματος.

Από τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν με το πεδίο ροής των οδών σε κάθε περίπτωση κατά μήκος κλίσης, σε σύγκριση με αντίστοιχα διαγράμματα εφαρμογής απλής λοξής επίκλισης παρατηρείται ότι είναι μια λύση εξ ίσου καλή από πλευράς

απορροής. Ενώ παράλληλα βελτιώνει τη δυναμική της κίνησης σε σχέση με την περίπτωση της απλής λοξής επίκλισης.

Τα παραπάνω εγείρουν προβληματισμούς στο να βρεθεί ένας τρόπος υπολογισμού του βάθους νερού περισσότερο ρεαλιστικός, ενώ όσον αφορά στην εφαρμογή της στρογγυλεμένης λοξής κορυφογραμμής έχει σημασία να μελετηθεί αν μπορεί κατασκευαστικά να εφαρμοστεί με βάση τον αριθμό των επιμέρους εγκάρσιων κλίσεων καθώς και των μηκών που μελετήθηκαν στην παρούσα διπλωματική.

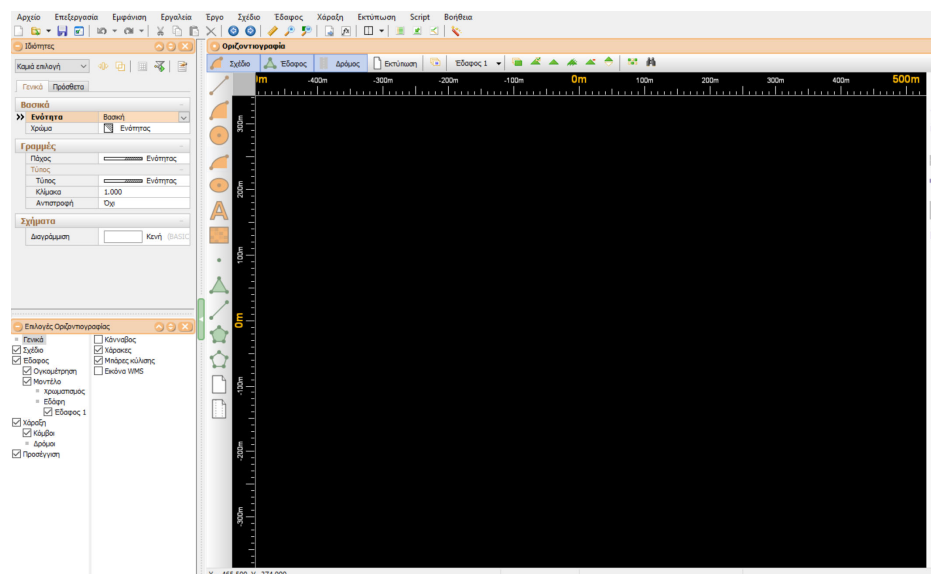
6. Βιβλιογραφικές αναφορές

- Αποστολάκης Σ., 2020. *Διερεύνηση απορροής ομβρίων στην επιφάνεια του οδοστρώματος με εφαρμογή λοξών επικλίσεων*. Διπλωματική εργασία. Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Psarianos B., Apostoleris K., 2019, *Construction of a Rounded Skew-Superelevation*, Current Trends in Civil & Structural Engineering, ISSN: 2643-6876
- Δαλαμπύρα Ε., Κατσικανή Β., 2019. *Διερεύνηση απορροής ομβρίων σε κρίσιμες περιοχές στην επιφάνεια του οδοστρώματος*. Διπλωματική εργασία. Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Αλιμονάκης Θ., 2018. *Διερεύνηση απορροής των ομβρίων σε κρίσιμες περιοχές του οδοστρώματος*. Διπλωματική εργασία. Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Καλιαμπέτσος Γ., 2017. *Ανάπτυξη και βελτιστοποίηση αλγορίθμων για τον σχεδιασμό συγκοινωνιακών έργων*. Διδακτορική διατριβή. Βόλος: Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων, 2002. *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (OMOE)*. Τεύχος 8: Αποχέτευση - Στράγγιση, Υδραυλικά, Έργα Οδών (OMOE-ΑΣΥΕΟ).
- Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων, 2001. *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (OMOE)*. Τεύχος 3: Χαράξεις (OMOE - X).
- Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων, 2001. *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (OMOE)*. Τεύχος 2: Διατομές (OMOE - Δ).
- Lamm, R., Psarianos, B., and Mailaender, T., 1999. *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*, McGraw-Hill, New York.
- ΠΙΝ Παπανικολάου, *Μηχανική των Ρευστών – Στρωτή Ροή*

7. Παράρτημα

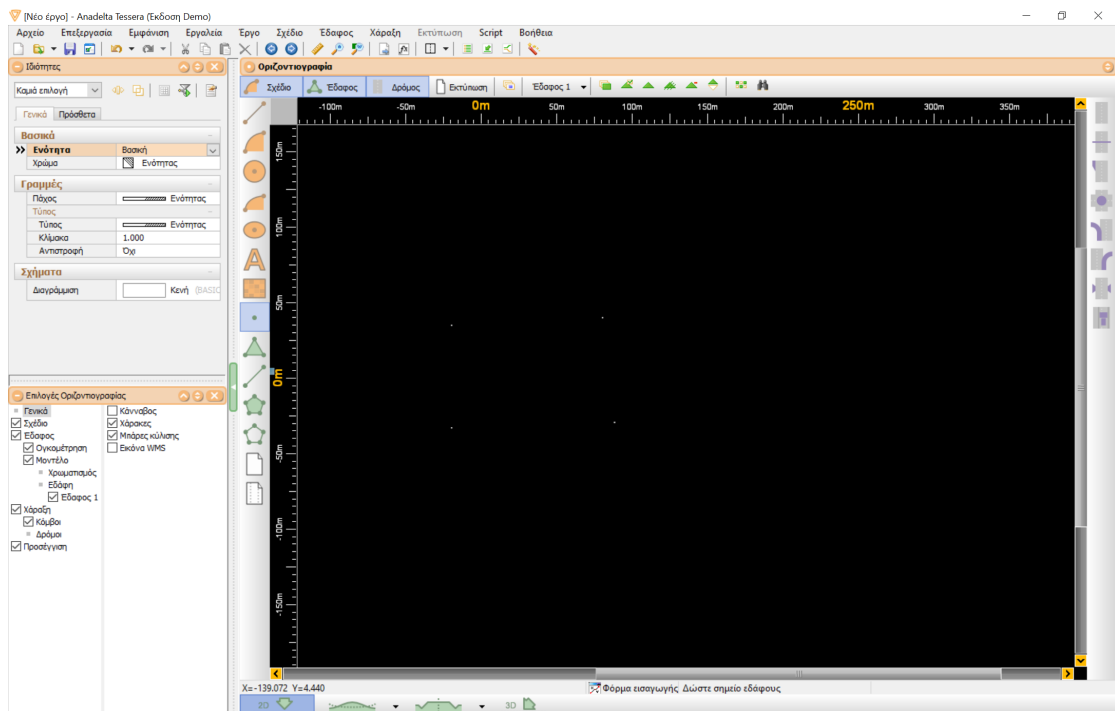
Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει αναλυτική περιγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν ώστε να δημιουργηθεί το μοντέλο στο περιβάλλον Tessler Anadelta, που αναφέρεται στο κεφάλαιο 4.

Εισερχόμενοι στο περιβάλλον του Tessler, δημιουργώντας ένα «Νέο έργο», εμφανίζεται η καρτέλα της οριζοντιογραφίας, στην οποία υπάρχει η δυνατότητα σχεδιασμού σε 2 διαστάσεις (Εικόνα 33).



Εικόνα 33: Περιβάλλον Tessler.

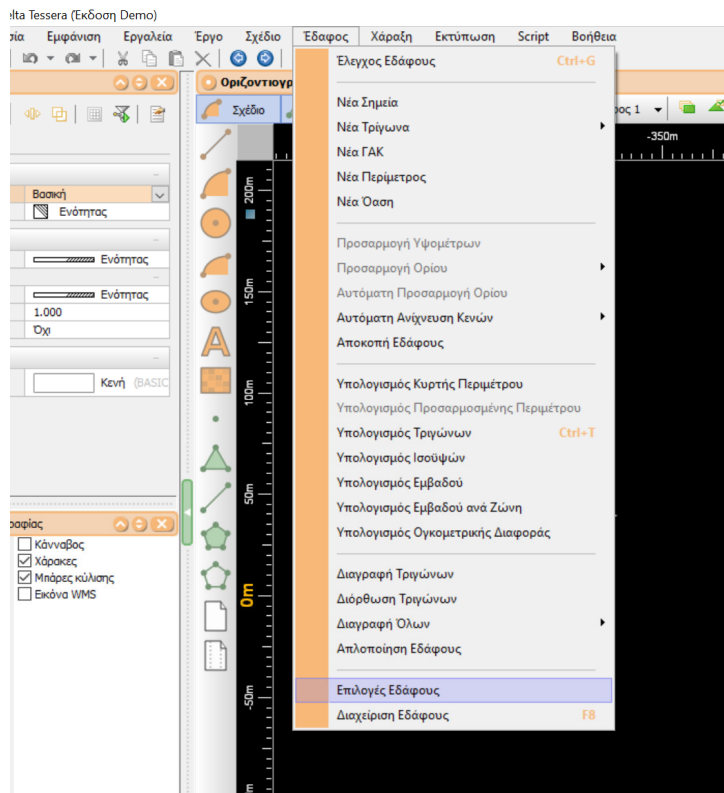
Αρχικά με την εντολή «Νέα σημεία εδάφους» εισάγονται τέσσερα σημεία εδάφους τα οποία δημιουργούν ένα επίπεδο αναφοράς για τη μηκοτομή και διατομές (Εικόνα 34).



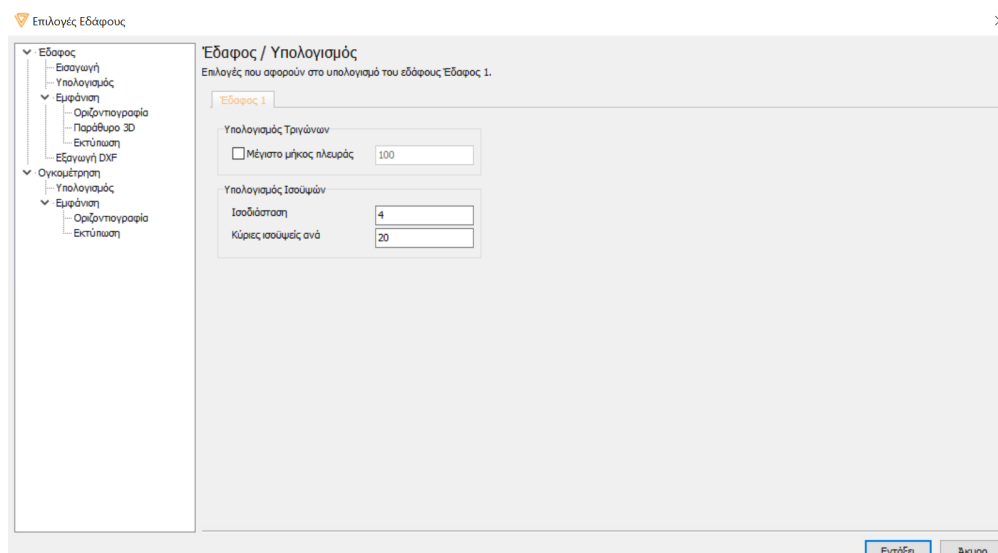
Εικόνα 34: Σχεδιασμός σημείων για τη δημιουργία εδάφους.

Έπειτα από την επιλογή «Εδαφος» και «Επιλογές Εδάφους» (Εικόνα 35), εμφανίζεται η καρτέλα με τις επιλογές εδάφους από την οποία γίνεται από-επιλογή της εντολής που

ορίζει το μέγιστο μήκος πλευράς για των υπολογισμό των τριγώνων και πατώντας την εντολή «Εντάξει», γίνεται η εφαρμογή της εντολής (Εικόνα 36).

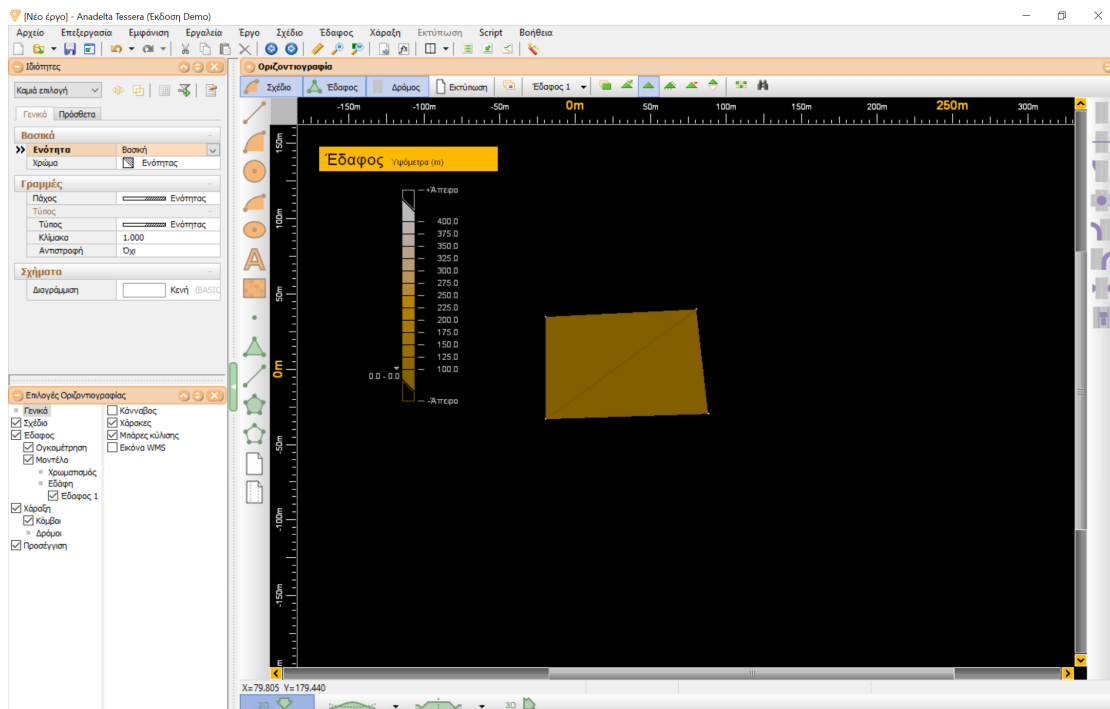


Εικόνα 35: Εντολή «Επιλογές εδάφους».



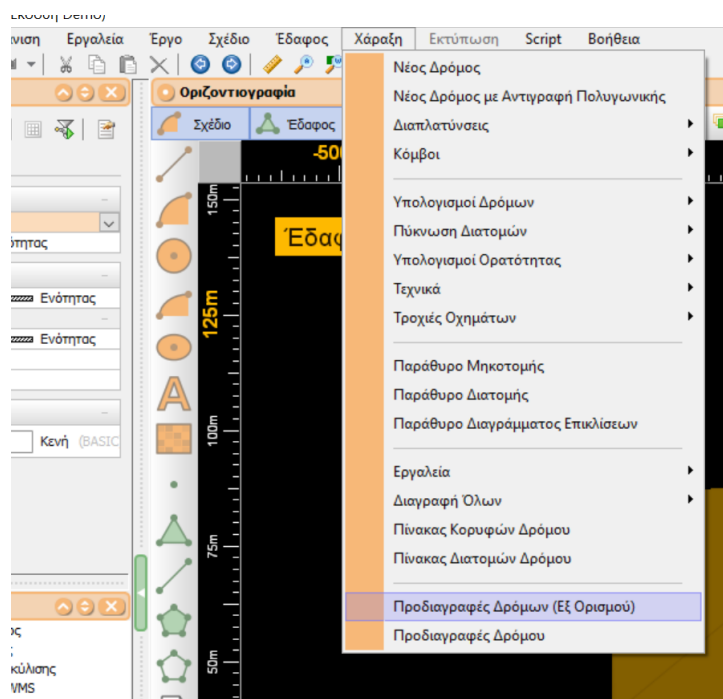
Εικόνα 36: Καρτέλα «Επιλογές εδάφους».

Στην συνέχεια από την οριζόντια γραμμή εργαλείων επιλέγεται η εντολή «Υπολογισμός Τριγώνων», με τυχαία θέση και υψόμετρο μηδέν (Εικόνα 37).



Εικόνα 37: Εντολή «Υπολογισμός Τριγώνων».

Ακολουθώντας για την απόδοση των επιλεγμένων ιδιοτήτων στο τμήμα της οδού από την επιλογή «Χάραξη» και έπειτα «Προδιαγραφές δρόμου (Εξ ορισμού)» εμφανίζεται παράθυρο με επιλογές για τις ιδιότητες της κατηγορίας της τυπικής διατομής της οδού (Εικόνα 38).



Εικόνα 38: Εντολή «Προδιαγραφές Δρόμων (Εξ Ορισμού)».

Από το παράθυρο «Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων» και στην καρτέλα «Γενικά», εισάγεται από την οριζόντια γραμμή εργαλείων μέσω της εντολής «Νέος Τύπος» μια νέα τυπική οδός, με όνομα E65, κατηγορίας A με διαχωρισμένη επιφάνεια κυκλοφορίας, ταχύτητα μελέτης ίση με την επιτρεπόμενη ταχύτητα στα 120 km/h (κατηγορία ΑΙ). Επιπλέον το έδαφος που επιλέγεται είναι πεδινό, ενώ στη συγκεκριμένη περίπτωση ο τύπος οχήματος δεν θα χρησιμοποιηθεί σε κάποια παράμετρο. Αφού σημειωθούν οι αλλαγές, με την εντολή από την οριζόντια γραμμή εργαλείων «Ορισμού Τύπου ως Τρέχοντα», τα τεχνικά χαρακτηριστικά του δρόμου που έχουν επιλεγεί θα εφαρμοστούν στο τμήμα της οδού το οποίο θα εισαχθεί στη συνέχεια (Εικόνα 39).

Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων

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
- Νέο
- ☒ E65
- Type 1
- Type 2

Γενικά Πλάτη Κλίσεις Διάγραμμα Πύκνωση Λήψη Εδάφους Κορυφή

Περιγραφή

Χιλιμετρική θέση αρχής Ταχύτητα μελέτης (km/h) Επιτρεπ. Ταχύτητα (km/h)

0 120 120

Συντ. πλευρικής τριβής Προσαύξ. ορατότητας

0.12 1.694

Κατηγορία οδού

- ☒ Ομάδας A - Διαχωρισμένες επιφ. κυκλοφ.
- ☐ Ομάδας A - Ενιαίες επιφ. κυκλοφ.
- ☐ Ομάδας ΒΙ
- ☐ Ομάδας ΒΙΙ
- ☐ Ομάδας ΒΙΙΙ

Τύπος οχήματος

- ☐ Επιβατηγό όχημα 4m
- ☒ Φορτηγό (βαρύ όχημα) 8m
- ☐ Ημιρμιουλκούμενο (επικαθήμενο) 10m
- ☐ Λεωφορείο 1 (τυπικό λεωφορείο) 8.5m
- ☐ Λεωφορείο 2 (αρθρωτό λεωφορείο) 9m
- ☐ Λεωφορείο 3 (τύπου megaliner) 11.7m
- ☐ Μήκος οχήματος (m) 8

Τύπος

- ☒ Δρόμος
- ☐ Σιδηροδρομική Γραμμή

Μορφολογία εδάφους

- ☒ Πεδινό
- ☐ Λοφώδες / Ορεινό

Εντόξει Άκυρο

Εικόνα 39: Καθορισμός Γενικών στοιχείων από την Καρτέλα «Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων».

Έπειτα επιλέγοντας και συμπληρώνοντας τις καρτέλες «Πλάτη», «Κλίσεις», «Διάγραμμα» και «Πύκνωση» συμπληρώνοντας τα αντίστοιχα από τις εικόνες 40, 41, 42 και 43 αντίστοιχα, οι οποίες συμπληρώθηκαν σύμφωνα με την κατηγορία της οδού που επιλέχθηκε για το μοντέλο, έχουν συμπληρωθεί όλα τα απαραίτητα στοιχεία.

Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων

Διαθέσιμοι Τύποι:

- Τύπος 1
- Τύπος α6να
- Τύπος α4να*
- Τύπος β6να
- Τύπος β4να*
- Τύπος β4να*
- Τύπος γ4να
- Τύπος β2α
- Τύπος β2
- Τύπος γ2
- Τύπος δ2
- Τύπος ε2
- Τύπος ζ2
- Τύπος γ4να*
- Τύπος η2
- Τύπος η1
- Νέο
- ☒ E65
- Type 1
- Type 2

Γενικά Πλάτη Κλίσεις Διάγραμμα Πύκνωση Λήψη Εδάφους Κορυφή A

Πλάτος οδοστρώματος αριστερά: 11.65

Πλάτος οδοστρώματος δεξιά: 11.65

Πλάτος κυκλοφορίας αριστερά: 8.2

Πλάτος κυκλοφορίας δεξιά: 8.2

Απόστ. άξονα αριστερού ρεύματος: 0

Απόστ. άξονα δεξιού ρεύματος: 0

Λωρίδα έκτ. ανάγκης αριστερά: 2.25

Λωρίδα έκτ. ανάγκης δεξιά: 2.25

Πλάτος ερείσματος αριστερά: 1.5

Πλάτος ερείσματος δεξιά: 1.5

Νησίδα Αριστερά: 0.95

Νησίδα δεξιά: 0.95

Απόσταση τροχιάς αριστ. ρεύματος: 0

Απόσταση τροχιάς δεξ. ρεύματος: 0

Πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας: 3.5

Εντάξει Ακυρο

Εικόνα 40: Καθορισμός Πλατών από την Κартέλα «Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων».

Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων

Διαθέσιμοι Τύποι:

- Τύπος 1
- Τύπος α6να
- Τύπος α4να*
- Τύπος β6να
- Τύπος β4να*
- Τύπος β4να*
- Τύπος γ4να
- Τύπος β2α
- Τύπος β2
- Τύπος γ2
- Τύπος δ2
- Τύπος ε2
- Τύπος ζ2
- Τύπος γ4να*
- Τύπος η2
- Τύπος η1
- Νέο
- ☒ E65
- Type 1
- Type 2

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 επικλίση καμπύλης: 7

Υπερύψωση (m): 0.16

Ερείσματα

☒ Διαφορά επικλίσεων στην αιχμή: 8

☐ Επικλίση στο εξωτερικό καμπύλης: 6

Μέγιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμών (Δs max): 0.9

Ελάχιστη πρόσθετη κλίση οριογραμμών (Δs min): 0.82

Πρόσθετη κλίση οριογραμμών (ελλείψει τόξου συναρμογής): 2

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

Εντάξει Ακυρο

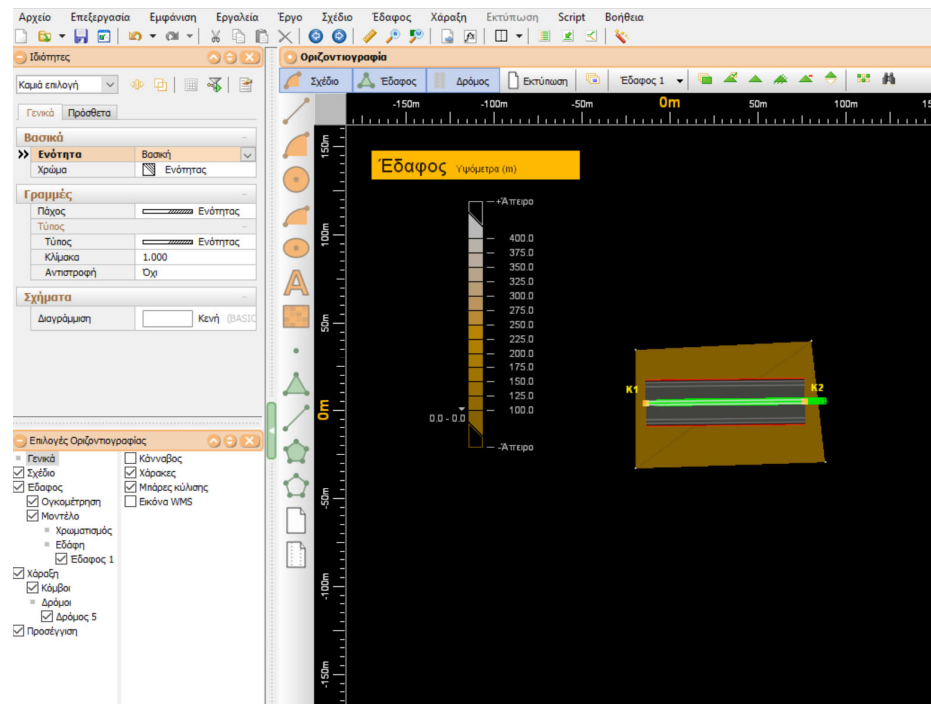
Εικόνα 41: Καθορισμός Κλίσεων από την Κартέλα «Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων».

Εικόνα 42: Καθορισμός Διαγραμμάτων από την Καρτέλα «Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων».

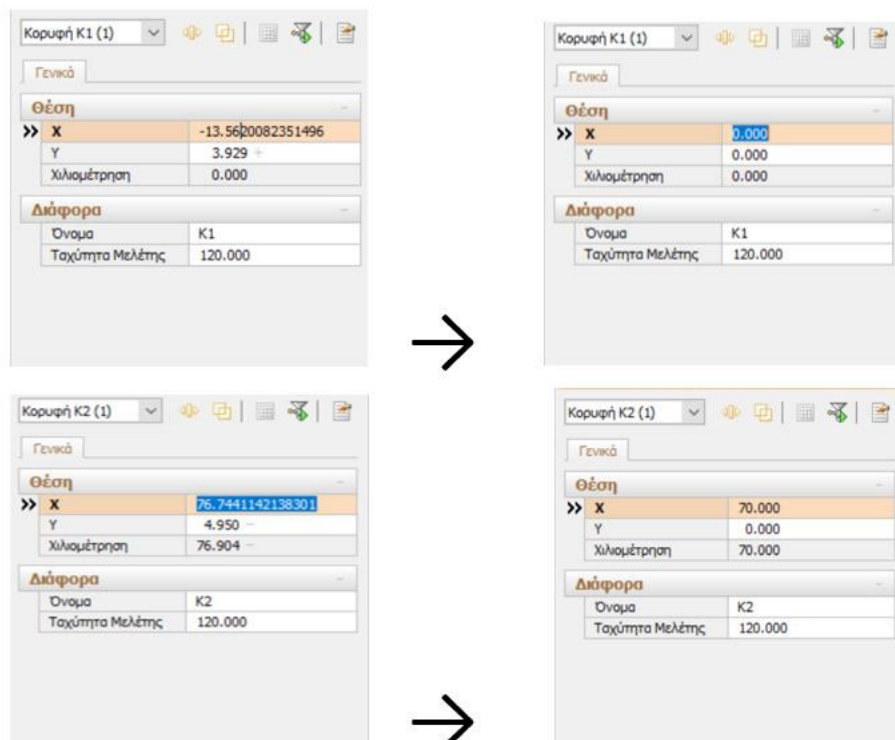
Εικόνα 43: Καθορισμός Πύκνωσης από την Καρτέλα «Γενικές Προδιαγραφές Νέων Δρόμων».

Στη συνέχεια από την κατακόρυφη γραμμή εργαλείων, στα δεξιά, επιλέγεται η εντολή «Νέος δρόμος» η οποία δίνει τη δυνατότητα σχεδιασμού της οδού. Γίνεται τυχαία τοποθέτηση δύο σημείων (Εικόνα 44) ενώ στη συνέχεια γίνεται διόρθωση των

συντεταγμένων των δύο σημείων, πατώντας πάνω σε ένα από τα δύο σημεία K1 ή K2, ώστε να δημιουργηθεί δρόμος με μήκος 70 μέτρα (Εικόνα 45).

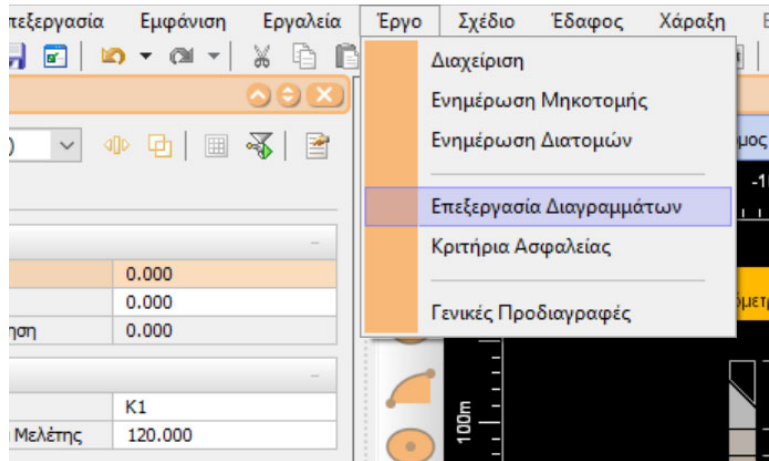


Εικόνα 44: Τοποθέτηση δύο σημείων K1 και K2 για τη δημιουργία οδού.



Εικόνα 45: Καθορισμός συντεταγμένων για τις κορυφές K1 και K2 της οδού.

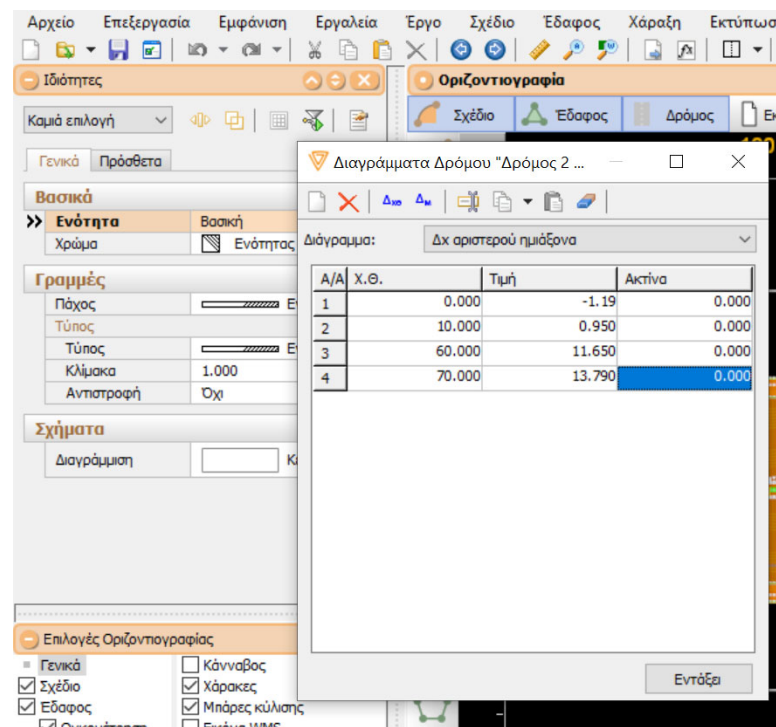
Επόμενο βήμα είναι να γίνουν οι κατάλληλες ρυθμίσεις για τα διαγράμματα. Αρχικά επιλέγεται ο δρόμος πατώντας σε κάποιο σημείο του και στη συνέχεια επιλέγοντας από την οριζόντια γραμμή εργαλείων την εντολή «Έργο» και «Επεξεργασία Διαγραμμάτων» θα εμφανιστεί η καρτέλα με τα διαγράμματα του δρόμου (εικόνα 46).



Εικόνα 46: Εντολή «Επεξεργασία διαγραμμάτων».

Ενώ στη συνέχεια από τις επιλογές που παρέχει η εντολή «Διάγραμμα», επιλέγεται το διάγραμμα «επικλίσεων αριστερά». Με την εντολή Ctrl + I γίνεται η εισαγωγή δυο επιπλέον σημείων όπως φαίνεται στην Εικόνα 47, με τις αντίστοιχες κλίσεις. Στο διάστημα από τη Χιλιομετρική Θέση 10.000 μέχρι 60.000 (διάστημα 50 μέτρων) η τυπική διατομή με τη στρογγυλεμένη λοξή επίκλιση διαμορφώνεται από την άκρη της

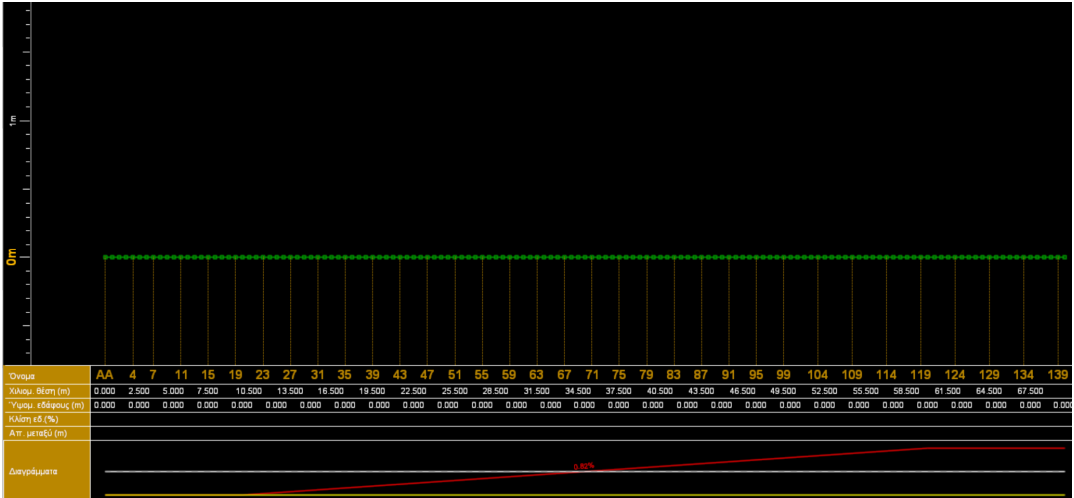
νησίδας (0,95 μέτρα) έως το άκρο της λωρίδας (11,65 μέτρα). Ενώ οι τιμές από τη ΧΘ 0.000 έως 10.000 και από 10.000 έως 70.000 η κλίση των διαστημάτων είναι 2,14%.



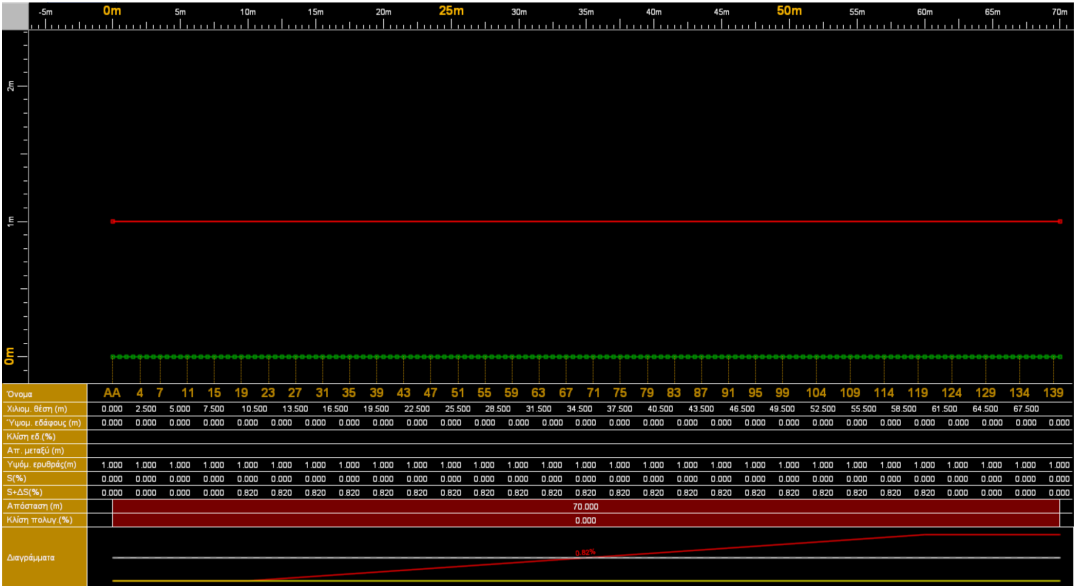
Εικόνα 47: Καθορισμός διαγραμμάτων Δx αριστερού ημι-άξονα από την καρτέλα «Διαγράμματα Δρόμου».

Σε επόμενο βήμα αφότου έχουν γίνει οι ρυθμίσεις της οριζοντιογραφίας, μεταβαίνοντας από την οριζόντια γραμμή στο κάτω μέρος την οθόνης, στη Μηκοτομή, μπορεί να γίνει να γίνει η χάραξη της πολυγωνικής, μέσω της εντολής «Νέα Πολυγωνική» που βρίσκεται στην οριζόντια γραμμή εργαλείων (Εικόνα 48). Αρχικά γίνεται σχεδίαση της γραμμής και αλλαγή των συντεταγμένων της αρχής και του πέρατος. Η αρχή της πολυγωνικής θα έχει Χιλιομετρική Θέση (Χ.Θ) ίση με μηδέν ενώ το πέρας ίση με 70. Επιπλέον το πρώτο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε θεωρήθηκε η κατά μήκος κλίση του ίση με το μηδέν ($s = 0\%$), επομένως για τη σχεδίαση της πολυγωνικής η απόσταση από το φυσικό έδαφος (H) θα έχει ίδια τιμή στην αρχή και στο τέλος (Εικόνα 49). Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκαν, εκτός από την μηδενική, άλλες τρεις περιπτώσεις με κατά μήκος κλίση $s = -1\%$, $s = -0,5\%$ και $s = 0,5\%$. Για την εφαρμογή αυτή προσαρμόζεται μόνο η τιμή του H. Για κλίση -1% η διαφορά μεταξύ σημείων αρχής και πέρατος για δρόμο με 70 μέτρα μήκος, θα είναι 70 εκατοστά με την αρχή να είναι ψηλότερα από το πέρας, για κλίση ίση με $-0,5\%$ η διαφορά θα είναι 35 εκατοστά με την αρχή να είναι επίσης ψηλότερα από το πέρας, ενώ τέλος για κλίση ίση

με 0,5% η διαφορά θα πρέπει να είναι 35 εκατοστά με την αρχή χαμηλότερα από το πέρας.



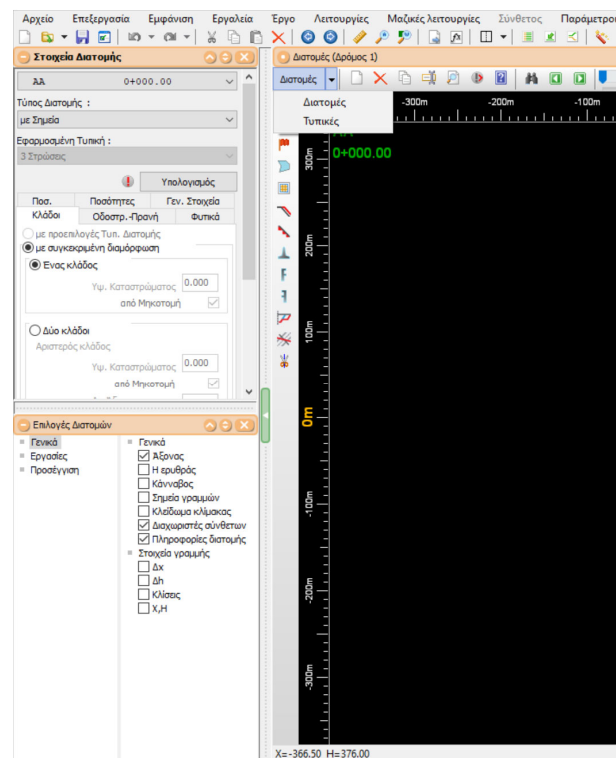
Εικόνα 48: Περιβάλλον Μηκοτομής.



Εικόνα 49: Σχεδιασμός ερυθράς γραμμής στο περιβάλλον της Μηκοτομής.

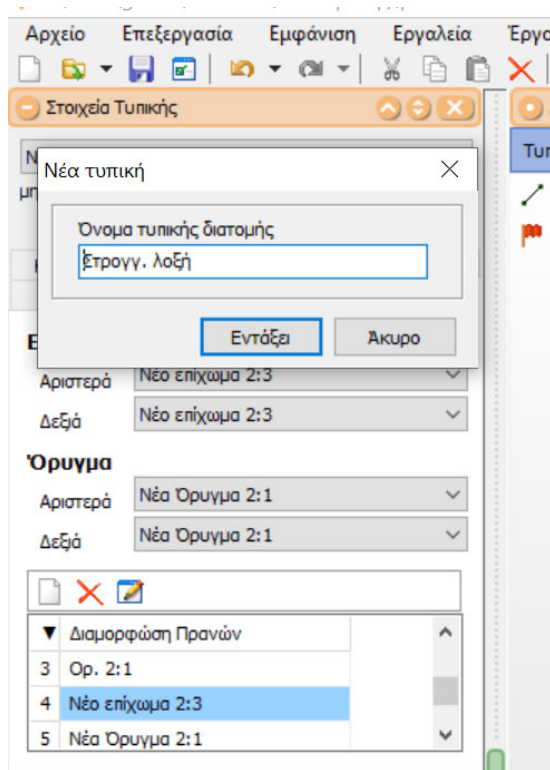
Ακολουθώντας τις εντολές στη οριζόντια γραμμή στο κάτω μέρος της οθόνης μπορεί να γίνει μετάβαση στο περιβάλλον των διατομών μέσω της αντίστοιχης επιλογής. Από

εκεί, από την οριζόντια γραμμή εργαλείων και από τις επιλογές «Διατομές» ή «Τυπικές» επιλέγονται οι δεύτερες (Εικόνα 50).



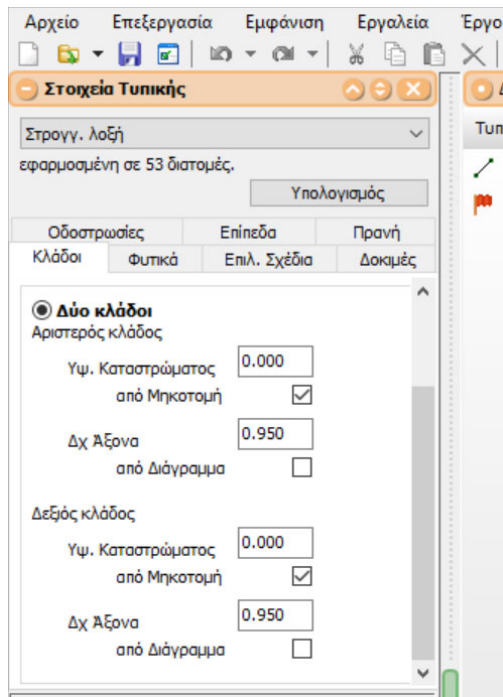
Εικόνα 50: Μετάβαση στο περιβάλλον των διατομών στην επιλογή «Τυπικές».

Έπειτα από την οριζόντια γραμμή επιλέχθηκε η εντολή «Νέα τυπική (βασισμένη στην τρέχουσα)» και ονομάζεται ως «Στρογγ. λοξή» (Εικόνα 51).

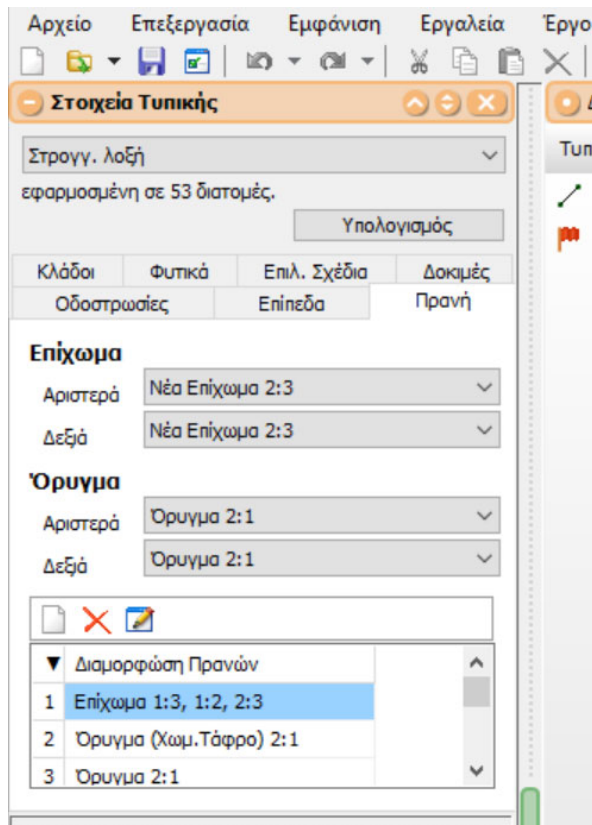


Εικόνα 51: Δημιουργία τυπικής διατομής με όνομα «Στρογγ. Λοξή».

Έπειτα από την αριστερή στήλη στην οποία φαίνονται κάποιες ιδιότητες της διατομής γίνεται επιλογή της καρτέλας «Κλάδοι» και επιλέχθηκαν δυο κλάδοι ενώ έγινε αποεπιλογή των επιλογών «από Διάγραμμα» και για τους δύο κλάδους και συμπληρώθηκε τιμή ίση με 0,95 για την τιμή «Δχ Άξονα» (Εικόνα 52). Στην καρτέλα «Πρανή» δημιουργείται από το παράθυρο «Διαμόρφωση πρανών» ένα νέο πρανές με όνομα «Νέο επίχωμα 2:3» και πατώντας την επιλογή επεξεργασία, διαμορφώνονται τα χαρακτηριστικά του (Εικόνα 53).



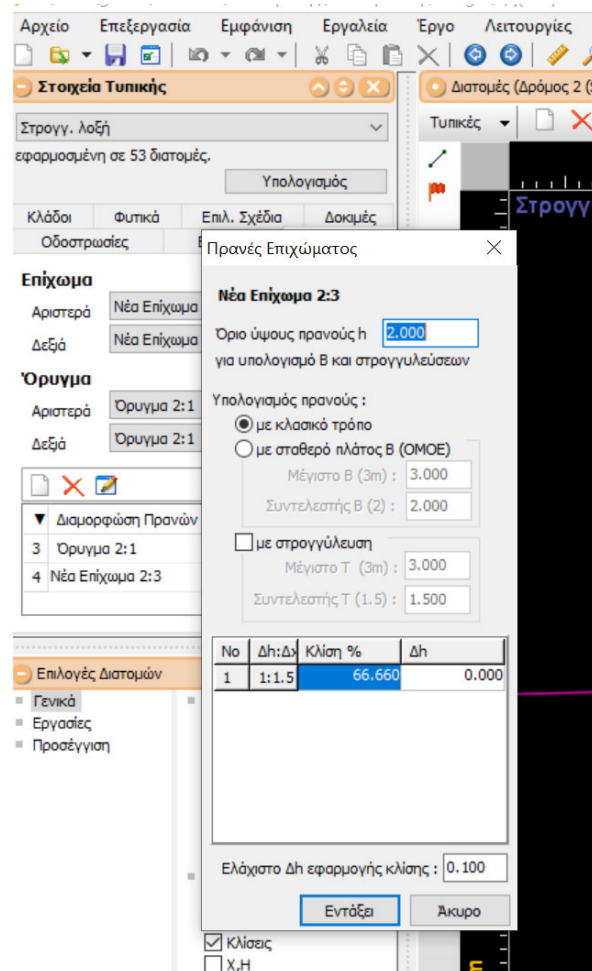
Εικόνα 52: Καθορισμός στοιχείων τυπικής διατομής στην καρτέλα η οποία αφορά τους Κλάδους.



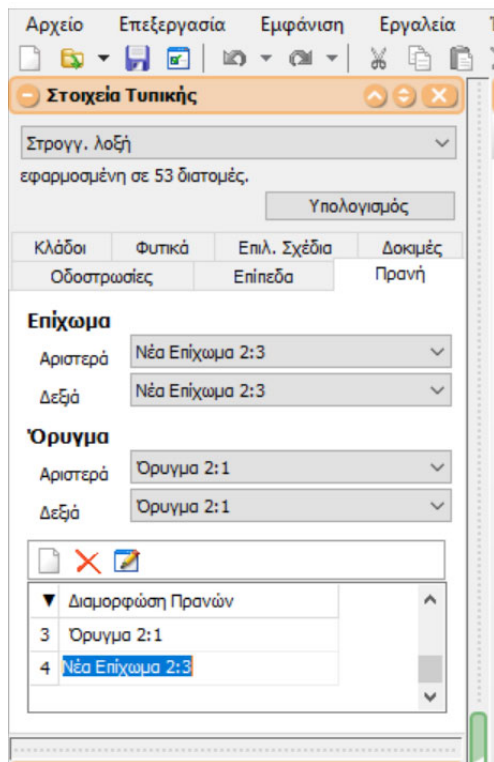
Εικόνα 53: Καθορισμός στοιχείων τυπικής διατομής στην καρτέλα η οποία αφορά τα Πρανή.

Όταν ανοίξει το παράθυρο «Πρανές Ορύγματος» αλλάζοντας την παράμετρο «Όριο ύψους πρανούς h» και εισάγοντας την επιθυμητή κλίση 2:3 πραγματοποιείται η εφαρμογή της σωστής διαμόρφωσης του πρανού (Εικόνα 54). Στην εισαγωγή του νέου

τύπου πρανούς θα πρέπει να είναι μαρκαρισμένο ένα άλλο είδος πρανούς της ίδιας κατηγορίας, δηλαδή αν επιθυμεί ο χρήστης να δημιουργήσει ένα νέο επίχωμα θα πρέπει να έχει επιλεγμένο ένα άλλο επίχωμα από τον αρχικό πίνακα. Ενώ για το όρυγμα επιλέγω την κλίση 2:1 (Εικόνα 55). Η διαμόρφωση του ορύγματος είναι τυπική καθώς δεν χρησιμοποιείται.

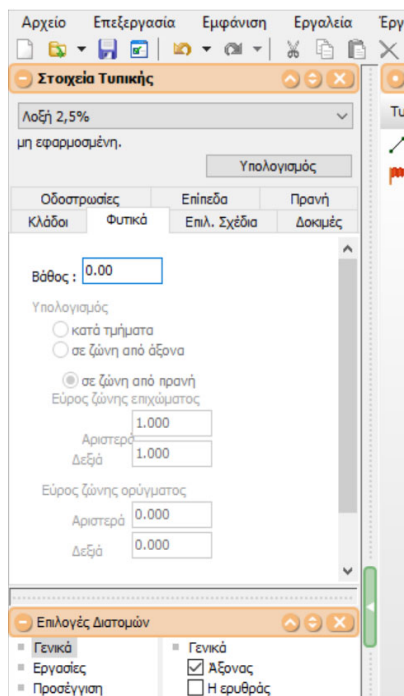


Εικόνα 54: Δημιουργία νέου επιχώματος 2:3 και ορύγματος 2:1 από την καρτέλα Πρανή στις ρυθμίσεις της τυπικής διατομής.



Εικόνα 55: Καθορισμένα στοιχεία τυπικής διατομής στην καρτέλα η οποία αφορά τα Πρανή.

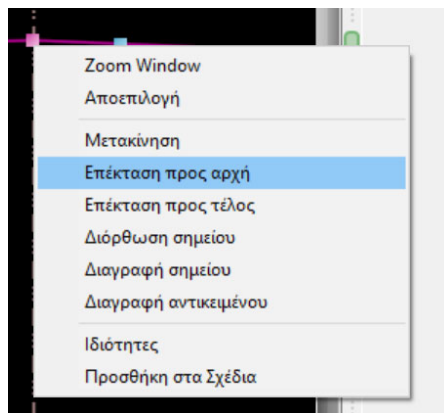
Στη συνέχεια αφαιρέθηκαν τα φυτικά, μέσω της συμπλήρωσης μηδενικής τιμής στο πεδίο «Βάθος» στην καρτέλα «Φυτικά» (Εικόνα 56).



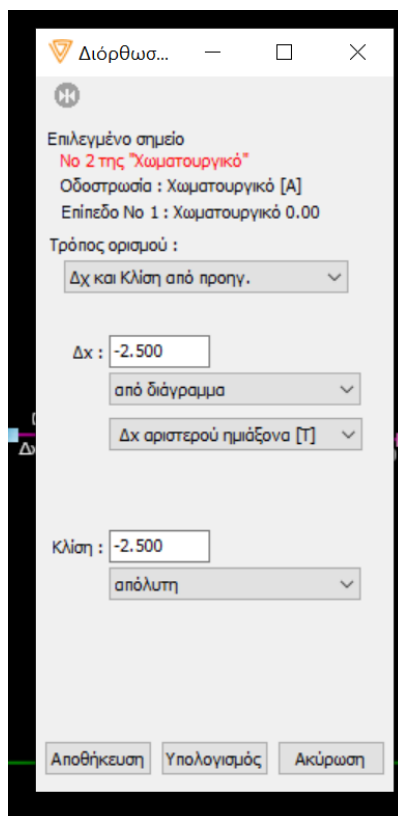
Εικόνα 56: Καθορισμός στοιχείων τυπικής διατομής στην καρτέλα η οποία αφορά τα Φυτικά.

Στη συνέχεια επιλέχθηκε το σημείο πάνω στην αριστερή οριογραμμή της κεντρικής νησίδας και με δεξί κλικ ενεργοποιήθηκε η επιλογή «επέκταση προς αρχή» (Εικόνα

57). Επιπλέον με δεξί κλικ στο νέο σημείο και επιλέγοντας την εντολή «Διόρθωση σημείου» εμφανίζεται το παράθυρο που φαίνεται στην Εικόνα 58. Από εκεί γίνονται οι κατάλληλες επιλογές

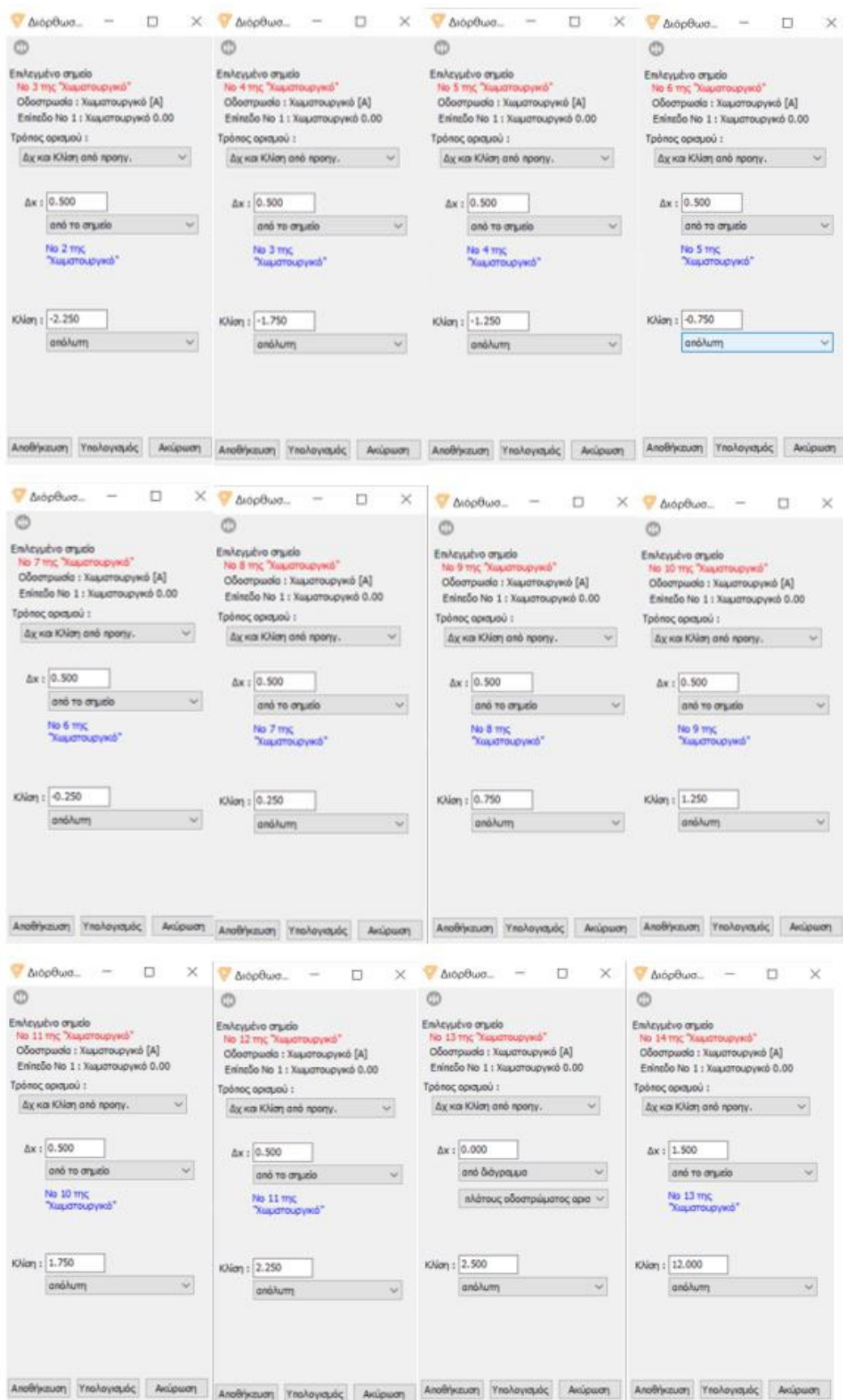


Εικόνα 57: Δυνατότητα προσθήκης σημείων στην τυπική διατομή.



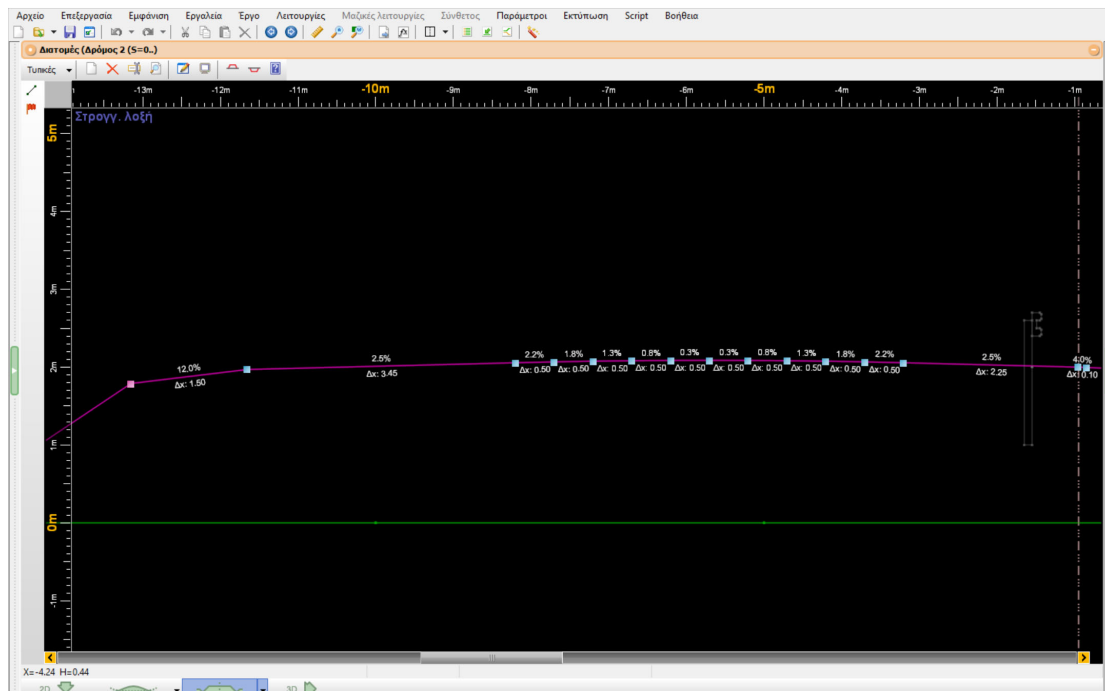
Εικόνα 58: Καθορισμός χαρακτηριστικών του πρώτου σημείου από της δεξιά οριογραμμή της αριστερής λωρίδας της τυπικής διατομής.

Επαναλαμβάνοντας το ίδιο για τα επόμενα σημεία όπως φαίνεται στην εικόνα 59 δημιουργείται ένα στρογγυλεμένο τμήμα λοξής κορυφογραμμής πάνω στην τυπική διατομή.



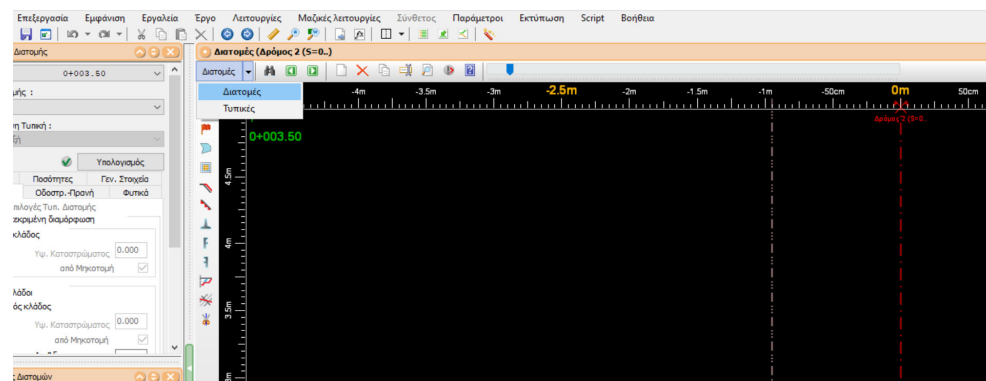
Εικόνα 59: Καθορισμός χαρακτηριστικών για τα σημεία που βρίσκονται πάνω στην τυπική διατομή.

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω προκύπτει η τυπική διατομή όπως φαίνεται στην εικόνα 60.

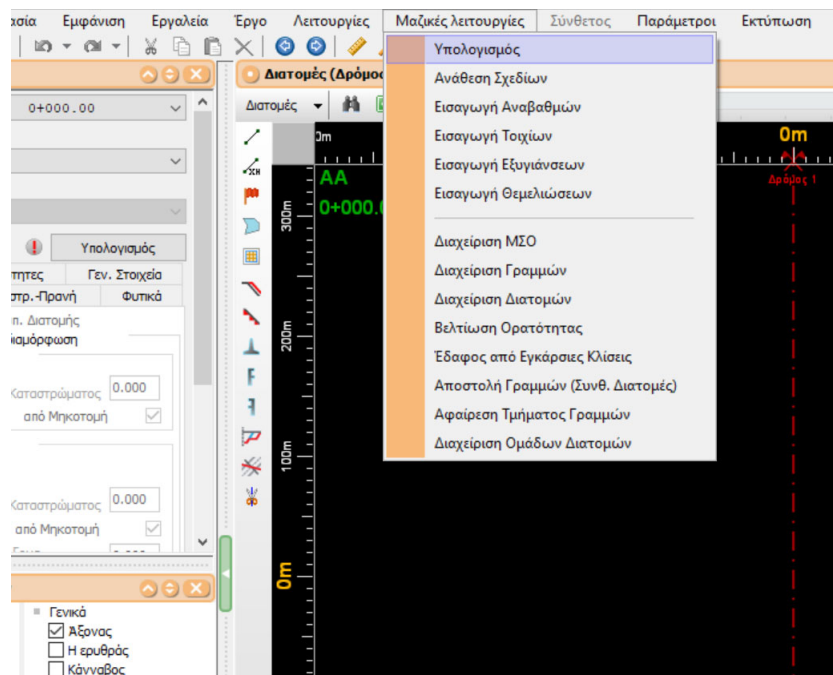


Εικόνα 60: Τυπική διατομή.

Στο επόμενο βήμα από την οριζόντια γραμμή εργαλείων γίνεται επιλογή «Διατομές» όπως φαίνεται στην εικόνα 61 και στη συνέχεια από την εντολή «Μαζικές λειτουργίες» που πλέον είναι ενεργή γίνεται επιλογή της εντολής «Υπολογισμός» (Εικόνα 62).

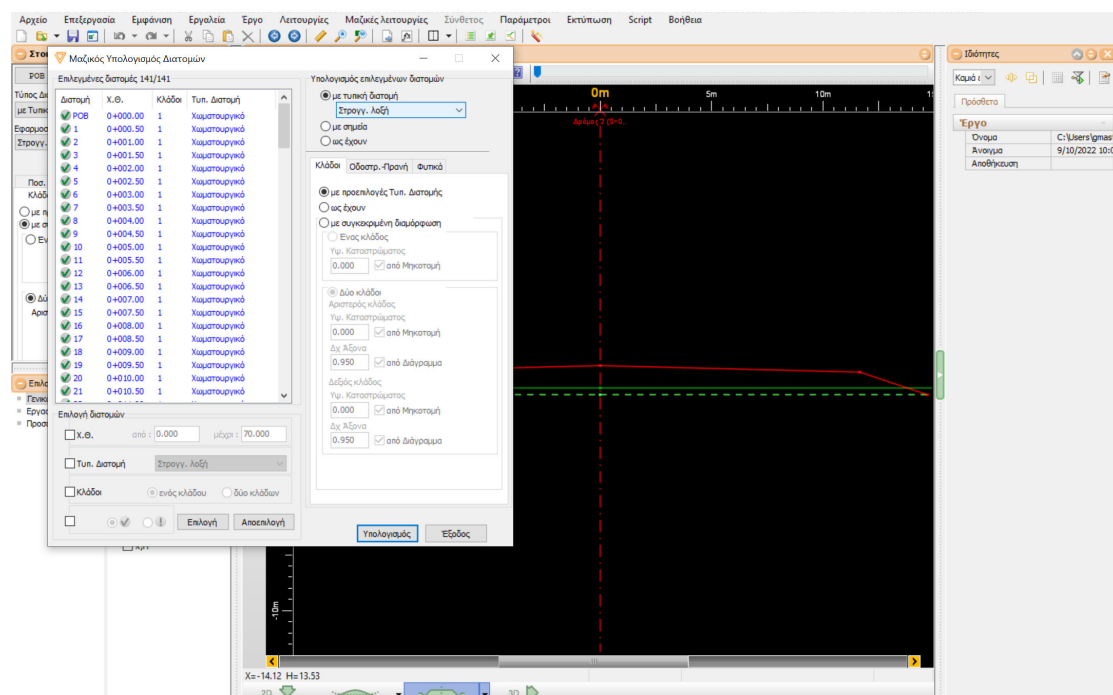


Εικόνα 61: Μετάβαση από την τυπική διατομή στις Διατομές.



Εικόνα 62: Από την καρτέλα «Μαζικές λειτουργίες» γίνεται η επιλογή «Υπολογισμός» η οποία αφορά τις διατομές.

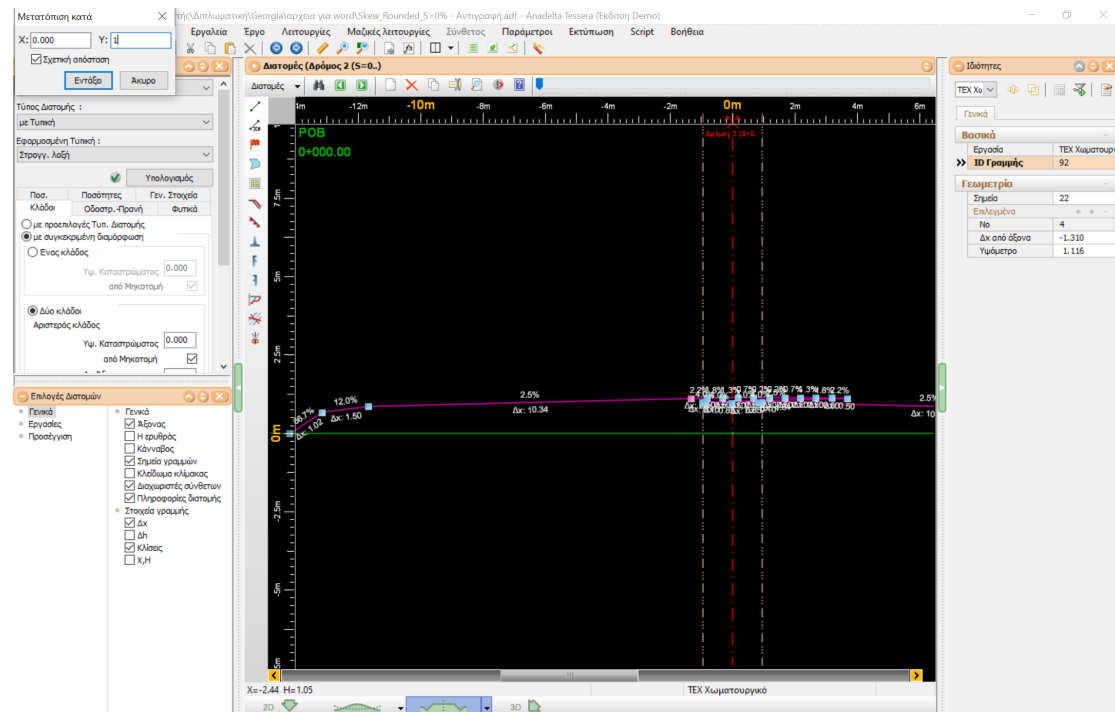
Με την εντολή αυτή ανοίγει η καρτέλα «Μαζικός Υπολογισμός Διατομών» όπως φαίνεται στην εικόνα 63.



Εικόνα 63: Εφαρμογή τυπικής διατομής στις διατομές.

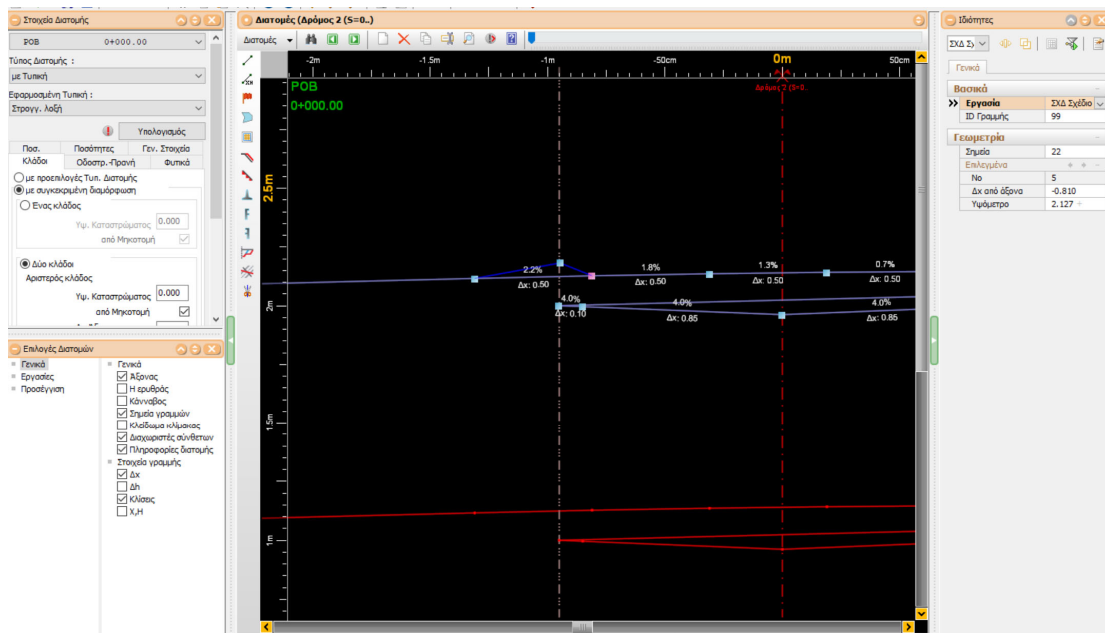
Πατώντας από την επιλογή «Υπολογισμός επιλεγμένων διατομών» την τυπική διατομή, που έχει δημιουργηθεί σε προηγούμενο βήμα, με όνομα «Στρογγ. Λοξή» και στη συνέχεια το πλήκτρο του Υπολογισμού διαμορφώνονται οι διατομές (Εικόνα 64).

Με την επιλογή αυτή πάνω αριστερά αναδύεται παράθυρο το οποίο ζητά τις συντεταγμένες που θα τοποθετηθεί η αντιγραμμένη γραμμή. Ορίζουμε μια απόσταση ικανή ώστε να μην πλησιάζει την διατομή, για ευκολία στη διαχείριση της (Εικόνα 66).



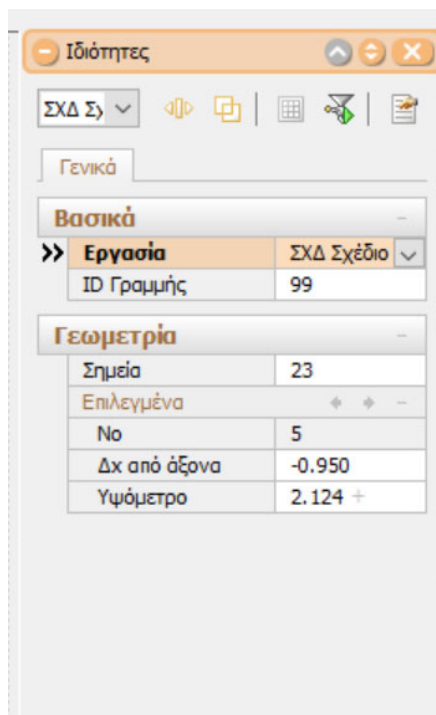
Εικόνα 66: Συντεταγμένες αντιγράφου διατομής.

Ξεκινώντας τη διόρθωση πρώτο βήμα είναι πάνω στο αντίγραφο να δημιουργηθεί ένα σημείο πάνω στην δεξιά οριογραμμή του αριστερού οδοστρώματος, το οποίο σημείο θα ορίζει και το πεδίο με τα σημεία που χρειάζονται διαγραφή ή όχι. Επομένως πατώντας δεξί κλικ στο αμέσως επόμενο σημείο προς τα δεξιά και έπειτα επιλέγοντας την εντολή «Επέκταση προς αρχή», τοποθετούμε το σημείο που αναφέρθηκε (Εικόνα 67).



Εικόνα 67: Προσθήκη σημείου πάνω στην δεξιά οριογραμμή.

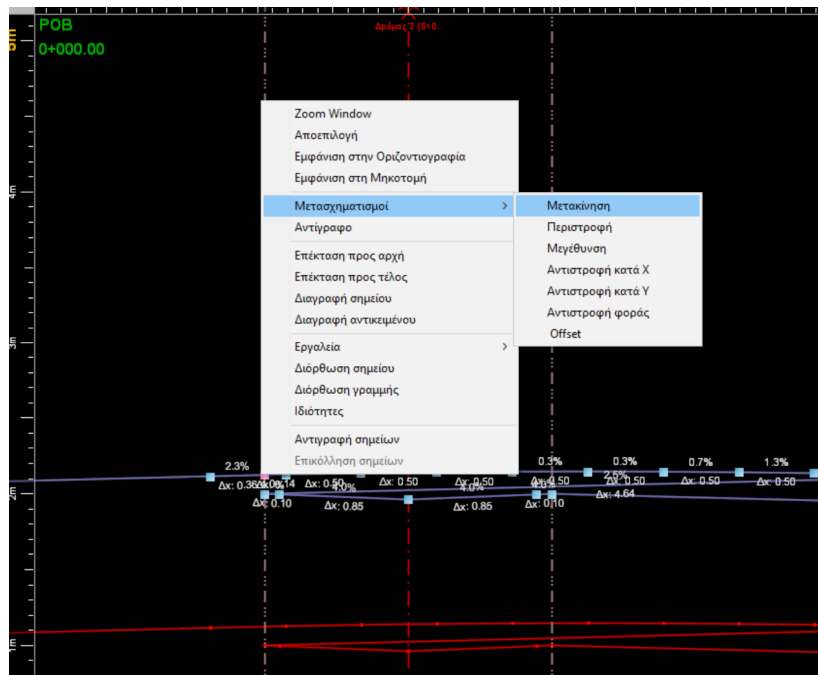
Ενώ στα δεξιά από τον πίνακα που φαίνεται και στην Εικόνα 67 ορίζονται οι ακριβείς συντεταγμένες του σημείου όπως φαίνεται στην Εικόνα 68.



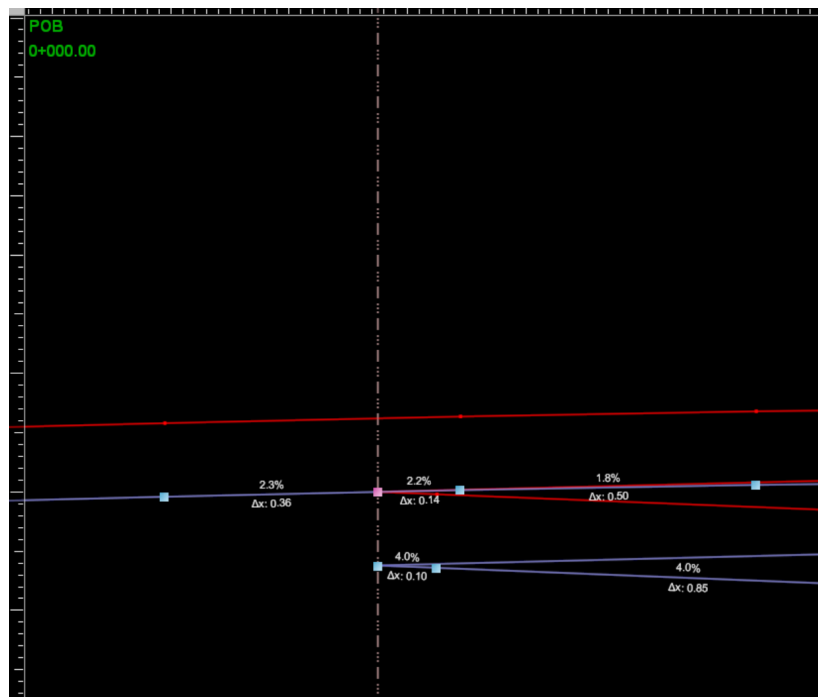
Εικόνα 68: Ορισμός συντεταγμένων σημείου στην δεξιά οριογραμμή.

Ακολουθώντας πατώντας σε οποιοδήποτε σημείο πάνω στο αντίγραφο με δεξί κλικ γίνεται η επιλογή «Μετασχηματισμοί» και έπειτα «Μετακίνηση» όπως φαίνεται στην Εικόνα 69. Στην εντολή αυτή η επόμενη ενέργεια είναι η επιλογή του σημείου του αντιγράφου από το οποίο θα μετακινηθεί η γραμμή. Επιλέγεται λοιπόν το σημείο το οποίο

δημιουργήθηκε προηγουμένως πάνω στη δεξιά οριογραμμή, το οποίο και τοποθετείται στο αντίστοιχο σημείο της διατομής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 70.

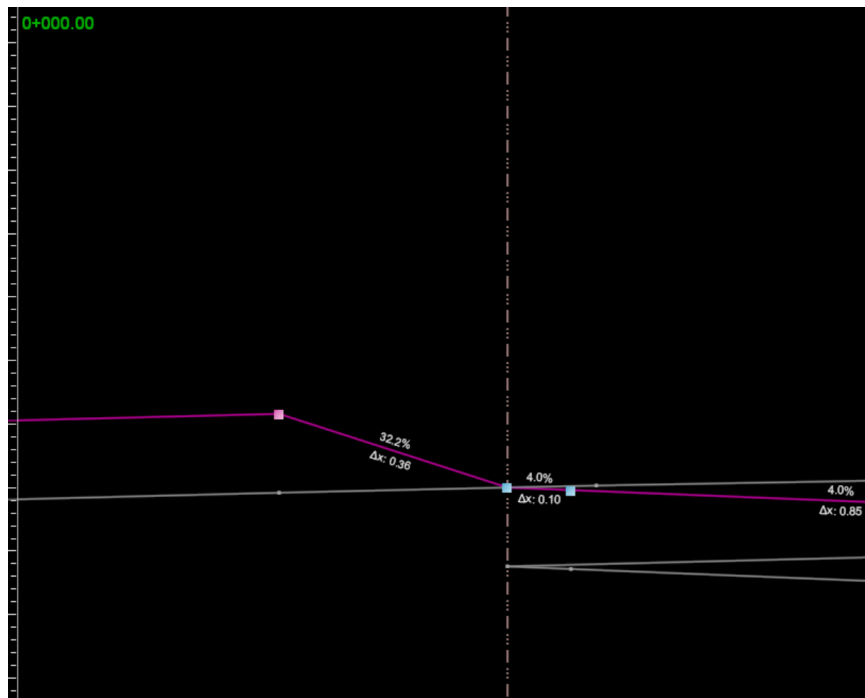


Εικόνα 69: Εντολή μετακίνησης αντιγράφου διατομής.



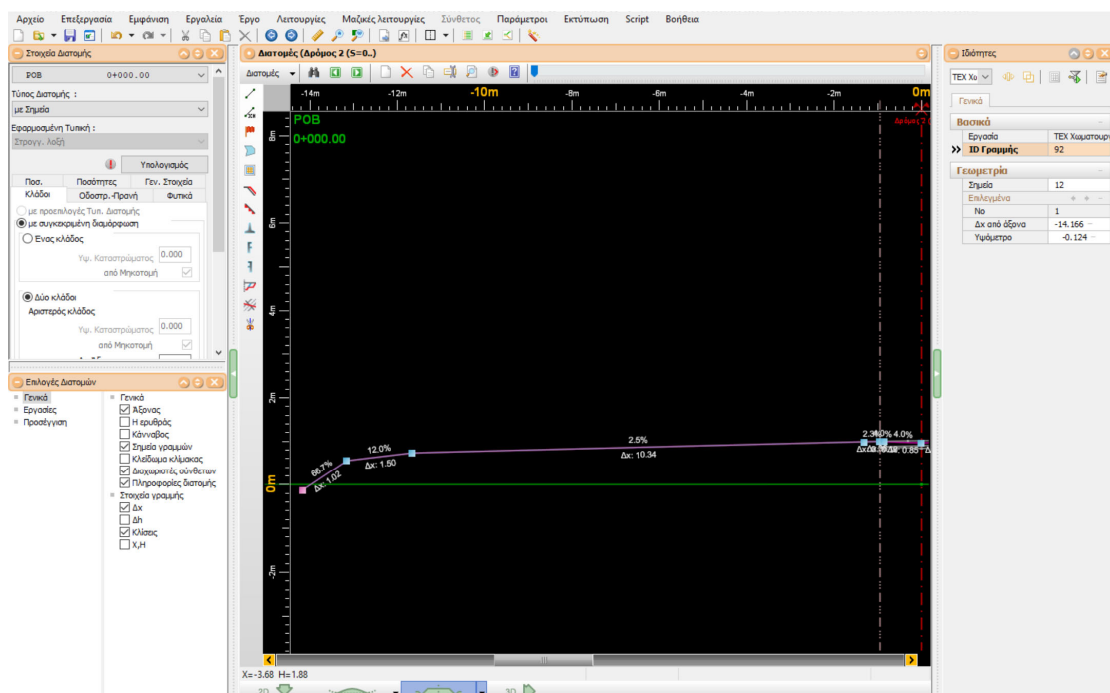
Εικόνα 70: Διόρθωση διατομής (βήμα 1).

Επιλέγοντας ένα-ένα τα σημεία πάνω στη γραμμή της διατομής τα οποία ξεπερνούν την δεξιά οριογραμμή επιλέγεται διαγραφή σημείου έως ότου φτάσουμε στο σημείο πριν (από αριστερά) την δεξιά οριογραμμή όπως φαίνεται στην Εικόνα 71.



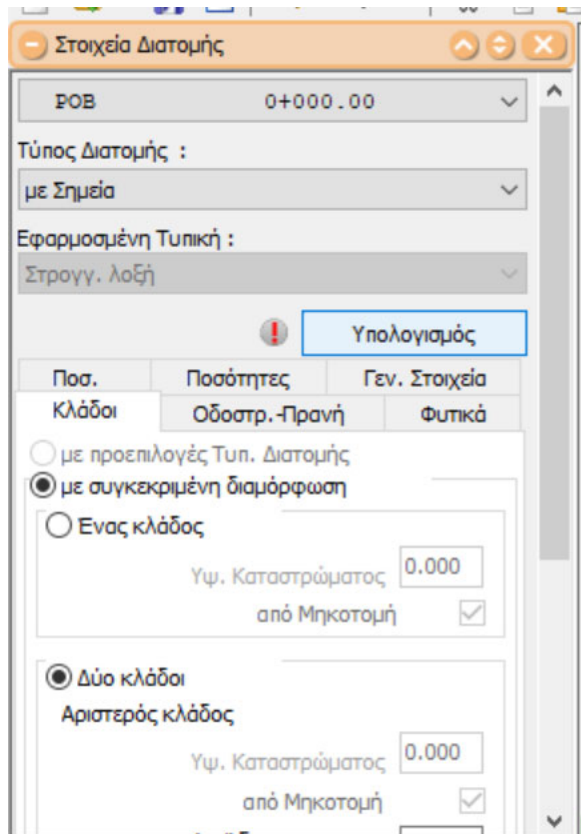
Εικόνα 71: Διόρθωση διατομής (βήμα 2).

Ενώ σε επόμενο βήμα μεταφέρουμε όλα τα σημεία της διατομής πάνω στα αντίστοιχα του αντιγράφου, όπως φαίνονται στην εικόνα 72.



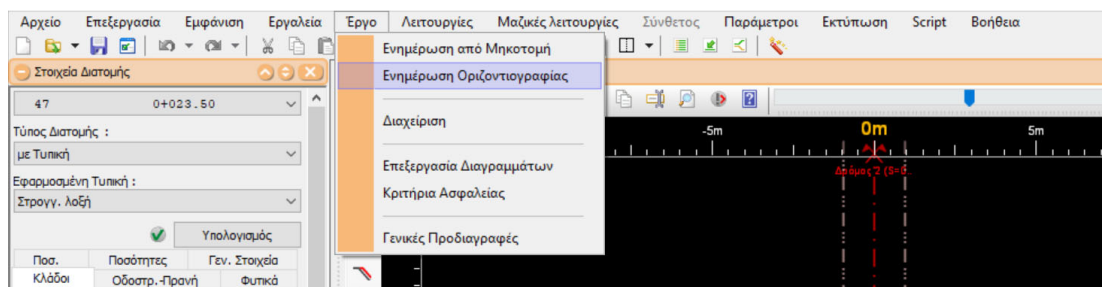
Εικόνα 72: Διόρθωση διατομής (βήμα 3).

Τέλος γίνεται επιλογή του αντιγράφου και διαγραφή του και επιλογή της εντολής «Υπολογισμός» από την καρτέλα «Στοιχεία διατομής», όπως φαίνεται στην Εικόνα 73.



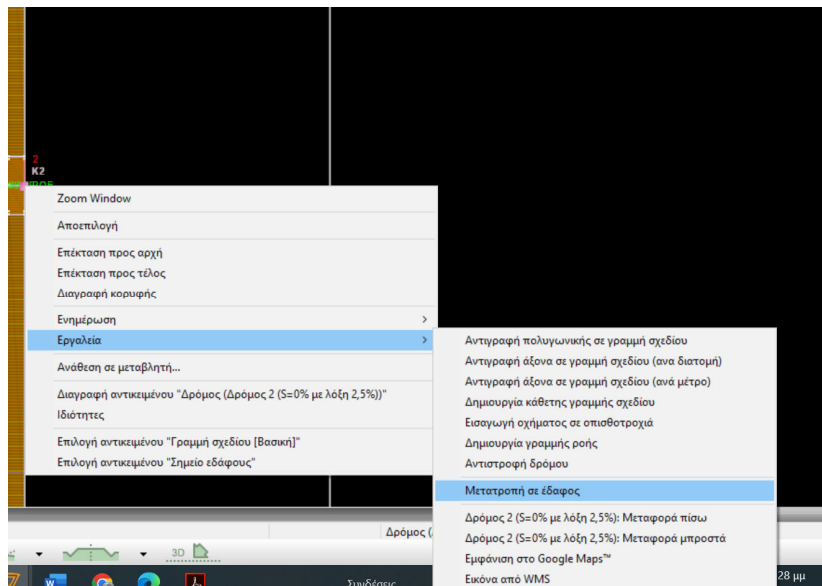
Εικόνα 73: Υπολογισμός διορθωμένης διατομής.

Τα βήματα αυτά θα εφαρμοστούν σε όλες τις διατομές οι οποίες χρειάζονται διόρθωση, ενώ από την οριζόντια γραμμή εργαλείων γίνεται επιλογή της δυνατότητας «έργο» και έπειτα «Ενημέρωση Οριζοντιογραφίας» ώστε να ενημερωθεί η οριζοντιογραφία μετά τις αλλαγές (Εικόνα 74).



Εικόνα 74: Επιλογή «Ενημέρωση Οριζοντιογραφίας»

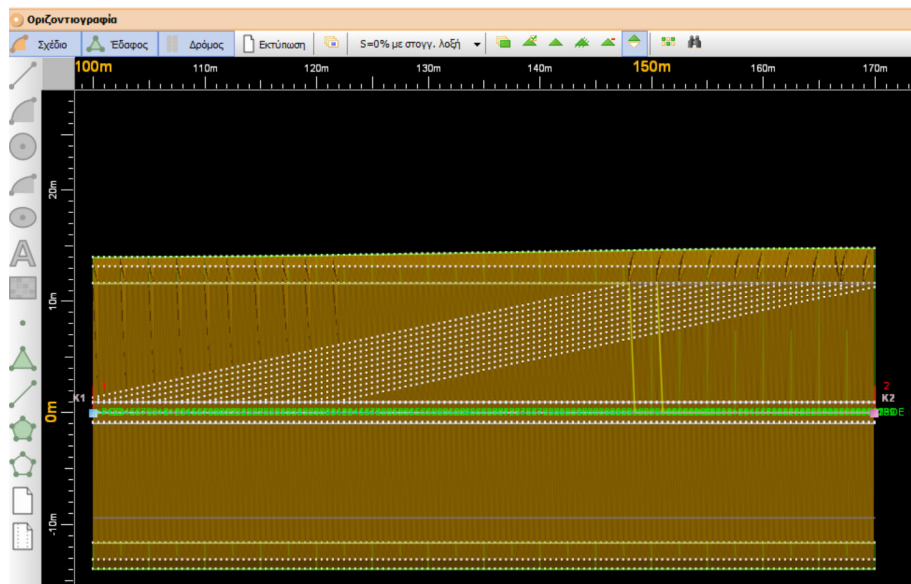
Σε επόμενο στάδιο μεταβαίνοντας στο περιβάλλον της οριζοντιογραφίας και επιλέγοντας ένα σημείο (K1, K2) του δρόμου, με δεξί κλικ μέσω της εντολής «Εργαλεία» επιλέγεται η δυνατότητα «Μετατροπή σε έδαφος» (Εικόνα 75). Ενώ από την καρτέλα που θα ανοίξει έγινε από-επιλογή των εντολών «Εισαγωγή σε ΓΑΚ» και «Συναρμογή εδάφους» (Εικόνα 76).



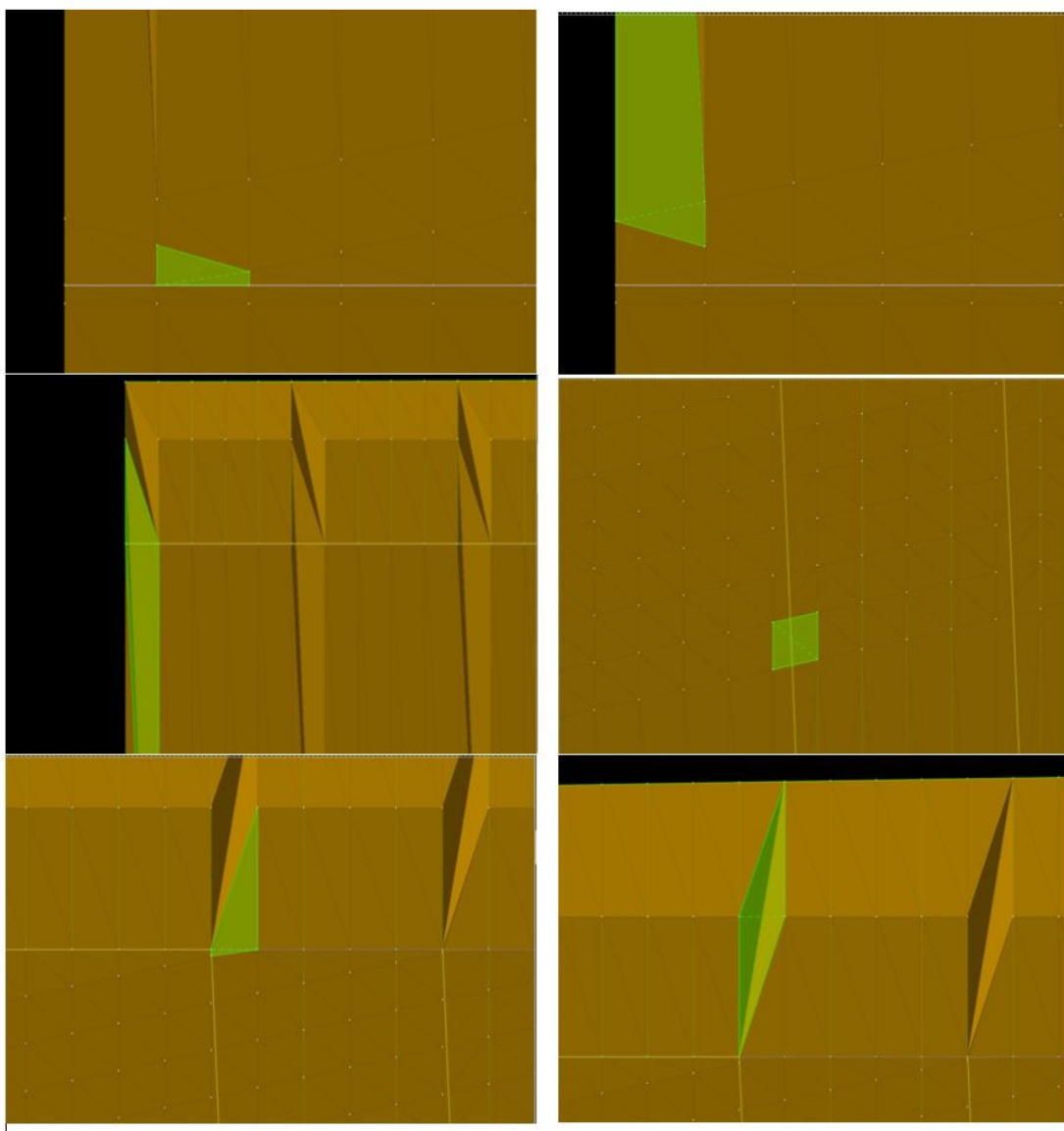
Εικόνα 75: Εντολή «Μετατροπή σε έδαφος».

Εικόνα 76: Ρυθμίσεις στην καρτέλα « Μετατροπή σε έδαφος».

Όταν δημιουργηθεί το έδαφος παρατηρείται ότι το grid δεν είναι ομοιόμορφο επομένως από την εντολή που βρίσκεται στην οριζόντια γραμμή εργαλείων επιλέγεται η εντολή «Διόρθωση Τριγώνων» όπως φαίνεται στην Εικόνα 77. Προσοχή, όταν ξεκινήσει η διόρθωση, το επιλεγμένο έδαφος να είναι αυτό που δημιουργήθηκε προηγουμένως. Για τη διόρθωση η αρχή θα είναι από κάτω προς τα πάνω και θα τηρηθεί το μοτίβο που φαίνεται να έχουν οι περισσότερες διατομές. Οι διορθώσεις φαίνονται στην εικόνα 78.

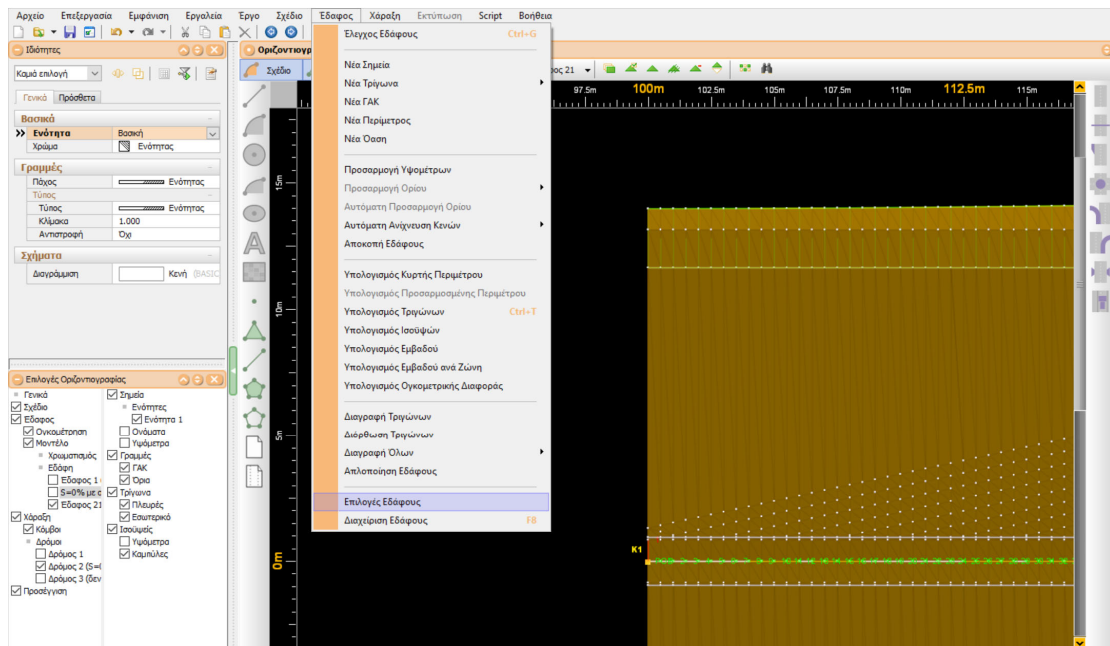


Εικόνα 77: Εντολή «Διόρθωση τριγώνων».

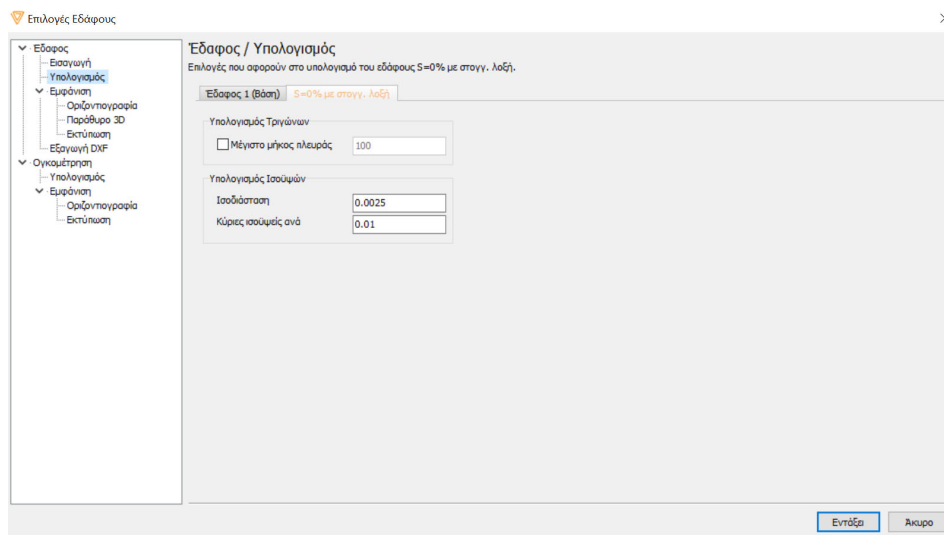


Εικόνα 78: Διόρθωση τριγώνων.

Στη συνέχεια από την οριζόντια γραμμή εργαλείων έγινε η επιλογή «Εδαφος» και «Επιλογές Εδάφους», όπως φαίνεται στην εικόνα 79, γίνεται επιλογή του εδάφους που δημιουργήθηκε προηγουμένως, το οποίο έχει μετονομαστεί ως «S=0% με στρογγ. Λοξή» και από-επιλογή του «μέγιστου μήκους πλευράς» και συμπλήρωση της ισοδιάστασης ίση με 0.0025 ενώ τις κύριες ισοϋψείς ανά 0.01 (Εικόνα 80).

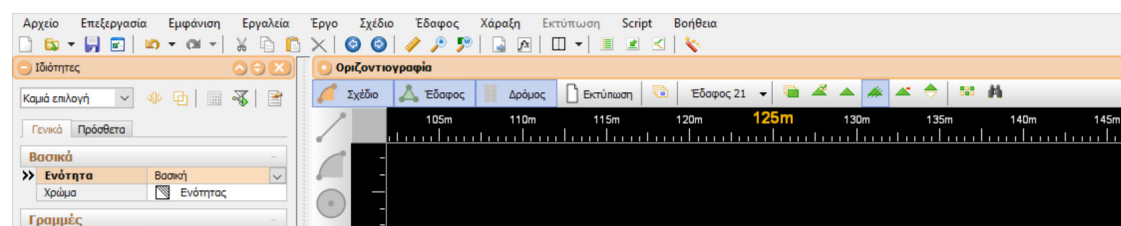


Εικόνα 79: Εντολή «επιλογές εδάφους».



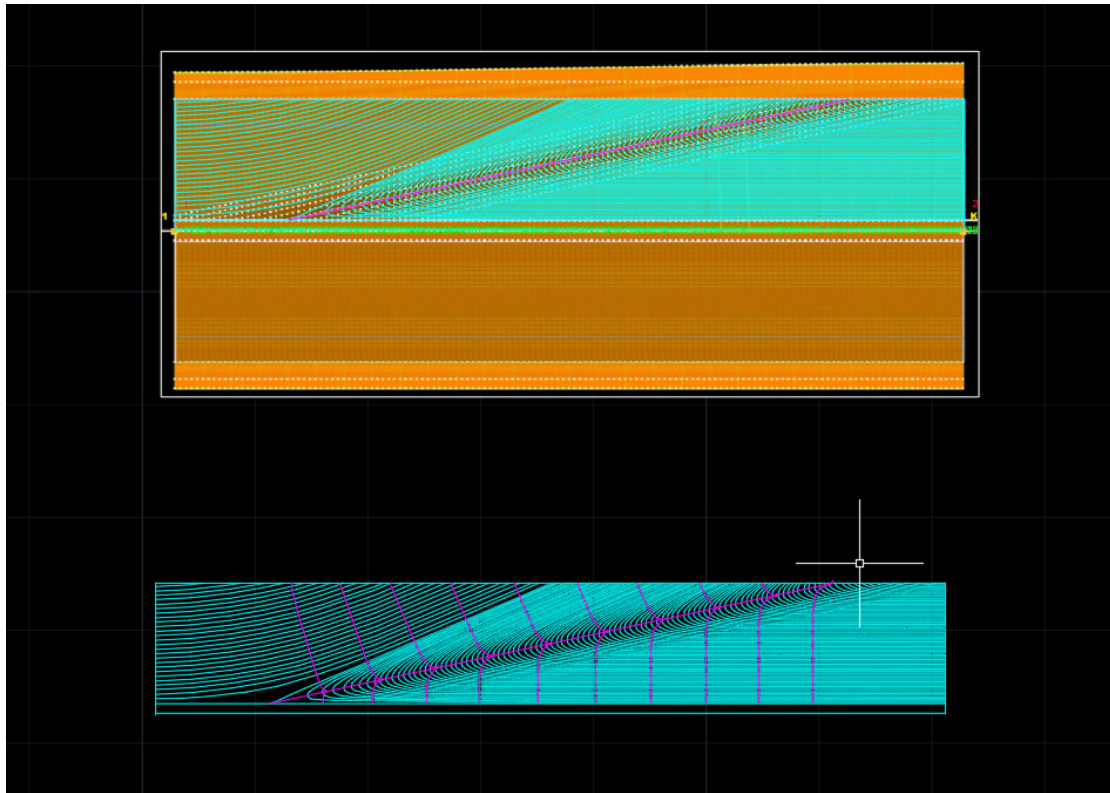
Εικόνα 80: Καρτέλα «επιλογές εδάφους».

Στη συνέχεια από την οριζόντια γραμμή εργαλείων επιλέχθηκε η εντολή «Υπολογισμός ισοϋψών» (Εικόνα 81).



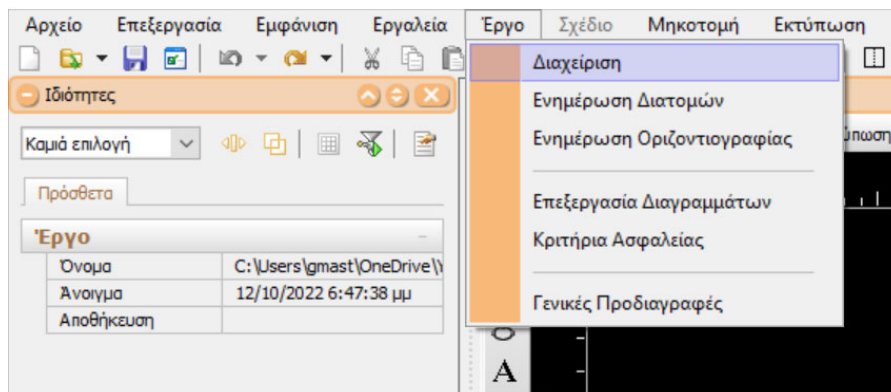
Εικόνα 81: Υπολογισμός ισοϋψών.

Στη συνέχεια εισάγοντας στο περιβάλλον του AutoCAD τη διατομή σχεδιάστηκαν οι γραμμές ροής κάθετα στις ισοϋψείς, όπως φαίνεται στην Εικόνα 82, στην οποία με γαλάζιο χρώμα είναι οι ισοϋψείς και με ματζέντα οι γραμμές ροής.

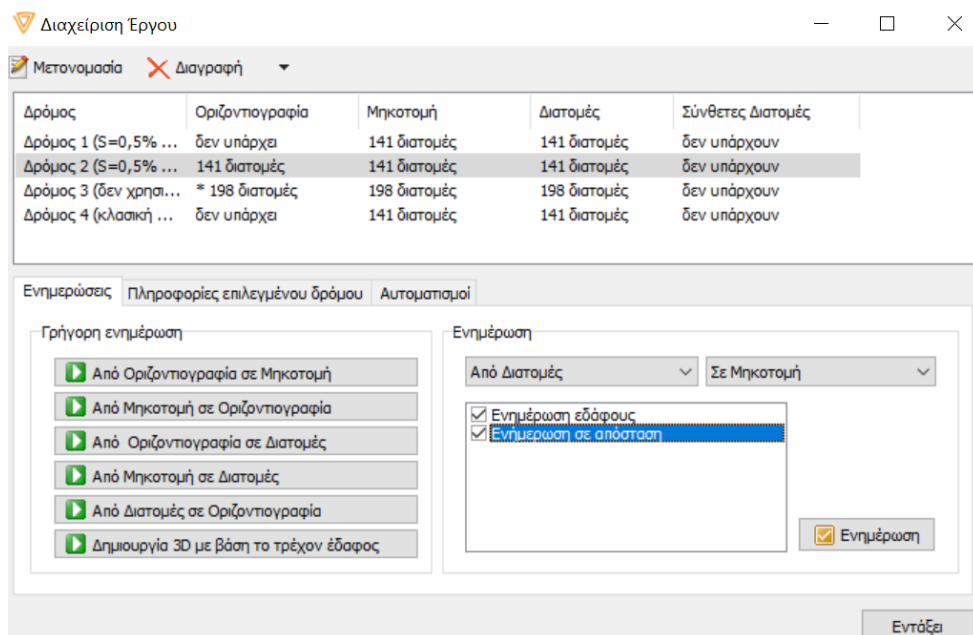


Εικόνα 82: Ισοϋψείς και γραμμές ροής στο περιβάλλον του AutoCAD.

Έπειτα μεταβαίνοντας στο περιβάλλον των μηκοτομών, από τη γραμμή εργαλείων και με την εντολή «Διαχείριση», όπως φαίνεται στην Εικόνα 83, εμφανίζεται το παράθυρο «Διαχείριση έργου» από την οποία γίνονται οι επιλογές Ενημέρωσης από Διατομές σε Μηκοτομή πατώντας και επιλογή «Ενημέρωση σε απόσταση», όπως φαίνεται στην Εικόνα 84.

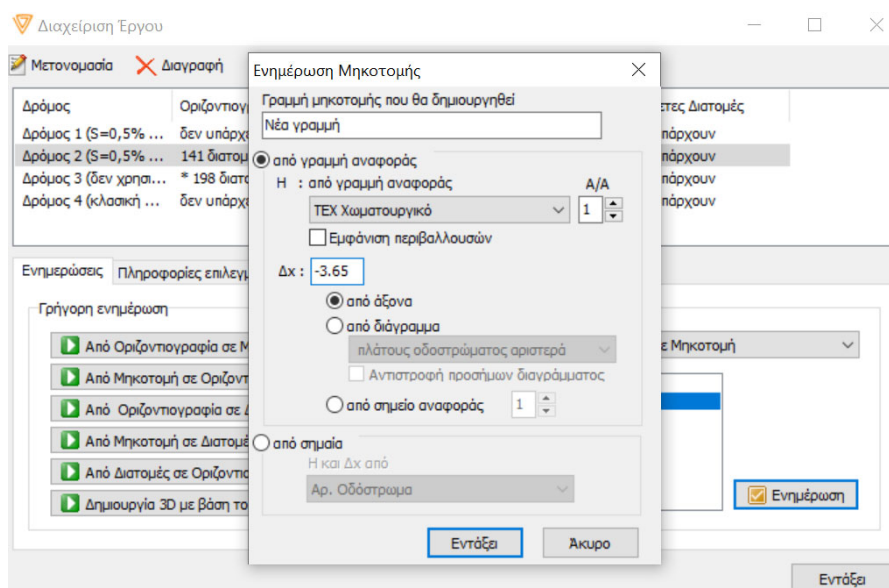


Εικόνα 83: Επιλογή «Διαχείριση».

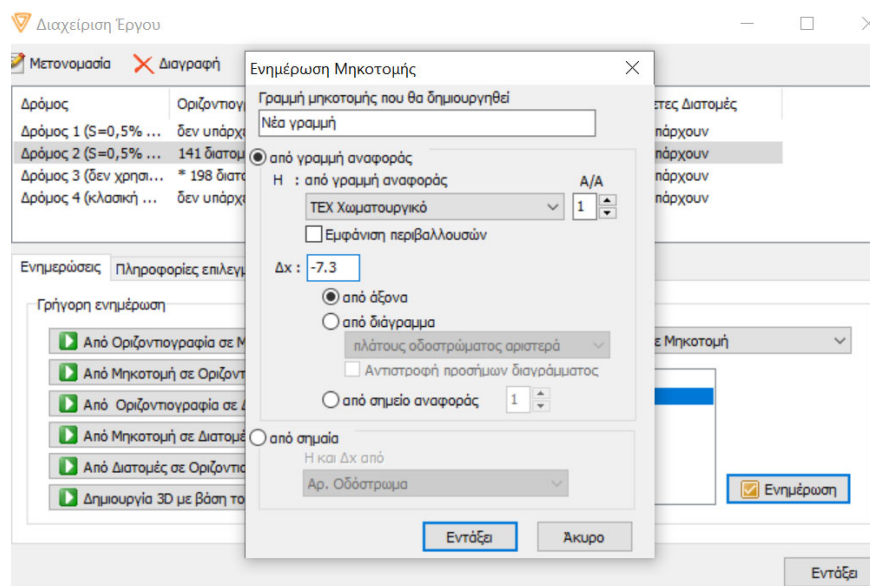


Εικόνα 84: Ενημέρωση από Διατομές σε Μηκοτομή.

Στη συνέχεια αφού επιλεγεί η δυνατότητα «Ενημέρωση» στο παράθυρο που αναδύεται γίνεται επιλογή «TEX Χωματουργικό» ενώ για Δx συμπληρώνεται η τιμή -3,65 και -7,30 όπως φαίνεται στις Εικόνες 85 και 86 αντίστοιχα.

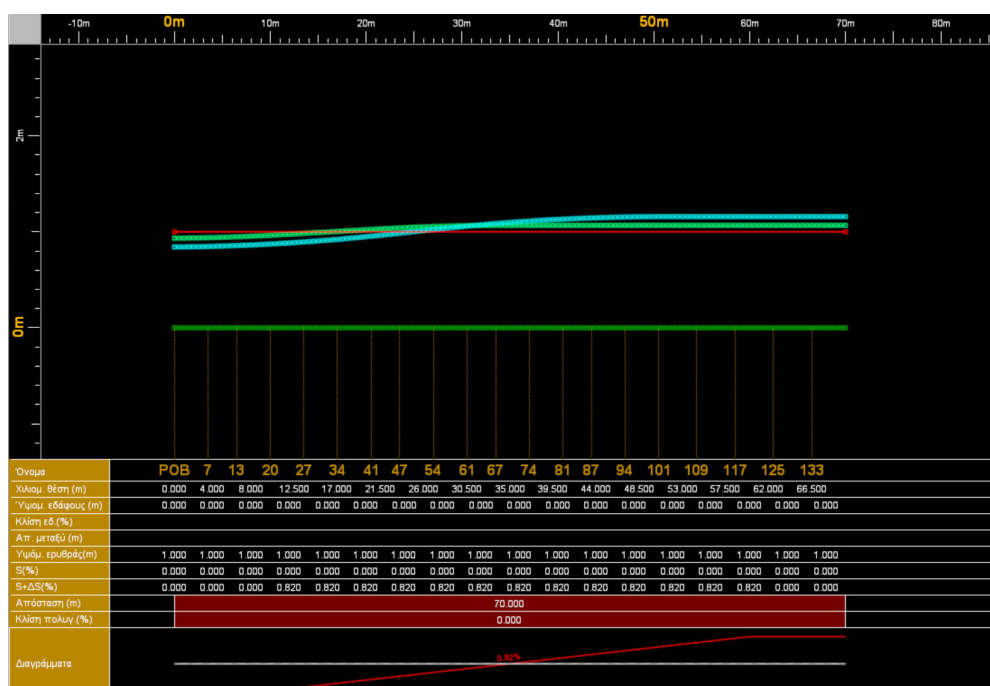


Εικόνα 85: Κατά μήκος γραμμή με απόσταση 3,65 μέτρα από τον άξονα περιστροφής.



Εικόνα 86: Κατά μήκος γραμμή με απόσταση 3,65 μέτρα από τον άξονα περιστροφής.

Αφού εφαρμοστούν αυτά γίνεται αποεπιλογή της εντολής «Ενημέρωση εδάφους» και έπειτα επιλογή της εντολής «Ενημέρωση». Στην Εικόνα 87 φαίνονται οι δύο νέοι άξονες.



Εικόνα 87: Μηκοτομές σε σημεία με απόσταση 3,65 και 7,30 από τον άξονα περιστροφής του οδοστρώματος.