



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Ορθολογικός σχεδιασμός των γεωτεχνικών έργων διευθέτησης του  
Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Τσαπραλής Γεώργιος  
Τσούτσας Δημήτριος

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2019





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Ορθολογικός σχεδιασμός των γεωτεχνικών έργων διευθέτησης του  
Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τσαπραλής Γεώργιος  
Τσούτσας Δημήτριος

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης  
Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Αναπλ. Καθηγητής .....

Αθανασάς Κωνσταντίνος, Επικ. Καθηγητής .....

Τριανταφυλλίδης Σταύρος, Επικ. Καθηγητής .....

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2019

Copyright © Tsapralis Georgios and Tsoutsas Dimitrios, 2019  
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, με στόχο την ολοκλήρωση του κύκλου σπουδών και την απόκτηση του διπλώματος μηχανικού του Ε.Μ.Π.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κύριο Λουπασάκη Κωνσταντίνο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Ε.Μ.Π., για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του που μας προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, από την ανάθεση του θέματος μέχρι και κατά τη διάρκεια της συγγραφής.

Ακόμα, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τα μέλη και τους φίλους της “Κίνησης για την Προστασία & Ανάδειξη του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας” που μας φιλοξένησαν στις δράσεις τους και μας έφεραν σε επαφή με το Μεγάλο Ρέμα. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα θέλαμε να δώσουμε στους Αντώνη και Θεμιστοκλή Λάζαρη, οι οποίοι μας βοήθησαν στις εργασίες πεδίου, μας παρείχαν φωτογραφικό υλικό και αποτελούσαν πολύ καλή παρέα.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την κυρία Ανδρέου Μαρία, η οποία μας παρείχε απλόχερα τα μορφολογικά δεδομένα που αξιοποιήθηκαν στην εργασία.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες για την υποστήριξη που μας παρέχουν όλα αυτά τα χρόνια.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι ο ορθολογικός σχεδιασμός των γεωτεχνικών έργων διευθέτησης του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας έναντι του σχεδιασμού που προτείνεται από τη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων που έχει κατατεθεί στη Διεύθυνση Αντιπλημμυρικών & Εγγειοβελτιωτικών Έργων του Υπουργείου Υποδομών και εκκρεμεί η εφαρμογή της.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν επισκέψεις στην περιοχή μελέτης με στόχο την κατανόηση της ποτάμιας γεωμορφολογίας και γεωλογίας, όπως και τη καταγραφή της υπάρχουσας κατάστασης. Εκεί, επιλέχτηκαν 12 θέσεις για διερεύνηση, εκ των οποίων τέσσερις επιλέχτηκαν για την πραγματοποίηση ελέγχων ευστάθειας των πρανών τους με τη χρήση του λογισμικού LARIX.

Στις επιλεγμένες θέσεις αξιολογήθηκαν οι φυσικές διατομές και οι προτεινόμενες διατάξεις έργων της ΜΠΕ και προτάθηκαν ενδεικτικές πρακτικές στο πλαίσιο ορθολογικού σχεδιασμού. Οι ενδεικτικές τεχνικές βασίζονται σε αρχές οι οποίες είναι φιλικές προς το περιβάλλον και δεν παραβιάζουν την Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν αφορούν κυρίως την ανάγκη για αναθεώρηση της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, με κατεύθυνση φιλικότερη προς το περιβάλλον και τον υγρότοπο του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας.

## **ABSTRACT**

The subject of the specific diploma thesis is the geotechnical design of the Megalo Rema (Rafina) river regulation project in accordance with reason, opposing the Environmental Impact Study that was submitted in the Flood Management & Ground Improvement Works Office of the Ministry of Infrastructure.

Initially, visits took place at the subject area in order to understand the fluvial geomorphology and geology and to record the current situation. Then, 12 interest points were selected for study. Four of them were selected for slope stability analysis with LARIX software.

Subsequently, hydraulic and geotechnical assessment of the natural riverbank and the proposed project plan of the Environmental Impact Study was conducted at the interest points. Furthermore, typical solutions were proposed based on environmentally accepted practices, which did not violate the Directive 2007/60/EC of the European Council.

The conclusions of the survey were mainly referred to the importance of reconsideration of the submitted Environmental Impact Study, towards a more environmentally friendly approach for the conservation of the natural and rich habitat of the Megalo Rema (Rafina).

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>i</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iii</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....</b>	<b>iv</b>
<b>ΕΙΚΟΝΕΣ .....</b>	<b>viii</b>
<b>ΠΙΝΑΚΕΣ.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>1 ΟΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΟΧΘΩΝ .....</b>	<b>3</b>
1.1 Οι πλημμύρες σε αστικές και περιαστικές περιοχές και οι μέθοδοι διαχείρισής τους.....	3
1.1.1 Οι πλημμύρες ως φυσικά καταστροφικά φαινόμενα.....	3
1.1.2 Χρήσιμοι Ορισμοί.....	4
1.1.3 Αιτίες εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων.....	5
1.1.3.1 Φυσικές αιτίες.....	6
1.1.3.2 Ανθρωπογενείς αιτίες .....	6
1.1.4 Κατηγορίες πλημμυρών σε υδατορέματα και ποταμούς.....	8
1.1.4.1 Στιγμιαίες – Αιφνίδιες πλημμύρες (flash floods).....	8
1.1.4.2 Υπερχειλίση ποταμών (river floods) .....	9
1.1.4.3 Πλημμύρες από αστοχία αναχωμάτων ή φραγμάτων (levee- / dam-floods).....	9
1.1.4.4 Πλημμύρες από μπάζα, φερτά υλικά και κατολισθήσεις (debris, landslide, mudflow floods).....	9



1.1.5	Επιπτώσεις πλημμυρών.....	10
1.1.6	Διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου (Flood risk management).....	10
1.1.6.1	Διαχείριση με δομικά μέσα (Technical Flood Management – TFM) .....	11
1.1.6.2	Διαχείριση στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης (Sustainable Flood Management – SFM).....	12
1.1.6.3	Διαχείριση με φυσικά μέσα (Natural Flood Management – NFM) .....	13
1.2	Διάβρωση εδαφών.....	14
1.2.1	Διάβρωση λόγω της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής.....	14
1.2.1.1	Τύποι διάβρωσης εδαφικών πρανών λόγω επιφανειακής απορροής .....	15
1.2.2	Διάβρωση καναλιών και ποταμών λόγω της ροής των υδάτων.....	15
1.3	Διαβρωσιμότητα εδαφών.....	17
1.4	Ευστάθεια πρανών σε όχθες ποταμών.....	18
1.4.1	Μηχανισμοί αστοχίας πρανών σε όχθες ποταμών .....	18
1.4.2	Εφαρμογή τεχνικών Bio – Technical Engineering για την προστασία και την ευστάθεια των πρανών .....	20
1.4.2.1	Η χρήση της βλάστησης στις εφαρμογές bio-technical engineering .....	21
1.4.2.2	Τεχνικές bio-technical engineering.....	23
1.4.2.3	Μηχανισμοί αστοχίας λιθορριπής.....	27
<b>2</b>	<b>ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ .....</b>	<b>29</b>
2.1	Γεωγραφικά στοιχεία - Δημογραφικά στοιχεία - Χρήσεις γης.....	29
2.2	Χλωρίδα – Πανίδα περιοχής μελέτης .....	31
2.3	Μορφολογία περιοχής.....	34
2.4	Γεωλογία ευρύτερης περιοχής μελέτης, Αττικής .....	36
2.4.1	Αλπικοί Σχηματισμοί.....	37
2.4.1.1	Αυτόχθονη Ενότητα Αττικής.....	38

2.4.1.2	Αλλόχθονη ενότητα Υποπελαγονικής.....	38
2.4.1.3	Ενότητα Αθηνών.....	39
2.4.1.4	Ενότητα Αλεποβουνίου.....	40
2.4.2	Μεταλπικοί Σχηματισμοί.....	41
2.5	Γεωλογικές συνθήκες στενής περιοχής μελέτης.....	42
2.5.1	Αλπικοί σχηματισμοί.....	42
2.5.1.1	Ενότητα Αλμυροπόταμου - Αττικής (Μεσοζωικό).....	42
2.5.2	Μεταλπικοί Σχηματισμοί.....	42
2.5.2.1	Νεογενές (Ανώτερο Μειόκαινο — Ανώτερο Πλειόκαινο).....	42
2.5.2.2	Τεταρτογενές.....	44
2.6	Υδρογεωλογικές συνθήκες.....	47
2.6.1	Υδρολιθολογική ταξινόμηση.....	47
2.6.2	Αναπτυσσόμενες υδροφορίες (Περλέρος, 2016).....	47
2.6.2.1	Καρστικές υδροφορίες.....	47
2.6.2.2	Φρεάτιος υδροφορία.....	48
2.6.2.3	Υπό πίεση ή μερικώς υπό πίεση υδροφορίες.....	48
2.6.3	Υδρογραφικό δίκτυο.....	49
<b>3</b>	<b>ΘΕΩΡΗΣΗ ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ</b>	
	<b>ΘΕΣΕΙΣ.....</b>	<b>51</b>
3.1	Σύντομη παρουσίαση των μέτρων της εγκεκριμένης.....	51
3.1.1	Χιλιόμετρηση έργων ΜΠΕ.....	51
3.1.2	Παράγοντες αναγκαιότητας των έργων της ΜΠΕ.....	57
3.1.3	Τύποι διατομών έργων διευθέτησης.....	57
3.1.3.1	Διατομές με συρματοκιβώτια.....	58
3.1.3.2	Σύνθετες Διατομές (τύπος Ζ).....	59

3.1.3.3 Διατομές από σκυρόδεμα.....	59
3.1.4 Υδρολογική Μελέτη ΜΠΕ .....	69
3.2 Αξιολόγηση – έλεγχος επάρκειας των έργων της ΜΠΕ και ορθολογικός σχεδιασμός.....	72
<b>ΘΕΣΕΙΣ ΡΕΜΑΤΟΣ ΒΑΛΑΝΑΡΗ .....</b>	<b>73</b>
3.2.1 Θέση 1 - Ανδριώτη (Χ.Θ. 1+470).....	73
3.2.1.1 Δεξί πρανές.....	76
3.2.1.2 Αριστερό πρανές.....	77
3.2.2 Θέση 2 (τμήμα από Χ.Θ. 0+750 έως 0+570).....	80
3.2.3 Θέση 3 (Χ.Θ. 0+530) .....	83
3.2.4 Θέση 4 - Αγ. Δημητρίου (Χ.Θ. 0+400).....	86
3.2.4.1 Δεξί πρανές.....	89
3.2.4.2 Αριστερό πρανές.....	91
3.2.5 Θέση 5 (Χ.Θ. 0+120) .....	96
<b>ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ.....</b>	<b>98</b>
3.2.6 Θέση 6 – 7 <sup>ο</sup> Δημοτικό (Χ.Θ 14+500) .....	100
3.2.7 Θέση 7 – Τεχνικό Γέφυρας Μπάσκετ (ιδιωτική γέφυρα) (Χ.Θ. 14+259) ...	104
3.2.8 Θέση 8 – Νάσιουτζικ (Χ.Θ 13+650).....	107
3.2.9 Θέση 9 – Πλημμυρικό πεδίο Πετρέζας (από Χ.Θ 9+700 έως Χ.Θ 7+200).....	110
3.2.10 Θέση 10 – Αγ. Γεωργίου (Χ.Θ 6+600) .....	114
3.2.10.1 Αναλύσεις ευστάθειας πρανών.....	117
3.2.11 Θέση 11 – Πλημμυρικό πεδίο Αρίωνος (από Χ.Θ 4+900 έως Χ.Θ 4+300)	122
3.2.12 Θέση 12 – Κεραμοποιείο (Χ.Θ 4+230).....	125
3.2.12.1 Δεξί πρανές.....	130
3.2.12.2 Αριστερό πρανές .....	132

<b>4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>134</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>137</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>143</b>

## **EIKONEΣ**

Εικόνα 1-1: Αιτίες και συνέπειες πλημμυρών. "Αλληλουχία Πλημμυρικού Κινδύνου" (Bronstert, 2003) .....	7
Εικόνα 1-2: Μηχανισμός μεταφοράς κόκκων λόγω βροχόπτωσης (Φικίρης, 2007).....	14
Εικόνα 1-3: Αυλακωτή διάβρωση εδαφικού πρανούς (Janduko, 2015). .....	15
Εικόνα 1-4: Κατανομή διατμητικών τάσεων στα τοιχώματα της κοίτης φυσικού υδάτινου αγωγού (Kilgore and Cotton, 2005).....	16
Εικόνα 1-5: Τρόποι αστοχίας εδαφικών πρανών σε όχθες ποταμών (a) πρανές με μη συνεκτική εδαφομάζα. (b) πρανές με συνεκτική εδαφομάζα και (c) πρανές με στρωματοποιημένη εδαφομάζα (Julien, 2018).....	20
Εικόνα 1-6: Βάθος επιρροής βλάστησης στα μηχανικά χαρακτηριστικά εδαφομάζας (Julien, 2018).....	22
Εικόνα 1-7: Παρόχθιες ζώνες, δεν είναι απαραίτητο να συναντώνται παντα όπως απεικονίζονται (Julien, 2018) .....	23
Εικόνα 1-8: Προτεινόμενες μέγιστες ταχύτητες σχεδιασμού διαφόρων μέτρων αντιδιαβρωτικής προστασίας συναρτήσει της διάρκειας ροής (Lyn and Newton, 2011) .....	24
Εικόνα 1-9: Σκαρίφημα όχθης με μοσχεύματα φυτών (Li and Eddleman, 2002) .....	26
Εικόνα 1-10: Σκαρίφημα όχθης με κλαδοδέματα (Li and Eddleman, 2002) .....	26
Εικόνα 1-11: Σκαρίφημα όχθης με κατά μήκος μοσχεύματα θάμνων (Li and Eddleman, 2002) .....	26
Εικόνα 1-12: Σκαρίφημα όχθης με γεωπλέγματα με φύτευση (Li and Eddleman, 2002) .....	26
Εικόνα 1-13: Σκαρίφημα όχθης με ξύλινο τοίχο αντιστήριξης με αλληλοσυνδεδεμένους κορμούς και επίχωση με φύτευση (Li and Eddleman, 2002) .....	26
Εικόνα 1-14: Λιθορριπή με φύτευση 5 χρόνια μετά την εγκατάσταση στον ποταμό Columbia (Terra Erosion Ltd., 2010a) .....	27

Εικόνα 1-15: Μηχανισμοί αστοχίας λιθορριπής: (a) διάβρωση κόκκων, (b) ολίσθηση, (c) κατάπτωση και (d) ολίσθηση πρανούς (Julien, 2018) .....	28
Εικόνα 2-1: Χάρτης χρήσεων γης στην ευρύτερη περιοχή του μεγάλου ρέματος Ραφήνας (Ανδρέου, 2015).....	31
Εικόνα 2-2: Άποψη του ρ. Ραφήνας. Στις όχθες διακρίνεται πυκνή βλάστηση και καλλιέργειες αμπέλου (ENVECO A.E., 2016). .....	33
Εικόνα 2-3: Λευκοτσικνιάς στο Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας (attikanet.blogspot.com, 2019).....	33
Εικόνα 2-4:Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής της Αττικής. ( 1) μεταλπικοί σχηματισμοί Μεσοκαινικής- Ολοκαινικής ηλικίας, 2) Μη μεταμορφωμένοι αλπικοί σχηματισμοί, 3) Μεταμορφωμένοι αλπικοί σχηματισμοί, 4) κύρια ρήγματα, 5) Μεγάλης κλίμακας τεκτονική επαφή-αποκόλληση) (Παπανικολάου et al, 2002).....	37
Εικόνα 2-5: Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής των αλπικών σχηματισμών του Λεκανοπεδίου Αθηνών (Παπανικολάου, Λόζιος, et al., 2004). .....	38
Εικόνα 2-6: Παλιά λατομεία Κηπούπολης-Άσπρων Χωμάτων. Φαίνεται η εσωτερική δομή της ενότητας Αθηνών, με συνήπαρξη πελαγικών σχιστών, ψαμμιτών και νηρητικών ασβεστολίθων του Άνω κρητιδικού (CA1: ανοιχτόχρωμοι, CA2: σκουρόχρωμοι) (Παπανικολάου, Λόζιος, et al., 2004).....	40
Εικόνα 2-7: Σχιστοποιημένα υπερβασικά πετρώματα ενότητας Αλεποβουνίου στο λόφο Λιθάρι (Παπανικολάου, Μπάση, et al., 2004):.....	41
Εικόνα 2-8: Γεωλογικός Χάρτης στενής περιοχής Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας(ENVECO A.E., 2016).....	45
Εικόνα 2-9: Υπόμνημα Γεωλογικού Χάρτη (ENVECO A.E., 2016). .....	46
Εικόνα 2-10: Υδρογραφικό δίκτυο Λεκάνης Απορροής Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας (Αγόρογλου, 2017).....	50
Εικόνα 3-1: Οριζοντιογραφία προτεινόμενης λύσης ρέματος Ραφήνας από εκβολή έως 4+000 (ENVECO A.E., 2016).....	53
Εικόνα 3-2: Οριζοντιογραφία προτεινόμενης λύσης ρέματος Ραφήνας από 4+000 έως 6+000 και ρέματος Βαλανάρη (ENVECO A.E., 2016). .....	54
Εικόνα 3-3: Οριζοντιογραφία προτεινόμενης λύσης ρέματος Ραφήνας από 6+000 έως 11+000 (ENVECO A.E., 2016).....	55

Εικόνα 3-4: Οριζοντιογραφία προτεινόμενης λύσης ρέματος Ραφήνας από 11+000 έως Λ. Σπάτων (ENVECO A.E., 2016).....	56
Εικόνα 3-5: Σχέδιο διατομής τύπου Α σύμφωνα με την ΜΠΕ (ENVECO A.E., 2016).....	61
Εικόνα 3-6: Σχέδιο διατομής τύπου Β σύμφωνα με ΜΠΕ (ENVECO A.E., 2016). ....	62
Εικόνα 3-7: Σχέδιο διατομής τύπου Γ σύμφωνα με ΜΠΕ (ENVECO A.E., 2016) .....	63
Εικόνα 3-8: Σχέδιο διατομής τύπου Δ σύμφωνα με ΜΠΕ (ENVECO A.E., 2016) .....	64
Εικόνα 3-9: Σχέδιο διατομής τύπου Ε σύμφωνα με ΜΠΕ (ENVECO A.E., 2016) .....	65
Εικόνα 3-10: Σχέδιο διατομής τύπου ΣΤ σύμφωνα με ΜΠΕ (ENVECO A.E., 2016).....	66
Εικόνα 3-11: Σχέδιο διατομής τύπου Ζ σύμφωνα με ΜΠΕ (ENVECO A.E., 2016) .....	67
Εικόνα 3-12: Σχέδιο διατομής τύπου Η σύμφωνα με ΜΠΕ (ENVECO A.E., 2016).....	68
Εικόνα 3-13: Χάρτης επικινδυνότητας πλημμύρας υφιστάμενης κατάστασης - Μέγιστα βάθη νερού (ENVECO A.E., 2016).....	71
Εικόνα 3-14: Χάρτης θέσεων ρ. Βαλανάρη από Google Earth. ....	73
Εικόνα 3-15: Γεωλογική Διατομή στη θέση της γέφυρας Ανδριώτη (Περλέρος, 2016). ....	75
Εικόνα 3-16: (Αριστερά) Άποψη της κοίτης στη Θ1 (Δεξιά) Δεξί πρηνές της κοίτης στη Θ1, εμφάνιση Μαρμάρου του λόφου Έτους. ....	76
Εικόνα 3-17: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού αριστερού πρηνούς στη Θ1 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός. ....	77
Εικόνα 3-18: Εικόνα γεωτεχνικού προσομοιώματος των προτεινόμενων έργων της ΜΠΕ στο αριστερό πρηνές της Θ1 με δυνητική επιφάνεια αστοχίας. ....	78
Εικόνα 3-19: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρηνούς με λιθορριπή στη Θ1 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας στέψης της λιθορριπής. ....	79
Εικόνα 3-20: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρηνούς με λιθορριπή στη Θ1 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός της λιθορριπής. ....	80
Εικόνα 3-21: Απεικόνιση της Θ2 από Google Earth. ....	81
Εικόνα 3-22: Άποψη της υφιστάμενης κατάσταση στη Θ2, στη Χ.Θ. 0+670 περίπου. ....	82
Εικόνα 3-23: Τοίχος αντιστήριξης στη Θ2. Στη βάση του τοίχου αντιστήριξης εμφανίζεται το βραχώδες υπόβαθρο λόγω της υποσκαφής του. ....	83
Εικόνα 3-24: Αεροφωτογραφία της Θ3. ....	84
Εικόνα 3-25: Αεροφωτογραφία της θέσης όπου προτείνεται η τοποθέτηση ογκολίθων στη Θ3 στη βάση του δεξιού πρηνούς.....	85

Εικόνα 3-26: Υποσκαφή των βάθρων της γέφυρας Αγ.Δημητρίου.....	86
Εικόνα 3-27: Άποψη της γέφυρας Αγ. Δημητρίου από τη Θ4. ....	87
Εικόνα 3-28: Γεωλογική Διατομή στη θέση της γέφυρας Αγ. Δημητρίου. ....	88
Εικόνα 3-29: (Αριστερά) Αριστερό πρηνές Θ4 (Δεξιά) Άποψη της κοίτης προς τα κατάντη στη Θ4.....	89
Εικόνα 3-30: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού δεξιού πρηνούς στη Θ4 με τη δυσμενέστερη δυνητική επιφάνεια περιστροφικής αστοχίας. ....	90
Εικόνα 3-31: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του προτεινόμενου από τη ΜΠΕ δεξιού πρηνούς στη Θ4 με τη δυσμενέστερη δυνητική επιφάνεια περιστροφικής αστοχίας.....	91
Εικόνα 3-32: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού αριστερού πρηνούς στη Θ4 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός. ....	92
Εικόνα 3-33: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του προτεινόμενου από τη ΜΠΕ αριστερού πρηνούς στη Θ4 με τη δυσμενέστερη δυνητική επιφάνεια περιστροφικής αστοχίας..	93
Εικόνα 3-34: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρηνούς μετά την αφαίρεση του χώρου φύλαξης των ζώων στη Θ4 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας στέψης. ....	94
Εικόνα 3-35: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρηνούς μετά την αφαίρεση του χώρου φύλαξης των ζώων και την εξομάλυνση του πρηνούς στη Θ4 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας.....	94
Εικόνα 3-36: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρηνούς μετά την υποσκαφή του εξομαλυμένου πρηνούς στη Θ4 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας.....	95
Εικόνα 3-37: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρηνούς μετά την υποσκαφή του εξομαλυμένου πρηνούς στη Θ4 με δυσμενή επιφάνεια αστοχίας.....	95
Εικόνα 3-38: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρηνούς με εξομάλυνση και λιθορριπή στη Θ4 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας στέψης της λιθορριπής.....	96
Εικόνα 3-39: Απεικόνιση της Θ5 από Google Earth. Φαίνεται η έκταση που καταλαμβάνουν τα μπάζα στην κοίτη του ρέματος. ....	97
Εικόνα 3-40: Μπάζα και απορρίμματα εντός της κοίτης στη Θ5.....	98
Εικόνα 3-41: Χάρτης θέσεων Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας από Google Earth.....	99
Εικόνα 3-42: Αεροφωτογραφία της Θ6. ....	100
Εικόνα 3-43: Φωτογραφία του αριστερού πρηνούς στη Θ6. ....	101

Εικόνα 3-44: Αεροφωτογραφία του μαιανδρισμού κατάντη της Θ6.....	102
Εικόνα 3-45: Αεροφωτογραφία του σχολείου στη Θ6. Φαίνονται τα φερτά υλικά στον προαύλιο χώρο. ....	103
Εικόνα 3-46: Αεροφωτογραφία της Θ7. Φαίνεται η στένωση της κοίτης λόγω του τεχνικού έργου. ....	104
Εικόνα 3-47: Τοίχοι αντιστήριξης κατά μήκος της κοίτης κατάντη της Θ7. ....	105
Εικόνα 3-48: Παρασυρμένος κορμός δέντρου. ....	106
Εικόνα 3-49: Άποψη της γέφυρας στη Θ7. Φαίνεται η υποσκαφής της. ....	106
Εικόνα 3-50: Απεικόνιση της διεπιφάνειας του παλαιοαναγλύφου στη Θ8. ....	107
Εικόνα 3-51: Επικρεμάμενο τοιχίο στη Θ8. Από το προσωπικό αρχείο του Α. Λαζαρή. ....	108
Εικόνα 3-52: Απεικόνιση της γεωμετρίας των επαφών ανάμεσα στον πηλίτη και το μαργαϊκό ασβεστόλιθο του πυθμένα της κοίτης στη Θ8. Λήψη δείγματος.....	108
Εικόνα 3-53: Άποψη της γέφυρας στη Θ8 στις 22/04/2019. Από το προσωπικό αρχείο του Α. Λαζαρή. ....	109
Εικόνα 3-54: Αεροφωτογραφία της γέφυρας στις 21/06/2019.....	110
Εικόνα 3-55: Αεροφωτογραφία τμήματος της Θ9.....	111
Εικόνα 3-56: Άποψη μικρού κλάδου της κοίτης σε μορφή μικρής διάβρωσης στη Θ9. ....	111
Εικόνα 3-57: Εξεταζόμενο τμήμα πλημμυρικού πεδίου Πετρέζας (Θ9).....	113
Εικόνα 3-58 Άποψη κοίτης κοντά στην Θ10 .....	114
Εικόνα 3-59: Γεωλογική Διατομή στη θέση της γέφυρας Αγ.Γεωργίου (Περλέρος, 2016). ....	116
Εικόνα 3-60: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού πρανούς στη Θ10 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας περιστροφικής ολίσθησης.....	118
Εικόνα 3-61: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού πρανούς στη Θ10 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός. ....	118
Εικόνα 3-62: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού πρανούς στη Θ10 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας στέψης. ....	119
Εικόνα 3-63: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του προτεινόμενου από τη ΜΠΕ πρανούς στη Θ10 με τη δυσμενέστερη δυνητική επιφάνεια αστοχίας στέψης του άνω πρανούς. ....	120



Εικόνα 3-64: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του προτεινόμενου από τη ΜΠΕ πρηνούς στη Θ10 με τη δυσμενέστερη δυνητική επιφάνεια αστοχίας στέψης του άνω πρηνούς. .....	120
Εικόνα 3-65: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρηνούς με διαμόρφωση και λιθορριπή στη Θ10 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια του σώματος της λιθορριπής.....	121
Εικόνα 3-66: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρηνούς με διαμόρφωση και λιθορριπή στη Θ10 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια περιστροφικής ολίσθησης του πρηνούς. .....	122
Εικόνα 3-67: Αεροφωτογραφία της Θ11 κοντά στη 4+300. Φαίνονται η οδός Αρίωνος, η υπερυψωμένη οικία εντός του πλημμυρικού πεδίου και η συμβολή των δύο κλάδων του ρέματος στην εκροή του από το πλημμυρικό πεδίο. ....	123
Εικόνα 3-68: Εικόνα από Google Earth με την προτεινόμενη οριοθέτηση με αναχώματα στη Θ11 (κόκκινο). Με μπλε φαίνονται τα εκτιμώμενα όρια στάθμης και με κίτρινο η θέση από την οποία λήφθηκε η Εικόνα 3-69 από Google Maps. ....	124
Εικόνα 3-69: Άποψη του δεξί μέρους του τμήματος από Google Maps .....	125
Εικόνα 3-70 Αεροφωτογραφία της περιοχής στη Θ12. ....	126
Εικόνα 3-71: Γεωλογική Διατομή στη θέση της γέφυρας Αρίωνος. (Περλέρως, 2016).....	127
Εικόνα 3-72: (Αριστερά) Ανθρωπογενείς αποθέσεις της Θ12. (Δεξιά) Δυσδιάβρωτη άργιλος στη βάση του πρηνούς της Θ12.....	129
Εικόνα 3-73: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού δεξιού πρηνούς στη Θ12 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας. ....	131
Εικόνα 3-74: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού δεξιού πρηνούς μετά από υποσκαφή στη Θ11 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός. ....	132
Εικόνα 3-75: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού αριστερού πρηνούς στη Θ11 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός.....	133
Εικόνα 3-76: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού αριστερού πρηνούς μετά από υποσκαφή στη Θ11 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας .....	133

## ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1: Βαθμός διαβρωσιμότητας εδαφών με βάση την κοκκομετρική κατάταξη σύμφωνα με USCS (Qian, Koerner and Gray, 2001).....	17
Πίνακας 2: Σημαντικά είδη πανίδας που απαντώνται στα Μεσόγεια Αττικής (αμφίβια, ερπετά, θηλαστικά) και τις εκβολές του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας (πουλιά) (ENVECO A.E., 2016). .	34
Πίνακας 3: Μηχανικά χαρακτηριστικά Τεχνικής Έκθεσης Γεωλογικής Μελέτης για το γεωτεχνικό μοντέλο των γεωτρήσεων ΠΓ-9, ΠΓ-10 (Περλέρου, 2016).....	74
Πίνακας 4: Μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφικών σχηματισμών της Θ4.....	88
Πίνακας 5: Μηχανικά χαρακτηριστικά Τεχνικής Έκθεσης Γεωλογικής Μελέτης για το γεωτεχνικό μοντέλο των ΠΓ-11 και ΠΓ-12. (Περλέρου, 2016) .....	116
Πίνακας 6: Μηχανικά χαρακτηριστικά Τεχνικής Έκθεσης Γεωλογικής Μελέτης για το γεωτεχνικό μοντέλο της ΠΓ-6. (Περλέρου, 2016).....	128
Πίνακας 7: Μηχανικά χαρακτηριστικά Τεχνικής Έκθεσης Γεωλογικής Μελέτης για το γεωτεχνικό μοντέλο των γεωτρήσεων ΠΓ-7, ΠΓ-8. (Περλέρου, 2016).....	128
Πίνακας 8: Μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφικών σχηματισμών στη Θ11 που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις. ....	129

## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Διάγραμμα 2-1: Απογραφές πληθυσμού 2001, 2011 Δήμων εντός της Λεκάνης Απορροής Μ. Ρέματος από ΕΛΣΤΑΤ (Ανδρέου, 2015). ....	30
Διάγραμμα 2-2: Ποσοστό % Αύξησης πληθυσμού κατά το χρονικό διάστημα 2001-2011 (Ανδρέου, 2015).....	30

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας αποτελεί ένα από τα τελευταία εναπομείναντα ρέματα της Αττικής. Εκτός από εστία πρασίνου, νερού και ομορφιάς, προσφέρει επιπλέον καταφύγιο σε πολλά είδη πουλιών και ζώων, αλλά και σε διάφορα είδη φυτών και δένδρων.

Το Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας ανήκει στα ρέματα της Αν. Αττικής που μέχρι τώρα δεν έχει οριοθετηθεί. Οι επεμβάσεις που έχουν γίνει μέχρι στιγμής έχουν τοπικό χαρακτήρα κυρίως σε θέσεις τεχνικών έργων και θέσεις που ήταν αναγκαία η υποστήριξη των πρανών. Από το 2016 έχει εκπονηθεί η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) με τίτλο "Μελέτη Διευθέτησης - Οριοθέτησης Ρέματος Ραφήνας" από την Διεύθυνση Αντιπλημμυρικών & Εγγειοβελτιωτικών Έργων του Υπουργείου Υποδομών και εκκρεμεί η εφαρμογή της.

Η παρούσα διπλωματική εργασία στοχεύει στη διερεύνηση της αναγκαιότητας-καταλληλότητας των προτεινόμενων έργων από την ΜΠΕ και στην πρόταση ενδεικτικών λύσεων σε θέσεις που κρίθηκε ότι οι λύσεις που προτάθηκαν από τη ΜΠΕ χρειάζονται αναθεώρηση. Σκοπός των ενδεικτικών λύσεων είναι η όσο το δυνατόν λιγότερη αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος σε συνδυασμό με την αντιπλημμυρική προστασία που απαιτείται, καθώς ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι ένα πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί.

Πιο συγκεκριμένα, η εργασία αποτελείται από τα εξής κεφάλαια:

- 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο: Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική αναφορά στην αλληλεπίδραση πλημμύρων και ανθρώπινης δραστηριότητας και παρουσιάζονται τεχνικές bio-technical engineering αντιδιαβρωτικής προστασίας των πρανών οχθών ποταμών.
- 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο: Σε αυτό κεφάλαιο γίνεται μια συνολική παρουσίαση της περιοχής μελέτης του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας.
- 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο: Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αρχικά μια σύντομη παρουσίαση της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για τη διευθέτηση του Μεγάλου ρέματος Ραφήνας και στη συνέχεια παρουσιάζονται επιλεγμένες θέσεις, στις οποίες προτείνονται εναλλακτικά έργα αντιμετώπισης του προβλήματος. Για την αποτίμηση των προτεινόμενων από την ΜΠΕ διατάξεων έργων αξιοποιήθηκαν δεδομένα από τις ακόλουθες πηγές :

- Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, «Μελέτη Διευθέτησης – Οριοθέτησης Ρέματος Ραφήνας» από την σύμπραξη των κάτωθι Μελετητικών Γραφείων: ENVECO ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, "ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ" - ΛΑΖΑΡΟΣ Σ. ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ & ΣΙΑ ΕΕ, ΜΠΕΝΣΑΣΣΩΝ ΛΙΖΑ ΤΟΥ ΑΒΡΑΑΜ, Οκτώβριος 2016.
  - Τεχνική Έκθεση Γεωλογικής Μελέτης, «Μελέτη Διευθέτησης – Οριοθέτησης Ρέματος Ραφήνας» από την σύμπραξη των κάτωθι Μελετητικών Γραφείων: "ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ" - ΛΑΖΑΡΟΣ Σ. ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ & ΣΙΑ ΕΕ, ΕΞΑΡΧΟΥ ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ ΜΠΕΝΣΑΣΣΩΝ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ «ΕΝΜ ΑΕ», Σ.ΛΙΑΡΟΣ & ΣΙΑ ΕΕ «ΗΛΙΔΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ», ENVECO ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, , ΜΠΕΝΣΑΣΣΩΝ ΛΙΖΑ ΤΟΥ ΑΒΡΑΑΜ, ΠΕΡΛΕΡΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΤΟΥ ΚΩΝ/ΝΟΥ. Σύνταξη : Περλέρος Βασίλειος, Σεπτέμβριος 2016
  - Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, «Εκτίμηση Πλημμυρικού Κινδύνου Λεκάνης Απορροής Μ. Ρέματος Ραφήνας με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS)» από Ανδρέου Μαρία στα πλαίσια του Δι-ιδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Πρόληψη και Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών», Δεκέμβριος 2015. Χρησιμοποιήθηκαν σχέδια GIS κλίμακας 1:500, από τα οποία προέκυψαν οι διατομές της κοίτης κατά την γεωτεχνική ανάλυση στο λογισμικό LARIX.
- 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο: Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας.

## **1 ΟΙ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Η ΑΝΤΙΔΙΑΒΡΩΤΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΟΧΘΩΝ**

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση στα πλημμυρικά φαινόμενα και στην αλληλεπίδρασή τους με τους ανθρώπους. Έπειτα, γίνεται μια σύντομη παρουσίαση περί διάβρωσης των εδαφών και αστοχίας πρηνών σε κοίτες ποταμών. Τέλος, παρουσιάζονται τεχνικές λύσεις bio-technical engineering για την εξασφάλιση των πρηνών.

### **1.1 Οι πλημμύρες σε αστικές και περιαστικές περιοχές και οι μέθοδοι διαχείρισής τους**

Κατά την Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου ως πλημμύρα ορίζεται “η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους, εφήμερα ρεύματα της Μεσογείου και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές”.

Παρόλα αυτά, το εύρος των ερμηνειών του όρου πλημμύρα, από το ευρύ κοινό και την επιστημονική κοινότητα, καταδεικνύει τις διαφορετικές οπτικές γωνίες με τις οποίες προσεγγίζονται οι πλημμύρες. Σύμφωνα με τον Baker, 1994 η έννοια της πλημμύρας λαμβάνει υπόψη του εξής παράγοντες:

- Τεχνικές υδρολογικές ερμηνείες που καθορίζονται από μεγέθη παροχών και συχνότητας ροής.
- Πρακτικές ερμηνείες που καθορίζονται από τις οικονομικές ζημιές μιας πλημμύρας.
- Περιβαλλοντικές ερμηνείες που καθορίζονται από τη σχέση των πλημμυρών με τους βιότοπους, το τοπίο ή άλλα στοιχεία του περιβάλλοντος.

#### **1.1.1 Οι πλημμύρες ως φυσικά καταστροφικά φαινόμενα**

Οι πλημμύρες θεωρούνται από τα πιο σημαντικά καταστροφικά φαινόμενα στην Ευρώπη με εκτιμώμενες ζημιές περίπου 100 δις. ευρώ την περίοδο 1986 - 2006 (CEA, 2005). Στις Μεσογειακές χώρες οι πλημμύρες ανήκουν στα πιο ζημιογόνα καταστροφικά φαινόμενα, όχι μόνο λόγω της συχνότητάς τους, αλλά και λόγω της ευαισθησίας που προκαλείται από την

ανθρωπογενή δραστηριότητα (Karagiorgos et al, 2013).

Στην Ελλάδα, οι πλημμύρες ήταν το δεύτερο σε συχνότητα φυσικό καταστροφικό φαινόμενο κατά τη διάρκεια 1928 - 2005 μετά από τους σεισμούς. Συγκεκριμένα, στην Αττική οι πλημμύρες κόστισαν 182 ανθρώπινες ζωές την περίοδο 1887 - 2011, ενώ οι συνολικές ανθρώπινες ζωές που χάθηκαν την ίδια περίοδο ήταν 284 (Karagiorgos et al., 2011).

Οι πλημμύρες προέρχονται από την αλληλεπίδραση των φυσικών φαινομένων, των συνθηκών της λεκάνης απορροής και την φυσική ή ανθρωπογενή παροχετευτικότητα του συστήματος αποστράγγισης. Ανάλογα με την έκταση της λεκάνης απορροής οι πλημμύρες ενδέχεται να εκδηλωθούν αρκετό χρόνο μετά τη βροχόπτωση και να διαρκέσουν ώρες, ημέρες, βδομάδες, ακόμα και μήνες σε πολύ μεγάλους ποταμούς. Σε μικρότερα ποτάμια δύναται εκδήλωση στιγμιαίων πλημμυρών (flash floods) που συνήθως είναι αποτέλεσμα πολύ έντονης τοπικής βροχόπτωσης. Οι στιγμιαίες πλημμύρες είναι οι λιγότερο προβλέψιμες και μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένες καταστροφές. Ακόμα δεν προσφέρουν κάποια προειδοποίηση (Μαμασής, 2014a).

Σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου ως κίνδυνος πλημμύρας ορίζεται *“ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται μ’ αυτή την πλημμύρα”*.

Οι περιοχές που πλήττονται συνήθως είναι (Μαμασής, 2014a):

- Κλειστές υδρολογικές λεκάνες σε καρστικές περιοχές που αποστραγγίζονται χάρη σε καταβόθρες.
- Πεδιάδες που αποστραγγίζονται από ποταμούς ή ρέματα με ανεπαρκείς διατομές.
- Περιοχές, συνήθως αστικές, όπου η ανθρώπινη δραστηριότητα έχει μεταβάλλει τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.

### 1.1.2 Χρήσιμοι Ορισμοί

Σύμφωνα με τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΥΠΕΧΩΔΕ - ΓΓΔΕ, 2002):

“Το υδρογράφημα (*hydrograph*) είναι η συνεχής γραφική παράσταση της παροχής,  $Q$ , ενός υδατορέματος σε μια συγκεκριμένη διατομή στη διάρκεια του χρόνου,  $t$ .

Σε περιπτώσεις κατασκευής τεχνικών έργων κοντά στην κοίτη ενός υδατορέματος (π.χ. υπολογισμός ύψους γέφυρας, σχεδιασμός αντιπλημμυρικής τάφρου αυτοκινητόδρομου) ενδιαφέρει άμεσα το υδρογράφημα της πλημμύρας σχεδιασμού ή πλημμυρογράφημα σχεδιασμού (*design hydrograph*) του τεχνικού έργου που συνδέεται άμεσα με την βροχόπτωση σχεδιασμού (*design storm*). Ως βροχόπτωση σχεδιασμού (αντιστοίχως: πλημμύρα σχεδιασμού) αναφέρεται συνήθως η βροχόπτωση (αντιστοίχως: παροχή) εκείνη της οποίας το συνολικό ύψος (αντιστοίχως: αιχμή παροχής) έχει μια συγκεκριμένη περίοδο επαναφοράς,  $T$ . Αυτό σημαίνει ότι θα παρουσιαστεί ύψος βροχόπτωσης μεγαλύτερο από εκείνο της βροχόπτωσης σχεδιασμού κατά μέσο όρο μία φορά στα  $T$  χρόνια της ζωής του έργου. Αντίστοιχα η πιθανότητα υπέρβασης,  $p$ , του ύψους της βροχόπτωσης σχεδιασμού σε ένα δεδομένο έτος θα είναι ίση με  $1/T$ . Για παράδειγμα, αν γίνει η εκτίμηση της βροχόπτωσης σχεδιασμού με περίοδο επαναφοράς  $T = 20$  έτη, δηλαδή θα έχουμε υπέρβαση κατά μέσο όρο μία φορά στα 20 έτη, τότε η πιθανότητα υπέρβασης για κάθε δεδομένο έτος θα είναι  $p = 1/20 = 0.05$ . Θα πρέπει να κατανοηθεί ότι το μέγεθος της περιόδου επαναφοράς είναι μόνο στατιστικό. Για παράδειγμα, δεν σημαίνει ότι θα γίνει υπέρβαση της βροχόπτωσης σχεδιασμού μόνο μια φορά στα 20 έτη, αλλά μπορεί να συμβαίνει και κάθε χρόνο καθώς η αντίστοιχη πιθανότητα είναι ίση με 5%.

Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι η περίοδος επαναφοράς της βροχόπτωσης σχεδιασμού δεν είναι ίση με την περίοδο επαναφοράς της πλημμύρας σχεδιασμού (π.χ. πλημμυρική αιχμή) κυρίως λόγω της επίδρασης των υδρολογικών απωλειών (κατακράτηση, διήθηση) που γενικά είναι διαφορετικές σε κάθε πλημμυρικό επεισόδιο. Σημειώνεται ότι η υιοθέτηση της περιόδου επαναφοράς της βροχόπτωσης σχεδιασμού είναι προτιμότερη από τον απευθείας υπολογισμό της περιόδου επαναφοράς της πλημμυρικής αιχμής δεδομένου ότι τα δεδομένα βροχόπτωσης αποτελούν στατιστικό δείγμα με μεγαλύτερη χρονική διάρκεια και πληρότητα καταγραφών ακόμα και στην περίπτωση εκείνη που υπάρχει θέση μέτρησης των παροχών στο υπόψη υδατόρεμα”.

### 1.1.3 Αιτίες εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων

Η εκδήλωση πλημμυρικού φαινομένου αποτελεί ένα αρκετά πολύπλοκο και σύνθετο φαινόμενο στο οποίο συντελούν διάφορες φυσικές και τεχνικές διεργασίες σε τέτοιο βαθμό έτσι

ώστε να το καθιστούν χαοτικό. Η προσέγγιση του φαινομένου μέσω της σύγχρονης υδρολογίας πλημμυρών (η οποία βασίζεται σε αρχές της εφαρμοσμένης στατιστικής, δηλαδή στη τυχαιότητα συμβάντων) έχει ως αποτέλεσμα την απλοποίηση του εκάστοτε προβλήματος. Έτσι τα αποτελέσματα δεν λαμβάνουν υπόψη την πολυπλοκότητα του υδρολογικού συστήματος και για αυτό το λόγο δεν το αναπαριστούν επαρκώς (Baker, 1994).

Οι συνιστώσες του υδρολογικού συστήματος στις οποίες οφείλονται οι πλημμύρες διακρίνονται σε φυσικές και σε ανθρωπογενείς:

#### 1.1.3.1 Φυσικές αιτίες

Οι φυσικοί παράγοντες που εμπλέκονται με τις πλημμύρες είναι (Μαμασής, 2014b):

- Το κλίμα, δηλαδή μετεωρολογικά φαινόμενα, όπως βροχοπτώσεις και η τήξη χιονιού και πάγου, τα οποία προκαλούν την απορροή.
- Η φυτοκάλυψη, η οποία συμβάλλει στη διάβρωση του εδάφους και στη διήθηση του νερού σε αυτό, χάρη του ριζικού συστήματος. Συγκεκριμένα, μειώνει τον όγκο της άμεσης απορροής, και της επιβράδυνσης και εξομάλυνσης των ρυθμών της, με αποτέλεσμα την ελάττωση της ταχύτητας των ροών και των πλημμυρικών αιχμών. Ακόμα, συμβάλλει θετικά στις μηχανικές ιδιότητες των εδαφών.
- Η κατακράτηση από τα φυτά και το έδαφος, η οποία επιβραδύνει την υδάτινη απορροή.
- Η εξατμισοδιαπνοή από τις λίμνες, το έδαφος και τα φυτά, η οποία γίνεται σημαντική κατά την αποθήκευση νερού σε λεκάνες.
- Η βαθιά διήθηση στους υπόγειους υδροφορείς, όπου το νερό επιστρέφει στο ποτάμι, ύστερα από μεγάλη πάροδο του χρόνου σε σχέση με το χρόνο εκδήλωσης του φαινομένου.
- Η τοπογραφία και η μορφολογία της περιοχής.
- Η υγρασία και η κοκκομετρία του εδάφους που καθορίζει τη μεταφορά φερτών υλικών.

#### 1.1.3.2 Ανθρωπογενείς αιτίες

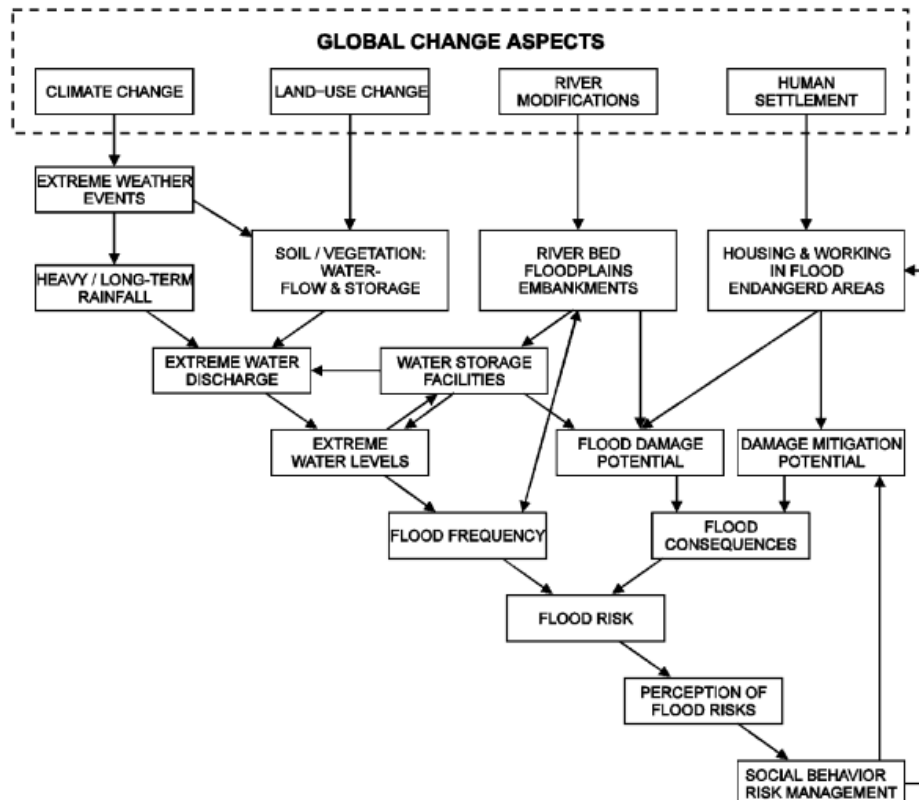
Οι ανθρωπογενείς παράγοντες που εμπλέκονται με την πρόκληση πλημμυρών είναι (Μαμασής, 2014a):

- Η αστικοποίηση και ελάττωση της φυτοκάλυψης, συμβάλλοντας στην αύξηση πλημμυρικών αιχμών.



- Η αποψίλωση δασικών εκτάσεων, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της απορροής, άρα και την αύξηση των φαινομένων διάβρωσης.
- Η ευθυγράμμιση της ροής των ποταμών.
- Η εξάλειψη των φυσικών πλημμυρικών πεδίων κατάκλυσης.
- Η κατασκευή δομών και τεχνικών σε πεδία κατάκλυσης, επηρεάζοντας την μορφολογία, την κατείδυση και την απορροή.
- Η αστοχία φραγμάτων και αναχωμάτων.
- Ο κακός σχεδιασμός ή η ανεπαρκής συντήρηση του δικτύου αποστράγγισης.
- Η κάλυψη των ρεμάτων με δομικά έργα και υποδομές, εξαφανίζοντας το υδρογραφικό δίκτυο εντός των πόλεων.
- Η ανεπάρκεια των εναπομεινάντων ρεμάτων να αναλάβουν τις αυξημένες παροχές, έχοντας μειωμένες διατομές, λόγω καταπατήσεων εντός της κοίτης τους.
- Η ρίψη μπάζων σε κοίτες.

Οι παραπάνω αιτίες παρουσιάζονται υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής στην Εικόνα 1-1:



Εικόνα 1-1: Αιτίες και συνέπειες πλημμυρών. "Αλληλουχία Πλημμυρικού Κινδύνου" (Bronstert, 2003)

#### 1.1.4 Κατηγορίες πλημμυρών σε υδατορέματα και ποταμούς

Οι πλημμύρες που σχετίζονται με τα υδατορέματα και τα ποτάμια διακρίνονται σε:

##### 1.1.4.1 Στιγμιαίες – Αιφνίδιες πλημμύρες (*flash floods*)

Οι στιγμιαίες πλημμύρες χαρακτηρίζονται από την ταχεία και ορμητική εμφάνιση τους σε ένα ρέμα ή ποτάμι σε διάστημα έως όχι παραπάνω από έξι ώρες μετά τη βροχόπτωση. Το περιθώριο αυτό αντίδρασης αφήνει περιορισμένες ευκαιρίες για αποτελεσματική αντίδραση. Συνοδεύονται συνήθως από κατολισθητικά φαινόμενα και ροές λάσπης, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν αστοχίες γεφυρών και άλλες εκτεταμένες ζημιές σε δομικά και τεχνικά έργα. Σε μερικές περιπτώσεις συνοδεύονται και με απώλειες ανθρώπινων ζωών.

Εκτιμήσεις που τις συσχετίζουν με την κλιματική αλλαγή υποδεικνύουν αύξηση της έντασης των βροχοπτώσιων συμβάντων σε κάποιες περιοχές του κόσμου, οδηγώντας σε εντονότερες στιγμιαίες πλημμύρες. Ακόμα, οι δημογραφικές αλλαγές και οι χρήσεις γης έχουν ως αποτέλεσμα την έκθεση ακόμα περισσότερων ανθρώπων στον κίνδυνο στιγμιαίων πλημμυρών (Bronstert, 2003).

Λόγω των επιπτώσεών τους, η ανάγκη για την πρόβλεψη και την εκτίμηση των παροχών των στιγμιαίων πλημμυρών είναι πολύ σημαντική. Παρόλα αυτά η πρόβλεψη στιγμιαίων πλημμυρών εγκαίρως αποτελεί ένα από τα δύσκολα πεδία της υδρολογίας, κυρίως λόγω της αβεβαιότητας των παραγόντων που σχετίζονται με την πρόγνωση των βροχοπτώσεων (Haruarachchi et al, 2011).

Η εκδήλωση συμβάντων στιγμιαίων πλημμυρών έχει διαπιστωθεί από τους Borga *et al.*, 2011 ότι λαμβάνει χώρα κυρίως το φθινόπωρο στην περιοχή της Μεσογείου, ενώ στην ηπειρωτική Ευρώπη όπως στην Αυστρία, τη Σλοβακία και τη Ρουμανία οι στιγμιαίες πλημμύρες συμβαίνουν συνήθως το καλοκαίρι. Επιπλέον, η διάρκεια και η έκταση που καταλαμβάνουν οι στιγμιαίες πλημμύρες της ηπειρωτικής Ευρώπης είναι μικρότερη σε σχέση με τις πλημμύρες που πλήττουν τις περιοχές της Μεσογείου.

#### 1.1.4.2 Υπερχείλιση ποταμών (*river floods*)

Οι υπερχειλίσεις ποταμών είναι αποτέλεσμα έντονης και/ή συνεχούς βροχόπτωσης για αρκετές μέρες ή ακόμα και εβδομάδες και καλύπτουν μεγάλες περιοχές. Συνήθως οφείλονται σε συνδυασμό αιτιών, ανάλογα με την περιοχή που λαμβάνουν χώρα, για παράδειγμα καιρός και εδαφικές συνθήκες, μέτρα προστασίας από πλημμύρες, χρήσεις γης κλπ. Στην Ευρώπη συσχετίζονται και με εποχικότητα (Barredo, 2007).

Το καλοκαίρι και το φθινόπωρο προκαλούνται συνήθως από τοπικές μεγάλες βροχοπτώσεις. Έτσι, το έδαφος αποκτά μεγάλο βαθμό κορεσμού, με αποτέλεσμα να υπερβαίνεται η ικανότητα απορρόφησης νερού από αυτό, προκαλώντας αυξημένες επιφανειακές απορροές. Οι υπερχειλίσεις δύναται να εκδηλωθούν αρκετές μέρες ή ακόμα και εβδομάδες μετά τη βροχόπτωση. Παράδειγμα περίπτωσης αποτελούν οι υπερχειλίσεις ποταμών που συνέβησαν στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2000, όπου έπειτα από ένα υγρό καλοκαίρι, οι ισχυρές βροχοπτώσεις του Σεπτεμβρίου συνέχισαν έως και τον Οκτώβριο. Οι ζημιές εκτιμήθηκαν στα 1,5 δις. αμερικάνικα δολάρια (Barredo, 2007).

#### 1.1.4.3 Πλημμύρες από αστοχία αναχωμάτων ή φραγμάτων (*levee- / dam- floods*)

Οι πλημμύρες λόγω των αστοχιών των τεχνικών έργων ανάσχεσης τους, συμβαίνουν όταν υπερβαίνονται οι σχεδιαστικές παροχές. Έτσι, τα φράγματα ή τα αναχώματα αστοχούν λόγω υπερπήδησης ή απόπλυσης προκαλώντας αιφνίδιες πλημμύρες. Οι πλημμύρες αυτές είναι πολύ ταχείες και εξαιρετικά επικίνδυνες (Perry, 2000).

#### 1.1.4.4 Πλημμύρες από μπάζα, φερτά υλικά και κατολισθήσεις (*debris, landslide, mudflow floods*)

Οι πλημμύρες λόγω έμφραξης ή στένωσης της κοίτης λειτουργούν ως προσωρινό φράγμα, προκαλώντας πλημμύρα στα ανάντη. Η πιθανότητα αστοχίας του προσωρινού φράγματος είναι μεγάλη και οι επιπτώσεις ζημιογόνες, καθώς απελευθερώνεται πλημμυρικό κύμα που μεταφέρει φερτά υλικά με μεγάλες ταχύτητες ροής. Εξίσου επικίνδυνες θεωρούνται οι πλημμύρες από κατολισθήσεις, καθώς η εκτόπιση μεγάλου όγκου νερού από αυτές μπορεί να προκαλέσει μεγάλα πλημμυρικά κύματα, ακόμα και σε λίμνες. Σε αυτήν την κατηγορία πλημμυρών ανήκουν και οι ροές λάσπης ή λασποροές, οι οποίες εκδηλώνονται όταν εδαφικά υλικά με μεγάλη

περιεκτικότητα σε νερό αποκτούν μεγάλες ταχύτητες ροής με έναυσμα κάποια έντονη βροχόπτωση (Perry, 2000).

#### 1.1.5 Επιπτώσεις πλημμυρών

Καθώς οι πλημμύρες είναι φυσικό φαινόμενο, παρουσιάζουν ενίοτε θετικές επιδράσεις όπως η αύξηση της γονιμότητας των εδαφών, λόγω του εμπλουτισμού των εδαφών με θρεπτικά συστατικά. Αποτέλεσμα αυτού, η ανθρώπινη τάση ανάπτυξης κοντά σε περιοχές που πλημμυρίζουν ήδη από την αρχαιότητα (Jakubicka *et al.*, 2010). Ακόμα, τα ήπια πλημμυρικά φαινόμενα επιτρέπουν την ανάπτυξη πλούσιων βιοτόπων στα πλημμυρικά πεδία (Johnson *et al.*, 2011).

Οι πλημμύρες καθίστανται καταστροφικά φαινόμενα όταν αυξάνεται σημαντικά το μέγεθος ή η έντασή τους και όταν συμβαίνουν χωρίς πρόβλεψη. Οι παράμετροι που καθορίζουν τις αρνητικές επιπτώσεις των πλημμυρών είναι (Μαμασής, 2014a):

- Η ένταση του φυσικού φαινομένου.
- Η παρουσία και η επάρκεια υφιστάμενων αντιπλημμυρικών έργων.
- Η αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος.
- Η ετοιμότητα των μηχανισμών αντίδρασης.
- Η ένταση της ανθρώπινης δραστηριότητας στα πλημμυρικά πεδία.

Οι αρνητικές επιπτώσεις των πλημμυρών είναι (Jakubicka *et al.*, 2010):

- Η απώλεια ζωής.
- Οι ζημιές στις υποδομές.
- Οι ζημιές στην αγροτική παραγωγή λόγω της απουσίας του οξυγόνου στα εδάφη κατά την κατάκλυση.
- Οι απώλειες ιδιοκτησίας λόγω εδαφικών διαβρώσεων.
- Οι οικονομικές δαπάνες που απαιτούνται για την αντιμετώπιση του πλημμυρικού κινδύνου και για τις αποζημιώσεις των ζημιών.

#### 1.1.6 Διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου (*Flood risk management*)

Σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου όλα τα κράτη μέλη είναι υποχρεωμένα να οργανώσουν την κατάρτιση σχεδίων διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας σε

επίπεδο περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού με βάση την κατάσταση χαρτών επικινδυνότητας και χαρτών κινδύνου πλημμύρας.

Ο πλημμυρικός κίνδυνος αντιμετωπίζεται με την απομάκρυνση των ευάλωτων δομών και δραστηριοτήτων ή την θωράκισή τους και με ενέργειες που αποσκοπούν τη μείωση της μέγιστης πλημμυρικής στάθμης. Η πλημμυρική στάθμη μειώνεται μέσω των εξής μέτρων (Lane, 2017):

- Τοπικά μέτρα που περιλαμβάνουν παρεμβάσεις στην κοίτη ή στη ταχύτητα ροής, όπως η ευθυγράμμιση ποταμών, η εκβάθυνση πυθμένα ή η κατασκευή αναχωμάτων.
- Μέτρα που αποσκοπούν τους ρυθμούς με τους οποίους το νερό μεταφέρεται στην περιοχή που κινδυνεύει από πλημμύρα, δηλαδή στη μείωση της παροχής. Η μείωση παροχής προϋποθέτει ολικό αντιπλημμυρικό σχεδιασμό της υδρολογικής λεκάνης (catchment-based flood management – CBFM).

Οι μέθοδοι διαχείρισης πλημμύρας που εφαρμόζονται με βάση τους Cook *et al.*, 2016 είναι οι εξής:

#### 1.1.6.1 Διαχείριση με δομικά μέσα (Technical Flood Management – TFM)

Στόχος της TFM είναι η αύξηση της ταχύτητας ροής και η αποθήκευση νερού. Αποτελεί την κύρια μέθοδο διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου (Cook *et al.*, 2016).

Η TFM προήλθε ως μέθοδος όταν χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλα τεχνικά έργα των ΗΠΑ (Wescoat and White, 2003), ενώ εδραιώθηκε και στην Ευρώπη αργότερα (Purseglove, 2017). Η περίοδος που υιοθετήθηκε ευρέως η TFM αφορά τον 20<sup>ο</sup> αι., καθώς οι κυβερνήσεις και το κοινό ήρθαν σε επαφή με τα οφέλη που σχετίζονται με τη TFM (Lane, Landström and Whatmore, 2011). Αυτό οδήγησε στην αλλαγή της προσέγγισης του προβλήματος που έως τότε αφορούσε προσπάθειες προσαρμογής της ανθρώπινης δραστηριότητας στη μεταβλητότητα του περιβάλλοντος (Wescoat and White, 2003) στις πρακτικές της TFM. Έτσι στα πλαίσια της TFM, έχοντας ως στόχο τον έλεγχο των ποταμών, η διαχείριση πλημμυρών πραγματοποιείται μέσω υδρολογικών μοντέλων πρόβλεψης της συμπεριφοράς των ποταμών σε σχέση με τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (Cook *et al.*, 2016). Οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που εφαρμόζονται είναι (Julien, 2018):

- Αντιπλημμυρικοί ταμιευτήρες νερού (φράγματα).

- Αναχώματα και προστατευτικοί τοίχοι.
- Λεκάνες κατάκλυσης παραπλεύρως του ποταμού.
- Δίκτυα ομβρίων υδάτων.
- Εκτροπές ποταμών και διευθετήσεις ρεμάτων.
- Αύξηση παροχτευτικότητας μέσω του καθαρισμού, της εκβάθυνσης και της διεύρυνσης των διατομών τους.
- Διαμόρφωση καναλιών.

#### 1.1.6.2 Διαχείριση στα πλαίσια της βιώσιμης ανάπτυξης (*Sustainable Flood Management – SFM*)

Στα μέσα του 20<sup>ου</sup> αι. εμφανίστηκε προβληματισμός για τις πρακτικές της TFM (White, 1945). Ο προβληματισμός αφορούσε τα εξής (Parker, 1995; Acreman *et al.*, 2007):

- Την ανάγκη για συνεχή κρατική βοήθεια, λόγω της συνήθειας των πολιτών στην προστασία από τις πλημμύρες.
- Την ανάγκη για εφαρμογή μέτρων ανάντη και κατόντη πρακτικών TFM, τα οποία κατέληγαν να είναι ίδιας φιλοσοφίας, λόγω του γεγονότος ότι ενέπνεαν μεγαλύτερη ασφάλεια στους πολίτες.
- Τα ευρήματα περί οικολογικής ζημίας, λόγω της διακοπής της επικοινωνίας πλημμυρικών πεδίων και ποταμών, που αποδείκνυαν ότι ήταν μεγαλύτερη από τα οφέλη των πρακτικών TFM.
- Την ανάγκη κρατικής χρηματοδότησης για την πραγματοποίηση των έργων TFM, που επιβαρύνει φορολογικά τους πολίτες.

Οι πρακτικές SFM διαφέρουν από τις TFM όσον αφορά τους στόχους και το πώς εκτιμάται η επάρκεια τους. Τα φράγματα και τα αναχώματα μπορούν να συμπεριλαμβάνονται σε ένα σχεδιασμό SFM, αλλά μόνο όταν είναι απολύτως απαραίτητα. Οι πρακτικές SFM αποσκοπούν στη μείωση πλημμυρικού κινδύνου χωρίς να επεμβαίνουν στη φυσική ροή, τη στάθμη και την έκταση των πλημμυρών. Οι σχεδιασμοί SFM συνδυάζουν πρακτικές TFM που προαναφέρθηκαν και πρακτικές NFM που αναλύονται παρακάτω (Howgate and Kenyon, 2009).

### 1.1.6.3 Διαχείριση με φυσικά μέσα (*Natural Flood Management – NFM*)

Οι πρακτικές NFM συνδέονται με γενικότερες προσπάθειες που αφορούν τη διάθεση χώρου για τα ποτάμια αλλά και έμφασης στις χρήσεις γης σε σχέση με ένταξη των πλημμυρών σε αυτές. Στο πλαίσιο σχεδιασμού NFM γίνεται χρήση πλημμυρικών πεδίων, υγροτόπων, μαιανδρισμών, λιμνών, φυσικών υλικών και δασωδών εκτάσεων (Howgate and Kenyon, 2009).

Οι πρακτικές NFM χωρίζονται στις εξής κατηγορίες (Pescott and Wentworth, 2011):

- Αποθήκευση νερού με μικρές λίμνες, κανάλια και λεκάνες ανάντη της ροής προς τα ποτάμια.
- Αύξηση κατείδυσης με φυτεύσεις και δασώδεις εκτάσεις, όπου συμβάλει ο κορεσμός των εδαφών και η εξατμισοδιαπνοή.
- Μείωση ταχυτήτων ροής με χρήση φυσικών υλικών, δασών ή θάμνων.
- Σχεδιάζοντας τη φυσική υδραυλική επικοινωνία των περιοχών ώστε να μην ευνοούνται οι απότομες συγκεντρώσεις υδάτων.

Στο Ηνωμένο Βασίλειο οι πρακτικές NFM είναι ενταγμένες στη νομοθεσία κι έχουν μελετηθεί αρκετά, ώστε να χρησιμοποιούνται ευρέως ως πιο οικονομικές και πιο περιβαλλοντικά αποδεκτές σε σχέση με τις πρακτικές SFM. Αυτό αποδεικνύεται κι από τη διαθεσιμότητα σε βιβλιογραφία περιπτώσεων εφαρμογής πρακτικών NFM (Parker, 1995; Acreman *et al.*, 2007; Howgate and Kenyon, 2009; Lane, Landström and Whatmore, 2011; Cook *et al.*, 2016; Rewilding Britain, 2016).

Παρόλα αυτά οι πρακτικές NFM αμφισβητούνται ως προς την αποτελεσματικότητα της αποκλειστικής χρήσης τους σε αντιπλημμυρικούς σχεδιασμούς. Οι λόγοι σχετίζονται με (Cook *et al.*, 2016):

- Τη μη συμφωνία με τις ήδη υπάρχουσες αντιλήψεις σχετικά με τον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό, οπότε προτιμάται να συνδυάζονται με πρακτικές TFM.
- Τη σύνδεση τους με προσπάθειες αποκατάστασης βιότοπων από κινήσεις πολιτών, που τις καθιστά περιβαλλοντικό κι όχι επιστημονικό ζήτημα στην υδρολογική επιστημονική κοινότητα.
- Την αμφισβήτηση της αποτελεσματικότητας των μέτρων NFM σε μεγάλα πλημμυρικά φαινόμενα, λόγω της μη επάρκειας δεδομένων στην απόκρισή τους.

Ο αντιπλημμυρικός σχεδιασμός υδρολογικών λεκανών με πρακτικές αμιγώς NFM απαιτεί τη συνεργασία πολλών ειδικοτήτων, καθώς τα οικοσυστήματα είναι πολυσύνθετα συστήματα και κάθε υδρολογική λεκάνη απαιτεί διαφορετική προσέγγιση (Wingfield *et al.*, 2019).

## 1.2 Διάβρωση εδαφών

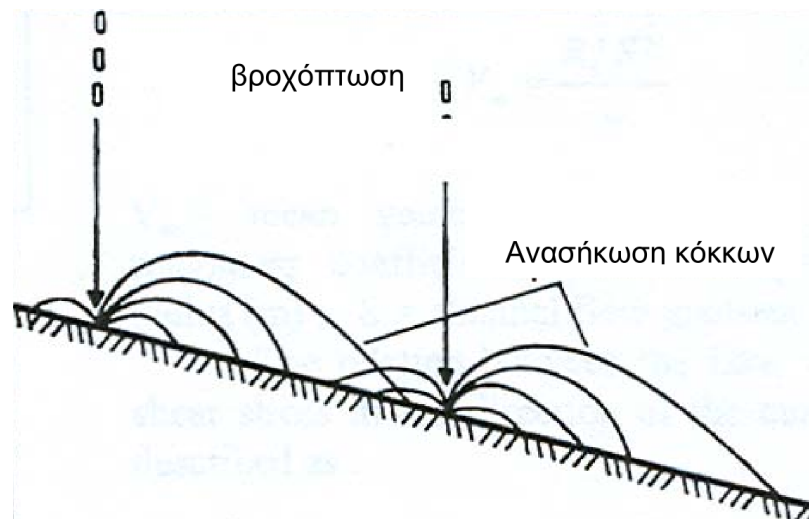
Οι μηχανισμοί διάβρωσης διακρίνονται συνοπτικά στις εξής κατηγορίες (Φικίρης, 2007):

- Διάβρωση πρανών λόγω της βροχόπτωσης και της προκαλούμενης επιφανειακής απορροής.
- Διάβρωση καναλιών εξαιτίας της ροής των υδάτων.
- Διάβρωση ακτών.
- Αιολική διάβρωση.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι δύο πρώτοι μηχανισμοί, καθώς αυτοί σχετίζονται με τα υδατορέματα:

### 1.2.1 Διάβρωση λόγω της βροχόπτωσης και της επιφανειακής απορροής

Η δράση της βροχόπτωσης αποτελεί πολύ βασική αιτία διάβρωσης στα εδάφη. Η ενέργεια της σταγόνας που πέφτει μεταφέρεται στιγμιαία κατά την πρόσκρουση με το έδαφος, ανασπώνοντας κόκκους εδαφικού υλικού στον αέρα (Weggel and Rustom, 1992), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1-2.



Εικόνα 1-2: Μηχανισμός μεταφοράς κόκκων λόγω βροχόπτωσης (Φικίρης, 2007).



Ο παραπάνω μηχανισμός σε συνδυασμό με την κλίση των πρανών και τη σχέση του ρυθμού διήθησης με το ρυθμό βροχόπτωσης επηρεάζει το βαθμό της επιφανειακής απορροής, η οποία παρασύρει τους αποσπασμένους κόκκους προκαλώντας σταδιακά διάβρωση (Φικίρης, 2007).

#### 1.2.1.1 Τύποι διάβρωσης εδαφικών πρανών λόγω επιφανειακής απορροής

Ανάλογα με το μέγεθος της, η διάβρωση των εδαφικών πρανών διακρίνεται στις εξής κατηγορίες (Φικίρης, 2007): επιφανειακή ομοιόμορφη διάβρωση (sheet erosion), αυλακωτή διάβρωση (rill erosion), όπως στην Εικόνα 1-3, και χαραδρωτική διάβρωση (gully erosion).



Εικόνα 1-3: Αυλακωτή διάβρωση εδαφικού πρανούς (Janduko, 2015).

#### 1.2.2 Διάβρωση καναλιών και ποταμών λόγω της ροής των υδάτων

Εκτός από τη διάβρωση λόγω βροχόπτωσης, η ροή του νερού σε υδατορέματα και ποτάμια αποτελεί σημαντικό παράγοντα διάβρωσης σε όχθες και πρανή. Η ταχύτητα ροής του νερού κατά μήκος ενός αγωγού, φυσικού ή τεχνητού, δημιουργεί διατμητικές τάσεις στα τοιχώματα και τον πυθμένα του. Αν οι αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις ξεπεράσουν τη τιμή της διατμητικής αντοχής των τοιχωμάτων και του πυθμένα, προκαλείται διάβρωση και το υλικό που έχει αστοχήσει παρασέρνεται από τη ροή του νερού (Φικίρης, 2007).

Η μέση διατμητική τάση που ασκείται στα εδαφικά τοιχώματα της βρεχόμενης περιμέτρου κατά μήκος της ροής υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση (Anderson, Paintal and Davenport, 1970):

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot S_0, \text{ όπου}$$

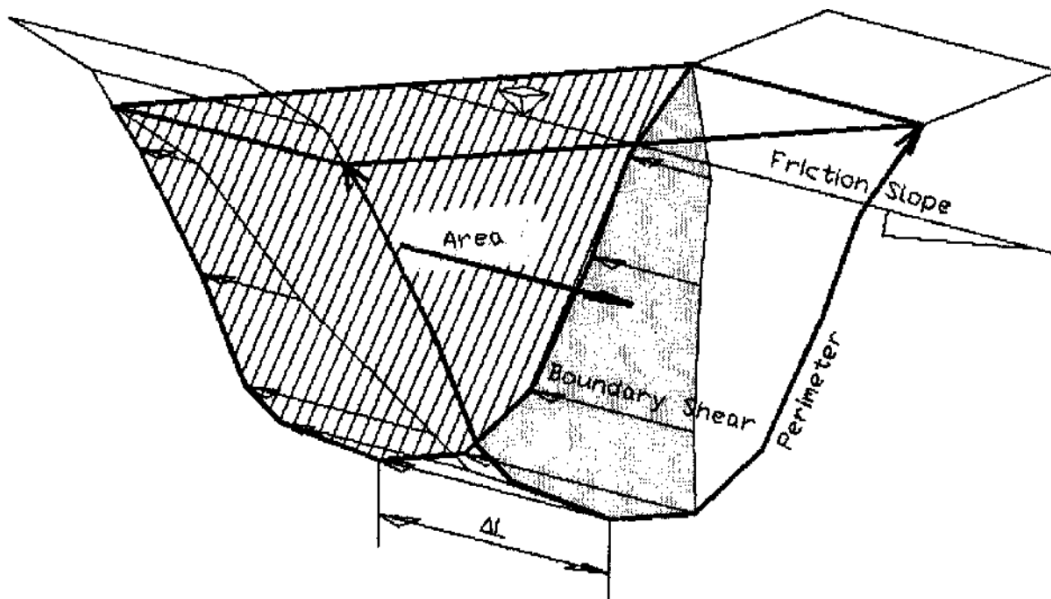
$\tau_0$ : μέση διατμητική τάση ( $\text{N/m}^2$ )

$\gamma$ : ειδικό βάρος νερού ( $\text{N/m}^3$ )

R: υδραυλική ακτίνα (= εμβαδόν ÷ βρεχόμενη περίμετρο) (m), ή μέγιστο βάθος ροής για τους υπολογισμούς του πυθμένα

$S_0$ : κλίση γραμμής ενέργειας

Η κατανομή των αναπτυσσόμενων διατμητικών τάσεων που ασκούνται στο έδαφος δεν παρουσιάζει ομοιομορφία όπως φαίνεται στην Εικόνα 1-4.



Εικόνα 1-4: Κατανομή διατμητικών τάσεων στα τοιχώματα της κοίτης φυσικού υδάτινου αγωγού (Kilgore and Cotton, 2005)

Ειδική περίπτωση διάβρωσης αποτελεί η υδραυλική υποσκαφή θεμελιώσεων τεχνικών έργων που βρίσκονται εντός ποταμών (π.χ. βάθρα γέφυρας). Ο μηχανισμός της διάβρωσης είναι αρκετά πιο σύνθετος και εξαρτάται από το σχήμα του θεμελίου, το βάθος και τη διάρκεια ροής, τη γεωμετρία του καναλιού, των χαρακτηριστικών του εδάφους και άλλα (Φικίρης, 2007).

### 1.3 Διαβρωσιμότητα εδαφών

Ως διαβρωσιμότητα εδάφους ορίζεται η προδιάθεση αυτού να διαβρωθεί, δεδομένου των κατάλληλων συνθηκών. Εξαρτάται από τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, όπως και από τη χημική σύσταση του εδάφους (Φικίρης, 2007).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαβρωσιμότητα των εδαφών είναι η κοκκομετρική σύσταση, η περιεκτικότητα σε οργανικά συστατικά, η περιεκτικότητα σε άργιλο, η δομή του εδάφους, η φυσική υγρασία, ο βαθμός κορεσμού, ο λόγος των κενών, η διαπερατότητα, η διατμητική αντοχή, το pH, η συγκέντρωση αλάτων κτλ. Η διαβρωσιμότητα των αδρομερών εδαφών εξαρτάται από το μέγεθος και το βάρος των κόκκων, ενώ των συνεκτικών εδαφών εξαρτάται από την κοκκομετρία, τη διατμητική αντοχή, τους δεσμούς των συσσωματωμάτων, την περιεκτικότητα σε οργανικά, τη διαπερατότητα, τη φυσική υγρασία, την πυκνότητα, το δυναμικό διόγκωσης και συρρίκνωσης και η πλαστικότητα (Morgan, 2005).

Σύμφωνα με τους Gray and Leiser, 1989 το δυναμικό διαβρωσιμότητας:

- Είναι μικρό σε καλά διαβαθμισμένους χάλικες.
- Είναι υψηλό σε ιλυοαμμώδη εδάφη.
- Μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άργιλο και οργανικά συστατικά.
- Μειώνεται σε εδάφη με αυξημένη φυσική υγρασία και μικρό λόγο κενών.
- Αυξάνει όταν οι δεσμοί των ιόντων του νερού μειώνονται και όταν αυξάνει ο βαθμός απορρόφησης νατρίου.

Μια ενδεικτική σύγκριση του βαθμού διαβρωσιμότητας εδαφών με βάση την κατάταξη στο ενιαίο σύστημα κατάταξης εδαφών USCS (Πίνακας 1) πρότειναν οι Qian, Koerner and Gray, 2001:

Πίνακας 1: Βαθμός διαβρωσιμότητας εδαφών με βάση την κοκκομετρική κατάταξη σύμφωνα με USCS (Qian, Koerner and Gray, 2001)

Βαθμός διαβρωσιμότητας
Μεγαλύτερος → Μικρότερος
ML > SM > SP > SW > SC > MH > OL
>>
CL > CH > GM > GP > GW

## 1.4 Ευστάθεια πρανών σε όχθες ποταμών

Η εξασφάλιση των οχθών σχεδιάζεται έτσι ώστε να προστατεύει τα πρανή και να αποτρέπει την οριζόντια μετακίνηση της κοίτης στα αλλουβιακά πεδία. Ανήκει στο γενικό σχεδιασμό διευθέτησης των ποταμών. Επικρατούν δύο προσεγγίσεις (Julien, 2018) i) η πρώτη αφορά την ενίσχυση της αντοχής των πρανών της όχθης και ii) η δεύτερη αφορά τη μείωση των υδροδυναμικών φορτίσεων. Παρακάτω γίνεται σύντομη παρουσίαση των μηχανισμών αστοχίας των οχθών.

### 1.4.1 Μηχανισμοί αστοχίας πρανών σε όχθες ποταμών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι πιο ευδιάβρωτες κοίτες είναι οι ιλυοαμμώδεις και οι πιο δυσδιάβρωτες οι αργιλώδεις και οι χαλικώδεις. Η αστοχία των πρανών των οχθών οφείλεται στους εξής παράγοντες (Julien, 2018):

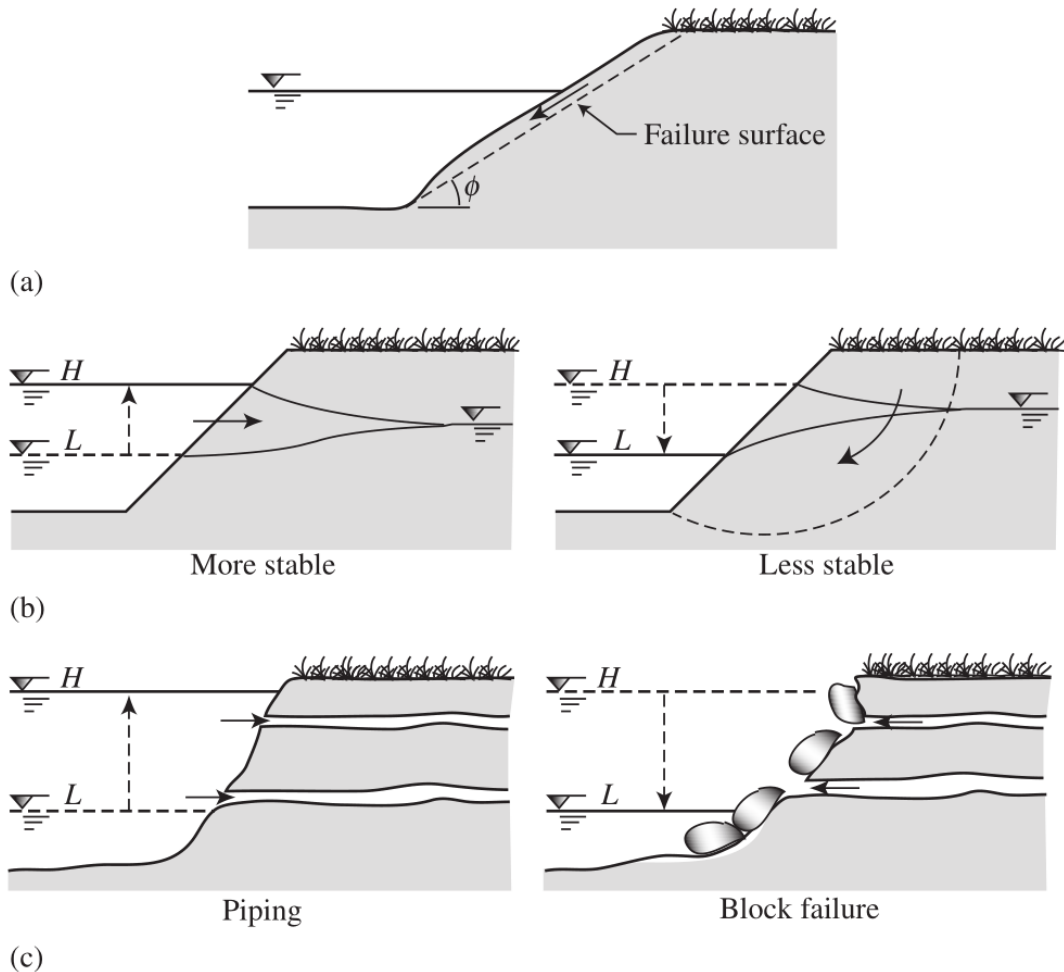
- Μέγεθος και διάρκεια παροχής.
- Ταχύτητα ροής.
- Μέγεθος και διεύθυνση ασκούμενης διατμητικής τάσης.
- Κατείσδυση.
- Διασωλήνωση.
- Κυματισμός.
- Δράση παγετού.
- Αστικοποίηση.
- Αντλήσεις.
- Χρήσεις γης εντός πλημμυρικών πεδίων.
- Πλοήγηση εντός υδάτινων δρόμων.
- Μέγεθος και κοκκομετρία εδαφικού υλικού.
- Βάρος εδαφικού υλικού.
- Συνοχή εδαφικού υλικού.
- Βλάστηση και αντοχή ριζικού συστήματος.

Οι τρεις κύριοι τρόποι αστοχίας (Julien, 2018) παρουσιάζονται στην Εικόνα 1-5.

Στα πρανή με μη συνεκτικές εδαφομάζες (Εικόνα 1-5a), η απομάκρυνση κόκκων από τη βάση του πρανού έχει ως αποτέλεσμα την ολίσθηση του υλικού ώσπου η κλίση του πρανού να είναι ίση με τη γωνία τριβής.

Στα πρανή με συνεκτικές εδαφομάζες (Εικόνα 1-5b) παρατηρούνται περιστροφικές ολισθήσεις και ενδεχόμενες εφελκυστικές ρωγμές επιδεινώνουν το φαινόμενο. Οι αστοχίες σε αυτά τα πρανή λαμβάνουν χώρα ανάλογα το στάδιο πλημμύρας. Κατά την άνοδο τη στάθμης, η εκροή νερού προς τα εδάφη σταθεροποιεί τα πρανή. Όμως, κατά την κάθοδο της στάθμης τα κορεσμένα εδάφη εμφανίζουν μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πιθανότητα εκδήλωσης αστοχίας.

Στα πρανή με εδαφομάζες που παρουσιάζουν στρώματα (Εικόνα 1-5c), τμήματα του πρανού από μη συνεκτικά υλικά απομακρύνονται ή ξεπλένονται λόγω διασωλήνωσης κατά την άνοδο της στάθμης. Έτσι, κατά την κάθοδο της στάθμης οι επικρεμάμενοι πια όγκοι εδαφικού υλικού αστοχούν λόγω εμφάνισης εφελκυστικών ρωγμών που οφείλονται στη μη επαρκή υποστήριξη.



Εικόνα 1-5: Τρόποι αστοχίας εδαφικών πρανών σε όχθες ποταμών (a) πρανές με μη συνεκτική εδαφομάζα. (b) πρανές με συνεκτική εδαφομάζα και (c) πρανές με στρωματοποιημένη εδαφομάζα (Julien, 2018).

#### 1.4.2 Εφαρμογή τεχνικών Bio - Technical Engineering για την προστασία και την ευστάθεια των πρανών

Η ανάπτυξη του περιβαλλοντικά αποδεκτού σχεδιασμού είχε ως αποτέλεσμα την αναγνώριση των εφαρμογών bio-technical engineering για την εξασφάλιση της ευστάθειας των πρανών σε κοίτες ποταμών. Οι παραδοσιακές αυτές εφαρμογές επαναφέρθηκαν στο σχεδιασμό πρανών έπειτα από αστοχίες έργων της μεθόδου TFM (Κεφ. 1.1.6.1) σε όχθες ποταμών. Επιπροσθέτως, ο εγκιβωτισμός των υδατορεμάτων έχει ως αποτέλεσμα την αποκοπή τους από το φυσικό υδρολογικό κύκλο. Επιπλέον, η αύξηση της ταχύτητας ροής και η αφαίρεση της βλάστησης με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού δεν επιτρέπει την ανάπτυξη υγιούς

οικοσυστήματος (Li and Eddleman, 2002). Οι εφαρμογές τους δεν κρίνονται κατάλληλες για πρανή με μεγάλο ύψος και επιφορτίσεις στη στέψη τους.

Οι πρακτικές bio-technical engineering ανήκουν στις ήπιες τεχνικές soft engineering, όπου χρησιμοποιούνται ευρέως η χρήση αδρανών υλικών και βλάστησης για την αντιδιαβρωτική προστασία και τη σταθεροποίηση πρανών. Τα μέτρα εξασφάλισης ευστάθειας των πρανών περιλαμβάνουν μείωση των κλίσεων (εξομάλυνση πρανών ή διαμόρφωση βαθμίδων) και άντληση. Τα προϊόντα των εκσκαφών της εξομάλυνσης δύναται να αξιοποιηθούν για την οριοθέτηση πλημμυρικών πεδίων (Julien, 2018).

#### 1.4.2.1 Η χρήση της βλάστησης στις εφαρμογές bio-technical engineering

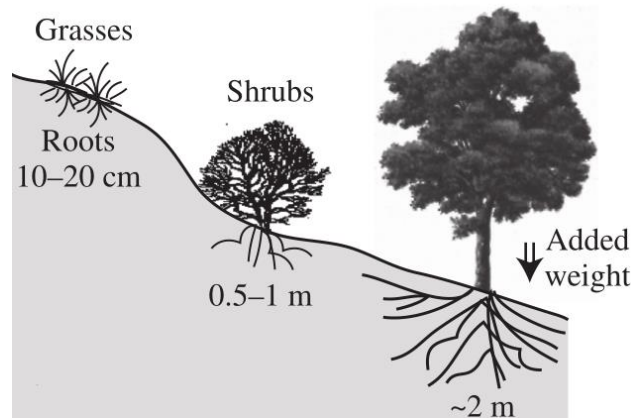
Ακόμα, ένας από τους κυριότερους στόχους των τεχνικών αυτών είναι η χρήση της βλάστησης σε συνδυασμό με δομικών στοιχείων, ώστε να θωρακίζονται και να αντιστηρίζονται πρανή με επισφαλή ευστάθεια και να αποφεύγεται η αστοχία και η διάβρωσή τους (Gray and Sotir, 1996).

Η βλάστηση αποτελεί το πιο φυσικό υλικό για τη σταθεροποίηση και τη βελτίωση της ποιότητας των βιότοπων. Η παρουσία της προστατεύει τα πρανή στις όχθες χάρη στους εξής παράγοντες (Li and Eddleman, 2002; USDA, 2007a):

- Στο ριζικό σύστημα που προσφέρει φαινόμενη συνοχή στις εδαφομάζες.
- Στις φυλλωσιές και στα κλαδιά τα οποία προβάλλουν αντίσταση στη ροή, μειώνοντας τη ταχύτητά της και αυξάνοντας την εναπόθεση φερτών υλών.
- Στη μείωση των κατακρημνισμάτων που φτάνει στο έδαφος λόγω της συγκράτησης από τα φύλλα αλλά και την απόσβεση της ενέργειας πρόσκρουσης σταγόνων στο έδαφος.
- Στη μείωση του ποσοστού της υγρασίας στο έδαφος λόγω εξατμισοδιαπνοής.

Η εφελκυστική αντοχή των ριζών μπορεί να φτάσει έως και τα 40 MPa. Παρόλα αυτά, η ουσιαστική προσφορά στην αντοχή του εδάφους είναι κάποια δεκάδες kPa ανάλογα το φυτό. Η αντοχή του εδάφους μπορεί να αυξηθεί έως περίπου 10 kPa σε βάθος 10-20 cm για τη χαμηλή βλάστηση (γρασίδι, χόρτα), σε βάθος έως περίπου 1 m για τη θαμνώδη βλάστηση και σε βάθος κάποιων μέτρων για τα δέντρα (Εικόνα 1-6). Αξίζει να επισημανθεί ότι τα δέντρα αυξάνουν τα επιβαλλόμενα φορτία λόγω του βάρους τους. Στις δασώδεις περιοχές η περιοχή που το έδαφος εμφανίζει τα χαμηλότερα μηχανικά χαρακτηριστικά είναι αυτή που βρίσκεται ακριβώς κάτω από

την επιφάνεια. Αν η κορεσμένη ζώνη περάσει την ενισχυμένη από της ρίζες ζώνη τότε αυξάνεται η πιθανότητα εκδήλωσης αστοχιών (Julien, 2018).

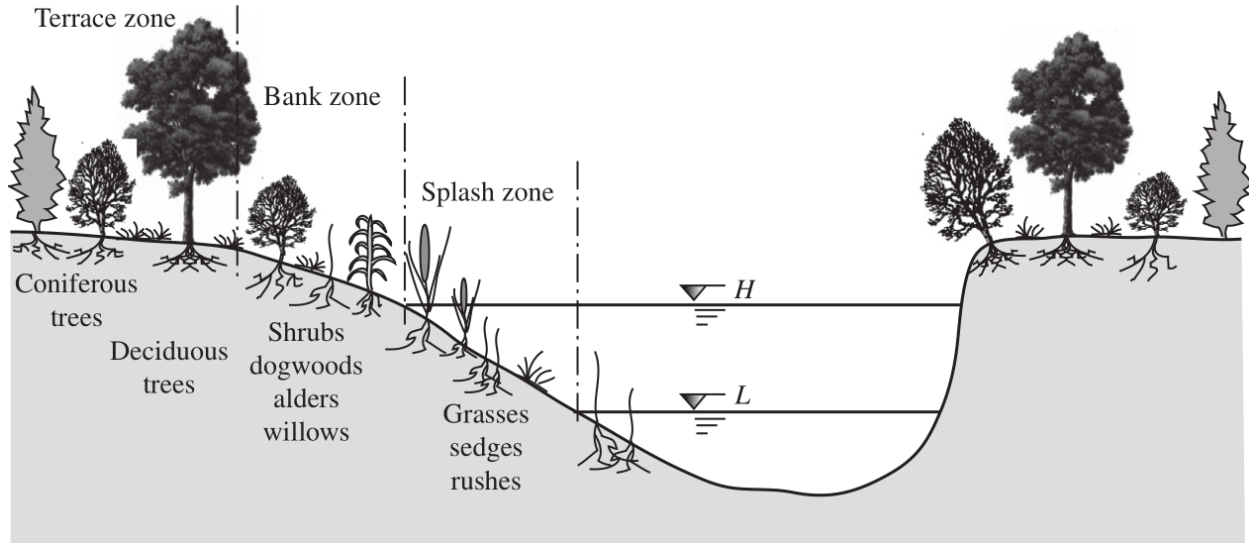


Εικόνα 1-6: Βάθος επιρροής βλάστησης στα μηχανικά χαρακτηριστικά εδαφομάζας (Julien, 2018).

Ακόμα, η βλάστηση στις παρόχθιες περιοχές συμβάλλει στην ανάπτυξη και τη βελτίωση της ποιότητας του οικοσυστήματος, στη βελτίωση της ποιότητας του νερού και στην αρμονική ένταξη του έργου στο περιβάλλον. Τέλος, η χρήση της βλάστηση από αυτόχθονα είδη αποτελεί μια οικονομική επιλογή αντιδιαβρωτικής προστασίας και δεν χρήζει συντήρησης έναντι συμβατικών μέσων.

Οι παρόχθιες ζώνες είναι οι μεταβατικές ζώνες χερσαίων - ποτάμιων οικοσυστημάτων και φιλοξενούν πολλά είδη. Ανήκουν στα πιο δυναμικά και σύνθετα οικοσυστήματα εμφανίζοντας μεγάλη βιοποικιλότητα. Η επιλογή κατάλληλων φυτών αλλά και η ζώνη εγκατάστασής (Εικόνα 1-7) τους αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα στην αποτελεσματικότητα του έργου.





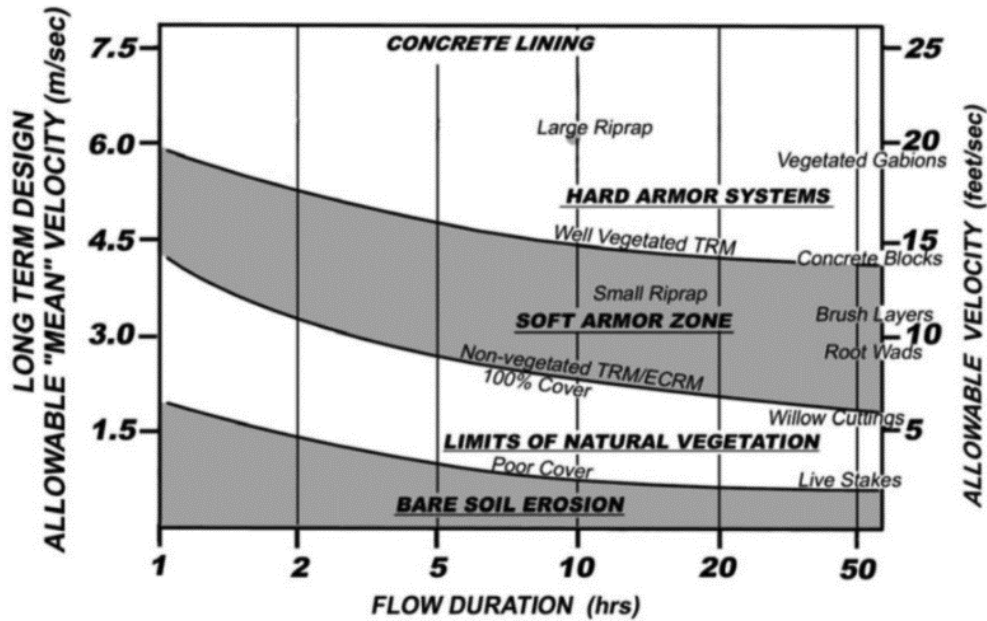
Εικόνα 1-7: Παρόχθιες ζώνες, δεν είναι απαραίτητο να συναντώνται πάντα όπως απεικονίζονται (Julien, 2018)

#### 1.4.2.2 Τεχνικές *bio-technical engineering*

Σύμφωνα με τους Lyn και Newton, 2011 η ζώνη βάσης (toe zone) είναι η κρίσιμότερη για την ευστάθεια του πρανούς. Ακόμα, οι διαβρώσεις των μετόπισθεν (flanking erosion) είναι πολλές φορές το αίτιο αστοχιών και τέλος, τις περισσότερες φορές απαιτείται συνδυασμός εφαρμογής έντονων και ήπιων παρεμβάσεων στην κοίτη, ανάλογα με τη σχεδιαστική διάρκεια ροής (Εικόνα 1-8). Ακόμα, κρίνεται κρίσιμος ο χρόνος ανάπτυξης των φυτών προκειμένου να συμβάλλουν αποτελεσματικά στην εξασφάλιση των πρανών, καθώς μπορούν ακόμα και να καταστραφούν πρόωρα.

Άλλη μια κατηγοριοποίηση της όχθης με βάση της οποίας σχεδιάζονται οι παρεμβάσεις είναι η εξής (Li and Eddleman, 2002):

- Toe Zone: Το τμήμα της όχθης μεταξύ πυθμένα και μέσης στάθμης.
- Splash Zone: Το τμήμα της όχθης μεταξύ μέσης στάθμης και υψηλής στάθμης.
- Bank Zone: Το τμήμα της όχθης που βρίσκεται πάνω από την υψηλή στάθμη.
- Terrace Zone: Το χερσαίο τμήμα που δεν πλημμυρίζει.



**NOTES:**

1. **Hard Armor** - includes Concrete, Riprap, Gabions, Concrete Blocks, etc.
2. **Soft Armor** - includes Turf Reinforcement Mats (TRM), Erosion Control Revegetation Mats (ECRM), Vegetated Geocells, and many Biotechnical Treatments.
3. Available data shows considerable variability in limit velocities.

Adapted from Thiesen (1992)  
Used with permission of Synthetic Industries, Inc.;  
Fischenich and Allen (2000); McCullah and  
Gray (2005) (NCHRP 544)

Εικόνα 1-8: Προτεινόμενες μέγιστες ταχύτητες σχεδιασμού διαφόρων μέτρων αντιδιαβρωτικής προστασίας συναρτήσει της διάρκειας ροής (Lyn and Newton, 2011)

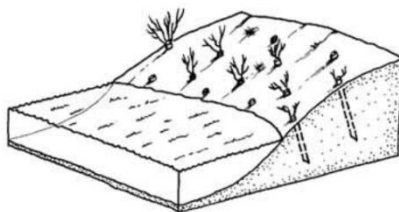
Ακολουθούν οι συχνότερες τεχνικές bio-technical engineering. Αξίζει να σημειωθεί ότι δύναται ο συνδυασμός τους. Αναλυτικές οδηγίες εγκατάστασης των περισσότερων που ακολουθούν αλλά και άλλων διατίθενται στη βιβλιογραφία (Allen and Leech, 1997; USDA, 2007b).

- Ξύλινοι τοίχοι αντιστήριξης: Πρόκειται για ξύλινους τοίχος που είναι είτε από αλληλοσυνδεδεμένους κορμούς (interlocking logs) ή με φατνώματα (timber cribs). Οι τοίχοι με αλληλοσυνδεδεμένους κορμούς δομούνται εξ ολοκλήρου από κορμούς δέντρων και βασίζονται στην αλληλοσύνδεσή τους. Απαιτείται επίχωση με αδρομερές υλικό για την βέλτιστη αποστράγγιση. Οι ξύλινοι τοίχοι με φατνώματα είναι προκατασκευασμένοι από ξύλινα πλαίσια τα οποία ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν φατνώματα. Μπορούν να αναλάβουν μεγαλύτερες εδαφικές ωθήσεις λόγω του αυξημένου βάρους τους, αφού τα

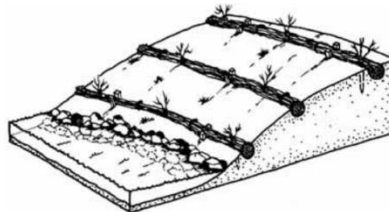
φαντώματα πληρώνονται με αδρομερές υλικό για λόγους αποστράγγισης. Δύναται συνδυασμός με φύτευση και στα δύο είδη τοίχων, ενώ εφαρμόζονται στη toe zone (Εικόνα 1-13). Αποτελεσματικά στις εξωτερικές πλευρές των μαιανδρισμών, όπου αναπτύσσονται μεγάλες ταχύτητες και σε πιο απότομα πρανή. Προσφέρουν άμεσα προστασία. Θεωρούνται υψηλού κόστους και υψηλής προστασίας bio-engineering (Li and Eddleman, 2002).

- Μοσχεύματα φυτών (live stakes), κλαδοδέματα (live fascines) , κατά μήκος μοσχεύματα θάμνων (brushlayering) (Εικόνα 1-11, Εικόνα 1-9, Εικόνα 1-10): Αποτελούν τις πιο φθηνές λύσεις, προσφέρουν όμως χαμηλή προς μεσαία προστασία. Μπορούν να συνδυαστούν με όλες τις τεχνικές κυρίως στις splash zone, bank zone. Είναι αποτελεσματικά σε ήπιες κλίσεις σε αμιγείς εφαρμογές. Τα κατά μήκος μοσχεύματα θάμνων ενδείκνυται για εφαρμογή σε στρωματοποιημένες εδαφομάζες (Li and Eddleman, 2002).
- Γεωπλέγματα με φύτευση (vegetated geogrids): Ενίσχυση της τεχνικής brushlayering με γεωσυνθετικά υλικά στις ζώνες toe zone και splash zone. Τα γεωσυνθετικά υλικά επενδύουν τα στρώματα έως και τις ρίζες των θάμνων (Εικόνα 1-12). Έχει μεγαλύτερες οικονομικές δαπάνες από την απλή μέθοδο, αλλά προσδίδει μεγαλύτερη αντιδιαβρωτική προστασία άμεσα (Li and Eddleman, 2002).
- Ανάχωμα με δέντρα ή κορμούς (tree/log revetment): Πρόκειται για ξερούς κορμούς ή ολόκληρα δέντρα τα οποία είναι αγκυρωμένα στα πρανή σχηματίζοντας ανάχωμα στις toe zone, splash zone. Έχουν προσωρινή διάρκεια αλλά είναι πολύ φθηνές, Δεν ενδείκνυται για εφαρμογή σε ανάντη περιοχές από γέφυρες και επιβάλλεται ο συνδυασμός τους με άλλες τεχνικές (Li and Eddleman, 2002).
- Πέτρινα ρυθμιστικά φράγματα, πέτρινοι βραχίονες (rock weirs, rock groynes): Οι πέτρινες αυτές κατασκευές μπορούν να εγκατασταθούν στην κοίτη με σκοπό την απόσβεση της ενέργειας του νερού και τη μείωση της διαβρωτικής του δράσης (Julien, 2018).
- Χρήση γεωσυνθετικών υλικών: Τα γεωσυνθετικά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι τα γεωφάσματα (geotextiles), τα γεωπλέγματα (geogrids), τα γεωδικτυωτά (geonets), οι γεωτάπητες (geomats) και οι γεωκυψέλες (geocells). Οι εφαρμογές των γεωσυνθετικών υλικών είναι πολλές και ολοκληρώνονται πάντα με φυτεύσεις (Λουπασάκης, 2015). Εγκαθίστανται σε όλο το ύψος του πρανούς και είναι πιο ακριβά από ηπιότερες τεχνικές bio-technical engineering, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

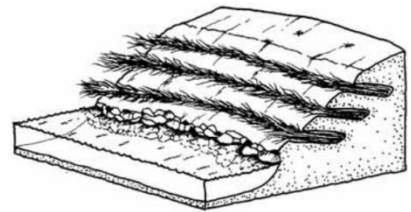
- Λιθορριπή με φύτευση (Joint planting – Vegetated Rip Rap): Πρόκειται για την πιο ισχυρή τεχνική αντιδιαβρωτικής προστασίας σε συνδυασμό με το κόστος της που παρουσιάζεται. Η λιθορριπή είναι ευρέως μελετημένη και εφαρμοσμένη, καθιστώντας τη γνωστή στο εργατικό προσωπικό εγκατάστασης. Η φύτευση δεν δυσκολεύει τη διαδικασία, ενώ αντίθετα αυξάνει την ένταξη της λιθορριπής στο περιβάλλον και παρέχει υψηλότερης ποιότητας οικοσύστημα (Εικόνα 1-14). Παρέχει άμεσα ισχυρή προστασία στις toe zone, splash zone με μεσαίο κόστος (Li and Eddleman, 2002). Το πάχος της πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να αναπτύσσεται ελεύθερα το ριζικό σύστημα (Allen and Leech, 1997).



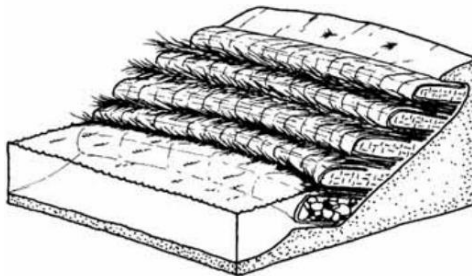
Εικόνα 1-9: Σκαρίφημα όχθης με μοσχεύματα φυτών (Li and Eddleman, 2002)



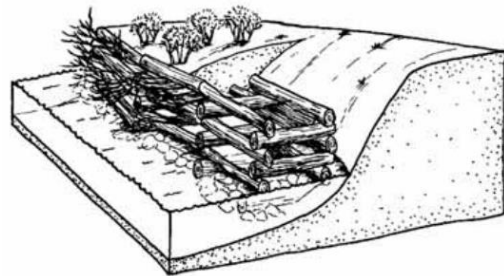
Εικόνα 1-10: Σκαρίφημα όχθης με κλαδοδέματα (Li and Eddleman, 2002)



Εικόνα 1-11: Σκαρίφημα όχθης με κατά μήκος μοσχεύματα θάμνων (Li and Eddleman, 2002)



Εικόνα 1-12: Σκαρίφημα όχθης με γεωπλέγματα με φύτευση (Li and Eddleman, 2002)



Εικόνα 1-13: Σκαρίφημα όχθης με ξύλινο τοίχο αντιστήριξης με αλληλοσυνδεδεμένους κορμούς και επίχωση με φύτευση (Li and Eddleman, 2002)



Εικόνα 1-14: Λιθορριπή με φύτευση 5 χρόνια μετά την εγκατάσταση στον ποταμό Columbia (Terra Erosion Ltd., 2010a)

Τέλος παρατίθενται επιτυχημένες περιπτώσεις εφαρμογής στην ιστοσελίδα [terraerosion.com](http://terraerosion.com) (Terra Erosion Ltd., 2010b).

#### 1.4.2.3 Μηχανισμοί αστοχίας λιθορριπής

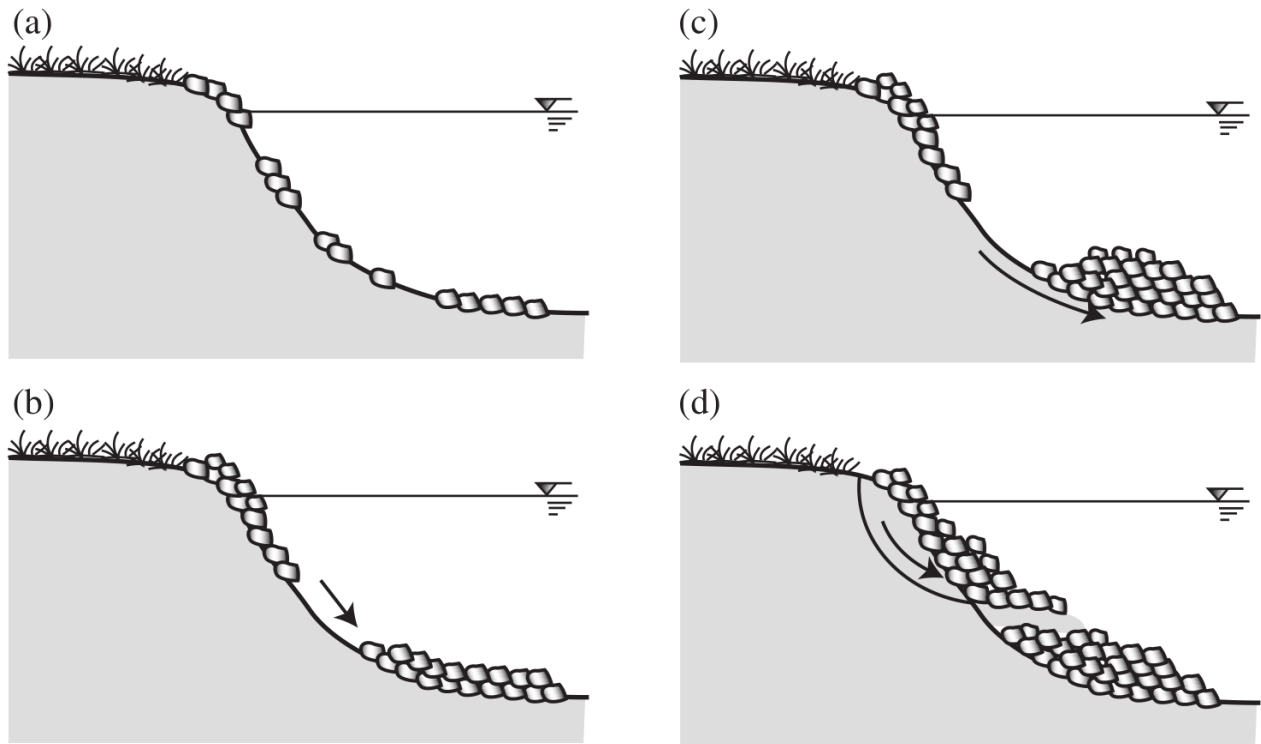
Δεδομένης της επιλογής της λιθορριπής με φύτευση παρακάτω κρίθηκε σκόπιμη η σύντομη παρουσίαση των μηχανισμών αστοχίας της. Οι αστοχίες στο σώμα της λιθορριπής οφείλονται εκδηλώνονται με τους εξής μηχανισμούς (Julien, 2018):

- Διάβρωση κόκκων (particle erosion): Οφείλεται στη ροή του νερού και αποτελούν τη πιο συχνή αστοχία. Μπορούν να προκληθούν από δινορεύματα, τοπικές επιταχύνσεις ροής, απόξεση, ψύξη/απόψυξη και διάβρωση ποδός. Σχεδιαστικά οφείλονται στο μέγεθος των λίθων, στην κλίση της λιθορριπής, στην αφαίρεση από κρούσεις με φερτά υλικά και στη διαβάθμιση του υλικού.
- Ολίσθηση (slide): Οφείλεται στη μετακίνηση του κατώτερου τμήματος της λιθορριπής. Τα πρώτα δείγματα της αστοχίας είναι επιμήκεις ρωγμές κατά μήκος της κοίτης. Προκαλούνται από την υποσκαφή του ποδός λόγω διάβρωσης του πυθμένα.

Σχεδιαστικά οφείλονται στην κλίση της λιθορριπής, στην πίεση πόρων και στη μη επαρκή αντιδιαβρωτική προστασία της βάσης της λιθορριπής.

➤ Κατάπτωση μέρους της λιθορριπής (slump): Πρόκειται για τη μαζική μετακίνηση υλικού μέσα στο σώμα της λιθορριπής. Οφείλεται σε απότομες κλίσεις και ανεπαρκή προστασία ποδός.

➤ Ολίσθηση πρανούς (sideslope failure): Πρόκειται για περιστροφική ολίσθηση του πρανούς της όχθης, λόγω υπέρβασης της διατμητικής του υλικού στο οποίο εγκαθίσταται η λιθορριπή. Οι κυριότερες αιτίες είναι η μεγάλη πίεση πόρων και οι μεγάλες κλίσεις. Η λιθορριπή δεν προτείνεται να χρησιμοποιείται σε πρανή με κλίση μεγαλύτερη από 1 ορ. : 1,5 καθ.



Εικόνα 1-15: Μηχανισμοί αστοχίας λιθορριπής: (a) διάβρωση κόκκων, (b) ολίσθηση, (c) κατάπτωση και (d) ολίσθηση πρανούς (Julien, 2018)

## **2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ**

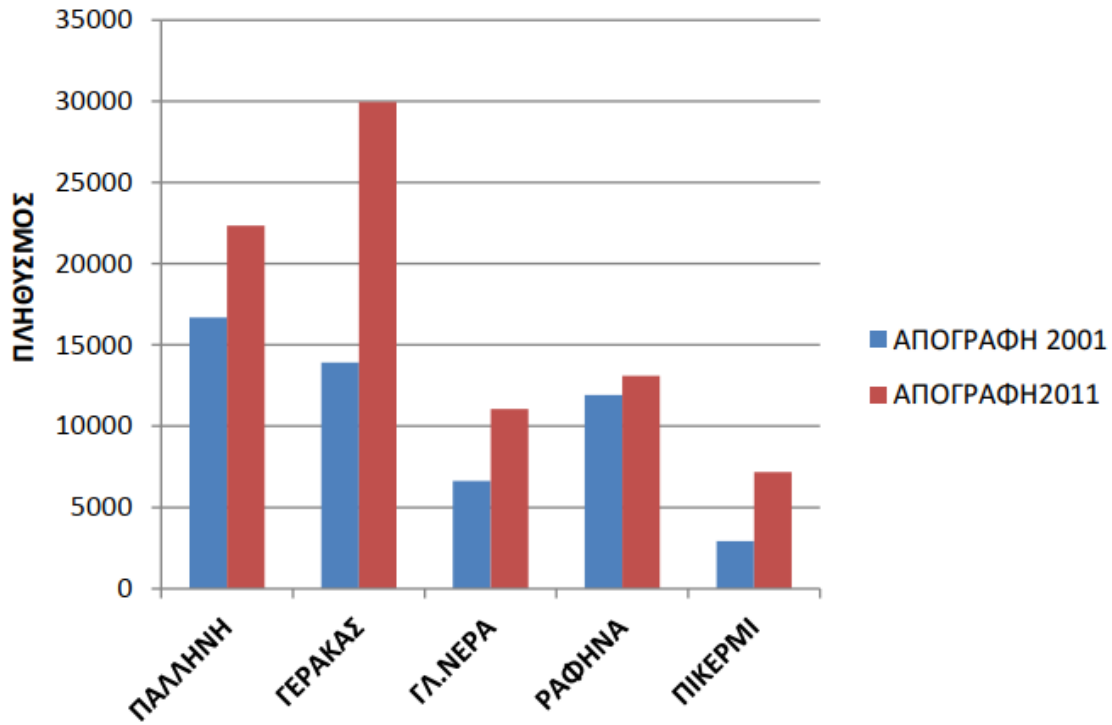
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια συνολική παρουσίαση της περιοχής μελέτης του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας. Αρχικά γίνεται μια σύντομη περιγραφή της γεωγραφικής θέσης, των δημογραφικών στοιχείων, των χρήσεων γης, της χλωρίδας και της πανίδας της περιοχής και τέλος παρουσιάζονται αναλυτικά η μορφολογία τα γεωλογικά και τα υδρογεωλογικά στοιχεία.

### **2.1 Γεωγραφικά στοιχεία - Δημογραφικά στοιχεία - Χρήσεις γης**

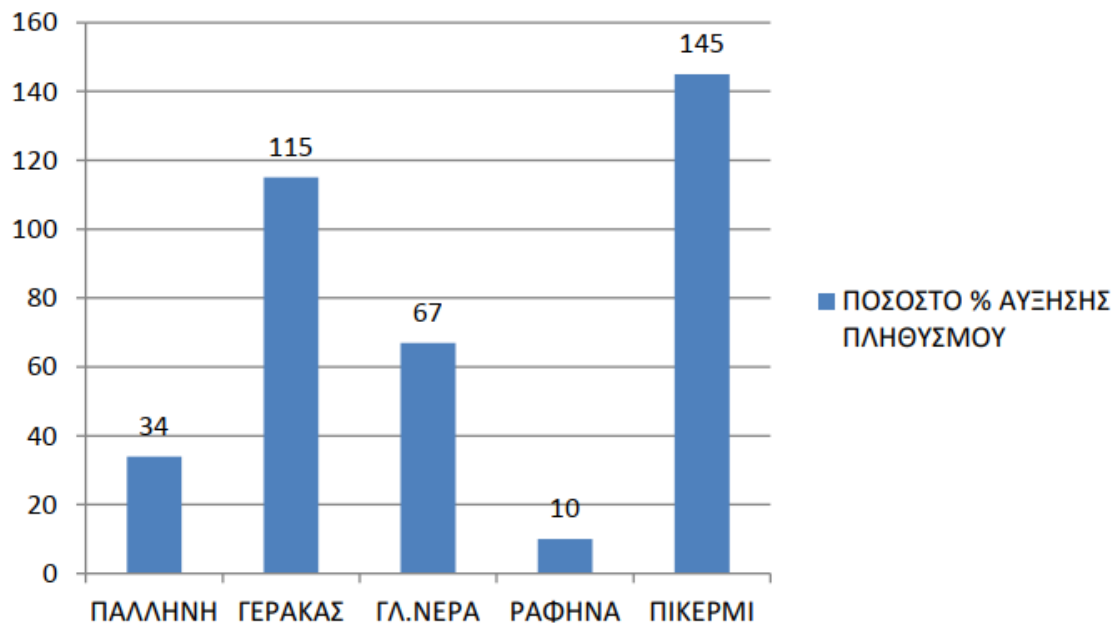
Η περιοχή έρευνας της παρούσας εργασίας είναι η λεκάνη απορροής του Μεγάλου Ρέματος της Ραφήνας. Εντάσσεται στο βόρειο κομμάτι της πεδιάδας των Μεσογείων στην ανατολική Αττική, και οριοθετείται από τις ανατολικές παρυφές του Υμηττού στα δυτικά, την Πεντέλη στα βόρεια, τον δήμο Σπάτων στα νότια και την πόλη της Ραφήνας στα ανατολικά. Περιλαμβάνει τους δήμους Παλλήνης, Γέρακα, Παιανίας, Γλυκών Νερών, Σπάτων, Πικερμίου και Ραφήνας. Μετά την εφαρμογή του σχεδίου «Καλλικράτης», οι δήμοι Παλλήνης και Γέρακα ενοποιήθηκαν στον δήμο Παλλήνης, οι δήμοι Παιανίας και Γλυκών Νερών στον δήμο Παιανίας, οι δήμοι Ραφήνας και Πικερμίου στον δήμο Ραφήνας-Πικερμίου και οι δήμοι Σπάτων και Αρτέμιδος στον δήμο Σπάτων-Αρτέμιδος (Αγόρογλου, 2017).

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ. από την απογραφή του 2011 ο μόνιμος πληθυσμός εντός της λεκάνης είναι 88.908, θεωρείται ότι ο παραπάνω πληθυσμός είναι το ελάχιστο γιατί μεγάλος αριθμός των μόνιμων κατοίκων δεν είναι δημότες των αντίστοιχων δήμων. Παρατηρείται αύξηση του πληθυσμού κατά 32.381 κάτοικους εντός της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης του πληθυσμού στην δεκαετία 2001-2011 είναι 3.238 νέοι κάτοικοι (Ανδρέου, 2015)(Διάγραμμα 2-1, Διάγραμμα 2-2).

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ



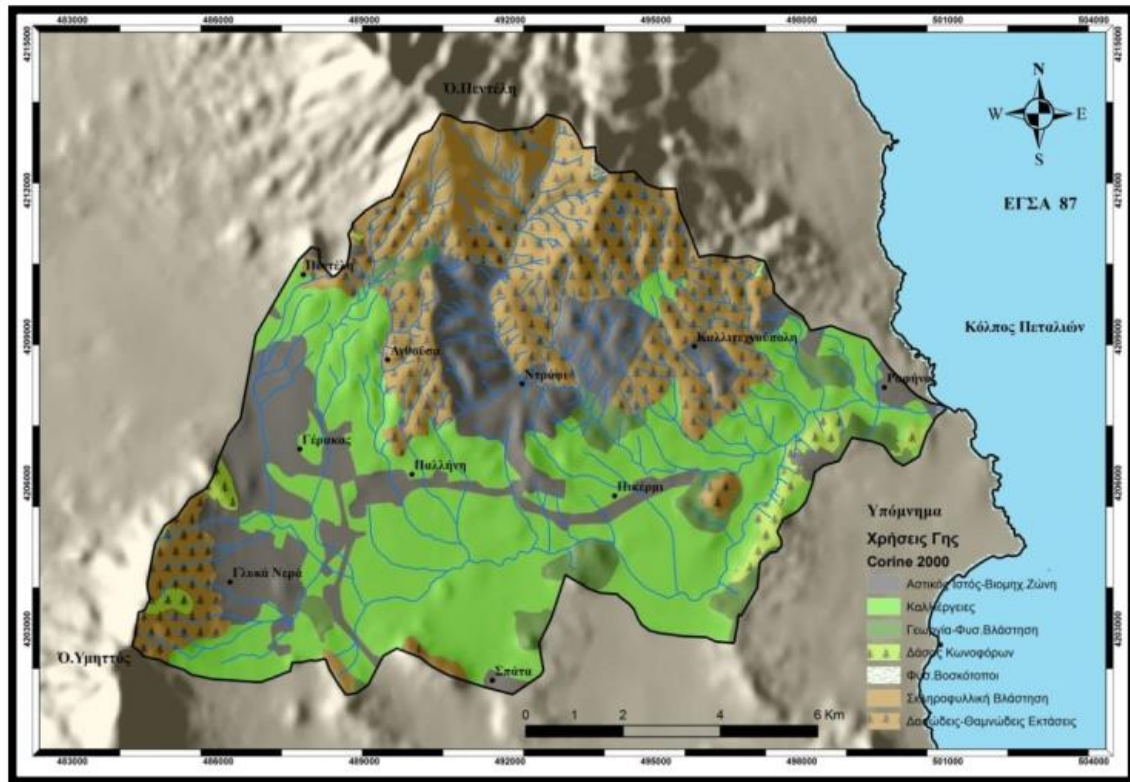
Διάγραμμα 2-1: Απογραφές πληθυσμού 2001, 2011 Δήμων εντός της Λεκάνης Απορροής Μ. Ρέματος από ΕΛΣΤΑΤ (Ανδρέου, 2015).



Διάγραμμα 2-2: Ποσοστό % Αύξησης πληθυσμού κατά το χρονικό διάστημα 2001-2011 (Ανδρέου, 2015).



Η λεκάνη απορροής του Μεγάλου Ρέματος παρουσιάζει τα τελευταία τριάντα χρόνια μεγάλους ρυθμούς αστικοποίησης, πρόκειται για την εντονότερα αστικοποιημένη λεκάνη της Α. Αττικής. Οι χρήσεις γης έχουν μετατραπεί από καλλιεργήσιμες, δάση και βοσκότοπους σε αστικό και μικτό αστικό ιστό (Ανδρέου, 2015)(Εικόνα 2-1).



Εικόνα 2-1: Χάρτης χρήσεων γης στην ευρύτερη περιοχή του μεγάλου ρέματος Ραφήνας (Ανδρέου, 2015).

## 2.2 Χλωρίδα - Πανίδα περιοχής μελέτης

Η ιδιαίτερη αξία του Μεγάλου Ρέματος έγκειται στο γεγονός ότι είναι ένα από τα ελάχιστα εναπομείναντα ρέματα της Αττικής με φυσικά χαρακτηριστικό στο μεγαλύτερο μήκος του.

Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από την συνύπαρξη φυσικών και ανθρωπογενών (αγροτικών) συστημάτων. Παρά τις έντονες πιέσεις, διατηρείται ένα ικανοποιητικό επίπεδο βιοποικιλότητας, το οποίο υποστηρίζεται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία των ποτάμιων συστημάτων. Η αναγνώριση της οικολογικής αξίας συνετέλεσε, όπως προαναφέρθηκε, στον χαρακτηρισμό του Ρέματος «ως διατηρητέου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος» (Γσούτσου, 2015).

Όσον αφορά τη βλάστηση είναι ευνόητο ότι διατήρηση φυσικών φυτοκοινωνιών παρατηρείται, κατά κύριο λόγο, στους περιβάλλοντες ορεινούς όγκους (ακόμη και με είδη χαρακτηριστικά της υποβάθμισης λόγω πυρκαγιών, διάβρωσης κλπ., όπως τα φρύγανα), σε κάποιες λοφώδεις εξάρσεις και κατά μήκος των ρεμάτων (στα οποία επικρατούν τα υγρόφιλα είδη). Στα πεδινά τμήματα, επικρατούν οι γεωργικές καλλιέργειες της ελιάς, της αμπέλου για παραγωγή κρασιού, της φυστικής και των κηπευτικών (όπου υπάρχει δυνατότητα άρδευσης) (Εικόνα 2-2). Με μεγαλύτερη συχνότητα εμφανίζονται τα ακόλουθα είδη δένδρων και θάμνων: χαλέπιος πεύκη, πλάτανος, κυπαρίσσι, αγριελιά, συκιά, ελιά, σχίνος, διάφορα φρύγανα και ακανθώδη όπως η αστοιβή και η αφάνα, πουρνάρι, λυγαριά, πικροδάφνη, μυρτιά, βατομουριά, καλαμιές, φλόμος, αγράμπελη, θυμάρι, κλπ. Μεγάλη ποικιλία αγριολούλουδων, ψυχανθών και αγροστωδών συμπληρώνει την εικόνα της χλωρίδας. Γενικά έχουν καταγραφεί περισσότερα από 150 είδη φυτών (Τσούτσου, 2015) .

Ως προς την πανίδα, η έντονη ανθρώπινη παρουσία και η σταδιακή υποβάθμιση των βιοτόπων έχει συντελέσει στη μείωση των ειδών και των πληθυσμών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει, κυρίως, η ορνιθοπανίδα.. Μεταξύ των ειδών καταγράφονται κάποια μεταναστευτικά, των οποίων η παρουσία εξαρτάται άμεσα από τη διατήρηση των υγροτοπικών συστημάτων (Εικόνα 2-3). Έχουν καταγραφεί, επίσης, ορισμένα αξιολογικά είδη ερπετών και αμφίβιων (Πίνακας 2).



**Εικόνα 2-2: Άποψη του ρ. Ραφήνας. Στις όχθες διακρίνεται πυκνή βλάστηση και καλλιέργειες αμπέλου (ENVECO Α.Ε., 2016).**



**Εικόνα 2-3: Λευκοτσικνιάς στο Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας (attikanet.blogspot.com, 2019)**

Πίνακας 2: Σημαντικά είδη πανίδας που απαντώνται στα Μεσόγεια Αττικής (αμφίβια, ερπετά, θηλαστικά) και τις εκβολές του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας (πουλιά) (ENVECO A.E., 2016).

	Οικογένεια	Είδος	Παρατηρήσεις
<b>ΑΜΦΙΒΙΑ</b>	Bufo	<i>Bufo viridis</i>	
<b>ΕΡΠΕΤΑ</b>	Testudinidae	<i>Testudo marginata</i>	
	Scincidae	<i>Ablepharus kitaibelli</i>	
		<i>Chalcides ocellatus</i>	
	Lacertidae	<i>Lacerta trilineata</i>	
Colubridae	<i>Malpolon monspessulanus</i>		
<b>ΘΗΛΑΣΤΙΚΑ</b>	Canidae	<i>Vulpes vulpes</i>	
	Mustelidae	<i>Martes foina</i>	
		<i>Meles meles</i>	
		<i>Mustela nivalis</i>	
Erinaceidae	<i>Erinaceus concolor</i>		
<b>ΠΟΥΛΙΑ*</b>	Cuculidae	<i>Clamator glandarius</i>	παρατήρηση στην περιοχή Οχυρό κοντά στις εκβολές της Ραφήνας
	Accipitridae	<i>Circus aeruginosus</i>	παρατήρηση στην περιοχή Μαρίκες κατά τη φθινοπωρινή μετανάστευση
	Haematopodidae	<i>Haematopus ostralegus</i>	
	Scolopacidae	<i>Limicola falcinellus</i>	παρατήρηση κατά την φθινοπωρινή μετανάστευση
	Sternidae	<i>Sterna sandvicensis</i>	
	Laridae	<i>Larus audouinnii</i>	
		<i>Larus ridibundus</i>	
<i>Larus genei</i>			
	<i>Larus melanocephalus</i>	διαχείμανση στην περιοχή	

### 2.3 Μορφολογία περιοχής

Το Μεγάλο Ρέμα της Ραφήνας βρίσκεται στην Ανατολική Αττική. Έχει λεκάνη απορροής έκτασης 114.2 km<sup>2</sup> και μήκος κεντρικής κοίτης 25.3 km, διεύθυνση ροής στο ορεινό τμήμα από Β προς Ν ενώ στη συνέχεια ρέει από Δ-ΝΔ προς τα Α-ΒΑ εκβάλλοντας στον κόλπο Πεταλιών (Νότιος Ευβοϊκός κόλπος). Οι κυριότεροι παραπόταμοι του είναι τα ρέματα Αγ. Παρασκευής, Λυκόρεμα (Βαλανάρη) και Νέου Βουτζά που αποστραγγίζουν τις νότιες πλαγιές του Πεντελικού όρους (Καρύμπαλης, Γάκη - ΠαπαναστασίουΥ και Μαρουκιάν, 2005). Η περιοχή μελέτης εντάσσεται στην ευρύτερη περιοχή της πεδιάδας των Μεσογείων η οποία χαρακτηρίζεται από

ελαφρά κυματοειδές ανάγλυφο, που δημιουργείται από διάσπαρτες εδαφικές εξάρσεις και μικρούς λόφους. Η πεδιάδα περιβάλλεται: στα δυτικά, από το ημιορεινό ανάγλυφο με τις έντονες κατά τόπους κλίσεις της Ανατολικής πλευράς του Υμηττού, στα βόρεια από το φαρδύ αυχένα μεταξύ Υμηττού και Πεντέλης και τις νότιες παρυφές του Πεντελικού όρους, στα ανατολικά από την παράκτια ζώνη μεταξύ Ραφήνας και ακρωτηρίου Μαυρονορίου και στα νότια από τους ορεινούς όγκους του Πανείου και του Μαυροβουνίου (ENVECO A.E., 2016).

Η παράκτια ζώνη είναι λοφώδης και οριοθετεί την πεδιάδα των Μεσογείων, αφήνοντας μικρές διόδους επικοινωνίας της με τη θάλασσα μέσω χειμάρρων που ξεκινούν από το εσωτερικό της. Παρουσιάζει πολυσχιδή ακτογραμμή με διαδοχικές εγκοιλώσεις, που οφείλονται στην επικράτηση πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου με διαφορετική λιθολογική σύσταση και επομένως διάφορη διαβρωσιμότητα (ENVECO A.E., 2016).

Το τοπίο της περιοχής μελέτης διαμορφώνεται από ένα σύνολο χαρακτηριστικών στοιχείων που είναι αποτέλεσμα όχι μόνο των φυσικών παραγόντων (τοπογραφικό ανάγλυφο, νερά, βλάστηση) αλλά και της ανθρώπινης παρουσίας και των χρήσεων γης. Ο βασικότερος αισθητικός και οικολογικός παράγοντας του τοπίου είναι η βλάστηση καθώς επίσης η πανίδα και οι υδατικοί πόροι που είναι αλληλένδετοι με τη βλάστηση (ENVECO A.E., 2016).

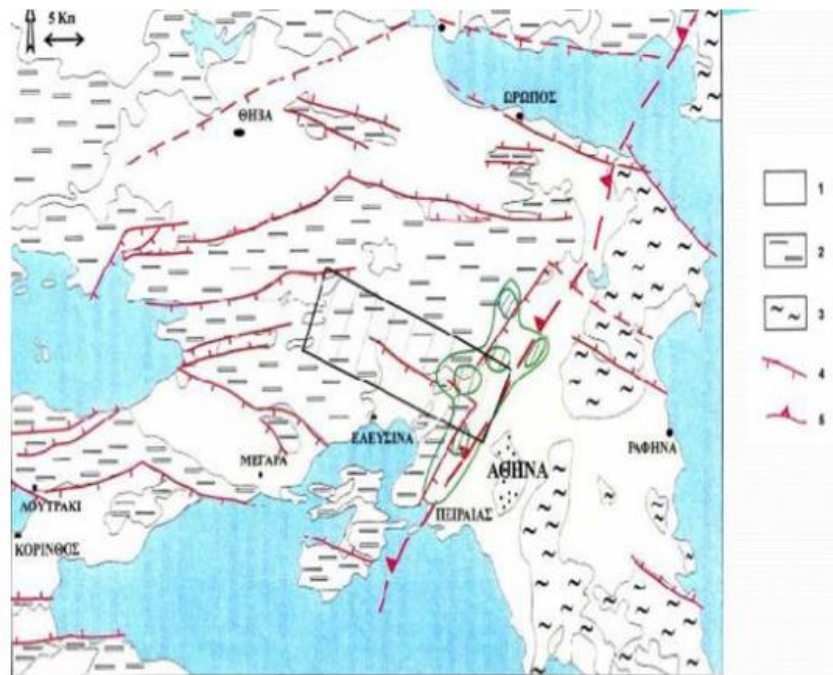
Το πεδίο της ευρύτερης περιοχής του έργου μπορεί να χωριστεί σε τοπίο πεδινού, ημιορεινού και ορεινού τμήματος. Το τοπίο της πεδινής περιοχής χαρακτηρίζεται από καλλιέργειες συνήθως εντατικές και από στοιχεία φρυγανώδους και θαμνώδους βλάστησης. Στις περιοχές των χειμάρρων, το τοπίο γίνεται πιο ενδιαφέρον λόγω της μορφολογίας της κοίτης και της παραποτάμιας βλάστησης (ENVECO A.E., 2016).

Το ημιορεινό τμήμα της ευρύτερης περιοχής είναι λοφώδες και χαρακτηρίζεται από εναλλαγή γεωργικών και δασικών εκτάσεων. Οι γεωργικές καλλιέργειες αποτελούνται κυρίως από ελιές και οπωροφόρα δέντρα αλλά και δασικά τμήματα. Οι δασικές εκτάσεις αποτελούνται από φρυγανώδη και θαμνώδη βλάστηση με διάσπαρτα δέντρα και πευκώνες. Τόσο οι γεωργικές όσο και οι δασικές εκτάσεις προσδίδουν ένα ευχάριστο χρώμα και υφή στο τοπίο, που ευνοείται από τη λοφώδη μορφολογία. Δυστυχώς μεγάλο τμήμα των δασικών εκτάσεων έχει υποβαθμιστεί σημαντικά από μεγάλες πυρκαγιές, οι πιο πρόσφατες των οποίων έλαβαν χώρα το 2005 και το 2009 (ENVECO A.E., 2016).

Η πόλη της Ραφήνας, από την οποία περνάει το κατάντη τμήμα του Ρέματος Ραφήνας, εκτείνεται κυρίως γύρω από τις ακτές ενός φυσικού όρμου (Λιμάνι Ραφήνας). Στην περιοχή του υφιστάμενου λιμένα υψώνεται χαμηλός λόφος με σχετικά πυκνή δόμηση. Η μορφολογία των ακτών και για μήκος παραλίας 6 km είναι έντονα κολπώδης και σχηματίζονται αρκετοί φυσικοί ορμίσκοι και λιμάνια. Η περιοχή είναι κυρίως πεδινή με αρκετούς μικρούς λόφους. Στα βόρεια-βορειοδυτικά υψώνεται το όρος Πεντέλη. Το ανάγλυφο του τμήματος του Δήμου που βρίσκεται δυτικά της Λεωφόρου Αθηνών-Μαραθώνα είναι ήπιο και αποτελείται από ομαλές πλαγιές που αυλακώνονται από ρέματα με γενική κατεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, προς το ρέμα της Ραφήνας (ENVECO A.E., 2016).

## **2.4 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής μελέτης, Αττικής**

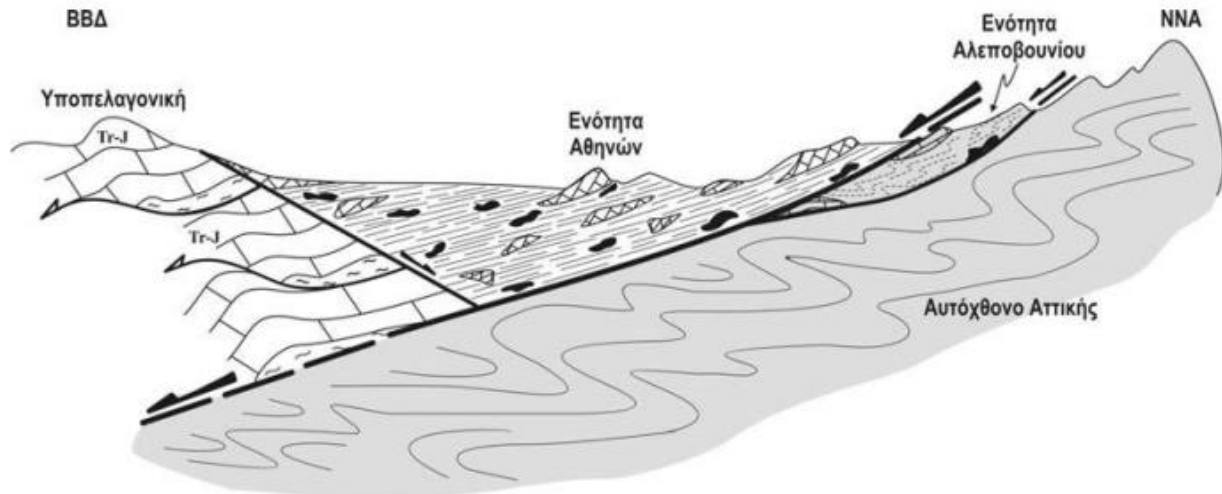
Το Λεκανοπέδιο των Αθηνών βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της Αττικής, και έχει μήκος 22km από ΒΑ προς τα ΝΔ και πλάτος 11km εγκαρσίως. Αποτελείται από ένα μεγάλο βύθισμα ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνσης. Ανατολικά και βορειοανατολικά οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Υμηττού και της Πεντέλης, ενώ δυτικά και βόρεια οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Αιγάλεω, του Ποικίλου Όρους και της Πάρνηθας. Εντός του Λεκανοπεδίου εμφανίζεται επίσης ανάπτυξη μιας σειράς λόφων (Τουρκοβούνια, Λυκαβηττός, Στρέφη, Ακρόπολη, Φιλοπάππου, Ζωοδόχος πηγή) (Λουπασάκης, 2014). Το λεκανοπέδιο απαρτίζεται από τους αλπικούς και τους μεταλπικούς σχηματισμούς. Οι αλπικοί σχηματισμοί εμφανίζονται στους ορεινούς όγκους γύρω από το λεκανοπέδιο, καθώς και στους μικρούς λόφους εντός αυτού. Οι μεταλπικοί δομούν το εσωτερικό του λεκανοπεδίου, καλύπτοντας ασύμφωνα τους υποκείμενους αλπικούς σχηματισμούς (Εικόνα 2-4).



Εικόνα 2-4: Γεωλογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής της Αττικής. ( 1) μεταλλικοί σχηματισμοί Μεσοκαινικής- Ολοκαινικής ηλικίας, 2) Μη μεταμορφωμένοι αλπικοί σχηματισμοί, 3) Μεταμορφωμένοι αλπικοί σχηματισμοί, 4) κύρια ρήγματα, 5) Μεγάλης κλίμακας τεκτονική επαφή-αποκόλληση (Παπανικολάου et al, 2002)

#### 2.4.1 Αλπικοί Σχηματισμοί

Μια μεγάλη τεκτονική ζώνη (αποκόλληση- detachment) οριοθετεί δύο ενότητες πετρωμάτων στο λεκανοπέδιο. Η μια ενότητα αποτελεί την ενότητα του μεταμορφωμένου αυτόχθονου συστήματος της Αττικής, στην οποία ανήκουν τα πετρώματα ανατολικά της τεκτονικής ζώνης, ενώ η άλλη ενότητα αποτελεί την αλλόθρονη ενότητα της Υποπελαγονικής, στην οποία ανήκουν τα πετρώματα που βρίσκονται δυτικά της τεκτονικής ζώνης. Στο κεντρικό και δυτικό τμήμα του λεκανοπεδίου, υπερκείμενο τεκτονικά στην Υποπελαγονική Ενότητα, καθώς και ανατολικά στο αυτόχθονο Αττικής εμφανίζονται οι ενότητες Αθηνών και Αλεποβουνίου (Λουπασάκης, 2014)(Εικόνα 2-5).



Εικόνα 2-5: Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής των αλπικών σχηματισμών του Λεκανοπεδίου Αθηνών (Παπανικολάου, Λόζιος, *et al.*, 2004).

#### 2.4.1.1 Αυτόχθονη Ενότητα Αττικής

Η Αυτόχθονη Ενότητα Αλμυροποτάμου-Αττικής, αναπτύσσεται στην Α-ΒΑ αττική και εμφανίζεται στους ορεινούς όγκους Πεντέλης-Υμηττού καθώς και στα υπόλοιπα ανατολικότερα όρη. Σύμφωνα με τους (Παπανικολάου, Μπάση, *et al.*, 2004), η συγκεκριμένη ενότητα περιλαμβάνει και τις παρακάτω επιμέρους ενότητες:

- Τη μεταμορφωμένη ενότητα Βάρης με εν μέρει Τριαδική ηλικία, που περιλαμβάνει σχιστόλιθους και μεταβασικά πετρώματα στη βάση, που περνούν σε μια παχιά ακολουθία από δολομιτικά μάρμαρα. Εμφανίζει πολύπλοκη δομή με ισοκλινείς πτυχές και εσωτερικές ολισθήσεις.
- Την υπερκείμενη μεταμορφωμένη ενότητα Υμηττού με εν μέρει τριαδικο-ιουρασική ηλικία. Περιλαμβάνει μια ακολουθία από μάρμαρα και δολομίτες που εμφανίζονται πτυχωμένα οσικλινώς, η οποία περνάει σε σχιστόλιθους και εμφανίζει πτυχές χιλιομετρικής κλίμακας που δημιουργούν επαναλήψεις των ίδιων οριζόντων.
- Τη μεταμορφωμένη ενότητα Πεντέλης, η οποία ανήκει στις εξωτερικές ελληνίδες, και περιλαμβάνει μια μετα-ηφαιστειοϊζηματογενή ακολουθία στη βάση, που με μετάβαση περνάει σε μια παχιά ακολουθία μαρμάρων.

#### 2.4.1.2 Αλλόχθονη ενότητα Υποπελαγονικής

Η Αλλόχθονη ενότητα της Υποπελαγονικής περιλαμβάνει μη μεταμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα, και αναπτύσσεται στη ΒΔ Αττική, δομώντας τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας,

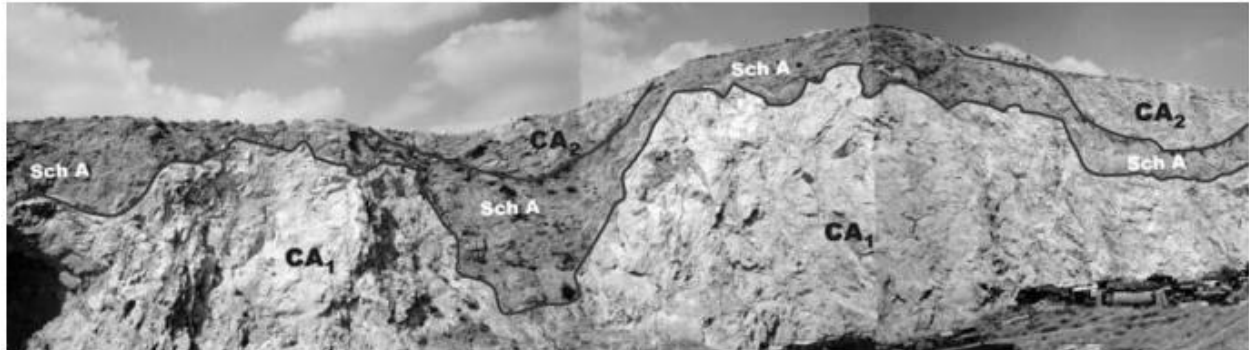


του Ποικίλου Όρους και του Αιγάλεω. Στη βάση της ενότητας εμφανίζεται ένα ηφαιστειοϊζηματογενές σύμπλεγμα, αποτελούμενο από εναλλαγές τεφροπράσινων και φαιών αργιλικών σχιστών, πηλιτών, ψαμμιτών, χαλαζιών, κροκαλοπαγών, τόφφων και τοφφιτών, εντός των οποίων βρίσκονται και ασβεστόλιθοι, αρκόζες και γραουβάκες, καθώς και τεμάχη λαβών. Κατά κύριο λόγο η ενότητα αποτελείται από λευκούς, τεφρόλευκους και κατά θέσεις ροδόχρους ασβεστολίθους και δολομιτικούς ασβεστολίθους νηρητικής φάσεως. Αυτοί εμφανίζονται συνήθως κατακερματισμένοι, αναπτύσσοντας πυκνές διακλάσεις και δευτερογενές πορώδες, ενώ έχουν πάχος μερικών εκατοντάδων μέτρων (Λουπασάκης, 2014).

#### 2.4.1.3 Ενότητα Αθηνών

Η ενότητα των Αθηνών αποτελείται από σχηματισμούς που δομούν το μεγαλύτερο μέρος του Λεκανοπεδίου. Κατά μήκος της δυτικής παρυφής του, οι εμφανίσεις της ενότητας σχηματίζουν μια επιμήκη ζώνη, που αποτελείται από τους πρόβουνους του όρους Αιγάλεω και του Ποικίλου όρους. Το βορειότερο σημείο στο οποίο εμφανίζεται, βρίσκεται στα όρια των Δήμων Άνω Λιοσίων και Αχαρνών, ενώ το νοτιότερο στην περιοχή μεταξύ Νίκαιας και Κερατσινίου. Κεντρικά, εμφανίζονται στους λόφους εντός του κέντρου της πρωτεύουσας με διεύθυνση ΒΝ (Παπανικολάου et al, 2004). Από λιθολογική άποψη, η ενότητα χωρίζεται σε δύο υποενότητες:

- Η πρώτη υποενότητα περιλαμβάνει λευκούς-γκριζωπούς, συμπαγείς, άστρωτους-παχυστρωματώδεις νηρητικούς ασβεστόλιθους, κατά θέσεις δολομιτικούς, που τοποθετούνται ηλικιακά στο Σενώνιο. Στους ανατολικούς πρόποδες του Ποικίλου οι ανατώτεροι νηρητικοί ασβεστόλιθοι εμφανίζονται πιο καστανόχρωμοι (Εικόνα 2-6).
- Η δεύτερη υποενότητα είναι γνωστή ως «σχιστόλιθοι των Αθηνών» (Μαρίνος et al, 1971). Περιλαμβάνει αμεταμόρφωτα κλαστικά ιζήματα όπως ψαμμίτες, άργιλοι, ψαμμούχες μάργες και γραουβάκες, τοφφικά ηφαιστειοκλαστικά ιζήματα, πηλίτες και αργιλικούς σχιστούς αλλά και πλακώδεις μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, που κατά θέσεις περιέχουν πυριτικές ενδιαστρώσεις και κονδύλους πυριτόλιθων.



Εικόνα 2-6: Παλιά λατομεία Κηπούπολης-Ασπρων Χωμάτων. Φαίνεται η εσωτερική δομή της ενότητας Αθηνών, με συνήπαρξη πελαγικών σχιστών, ψαμμιτών και νηρητικών ασβεστολίθων του Άνω κρητιδικού (CA1: ανοιχτόχρωμοι, CA2: σκουρόχρωμοι) (Παπανικολάου, Λόζιος, *et al.*, 2004).

#### 2.4.1.4 Ενότητα Αλεποβουνίου

Η ενότητα του Αλεποβουνίου εμφανίζεται στους δυτικούς πρόποδες του Υμηττού, και παρεμβάλλεται μεταξύ των υποκείμενων μεταμορφωμένων σχηματισμών της αυτόχθονης ενότητας Αττικής και των υπερκείμενων σχηματισμών της ενότητας Αθηνών. Αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα τα οποία δομούν μια σειρά λόφων (Τσακός, Λιθάρι, Αλοβούνι, Κουταλάδες, Ζωοδόχος Πηγή, Κοπανάς κα). Οι λόφοι αυτοί αναπτύσσονται σαν πρόβουνοι του Υμηττού, από την περιοχή του αυχένα του προς την οροσειρά της Πεντέλης, έως την περιοχή της Αργυρούπολης. Επιπλέον, καλύπτεται ασύμφωνα από μεταλλικές αποθέσεις σε ένα μεγάλο μέρος του (Παπανικολάου *et al*, 2004). Η ενότητα Αλεποβουνίου χωρίζεται και αυτή σε δύο υποενότητες:

- Η πρώτη υποενότητα αποτελείται από συμπαγείς κρυσταλλικούς ασβεστολίθους, λευκούς έως ερυθρίζοντες, άστρωτους έως παχυστρωματώδεις, με Τριαδική ηλικία.
- Η δεύτερη ενότητα περιλαμβάνει μεταμορφωμένα έως ημιμεταμορφωμένα ψαμμιτικά, σχιστομαργαϊκά στρώματα και έντονα πτυχωμένους και σχιστοποιημένους φυλλίτες. Εντός αυτών εμφανίζονται τεφροί ή καστανοί, πλακώδεις ασβεστόλιθοι, και πλακώδεις ερυθροί ή κιτρινωποί μικροκοκκώδεις χαλαζίτες (Παπανικολάου *et al*, 2004) (Εικόνα 2-7).



Εικόνα 2-7: Σχιστοποιημένα υπερβασικά πετρώματα ενότητας Αλεποβουνίου στο λόφο Λιθάρι (Παπανικολάου *et al.*, 2004).:

#### 2.4.2 Μεταλικοί Σχηματισμοί

Οι μεταλικοί σχηματισμοί διακρίνονται σε Νεογενείς σχηματισμούς και Τεταρτογενής αποθέσεις.

Οι Νεογενείς σχηματισμοί χωρίζονται σε:

- θαλάσσιους, που περιλαμβάνουν αμιγώς θαλάσσιες, παράκτιες και παράλιες φάσεις που εντοπίζονται στο Νότιο Λεκανοπέδιο Αθηνών. Αποτελούνται από Πλειοκαινικούς (μάργες, ψαμμίτες, μαργαϊκοί ψαμμίτες, λατυποπαγή, ασβεστόλιθοι) και Άνω μειοκαινικούς σχηματισμούς (άργιλοι, ιλύες, αμμούχες μάργες, λατυποπαγή)
- Ηπειρωτικούς, που περιλαμβάνουν λιμναίες έως λιμνοχερσαίες αποθέσεις που εντοπίζονται στο βόρειο Λεκανοπέδιο. Αποτελούνται από Πλειοκαινικούς (άμμοι, άργιλοι) και Άνω Μειοκαινικούς (μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, αμμούχες μάργες, μάργες, ερυθρές άργιλοι, λατυποπαγή) σχηματισμούς.

Οι Τεταρτογενείς αποθέσεις επικάθονται επί των προηγούμενων σχηματισμών. Αυτές περιλαμβάνουν φερτά υλικά των ποταμών του λεκανοπεδίου, παράκτιες αποθέσεις, ποτάμιες αναβαθμίδες, πλευρικές αποθέσεις κορημάτων, και τα ριπίδια και τους κώνους κορημάτων των περιφερειακών ορεινών όγκων (Λουπασάκης, 2014).

## 2.5 Γεωλογικές συνθήκες στενής περιοχής μελέτης

Οι σχηματισμοί που δομούν το αλπικό υπόβαθρο στη περιοχή του εξεταζόμενου έργου, ανήκουν στην αυτόχθονη ενότητα Αλμυροπόταμου - Αττικής.

Ασύμφωνα στους ανωτέρω, τοποθετούνται πρόσφατοι μεταλλικοί σχηματισμοί του Νεογενούς κα. Τεταρτογενούς, οι οποίοι αποτελούν κυρίως μεγάλης έκτασης και πάχους ηπειρωτικές και θαλάσσιες αποθέσεις.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που αναπτύσσονται στην περιοχή μελέτης, είναι αναλυτικά οι παρακάτω, από τους αρχαιότερους προς τους νεότερους (Περλέρος, 2016).

### 2.5.1 Αλπικοί σχηματισμοί

#### 2.5.1.1 Ενότητα Αλμυροπόταμου - Αττικής (Μεσοζωικό)

- Μάρμαρα (mr): Αδροκρυσταλλικά, μεσοστρωματώδη έως παχυστρωματώδη ή και άστρωτα τοπικά μάρμαρα, τεφρού έως μελανότεφρου χρώματος. Κατά θέσεις παρουσιάζονται αγκεριτωμένα, μέτρια καρστικοποιημένα και δολομιτικά, ενώ συχνά περικλείουν βολβούς και διαστρώσεις πυριτολίθων.

Συναντώνται στο Βόρειο τμήμα του λόφου Οχυρού στη Ραφήνα, στο λόφο Έτος, και βορειότερα στο Πεντελικό όρος και στα δυτικά στον Υμηττό στην περιοχή των Γλυκών Νερών.

- Σχιστόλιθοι (sch): Πρόκειται κυρίως για μοσχοβιτικούς, επιδοτικούς χλωριτικούς και ανθρακικούς σχιστολίθους υποπράσινου έως τεφροπράσινου χρώματος που συναντώνται στις νότιες απολήξεις του Πεντελικού όρους και δυτικά στον Υμηττό.

### 2.5.2 Μεταλλικοί Σχηματισμοί

#### 2.5.2.1 Νεογενές (Ανώτερο Μειόκαινο — Ανώτερο Πλειόκαινο)

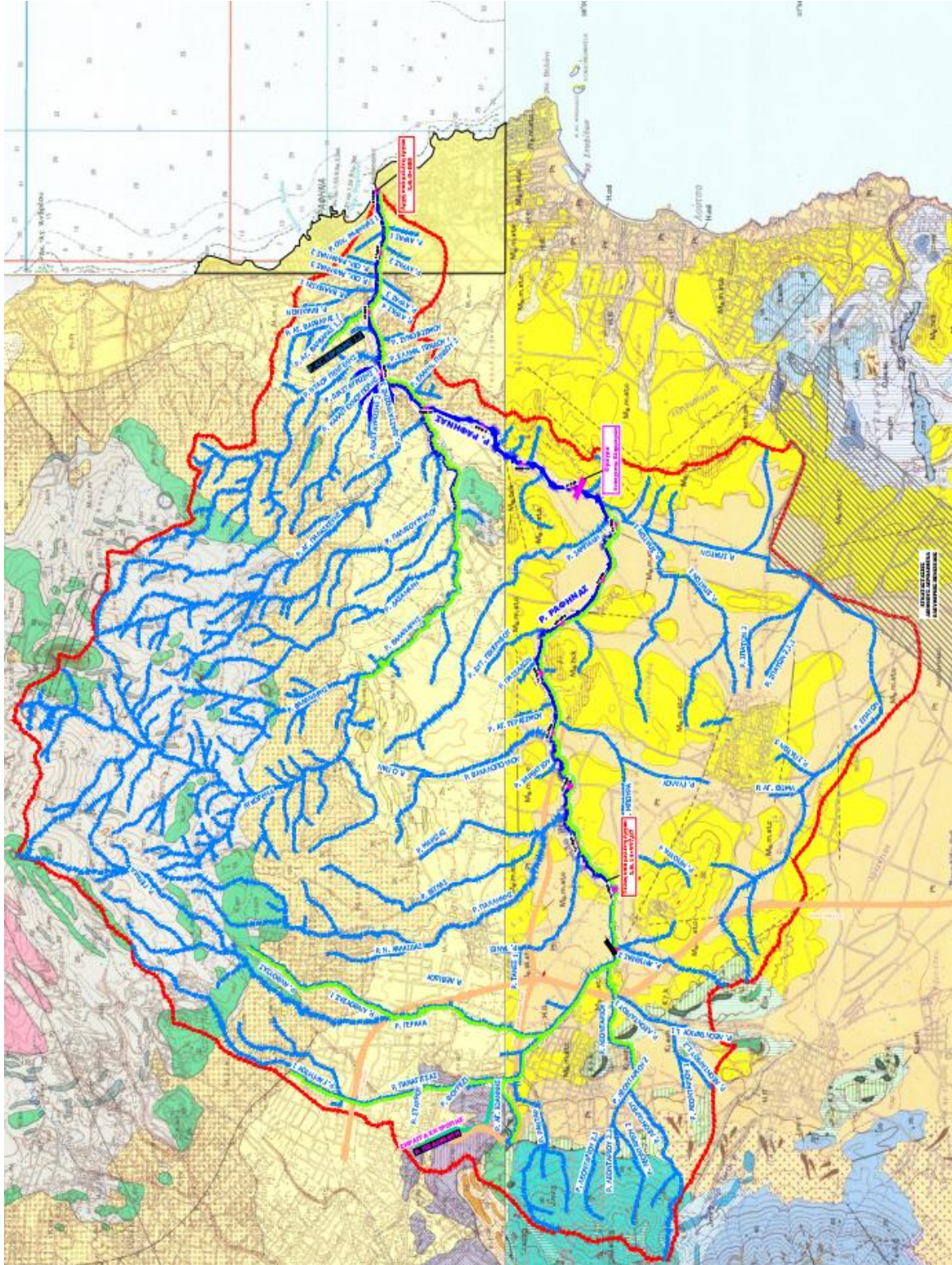
- Ηπειρωτικές και Θαλάσσιες αποθέσεις. Αποτελούν ηπειρωτικές, κυρίως: λιμναίες ποταμοχερσαίες και λιγότερο θαλάσσιες αποθέσεις. Πρόκειται για εναλλαγές οριζόντων ψαμμιτικών μαργών, ψαμμιτών, συνεκτικών λατυπο-κροκαλοπαγών και ψαμμούχων μαργαϊκών ασβεστολίθων, με συχνές παρεμβολές ερυθροπηλών στα ανώτερα κυρίως μέλη. Ανάλογα με την επικρατούσα λιθολογία, διακρίνονται σε:

- Ψαμμιτικές μάργες : Στο δυτικό, κεντρικό και μέρος του ανατολικού τμήματος της περιοχή μελέτης είναι σχηματισμοί λιμναίας και ποταμοχερσαίας φάσης, αποτελώντας τμήμα της λεκάνης των Μεσογείων καθώς και της προς ανατολάς προέκτασης των λιμναίων σχηματισμών της περιοχής Καλογρέζας. Στο υπόλοιπο τμήμα, προς ανατολάς, είναι σχηματισμοί θαλάσσιας φάσης. Πρόκειται κυρίως για μετρίως ασθενείς ψαμμιτικές μάργες καστανού έως γκριζοκάστανου χρώματος, και για μάργες αμιγείς ή αμμώδεις ο οποίες περιλαμβάνουν αργίλους, καστανέρυθρους πηλούς (εντός των οποίων βρέθηκε η πικερμική πανίδα) και ενδιαστρώσεις ψαμμιτών, λατυπο-κροκαλοπαγών και μαργαϊκών-τραβερτινοειδών ασβεστολίθων. Οι ψαμμίτες παρουσιάζονται μέτρια έως αρκετά διαγεννημένοι, ενώ τα κροκαλο-λατυποπαγή είναι κατά κανόνα μέτρια έως ασθενώς διαγεννημένα και πολύμικτα, αποτελούμενα από ποικιλόμορφες λατύπες κυρίως μαρμάρων και λιγότερο σχιστολίθων του αλπικού υποβάθρου. Η συνδετική ύλη των λατυπο-κροκαλοπαγών είναι κυρίως ασβεστιτική και μόνο τοπικά αργιλική. Τα βαθύτερα μέλη του σχηματισμού των μαργών στην περιοχή της Ραφήνας εγκλείουν λιγνιτικά κοιτάσματα, τα οποία παλαιότερα έτυχαν : εκτεταμένης εκμετάλλευσης. Ο σχηματισμός, παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, όπου αποτελεί το σχετικό υπόβαθρο του έργου και το πάχος του αναφέρεται βιβλιογραφικά της τάξης των 150 μέτρων περίπου ή και περισσότερο.
- Μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι: Συχνά πλακώδεις και κατά θέσεις τραβερτινοειδείς μικρής έως μέσης αντοχής, υπόλευκου έως υποκίτρινου χρώματος. Το πάχος τους εκτιμάται ότι είναι τη τάξης των 5 μέτρων περίπου.
- Μαργαϊκά κροκαλοπαγή : Ασθενή, πολύμικτα μαργαϊκά κροκαλοπαγή έως αργιλοϊλυώδεις ορίζοντες με κροκάλες, : καστανοκίτρινου έως γκριζοκίτρινου χρώματος, με ενστρώσεις ψαμμιτικών μαργών κατά θέσεις. Το πάχος τους εκτιμάται ότι είναι της τάξης των 5 έως 19 μέτρων περίπου.
- Λατυποκροκαλοπαγή : Συνεκτικά, ισχυρά συγκολλημένα πολύμικτα λατυπο-κροκαλοπαγή γκρίζου χρώματος με ενστρώσεις ψαμμιτικών μαργών κατά θέσει. Προέρχονται κυρίως από τα μάρμαρα και λιγότερο από τους σχιστολίθους του υποβάθρου. Κατά θέσεις παρουσιάζουν καρστικοποίηση. Το πάχος τους εκτιμάται ότι είναι της τάξης των 10 έως 15 μέτρων περίπου.

### 2.5.2.2 Τεταρτογενές

- Πλευρικά κορήματα : Πρόκειται κυρίως για χαλαρό και κατά θέσεις ημισυνεκτικό σχηματισμό αργιλοχαλικόδους σύστασης μικρού κατά κανόνα πάχους, κυμαινόμενου μεταξύ 0,5 και 2,0 m περίπου και καστανού έως γκριζοκάστανου χρώματος. Προέρχονται κυρίως από τη διάβρωση των μαρμάρων και των σχιστολίθων του αλπικού υποβάθρου.
- Αποθέσεις κοίτης : Είναι σύγχρονες, ασύνδετες αποθέσεις γκριζου έως γκριζόλευκου χρώματος, οι οποίες αναπτύσσονται στις κοίτες των ρεμάτων και των χειμάρρων. Προέρχονται από την αποσάθρωση και μεταφορά των περιβαλλόντων πετρωμάτων και αποτελούνται κυρίως από άμμους, κροκάλες, ψηφίδες, χάλικες καθώς και από αργιλοϊλίες με ποικίλη διαβάθμιση και προέλευση, η οποία συνδέεται άμεσα με τη σύσταση των περιβαλλουσών πετρολογικών μονάδων καθώς και του υποβάθρου (μάρμαρα, σχιστόλιθοι, νεογενή). Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται μεταξύ 2,0 και 3,0 m περίπου.
- Αποθέσεις αναβαθμίδας : Είναι σχηματισμός χαλαρής δομής, καστανού χρώματος, αποτελούμενος από καλά αποστρογγυλεμένες κροκάλες (κυρίως εκ μαρμάρων και λιγότερο εκ σχιστολίθων και νεογενών), καθώς και από αργιλοϊλίες ποικίλης διαβάθμισης και προέλευσης. Αναπτύσσεται με μικρή επιφανειακή εξάπλωση σε τμήμα περί την ευρεία κοίτη του ρέματος Ραφήνας και είναι κυμαινόμενου πάχους μεταξύ 4,0 και 8,0 m περίπου.
- Αλλουβιακές αποθέσεις- : Είναι σύγχρονες, χαλαρής δομής αποθέσεις καστανού έως γκριζοκάστανου χρώματος, προερχόμενες από την αποσάθρωση και μεταφορά των περιβαλλόντων πετρωμάτων. Αποτελούνται κυρίως από αργιλοϊλίες (ALcs), άμμους (ALs) με ποικίλη διαβάθμιση, ψηφίδες, χάλικες και κροκάλες (Atge) διαφόρου προέλευσης η οποία συνδέεται άμεσα με τη σύσταση των περιβαλλουσών πετρολογικών μονάδων καθώς και του υποβάθρου (μάρμαρα, σχιστόλιθο, νεογενή). Παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη κυρίως στα σχετικά επίπεδα μορφολογικά τμήματα της περιοχής μελέτης και εμφανίζουν ταχεία μεταβολή ως προς την λιθολογική σύσταση, τόσο κατά την οριζόντια, όσο και κατά την κατακόρυφη ανάπτυξη, γεγονός το οποίο προσδίδει στο σχηματισμό έντονη ανομοιομορφία. Το πάχος του σχηματισμού εκτιμάται ότι κυμαίνεται μεταξύ 6,0 και 10,0 m περίπου.

Ακολουθεί γεωλογικός χάρτης της στενής περιοχής του ρέματος (Εικόνα 2-8,) και το υπόμνημά του (Εικόνα 2-9).



Εικόνα 2-8: Γεωλογικός Χάρτης στενής περιοχής Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας (ENVECO Α.Ε., 2016). Υπόμνημα Εικόνα 2-9





## 2.6 Υδρογεωλογικές συνθήκες

### 2.6.1 Υδρολιθολογική ταξινόμηση

Η περιοχή ενδιαφέροντος παρουσιάζει σχηματισμούς ποικίλης υδρολιθολογικής συμπεριφοράς. Διακρίνονται με βάση την υδρολιθολογία οι παρακάτω σχηματισμοί (Περλέρος, 2016):

- Πορώδεις σχηματισμοί : μικρής έως μέσης διαπερατότητας. Η κυκλοφορία του νερού στις αποθέσεις αυτές γίνεται μέσω του πρωτογενούς πορώδους (πορώδες κόκκων). Στις περιπτώσεις που κοντά στις υπώρειες των ορεινών όγκων αναπτύσσονται πολλές αποθέσεις αδρόκοκκων πλευρικών κορημάτων η διαπερατότητα τους είναι μεγάλη και επικοινωνούν υδραυλικά με τους καρστικούς σχηματισμούς των ορεινών όγκων όταν οι γεωλογικές συνθήκες το επιτρέπουν. Στην κατηγορία αυτή κατατάσσονται οι αποθέσεις του νεογενούς και οι σύγχρονες αποθέσεις των πεδινών εκτάσεων, που συναντούνται στο μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής του ρέματος.
- Καρστικοί σχηματισμοί : Η κυκλοφορία του νερού σ' αυτούς γίνεται μέσω του δευτερογενούς πορώδους (πορώδες ρωγμών και καρστικών διακένων). Κατατάσσονται εδώ οι ανθρακικοί σχηματισμοί. Η μικρή έκταση των ανθρακικών εμφανίσεων (μάρμαρα) στα όρια της λεκάνης απορροής δεν επιτρέπουν την δημιουργία εκτεταμένων υπόγειων υδροφοριών.
- Αδιαπέρατοι σχηματισμοί : Πρακτικά αδιαπέρατοι ή εκλεκτικής κυκλοφορίας σχηματισμοί με μικρή έως πολύ μικρή υδροπερατότητα. Κατατάσσονται εδώ οι σχιστόλιθοι στους οποίους έχουμε ανάπτυξη ασθενούς υδροφορίας στις παρεμβολές των μαρμάρων και στις ζώνες αποσάθρωσης, και οι ορίζοντες μαργών και αργίλων του Νεογενούς. Συναντώνται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης (παρυφές Πεντελικού όρους) και στα δυτικά σε μικρότερες εμφανίσεις (Γλυκά Νερά, Υμηττός).

### 2.6.2 Αναπτυσσόμενες υδροφορίες (Περλέρος, 2016)

#### 2.6.2.1 Καρστικές υδροφορίες

Οι μικρές εμφανίσεις μαρμάρων, στην περιοχή ενδιαφέροντος, δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη αξιόλογων υπόγειων υδροφοριών. Τοπικά στις παρυφές της λεκάνης η ανάπτυξη- ανθρακικών παρεμβολών εντός των σχιστολίθων συμβάλλει στην εμφάνιση μικροπηγών που τροφοδοτούν την θερινή παροχή των μικρορεμάτων.

### 2.6.2.2 Φρεάτιος υδροφορία

Στις σύγχρονες αποθέσεις των πεδινών εκτάσεων κυρίως στο νότιο τμήμα της λεκάνης, αναπτύσσεται φρεάτιος υδροφορία που σχετίζεται άμεσα με τους κλάδους των κύριων ρεμάτων. Το δυναμικό της φρεάτιας υδροφορίας ποικίλει και εξαρτάται από τις συνθήκες ιζηματογένεσης και το ποσοστό παρουσίας ανά περιοχή των αδρόκοκκων οριζόντων όπως επίσης και από το πάχος των σύγχρονων αποθέσεων.

Το μικρό γενικά πάχος των σύγχρονων αποθέσεων (περί τα 10μ στα ανατολικά κοντά στη Θάλασσα και περί τα 5-10 μ στα δυτικά) δεν επιτρέπει την ανάπτυξη αξιόλογων υπογείων υδροφοριών.

Οι σύγχρονες αποθέσεις έχουν ως υπόβαθρο τις νεογενείς αποθέσεις. Στις περιπτώσεις που το υπόβαθρο αυτό αντιστοιχεί σε αποσαθρωμένα κροκαλοπαγή τοπικά η υπόγεια υδροφορία των σύγχρονων αποθέσεων αλληλοσυμπλέκεται με αυτή των νεογενών. Τα πλειοπλειστοκαινικά κροκαλοπαγή αναπτύσσονται σε μεγαλύτερο πάχος και έκταση στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης ενώ στο δυτικό επικρατούν οι ψαμμιτικές μάργες.

Η υπόγεια φρεάτιος υδροφορία βρίσκεται σε άμεση αλληλοσύνδεση και αλληλεπίδραση με την επιφανειακή απορροή. Η επιφανειακή απορροή αφενός τροφοδοτεί την φρεάτιο υδροφορία μέσω διηθήσεων και αφετέρου κατά θέσεις τροφοδοτείται από αυτή μέσω εκφορτίσεων. Οι υπόγειες εκφορτίσεις πραγματοποιούνται στις ζώνες εκείνες που αναδύεται το μαργαϊκό "μικρότερης" περατότητας υπόβαθρο και το υπόγειο νερό επανέρχεται στο ρέμα.

### 2.6.2.3 Υπό πίεση ή μερικώς υπό πίεση υδροφορίες

Οι εναλλαγές των διαπερατών χονδρόκοκκων αποθέσεων (κροκαλοπαγών και άμμων) και των πλέον λεπτομερών αποθέσεων των αργίλων και μαργών στα νεογενή στρώματα δημιουργούν τοπικά συνθήκες ανάπτυξης υδροφοριών μερικώς υπό πίεση ή υποπίεση ανάλογα με το βαθμό απομόνωσης των επιμέρους οριζόντων.

Οι επιμέρους αυτές υδροφορίες δεν παρουσιάζουν συνέχειά στο χώρο (σε οριζόντια ° και κατακόρυφη ανάπτυξη) που έχει ως αποτέλεσμα την ισχυρή διαφοροποίηση ως προς το δυναμικό αυτών στην περιοχή. Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής ενδιαφέροντος αναπτύσσονται σε μεγαλύτερη έκταση κροκαλοπαγή ενώ στα Δυτικό τμήμα οι πλέον αδρομερείς μαργαϊκοί ορίζοντες.

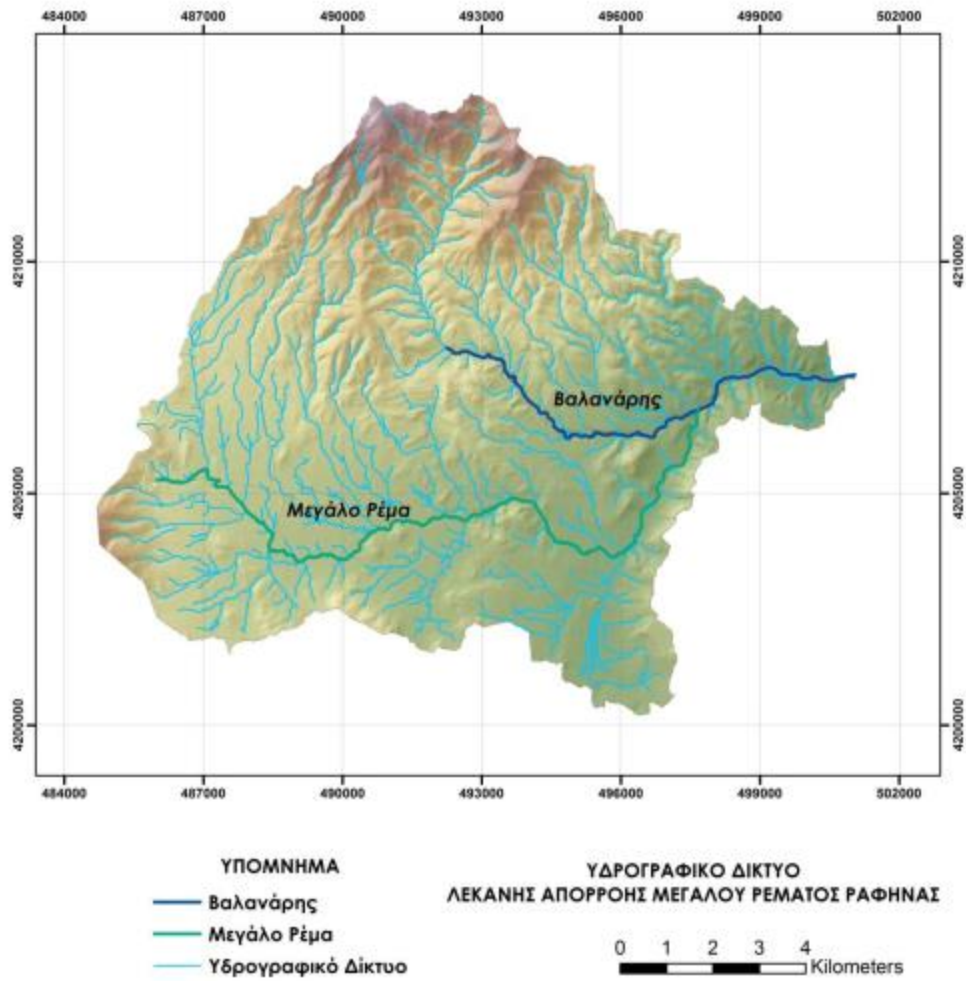
### 2.6.3 Υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας, χαρακτηρίζεται από έντονη ασυμμετρία. Η κύρια ανάπτυξη του εντοπίζεται βόρεια της κοίτης του με πολλούς και καλά αναπτυγμένους κλάδους ενώ νότια της κοίτης του, το υδρογραφικό δίκτυο χαρακτηρίζεται ως μέτρια αναπτυγμένο με αραιούς και μικρών τάξεων κλάδους (Καρύμπαλης, Γάκη - ΠαπαναστασίουΥ και Μαρουκιάν, 2005). Έτσι, στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής (ορεινός όγκος Πεντέλης), αναπτύσσεται παράλληλης και γωνιώδους μορφής υδρογραφικό δίκτυο, γεγονός που οφείλεται στους ανθρακικούς σχηματισμούς που κυριαρχούν στην περιοχή (ασβεστόλιθοι και μάρμαρα). Στο κεντρικό και νότιο τμήμα, επικρατούν νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί που ως επί το πλείστον είναι χαλαρά και μαλακά ιζήματα και ως εκ τούτου επιρρεπή στη διάβρωση, επομένως το υδρογραφικό δίκτυο παίρνει δενδριτική μορφή (Αγόρογλου, 2017). Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας παρουσιάζεται στην Εικόνα 2-10.

Όλα τα ρέματα της λεκάνης, χαρακτηρίζονται από μη μόνιμη ροή. Η στάθμη του νερού ροής ροής είναι πολύ χαμηλή κατά τους θερινούς μήνες και μηδενική σε περιόδους καύσωνα. Ωστόσο, παρά την χαμηλή παροχή νερού τα ρέματα κατά την διάρκεια ραγδαίων βροχοπτώσεων μετατρέπονται σε χειμάρρους προκαλώντας έντονα πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή. Οι παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτό είναι οι εξής (Μπαριάμης, 2013):

- Η έντονη αστικοποίηση των τελευταίων 30 χρόνων, η οποία συνέβαλε στην μετατροπή μεγάλων εκτάσεων σε αδιαπέρατες επιφάνειες με αποτέλεσμα την μείωση της διηθητικότητας του εδάφους και την αύξηση της επιφανειακής απορροής.
- Οι συχνές και καταστροφικές πυρκαγιές στα ανάντη της λεκάνης που κατέστρεψαν χιλιάδες στρέμματα δασικής έκτασης, αλλάζοντας την φυτοκάλυψη και το μικροκλίμα της περιοχής.
- Η γεωμορφολογικές και γεωλογικές συνθήκες της περιοχής. Οι απότομες κλίσεις και το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο στα ανάντη της λεκάνης, όπως επίσης και η φύση των εδαφών της λεκάνης (νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί έντονα επιρρεπείς στη διάβρωση), συνέβαλλαν στην αύξηση της διάβρωσης της λεκάνης.

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ



Εικόνα 2-10: Υδρογραφικό δίκτυο Λεκάνης Απορροής Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας (Αγόρογλου, 2017).

### **3 ΘΕΩΡΗΣΗ ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΘΕΣΕΙΣ**

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αρχικά μια σύντομη παρουσίαση της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για τη διευθέτηση του Μεγάλου ρέματος Ραφήνας από την σύμπραξη των κάτωθι Μελετητικών Γραφείων: ENVECO ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, "ΥΔΡΟΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ" - ΛΑΖΑΡΟΣ Σ. ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ & ΣΙΑ ΕΕ, ΜΠΕΝΣΑΣΣΩΝ ΛΙΖΑ ΤΟΥ ΑΒΡΑΑΜ. Στη συνέχεια παρουσιάζονται επιλεγμένες θέσεις, στις οποίες πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των προτεινόμενων έργων, ελέγχθηκε η επάρκειά τους και τελικώς προτάθηκαν εναλλακτικές λύσεις, όπου κρίθηκε αναγκαίο.

#### **3.1 Σύντομη παρουσίαση των μέτρων της εγκεκριμένης**

##### *3.1.1 Χιλιόμετρηση έργων ΜΠΕ*

Τα προτεινόμενα έργα διευθέτησης του ρ. Ραφήνας ξεκινούν από την εκβολή του στη θάλασσα και καταλήγουν στη Λ. Σπάτων, με συνολικό μήκος ~14,9 km. Επίσης περιλαμβάνουν τη διευθέτηση του ρ. Βαλανάρη από τη συμβολή του με το ρ. Ραφήνας έως τη Λ. Μαραθώνος.

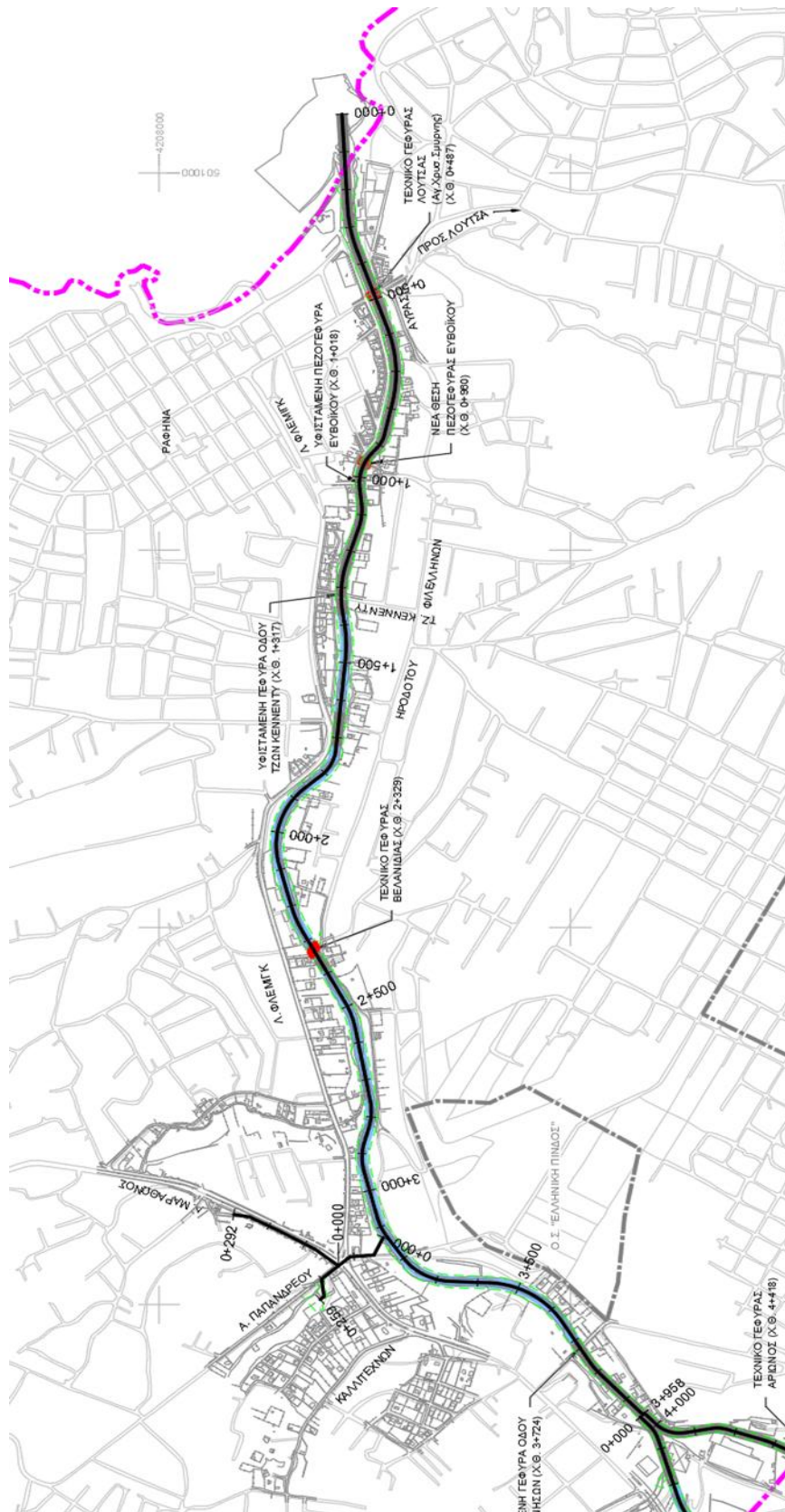
Η χιλιόμετρηση των προτεινόμενων έργων διευθέτησης ορίζεται ως εξής (ENVECO A.E., 2016):

- *“Κατάντη τμήμα ρέματος Ραφήνας (από εκβολή - Χ.Θ. 4+400): Περιλαμβάνει το τμήμα από την εκβολή του ρέματος στη θάλασσα κατάντη και ανάντη φτάνει μέχρι ~500 m ανάντη της συμβολής με το ρέμα Βαλανάρη με συνολικό μήκος ~4,4 km. Στο τμήμα αυτό περιλαμβάνονται και τα έργα διευθέτησης των συμβαλλόντων ρεμάτων Μύλου, Αγ. Παρασκευής, Καλλιτεχνούπολης και Διασταύρωσης 1, 2 και 3.*
- *Ανάντη τμήμα ρέματος Ραφήνας (4+400 - 14+997): Περιλαμβάνει το ανάντη τμήμα του ρέματος Ραφήνας, συνολικού μήκους ~10,6 km, το οποίο εκτείνεται από το πέρας του κατάντη τμήματος μέχρι τη Λ. Σπάτων.*

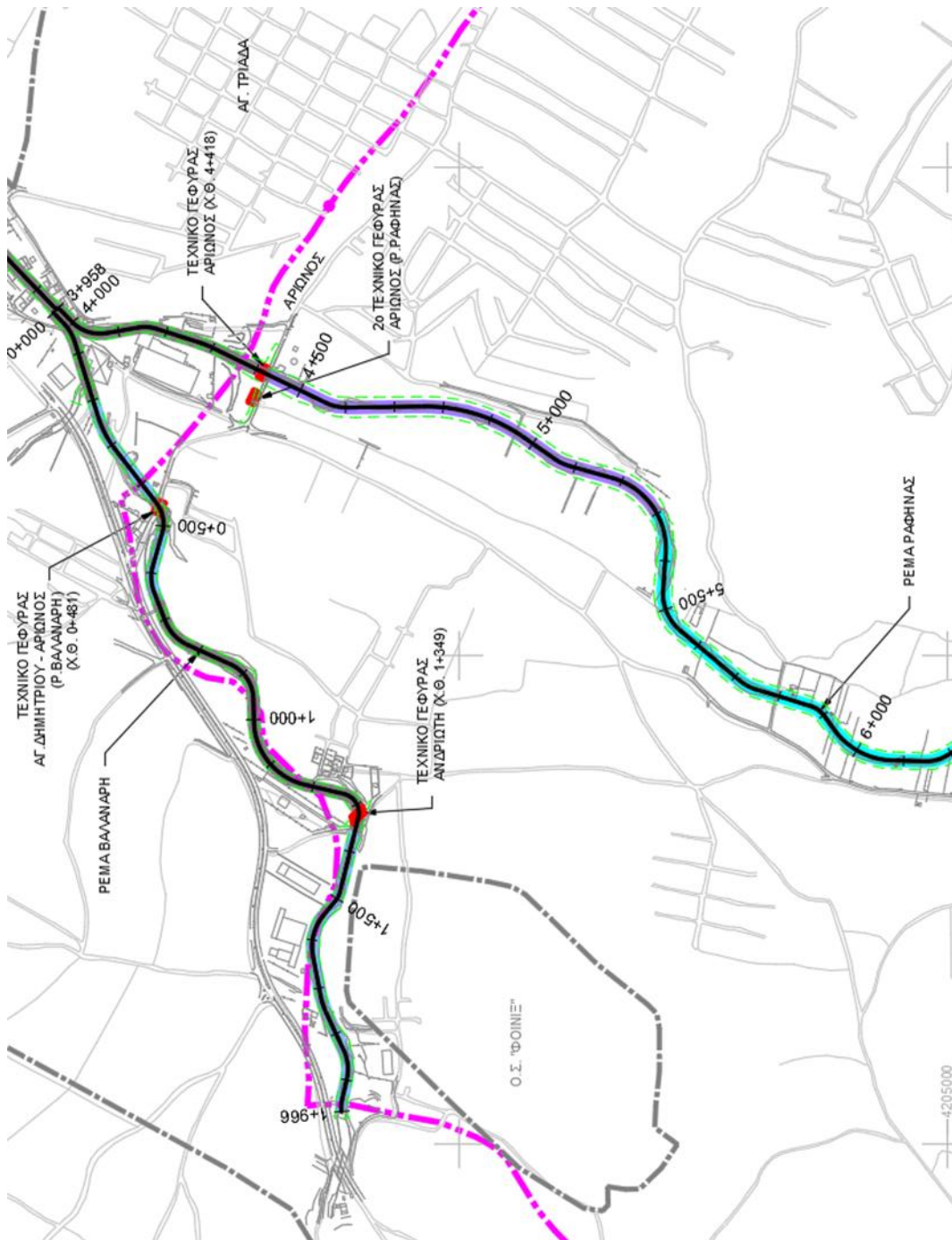
- *Τμήμα ρέματος Βαλανάρη (από συμβολή - Χ.Θ. ~1+965): Περιλαμβάνει το κατάντη τμήμα του ρέματος Βαλανάρη από το υφιστάμενο τεχνικό διέλευσής του κάτω από τη Λ. Μαραθώνος, μέχρι την εκβολή του στο ρέμα Ραφήνας. Το συνολικό μήκος διευθέτησης είναι 1965 m περίπου”.*

Επιπλέον, προτείνεται η κατασκευή φράγματος ανάσχεσης πλημμύρων. Ο άξονας του φράγματος τοποθετείται 100 m περίπου ανάντη της Ιεράς Μονής Αγ.Φιλοθέης επί του ρ. Ραφήνας. Ο στόχος της κατασκευής του φράγματος είναι η ανάσχεση πλημμυρών με αρχή λειτουργίας τη συνεχή διαθεσιμότητα της λεκάνης κατάκλυσης για την ανάσχεση πλημμυρικών παροχών. Η παροχή εισόδου για περιόδους επαναφοράς  $T \leq \sim 20$  έτη είναι ίση με την παροχή εξόδου μέσω των έργων διόδευσης. Ο υπερχειλιστής συμβάλλει στην παροχή εξόδου για παροχές περιόδου επαναφοράς  $T > 20$  ετών.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται οι οριζοντιογραφίες των προτεινόμενων έργων της ΜΠΕ στο Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας (Εικόνα 3-1, Εικόνα 3-2, Εικόνα 3-3, Εικόνα 3-4):



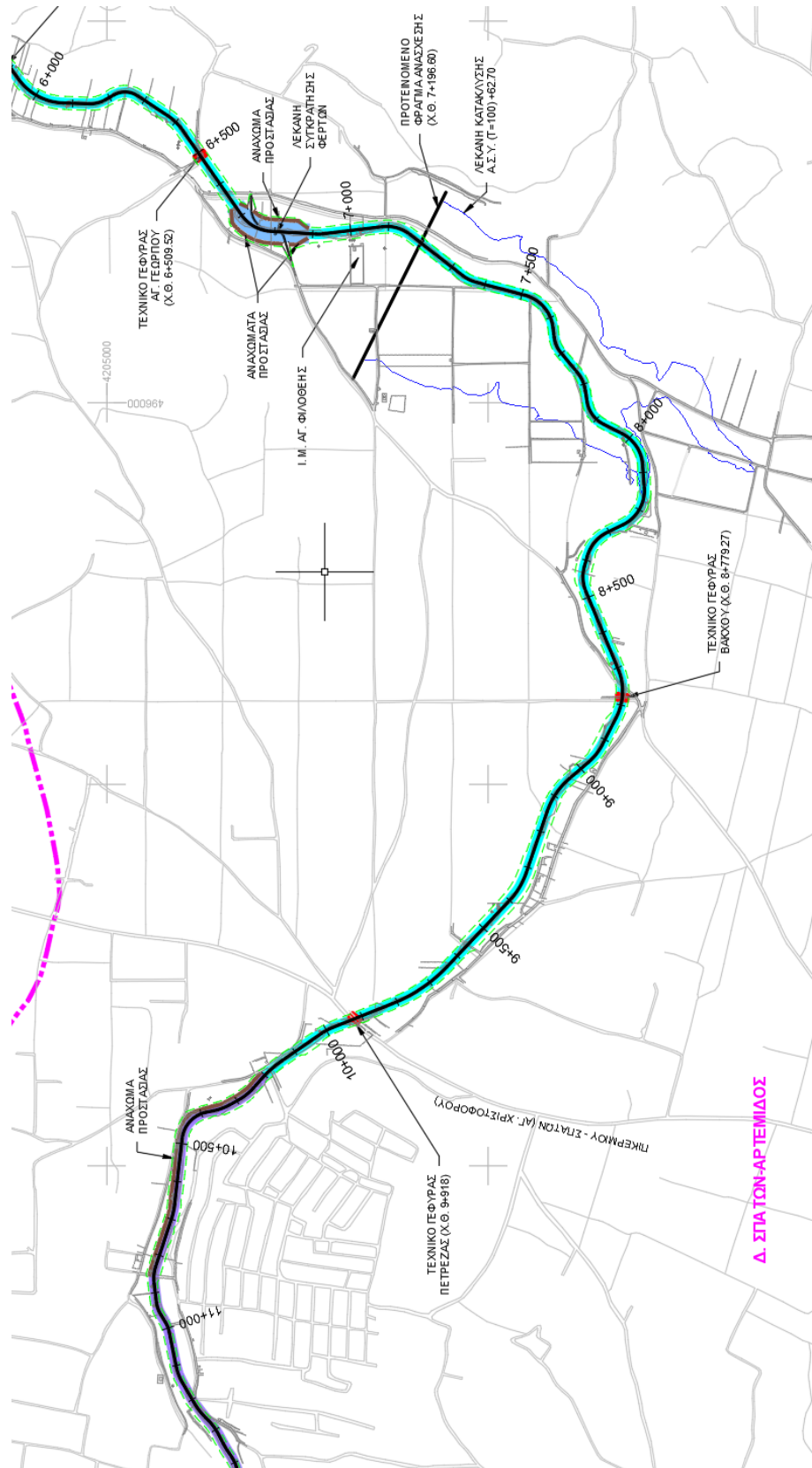
Εικόνα 3-1: Οριζοντιογράφημα προτεινόμενης λύσης ρέματος Ραφήνας από εκβολή έως 4+000 (ENVECO A.E., 2016).



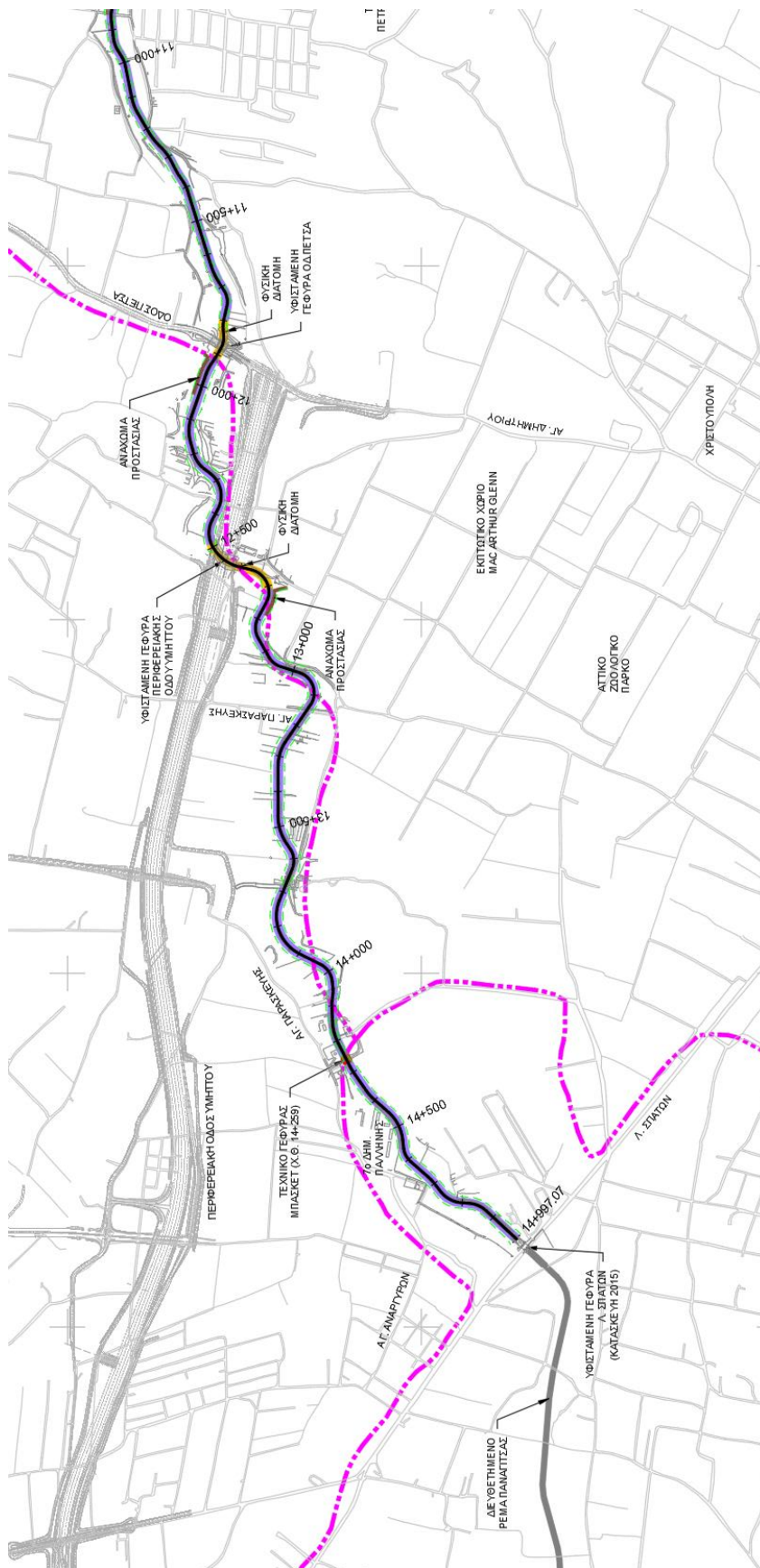
Εικόνα 3-2: Οριζοντιογραφία προτεινόμενης λύσης ρέματος Ραφήνας από 4+000 έως 6+000 και ρέματος Βαλανάρι (ENVECO Α.Ε., 2016).



ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ



Εικόνα 3-3: Οριζοντιογραφία προτεινόμενης λύσης ρέματος Ραφήνας από 6+000 έως 11+000 (ENVECO Α.Ε., 2016).



Εικόνα 3-4: Οριζοντιογραφία προτεινόμενης λύσης ρέματος Ραφήνας από 11+000 έως Α. Σπύρων (ENVECO A.E., 2016).

### 3.1.2 Παράγοντες αναγκαιότητας των έργων της ΜΠΕ

Η αναγκαιότητα κατασκευής των έργων διευθέτησης σύμφωνα με τη ΜΠΕ προκύπτει από τους εξής παράγοντες (ENVECO A.E., 2016):

- *“Του έντονου προβλήματος πλημμυρών κυρίως στην κατάντη πυκνοκατοικημένη περιοχή της Ραφήνας, αλλά και στην πεδινή έκταση των Σπάτων.*
- *Της ανάγκης οριοθέτησης της κοίτης των ρεμάτων και προστασία τους από καταπατήσεις.*
- *Της έντονης οικονομικής και γενικότερα αναπτυξιακής δραστηριότητας στην ευρύτερη περιοχή και συνεπακόλουθης αλλαγής στις χρήσεις γης. Η μεγάλη ανοικοδόμηση στην περιοχή λόγω και του αεροδρομίου των Σπάτων με αποτέλεσμα μεγάλες πρώην γεωργικές εκτάσεις να γίνονται αδιαπέρατες στο νερό της βροχής.*
- *Της έντονης παρουσίας μετακινούμενου πληθυσμού λόγω του αεροδρομίου «Ελ. Βενιζέλος», του λιμανιού της Ραφήνας και των μεγάλων συγκροτημάτων εμπορικής χρήσης.*
- *Της επέκτασης των οικισμών της περιοχής με ρυθμούς της τάξης του 3% το έτος.*
- *Των επαναλαμβανόμενων δασικών πυρκαγιών σε τμήματα των περιοχών που ανήκουν στην ευρύτερη περιοχή και επηρεάζουν άμεσα την απορροή (π.χ. 1995, 1998, 2005, 2009,2018,2019).*
- *Της ανάγκης παρεμβάσεων στα ρέματα για την προστασία τους από την κατασκευή μεγάλων οδικών αρτηριών, που προγραμματίζονται στην περιοχή, μετά την υλοποίηση των οποίων οι όποιες παρεμβάσεις σε ρέματα καθίστανται δυσχερείς και δαπανηρές.*
- *Της εκτροπής της λεκάνης απορροής του ρ. Ποδονίφτη (συνολικής έκτασης 8,5 km<sup>2</sup>) και των έργων της Ε.Λ.Ε.- Σ.Σ. (Αττικής Οδού) που επιβαρύνουν το ρ. Ραφήνας με επιπρόσθετες παροχές πλημμύρας 143 m<sup>3</sup>/s και 40 m<sup>3</sup>/s αντίστοιχα. Όπως επίσης και της διευθέτησης του ρ. Παναγίτσας που μειώνει το χρόνο συγκέντρωσης πλημμυρικών υδάτων”.*

### 3.1.3 Τύποι διατομών έργων διευθέτησης

Οι προτεινόμενες διατομές που επιλέχθηκαν κατάντη της συμβολής με το ρ. Βαλανάρη σχεδιάστηκαν με κριτήρια διαθεσιμότητας χώρου, εύρους κατάληψης των έργων και την ύπαρξη υφιστάμενων κτισμάτων.

Όσον αφορά το ανάντη τμήμα του ρ. Ραφήνας οι προτεινόμενες διατομές είναι οι ακόλουθες (ENVECO A.E., 2016):

- “Τραπεζοειδής διατομή επενδεδυμένη με συρματοκιβώτια
- Σύνθετη Τραπεζοειδής διατομή με παγκίνες
- Φυσική διατομή
- Ορθογωνική διατομή με συρματοκιβώτια κ.λπ”.

Οι προτεινόμενες διατομές στα έργα του ρ. Βαλανάρη είναι τραπεζοειδείς με συρματοκιβώτια, με εξαίρεση τα τμήματα στα οποία προτείνεται διατομή με σκυρόδεμα.

Τέλος, σε σημεία όπου τα ρέματα συναντούν γέφυρες προτείνονται διατομές με σκυρόδεμα.

### 3.1.3.1 Διατομές με συρματοκιβώτια

Στη ΜΠΕ προτείνονται οι εξής διατομές με συρματοκιβώτια (ENVECO A.E., 2016):

- “Βαθμιδωτά (Τύπος Α): Στα πλαίσια ΜΠΕ εφαρμόζονται διατομές από συρματοκιβώτια ( $d_{50} = 190 \text{ mm}$ ) με βαθμιδωτά πρανή (κλίση πρανών κατακόρυφα : οριζόντια = 1: 0,5). Το ύψος των βαθμίδων είναι 1,00 m και το πάτημά τους 0,50 m. Ο πυθμένας της κοίτης επενδύεται με συρματοκιβώτια πάχους 0,50 m με εξαίρεση το μέσο της διατομής, όπου προβλέπεται διάδρομος κυκλοφορίας μηχανημάτων καθορισμού πλάτους 3,00 m. Η έδραση των συρματοκιβωτίων γίνεται σε γεώφασμα  $400 \text{ g/m}^2$  διαχωρισμού υλικών. Η επίχωση του ορύγματος γίνεται με θραυστό υλικό λατομείου. Εκατέρωθεν της κοίτης τοποθετείται στηθαίο ασφαλείας τύπου ΜΣΟ-1.
- Απλές τραπεζοειδείς τύποι (Τύποι Ε, ΣΤ): Εφαρμόζονται τραπεζοειδείς διατομές επενδεδυμένες με συρματοκιβώτια πάχους 0,5 m με  $d_{50}=190\text{mm}$  εφόσον το πλάτος είναι μικρό και η συντήρηση μπορεί να γίνει από την όχθη της διατομής (τύπος ΣΤ). Για μεγαλύτερα πλάτη στο μέσο της διατομής προβλέπεται διάδρομος κυκλοφορίας μηχανημάτων καθαρισμού από οπλισμένο σκυρόδεμα C20/25 (τύπος Ε).
- Με κατακόρυφα πρανή (τύπος Η): Στην περίπτωση απαίτησης μόρφωσης ορθογωνικής διατομής”.

### 3.1.3.2 Σύνθετες Διατομές (τύπος Ζ)

Οι σύνθετες διατομές εφαρμόζονται κυρίως στην πεδιάδα Σπάτων. Αποτελούνται από το κάτω τμήμα της κύριας κοίτης επενδεδυμένο με συρματοκιβώτια και το απάνω με εκατέρωθεν παγκίνες χωμάτινες με επένδυση του άνω πρανούς με γεωσυνθετικά υλικά (όπως π.χ. άοπλα τρισδιάστατα γεωπλέγματα) και την τοποθέτηση προστατευτικών ουδών (χαλινών) από συρματοκιβώτια εγκάρσια στις παγκίνες ανά 25~50 m. Μπορεί να εξεταστεί και η δυνατότητα κατασκευής της κύριας κοίτης σε πρώτη φάση και μετά να γίνει η διεύρυνση της διατομής και της κατασκευής παγκινών σε δεύτερη φάση.

### 3.1.3.3 Διατομές από σκυρόδεμα

Οι διατομές από σκυρόδεμα που εφαρμόζονται στο τμήμα κυρίως μέσα στην πόλη μορφώνονται είτε με τοίχους είτε με πασσαλοστοιχίες ανάλογα με το διαθέσιμο χώρο.

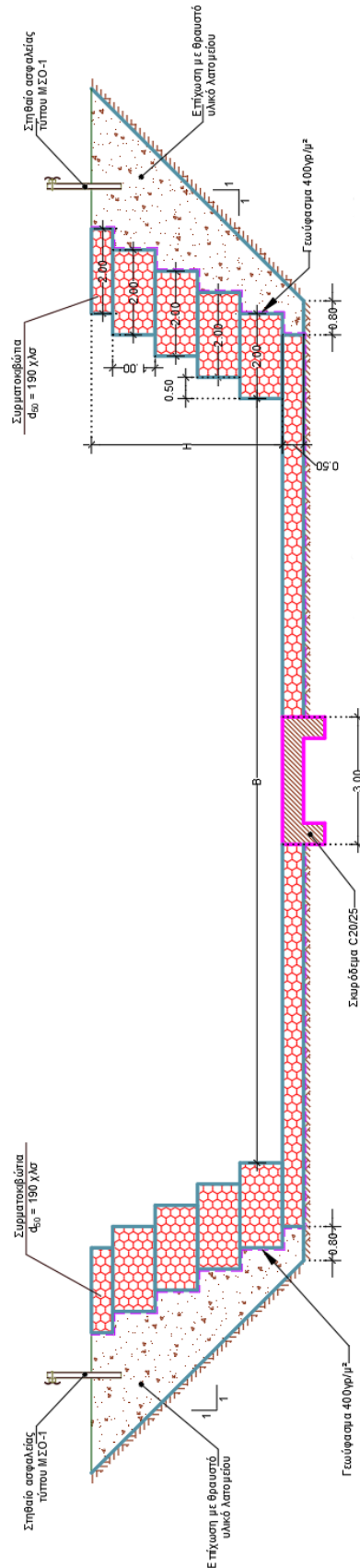
- *“Ορθογωνικές διατομές από σκυρόδεμα (Τύπος Β): Εφαρμόζονται ορθογωνικές διατομές από οπλισμένο σκυρόδεμα C25/30. Εκατέρωθεν της κοίτης κατασκευάζονται τοίχοι αντιστήριξης, κατάλληλης διάστασης πέλματος, με οπές αποτόνωσης, με πάχος τοίχου 0,40 m πάνω, το οποίο θα αυξάνει έως 0,80 m στο χαμηλότερο σημείο του. Μεταξύ των εκατέρωθεν πελμάτων των τοίχων αντιστήριξης προβλέπεται πλάκα από σκυρόδεμα πάχους 0,60 m με οπές αποτόνωσης. Οι οριζόντιες πλάκες εδράζονται σε σκυρόδεμα καθαριότητας C12/15 πάχους 0,15 m, ενώ στο οριζόντιο τμήμα του ορύγματος τοποθετείται εξυγιαντική στρώση με σκύρα πάχους 0,30 m (πάχος εξυγιαντικής στρώσης 0,50 m κάτω από την οριζόντια πλάκα στο μέσο του πυθμένα). Η επίχωση του ορύγματος γίνεται με θραυστό υλικό λατομείου. Εκατέρωθεν της κοίτης τοποθετείται στηθαίο ασφαλείας τύπου ΜΣΟ-1.*
- *Ορθογωνικές διατομές από σκυρόδεμα με πασσαλοστοιχία στη μια πλευρά (Τύπος Γ): Στη μια πλευρά της κοίτης κατασκευάζεται τοίχος αντιστήριξης, κατάλληλης διάστασης πέλματος, με οπές αποτόνωσης, με πάχος τοίχου 0,40 m πάνω, το οποίο αυξάνει έως 0,80 m στο χαμηλότερο σημείο του. Στην άλλη πλευρά της κοίτης κατασκευάζεται πασσαλοστοιχία με πασσάλους Φ100 από σκυρόδεμα C20/25 σε αξονική απόσταση 2 m μεταξύ τους και κεφαλόδεσμο διαστάσεων 1,20 m (κατακόρυφα) x 1,35 m (οριζόντια). Οι πάσσαλοι επενδύονται με μανδύα σκυροδέματος C25/30 πάχους 0,20 m στο λεπτότερο σημείο του και 0,40 m στο τμήμα μεταξύ των πασσάλων. Η εξωτερική πλευρά του μανδύα μεταξύ των πασσάλων επενδύεται με στεγανωτική – αποστραγγιστική στρώση με υλικό τύπου*

*ENKADRAIN CD-20, ενώ οι αρμοί κατά μήκος του μανδύα στεγανώνονται με ταινία πλάτους 240 mm τύπου HYDROFOIL PVC ή ανάλογο. Μεταξύ του πέλματος του τοίχου αντιστηριζής και του μανδύα της πασσαλοστοιχίας κατασκευάζεται πλάκα από σκυρόδεμα πάχους 0,60 m με οπές αποτόνωσης. Οι οριζόντιες πλάκες εδράζονται σε σκυρόδεμα καθαριότητας C12/15 πάχους 0,15 m, ενώ στο οριζόντιο τμήμα του ορύγματος τοποθετείται εξυγιαντική στρώση με σκύρα πάχους 0,30 m. Η επίχωση του ορύγματος θα γίνει με θραυστό υλικό λατομείου. Στην πλευρά της κοίτης με τον κατακόρυφο τοίχο θα τοποθετηθεί στηθαίο ασφαλείας τύπου ΜΣΟ-1.*

- *Ορθογωνικές διατομές από σκυρόδεμα με πασσαλοστοιχία εκατέρωθεν (Τύπος Δ): Εκατέρωθεν της κοίτης κατασκευάζεται πασσαλοστοιχία με πασσάλους Φ100 από σκυρόδεμα C20/25 σε αξονική απόσταση 2 m μεταξύ τους και κεφαλόδεσμο διαστάσεων 1,20 m (κατακόρυφα) x 1,35 m (οριζόντια). Οι πάσσαλοι θα επενδυθούν με μανδύα σκυροδέματος C25/30 πάχους 0,20 m στο λεπτότερο σημείο του και 0,40 m στο τμήμα μεταξύ των πασσάλων. Η εξωτερική πλευρά του μανδύα μεταξύ των πασσάλων επενδύεται με στεγανωτική – αποστραγγιστική στρώση με υλικό τύπου ENKADRAIN CD-20, ενώ οι αρμοί κατά μήκος του μανδύα στεγανώνονται με ταινία πλάτους 240 mm τύπου HYDROFOIL PVC ή ανάλογο. Μεταξύ των μανδύων των πασσαλοστοιχιών κατασκευάζεται πλάκα από σκυρόδεμα πάχους 0,60 m με οπές αποτόνωσης, η οποία εδράζεται σε σκυρόδεμα καθαριότητας C12/15 πάχους 0,15 m, ενώ στο οριζόντιο τμήμα του ορύγματος τοποθετείται εξυγιαντική στρώση με σκύρα πάχους 0,30 m”.*

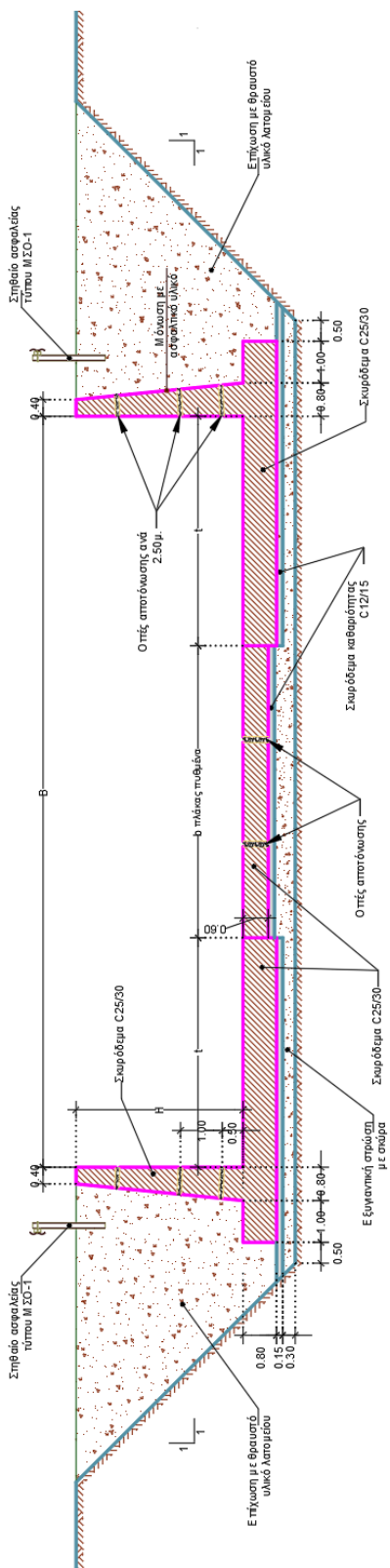
Οι προαναφερθείσες διατομές παρατίθενται ως σχέδια στις ακόλουθες εικόνες (Εικόνα 3-5, Εικόνα 3-6, Εικόνα 3-7, Εικόνα 3-8, Εικόνα 3-9, Εικόνα 3-10, Εικόνα 3-11, Εικόνα 3-12):

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ (Α)  
ΑΓΩΓΩΝ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ Ρ. ΡΑΦΗΝΑΣ ΚΑΙ Ρ. ΒΑΛΛΑΡΗ  
ΜΕ ΣΥΡΜΑΤΟΚΙΒΩΤΙΑ



Εικόνα 3-5: Σχέδιο διατομής τύπου Α σύμφωνα με την ΜΠΕ (ENVECO Α.Ε., 2016).

ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ (Β)  
ΛΙΩΓΩΝ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ Ρ. ΡΑΦΗΝΑΣ ΚΑΙ Ρ. ΒΑΛΛΑΝΑΡΗ  
ΜΕ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥΣ ΤΟΙΧΟΥΣ

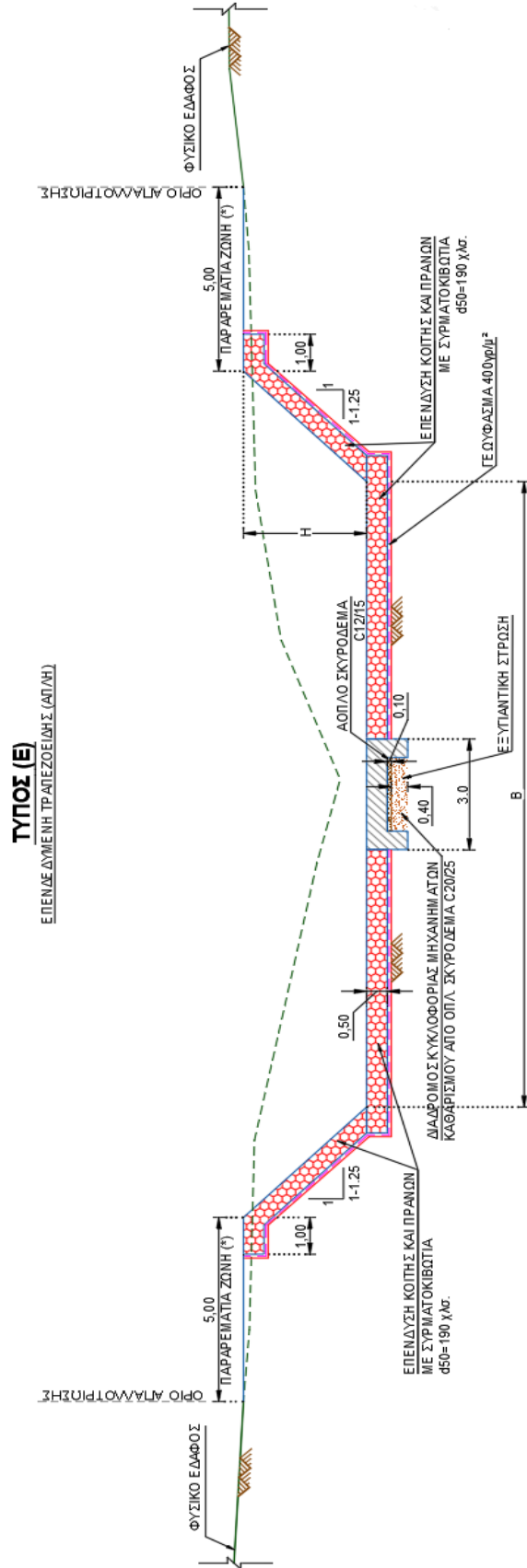


Εικόνα 3-6: Σχέδιο διατομής τύπου Β σύμφωνα με ΜΠΕ (ENVECO Α.Ε., 2016).

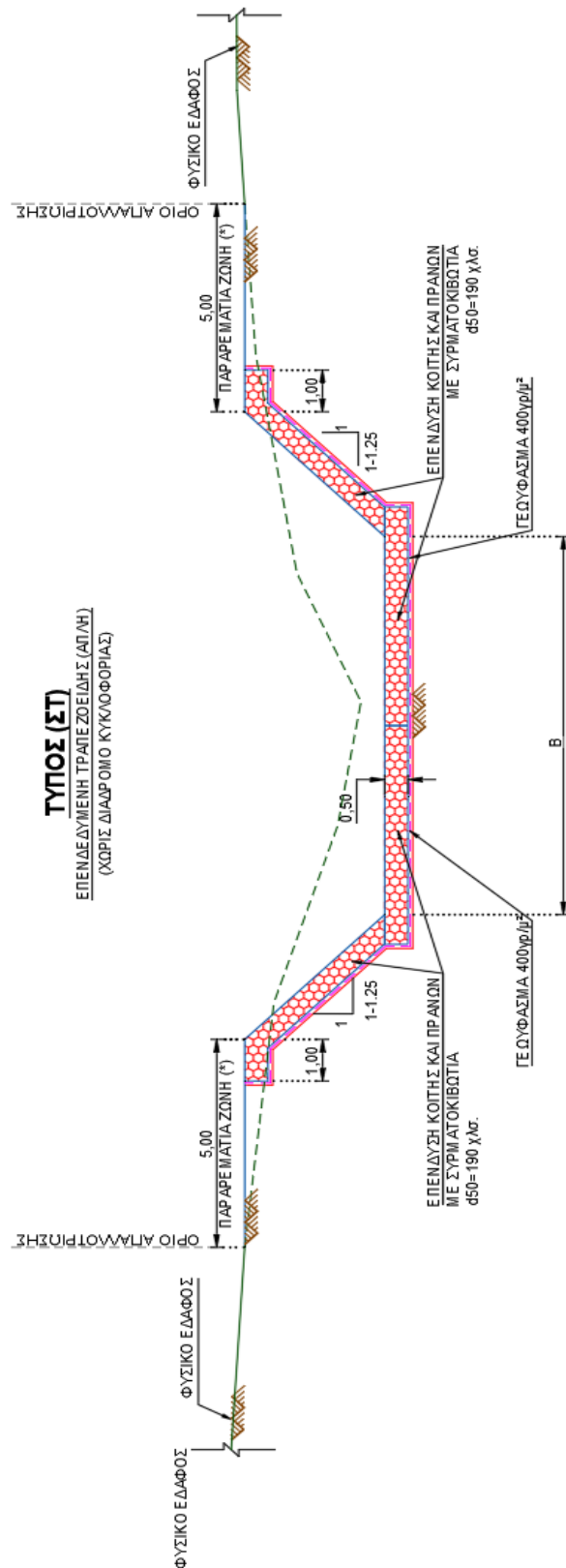




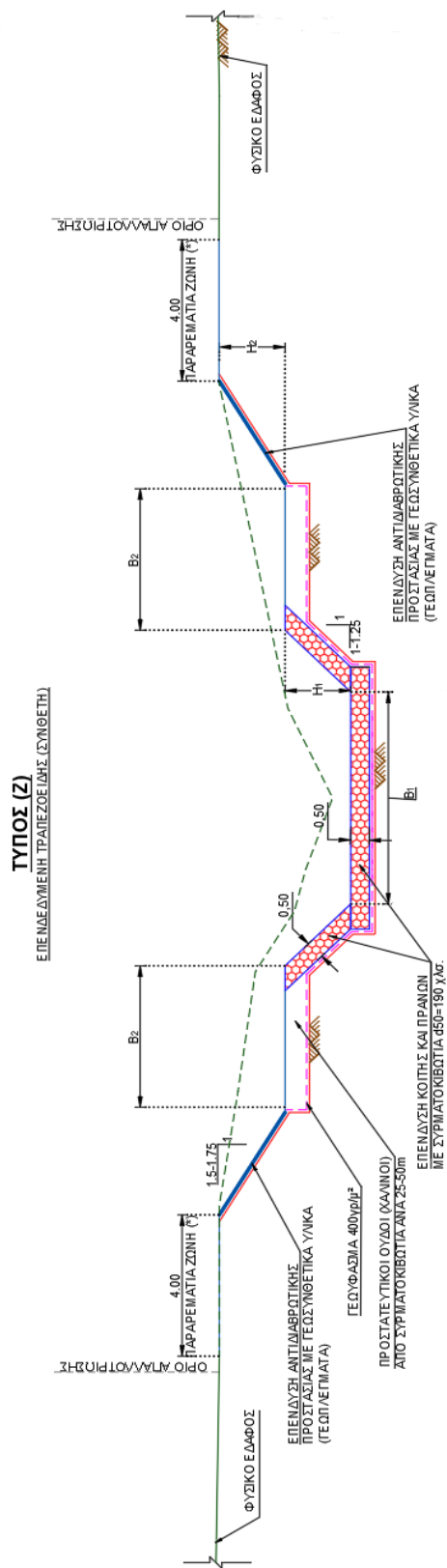




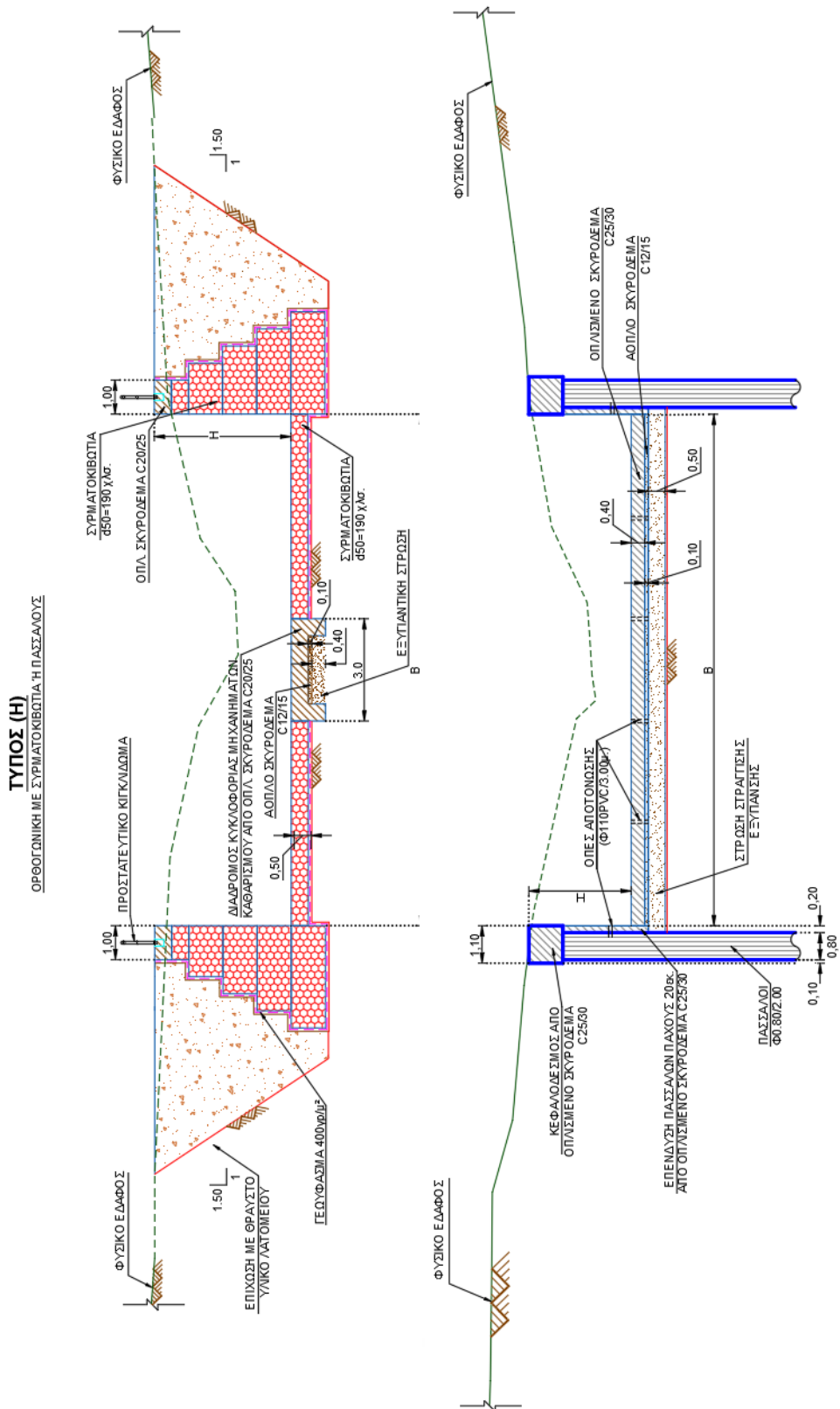
Εικόνα 3-9: Σχέδιο διατομής τύπου Ε σύμφωνα με ΜΠΕ (ΕΝΝΕCO Α.Ε., 2016)



Εικόνα 3-10: Σχέδιο διατομής τύπου ΣΤ σύμφωνα με ΜΠΕ (ΕΝΥΕCΟ Α.Ε., 2016)



Εικόνα 3-11: Σχέδιο διατομής τύπου Ζ σύμφωνα με ΜΠΕ (ΕΝΝΕCO Α.Ε., 2016)



Εικόνα 3-12: Σχέδιο διατομής τύπου Η σύμφωνα με ΜΠΕ (ΕΝΥΕCΟ Α.Ε., 2016)

### 3.1.4 Υδρολογική Μελέτη ΜΠΕ

Στην υδρολογική μελέτη μετά από διερευνήσεις και αναλύσεις ευαισθησίας του εξεταζόμενου υδρολογικού μοντέλου της ΜΠΕ, προτάθηκε η χρήση των αποτελεσμάτων του υδρολογικού ομοιώματος για παροχή σχεδιασμού 50-ετίας. Τα προτεινόμενα έργα της ΜΠΕ σχεδιάστηκαν για πλημμυρικές παροχές περιόδου επαναφοράς 50 ετών με το φράγμα ανάσχεσης παρουσιάζοντας περιθώρια ασφαλείας τα οποία κρίθηκαν επαρκή όπου το ανάγλυφο του εδάφους το επέτρεπε. Η παροχή σχεδιασμού του κατάντη προς διευθέτηση τμήματος είναι από 290 m<sup>3</sup>/s περίπου (ανάντη της συμβολής με το ρ. Βαλανάρι / κατάντη φράγματος ανάσχεσης) έως 458 m<sup>3</sup>/s περίπου στην εκβολή στη θάλασσα. Η ροή σε ολόκληρο το μήκος της διευθέτησης του κατάντη τμήματος προκύπτει χειμαρρώδης στην μέγιστη παροχή σχεδιασμού.

Τα συμπεράσματα της υδρολογικής μελέτης της ΜΠΕ από τις αναλύσεις με παροχές σχεδιασμού 50-ετίας είναι τα ακόλουθα (ENVECO A.E., 2016):

- *“Λόγω της πολεοδομικής εξέλιξης και χωρίς την κατασκευή έργων διευθέτησης αναμένεται αύξηση της παροχής στην εκβολή κατά 7%.*
- *Η κατασκευή έργων διευθέτησης με ή χωρίς σήραγγα θα επιφέρει αύξηση 4% επί της μελλοντικής κατάστασης (συνολικά 12% σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση).*
- *Η επιλογή έργων διευθέτησης εκτός πεδιάδας και κατάκλυσης στην πεδιάδα δίνει παροχή ίση με αυτή της μελλοντικής κατάστασης χωρίς έργα.*
- *Η τελική προτεινόμενη λύση της ΜΠΕ με την κατασκευή φράγματος στην πεδιάδα Σπάτων επιτυγχάνει μείωση της παροχής και καθυστέρηση πραγματοποίησης της αιχμής. Η μείωση της παροχής είναι 5% σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση, ενώ φτάνει το 12% σε σχέση με την μελλοντική κατάσταση χωρίς έργα και το 15% σε σχέση με την μελλοντική κατάσταση με τα προτεινόμενα έργα διευθέτησης, η δε χρονική υστέρηση της αιχμής είναι της τάξης των 20 min.*
- *Το σενάριο με τα προτεινόμενα έργα διευθέτησης δίνει τις μεγαλύτερες παροχές σε κάθε περίπτωση.*
- *Η λύση του φράγματος μειώνει την παροχή κάτω και από αυτή της υφιστάμενης κατάστασης για  $T_a = 20\sim 100$  έτη. Για τις μικρότερες περιόδους επαναφοράς η παροχή είναι μεγαλύτερη από αυτή της υφιστάμενης κατάστασης δεδομένου ότι στις μικρές περιόδους το φράγμα δεν έχει*

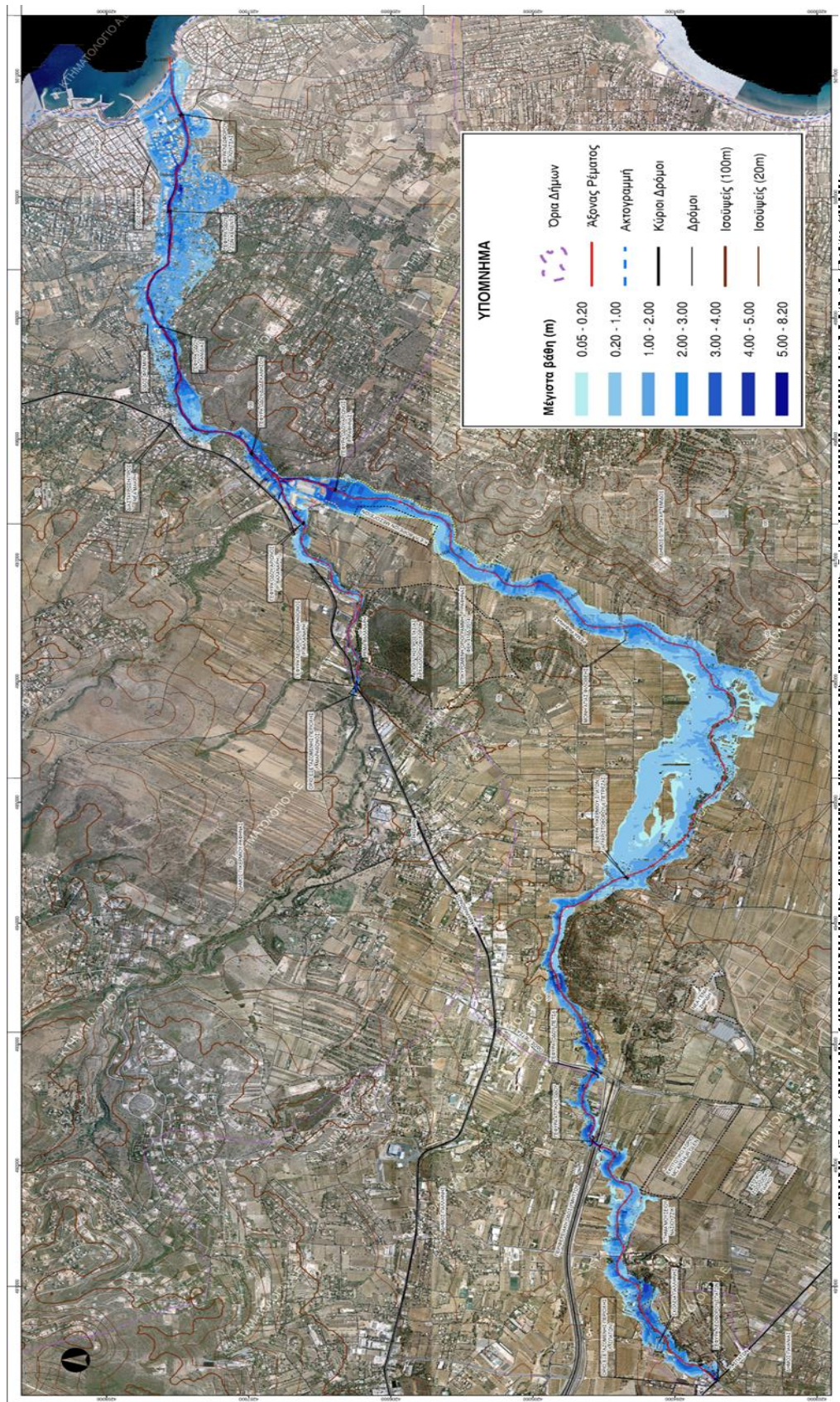
*ουσιαστικό ρόλο και έχει συνυπολογιστεί τόσο η πολεοδομική εξέλιξη όσο και η κατασκευή έργων διευθέτησης.*

- *Η παροχή 50-ετίας με φράγμα ισοδυναμεί με την παροχή 30-ετίας με έργα διευθέτησης, ενώ η παροχή 50-ετίας με έργα διευθέτησης αντιστοιχεί σε παροχή 75-ετίας με φράγμα”.*

Επιπλέον προέκυψε ο ακόλουθος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας (Εικόνα 3-13):



ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΘΕΩΡΗΣΗ ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΕΣ ΘΕΣΕΙΣ

### 3.2 Αξιολόγηση – έλεγχος επάρκειας των έργων της ΜΠΕ και ορθολογικός σχεδιασμός

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν εργασίες πεδίου, οι οποίες περιελάμβαναν επί τόπου παρατηρήσεις της υφιστάμενης κατάστασης, αξιολόγηση των προτεινόμενων έργων και θεώρηση εναλλακτικών προτάσεων. Για την καλύτερη κατανόηση του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκαν:

- Δειγματοληψία από τους βραχώδεις σχηματισμούς της κοίτης.
- Επισκέψεις σε όλο το μήκος των προτεινόμενων έργων και λήψη φωτογραφιών.

Απόρροια των εργασιών πεδίου ήταν η επιλογή θέσεων, στις οποίες αξιολογήθηκαν τα προτεινόμενα έργα και η θεώρηση ορθολογικού σχεδιασμού αυτών. Στο πλαίσιο των εργασιών αξιολόγησης του σχεδιασμού των προτεινόμενων πραγματοποιήθηκαν:

- Αναλύσεις με το λογισμικό LARIX για τη διερεύνηση της ευστάθειας της υφιστάμενης κατάστασης, των προτεινόμενων έργων της ΜΠΕ και των προτάσεων της εργασίας. Για την εκτέλεση των αναλύσεων ελήφθησαν δεδομένα για τη στρωματογραφία και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά από τη Τεχνική Έκθεση της Γεωλογικής Μελέτης που περιλαμβάνεται στη ΜΠΕ (Περλέρος, 2016). Όσον αφορά τις διατομές της κοίτης παραχωρήθηκαν μορφολογικά δεδομένα από την κ. Ανδρέου Μαρία σε μορφή ψηφιακού μοντέλου εδάφους προερχόμενο από τοπογραφικά δεδομένα κλίμακας 1:500. Τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά των πρανών ελήφθησαν από τη Γεωλογική Μελέτη και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των τεχνικών παρεμβάσεων εκτιμήθηκαν με βάση προϋπάρχουσες μελέτες. Στις αναλύσεις δεν ελήφθη υπόψη η παρουσία υπόγειων υδάτων και της βλάστησης. Ακόμα, εξετάστηκαν όλα τα είδη αστοχιών εδαφικών πρανών (στέψης, ποδός, περιστροφικές) με τη μέθοδο λωρίδων κατά Janbu (Janbu, 1957). Επισημαίνεται ότι ο απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας είναι 1,4 και η οριακή ισορροπία επιτυγχάνεται με συντελεστή ασφαλείας 1,0.
- Εξέταση εναλλακτικών μέτρων πρόληψης της διάβρωσης της κοίτης και ευστάθειας των πρανών.
- Σχολιασμός αναγκαιότητας των προτεινόμενων έργων της ΜΠΕ.

## ΘΕΣΕΙΣ ΡΕΜΑΤΟΣ ΒΑΛΑΝΑΡΗ

Οι επιλεγμένες θέσεις όσον αφορά το ρ. Βαλανάρη είναι οι ακόλουθες (Εικόνα 3-14):



Εικόνα 3-14: Χάρτης θέσεων ρ. Βαλανάρη από Google Earth.

### 3.2.1 Θέση 1 - Ανδριώτη (Χ.Θ. 1+470)

Η Θέση 1 (Χ.Θ. 1+470) εντοπίζεται ~120 m ανάντη της γέφυρας Ανδριώτη, όπου είχαν πραγματοποιηθεί οι γεωτρήσεις ΠΓ-9 και ΠΓ-10 στα πλαίσια της γεωτεχνικής έρευνας της ΜΠΕ. Μορφολογικά, το αριστερό πρανάς έχει ύψος περίπου 6 m και σε απόσταση 30 m περίπου από τη στέψη του βρίσκονται βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Στο δεξί πρανάς αναπτύσσεται ο λόφος Έτος. Η συγκεκριμένη θέση κρίθηκε ως κατάλληλη για τον έλεγχο της ευστάθειας των πρானών λόγω της επάρκειας δεδομένων και της εκτιμώμενης υπερδιαστασιολόγησης των προτεινόμενων μέτρων της ΜΠΕ.

Σύμφωνα με τη Τεχνική Έκθεση της Γεωλογικής Μελέτης η στρωματογραφία της θέσης όπου πραγματοποιήθηκαν οι γεωτρήσεις αποτελείται από τους εξής γεωτεχνικούς σχηματισμούς (Περλέρος, 2016):

- “Τεχνητές επιχώσεις, δηλαδή ιλυοαργιλώδη άμμο με χάλικες και λατύπες, ανοιχτού καστανού έως καστανού χρώματος.

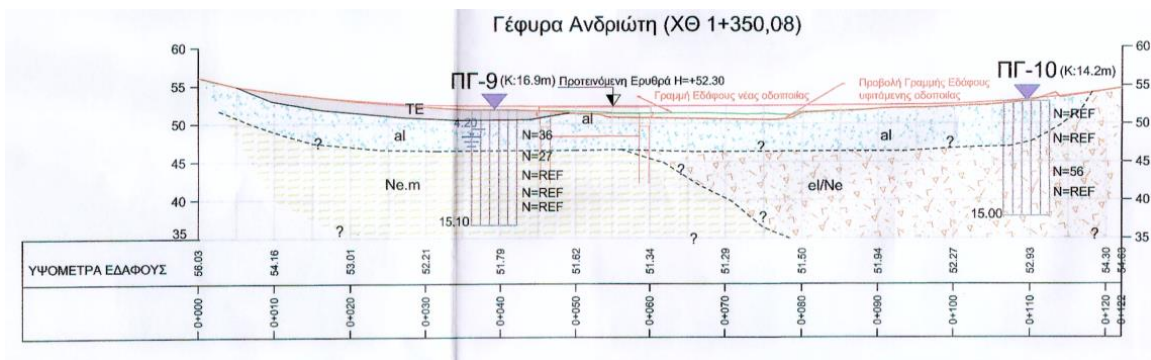
- Σχηματισμός I: Αργιλώδη άμμο έως ιλυώδη άμμο με χάλικες και αργιλώδεις χάλικες (SM, SC, GC). Χαρακτηρίζεται πυκνή έως πολύ πυκνή αργιλώδης άμμος με χαλίκια και λατύπες έως ιλυώδης λεπτόκοκκη άμμος με χάλικες (SM, SC,), ανοικτού καστανού καστανοκόκκινου έως καστανοκίτρινου χρώματος, και αργιλώδεις χάλικες με άμμο (GC), χαμηλής πλαστικότητας, καστανού έως καστανοκίτρινου χρώματος.
- Σχηματισμός II: Αμμώδης ισχνή άργιλος (CL). Χαρακτηρίζεται ως πολύ στιφρή έως σκληρή, αμμώδης, ισχνή με λεπτόκοκκη άμμο, ενδιάμεσης πλαστικότητας, ανοικτού καστανοκόκκινου έως καστανοκίτρινου χρώματος”.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών παρουσιάζονται στον Πίνακας 3:

**Πίνακας 3: Μηχανικά χαρακτηριστικά Τεχνικής Έκθεσης Γεωλογικής Μελέτης για το γεωτεχνικό μοντέλο των γεωτρήσεων ΠΓ-9, ΠΓ-10 (Περέρος, 2016).**

Χαρακτηριστικές γεωτεχνικές παράμετροι	Σχηματισμός I	Σχηματισμός II
Ταξινόμηση κατά USCS	SM, SC, GC	CL
Μέσος αριθμός κύττων δοκιμής SPT, $N_{SPT}$	45	50
Υγρό φαινόμενο βάρος, $\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.9	20.0
Γωνία εσωτερικής τριβής, $\phi'$ (°)	37 - 41	24 - 29
Συνοχή, $c'$ (kPa)	0	20 - 30
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή, $c_u$ (kPa)	-	200 - 300
Μέτρο συμπίεσότητας, $E_s$ (kPa)	30000 – 50000	17000 - 30000
Μέτρο ελαστικότητας (αστράγγιστες συνθήκες), $E_u$ (kPa)	-	100000 - 150000
Δείκτης συμπίεσης, $C_c$	-	0.21
Συντελεστής στερεοποίησης, $C_v$ (m <sup>2</sup> /year)	-	19.4
Αρχικός λόγος κενών, $e_0$	-	0.63
Τάση προστεροποίησης, $p_c$ (kPa)	-	70

Στην Εικόνα 3-15 παρουσιάζεται η γεωτεχνική διατομή στη θέση της γέφυρας Ανδριώτη:



Εικόνα 3-15: Γεωλογική Διατομή στη θέση της γέφυρας Ανδριώτη (Περλέρος, 2016).

Καθώς, η υπό διερεύνηση θέση δεν τοποθετείται αρκετά κοντά στις γεωτρήσεις της Γεωλογικής Μελέτης της ΜΠΕ, κρίθηκε σκόπιμη η αξιοποίηση τους συνδυαζόμενη με επί τόπου παρατηρήσεις. Στο δεξί πρηνές της Θ1 εντοπίζεται εμφάνιση των Μαρμάρων του λόφου Έτους (2.5.1.1) σε όλο το ύψος του πρηνούς (Εικόνα 3-16). Στο αριστερό πρηνές της Θ1 παρατηρήθηκε ότι από την επιφάνεια της στέγης του πρηνούς ως το βάθος 1 m περίπου εντοπίζονται ανθρωπογενείς αποθέσεις. Στο κατώτερο τμήμα του πρηνούς συναντάται ο Σχηματισμός I του γεωτεχνικού μοντέλου.



**Εικόνα 3-16: (Αριστερά) Άποψη της κοίτης στη Θ1 (Δεξιά) Δεξί πρανές της κοίτης στη Θ1, εμφάνιση Μαρμάρου του λόφου Έτους.**

Στη ΜΠΕ προτείνεται διατομή με συρματοκιβώτια τύπου Α (Εικόνα 3-5), με πλάτος πυθμένα 3 m, μέγιστο πλάτος 8 m και ύψος 4 m. Στη θέση αυτή η κλίση προτείνεται να διαμορφωθεί στο 15,90 ‰ και η παροχή εκτιμάται από το υδρολογικό μοντέλο της ΜΠΕ στα 142,5 m<sup>3</sup>/s.

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι η ταχύτητα ροής αυξάνεται σημαντικά, λόγω του μικρότερου συντελεστή τριβής που παρουσιάζουν τα συρματοκιβώτια και λόγω της μικρότερης διατομής που προτείνεται να διαμορφωθεί σε σχέση με τη φυσική κοίτη.

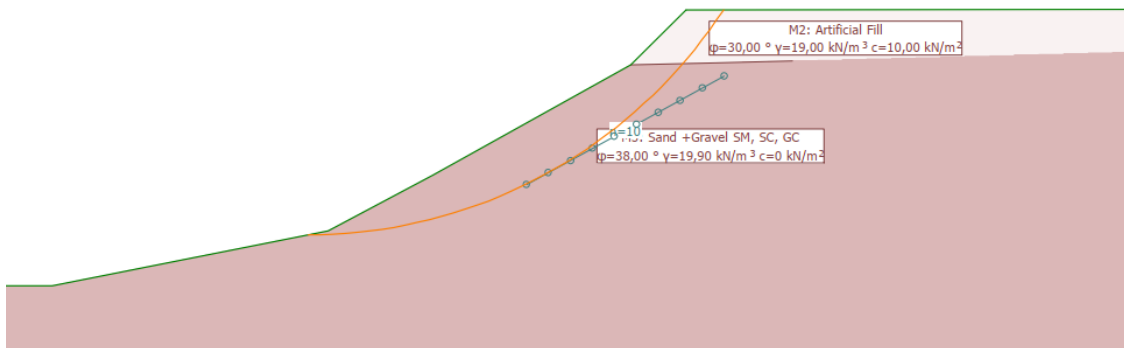
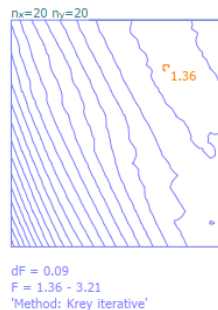
#### 3.2.1.1 Δεξί πρανές

Η πρόταση της ΜΠΕ για το δεξί πρανές στη Θ1 κρίνεται μη απαραίτητη, αφού ο βραχώδης σχηματισμός του λόφου Έτους έχει καλά μηχανικά χαρακτηριστικά και το πρανές έχει κλίση τέτοια που αποτρέπει τις αστοχίες. Ακόμα η ηλικία και η φύση του σχηματισμού τον καθιστά δυσδιάβρωτο, άρα δε χρειάζεται αντιδιαβρωτική προστασία.

### 3.2.1.2 Αριστερό πρανές

Για τον έλεγχο και την αξιολόγηση της Θ1 στο αριστερό πρανές πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές αναλύσεων. Η πρώτη στο φυσικό πρανές χωρίς αντιστήριξη, η δεύτερη στο πρανές μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων έργων της ΜΠΕ και η τρίτη με εφαρμογή εναλλακτικής πρότασης με λιθορριπή.

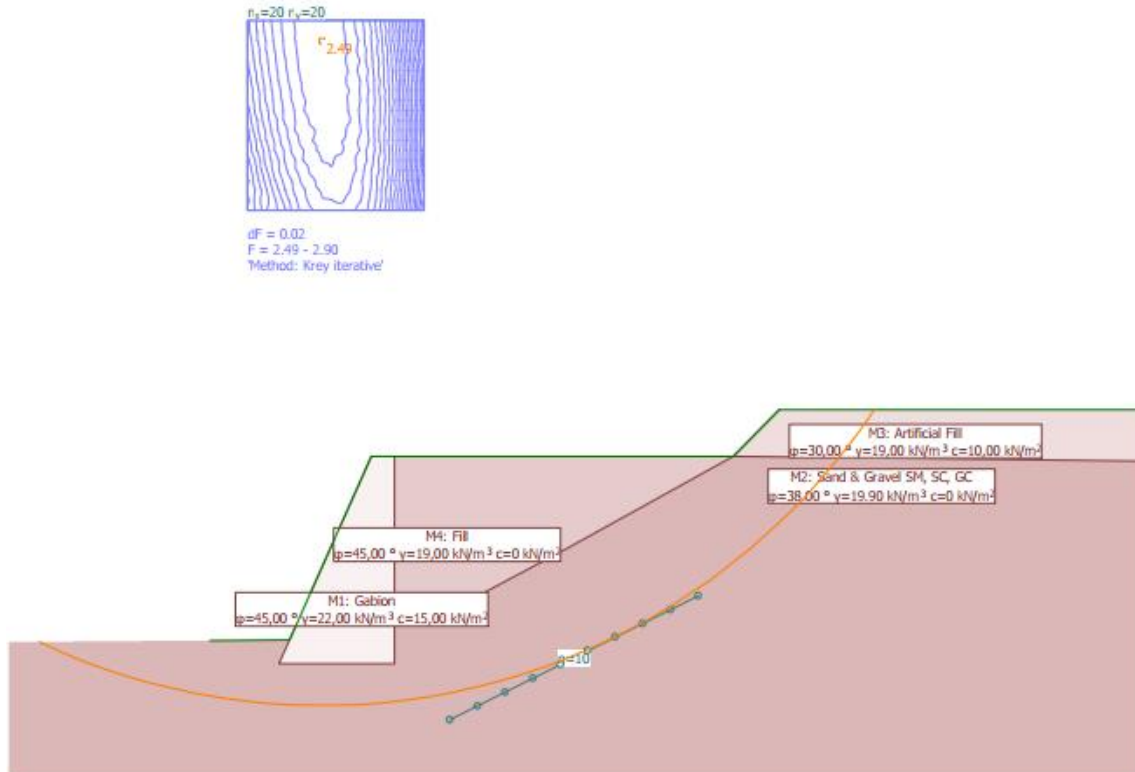
Στο φυσικό πρανές οι κύκλοι ολίσθησης της στέγνης εμφανίζουν επαρκείς τιμές συντελεστή ασφαλείας οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 1,35 και 1,68. (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΘΕΣΗ 1) Η αστοχία ποδός του πρανούς οριακά δεν ικανοποιεί το επιθυμητό όριο 1,4 καθώς έχει τιμή συντελεστή ασφαλείας 1,36 (Εικόνα 3-17). Εάν όμως ληφθεί υπόψη η θετική επίδραση της βλάστησης που όπως διαπιστώθηκε στο πεδίο (Εικόνα 3-16) συμβάλλει καθοριστικά στην αύξηση του συντελεστή ασφαλείας, η τιμή του συντελεστή ασφαλείας ξεπερνάει με βεβαιότητα το επιθυμητό όριο. Άρα δεν είναι αναγκαία η αντιστήριξη του φυσικού πρανούς.



Εικόνα 3-17: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού αριστερού πρανούς στη Θ1 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός.

Η εφαρμογή των μέτρων της ΜΠΕ εμφανίζει ικανοποιητικές τιμές του συντελεστή ασφαλείας στο αριστερό πρανές από 1,60 έως και πάνω από 2,0 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:ΘΕΣΗ 1). Παρ' όλα αυτά,

όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3-18, η διατομή της κοίτης των προτεινόμενων έργων της ΜΠΕ είναι σημαντικά μικρότερη της υπάρχουσας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της παροχευτικής ικανότητας του ρ. Βαλανάρη, άρα και την αύξηση του πλημμυρικού κινδύνου. Ακόμα, η μείωση του πλάτους της φυσικής κοίτης στα 3 m του πυθμένα επηρεάζει αρνητικά τον υγρότοπο που αναπτύσσεται στις παρυφές της.



**Εικόνα 3-18:** Εικόνα γεωτεχνικού προσομοιώματος των προτεινόμενων έργων της ΜΠΕ στο αριστερό πρηνές της Θ1 με δυναμική επιφάνεια αστοχίας.

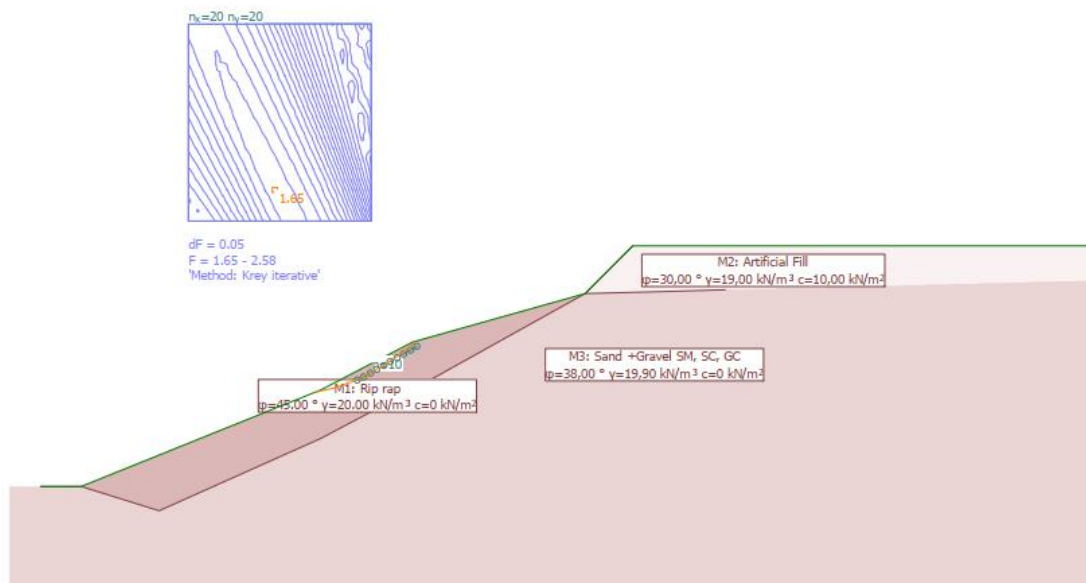
Η διαβρωσιμότητα του κοκκώδους υλικού (Σχηματισμός Ι) καθιστά αναγκαία τη διερεύνηση του βαθμού της διάβρωσής του. Όμως, κατά τη διάρκεια των εργασιών πεδίου δεν διαπιστώθηκαν (λόγω της φυτοκάλυψης) ορατά φαινόμενα διάβρωσης. Άρα η αντιδιαβρωτική προστασία κρίνεται μη απαραίτητη.

Λόγω της εκτιμώμενης μελλοντικής αύξησης των παροχών, ενδέχεται να παρουσιαστούν φαινόμενα διάβρωσης. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να εφαρμοστεί αντιδιαβρωτική προστασία, ώστε να μην παρουσιαστούν προβλήματα ευστάθειας του πρηνούς. Έχοντας σαν

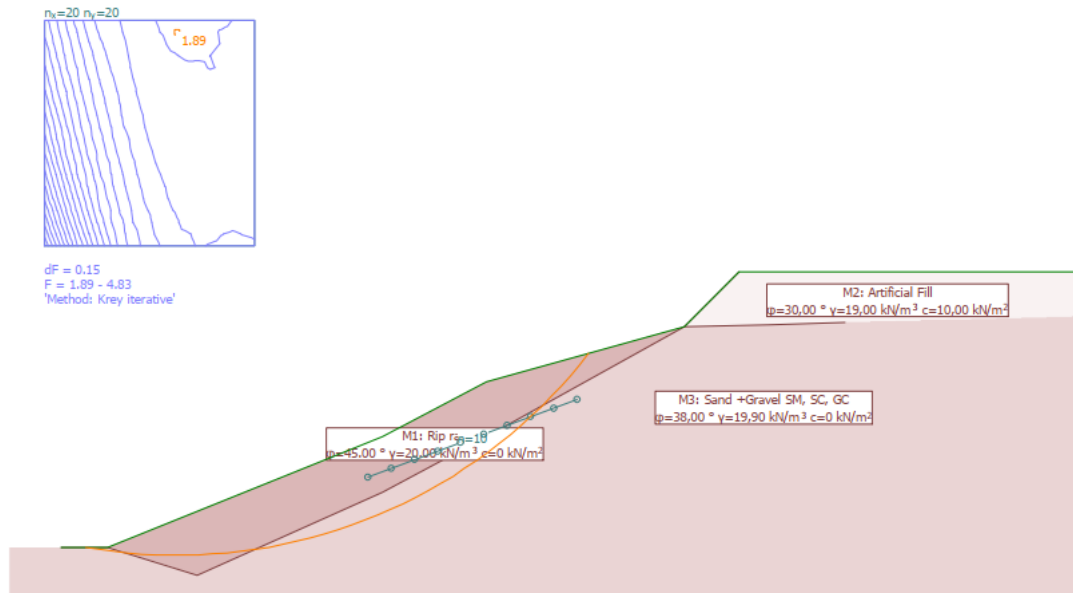


δεδομένο τις μεγάλες ταχύτητες ροής απαιτούνται βαριά μέτρα αντιδιαβρωτικής προστασίας. Με βάση τις αρχές του Bio- technical engineering η λιθορριπή με φύτευση μπορεί να παρέχει την απαιτούμενη αντιδιαβρωτική προστασία στο εξεταζόμενο πρηνός. Έτσι διασφαλίζονται μεγάλες τιμές διατμητικής αντοχής και καλή στράγγιση του τοίχου, με ηπιότερη παρέμβαση στο περιβάλλον σε σχέση με τα συρματοκιβώτια.

Η τελευταία σειρά αναλύσεων του αριστερού πρηνούς στη Θ1 περιλαμβάνει τη διερεύνηση της ευστάθειας του πρηνούς μετά την εγκατάσταση της λιθορριπής χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη συμβολή της φύτευσης στα μηχανικά χαρακτηριστικά. Από τις αναλύσεις προκύπτουν ότι δεν εμφανίζονται προβλήματα ευστάθειας στη στέψη των ανθρωπογενών παρεμβάσεων αλλά ούτε αστοχεί το σώμα ή κάποιο τμήμα της λιθορριπής, όπως έχει σχεδιαστεί (Εικόνα 3-19, Εικόνα 3-20). Οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας κυμαίνονται από 1,65 έως 1,99.



**Εικόνα 3-19:** Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρηνούς με λιθορριπή στη Θ1 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας στέψης της λιθορριπής.



Εικόνα 3-20: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρανού με λιθορριπή στη Θ1 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός της λιθορριπής.

### 3.2.2 Θέση 2 (τμήμα από Χ.Θ. 0+750 έως 0+570)

Η θέση 2 περιλαμβάνει το τμήμα από 0+750 έως 0+570 περίπου και βρίσκεται 80 m περίπου ανάντη της γέφυρας Αγ. Δημητρίου. Στο αριστερό πρανές του υπό διερεύνηση τμήματος εντοπίζεται τοίχος αντιστήριξης, ύψους 2 m περίπου, σε όλο το μήκος του. Σε απόσταση από 12,5 – 27 m περίπου από τον τοίχο αντιστήριξης εντοπίζεται η λ. Μαραθώνος (Εικόνα 3-21).. Το μέγιστο ύψος του δεξιού πρανού ανέρχεται στα 4 m με πολύ ήπιες κλίσεις. Το ελάχιστο πλάτος της κοίτης είναι 13 m περίπου και το μέγιστο πλάτος είναι 19 m περίπου (Εικόνα 3-22). Οι εδαφικοί σχηματισμοί που παρατηρήθηκαν στο πεδίο χαρακτηρίστηκαν ως χαλικώδεις και αργιλοχαλικώδεις. Η θέση επιλέχθηκε για μελέτη, λόγω του εκτιμώμενου λανθασμένου σχεδιασμού σε όλο το μήκος του τμήματος.



Εικόνα 3-21: Απεικόνιση της Θ2 από Google Earth.

Οι προτεινόμενη διάταξη των έργων από τη ΜΠΕ είναι η εξής:

- Ορθογωνική διατομή με σκυρόδεμα τύπου Β με πλάτος 8 m και ύψος 3 m για το τμήμα X.Θ. 0+750 έως X.Θ. 0+701,49.
- Έργο διεύρυνσης της διατομής από πλάτος 8 m σε πλάτος 10 m και από ύψος 3 m σε ύψος 4 m για το τμήμα X.Θ. 0+701,49 έως X.Θ. 0+691,49.
- Ορθογωνική διατομή με σκυρόδεμα τύπου Β με πλάτος 10 m και 4 m ύψος για το τμήμα X.Θ. 0+691,49 έως X.Θ. 0+671,49.
- Έργο στένωσης της διατομής και προσαρμογής σε εγκιβωτισμό με συρματοκιβώτια από πλάτος 10 m σε πλάτος 8 m για το τμήμα X.Θ. 0+671,49 έως X.Θ. 0+661,49
- Διατομή με συρματοκιβώτια τύπου Α με πλάτος 8 m και ύψος 4 m για το τμήμα X.Θ. 0+661,49 έως X.Θ. 0+570.

Οι παροχές υπολογίστηκαν από την Υδρολογική Μελέτη της ΜΠΕ σε 142,5 m<sup>3</sup>/s από την αρχή του τμήματος ως τη X.Θ. 0+671,49 και 163,5 m<sup>3</sup>/s από την X.Θ.0+671, 49 έως το τέλος

του τμήματος λόγω της συμβολής του ρ. Παλαιού Μύλου. Η προτεινόμενη προς διαμόρφωση κλίση του ρ. Βαλανάρη στο υπό εξέταση τμήμα είναι 14,32 ‰.

Στο υπό διερεύνηση τμήμα οι προτεινόμενες επεμβάσεις της ΜΠΕ μειώνουν το πλάτος της διατομής του ρέματος κατά το λιγότερο 5 m αυξάνοντας το ύψος της αριστερής παρειάς, όπου εντοπίζεται ο τοίχος αντιστήριξης. Το φυσικό δεξί πρανές είναι ίσο ή ψηλότερο κατά θέσεις με αυτό της προτεινόμενης διατομής της ΜΠΕ. Συνεπώς, οι προτεινόμενες διατάξεις έργων της ΜΠΕ μειώνουν συνολικά τη διατομή του ρέματος. Από το χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας της υδρολογικής μελέτης της ΜΠΕ (Εικόνα 3-13) προκύπτει ότι το πλημμυρικό φαινόμενο εκδηλώνεται στην αριστερή παρειά του τμήματος, κατά μήκος του οποίου διέρχεται σε κοντινή απόσταση η λ. Μαραθώνος.



Εικόνα 3-22: Άποψη της υφιστάμενης κατάστασης στη Θ2, στη Χ.Θ. 0+670 περίπου.

Με δεδομένο ότι στο δεξί μέρος του τμήματος το μέγιστο ύψος του πρανούς είναι 4 m και η δραστηριότητα της περιοχής που αντιμετωπίζει πλημμυρικό κίνδυνο είναι γεωργική, μια ενδεικτική αντιπλημμυρική προστασία της λ. Μαραθώνος είναι η ανύψωση του τοίχου αντιστήριξης που ήδη υφίσταται στην αριστερά παρειά του ρέματος. Ακόμα, κρίνεται αναγκαία η αντιδιαβρωτική προστασία του ποδός του τοίχου για την πρόληψη της ανατροπής του (Εικόνα 3-23).



**Εικόνα 3-23: Τοίχος αντιστήριξης στη Θ2. Στη βάση του τοίχου αντιστήριξης εμφανίζεται το βραχώδες υπόβαθρο λόγω της υποσκαφής του.**

### 3.2.3 Θέση 3 (Χ.Θ. 0+530)

Η θέση 3 βρίσκεται περίπου 50 m ανάντη της γέφυρας Αγ. Δημητρίου. Στη θέση αυτή το πλάτος της κοίτης είναι 20 m περίπου και ακολουθεί στένωσή της λόγω του τεχνικού της γέφυρας του Αγ. Δημητρίου (Εικόνα 3-24). Σύμφωνα με τη ΜΠΕ στη θέση αυτή προτείνεται διατομή με συρματοκιβώτια τύπου Α (Εικόνα 3-5) με πλάτος 8 m και ύψος 4 m, λόγω της

γέφυρας. Το φυσικό αριστερό πρανές της θέσης έχει ύψος περίπου 2,5 - 3 m και σε μικρή απόσταση από τη στέψη του διέρχεται η οδός Αρίωνος. Το φυσικό δεξί πρανές έχει ύψος 7 m περίπου και είναι έντονα διαβρωμένο. Η έντονη διάβρωση είναι αποτέλεσμα των μεγάλων διατμητικών τάσεων που ασκούνται στα εξωτερικά πρανή ενός μαιανδρισμού, όπως αυτός που αναπτύσσεται στη θέση μελέτης. Οι εδαφικοί σχηματισμοί που εμφανίζονται στα πρανή χαρακτηρίστηκαν στο πεδίο ως αργιλοχαλικώδεις. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε λόγω της διάβρωσης που παρατηρήθηκε στο πεδίο.



Εικόνα 3-24: Αεροφωτογραφία της Θ3.

Από τις παρατηρήσεις πεδίου κρίθηκε αναγκαία η αντιδιαβρωτική προστασία του δεξιού πρανούς για την αποτροπή αστοχίας του. Μια ενδεικτική αντιδιαβρωτική θωράκιση της θέσης είναι η τοποθέτηση ογκολίθων στην διαβρωμένη περιοχή (Εικόνα 3-25). Η παραπάνω επέμβαση έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των ταχυτήτων, μέσω της εκτόνωσης της ενέργειας του νερού.



**Εικόνα 3-25: Αεροφωτογραφία της θέσης όπου προτείνεται η τοποθέτηση ογκολίθων στη Θ3 στη βάση του δεξιού πρηνούς**

Ακόμα, λόγω των διαστάσεων της φυσικής διατομής, δεν κρίνεται αναγκαία η παρέμβαση στην παροχευτική ικανότητα του ρέματος. Επιπλέον, οι κλίσεις των πρηνών, τα εδαφικά υλικά που τα δομούν και η βλάστηση που έχει αναπτυχθεί σε αυτά συμβάλλουν θετικά στην ευστάθειά τους, χωρίς να χρειάζεται παρέμβαση. Τέλος, κρίνεται απαραίτητος ο επανασχεδιασμός της γέφυρας Αγ. Δημητρίου, επειδή η διατομή της δεν επιτρέπει τη διοχέτευση των προβλεπόμενων παροχών. Επιπλέον το υπάρχον τεχνικό έχει εμφανίσει σημάδια υποσκαφής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-26.



Εικόνα 3-26: Υποσκαφή των βάθρων της γέφυρας Αγ. Δημητρίου.

#### 3.2.4 Θέση 4 - Αγ. Δημητρίου (Χ.Θ. 0+400)

Η Θέση 4 (Χ.Θ. 0+400 περίπου) απέχει ~80 m κατάντη της γέφυρας Αγ. Δημητρίου (Εικόνα 3-27) και τοποθετείται 300 m βορειοδυτικά της γέφυρας Αρίωνος. Το πλάτος της κοίτης είναι περίπου 7,5 m. Το αριστερό πρανές έχει ύψος 3,5 m περίπου και στη στέψη του βρίσκεται περιφραγμένος χώρος φύλαξης αιγοπροβάτων. Ακόμα, στο πρανές παρατηρήθηκε τοίχος από



πέτρα και κονίαμα που έχει αστοχήσει λόγω υποσκαφής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-29. Το δεξί πρανάς έχει ύψος 2,5 m και σε απόσταση 20 m περίπου νότια της στέψης του εντοπίζονται εγκαταστάσεις επεξεργασίας μαρμάρου. Η συγκεκριμένη θέση κρίθηκε κατάλληλη για ανάλυση ευστάθειας των πρανών λόγω της διαθεσιμότητας επαρκών δεδομένων και της διαφαινόμενης υπερδιαστασιολόγησης των έργων.



Εικόνα 3-27: Άποψη της γέφυρας Αγ. Δημητρίου από τη Θ4.

Στην εκτίμηση της γεωλογικής δομής των πρανών ελήφθησαν υπόψη οι παρατηρήσεις πεδίου, η γεωλογική τομή της γέφυρας Αγ. Δημητρίου (Εικόνα 3-28) και το γεωτεχνικό μοντέλο της γέφυρας Αρίωνος, εκ των οποίων τα δύο τελευταία περιλαμβάνονται στη ΜΠΕ. Λόγω της παρουσίας του Σχηματισμού Ι της γεωτεχνικής μηκοτομής των γεωτρήσεων ΠΓ- 7 και ΠΓ- 8, η στρωματογραφία της συγκεκριμένης θέσης εκτιμήθηκε ως εξής:

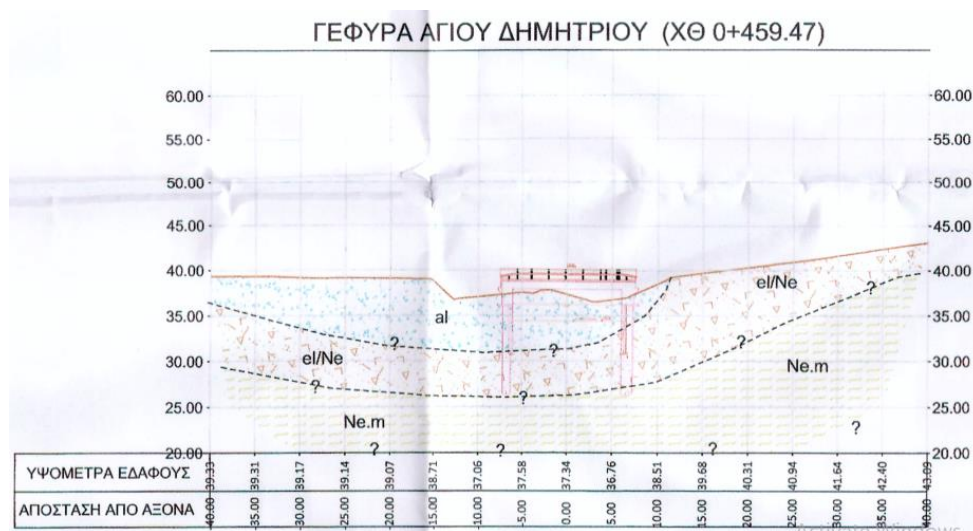
- Ανθρωπογενείς αποθέσεις: Με βάση τις παρατηρήσεις πεδίου.

- Σχηματισμός I: Σύμφωνα με τη ΜΠΕ ο Σχηματισμός I χαρακτηρίζεται γεωτεχνικά ως “αργιλώδεις έως ιλυώδεις χάλικες με άμμο και τοπικά κροκάλες (GC, GC –GM, GM), χαμηλής πλαστικότητας έως χάλικες χαλαρής έως πυκνής απόθεσης, καστανού έως καστανοκόκκινου έως καστανοκίτρινου χρώματος και λατύπες με ιλλοαμμώδες έως ιλλοαργιλώδες υλικό καστανού χρώματος”.

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών είναι τα παρακάτω:

Πίνακας 4: Μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφικών σχηματισμών της Θ4.

Περιγραφή	$\phi$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	c (kN/m <sup>2</sup> )
Χάλικες GC, GC – GM, GM	35,0	21,0	1,5
Ανθρωπογενείς αποθέσεις	30,0	19,0	10,0



Εικόνα 3-28: Γεωλογική Διατομή στη θέση της γέφυρας Αγ. Δημητρίου.

Στη ΜΠΕ προτείνεται εγκιβωτισμός της κοίτης με διατομή τύπου Α (Εικόνα 3-5), με πλάτος πυθμένα 3 m, μέγιστο πλάτος 8 m και ύψος 3,5 m. Η κλίση του ρέματος προτείνεται να διαμορφωθεί στο 14,58 ‰ και η παροχή εκτιμάται από το υδρολογικό μοντέλο της ΜΠΕ στα 163,5 m<sup>3</sup>/s.

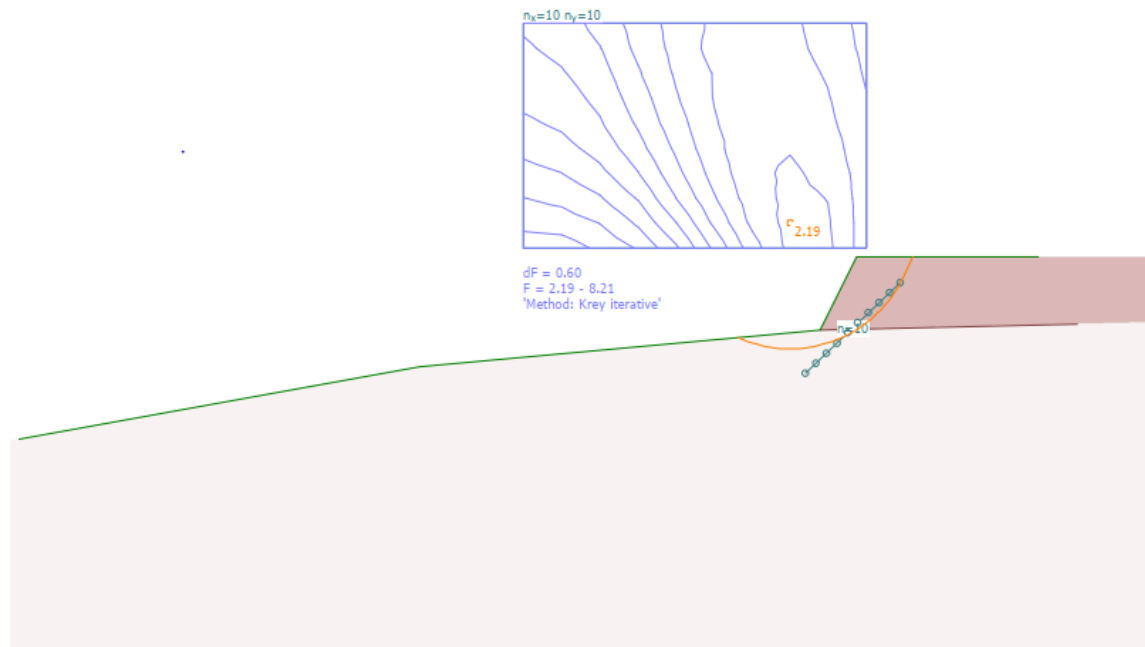


Εικόνα 3-29: (Αριστερά) Αριστερό πρανές Θ4 (Δεξιά) Άποψη της κοίτης προς τα κατάντη στη Θ4.

#### 3.2.4.1 Δεξί πρανές

Ο έλεγχος και η αξιολόγηση του δεξιού πρανούς της Θ4 πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια δύο σειρών αναλύσεων. Η πρώτη στο φυσικό πρανές χωρίς αντιστήριξη και η δεύτερη στο πρανές μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων έργων της ΜΠΕ (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΘΕΣΗ 4).

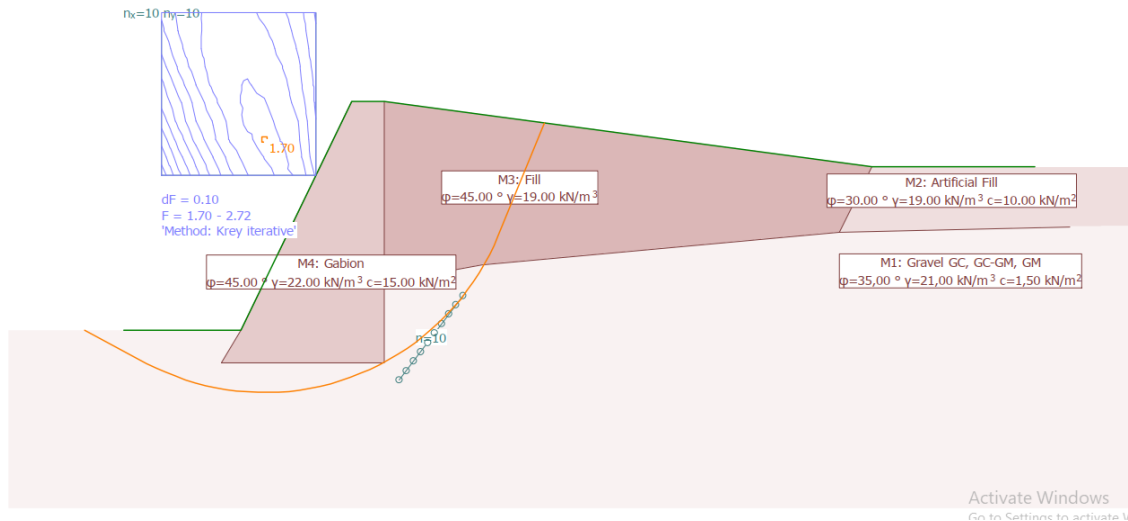
Λόγω των ήπιων κλίσεων και του χαμηλού ύψους του πρανούς διερευνήθηκε αποκλειστικά η ευστάθεια των ανθρωπογενών αποθέσεων. Η χαμηλότερη τιμή 2,19 του συντελεστή ασφαλείας παρουσιάστηκε κατά την εξέταση της περιστροφικής αστοχίας των ανθρωπογενών αποθέσεων, ικανοποιώντας τα επιθυμητά όρια (Εικόνα 3-30).



Εικόνα 3-30: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού δεξιού πρανούς στη Θ4 με τη δυσμενέστερη δυνατή επιφάνεια περιστροφικής αστοχίας.

Οι αναλύσεις ευστάθειας των μέτρων της ΜΠΕ εμφανίζουν ικανοποιητικές τιμές συντελεστή ασφαλείας μεταξύ 1,70 και 1,98. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3-31, το πλάτος της κοίτης των προτεινόμενων επεμβάσεων της ΜΠΕ είναι σημαντικά μικρότερο από αυτό της υφιστάμενης αλλά το ύψος είναι μεγαλύτερο. Έτσι, το εμβαδόν της διατομής παραμένει σε παρόμοια τιμή, αλλάζοντας εξ ολοκλήρου τον υγρότοπο. Η προσφορά των έργων της ΜΠΕ αφορά την αύξηση της ταχύτητας της ροής νερού. Ένα ακόμα συμπέρασμα της Εικόνα 3-31 είναι η ανάγκη μεγάλου όγκου επιχωματώσεων για την κατασκευή του έργου.

Από τα προαναφερόμενα μια ενδεικτική λύση, χωρίς να επηρεάζει αρνητικά την κοίτη και τον υγρότοπό της, είναι η διαμόρφωση αναχώματος σε κοντινή απόσταση από τη στέψη των ανθρωπογενών αποθέσεων, με σκοπό την αντιπλημμυρική θωράκιση της περιοχής. Ο προσδιορισμός των τεχνικών λεπτομερειών του αναχώματος είναι αντικείμενο ξεχωριστής μελέτης.

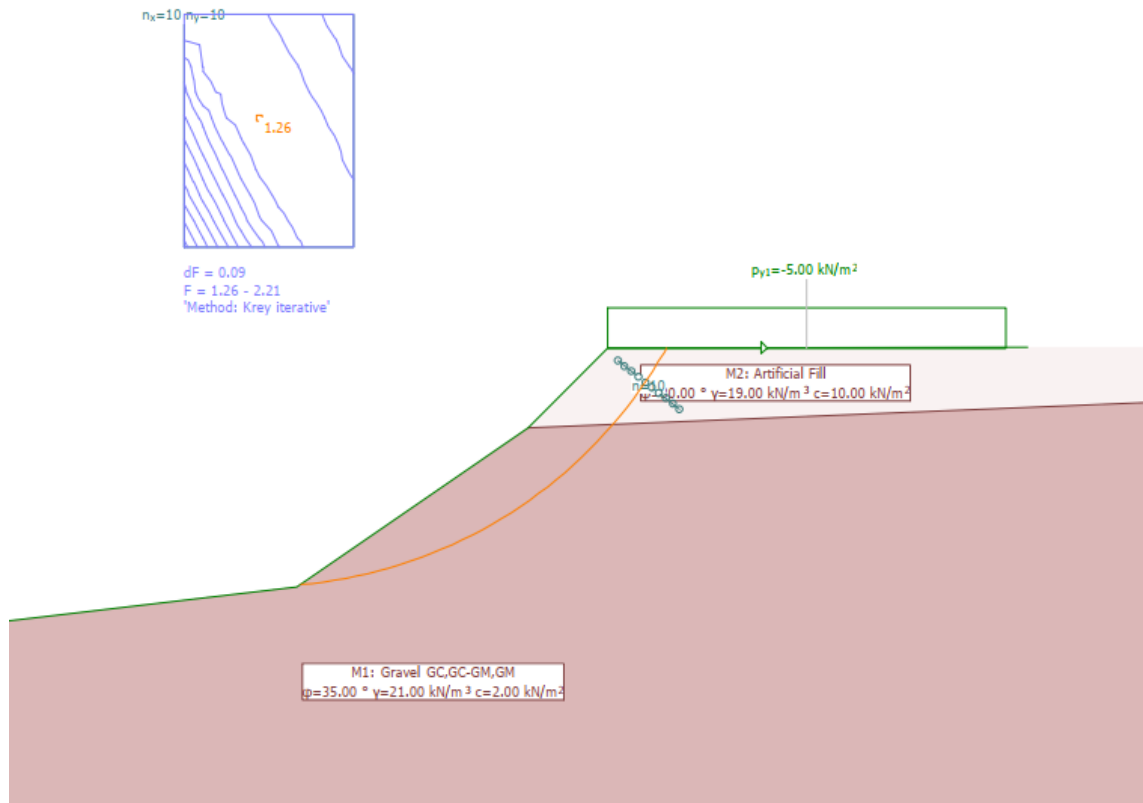


**Εικόνα 3-31:** Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του προτεινόμενου από τη ΜΠΕ δεξιού πρανούς στη Θ4 με τη δυσμενέστερη δυνατή επιφάνεια περιστροφικής αστοχίας.

### 3.2.4.2 Αριστερό πρανές

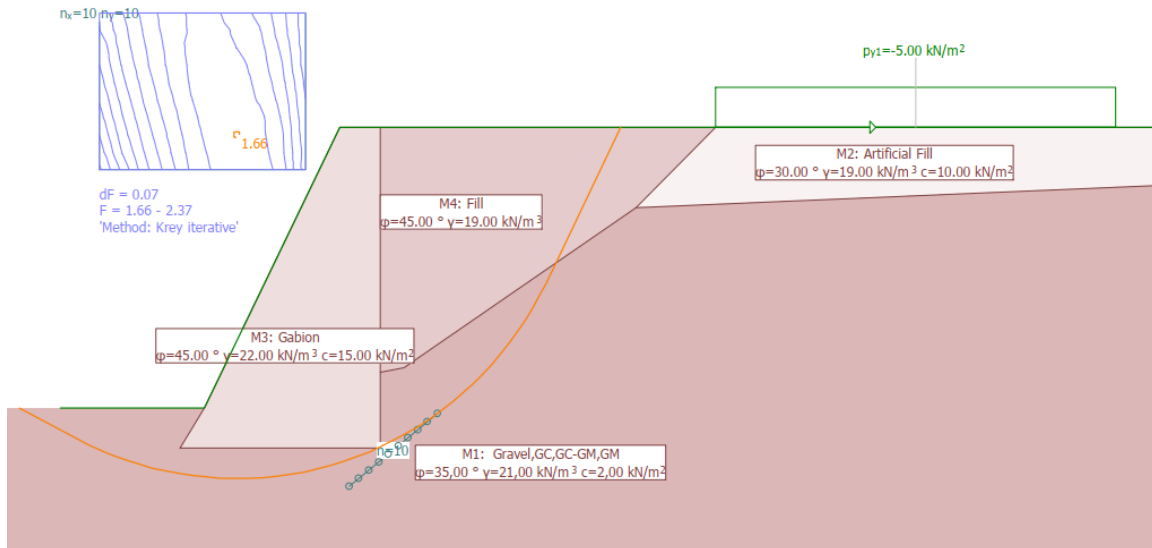
Αρχικά, για τη διερεύνηση και την αξιολόγηση του αριστερού πρανού της Θ4 πραγματοποιήθηκαν τέσσερις σειρές αναλύσεων. Η πρώτη στο φυσικό πρανές χωρίς αντιστήριξη, η δεύτερη στο πρανές μετά την εφαρμογή των προτεινόμενων έργων της ΜΠΕ, η τρίτη με την απομάκρυνση του χώρου φύλαξης των ζών από τη στέψη του πρανού και η τέταρτη με συμπληρωματική εξομάλυνση του πρανού. Τέλος, πραγματοποιήθηκαν δύο ακόμα σειρές αναλύσεων για τη διερεύνηση της επιρροής της πιθανής διάβρωσης του ποδός στην ευστάθειά του και για την ευστάθεια της προτεινόμενης αντιδιαβρωτικής προστασίας με λιθορριπή. Ο χώρος φύλαξης ζών προσομοιώθηκε στις αναλύσεις ευστάθειας με την επιβολή ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου  $5 \text{ kN/m}^2$  στη στέψη του πρανού (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΘΕΣΗ 4).

Από την ανάλυση ευστάθειας του φυσικού πρανού προκύπτει ότι οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας έναντι της δυνατότητας εκδήλωσης κάθε είδους αστοχίας δεν ικανοποιούν τα επιθυμητά όρια. Ο μικρότερος συντελεστής ασφαλείας προέκυψε στην ανάλυση ευστάθειας του ποδός με τιμή 1,26 (Εικόνα 3-32) Συμπερασματικά, η λήψη μέτρων για την εξασφάλιση του πρανού έναντι αστοχίας είναι απαραίτητη.



Εικόνα 3-32: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού αριστερού πρανού στη Θ4 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός.

Από το έλεγχο των συνθηκών ευστάθειας του πρανού, όπως αυτό διαμορφώνεται μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης από την ΜΠΕ διάταξης έργων, προέκυψε ότι ο συντελεστής ασφαλείας που επιτυγχάνεται αυξάνεται, παρουσιάζοντας τιμές από 1,66 (Εικόνα 3-33) έως 2,16. Τα προτεινόμενα έργα της ΜΠΕ μειώνουν το πλάτος της υπάρχουσας διατομής χωρίς να αυξάνεται το ύψος, άρα το εμβαδόν της διαθέσιμης διατομής μειώνεται. Η προσφορά των έργων της ΜΠΕ αφορά την αύξηση της ταχύτητας της ροής νερού και την προστασία του σχηματισμού από τη διάβρωση.



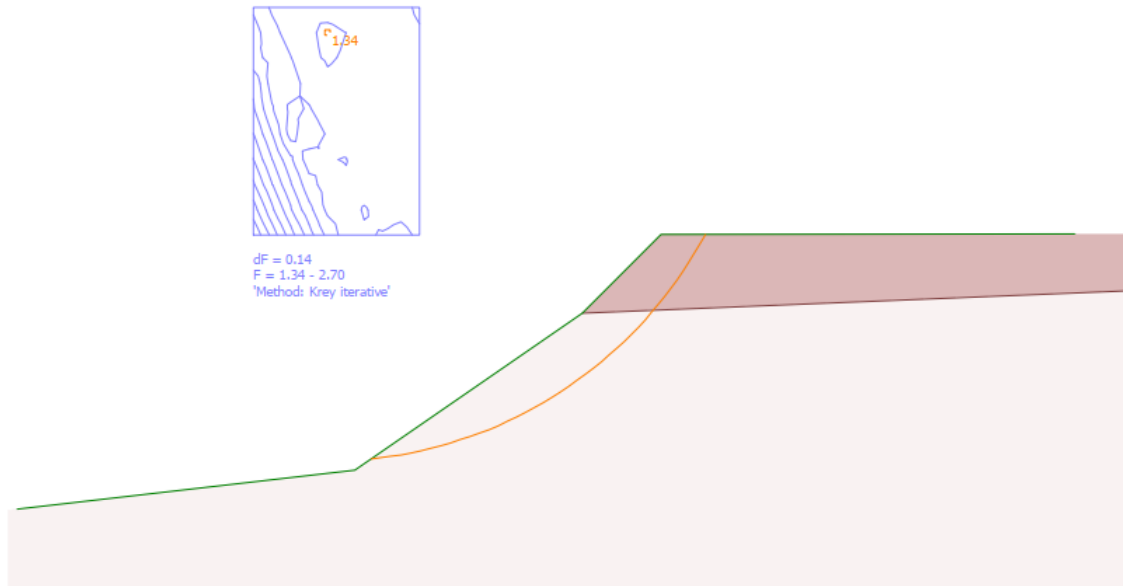
**Εικόνα 3-33:** Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του προτεινόμενου από τη ΜΠΕ αριστερού πρανού στη Θ4 με τη δυσμενέστερη δυνατή επιφάνεια περιστροφικής αστοχίας.

Αρχικά, εξετάστηκε η επάρκεια της αφαίρεσης του χώρου φύλαξης των ζώων για την ευστάθεια του πρανού. Από τις αναλύσεις προέκυψε ότι ο συντελεστής αυξάνεται στο 1,34, χωρίς όμως να επαρκεί (Εικόνα 3-34). Για αυτό το λόγο διερευνήθηκε η επιπρόσθετη διαμόρφωση του πρανού με κλίση  $45^\circ$ . Από τις αναλύσεις ευστάθειας του εξομαλυμένου πρανού προέκυψε ότι η διαμόρφωση ικανοποιεί τα επιθυμητά όρια με ελάχιστο συντελεστή ασφαλείας 1,76 (Εικόνα 3-35).

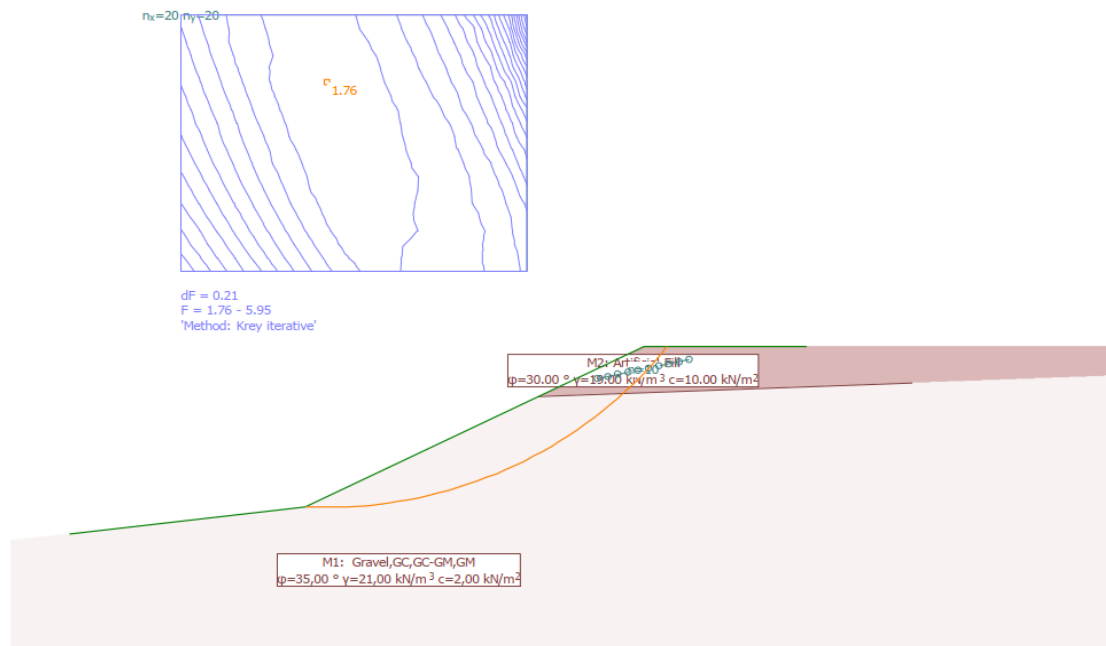
Λόγω της χαλικώδους φύσης του υλικού που αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του πρανού η παραπάνω πρόταση κρίνεται επαρκής σε συνδυασμό με φύτευση. Για την περίπτωση που παρατηρηθεί, στο μέλλον, απώλεια υλικού λόγω διάβρωσης του ποδός, κρίθηκε αναγκαίος ο έλεγχος της ευστάθειας του πρανού. Από τις αναλύσεις της ευστάθειας του υποσκαμμένου πρανού προέκυψε ότι ο συντελεστής ασφαλείας δεν είναι επαρκής, γεγονός που θα οδηγήσει σε αλληλουχία αστοχιών (Εικόνα 3-36, Εικόνα 3-37). Επομένως, απαιτείται παρέμβαση για την αντιδιαβρωτική προστασία του πρανού. Για λόγους που προαναφέρθηκαν στο υποκεφάλαιο 3.2.1 κατάλληλη λύση αποτελεί η λιθορριπή με μοσχεύματα φυτών.

Οι αναλύσεις ευστάθειας του πρανού μετά την εγκατάσταση της λιθορριπής πραγματοποιήθηκε χωρίς τη συμβολή της βλάστησης στα μηχανικά χαρακτηριστικά του πρανού. Από τις αναλύσεις προκύπτουν ότι δεν εμφανίζονται προβλήματα ευστάθειας σε

κάποιο τμήμα της λιθορριπής, με ελάχιστο συντελεστή ασφαλείας 1,93, όπως έχει σχεδιαστεί (Εικόνα 3-38). Τέλος, η εγκατάσταση της λιθορριπής λειτουργεί ευεργετικά στη συνολική ευστάθεια του πρανούς με τιμές συντελεστή ασφαλείας μεγαλύτερες της πρότασης της ΜΠΕ.

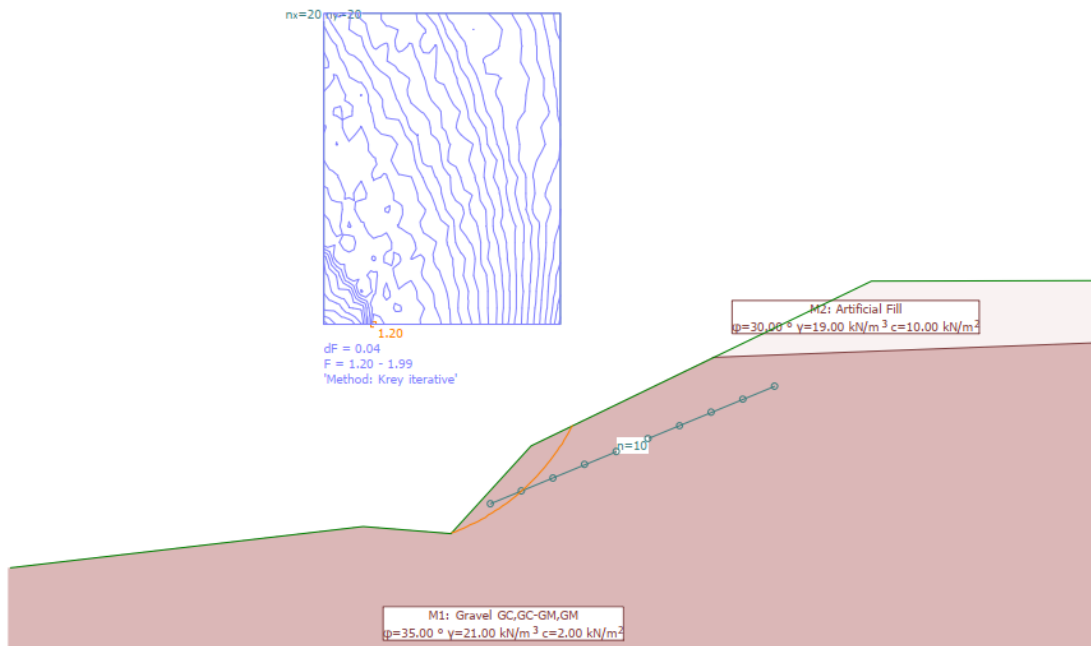


Εικόνα 3-34: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρανούς μετά την αφαίρεση του χώρου φύλαξης των ζώων στη Θ4 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας στέψης.

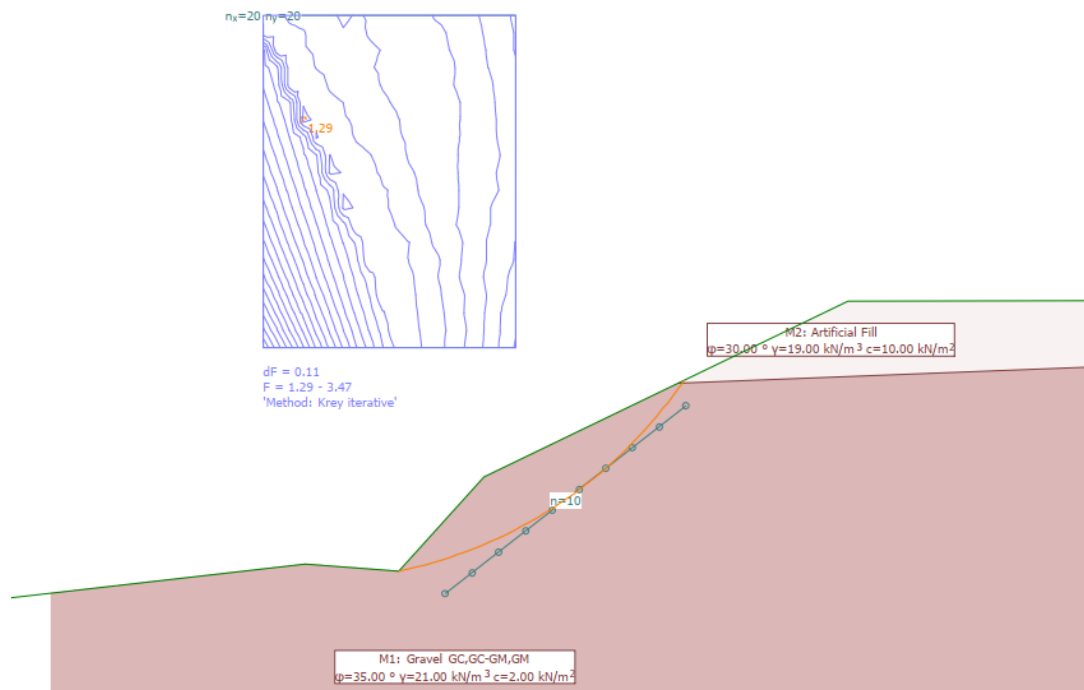


Εικόνα 3-35: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρανούς μετά την αφαίρεση του χώρου φύλαξης των ζώων και την εξομάλυνση του πρανούς στη Θ4 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας.





Εικόνα 3-36: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρανού μετά την υποσκαφή του εξομαλμένου πρανού στη Θ4 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας.



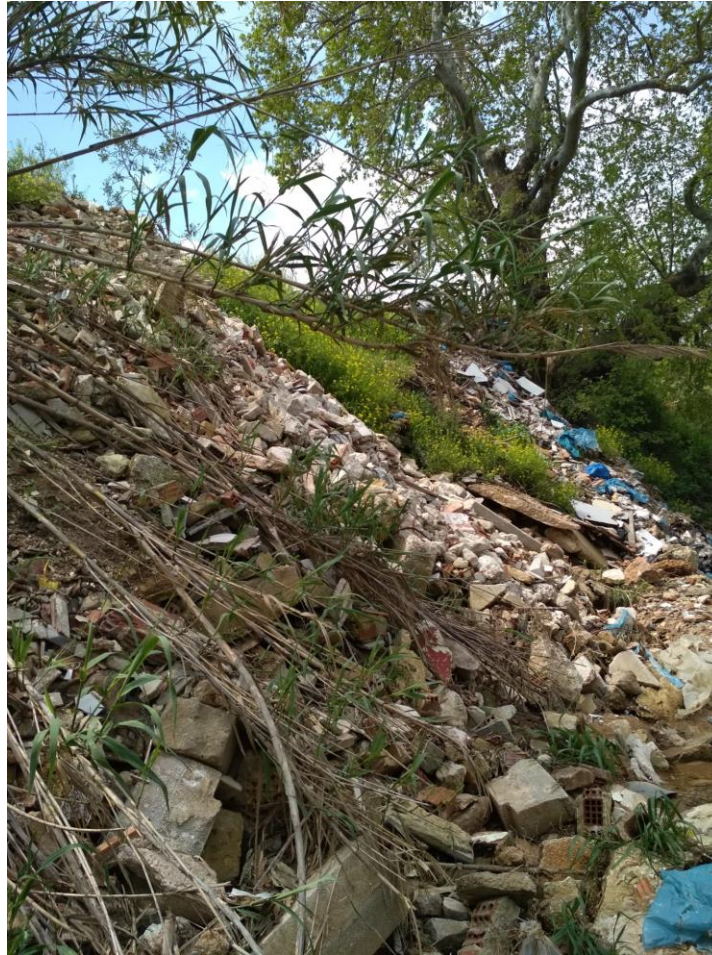
Εικόνα 3-37: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρανού μετά την υποσκαφή του εξομαλμένου πρανού στη Θ4 με δυσμενή επιφάνεια αστοχίας.





Εικόνα 3-39: Απεικόνιση της Θ5 από Google Earth. Φαίνεται η έκταση που καταλαμβάνουν τα μπάζα στην κοίτη του ρέματος.

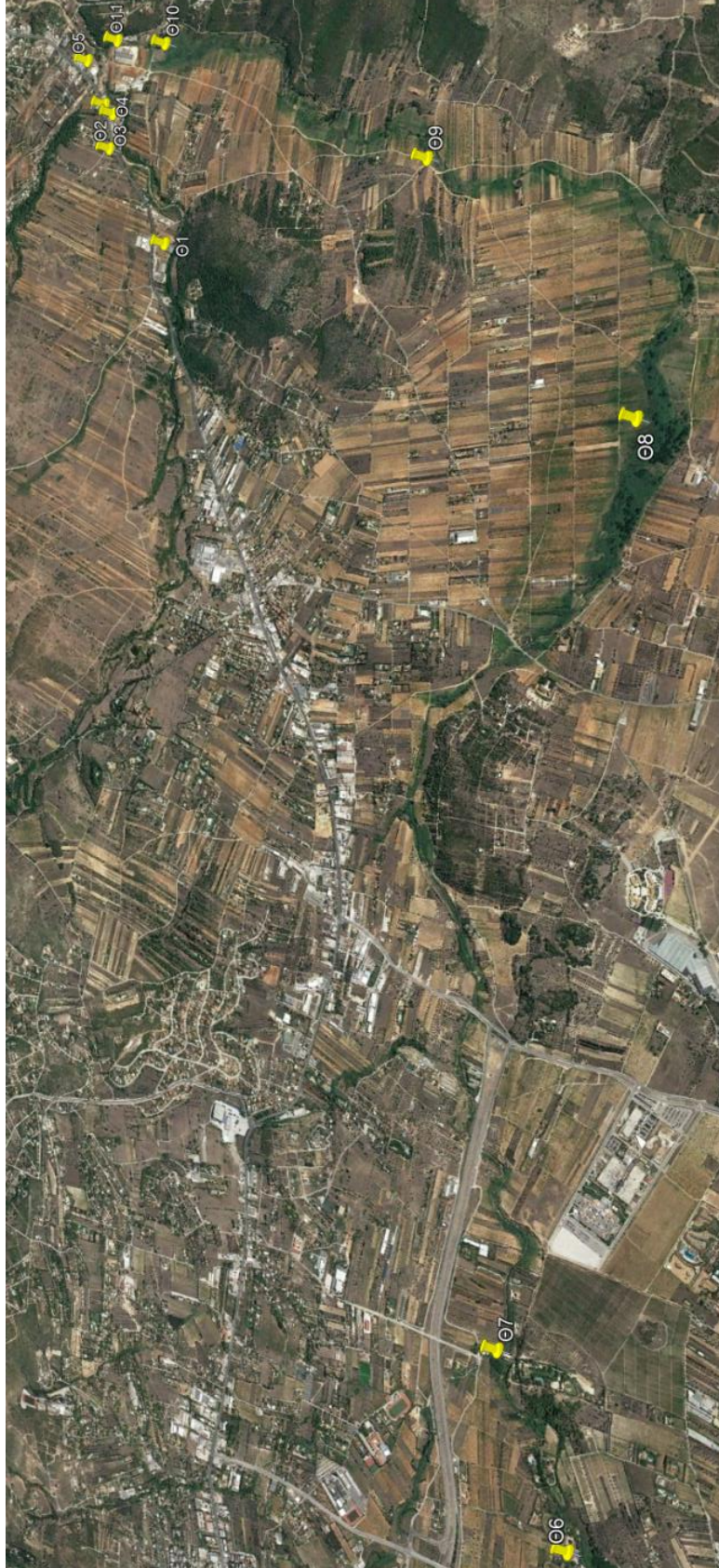
Η αποκατάσταση της φυσικής κοίτης με την απομάκρυνση των μπαζών και των απορριμμάτων σε όλο το μήκος του ρέματος αποτελεί λύση των παραπάνω. Τέλος, θα πρέπει να επιτηρείται η κοίτη και να επιβάλλονται κυρώσεις σε όσους αποθέτουν μπάζα και απορρίμματα εντός της κοίτης.



Εικόνα 3-40: Μάζα και απορρίματα εντός της κοίτης στη Θ5.

### **ΘΕΣΕΙΣ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ**

Οι θέσεις που επιλέχτηκαν για μελέτη του κύριου κλάδου του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας φαίνονται στην Εικόνα 3-41 και είναι οι εξής:



Εικόνα 3-41: Χάρτης θέσεων Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας από Google Earth

### 3.2.6 Θέση 6 – 7<sup>ο</sup> Δημοτικό (Χ.Θ 14+500)

Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται πλησίον του 7<sup>ου</sup> Δημοτικού Παλλήνης (Εικόνα 3-42). Μορφολογικά, τα πρανή έχουν 3 m ύψος και η κοίτη έχει πλάτος περίπου 2,5 m. Ο φράχτης του προαύλιου χώρου του σχολείου εντοπίζεται σε απόσταση 1 m περίπου από τη στέψη του αριστερού πρανούς, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-43. Στο δεξί πρανές αναπτύσσεται γεωργική δραστηριότητα. Η θέση αυτή επιλέχθηκε λόγω της κρισιμότητας της, καθώς το σχολείο πλημμυρίζει πολύ συχνά, θέτοντας σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές.



Εικόνα 3-42: Αεροφωτογραφία της Θ6.



**Εικόνα 3-43: Φωτογραφία του αριστερού πρανούς στη Θ6.**

Στην περιοχή παρατηρήθηκαν ευδιάβρωτοι αργιλοαμμώδεις σχηματισμοί. Παράδειγμα της διαβρωσιμότητας αποτελεί ο μαιανδρισμός που σχηματίζεται στο δεξί πρανές 70 m περίπου κατάντη της θέσης μελέτης (Εικόνα 3-44).



Εικόνα 3-44: Αεροφωτογραφία του μαιανδρισμού κατάντη της Θ6.

Στη ΜΠΕ προτείνεται επένδυση της κοίτης με συρματοκιβώτια σε διατομή τύπου E (Εικόνα 3-9), με πλάτος πυθμένα 15 m, μέγιστο άνω πλάτος 21 m και ύψος 3 m. Η κλίση του ρέματος προτείνεται να διαμορφωθεί στο 0,008 και η παροχή εκτιμάται από το υδρολογικό μοντέλο της ΜΠΕ στα 154,9 m<sup>3</sup>/s.

Η παραπάνω διαμόρφωση της κοίτης αποσκοπεί στη διεύρυνσή της και την αντιδιαβρωτική της προστασία, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η λειτουργική σημασία του σχολείου. Για την ασφάλεια των μαθητών και των εργαζομένων του σχολείου, κρίνεται η εφαρμογή βαρύτερων μέτρων. Ενδεικτική λύση αποτελεί η κατασκευή πασσαλότοιχου, τουλάχιστον στο πρηνές του σχολείου. Στο σχεδιασμό της πασσαλοστοιχίας πρέπει να ληφθεί υπόψη το ενδεχόμενο αποκάλυψης των πασσάλων λόγω διάβρωσης. έτσι ώστε να ανθίσταται στις ενεργές τάσεις των μετόπισθεν με ικανοποιητικό συντελεστή ασφαλείας. Η διαστασιολόγηση του έργου χρήζει ανάθεσης ειδικής τεχνικής μελέτης.



Η υψομετρική διαφορά του δρόμου με το σχολείο το καθιστά ευάλωτο σε πλημμυρικό φαινόμενο, αφού είναι κτισμένο σε χαμηλότερο υψόμετρο. Στη υφιστάμενη κατάσταση το σχολείο πλημμυρίζει ακόμα και με μικρές παροχές και η λειτουργία του διακόπτεται. Συγκεκριμένα στο πλαίσιο της επίσκεψης μετά τη βροχόπτωση που έλαβε χώρα στις 19/06/2019 παρατηρήθηκαν φερτά υλικά στον προαύλιο χώρο του σχολείου, αποδεικνύοντας τον παραπάνω ισχυρισμό (Εικόνα 3-45).

Τα παραπάνω δεδομένα καθιστούν το σχεδιασμό για πλημμυρικές παροχές με περίοδο επαναφοράς 50-ετίας επισφαλή, καθώς σε περίπτωση εκδήλωσης μεγαλύτερου πλημμυρικού κύματος το ρίσκο απώλειας ανθρωπίνων ζώων είναι ανυπολόγιστο. Επειδή δεν είναι εφικτή η αντιπλημμυρική προστασία για περιόδους επαναφοράς 100-ετίας, 200-ετίας, ακόμα και 300-ετίας, λόγω οικονομικών κυρίως αιτιών, προτείνεται η μετεγκατάσταση του σχολείου σε ασφαλή τοποθεσία. Στην περίπτωση αυτή τα ανωτέρω προτεινόμενα έργα είναι περιττά και πρέπει να αναθεωρηθούν.



Εικόνα 3-45: Αεροφωτογραφία του σχολείου στη Θ6. Φαίνονται τα φερτά υλικά στον προαύλιο χώρο.

### 3.2.7 Θέση 7 – Τεχνικό Γέφυρας Μπάσκετ (ιδιωτική γέφυρα) (Χ.Θ. 14+259)

Στη συγκεκριμένη θέση εντοπίζεται γέφυρα που οδηγεί σε ιδιόκτητο οικόπεδο, χωρίς άλλη χρήση. Η διατομή της γέφυρας δημιουργεί στένωση της κοίτης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-46. Η κοίτη παραμένει περιορισμένη στο τμήμα όπου συμπίπτει με τα όρια του οικοπέδου, εξαιτίας μεγάλου όγκου τοίχων αντιστήριξης που έχουν κατασκευαστεί εντός της κοίτης (Εικόνα 3-47). Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε ως χαρακτηριστικό παράδειγμα στένωσης τη κοίτης λόγω τεχνικών παρεμβάσεων.

Μετά την αυτοψία που έλαβε χώρα στις 21/06/2019, διαπιστώθηκε η μη επάρκεια της κοίτης με αποτέλεσμα τον πλημμυρισμό των ανάντη, συμπεριλαμβανομένου και του 7<sup>ου</sup> Δημοτικού σχολείου. Ακόμα, διαπιστώθηκε ότι οι μεγάλες ταχύτητες ροής που αναπτύσσονται είναι ικανές να παρασύρουν κορμούς μεγάλου μεγέθους (Εικόνα 3-48). Επιπλέον, παρατηρήθηκε εμφανής υποσκαφή στις βάσεις της γέφυρας (Εικόνα 3-49).



Εικόνα 3-46: Αεροφωτογραφία της Θ7. Φαίνεται η στένωση της κοίτης λόγω του τεχνικού έργου.



Εικόνα 3-47: Τοίχοι αντιστήριξης κατά μήκος της κοίτης κατάντη της Θ7.

Οι προτεινόμενες διατάξεις έργων της ΜΠΕ περιλαμβάνουν ανακατασκευή της γέφυρας και εγκιβωτισμό με ορθογωνική διατομή με πασσαλοστοιχίες και κοιτόστρωση οπλισμένου σκυροδέματος τύπου Η (Εικόνα 3-12), πλάτους 15 m και ύψους 3 m, έως τη Χ.Θ. 14+200, όπου οριοθετούνται οικόπεδα πολυτελών κατοικιών εκατέρωθεν της κοίτης. Η κλίση του ρέματος προτείνεται να διαμορφωθεί στο 0,008 και οι προβλεπόμενες παροχές ανέρχονται στα 154,9 m<sup>3</sup>/s.

Η παραπάνω διαμόρφωση κρίνεται επιβεβλημένη, με δεδομένη την ανάγκη ανασχεδιασμού της γέφυρας, διαπλάτυνσης της κοίτης και αντιστήριξη με πασσαλοστοιχίες λόγω του διαθέσιμου χώρου.



**Εικόνα 3-48: Παρασυρμένος κορμός δέντρου.**



**Εικόνα 3-49: Άποψη της γέφυρας στη Θ7. Φαίνεται η υποσκαφής της.**

### 3.2.8 Θέση 8 – Νάσιουτζικ (Χ.Θ 13+650)

Στη συγκεκριμένη θέση εντοπίζεται γέφυρα που ενώνει ιδιοκτησία. Τα βάθρα της γέφυρας θεμελιώνονται στις ανθρωπογενείς αποθέσεις οι οποίες φαίνονται στην Εικόνα 3-50. Τα πρανή στη θέση έχουν ύψος περίπου 3 m και στη θέση της γέφυρας 6 m. Το πλάτος της κοίτης είναι 10 m περίπου. Η συγκεκριμένη θέση επιλέχθηκε ως χαρακτηριστικό παράδειγμα αστοχίας γέφυρας λόγω μη επαρκούς αντιδιαβρωτικής προστασίας των σχηματισμών της θεμελίωσης των βάθρων και λόγω της υπερδιαστασιολόγησης των έργων που προτείνονται από την ΜΠΕ στα ανάντη και στα κατόντη της θέσης. Επίσης στη θέση εντοπίζεται επικρεμάμενο τοίχιο οριοθέτησης οικοπέδου, λόγω της διάβρωσης των ανθρωπογενών αποθέσεων (Εικόνα 3-51).



Εικόνα 3-50: Απεικόνιση της διεπιφάνειας του παλαιοαναγλύφου στη Θ8.



Εικόνα 3-51: Επικρεμάμενο τοιχίο στη Θ8. Από το προσωπικό αρχείο του Α. Λαζαρή.

Στα πρανή της κοίτης παρατηρήθηκαν κατά τις εργασίες πεδίου αργιλοαμμώδεις σχηματισμοί, ενώ στον πυθμένα παρατηρήθηκαν ενστρώσεις πηλίτη και κατώτερα ενστρώσεις μαργαϊκού ασβεστόλιθου (Εικόνα 3-52).



Εικόνα 3-52: Δεικνόνιση της γεωμετρίας των επαφών ανάμεσα στον πηλίτη και το μαργαϊκό ασβεστόλιθο του πυθμένα της κοίτης στη Θ8. Λήψη δείγματος.

Στις προτεινόμενες διατάξεις της ΜΠΕ προτείνεται κατασκευή ορθογωνικής διατομής με πασσαλοστοιχίες και κοιτόστρωση οπλισμένου σκυροδέματος, τύπου Η (Εικόνα 3-12) στη θέση της γέφυρας. Το πλάτος της διατομής διαμορφώνεται στα 15 m και το ύψος στα 6 m. Ανάντη και κατάντη της θέσης της γέφυρας προτείνεται από τη ΜΠΕ τραπεζοειδής διατομή επενδεδυμένη με συρματοκιβώτια τύπου Ε με κάτω πλάτος 15 m, ελάχιστο άνω πλάτος 20-21 m και ύψος 2,5-3 m (Εικόνα 3-9). Οι παροχές στα ανάντη υπολογίστηκαν στα 154,9 m<sup>3</sup>/s και αυξάνονται στα 235 m<sup>3</sup>/s λόγω ενός συμβαλλόμενου ρέματος Παλλήνης που εντοπίζεται πριν τη γέφυρα. Η κλίση προβλέπεται να διαμορφωθεί στα 0,008.

Έπειτα από την αυτοψία που έλαβε χώρα στις 21/06/2019, διαπιστώθηκε η πλήρης κατάρρευση της γέφυρας σε σύγκριση με την προηγούμενη επίσκεψη που είχε πραγματοποιηθεί στις 22/04/2019 (Εικόνα 3-53, Εικόνα 3-54). Εικάζεται ότι σημαντικό ρόλο στη διάβρωση των σχηματισμών του αριστερού βάρθρου έχει η συμβολή με το ρέμα Παλλήνης.



Εικόνα 3-53: Αποψη της γέφυρας στη Θ8 στις 22/04/2019. Από το προσωπικό αρχείο του Α. Λαζαρή.



Εικόνα 3-54: Αεροφωτογραφία της γέφυρας στις 21/06/2019.

Κατά τον ανασχεδιασμό της γέφυρας, εφόσον αυτή απαιτείται, πρέπει να ληφθεί υπόψη η επάρκεια της διατομής και η επιρροή του ρέματος Παλλήνης στη βιωσιμότητα του έργου. Η κατασκευή πασσαλοστοιχίας και η διαμόρφωση ορθογωνικής διατομής με σκυρόδεμα κρίνεται ορθή.

Όμως η διατομή Ε δεν αποσκοπεί σε αντιστήριξη των πρανών παρά μόνο σε αντιδιαβρωτική προστασία. Δεδομένων των εμφανίσεων των δυσδιάβρωτων σχηματισμών στον πυθμένα της κοίτης η διεύρυνση της με αντιδιαβρωτική προστασία των εξομαλυμένων πρανών, όπου χρειάζεται, επαρκεί. Δηλαδή, δεν απαιτείται κάποια παρέμβαση στον πυθμένα της κοίτης.

### 3.2.9 Θέση 9 – Πλημμυρικό πεδίο Πετρέζας (από Χ.Θ 9+700 έως Χ.Θ 7+200)

Το συγκεκριμένο τμήμα του ρέματος αποτελεί ένα φυσικό πλημμυρικό πεδίο μεγάλης έκτασης, διαμορφώνοντας έναν πλούσιο βιότοπο (Εικόνα 3-55). Η κοίτη είναι εκφυλισμένη σε μικρούς χάνδακες ή δυσδιάκριτες μικρές διαβρώσεις και αποτελεί πεδίο ανάσχεσης πλημμυρών (Λαζαρίδης και Ναλμπάντης, 2004), όπως φαίνεται στην Εικόνα 3-56. Κατά μήκος του πλημμυρικού πεδίου δεν εμφανίζεται αστικός ιστός και κατά κύριο λόγο τα φαινόμενα πλημμύρας πλήττουν γεωργικές εκτάσεις.



ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ



**Εικόνα 3-55: Αεροφωτογραφία τμήματος της Θ9.**



**Εικόνα 3-56: Άποψη μικρού κλάδου της κούτης σε μορφή μικρής διάβρωσης στη Θ9.**

Στα προτεινόμενα έργα της ΜΠΕ περιλαμβάνονται τα εξής:

Χ.Θ. 9+700 – 8+100: Εγκιβωτισμός της κοίτης με συρματοκιβώτια, με τελική διαμόρφωση του τύπου Ζ. Η διατομή τύπου Ζ (Εικόνα 3-11) περιλαμβάνει διαμόρφωση δύο πρανών ύψους 1,5 m το καθένα, με βαθμίδα πλάτους 4,5 m. Το άνω πρανές καλύπτεται με γεωπλέγματα και το κατώτερο πρανές επενδύεται με συρματοκιβώτια. Το κάτω πλάτος της διατομής είναι 8,5 m και το άνω πλάτος 25 m. Οι παροχές υπολογίστηκαν από το υδρολογικό μοντέλο στα 270,8 m<sup>3</sup>/s και η κατά μήκος κλίση 0.0085.

- Χ.Θ. 8+100 – 7+200: Το τμήμα αυτό τοποθετείται στην περιοχή ανάντη του προβλεπόμενου φράγματος ανάσχεσης και της λεκάνης κατάκλυσης του. Το φράγμα προβλέπεται να κατασκευαστεί μετά τη μελέτη απόκρισης του συνόλου του έργου, προκειμένου να συνεκτιμηθούν παράγοντες που πιθανόν δεν είχαν ληφθεί υπόψη κατά τον αρχικό σχεδιασμό. Σε αρχική φάση στο τμήμα τα πρανή της κοίτης προτείνεται να επενδυθούν με συρματοκιβώτια, διατομής τύπου Ζ (Εικόνα 3-11) με ύψος 3 m, κάτω πλάτος 8,5 m και άνω πλάτος 14,5 m. Οι παροχές υπολογίστηκαν από το υδρολογικό μοντέλο στα 196,5 m<sup>3</sup>/s και η κατά μήκος κλίση 0.0076.

Το πέρας του τμήματος υπό διερεύνηση συμπίπτει με τη χιλιομετρική θέση του προτεινόμενου φράγματος ανάσχεσης πλημμύρων της ΜΠΕ.

Εφόσον στη ΜΠΕ προβλέπεται η κατασκευή φράγματος και η διαμόρφωση λεκάνης κατάκλυσης, καθίσταται σαφής η αναγκαιότητα αποθήκευσης νερού και μείωσης των ταχυτήτων προς τα κατάντη. Ο παραπάνω σκοπός εκπληρώνεται ήδη με την υφιστάμενη κατάσταση, χάρη στο μέγεθος του υπάρχοντος πλημμυρικού πεδίου. Επιπλέον, οι αναγκαίες απαλλοτριώσεις για τη διαμόρφωση της λεκάνης κατάκλυσης κρίνονται αντιοικονομικές. Συγκεκριμένα, όπως είχε αναφερθεί σε παλαιότερη δημοσίευση, από μέλη της σύμπραξης της ΜΠΕ (Λαζαρίδης και Ναλμπάντης, 2004):

“Για το ρ. Ραφήνας βασικός στόχος μιας μελλοντικής μελέτης πρέπει να είναι η επιδίωξη ανάσχεσης πλημμυρών στην πεδιάδα Σπατών μεταξύ των Χ.Θ. 4+300 έως 9+700, όπου θα πρέπει να αποφευχθεί η κατασκευή έργων επιτάχυνσης των πλημμυρών.

Για το σκοπό αυτό, το εύρος της οριοθέτησης του ρ. Ραφήνας εκτιμάται ότι θα πρέπει στην περιοχή αυτή να κυμαίνεται μεταξύ 200 m έως και 300 m ή και τοπικά περισσότερο.

Το προταθέν αρχικά φράγμα ανάσχεσης εκτιμήθηκε ότι μπορεί να επιδράσει θετικά και να μειώσει την παροχή στην εκβολή κατά 100 m<sup>3</sup>/s, πλην όμως δημιουργεί πολλά προβλήματα λόγω της μεγάλης επιφάνειας κατάκλυσης που θα απαιτηθεί για τη λειτουργία του ταμειυτήρα κλπ, ενώ θα υπάρξουν και θέματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την ύπαρξη αρχαιολογικών ευρημάτων”.

Από όλα τα παραπάνω θεωρήθηκε κατάλληλη η οριοθέτηση του πλημμυρικού πεδίου, στις αναφερόμενες χιλιομετρικές θέσεις έτσι ώστε να περιλαμβάνεται το μεγαλύτερο εύρος του πλημμυρικού πεδίου, όπως στην Εικόνα 3-57. Δεν προτείνεται καμία επέμβαση, προκειμένου να αξιοποιηθεί η αποθηκευτική ικανότητα του υπάρχοντος πλημμυρικού πεδίου.



**Εικόνα 3-57: Εξεταζόμενο τμήμα πλημμυρικού πεδίου Πετρέζας (Θ9)**

### 3.2.10 Θέση 10 – Αγ. Γεωργίου (Χ.Θ 6+600)

Η συγκεκριμένη θέση βρίσκεται ~100 m περίπου ανάντη της γέφυρας Αγ. Γεωργίου, όπου είχαν πραγματοποιηθεί γεωτρήσεις στο πλαίσιο της Γεωλογικής Μελέτης της ΜΠΕ. Μορφολογικά, τα πρανή έχουν 4 m ύψος και η κοίτη έχει πλάτος περίπου 6 m. Εκατέρωθεν της κοίτης εντοπίζονται γεωργικές εκτάσεις (Εικόνα 3-58). Η επιλογή της θέσης έγινε με κριτήριο την επάρκεια των δεδομένων και το χωρίς αιτιολόγηση εγκιβωτισμό του ρέματος.



Εικόνα 3-58 Άποψη κοίτης κοντά στην Θ10

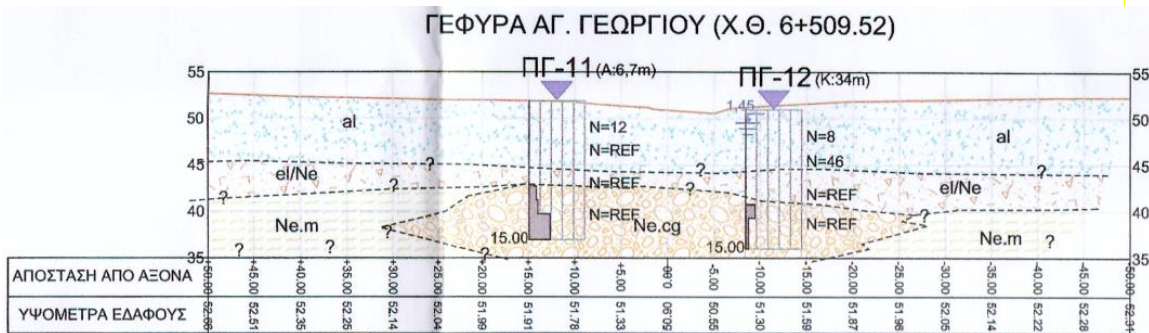
Η γεωλογική δομή που προκύπτει σύμφωνα με την ΜΠΕ από τα προφίλ των γεωτρήσεων ΠΓ-11 και ΠΓ-12 στην θέση της γέφυρας Αγ. Γεωργίου (Εικόνα 3-59) αποτελείται από τους εξής σχηματισμούς (Περλέρος, 2016):

- “Σχηματισμός I: Χαρακτηρίζεται γεωτεχνικά ως χαλαρή άμμος κακής διαβάθμισης με ιλύ (SP-SM), χωρίς πλαστικότητα, με ανοικτού καστανού χρώματος και λεπτόκοκκη ιλυώδης άμμος (SM), χωρίς πλαστικότητα, μέσης πυκνότητας, ανοικτού καστανού χρώματος έως αργιλώδης άμμος με χαλίκια, σκούρου καστανού χρώματος.
- Σχηματισμός II: Χαρακτηρίζεται γεωτεχνικά ως ισχνή άργιλος με άμμο, ενδιάμεσης πλαστικότητας, καστανού χρώματος, έως αμμώδης άργιλος (CL) καστανού έως ανοικτού καστανού χρώματος.
- Σχηματισμός III: Χαρακτηρίζεται γεωτεχνικά ως πυκνής απόθεσης αργιλώδεις χάλικες με άμμο (GC), χαμηλής πλαστικότητας, καστανού, ανοικτού καστανού έως καστανοκόκκινου χρώματος και ιλυώδης άμμος με χάλικες (SM), χαμηλής πλαστικότητας καστανοπράσινου έως καστανού χρώματος.
- Σχηματισμός IV: Χαρακτηρίζεται γεωτεχνικά ως πολύμικτο κροκαλοπαγές ισχυρά συγκολλημένο έως ασύνδετο (τοπικά αποτελούμενο από χάλικες, κροκάλες και τεμάχη με αργιλοαμμώδες συνδετικό υλικό καστανού έως καστανοκόκκινου χρώματος), μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένο. Τοπικά χάλικες και κροκάλες ανθρακικής και σχιστολιθικής κυρίως σύστασης, συνδεδεμένη με ιλυοαμμώδες υλικό καστανοπράσινου έως γκρίζου χρώματος. Εναλλαγές με ιλυώδεις χάλικες (GM) καστανοπράσινου έως τοπικά γκρίζου χρώματος. “

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών της περιοχής παρουσιάζονται στον Πίνακα 5:

Πίνακας 5: Μηχανικά χαρακτηριστικά Τεχνικής Έκθεσης Γεωλογικής Μελέτης για το γεωτεχνικό μοντέλο των ΠΓ-11 και ΠΓ-12. (Περλέρος, 2016)

Χαρακτηριστικές γεωτεχνικές παράμετροι	Σχηματισμός I	Σχηματισμός II	Σχηματισμός III	Σχηματισμός IV (Κροκαλοπαγές)
Ταξινόμηση κατά USCS	SP-SM, SM	CL	GC, SM	-
Μέσος αριθμός κτύπων δοκιμής SPT, $N_{SPT}$	10	-	49	-
Υγρό φαινόμενο βάρος, $\gamma_w$ ( $kN/m^3$ )	22.3	20.0	20.3	22.0
Γωνία εσωτερικής τριβής, $\phi'$ ( $^\circ$ )	29 - 36	24 - 29	34 - 40	32
Συνοχή, $c'$ (kPa)	0	20 - 30	0	250
Μέτρο συμπίεστικότητας, $E_s$ (kPa)	6000 -12000	25000	30000 - 55000	-
Μέτρο ελαστικότητας βραχώμαζας (Young), $E_m$ (kPa)	-	-	-	100000
Αντοχή άρρηκτου πετρώματος $\sigma_{ci}$ (MPa)	-	-	-	5.0
GSI	-	-	-	35



Εικόνα 3-59: Γεωλογική Διατομή στη θέση της γέφυρας Αγ.Γεωργίου (Περλέρος, 2016).

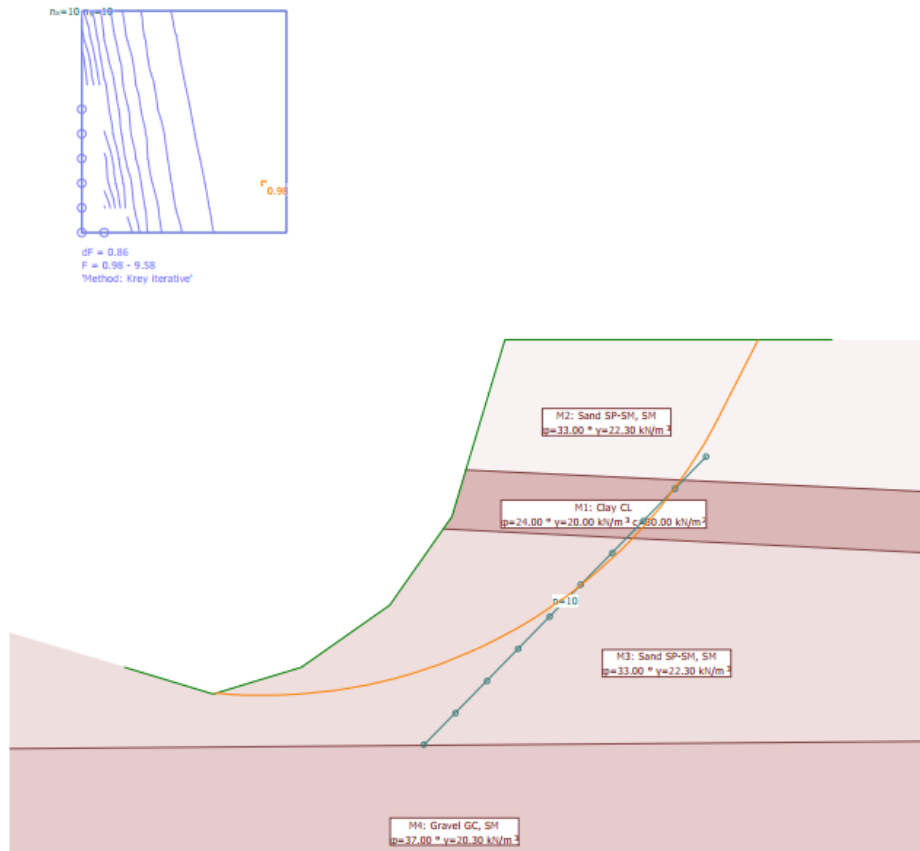
Ομοίως με το τμήμα της Θ9, στη χιλιομετρική θέση της Θ10 προτείνονται από την ΜΠΕ τα παρακάτω έργα: “Σύνθετη Τραπεζοειδής διατομή με παγκίνες ( $z_1=1:1 -1.25$  και  $z_2=1:1.50-1.75$  – τύπος Z) Επένδυση βαθιάς κοίτης με συρματοκιβώτια, παγκινών με ουδούς (χαλινούς) συρματοκιβωτίων ανά 50 m και πρανών με γεωσυνθετικά υλικά (γεωπλέγματα) Κάτω πλάτος-ύψος  $B_1=8.5 - H_1=1.75$  Πλάτος παγκινών  $B_2=4.0$  m Ύψος  $H_2 = 1.75$  m min άνω πλάτος  $B = 25.25$  m.” Η παροχή σχεδιασμού είναι  $291,5 \text{ m}^3/\text{s}$  και η κατά μήκος κλίση είναι 0,0085.

### 3.2.10.1 Αναλύσεις ευστάθειας πρανών

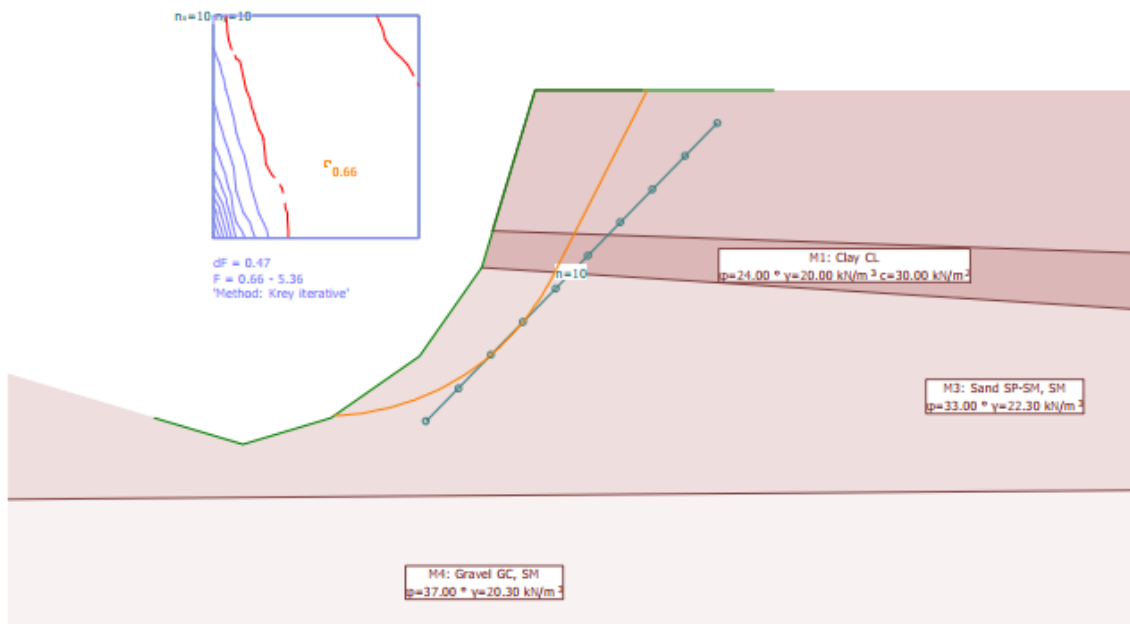
Καθώς τα πρανή εμφανίζουν πανομοιότυπη μορφολογία και γεωτεχνική δομή, επιλέχθηκε η λήψη συμπερασμάτων από τις αναλύσεις ευστάθειας του ενός πρανούς. Το γεωτεχνικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτό που συντάχθηκε από τη ΜΠΕ. Για τον έλεγχο και την αξιολόγηση των προτεινόμενων έργων της ΜΠΕ πραγματοποιήθηκαν τρεις σειρές αναλύσεων. Η πρώτη για τη διερεύνηση της υφιστάμενης κατάστασης, η δεύτερη για την κοίτη όπως διαμορφώνεται μετά την εφαρμογή των έργων της ΜΠΕ και η τρίτη για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της ευστάθειας μιας ενδεικτικής λύσης με λιθορριπή, λόγω της αμμώδους φύσης του υλικού (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΘΕΣΗ 10).

Από την ανάλυση ευστάθειας του φυσικού πρανούς προκύπτει ότι αστοχεί με την εκδήλωση αστοχιών σε όλο το ύψος του πρανούς. Συγκεκριμένα οι περιστροφικές αστοχίες παρουσιάζουν τιμές συντελεστή ασφαλείας 0,98 (Εικόνα 3-60), που είναι κάτω της τιμής οριακής κατάστασης ισορροπίας. Στη στέψη του πρανούς οι δυσμενέστεροι κύκλοι ολίσθησης υπολογίστηκαν με τιμή συντελεστή ασφαλείας 0,3 (Εικόνα 3-62) και στις αστοχίες ποδός ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίστηκε στο 0,6 περίπου (Εικόνα 3-61).

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ

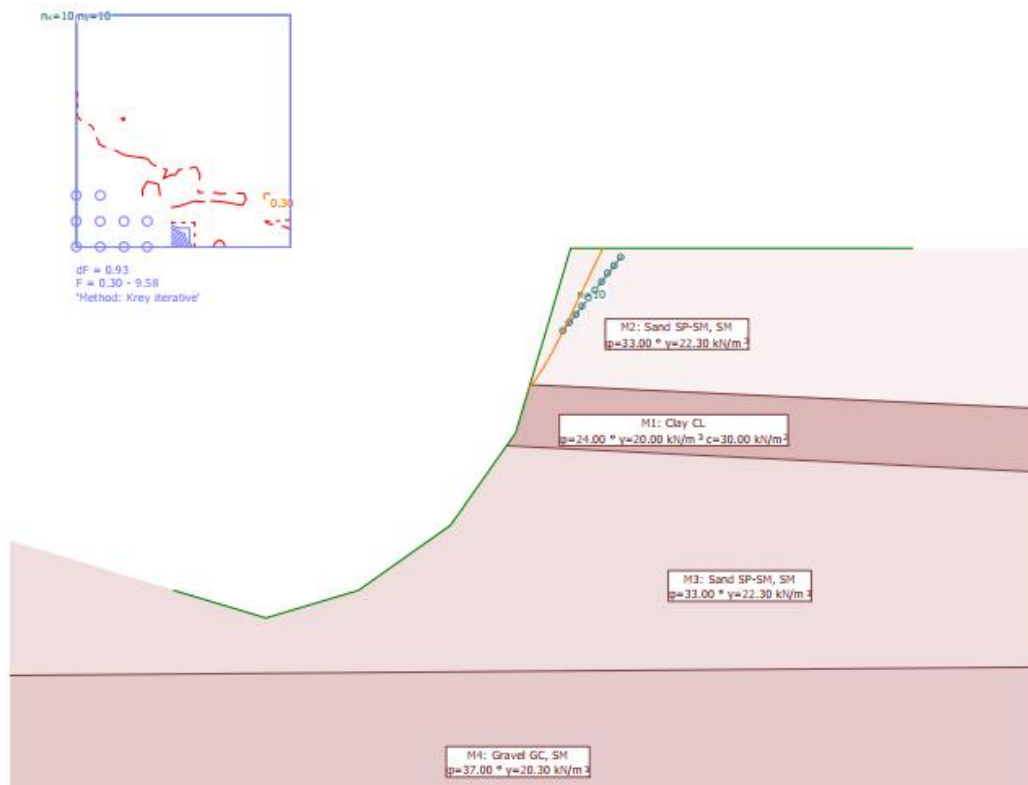


Εικόνα 3-60: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού πρανούς στη Θ10 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας περιστροφικής ολίσθησης.



Εικόνα 3-61: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού πρανούς στη Θ10 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός.

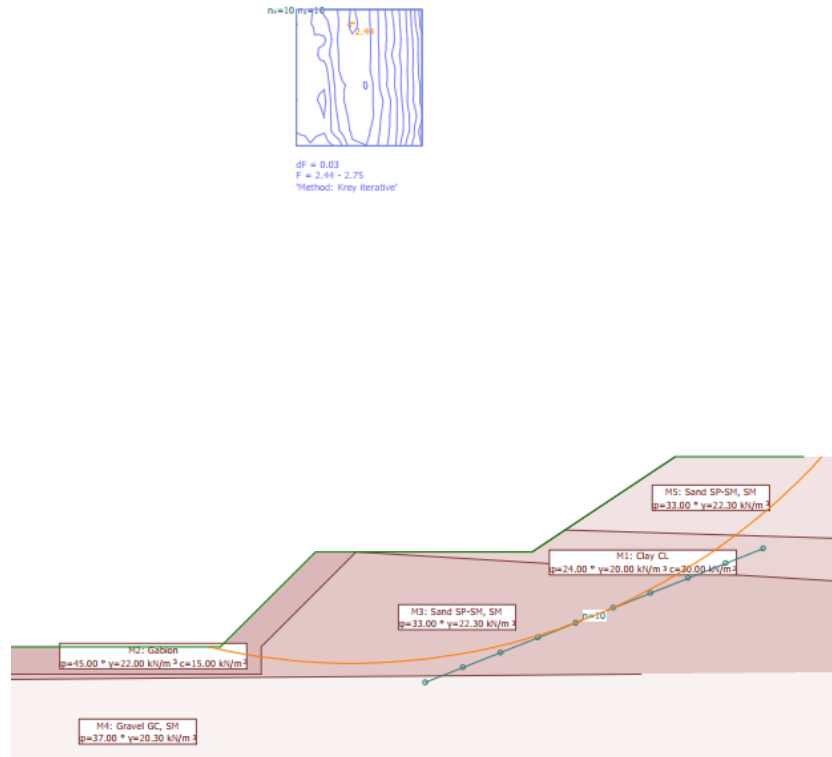




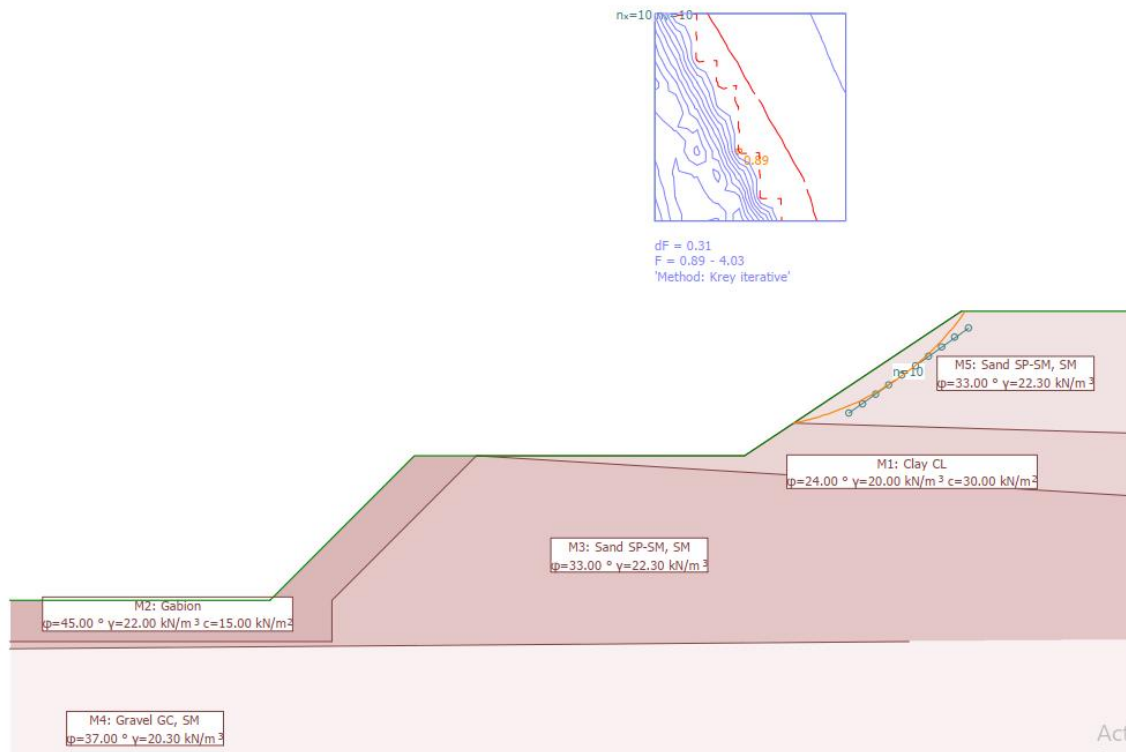
**Εικόνα 3-62:** Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού πρανούς στη Θ10 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας στέψης.

Στην ανάλυση ευστάθειας του πρανούς, όπως αυτό διαμορφώνεται μετά την εφαρμογή της προτεινόμενης από τη ΜΠΕ διάταξης έργων, προέκυψε ότι ο συντελεστής ασφαλείας που επιτυγχάνεται είναι αυξημένος και η ευστάθεια των πρανών έναντι περιστροφικής αστοχίας που θα περιλαμβάνει και τους δύο αναβαθμούς του έργου είναι ικανοποιητική με τιμή συντελεστή ασφαλείας πάνω από 2,0 (Εικόνα 3-63). Παρόλα αυτά η στέψη του πρανούς που προτείνεται να επενδυθεί με γεωπλέγματα είναι επισφαλής ακόμη κι αν ληφθεί υπόψη η φύτευση του. Ο κύκλος ολίσθησης διέρχεται από τη διεπιφάνεια μεταξύ των γεωλογικών Σχηματισμών Ι και ΙΙ, με συντελεστές ασφαλείας 0,89 (Εικόνα 3-64) και 0,99.

ΟΡΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ

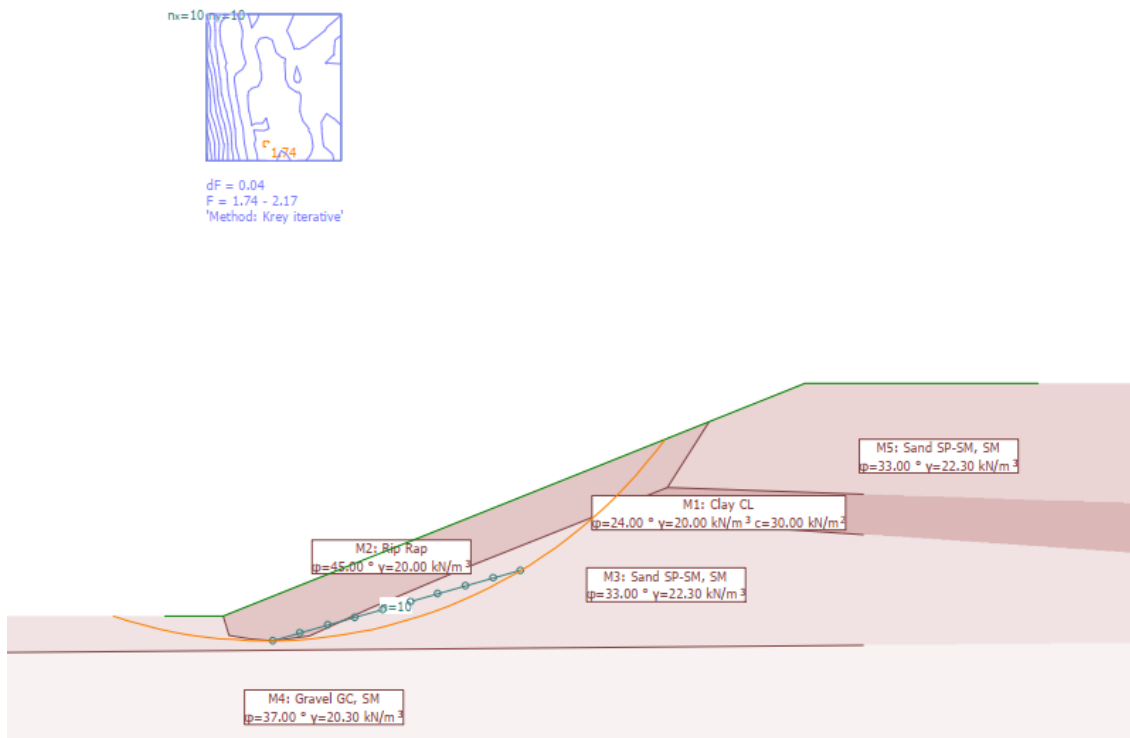


Εικόνα 3-63: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του προτεινόμενου από τη ΜΠΕ πρανούς στη Θ10 με τη δυσμενέστερη δυνατή επιφάνεια αστοχίας στέψης του άνω πρανούς.

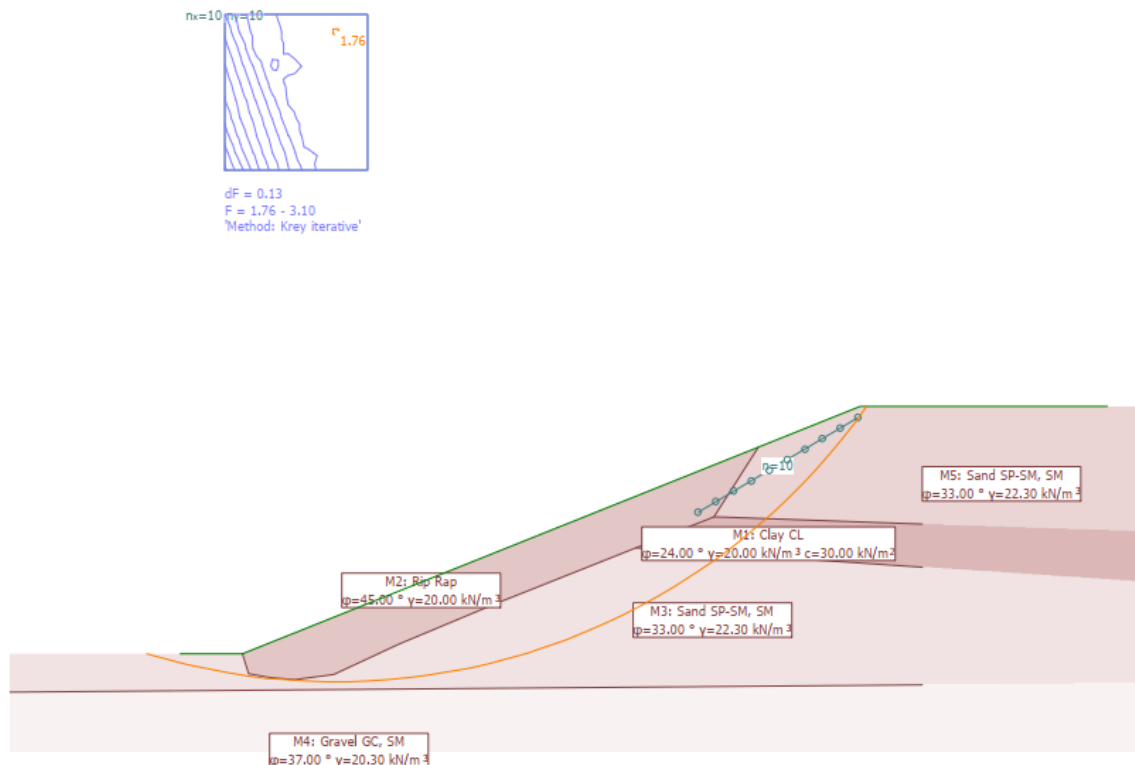


Εικόνα 3-64: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του προτεινόμενου από τη ΜΠΕ πρανούς στη Θ10 με τη δυσμενέστερη δυνατή επιφάνεια αστοχίας στέψης του άνω πρανούς.

Με κύριο στόχο το φιλικότερο προς το περιβάλλον σχεδιασμό και την απαραίτητη αντιδιαβρωτική προστασία των πρανών, ενδεικτική λύση αποτελεί η εφαρμογή της λιθορριπής και φύτευση σε όλο το ύψος του πρανούς. Στο σχεδιασμό κρίθηκε επιθυμητό να διατηρηθεί το προτεινόμενο εμβαδό από τη ΜΠΕ. Επομένως, είναι αναγκαία η διεύρυνση της υπάρχουσας κοίτης έναντι των γεωργικών εκτάσεων. Το ύψος μέχρι το οποίο θα τοποθετηθεί η λιθορριπή είναι ενδεικτικό, καθώς δεν είναι γνωστή η έκταση της διάβρωσης μετά από πλημμυρικό φαινόμενο στη διευρυμένη κοίτη, παρόλο που οι σχηματισμοί είναι κυρίως αμμώδεις. Τελικώς σχεδιάστηκε το πρανές με κλίση  $20^\circ$ , ύψος 4 m και πλάτος πυθμένα 2 m. Οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας, έπειτα από τις αναλύσεις ευστάθειας, είναι ικανοποιητικές με ελάχιστο το 1,74 (Εικόνα 3-65, Εικόνα 3-66).



Εικόνα 3-65: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρανούς με διαμόρφωση και λιθορριπή στη  $\Theta 10$  με τη δυσμενέστερη επιφάνεια του σώματος της λιθορριπής.



Εικόνα 3-66: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του αριστερού πρανούς με διαμόρφωση και λιθορριπή στη  $\Theta 10$  με τη δυσμενέστερη επιφάνεια περιστροφικής ολίσθησης του πρανούς.

### 3.2.11 Θέση 11 – Πλημμυρικό πεδίο Αρίωνος (από Χ.Θ 4+900 έως Χ.Θ 4+300)

Το συγκεκριμένο τμήμα του ρέματος αποτελεί περιοχή που είναι συχνά ευάλωτη σε πλημμυρικά φαινόμενα λόγω της μορφολογίας της και των ανθρωπογενών παρεμβάσεων στην κοίτη. Το ρέμα χωρίζεται σε δύο κλάδους κατά την εισροή του στα μέσα της περιοχής, οι οποίοι επανενώνονται κατά την εκροή του από αυτήν. Η περιοχή αποτελεί πλημμυρικό πεδίο μικρής έκτασης, για αυτό το λόγο δεν καλλιεργούνται οι όχθες εκατέρωθεν της κοίτης σε απόσταση 20 - 100 m. Στο δεξί μέρος του τμήματος αναπτύσσεται λόφος της περιοχής Βουνόπολη. Στο αριστερό μέρος αναπτύσσονται γεωργικές εκτάσεις και προς την εκροή βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Εντός της περιοχής του πλημμυρίζει εντοπίζεται υπερυψωμένη κατοικία. Επίσης, από την περιοχή διέρχεται ο οδικός άξονας της οδού Αρίωνος με τη γέφυρα Αρίωνος, ο οποίος παραμένει κλειστός κατά τη διάρκεια των πλημμυρικών φαινομένων. Τα περισσότερα από τα παραπάνω φαίνονται στην Εικόνα 3-67.



**Εικόνα 3-67:** Αεροφωτογραφία της Θ11 κοντά στη 4+300. Φαίνονται η οδός Αρίωνος, η υπερυψωμένη οικία εντός του πλημμυρικού πεδίου και η συμβολή των δύο κλάδων του ρέματος στην εκροή του από το πλημμυρικό πεδίο.

Στη ΜΠΕ προτείνεται επένδυση της κοίτης με συρματοκιβώτια διατομής τύπου E (Εικόνα 3-9) με πλάτος πυθμένα 20 m, μέγιστο άνω πλάτος 27 m και ύψος 3,5 m. Η κλίση του ρέματος προτείνεται να διαμορφωθεί στο 0,0056 και η παροχή εκτιμάται από το υδρολογικό μοντέλο της ΜΠΕ στα 291,5 m<sup>3</sup>/s. Ακόμα, προβλέπεται η κατασκευή του Κέντρου Επεξεργασίας Λυμάτων (ΚΕΛ) Βορείων Μεσογείων εντός του πλημμυρικού πεδίου.

Οι διατάξεις των έργων της ΜΠΕ αποσκοπούν στη διεύρυνση της κοίτης και την αντιδιαβρωτική της προστασία, ώστε να περιορίζεται η κοίτη και τα εκτιμώμενα πλημμυρικά φαινόμενα εντός της διατομής. Σύμφωνα με το χάρτη πλημμυρικού κινδύνου (αναφορά) το ΚΕΛ Βορείων Μεσογείων θα πλήττεται από παροχές 50-ετίας. Η θέση του ΚΕΛ Βορείων Μεσογείων κρίνεται λανθασμένη καθώς θα είναι εκτεθειμένο σε πλημμυρικές παροχές περιόδου

επαναφοράς μεγαλύτερης των 50 ετών, με την οποία έχουν σχεδιαστεί τα έργα της ΜΠΕ. Επομένως, πρέπει να μελετηθεί η εγκατάσταση του ΚΕΛ σε άλλη τοποθεσία.

Εφόσον οι εγκαταστάσεις του ΚΕΛ μεταφερθούν, δεν θα υπάρχει ανάγκη διευθέτησης του ρέματος στη θέση που μελετάται. Το ήδη υφιστάμενο πλημμυρικό πεδίο πλήττει κυρίως αγροτικές εκτάσεις και τον οδικό άξονα της Αρίωνος. Ενδεικτική λύση αποτελεί η οριοθέτηση του πλημμυρικού πεδίου με την κατασκευή προστατευτικών αναχωμάτων στο αριστερό μέρος του τμήματος, ώστε να αυξηθεί η αποθηκευτική ικανότητά του, βοηθώντας στη διαχείριση πλημμυρικών φαινομένων. Στην Εικόνα 3-68 παρουσιάζεται η προτεινόμενη του προστατευτικού αναχώματος. Στην Εικόνα 3-69 φαίνεται ο λόφος που αναπτύσσεται στο δεξί μέρος, αναδεικνύοντας τη μη αναγκαιότητα κατασκευής αναχώματος σε αυτό.



Εικόνα 3-68: Εικόνα από Google Earth με την προτεινόμενη οριοθέτηση με αναχώματα στη Θ11 (κόκκινο). Με μπλε φαίνονται τα εκτιμώμενα όρια στάθμης και με κίτρινο η θέση από την οποία λήφθηκε η Εικόνα 3-69 από Google Maps.



**Εικόνα 3-69: Άποψη του δεξί μέρους του τμήματος από Google Maps**

Ακόμα, κρίνεται μεγάλης αναγκαιότητας ο ανασχεδιασμός του οδικού άξονα. Με την εφαρμογή ηπιότερων μέτρων διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου, δίνεται η δυνατότητα εξοικονόμησης οικονομικών πόρων, οι οποίοι δύναται να διατεθούν στην ανακατασκευή της οδού Αρίωνος προκειμένου να είναι ασφαλής ακόμα και σε φαινόμενα στιγμιαίων πλημμύρων.

### *3.2.12 Θέση 12 – Κεραμοποιείο (Χ.Θ 4+230)*

Η συγκεκριμένη θέση εντοπίζεται ~ 186 m κατάντη της γέφυρας Αρίωνος, όπου έλαβαν χώρα οι γεωτρήσεις ΠΓ-6, ΠΓ-7 και ΠΓ-8 στο πλαίσιο του γεωτρητικού έργου της ΜΠΕ. Μορφολογικά, το αριστερό πρηνές έχει ύψος περίπου 6 m και σε 20 m περίπου από τη στέψη του τοποθετούνται εγκαταστάσεις κεραμοποιίας. Το δεξί έχει ύψος 7,5 m και στην κορυφή του εντοπίζεται χώρος στάθμευσης οχημάτων του δήμου Ραφήνας – Πικερμίου (Εικόνα 3-70). Η κοίτη του ρέματος έχει ελάχιστο πλάτος 5,5 m περίπου και μέγιστο πλάτος 11 m περίπου με μέση κλίση 40° στο αριστερό πρηνές και 50° στο δεξί. Η συγκεκριμένη θέση κρίθηκε ως κατάλληλη για τον έλεγχο της ευστάθειας των πρηνών λόγω της δυσμενούς μορφολογίας των πρηνών, της επάρκειας δεδομένων και λόγω της φύσης του σχηματισμού που παρατηρήθηκε στη βάση των πρηνών.



Εικόνα 3-70 Αεροφωτογραφία της περιοχής στη Θ12.

Η γεωλογική δομή του υπεδάφους στην περιοχή της γέφυρας Αρίωνος σύμφωνα με τη Τεχνική Έκθεση της Γεωλογικής Μελέτης παρουσιάζεται επαρκώς στην Εικόνα 3-71. Σύμφωνα με τη γεωλογική τομή και τα προφίλ των γεωτρήσεων εντοπίζονται οι παρακάτω σχηματισμοί. (Περλέρος, 2016). Στη θέση της ΠΓ-6 η περιοχή περιλαμβάνει τους ακόλουθους σχηματισμούς:

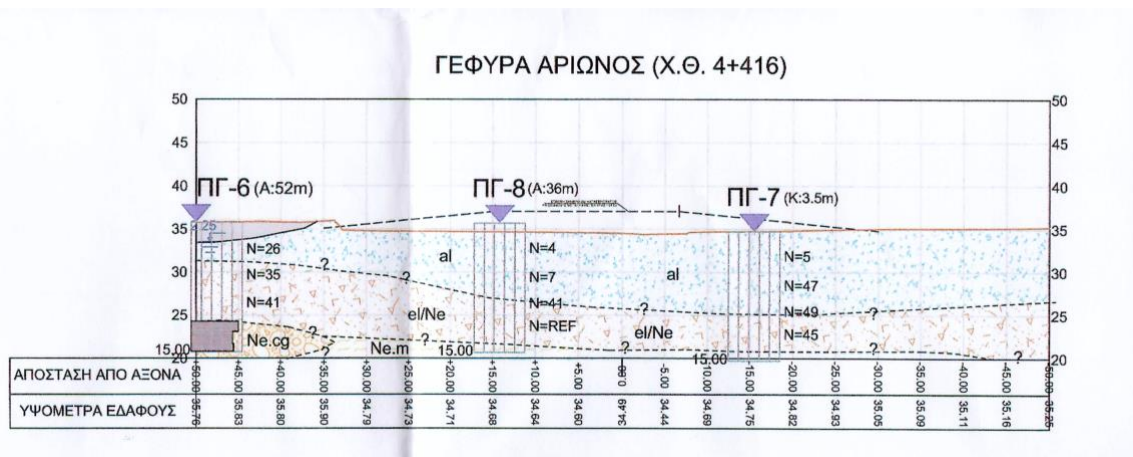
- *“Σχηματισμός I: Χαρακτηρίζεται γεωτεχνικά ως στιφρή, ισχνή, τοπικά αμμώδης άργιλος (CL) με χάλικες και λεπτόκοκκη άμμο χαμηλής πλαστικότητας, καστανού έως σκούρου καστανού χρώματος.*
- *Σχηματισμός II: Χαρακτηρίζεται γεωτεχνικά ως πυκνής απόθεσης ιλυώδεις χάλικες με άμμο (GM), χαμηλής πλαστικότητας, ανοικτού καστανού έως καστανού χρώματος.*
- *Σχηματισμός III: Χαρακτηρίζεται ως πολύ στιφρή έως σκληρή αμμώδης, ισχνή άργιλος ανοικτού γκριζογάλανου χρώματος με λεπτόκοκκη άμμο (CL).*



- Σχηματισμός IV: Χαρακτηρίζεται ως πολύμικτο κροκαλοπαγές – λατυποπαγές ελαφρά έως μέτρια κερματισμένο, ελαφρά έως τοπικά μέτρια αποσαθρωμένο, ανοικτού γκριζού χρώματος.”

Τα γεωτεχνικό μοντέλο που προέκυψε από τα προφίλ των ΠΓ-7 και ΠΓ-8 είναι ως εξής:

- “Σχηματισμός I: Χαρακτηρίζεται γεωτεχνικά ως αργιλόδεις έως ιλυώδεις χάλικες με άμμο και τοπικά κροκάλες (GC, GC-GM, GM), χαμηλής πλαστικότητας έως χάλικες χαλαρής έως πυκνής απόθεσης, καστανού έως καστανόκκινου έως καστανοκίτρινου χρώματος και λατύπες με ιλυσωαμμώδεις έως ιλυσωαργιλώδεις υλικό καστανού χρώματος.
- Σχηματισμός II: Χαρακτηρίζεται γεωτεχνικά ως τοπικά αμμώδης, σφιγρή, ισχνή άργιλος με άμμο έως λεπτόκοκκη άμμο (CL), χαμηλής έως ενδιάμεσης πλαστικότητας, καστανού έως καστανοκίτρινου χρώματος.
- Σχηματισμός III: Ο σχηματισμός αυτός είναι μαργαϊκός και χαρακτηρίζεται ως αργιλόδεις χάλικες με άμμο (GC), χαμηλής πλαστικότητας, ανοικτού καστανοκίτρινου έως γκριζοκίτρινου έως γκριζογάλανου χρώματος.”



Εικόνα 3-71: Γεωλογική Διατομή στη θέση της γέφυρας Αρίωνος. (Περέρος, 2016)

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών της περιοχής της ΠΓ-6 και της περιοχής ΠΓ - 7 και ΠΓ-8 παρουσιάζονται στον Πίνακα 6 και στον Πίνακα 7 αντίστοιχα:

**Πίνακας 6: Μηχανικά χαρακτηριστικά Τεχνικής Έκθεσης Γεωλογικής Μελέτης για το γεωτεχνικό μοντέλο της ΠΓ-6. (Περλέρως, 2016)**

Χαρακτηριστικές γεωτεχνικές παράμετροι	Σχηματισμός I	Σχηματισμός II	Σχηματισμός III	Σχηματισμός IV (Κροκαλοπαγές-Λατυποπαγές)
Ταξινόμηση κατά USCS	CL	GM	CL	-
Μέσος αριθμός κτύπων δοκιμής SPT, $N_{SPT}$	26	35	41	-
Υγρό φαινόμενο βάρος, $\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	20.0	21.0	20.0	22.0
Γωνία εσωτερικής τριβής, $\phi'$ (°)	27 - 28	36 - 39	27 - 29	35
Συνοχή, $c'$ (kPa)	20 - 30	0	20 - 30	200
Αστράγγιστη διαμητική αντοχή, $c_u$ (kPa)	50 - 90	-	160 - 200	-
Μέτρο συμπίεσότητας, $E_s$ (kPa)	10000 - 16000	38800	14500 - 25000	-
Μέτρο ελαστικότητας (αστράγγιστες συνθήκες), $E_u$ (kPa)	50000 - 90000	-	80000 - 100000	-
Μέτρο ελαστικότητας βραχόμαζας (Young), $E_m$ (kPa)	-	-	-	230000
Δείκτης συμπίεσης, $C_c$	-	-	0.16	-
Συντελεστής στερεοποίησης, $C_v$ (m <sup>2</sup> /year)	-	-	15.7	-
Αρχικός λόγος κενών, $e_0$	-	-	0.37	-
Τάση προστερεοποίησης, $p_c$ (kPa)	-	-	120	-
Αντοχή άρρηκτου πετρώματος $\sigma_a$ (MPa)	-	-	-	3.5
GSI	-	-	-	45

**Πίνακας 7: Μηχανικά χαρακτηριστικά Τεχνικής Έκθεσης Γεωλογικής Μελέτης για το γεωτεχνικό μοντέλο των γεωτρήσεων ΠΓ-7, ΠΓ-8. (Περλέρως, 2016)**

Χαρακτηριστικές γεωτεχνικές παράμετροι	Σχηματισμός I	Σχηματισμός II	Σχηματισμός III
Ταξινόμηση κατά USCS	GC, GC-GM, GM	CL	GC
Μέσος αριθμός κτύπων δοκιμής SPT, $N_{SPT}$	38	6	45
Υγρό φαινόμενο βάρος, $\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	21.0	20.0	20.5
Γωνία εσωτερικής τριβής, $\phi'$ (°)	33 - 39	24 - 27	34 - 40
Συνοχή, $c'$ (kPa)	0 - 2	20 - 30	0
Αστράγγιστη διαμητική αντοχή, $c_u$ (kPa)	-	24 - 42	-
Μέτρο συμπίεσότητας, $E_s$ (kPa)	42000	3500 - 14000	50000
Μέτρο ελαστικότητας (αστράγγιστες συνθήκες), $E_u$ (kPa)	-	12000 - 21000	-
Δείκτης συμπίεσης, $C_c$	-	0.15	-
Συντελεστής στερεοποίησης, $C_v$ (m <sup>2</sup> /year)	-	30.3	-
Αρχικός λόγος κενών, $e_0$	-	0.61	-
Τάση προστερεοποίησης, $p_c$ (kPa)	-	60	-

Καθώς, η θέση μελέτης δεν ταυτίζεται με τη θέση που πραγματοποιήθηκαν οι γεωτρήσεις της Γεωλογικής Μελέτης της ΜΠΕ, κρίθηκε σκόπιμη η αξιοποίηση των προφίλ τους σε συνδυασμό με τις παρατηρήσεις πεδίου. Εκτιμήθηκαν 2 m ανθρωπογενών αποθέσεων εκατέρωθεν της κοίτης λόγω των υπαρχόντων δραστηριοτήτων (Εικόνα 3-72). Βαθύτερα εμφανίστηκε άργιλος η οποία αντιστοιχήθηκε με τον σχηματισμό I της ΠΓ-6. Τέλος στη βάση των πρηνών παρατηρήθηκε δυσδιάβρωτη άργιλος ανοιχτού καστανού χρώματος η οποία εκτιμήθηκε πολύ στιφρή έως σκληρή. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

**Πίνακας 8: Μηχανικά χαρακτηριστικά των εδαφικών σχηματισμών στη Θ11 που χρησιμοποιήθηκαν στις αναλύσεις.**

Περιγραφή	$\phi$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )
Ανθρωπογενείς Αποθέσεις	30,0	20,0	5,0
Άργιλος CL	27,0	20,0	30,0
Στιφρή έως σκληρή Άργιλος	25,0	18,5	50,0



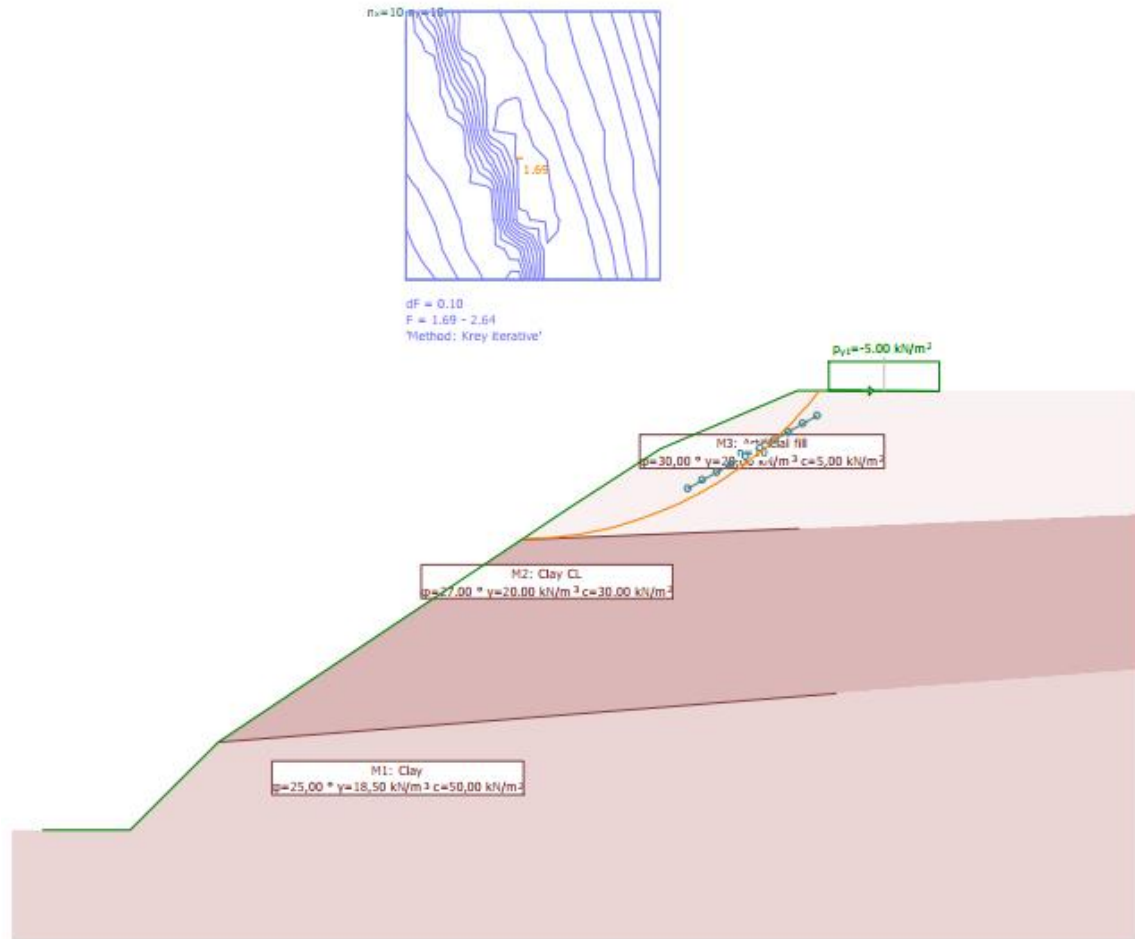
**Εικόνα 3-72: (Αριστερά) Ανθρωπογενείς αποθέσεις της Θ12. (Δεξιά) Δυσδιάβρωτη άργιλος στη βάση του πρηνούς της Θ12.**

Στις διατάξεις των έργων της ΜΠΕ προτείνεται διαμόρφωση ορθογωνικής διατομής με σκυρόδεμα τύπου Β (Εικόνα 3-6), με πλάτος 16 m, και ύψος 4 m. Στη θέση αυτή η κλίση προτείνεται να διαμορφωθεί στο 5,61 ‰ και η παροχή εκτιμάται από την υδρολογική μελέτη της ΜΠΕ στα 291,5 m<sup>3</sup>/s. Σύμφωνα με τον χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας σε συνδυασμό με τη μορφολογία της περιοχής, η υφιστάμενη διατομή επαρκεί για τη διοχέτευση των παροχών. Η επικινδυνότητα προκύπτει από την ανάντη μορφολογία η οποία σχολιάστηκε στη Θ11. Συνεπώς δεν είναι αναγκαία η διεύρυνση της κοίτης, παρά μόνο ο έλεγχος της ευστάθειας των πρανών της.

#### 3.2.12.1 Δεξί πρανές

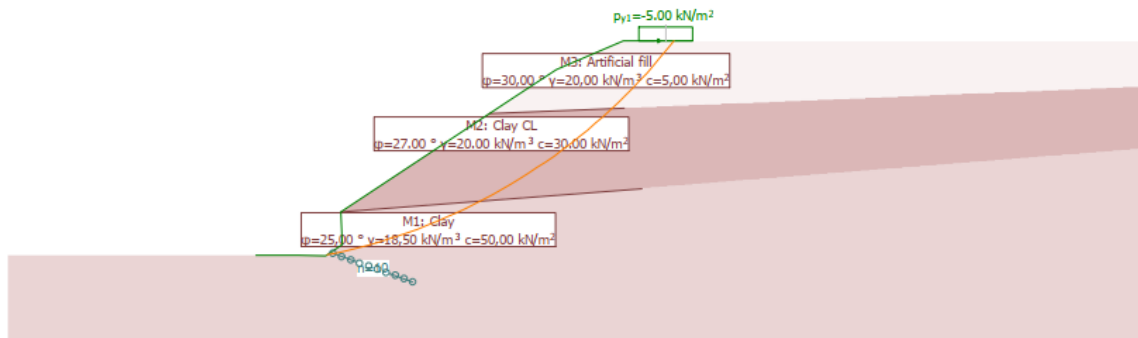
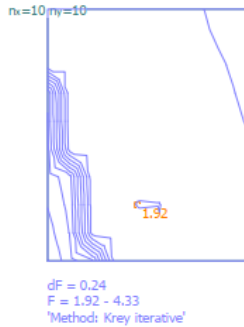
Για τον έλεγχο της ευστάθειας του φυσικού δεξιού πρανούς στη Θ12 πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές αναλύσεων. Η πρώτη στο φυσικό πρανές χωρίς αντιστήριξη και η δεύτερη στο πρανές μετά από υποσκαφή, λόγω διάβρωσης, της βάσης του πρανούς. Τα φορτία που προκύπτουν λόγω της στάθμευσης των οχημάτων προσομοιώθηκαν στις αναλύσεις με την επιβολή ομοιόμορφα κατανομημένου φορτίου 5 kN/m<sup>3</sup>.

Η δυσμενέστερη αστοχία που παρουσιάστηκε ήταν η εκδήλωση αστοχίας στέψης. Ο κύκλος ολίσθησης που διέρχεται από τη διεπιφάνεια των ανθρωπογενών αποθέσεων με την άργιλο CL παρέχει ικανοποιητικό συντελεστή ασφαλείας καθώς δίνει τιμή 1,69 (Εικόνα 3-73).



Εικόνα 3-73: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού δεξιού πρανούς στη Θ12 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας.

Ακολούθως, διερευνήθηκε η ευστάθεια του πρανούς έπειτα από διάβρωση της βάσης του. Δεν έλαβαν χώρα αναλύσεις ευστάθειας της στέψης, καθώς παρέμεινε ίδια. Οι αναλύσεις επικεντρώθηκαν στην ευστάθεια των διαμορφωθέντων απότομων κλίσεων και στη συνολική ευστάθεια του πρανούς. Εξεταστήκαν οι αστοχίες ποδός και οι περιστροφικές με επαρκείς συντελεστές ασφαλείας πάνω από 1,90 (Εικόνα 3-74).

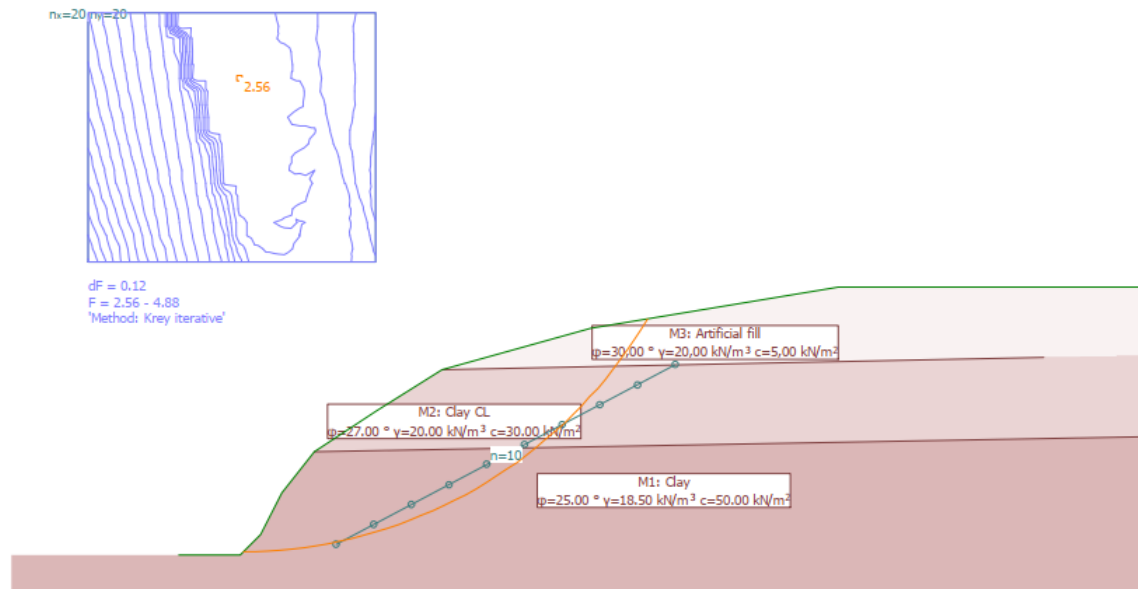


Εικόνα 3-74: Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού δεξιού πρανούς μετά από υποσκαφή στη Θ11 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός.

### 3.2.12.2 Αριστερό πρανές

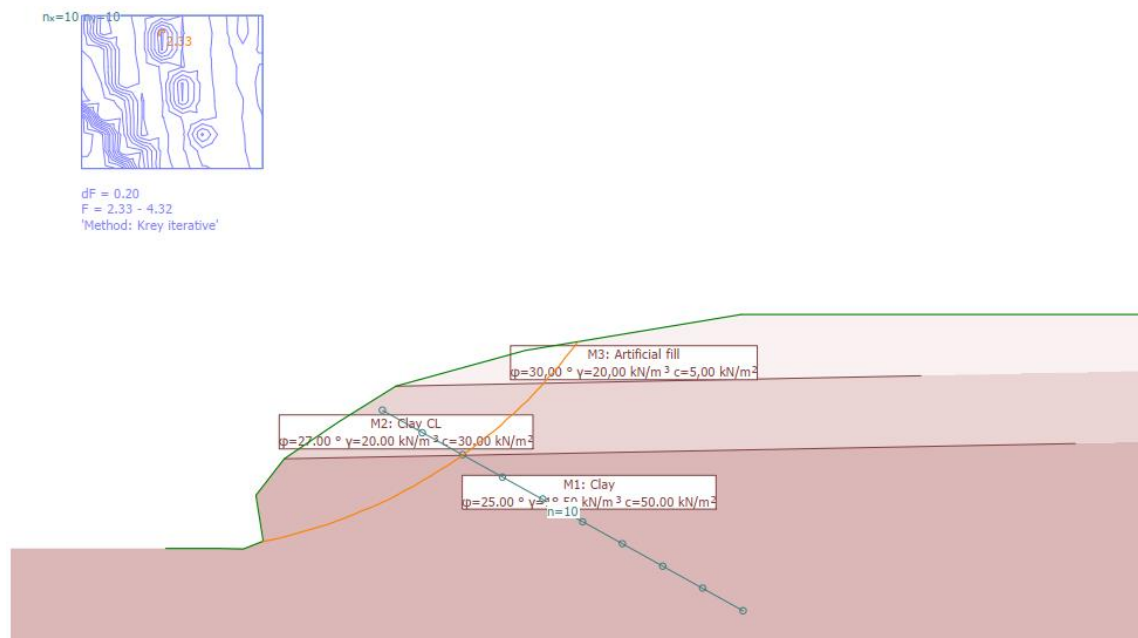
Η διαδικασία αναλύσεων που ακολουθήθηκε κατά τη μελέτη του αριστερού πρανούς στη Θ11 είναι παρόμοια με αυτή που ακολουθήθηκε στη μελέτη του δεξιού πρανούς. Δηλαδή, πραγματοποιήθηκαν δύο σειρές αναλύσεων. Η πρώτη στο φυσικό ανυποστήρικτο πρανές και η δεύτερη μετά από υποσκαφή του. Οι εγκαταστάσεις κεραμοποιίας δεν προσομοιώθηκαν στις αναλύσεις λόγω της μεγάλης τους απόστασης από τη στέψη του πρανούς.

Οι ήπιες κλίσεις των ανθρωπογενών αποθέσεων δεν επιτρέπουν την εκδήλωση αστοχίας, καθώς εμφανίζουν τιμές συντελεστή ασφαλείας πάνω από 4 στη διεπιφάνεια που διέρχεται από τον κατώτερο σχηματισμό. Η δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας είναι αυτή που εκδηλώνεται στο πόδι του πρανούς με συντελεστή ασφαλείας 2,56 που είναι ικανοποιητικός (Εικόνα 3-75).



**Εικόνα 3-75:** Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού αριστερού πρανού στη Θ11 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας ποδός.

Έπειτα, εκτελέστηκαν αναλύσεις ευστάθειας του πρανού μετά από υποσκαφή του. Η υποσκαφή δεν επηρεάζει έντονα το συντελεστή ασφαλείας της αστοχίας ποδός του πρανού αφού από 2,56 μειώνεται στο 2,33 (Εικόνα 3-76).



**Εικόνα 3-76:** Εικόνα του γεωτεχνικού προσομοιώματος του φυσικού αριστερού πρανού μετά από υποσκαφή στη Θ11 με τη δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας

Επομένως, η ευστάθεια των πρανών δεν είναι επισφαλής ακόμα και σε περίπτωση υποσκαφής τους. Άρα δεν κρίνονται αναγκαίες οι όποιες επεμβάσεις στην φυσική κοίτη.

#### 4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τις αλληπάλληλες επισκέψεις και εργασίες είναι τα ακόλουθα:

- Το Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας είναι σε όλο του το μήκος ένας πλούσιος βιότοπος με μεγάλη βιοποικιλότητα. Αποτελεί το μεγαλύτερο υγρότοπο της Αττικής. Έχουν καταγραφεί περισσότερα από 150 είδη φυτών και φιλοξενεί πληθώρα ζωντανών οργανισμών, παρά τις ανθρώπινες παρεμβάσεις.
- Παρατηρήθηκαν πολλές θέσεις με μπάζα και απορρίμματα, όπως η Θ5, τα οποία στενεύουν την κοίτη και αυξάνουν σημαντικά τη στερεοπαροχή, δημιουργώντας εμφράξεις κατά την εκδήλωση πλημμυρών.
- Από την αυτοψία μετά τη βροχόπτωση που έλαβε χώρα στις 19/06/2019 προέκυψε η τεκμηρίωση της αναγκαιότητας της διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου ανάντη του πλημμυρικού πεδίου Πετρέζας.
- Διαπιστώθηκε η ανεπάρκεια των υφιστάμενων τεχνικών έργων, η οποία εν μέρει δικαιολογείται καθώς τα τελευταία χρόνια μετά την εκτροπή του ρ. Ποδονίφτη, τα έργα της Αττικής Οδού και την αστικοποίηση της περιοχής (μείωση κατείδυσης, αύξηση επιφανειακής απορροής) οι παροχές έχουν αυξηθεί σημαντικά. Τα τεχνικά έργα δημιουργούν στενώσεις στην κοίτη με αποτέλεσμα τον πλημμυρισμό των ανάντη, όπως στη Θ7. Ακόμα, παρατηρήθηκαν υποσκαφές στις θεμελιώσεις των τεχνικών, όπως στις θέσεις Θ2, Θ3 και Θ7, έως και πλήρεις αστοχίες, όπως στη Θ8. Απαιτείται ανασχεδιασμός των τεχνικών βάσει σχεδίου διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης.
- Διαπιστώθηκαν ευδιάβρωτοι εδαφικοί σχηματισμοί κατά θέσεις και αστοχίες αυτών, καταδεικνύοντας την ανάγκη τοπικής αντιδιαβρωτικής προστασίας.

Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν θέσεις ενδιαφέροντος για διερεύνηση με βάση τις παρατηρήσεις πεδίου. Σε αυτές τις θέσεις αξιολογήθηκαν τα προτεινόμενα έργα των διατάξεων της ΜΠΕ και όπου θεωρήθηκε αναγκαίο προτάθηκαν ενδεικτικές εναλλακτικές διατάξεις έργων. Από τις παραπάνω ενέργειες προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Διαπιστώθηκε η επάρκεια του μεγαλύτερου μέρους της υφιστάμενης κοίτης του ρ. Βαλανάρη με βάση κυρίως το υδρολογικό μοντέλο της ΜΠΕ και των μορφολογικών



δεδομένων. Απόρροια των επί τόπου παρατηρήσεων, των προτεινόμενων διατομών της ΜΠΕ και της μελέτης των θέσεων στο ρ. Βαλανάρη είναι ότι οι διατάξεις της ΜΠΕ στενεύουν την κοίτη και αυξάνουν τη μέγιστη ταχύτητα ροής.

- Το 7<sup>ο</sup> Δημοτικό Σχολείο, που βρίσκεται στη Θ6, αντιμετωπίζει πολύ σοβαρό πλημμυρικό κίνδυνο. Η μετεγκατάσταση του σχολείου είναι ύψιστης αναγκαιότητας, καθώς το ρίσκο της απώλειας ανθρώπινων ζώων δε δύναται να συμπεριλαμβάνεται στο πλαίσιο ορθολογικού αντιπλημμυρικού σχεδιασμού.
- Κρίθηκε ορθή η κατασκευή ορθογωνικών διατομών από σκυρόδεμα σε θέσεις τεχνικών έργων και σε θέσεις όπου χρειάζεται βαριά αντιστήριξη των πρανών με περιορισμένο χώρο.
- Στις θέσεις όπου απαιτείται βαριά αντιδιαβρωτική προστασία προτάθηκε η εγκατάσταση λιθορριπής με φύτευση, καθώς είναι μια τεχνική φιλικότερη προς το περιβάλλον και οικονομικότερη σε σχέση με τα συρματοκιβώτια. Στις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν η λιθορριπή δεν εμφάνισε προβλήματα ευστάθειας.
- Απαιτείται διεύρυνση και αντιδιαβρωτική προστασίας της κοίτης για το τμήμα που εντοπίζεται ανάμεσα στα φυσικά πλημμυρικά πεδία, δεδομένης της προστασίας των αγροτικών ιδιοκτησιών που βρίσκονται εκατέρωθεν της κοίτης.
- Προτάθηκε η αναθεώρηση της θέσης κατασκευής του ΚΕΛ Βορείων Μεσογείων, ώστε να μην αντιμετωπίζει πλημμυρικό κίνδυνο, καθώς βρίσκεται εντός του πλημμυρικού πεδίου της Θ11.
- Τα πλημμυρικά πεδία αποτελούν φυσικά πεδία ανάσχεσης πλημμυρών και πρέπει να αξιοποιηθούν στον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό
- Τα προτεινόμενα έργα της ΜΠΕ στη Θ12 κρίθηκαν μη αναγκαία, καθώς τα πρανή ευσταθούν ακόμα και σε περίπτωση της υποσκαφής τους, ενώ σε συνδυασμό με τον έλεγχο της ροής, λόγω του πλημμυρικού πεδίου της Θ11, δεν χρειάζεται διεύρυνση της κοίτης.

Από όλα τα παραπάνω κι από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση η γενική αποτίμηση της ΜΠΕ είναι η εξής:

- Ο σχεδιασμός των έργων της ΜΠΕ έγινε κατά μεγάλα τμήματα, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες συγκεκριμένων θέσεων.
- Η ΜΠΕ δεν εξετάζει εναλλακτικές λύσεις βιώσιμης διαχείρισης κινδύνου (SFM) ή διαχείρισης κινδύνου με φυσικά μέσα (NFM). Οι πρακτικές αυτές μειώνουν τόσο το

οικονομικό κόστος όσο και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του έργου. Επιπλέον αποκόπτεται η επικοινωνία του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας με τα πλημμυρικά πεδία, αντικαθιστώντας τα με ανοιχτούς αγωγούς επενδεδυμένους με συρματοκιβώτια. Δηλαδή, αντί να προταθούν αλλαγές των χρήσεων γης και προσαρμογή των δραστηριοτήτων στο πλημμυρικό φαινόμενο υιοθετούνται πρακτικές διαχείρισης με τεχνικά μέσα (TFM).

- Η ΜΠΕ δεν εφαρμόζει ορθά την Οδηγία 2007/60/ΕΚ και δε λαμβάνει υπόψη τη διεθνή τάση ενσωμάτωσης πρακτικών SFM στον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό. Συνεπώς, κρίνεται αναγκαία η αναθεώρηση της ΜΠΕ στα πρότυπα σχεδιασμού SFM, όπως οι ενδεικτικές προτάσεις που πραγματοποιήθηκαν στην εργασία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Acreman, M. C. *et al.* (2007) ‘Hydrological science and wetland restoration: Some case studies from Europe’, *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(1), pp. 158–169. doi: 10.5194/hess-11-158-2007.

Allen, H. H. and Leech, J. R. (1997) ‘Report 1 Guidelines’, in *Technical Report EL-97-8: Enviromental Impact Research Program - Bioengineering for Streambank Erosion Control*. Vicksburg, MS: U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station.

Anderson, A. G., Paintal, A. S. and Davenport, J. T. (1970) *Tentative Design Procedure for Riprap Lined Channels, NCHRP Report*. Available at: [http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp\\_rpt\\_108.pdf](http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_108.pdf).

attikanet.blogspot.com (2019) *Κινητοποιήσεις και διαμάχη για το Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας*. Available at: [http://attikanet.blogspot.com/2019/04/blog-post\\_70.html](http://attikanet.blogspot.com/2019/04/blog-post_70.html).

Baker, V. R. (1994) ‘Geomorphological understanding of floods’, *Geomorphology*. Elsevier, 10(1–4), pp. 139–156. doi: 10.1016/0169-555X(94)90013-2.

Barredo, J. I. (2007) ‘Major flood disasters in Europe: 1950-2005’, *Natural Hazards*, 42(1), pp. 125–148. doi: 10.1007/s11069-006-9065-2.

Borga, M. *et al.* (2011) ‘Flash flood forecasting, warning and risk management: The HYDRATE project’, *Environmental Science and Policy*, 14(7), pp. 834–844. doi: 10.1016/j.envsci.2011.05.017.

Bronstert, A. (2003) ‘Floods and Climate Change: Interactions and Impacts’, *Risk Analysis*, 23(3), pp. 545-557(13) ST-Floods and Climate Change: Inter. doi: <https://doi.org/10.1111/1539-6924.00335>.

CEA (2005) ‘The insurance of natural events on European markets, Comité Européen des Assurances AB 5050 (06/05)’. Paris, pp. 1–25. Available at: [http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload\\_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2012\\_1\\_509.pdf](http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2012_1_509.pdf).

Cook, B. *et al.* (2016) ‘Competing paradigms of flood management in the Scottish/English borderlands’, *Disaster Prevention and Management*, 25(3), pp. 314–328. doi: 10.1108/DPM-01-2016-0010.

ENVECO A.E. (2016) *Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Διευθέτησης - Οριοθέτησης Ρέματος Ραφήνας*.

Gray, D. H. and Leiser, A. T. (1989) *Biotechnical Slope Protection and Erosion Control*. Reprint. Malabar, Florida: Krieger Publishing Company.

Gray, D. H. and Sotir, R. B. (1996) *Biotechnical and and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control*. New York: John Wiley & Sons.

Hapuarachchi, H. A. P., Wang, Q. J. and Pagano, T. C. (2011) ‘A review of advances in flash flood forecasting’, *Hydrological Processes*, 25(18), pp. 2771–2784. doi: 10.1002/hyp.8040.

Howgate, O. R. and Kenyon, W. (2009) ‘Community cooperation with natural flood management: A case study in the Scottish Borders’, *Area*, 41(3), pp. 329–340. doi: 10.1111/j.1475-4762.2008.00869.x.

Jakubicka, T. *et al.* (2010) *Health impacts of floods in Europe: Data gaps and information needs from a spatian perspective*. Available at: [http://www.microdis-eu.be/sites/default/files/D3.2.5 - study report on the impact of natural disasters in Germany and other selected European countries\\_1.pdf](http://www.microdis-eu.be/sites/default/files/D3.2.5 - study report on the impact of natural disasters in Germany and other selected European countries_1.pdf).

Janbu, N. (1957) ‘Earth Pressures and Bearing Capacity Calculations by Generalized Procedure of Slices’, in *Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*.

Janduko, O. (2015) *Types of Soil erosion rill*. Available at: <http://learn.elimu.org/topic/view/?c=422&t=1236>.

Johnson, B. L., Richardson, W. B. and Naimo, T. J. (2011) ‘Past , Present , and Large River Future Concepts in Ecology river processes’, *Rivers*, 45(3), pp. 134–141. doi: 10.2307/1312552.

Julien, P. Y. (2018) *River Mechanics*. 2nd edn. Cambridge University Press. doi:

<https://doi.org/10.1017/9781316107072>.

Karagiorgos, K. *et al.* (2011) ‘The challenge of European Flood Directive: preliminary flood risk assessment for flash floods in the catchment of Rafina, Greece.’, *European Geosciences Union General Assembly 2011*. Vienna: European Geosciences Union.

Karagiorgos, K., Chiari, M. and Hübl, J. (2013) ‘Flood Hazard Assessment Validation Based on the Floods Risk Directive 2007 / 60 / Ec – a Case Study in Rafina ( Attica , Greece ) Catchment’, in *12th Congress INTERPRAEVENT 2012*. Grenoble, France, pp. 509–517. Available at: [http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload\\_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2012\\_1\\_509.pdf](http://www.interpraevent.at/palm-cms/upload_files/Publikationen/Tagungsbeitraege/2012_1_509.pdf).

Kilgore, R. T. and Cotton, G. K. (2005) ‘U. S. Department of Transportation: Design of Roadside Channels with Flexible Linings’, *Hydraulic Engineering Circular - Federal Highway Administration*. 3rd edn, 15(Publication No. FHWA-NHI-05-114).

Lane, S. N. (2017) ‘Natural flood management’, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(3), p. e1211. doi: 10.1002/wat2.1211.

Lane, S. N., Landström, C. and Whatmore, S. J. (2011) ‘Imagining flood futures: Risk assessment and management in practice’, *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1942), pp. 1784–1806. doi: 10.1098/rsta.2010.0346.

Li, M. H. and Eddleman, K. E. (2002) ‘Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods a biotechnical streambank stabilization design approach’, *Landscape and Urban Planning*, 60(4), pp. 225–242. doi: 10.1016/S0169-2046(02)00057-9.

Lyn, D. A. and Newton, J. F. (2011) *Approaches to the design of biotechnical streambank stabilization: Volume I—A guide to the literature (Joint Transportation Research Program Publication No. FHWA/IN/JTRP-2015/14)*. West Lafayette, IN: Purdue University. doi: <https://doi.org/10.5703/1288284315998>.

Morgan, R. P. . (2005) *Soil Erosion & Conservation*. 3rd edn. Blackwell Science.

Parker, D. J. (1995) ‘Floodplain development policy in England and Wales’, *Applied*

*Geography*, 15(4), pp. 341–363. doi: 10.1016/0143-6228(95)00016-W.

Perry, C. A. (2000) ‘Significant Floods in the United States During the 20th Century - USGS Measures a Century of Floods’, *U.S. Geological Survey, Fact Sheet 024–00, March 2000*, (March), p. 4.

Pescott, O. and Wentworth, J. (2011) *POSTNOTE 396: Natural flood management, The Parliamentary Office of Science & Technology*. London. Available at: <https://researchbriefings.parliament.uk/ResearchBriefing/Summary/POST-PN-396#fullreport>.

Purseglove, J. (2017) *Taming the Flood: Rivers, Wetlands and the Centuries - Old Battle Against Flooding*. Reprint. Glasgow: William Collins.

Qian, X., Koerner, R. M. and Gray, D. H. (2001) *Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction*. 1st edn. New York: Prentice Hall.

Rewilding Britain (2016) *How rewilding reduces flood risk*. Available at: <https://www.rewildingbritain.org.uk/assets/uploads/files/publications/Final-flood-report/Rewilding-Britain-Flood-Report-Sep-6-16.pdf>.

Terra Erosion Ltd. (2010a) *Terra Erosion Control Ltd. website*. Available at: <http://www.terraerosion.com>.

Terra Erosion Ltd. (2010b) *Terra Erosion Control Ltd. website*.

USDA (2007a) ‘Technical Supplement 41I: Streambank Soil Bioengineering’, *United States Department of Agriculture - National Engineering Handbook: Stream Restoration Design*, 654. Available at: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17818.wba>.

USDA (2007b) ‘Technical Supplement 41I: Streambank Soil Bioengineering’, *United States Department of Agriculture - National Engineering Handbook: Stream Restoration Design*, 654.

Weggel, J. R. and Rustom, R. (1992) ‘Soil erosion by rainfall and runoff-state of the art’, *Geotextiles and Geomembranes*, 11(4–6), pp. 551–572. doi: 10.1016/0266-1144(92)90032-6.

Wescoat, J. L. and White, G. F. (2003) *Water for Life: Water Management and Enviromental*

*Policy*. 1st edn. Cambridge: Cambridge University Press.

White, G. F. (1945) *Doctoral Thesis - Human adjustments to Floods: A geographical Approach to the Flood Problem in the United States*. University of Chicago.

Wingfield, T. *et al.* (2019) ‘Natural Flood Management: Beyond the evidence debate’, *Area*, (January), pp. 1–9. doi: 10.1111/area.12535.

Αγόρογλου, Ο. (2017) *Υδρογεωλογικές Συνθήκες της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας*. ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ.

Ανδρέου, Μ. (2015) *Εκτίμηση Πλημμυρικού Κινδύνου Λεκάνης Απορροής Μ . Ρέματος Ραφήνας με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS)*. Ε.Κ.Π.Α.

Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (2007) ‘Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 23ης Οκτωβρίου 2007 , για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας’, *Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης*. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32007L0060&from=EL> (Accessed: 23 September 2019).

Καρύμπαλης, Ε., Γάκη - Παπαναστασίου, Υ, Κ. and Μαρουκιάν, Χ. (2005) ‘Η συμβολή των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών του υδρογραφικού δικτύου του μεγάλου Ρέματος Ραφήνας και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στην εκδήωση πλημμύρων’, *Bulletin of the Geological Society of Greece*. Αθήνα, 38, pp. 171–181. doi: <http://dx.doi.org/10.12681/bgsg.18436>.

Λαζαρίδης, Α. and Ναλμπάντης, Ι. (2004) ‘Αντιπλημμυρική Προστασία Λεκάνης Ρέματος Ραφήνας’, in *Ημερίδα: Αντιπλημμυρική Προστασία της Αττικής*. Αθήνα: ΤΕΕ.

Λουπασάκης, Κ. (2014) *Τεχνική Γεωλογία II (Σημειώσεις Διαλέξεων)*. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ.

Λουπασάκης, Κ. (2015) *Βελτίωση Γεωτεχνικής Συμπεριφοράς Γεωλογικών Σχηματισμών (Σημειώσεις Διαλέξεων)*. Αθήνα: ΕΜΠ.

Μαμασής, Ν. (2014a) ‘Στοιχεία Υδρολογίας Πλημμύρων - Εισαγωγή και Ιστορικό (Σημειώσεις Βιντεομαθήματος Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα)’. Αθήνα: ΕΜΠ.

Available at: [https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL113/Floods\\_14\\_eis.pdf](https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL113/Floods_14_eis.pdf).

Μαμασής, Ν. (2014b) ‘Στοιχεία Υδρολογίας Πλημμύρων - Φυσικό Πλαίσιο - Γεωμορφολογία και Απορροή (Σημειώσεις Βιντεομαθήματος Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα)’. Αθήνα: ΕΜΠ. Available at: [https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL108/Floods\\_14\\_FysPl.pdf](https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CIVIL108/Floods_14_FysPl.pdf).

Μαρίνος, Γ., Κατσικάτσος, Γ. and Γεωργιάδου-Δικαιούλια, Ε. Μίρκου, Ρ. (1971) ‘Το σύστημα των Σχιστολίθων Αθηνών. Ι. Στρωματογραφία και τεκτονική’, *Ann. Geol. Pays Hell*, 23.

Μπαριάμης, Γ. . (2013) *Ανάλυση Ευαισθησίας Παραμέτρων του Υδρολογικού Μοντέλου HEC-HMS και εφαρμογή στη Λεκάνη του Ρέματος Ραφήνας*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Παπανικολάου et al, Δ. (2002) *Γεωλογική - Γεωτεχνική μελέτη Λεκανοπεδίου Αθηνών - ΟΑΣΠ*. Αθήνα.

Παπανικολάου, Δ., Λόζιος, Σ., et al. (2004) ‘Η Γεωλογική Δομή του Αλλόχθονου Συστήματος των Σχιστολίθων Αθηνών’, *Bulletin of the Geological Society of Greece*. Θεσσαλονίκη, 36, pp. 1550–1559. doi: <http://dx.doi.org/10.12681/bgsg.16513>.

Παπανικολάου, Δ., Μπάση, Ε., et al. (2004) ‘Παλαιογραφική εξέλιξη του λεκανοπεδίου Αθηνών από το Άνω Μειόκαινο έως σήμερα’, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 36, pp. 816–825. doi: <http://dx.doi.org/10.12681/bgsg.16822>.

Περλέρος, Β. (2016) *Μελέτη Διευθέτησης - Οριοθέτησης Ρέματος Ραφήνας - Γεωλογική Μελέτη*.

Τσούτσου, Χ. (2015) *Διερεύνηση συνιστωσών στρατηγικού σχεδιασμού πράσινων δομών / οικολογικών διαδρόμων στο επίπεδο της μητροπολιτικής περιφέρειας Αττικής – Η περίπτωση του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας*. Available at: [http://www.arch.ntua.gr/sites/default/files/project/7387\\_/chtsoutsou\\_greenrema\\_4.pdf](http://www.arch.ntua.gr/sites/default/files/project/7387_/chtsoutsou_greenrema_4.pdf).

Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας & Δημόσιων Έργων - Γενική Γραμματεία Δημόσιων Έργων - Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας (2002) ‘Τεύχος 8: Αποχέτευση - Στράγγιση Υδραυλικά Έργα Οδών’, *Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ)*, (Κεφάλαιο 2: Εκτίμηση



απορροής ομβρίων για μικρές επιφάνειες). Available at: [http://www.nomoskopio.gr/omoe\\_12\\_2.php?toc=0&printWindow&](http://www.nomoskopio.gr/omoe_12_2.php?toc=0&printWindow&).

Φικίρης, Φ. (2007) 'Αντιδιαβρωτική Προστασία με Χρήση Γεωσυνθετικών Υλικών. Erosion Control Using Geosynthetics.', in *Ημερίδα: Γεωτεχνικές Εφαρμογές Γεωσυνθετικών Υλικών*. Αθήνα: ΤΕΕ, p. 25. Available at: [http://library.tee.gr/digital/m2185/m2185\\_fikiris.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2185/m2185_fikiris.pdf).

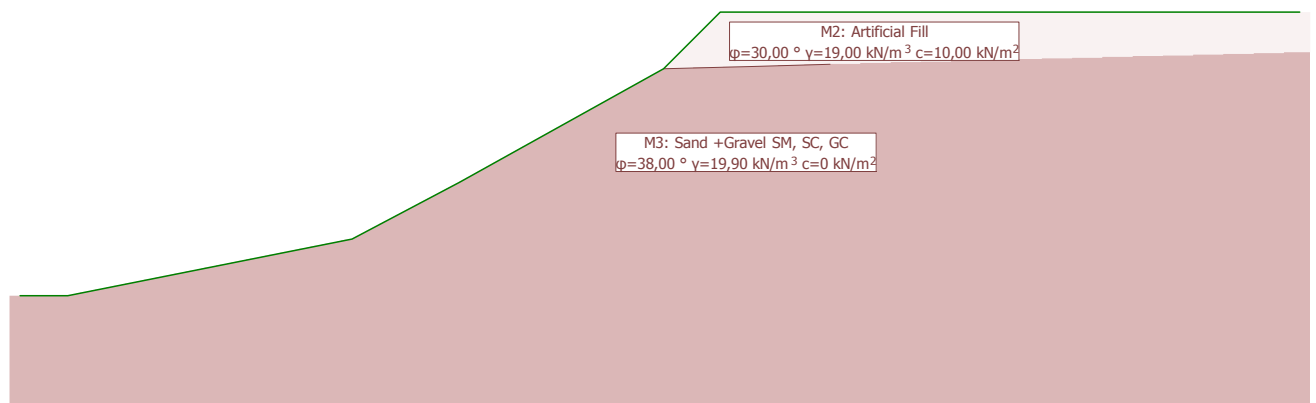
# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**ΘΕΣΗ 1: ΑΝΔΡΙΩΤΗ (Χ.Θ. 1+470)**

**ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΠΡΑΝΕΣ**

Geotechnical model

Scale 1 :133.2 (-0.05,-1.82..22.58,11.21)



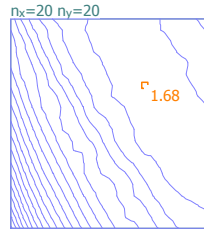
## GEOTECHNICAL MODEL

### Soil layer attributes

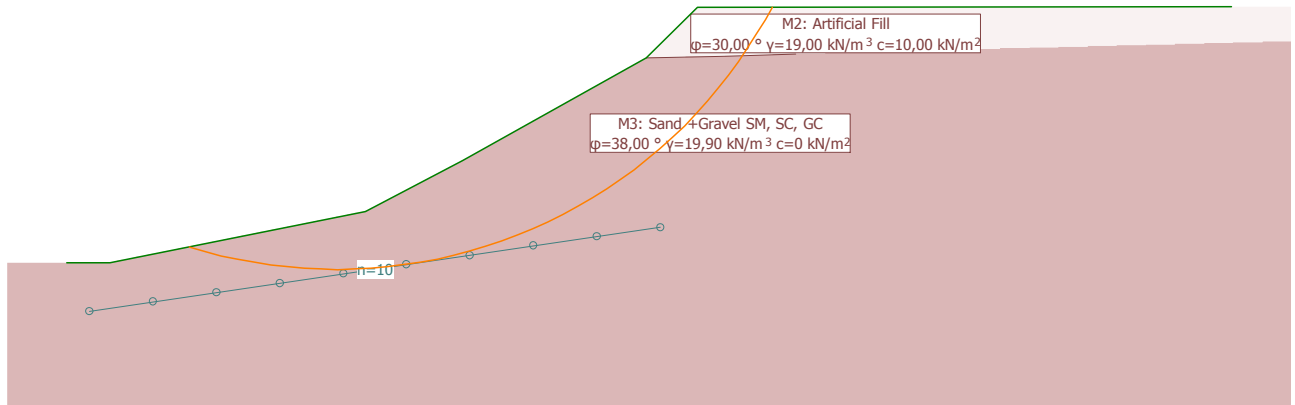
Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
M2	Artificial Fill	30,00	19,00	10,00
M3	Sand +Gravel SM, SC, G	38,00	19,90	0

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :148.1



dF = 0.06  
F = 1.68 - 2.83  
'Method: Krey iterative'



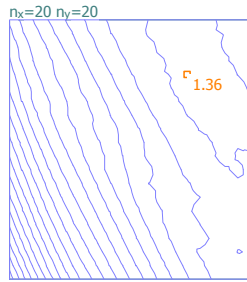
Limit state values: Definition with centres and constraint line

Slip circles with minimum safeties

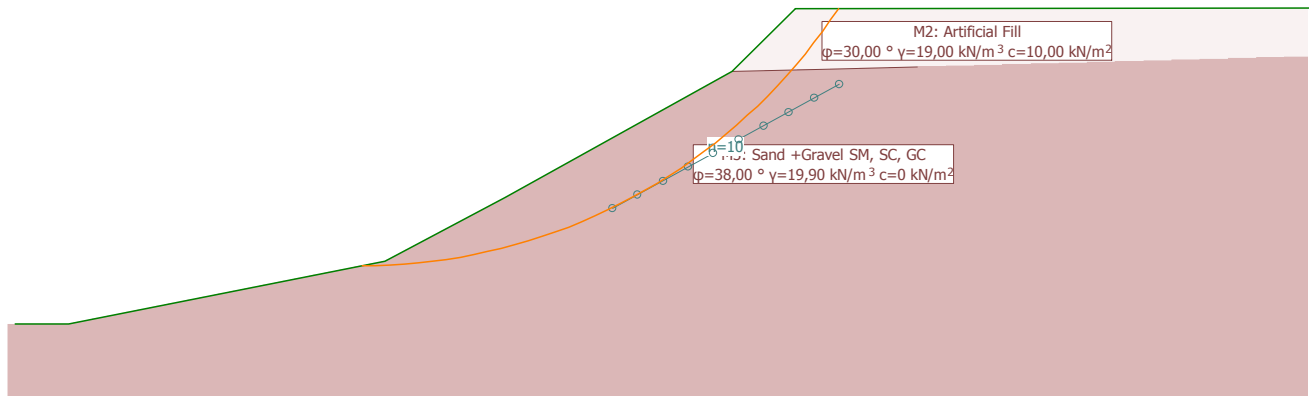
LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	2704	5,67	10,36	9,43		1,38			
		3683	5,26	11,44	10,50		1,38			
		2703	5,67	10,36	9,44		1,38			
		2514	5,87	10,15	9,13		1,38			

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :119.7 (-0.00,-1.07..20.32,11.63)



dF = 0.09  
F = 1.36 - 3.21  
'Method: Krey iterative'



Limit state values: Definition with centres and constraint line

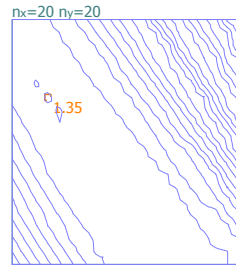
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	3149	5.49	9.94	9.01		1.36			
		2959	5.69	9.72	8.73		1.36			
		3160	5.69	9.94	8.93		1.36			
		3347	5.49	10.16	9.24		1.36			

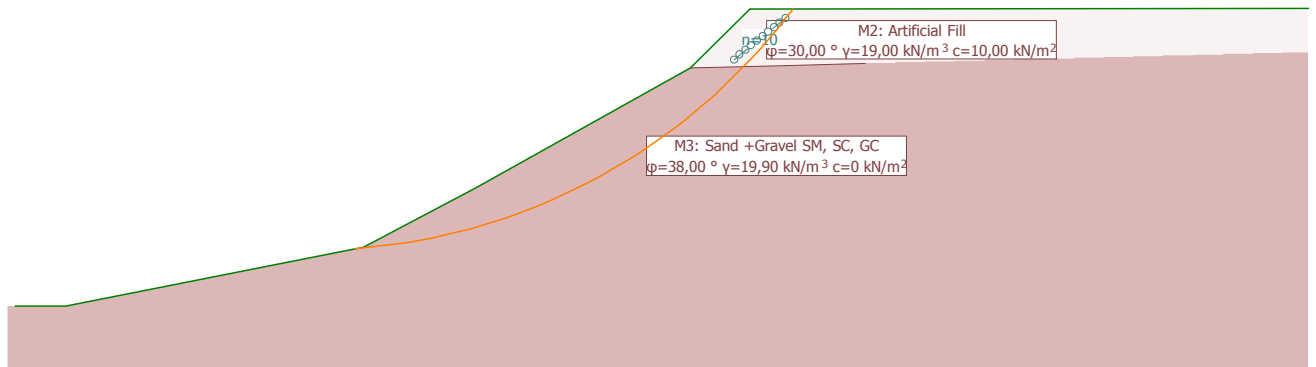
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :127.0 (0.00,-0.91..21.57,14.46)



dF = 0.06  
F = 1.35 - 2.63  
'Method: Krey iterative'



Limit state values: Definition with centres and constraint line

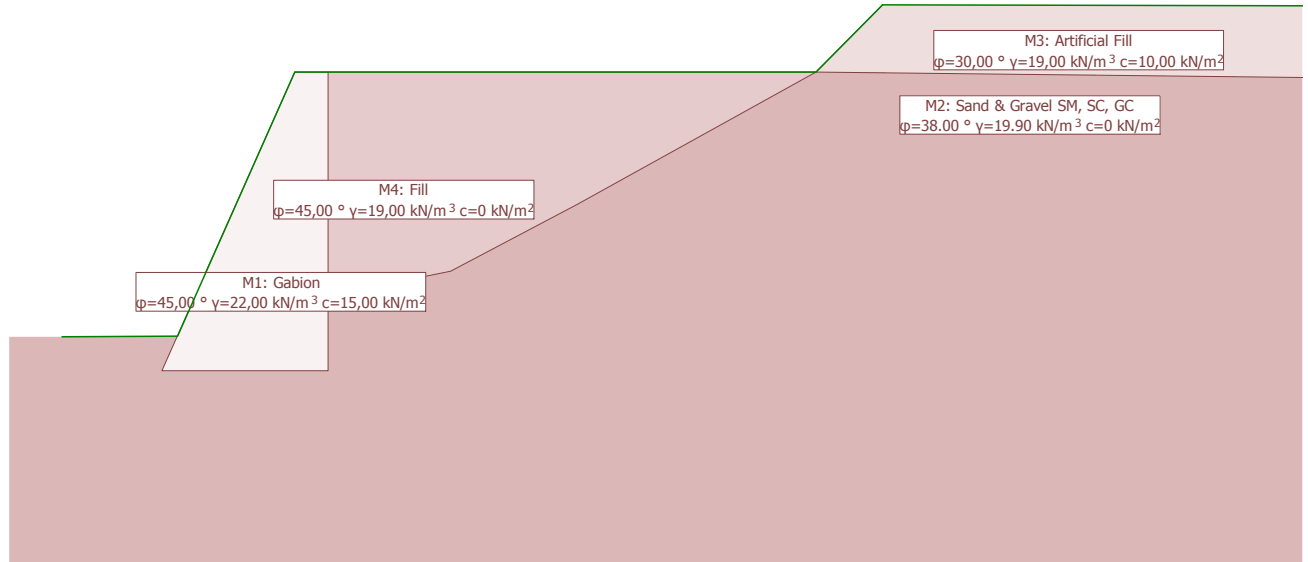
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	2631	4.97	11.06	10.12		1.35			
		2821	4.77	11.28	10.41		1.35			
		2441	5.17	10.85	9.82		1.35			
		2244	5.17	10.63	9.61		1.35			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Geotechnical model

Scale 1 :113.9 (-0.80,-3.33..18.53,7.62)



## GEOTECHNICAL MODEL

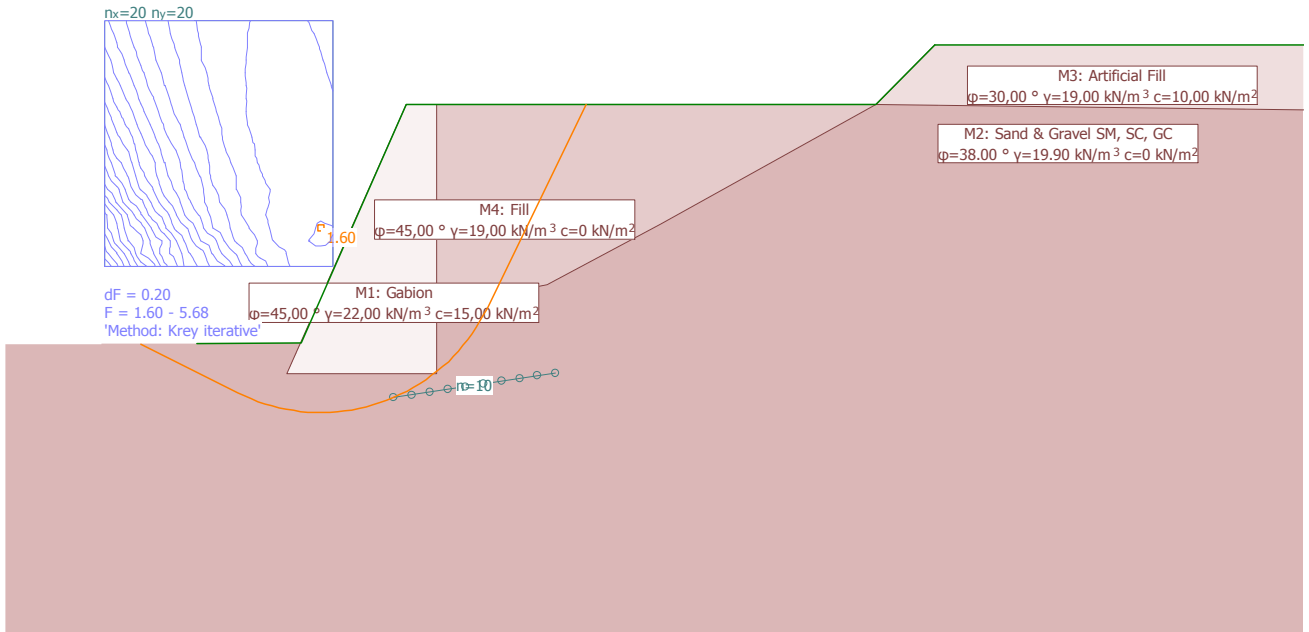
### Soil layer attributes

Id	Description	φ <sub>k</sub> [°]	γ <sub>k</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	c <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
M1	Gabion	45.00	22.00	15.00
M3	Artificial Fill	30.00	19.00	10.00
M4	Fill	45.00	19.00	0
M2	Sand & Gravel SM, SC,	38.00	19.90	0



Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :126.5 (-3.13,-4.73..18.35,8.94)



Limit state values: Definition with centres and constraint line

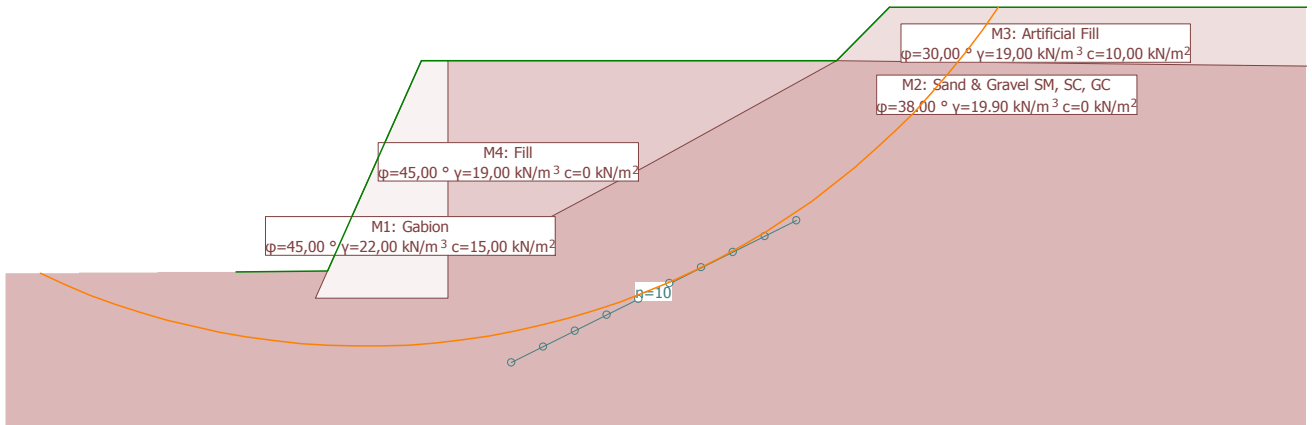
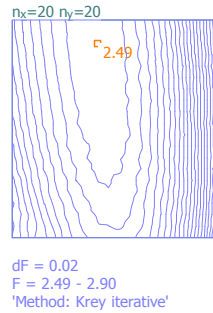
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	781	2.06	1.95	3.09		1.60			
		581	2.06	1.73	2.89		1.61			
		791	2.27	1.95	3.02		1.62			
		571	1.86	1.73	2.98		1.63			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :143.0 (-4.22,-2.79..20.06,14.66)



Limit state values: Definition with centres and constraint line

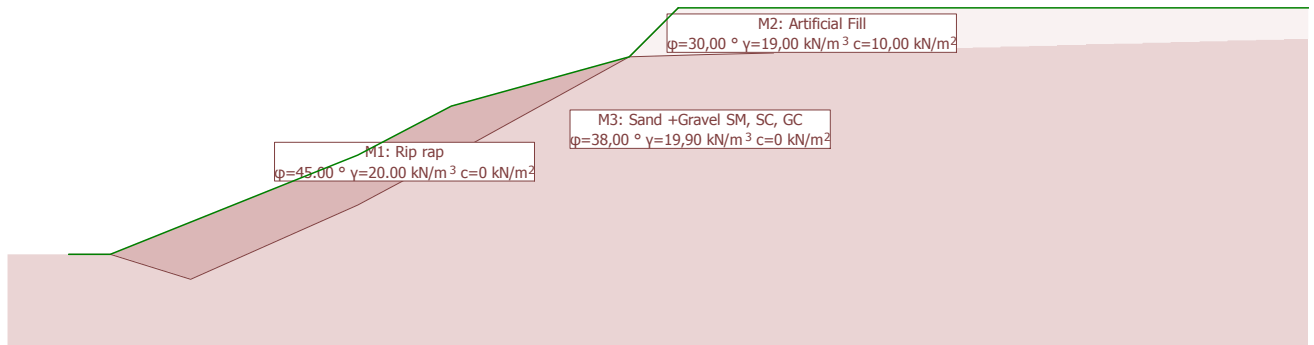
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	3487	2.43	13.01	14.41		2.49			
		3087	2.43	12.58	14.02		2.49			
		2487	2.43	11.93	13.44		2.49			
		3887	2.43	13.44	14.79		2.49			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Geotechnical model

Scale 1 :153.2 (-1.08,-1.79..24.93,8.82)



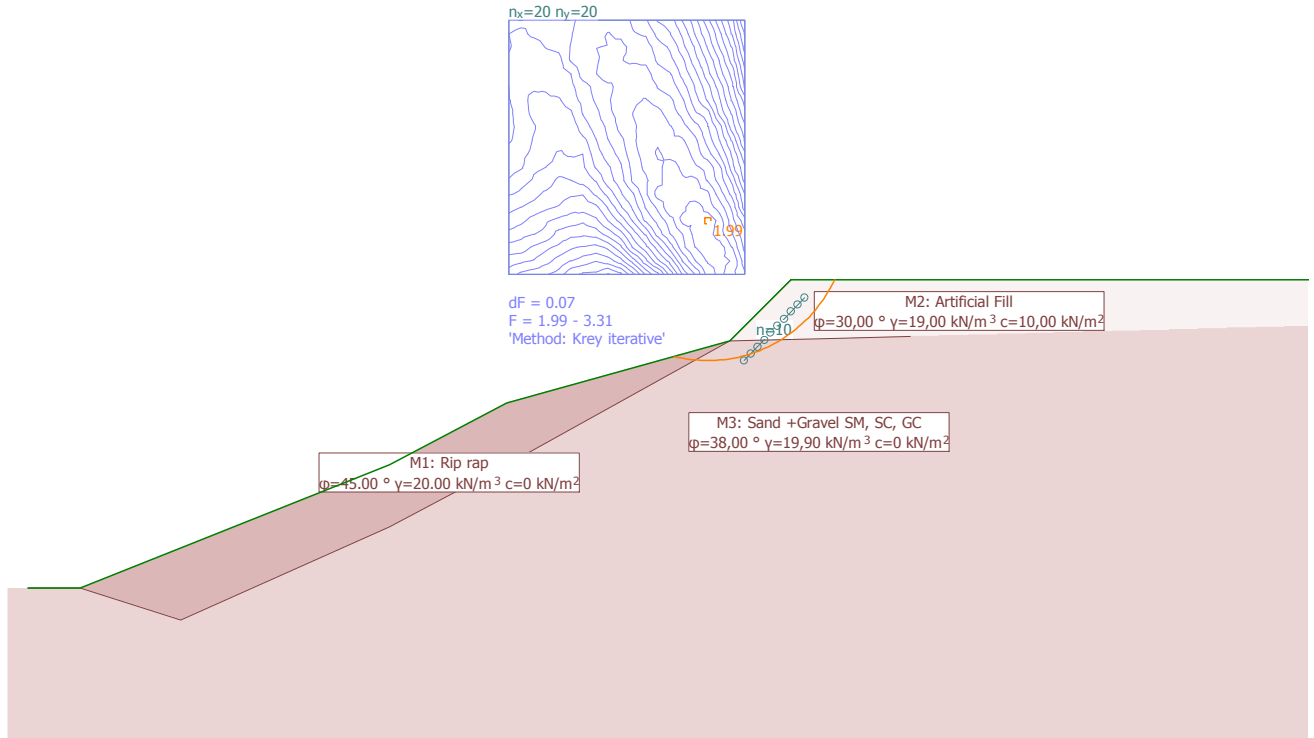
## GEOTECHNICAL MODEL

### Soil layer attributes

Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
M2	Artificial Fill	30.00	19.00	10.00
M3	Sand +Gravel SM, SC, G	38.00	19.90	0
M1	Rip rap	45.00	20.00	0

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :122.3 (-0.20,-2.32..20.57,12.77)



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

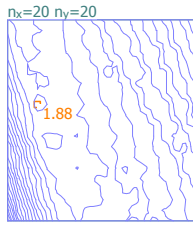
**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	969	11.00	5.95	2.26		1.99			
		570	11.00	5.52	1.92		2.00			
		1160	10.80	6.16	2.60		2.00			
		580	11.20	5.52	1.87		2.01			

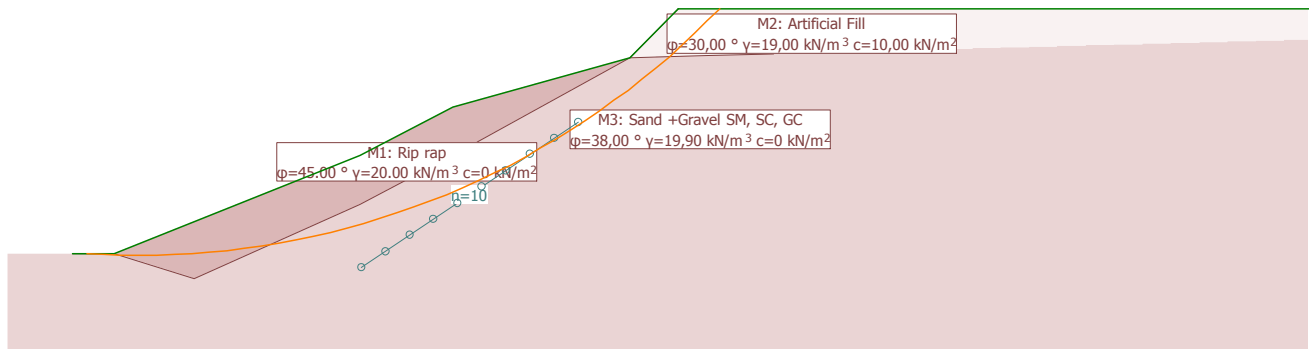
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :154.2 (-1.18,-1.83..25.01,18.72)



dF = 0.02  
F = 1.88 - 2.20  
'Method: Krey iterative'



Limit state values: Definition with centres and constraint line

Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	2233	1.34	16.42	16.45		1.88			
		3812	0.94	18.15	18.11		1.88			
		3223	1.14	17.50	17.50		1.88			
		3813	0.94	18.15	18.17		1.88			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

ρ. Βαλανάρη

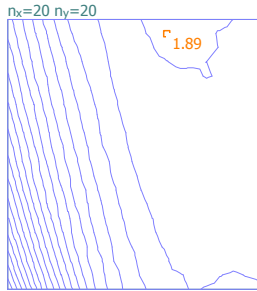
Ανδριώτη (Χ.Θ. 1+470) αριστερό πρανές - πρόταση Rip Rap

N.T.U.A. - SCHOOL OF MINING AND METALLURGICAL ENGINEERING

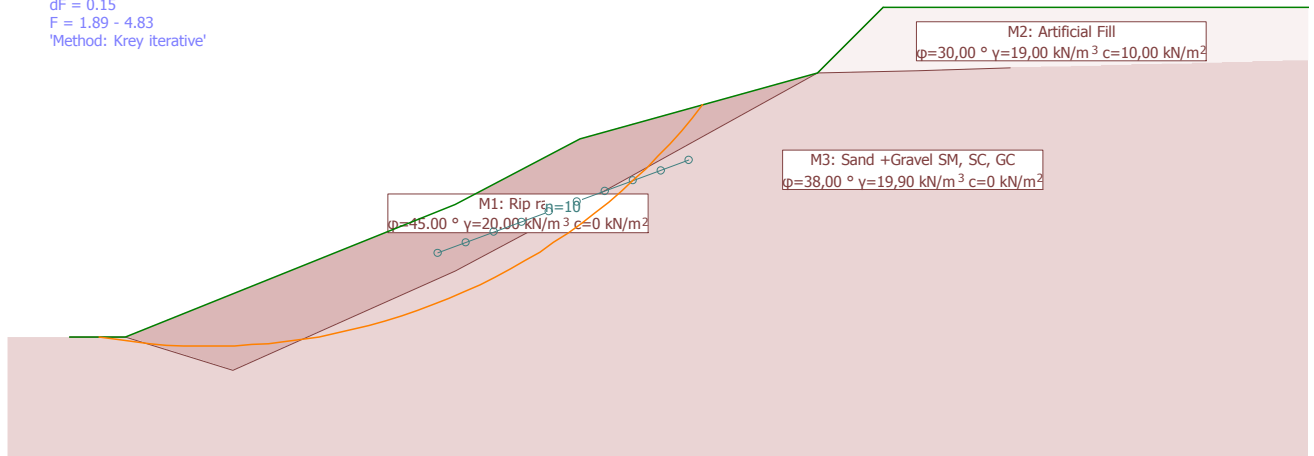
Larix-7 - Version 1.00

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :114.9 (-0.83,-1.74..18.67,10.63)



dF = 0.15  
F = 1.89 - 4.83  
'Method: Krey iterative'



Limit state values: Definition with centres and constraint line

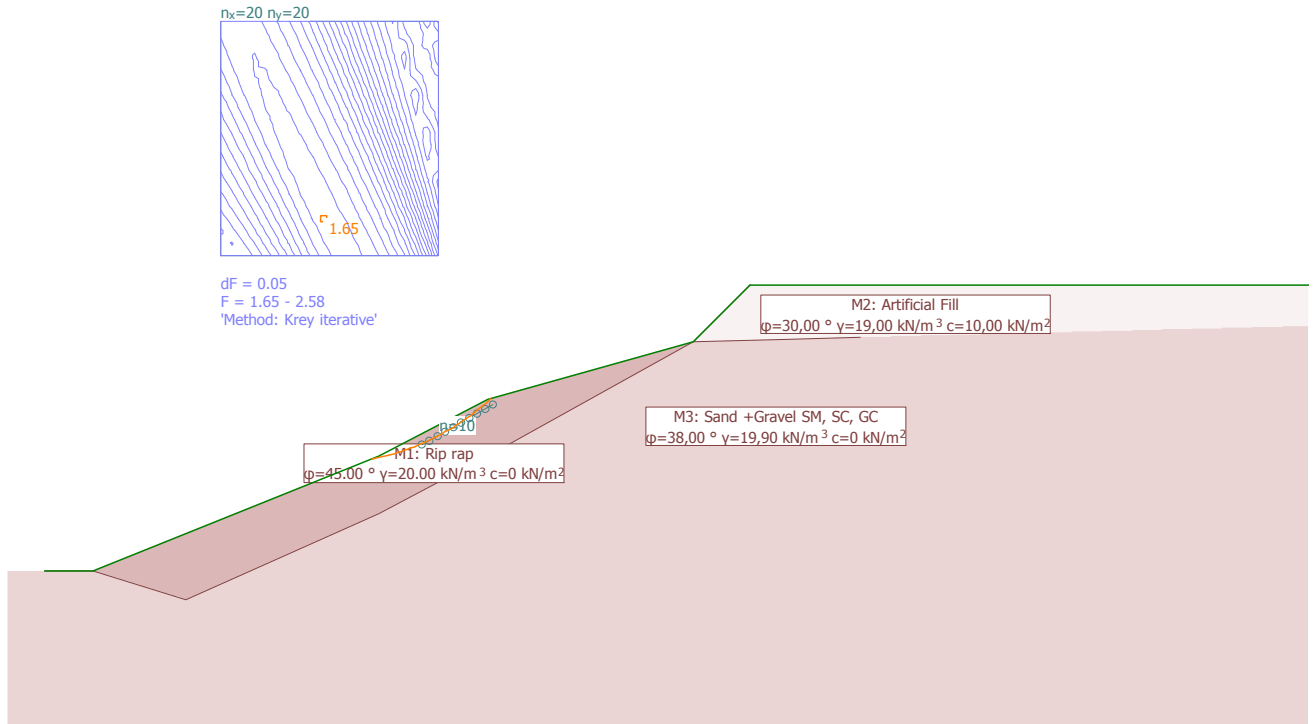
**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	3723	2.11	9.36	9.51		1.89			
		3923	2.11	9.58	9.67		1.90			
		3733	2.31	9.36	9.37		1.90			
		3933	2.31	9.58	9.54		1.90			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :132.3 (-0.52,-2.59..21.96,11.86)



Limit state values: Definition with centres and constraint line

Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	694	4.89	6.16	4.30		1.65			
		693	4.89	6.16	4.30		1.65			
		1084	4.69	6.59	4.77		1.65			
		894	4.89	6.38	4.48		1.65			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

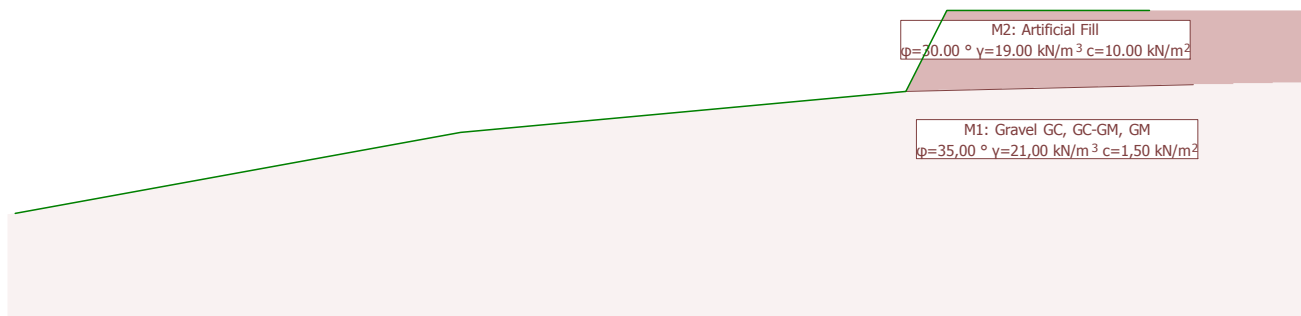
**ΘΕΣΗ 4: ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ (Χ.Θ. 0+400)**

**ΔΕΞΙ ΠΡΑΝΕΣ**



Geotechnical model

Scale 1 :93.3 (0.00,-1.26..15.85,6.45)



## GEOTECHNICAL MODEL

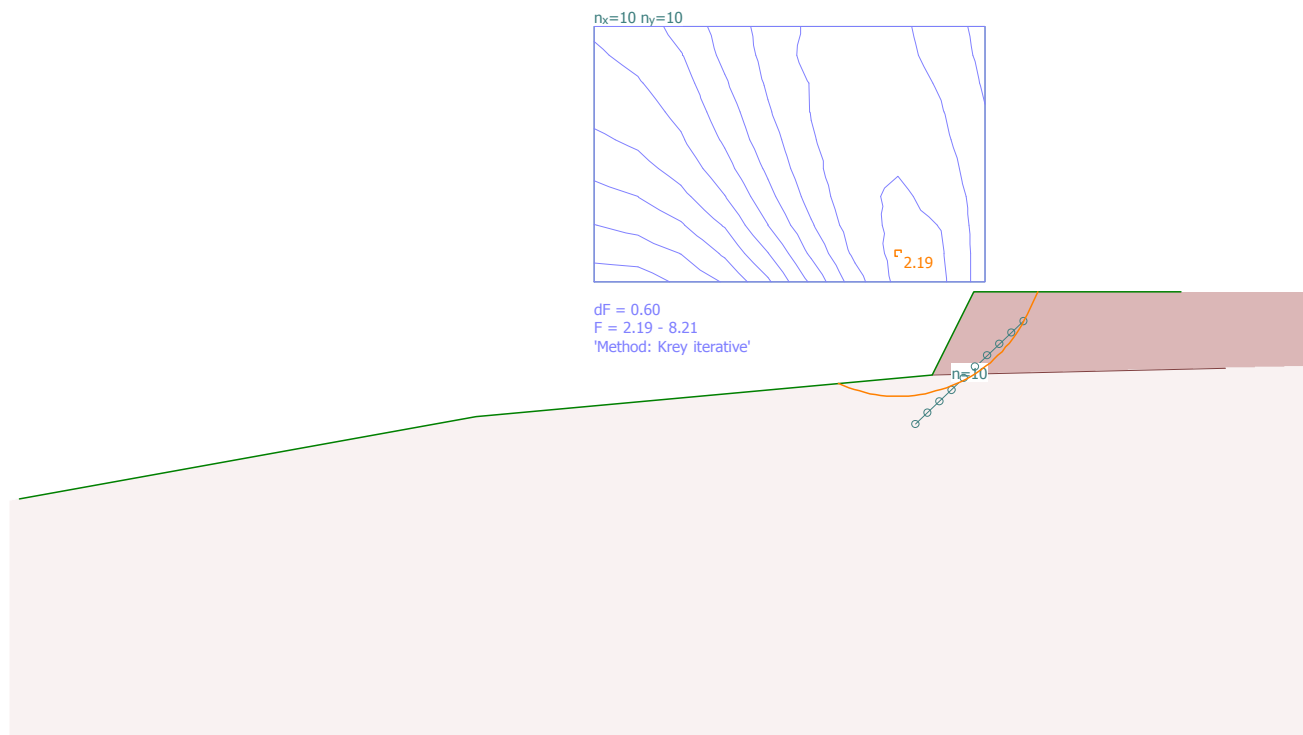
### Soil layer attributes

Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
M1	Gravel GC, GC-GM, GM	35.00	21.00	1.50	
M2	Artificial Fill	30.00	19.00	10.00	

Nr.:

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :91.2 (-0.03,-2.80..15.45,7.81)



Limit state values: Definition with centres and constraint line

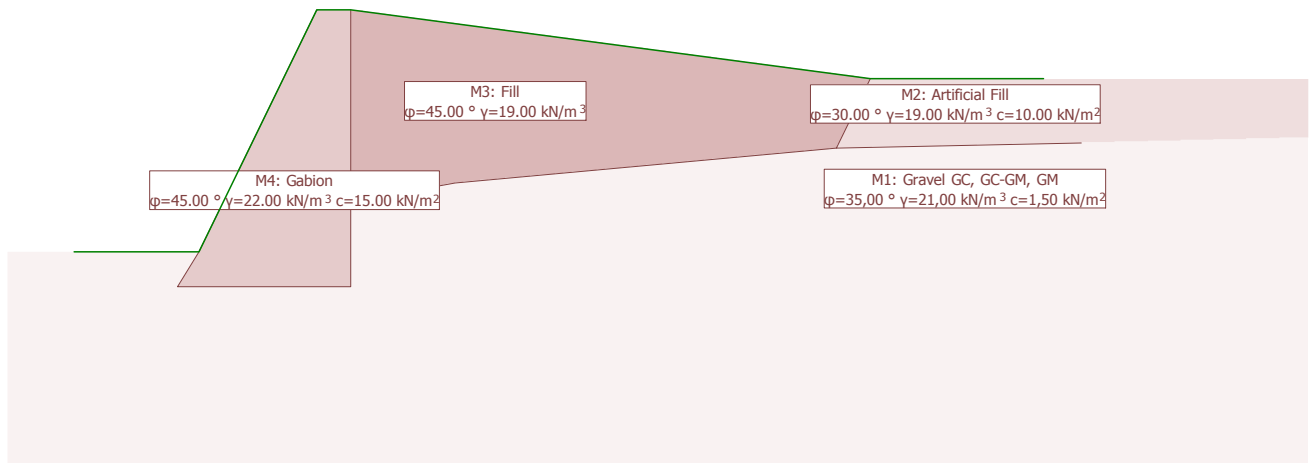
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	171	10.59	2.96	1.72		2.19			
		175	10.59	2.96	1.66		2.19			
		176	10.59	2.96	1.70		2.20			
		173	10.59	2.96	1.64		2.21			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Geotechnical model

Scale 1 :109.2 (-0.85,-3.00..17.69,7.17)



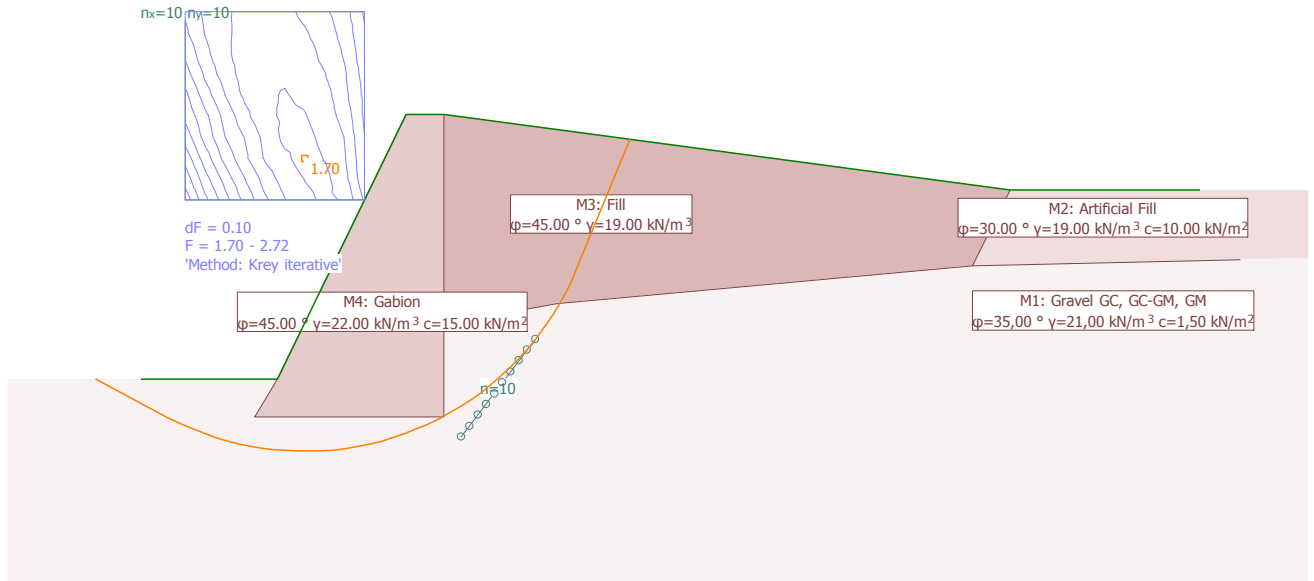
## GEOTECHNICAL MODEL

### Soil layer attributes

Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
M1	Gravel GC, GC-GM, GM	35.00	21.00	1.50
M2	Artificial Fill	30.00	19.00	10.00
M4	Gabion	45.00	22.00	15.00
M3	Fill	45.00	19.00	0

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :100.1 (-1.68,-2.63..15.32,5.61)



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

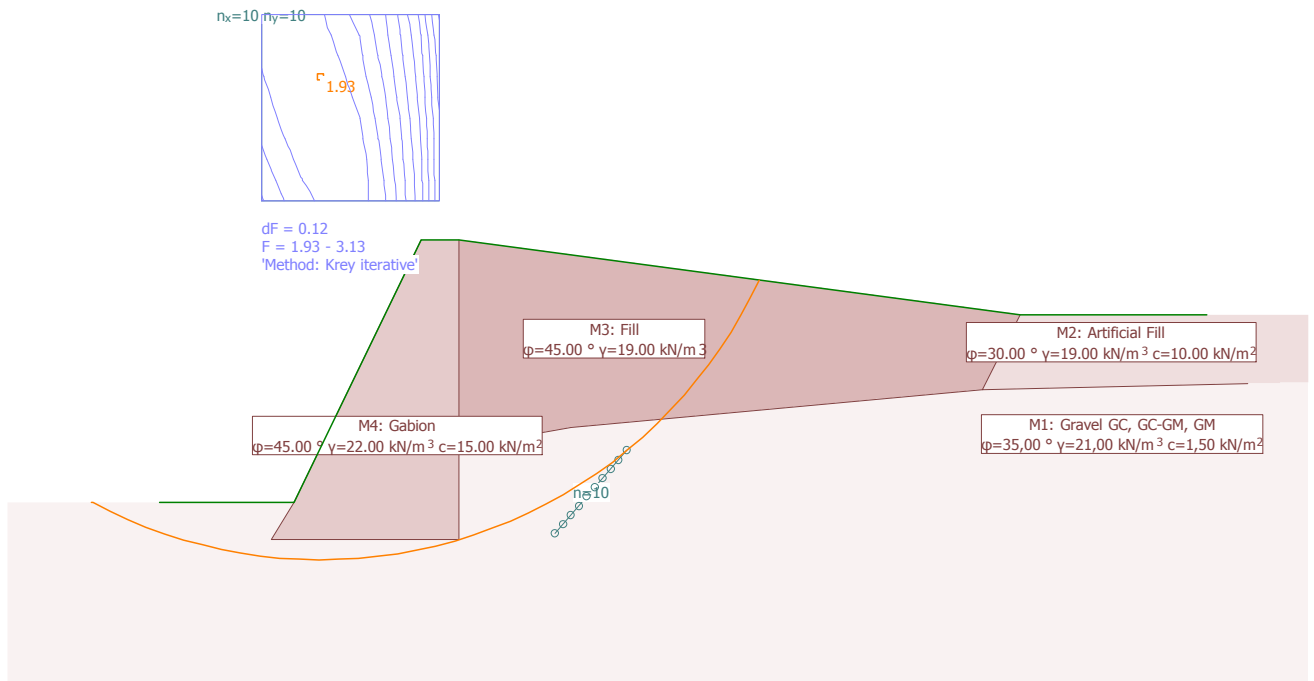
**Slip circles with minimum safeties**

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
262	2.16	2.93	3.88		1.70			
351	1.90	3.20	4.25		1.71			
173	2.42	2.65	3.52		1.71			
363	2.16	3.20	4.09		1.71			

- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :101.0 (-1.93,-2.37..15.23,7.30)



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
640	2.16	5.69	6.46		1.93			
540	2.16	5.41	6.25		1.93			
440	2.16	5.13	6.04		1.94			
730	1.89	5.96	6.84		1.94			

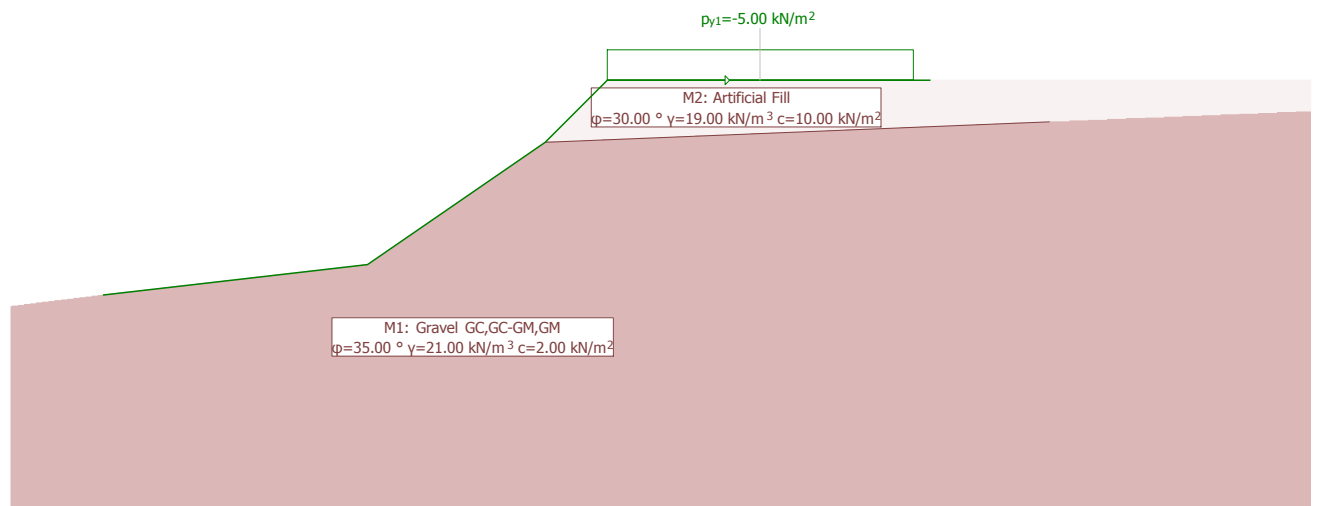
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

**ΘΕΣΗ 4: ΑΓ. ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ (Χ.Θ. 0+400)**

**ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΠΡΑΝΕΣ**

Loading LC: Μαντρί

Scale 1 :123.2 (-1.39,-3.38..19.53,8.94)

**GEOTECHNICAL MODEL****Soil layer attributes**

Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
M1	Gravel,GC,GC-GM,GM	35.00	21.00	2.00
M2	Artificial Fill	30.00	19.00	10.00

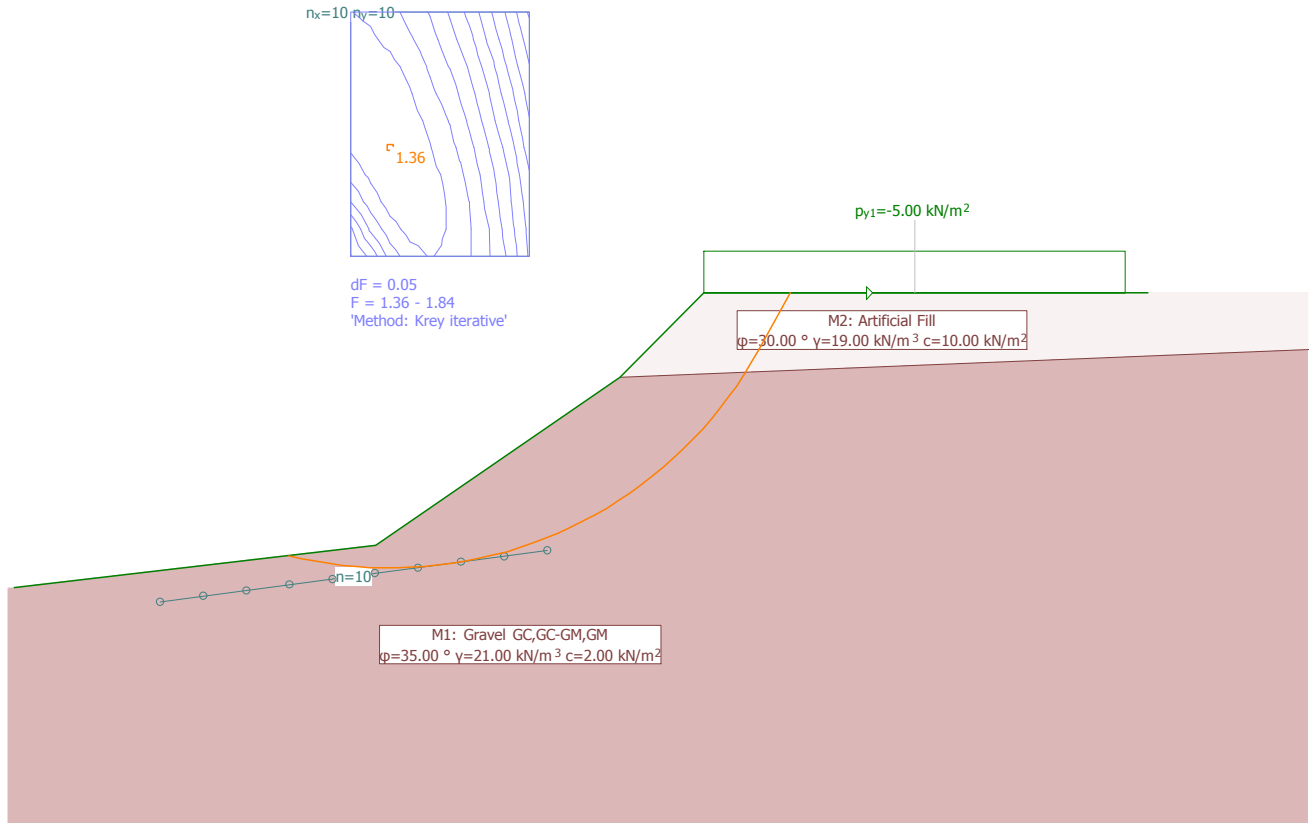
**LOAD CASE LC: Μαντρί (Dead load)****Distributed loads**

Coordinates				Load values			
$x_1$ [m]	$y_1$ [m]	$x_2$ [m]	$y_2$ [m]	$p_{1x}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{1y}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{2x}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{2y}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
8.20	3.50	13.20	3.50	0	-5.00	0	-5.00

Loading LC: Μαντρί

Scale 1 :89.8 (0.01,-2.74..15.27,8.94)

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	$F_{ex}$ [-]	$L_{req}$ [m]	$L_{min}$ [m]	Remark see footnotes
1	1	428	4.47	5.22	4.99		1.36			
		338	4.70	4.90	4.64		1.36			
		528	4.47	5.55	5.31		1.36			
		238	4.70	4.58	4.32		1.36			

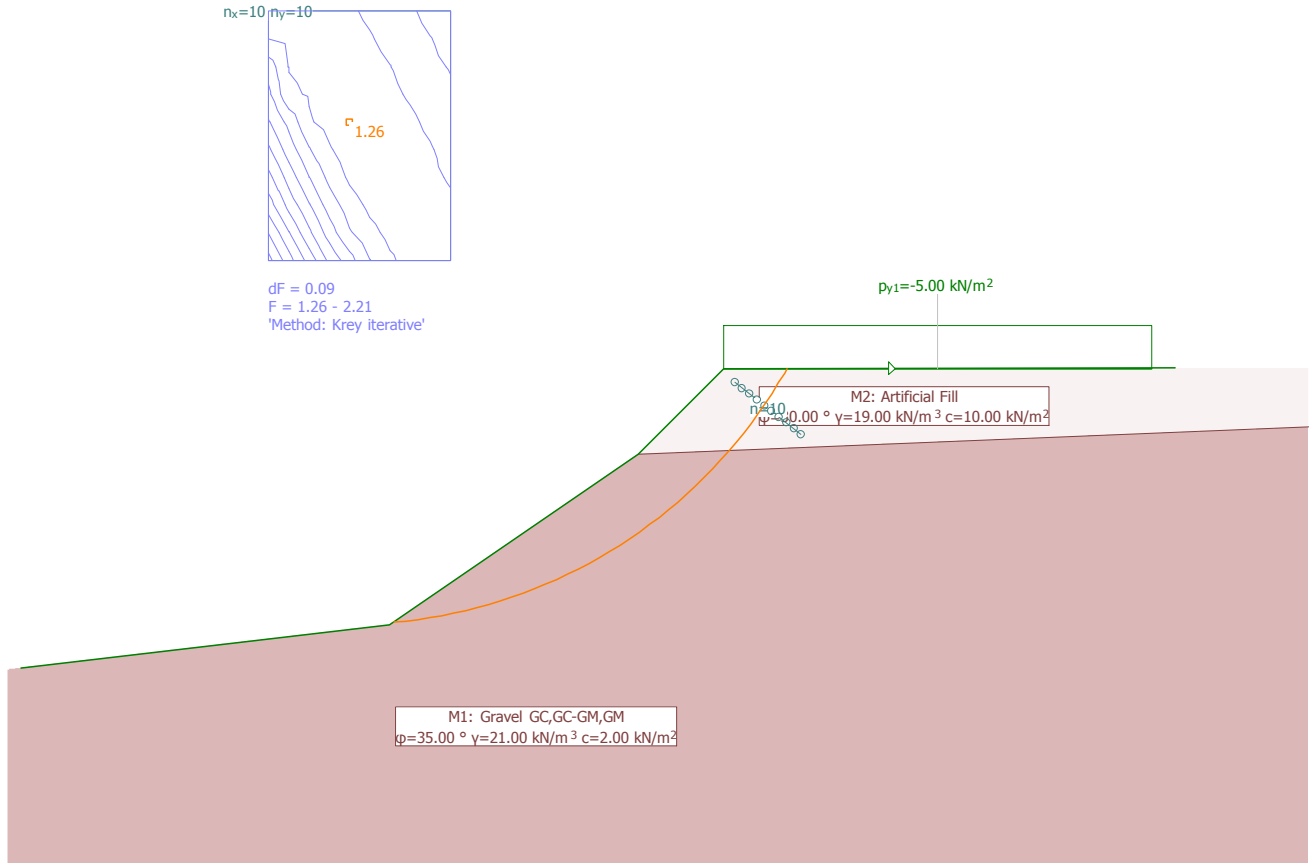
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- $F_{ex}$  : existing safety, required safety  $F_{req} = 1.00$
- $L_{req}$  : calculated required free anchor length between  $L_{min} - L_{max}$
- $L_{min}$  : input minimum free anchor length



Loading LC: Μαντρί

Scale 1 :88.3 (-0.07,-2.20..14.92,8.84)

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

**Slip circles with minimum safeties**

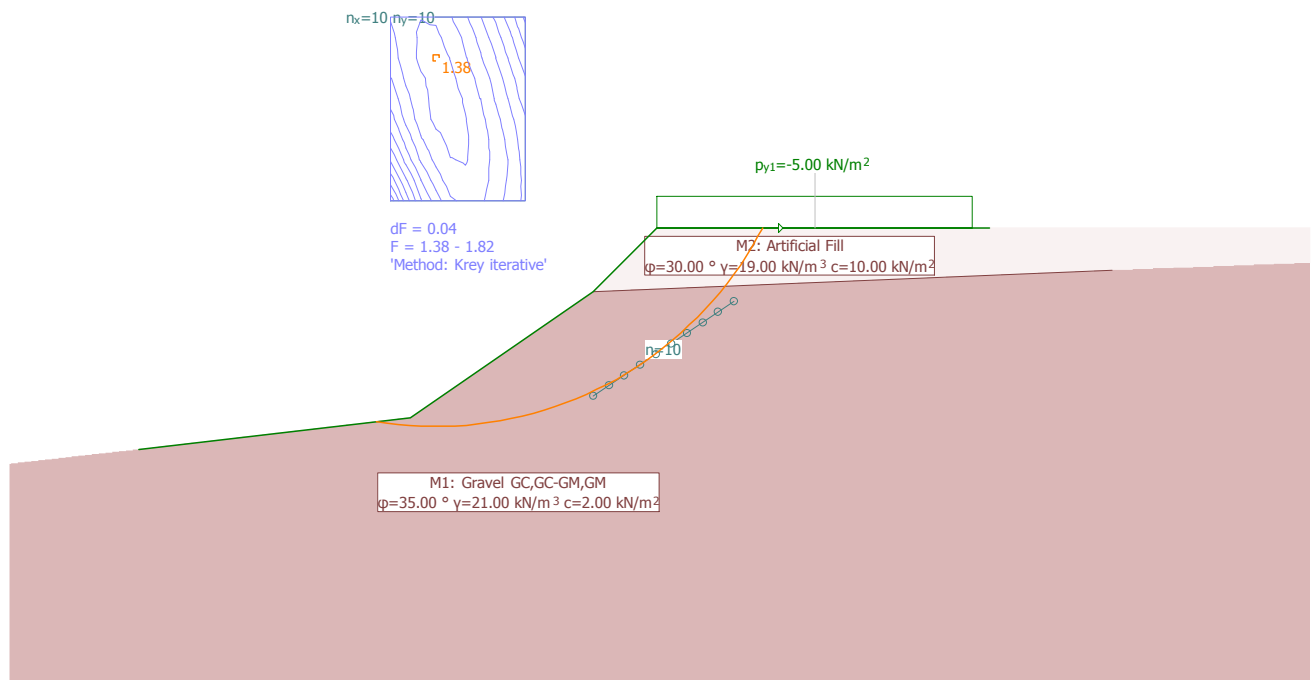
LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	546	3.83	6.38	5.86		1.26			
		735	3.60	7.02	6.55		1.27			
		357	4.07	5.73	5.21		1.27			
		365	4.30	5.73	5.23		1.27			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Loading LC: Μαντρί

Scale 1 :119.7 (-1.92,-3.58..18.41,10.53)

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

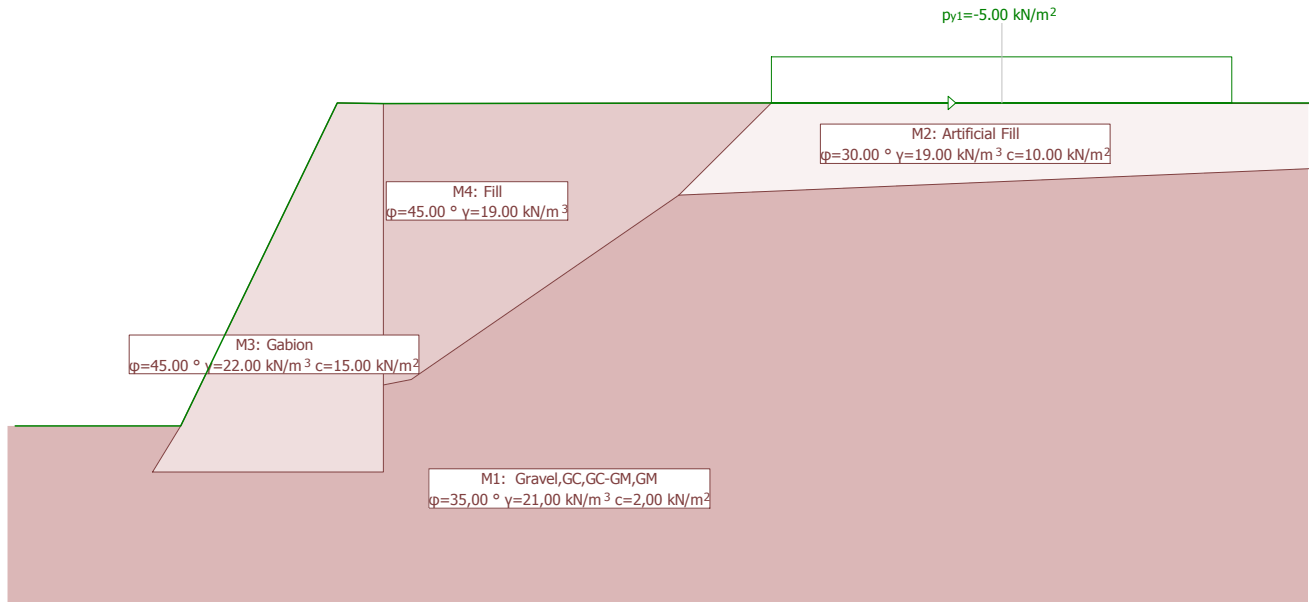
**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	$F_{ex}$ [-]	$L_{req}$ [m]	$L_{min}$ [m]	Remark see footnotes
1	1	734	4.70	6.19	5.83		1.38			
		544	4.94	5.55	5.17		1.38			
		543	4.94	5.55	5.17		1.38			
		735	4.70	6.19	5.84		1.38			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- $F_{ex}$  : existing safety, required safety  $F_{req} = 1.00$
- $L_{req}$  : calculated required free anchor length between  $L_{min} - L_{max}$
- $L_{min}$  : input minimum free anchor length

Loading LC: Μαντρί

Scale 1 :82.0 (0.00,-1.86..13.93,6.05)



**GEOTECHNICAL MODEL**

**Soil layer attributes**

Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
M2	Artificial Fill	30.00	19.00	10.00
M3	Gabion	45.00	22.00	15.00
M4	Fill	45.00	19.00	0
M1	Gravel, GC, GC-GM, GM	35.00	21.00	2.00

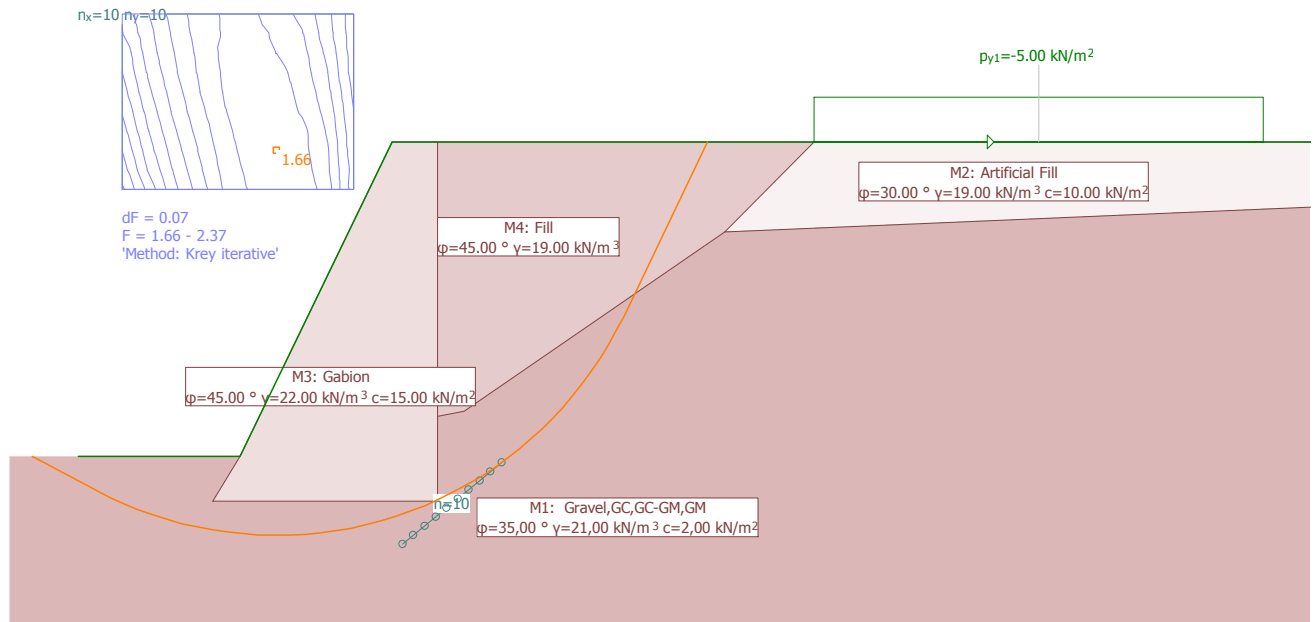
**LOAD CASE LC: Μαντρί (Dead load)**

**Distributed loads**

Coordinates				Load values			
$x_1$ [m]	$y_1$ [m]	$x_2$ [m]	$y_2$ [m]	$p_{1x}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{1y}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{2x}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{2y}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
8.20	3.50	13.20	3.50	0	-5.00	0	-5.00

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 : 84.2 (-0.68,-1.78..13.63,5.74)



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

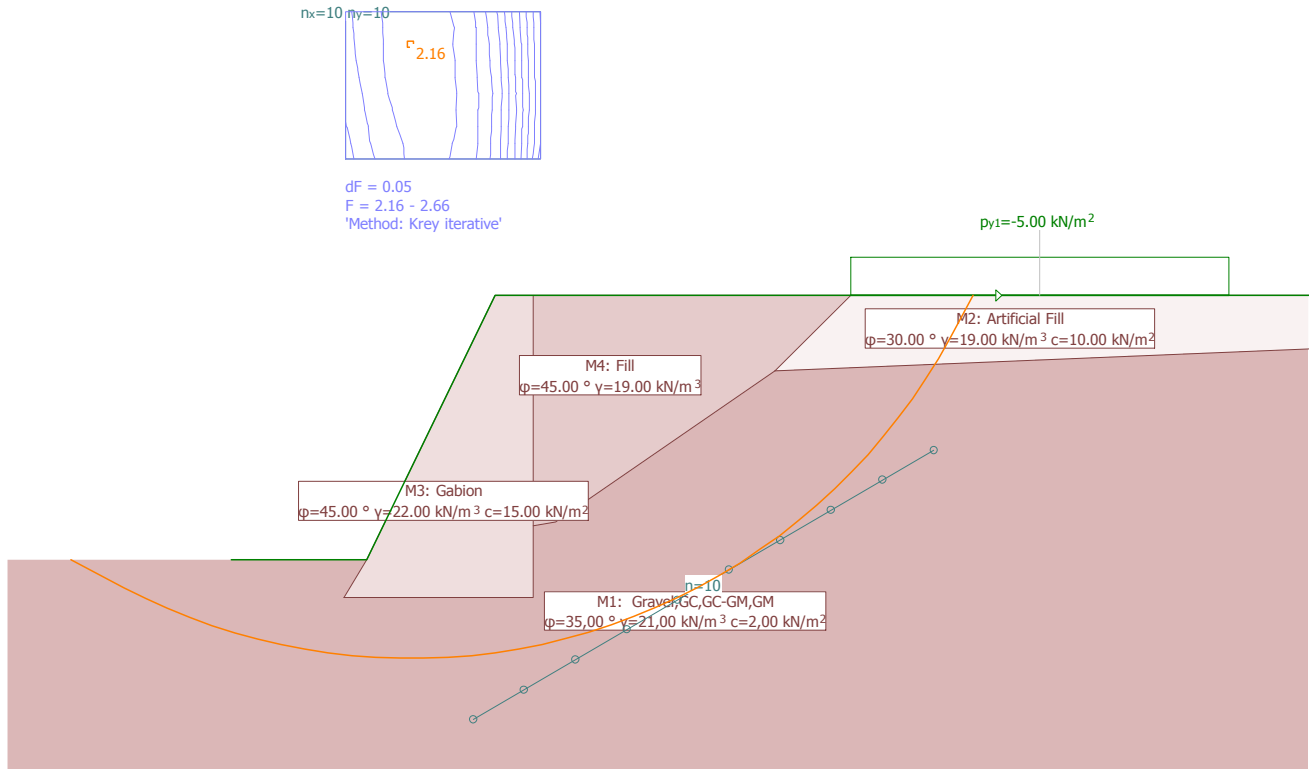
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
270	2.21	3.41	4.29		1.66			
80	2.49	2.97	3.77		1.66			
369	2.21	3.62	4.48		1.66			
170	2.21	3.19	4.11		1.66			

- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :100.1 (-2.86,-2.72..14.14,7.87)



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

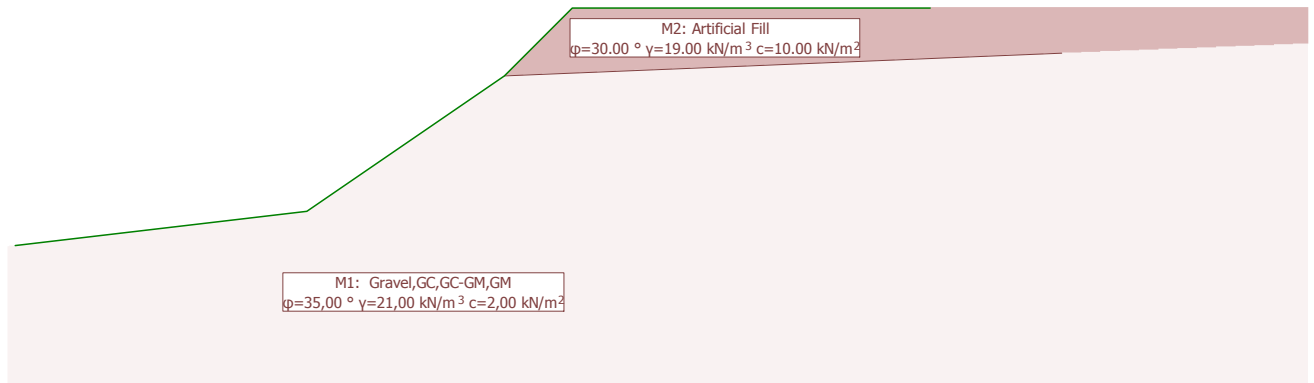
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	$F_{ex}$ [-]	$L_{req}$ [m]	$L_{min}$ [m]	Remark see footnotes
735	2.38	6.82	8.13		2.16			
745	2.66	6.82	7.99		2.16			
835	2.38	7.04	8.32		2.16			
845	2.66	7.04	8.18		2.16			

- $F_{ex}$  : existing safety, required safety  $F_{req} = 1.00$
- $L_{req}$  : calculated required free anchor length between  $L_{min} - L_{max}$
- $L_{min}$  : input minimum free anchor length

Geotechnical model

Scale 1 :111.4 (-0.00,-1.98..18.91,8.47)



## GEOTECHNICAL MODEL

### Soil layer attributes

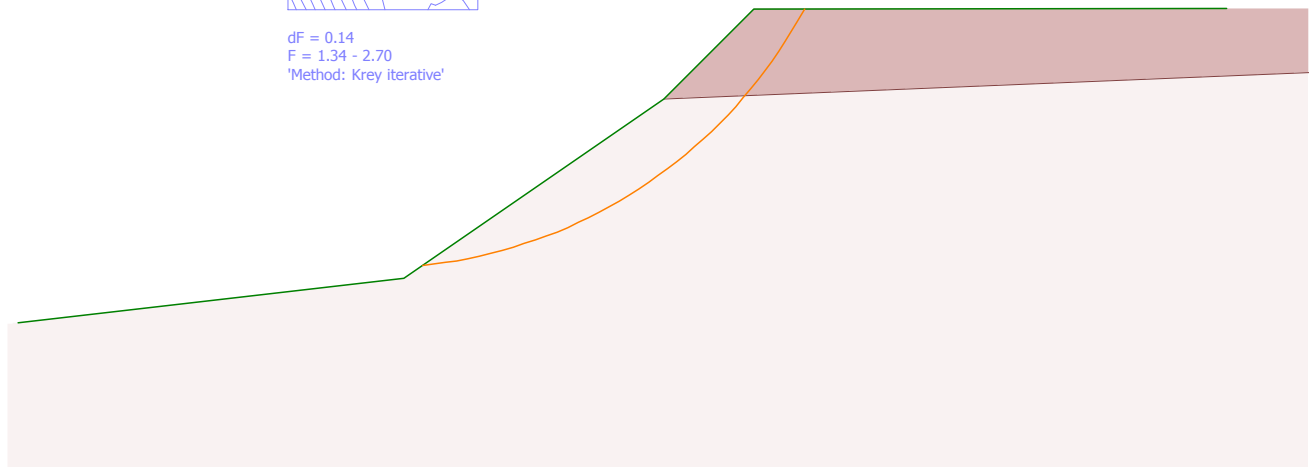
Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
M1	Gravel , GC , GC-GM , GM	35.00	21.00	2.00	
M2	Artificial Fill	30.00	19.00	10.00	

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :84.3 (-0.04,-1.56..14.29,7.43)



dF = 0.14  
 F = 1.34 - 2.70  
 'Method: Krey iterative'



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

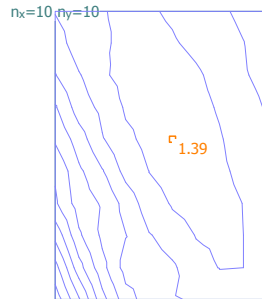
**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	842	3.95	6.07	5.46		1.34			
		742	3.95	5.75	5.20		1.35			
		852	4.18	6.07	5.33		1.36			
		932	3.71	6.39	5.86		1.36			

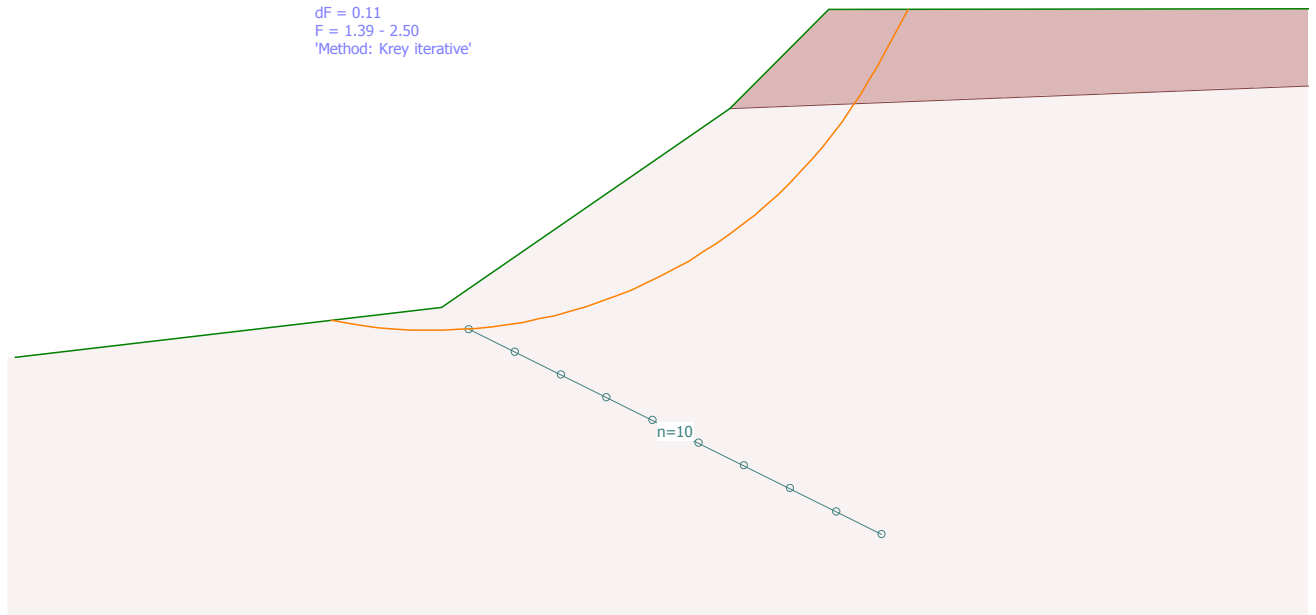
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :76.2 (0.00,-2.55..12.94,7.79)



dF = 0.11  
 F = 1.39 - 2.50  
 'Method: Krey iterative'



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

**Slip circles with minimum safeties**

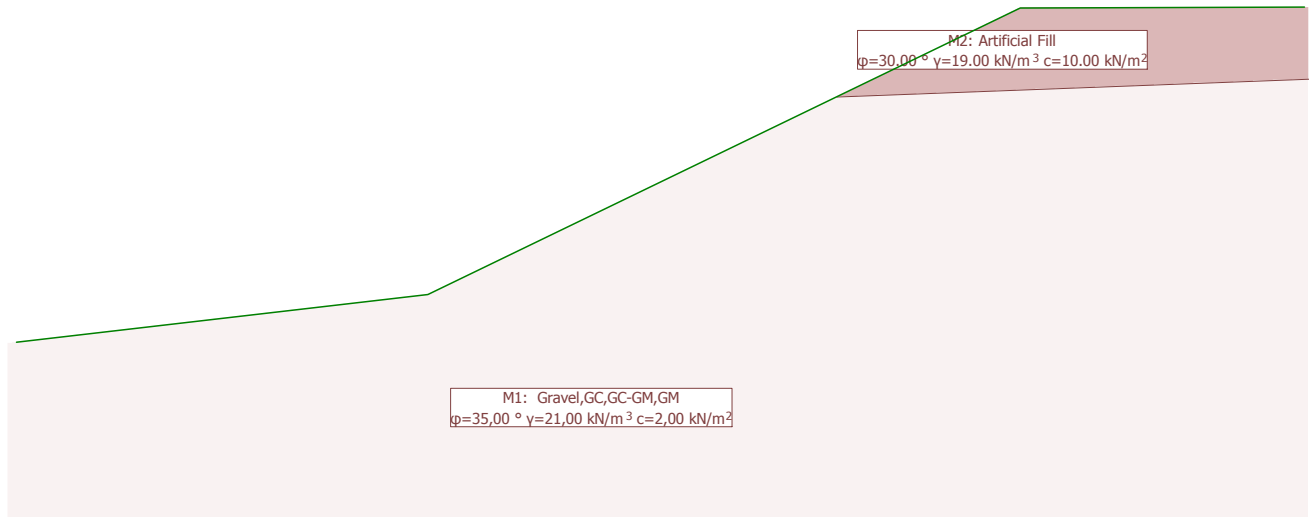
LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	551	4.21	5.37	5.10		1.39			
		651	4.21	5.69	5.42		1.40			
		741	3.97	6.01	5.76		1.40			
		461	4.45	5.04	4.76		1.40			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length



Geotechnical model

Scale 1 :79.1 (-0.02,-1.79..13.42,6.61)



### GEOTECHNICAL MODEL

#### Soil layer attributes

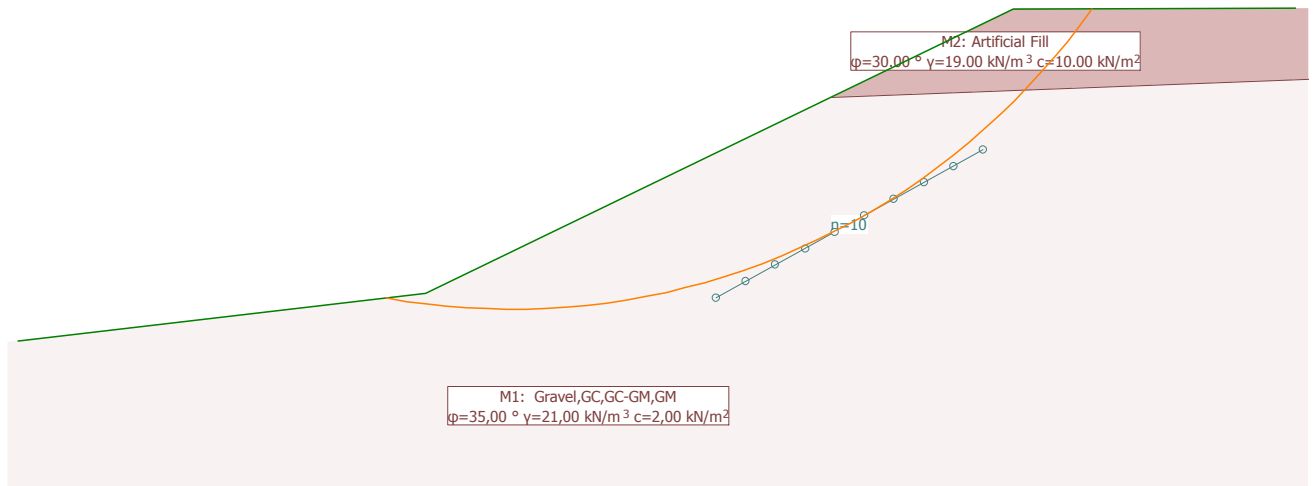
Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
M1	Gravel,GC,GC-GM,GM	35.00	21.00	2.00
M2	Artificial Fill	30.00	19.00	10.00

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 : 79.8 (-0.03,-1.49..13.51,9.09)



dF = 0.05  
F = 1.79 - 2.24  
'Method: Krey iterative'



Limit state values: Definition with centres and constraint line

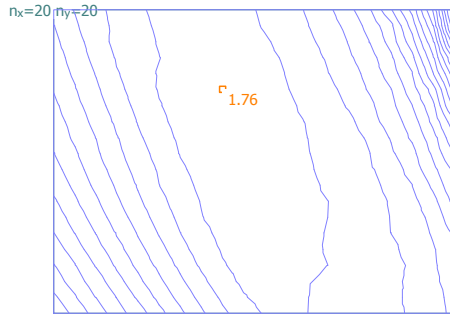
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	756	5.20	7.83	7.49		1.79			
		755	5.20	7.83	7.50		1.79			
		465	5.44	6.86	6.53		1.79			
		655	5.20	7.51	7.21		1.80			

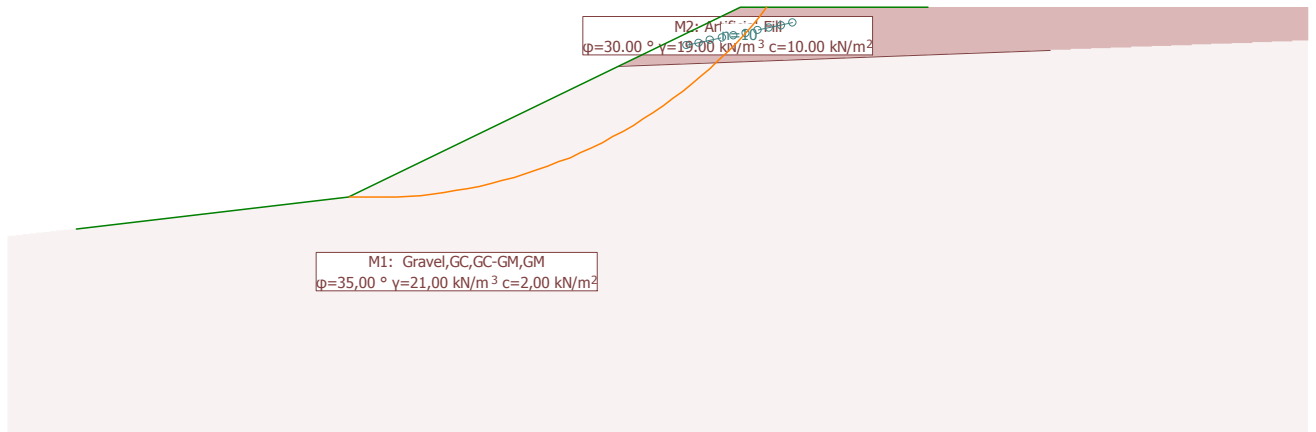
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :119.6 (-0.97,-3.13..19.35,12.99)



dF = 0.21  
F = 1.76 - 5.95  
'Method: Krey iterative'



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

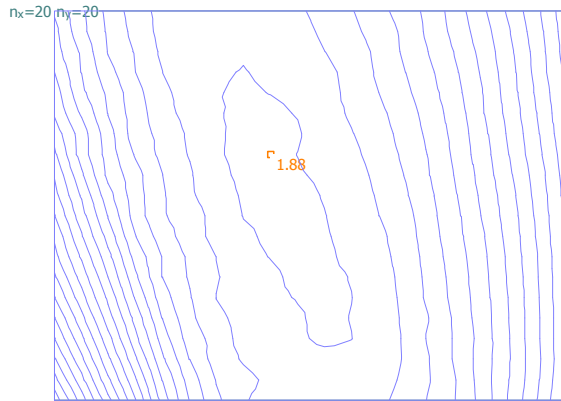
**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	2885	4.70	8.45	7.96		1.76			
		2685	4.70	8.20	7.79		1.76			
		2294	5.03	7.70	7.33		1.76			
		3275	4.36	8.96	8.54		1.76			

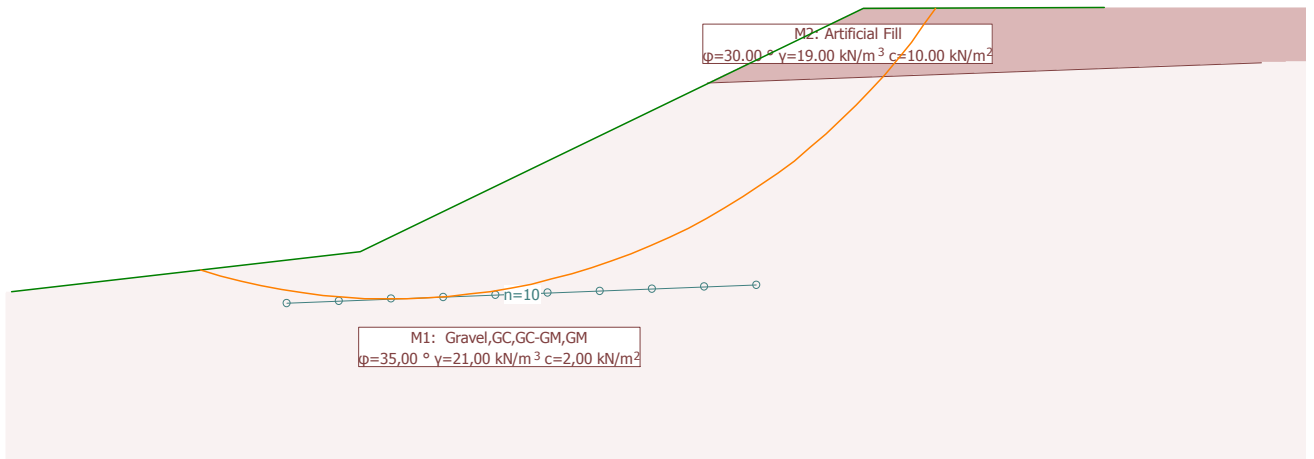
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :93.2 (0.02,-1.99..15.85,11.12)



dF = 0.10  
F = 1.88 - 3.80  
Method: Krey iterative'



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

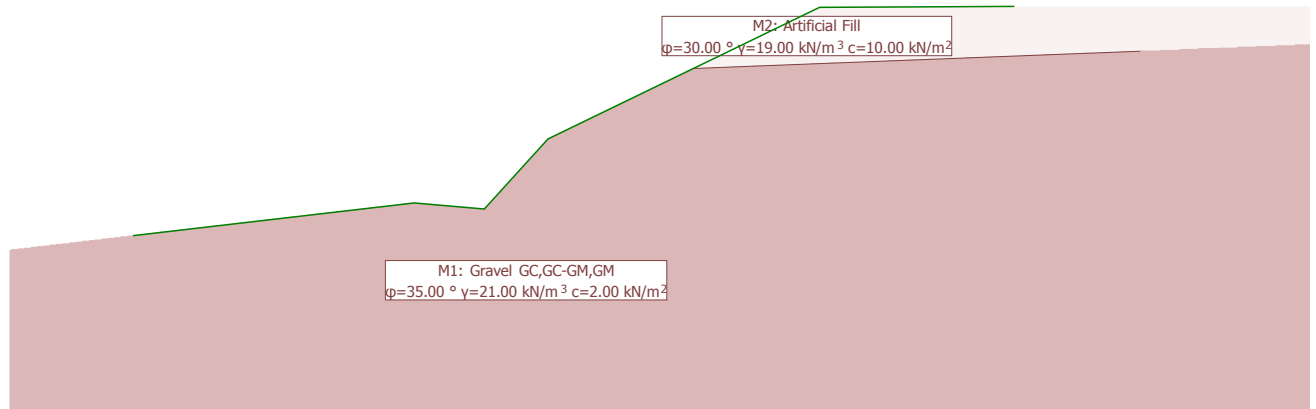
**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	2487	4.70	7.95	8.03		1.88			
		2488	4.70	7.95	8.03		1.88			
		1697	5.03	6.94	7.01		1.89			
		2678	4.36	8.20	8.29		1.89			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Geotechnical model

Scale 1 :115.7 (-1.78,-2.60..17.88,8.18)



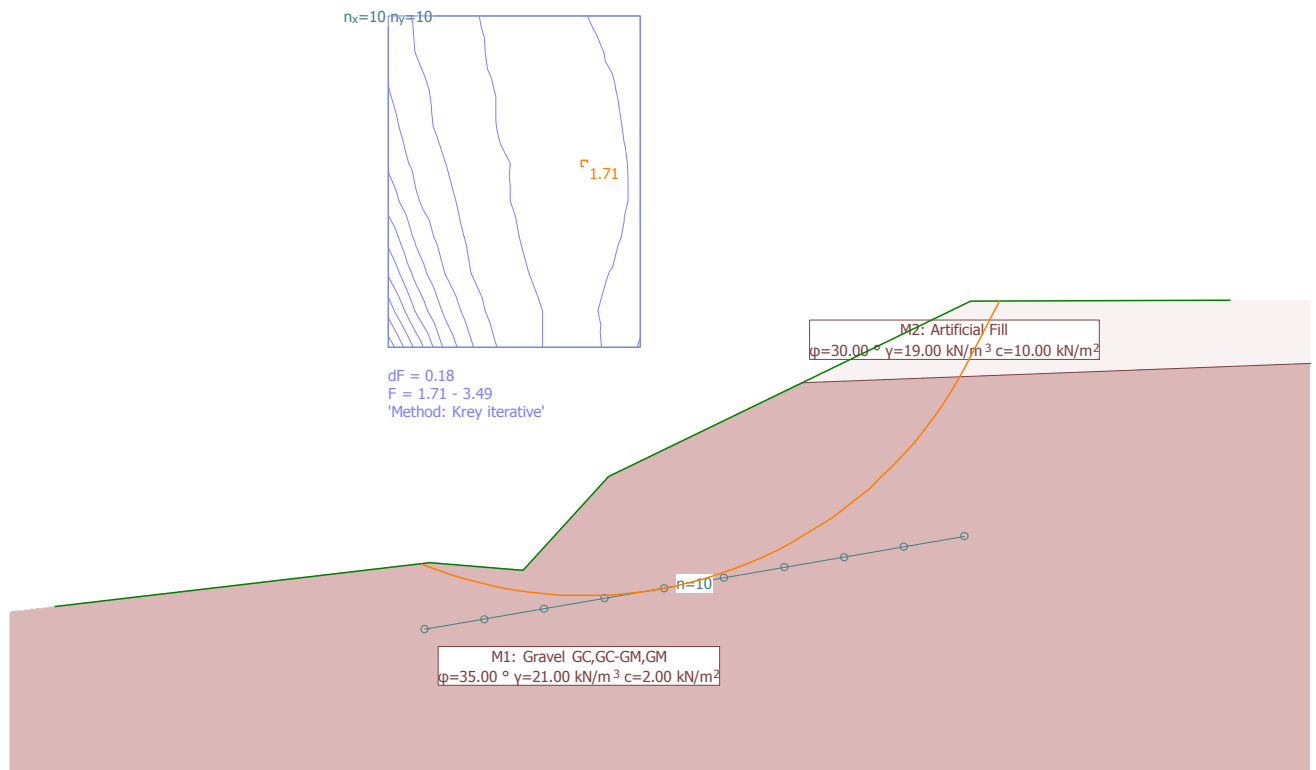
## GEOTECHNICAL MODEL

### Soil layer attributes

Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
M2	Artificial Fill	30.00	19.00	10.00
M1	Gravel GC,GC-GM,GM	35.00	21.00	2.00

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :86.7 (-0.43,-1.81..14.29,7.90)



Limit state values: Definition with centres and constraint line

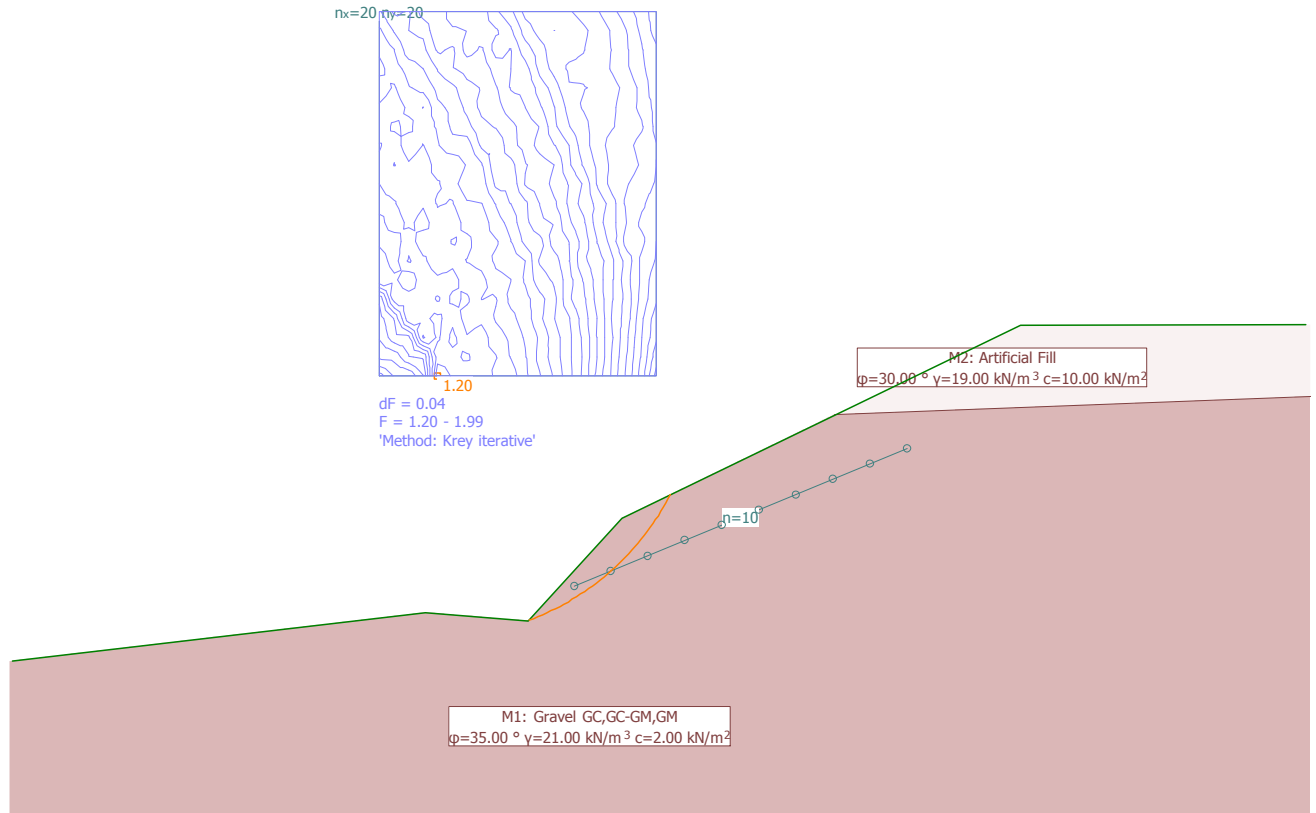
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	$F_{ex}$ [-]	$L_{req}$ [m]	$L_{min}$ [m]	Remark see footnotes
1	1	575	6.06	5.08	4.95		1.71			
		765	5.74	5.92	5.85		1.71			
		665	5.74	5.50	5.43		1.72			
		675	6.06	5.50	5.37		1.72			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- $F_{ex}$  : existing safety, required safety  $F_{req} = 1.00$
- $L_{req}$  : calculated required free anchor length between  $L_{min} - L_{max}$
- $L_{min}$  : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :78.8 (0.05,-1.54..13.43,8.13)



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

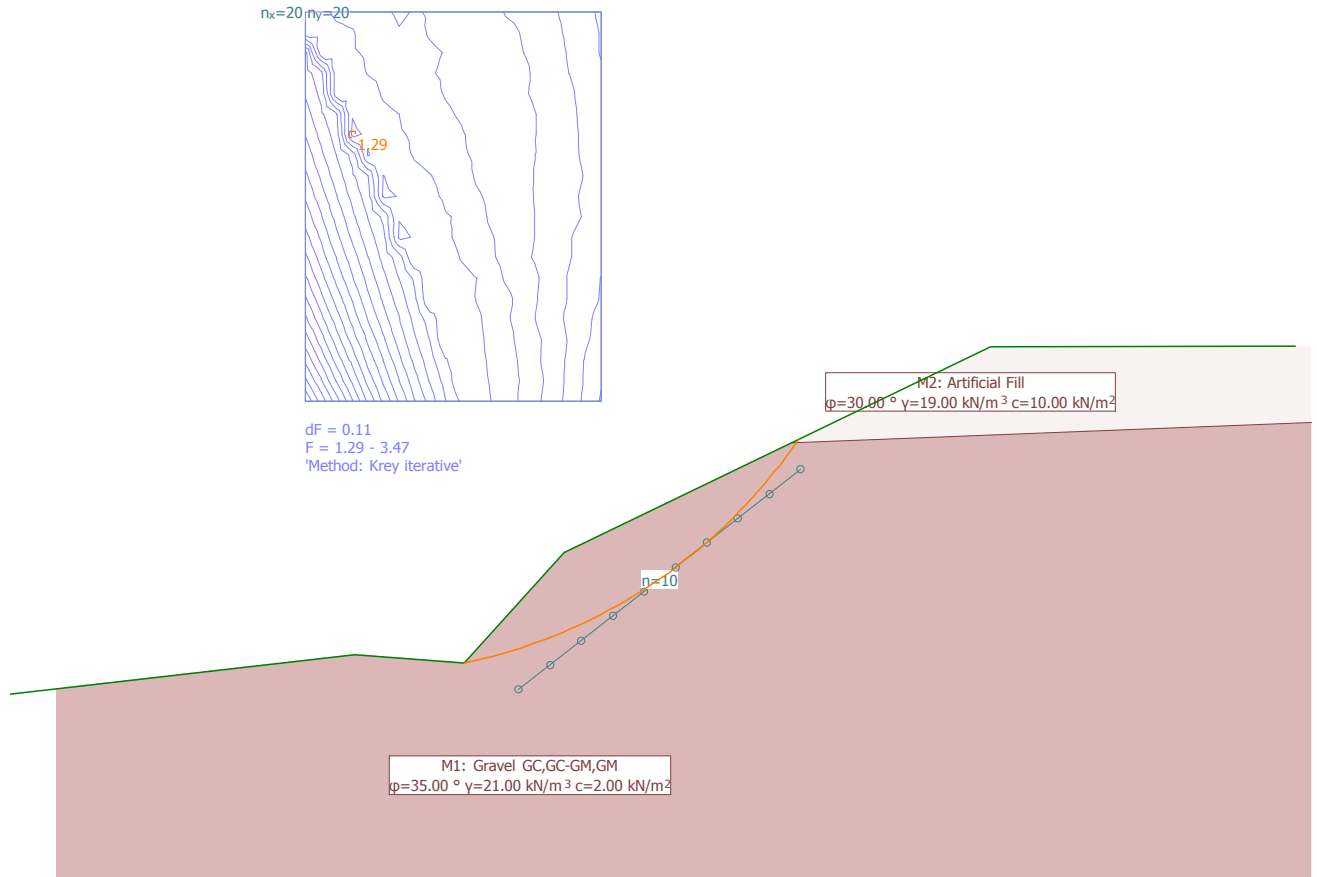
**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	42	4.43	2.97	2.72		1.20			
		453	4.58	3.37	3.05		1.21			
		263	4.73	3.17	2.80		1.22			
		843	4.43	3.77	3.45		1.22			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :73.7 (1.02,-1.62..13.54,7.24)



Limit state values: Definition with centres and constraint line

Slip circles with minimum safeties

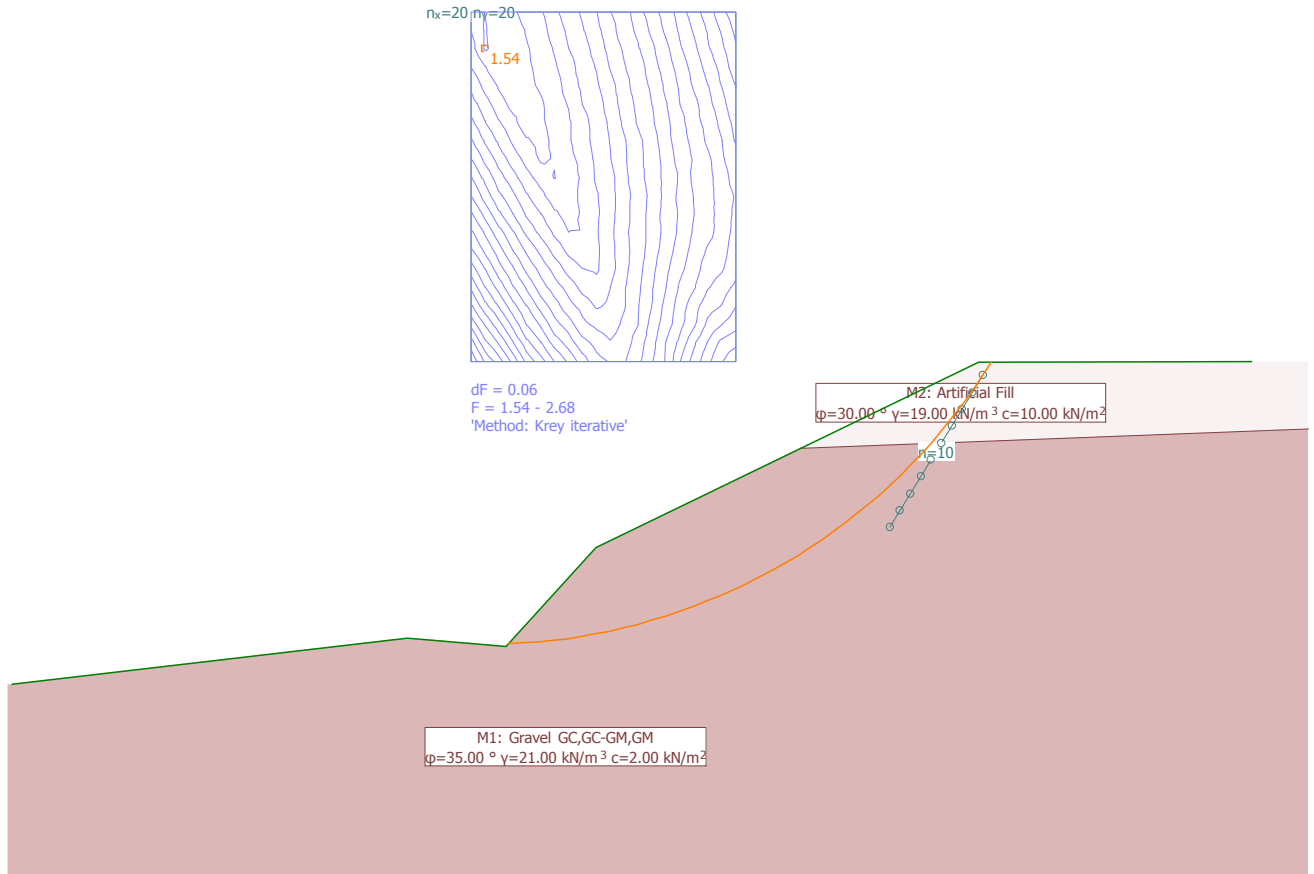
LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	$F_{ex}$ [-]	$L_{req}$ [m]	$L_{min}$ [m]	Remark see footnotes
1	1	2636	4.28	5.57	5.27		1.29			
		1666	4.73	4.57	4.20		1.29			
		2055	4.58	4.97	4.62		1.30			
		2056	4.58	4.97	4.61		1.30			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- $F_{ex}$  : existing safety, required safety  $F_{req} = 1.00$
- $L_{req}$  : calculated required free anchor length between  $L_{min} - L_{max}$
- $L_{min}$  : input minimum free anchor length



Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :82.2 (0.03,-2.01..13.99,9.48)



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

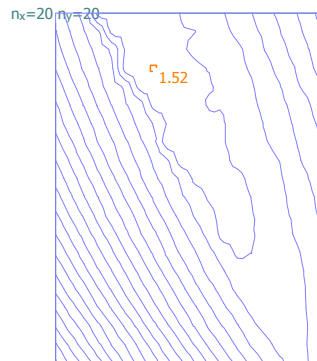
**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	3420	5.13	6.91	6.47		1.54			
		3616	5.13	7.11	6.69		1.54			
		3815	5.13	7.31	6.87		1.54			
		3807	4.98	7.31	6.90		1.54			

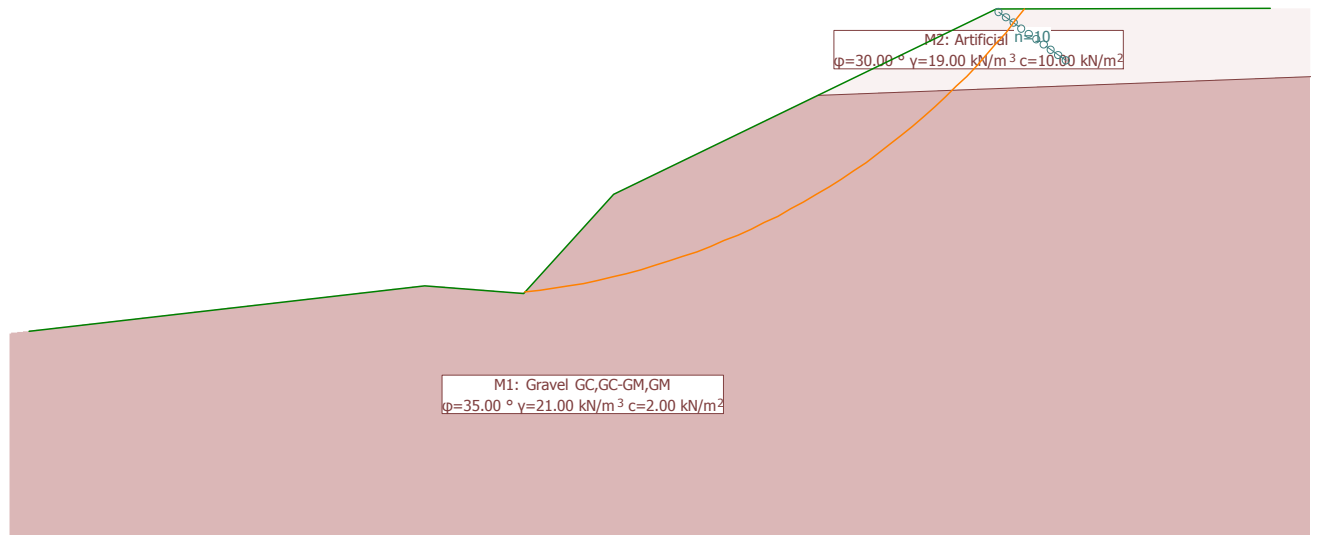
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :82.1 (-0.13,-2.18..13.81,9.98)



dF = 0.08  
 F = 1.52 - 3.11  
 \*Method: Krey iterative\*



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

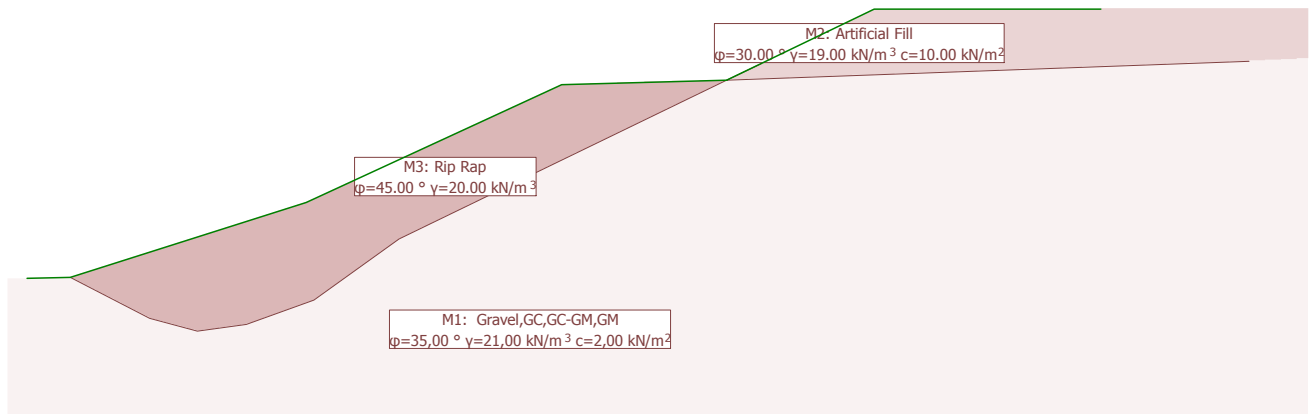
**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	3278	4.51	8.29	7.91		1.52			
		2490	4.66	7.49	7.11		1.53			
		3287	4.66	8.29	7.89		1.53			
		2499	4.82	7.49	7.08		1.53			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Geotechnical model

Scale 1 :98.8 (-0.72,-1.75..16.06,7.99)



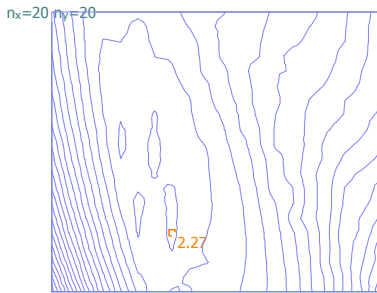
## GEOTECHNICAL MODEL

### Soil layer attributes

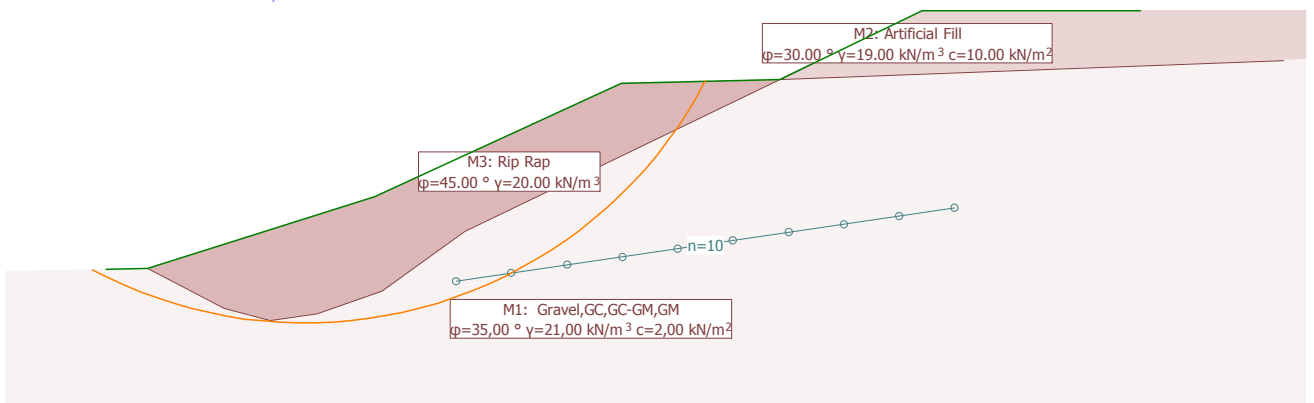
Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
M1	Gravel,GC,GC-GM,GM	35.00	21.00	2.00
M2	Artificial Fill	30.00	19.00	10.00
M3	Rip Rap	45.00	20.00	0

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :102.6 (-1.83,-1.77..15.60,9.60)



dF = 0.05  
F = 2.27 - 3.36  
'Method: Krey iterative'



Limit state values: Definition with centres and constraint line

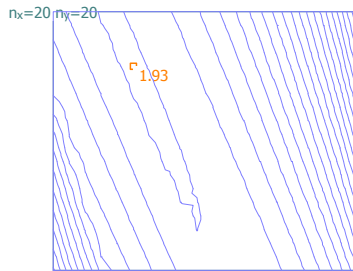
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	879	2.13	5.40	6.13		2.27			
		2069	1.90	6.60	7.32		2.28			
		1079	2.13	5.60	6.31		2.28			
		1260	1.67	5.80	6.48		2.28			

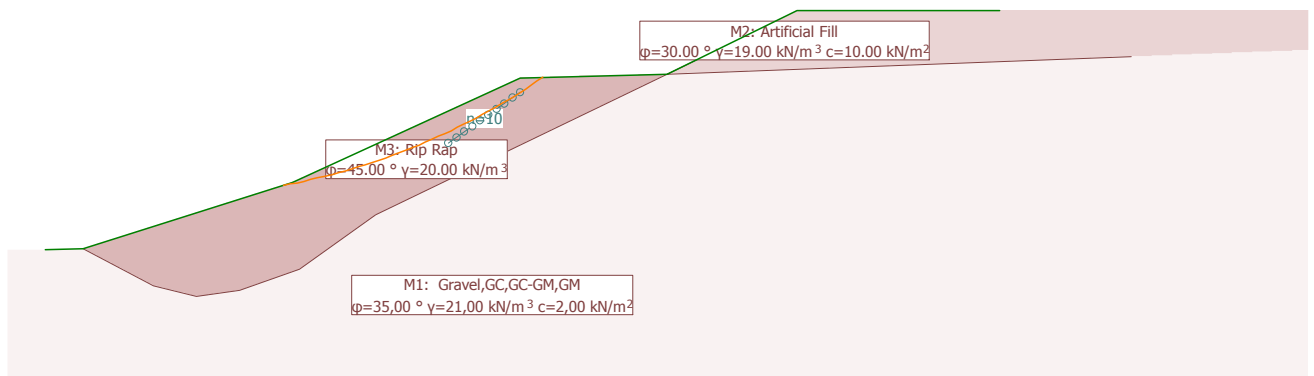
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :111.2 (-1.00,-1.81..17.88,12.90)



dF = 0.09  
F = 1.93 - 3.69  
'Method: Krey iterative'



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

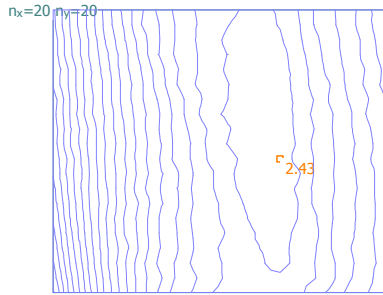
**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	3060	1.12	10.68	9.92		1.93			
		3650	0.88	11.28	10.55		1.93			
		3450	0.88	11.08	10.38		1.93			
		2470	1.35	10.08	9.29		1.93			

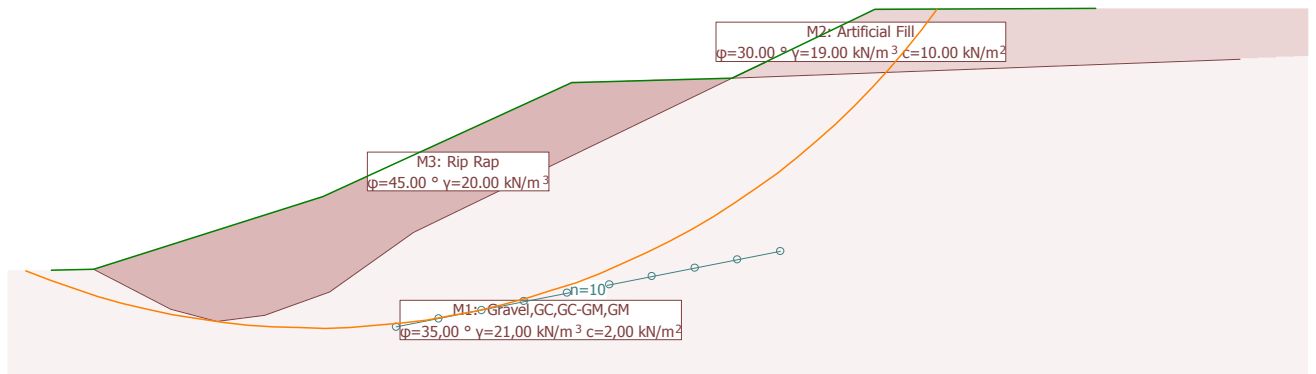
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :101.6 (-1.05,-1.34..16.20,11.73)



dF = 0.04  
 F = 2.43 - 3.29  
 'Method: Krey iterative'



Limit state values: Definition with centres and constraint line

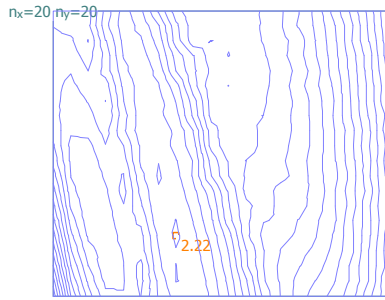
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	1933	2.99	9.48	10.27		2.43			
		1733	2.99	9.28	10.07		2.43			
		1732	2.99	9.28	10.07		2.43			
		1932	2.99	9.48	10.27		2.43			

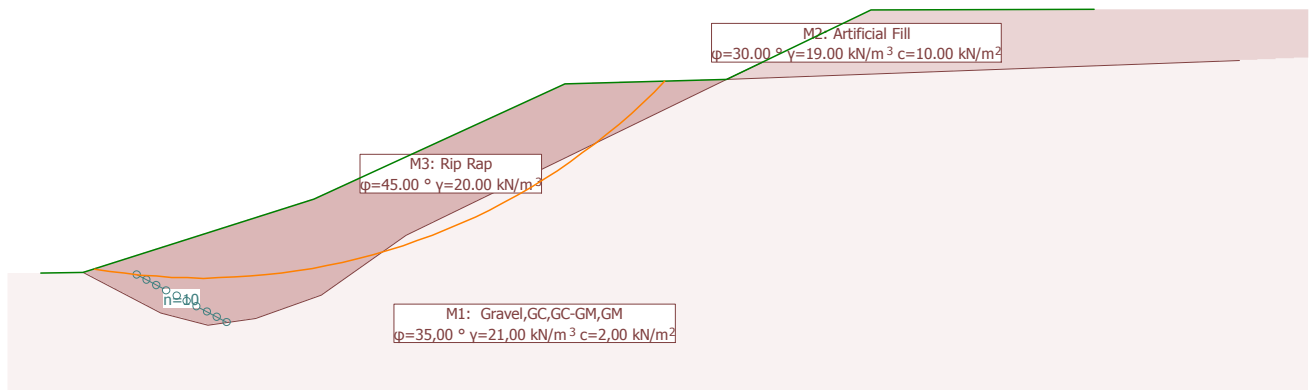
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :100.8 (-0.91,-1.52..16.21,12.00)



dF = 0.03  
F = 2.22 - 2.74  
'Method: Krey iterative'



**Limit state values: Definition with centres and constraint line**

**Slip circles with minimum safeties**

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	871	1.58	8.48	8.56		2.22			
		1661	1.35	9.28	9.33		2.22			
		272	1.58	7.88	8.02		2.22			
		1071	1.58	8.68	8.76		2.23			

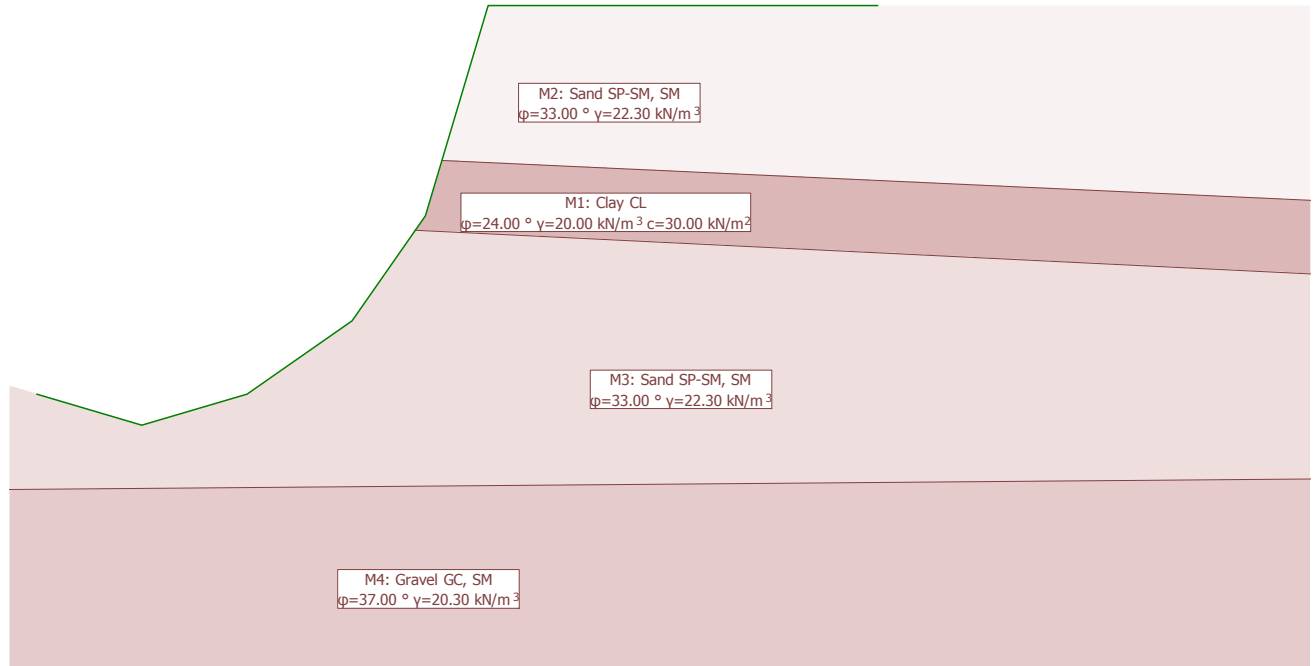
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

**ΘΕΣΗ 10: ΑΓ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ (Χ.Θ. 6+600)**



Geotechnical model

Scale 1 : 72.0 (-1.19,-2.23..11.03,6.10)



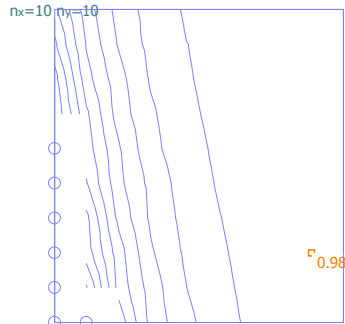
## GEOTECHNICAL MODEL

### Soil layer attributes

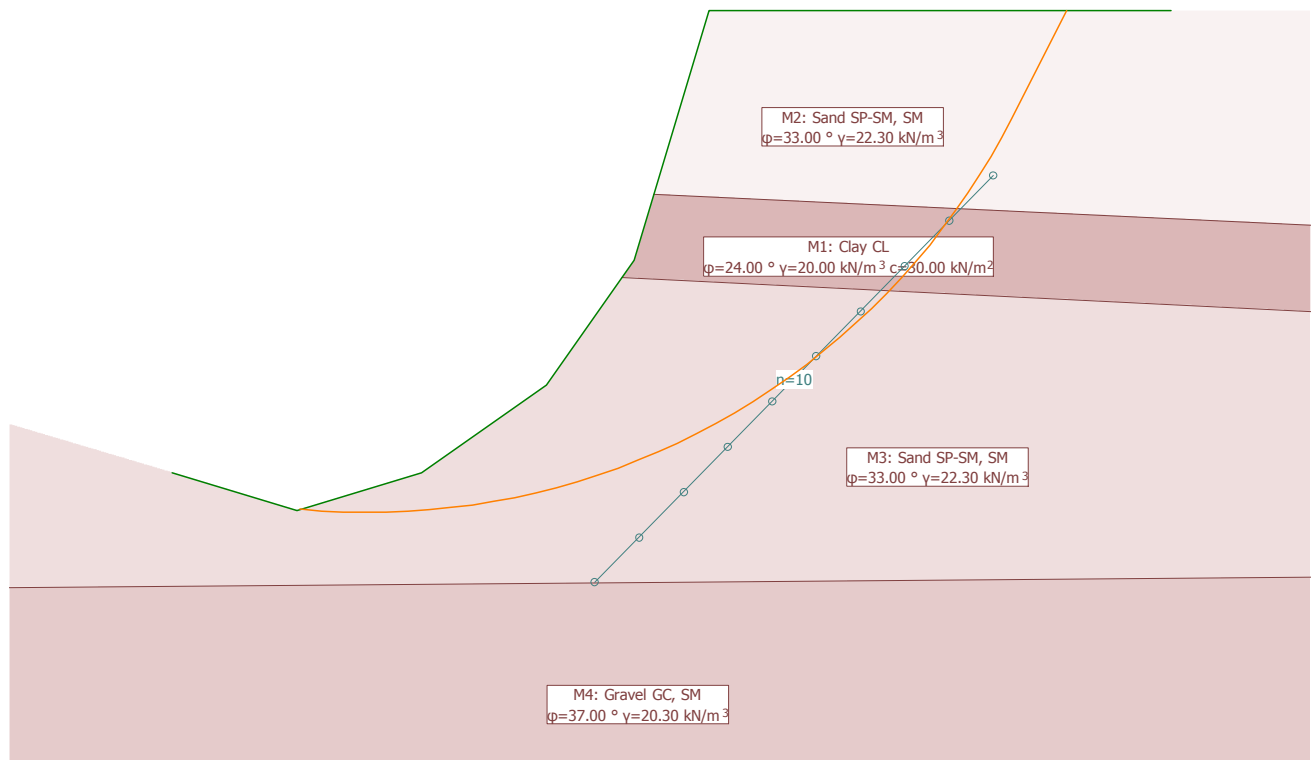
Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
M2	Sand SP-SM, SM	33.00	22.30	0	
M3	Sand SP-SM, SM	33.00	22.30	0	
M4	Gravel GC, SM	37.00	20.30	0	
M1	Clay CL	24.00	20.00	30.00	

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :60.5 (-2.24,-1.96..8.04,8.14)



dF = 0.86  
F = 0.98 - 9.58  
'Method: Krey iterative'



Limit state values: Definition with centres and constraint line

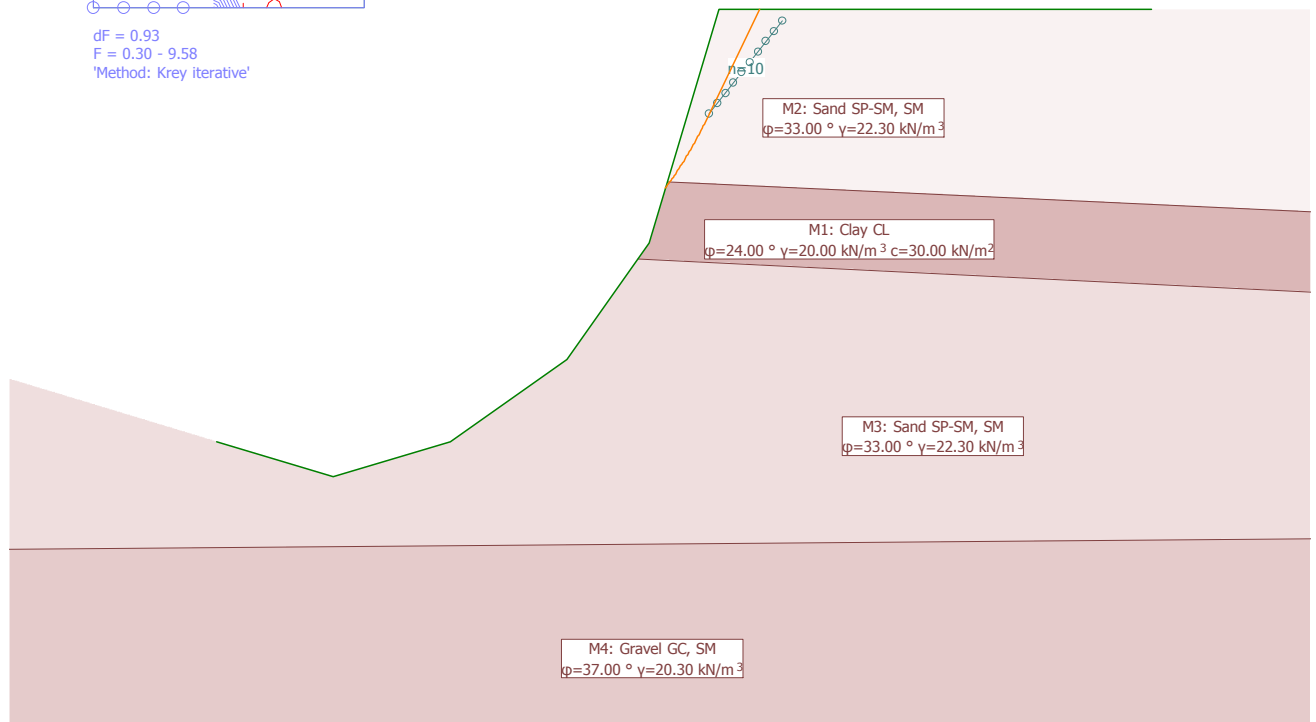
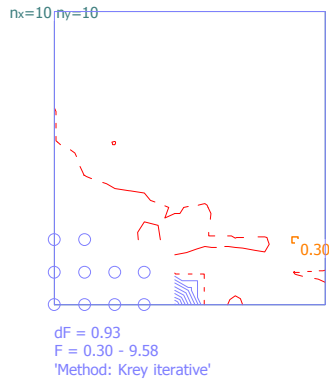
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	285	0.57	5.76	5.78		0.98			
		195	0.83	5.49	5.40		0.99			
		473	0.32	6.32	6.31		0.99			
		92	0.83	5.21	5.26		1.00			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :64.7 (-2.71,-2.06..8.28,7.03)



Limit state values: Definition with centres and constraint line

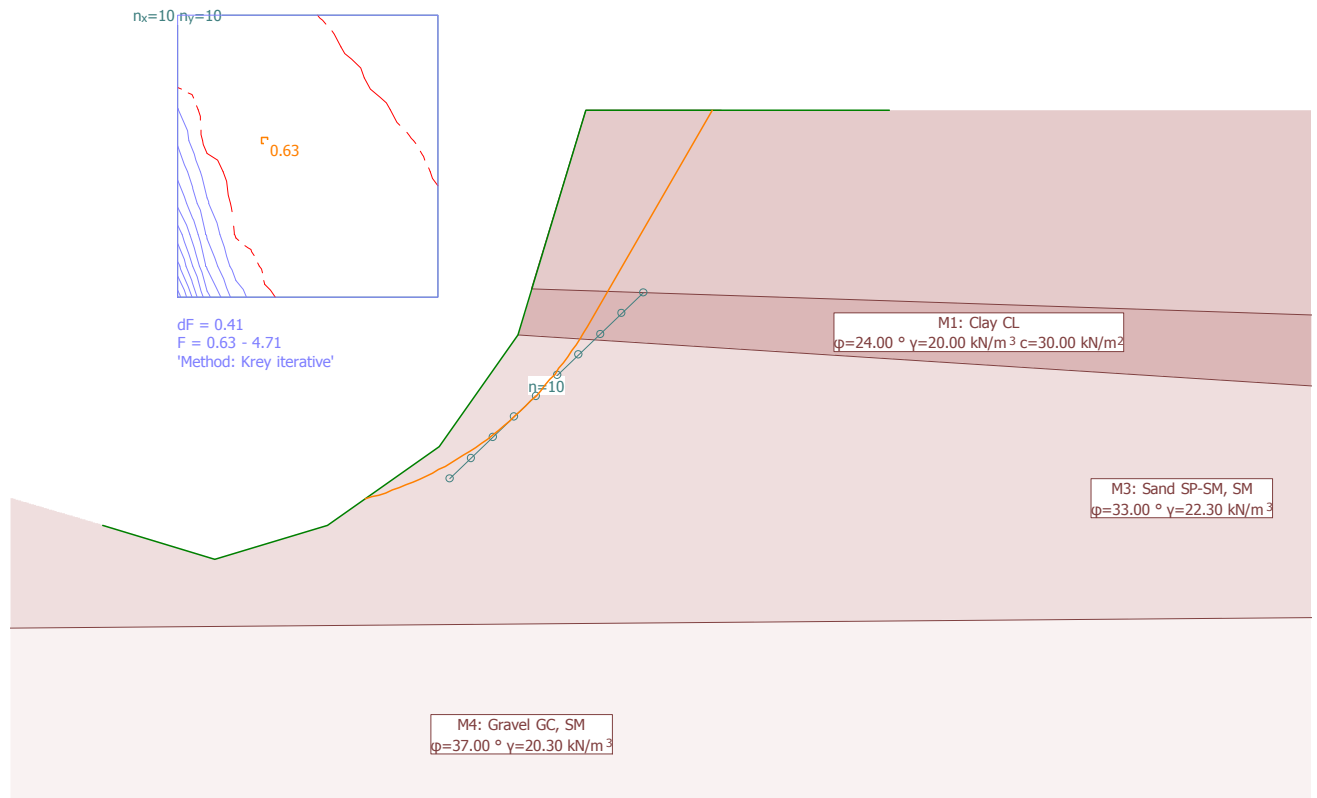
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	290	0.00	4.57	3.53		0.30			
		370	-0.51	4.85	4.11		0.30			
		450	-1.02	5.13	4.70		0.30			
		299	0.26	4.57	3.32		0.30			

- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :67.3 (-1.75,-2.10..9.68,5.17)



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

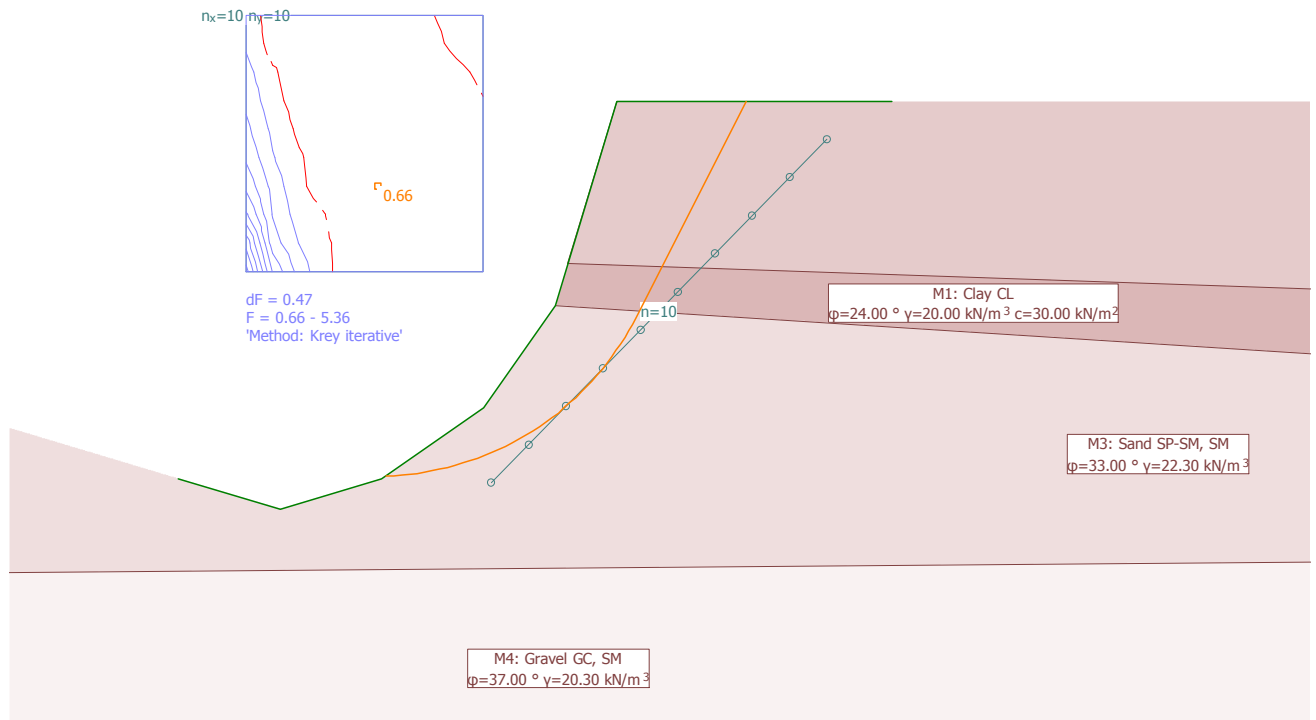
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
536	0.44	3.73	3.31		0.63			
537	0.44	3.73	3.31		0.63			
624	0.19	4.01	3.75		0.63			
629	0.19	4.01	3.74		0.63			

F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
 L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
 L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 : 74.1 (-2.58,-2.02..10.01,5.31)



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

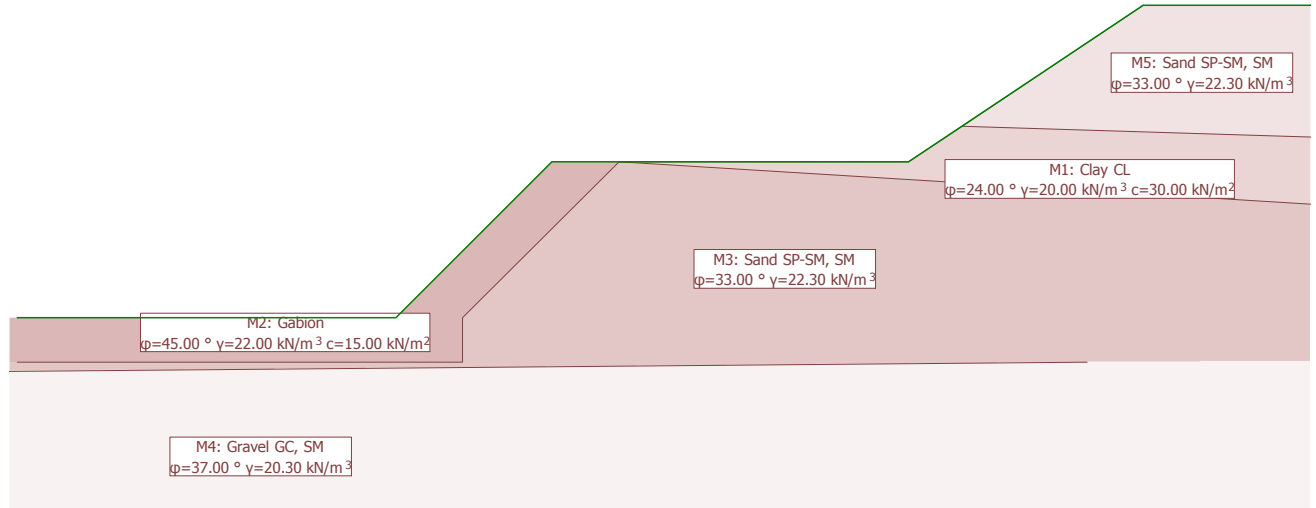
**Slip circles with minimum safeties**

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
358	0.96	3.17	2.84		0.66			
357	0.96	3.17	2.84		0.66			
647	0.70	4.01	3.60		0.66			
277	1.47	2.89	2.27		0.66			

- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Geotechnical model

Scale 1 :84.8 (0.00,-2.10..14.40,5.15)



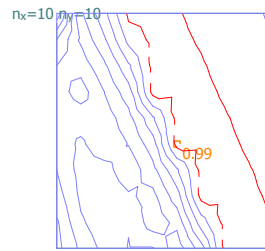
## GEOTECHNICAL MODEL

### Soil layer attributes

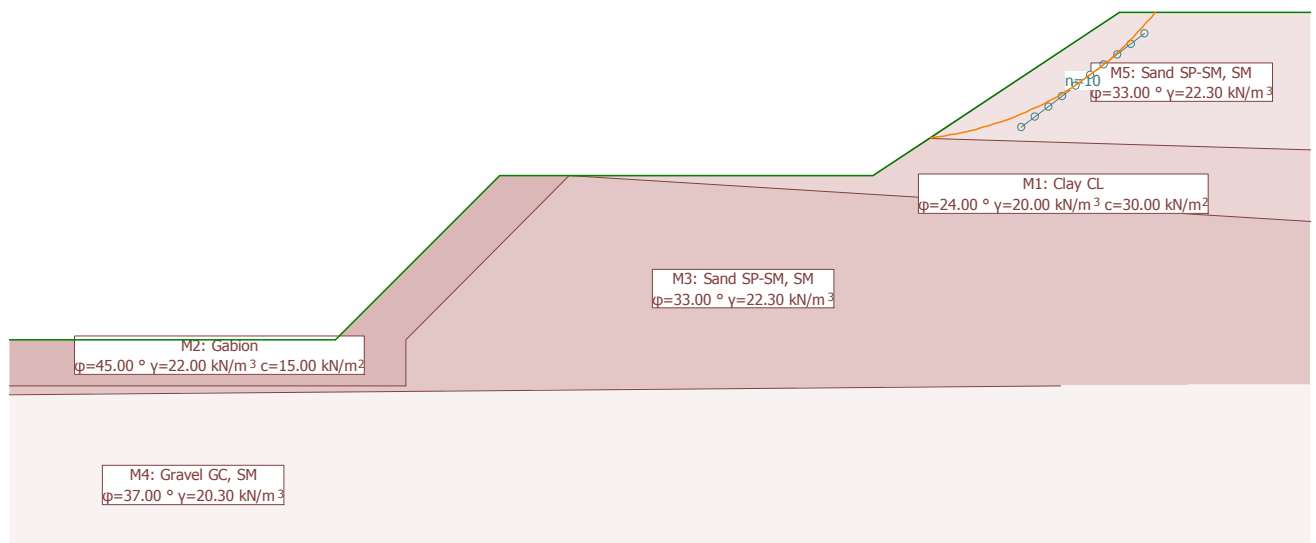
Id	Description	φ <sub>k</sub> [°]	γ <sub>k</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	C <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]
M4	Gravel GC, SM	37.00	20.30	0
M5	Sand SP-SM, SM	33.00	22.30	0
M1	Clay CL	24.00	20.00	30.00
M3	Sand SP-SM, SM	33.00	22.30	0
M2	Gabion	45.00	22.00	15.00

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :80.9 (0.84,-2.16..14.58,7.46)



dF = 0.37  
F = 0.99 - 4.73  
'Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

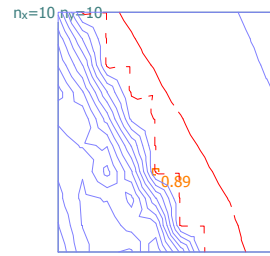
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	$F_{ex}$ [-]	$L_{req}$ [m]	$L_{min}$ [m]	Remark see footnotes
456	10.20	5.71	3.58		0.99			
457	10.20	5.71	3.58		1.00			
647	9.94	6.27	4.18		1.00			
266	10.46	5.16	2.98		1.00			

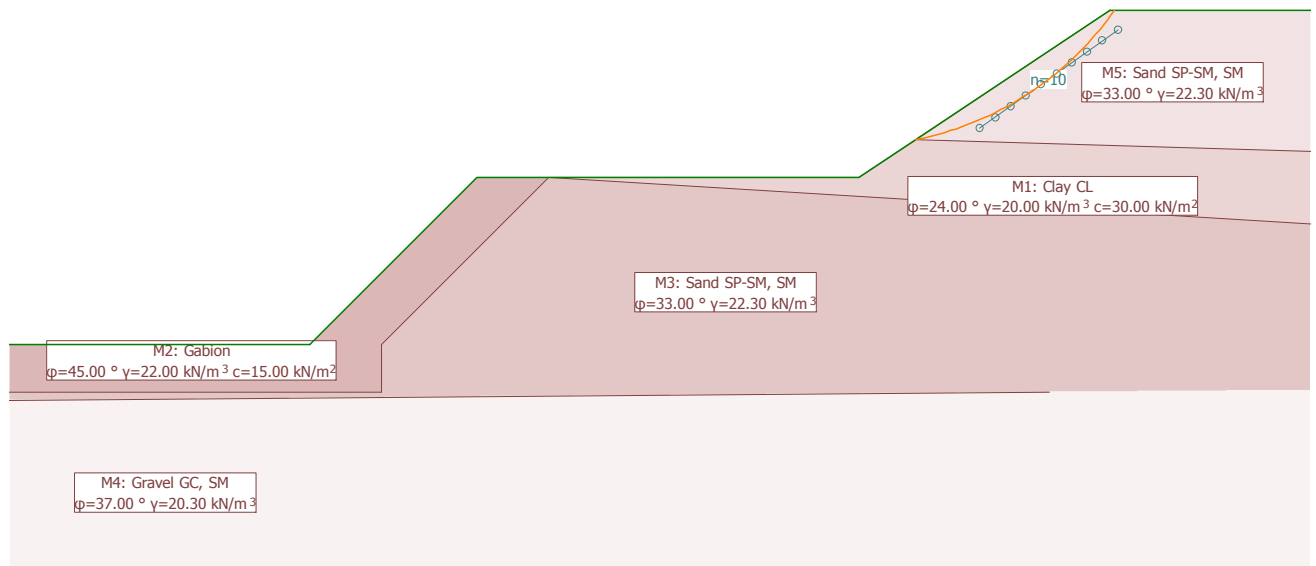
$F_{ex}$  : existing safety, required safety  $F_{req} = 1.00$   
 $L_{req}$  : calculated required free anchor length between  $L_{min} - L_{max}$   
 $L_{min}$  : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :79.3 (1.18,-2.27..14.64,7.39)



dF = 0.31  
F = 0.89 - 4.03  
'Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

Slip circles with minimum safeties

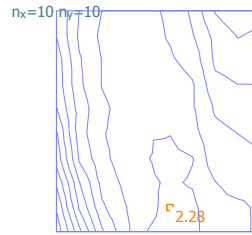
Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
345	9.94	5.43	3.35		0.89			
726	9.43	6.55	4.56		0.89			
446	9.94	5.71	3.58		0.90			
445	9.94	5.71	3.58		0.90			

- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

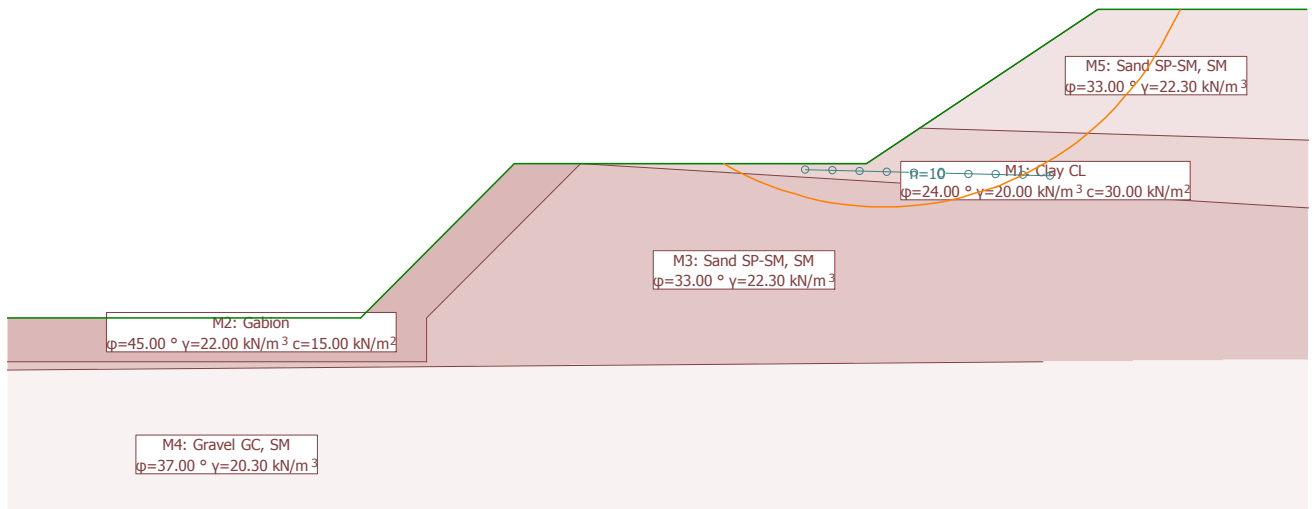


!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :85.9 (0.33,-2.12..14.92,7.53)



dF = 0.15  
F = 2.28 - 3.83  
'Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

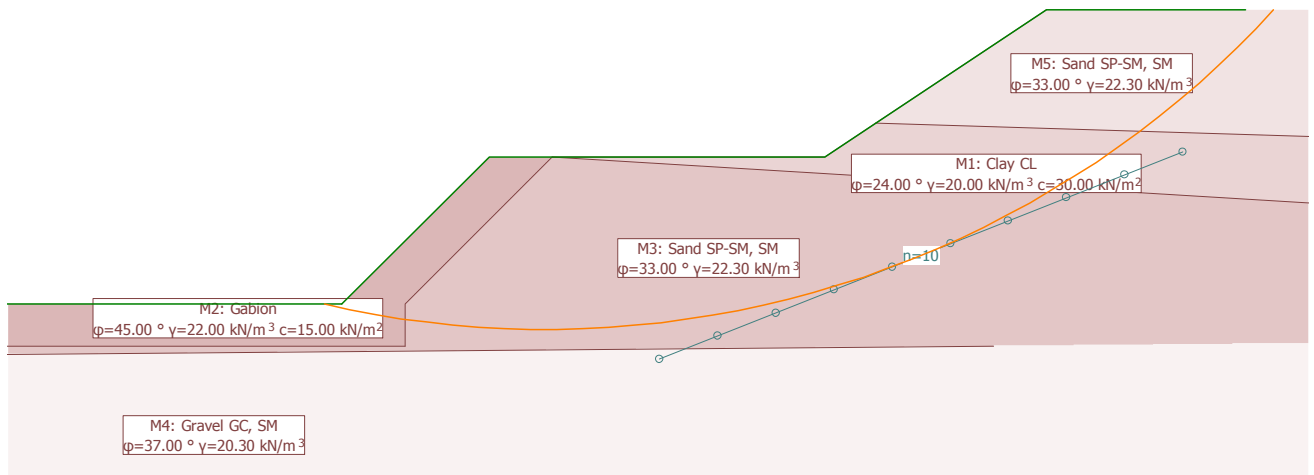
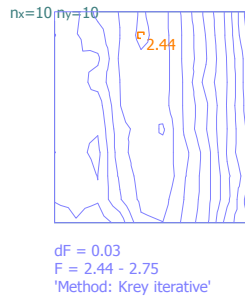
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
152	10.20	4.88	3.62		2.28			
351	10.20	5.43	4.26		2.28			
52	10.20	4.60	3.37		2.28			
61	10.46	4.60	3.40		2.29			

F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :90.0 (0.36,-2.01..15.64,11.81)



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

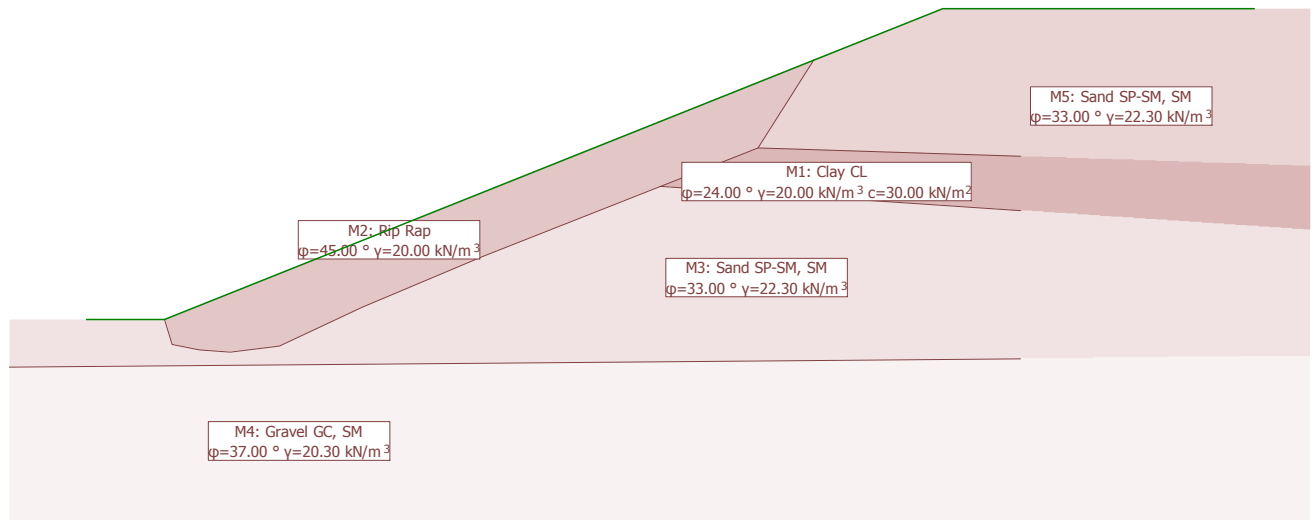
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	$F_{ex}$ [-]	$L_{req}$ [m]	$L_{min}$ [m]	Remark see footnotes
846	6.68	11.46	11.76		2.44			
456	6.93	10.34	10.63		2.45			
945	6.68	11.74	12.02		2.45			
946	6.68	11.74	12.02		2.45			

$F_{ex}$  : existing safety, required safety  $F_{req} = 1.00$   
 $L_{req}$  : calculated required free anchor length between  $L_{min} - L_{max}$   
 $L_{min}$  : input minimum free anchor length

Geotechnical model

Scale 1 : 97.2 (-0.89,-2.50..15.61,7.62)



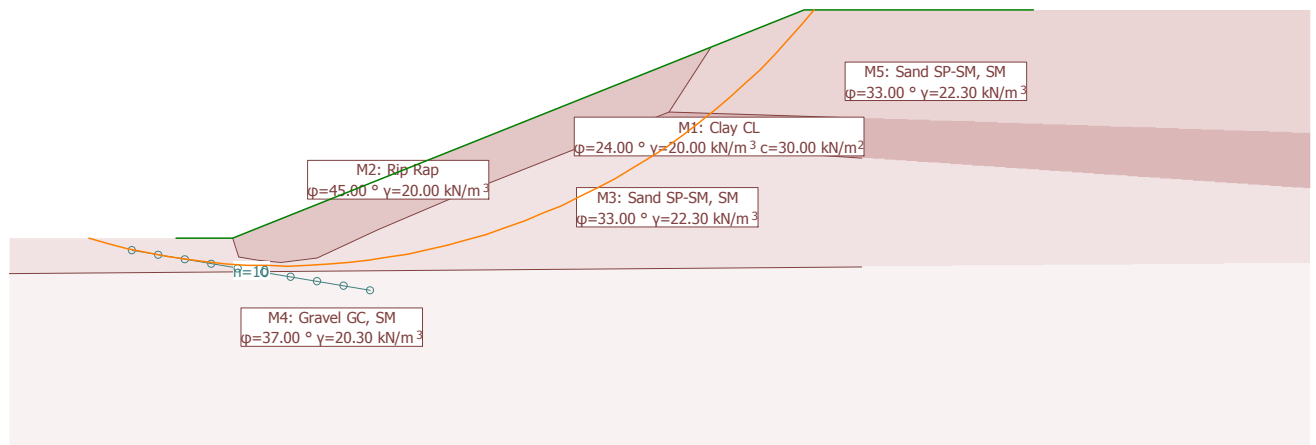
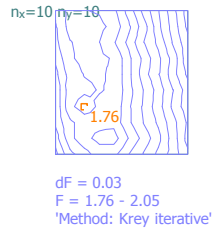
## GEOTECHNICAL MODEL

### Soil layer attributes

Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
M4	Gravel GC, SM	37.00	20.30	0	
M3	Sand SP-SM, SM	33.00	22.30	0	
M5	Sand SP-SM, SM	33.00	22.30	0	
M2	Rip Rap	45.00	20.00	0	
M1	Clay CL	24.00	20.00	30.00	

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :132.3 (-2.77,-3.55..19.69,13.48)



Limit state values: Definition with centres and constraint line

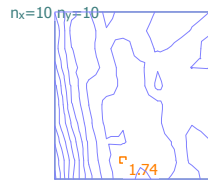
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	329	1.84	11.48	11.96		1.76			
		829	1.84	12.87	13.33		1.76			
		147	2.35	10.92	11.49		1.76			
		830	1.84	12.87	13.34		1.76			

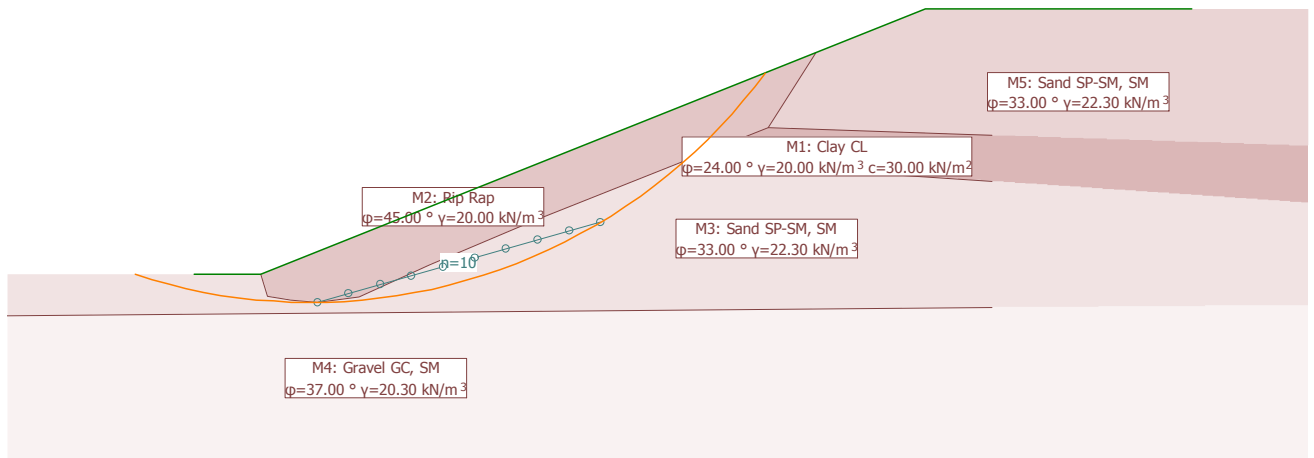
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Limit state values: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :113.8 (-2.70,-2.67..16.62,10.47)



$n_x=10, n_y=10$   
 $dF = 0.04$   
 $F = 1.74 - 2.17$   
 Method: Krey iterative'



Limit state values: Definition with centres and constraint line

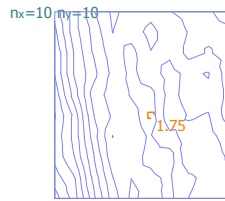
Slip circles with minimum safeties

LSS	AC	Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
1	1	141	1.74	8.10	8.52		1.74			
		41	1.74	7.82	8.24		1.74			
		745	1.74	9.78	9.86		1.74			
		748	1.74	9.78	9.86		1.74			

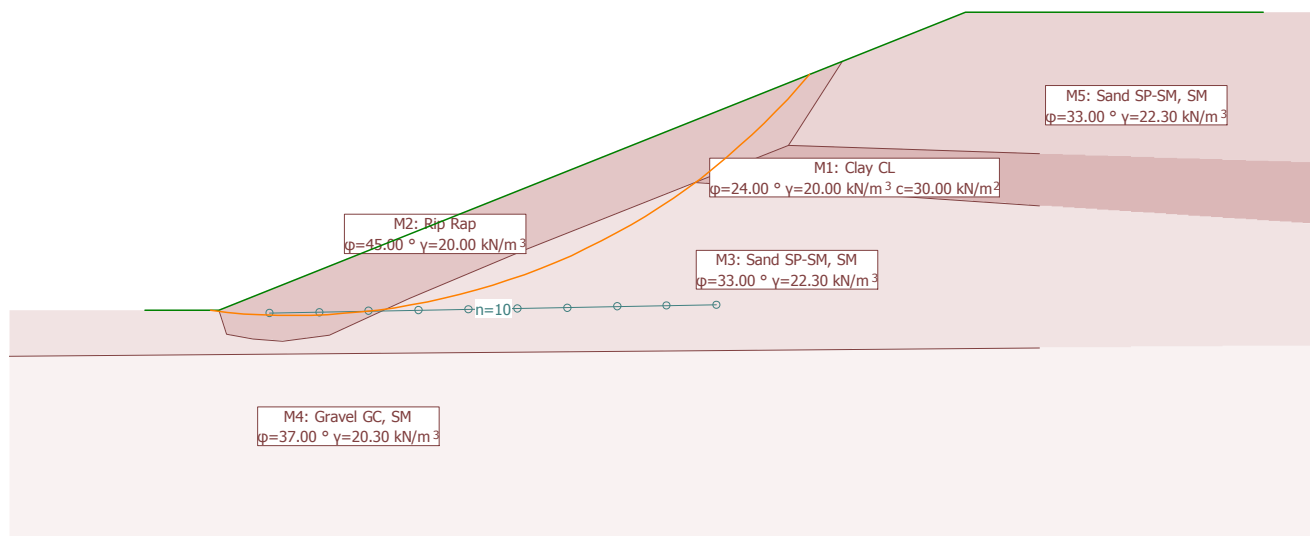
- LSS : Limit state specification
- AC : Action combinations
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :101.4 (-1.71,-2.98..15.50,10.62)



dF = 0.04  
F = 1.75 - 2.17  
'Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

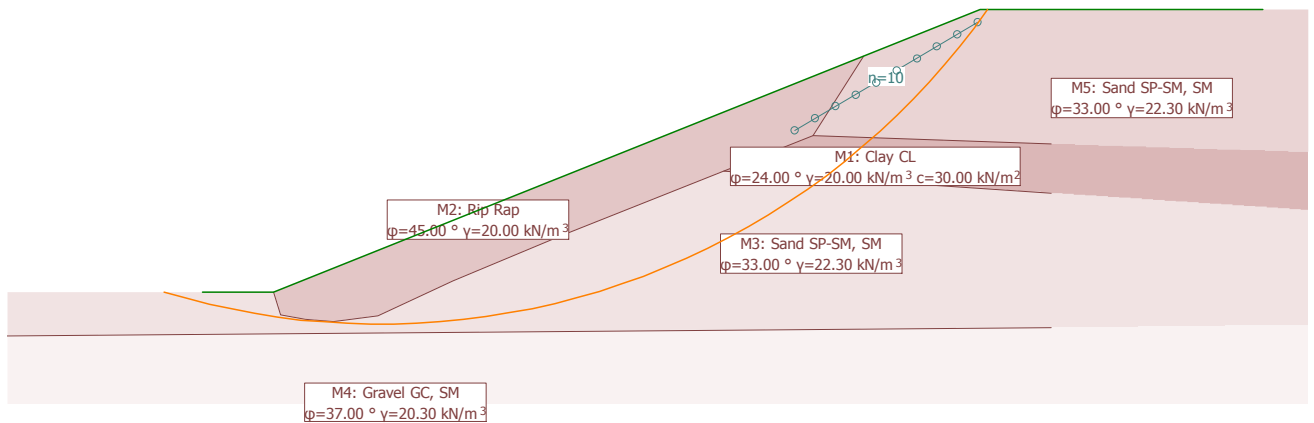
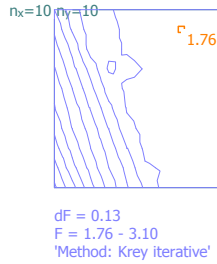
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
453	2.00	8.94	9.01		1.75			
262	2.26	8.38	8.41		1.75			
498	3.03	8.94	9.49		1.75			
698	3.03	9.50	10.01		1.75			

F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :107.0 (-2.66,-2.21..15.52,10.90)



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
871	2.51	10.06	10.51		1.76			
772	2.51	9.78	10.21		1.76			
962	2.26	10.33	10.76		1.77			
681	2.77	9.50	9.98		1.77			

- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

**ΘΕΣΗ 12: ΚΕΡΑΜΟΠΟΙΕΙΟ - ΑΡΙΩΝΟΣ**

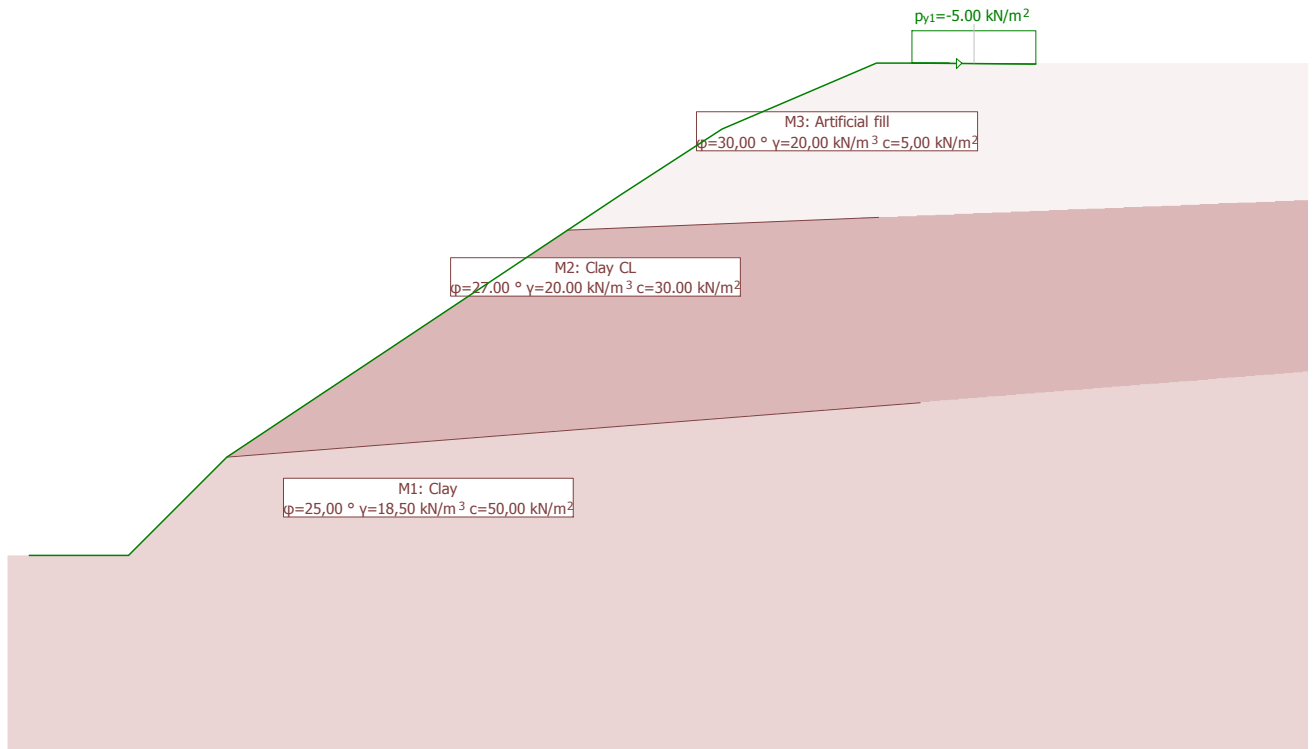
**(Χ.Θ. 4+230)**

**ΔΕΞΙ ΠΡΑΝΕΣ**



Geotechnical Model

Scale 1 :115.2 (-0.22,-2.89..19.34,12.63)



## GEOTECHNICAL MODEL

### Soil layer attributes

Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
M3	Artificial fill	30.00	20.00	5.00
M1	Clay	25.00	18.50	50.00
M2	Clay CL	27.00	20.00	30.00

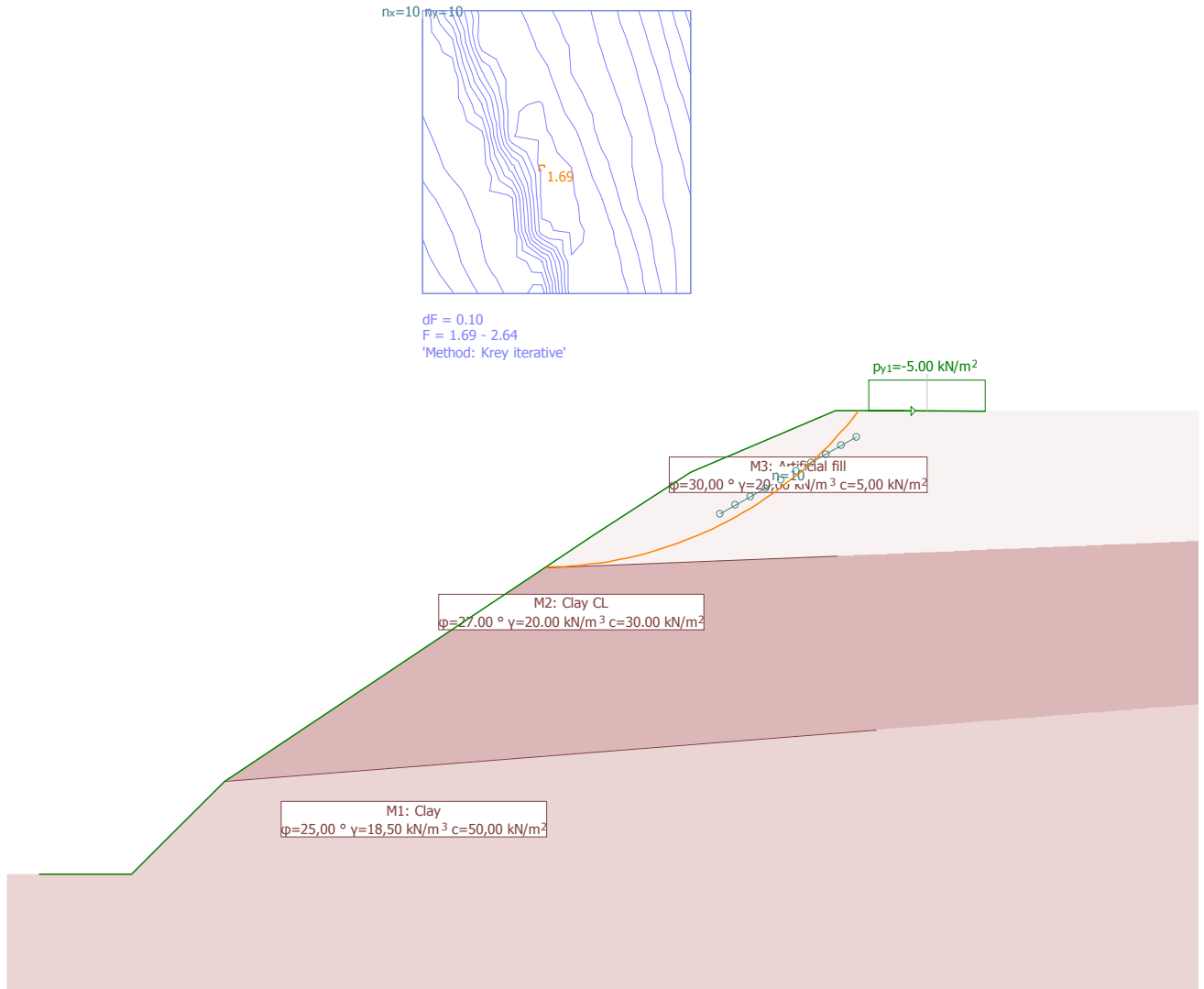
## LOAD CASE LC: Χώρος στάθμευσης οχημάτων δήμου (Dead load)

### Distributed loads

Coordinates				Load values			
$x_1$ [m]	$y_1$ [m]	$x_2$ [m]	$y_2$ [m]	$p_{1x}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{1y}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{2x}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{2y}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
13.44	7.50	15.32	7.50	0	-5.00	0	-5.00

Loading LC: Χώρος στάθμευσης οχημάτων δήμου  
!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :112.2 (-0.41,-1.82..18.65,14.46)



**!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line**

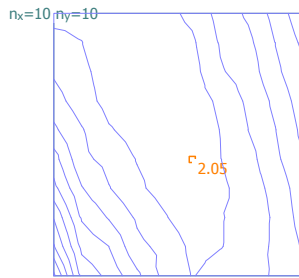
**Slip circles with minimum safeties**

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	$F_{ex}$ [-]	$L_{req}$ [m]	$L_{min}$ [m]	Remark see footnotes
447	8.14	11.43	6.47		1.69			
549	8.14	11.94	6.97		1.69			
345	8.14	10.93	5.97		1.69			
257	8.62	10.42	5.40		1.70			

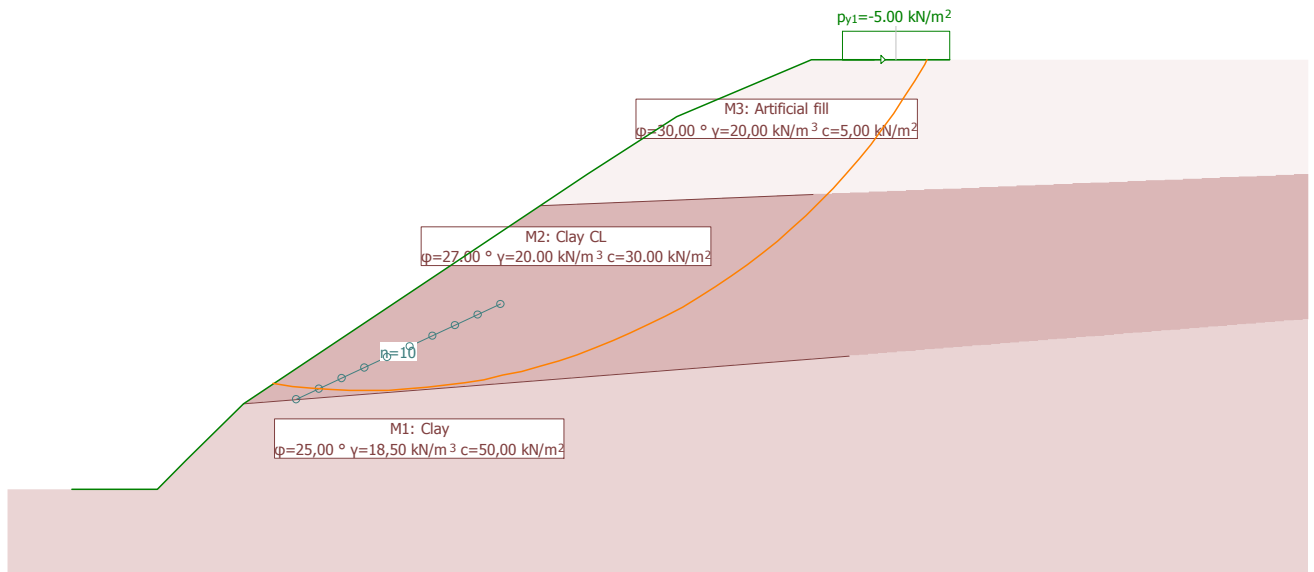
$F_{ex}$  : existing safety, required safety  $F_{req} = 1.00$   
 $L_{req}$  : calculated required free anchor length between  $L_{min} - L_{max}$   
 $L_{min}$  : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :131.9 (-0.99,-1.36..21.41,15.77)



dF = 0.06  
F = 2.05 - 2.69  
Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

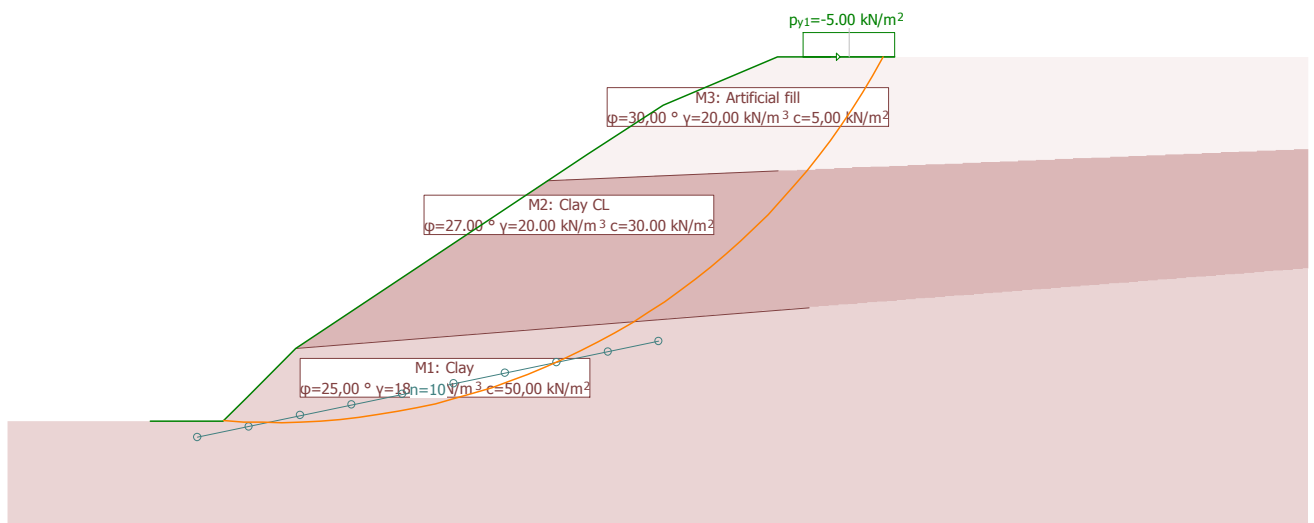
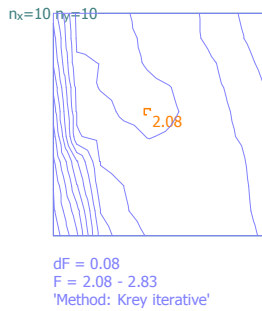
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	$F_{ex}$ [-]	$L_{req}$ [m]	$L_{min}$ [m]	Remark see footnotes
452	5.12	12.93	11.20		2.05			
922	3.67	15.47	13.73		2.05			
932	4.16	15.47	13.71		2.06			
832	4.16	14.96	13.20		2.06			

$F_{ex}$  : existing safety, required safety  $F_{req} = 1.00$   
 $L_{req}$  : calculated required free anchor length between  $L_{min} - L_{max}$   
 $L_{min}$  : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :155.6 (-2.78,-2.04..23.65,17.01)



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

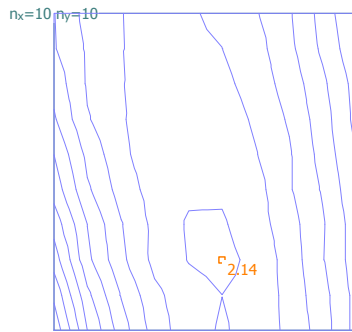
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	$F_{ex}$ [-]	$L_{req}$ [m]	$L_{min}$ [m]	Remark see footnotes
548	2.58	14.12	14.15		2.08			
913	1.13	16.15	16.16		2.08			
637	2.09	14.63	14.60		2.08			
923	1.61	16.15	16.10		2.09			

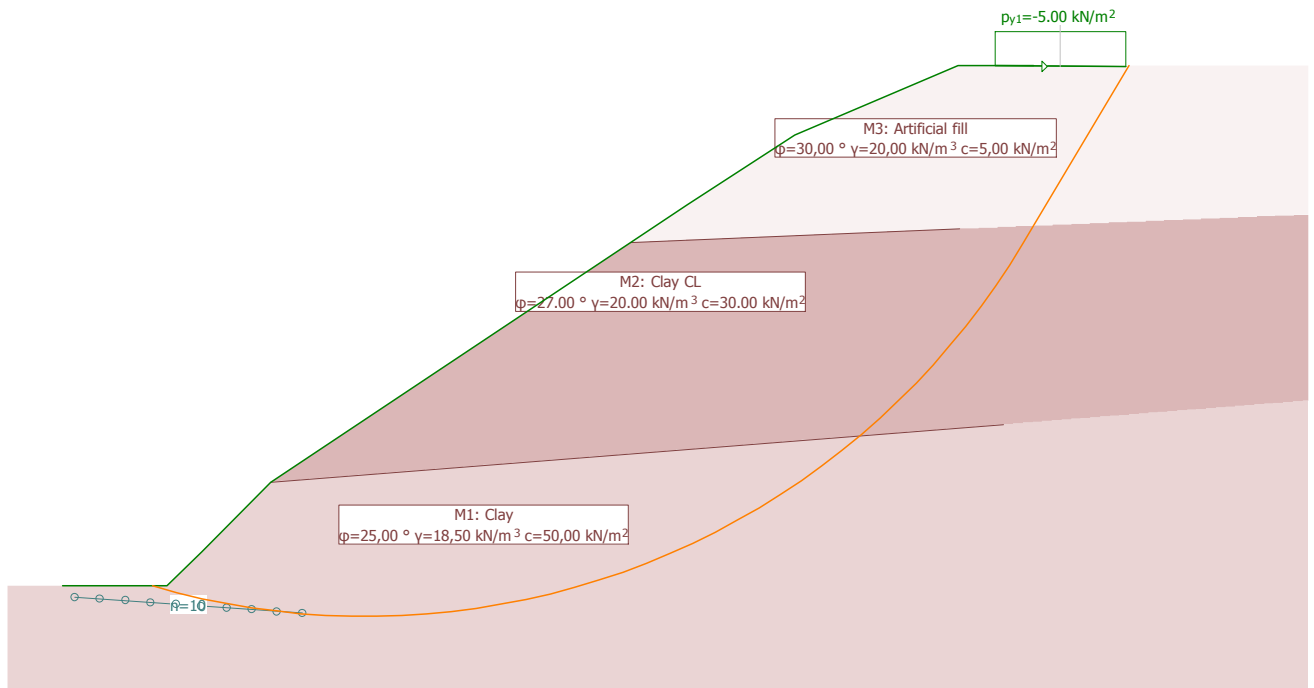
- $F_{ex}$  : existing safety, required safety  $F_{req} = 1.00$
- $L_{req}$  : calculated required free anchor length between  $L_{min} - L_{max}$
- $L_{min}$  : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :109.0 (-0.69,-1.47..17.82,14.40)



dF = 0.05  
F = 2.14 - 2.60  
'Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

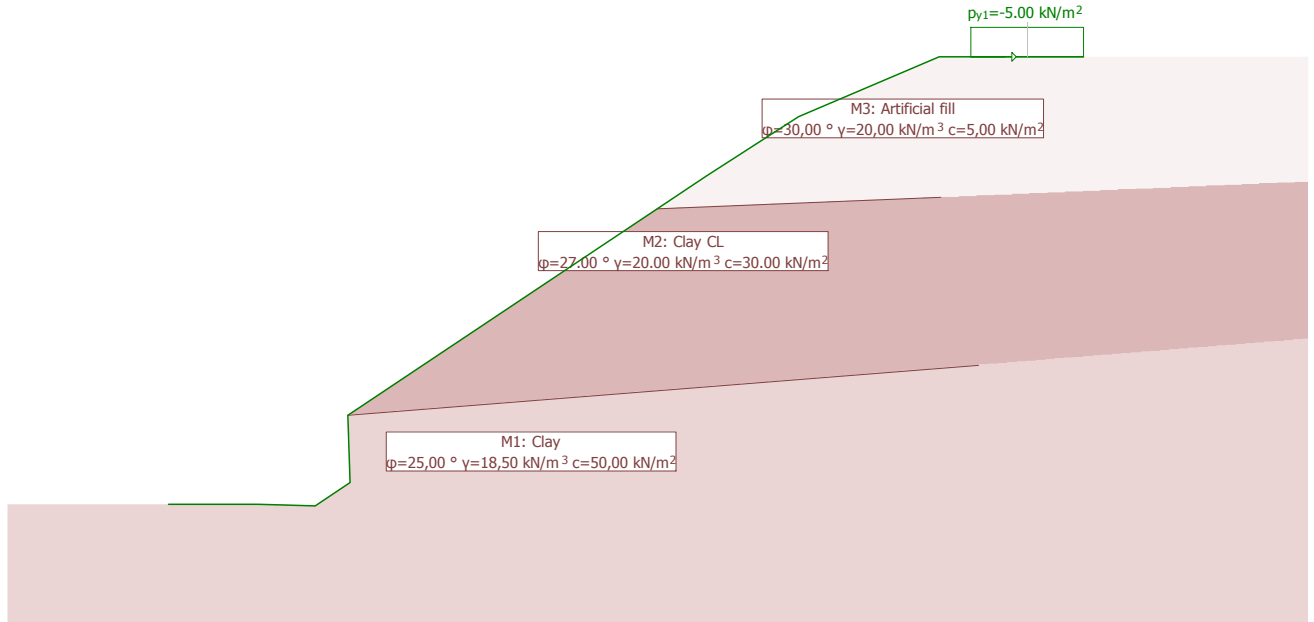
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
259	4.37	10.60	11.04		2.14			
260	4.37	10.60	11.03		2.14			
359	4.37	11.11	11.54		2.15			
360	4.37	11.11	11.53		2.15			

F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Geotechnical Model

Scale 1 :126.6 (-2.57,-1.89..18.94,10.15)

**GEOTECHNICAL MODEL****Soil layer attributes**

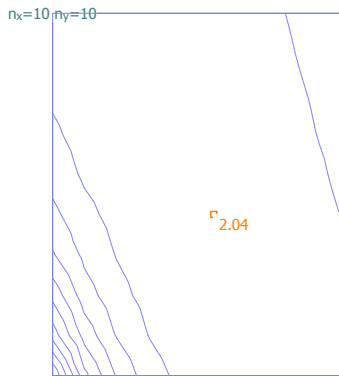
Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
M3	Artificial fill	30.00	20.00	5.00
M1	Clay	25.00	18.50	50.00
M2	Clay CL	27.00	20.00	30.00

**LOAD CASE LC: Χώρος στάθμευσης οχημάτων δήμου (Dead load)****Distributed loads**

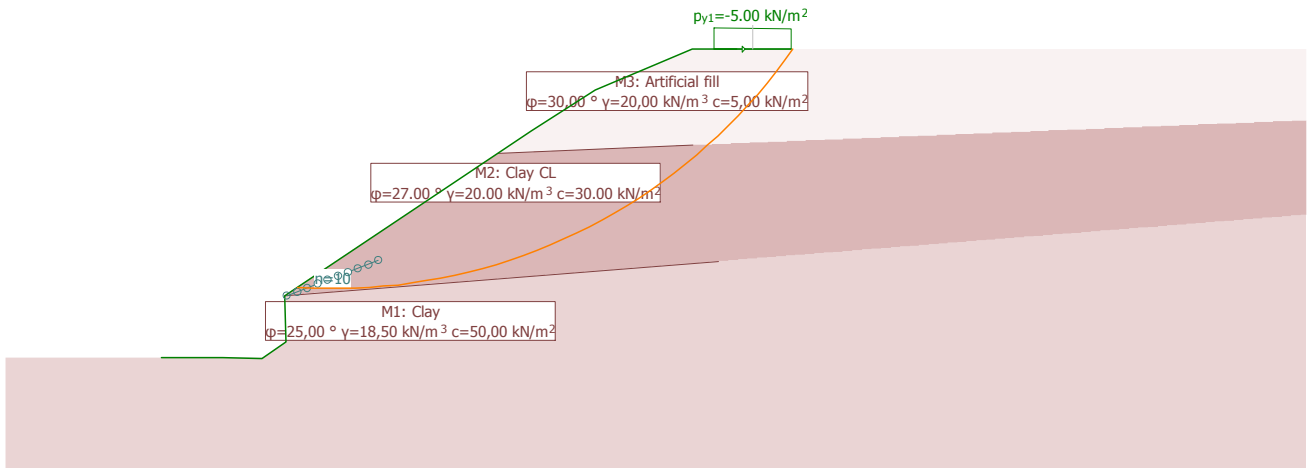
Coordinates				Load values			
$x_1$ [m]	$y_1$ [m]	$x_2$ [m]	$y_2$ [m]	$p_{1x}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{1y}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{2x}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$p_{2y}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
13.44	7.50	15.32	7.50	0	-5.00	0	-5.00

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :183.7 (-3.59,-2.53..27.61,20.80)



dF = 0.40  
F = 2.04 - 6.08  
\*Method: Krey iterative\*



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
453	4.20	15.28	13.60		2.04			
442	3.42	15.28	13.68		2.05			
542	3.42	16.26	14.66		2.05			
543	3.42	16.26	14.57		2.05			

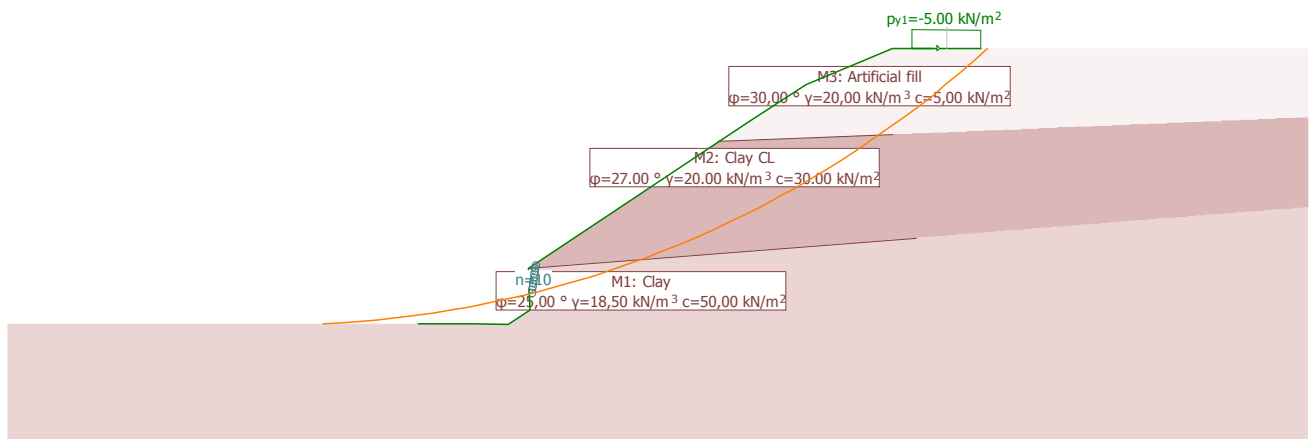
F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :205.8 (-10.97,-3.00..23.99,33.26)



dF = 0.11  
F = 2.10 - 3.19  
Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

Slip circles with minimum safeties

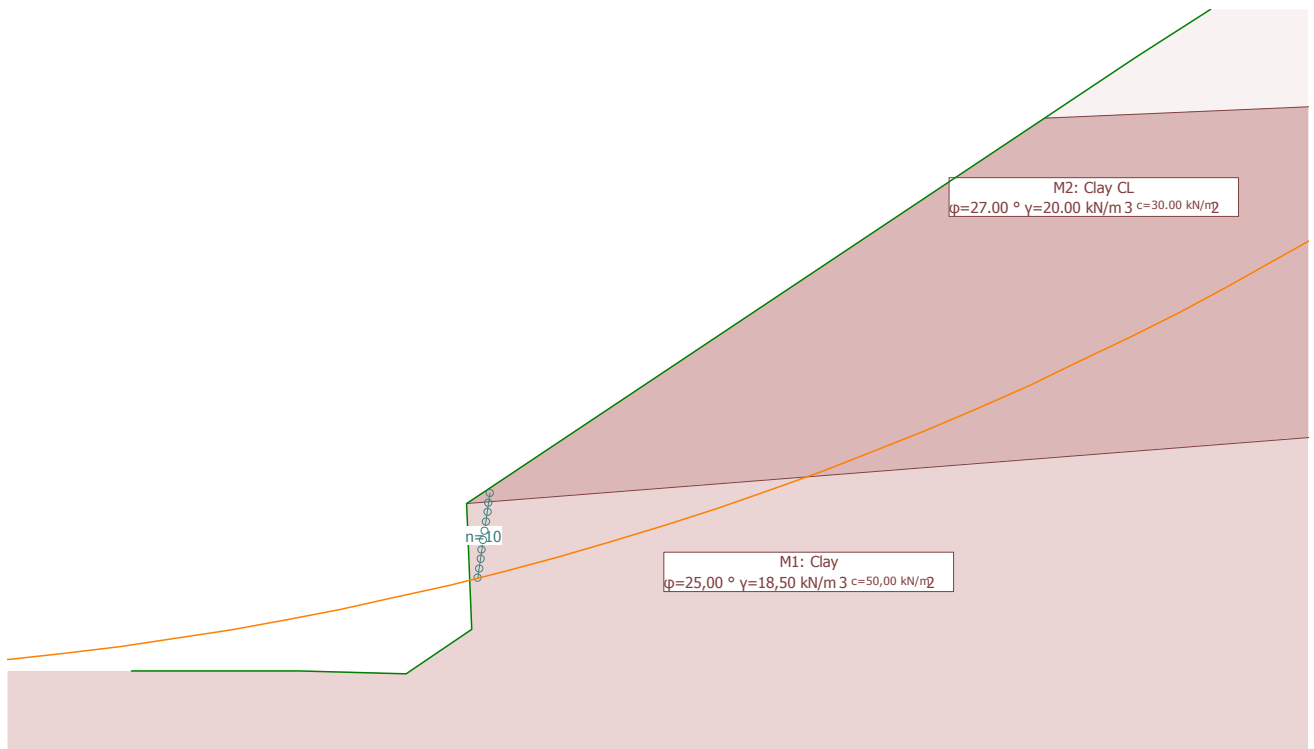
Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
560	-3.88	28.71	28.74		2.10			
460	-3.88	27.73	27.79		2.11			
650	-4.67	29.69	29.88		2.11			
660	-3.88	29.69	29.69		2.11			

F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length



Constraint line zoom

Scale 1 :67.7 (-1.04,-0.65..10.46,5.86)



**!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line**

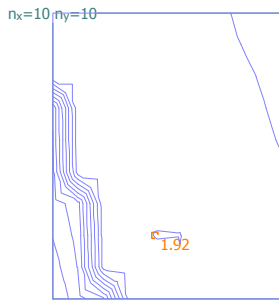
**Slip circles with minimum safeties**

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
560	-3.88	28.71	28.74		2.10			
460	-3.88	27.73	27.79		2.11			
650	-4.67	29.69	29.88		2.11			
660	-3.88	29.69	29.69		2.11			

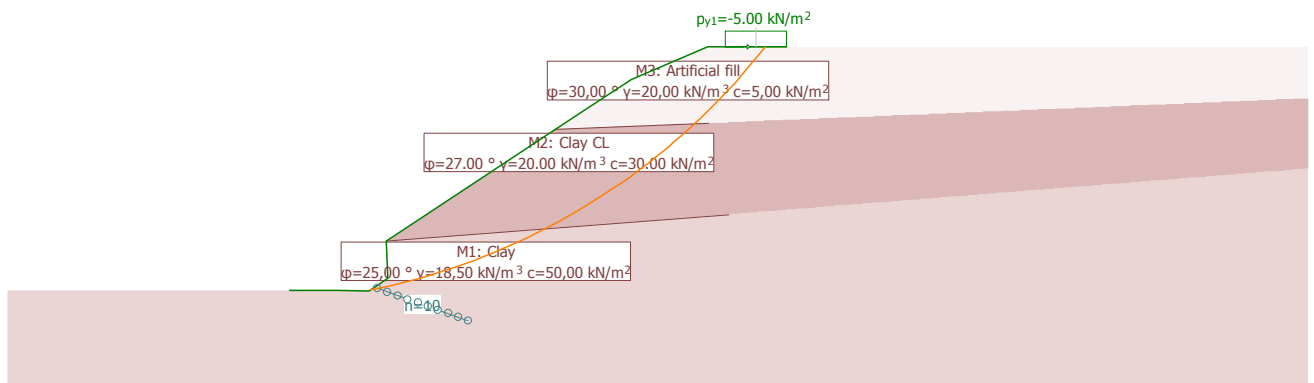
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :233.0 (-8.45,-2.74..31.13,28.03)



dF = 0.24  
F = 1.92 - 4.33  
'Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

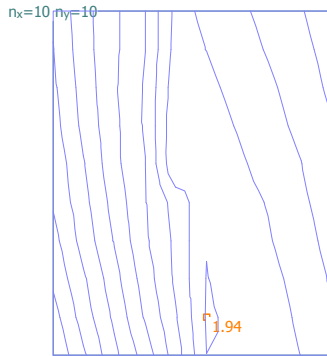
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
250	-1.56	20.25	20.64		1.92			
260	-0.77	20.25	20.49		1.92			
530	-3.13	23.18	23.86		1.93			
630	-3.13	24.16	24.81		1.93			

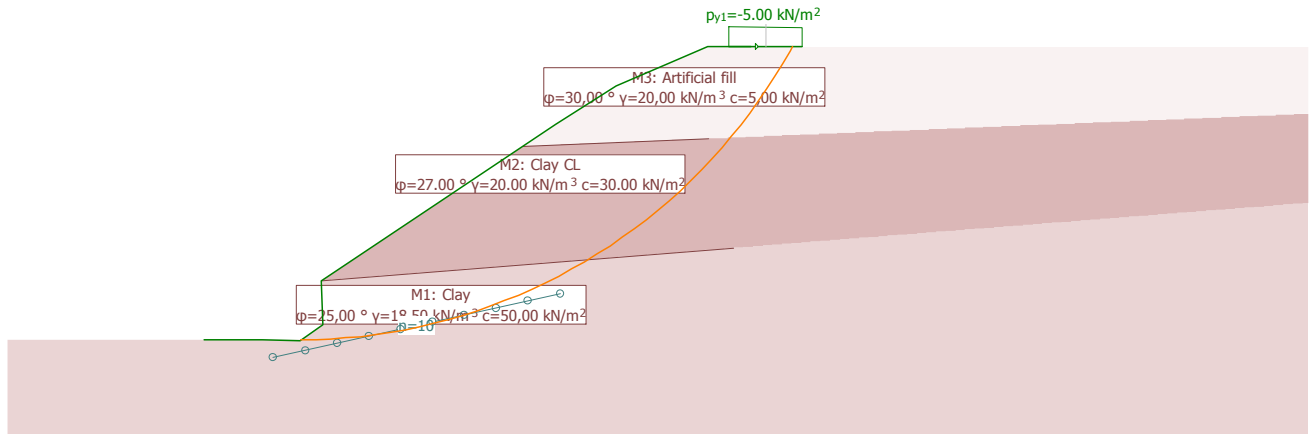
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :193.6 (-4.84,-2.25..28.04,23.24)



dF = 0.15  
F = 1.94 - 3.45  
'Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

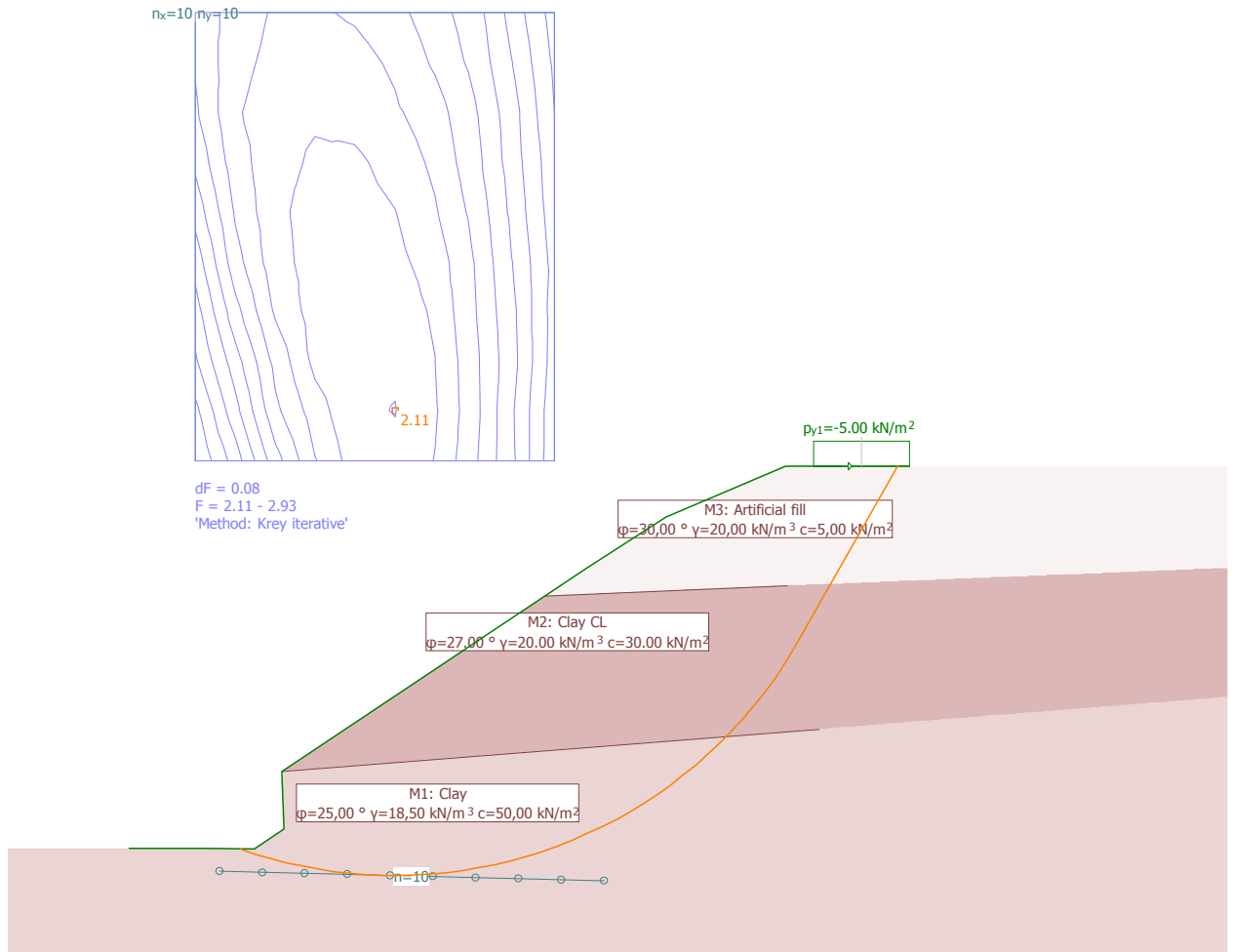
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
154	2.42	14.40	14.41		1.94			
257	2.42	15.38	15.40		1.95			
254	2.42	15.38	15.35		1.96			
55	2.42	13.42	13.42		1.96			

F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :144.9 (-3.21,-1.95..21.40,17.42)



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	$F_{ex}$ [-]	$L_{req}$ [m]	$L_{min}$ [m]	Remark see footnotes
156	5.22	8.58	9.12		2.11			
257	5.22	9.56	10.12		2.12			
248	4.44	9.56	10.11		2.12			
347	4.44	10.54	11.06		2.12			

$F_{ex}$  : existing safety, required safety  $F_{req} = 1.00$   
 $L_{req}$  : calculated required free anchor length between  $L_{min} - L_{max}$   
 $L_{min}$  : input minimum free anchor length

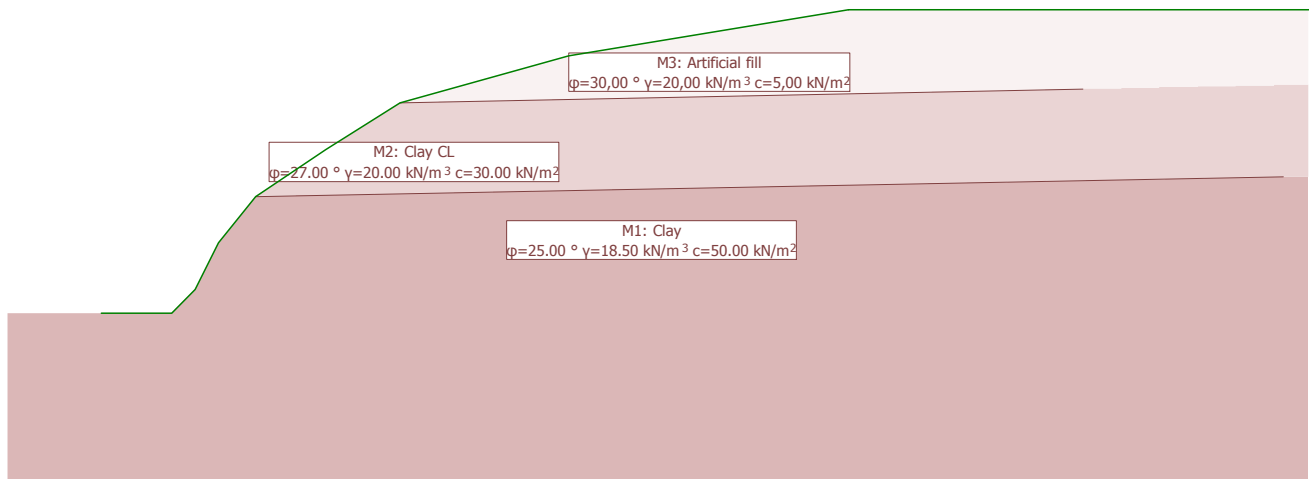
**ΘΕΣΗ 12: ΚΕΡΑΜΟΠΟΙΕΙΟ - ΑΡΙΩΝΟΣ**

**(Χ.Θ. 4+230)**

**ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΠΡΑΝΕΣ**

Geotechnical model

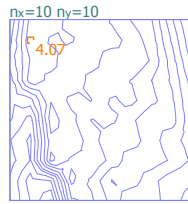
Scale 1 :161.9 (-1.85,-3.43..25.65,14.05)

**GEOTECHNICAL MODEL****Soil layer attributes**

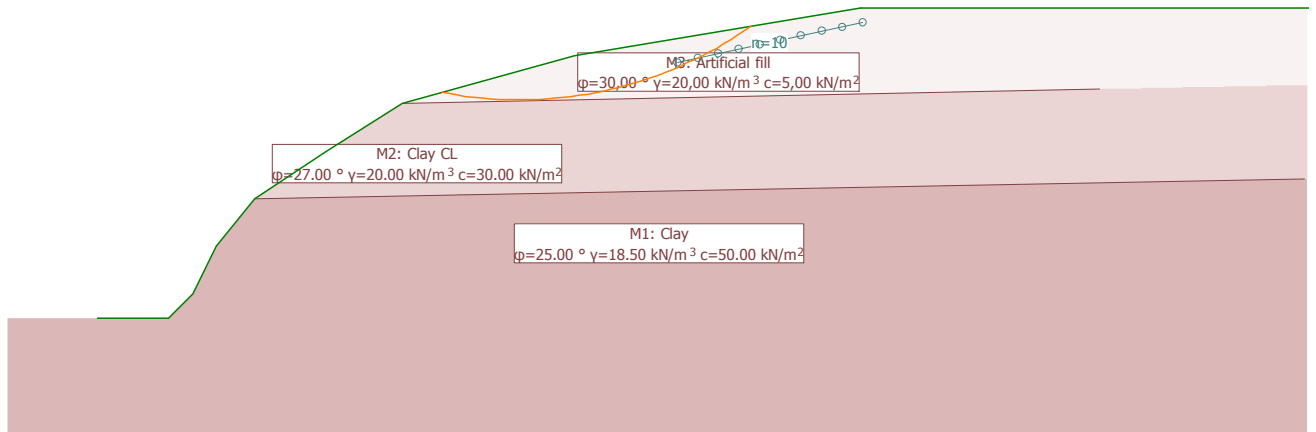
Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
M3	Artificial fill	30.00	20.00	5.00	
M2	Clay CL	27.00	20.00	30.00	
M1	Clay	25.00	18.50	50.00	

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :158.5 (-1.72,-2.31..25.20,14.59)



dF = 0.14  
F = 4.07 - 5.52  
'Method: Krey iterative'



**!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line**

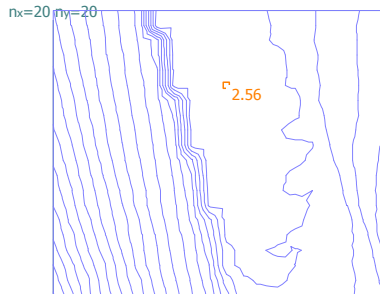
**Slip circles with minimum safeties**

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
812	8.85	12.93	8.36		4.07			
611	8.85	12.09	7.50		4.11			
924	9.28	13.35	8.77		4.12			
422	9.28	11.25	6.67		4.13			

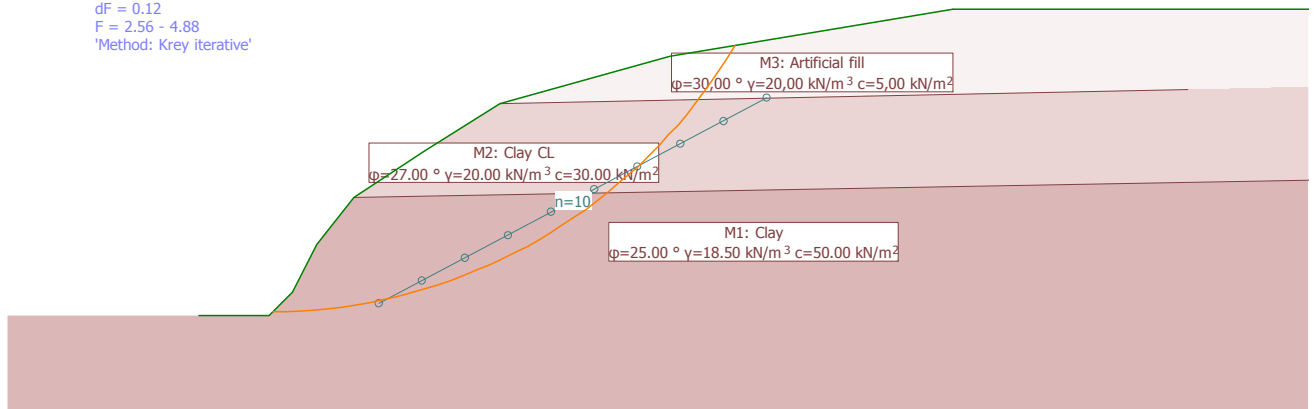
- F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00
- L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>
- L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :160.5 (-3.90,-1.84..23.36,17.00)



dF = 0.12  
F = 2.56 - 4.88  
'Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

Slip circles with minimum safeties

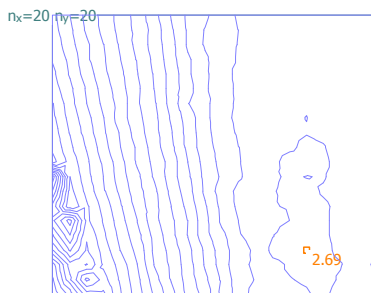
Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
2907	1.48	11.57	11.50		2.56			
2317	1.84	10.62	10.56		2.56			
3286	0.74	12.21	12.23		2.56			
2511	1.84	10.94	10.87		2.56			

F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

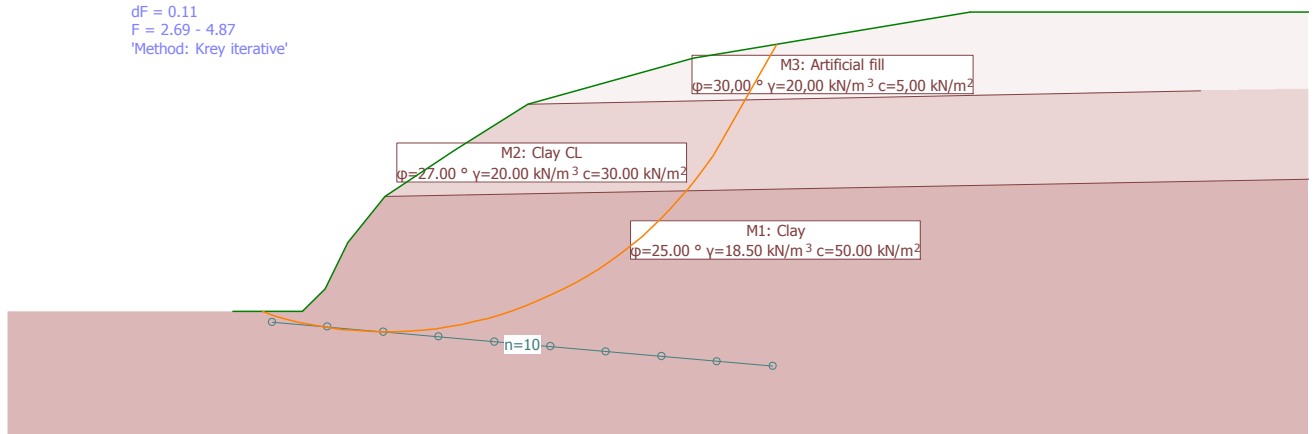


!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :164.1 (-4.73,-2.60..23.14,14.70)



dF = 0.11  
F = 2.69 - 4.87  
'Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

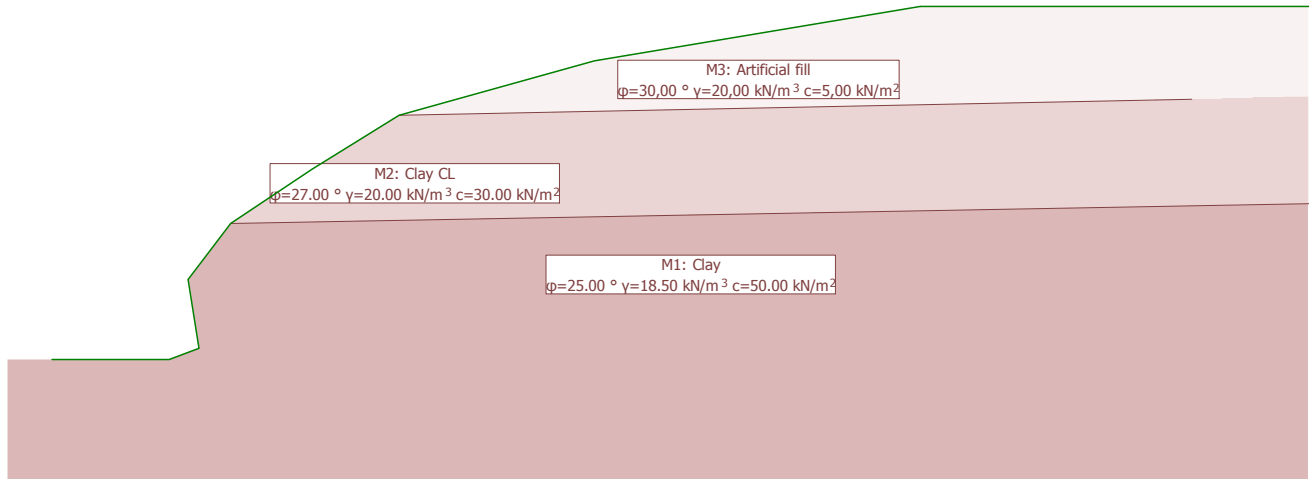
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
753	3.31	8.07	8.50		2.69			
942	2.94	8.39	8.76		2.69			
752	3.31	8.07	8.49		2.69			
742	2.94	8.07	8.44		2.69			

F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

Geotechnical model

Scale 1 :139.4 (-0.68,-2.08..22.99,11.95)



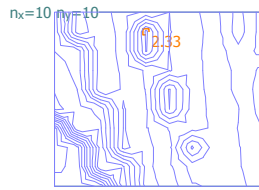
## GEOTECHNICAL MODEL

### Soil layer attributes

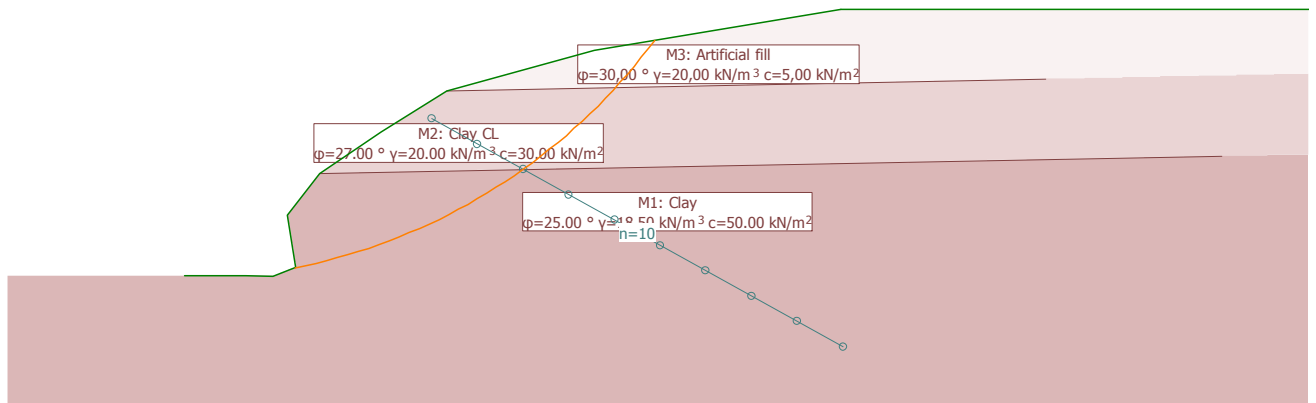
Id	Description	$\phi_k$ [°]	$\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$C_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	
M3	Artificial fill	30.00	20.00	5.00	
M2	Clay CL	27.00	20.00	30.00	
M1	Clay	25.00	18.50	50.00	

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :184.4 (-4.12,-2.97..27.18,15.51)



dF = 0.20  
F = 2.33 - 4.32  
'Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

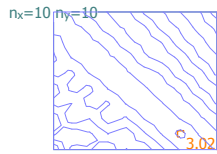
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
843	-0.10	14.31	14.39		2.33			
402	-2.33	12.43	13.22		2.34			
263	1.02	11.49	11.47		2.35			
553	0.46	12.90	12.93		2.36			

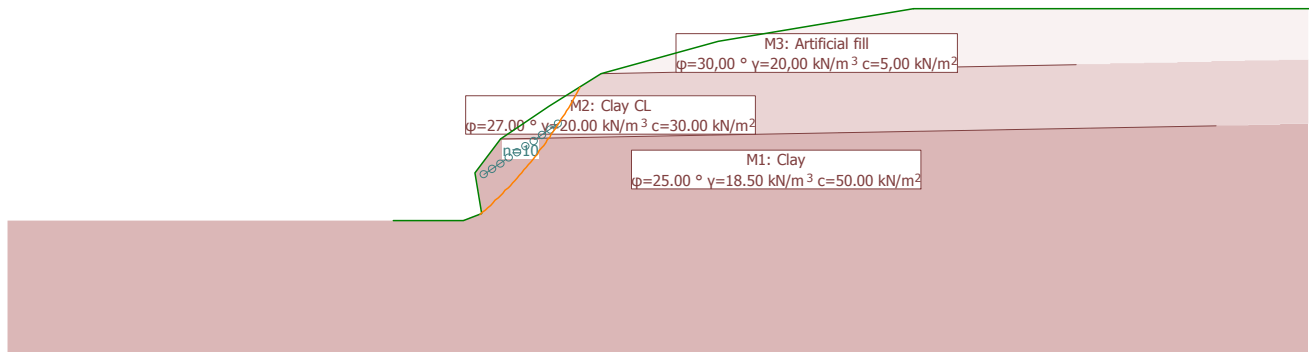
F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :232.6 (-11.63,-3.89..27.87,15.18)



dF = 0.18  
F = 3.02 - 4.83  
'Method: Krey iterative'



!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line

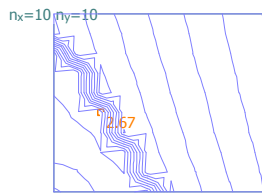
Slip circles with minimum safeties

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
180	-5.77	9.92	12.89		3.02			
810	-9.68	13.21	17.97		3.13			
720	-9.12	12.74	17.24		3.14			
630	-8.57	12.27	16.51		3.14			

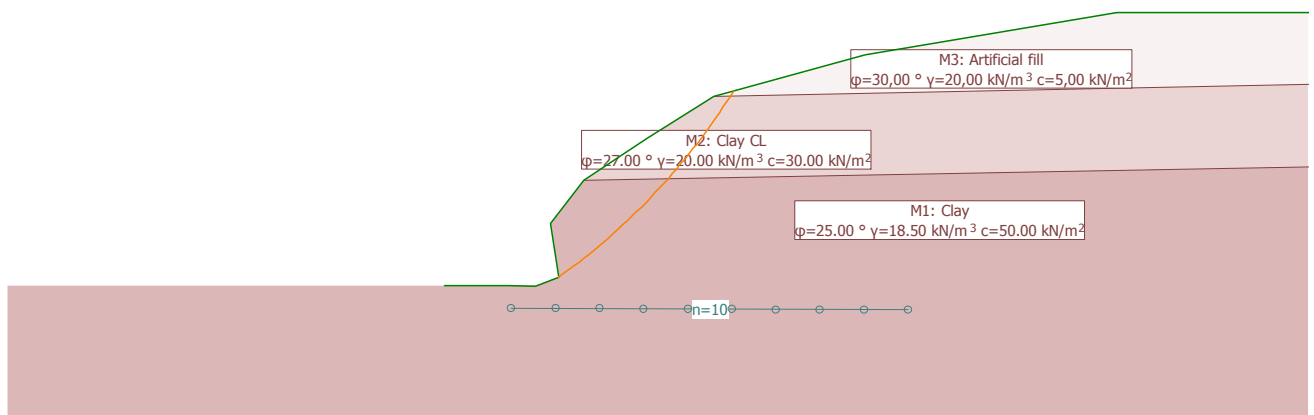
F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length

!Ultimate LS type 3, AC 1: Critical slip surface, Definition with centres and constraint line

Scale 1 :180.1 (-10.24,-2.95..20.34,16.93)



dF = 0.37  
F = 2.67 - 6.36  
'Method: Krey iterative'



**!Ultimate LS type 3, AC 1: Results, Definition with centres and constraint line**

**Slip circles with minimum safeties**

Circle No.	x [m]	y [m]	R [m]	Anchor	F <sub>ex</sub> [-]	L <sub>req</sub> [m]	L <sub>min</sub> [m]	Remark see footnotes
421	-6.44	12.98	15.72		2.67			
611	-7.00	13.92	16.81		2.70			
701	-7.56	14.39	17.50		2.71			
511	-7.00	13.45	16.41		2.73			

F<sub>ex</sub> : existing safety, required safety F<sub>req</sub> = 1.00  
L<sub>req</sub> : calculated required free anchor length between L<sub>min</sub> - L<sub>max</sub>  
L<sub>min</sub> : input minimum free anchor length