



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μεταλλειολόγων – Μεταλλουργών Μηχανικών
Τομέας Γεωλογικών Επιστημών**

**Διερεύνηση του μηχανισμού αστοχίας και σχεδιασμός μέτρων
υποστήριξης του κατολισθαίνοντος πρανούς της οδού
Καρυωτάκη στο Ν. Βουτζά Αττικής**

Διπλωματική Εργασία

Γιαννάκου Νίκη

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2023



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μεταλλειολόγων – Μεταλλουργών Μηχανικών
Τομέας Γεωλογικών Επιστημών**

**Διερεύνηση του μηχανισμού αστοχίας και σχεδιασμός μέτρων
υποστήριξης του κατολισθαίνοντος πρανούς της οδού
Καρυωτάκη στο Ν. Βουτζά Αττικής**

Διπλωματική Εργασία

Γιαννάκου Νίκη

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις / /2023:

Λουπασάκης Κωνσταντίνος, Καθηγητής ΕΜΠ

Βακαλάς Ιωάννης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Τσαγγαράτος Παρασκευάς, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2023

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού διπλώματος της Σχολής Μεταλλειολόγων – Μεταλλουργών Μηχανικών και ασχολείται με την διερεύνηση του μηχανισμού αστοχίας που έλαβε χώρα στην οδό Καρυωτάκη στο Ν. Βουτζά Αττικής, καθώς επίσης και των εναλλακτικών μέσων αρχικού σχεδιασμού.

Πιο συγκεκριμένα στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το κατολισθητικό φαινόμενο και οι επιπτώσεις αυτού στις υφιστάμενες κατασκευές.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η γεωλογία της περιοχής. Επίσης, καταχρηστικά, δίνονται κάποιες πληροφορίες για την ανάπτυξη και λειτουργία των Λιγνιτωρυχείων Διασταύρωσης κατά το παρελθόν, μίας και ήταν η κινητήριος δύναμη για την ανάπτυξη πολλών οικισμών στην ευρύτερη περιοχή της Ραφήνας.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας του λογισμικού PLAXIS 2D LE και περιγράφονται τα βήματα σύμφωνα με τον οδηγό χρήσης του προγράμματος που πρέπει να ακολουθούνται κατά την δημιουργία ενός μοντέλου ευστάθειας πρανούς.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αρχικά παραθέτοντε τα δεδομένα που προέκυψαν από τις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, καθώς και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που δομούν το πρανές. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η πορεία της ανάστροφης ανάλυσης της κατολίθησης που έγινε στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με σκοπό να αποδειχθεί αν θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί η αστοχία του αρχικού πρανούς. Συγκεκριμένα, εξετάζεται η ευστάθεια του πρανούς στην περίπτωση που είχε εφαρμοστεί ανταλλακτικός τρόπος θεμελίωσης της κατασκευής και στην συνέχεια εξετάζεται η ευστάθεια του πρανούς στην περίπτωση κατασκευής τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια κατά μήκος του ρέματος Νταού. Τέλος εξετάζεται η περίπτωση κατασκευής πασσαλότοιχων εκατέρωθεν της κατοικίας και πως αυτή επηρεάζει την ευστάθεια του αρχικού πρανούς.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παραθέτοντε συνοπτικά τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα απ' όλες τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια του λογισμικού. Επίσης συγκρίνονται οι συντελεστές ασφαλείας των αναλύσεων με τις επιτρεπόμενες ελάχιστες τιμές των συντελεστή ασφαλείας με βάση τον EC-7 και τον ΕΑΚ-2000 και έτσι εξετάζεται αν το πρανές θα μπορούσε να είναι ασφαλές με την εφαρμογή των μέτρων που περιγράφηκαν στο πέμπτο κεφάλαιο.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένα άτομα, τα οποία με βοήθησαν και συνέβαλαν με οποιοδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Αρχικά, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου Κωνσταντίνο Λουπασάκη για την βοήθεια που μου πρόσφερε κατά την διάρκεια των αναλύσεων που πραγματοποίησα στο λογισμικό Plaxis 2D LE και για την υποστήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της παρούσας εργασίας. Οι συμβουλές που μου παρείχε από την εμπειρία του από την αντιμετώπιση άλλων κατολισθητικών φαινομένων με βοήθησαν να εξελιχθώ και να μάθω πολλά πράγματα.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου και τις δυο αδερφές μου για την συνεχή υποστήριξή τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και κατά την περίοδο συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας. Η στήριξή τους με έκανε να νιώθω πιο σίγουρη για τον εαυτό μου αλλά και να συνεχίζω την προσπάθεια στις περιόδους που είχα κουραστεί.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μεταλλειολόγων – Μεταλλουργών Μηχανικών
Τομέας Γεωλογικών Επιστημών

Διερεύνηση του μηχανισμού αστοχίας και σχεδιασμός μέτρων υποστήριξης του κατολισθαίνοντος πρανούς της οδού Καρυωτάκη στο Ν. Βουτζά Αττικής

Διπλωματική Εργασία
της

Γιαννάκου Νίκης

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2023

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική διερευνάται ο μηχανισμός αστοχίας του κατολισθαίνοντος πρανούς στην οδό Καρυωτάκη στον Ν. Βουτζά Αττικής. Με βάση την γεωμετρία του πρανούς πριν την κατολίθωσή και με τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων, σχεδιάζεται το μοντέλο του πρανούς στο λογισμικό με σκοπό την πραγματοποίηση ανάστροφης ανάλυσης. Μέσω της ανάστροφης ανάλυσης της κατολίθωσης με το Plaxis LE, αλλά και λαμβάνοντας υπόψη τα διαθέσιμα γεωτεχνικά δεδομένα, υπολογίζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που δομούν το πρανές που αστόχησε.

Στην συνέχεια παίρνοντας ως δεδομένα τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών που προέκυψαν από την ανάστροφη ανάλυση, εξετάζονται τρεις προτάσεις μέτρων αποφυγής της κατολίθωσης. Στην πρώτη περίπτωση εξετάζεται αν η θεμελίωση της κατασκευής με πασσάλους, αντί για επιφανειακή θεμελίωση, θα μπορούσε να είχε ευνοϊκή επίδραση στην ευστάθεια του πρανούς. Στην δεύτερη περίπτωση εξετάζεται αν η κατασκευή ενός τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια κατά μήκος του ρέματος θα μπορούσε να σταματήσει την ολίσθηση των γεωλικών. Τέλος ως τρίτη πρόταση εξετάζεται η ευστάθεια του αρχικού πρανούς με την προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου.

Από όλες τις αναλύσεις όσο αφορά τις προτάσεις ευστάθειας του αρχικού πρανούς, τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι ότι: πρώτον η θεμελίωση του κτιρίου σε βαθύτερα στρώματα με την χρήση πασσάλων είναι μια αποτελεσματική λύση για την αποφυγή της κατολίθωσης. Δεύτερον η προσθήκη τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια κατά μήκος του ρέματος δεν επιδρά θετικά στην ευστάθεια του πρανούς. Και τρίτον η προσθήκη πασσαλότοιχου βάθους 15 m πίσω από την κατασκευή είναι η πιο αποτελεσματική λύση αποφυγής της αστοχίας ακόμα και μετά την εμφάνιση των πρώτων μετακινήσεων.



National Technical University of Athens
School of Mining and Metallurgical Engineering
Section of Geological Sciences

**Investigation of the failure mechanism and design of support measures
for the sliding slope of Karyotaki Street in N. Voutzas, of Attica**

Diploma Thesis

by

Giannakou Niki

Supervisor: Constantinos Loupasakis, Professor NTUA

Athens 2023

Abstract

In this thesis, the failure mechanism of the landslide slope in Karyotaki Street in N. Voutzas, Attica, is investigated. Based on the geometry of the slope before the landslide and the results of the boreholes, the model of the slope, as it was before the failure, is designed in software in order to perform a back analysis. Through the back analysis of the landslide with Plaxis LE, the mechanical characteristics of the formations structuring the failed slope are calculated.

Then, using the characteristics of the formations obtained from the back analysis as data, three proposals for landslide prevention measures are considered. In the first case, it is examined whether the deep foundation of the structure, instead of a surface foundation, could have a favorable effect on the stability of the slope. In the second case, it is examined whether the construction of a gravity gabion wall along the river could prevent the geomaterials from sliding. Finally, the third proposal is to examine the stability of the original slope by adding pile walls on either side of the building.

From all the analyses of the proposals for the stability of the original slope, the main conclusions are: firstly, the foundation of the building in deeper layers using piles is an effective solution to avoid the landslide of the original slope. Secondly, the addition of a gravity gabion wall along the river does not have a positive effect on the stability of the slope. And thirdly, the addition of a 15 m deep pile wall behind the structure is the most effective solution to avoid failure even after the first movements have occurred.

Ακρωνύμια:

Γ.Υ.Σ.	Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού
ΕΜΠ	Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ε.Π.Ε	Εταιρία Περιορισμένης Ευθύνης
Υ.Ο	Υδροφόρος Ορίζοντας
ΕΡΤ	Ελληνική Ραδιοφωνία Τηλεόραση
Ο.Α.Σ.Π.	Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας
Ι.Γ.Μ.Ε.	Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
Ε.Α.Κ.	Ελληνικός Αντισεισμικός Σχεδιασμός
ΒΒΑ	Βόρειο-βορειοανατολικά
ΝΝΔ	Νότιο-νοτιοδυτικά
ΔΝΔ	Δυτικά-νοτιοδυτικά

EC-7	Eurocode 7
SPT	Standard Penetration Test
LE	Limit Equilibrium

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Ιστορικό.....	1
1.2 Η κατολίσθηση στον Νέο Βουτζά	3
1.2.1 Θέση της περιοχής μελέτης	4
1.3 Επιπτώσεις της κατολίσθησης στο οδόστρωμα και τις κατοικίες.....	6
2. Γεωλογία της περιοχής μελέτης.....	10
2.1 Γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης	10
2.1.1 Αδρομερείς ποταμολιμναίοι σχηματισμοί των παρυφών της Πάρνηθας και της Πεντέλης.....	12
2.1.2 Λιμναίοι σχηματισμοί Καλογρέζας – Πικερμίου	13
2.2 Λιγνιτωρυχεία Διασταύρωσης	13
3. Το λογισμικό PLAXIS 2D LE	17
3.1 Δημιουργία νέου μοντέλου και καθορισμός των χαρακτηριστικών του.....	18
3.2 Εισαγωγή της γεωμετρίας του πρανούς	21
3.3 Καθορισμός των ιδιοτήτων των γεωυλικών από τα οποία αποτελείται το πρανές	23
3.4 Καθορισμός των χαρακτηριστικών της επιφάνειας ολίσθησης.....	25
3.5 Εισαγωγή του υδροφόρου ορίζοντα.....	27
3.6 Εισαγωγή των εξωτερικών φορτίων ή των σεισμικών φορτίων που δρουν στο πρανές.....	28
3.7 Εισαγωγή στοιχείων υποστήριξης του πρανούς	30
3.8 Ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς και εμφάνιση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης	32
4. Διαθέσιμα γεωτεχνικά Δεδομένα και Ανάστροφη ανάλυση της κατολίσθησης.....	34
4.1 Αποτελέσματα γεωτρήσεων και γεωτεχνικές παράμετροι σχηματισμών	34
4.2 Ανάστροφη ανάλυση της κατολίσθησης στον Νέο Βουτζά.....	40
4.2.1 Λεπτομέρειες σχεδίασης του προσομοιώματος στο PLAXIS LE.....	41
4.2.2 Η πορεία της ανάστροφης ανάλυσης και τα αποτελέσματα	51
5. Προτάσεις μέτρων ευστάθειας του αρχικού πρανούς, προ της αστοχίας	59
5.1 Ανάλυση ευστάθειας του αρχικού πρανούς με προσθήκη πασσαλοθεμελιώσεων....	59
5.1.1 Ανάλυση υπό στατική φόρτιση	59
5.1.2 Ανάλυση υπό σεισμική φόρτιση	64
5.2 Ανάλυση ευστάθειας του πρανούς πριν την αστοχία με προσθήκη τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια	72
5.3 Ανάλυση ευστάθειας του αρχικού πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων	77
5.3.1 Ανάλυση με προσθήκη πασσαλότοιχο μόνο στην όψη του ρέματος.....	79
5.3.2 Ανάλυση με προσθήκη πασσαλότοιχου μόνο στην όψη του δρόμου.....	84

5.3.3 Ανάλυση με πασσαλότοιχους εκατέρωθεν της κατοικίας	89
6. Σύνοψη - Συμπεράσματα	98
6.1 Συμπεράσματα ανάστροφης ανάλυσης.....	98
6.2 Συμπεράσματα των αποτελεσμάτων των αναλύσεων σχετικά με τις προτάσεις μέτρων ευστάθειας του αρχικού πρανούς	98
Βιβλιογραφία	103
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	104
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	105

Ευρετήριο εικόνων:

Εικόνα 1.1: Κάτοψη της περιοχής του πρανούς όπου συνέβη η κατολίσθηση πριν (αριστερή φωτογραφία) και μετά (δεξιά φωτογραφία) την πυρκαγιά που συνέβη στην περιοχή το 2018 (πηγή: google earth).....	1
Εικόνα 1.2: Αποψη των ζημιών που υπέστη το οδόστρωμα στην οδό Καρυωτάκη λόγω της κατολίσθησης (φωτογραφία από την στέψη της κατολίσθησης)	2
Εικόνα 1.3: Αποψη της κατολίσθησης από τον βορρά.....	3
Εικόνα 1.4: Κάτοψη των τεσσάρων κατοικιών που υφίστανται στο πρανές που αστόχησε (πηγή: google earth).....	4
Εικόνα 1.5: Θέση της περιοχής μελέτης σε σχέση με το λιμάνι της Ραφήνας (πηγή: site ΙΓΜΕ)	4
Εικόνα 1.6: Τοπογραφικό διάγραμμα μετά την κατολίσθηση όπου φαίνονται και οι θέσεις διεξαγωγής των γεωτρήσεων επί της οδού Καρυωτάκη (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))	5
Εικόνα 1.7: Οι μετακινήσεις που υπέστησαν οι δυο κατοικίες που βρίσκονταν μέσα στην μάζα την κατολίσθησης.....	6
Εικόνα 1.8: Αποψη της κύριας κατακρήμνισης της κατολίσθησης όπως αυτή φαίνεται από την στέψη της	6
Εικόνα 1.9: Η περιοχή της αστοχίας πριν (πάνω) και μετά (κάτω) την κατεδάφιση των δυο κατοικιών.	7
Εικόνα 1.10: Το όριο της κατολίσθησης (κόκκινη γραμμή) το οποίο διέρχεται από τον αύλιο χώρο της τρίτης κατοικίας η οποία υπέστη στροφή	7
Εικόνα 1.11: Ζημιές στον πίσω αύλιο χώρο της τρίτης κατοικίας (με τα κόκκινα βελάκια φαίνεται η αποκόλληση των πλακακιών λόγω της περιστροφής του σπιτιού).....	8
Εικόνα 1.12: Περιστροφή της τρίτης κατοικίας η οποία βρίσκεται στο αριστερό πλευρικό όριο της κατολίσθησης (η κίνηση υποδεικνύεται με το κόκκινο βελάκι)	8
Εικόνα 1.13: Υποχώρηση οδοστρώματος στην περιοχή της κύριας κατακρήμνισης	9
Εικόνα 1.15: Ρωγμές στο οδόστρωμα στην στέψη της κατολίσθησης.....	9
Εικόνα 2.1: ‘Όλα τα φύλλα γεωλογικών χαρτών στα οποία έχει χωριστεί ο ελλαδικός χώρος από το ΙΓΜΕ (πηγή: (ΙΓΜΕ 2002)).....	10
Εικόνα 2.2: Απόσπασμα από τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ για την περιοχή μελέτης όπου φαίνεται η θέση της περιοχής μελέτης (πηγή: (ΙΓΜΕ 2002))	11
Εικόνα 2.3: Στρωματογραφική στήλη από το φύλλο ΚΗΦΙΣΙΑ του ΙΓΜΕ (πηγή: (ΙΓΜΕ 2002)).	12
Εικόνα 2.4: Θέση λιγνιτωρυχείων Διασταύρωσης στον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ στο φύλλο ΚΗΦΙΣΙΑ	14
Εικόνα 2.5: Εργαλεία που χρησιμοποιούσαν οι εργαζόμενοι στα λιγνιτωρυχεία Διασταύρωσης (πηγή: (Έκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018))	16
Εικόνα 3.1: Το περιβάλλον εργασίας-σχεδίασης του λογισμικού PLAXIS 2D LE	18
Εικόνα 3.2: Ονομασία νέου μοντέλου, καθορισμός των μονάδων μέτρησης και της κατεύθυνσης της επιφάνειας αστοχίας.....	19
Εικόνα 3.3: Δημιουργία νέου αρχείου στο PLAXIS LE	19
Εικόνα 3.4: Καρτέλα ρύθμισης των χαρακτηριστικών του μοντέλου.....	20
Εικόνα 3.5: Καθορισμός της μεθόδου υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας του πρανούς (αριστερά) και ρυθμίσεις του τρόπου εύρεσης επιφάνειας αστοχίας (δεξιά).....	20
Εικόνα 3.6: Δημιουργία της γεωμετρίας του προς ανάλυση πρανούς.....	21
Εικόνα 3.7: Οι περιοχές από τις οποίες αποτελείται το προσομοίωμα του προς εξέταση πρανές στον Νέο Βουτζά.....	22
Εικόνα 3.8: Παράδειγμα (για την περιοχή R1) του τρόπου εισαγωγής των συντεταγμένων των σημείων που ορίζουν μια περιοχή (region) στο PLAXIS LE	22

Εικόνα 3.9: Ονομασία γεωυλικού και καθορισμός του χρώματος και του τρόπου υπολογισμού της διατμητικής αντοχής του	23
Εικόνα 3.10: Καρτέλα εισαγωγής και ελέγχου των γεωυλικών που αποτελούν το μοντέλο στο PLAXIS LE.....	23
Εικόνα 3.11: Τα πέντε εδαφικά υλικά που δομούν το πρανές.....	24
Εικόνα 3.12: Καθορισμός των παραμέτρων αντοχής κάθε εδαφικού υλικού (παράδειγμα για τον εδαφικό σχηματισμό [1]).....	24
Εικόνα 3.13: Καρτέλα εισαγωγής των εργαλείων για την εύρεση της επιφάνειας αστοχίας.....	25
Εικόνα 3.14: Καθορισμός των περιοχών εισαγωγής και εξαγωγής της επιφάνειας ολίσθησης.....	26
Εικόνα 3.15: Καθορισμός της θέσης του κανάβου και του αριθμού των κόμβων που τον αποτελούν	26
Εικόνα 3.16: Καθορισμός της θέσης της γραμμής απ' όπου θα διέρχεται η επιφάνεια ολίσθησης	27
Εικόνα 3.17: Επιλογή τρόπου εισαγωγής της πίεσης του νερού των πόρων στο προσομοίωμα στο PLAXIS LE.....	27
Εικόνα 3.18: Καρτέλα εισαγωγής του υδροφόρου ορίζοντα στο PLAXIS LE	28
Εικόνα 3.19: Εισαγωγή των σημείων που ορίζουν την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στο μοντέλο.....	28
Εικόνα 3.20: Καθορισμός του μεγέθους και της θέσης του κατανεμημένου φορτίου στο προσομοίωμα του πρανούς στον Νέο Βουτζά	29
Εικόνα 3.21: Καρτέλα εισαγωγής των φορτίων που δρουν στο μοντέλο.....	29
Εικόνα 3.22: Καθορισμός τρόπου εισαγωγής του σεισμικού φορτίου στο μοντέλο.....	30
Εικόνα 3.23: Εισαγωγή σεισμικών συντελεστών για την επίλυση του μοντέλου υπό σεισμική φόρτιση.....	30
Εικόνα 3.24: Παράδειγμα καθορισμού της θέσης αγκυριών και της απόστασης μεταξύ τους.....	31
Εικόνα 3.25: Ονομασία και ορισμός του είδους του στοιχείου υποστήριξης	31
Εικόνα 3.26: Καρτέλα εισαγωγής των στοιχείων υποστήριξης	31
Εικόνα 3.27: Παράδειγμα καθορισμού των χαρακτηριστικών αντοχής ενός αγκυρίου.....	32
Εικόνα 3.28: Τρόπος εμφάνισης της επιφάνειας ολίσθησης και του συντελεστή ασφαλείας στο output του λογισμικού.....	32
Εικόνα 3.29: Καρτέλα υπολογισμού των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας του μοντέλου	33
Εικόνα 3.30: Καρτέλα ελέγχου των αποτελεσμάτων που εμφανίζονται στο output του λογισμικού	33
Εικόνα 3.31: Επιλογή εμφάνισης όλων των επιφανειών αστοχίας που ελέγχθηκαν από το λογισμικό.....	33
Εικόνα 4.1: Αποτελέσματα αποκλισημετρήσεων στην γεώτρηση Γ1 (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))	36
Εικόνα 4.2: Αποτελέσματα αποκλισημετρήσεων στην γεώτρηση Γ2 (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))	37
Εικόνα 4.3: Αποτελέσματα αποκλισημετρήσεων στην γεώτρηση Γ3 (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))	38
Εικόνα 4.4: Τοπογραφικό διάγραμμα Γ.Υ.Σ για την ευρύτερη περιοχή μελέτης (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022)).....	41
Εικόνα 4.5: Κάτοψη των κατοικιών όπου φαίνονται γραμμοσκιασμένες οι περιοχές των δύο αναβαθμών μεταξύ της κατοικίας και του ρέματος	42
Εικόνα 4.6: Καθορισμός των πέντε στρωμάτων από τα οποία αποτελείται η γεωμετρία του προς ανάλυση πρανούς	43
Εικόνα 4.7: Επεξήγηση της γεωμετρίας του προσομοιώματος στο PLAXIS LE	44
Εικόνα 4.8: Εισαγωγή του μεγέθους και της θέσης του φορτίου του σπιτιού στο PLAXIS LE	44

Εικόνα 4.9: Το προσομοίωμα του πρανούς στο PLAXIS LE μετά την εισαγωγή του φορτίου του σπιτιού.....	45
Εικόνα 4.10: Καθορισμός των ιδιοτήτων και της θέσης της επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα στο PLAXIS LE	46
Εικόνα 4.11: Το προσομοίωμα του πρανούς μετά την προσθήκη της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.....	46
Εικόνα 4.12: Η κύρια κατακρήμνιση της κατολίσθησης πίσω από το σπίτι (φαίνεται με την κόκκινη γραμμή)	47
Εικόνα 4.13: Οι εγκάρσιες ρωγμές στην περιοχή συσσώρευσης των υλικών και ανύψωσης τους σε σχέση με την αρχική επιφάνεια του εδάφους.....	48
Εικόνα 4.14: Καθορισμός των ορίων εισαγωγής και εξαγωγής της επιφάνειας αστοχίας στο PLAXIS LE.....	48
Εικόνα 4.15: Το προσομοίωμα στο PLAXIS LE μετά τον καθορισμό των περιοχών εισαγωγής και εξαγωγής της επιφάνειας αστοχίας	49
Εικόνα 4.16: Ο κάναβος και η γραμμή με βάση τα οποία θα σχεδιαστούν επιφάνειες αστοχίας από το λογισμικό.....	50
Εικόνα 4.17: Καθορισμός του τρόπου εύρεσης της επιφάνειας αστοχίας στο PLAXIS LE (αριστερά) και καθορισμός της μεθόδου υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας (δεξιά)	50
Εικόνα 4.18: Καθορισμός της θέσης του κανάβου στο PLAXIS LE (αριστερά) και καθορισμός της θέσης της γραμμής (δεξιά)	51
Εικόνα 4.19: Το μοντέλο του πρανούς όπου συνέβη η αστοχία όπως αυτό διαμορφώθηκε για την ανάστροφη ανάλυση της κατολίσθησης στο PLAXIS LE	54
Εικόνα 4.20: Η επιφάνεια αστοχίας με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας όπως αυτή προέκυψε από την ανάστροφη ανάλυση στο PLAXIS LE.....	55
Εικόνα 4.21: Φωτογραφία από την στέψη της κατολίσθησης όπου φαίνεται η τοιχοποιία των δύο υπογείων του σπιτιού και γίνεται μέσω αυτού σαφές το γεγονός ότι η επιφάνεια αστοχίας είναι εφαπτομενική με το σημείο έναρξης της επιφάνειας θεμελίωσης προς την πλευρά της οδού.....	56
Εικόνα 4.22: Χαρακτηριστικά σημεία της επιφάνειας ολίσθησης που προέκυψε από την ανάστροφη ανάλυση	56
Εικόνα 4.23: Οι επιφάνειες αστοχίας που ελέγχθηκαν από το λογισμικό (φαίνονται τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά και ο συντελεστής ασφαλείας σε κάθε μια από αυτές)	57
Εικόνα 4.24: Όλες οι επιφάνειες αστοχίας που ελέγχθηκαν από το λογισμικό.....	58
Εικόνα 5.1: Το προσομοίωμα στο PLAXIS LE που δημιουργήθηκε για την ανάλυση ευστάθειας με πασσαλοθεμελιώσεις στο σπίτι	60
Εικόνα 5.2: Καθορισμός της αντοχής σε διάτμηση των πασσάλων και της απόστασης τους εκτός του επιπέδου ανάλυσης.....	61
Εικόνα 5.3: Καθορισμός της θέσης των πασσάλων, του μήκους τους και της απόστασής τους στο επίπεδο της ανάλυσης	61
Εικόνα 5.4: Αποτελέσματα ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις στο σπίτι υπό στατική φόρτιση με φορτίο 45 KN (διώροφη κατοικία με δύο υπόγεια).....	62
Εικόνα 5.5: Αποτελέσματα ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις στο σπίτι υπό στατική φόρτιση με φορτίο 35 KN (μονώροφη κατοικία με δύο υπόγεια).....	63
Εικόνα 5.6: Το μοντέλο στο PLAXIS LE για την σεισμική ανάλυση του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις στο κτίριο	64
Εικόνα 5.7: Χάρτης των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (πηγή: (Δ17α/67/1/ΦΝ275/6.6.2003 (ΦΕΚ Β'781) 2003)	65
Εικόνα 5.8: Οι σεισμικές δυνάμεις σύμφωνα με την μέθοδο της ψευδοστατικής ανάλυσης (πηγή: (Ζευγώλης 2021))	66

Εικόνα 5.9: Επιλογή της μεθόδου ψευδοστατικής ανάλυσης για την επίλυση του μοντέλου υπό σεισμική φόρτιση στο PLAXIS LE.....	67
Εικόνα 5.10: Καθορισμός των τιμών των σεισμικών συντελεστών κατά την σεισμική ανάλυση στο PLAXIS LE.....	67
Εικόνα 5.11: Αποτελέσματα της σεισμικής ανάλυση ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις και φορτίο κτιρίου 45 KN, για κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δύναμης με φορά προς τα κάτω	68
Εικόνα 5.12: Αποτελέσματα της σεισμικής ανάλυση ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις και φορτίο κτιρίου 45 KN, για κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δύναμης με φορά προς τα πάνω	69
Εικόνα 5.13: Αποτελέσματα της σεισμικής ανάλυση ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις και φορτίο κτιρίου 35 KN, για κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δύναμης με φορά προς τα κάτω	70
Εικόνα 5.14: Αποτελέσματα της σεισμικής ανάλυση ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις και φορτίο κτιρίου 35 KN, για κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δύναμης με φορά προς τα πάνω	71
Εικόνα 5.15: Το προσομοίωμα του πρανους όπως αυτό διαμορφώνεται μετα την προσθήκη του τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια.....	73
Εικόνα 5.16: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς πάνω από τον τοίχο βαρύτητας.....	74
Εικόνα 5.17: Τα αποτελέσματα της ολικής ευστάθειας του πρανους μετα την τοποθέτηση του τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια.....	75
Εικόνα 5.18: Τα αποτελέσματα της ευστάθειας του πρανους όπου οι επιφάνειες αστοχίας τέμνουν τον τοίχο.....	76
Εικόνα 5.19: Καθορισμός της απόστασης των πασσάλων και της διατμητικής τους αντοχής στο PLAXIS LE.....	77
Εικόνα 5.20: Το μοντέλο του πρανούς στο PLAXIS LE όπως αυτό διαμορφώθηκε μετά την προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου.....	78
Εικόνα 5.21: Καθορισμός της θέσης του πασσαλότοιχου στην όψη του ρέματος, στο PLAXIS LE.....	79
Εικόνα 5.22: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 10 m στην όψη προς το ρέμα, με φορτίο κτιρίου 45 KN.....	80
Εικόνα 5.23: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 15 m στην όψη προς το ρέμα, με φορτίο κτιρίου 45 KN.....	81
Εικόνα 5.24: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 10 m στην όψη προς το ρέμα, με φορτίο κτιρίου 35 KN.....	82
Εικόνα 5.25: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 15 m στην όψη προς το ρέμα, με φορτίο κτιρίου 35 KN.....	83
Εικόνα 5.26: Καθορισμός της θέσης του πασσαλότοιχου στην όψη του δρόμου, στο PLAXIS LE.....	84
Εικόνα 5.27: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 10 m στην όψη του δρόμου, με φορτίο κτιρίου 45 KN	85
Εικόνα 5.28: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 15 m στην όψη του δρόμου, με φορτίο κτιρίου 45 KN	86
Εικόνα 5.29: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 10 m στην όψη του δρόμου, με φορτίο κτιρίου 35 KN	87
Εικόνα 5.30: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 15 m στην όψη του δρόμου, με φορτίο κτιρίου 35 KN	88
Εικόνα 5.31: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των	

πασσάλων είναι ίσο με 10 m και για τους δύο πασσαλότοιχους και το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 45 KN.....	90
Εικόνα 5.32: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 10 m και για τους δύο πασσαλότοιχους και το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 35 KN.....	91
Εικόνα 5.33: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 15 m και για τους δύο πασσαλότοιχους και το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 45 KN.....	92
Εικόνα 5.34: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 15 m και για τους δύο πασσαλότοιχους και το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 35 KN.....	93
Εικόνα 5.35: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 15 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του δρόμου και ίσο με 10 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του ρέματος. Το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 45 KN.....	94
Εικόνα 5.36: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 15 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του δρόμου και ίσο με 10 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του ρέματος. Το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 35 KN.....	95
Εικόνα 5.37: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 10 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του δρόμου και ίσο με 15 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του ρέματος. Το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 45 KN.....	96
Εικόνα 5.38: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 10 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του δρόμου και ίσο με 15 m για τον πασσαλότοιχο στη όψη του ρέματος. Το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 35 KN.....	97
Εικόνα 6.1: Σύγκριση του βάθους της επιφάνειας αστοχίας και της τιμής του συντελεστή ασφαλείας πριν και μετά την θεμελίωση του σπιτιού σε βαθύτερα πιο ισχυρά γεωλογικά στρώματα.....	99
Εικόνα 6.2: Συγκεντρωτικά όλα τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τον τοίχο βαρύτητας από συρματοκυβώτια. Σε όλα τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το πρανές δεν είναι ασφαλές.....	100
Εικόνα 6.3: Συγκεντρωτικά οι συντελεστές ασφαλείας που προκύπτουν από τις αναλύσεις μετά την προσθήκη των πασσαλότοιχων.....	101
Εικόνα 0.1: Τα αποτελέσματα των δοκιμών SPT και των γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022)).....	104

Ευρετήριο πινάκων:

Πίνακας 1: Καθορισμός γεωυλικών που δομούν την κάθε περιοχή της γεωμετρίας του μοντέλου	25
Πίνακας 2: Περιγραφή εδαφικών σχηματισμών που δομούν το προς εξέταση πρανές (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))	35
Πίνακας 3: Οι τιμές της γωνίας τριβής και της συνοχής των σχηματισμών όπως αυτές δίνονται στην μελέτη της εταιρίας ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε.(πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))	39
Πίνακας 4: Τιμές ειδικών βαρών σχηματισμών όπως υπολογίστηκαν από δοκιμές (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))	51
Πίνακας 5: Οι τιμές της συνοχής και της γωνίας τριβής των σχηματισμών που προέκυψαν από την ανάστροφη ανάλυση	53
Πίνακας 6: Στοιχεία της επιφάνειας αστοχίας του πρανούς όπως αυτή προέκυψε από την ανάστροφη ανάλυση του πρανούς στον Νέο Βουτζά	57
Πίνακας 7: Τα μοντέλα που σχεδιάστηκαν με τους διαφορετικούς συνδυασμούς όσο αφορά τα μήκη των πασσαλότοιχων	89
Πίνακας 8: Τα αποτελέσματα από τις υπόλοιπες δοκιμές κατά την ανάστροφη ανάλυση πριν προκύψει η επιφάνεια με συντελεστή ασφαλείας πολύ κοντά στην μονάδα	105

1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το χρονικό της κατολίσθησης στον Νέο Βουτζά Αττικής, όπως αυτό παρουσιάστηκε από διάφορα ειδησεογραφικά κανάλια και sites. Επίσης παρουσιάζονται οι επιπτώσεις της κατολίσθησης στις κατοικίες που εδράζονται στο πρανές που αστόχησε αλλά και στο οδόστρωμα της οδού Καρυωτάκη.

1.1 Ιστορικό

Η κατολίσθηση συνέβη στην περιοχή του οικισμού του Νέου Βουτζά Αττικής επί της οδού Καρυωτάκη στον δήμο Ραφήνας – Πικερμίου τον Ιανουάριο του 2022. Το καταστροφικό αυτό φαινόμενο απέκτησε τηλεοπτικό και κοινωνικό ενδιαφέρον καθώς μέσα στην μάζα της κατολίσθησης υπήρχαν δυο κατοικίες οι οποίες παρασύρθηκαν κατά την αστοχία του πρανούς, με αποτέλεσμα να μην καθίστανται πλέον κατοικήσιμες. Οι κατοικίες μέσα στην κατολίσθηση είναι ηλικίας περίπου 20 ετών ενώ τα διπλανά σπίτια είναι νεότερα. Το πρανές όπου συνέβη η κατολίσθηση παλαιότερα ήταν κατάφυτο με αρκετά δέντρα και θάμνους τα οποία κάηκαν στην καταστροφική πυρκαγιά του 2018. Τους χειμερινούς μήνες των ετών 2020-2021 εμφανίστηκαν οι πρώτες έντονες ρωγμές στο οδόστρωμα αλλά και στις κατοικίες της οδού Καρυωτάκη, ενώ έκτοτε μετά το πέρας κάθε έντονης βροχόπτωσης, οι ζημιές γίνονταν όλο και πιο εμφανείς (Αθαν. Πλατής 2022).



Εικόνα 1.1: Κάτοψη της περιοχής του πρανούς όπου συνέβη η κατολίσθηση πριν (αριστερή φωτογραφία) και μετά (δεξιά φωτογραφία) την πυρκαγιά που συνέβη στην περιοχή το 2018 (πηγή: google earth)

Σύμφωνα με τον δήμαρχο Ραφήνας – Πικερμίου « Σε πρώτη φάση τέσσερα σπίτια έχουν πρόβλημα και όσο αφορά το αν το γεωλογικό φαινόμενο μπορεί να επεκταθεί, αυτό θα το διαπιστώσουν οι ειδικοί γεωτέχνες».



Εικόνα 1.2: Αποψη των ζημιών που υπέστη το οδόστρωμα στην οδό Καρυωτάκη λόγω της κατολίσθησης (φωτογραφία από την στέψη της κατολίσθησης)

Επιπλέον ο καθηγητής Γεωλογίας και πρόεδρος του ΟΑΣΠ Ευθύμιος Λέκκας τόνισε την σημασία των γεωλογικών και γεωτεχνικών μελετών πριν την εκτέλεση κάθε έργου ώστε να αποφεύγονται τέτοιου είδους φαινόμενα και μεταξύ άλλων ανέφερε ότι οι ιδιοκτήτες των κατοικιών που υπέστησαν ζημιές θα μπορούσαν να είχαν θεμελιώσει τις κατασκευές σε βαθύτερα γεωλογικά στρώματα.

Ακόμη με βάση το protothema.gr και τον Κ. Λουπασάκη, καθηγητή Τεχνικής Γεωλογίας στη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών του ΕΜΠ: «Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται περιστροφική κατολίσθηση, γιατί το κομμάτι αυτό του εδάφους κατολισθαίνει περιστρεφόμενο από το επίπεδο του δρόμου έως λίγο πιο πάνω από τη βάση της πλαγιάς». «Οι αιτίες είναι πολλές. Κατ' αρχάς, οι βροχοπτώσεις μείωσαν την αντοχή του εδάφους. Η καταστροφή του δάσους στην περιοχή είναι δεδομένο ότι συνέβαλε και αυτή, καθώς είναι πολύ λιγότερο το νερό που συγκρατείται στο έδαφος. Το ρέμα που υπάρχει στη βάση του πρανούς δεν φαίνεται να έπαιξε καθοριστικό ρόλο, καθώς δεν υπάρχουν διαβρώσεις. Περαιτέρω, το κτίριο, δηλαδή το φορτίο, είχε τοποθετηθεί στο χείλος του πρανούς, υπήρχε δηλαδή και ευθύνη του σχεδιασμού του» (www.protothema.gr 09.02.2022).



Εικόνα 1.3: Αποψη της κατολίσθησης από τον βορρά

1.2 Η κατολίσθηση στον Νέο Βουτζά

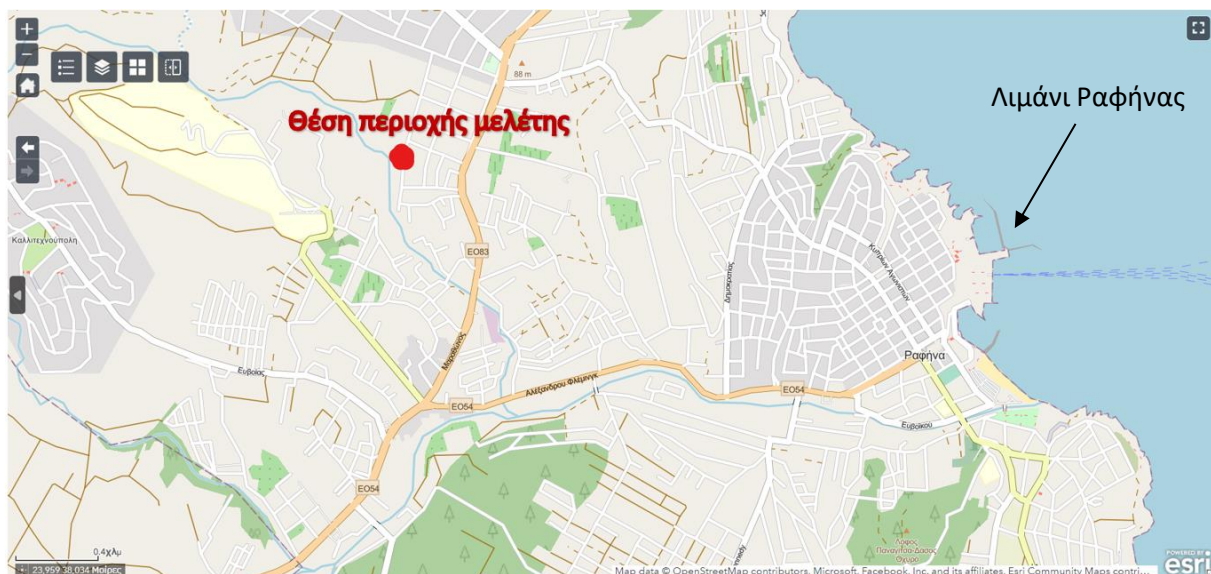
Η αστοχία έλαβε χώρα επί του πρανούς που στην στέψη του βρίσκεται η οδός Καρυωτάκη ενώ στον πόδα του διέρχεται το ρέμα Νταού Πεντέλης. Κατά μήκος του ίδιου πρανού υπάρχουν συνολικά τέσσερις κατοικίες, τρεις ολοκληρωμένες και μια υπό κατασκευή. Δύο από τις ολοκληρωμένες κατασκευές βρίσκονται εντός της κατολισθαίνουσας μάζας, ενώ η τρίτη η οποία βρίσκεται στο αριστερό πλευρικό όριο της κατολίσθησης, υπέστη στροφή λόγω της αστοχίας του πρανού δίπλα της.



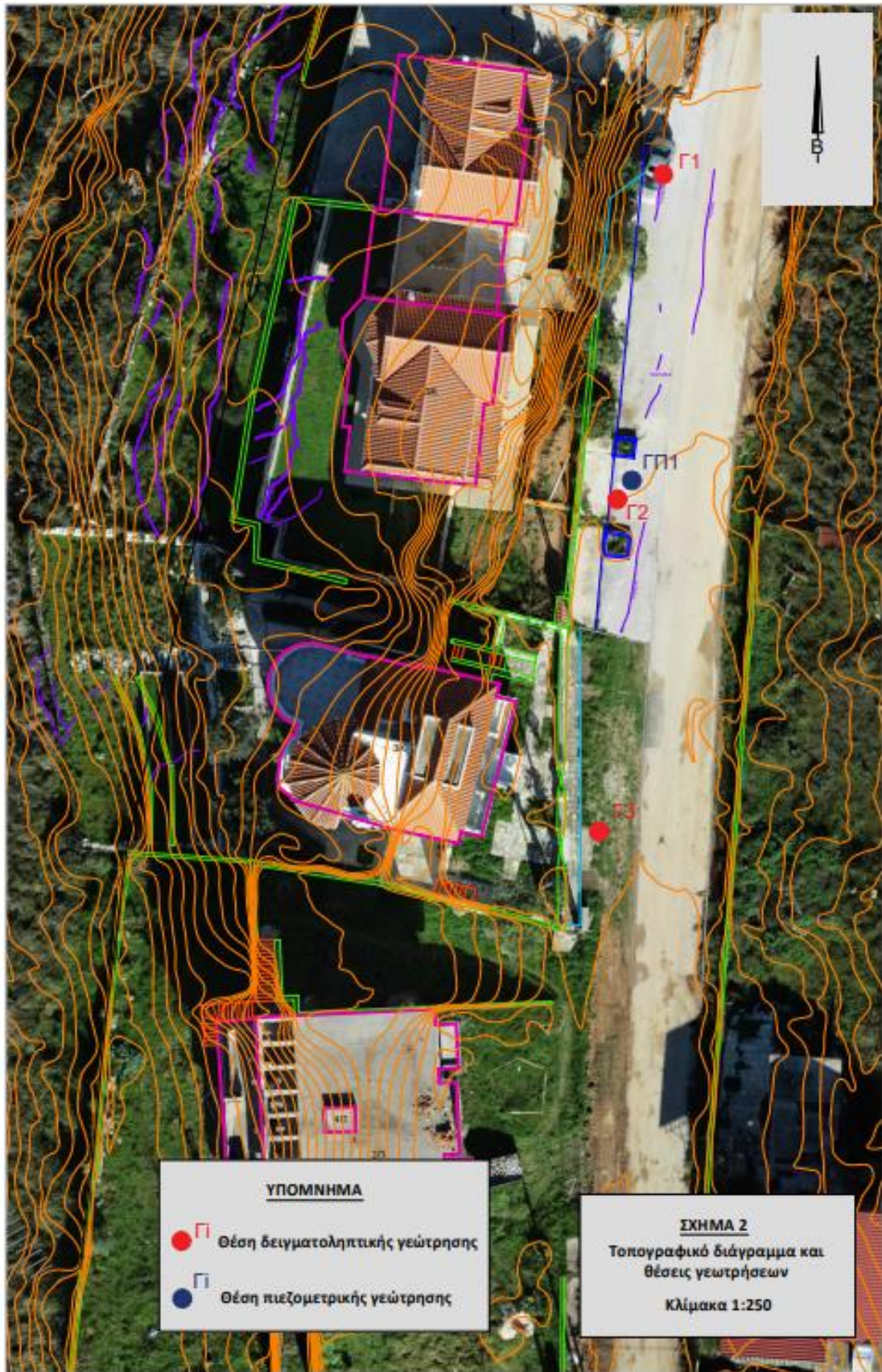
Εικόνα 1.4: Κάτοψη των τεσσάρων κατοικιών που υφίστανται στο πρανές που αστόχησε (πηγή: google earth)

1.2.1 Θέση της περιοχής μελέτης

Το κατολισθητικό φαινόμενο έλαβε χώρα επί της οδού Καρυωτάκη στον οικισμό του Νέου Βουτζά Αττικής στον δήμο Ραφήνας – Πικερμίου. Η εν λόγω θέση βρίσκεται 2,9 Km βορειοδυτικά από το λιμάνι της Ραφήνας και σε απόσταση περίπου 3 χιλιόμετρα νοτιοανατολικά από την μονή Νταού Πεντέλης. Επίσης το πρανές έχει διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και διεύθυνση κλίσης ΔΝΔ, με κυμαινόμενο ύψος 16,5 – 18,5 μέτρα.



Εικόνα 1.5: Θέση της περιοχής μελέτης σε σχέση με το λιμάνι της Ραφήνας (πηγή: site ΙΓΜΕ)



Εικόνα 1.6: Τοπογραφικό διάγραμμα μετά την κατολίθιση όπου φαίνονται και οι θέσεις διεξαγωγής των γεωτρήσεων επί της οδού Καρνωτάκη (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))

1.3 Επιπτώσεις της κατολίθησης στο οδόστρωμα και τις κατοικίες

Από τις τρεις κατοικίες που υπέστησαν ζημιές, οι δύο από αυτές (οι κατοικίες 1 και 2) παρασύρθηκαν καθώς βρίσκονταν στην περιοχή του πρανούς που αστόχησε. Περιστράφηκαν κατά 10° περίπου από την κατακόρυφο και ταυτόχρονα ολίσθησαν κατά 5 m οριζόντια και 3 m κατακόρυφα (Αθαν. Πλατής 2022). Αυτές οι οικίες δεν είναι πλέον κατοικήσιμες και γι' αυτό κρίθηκαν κατεδαφιστές.



Εικόνα 1.7: Οι μετακινήσεις που υπέστησαν οι δυο κατοικίες που βρίσκονταν μέσα στην μάζα την κατολίθησης



Εικόνα 1.8: Άποψη της κύριας κατακρήμνισης της κατολίθησης όπως αυτή φαίνεται από την στέψη της



***Εικόνα 1.9:** Η περιοχή της αστοχίας πριν (πάνω) και μετά (κάτω) την κατεδάφιση των δυο κατοικιών.*

Η τρίτη κατοικία η οποία βρίσκεται στο αριστερό πλευρικό όριο της κατολίσθησης, περιστράφηκε λόγω της ώθησης που δέχτηκε από τα υλικά που ανυψώθηκαν στον πόδα της κατολίσθησης.



***Εικόνα 1.10:** Το όριο της κατολίσθησης (κόκκινη γραμμή) το οποίο διέρχεται από τον αύλιο χώρο της τρίτης κατοικίας η οποία υπέστη στροφή*



Εικόνα 1.11: Ζημιές στον πίσω αύλιο χώρο της τρίτης κατοικίας (με τα κόκκινα βελάκια φαίνεται η αποκόλληση των πλακακιών λόγω της περιστροφής του σπιτιού)



Εικόνα 1.12: Περιστροφή της τρίτης κατοικίας η οποία βρίσκεται στο αριστερό πλευρικό όριο της κατολίσθησης (η κίνηση υποδεικνύεται με το κόκκινο βελάκι)

Επίσης εκτός από τις κατοικίες, σημειώθηκαν ζημιές στο οδόστρωμα της οδού Καρυωτάκη. Το οδόστρωμα υποχώρησε σε κάποια σημεία λόγω της δημιουργίας της κύριας κατακρήμνισης της κατολίσθησης και δημιουργήθηκαν και τοξοειδής ρωγμές στο οδόστρωμα στην περιοχή της στέψης της κατολίσθησης.



Εικόνα 1.13: Υποχώρηση οδοστρώματος στην περιοχή της κύριας κατακρήμνισης



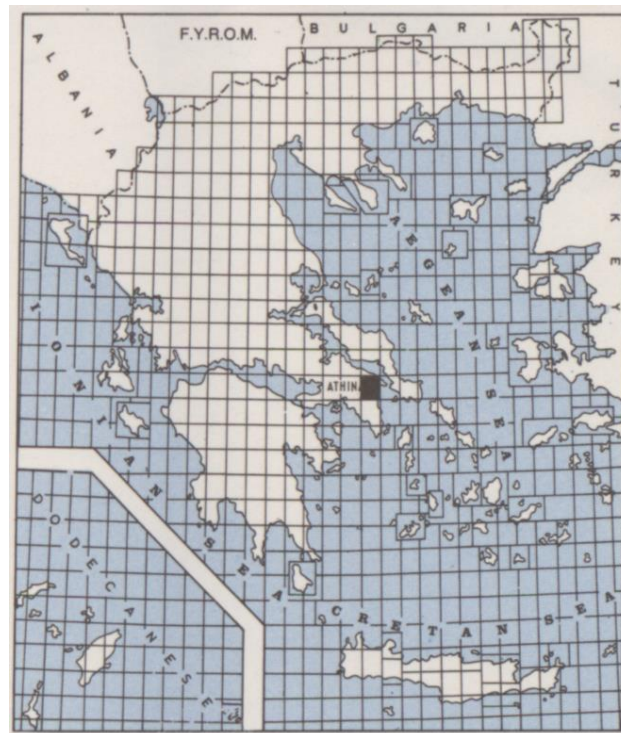
Εικόνα 1.14: Ρωγμές στο οδόστρωμα στην στέψη της κατολίσθησης

2. Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η γεωλογία της περιοχής ενδιαφέροντος όπως αυτή περιγράφεται στην γεωλογική χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε από το ΙΓΜΕ (φύλλο ΚΗΦΙΣΙΑ 1:50.000). Επίσης δίνονται και κάποιες πληροφορίες για την ανάπτυξη και λειτουργία των Λιγνιτωρυχείων Διασταύρωσης κατά το παρελθόν, μιάς και ήταν η κινητήριος δύναμη για την ανάπτυξη πολλών οικισμών στην ευρύτερη περιοχή της Ραφήνας.

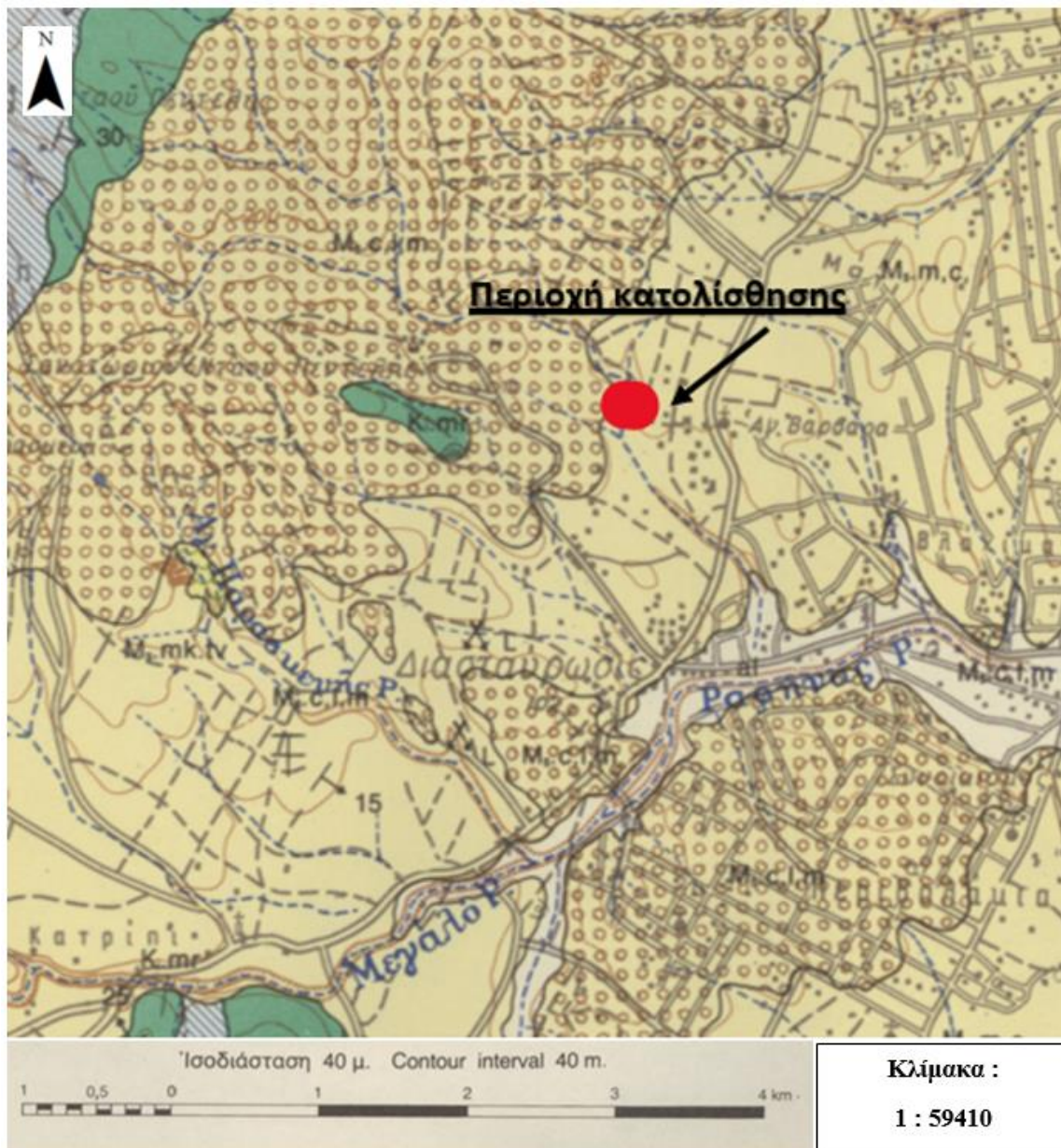
2.1 Γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης

Το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών έχει συντάξει τον γεωλογικό χάρτη ολόκληρης της Ελλάδας, τον οποίο έχει χωρίσει σε τμήματα-φύλλα ώστε να είναι πιο εύχρηστος. Το κάθε τμήμα-φύλλο έχει κλίμακα 1:50.000 και συνδέεται με τα διπλανά του χωρίς κενά. Οι χάρτες αυτοί είναι χρήσιμοι στο στάδιο της αναγνωριστικής μελέτης ενός έργου και βοηθάνε τον μηχανικό να έχει μια πρώτη εικόνα της γεωλογίας της περιοχής που μελετά πριν γίνει μια πιο λεπτομερής γεωλογική και γεωτεχνική χαρτογράφηση στην περιοχή του έργου. Πληροφορίες για την γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της κατολίστησης στον Νέο Βουτζά Αττικής μπορούμε να βρούμε στο ΦΥΛΛΟ ΚΗΦΙΣΙΑ του ΙΓΜΕ, το οποίο στην Εικόνα 2.1 είναι το γραμμοσκιασμένο φύλλο του χάρτη.

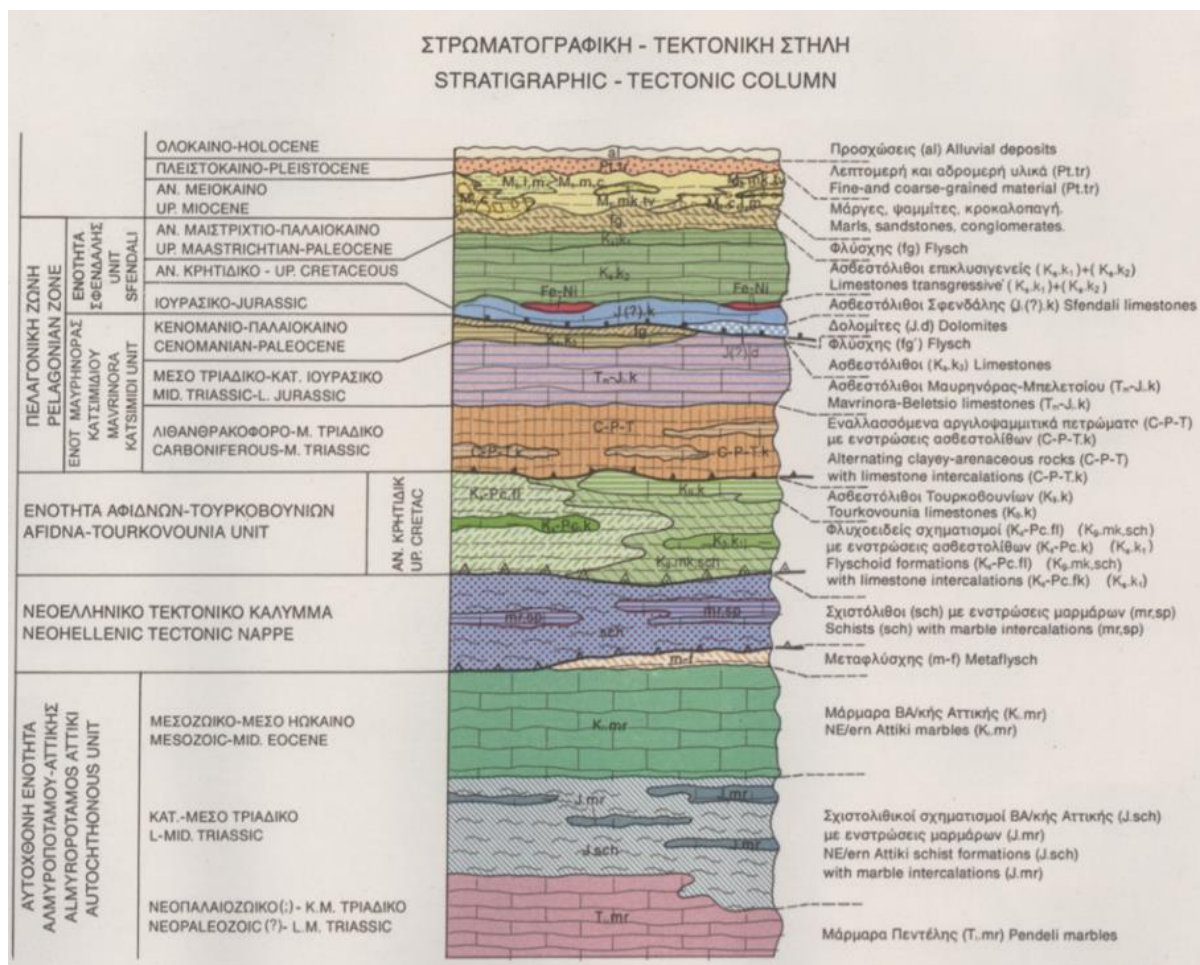


Εικόνα 2.1: Όλα τα φύλλα γεωλογικών χαρτών στα οποία έχει χωριστεί ο ελλαδικός χώρος από το ΙΓΜΕ (πηγή: (ΙΓΜΕ 2002))

Η περιοχή μελέτης, δηλαδή η περιοχή όπου συνέβη η κατολίσθηση, βρίσκεται στον οικισμό Νέος Βουτζάς του Δήμου Ραφήνας-Πικερμίου Αττικής. Σύμφωνα με το ΦΥΛΛΟ ΚΗΦΙΣΙΑ του ΙΓΜΕ οι σχηματισμοί της ευρύτερης περιοχής είναι κυρίως Νεογενής σχηματισμοί του Ανώτερου Μειόκαινου (ΙΓΜΕ 2002). Οι σχηματισμοί αυτοί είναι λιμναίας φάσης και συνοδεύονται από ποταμολιμναίες και λιμνοχερσαίες αποθέσεις (ΙΓΜΕ 2002). Καταλαμβάνουν σχεδόν εξ' ολοκλήρου, το βόρειο ήμισυ του Λεκανοπεδίου Αθηνών και συνεχίζονται, τόσο προς τα βόρεια, προς τους ανωμειοκαινικούς σχηματισμούς της μεγάλης λιμναίας λεκάνης Θηβών-Τανάγρας-Ωρωπού, όσο και προς τα ανατολικά, προς τους ανωμειοκαινικούς λιμναίους σχηματισμούς της περιοχής Μεσογείων (ΙΓΜΕ 2002).



Εικόνα 2.2: Απόσπασμα από τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ για την περιοχή μελέτης όπου φαίνεται η θέση της περιοχής μελέτης (πηγή: (ΙΓΜΕ 2002))



Εικόνα 2.3: Στρωματογραφική στήλη από το φύλλο ΚΗΦΙΣΙΑ του ΙΓΜΕ (πηγή: (ΙΓΜΕ 2002))

Στην Εικόνα 2.3 παραπάνω φαίνονται οι Νεογενής σχηματισμοί της περιοχής μελέτης όπως αυτοί δίνονται σχεδόν στην κορυφή της στρωματογραφικής στήλης του φύλλου ΚΗΦΙΣΙΑ του ΙΓΜΕ.

Πιο συγκεκριμένα στην περιοχή μελέτης επικρατούν δύο σχηματισμοί, οι Αδρομερείς ποταμολιμναίοι σχηματισμοί παρυφών Πάρνηθας και Πεντέλης ορατού πάχους έως 250 m και οι Λιμναίοι σχηματισμοί Καλογρέζας – Πικερμίου ορατού πάχους 200 m περίπου (ΙΓΜΕ 2002).

2.1.1 Αδρομερείς ποταμολιμναίοι σχηματισμοί των παρυφών της Πάρνηθας και της Πεντέλης

Οι Αδρομερείς ποταμολιμναίοι σχηματισμοί των παρυφών της Πάρνηθας και της Πεντέλης είναι λατυποπαγείς και κροκαλοπαγείς σχηματισμοί στις περιοχές που γειτνιάζουν με τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας και του Πεντελικού, εναλλασσόμενοι με λεπτομερέστερους σχηματισμούς στις απομακρυσμένες από τους όγκους αυτούς περιοχές (ΙΓΜΕ 2002). Κατά θέσεις παρεμβάλλονται ερυθροί πηλοί και μαργαϊκά υλικά καθώς και ενστρώσεις Μαργαϊκών

– Τραβερτινοειδών ασβεστολίθων των οποίων οι μεγάλες εμφανίσεις έχουν διαχωριστεί (ΙΓΜΕ 2002).

2.1.2 Λιμναίοι σχηματισμοί Καλογρέζας – Πικερμίου

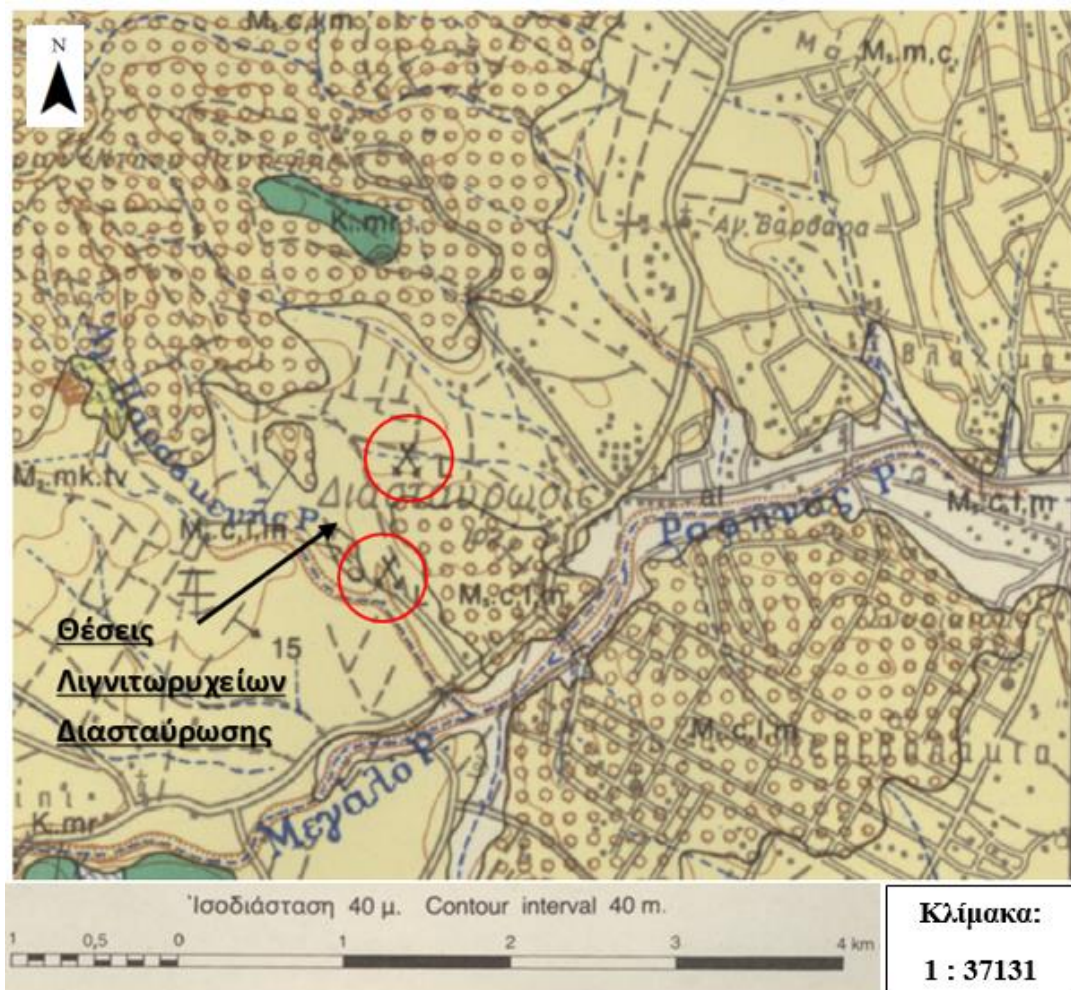
Οι Λιμναίοι σχηματισμοί Καλογρέζας – Πικερμίου χωρίζονται σε αυτούς που επικρατούν στην περιοχή της Καλογρέζας και σε αυτούς που επικρατούν στην περιοχή του Πικερμίου, και περιγράφονται στο φύλλο Κηφισιά του ΙΓΜΕ ως εξής:

- Στην περιοχή της Καλογρέζας συναντάμε κυρίως αποθέσεις από λευκές έως υποκίτρινες μάργες, αμιγείς έως αμμούχες και ερυθρούς πηλούς, με συχνές παρεμβολές κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και αργιλοαμμωδών υλικών (ΙΓΜΕ 2002). Επιπλέον απαντώνται ενστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων μικρού πάχους (ΙΓΜΕ 2002). Στους σχηματισμούς αυτούς υπήρχαν σημαντικά κοιτάσματα λιγνιτών, τα οποία κατά το παρελθόν έτυχαν έντονης εξόρυξης (ΙΓΜΕ 2002). Στο βορειοανατολικό τμήμα των σχηματισμών αυτών, παρατηρείται βαθμιαία αύξηση των κλαστικών υλικών και τελικά αυτοί περνούν πλευρικά στους Αδρομερείς σχηματισμούς της νοτιοδυτικής παρυφής του Πεντελικού (ΙΓΜΕ 2002). Αντίθετα προς τα νότια, η παρουσία κλαστικών υλικών σ' αυτούς είναι μικρή, με αποτέλεσμα, οι γενικά λεπτομερείς αυτές αποθέσεις της περιοχής Καλογρέζας να φθάνουν μέχρι και τις παρυφές των λόφων Γαλατσίου-Φιλοθέης. (ΙΓΜΕ 2002)
- Στην περιοχή του Πικερμίου οι λιμναίοι σχηματισμοί αποτελούν τμήμα της λιμναίας λεκάνης των Μεσογείων καθώς και την προς τα ανατολικά προέκταση των Λιμναίων σχηματισμών της Καλογρέζας (ΙΓΜΕ 2002). Είναι κυρίως μάργες, αμιγείς ή αμμούχες, άργιλοι και καστανέρυθροι πηλοί, με παρεμβολές ψαμμιτών και κροκαλοπαγών (ΙΓΜΕ 2002). Επίσης συχνά απαντώνται ενστρώσεις Μαργαϊκών-Τραβερτινοειδών Ασβεστολίθων, συνήθως λατυποπαγών, οι μεγαλύτερες των οποίων έχουν διαχωριστεί (ΙΓΜΕ 2002). Τα βαθύτερα μέλη των σχηματισμών αυτών στην περιοχή της Ραφήνας εγκλείουν λιγνιτικά κοιτάσματα, τα οποία παλαιότερα έτυχαν εκτεταμένης εξόρυξης (ΙΓΜΕ 2002).

2.2 Λιγνιτωρυχεία Διασταύρωσης

Τα λιγνιτωρυχεία της διασταύρωσης στην περιοχή της Ραφήνας λειτούργησαν περίπου από το 1910 έως το 1960. Η έναρξη της εξόρυξης λιγνίτη και στην περιοχή της Ραφήνας, εκτός από άλλες περιοχές, ήταν αναγκαία στις αρχές του 20ου αιώνα λόγω των αυξημένων απαιτήσεων σε ενεργειακές πρώτες ύλες, που είχαν δημιουργηθεί λόγω του Α' παγκοσμίου πολέμου (Έκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Ο πρώτος επιχειρηματίας που ξεκίνησε την εξόρυξη του λιγνίτη το 1916 στην περιοχή ήταν ο Γ. Γρώμμαν (Έκθεση ιστορικής μνήμης

1916-2011 2018). Ο Γρόμμαν ήταν ήδη έμπειρος από τα ανθρακωρυχεία της Κύμης και από τα μεταλλωρυχεία της Σερίφου, και έτσι αποφάσισε να εκμεταλλευτεί και το κοιτάσμα της Διασταύρωσης Ραφήνας (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Έπειτα από περίπου 15 χρόνια λειτουργίας των ορυχείων, το 1930 ανακαλύφθηκε ένα μεγαλύτερο κοιτάσμα στην περιοχή και έτσι τα έργα μεγάλωσαν και εξελίχθηκαν, με αποτέλεσμα να προσελκύουν ολοένα και περισσότερο εργατικό δυναμικό (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Στην επέκταση των έργων στην Διασταύρωση Ραφήνας δούλεψαν διάφορες μικρές εταιρίες αλλά η κυρίαρχη εταιρία εκμετάλλευσης ήταν η εταιρία Μ. Λεκανίδης και Σια (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018).



Εικόνα 2.4: Θέση λιγνιτωρυχείων Διασταύρωσης στον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ στο φύλλο ΚΗΦΙΣΙΑ

Όσο αφορά το κοιτάσμα και την γεωλογία του, το πάχος των στρώσεων του λιγνίτη ήταν περίπου 2 m και ενδιάμεσά τους υπήρχαν ενστρώσεις πηλού (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Η εξόρυξη του λιγνίτη γινόταν υπόγεια με αποτέλεσμα να μην ενοχλεί τους καλοκαιρινούς παραθεριστές που επισκέπτονταν την περιοχή. Ο εντοπισμός του κοιτάσματος γινόταν με διάνοιξη πηγαδιών-φρεάτων, τα οποία στην συνέχεια μετα την ανάπτυξη του

ορυχείου εξυπηρετούσαν τον αερισμό των στοών ή μετατρέπονταν σε εξόδους ή εισόδους των εργατών ή και του λιγνίτη (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Όταν το κοιτάσμα είχε αξιόλογο μέγεθος και πάχος, διανοίγονταν γαλαρίες που ξεκινούσαν από την επιφάνεια του εδάφους και με καθοδική κλίση έφταναν στο επίπεδο του κοιτάσματος (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Από την γαλαρία-στοά προσπέλασης ή από το κατώτερο σημείο του πηγαδιού-φρέατος προσπέλασης, διανοιγόταν η κεντρική στοά εκμετάλλευσης από την οποία στην συνέχεια ξεκινούσαν άλλες εγκάρσιες στοές με σκοπό την δημιουργία ενός πλήρους δικτύου υπόγειων στοών απ' όπου θα εξοριζόταν σχεδόν όλο το κοιτάσμα του λιγνίτη (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Στα πρώτα χρόνια λειτουργίας των λιγνιτωρυχείων ο λιγνίτης μετά την εξόρυξή του από τις υπόγειες στοές μεταφερόταν με βαγονέτα μέχρι την ακτή από όπου μεταφορτωνόταν σε καΐκια, ενώ μετά το 1930 η μεταφορά του γινόταν πλέον με φορτηγά και αυτοκίνητα μέχρι το λιμάνι (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018).

Το έδαφος στα ορυχεία ήταν μαλακό, άρα εύκολα καταρεύσιμο, και γι' αυτό η υποστήριξη των υπόγειων στοών γινόταν με επένδυση από ξύλινες κάσες, τις οποίες στήριζαν ειδικά διαμορφωμένοι κορμοί δέντρων (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Μετά την ολοκλήρωση της εξόρυξης οι κάσες και οι ράγες ξηλώνονταν ώστε να απολειφθεί ο λιγνίτης ανάμεσα στις στοές (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να καταρρέουν οι στοές και έτσι να δημιουργούνται επιφανειακές καθιζήσεις.

Οι συνθήκες εργασίας στα λιγνιτωρυχεία της Διασταύρωσης ήταν αντίξοες όπως και σε όλα τα ορυχεία της εποχής. Παρόλα τα ατυχήματα και τους τραυματισμούς που υπήρχαν κατά καιρούς, το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των ορυχείων της Ραφήνας ήταν ότι τα υπερκείμενα των στοών ήταν μαλακά εδάφη και ταυτόχρονα μικρά σε ύψος, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει μεγάλος κίνδυνος θανατηφόρων ατυχημάτων ακόμα και στην περίπτωση κατάρρευσης της οροφής των στοών (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Οι εργάτες τα πρώτα χρόνια συχνά δούλευαν από πολύ πρωί έως την δύση του ήλιου, και ενώ επί της δικτατορίας του Μεταξά που καθιερώθηκε το οκτάωρο, η εξόρυξη γινόταν σε μια βάρδια, κατά την περίοδο της Κατοχής των Γερμανών οι βάρδιες αυξήθηκαν σε τρεις (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Τα βασικότερα εργαλεία των εργατών τα οποία και φτιάχνονταν στο μηχανουργείο των εγκαταστάσεων (κάποια από αυτά φαίνονται στην Εικόνα 2.5 παρακάτω) ήταν το σφυρί, ο κασμάς, το σκεπάρνι, το τρυπάνι και το κολλητήρι, ενώ ο φωτισμός των στοών γινόταν με λάμπες ασετιλίνης (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Οι γυναίκες εργάτριες δούλευαν στις επίγειες εργασίες διαλογής του λιγνίτη από τον πηλό, τα χώματα και τις λάσπες, που γινόταν με βοήθεια μικρών σφυριών (Εκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Το διαλεγμένο υλικό το μετέφεραν με ζεμπιλια στα φορτηγά ή αργότερα το έριχναν σε τσιμεντένια

χωνιά τα οποία κατέληγαν κατευθείαν στην καρότσα κάθε φορτηγού (Έκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Μετά τον Α΄ Παγκόσμιο Πόλεμο η τεχνολογία εξόρυξης εξυγχορονίστηκε με την χρήση ηλεκτρικών τρυπανιών και με την γενικότερη ηλεκτροδότηση των έργων (Έκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την αναβάθμιση της διαβίωσης των εργατών και την αύξηση του πληθυσμού του οικισμού της Διασταύρωσης (Έκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018).



Εικόνα 2.5: Εργαλεία που χρησιμοποιούσαν οι εργαζόμενοι στα λιγνιτωρυχεία Διασταύρωσης (πηγή: (Έκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018))

Οι εργαζόμενοι στα λιγνιτωρυχεία της Διασταύρωσης Ραφήνας ήταν εσωτερικοί μετανάστες, από την Σέριφο, την Ήπειρο, την Κρήτη και την Κω, αλλά κυρίως προέρχονταν από χωριά της Κύμης Ευβοίας απ' όπου οι εργάτες είχαν πολλές γνώσεις για την εξόρυξη τις οποίες μετέφεραν και μεταλαμπάδευσαν στους υπόλοιπους (Έκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Η εταιρία Μ Λεκανίδης έχτισε κάποια σπίτια για τους εργάτες κοντά στα εργοτάξια, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός μικρού οικισμού (Έκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018). Οι κάτοικοι έφεραν μαζί τους τα πολιτισμικά χαρακτηριστικά των ιδιαίτερων πατρίδων τους ο καθένας, όμως η σημαντικότερη γιορτή για όλους ήταν το τριήμερο πανηγύρι της Αγίας Βαρβάρας, προστάτιδας των λιγνιτωρύχων, προς τιμήν της οποίας υπάρχει μέχρι και σήμερα ένα εκκλησάκι στο πλάι της Λεωφόρου Μαραθώνος (Έκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011 2018).

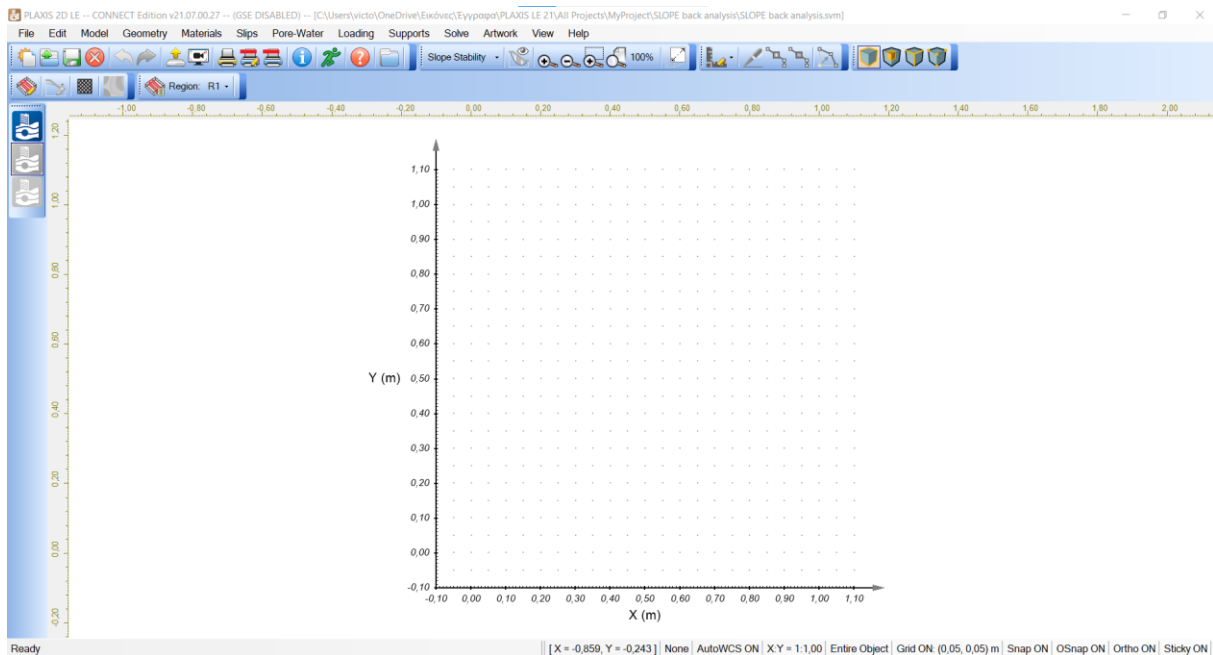
3. Το λογισμικό PLAXIS 2D LE

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά λειτουργίας του λογισμικού PLAXIS 2D LE. Πιο συγκεκριμένα περιγράφονται τα βήματα σύμφωνα με τον οδηγό χρήσης του προγράμματος που πρέπει να ακολουθούνται κατά την δημιουργία ενός μοντέλου ευστάθειας πρανούς.

Για την μοντελοποίηση του πρανούς και την ανάστροφη ανάλυση της κατολίσθησης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή PLAXIS 2D LE της BENTLEY και συγκεκριμένα η έκδοση PLAXIS LE CONNECT x64(SES) Update 7. Το εν λόγω πρόγραμμα είναι ένα πρόγραμμα δυσδιάστατης γεωτεχνικής ανάλυσης που χρησιμοποιεί την μέθοδο της οριακής ισορροπίας (limit equilibrium method) για την ανάλυση ενός προβλήματος ευστάθειας πρανούς.

Τα βασικά βήματα, σύμφωνα με τον οδηγό χρήσης του προγράμματος (PLAXIS LE Help Manual 2022), που πρέπει να ακολουθούνται κατά την δημιουργία ενός μοντέλου ευστάθειας πρανούς στο πρόγραμμα PLAXIS 2D LE, είναι τα εξής:

- (1) Δημιουργία ενός νέου μοντέλου-αρχείου
- (2) Καθορισμός των χαρακτηριστικών του μοντέλου
- (3) Εισαγωγή της γεωμετρίας του πρανούς
- (4) Καθορισμός των ιδιοτήτων των γεωυλικών από τα οποία αποτελείται το πρανές
- (5) Καθορισμός των χαρακτηριστικών της επιφάνειας ολίσθησης
- (6) Εισαγωγή του υδροφόρου ορίζοντα
- (7) Εισαγωγή των εξωτερικών φορτίων ή των σεισμικών φορτίων που δρουν στο πρανές
- (8) Εισαγωγή στοιχείων υποστήριξης του πρανούς αν υπάρχουν
- (9) Ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς και εμφάνιση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης



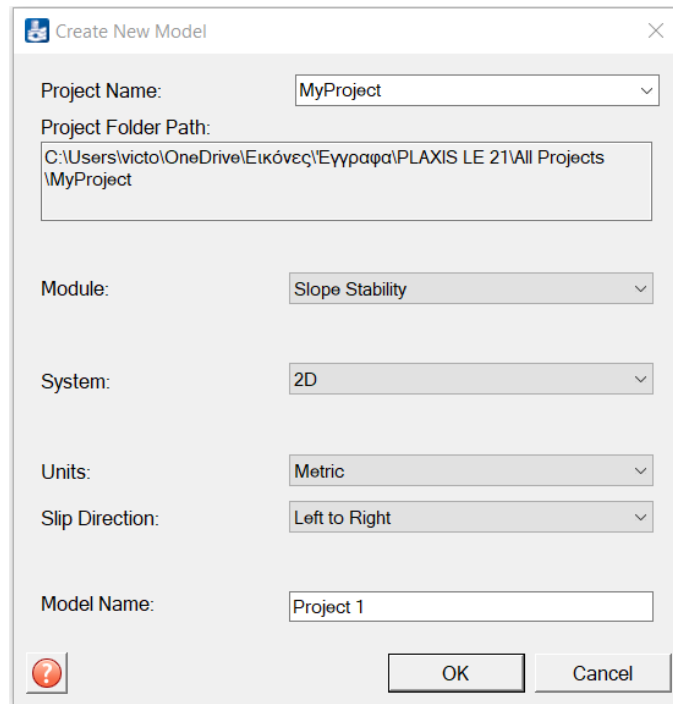
Εικόνα 3.1: Το περιβάλλον εργασίας-σχεδίασης του λογισμικού PLAXIS 2D LE

Ακολουθώντας τα παραπάνω βήματα με την σειρά που αναφέρονται μπορεί εύκολα να δημιουργηθεί το προσομοίωμα του προς ανάλυση πρανούς.

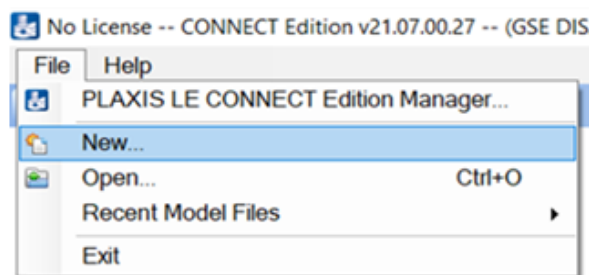
Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί η περιγραφή των βημάτων που ακολουθούνται για την δημιουργία του προσομοιώματος ενός πρανούς και όπου κρίνεται απαραίτητο δίνονται περεταίρω διευκρινήσεις όσο αφορά το μοντέλο ανάλυσης του υπό εξέταση πρανούς στον Νέο Βουτζά Αττικής.

3.1 Δημιουργία νέου μοντέλου και καθορισμός των χαρακτηριστικών του

Το πρώτο βήμα για την σχεδίαση του μοντέλου στο PLAXIS 2D LE είναι η δημιουργία ενός νέου αρχείου μέσω της καρτέλας file που βρίσκεται στην menu bar του περιβάλλοντος εργασίας του λογισμικού. Έπειτα ακολουθεί ο καθορισμός του ονόματος του αρχείου, του συστήματος των μονάδων μέτρησης (Metric ή Imperial) και της κατεύθυνσης της επιφάνειας ολίσθησης (Left to Right ή Right to Left), στην καρτέλα Create New Model που εμφανίζεται στην οθόνη. Για την δημιουργία του προσομοιώματος της ανάστροφης ανάλυσης του πρανούς στον Νέο Βουτζά επιλέχθηκε κατεύθυνση της επιφάνειας ολίσθησης Right to Left, μετρικό σύστημα μονάδων μέτρησης και το αρχείο ονομάστηκε ‘New Boujas back analysis’.

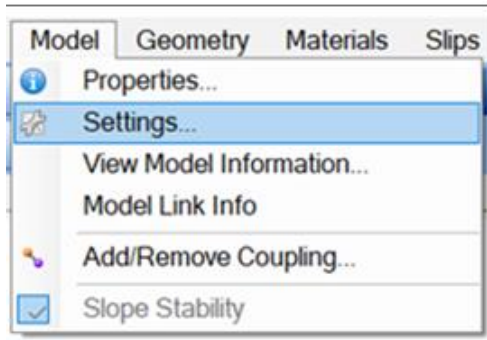


Εικόνα 3.2: Ονομασία νέου μοντέλου, καθορισμός των μονάδων μέτρησης και της κατεύθυνσης της επιφάνειας αστοχίας

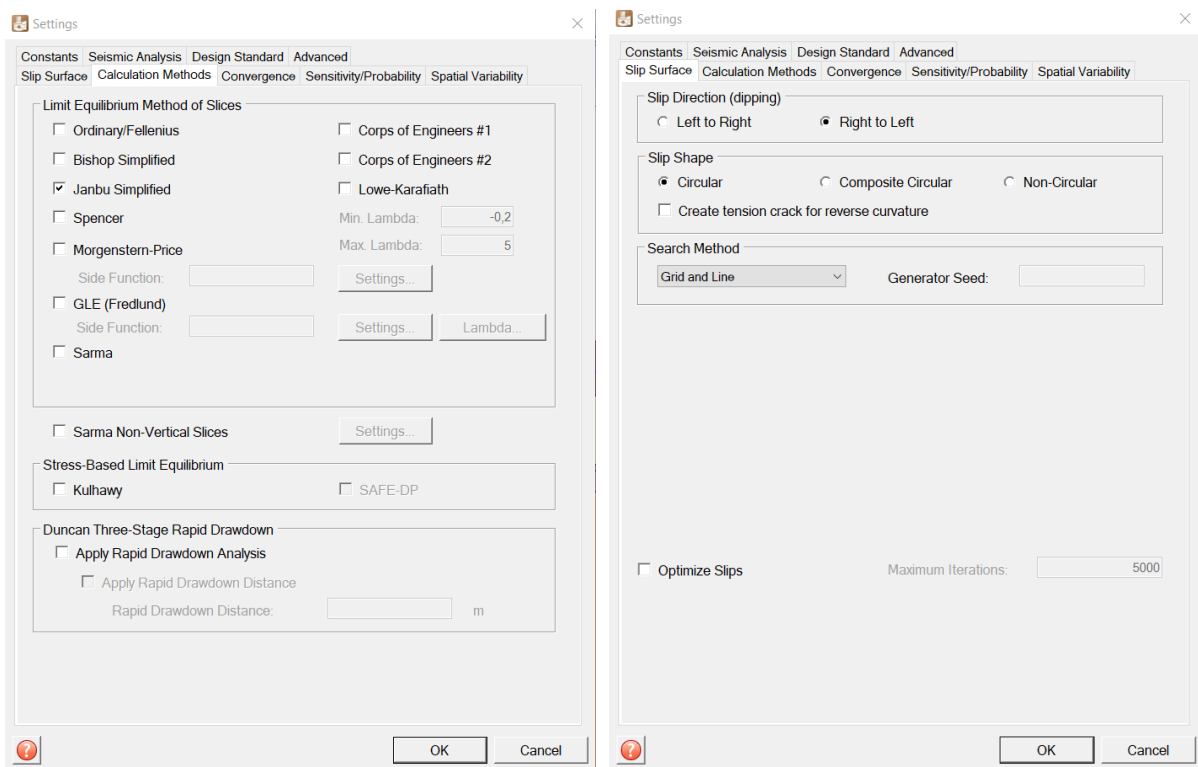


Εικόνα 3.3: Δημιουργία νέου αρχείου στο PLAXIS LE

Το δεύτερο βήμα για την σχεδίαση του μοντέλου στο PLAXIS 2D LE είναι ο καθορισμός των χαρακτηριστικών του προσομοιώματος. Από την καρτέλα Model που βρίσκεται στην menu bar του λογισμικού, και συγκεκριμένα από την επιλογή settings, καθορίζονται ο τρόπος υπολογισμού της επιφάνειας ολίσθησης του πρανούς και η μέθοδος υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας. Πιο συγκεκριμένα για το μοντέλο της ανάστροφης ανάλυσης του πρανούς στον Νέο Βουτζά επιλέχθηκε στην καρτέλα Slip Surface η κατεύθυνση της επιφάνειας ολίσθησης να είναι από δεξιά προς τα αριστερά, η επιφάνεια ολίσθησης να είναι κυκλική και η μέθοδος εύρεσής της να είναι η μέθοδος 'Grid and line'. Επίσης στην καρτέλα Calculation Methods επιλέχθηκε η μέθοδος Jambu Simplified για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας κατά την ανάλυση ευστάθειας του πρανούς.



Εικόνα 3.4: Καρτέλα ρύθμισης των χαρακτηριστικών του μοντέλου



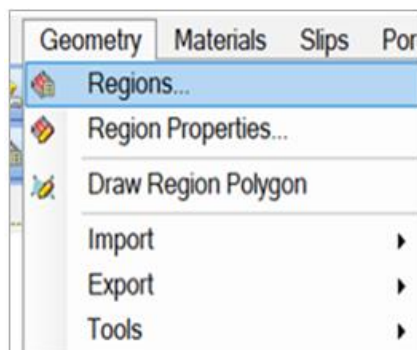
Εικόνα 3.5: Καθορισμός της μεθόδου υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας του πρανούς (αριστερά) και ρυθμίσεις του τρόπου εύρεσης επιφάνειας αστοχίας (δεξιά)

Αφού καθοριστούν τα χαρακτηριστικά του μοντέλου ανάλυσης, πρέπει να εισαχθεί η γεωμετρία του πρανούς.

3.2 Εισαγωγή της γεωμετρίας του πρανούς

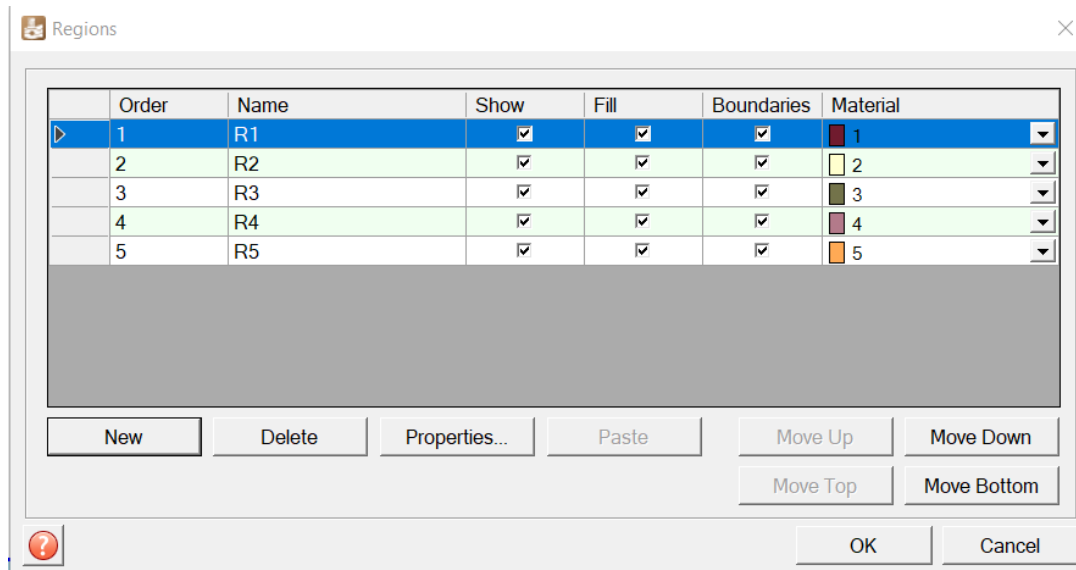
Η γεωμετρία του δισδιάστατου μοντέλου ορίζεται ως ένα σύνολο περιοχών (Regions) όπου η κάθε περιοχή αποτελείται από ένα διαφορετικό γεωδαιτικό. Οι περιοχές που αποτελούν την γεωμετρία του μοντέλου πρέπει να συνδέονται μεταξύ τους και να μην επικαλύπτονται ώστε το λογισμικό να εξάγει σωστό αποτέλεσμα. Οι επιμέρους περιοχές της γεωμετρίας σχεδιάζονται στην περιοχή σχεδίασης του περιβάλλοντος εργασίας του λογισμικού και μπορούν να διαμορφωθούν είτε με την εισαγωγή των σημείων του κάθε σχήματος από τον χρήστη, είτε με την εισαγωγή στο Plaxis ενός ήδη υπάρχοντος σχήματος (σχεδιασμένο σε άλλο σχεδιαστικό πρόγραμμα) σε μορφή αρχείου dxf. Ο σχεδιασμός της κάθε περιοχής μέσω της εισαγωγής σημείων γίνεται είτε εισάγοντας ο χρήστης ένα-ένα τα σημεία με τις συντεταγμένες τους, είτε εισάγοντας σε έναν πίνακα όλες τις συντεταγμένες των σημείων που ορίζουν μια περιοχή.

Κατά την δημιουργία του προσομοιώματος για την ανάστροφη ανάλυση του πρανούς στον Νέο Βουτζά επιλέχθηκε ο σχεδιασμός της γεωμετρίας να γίνει με εισαγωγή όλων των σημείων της κάθε ξεχωριστής περιοχής, σε πίνακες. Για να γίνει αυτό, επιλέγεται στην γραμμή του menu η καρτέλα Geometry και έπειτα το Regions.

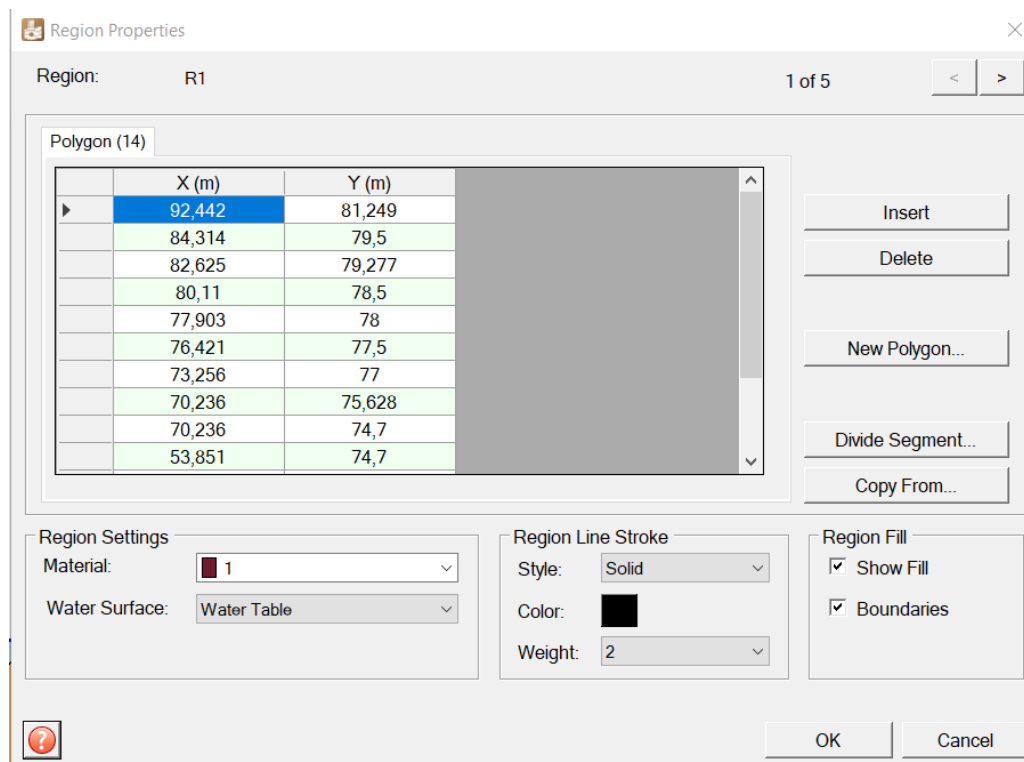


Εικόνα 3.6: Δημιουργία της γεωμετρίας του προς ανάλυση πρανούς

Στην καρτέλα που εμφανίζεται, από το κουμπί new εισάγονται όσες περιοχές είναι απαραίτητες και έπειτα ονομάζονται. Για το μοντέλο της ανάστροφης ανάλυσης του πρανούς στον Νέο Βουτζά επιλέχθηκαν συνολικά πέντε περιοχές και ονομάστηκαν ως R1, R2, R3, R4, και R5 όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.7 παρακάτω. Στην συνέχεια με την επιλογή μιας περιοχής και από το κουμπί Properties, στην καρτέλα που εμφανίζεται μπορούν να εισαχθούν σε έναν πίνακα οι συντεταγμένες όλων των σημείων από τα οποία αποτελείται η εν λόγω περιοχή της γεωμετρίας του μοντέλου. Αυτό το βήμα πραγματοποιείται για τον σχεδιασμό κάθε μίας περιοχής.



Εικόνα 3.7: Οι περιοχές από τις οποίες αποτελείται το προσομοίωμα του προς εξέταση πρανές στον Νέο Βουτζά

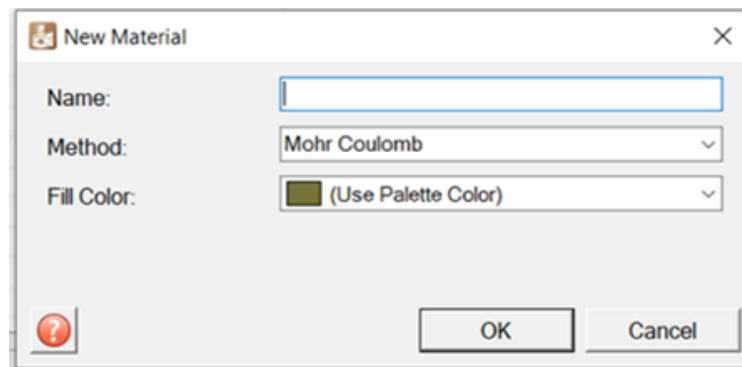


Εικόνα 3.8: Παράδειγμα (για την περιοχή R1) του τρόπου εισαγωγής των συντεταγμένων των σημείων που ορίζουν μια περιοχή (region) στο PLAXIS LE

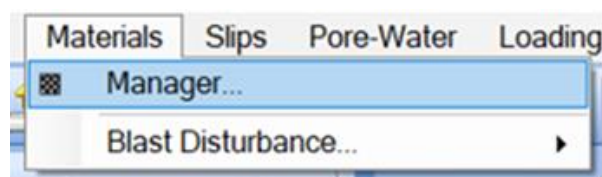
Αφού σχεδιαστούν όλες οι περιοχές της γεωμετρίας, το επόμενο βήμα στον σχεδιασμό του μοντέλου είναι ο καθορισμός των ιδιοτήτων των γεωλικών που θα υπάρχουν στο προσομοίωμα και ο καθορισμός του γεωλικού που θα έχει η κάθε περιοχή (region) της γεωμετρίας.

3.3 Καθορισμός των ιδιοτήτων των γεωυλικών από τα οποία αποτελείται το πρανές

Ένα από τα σημαντικότερα βήματα είναι ο σωστός καθορισμός των ιδιοτήτων των γεωυλικών, εδαφικών ή βραχωδών, τα οποία δομούν το προς ανάλυση πρανές. Αυτό το βήμα πραγματοποιείται από την καρτέλα Materials της γραμμής του menu του λογισμικού και μέσω της επιλογής Manager. Στην καρτέλα που εμφανίζεται, από το κουμπί new μπορούν να εισαχθούν όσα διαφορετικά γεωυλικά είναι απαραίτητα για την σχεδίαση του μοντέλου. Στην καρτέλα new material που εμφανίζεται, ονομάζεται το γεωυλικό, ορίζεται το χρώμα εμφάνισης του στην οθόνη και τέλος ορίζεται το κριτήριο με το οποίο υπολογίζεται η διατμητική του αντοχή.



Εικόνα 3.9: Ονομασία γεωυλικού και καθορισμός του χρώματος και του τρόπου υπολογισμού της διατμητικής αντοχής του



Εικόνα 3.10: Καρτέλα εισαγωγής και ελέγχου των γεωυλικών που αποτελούν το μοντέλο στο PLAXIS LE

Κατά την δημιουργία του μοντέλου για την ανάστροφη ανάλυση του πρανούς στον Νέο Βουτζά επιλέχθηκαν πέντε γεωυλικά με ονόματα και χρώματα εμφάνισης που φαίνονται στην Εικόνα 3.11 παρακάτω. Και για τα πέντε υλικά επιλέχθηκε το κριτήριο Mohr Coulomb ως κριτήριο υπολογισμού της διατμητικής αντοχής τους καθώς όλα τα γεωυλικά είναι εδαφικά υλικά.

Material Name	Category	Method	Parameters	Applied
1	Soil - Drai..	Mohr Coulomb	Cohesion = 10 (kPa), Phi = 13 (deg), Unit Weight = 20 (kN/m...	1 Regions
2	Soil - Drai..	Mohr Coulomb	Cohesion = 8 (kPa), Phi = 24 (deg), Unit Weight = 22 (kN/m^3)	1 Regions
3	Soil - Drai..	Mohr Coulomb	Cohesion = 25 (kPa), Phi = 18 (deg), Unit Weight = 18,5 (kN/...	1 Regions
4	Soil - Drai..	Mohr Coulomb	Cohesion = 22 (kPa), Phi = 12 (deg), Unit Weight = 18,5 (kN/...	1 Regions
5	Soil - Drai..	Mohr Coulomb	Cohesion = 22 (kPa), Phi = 25 (deg), Unit Weight = 20,5 (kN/...	1 Regions

Εικόνα 3.11: Τα πέντε εδαφικά υλικά που δομούν το πρανές

Material Properties: Mohr Coulomb

Name: 1 Fill: Warm Red

Shear Strength Water Parameters

Strength Parameters

Cohesion: 10 kPa

Friction Angle, phi: 13 deg PI...

Apply Rapid Drawdown

Total Strength Parameters

Cohesion, cT: kPa

Friction Angle, phiT: deg PI...

Unit Weight: 20,000 kN/m³

Unit Weight Above WT: kN/m³

Above Water Surface Use Strength: [dropdown]

OK Cancel

Εικόνα 3.12: Καθορισμός των παραμέτρων αντοχής κάθε εδαφικού υλικού (παράδειγμα για τον εδαφικό σχηματισμό [1])

Αφού επιλεγούν όλα τα γεωυλικά, στην συνέχεια ορίζεται από ποιο υλικό θα αποτελείται η κάθε περιοχή της γεωμετρίας. Συγκεκριμένα για την ανάστροφη ανάλυση του πρανούς στον Νέο Βουτζά η επιλογή έγινε όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

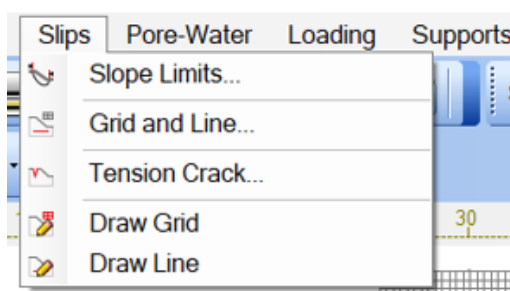
Πίνακας 1: Καθορισμός γεωυλικών που δομούν την κάθε περιοχή της γεωμετρίας του μοντέλου

Όνομα περιοχής	Όνομα γεωυλικού που αποτελείται η περιοχή
R1	[1]
R2	[2]
R3	[3]
R4	[4]
R5	[5]

3.4 Καθορισμός των χαρακτηριστικών της επιφάνειας ολίσθησης

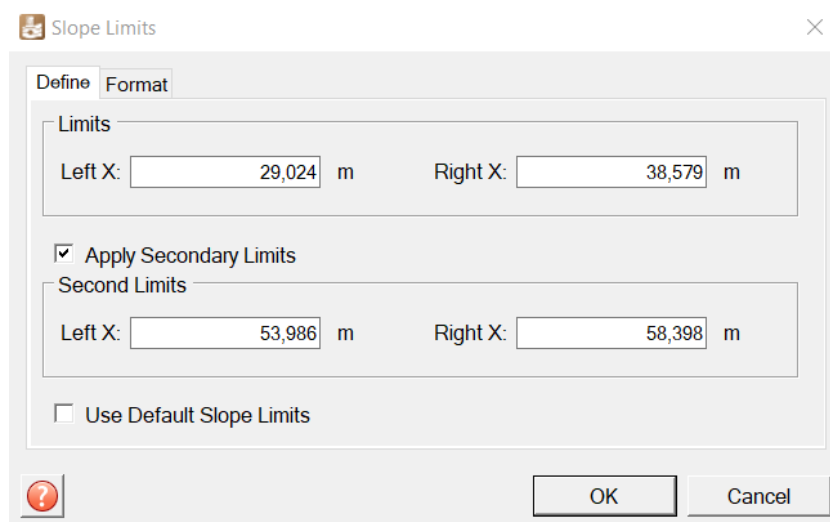
Στο πρώτο βήμα όπου καθορίζονται τα χαρακτηριστικά του μοντέλου του προς ανάλυση πρανού, επιλέγεται η μέθοδος ‘Grid and Line’ για την εύρεση της επιφάνειας αστοχίας. Αυτή επιλέχθηκε να είναι τόξο κύκλου. Ανάλογα με την επιλογή της μεθόδου εύρεσης της επιφάνειας αστοχίας που έχει γίνει στο πρώτο βήμα από τον χρήστη, εμφανίζονται διαφορετικές επιλογές στην καρτέλα Slips στην menu bar της επιφάνειας εργασίας του Plaxis LE. Στην περίπτωση επιλογής της μεθόδου ‘Grid and Line’, από το λογισμικό δίνονται οι εξής δυνατότητες:

- Μετακίνηση των ορίων έναρξης και τέλους της επιφάνειας αστοχίας εντός της γεωμετρίας του πρανού
- Εισαγωγή ενός κανάβου με όσους κόμβους είναι απαραίτητοι
- Εισαγωγή μιας γραμμής απ’ όπου θα διέρχεται η επιφάνεια αστοχίας
- Εισαγωγή μιας εφελκυστικής ρωγμής

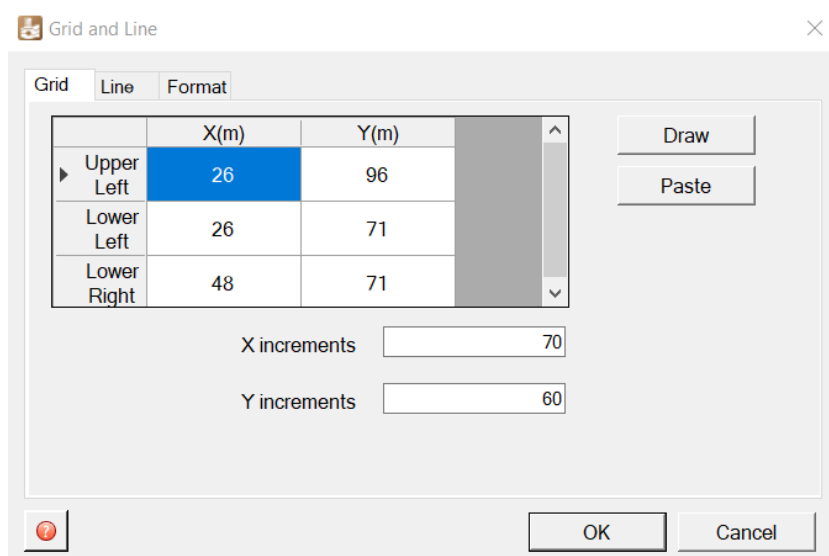


Εικόνα 3.13: Καρτέλα εισαγωγής των εργαλείων για την εύρεση της επιφάνειας αστοχίας

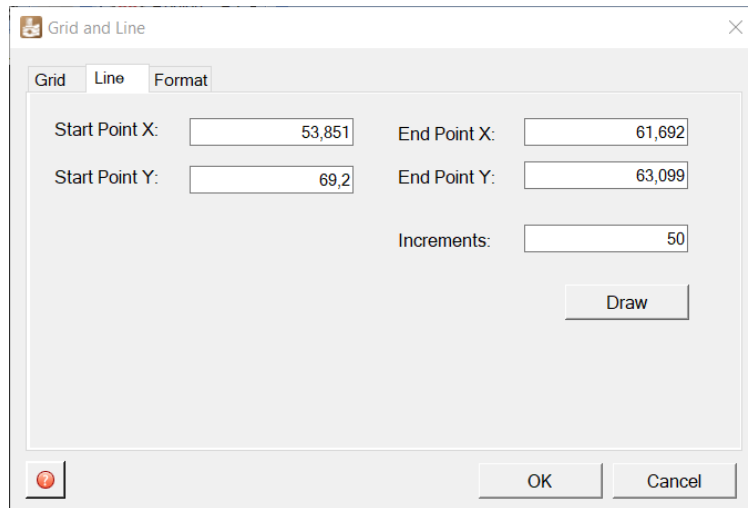
Οι ακριβείς επιλογές που έγιναν για την σχεδίαση του μοντέλου για την ανάστροφη ανάλυση του πρανούς στον Νέο Βουτζά φαίνονται στις εικόνες 3.14, 3.15 και 3.16 παρακάτω, ενώ η αιτιολόγηση των επιλογών αυτών παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 4 όπου γίνεται η αναλυτική παρουσίαση της ανάστροφης ανάλυσης της κατολίσθησης.



Εικόνα 3.14: Καθορισμός των περιοχών εισαγωγής και εξαγωγής της επιφάνειας ολίσθησης



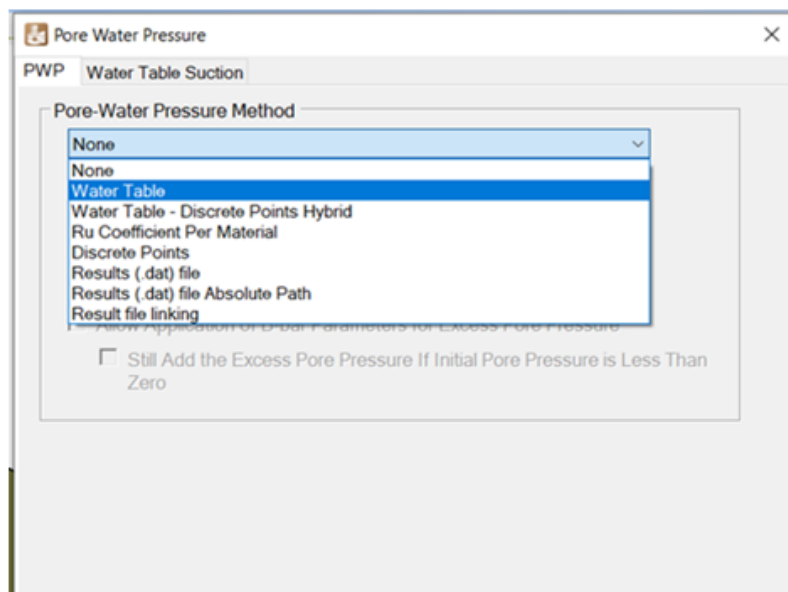
Εικόνα 3.15: Καθορισμός της θέσης του κανάβου και του αριθμού των κόμβων που τον αποτελούν



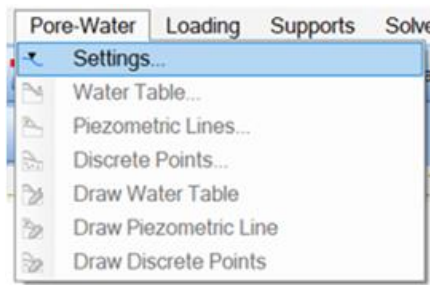
Εικόνα 3.16: Καθορισμός της θέσης της γραμμής απ' όπου θα διέρχεται η επιφάνεια ολίσθησης

3.5 Εισαγωγή του υδροφόρου ορίζοντα

Επόμενο βήμα για την ολοκλήρωση του μοντέλου είναι ο καθορισμός της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Αυτό γίνεται μέσω της καρτέλας Pore-Water στην γραμμή menu της επιφάνειας εργασίας του λογισμικού. Μέσω αυτής της καρτέλας από τις ρυθμίσεις γίνεται η επιλογή της μεθόδου εισαγωγής της πίεσης του νερού των πόρων. Με την επιλογή της μεθόδου Water Table ο χρήστης από το Water Table στην καρτέλα Pore-Water στην γραμμή menu, έχει την δυνατότητα είτε να σχεδιάσει με το ποντίκι του την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, είτε να εισάγει σε έναν πίνακα όλα τα σημεία της στάθμης του ΥΟ.

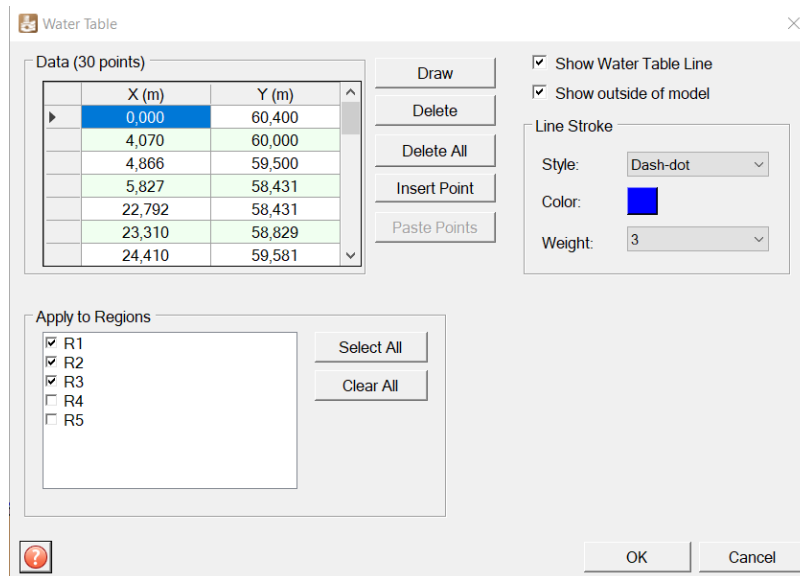


Εικόνα 3.17: Επιλογή τρόπου εισαγωγής της πίεσης του νερού των πόρων στο προσομοίωμα στο PLAXIS LE



Εικόνα 3.18: Καρτέλα εισαγωγής του υδροφόρου ορίζοντα στο PLAXIS LE

Για την δημιουργία του μοντέλου για την ανάστροφη ανάλυση της κατολίσθησης στον Νέο Βουτζά επιλέχθηκε η μέθοδος Water Table και κάποια από τα σημεία της στάθμης του Υ.Ο φαίνονται στην Εικόνα 3.19 παρακάτω. Η αναλυτική περιγραφή των σημείων του υδροφόρου ορίζοντα, καθώς και η αιτιολόγηση της θέσης του, παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4 όπου γίνεται η αναλυτική παρουσίαση της ανάστροφης ανάλυσης της κατολίσθησης.

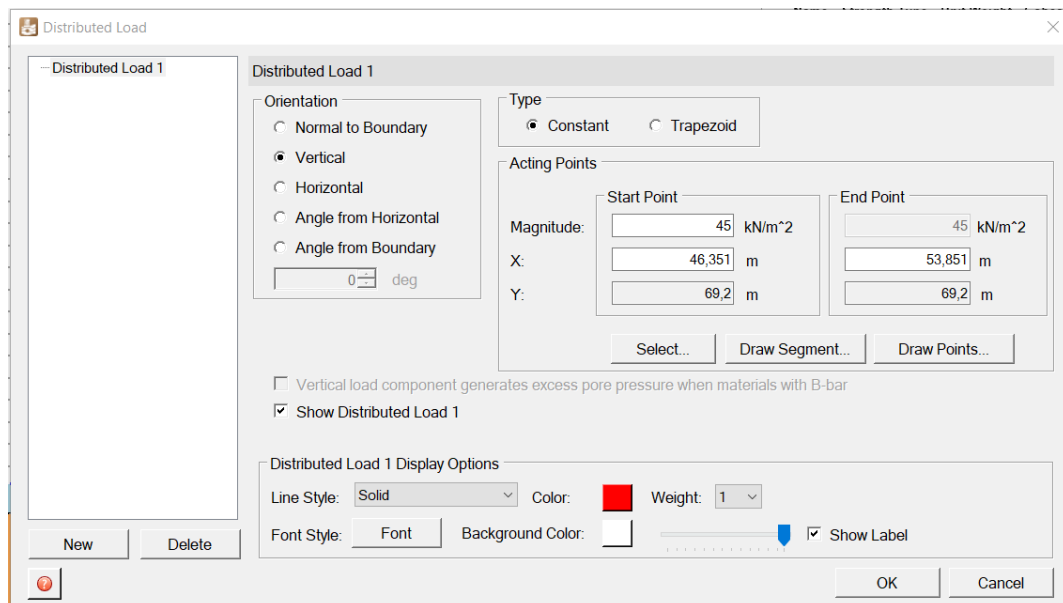


Εικόνα 3.19: Εισαγωγή των σημείων που ορίζουν την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα στο μοντέλο

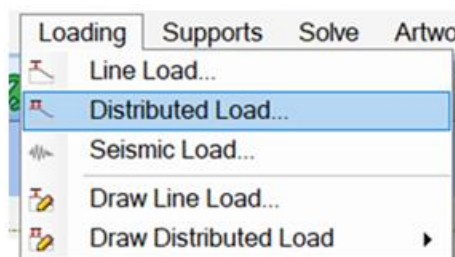
3.6 Εισαγωγή των εξωτερικών φορτίων ή των σεισμικών φορτίων που δρουν στο πρανές

Αφού ολοκληρωθούν όλα τα προηγούμενα βήματα, αν υπάρχουν φορτία που ασκούνται στην επιφάνεια του πρανούς ή σε κάποια άλλη επιφάνεια της γεωμετρίας του μοντέλου, θα πρέπει να εισαχθούν σε αυτό. Το λογισμικό Plaxis 2D LE κάνει ανάλυση σε δύο διαστάσεις και γι' αυτό ο χρήστης μπορεί να εισάγει μόνο είτε γραμμικό είτε καταναμημένο φορτίο. Η εισαγωγή του φορτίου στο προσομοίωμα γίνεται μέσω της καρτέλας Loading που βρίσκεται

στην γραμμή menu της επιφάνειας εργασίας του λογισμικού, είτε με το Line Load αν πρόκειται για γραμμικό φορτίο, είτε με το Distributed Load αν πρόκειται για κατανεμημένο φορτίο. Στην καρτέλα που εμφανίζεται ορίζονται η θέση του φορτίου, το μέγεθός του σε KPa και ο τρόπος επιβολής του στην επιφάνεια που δρα (δηλαδή αν θα είναι κάθετο στην επιφάνεια ή αν θα έχει κάποια κλίση ως προς αυτή κτλ.). Κατά την δημιουργία του προσομοιώματος για την ανάστροφη ανάλυση της κατολίσθησης στον Νέο Βουτζά, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.20 επιλέχθηκε κατανεμημένο φορτίο μεγέθους 45 KPa που δρα κάθετα στην επιφάνεια που τοποθετείται. Οι λεπτομέρειες για την θέση και την επιλογή του μεγέθους του φορτίου παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4 όπου γίνεται η αναλυτική παρουσίαση τις ανάστροφης ανάλυσης της κατολίσθησης.



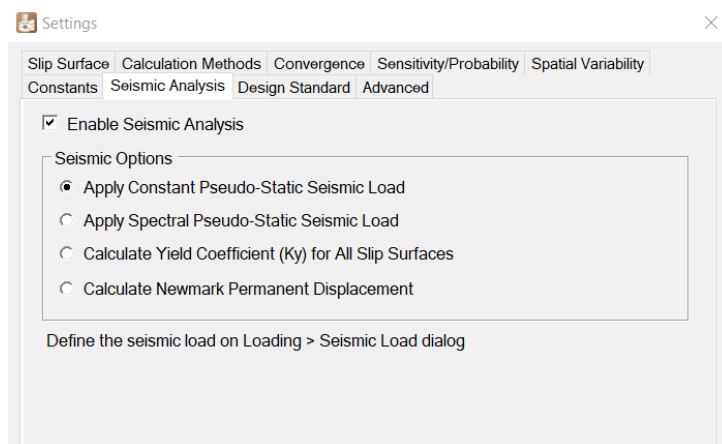
Εικόνα 3.20: Καθορισμός του μεγέθους και της θέσης του κατανεμημένου φορτίου στο προσομοίωμα του πρανούς στον Νέο Βουτζά



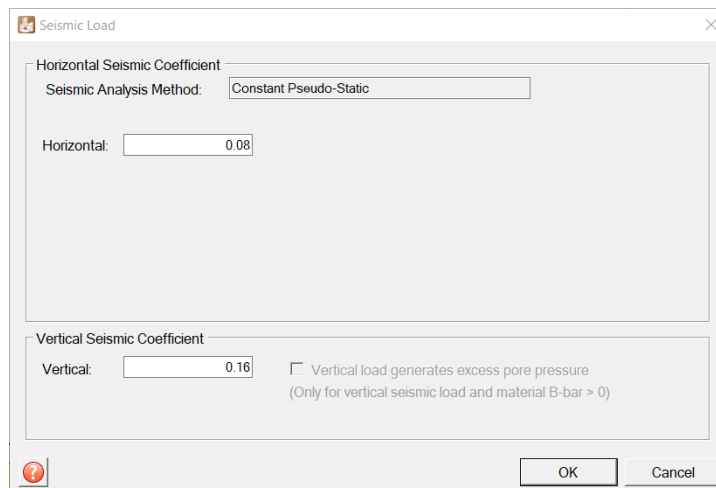
Εικόνα 3.21: Καρτέλα εισαγωγής των φορτίων που δρουν στο μοντέλο

Εκτός από την επιλογή εισαγωγής κατανεμημένου ή γραμμικού φορτίου, στο Plaxis δίνεται η δυνατότητα εισαγωγής σεισμικού φορτίου στην ανάλυση ευστάθειας ενός πρανούς. Αυτό είναι δυνατό αν στις ρυθμίσεις της καρτέλας model επιλεγεί η πραγματοποίηση σεισμικής

ανάλυσης. Έπειτα στην καρτέλα Loading από το Seismic Load εισάγονται οι σεισμικοί συντελεστές για την υλοποίηση της σεισμικής ανάλυσης.



Εικόνα 3.22: Καθορισμός τρόπου εισαγωγής του σεισμικού φορτίου στο μοντέλο

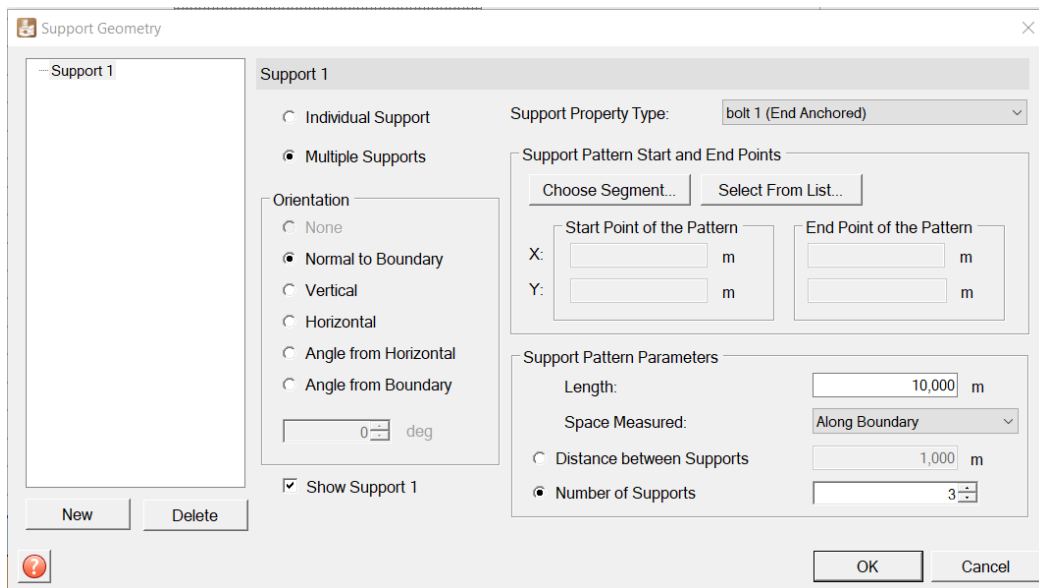


Εικόνα 3.23: Εισαγωγή σεισμικών συντελεστών για την επίλυση του μοντέλου υπό σεισμική φόρτιση

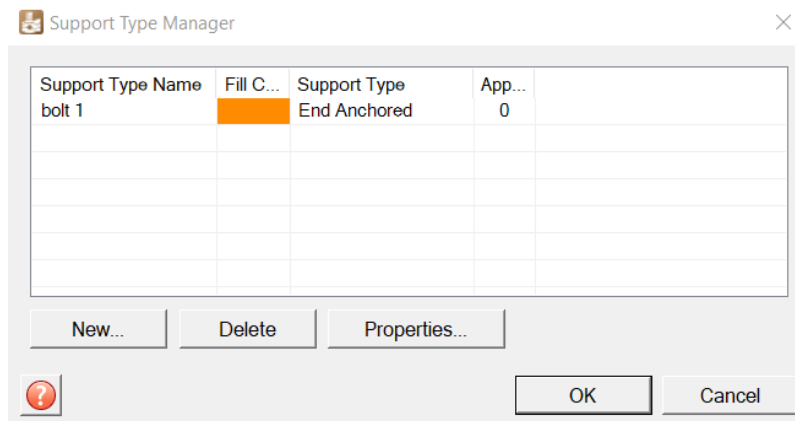
3.7 Εισαγωγή στοιχείων υποστήριξης του πρανούς

Σε περίπτωση που υπάρχει ήδη κάποιου είδους υποστήριξη ή θέλει ο χρήστης να προσθέσει κάποιο στοιχείο υποστήριξης στο πρανές, τότε η εισαγωγή του είναι δυνατή από την καρτέλα supports της γραμμής menu του Plaxis LE. Πρώτα γίνεται η εισαγωγή του τύπου της υποστήριξης από την καρτέλα type manager επιλέγοντας ο χρήστης τον τύπο της υποστήριξης από μια λίστα διαθέσιμων στοιχείων υποστήριξης που δίνονται από το λογισμικό, πατώντας το κουμπί new. Έπειτα ορίζονται οι ιδιότητες του στοιχείου υποστήριξης, πατώντας το κουμπί properties. Για παράδειγμα αν το στοιχείο υποστήριξης είναι ένα αγκύριο, τότε πρέπει να δηλωθεί αν είναι παθητικό ή ενεργητικό αγκύριο και να συμπληρωθεί η εφελκυστική φέρουσα ικανότητά του και η απόσταση των αγκυρίων στην διάσταση εκτός του επιπέδου της ανάλυσης. Τέλος ο χρήστης μέσω της καρτέλας geometry στο supports ορίζει την ποσότητα των όμοιων

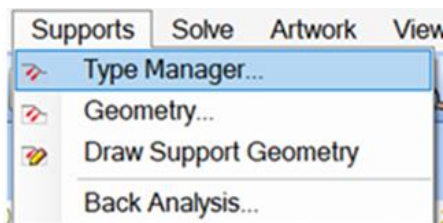
στοιχείων υποστήριξης που θα τοποθετηθούν στο προσομοίωμα, τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά (π.χ το μήκος τους) και την ακριβή θέση τους ή τον κানাβο τοποθέτησης τους.



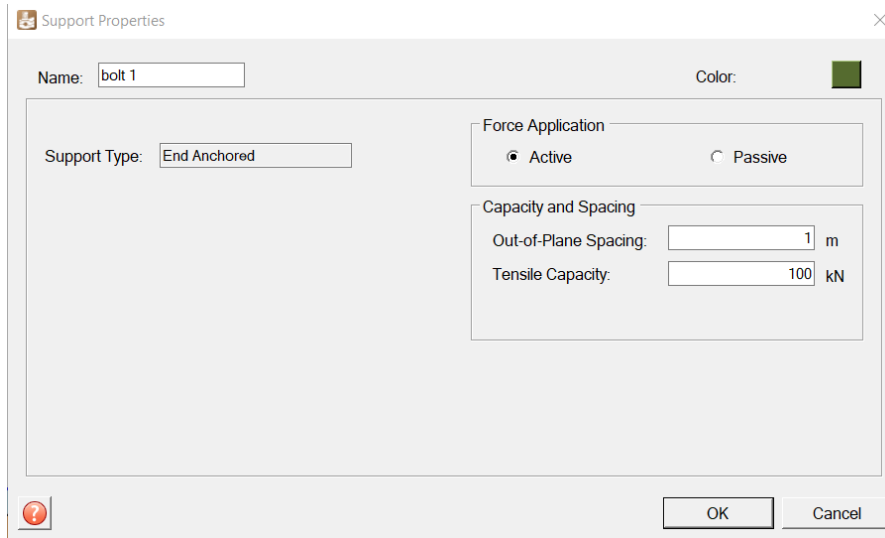
Εικόνα 3.24: Παράδειγμα καθορισμού της θέσης αγκυρίων και της απόστασης μεταξύ τους



Εικόνα 3.25: Ονομασία και ορισμός του είδους του στοιχείου υποστήριξης



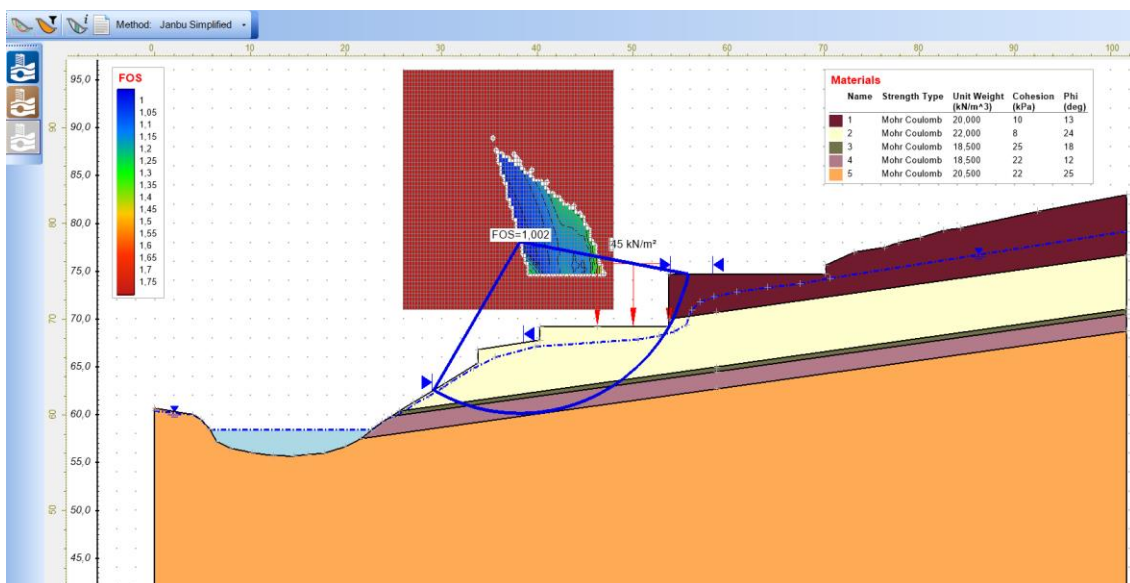
Εικόνα 3.26: Καρτέλα εισαγωγής των στοιχείων υποστήριξης



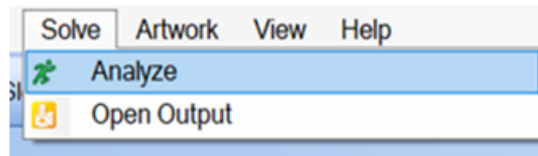
Εικόνα 3.27: Παράδειγμα καθορισμού των χαρακτηριστικών αντοχής ενός αγκυρίου

3.8 Ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς και εμφάνιση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης

Όταν ολοκληρωθεί το προσομοίωμα του προς ανάλυση πρανούς, στην συνέχεια ακολουθεί η πραγματοποίηση της ανάλυσης ευστάθειας και η εύρεση του συντελεστή ασφαλείας του πρανούς. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται από την καρτέλα solve της γραμμής μενου πατώντας το analyze. Αφού το λογισμικό εκτελέσει τους απαραίτητους υπολογισμούς επιτρέπει στον χρήστη να δει τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας πατώντας το open output.

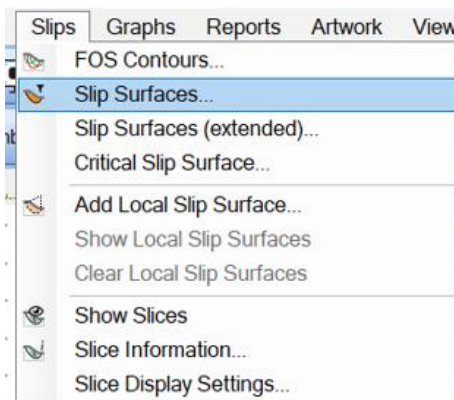


Εικόνα 3.28: Τρόπος εμφάνισης της επιφάνειας ολίσθησης και του συντελεστή ασφαλείας στο output του λογισμικού

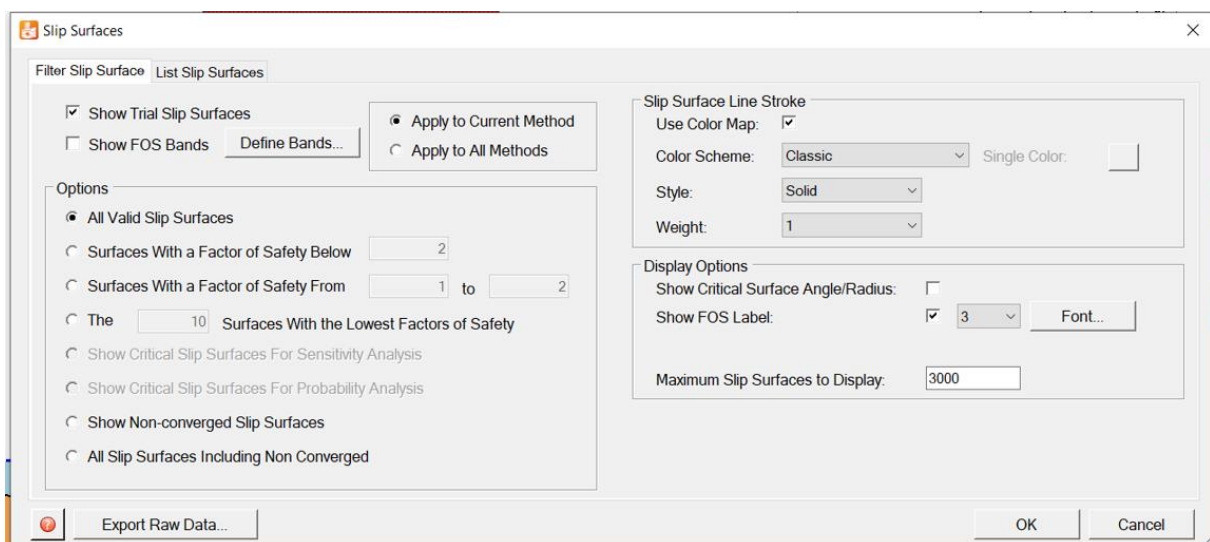


Εικόνα 3.29: Καρτέλα υπολογισμού των αποτελεσμάτων της ανάλυσης ευστάθειας του μοντέλου

Στο Output του προγράμματος παρουσιάζεται η δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας και ο συντελεστής ασφαλείας της. Ο χρήστης έχει επίσης την δυνατότητα να δει όλους τους μηχανισμούς αστοχίας που ελέγχθηκαν από το λογισμικό μαζί με τους συντελεστές ασφαλείας του καθενός. Αυτό γίνεται μέσω της καρτέλας slips στην γραμμή menu της επιφάνειας προβολής των αποτελεσμάτων του προγράμματος.



Εικόνα 3.30: Καρτέλα ελέγχου των αποτελεσμάτων που εμφανίζονται στο output του λογισμικού



Εικόνα 3.31: Επιλογή εμφάνισης όλων των επιφανειών αστοχίας που ελέγχθηκαν από το λογισμικό

4. Διαθέσιμα γεωτεχνικά Δεδομένα και Ανάστροφη ανάλυση της κατολίσθησης

Σε αυτό το κεφάλαιο αρχικά θα παρατεθούν τα διαθέσιμα δεδομένα από τις γεωτεχνικές γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από την εταιρία γεωτεχνικών μελετών ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε, καθώς και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που δομούν το πρηνές που αστόχησε όπως αυτά προέκυψαν από εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα αποτελέσματα και η πορεία της ανάστροφης ανάλυσης της κατολίσθησης όπως αυτή έγινε για την σύνταξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

4.1 Αποτελέσματα γεωτρήσεων και γεωτεχνικές παράμετροι σχηματισμών

Η εταιρία γεωτεχνικών μελετών ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε εκτέλεσε τρεις γεωτρήσεις επί της οδού Καρυωτάκη με σκοπό να ερευνηθούν οι εδαφικές συνθήκες που επικρατούν στο πρηνές που αστόχησε. Οι τρεις γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν στην ίδια ευθεία περίπου, μία μπροστά από κάθε κατοικία, επί της οδού Καρυωτάκη. Δηλαδή η γεώτρηση Γ1 (βάθους 20,26 m) έγινε μπροστά από την πρώτη κατοικία, η οποία είναι διώροφη με δύο υπόγεια, η γεώτρηση Γ2 (βάθους 25,45 m) έγινε μπροστά από την δεύτερη κατοικία, η οποία είναι διώροφη με ένα υπόγειο και η γεώτρηση Γ3 (βάθους 20,65 m) έγινε μπροστά από την τρίτη κατοικία (οι κατοικίες αριθμούνται όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.4 στο κεφάλαιο 1).

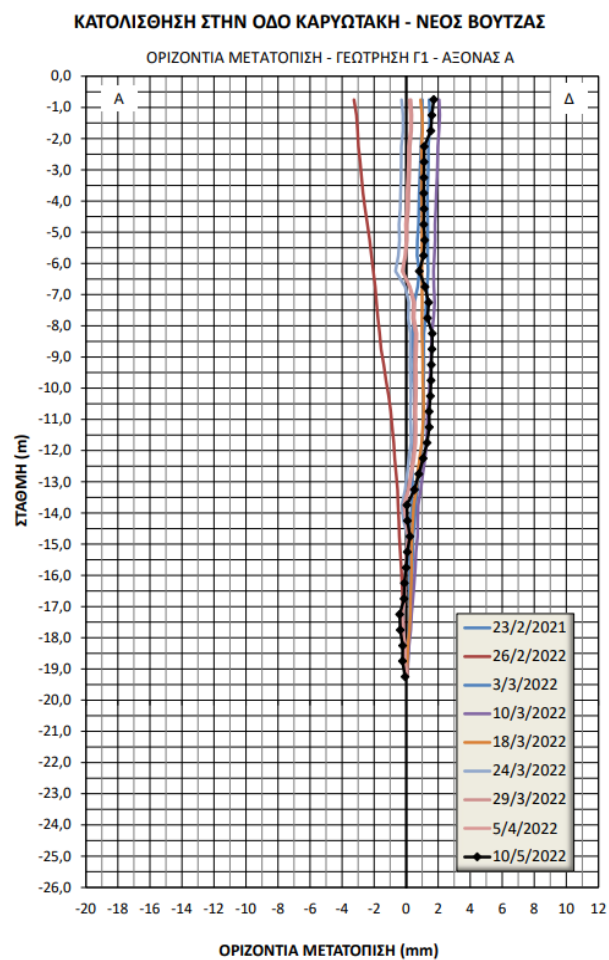
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το υπό εξέταση πρηνές αποτελείται από πέντε κυρίως εδαφικούς σχηματισμούς οι περιγραφή και η ονομασία των οποίων φαίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2: Περιγραφή εδαφικών σχηματισμών που δομούν το προς εξέταση πρανές (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))

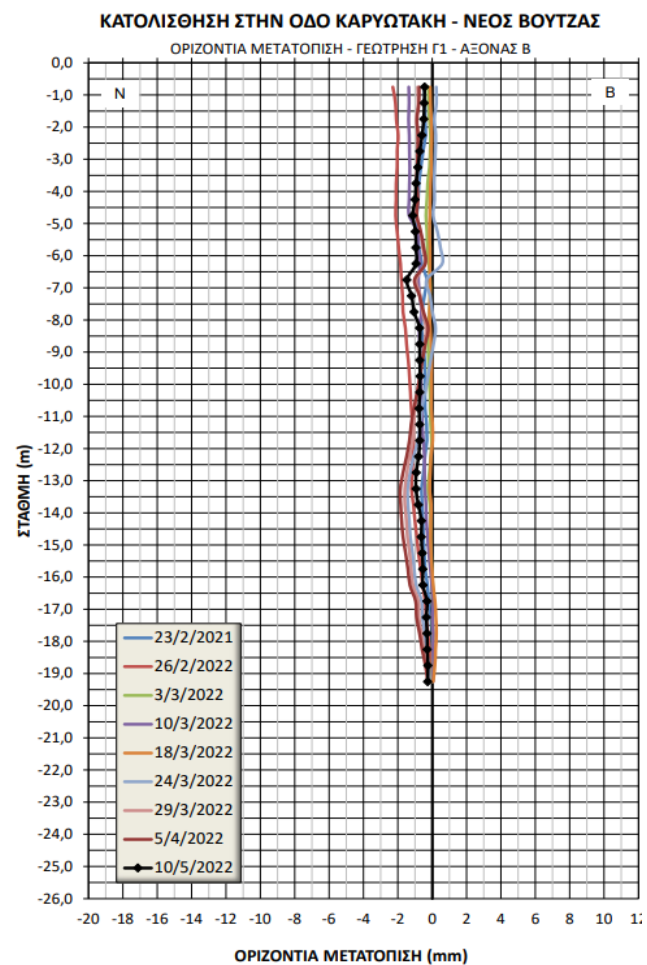
Όνομασία σχηματισμού	Περιγραφή σχηματισμού
Στρώμα [1]	Αμμώδης άργιλος χαμηλής ως μέσης πλαστικότητας (CL1-CL2), μέσης συνεκτικότητας ως στιφρή, καστανού, καστανόφαιου, καστανότεφρου ως καστανέρυθρου χρώματος, με χαλίκια κατά θέσεις.
Στρώμα [2]	Αργιλοϊλυώδες αμμοχάλικο (SC-SM-GC-GM) πυκνό ως πολύ πυκνό, φαιού, λευκόφαιου ως υποκίτρινου χρώματος, με μαργαϊκά χαλίκια.
Στρώμα [3]	Άργιλος μέσης πλαστικότητας (CL2), μέσης συνεκτικότητας ως στιφρή, καστανότεφρου χρώματος, με χαλίκια κατά θέσεις.
Στρώμα [4]	Άργιλος υψηλής πλαστικότητας (CH), στιφρή, καστανότεφρου χρώματος με θύλακες ποικίλων χρωμάτων (πορτοκαλόχρωοι, μελανοί, κίτρινοι), με παρουσία τριχοειδών ρωγμών, στιλπνών επιφανειών ασυνεχειών και γραμμώσεων.
Στρώμα [5]	Εναλλαγές πολύ στιφρής ως σκληρής αργίλου χαμηλής ως υψηλής πλαστικότητας (CL1-CH), ανοιχτού καστανού (CL1) ως καστανότεφρου (CH) χρώματος, και πυκνής ως πολύ πυκνής λεπτόκοκκης αργιλοϊλυώδους άμμου (SC-SM) ανοιχτού καστανού χρώματος.

Επίσης κατά την διάρκεια εκτέλεσης των γεωτρήσεων πραγματοποιήθηκαν επιτόπου δοκιμές διείσδυσης SPT και μετά το τέλος των γεωτρήσεων, σε αυτές τοποθετήθηκαν αποκλισιόμετρικοί σωλήνες με σκοπό την παρακολούθηση των οριζόντιων μετακινήσεων του εδάφους στην στέψη της κατολίσθησης (Αθαν. Πλατής 2022). Όσο αφορά τα αποτελέσματα των δοκιμών SPT, αυτά φαίνονται στο Παράρτημα Α κατά μήκος των γεωτρήσεων ενώ τα αποτελέσματα των αποκλισιομετρήσεων παραθέτοντε στις Εικόνες 4.1, 4.2 και 4.4.

Μετρήσεις στην Διεύθυνση Ανατολή - Δύση

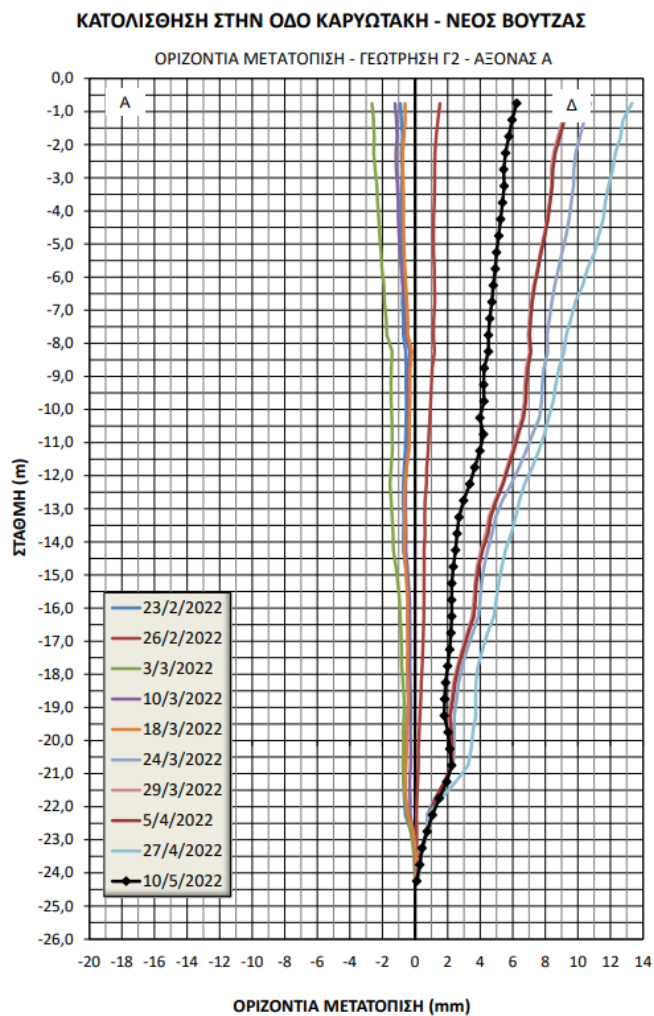


Μετρήσεις στην Διεύθυνση Βορράς - Νότος

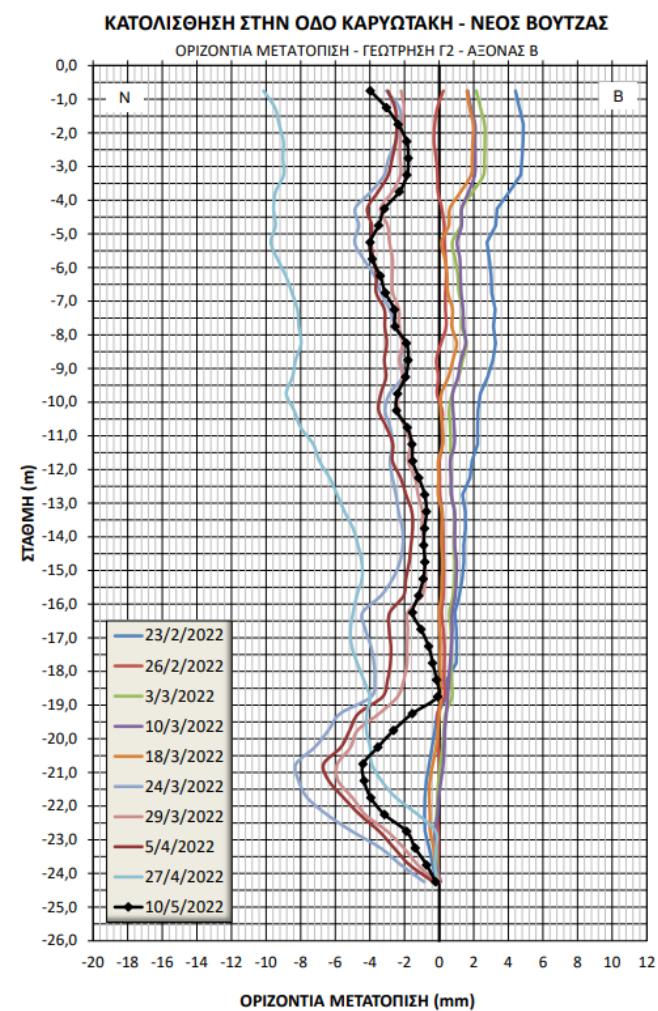


Εικόνα 4.1: Αποτελέσματα αποκλισημετρήσεων στην γεώτρηση Γ1 (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))

Μετρήσεις στην Διεύθυνση Ανατολή - Δύση

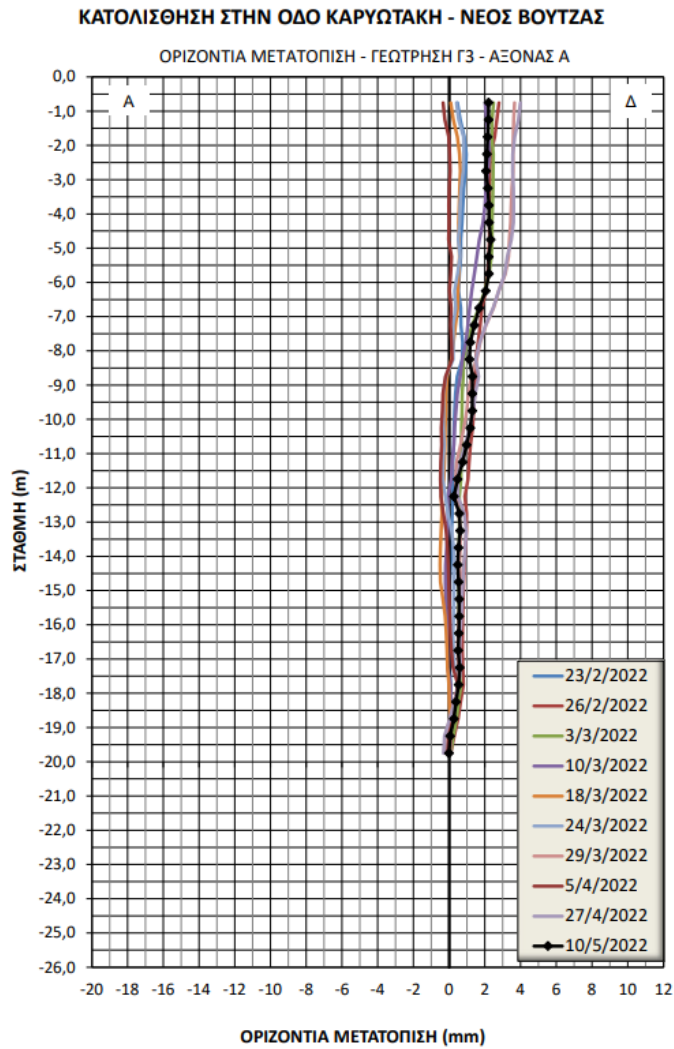


Μετρήσεις στην Διεύθυνση Βορράς - Νότος

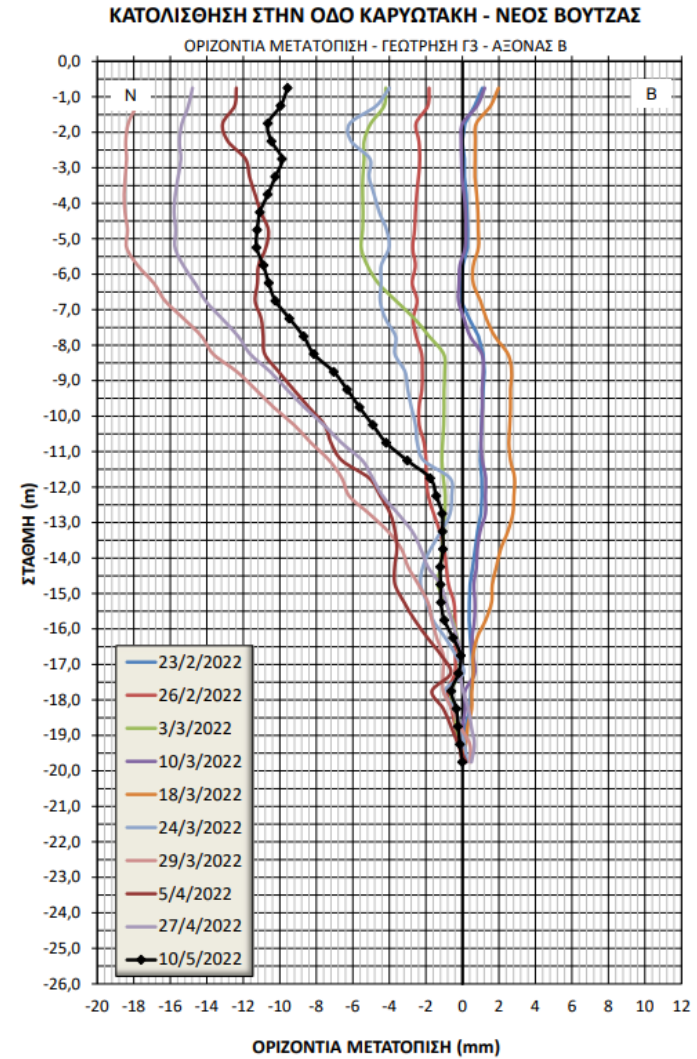


Εικόνα 4.2: Αποτελέσματα αποκλισιομετρήσεων στην γεώτρηση Γ2 (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))

Μετρήσεις στην Διεύθυνση Ανατολή - Δύση



Μετρήσεις στην Διεύθυνση Βορράς – Νότος



Εικόνα 4.3: Αποτελέσματα αποκλισημετρήσεων στην γεώτρηση Γ3 (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))

Από τις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν λήφθηκαν δείγματα από όλους τους σχηματισμούς ώστε να διαμορφωθούν δοκίμια για την εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής με σκοπό την εύρεση των μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών. Για τους τρεις πρώτους σχηματισμούς (δηλαδή τα στρώματα [1], [2] και [3]) πραγματοποιήθηκαν μόνο εργαστηριακές δοκιμές κατάταξης των εδαφικών υλικών και κάποιες δοκιμές εύρεσης των φυσικών χαρακτηριστικών τους. Δηλαδή στα δείγματα των στρωμάτων [1], [2] και [3] πραγματοποιήθηκαν κοκκομετρικές αναλύσεις, δοκιμές εύρεσης των ορίων Atterberg και δοκιμές εύρεσης της φυσικής υγρασίας και του ειδικού βάρους (Αθαν. Πλατής 2022). Για τους άλλους δύο σχηματισμούς (δηλαδή του σχηματισμούς [4] και [5]) εκτός από τις δοκιμές κατάταξης επιπλέον πραγματοποιήθηκαν και δοκιμές εύρεσης των μηχανικών τους ιδιοτήτων, δηλαδή δοκιμές άμεσης διάτμησης και δακτυλιοειδούς διάτμησης (Αθαν. Πλατής 2022).

Με βάση τις επιτόπου δοκιμές και τις εργαστηριακές δοκιμές οι μηχανικές παράμετροι σχεδιασμού των εδαφικών σχηματισμών που δομούν το πρηνές παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 (Αθαν. Πλατής 2022). Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι μέγιστες τιμές συνοχής και γωνίας τριβής, και όχι οι παραμένουσες τιμές.

Πίνακας 3: Οι τιμές της γωνίας τριβής και της συνοχής των σχηματισμών όπως αυτές δίνονται στην μελέτη της εταιρίας ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε. (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))

Όνομασία σχηματισμού	Συνοχή (MPa)	Γωνία τριβής (°)
[1]: Αμμώδης άργιλος χαμηλής ως μέσης πλαστικότητας (CL1-CL2), μέσης συνεκτικότητας ως στιφρή, καστανού, καστανόφαιου, καστανότεφρου ως καστανέρυθρου χρώματος, με χαλίκια κατά θέσεις.	10 MPa	23°
[2]: Αργιλοϊλύδες αμμοχάλικο (SC-SM-GC-GM) πυκνό ως πολύ πυκνό, φαιού, λευκόφαιου ως υποκίτρινου χρώματος, με μαργαϊκά χαλίκια.	5 MPa	30°
[3]: Άργιλος μέσης πλαστικότητας (CL2), μέσης συνεκτικότητας ως στιφρή, καστανότεφρου χρώματος, με χαλίκια κατά θέσεις.	18 MPa	25°
[4]: Άργιλος υψηλής πλαστικότητας (CH), στιφρή, καστανότεφρου χρώματος με θύλακες ποικίλων χρωμάτων (πορτοκαλόχρωμοι, μελανοί, κίτρινοι), με παρουσία	25 MPa	12°

τριχοειδών ρωγμών, στιλπνών επιφανειών ασυνεχειών και γραμμώσεων.		
[5]: Εναλλαγές πολύ στιφρής ως σκληρής αργίλου χαμηλής ως υψηλής πλαστικότητας (CL1-CH), ανοιχτού καστανού (CL1) ως καστανότεφρου (CH) χρώματος, και πυκνής ως πολύ πυκνής λεπτόκοκκης αργιλοϊλύδους άμμου (SC-SM) ανοιχτού καστανού χρώματος.	23 MPa	20°

4.2 Ανάστροφη ανάλυση της κατολίσθησης στον Νέο Βουτζά

Κατά την ανάστροφη ανάλυση μιας κατολίσθησης σκοπός είναι να βρεθούν οι φαινόμενες – μέσες τιμές των παραμέτρων αντοχής των εδαφικών σχηματισμών που δομούν το πρανές. Ουσιαστικά αναζητείται ο συνδυασμός των μηχανικών παραμέτρων των εδαφικών σχηματισμών που οδήγησαν το πρανές σε αστοχία αντίστοιχης γεωμετρίας με αυτή που έλαβε πραγματικά χώρα.

Για τις ανάγκες της τρέχουσας διατριβής η ανάστροφη ανάλυση του πρανούς που κατολίσθησε στον Νέο Βουτζά, πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό PLAXIS 2D LE, οι γενικές λειτουργίες του οποίου παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3. Αρχικά για την ανάστροφη ανάλυση χρειάζεται η δημιουργία ενός προσομοιώματος του πρανούς που να αντιπροσωπεύει την γεωμετρία του την εκδήλωση της κατολίσθησης. Η δημιουργία του προσομοιώματος έγινε με βάση την δυσμενέστερη διατομή από πλευράς φορτίου και εδαφικών συνθηκών κατά μήκος του πρανούς, δηλαδή:

- Μέσα στην μάζα της κατολίσθησης υπάρχουν δύο διώροφες κατοικίες με δυο και ένα υπόγεια αντίστοιχα. Άρα η δυσμενέστερη διατομή του πρανούς, από πλευράς φορτίου, είναι αυτή που περιλαμβάνει την διώροφη κατοικία με τα δύο υπόγεια (κατοικία 1).
- Με βάση τις γεωτρήσεις (βλ. παράρτημα Α) φαίνεται ότι ο σχηματισμός [4], που είναι και ο πιο ασθενής, έχει μεγαλύτερο πάχος πίσω από την κατοικία 1.
- Παράλληλα ο σχηματισμός [3] έχει μικρότερο πάχος πίσω από την ίδια κατοικία. Και οι δύο σχηματισμοί είναι στιφρές άργιλοι όμως έχουν διαφορά στο περιεχόμενο σε χαλίκια και στην παρουσία ρωγματώσεων (βλ. περιγραφή σχηματισμών στον πίνακα 3 πιο πάνω). Ο σχηματισμός [3] που περιέχει χαλίκια κατά θέσεις και δεν εμφανίζει ρωγματώσεις, θα είναι πιο ισχυρός σχηματισμός, καθώς η παρουσία των

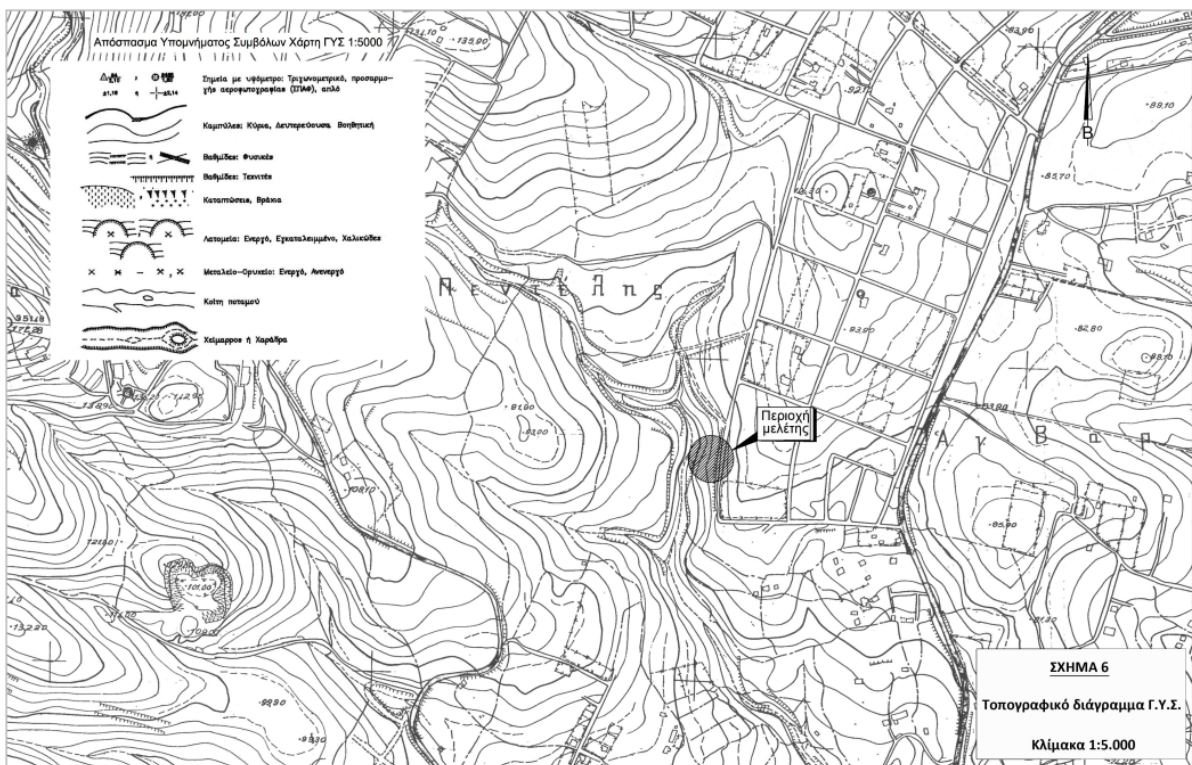
χαλικιών αυξάνει γενικά την γωνία τριβής σε έναν εδαφικό σχηματισμό, ενώ η παρουσία ρωγματώσεων σε μια άργιλο δημιουργεί επίπεδα εξασθένησης (Barnes 2010).

Αρα με βάση όλα τα προηγούμενα η δυσμενέστερη διατομή από πλευράς εδαφικών συνθηκών είναι η διατομή που διέρχεται από την κατοικία 1.

Για τους παραπάνω λόγους η δυσμενέστερη διατομή είναι αυτή που περιλαμβάνει την κατοικία 1 και τα πάχη των σχηματισμών ακολουθούν την γεώτρηση Γ1.

4.2.1 Λεπτομέρειες σχεδίασης του προσομοιώματος στο PLAXIS LE

Το πρώτο βήμα για την δημιουργία του προσομοιώματος του πρανούς στον Νέο Βουτζά, όπως αυτό ήταν πριν την αστοχία, είναι η διαμόρφωση της γεωμετρίας του πρανούς. Με την βοήθεια του τοπογραφικού διαγράμματος της Γ.Υ.Σ διαμορφώθηκε η γεωμετρία των κλίσεων του πρανούς πάνω από την οδό Καρυωτάκη και στην περιοχή του ρέματος κάτω από τις κατοικίες. Η γεωμετρία στο οικόπεδο όπου βρίσκονται οι κατοικίες διαμορφώθηκε με βάση τα σχέδια κατασκευής των κατοικιών.



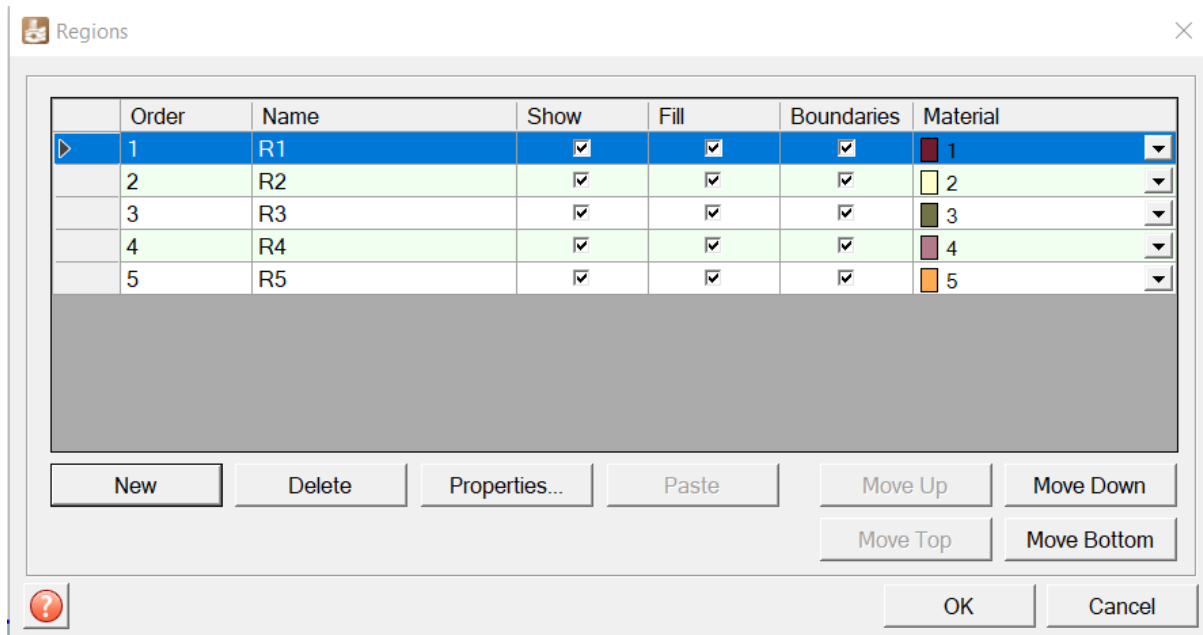
Εικόνα 4.4: Τοπογραφικό διάγραμμα Γ.Υ.Σ για την ευρύτερη περιοχή μελέτης (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))

Με βάση τα σχέδια της διώροφης κατοικίας με τα δύο υπόγεια, (κατοικία 1 στην εικόνα 1.4, κεφάλαιο 1) οι δύο όροφοι ξεκινάνε από το απόλυτο υψόμετρο της οδού Καρυωτάκη, δηλαδή τα +74,7 m, και υψώνονται προς τα πάνω για άλλα 7,60 m. Τα δύο υπόγεια θεμελιώνονται 5,60 m κάτω από το υψόμετρο της οδού. Επίσης μπροστά από την κατοικία, προς την πλευρά του ρέματος, έχουν διαμορφωθεί δύο αναβαθμοί με σκοπό την δημιουργία αύλιου χώρου μπροστά από το σπίτι. Ο πρώτος αναβαθμός είναι στο ίδιο επίπεδο με την θεμελίωση της κατοικίας και είναι επίπεδος, ενώ ο δεύτερος αναβαθμός είναι 1,40 m πιο χαμηλά και είναι διαμορφωμένος με μια μικρή κλίση προς το ρέμα. Στην Εικόνα 4.5 φαίνεται η κάτοψη των δύο αναβαθμών (η πορτοκαλί γραμμοσκιασμένη περιοχή είναι ο πρώτος αναβαθμός, ενώ η πράσινη περιοχή είναι ο δεύτερος αναβαθμός), η κάτοψη της περιοχής έδρασης της κατοικίας 1 (μαύρη γραμμοσκιασμένη περιοχή) και η τομή XX' (οριοθετείται από την κόκκινη γραμμή) με βάση την οποία έγινε η δημιουργία της γεωμετρίας του προσομοιώματος για την ανάλυση της κατολίσθησης.



Εικόνα 4.5: Κάτοψη των κατοικιών όπου φαίνονται γραμμοσκιασμένες οι περιοχές των δύο αναβαθμών μεταξύ της κατοικίας και του ρέματος

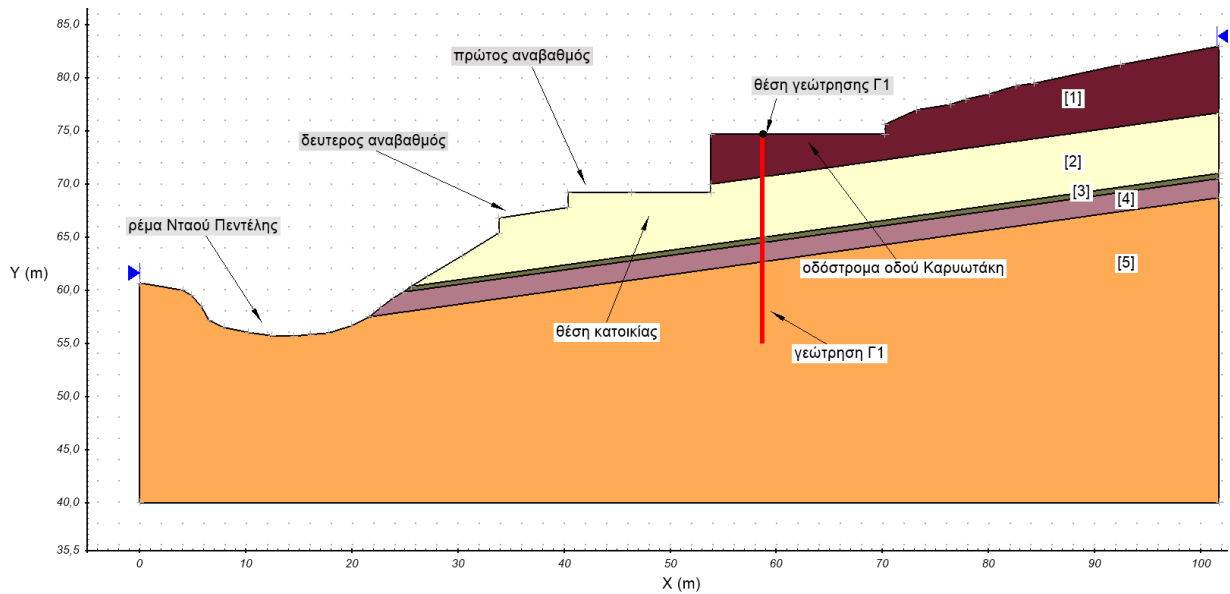
Για την δημιουργία της γεωμετρίας του μοντέλου επιλέχθηκαν συνολικά πέντε στρώματα τα οποία ονομάστηκαν ως R1, R2, R3, R4, και R5. Τα όρια τους φαίνονται στην Εικόνα 4.7. Τα εδαφικά στρώματα στην περιοχή μελέτης έχουν κλίση ίση με 8 μοίρες και διεύθυνση κλίσης προς το ρέμα Νταού Πεντέλης.



Εικόνα 4.6: Καθορισμός των πέντε στρωμάτων από τα οποία αποτελείται η γεωμετρία του προς ανάλυση πρανούς

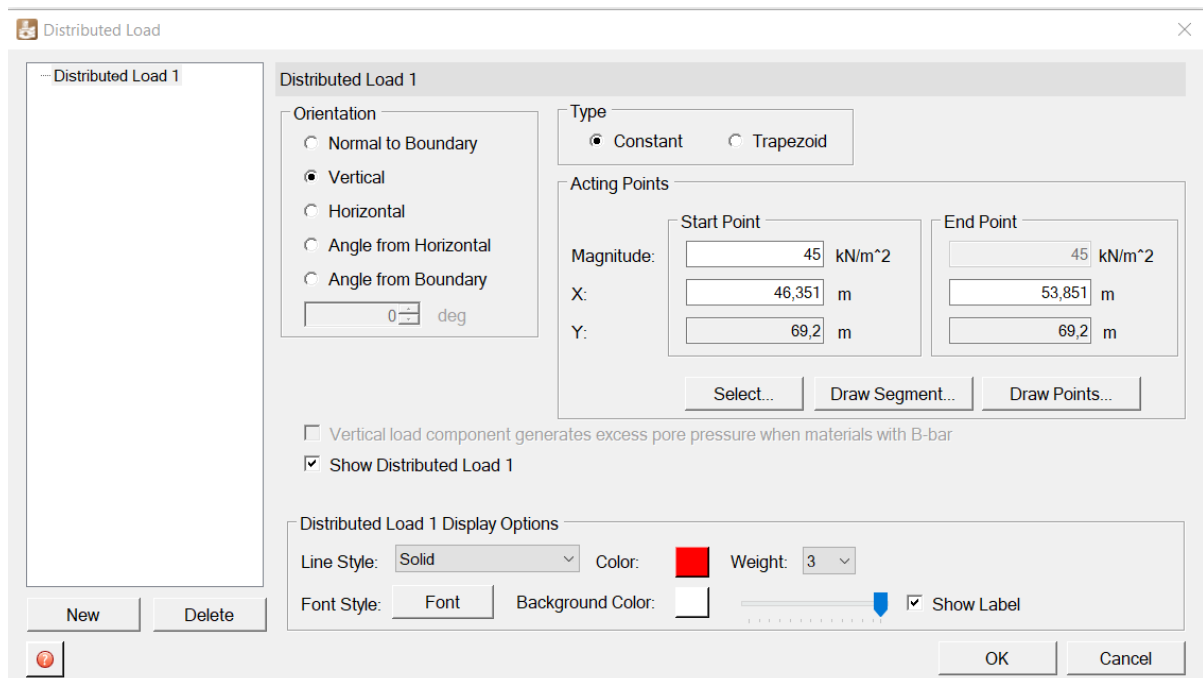
Με βάση όλες τις παραπάνω πληροφορίες δημιουργήθηκε η γεωμετρία του πρανού στο PLAXIS LE. Το αποτέλεσμα φαίνεται στην Εικόνα 4.7 όπου διευκρινίζονται και τα εξής στοιχεία:

- Τα πολύγωνα τα οποία αποτελούν τα στρώματα R1 έως R5 είναι αριθμημένα από [1] έως [5] αντίστοιχα.
- Η θέση του οδοστρώματος της οδού Καρυωτάκη και η θέση της γεώτρησης Γ1.
- Η θέση της διώροφης κατοικίας με τα δύο υπόγεια.
- Οι θέσεις των δύο αναβαθμών μπροστά από το σπίτι προς την πλευρά του ρέματος.
- Η θέση του ρέματος Νταού Πεντέλης.



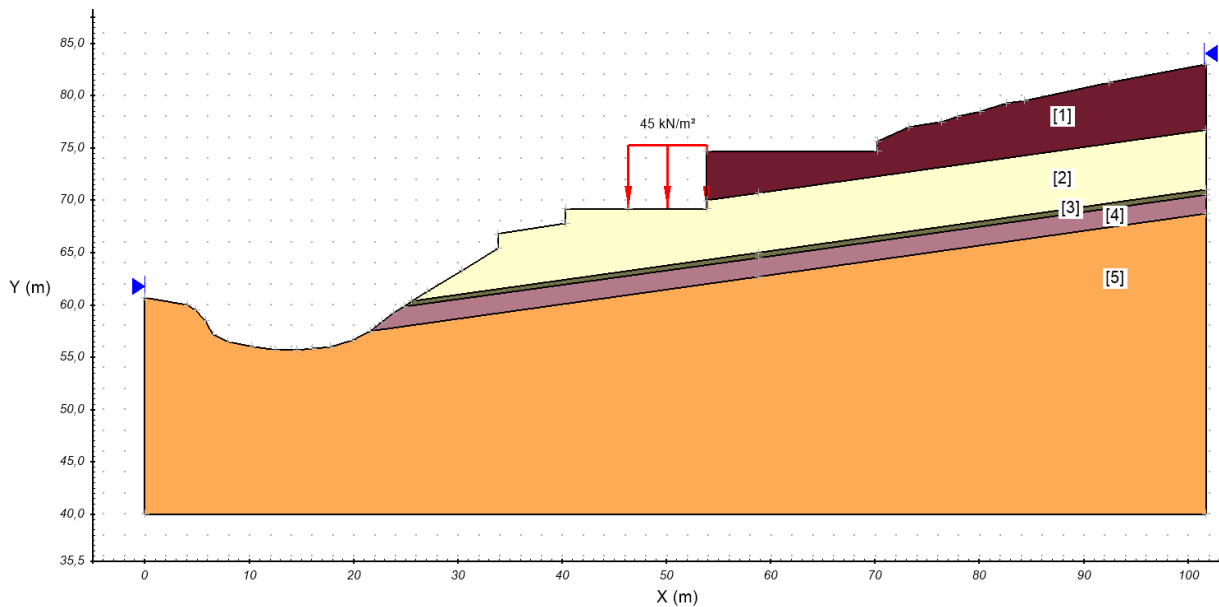
Εικόνα 4.7: Επεξήγηση της γεωμετρίας του προσομοιώματος στο PLAXIS LE

Το δεύτερο βήμα για την δημιουργία του προσομοιώματος είναι η εισαγωγή του φορτίου του κτιρίου στην κατάλληλη θέση. Το φορτίο του κτιρίου επιλέχθηκε να είναι ίσο με 45 KN καθώς αυτό αποτελείται από 4 ορόφους (20 KN φορτίο ο κάθε όροφος) και μια σοφίτα (φορτίου 5 KN). Το φορτίο των 45 KN είναι ένα γραμμικά κατανεμημένο φορτίο το οποίο δρα κάθετα στην επιφάνεια που εφαρμόζεται, δηλαδή στην επιφάνεια έδρασης της κατασκευής.



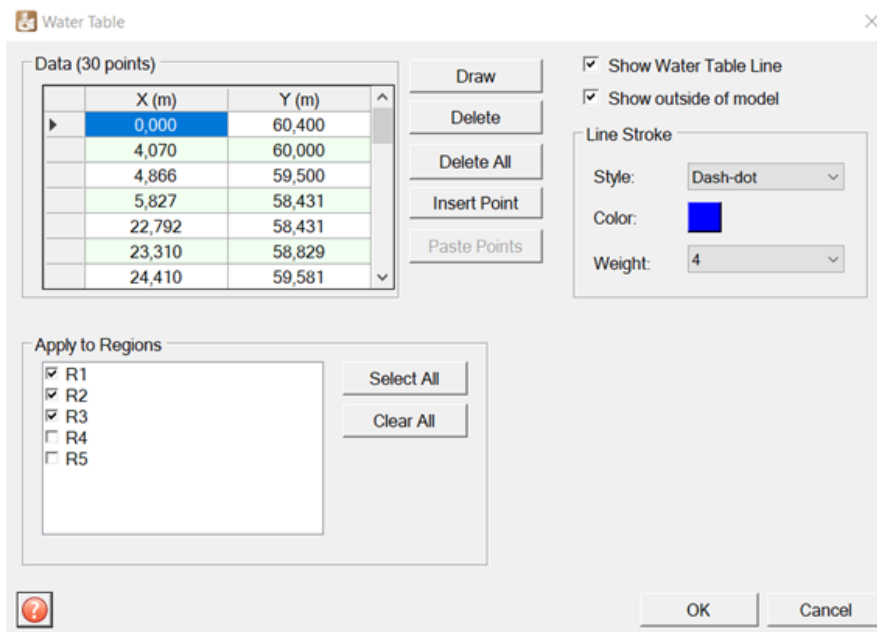
Εικόνα 4.8: Εισαγωγή του μεγέθους και της θέσης του φορτίου του σπιτιού στο PLAXIS LE

Η ακριβής θέση του κτιρίου και άρα και του φορτίου των 45 KN φαίνεται στην Εικόνα 4.8 πιο πάνω, ενώ η μορφή του προσομοιώματος μετά την εισαγωγή του φορτίου φαίνεται στην Εικόνα 4.9.

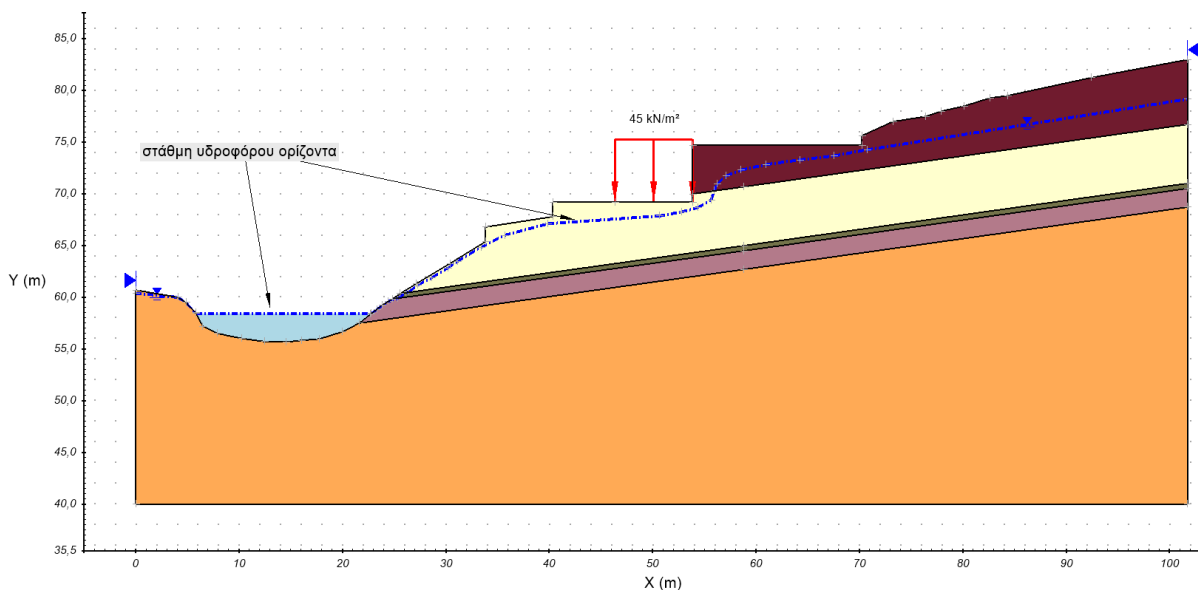


Εικόνα 4.9: Το προσομοίωμα του πρανούς στο PLAXIS LE μετά την εισαγωγή του φορτίου του σπιτιού

Στην συνέχεια οριοθετήθηκε η επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα. Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι η αστοχία συνέβη τον Ιανουάριο του 2022 υποτέθηκε ότι η στάθμη του υδροφόρου στην περιοχή ήταν η μέγιστη δυνατή. Επίσης λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι σχηματισμοί [1], [2] και [3] είναι υδροπερατοί σχηματισμοί, ενώ οι σχηματισμοί [4] και [5] είναι αδιαπέρατοι, η επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα σχεδιάστηκε όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.11 και επιλέχθηκε από τις ρυθμίσεις του PLAXIS LE η πίεση του νερού των πόρων λόγω του Υ.Ο να εφαρμοστεί μόνο στα στρώματα [1], [2] και [3]. Θεωρήθηκε ότι αυτή είναι η δυσμενέστερη δυνατή στάθμη στην θέση εκδήλωσης της αστοχίας.



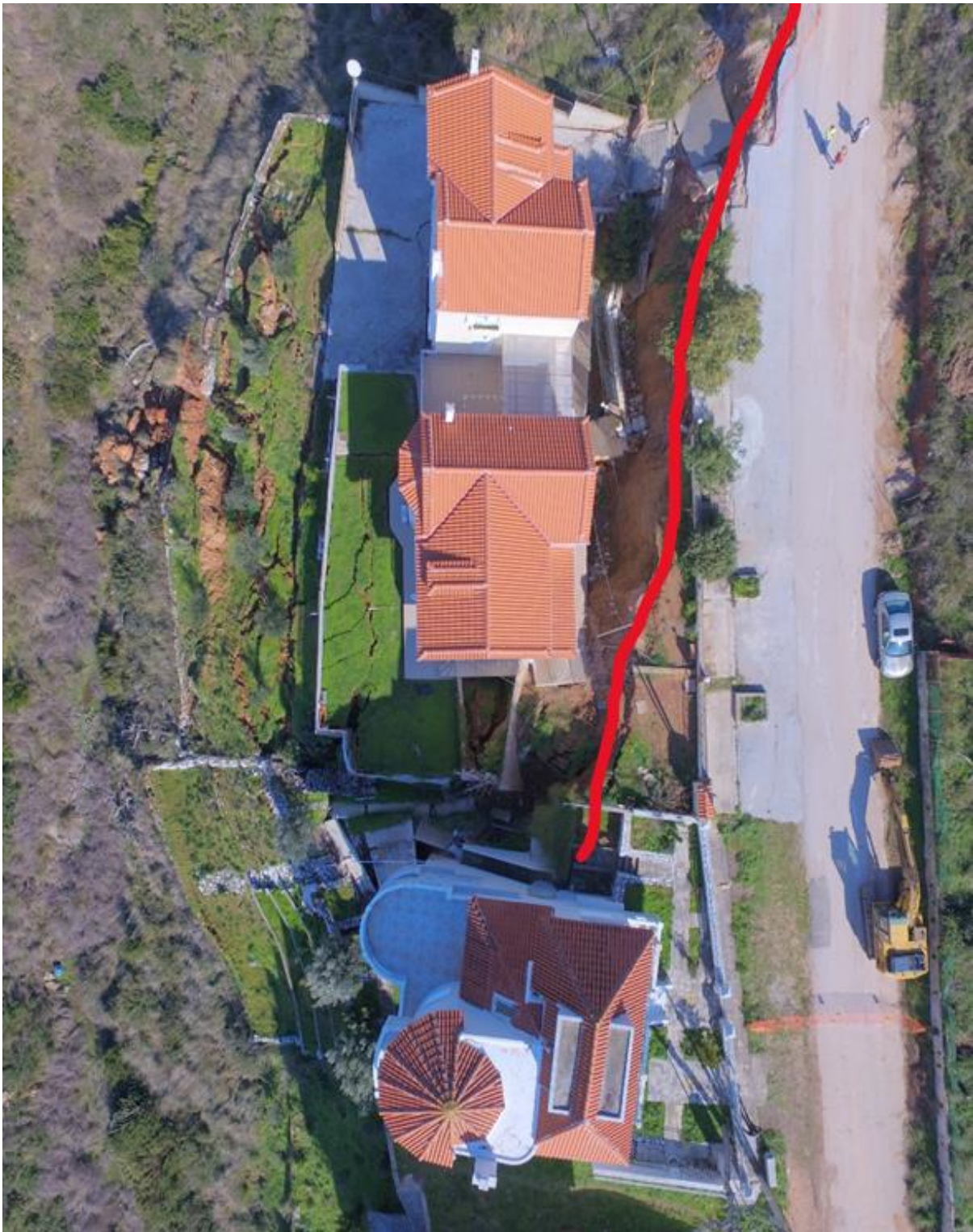
Εικόνα 4.10: Καθορισμός των ιδιοτήτων και της θέσης της επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα στο PLAXIS LE



Εικόνα 4.11: Το προσομοίωμα του πρανούς μετά την προσθήκη της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα

Τελευταίο βήμα για την δημιουργία του προσομοιώματος είναι η επιλογή του τρόπου αστοχίας του πρανούς. Από τις φωτογραφίες της κατολίσθησης στον Νέο Βουτζά φαίνεται ότι η επιφάνεια ολίσθησης ξεκινάει σε μικρή απόσταση πίσω από το σπίτι και καταλήγει στο τέλος της επιφάνειας του δεύτερου αναβαθμού ή κάτω από αυτόν σχετικά κοντά στην κορυφή του μικρού πρανούς που διαμορφώνεται μεταξύ του δεύτερου αναβαθμού και του ρέματος. Η θέση που ξεκινάει η επιφάνεια ολίσθησης φαίνεται ξεκάθαρα λόγω της κύριας κατακρήμνισης που έχει δημιουργηθεί πίσω από το σπίτι ενώ η περιοχή της πιθανής απόληξης της επιφάνειας

ολίσθησης φαίνεται από τις εγκάρσιες ρωγμές και την ανύψωση του εδάφους που έχουν δημιουργηθεί στην επιφάνεια του δεύτερου αναβαθμού και λίγο πιο κάτω από αυτόν.

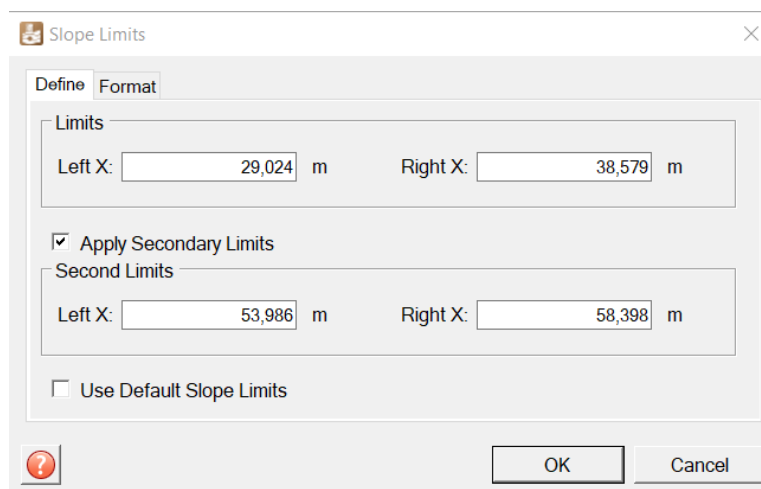


Εικόνα 4.12: Η κύρια κατακρήμνιση της κατολίστησης πίσω από το σπίτι (φαίνεται με την κόκκινη γραμμή)

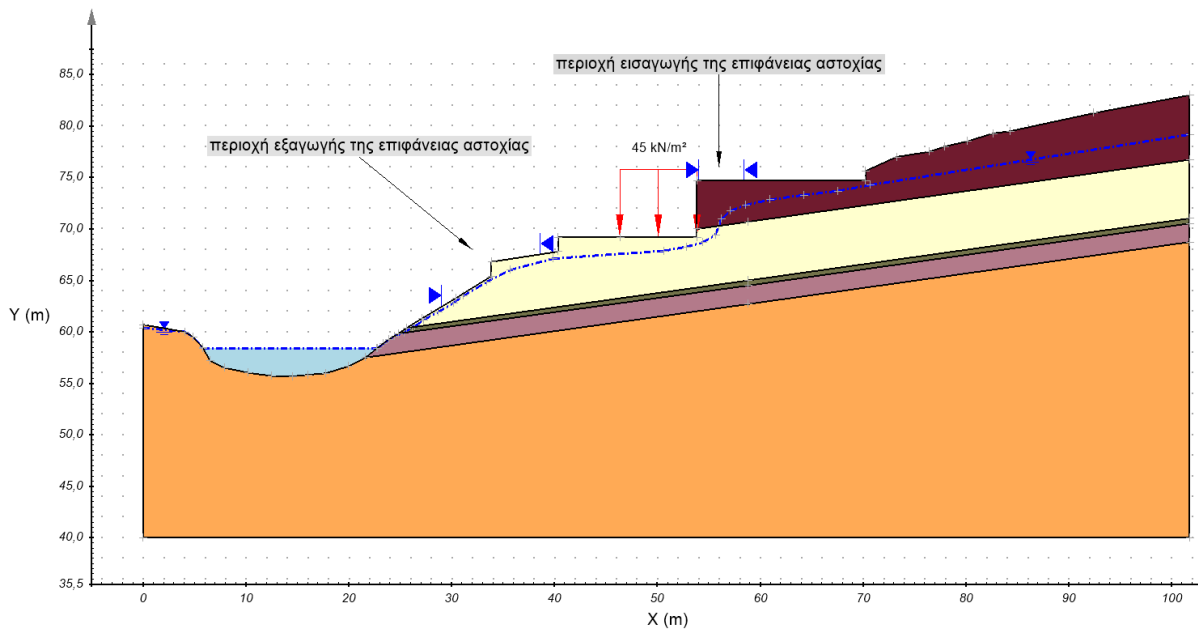


Εικόνα 4.13: Οι εγκάρσιες ρωγμές στην περιοχή συσσώρευσης των υλικών και ανύψωσής τους σε σχέση με την αρχική επιφάνεια του εδάφους

Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις οριοθετήθηκαν στο προσομοίωμα οι περιοχές των ορίων έναρξης και απόληξης της επιφάνειας αστοχίας, έτσι ώστε όλοι οι μηχανισμοί αστοχίας που θα εξετάζει το πρόγραμμα κατά την ανάστροφη ανάλυση να είναι κοντά στην πραγματική μορφή αστοχίας του πρανούς. Στην Εικόνα 4.15 φαίνεται το προσομοίωμα του πρανούς στο PLAXIS LE όπως αυτό διαμορφώθηκε μετά την οριοθέτηση των ορίων έναρξης και τέλους της επιφάνειας αστοχίας.



Εικόνα 4.14: Καθορισμός των ορίων εισαγωγής και εξαγωγής της επιφάνειας αστοχίας στο PLAXIS LE

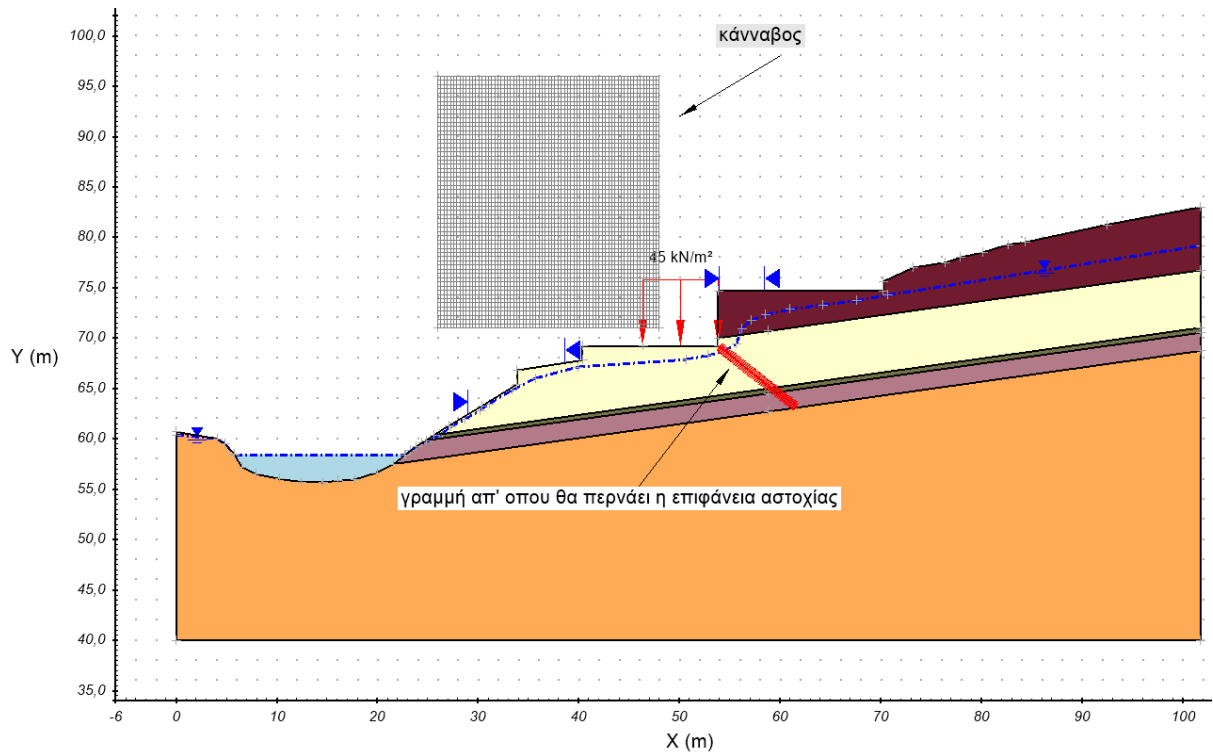


Εικόνα 4.15: Το προσομοίωμα στο PLAXIS LE μετά τον καθορισμό των περιοχών εισαγωγής και εξαγωγής της επιφάνειας αστοχίας

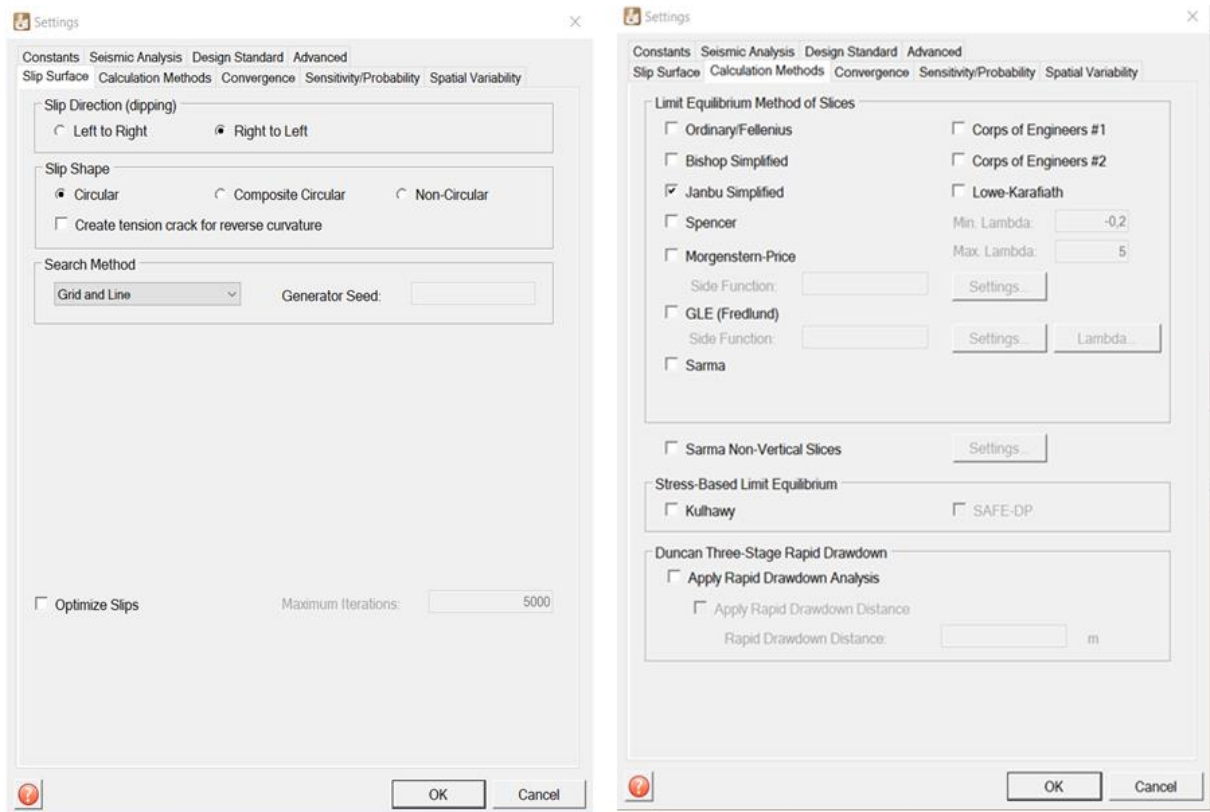
Τέλος, ορίστηκε ο τρόπος εύρεσης της επιφάνειας αστοχίας και η μέθοδος υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας. Η επιφάνεια αστοχίας επιλέχθηκε να είναι κυκλική, ο τρόπος εύρεσης της να είναι με την μέθοδο ‘Grid and line’ και ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας να γίνει με την μέθοδο Jambu Simplified.

Με την μέθοδο ‘Grid and line’ ο μελετητής σχεδιάζει έναν κάναβο πάνω από την επιφάνεια του πρανούς, από τους κόμβους του οποίου και με διάφορες ακτίνες το λογισμικό σχεδιάζει επιφάνειες αστοχίας και τις ελέγχει ώστε να βρει ποια είναι αυτή με τον μικρότερο συντελεστή ασφαλείας. Επίσης ο μελετητής σχεδιάζει και μια γραμμή από κάποιο σημείο της οποίας θα πρέπει να διέρχονται οι επιφάνειες αστοχίας που ελέγχει το λογισμικό. Πιο συγκεκριμένα στην Εικόνα 4.16 φαίνεται ο κάναβος και η γραμμή που σχεδιάστηκαν για την εύρεση της επιφάνειας αστοχίας στο πρανές της οδού Καρυωτάκη.

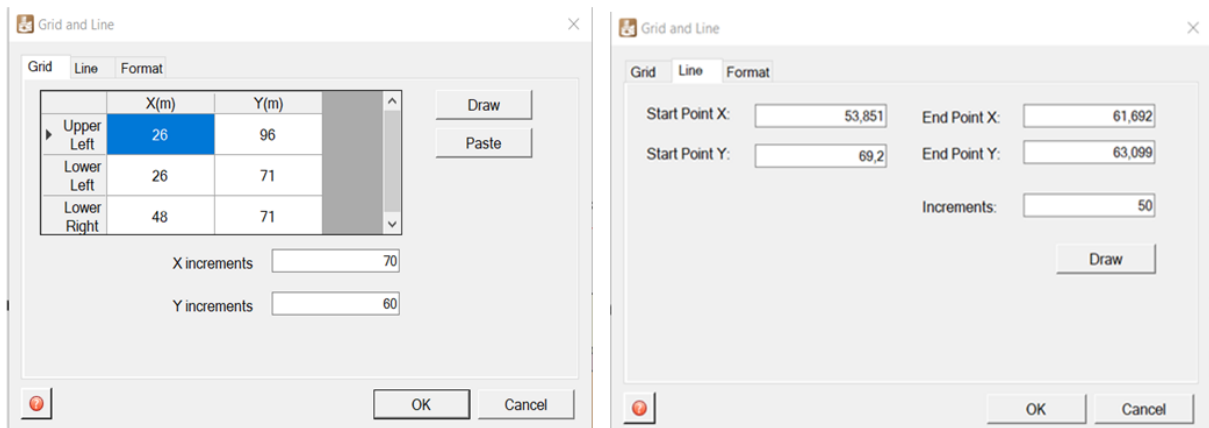
Η μέθοδος Jambu Simplified χρησιμοποιεί την μέθοδο των λωρίδων για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας κατά μήκος μιας επιφάνειας ολίσθησης. Δηλαδή η μάζα που ολισθαίνει χωρίζεται σε κατακόρυφες λωρίδες και σε κάθε λωρίδα υπολογίζονται όλες οι δυνάμεις που της ασκούνται (Barnes 2010). Έπειτα μέσω της ισορροπίας των δυνάμεων κατά τον οριζόντιο άξονα υπολογίζεται ο συντελεστής ασφαλείας κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης (Barnes 2010).



Εικόνα 4.16: Ο κάρναβος και η γραμμή με βάση τα οποία θα σχεδιαστούν επιφάνειες αστοχίας από το λογισμικό



Εικόνα 4.17: Καθορισμός του τρόπου εύρεσης της επιφάνειας αστοχίας στο PLAXIS LE (αριστερά) και καθορισμός της μεθόδου υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας (δεξιά)



Εικόνα 4.18: Καθορισμός της θέσης του κανάβου στο PLAXIS LE (αριστερά) και καθορισμός της θέσης της γραμμής (δεξιά)

4.2.2 Η πορεία της ανάστροφης ανάλυσης και τα αποτελέσματα

Μετά την δημιουργία όλων των υπόλοιπων στοιχείων του μοντέλου του πρανούς ακολουθεί ο καθορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφικών υλικών που δομούν το πρανές που αστόχησε. Αρχικά τα ειδικά βάρη των εδαφικών σχηματισμών υπολογίστηκαν από διαθέσιμες εργαστηριακές δοκιμές. Οι τιμές των ειδικών βαρών των σχηματισμών φαίνονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 4: Τιμές ειδικών βαρών σχηματισμών όπως υπολογίστηκαν από δοκιμές (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))

Όνομασία σχηματισμού	Τιμή ειδικού βάρους (γ)
[1]: Αμμώδης άργιλος χαμηλής ως μέσης πλαστικότητας (CL1-CL2), μέσης συνεκτικότητας ως στιφρή, καστανού, καστανόφαιου, καστανότεφρου ως καστανέρυθρου χρώματος, με χαλίκια κατά θέσεις.	20 KN/m ³
[2]: Αργιλοϊλυώδες αμμοχάλικο (SC-SM-GC-GM) πυκνό ως πολύ πυκνό, φαιού, λευκόφαιου ως υποκίτρινου χρώματος, με μαργαϊκά χαλίκια.	22 KN/m ³
[3]: Άργιλος μέσης πλαστικότητας (CL2), μέσης συνεκτικότητας ως στιφρή, καστανότεφρου χρώματος, με χαλίκια κατά θέσεις.	18,5 KN/m ³

<p>[4]: Άργιλος υψηλής πλαστικότητας (CH), στιφρή, καστανότεφρου χρώματος με θύλακες ποικίλων χρωμάτων (πορτοκαλόχρωμοι, μελανοί, κίτρινοι), με παρουσία τριχοειδών ρωγμών, στιλπνών επιφανειών ασυνεχειών και γραμμώσεων.</p>	<p>18,5 KN/m³</p>
<p>[5]: Εναλλαγές πολύ στιφρής ως σκληρής αργίλου χαμηλής ως υψηλής πλαστικότητας (CL1-CH), ανοιχτού καστανού (CL1) ως καστανότεφρου (CH) χρώματος, και πυκνής ως πολύ πυκνής λεπτόκοκκης αργιλοϊλυώδους άμμου (SC-SM) ανοιχτού καστανού χρώματος.</p>	<p>20,5 KN/m³</p>

Όσο αφορά την συνοχή και την γωνία τριβής των σχηματισμών αυτά προσδιορίστηκαν με την ανάστροφη ανάλυση του πρανούς ως εξής:

Αρχικά, δόθηκαν σε όλους τους σχηματισμούς μια τιμή συνοχής και μια τιμή γωνίας τριβής και έγινε μια ανάλυση ευστάθειας ώστε να προσδιοριστεί ο συντελεστής ασφαλείας γι' αυτά τα μηχανικά χαρακτηριστικά. Έπειτα αυξάνοντας την συνοχή και μειώνοντας την γωνία τριβής ανά σχηματισμό, είτε αντίστροφα, και εντός λογικών ορίων που ορίζονταν από τα εργαστηριακά δεδομένα υπολογιζόταν η τιμή του συντελεστή ασφαλείας για κάθε συνδυασμό. Έτσι μετά από πολλές δοκιμές βρέθηκε ο συνδυασμός των μηχανικών χαρακτηριστικών όλων των σχηματισμών που έβγαζε ως αποτέλεσμα συντελεστή ασφαλείας της επιφάνειας αστοχίας σχεδόν ίσο με την μονάδα. Πιο συγκεκριμένα ο συντελεστής ασφαλείας προέκυψε ίσος με $FS = 1,002$ και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που προέκυψαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Στο παράρτημα Β φαίνονται κάποιοι από τους συνδυασμούς των μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών οι οποίοι ελέγχθηκαν πριν βρεθεί η σωστή επιφάνεια αστοχίας κατά την ανάστροφη ανάλυση του πρανούς. Οι εν λόγω συνδυασμοί δεν είχαν σαν αποτέλεσμα μια επιφάνεια αστοχίας όπου ο συντελεστής ασφαλείας να είναι πολύ κοντά στην μονάδα και γι' αυτό απορρίφθηκαν.

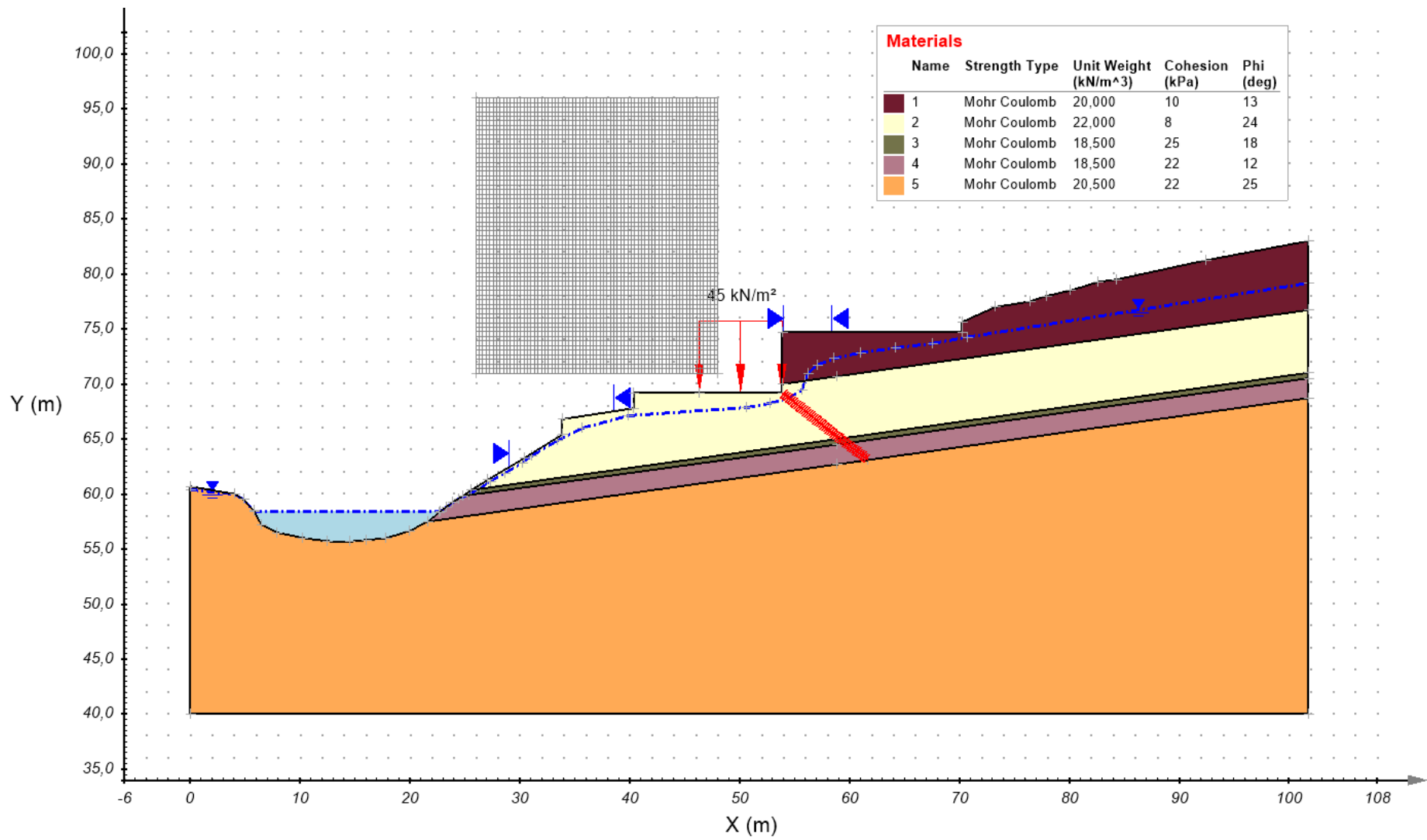
Όσο αφορά την επιφάνεια αστοχίας σύμφωνα με την ανάστροφη ανάλυση, αυτή είναι κυκλική και ξεκινάει σε μικρή απόσταση πίσω από το σπίτι προς την οδό Καρυωτάκη και καταλήγει στο πρανές που διαμορφώνεται μεταξύ του δεύτερου αναβαθμού και του ρέματος. Επίσης η επιφάνεια αστοχίας είναι επαφτόμενη στην επιφάνεια που διαχωρίζει τα στρώματα [4] και [5], και επιπλέον διέρχεται από το δεξί ακριανό σημείο έναρξης της επιφάνειας θεμελίωσης του κτιρίου στο προσομοίωμα (αυτές οι παρατηρήσεις μπορούν να γίνουν διακριτές στην Εικόνα 4.22). Τα εν λόγω αποτελέσματα συνάδουν με τα χαρακτηριστικά της

πραγματικής επιφάνειας αστοχίας στην κατολίσθησης στην οδό Καρυωτάκη όπως αυτά γίνονται αντιληπτά στην Εικόνα 4.21.

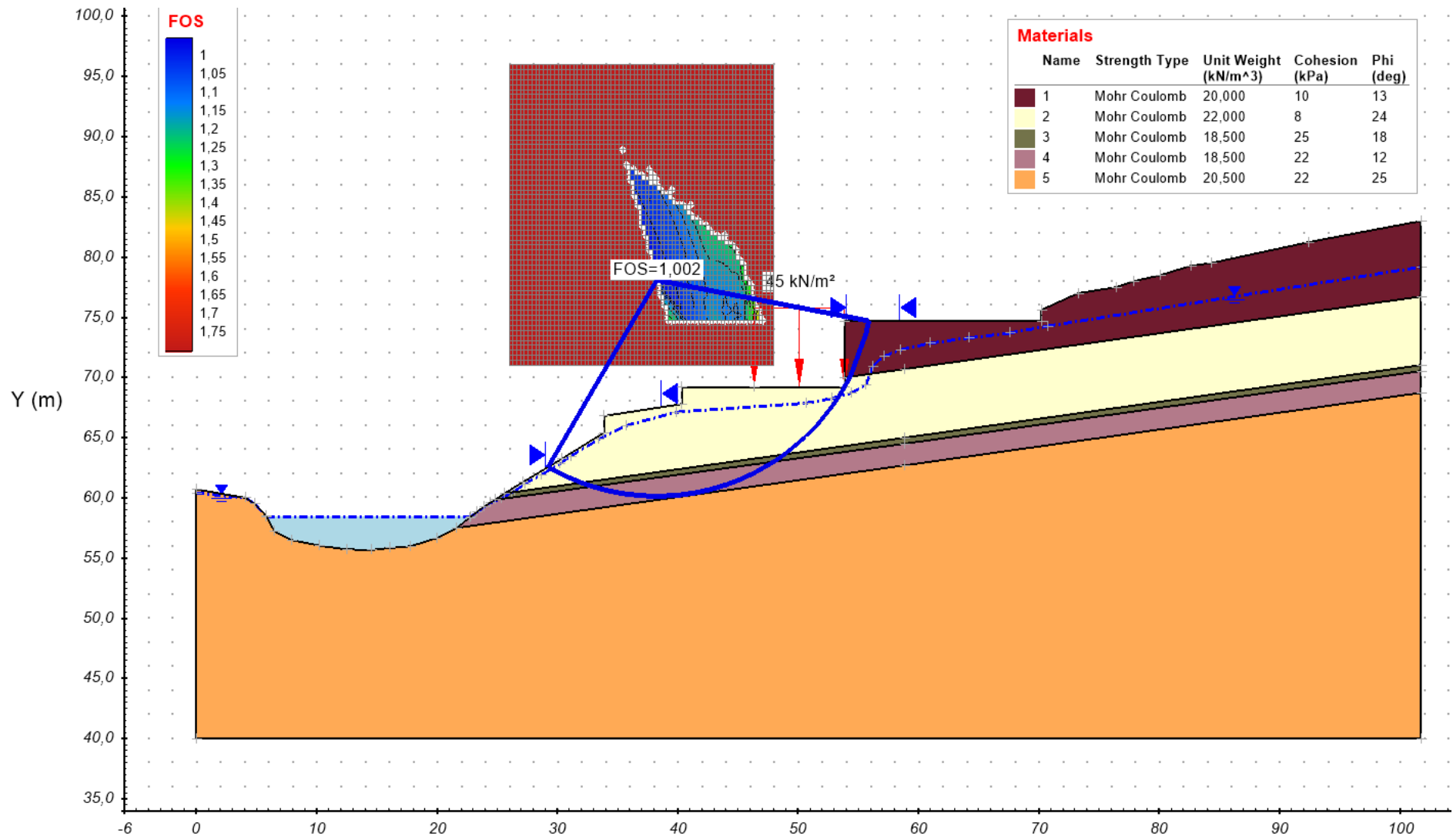
Πίνακας 5: Οι τιμές της συνοχής και της γωνίας τριβής των σχηματισμών που προέκυψαν από την ανάστροφη ανάλυση

Ονομασία σχηματισμού	Τιμή Συνοχής (c)	Τιμή Γωνίας Τριβής (φ)
[1]: Αμμώδης άργιλος χαμηλής ως μέσης πλαστικότητας (CL1-CL2), μέσης συνεκτικότητας ως στιφρή, καστανού, καστανόφαιου, καστανότεφρου ως καστανέρυθρου χρώματος, με χαλίκια κατά θέσεις.	10 KPa	13°
[2]: Αργιλοϊλυώδες αμμοχάλικο (SC-SM-GC-GM) πυκνό ως πολύ πυκνό, φαιού, λευκόφαιου ως υποκίτρινου χρώματος, με μαργαϊκά χαλίκια.	8 KPa	24°
[3]: Άργιλος μέσης πλαστικότητας (CL2), μέσης συνεκτικότητας ως στιφρή, καστανότεφρου χρώματος, με χαλίκια κατά θέσεις.	25 KPa	18°
[4]: Άργιλος υψηλής πλαστικότητας (CH), στιφρή, καστανότεφρου χρώματος με θύλακες ποικίλων χρωμάτων (πορτοκαλόχρωοι, μελανοί, κίτρινοι), με παρουσία τριχοειδών ρωγμών, στιλπνών επιφανειών ασυνεχειών και γραμμώσεων.	22 KPa	12°
[5]: Εναλλαγές πολύ στιφρής ως σκληρής αργίλου χαμηλής ως υψηλής πλαστικότητας (CL1-CH), ανοιχτού καστανού (CL1) ως καστανότεφρου (CH) χρώματος, και πυκνής ως πολύ πυκνής λεπτόκοκκης αργιλοϊλυώδους άμμου (SC-SM) ανοιχτού καστανού χρώματος.	22 KPa	25°

Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται το μοντέλο που δημιουργήθηκε με το λογισμικό PLAXIS LE για την ανάστροφη ανάλυση του πρανούς στην οδό Καρυωτάκη και η επιφάνεια αστοχίας με τον συντελεστή ασφαλείας της, όπως αυτή φαίνεται στο output του λογισμικού. Επίσης φαίνονται και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που δομούν το πρανές.



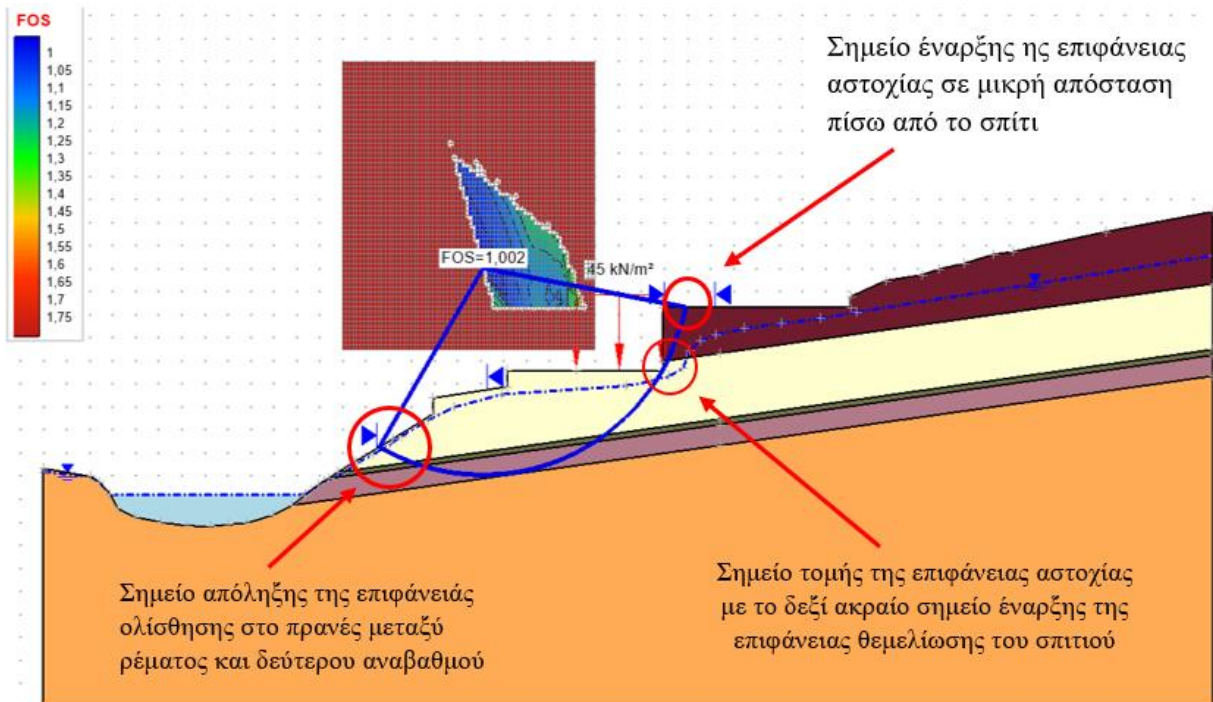
Εικόνα 4.19: Το μοντέλο του πρανούς όπου συνέβη η αστοχία όπως αυτό διαμορφώθηκε για την ανάστροφη ανάλυση της κατολίθησης στο PLAXIS LE



Εικόνα 4.20: Η επιφάνεια αστοχίας με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας όπως αυτή προέκυψε από την ανάστροφη ανάλυση στο PLAXIS LE



Εικόνα 4.21: Φωτογραφία από την στέγη της κατολίσθησης όπου φαίνεται η τοιχοποιία των δύο υπογείων του σπιτιού και γίνεται μέσω αυτού σαφές το γεγονός ότι η επιφάνεια αστοχίας είναι εφαπτομενική με το σημείο έναρξης της επιφάνειας θεμελίωσης προς την πλευρά της οδού



Εικόνα 4.22: Χαρακτηριστικά σημεία της επιφάνειας ολίσθησης που προέκυψε από την ανάστροφη ανάλυση

Στο output του λογισμικού φαίνονται διάφορες πληροφορίες για την δυσμενέστερη επιφάνεια αστοχίας, όπως το μέγιστο βάθος της από την επιφάνεια του εδάφους, αλλά και οι συντεταγμένες του κέντρου και η ακτίνα του δυσμενέστερου κύκλου που εντόπισε το λογισμικό. Αυτές οι πληροφορίες συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα και φαίνονται στις επόμενες εικόνες.

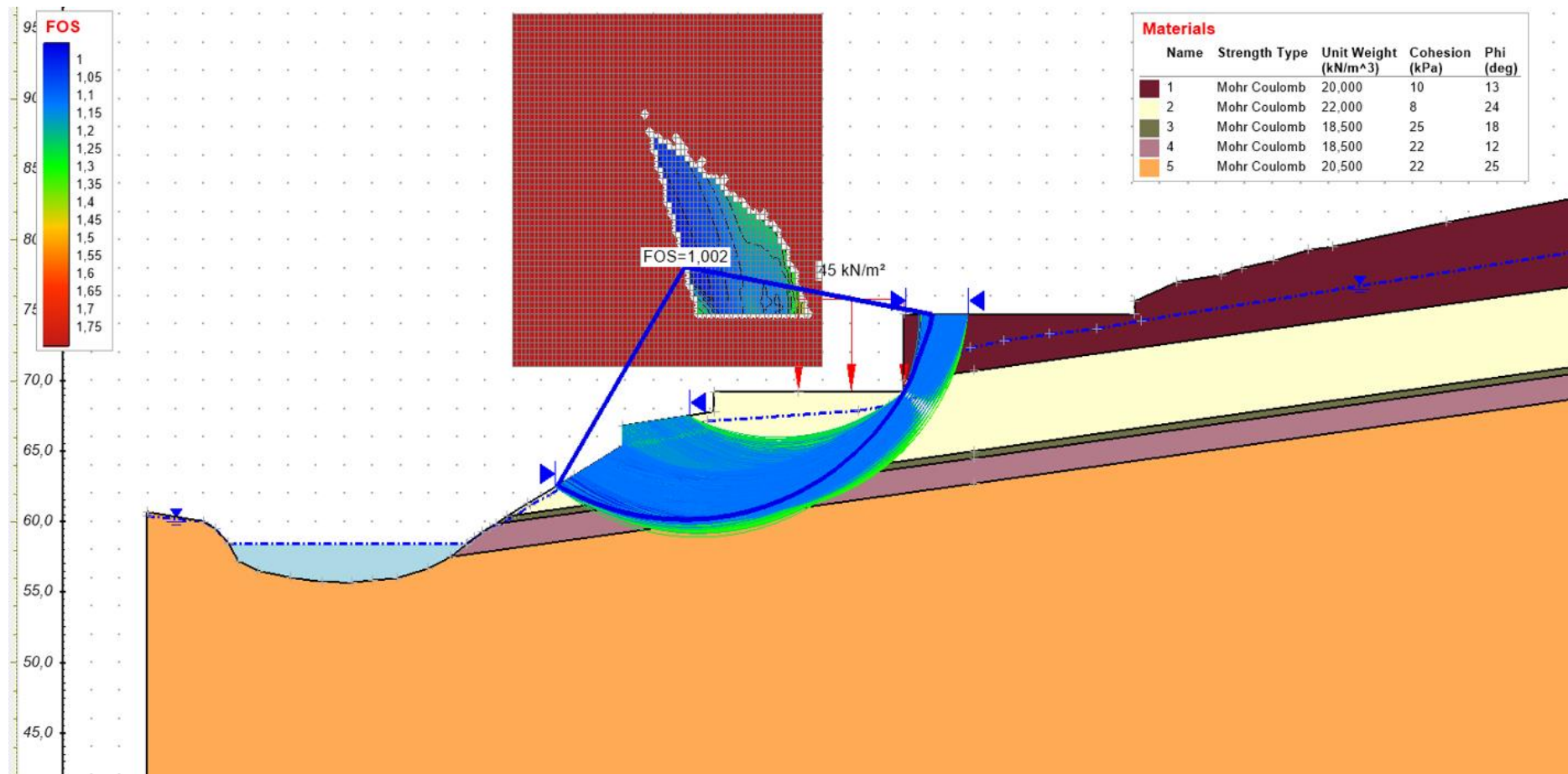
Πίνακας 6: Στοιχεία της επιφάνειας αστοχίας του πρανούς όπως αυτή προέκυψε από την ανάλυση ανάλυση του πρανούς στον Νέο Βουτζά

Συντεταγμένες δυσμενέστερου κύκλου	X = 38,257 m Y = 78,083 m
Ακτίνα δυσμενέστερου κύκλου	R = 17,947 m
Συντελεστής ασφαλείας δυσμενέστερου κύκλου	FS = 1,002
Μέγιστο βάθος της επιφάνειας αστοχίας από την επιφάνεια του εδάφους	8,941 m

Εκτός από την επιφάνεια αστοχίας με τον χαμηλότερος συντελεστή ασφαλείας υπάρχει η δυνατότητα να εμφανίζονται και όλες οι επιφάνειες αστοχίας που ελέγχθηκαν από το λογισμικό ώστε να βρεθεί η δυσμενέστερη. Αυτές φαίνονται στην παρακάτω εικόνα όπου τα χρώματα των επιφανειών αστοχίας αντιστοιχούν στο μέγεθος του συντελεστή ασφαλείας που υπολογίστηκε με την μέθοδο Jambu Simplified.

	FOS	Radius	Max. Depth	Center X	Center Y	Comment	Note
182	1,002	17,947	8,941	38,257	78,083		
130	1,005	19,059	8,773	37,943	79,333		
185	1,005	18,354	8,934	38,257	78,500		
184	1,006	18,156	8,735	38,257	78,500		
129	1,007	18,861	8,574	37,943	79,333		
187	1,009	18,571	8,736	38,257	78,917		
269	1,009	17,871	8,899	38,571	78,083		
131	1,010	19,287	8,586	37,943	79,750		
186	1,011	18,373	8,537	38,257	78,917		
79	1,012	20,016	8,447	37,629	80,583		
272	1,013	18,085	8,697	38,571	78,500		
190	1,014	18,795	8,545	38,257	79,333		
362	1,014	17,391	8,862	38,886	77,667		
78	1,016	19,818	8,247	37,629	80,583		
132	1,016	19,520	8,405	37,943	80,167		
189	1,017	18,597	8,346	38,257	79,333		
81	1,018	20,259	8,275	37,629	81,000		
276	1,019	18,305	8,502	38,571	78,917		
366	1,019	17,600	8,656	38,886	78,083		

Εικόνα 4.23: Οι επιφάνειες αστοχίας που ελέγχθηκαν από το λογισμικό (φαίνονται τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά και ο συντελεστής ασφαλείας σε κάθε μια από αυτές)



Εικόνα 4.24: Όλες οι επιφάνειες αστοχίας που ελέγχθηκαν από το λογισμικό

5. Προτάσεις μέτρων ευστάθειας του αρχικού πρανούς, προ της αστοχίας

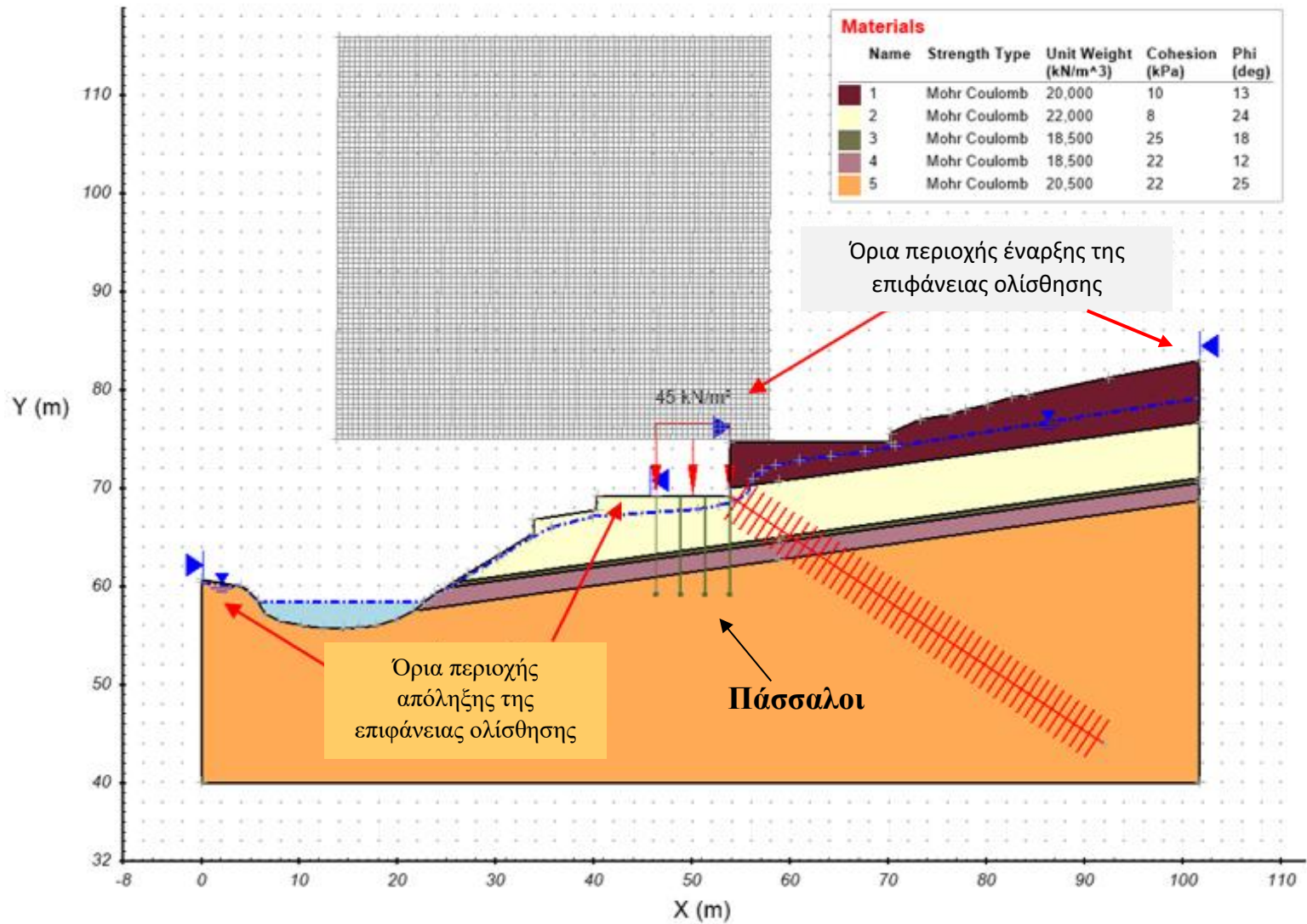
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, με σκοπό να αποδειχθεί αν θα μπορούσε να είχε αποφευχθεί η αστοχία του αρχικού πρανούς στον Νέο Βουτζά. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά εξετάζεται η ευστάθεια του πρανούς στην περίπτωση που είχε εφαρμοστεί εναλλακτικός τρόπος θεμελίωσης της κατασκευής. Στην συνέχεια εξετάζεται η ευστάθεια του πρανούς στην περίπτωση κατασκευής τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια κατά μήκος του ρέματος Νταού και τέλος εξετάζεται η περίπτωση κατασκευής πασσαλότοιχων εκατέρωθεν της κατοικίας.

5.1 Ανάλυση ευστάθειας του αρχικού πρανούς με προσθήκη πασσαλοθεμελιώσεων

Οι κατοικίες που παρασύρθηκαν από την μάζα που ολίσθησε ήταν θεμελιωμένες με επιφανειακή θεμελίωση. Όπως φάνηκε και από το συμβάν, η επιφάνεια ολίσθησης περνάει κάτω από την κατασκευή σε μικρή απόσταση από την επιφάνεια θεμελίωσής της. Γι' αυτό τον λόγο στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η ευστάθεια του πρανούς σε περίπτωση που αυτή θεμελιωνόταν σε πασσάλους που να φτάνουν μέχρι τον σχηματισμό [5], ο οποίος είναι και ο ισχυρότερος απ' όλους, όπως προέκυψε από τα γεωτεχνικά δεδομένα.

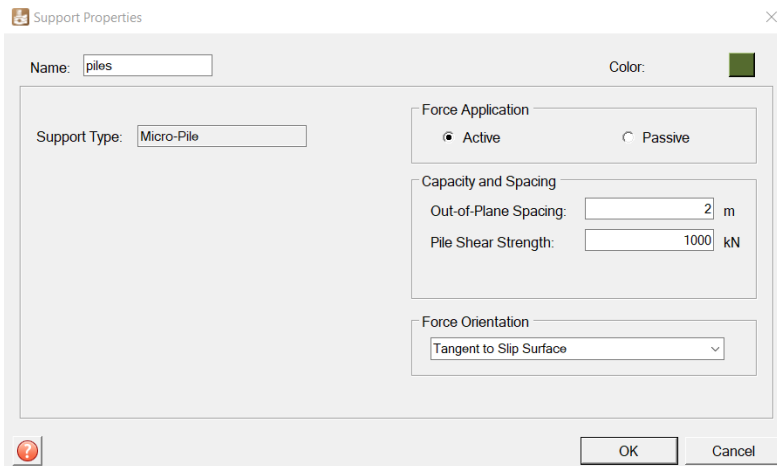
5.1.1 Ανάλυση υπό στατική φόρτιση

Αρχικά εξετάζεται η ευστάθεια του πρανούς υπό στατική φόρτιση. Όσο αφορά τα χαρακτηριστικά του προσομοιώματος του πρανούς στο PLAXIS LE, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών ορίζονται ίσα με αυτά που έχουν προκύψει από την ανάστροφη ανάλυση, η γεωμετρία και η θέση του υδροφόρου παραμένει ίδια και το μόνο που αλλάζει είναι ο τρόπος υπολογισμού της επιφάνειας αστοχίας. Σε αυτή την ανάλυση ελέγχεται η συνολική ευστάθεια του πρανούς, άρα τα όρια έναρξης και τέλους της επιφάνειας ολίσθησης διευρύνονται σε σχέση με την ανάστροφη ανάλυση. Επίσης παρόλο που η μέθοδος υπολογισμού της επιφάνειας αστοχίας είναι πάλι η μέθοδος 'Grid and Line', σε αυτό το μοντέλο ο κλίμακος είναι πιο μεγάλος σε μέγεθος και η γραμμή είναι μεγαλύτερη σε μήκος γιατί πρέπει να ελεγχθούν μεγαλύτεροι κύκλοι αστοχίας. Τέλος η γεωμετρία του πρανούς παραμένει ίδια αλλά προστίθενται στο μοντέλο πάσσαλοι ως θεμελίωση της κατασκευής.

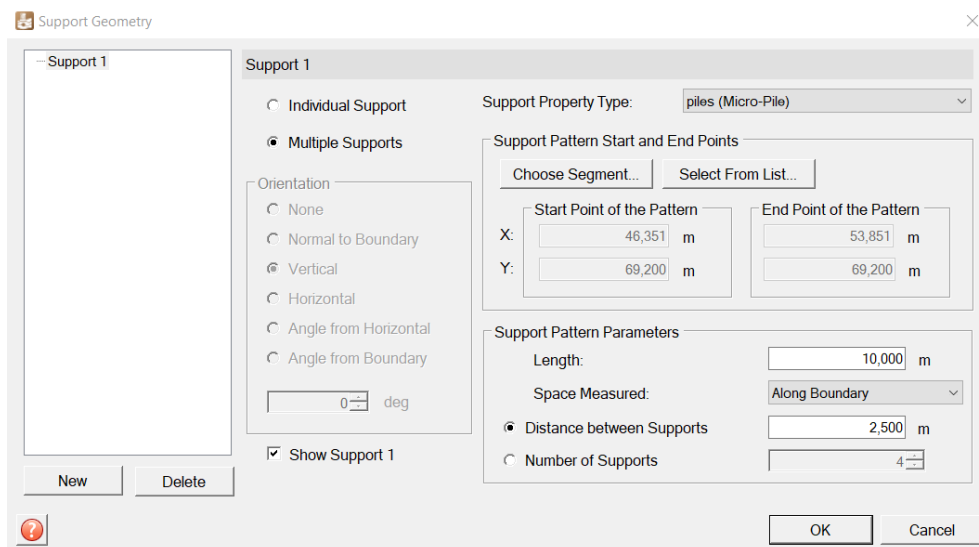


Εικόνα 5.1: Το προσομοίωμα στο PLAXIS LE που δημιουργήθηκε για την ανάλυση ευστάθειας με πασσαλοθεμελιώσεις στο σίτι

Όσο αφορά τους πασσάλους θεμελίωσης του κτιρίου, αυτοί έχουν μήκος 10 m και τοποθετούνται σε κάναβο 2,5 m x 2 m (η απόσταση των 2,5 m είναι στο επίπεδο της ανάλυσης ενώ η απόσταση των 2 m είναι εκτός του επιπέδου στην τρίτη διάσταση). Οι πάσσαλοι επιλέχθηκαν να είναι οπλισμένοι πάσσαλοι σκυροδέματος με αντοχή σε διάτμηση ίση με 1000 KN και να έχουν διάμετρο 1 m.

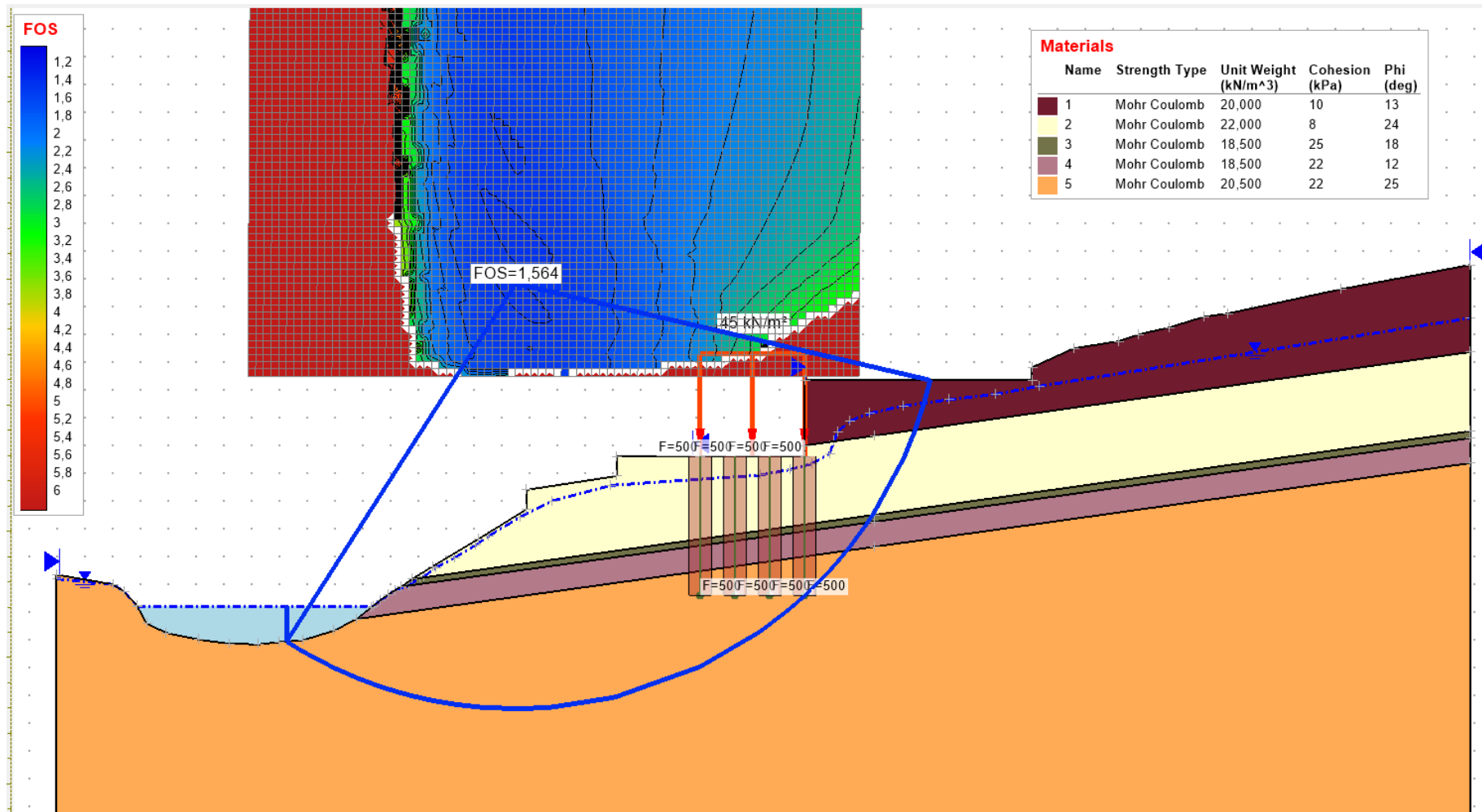


Εικόνα 5.2: Καθορισμός της αντοχής σε διάτμηση των πασσάλων και της απόστασής τους εκτός του επιπέδου ανάλυσης

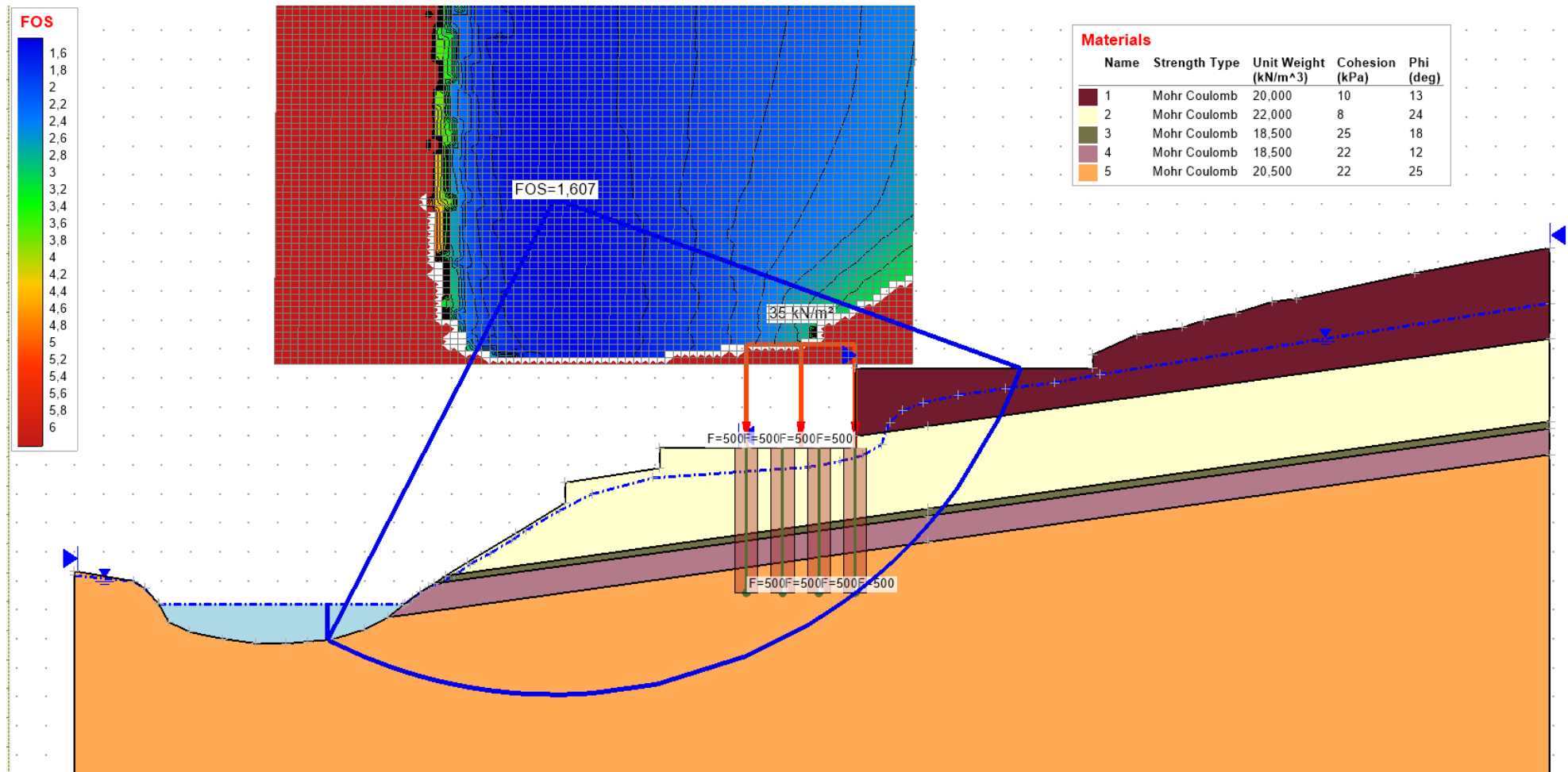


Εικόνα 5.3: Καθορισμός της θέσης των πασσάλων, του μήκους τους και της απόστασής τους στο επίπεδο της ανάλυσης

Πρώτα πραγματοποιήθηκε μια ανάλυση με φορτίο 45 KN για την κατασκευή και έπειτα ελέγχθηκε η περίπτωση η κατοικία να ήταν μονώροφη με δύο υπόγεια (αντί για διώροφη) και έτσι έγινε και μια ανάλυση για φορτίο 35 KN. Τα αποτελέσματα της στατικής ανάλυσης ευστάθειας αυτών των δύο περιπτώσεων φαίνονται στις Εικόνες 5.4 και 5.5 για το φορτίο των 45 KN και των 35 KN αντίστοιχα.



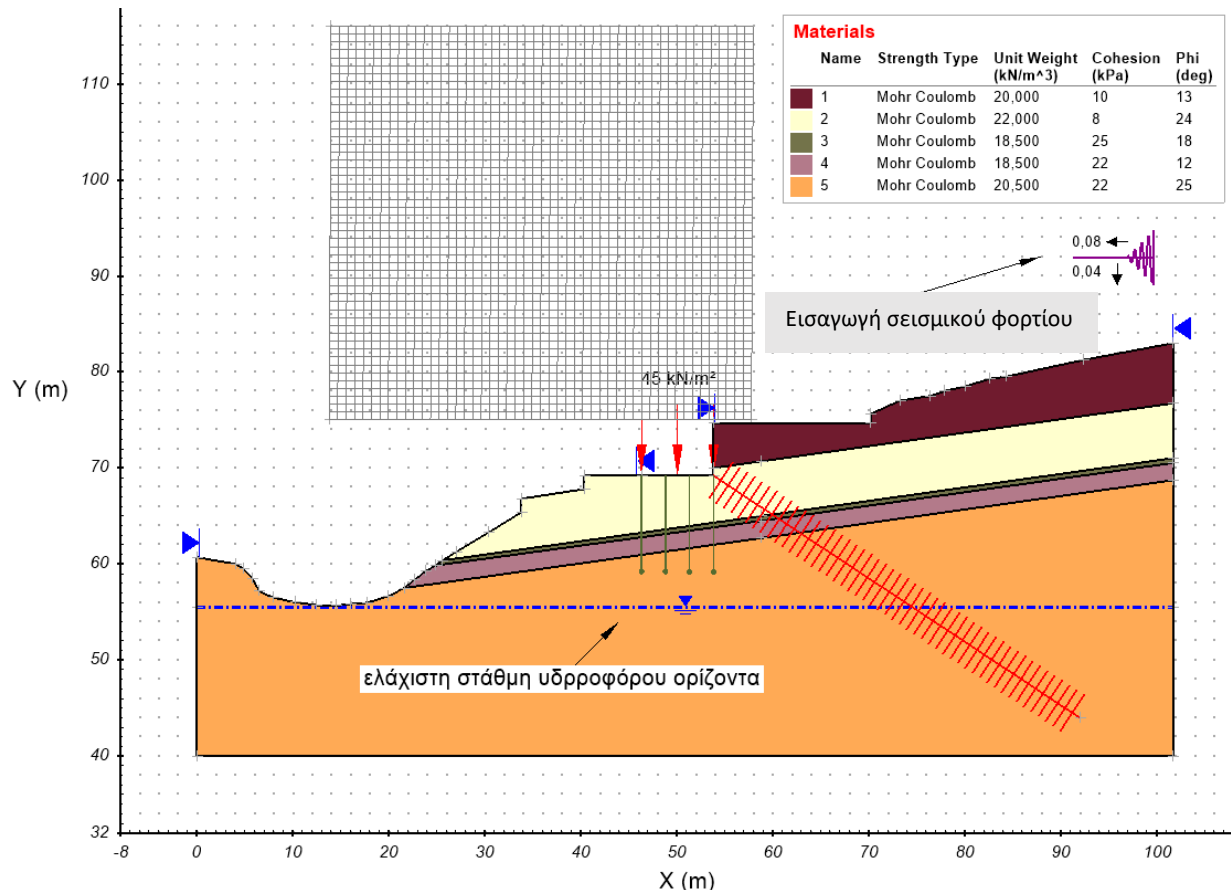
Εικόνα 5.4: Αποτελέσματα ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις στο σπίτι υπό στατική φόρτιση με φορτίο 45 KN (διώροφη κατοικία με δύο υπόγεια)



Εικόνα 5.5: Αποτελέσματα ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις στο σπίτι υπό στατική φόρτιση με φορτίο 35 KN (μονόροφη κατοικία με δύο υπόγεια.)

5.1.2 Ανάλυση υπό σεισμική φόρτιση

Στην συνέχεια εξετάστηκε η ευστάθεια του πρανούς υπό σεισμική φόρτιση και για φορτίο 45 KN αλλά και για φορτίο 35 KN. Το μοντέλο στο PLAXIS LE παρέμεινε ίδιο και το μόνο που άλλαξε είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα. Αυτή δεν είναι πλέον η μέγιστη δυνατή στάθμη, αλλά η ελάχιστη.



Εικόνα 5.6: Το μοντέλο στο PLAXIS LE για την σεισμική ανάλυση του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις στο κτίριο

Στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ-2000) ο Ελλαδικός χώρος χωρίζεται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας, για κάθε μια από τις οποίες έχει οριστεί ένας σεισμικός συντελεστής. Η περιοχή όπου συνέβη η κατολίπηση βρίσκεται στην ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I, σύμφωνα με τον χάρτη της Εικόνας 5.7, και έτσι ο σεισμικός συντελεστής λαμβάνεται ίσος με $\alpha = 0.16$. Σύμφωνα με τον ΕΑΚ-2000 για τον έλεγχο ευστάθειας ενός φυσικού πρανούς, οι σεισμικές επιταχύνσεις του εδάφους (ή σεισμικοί συντελεστές εδάφους) υπολογίζονται μέσω των παρακάτω τύπων (Ελληνικός Αντισεισμικός Σχεδιασμός 2000 2001):

Οριζόντια επιτάχυνση: $\alpha_h = \alpha_\pi$

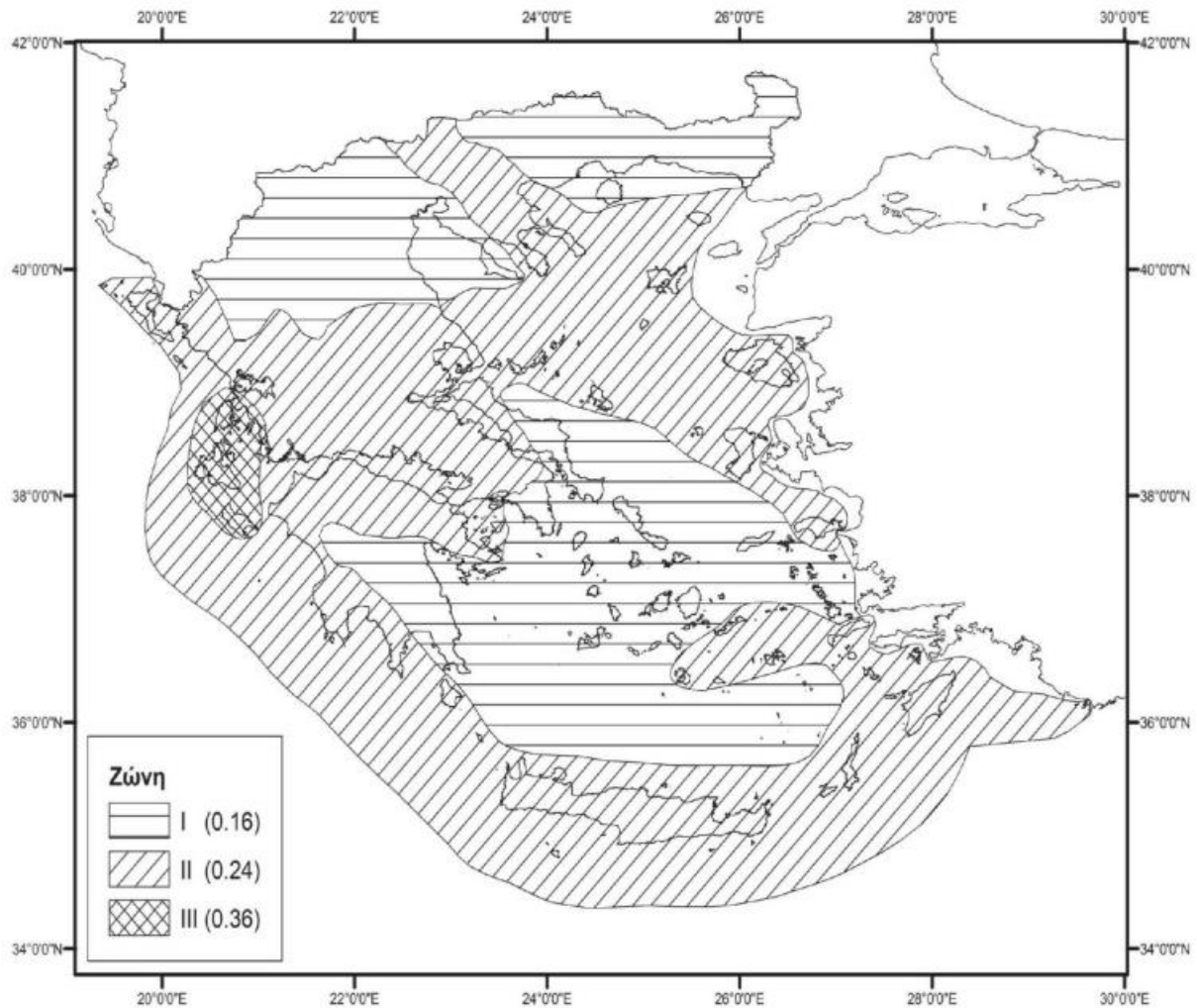
Κατακόρυφη επιτάχυνση: $\alpha_v = \pm 0.50 \cdot \alpha_\pi$

Όπου α_π είναι η σεισμική επιτάχυνση σχεδιασμού του πρηνούς και για τα φυσικά πρηνή λαμβάνεται ίση με $\alpha_\pi = 0.5\alpha$.

Άρα για την ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I η οριζόντια και η κατακόρυφη επιτάχυνση είναι ίσες με:

Οριζόντια επιτάχυνση: $\alpha_h = \alpha_\pi = 0.5 \cdot \alpha = 0.5 \cdot 0.16 = 0.08$

Κατακόρυφη επιτάχυνση: $\alpha_v = \pm 0.50 \cdot \alpha_\pi = \pm 0.50 \cdot 0.5 \cdot \alpha = \pm 0.50 \cdot 0.5 \cdot 0.16 = \pm 0.04$



Εικόνα 5.7: Χάρτης των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (πηγή: (Δ17α/67/1/ΦΝ275/6.6.2003 (ΦΕΚ Β'781) 2003)

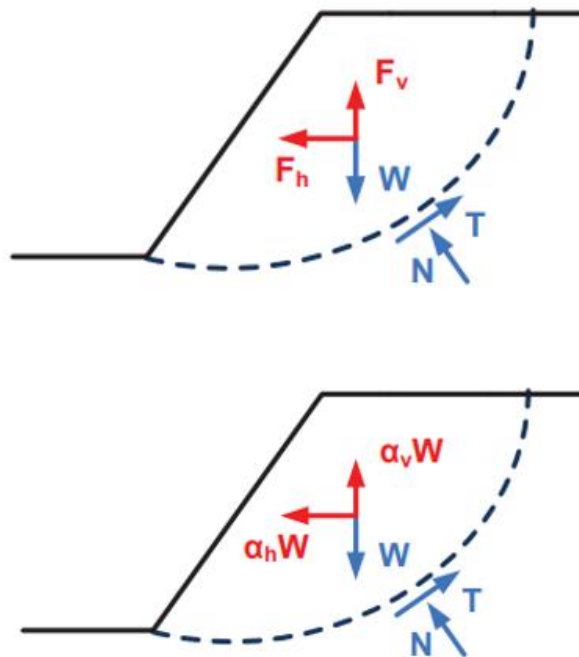
Κατά την σεισμική ανάλυση ευστάθειας του πρανούς επιλέχθηκε η επίλυση με την μέθοδο της ψευδοστατικής (pseudostatic) ανάλυσης. Με αυτή την μέθοδο η σεισμική διέγερση προσομοιώνεται με ισοδύναμες αδρανειακές δυνάμεις (Ζευγώλης 2021). Οι δυνάμεις αυτές έχουν μια οριζόντια και μια κατακόρυφη συνιστώσα. Η κατακόρυφη συνιστώσα μπορεί να έχει φορά είτε προς τα πάνω (αρνητικό πρόσημο) είτε προς τα κάτω (θετικό πρόσημο).

Οι σεισμικές δυνάμεις υπολογίζονται ως εξής:

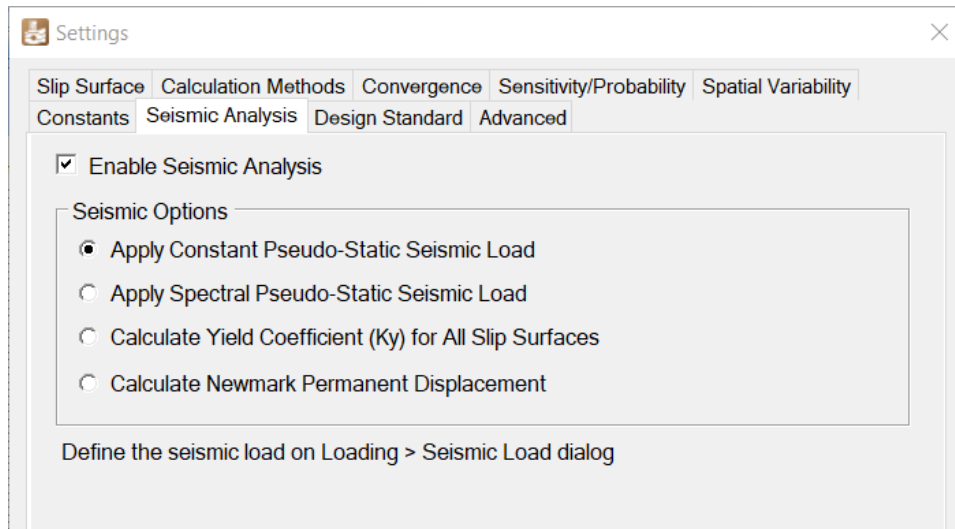
$$\text{Οριζόντια συνιστώσα: } F_h = \alpha_h \cdot W$$

$$\text{Κατακόρυφη συνιστώσα: } F_v = \alpha_v \cdot W$$

Όπου W είναι το βάρος της μάζας που ολισθαίνει και α_h και α_v είναι οι σεισμικοί συντελεστές εδάφους.



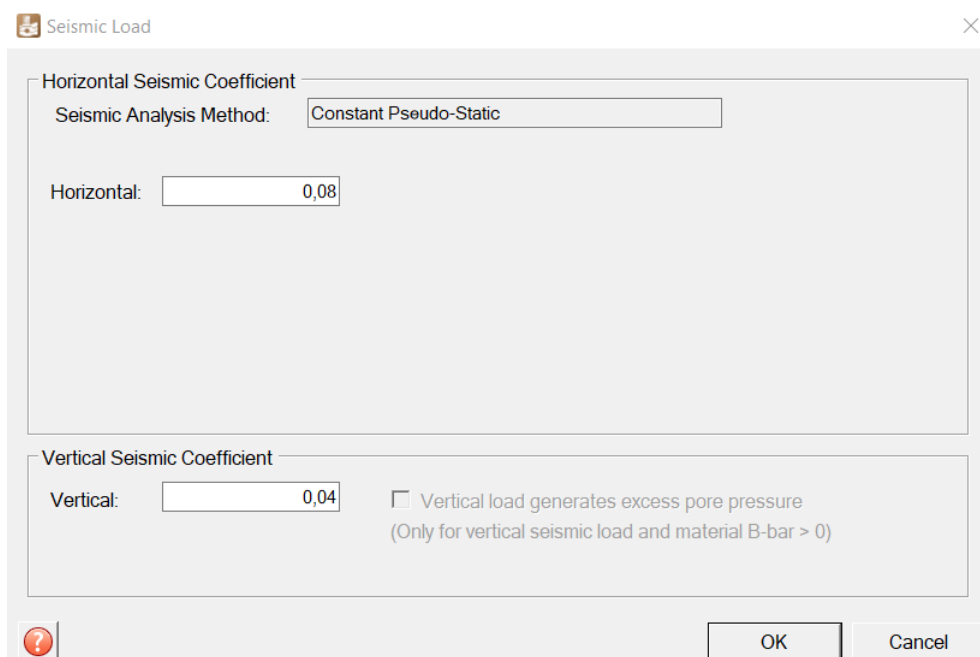
Εικόνα 5.8: Οι σεισμικές δυνάμεις σύμφωνα με την μέθοδο της ψευδοστατικής ανάλυσης
(πηγή: (Ζευγώλης 2021))



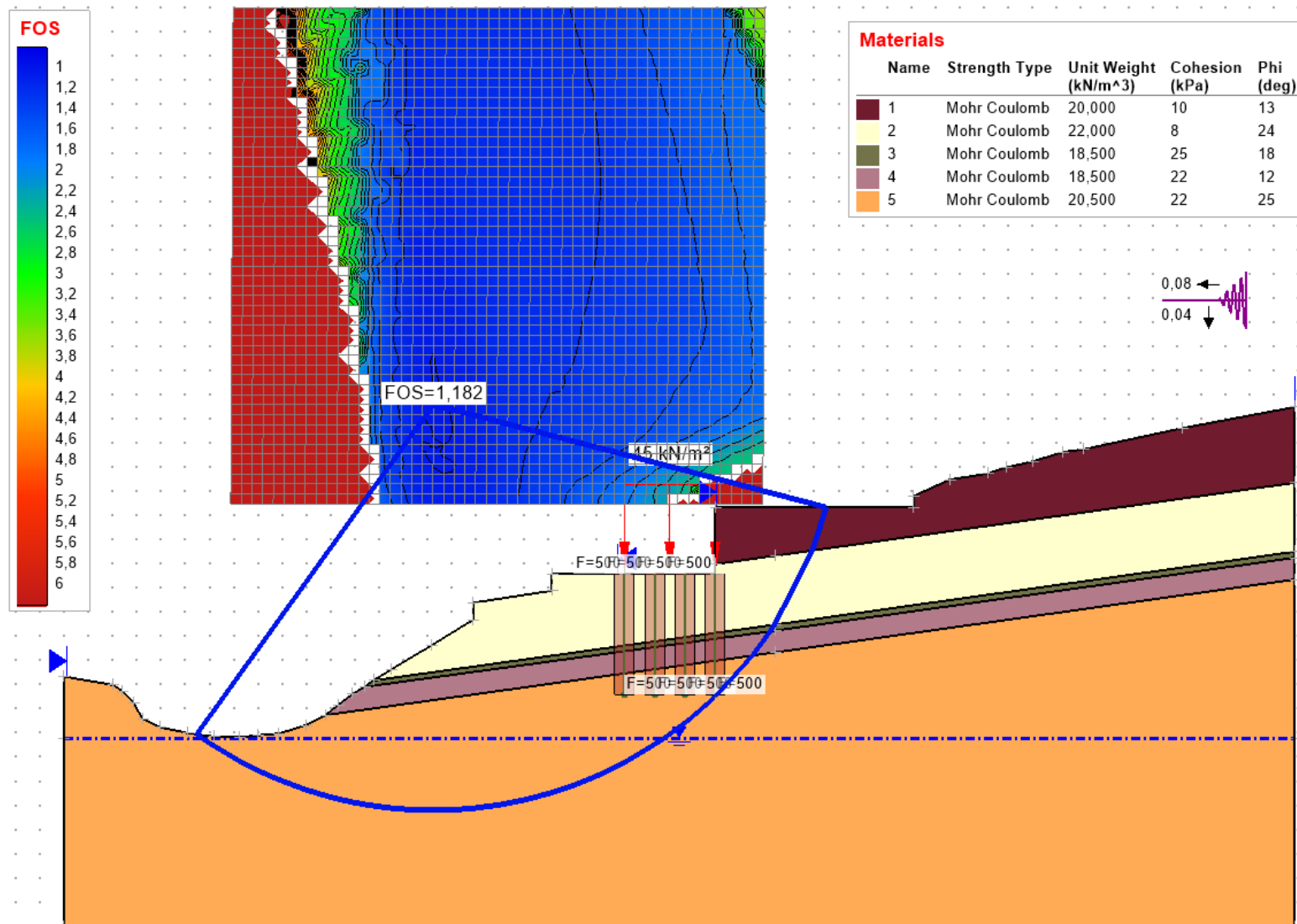
Εικόνα 5.9: Επιλογή της μεθόδου ψευδοστατικής ανάλυσης για την επίλυση του μοντέλου υπό σεισμική φόρτιση στο PLAXIS LE

Στην παρούσα εργασία έγιναν συνολικά τέσσερις σεισμικές αναλύσεις ευστάθειας στο μοντέλο όπου η κατασκευή εδράζεται σε πασσάλους. Οι δύο πρώτες αναλύσεις έγιναν για φορτίο της κατασκευής ίσο με 45 KN και οι άλλες δύο για φορτίο 35 KN. Για κάθε φορτίο έγιναν δύο αναλύσεις, καθώς στην μια ανάλυση η κατακόρυφη συνιστώσα έχει φορά προς τα πάνω και στην άλλη έχει φορά προς τα κάτω. Οι τιμές των σεισμικών συντελεστών λήφθηκαν ως εξής:

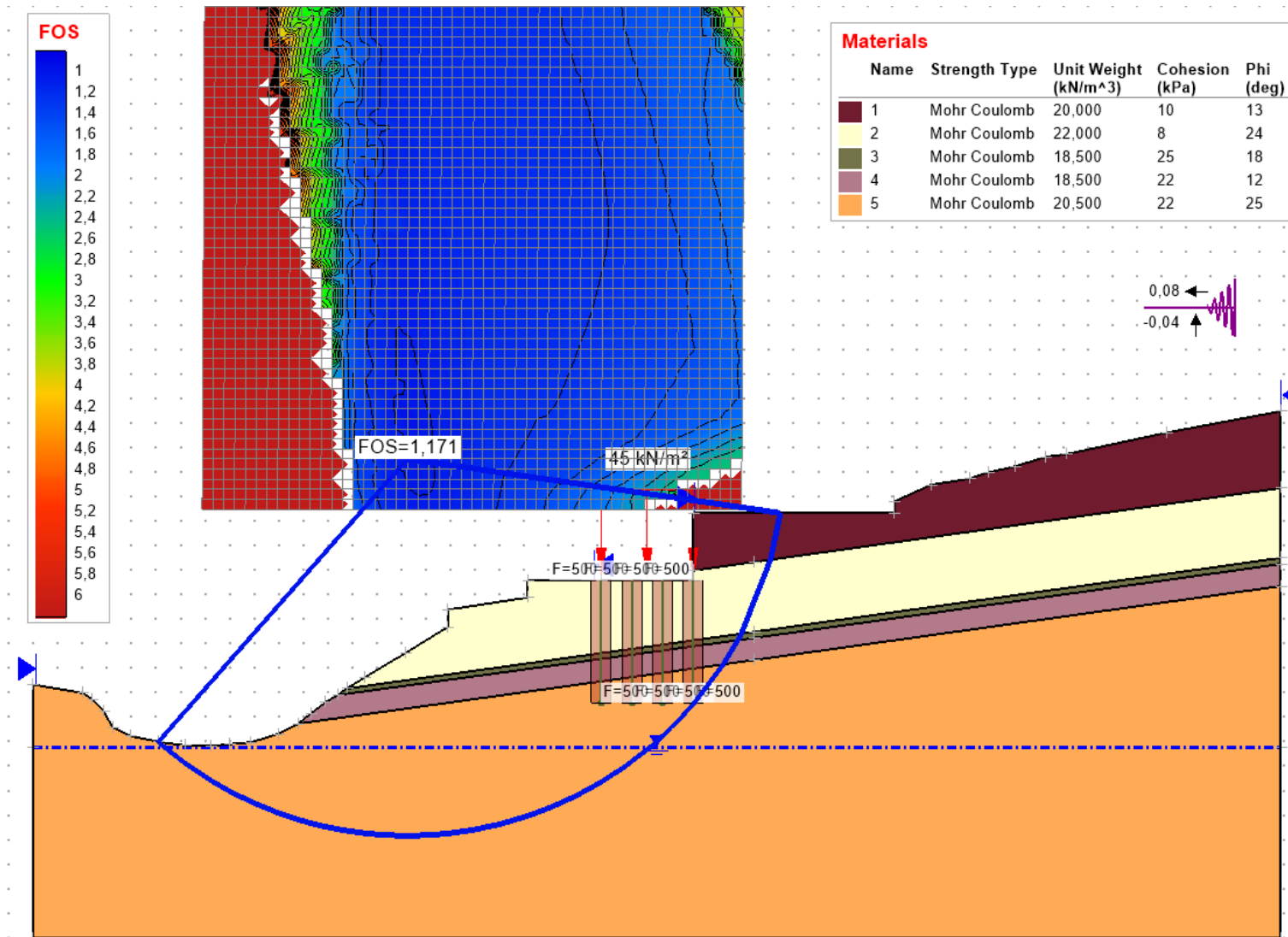
$$\alpha_h = 0.08 \text{ και } \alpha_v = \pm 0.04$$



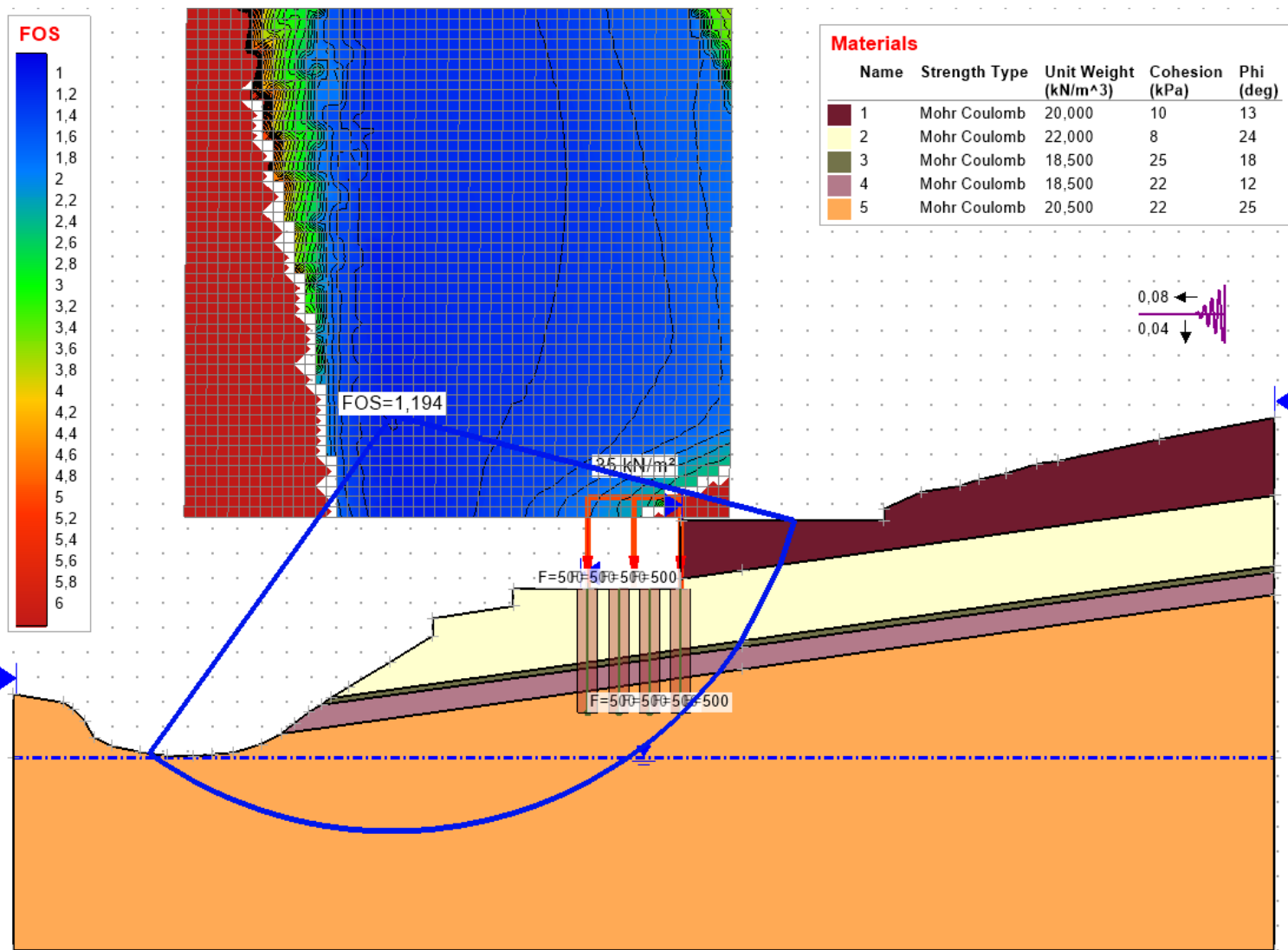
Εικόνα 5.10: Καθορισμός των τιμών των σεισμικών συντελεστών κατά την σεισμική ανάλυση στο PLAXIS LE



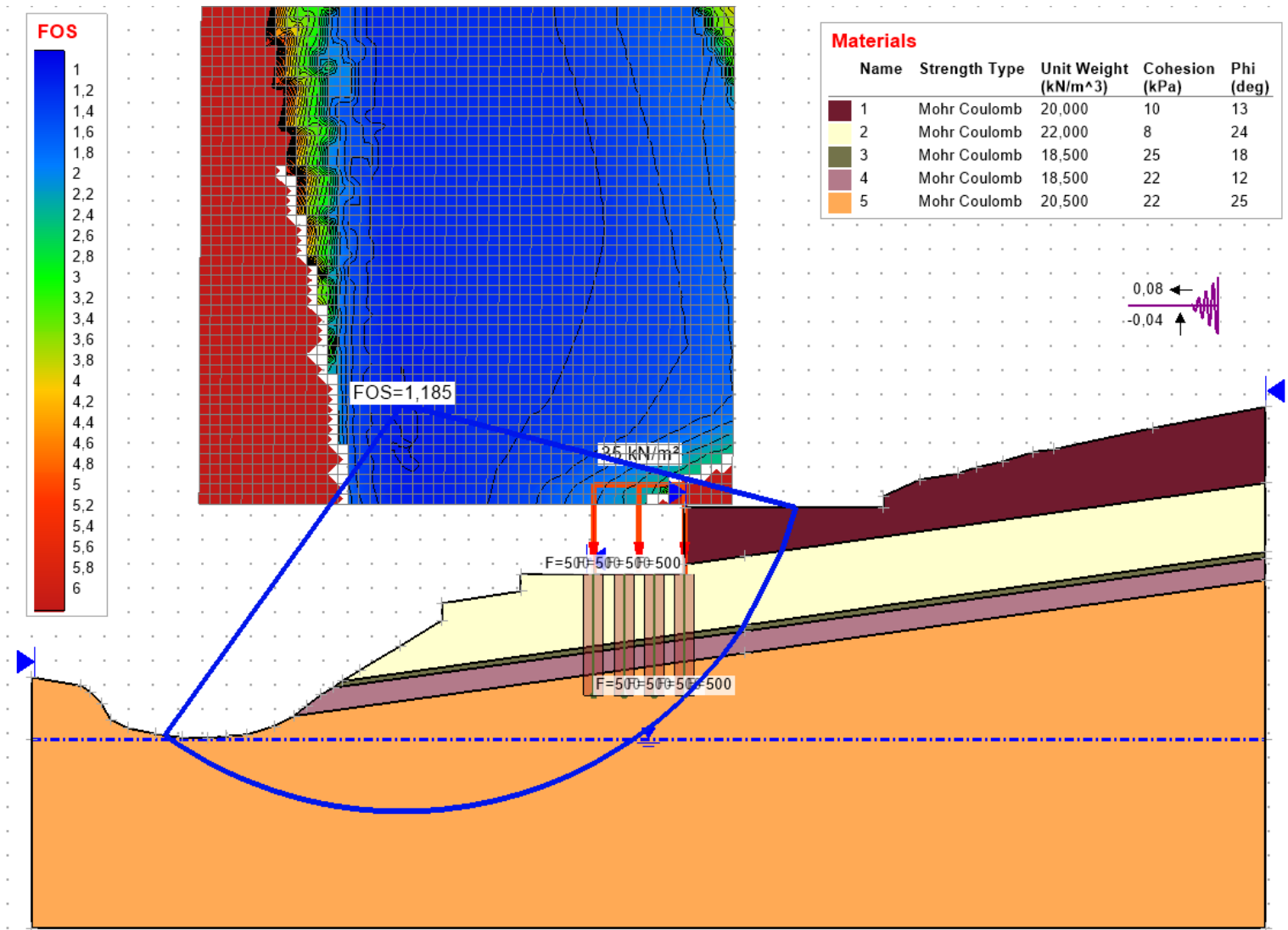
Εικόνα 5.11: Αποτελέσματα της σεισμικής ανάλυση ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις και φορτίο κτιρίου 45 KN, για κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δύναμης με φορά προς τα κάτω



Εικόνα 5.12: Αποτελέσματα της σεισμικής ανάλυση ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις και φορτίο κτιρίου 45 KN, για κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δύναμης με φορά προς τα πάνω



Εικόνα 5.13: Αποτελέσματα της σεισμικής ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις και φορτίο κτιρίου 35 KN, για κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δύναμης με φορά προς τα κάτω



Εικόνα 5.14: Αποτελέσματα της σεισμικής ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με πασσαλοθεμελιώσεις και φορτίο κτιρίου 35 KN, για κατακόρυφη συνιστώσα της σεισμικής δύναμης με φορά προς τα πάνω

5.2 Ανάλυση ευστάθειας του πρανούς πριν την αστοχία με προσθήκη τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια

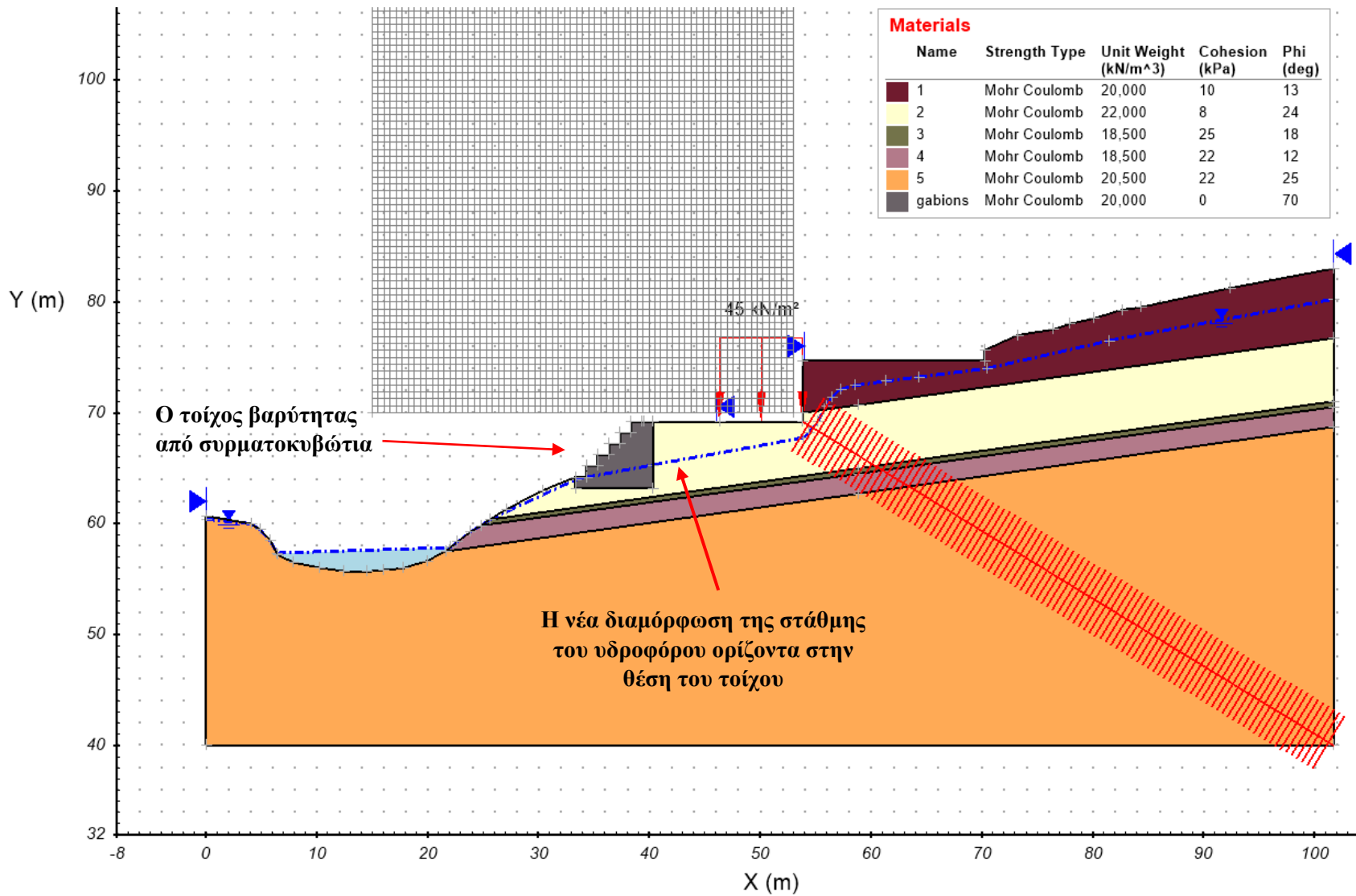
Εκτός από την περίπτωση ενός εναλλακτικού τρόπου θεμελίωσης της κατασκευής που παρασύρθηκε από την κατολίσθηση, κρίθηκε αναγκαία και η εξέταση της ευστάθειας του πρανούς μετά την προσθήκη τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια κατά μήκος του ρέματος.

Όπως αποδείχθηκε, η απόληξη της επιφάνειας ολίσθησης βρίσκεται είτε στο τέλος της επιφάνειας του δεύτερου αναβαθμού είτε στο πρανές κάτω από αυτόν. Γι' αυτό το λόγο επιλέχθηκε η τοποθέτηση του τοίχου βαρύτητας στο τέλος του πρώτου αναβαθμού. Δηλαδή εξετάζεται η περίπτωση ευστάθειας του πρανούς αν διαμορφωνόταν μπροστά από το σπίτι μόνο ένας αναβαθμός και στην θέση του δεύτερου αναβαθμού υπήρχε τοίχος βαρύτητας από συρματοκυβώτια.

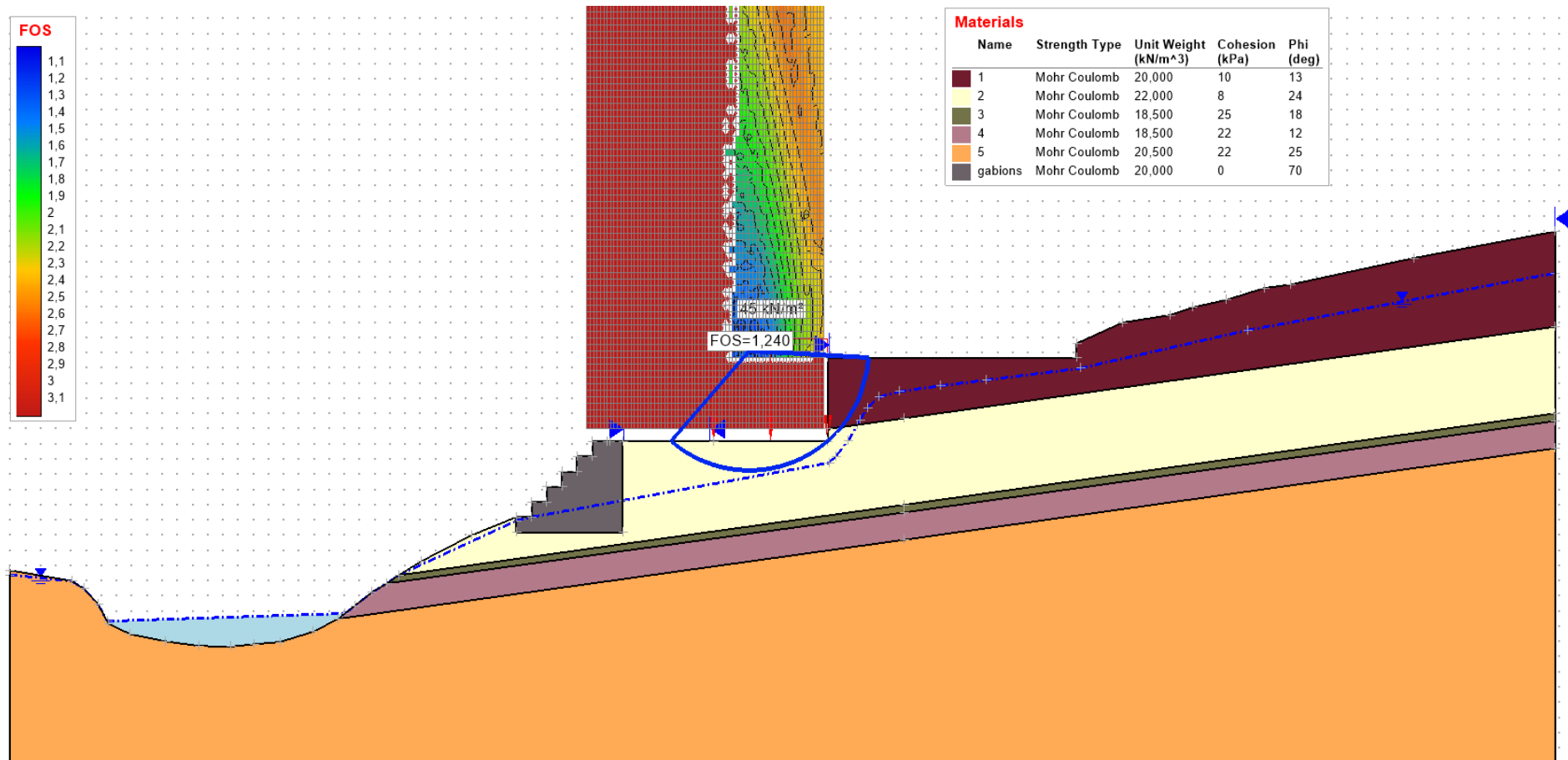
Συνολικά για αυτή την θέση του τοίχου πραγματοποιήθηκαν τρεις αναλύσεις. Σε όλες τις αναλύσεις τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του τοίχου είναι ίδια και το μόνο που αλλάζει κάθε φορά είναι τα όρια έναρξης και τέλους της επιφάνειας αστοχίας. Αρχικά, ελέγχθηκε η ευστάθεια του πρανούς πίσω από τον τοίχο βαρύτητας, έπειτα ελέγχθηκε η ολική ευστάθεια του πρανούς και τέλος ελέγχθηκε αν η επιφάνεια αστοχίας θα μπορούσε να τμήσει τον τοίχο. Κατά την ολική ευστάθεια του πρανούς οι επιφάνειες αστοχίας δεν τέμνουν τον τοίχο αλλά διέρχονται κάτω από την επιφάνεια θεμελίωσής του. Γι' αυτό έγινε και μια ανάλυση με επιφάνειες που τέμνουν τον τοίχο.

Όσο αφορά τα χαρακτηριστικά του προσομοιώματος του πρανούς στο PLAXIS LE, αυτό παραμένει το ίδιο με εκείνο της αντίστροφης ανάλυσης μόνο από πλευράς μηχανικών χαρακτηριστικών των υλικών. Στην περιοχή τοποθέτησης του τοίχου αλλάζει η γεωμετρία του πρανούς αλλά και η στάθμη του υδροφόρου, γιατί εκεί λόγω της παρουσίας του τοίχου το νερό αποστραγγίζεται. Σε όλες τις αναλύσεις το φορτίο του κτιρίου παραμένει ίσο με 45 KN. Κατά τον έλεγχο της ευστάθειας του πρανούς, ο υπολογισμός των επιφανειών αστοχίας και της τιμής του συντελεστή ασφαλείας γίνεται με τις ίδιες μεθόδους όπως και στο μοντέλο της αντίστροφης ανάλυσης.

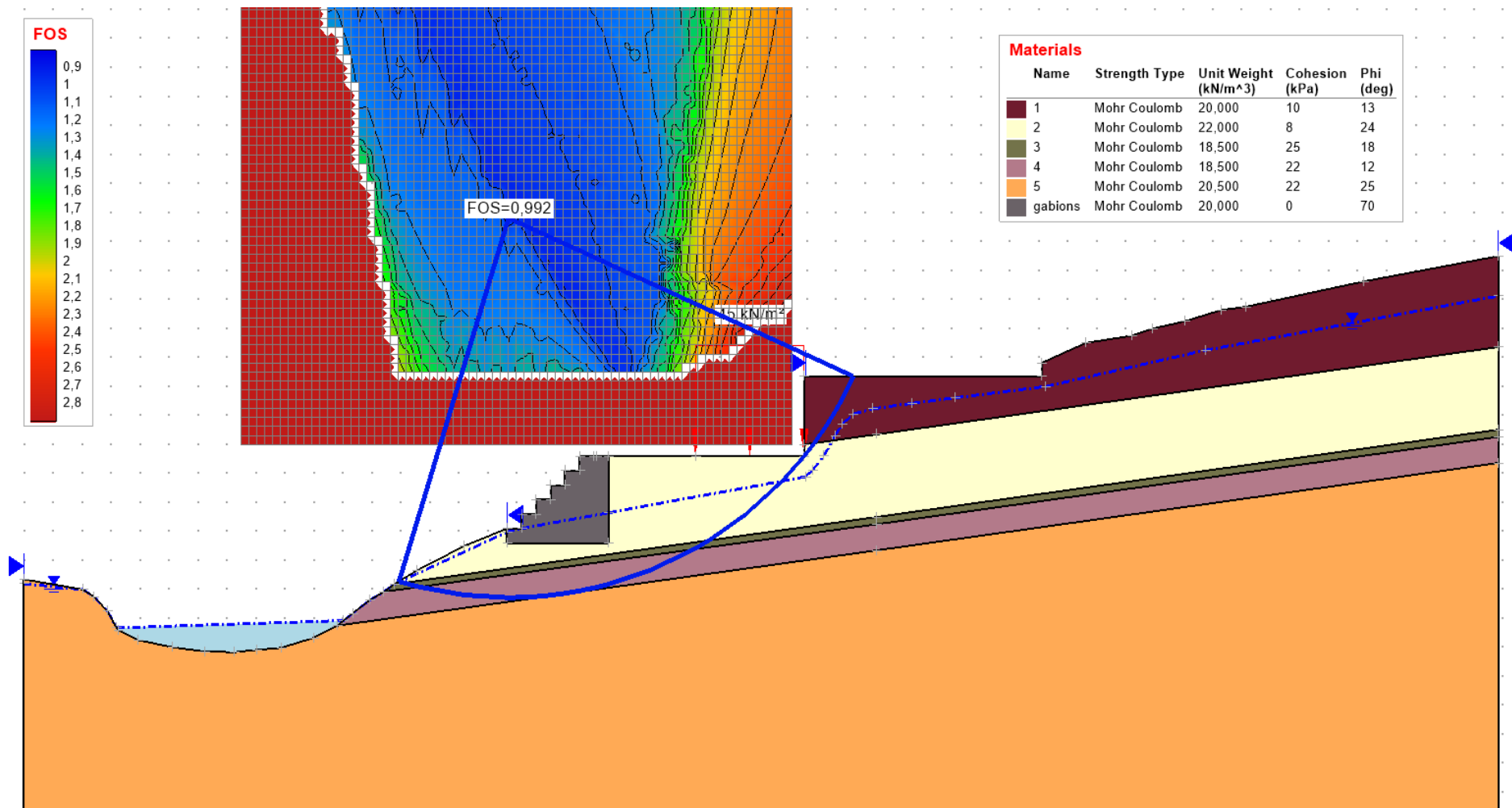
Ο τοίχος βαρύτητας προσομοιώθηκε στο PLAXIS LE ως ένα γεωυλικό με γωνία τριβής 70° και συνοχή ίση με 0 KPa. Αυτό γιατί ο τοίχος αποτελείται από συρματοκυβώτια πληρωμένα με θραυστό υλικό το οποίο δεν έχει συνοχή. Από την άλλη, η πολύ μεγάλη γωνία τριβής, του προσδίδεται από το γεγονός ότι το θραυστό υλικό συγκρατείται στην θέση του λόγω της παρουσίας των συρματοκυβωτίων. Το ύψος του τοίχου επιλέχθηκε να είναι ίσο με 6 m και το πλάτος του ίσο με 7 m.



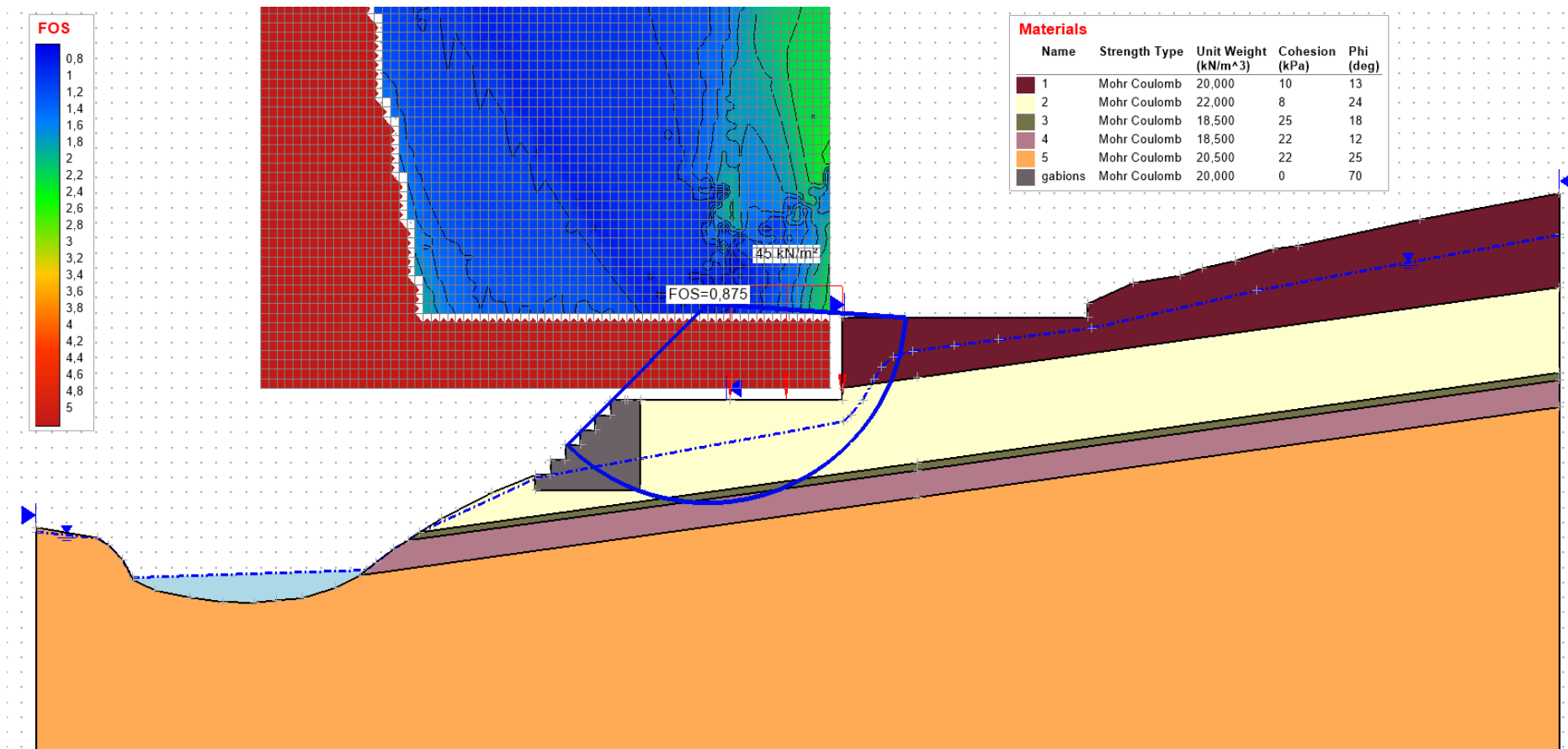
Εικόνα 5.15: Το προσομοίωμα του πρανους όπως αυτό διαμορφώνεται μετά την προσθήκη του τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια



Εικόνα 5.16: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς πάνω από τον τοίχο βαρύτητας



Εικόνα 5.17: Τα αποτελέσματα της ολικής ευστάθειας του πρανους μετά την τοποθέτηση του τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια

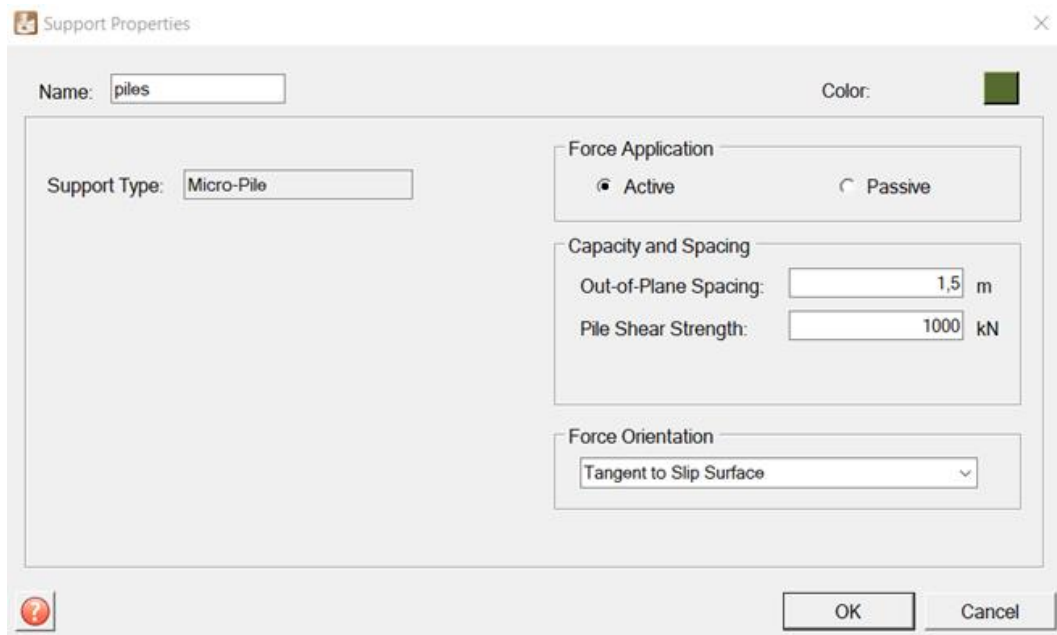


Εικόνα 5.18: Τα αποτελέσματα της ευστάθειας του πρανους όπου οι επιφάνειες αστοχίας τέμνουν τον τοίχο

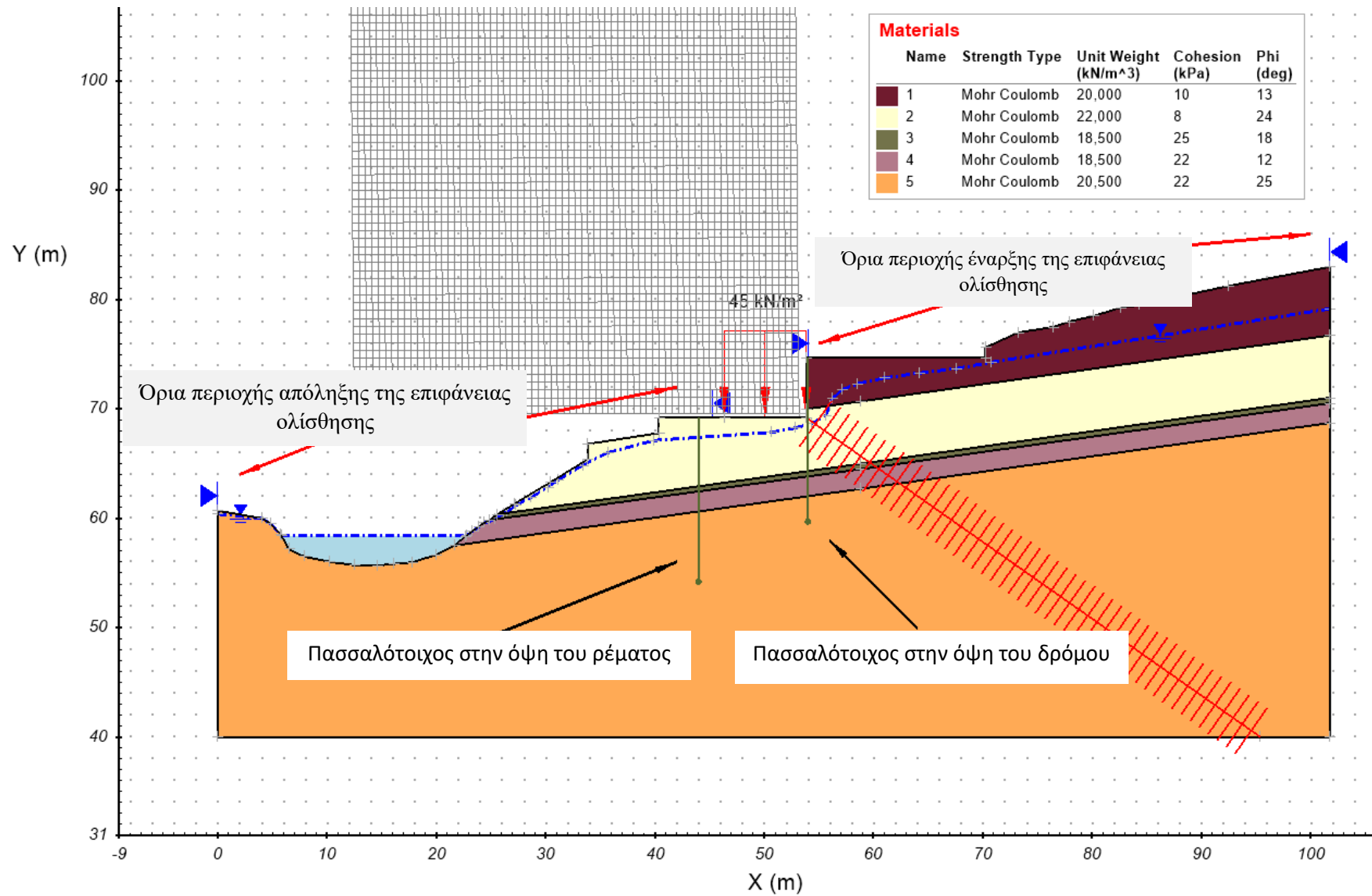
5.3 Ανάλυση ευστάθειας του αρχικού πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων

Η τρίτη περίπτωση που εξετάστηκε, είναι η επίδραση της προσθήκης πασσαλότοιχων στην ευστάθεια του πρανούς. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας έγιναν αναλύσεις με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου με σκοπό να αποδειχθεί αν αυτοί συμβάλουν θετικά στην ευστάθεια ή όχι. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις, μια με πασσαλότοιχο μόνο στην όψη του δρόμου, μια με πασσαλότοιχο μόνο στην όψη του ρέματος και μια με έναν πασσαλότοιχο στην όψη του δρόμου και έναν στην όψη του ρέματος.

Όσο αφορά το μοντέλο του πρανούς στο PLAXIS LE, αυτό παρέμεινε το ίδιο όπως και στην ανάστροφη ανάλυση (γεωμετρία πρανούς, μηχανικές παράμετροι γεωλικών και θέση υδροφόρου ίδια με πριν) και το μόνο που άλλαξε είναι η προσθήκη των πασσαλότοιχων και ο τρόπος υπολογισμού της επιφάνειας αστοχίας. Σε κάθε ανάλυση ελέγχθηκε η συνολική ευστάθεια του πρανούς και έτσι τα όρια των περιοχών έναρξης και απόληξης της επιφάνειας αστοχίας, ο κλίμακας και η γραμμή ορίστηκαν όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.20. Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με διαφορετικά μήκη πασσαλότοιχων και για φορτίο κτιρίου τόσο ίσο με 45 kN όσο και ίσο με 35 kN. Σε όλες τις περιπτώσεις οι πάσσαλοι έχουν απόσταση ίση με 1.5 m μεταξύ τους, κατά μήκος του πασσαλότοιχου στην τρίτη διάσταση, στο επίπεδο δηλαδή κάθετα στην ανάλυση στο PLAXIS LE. Οι πάσσαλοι επιλέχθηκαν να είναι οπλισμένοι πάσσαλοι σκυροδέματος με αντοχή σε διάτμηση ίση με 1000 kN και να έχουν διάμετρο 1 m.



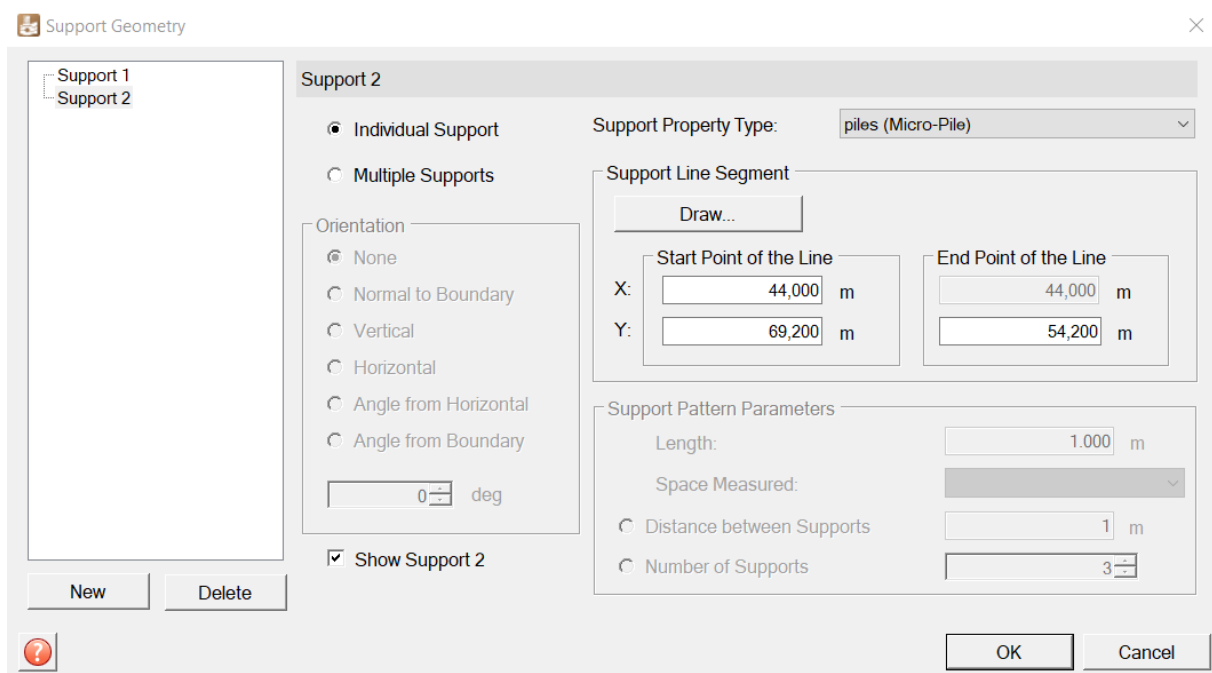
Εικόνα 5.19: Καθορισμός της απόστασης των πασσάλων και της διατμητικής τους αντοχής στο PLAXIS LE



Εικόνα 5.20: Το μοντέλο του πρανούς στο PLAXIS LE όπως αυτό διαμορφώθηκε μετά την προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου

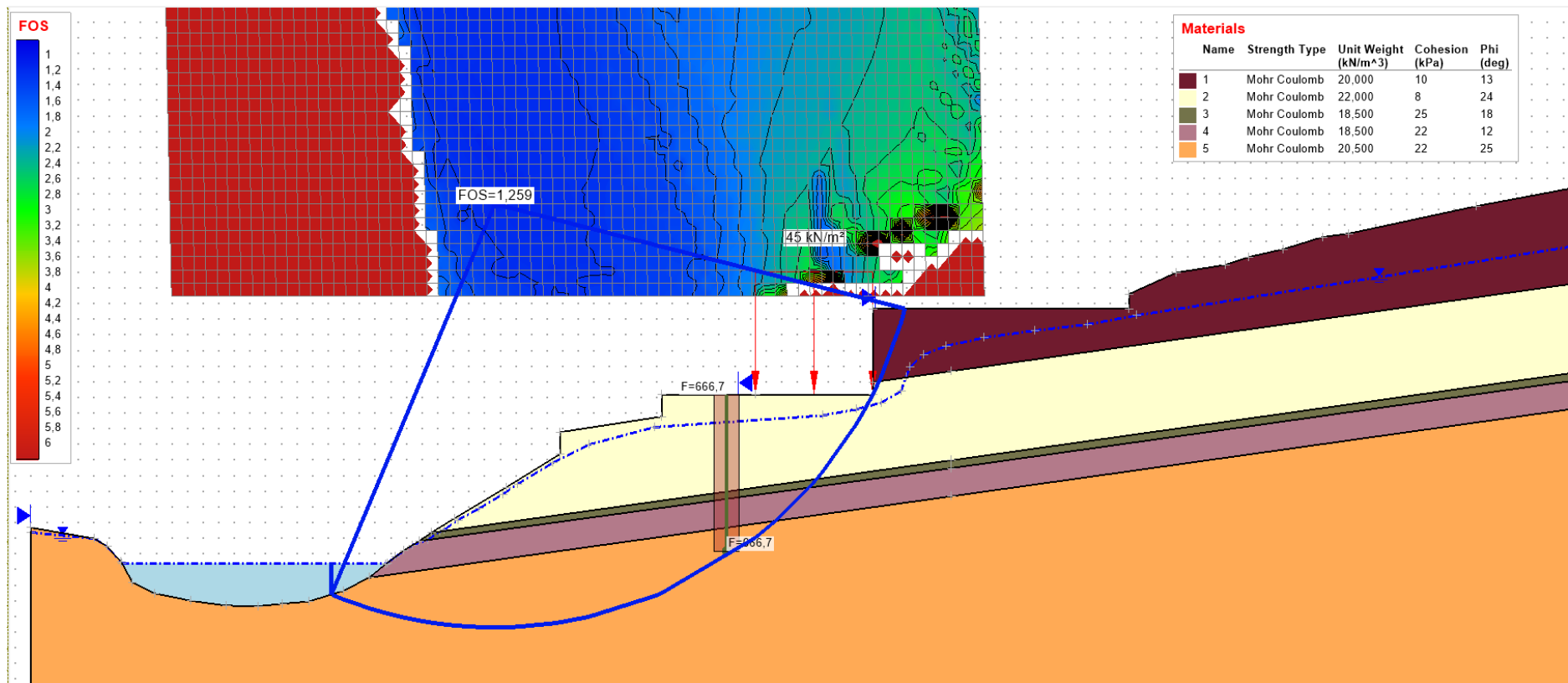
5.3.1 Ανάλυση με προσθήκη πασσαλότοιχου μόνο στην όψη του ρέματος

Το πρώτο σετ αναλύσεων που πραγματοποιήθηκε είναι η εξέταση της ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχου μόνο στην όψη του ρέματος Νταού. Ο πασσαλότοιχος τοποθετήθηκε σε απόσταση 2 m από την κατασκευή στην επιφάνεια του πρώτου αναβαθμού. Εξετάστηκε η επίδρασή του πασσαλότοιχου για μήκος πασσάλων ίσο με 10 m και για μήκος ίσο με 15 m. Επίσης για κάθε μήκος πασσάλων έγιναν δύο αναλύσεις, μία για φορτίο κτιρίου ίσο με 45 KN και μια για φορτίο 35 KN. Έτσι ελέγχθηκε τόσο η επίδραση του μήκους των πασσάλων, όσο και η τυχόν επίδραση του φορτίου της κατασκευής στην τιμή του συντελεστή ασφαλείας του πρανούς.

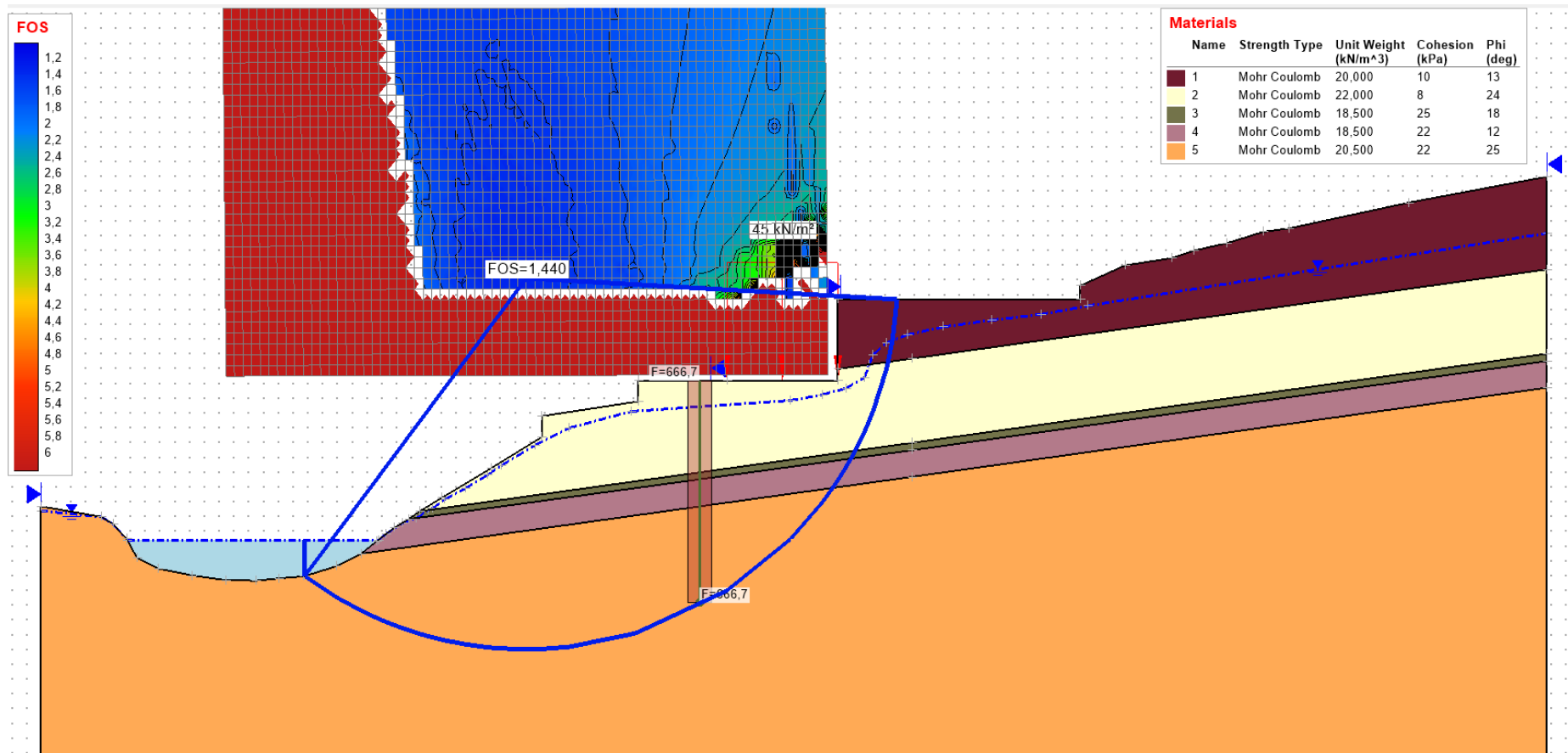


Εικόνα 5.21: Καθορισμός της θέσης του πασσαλότοιχου στην όψη του ρέματος, στο PLAXIS LE.

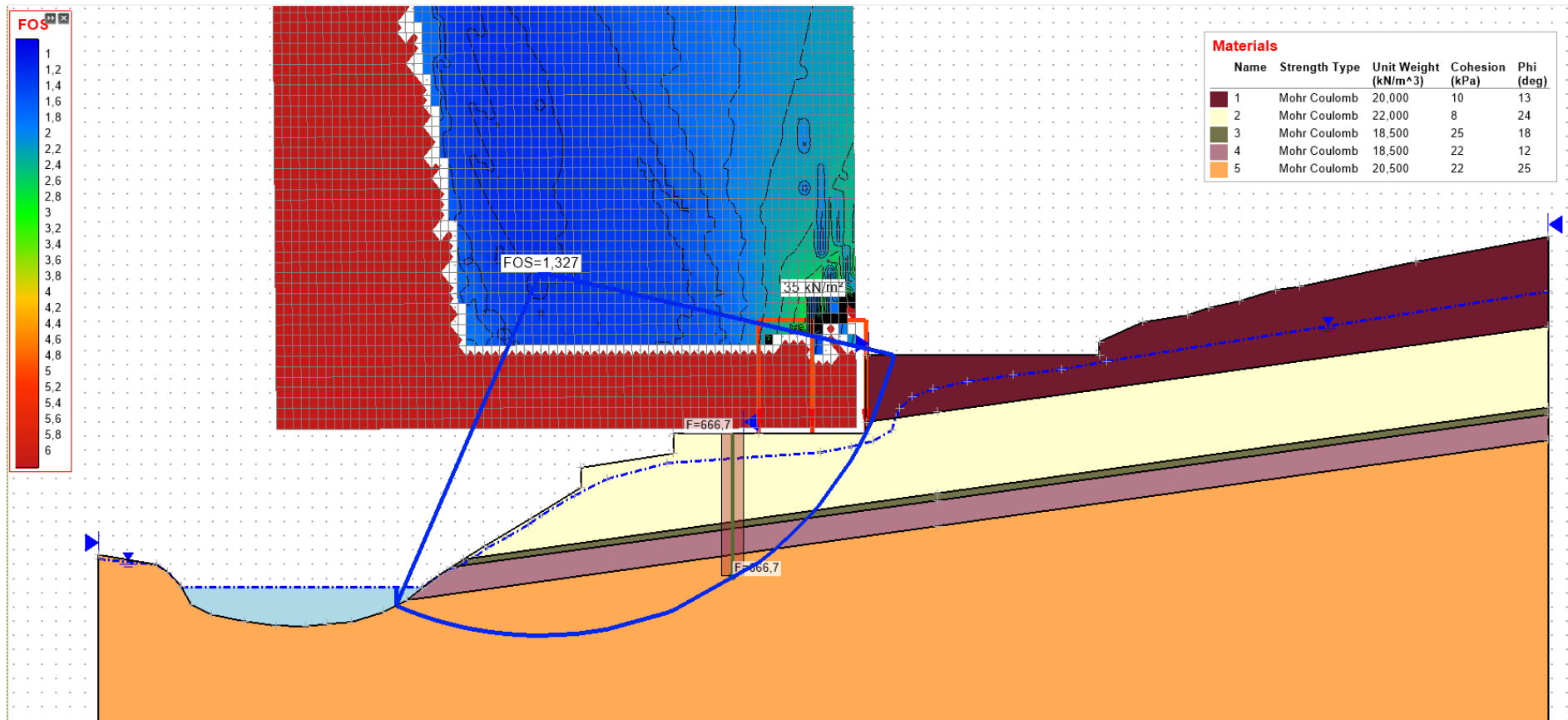
Όπως προκύπτει από τις αναλύσεις, η αύξηση του βάθους του πασσαλότοιχου έχει θετική επίδραση στην τιμή του συντελεστή ασφαλείας, καθώς αυτή αυξάνεται κατά 0.2 μονάδες (αύξηση κατά 15 %) όταν το μήκος των πασσάλων από τα 10 m πάει στα 15 m. Όσο αφορά την επίδραση της αλλαγής του φορτίου της κατασκευής, αυτή είναι επίσης θετική γιατί όταν το φορτίο μειώνεται από τα 45 KN στα 35 KN, για το ίδιο μήκος πασσάλων, η τιμή του συντελεστή ασφαλείας αυξάνεται κατά 0.1 μονάδες (αύξηση κατά 4,5 %). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



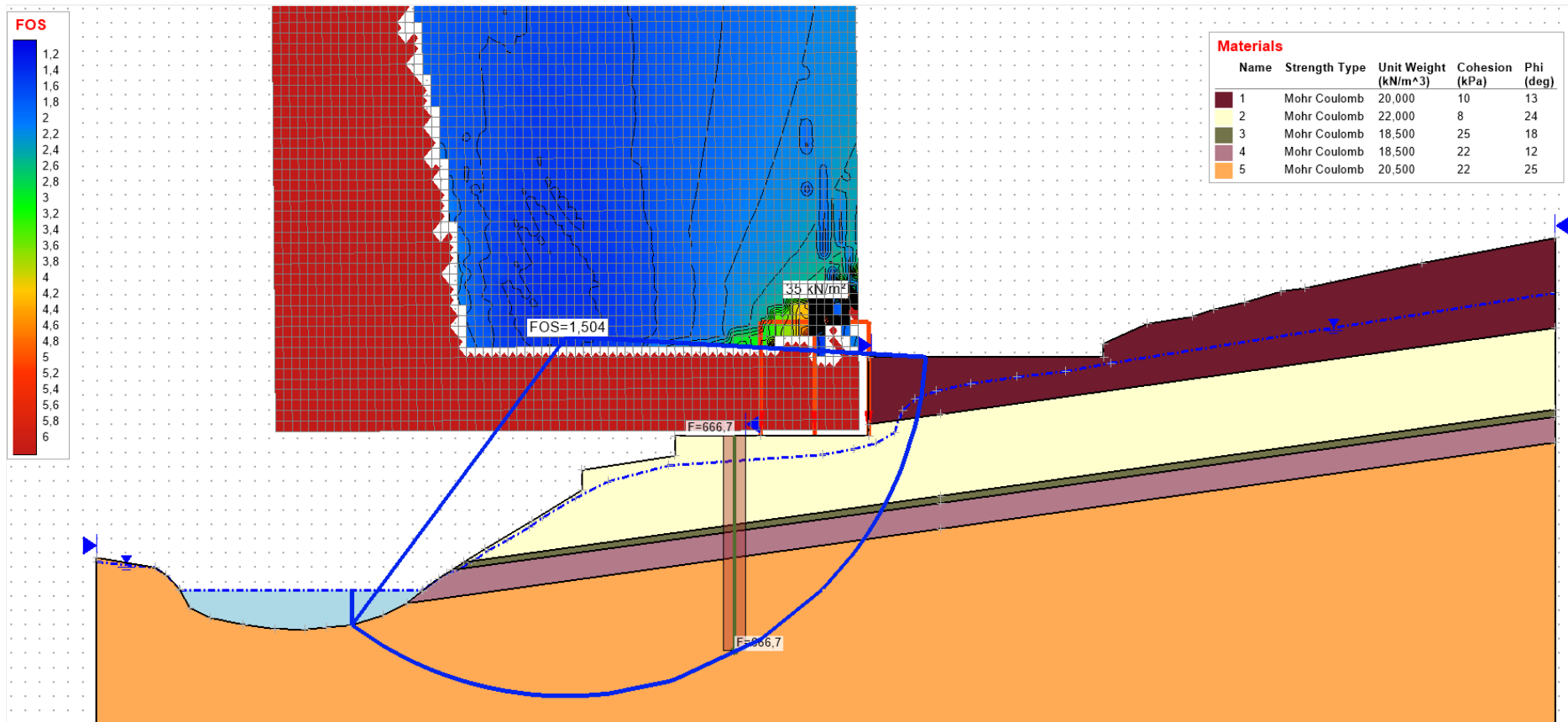
Εικόνα 5.22: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 10 m στην όψη προς το ρέμα, με φορτίο κτιρίου 45 KN



Εικόνα 5.23: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 15 m στην όψη προς το ρέμα, με φορτίο κτιρίου 45 KN



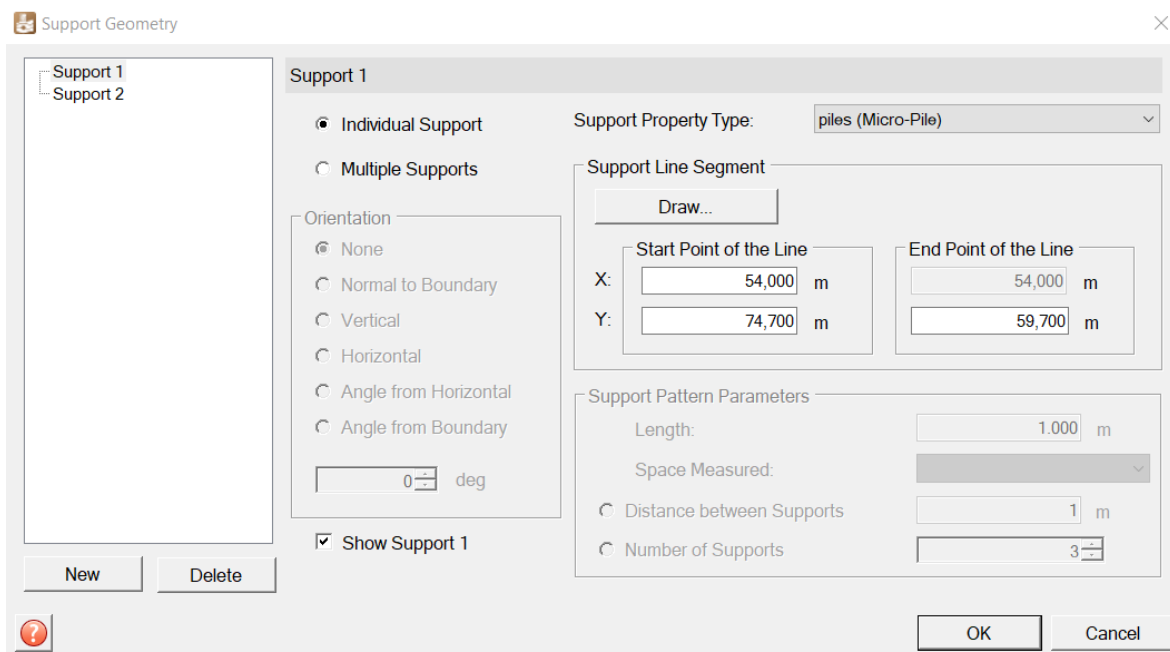
Εικόνα 5.24: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 10 m στην όψη προς το ρέμα, με φορτίο κτιρίου 35 KN



Εικόνα 5.25: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 15 m στην όψη προς το ρέμα, με φορτίο κτιρίου 35 KN

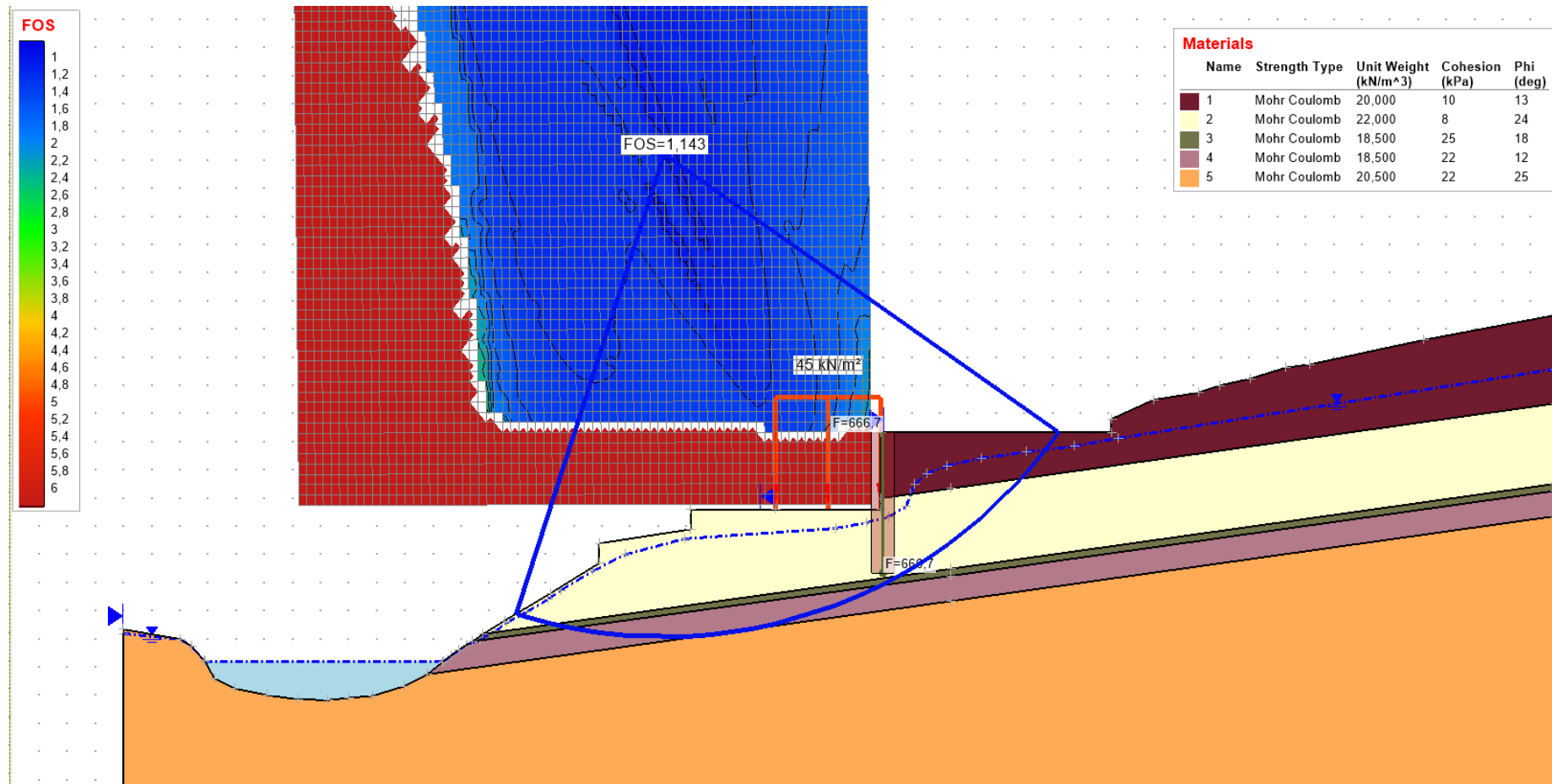
5.3.2 Ανάλυση με προσθήκη πασσαλότοιχου μόνο στην όψη του δρόμου

Το δεύτερο σετ αναλύσεων που πραγματοποιήθηκε είναι η εξέταση της ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχου μόνο προς την όψη της οδού Καρυωτάκη. Ο πασσαλότοιχος τοποθετήθηκε ακριβώς δίπλα από την κατασκευή, στο όριο τέλους της επιφάνειας θεμελίωσής της προς την πλευρά του δρόμου. Εξετάστηκε η επίδρασή του πασσαλότοιχου για μήκος πασσάλων ίσο με 10 m και για μήκος ίσο με 15 m. Επιπλέον για κάθε μήκος πασσάλων έγιναν δύο αναλύσεις, μία για φορτίο κτιρίου ίσο με 45 KN και μια για φορτίο 35 KN. Έτσι εξετάστηκε τόσο η επίδραση του μήκους των πασσάλων, όσο και η επίδραση του μεγέθους του φορτίου της κατασκευής στην τιμή του συντελεστή ασφαλείας του πρανούς.

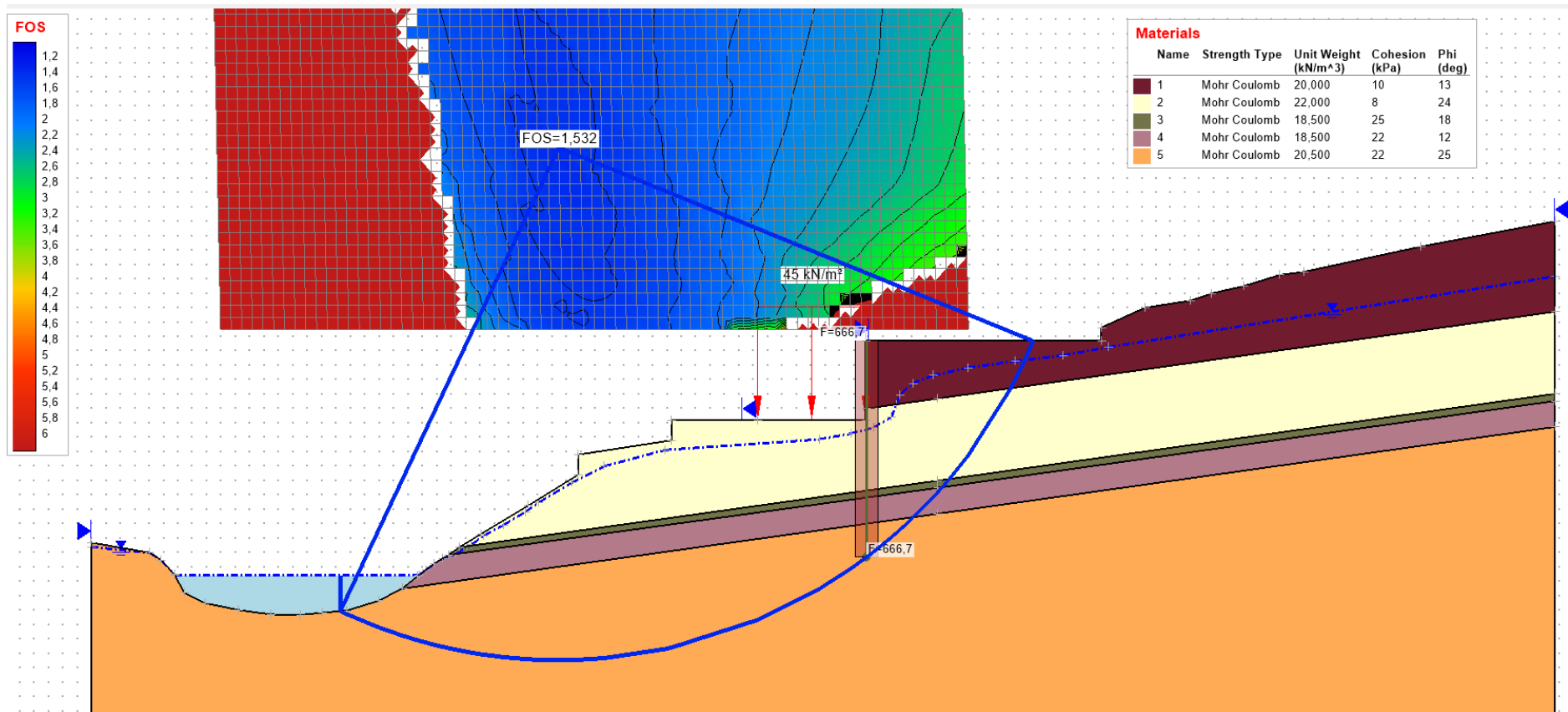


Εικόνα 5.26: Καθορισμός της θέσης του πασσαλότοιχου στην όψη του δρόμου, στο PLAXIS LE

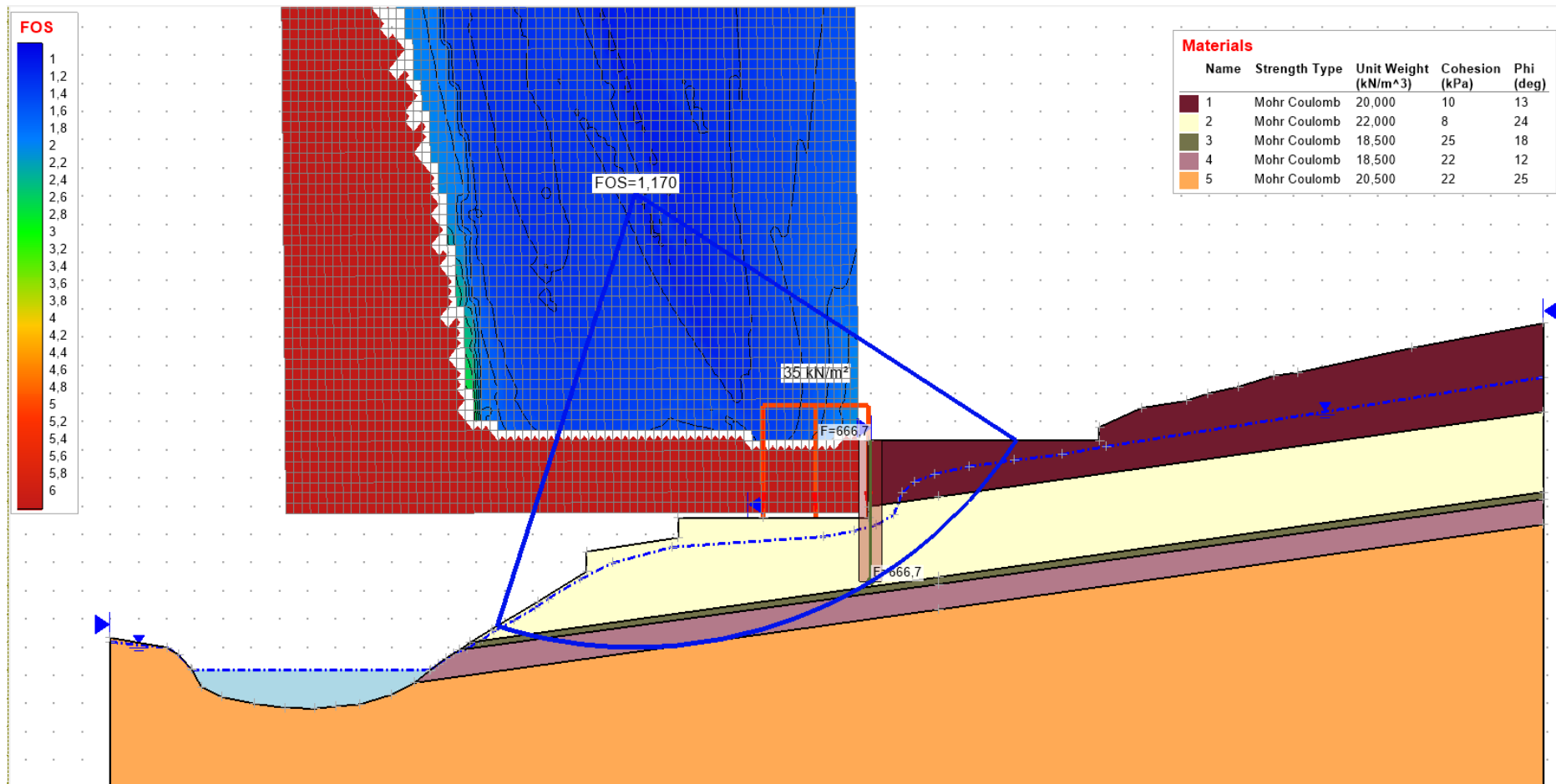
Όπως προκύπτει από τις αναλύσεις, η αύξηση του βάθους του πασσαλότοιχου έχει έντονη θετική επίδραση στην τιμή του συντελεστή ασφαλείας, καθώς αυτή αυξάνεται κατά 0.4 μονάδες (αύξηση κατά 35 %) όταν το μήκος των πασσάλων από τα 10 m πάει στα 15 m. Όσο αφορά την επίδραση της αλλαγής του φορτίου της κατασκευής, αυτή δεν είναι πολύ εμφανείς γιατί όταν το φορτίο μειώνεται από τα 45 KN στα 35 KN, για το ίδιο μήκος πασσάλων, η τιμή του συντελεστή ασφαλείας αυξάνεται κατά 0.03 μονάδες (αύξηση κατά 3 %) περίπου.



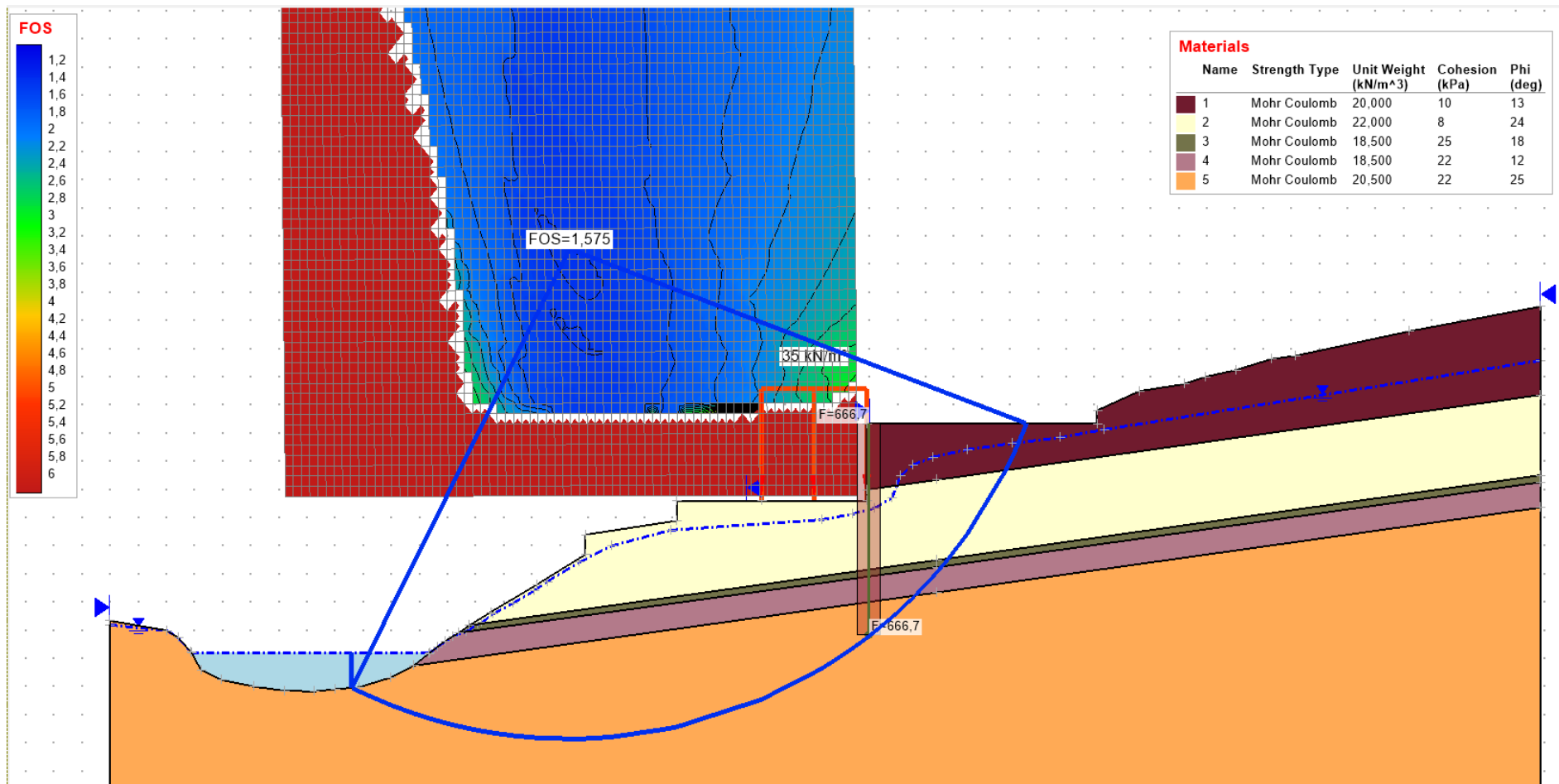
Εικόνα 5.27: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 10 m στην όψη του δρόμου, με φορτίο κιριού 45 KN



Εικόνα 5.28: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 15 m στην όψη του δρόμου, με φορτίο κτιρίου 45 KN



Εικόνα 5.29: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 10 m στην όψη του δρόμου, με φορτίο κτιρίου 35 KN



Εικόνα 5.30: Αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη ενός πασσαλότοιχου βάθους 15 m στην όψη του δρόμου, με φορτίο κτιρίου 35 KN

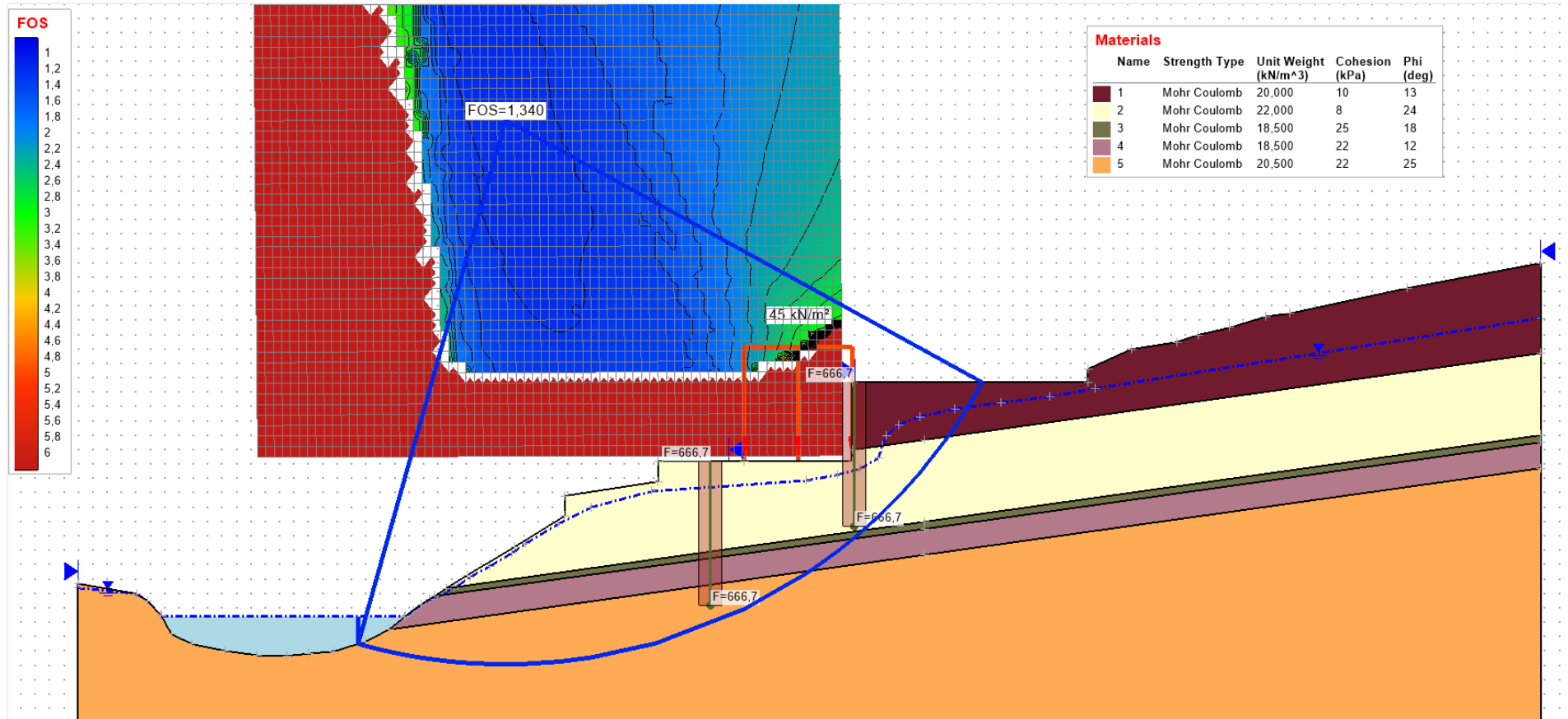
5.3.3 Ανάλυση με πασσαλότοιχους εκατέρωθεν της κατοικίας

Το τρίτο σετ αναλύσεων που πραγματοποιήθηκε είναι η εξέταση της ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν της κατοικίας. Η θέση κάθε πασσαλότοιχου είναι η ίδια με τα δύο προηγούμενα σετ αναλύσεων, μόνο που τώρα οι πασσαλότοιχοι τοποθετούνται στο ίδιο μοντέλο με σκοπό την εξέταση της επίδρασης και των δύο συνδυαστικά στην ευστάθεια του πρανούς. Συνολικά σχεδιάστηκαν τέσσερα μοντέλα με διαφορετικό συνδυασμό μήκους πασσάλων του κάθε πασσαλότοιχου. Οι συνδυασμοί αυτοί φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Για κάθε μοντέλο έγιναν δύο αναλύσεις, μια για φορτίο κτιρίου ίσο με 45 KN και μια για φορτίο ίσο με 35 KN. Με αυτόν τον τρόπο εξετάστηκε τόσο η επίδραση του μήκους των πασσάλων, όσο και η επίδραση του μεγέθους του φορτίου της κατασκευής στην τιμή του συντελεστή ασφαλείας του πρανούς.

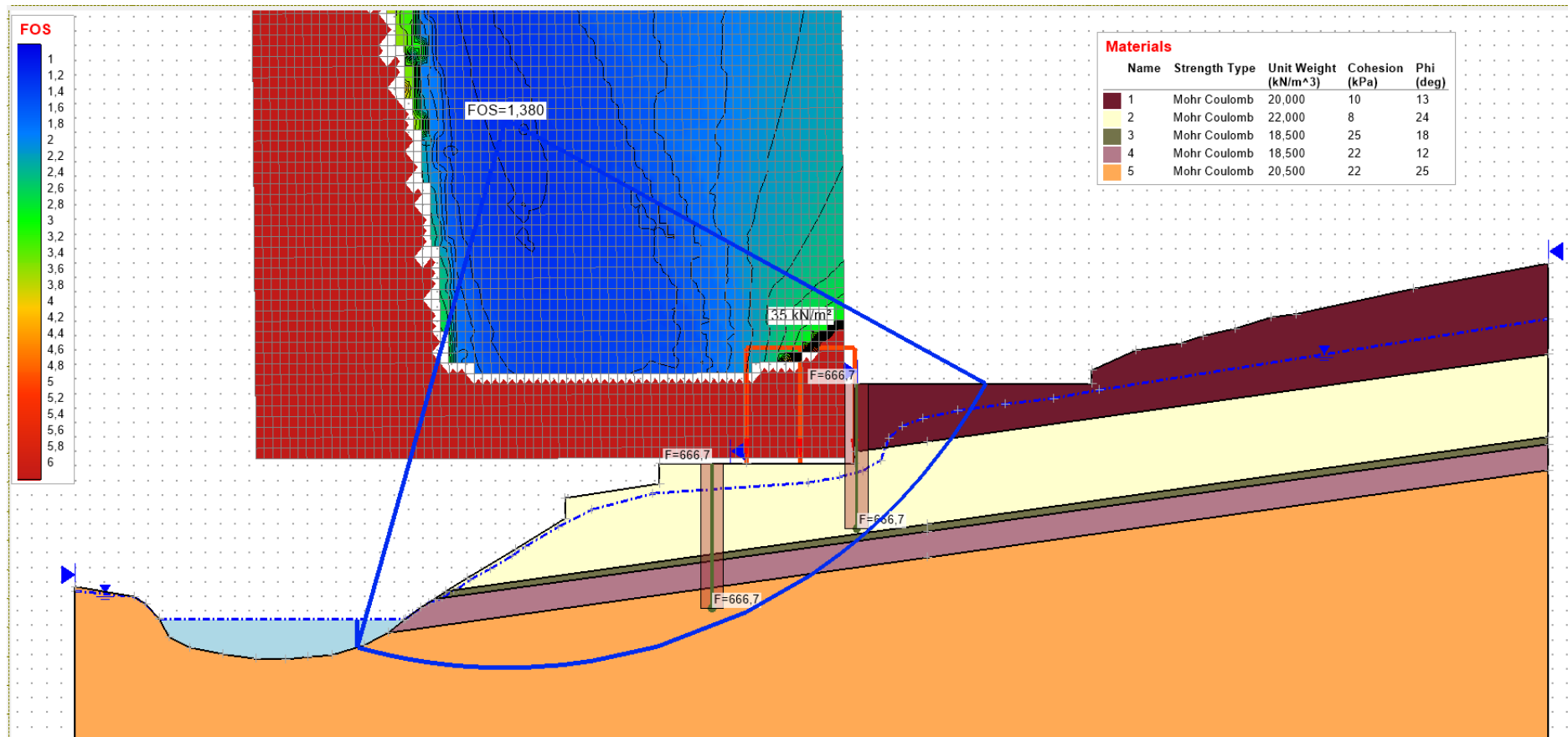
Πίνακας 7: Τα μοντέλα που σχεδιάστηκαν με τους διαφορετικούς συνδυασμούς όσο αφορά τα μήκη των πασσαλότοιχων

Αριθμός μοντέλου	Πασσαλότοιχος στην όψη του ρέματος	Πασσαλότοιχος στην όψη του δρόμου
1ο	Βάθους 10 m	Βάθους 10 m
2ο	Βάθους 15 m	Βάθους 15 m
3ο	Βάθους 10 m	Βάθους 15 m
4ο	Βάθους 15 m	Βάθους 10 m

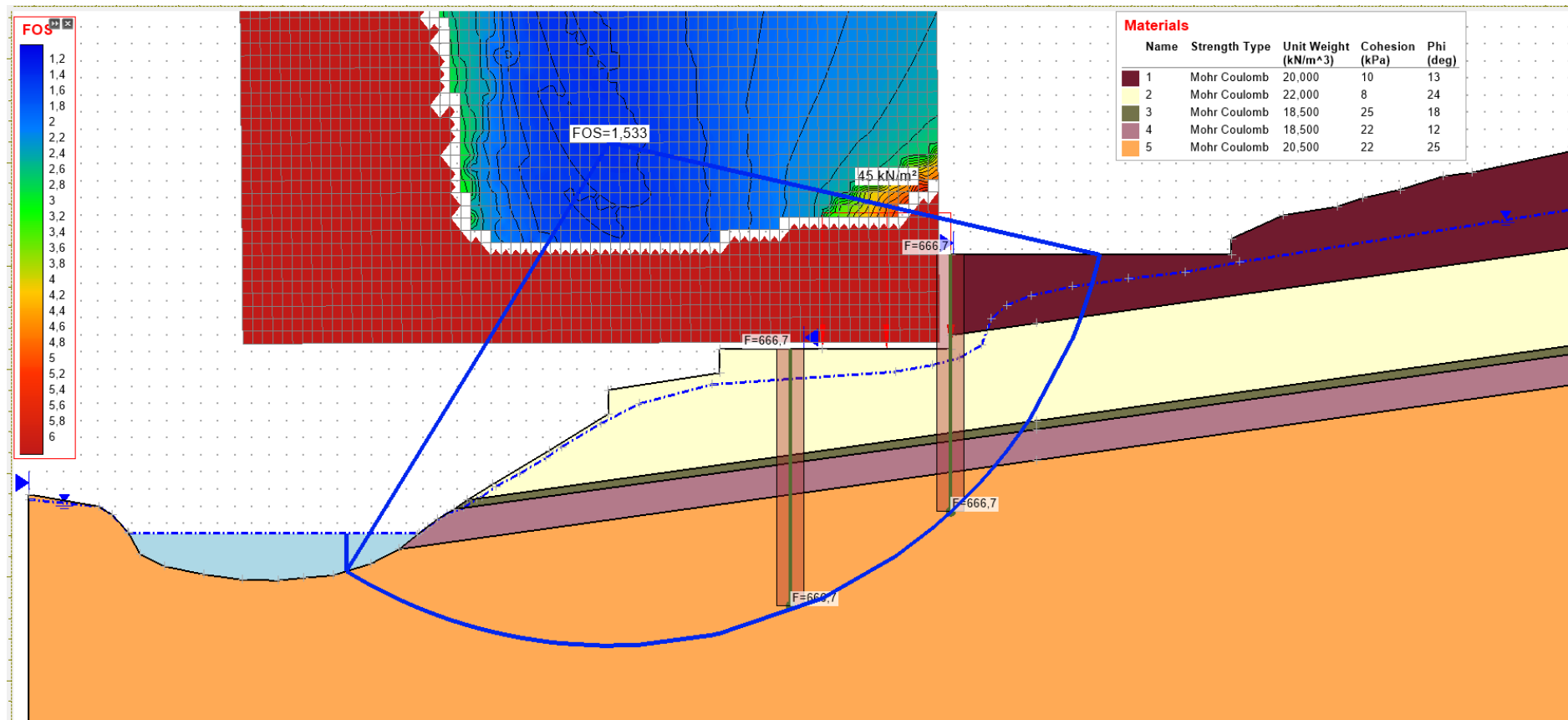
Όπως προκύπτει από τις αναλύσεις, η ταυτόχρονη αύξηση του βάθους των πασσαλότοιχων έχει θετική επίδραση στην τιμή του συντελεστή ασφαλείας, καθώς αυτή αυξάνεται κατά 0.2 μονάδες (αύξηση 15 %) όταν το μήκος των πασσάλων από τα 10 m πάει στα 15 m και για τους δύο πασσαλότοιχους ταυτόχρονα. Όσο αφορά την επίδραση της αλλαγής του φορτίου του κτιρίου, αυτή δεν είναι πολύ μεγάλη γιατί όταν το φορτίο μειώνεται από τα 45 KN στα 35 KN, για το ίδιο μήκος πασσάλων, η τιμή του συντελεστή ασφαλείας αυξάνεται κατά 0.04 μονάδες (αύξηση 3 %) περίπου. Τέλος, από τα αποτελέσματα των δύο τελευταίων μοντέλων φαίνεται ότι η αύξηση του βάθους μόνο του πασσαλότοιχου στην όψη του δρόμου έχει μεγαλύτερη θετική επίδραση απ' ό,τι η αύξηση του βάθους μόνο του πασσαλότοιχου στην όψη του ρέματος. Αυτό γιατί στην πρώτη περίπτωση η τιμή του συντελεστή ασφαλείας αυξάνεται κατά 0.2 (αύξηση 14 %) ενώ στην δεύτερη αυξάνεται κατά 0.1 μονάδες (αύξηση 7 %).



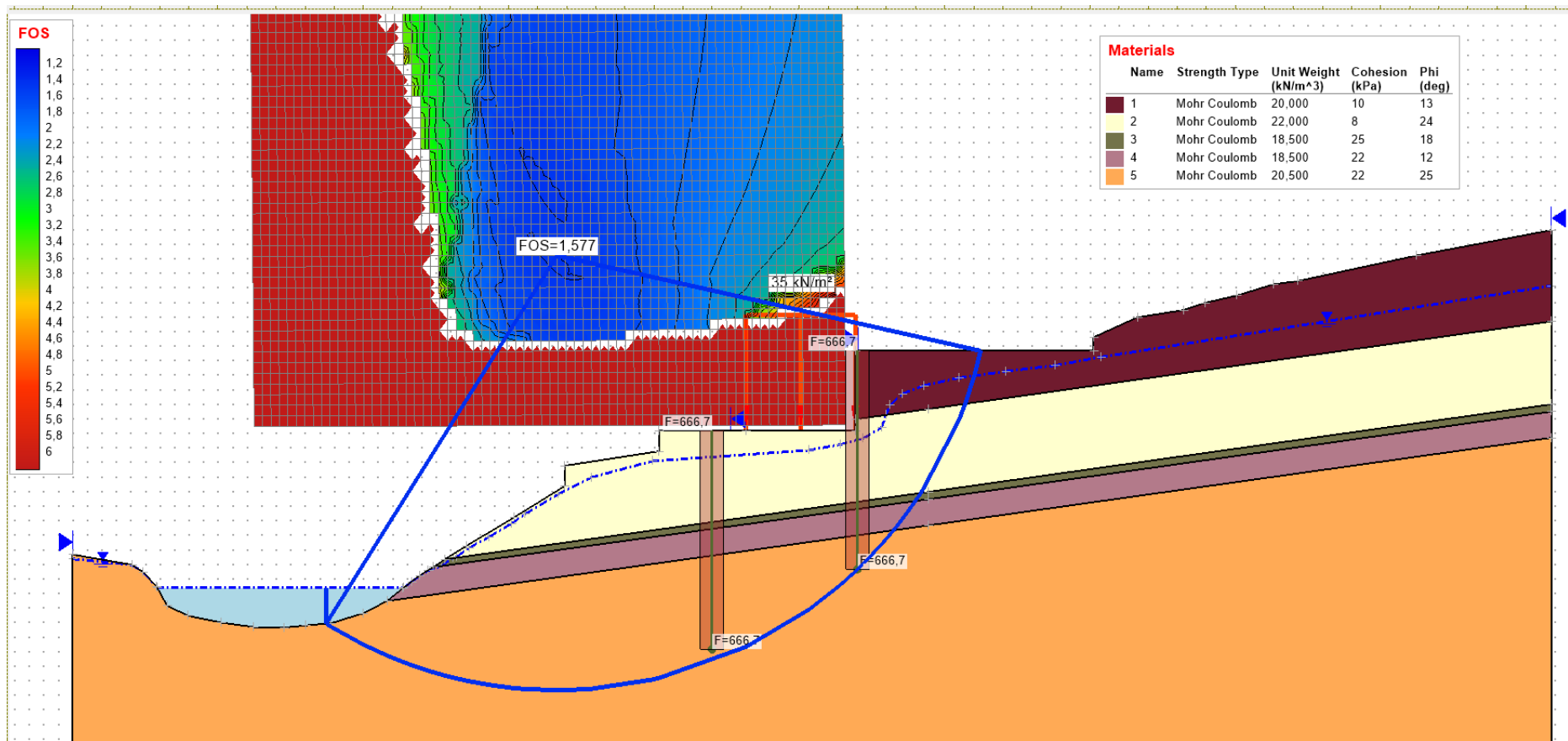
Εικόνα 5.31: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 10 m και για τους δύο πασσαλότοιχους και το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 45 KN.



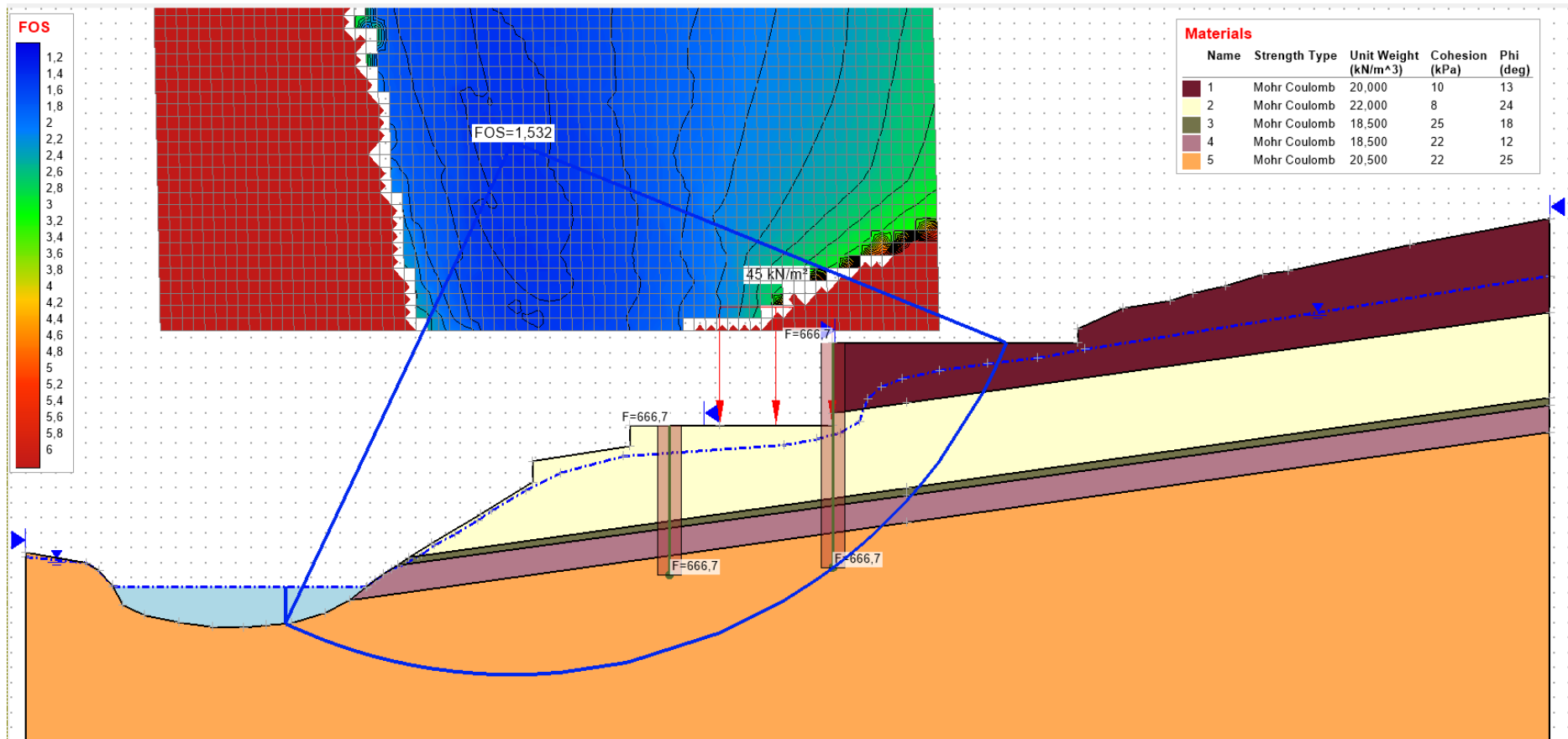
Εικόνα 5.32: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 10 m και για τους δύο πασσαλότοιχους και το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 35 KN.



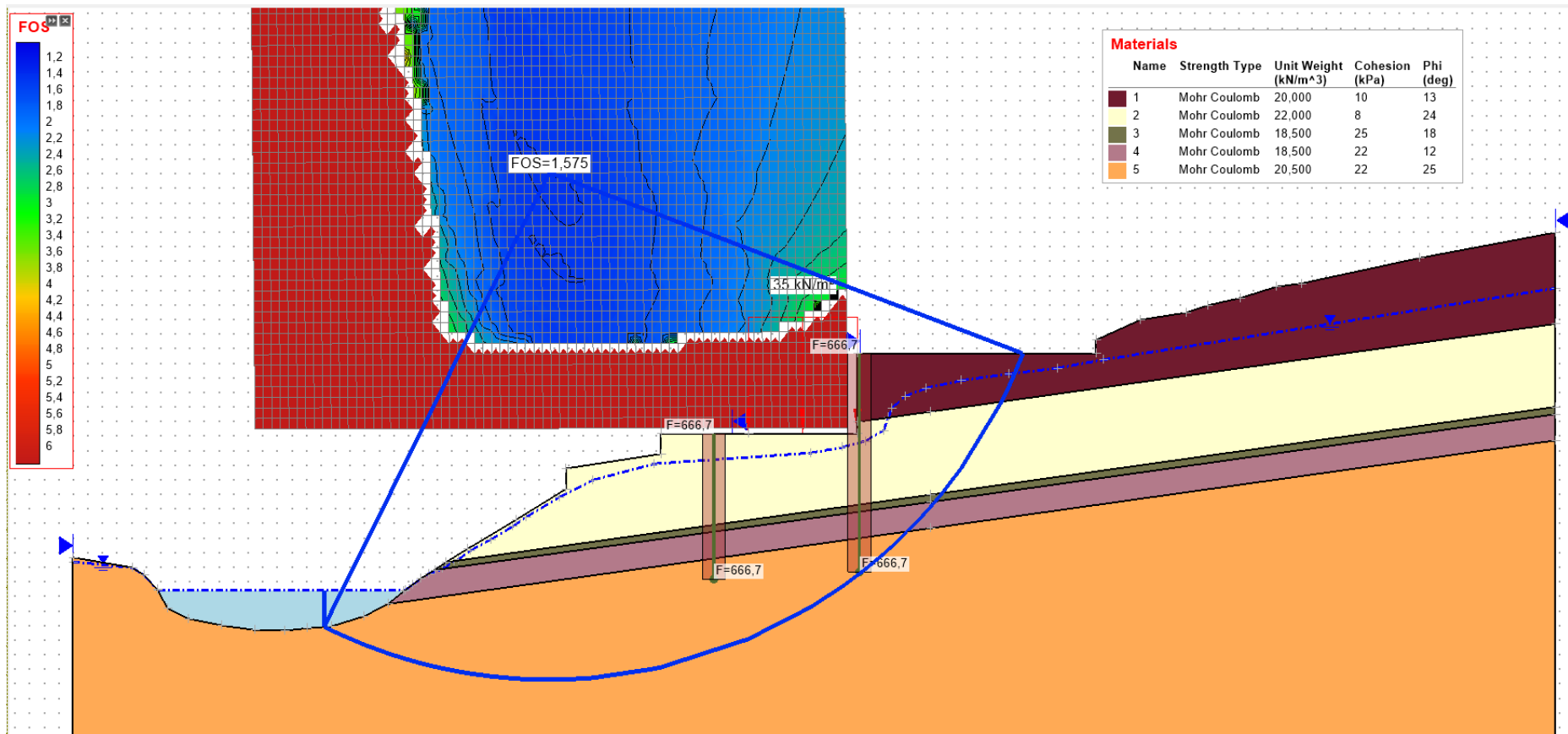
Εικόνα 5.33: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 15 m και για τους δύο πασσαλότοιχους και το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 45 KN.



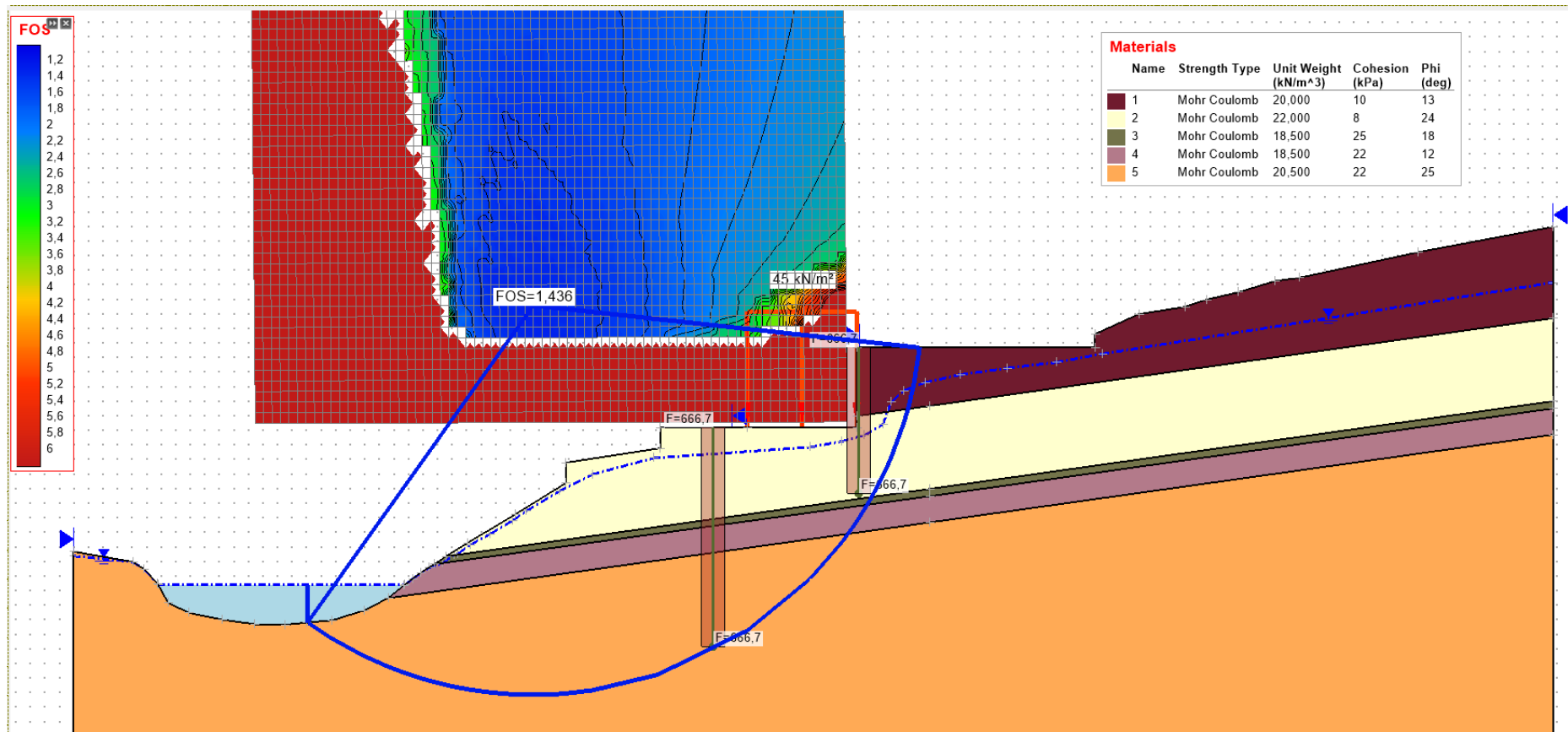
Εικόνα 5.34: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 15 m και για τους δύο πασσαλότοιχους και το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 35 KN.



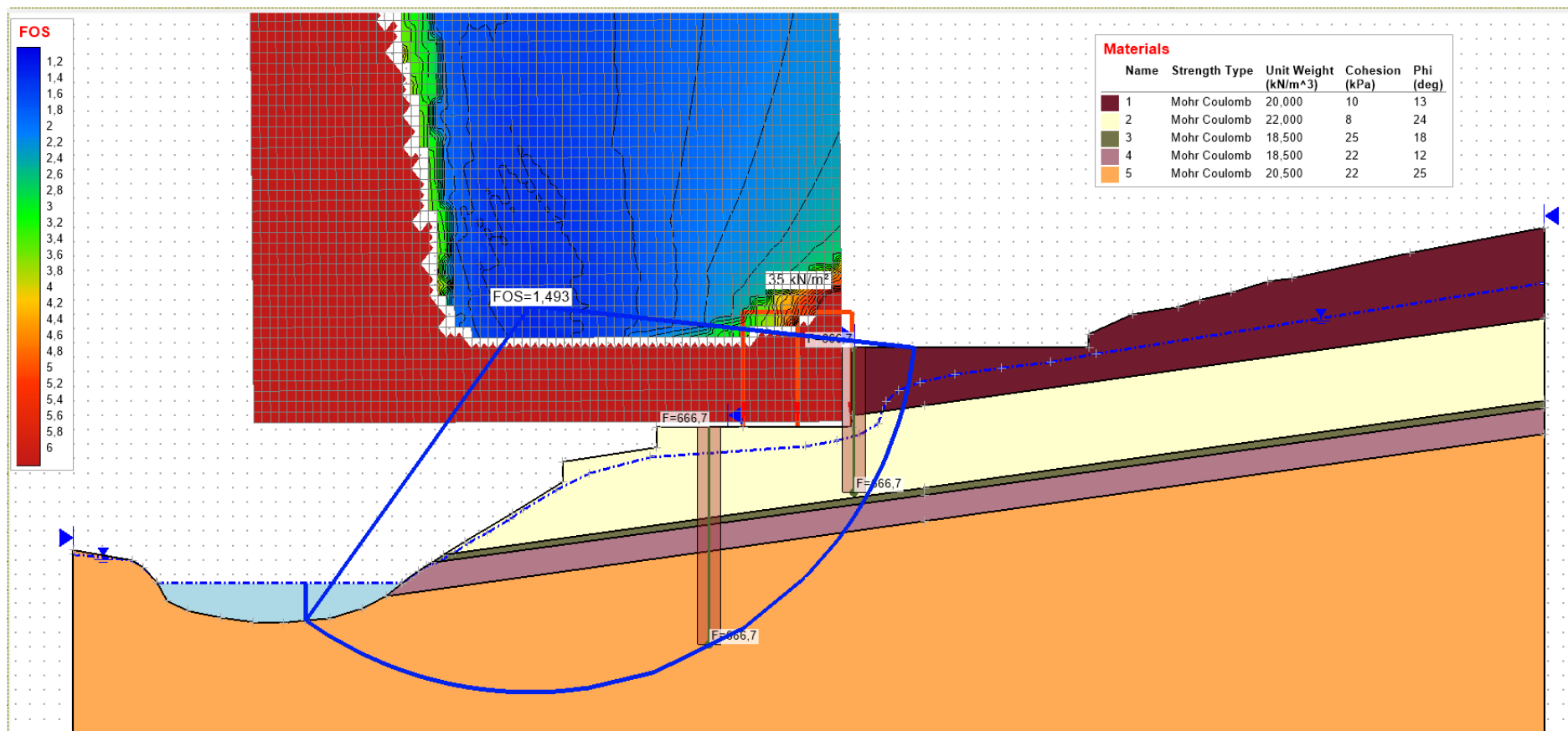
Εικόνα 5.35: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 15 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του δρόμου και ίσο με 10 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του ρέματος. Το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 45 KN.



Εικόνα 5.36: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 15 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του δρόμου και ίσο με 10 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του ρέματος. Το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 35 KN.



Εικόνα 5.37: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 10 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του δρόμου και ίσο με 15 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του ρέματος. Το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 45 KN.



Εικόνα 5.38: Τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας του πρανούς με προσθήκη πασσαλότοιχων εκατέρωθεν του κτιρίου. Το μήκος των πασσάλων είναι ίσο με 10 m για τον πασσαλότοιχο στην όψη του δρόμου και ίσο με 15 m για τον πασσαλότοιχο στη όψη του ρέματος. Το φορτίο της κατασκευής είναι ίσο με 35 KN.

6. Σύνοψη - Συμπεράσματα

Σε αυτό το κεφάλαιο συνοψίζονται όλα τα συμπεράσματα και τα σχόλια σχετικά με τα αποτελέσματα όλων των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

6.1 Συμπεράσματα ανάστροφης ανάλυσης

Όσο αφορά τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που προέκυψαν από την ανάστροφη ανάλυση, οι τιμές τους είναι λογικές και σύμφωνες με την περιγραφή του κάθε σχηματισμού. Επίσης όπως φάνηκε, ο σχηματισμός [4] (Αργίλος υψηλής πλαστικότητας (CH), στιφρή με παρουσία τριχοειδών ρωγμών, στιλπνών επιφανειών ασυνεχειών και γραμμώσεων) είναι και ο πιο αδύναμος σχηματισμός ενώ ο σχηματισμός [5] (Εναλλαγές πολύ στιφρής ως σκληρής αργίλου χαμηλής ως υψηλής πλαστικότητας (CL1-CH), και πυκνής ως πολύ πυκνής λεπτόκοκκης αργιλοϊλυώδους άμμου (SC-SM)) είναι ο πιο ισχυρός. Αυτό δικαιολογεί το γεγονός ότι η επιφάνεια αστοχίας διέρχεται από την διεπιφάνεια των δύο προαναφερθέντων σχηματισμών. Τα εν λόγω αποτελέσματα συμφωνούν και με τα γεωτεχνικά δεδομένα.

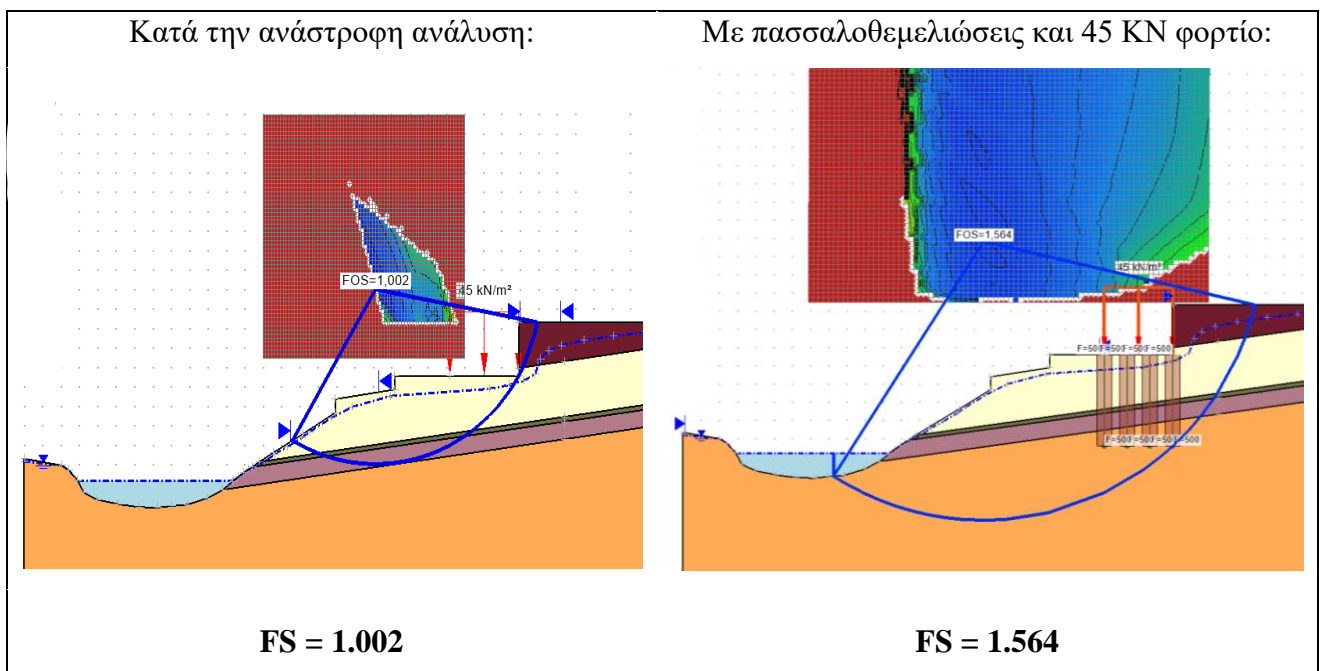
Επίσης όσο αφορά την μορφή της επιφάνειας αστοχίας όπως αυτή προέκυψε από την ανάστροφη ανάλυση, φαίνεται ότι αυτή συμφωνεί με τα χαρακτηριστικά της πραγματικής επιφάνειας αστοχίας του πρανούς.

6.2 Συμπεράσματα των αποτελεσμάτων των αναλύσεων σχετικά με τις προτάσεις μέτρων ευστάθειας του αρχικού πρανούς

Με βάση τον EC-7 ο ελάχιστος επιτρεπόμενος συντελεστής ασφαλείας για στατική φόρτιση του πρανούς και για μέγιστη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, πρέπει να είναι ίσος με $FS_{min} = 1.38$. Για σεισμική φόρτιση του πρανούς και για την ελάχιστη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, σύμφωνα με τον ΕΑΚ-2000 ο ελάχιστος επιτρεπόμενος συντελεστής ασφαλείας πρέπει να είναι ίσος με $FS_{min} = 1.00$. Με βάση αυτές τις τιμές αξιολογούνται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις όσο αφορά τα μέτρα που θα μπορούσαν αναληφθούν για την αποφυγή της αστοχίας.

Σύμφωνα με τις αναλύσεις μετά την προσθήκη πασσαλοθεμελιώσεων στο κτίριο, φαίνεται ότι η θεμελίωση της κατασκευής σε βαθύτερους, πιο ισχυρούς γεωλογικούς σχηματισμούς, αυξάνει πολύ την τιμή του συντελεστή ασφαλείας. Πιο συγκεκριμένα ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται κατά 0.5 μονάδες (αύξηση κατά 56 %) και το πρανός από ασταθές, με $FS = 1.002$, γίνεται ευσταθές, με $FS = 1.564$. Επίσης αν το φορτίο του κτιρίου μειωθεί από 45 KN σε 35

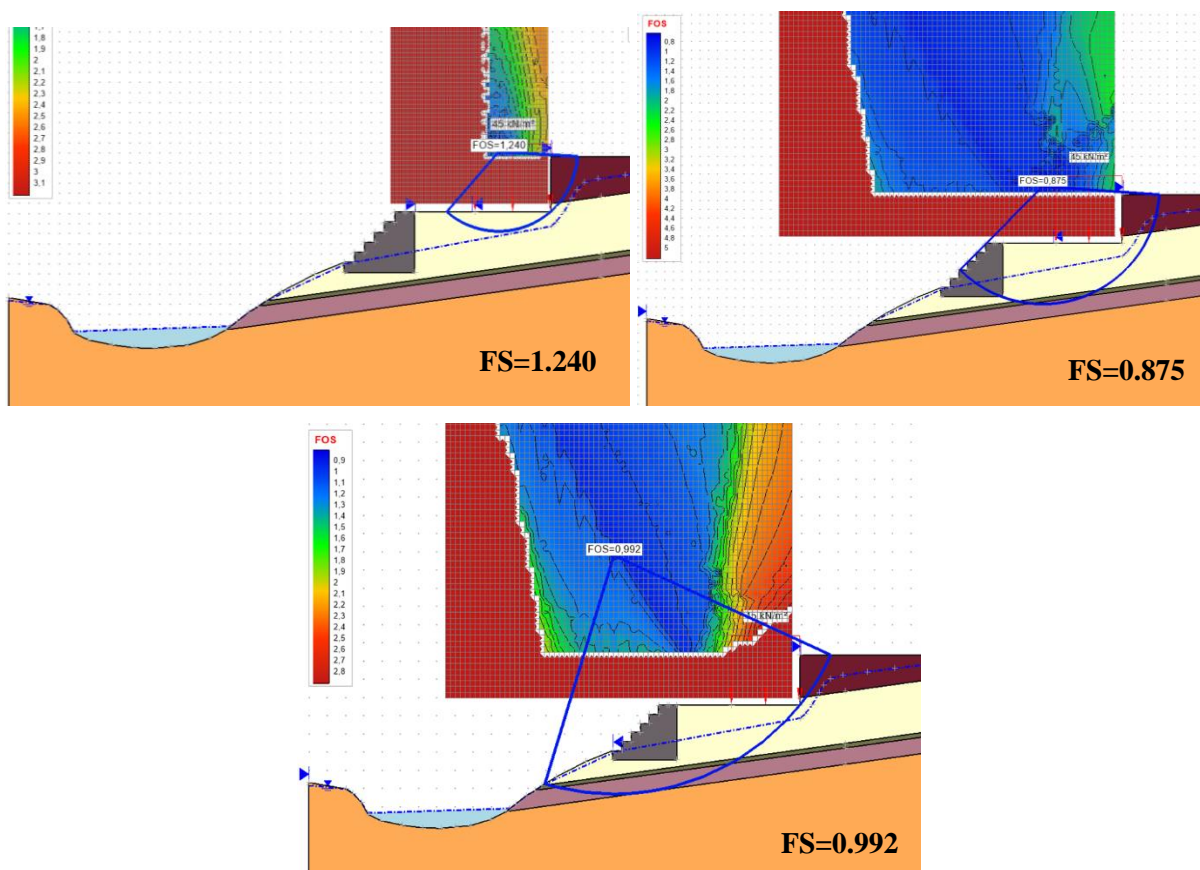
KN, δηλαδή αν το κτίριο είχε μόνο έναν όροφο αντί για δυο, τότε ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται επιπλέον κατά 0.1 μονάδες (αύξηση κατά 3 %) και γίνεται ίσος με $FS = 1.607$. Η αλλαγή αυτή του συντελεστή ασφαλείας οφείλεται στο γεγονός ότι λόγω της ύπαρξης των πασσάλων, η επιφάνεια ολίσθησης αναπτύσσεται πιο βαθιά. Έτσι διέρχεται στο μεγαλύτερο μέρος της από τον σχηματισμό [5] (Εναλλαγές πολύ στιφρής ως σκληρής αργίλου χαμηλής ως υψηλής πλαστικότητας (CL1-CH), και πυκνής ως πολύ πυκνής λεπτόκοκκης αργιλοϊλύδου αμμου (SC-SM)), ο οποίος έχει μεγάλη διατμητική αντοχή. Τώρα όσο αφορά την ασφάλεια του πρανού με βάση τις ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές των συντελεστών ασφαλείας, βλέπουμε ότι η τιμή 1.564 είναι μεγαλύτερη από την τιμή 1.38 όσο αφορά την στατική φόρτιση, οπότε το πρανές είναι ασφαλές. Επίσης σε όλες τις σεισμικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, ο συντελεστής ασφαλείας προκύπτει ότι είναι μεγαλύτερος της μονάδας, οπότε το πρανές είναι ασφαλές και από πλευράς σεισμικής φόρτισης. Από όλα τα παραπάνω συμπαιρνουμε ότι η θεμελίωση της κατασκευής σε βαθύτερα στρώματα θα μπορούσε να αποτελέσει ένα αποτελεσματικό μέτρο αποφυγής της αστοχίας του πρανού στον Νέο Βουτζά.



Εικόνα 6.1: Σύγκριση του βάθους της επιφάνειας αστοχίας και της τιμής του συντελεστή ασφαλείας πριν και μετά την θεμελίωση του σπιτιού σε βαθύτερα πιο ισχυρά γεωλογικά στρώματα

Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά την προσθήκη του τοίχου βαρύτητας από συρματοκυβώτια προκύπτει ότι η ύπαρξη του τοίχου δεν ευνοεί και πάρα πολύ την ευστάθεια του πρανού. Παρόλο που ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ευστάθειας του πρανού πίσω από τον τοίχο είναι ίσος με 1.240, αυτός είναι μικρότερος της ελάχιστης επιτρεπόμενης τιμής κατά

τον EC-7 οπότε το πρανές δεν θεωρείται ασφαλές. Επιπλέον κατά την ανάλυση ολικής ευστάθειας του πρανούς δημιουργούνται επιφάνειες αστοχίας που διέρχονται κάτω από τον τοίχο και έχουν συντελεστή ασφαλείας μικρότερο της μονάδας. Τέλος, κατά τον έλεγχο επιφανειών αστοχίας που να τέμνουν τον τοίχο, προέκυψε ότι δημιουργούνται κύκλοι αστοχίας με συντελεστή ασφαλείας μικρότερο της μονάδας, άρα ούτε σε αυτή την περίπτωση το πρανές είναι ασφαλές. Συνεπώς, ο τοίχος βαρύτητας από συρματοκυβώτια δεν θα μπορούσε να αποτελέσει επαρκές μέτρο για την αποφυγή της αστοχίας του πρανούς.



Εικόνα 6.2: Συγκεντρωτικά όλα τα αποτελέσματα των αναλύσεων με τον τοίχο βαρύτητας από συρματοκυβώτια. Σε όλα τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το πρανές δεν είναι ασφαλές.

Από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν μετά την προσθήκη των πασσαλότοιχων εκατέρωθεν της κατασκευής, φαίνεται ότι οι παρουσία των πασσαλότοιχων σε όλες τις περιπτώσεις έχει θετική επίδραση στην τιμή του συντελεστή ασφαλείας. Με την προσθήκη των πασσαλότοιχων, είτε στην όψη του ρέματος είτε στην όψη του δρόμου, η επιφάνεια αστοχίας αναπτύσσεται ολοένα και πιο βαθιά με την αύξηση του βάθους των πασσάλων. Έτσι ο συντελεστής ασφαλείας αυξάνεται λόγω του ότι συμβάλει πλέον σε μεγαλύτερο βαθμό ο σχηματισμός [5] (Εναλλαγές πολύ σιφρής ως σκληρής αργίλου χαμηλής ως υψηλής

πλαστικότητα (CL1-CH), και πυκνής ως πολύ πυκνής λεπτόκοκκης αργιλοϊλυώδους άμμου (SC-SM)) στην διατμητική αντοχή κατά μήκος της επιφάνειας αστοχίας. Όσο αφορά την μείωση του φορτίου από 45 KN σε 35 KN, για το ίδιο μήκος πασσάλων, φαίνεται ότι σε όλες τις αναλύσεις δεν έχει πολύ μεγάλη επίδραση στην τιμή του συντελεστή ασφαλείας.

Στην Εικόνα 6.3 παραθέτοντε όλα τα αποτελέσματα των αναλύσεων που έχουν προκύψει μετά την προσθήκη των πασσαλότοιχων. Σύμφωνα με αυτές τις τιμές και σε σύγκριση με τους ελάχιστους επιτρεπόμενους συντελεστές ασφαλείας, φαίνεται ότι το πρυνές είναι ασφαλές, είτε για φορτίο ίσο με 45 KN είτε ίσο με 35 KN, στις εξής περιπτώσεις:

- Για πασσαλότοιχο βάθους 15 m είτε μόνο στην όψη του ρέματος είτε μόνο στην όψη του δρόμου
- Για δυο πασσαλότοιχους 15 m εκατέρωθεν του κτιρίου
- Για έναν πασσαλότοιχο 10 m στην όψη του ρέματος και έναν 15 m στην όψη του δρόμου
- Για έναν πασσαλότοιχο 15 m στην όψη του ρέματος και έναν 10 m στην όψη του δρόμου

Πασσαλότοιχος μόνο στην όψη του ρέματος:		Πασσαλότοιχος μόνο στην όψη του δρόμου:	
45 KN φορτίο	↗ 10 m βαθος τοίχου : FS=1.259	↗ 10 m βαθος τοίχου : FS=1.143	
	↘ 15 m βαθος τοίχου : FS=1.440	↘ 15 m βαθος τοίχου : FS=1.532	
35 KN φορτίο	↗ 10 m βαθος τοίχου : FS=1.327	↗ 10 m βαθος τοίχου : FS=1.170	
	↘ 15 m βαθος τοίχου : FS=1.504	↘ 15 m βαθος τοίχου : FS=1.575	

Πασσαλότοιχοι εκατέρωθεν της κατασκευής:		
45 KN φορτίο	↗ 10 m και οι δύο πασσαλότοιχοι:	FS=1.340
	↘ 15 m και οι δύο πασσαλότοιχοι :	FS=1.533
35 KN φορτίο	↗ 10 m και οι δύο πασσαλότοιχοι:	FS=1.380
	↘ 15 m και οι δύο πασσαλότοιχοι :	FS=1.577
45 KN φορτίο	↗ 10 m στην όψη του ρέματος και 15 m στην όψη του δρόμου:	FS=1.532
	↘ 15 m στην όψη του ρέματος και 10 m στην όψη του δρόμου:	FS=1.436
35 KN φορτίο	↗ 10 m στην όψη του ρέματος και 15 m στην όψη του δρόμου:	FS=1.575
	↘ 15 m στην όψη του ρέματος και 10 m στην όψη του δρόμου:	FS=1.493

Εικόνα 6.3: Συγκεντρωτικά οι συντελεστές ασφαλείας που προκύπτουν από τις αναλύσεις μετά την προσθήκη των πασσαλότοιχων

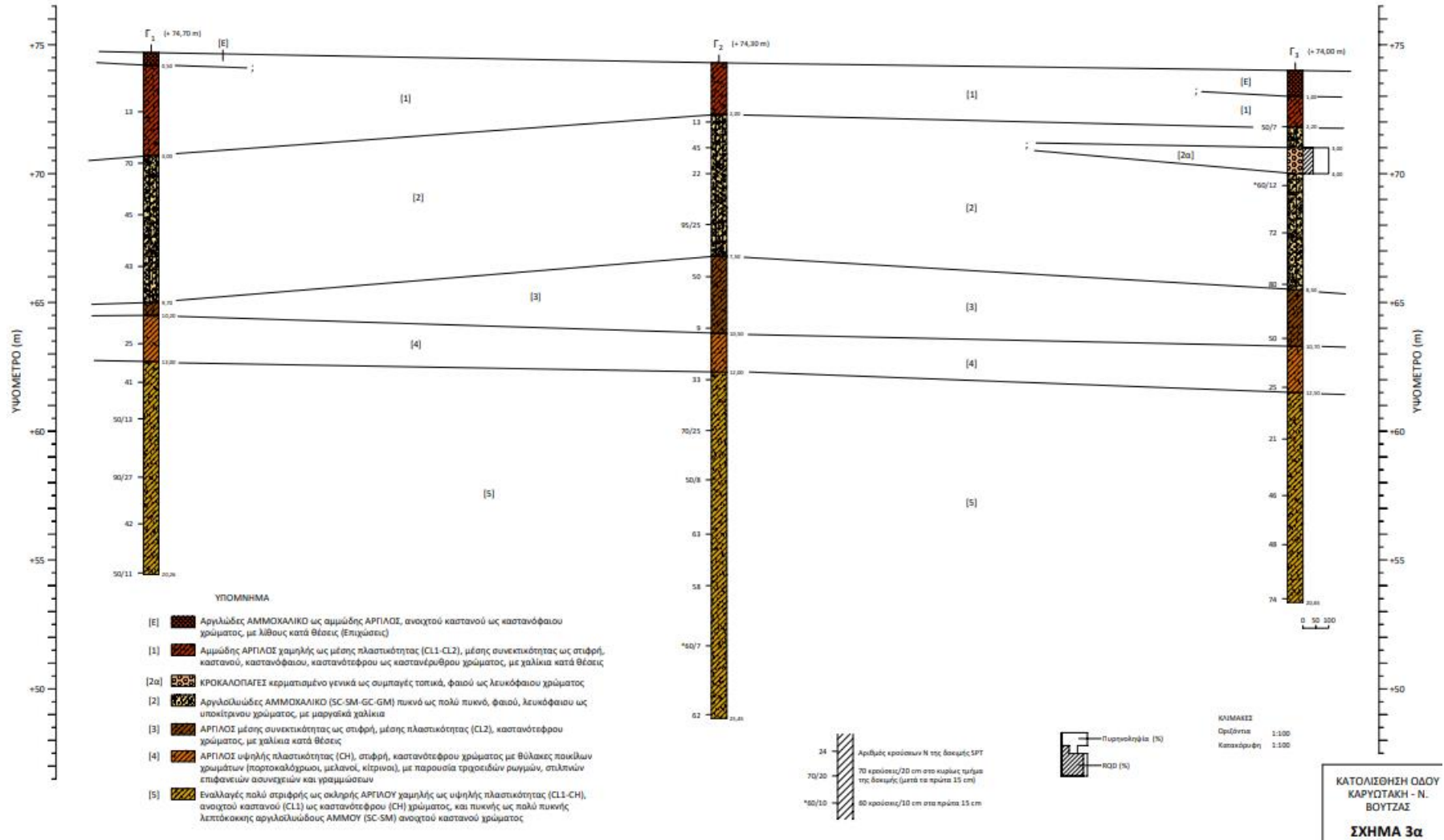
Βέβαια η αύξηση του βάθους του πασσαλότοιχου στην όψη του δρόμου έχει μεγαλύτερη επίδραση στο συντελεστή ασφαλείας σε όλες τις περιπτώσεις απ' ότι έχει η αντίστοιχη αύξηση του βάθους του πασσαλότοιχου στην όψη του ρέματος (δηλαδή και σε αυτές όπου υπάρχει μόνο ένας πασσαλότοιχος αλλά και σε αυτές όπου υπάρχουν δύο πασσαλότοιχοι).

Με βάση όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι η πιο ασφαλής λύση είναι η κατασκευή δύο πασσαλότοιχων εκατέρωθεν της κατασκευής. Αυτοί μπορούν είτε να έχουν 15 m βάθος και οι δύο είτε ο πασσαλότοιχος στην όψη του δρόμου να έχει βάθος 15 m και ο πασσαλότοιχος στην όψη του ρέματος να έχει βάθος 10 m.

Βιβλιογραφία

- Barnes, Graham. *Εδφομηχανική Αρχές και Εφαρμογές 3η αγγλική εκδοση*. Μοντάζ: Κώστας Καρανικόλας. Μετάφραση: Κατερίνα Ζιωτοπούλου. Αθήνα: Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2010.
- Team, The Bentley Systems. «PLAXIS LE Help Manual .» Bentley, Monday September 12 2022.
- www.protothema.gr*. 09.02.2022. <https://www.protothema.gr/greece/article/1210073/neos-voutzas-to-fainomeno-tis-peristrofikis-katolisthisis-pou-efere-tin-kathizisi-pou-ofeiletai/> (πρόσβαση 05/ 02/, 2023).
- Αθαν. Πλατής, Πολιτικός Μηχανικός, Δημ. Πλατής, Πολιτικός Μηχανικός, Γ. Ανδρεάδης, Νεον. Τζαννέτος, Μ. Παγουλάτου,, Δεσπ. Ζούρα. *ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ/ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΚΑΡΥΩΤΑΚΗ ΣΤΟ ΝΕΟ ΒΟΥΤΖΑ, ΔΗΜΟΥ ΡΑΦΗΝΑΣ-ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ, ΑΤΤΙΚΗΣ*. ΑΘΗΝΑ: ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε., 2022.
- «Δ17α/67/1/ΦΝ275/6.6.2003 (ΦΕΚ Β'781).» *Εφημερίς της Κυβερνήσεως της ελληνικής δημοκρατίας*, 2003.
- Έκθεση ιστορικής μνήμης 1916-2011*. Δήμος Ραφήνας-Πικερμίου. 12 2018. <https://dorap-1916-2011.gr/ta-lignitorycheia/> (πρόσβαση 05/ 02/, 2023).
- Ελληνικός Αντισεισμικός Σχεδιασμός 2000*. Αθήνα: ΟΑΣΠ, 2001.
- Ζευγώλης, Ιωάννης Ε. *Ειδικά Θέματα Γεωτεχνικής Μηχανικής*. Αθήνα: Εργαστήριο Τεχνολογίας Διάνοιξης Σηράγγων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, 2021.
- ΙΓΜΕ. «Γεωλογικός Χαρτη της Ελλάδας ΦΥΛΛΟ ΚΗΦΙΣΙΑ.» (1:50.000). Αθήνα, 2002.

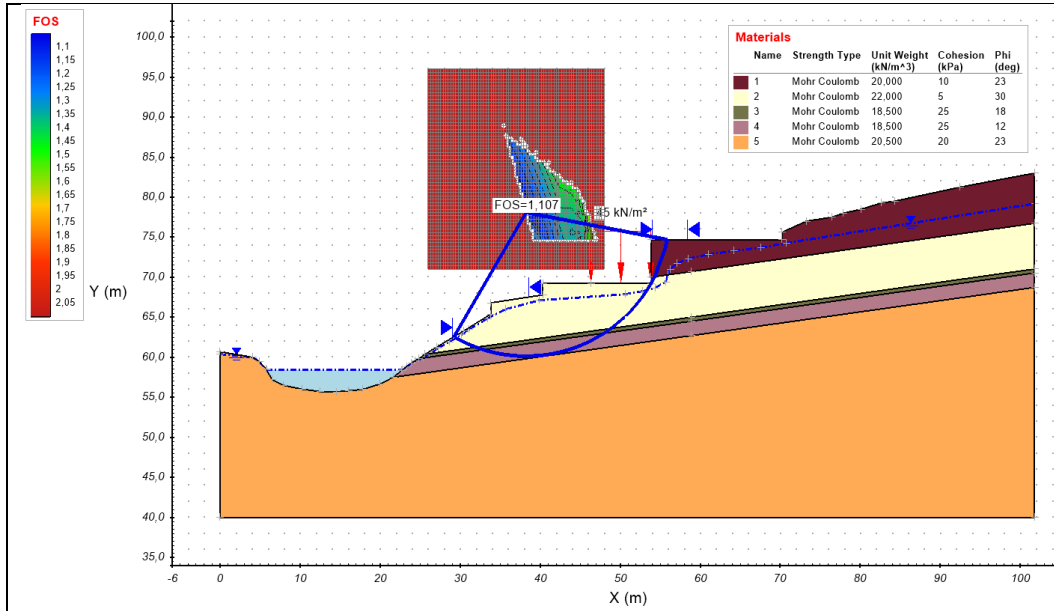
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



Εικόνα 0.1: Τα αποτελέσματα των δοκιμών SPT και των γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν (πηγή: (Αθαν. Πλατής 2022))

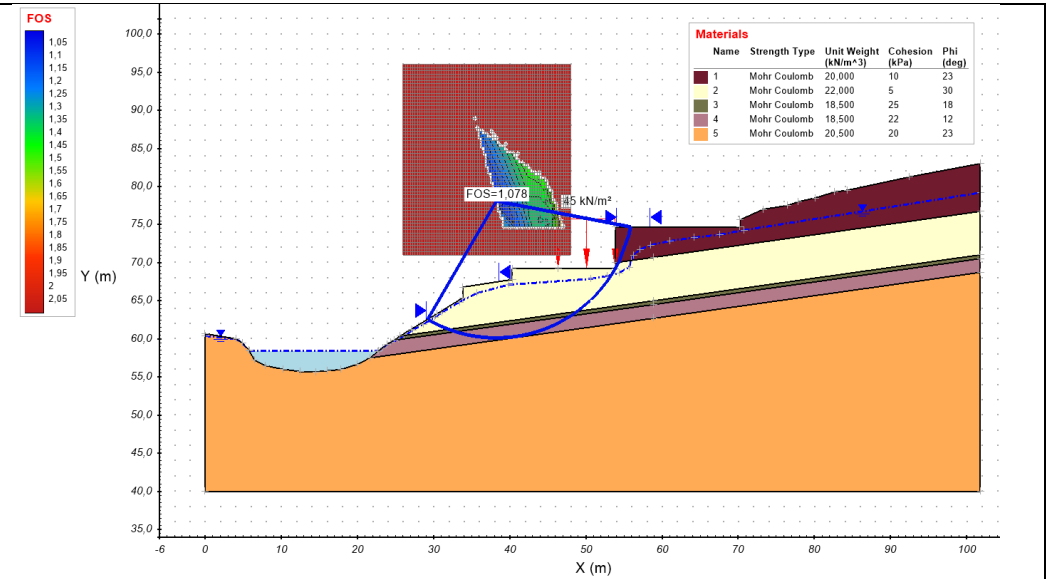
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Πίνακας 8: Τα αποτελέσματα από τις υπόλοιπες δοκιμές κατά την ανάστροφη ανάλυση πριν προκύψει η επιφάνεια με συντελεστή ασφαλείας πολύ κοντά στην μονάδα



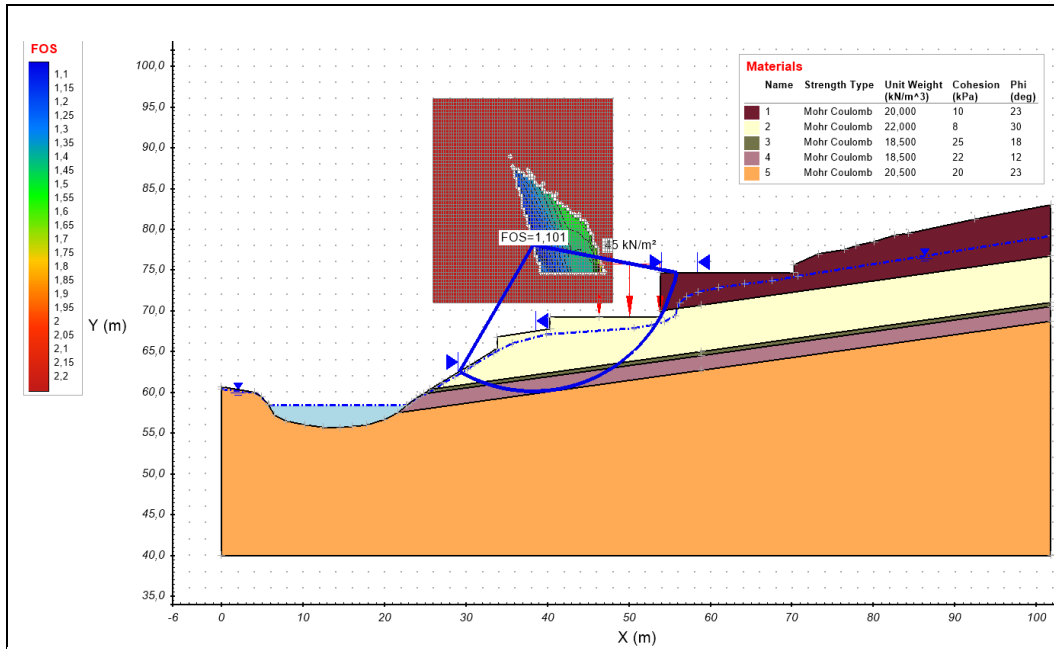
Materials				
Name	Strength Type	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
1	Mohr Coulomb	20,000	10	23
2	Mohr Coulomb	22,000	5	30
3	Mohr Coulomb	18,500	25	18
4	Mohr Coulomb	18,500	25	12
5	Mohr Coulomb	20,500	20	23

FS = 1.107



Materials				
Name	Strength Type	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
1	Mohr Coulomb	20,000	10	23
2	Mohr Coulomb	22,000	5	30
3	Mohr Coulomb	18,500	25	18
4	Mohr Coulomb	18,500	22	12
5	Mohr Coulomb	20,500	20	23

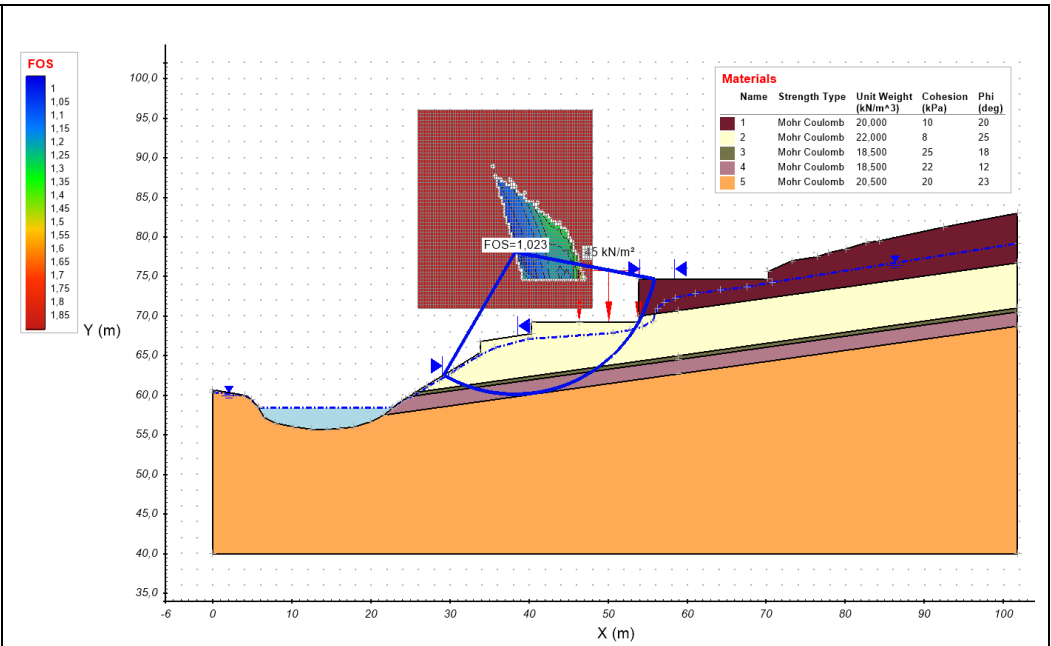
FS = 1.078



Materials

Name	Strength Type	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
1	Mohr Coulomb	20,000	10	23
2	Mohr Coulomb	22,000	8	30
3	Mohr Coulomb	18,500	25	18
4	Mohr Coulomb	18,500	22	12
5	Mohr Coulomb	20,500	20	23

FS = 1.101



Materials

Name	Strength Type	Unit Weight (kN/m ³)	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
1	Mohr Coulomb	20,000	10	20
2	Mohr Coulomb	22,000	8	25
3	Mohr Coulomb	18,500	25	18
4	Mohr Coulomb	18,500	22	12
5	Mohr Coulomb	20,500	20	23

FS = 1.023

