ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΙΣΤΟΡΙΚΗΣ & ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΕΤΚΟΓΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2024

ΓΕΩΡΓΙΟΣ Θ. ΠΕΤΚΟΓΛΟΥ

Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5809

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας - Υδρογεωλογίας

Επιβλέπων

Δρ. Θωμάς Μακεδών Ε.ΔΙ.Π.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΜΕΓΑΛΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΣΕ ΑΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ– *Διπλωματική Εργασία*

INVESTIGATION OF STABILIZATION CONDITIONS AND SUPPORT MEASURES FOR DEEP VERTICAL EXCAVATIONS IN URBAN ENVIRONMENT– *Bachelor Thesis*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας την διπλωματική εργασία και κατ' επέκταση τον κύκλο σπουδών μου, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τους ανθρώπους που συνέβαλλαν στην προσπάθεια αυτή.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τμήματος Γεωλογίας για το σημαντικότατο έργο τους και την προσπάθειά τους να μεταδώσουν τη γνώση στις επόμενες γενιές.

Επιπρόσθετα, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Θωμά Μακεδόνα, Ε.ΔΙ.Π για την επιστημονική υποστήριξη και τις χρήσιμες συμβουλές, που μου παρείχε τόσο σε αυτό το διάστημα, όσο και κατά την διάρκεια της πρακτικής μου άσκησης, βοηθώντας με τον τρόπο του στην επίτευξη του έργου μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Νικόλαο Παναγιώτη Χατζηγώγο για την συνεχή καθοδήγησή του, την επιτυχή συνεργασία μας στα πλαίσια της πρακτικής άσκησης και την πολύτιμή του συμπαράσταση.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την βαθύτατη ευγνωμοσύνη στους φίλους και στην οικογένειά μου, που σε αυτά τα έτη στάθηκαν δίπλα μου, στα δύσκολα και στα εύκολα. Η προσπάθεια αυτή λοιπόν είναι αφιερωμένη σε αυτούς τους ανθρώπους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει την διερεύνηση των συνθήκων ευστάθειας και μέτρων αντιστήριξης κατακόρυφων εκσκαφών μεγάλου βάθους σε αστικό περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία αποτελείται από πέντε (5) κεφάλαια. Ο ρόλος των **κεφαλαίων 1 και 2** είναι εισαγωγικός επεξηγώντας τη φύση του έργου και αναλύοντας την γεωλογία της περιοχής μελέτης. Τα **κεφάλαια 3 και 4** εστιάζουν στην μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων του εδάφους τόσο εργαστηριακά όσο και στο πεδίο από τα δείγματα των γεωτρήσεων που λήφθηκαν από την περιοχή στα πλαίσια της γεωτεχνικής μελέτης του Δρ. Νικόλαου - Παναγιώτη Χατζηγώγου όπως και στην προβολή και παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Κλείνοντας, στο **κεφάλαιο 5** γίνεται αρχικά μία εισαγωγή στις αντιστηρίξεις εκσκαφών, προβάλλοντας τα κύρια είδη τους. Στη συνέχεια, με την εισαγωγή και επεξεργασία των αποτελεσμάτων σε ειδικό λογισμικό (προγράμματα Slide2 και RS2 της RocScience), δημιουργήθηκαν αντιπροσωπευτικά μοντέλα της θέσης του έργου και μέσω αυτών, αναλύσεις και έλεγχοι ευστάθειας και παραμορφώσεων τεσσάρων (4) πρανών των εκσκαφών. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, προτείνεται στη συνέχεια κατάλληλο σύστημα αντιστήριξης των εκσκαφών.

ABSTRACT

The present bachelor thesis examines the investigation of stability conditions and support measures for deep vertical excavations in urban environment. More specifically, this paper consists of five (5) chapters. The **first 2 chapters** have an introductive role, explaining the nature of the project and analyzing the geology in the area of interest. **Chapters 3 and 4** focus on the methodology followed, to determine the physical and mechanical properties of the soil, both through laboratory and in situ tests from the borehole samples taken from the area as part of the geotechnical study by Dr. Nikolaos – Panagiotis Chatzigogos, as well as in the display and presentation of the results. Finally, in **chapter 5**, an introduction is given to excavation support methods, presenting their main types. Subsequently, by importing and processing the results into specialized software (Slide2 and RS2 programs by RocScience), representative models of the project location were created and through them, stability and deformation analyses and checks of four (4) slopes of the excavations were performed. Based on these results, a suitable support system for the excavations is then proposed.

Κεφάλαιο 1.
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ- ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΉΣ

Η συνεχής ανάγκη για νέες κατασκευές εντός των πόλεων, καθιστά απαραίτητες τις γεωτεχνικές μελέτες. Οι μελέτες αυτές έχουν σκοπό να προσδιορίσουν τη συμπεριφορά του εδάφους στον ευρύτερο χώρο θεμελίωσης και να προτείνουν λύσεις σε προβλήματα ευστάθειας και γεωκινδύνους που αφορούν την κατασκευή (εξασφάλιση αντοχής του υπεδάφους στην ανάληψη φορτίων, έλεγχο παραμορφώσεων υπό φόρτιση κλπ.).

Η απουσία γεωτεχνικής μελέτης θέτει σε σοβαρό κίνδυνο τις κατασκευές, ιδιαίτερα στο αστικό περιβάλλον όπου οι αστοχίες θα έχουν εξαιρετικά δυσμενείς επιπτώσεις λόγω του ήδη δομημένου περιβάλλοντος και οδών με μεγάλη κυκλοφορία. Με άλλα λόγια, διακυβεύεται η ασφάλεια των υψηλής διακινδύνευσης γειτονικών κατασκευών από πιθανές εδαφικές αστοχίες.

Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα εργασία, η οποία αξιοποιεί στοιχεία του γεωερευνητικών εργασιών που διεξήχθησαν στα πλαίσια της γεωτεχνικής μελέτης του Δρ. Τεχνικού Γεωλόγου – Μελετητή Νικόλαου – Παναγιώτη Χατζηγώγου με σκοπό την διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας και μέτρων αντιστήριξης κατακόρυφων εκσκαφών που προβλέπονται για τη θεμελίωση πολυώροφης κατασκευής στην περιοχή της 25ης Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ- ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η περιοχή του έργου βρίσκεται στην ανατολική πλευρά του Πολεοδομικού Συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα στη γωνία των οδών Βασιλίσσης Όλγας και 25ης Μαρτίου. Η πόλη της Θεσσαλονίκης είναι κτισμένη στα περιθώρια της τάφρου Αξιού – Θερμαϊκού και εκτείνεται κατά μήκος του Θερμαϊκού κόλπου με γενική διάταξη ΒΔ-ΝΑ. Οριοθετείται από την Ιωνία και το Καλοχώρι στα δυτικά, το Ωραιόκαστρο στα βόρεια και την Θέρμη στα νότια-ανατολικά. Η θέση του έργου της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει συντεταγμένες:

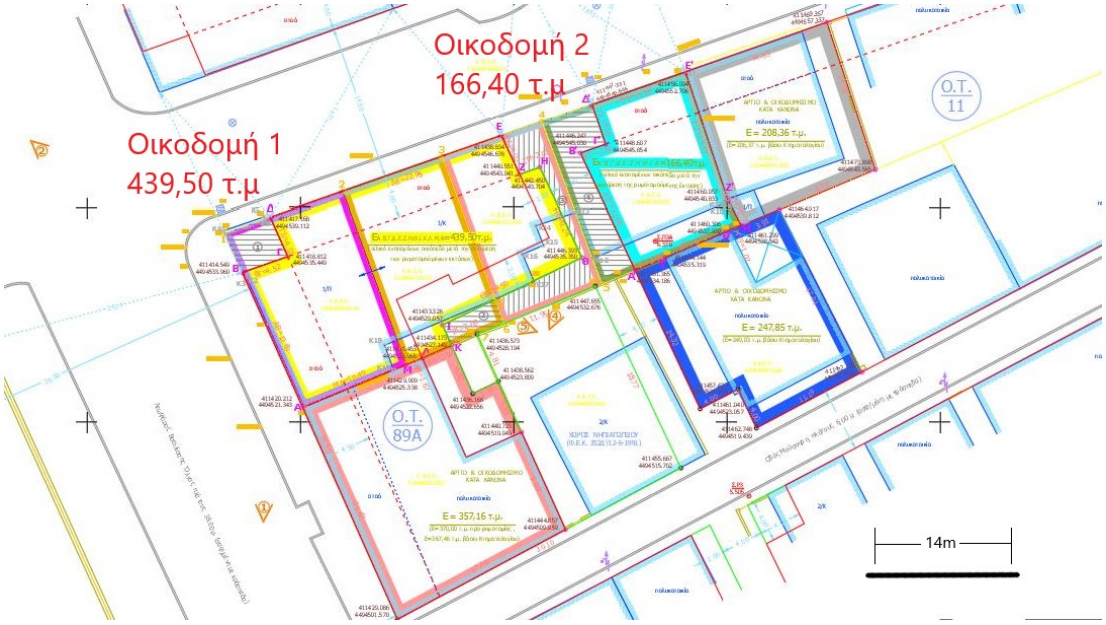
Χ=22.9552590, Υ=40.5996359

Χ=22.9553264, Υ=40,5995406

Εικόνα 1. Περιοχή μελέτης, Θεσσαλονίκη (Πηγή: Google Earth)

Εικόνα 2 : Δορυφορική εικόνα της θέσης του έργου (Πηγή: Google Earth)

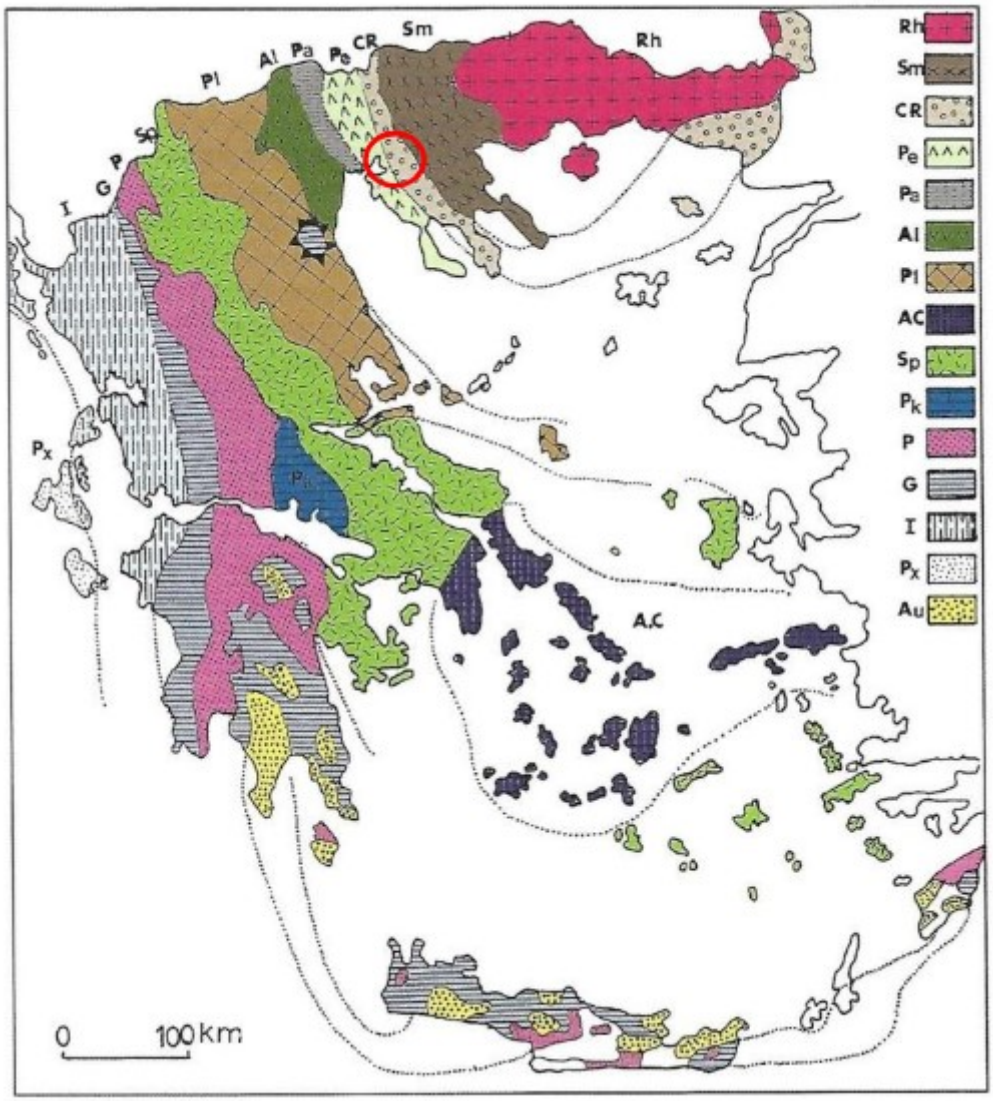
Το υπό μελέτη έργο περιλαμβάνει μία εκσκαφή τεσσάρων πλευρών βάθους 7m για την κατασκευή δύο οικοδομών η μία εκ των οποίων θα περιλαμβάνει 2 υπόγεια, που θα αποτελεί και τη στάθμη θεμελίωσης του κτιρίου (Εικόνα 3). Το εμβαδό των οικοδομών είναι 439,50 m^2 και 166,40 m^2.



Εικόνα 3 : Θέση των οικοδομών σε κάτοψη (οικοδομή 1: κίτρινο, οικοδομή 2: γαλάζιο).

2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η πόλη της Θεσσαλονίκης γεωτεκτονικά ανήκει στη ζώνη Αξιού και στην Περιροδοπική ζώνη, όπου συναντώνται συγκεκριμένα τμήματα αυτών εντός των ορίων της περιοχής μελέτης και ανήκουν στις Εσωτερικές Ελληνίδες. Αναλυτικότερα, η υποζώνη Παιονίας της ζώνης Αξιού και η Ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη βρίσκονται στα δυτικά και στα ανατολικά της πόλης αντίστοιχα σε γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, αν και το όριό τους δεν είναι ξεκάθαρο. Έτσι, την περιοχή της Θεσσαλονίκης δομούν γενικά μεταμορφωμένα πετρώματα πρασινοσχιστολιθικής φάσης και μεταϊζήματα τόσο νηριτικά όσο και βαθιάς θάλασσας η επαφή των οποίων, σύμφωνα με νεότερες μελέτες με το κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Σερβομακεδονικής ζώνης είναι τεκτονική.



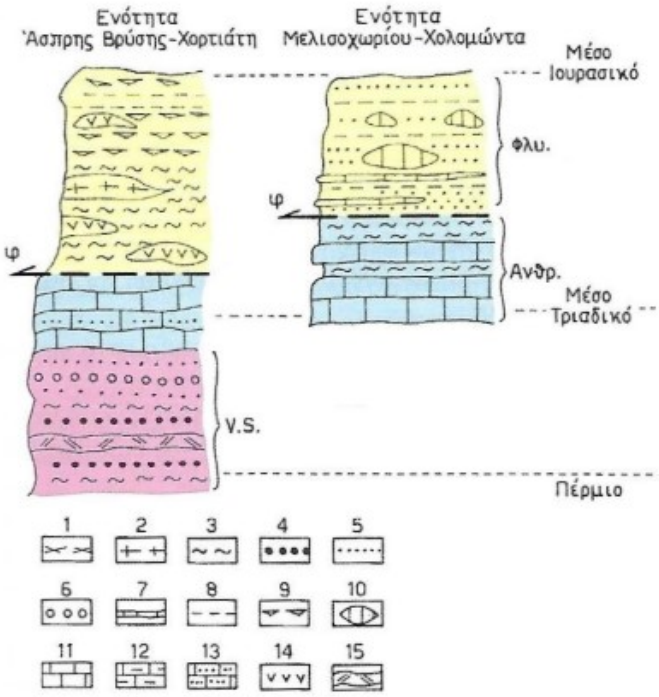
Εικόνα 4: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών κατά Mountrakis et al. 1983. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR:

Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Πλακώδεις ασβεστόλιθοι-Ταλέα5 όρη» πιθανόν της Ιονίου ζώνης.

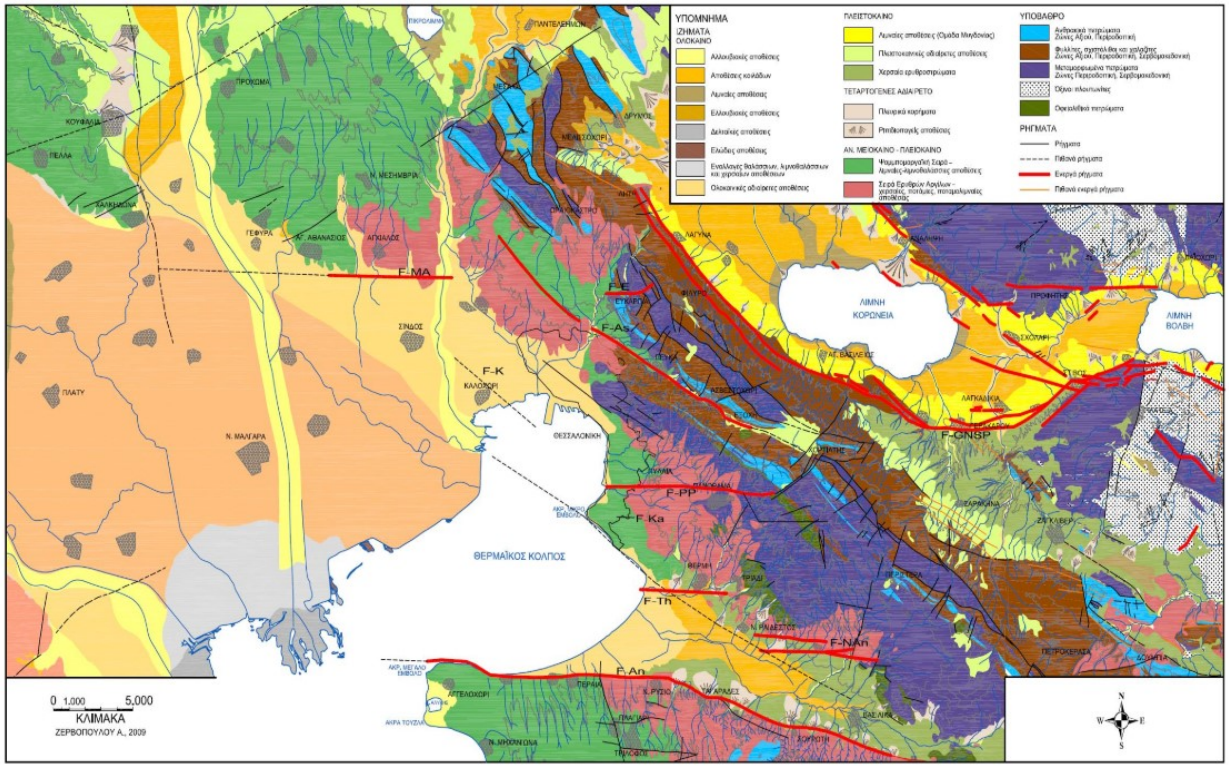
2.2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΡΟΔΟΠΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ

Η Περιροδοπική ζώνη (Kauffmann 1976), όπως προαναφέρθηκε ανήκει στις Εσωτερικές Ελληνίδες και περιβάλλει την μάζα της Ροδόπης από τα δυτικά και την Σερβομακεδονική ζώνη στα ανατολικά. Η ζώνη, στον Ελλαδικό χώρο, ξεκινάει από τα σύνορα της Ελλάδας με τη Βόρεια Μακεδονία με πλάτος 10-20 Km και διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ που μετατρέπεται σε ΒΑ-ΝΔ στα νότια της Σιθωνίας στην Χαλκιδική και καταλήγει στην Αλεξανδρούπολη. Γεωτεκτονικά η Περιροδοπική ζώνη αποτέλεσε κατά το Ιουρασικό την ηπειρωτική κατωφέρεια του ηπειρωτικού φλοιού της Ελληνικής ενδοχώρας, δηλαδή της Σερβομακεδονικής. Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει τρεις (3) ενότητες, ανατολικά προς δυτικά οι ενότητες είναι οι εξής, ενότητα Ντεβέ Κοράν- Δουμπιά, ενότητα Μελισοχωρίου – Χολομώντα και ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη.

Στην περιοχή μελέτης συναντάται μόνο η ενότητα Άσπρης Βρύσης – Χορτιάτη η οποία αποτελείται στο κατώτερο τμήμα από εναλλαγές μετακλαστικών, ηφαιστειοκλαστικών και ανθρακικών ιζημάτων του Περμοτριαδικού, ενώ στο ανώτερο παρατηρούνται ιζηματογενή πετρώματα βαθιάς θάλασσας, όπως κερατόλιθοι, αργιλικοί σχιστόλιθοι, φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι. Μέσα στα ιζήματα αυτά, παρεμβάλλονται οφιολιθικά σώματα με βασικά και υπερβασικά πετρώματα (γάββροι, διορίτες, σερπεντινίτες, διαβάσες). Επίσης, μέσα σ' αυτόν τον ορίζοντα παρεμβάλλονται και πετρώματα μεταμορφωμένα όξινης μαγματικής προέλευσης. Πρόκειται για παλιούς διορίτες, γρανοδιορίτες και γρανίτες που μεταμορφώθηκαν στην πρασινοσχιστολιθική φάση και δημιούργησαν τους σημερινούς πράσινους επιγνεύσιους της Θεσσαλονίκης. . Αυτά τα μετα-πυριγενή πετρώματα ονομάζονται «Μαγματική σειρά Χορτιάτη» και εναλλάσσονται με μεταϊζήματα όπως φυλλίτες, σερικιτικούς σχιστόλιθους, μάρμαρα, σιπολίνες, χλωριτικούς – επιδοτιτικούς σχιστόλιθους.



Εικόνα 5. Λιθοστρωματογραφικές στήλες των δύο εκ των τριών ενοτήτων της Περιροδοπικής ζώνης (Μουντράκης, 2010): φ: Τεκτονική επαφή, V.S.: ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά, Ανθρ.: ανθρακική νηριτική σειρά, Φλυ.: φλύσχης



Εικόνα 6. Λεπτομερής γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Στον χάρτη αυτό τα πετρώματα του υποβάθρου εμφανίζονται συνοπτικά σε σχέση με τα νεότερα ιζήματα, ενώ παράλληλα εμφανίζονται το υδρογραφικό δίκτυο και τα ρήγματα της περιοχής. Οι γεωλογικοί σχηματισμοί προήλθαν από ψηφιοποίηση χαρτών του ΕΑΓΜΕ (Kockel et al. 1978, Ζερβοπούλου, 2010).

2.2.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΖΩΝΗΣ ΑΞΙΟΥ

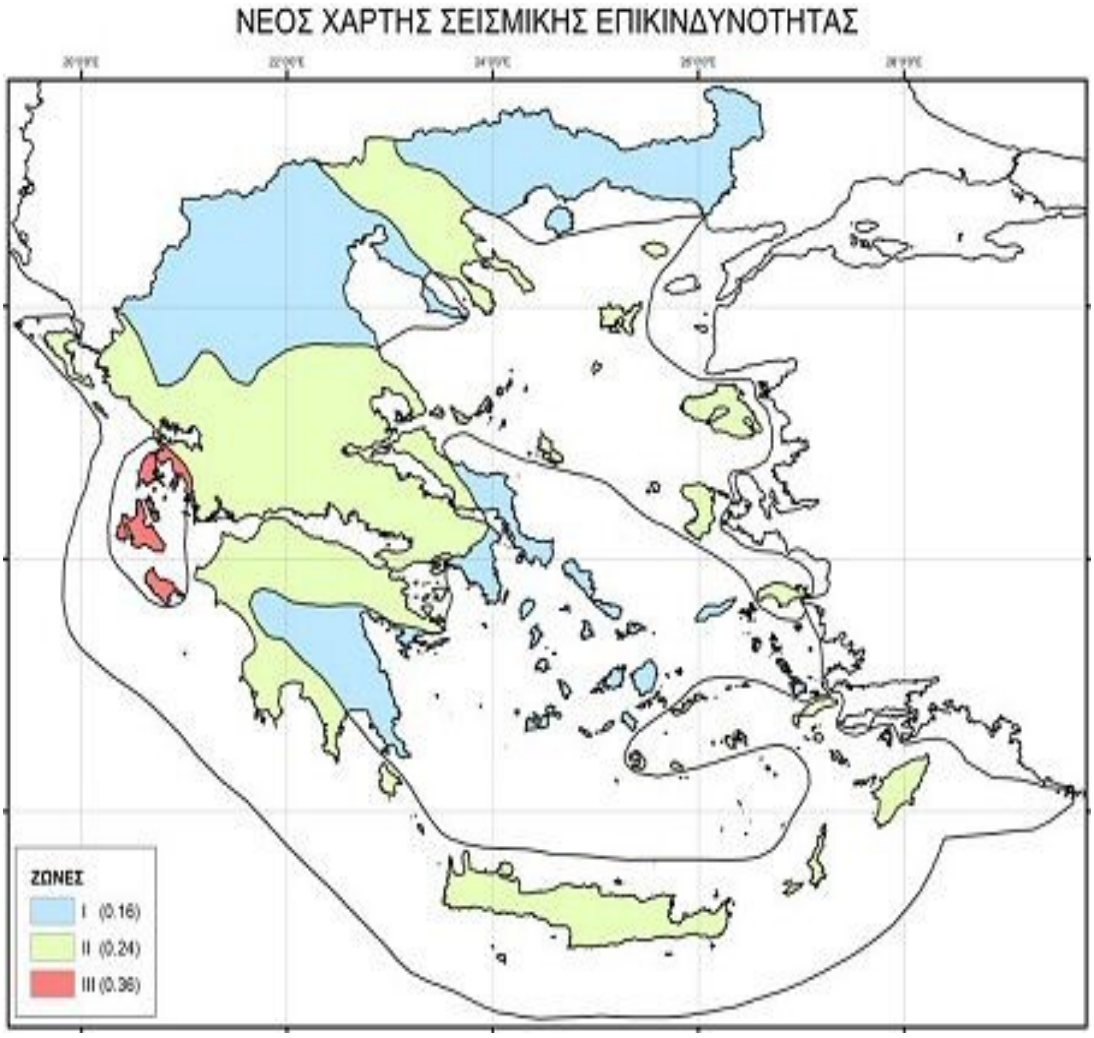
Η θέση της ζώνη Αξιού, εντός των Ελληνικών ορίων, παρατηρείται ότι ξεκινάει από τα σύνορα της Ελλάδος με την Βόρεια Μακεδονία, με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και πλάτος 30-70 Km, διασχίζει το Θερμαϊκό κόλπο και το Αιγαίο πέλαγος φτάνοντας μέχρι τις Βόρειες Σποράδες και κάμπτεται, καταλήγοντας στη Μικρά Ασία με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ. Αποτελεί μέρος των εσωτερικών Ελληνίδων και κατά το Μεσοζωικό δρούσε ως γεωσύγκλινο. Η διαίρεσή της γίνεται σε τρεις (3) υποζώνες, την υποζώνη Παιονίας, την υποζώνη Πάικου και την υποζώνη Αλμωπίας από τα ανατολικά στα δυτικά, εκ των οποίων μόνο η υποζώνη Παιονίας συναντάται στην περιοχή μελέτης. Ακολουθώντας τις σύγχρονες απόψεις, η υποζώνη Παιονίας λειτούργησε ως ο παλιός ωκεανός της Τηθύος, συνεπώς αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας, σε αντίθεση με τα ιζήματα της Περιροδοπικής που αντιπροσωπεύουν περιβάλλον ηπειρωτικής κατωφέρειας. Η υποζώνη Παιονίας χαρακτηρίζεται κυρίως από οφιολιθικά πετρώματα συνοδευόμενα με ιζήματα βαθιάς θάλασσας με χαρακτηριστική λεπιοειδή τεκτονική.

2.3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Γενικά, δύο φάσεις παραμορφώσεων έχουν παρατηρηθεί στην Περιροδοπική ζώνη οι οποίες συνοδεύουν τη μεταμόρφωση πρασινοσχιστολιθικής κυρίως φάσης. Κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Ιουρασικού – Κατώτερου Κρητιδικού θεωρείται ότι παράλληλα με την πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση, τα πετρώματα της Περιροδοπικής ζώνης υπέστησαν πτυχωσιγενή παραμόρφωση που προκάλεσε πτυχές σχεδόν ισοκλινείς. Το δεύτερο τεκτονικό επεισόδιο ηλικίας Τριτογενούς (Ηώκαινο - Ολιγόκαινο) προκάλεσε την δημιουργία ανοιχτών πτυχών, μετά – μεταμορφικών πτυχών και πτυχών τύπου Knick. Η Περιροδοπική επίσης, το διάστημα Ανώτερου Ολιγόκαινου – Κατώτερου Μειόκαινου υπέστη έντονη συμπιεστική παραμόρφωση με δυνάμεις διεύθυνσης Β-Ν με αποτέλεσμα την δημιουργία ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης με φορά προς τα ΝΔ και ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης τόσο αριστερόστροφα όσο και δεξιόστροφα, ΔΝΔ – ΑΒΑ και ΒΒΑ – ΝΝΔ διεύθυνσης αντίστοιχα. Τη συμπίεση αυτή συνόδευσε μια εφιππευτική μεγαδομή με φορά προς ΝΔ με την μορφή τεκτονικών λεπιών με την συμμετοχή των γνευσίων της Σερβομακεδονικής

2.4. ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

Σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003), η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι (Εικόνα), με μέγιστη σεισμική επιτάχυνση α=0,16g με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη.

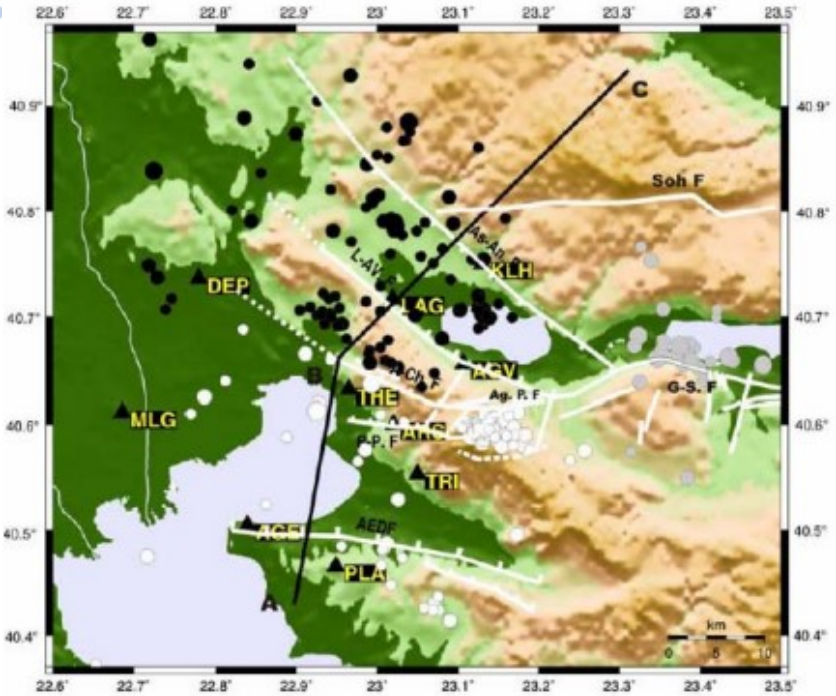


Εικόνα 7: Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003)

Το υπέδαφος από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας κατατάσσεται από την επιφάνεια του φυσικού εδάφους μέχρι το βάθος έρευνας σύμφωνα με τον Πίνακα 1 του ΕΝ 1998-1 στην κατηγορία «C» ως συνιστάμενο από αποθέσεις πυκνής έως μέτρια πυκνής άμμου, χαλίκων ή σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, και στην κατηγορία Β-Γ, σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003). Η ευστάθεια των φυσικών ή τεχνητών πρανών σε σεισμό ελέγχεται με τη θεώρηση των ακόλουθων πρόσθετων ενεργών επιταχύνσεων:

- κατά την οριζόντια διεύθυνση προκύπτει: α_h=0,5*a=**0,08g**

- κατά την κατακόρυφη διεύθυνση προκύπτει: α_v=0,25*a=**0,04g**



Εικόνα 8: Σεισμοτεκτονικός χάρτης ευρύτερης περιοχής μελέτης Paradisopoulou P.M. et al., 2004

Κατηγορία Εδάφους	Περιγραφή στρωματογραφίας	Παράμετροι		
		$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (κρούσεις/30cm)	c_u (kPa)
A	Βράχος ή άλλος βραχώδης γεωλογικός σχηματισμός, που περιλαμβάνει το πολύ 5 m ασθενέστερου επιφανειακού υλικού	> 800	-	-
B	Αποθέσεις πολύ πυκνής άμμου, χαλίκων ή πολύ σκληρής αργίλου, πάχους τουλάχιστον αρκετών δεκάδων μέτρων, που χαρακτηρίζονται από βαθμιαία βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων με το βάθος.	360 – 800	> 50	> 250
C	Βαθιές αποθέσεις πυκνής ή μετρίως πυκνής άμμου, χαλίκων ή σκληρής αργίλου πάχους από δεκάδες έως πολλές εκατοντάδες μέτρων.	180 - 360	15 - 50	70 – 250
D	Αποθέσεις χαλαρών έως μετρίως χαλαρών μη συνεκτικών υλικών (με ή χωρίς κάποια μαλακά στρώματα συνεκτικών υλικών) ή κυρίως μαλακά έως μετρίως σκληρά συνεκτικά υλικά.	< 180	< 15	< 70
E	Εδαφική τομή που αποτελείται από ένα επιφανειακό στρώμα ιλύος με τιμές v_s κατηγορίας C ή D και πάχος που ποικίλλει μεταξύ περίπου 5 m και 20 m, με υπόστρωμα από πιο σκληρό υλικό με v_s > 800 m/s.			
S_1	Αποθέσεις που αποτελούνται, ή που περιέχουν ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 10 m μαλακών αργίλων/ιλών με υψηλό δείκτη πλαστικότητας (PI > 40) και υψηλή περιεκτικότητα σε νερό	< 100 ενδεικτικό	-	10 – 20
S_2	Στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφών, ευαίσθητων αργίλων, ή οποιαδήποτε άλλη εδαφική τομή που δεν περιλαμβάνεται στους τύπους A – E ή S_1			

Πίνακας 1. Κατηγορίες εδαφών κατά τον EN 1998-1

2.5 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΘΕΣΗΣ ΕΡΓΟΥ

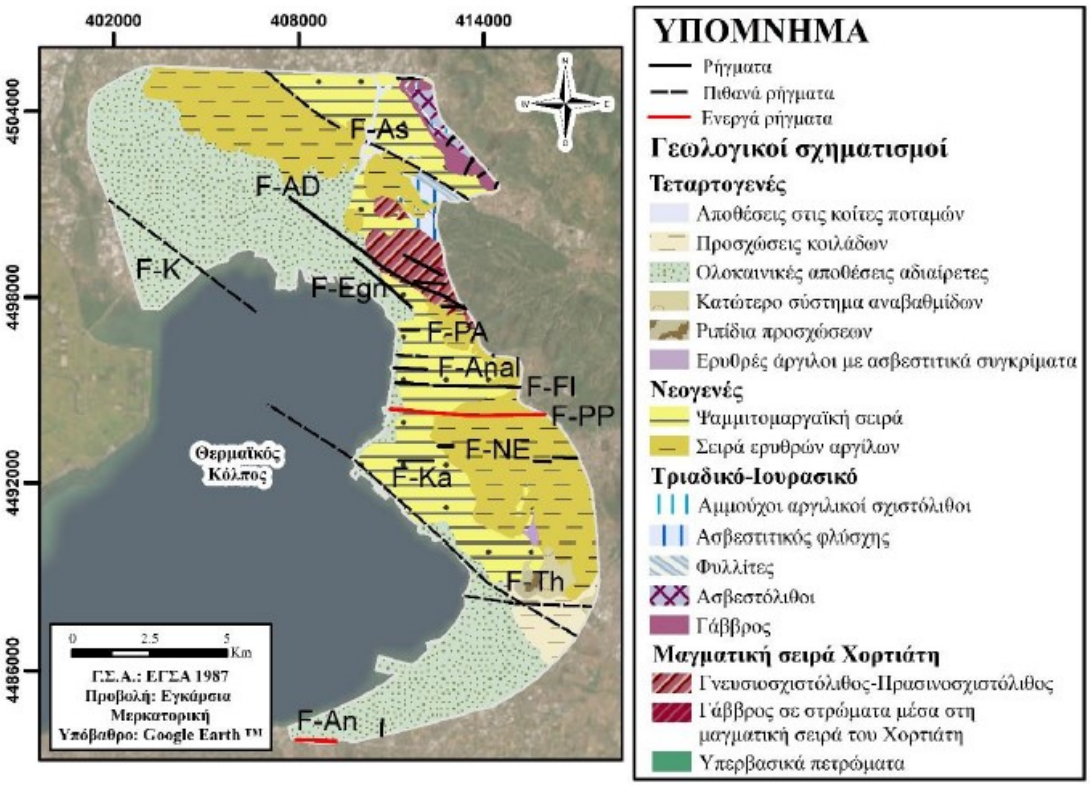
Όπως αναφέρθηκε, η θέση του έργου βρίσκεται επί της οδού Βασιλίσσης Όλγας 285 στη διασταύρωση με την οδό 25ης Μαρτίου. Το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης μπορεί γενικά να χαρακτηρισθεί πεδινό βάσει απόλυτου υψομέτρου (0-150m κατά Dikau, 1989) με το απόλυτο υψόμετρο του οικοπέδου να είναι κυμαίνεται από 5,50-6,00m, με μέσες κλίσεις που αυξάνονται προς την ακτογραμμή στα νοτιοδυτικά. Το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής μελέτης δεν είναι εμφανές λόγω της οικιστικής ανάπτυξης και η διαχείριση της επιφανειακής απορροής γίνεται μέσω του δικτύου συλλογής όμβριων υδάτων της πόλης.

Η εκσκαφή και θεμελίωση του έργου, όπως διαπιστώνεται σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη (εικόνα 9) βρίσκεται πάνω από Νεογενείς ιζηματογενείς σχηματισμούς Ανώτερου Μειόκαινου-Κατώτερου Πλειόκαινου που αποτελούν το υπόβαθρο της περιοχής.

Τα ιζήματα αυτά αποτελούνται από :

- την <u>ψαμμιτομαργαϊκή σειρά</u> ηλικίας Μειόκαινου-Πλειόκαινου. Η σειρά αυτή αποτελείται από ψαμμίτες εύθρυπτους έως πολύ συμπαγείς και τοπικά μικροκροκαλοπαγή με διασταυρωμένη στρώση, όπως και εναλλαγές άμμων και υποκίτρινες ή υπόλευκες μάργες με κροκαλοπαγή και αμμούχες μάργες. Το περιβάλλον απόθεσής τους θεωρείται αβαθές, ποταμολιμναίο με εναλλαγές, σε μορφή στρωμάτων και φακών, ανοιχτοκάστανων συνεκτικών άμμων έως ψαμμιτών οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως ημιβραχώδη πετρώματα και πολύ στιφρών έως σκληρών ασβεστιτικών αργίλων – μαργών, οι οποίες επίσης μπορούν να χαρακτηριστούν γεωτεχνικά ως μαλακός βράχος. Οι εναλλαγές αυτές μεταξύ αδρόκοκκου και λεπτόκοκκου υλικού φανερώνουν χρόνιες περιόδους μείωσης της μεταφορικής ικανότητας των χειμάρρων. Στο σχηματισμό αυτό παρατηρούνται και αμμώδεις στρώσεις με ηφαιστειακά υλικά προερχόμενα από τα ηφαιστειακά κέντρα της Αλμωπίας (Σαπουντζής 1969, Ελευθεριάδης 1977, Συρίδης 1990).

  Από γεωτεχνικής πλευράς πρόκειται για σχηματισμό με αυξημένη υδροπερατότητα, ημισυνεκτικοί και στιφροί έως πολύ συνεκτικοί ή σκληροί, στις θέσεις όπου η αργιλοψαμμιτική συνδετική ύλη γίνεται ψαμμιτομαργαϊκή έως ψαμμιτική. Αποτελεί σχηματισμό ο οποίος εξετάστηκε για την κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης αφού μεγάλο μέρος του βρίσκεται εντός του σχηματισμού αυτού.



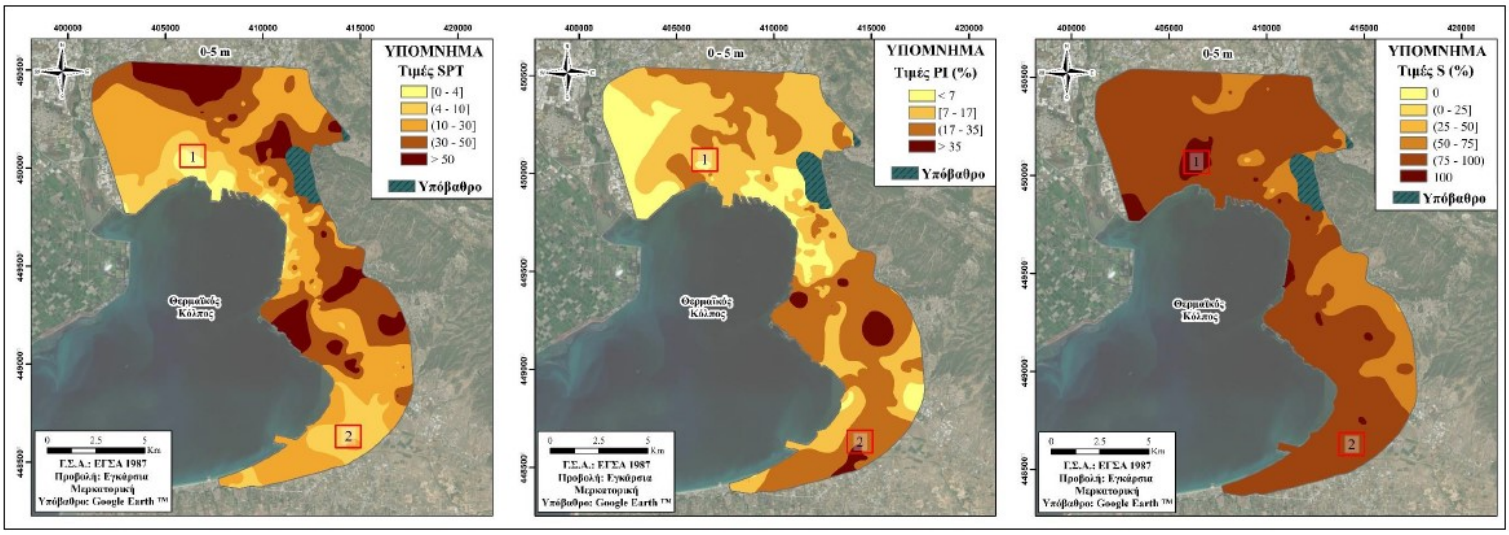
Εικόνα 9. Ψηφιοποιημένος γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας κλίμακα: 1:50.000, όπου: F-An ρήγμα Ανθεμούντα, F-Th ρήγμα Θέρμης, F-Ka ρήγμα Καλαμαριάς, F-NE ρήγμα Νέας Ελβετίας, F-PP ρήγμα Πυλαίας–Πανοράματος, F-Fl ρήγμα Φλέμινγκ, F-Anal ρήγμα Ανάληψης, F-PA ρήγμα Πεδίου Άρεως, F-Egn ρήγμα Εγνατίας, F-AD ρήγμα Αγ. Δημητρίου, F-As ρήγμα Ασβεστοχωρίου, F-K ρήγμα Καλοχωρίου (τροποποιημένος από Kockel et al. 1978a, 1978b; Ζερβοπούλου, 2010)

- την σειρά <u>ερυθρών αργίλων</u>, που αποτελείται από ερυθρές έως κεραμόχρωμες ιλυώδεις αργίλους με μαρμαρυγία, ασβεστιτικά συγκρίματα και οξειδώσεις μαγγανίου. Συναντάται βόρεια του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης τις περιοχές Ευόσμου, Σταυρούπολης, Πολίχνης, μέσα στο πολεοδομικό (περιοχή Κέντρου κάτω από το αρχαιολογικό στρώμα, Άνω Τούμπα, Τριανδρία και Πυλαία) αλλά και ανατολικά αυτού μέχρι το Πανόραμα και την Θέρμη.

  Ο σχηματισμός βρίσκεται σε επαφή με το υπόβαθρο σε περιοχές, με γνεύσιους – πρασινοσχιστόλιθους. Εκτός από τη μαζώδη δομή που εμφανίζει, αποτελείται από καστανέρυθρες αργίλους στιφρές έως σκληρές με παρεμβολές φακών κροκάλων και άμμων έως κροκαλοπαγών και λατυποπαγών, αντιπροσωπεύοντας χερσαίο περιβάλλον, έντονα οξειδωτικό.

  Από γεωτεχνικής πλευράς το υπέδαφος αποτελείται κυρίως από ιλυώδεις-αμμώδεις σχηματισμούς με κυμαινόμενο ποσοστό αργίλου και **υπερκείμενα**, κατά τόπους, χαλαρά εώς ασύνδετα κροκαλοπαγή

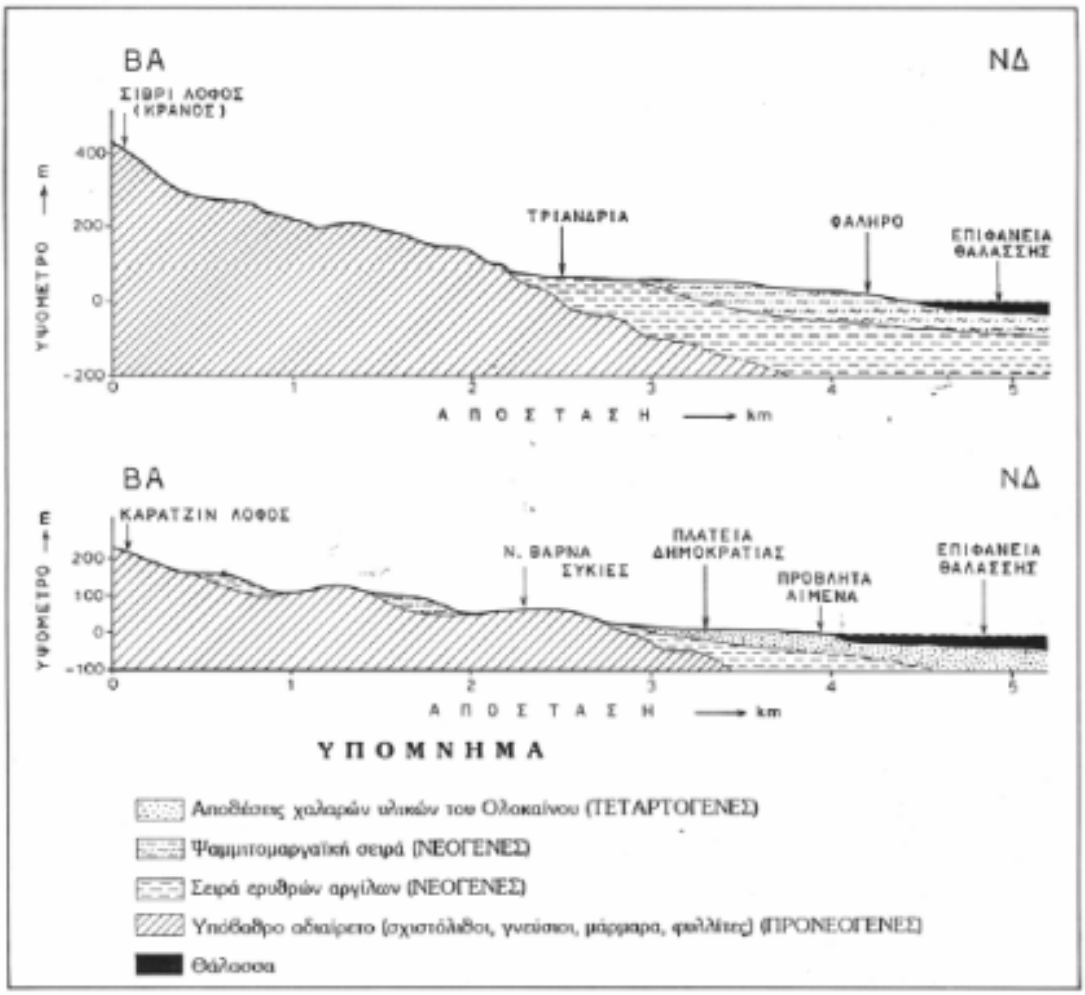
ασβεστιτικής σύστασης. Ο σχηματισμός αυτός αποτέλεσε αντικείμενο μελέτης για την κατασκευή του Μετρό Θεσσαλονίκης μια και μεγάλο μέρος του βρίσκεται στον σχηματισμό αυτό.



Σχήμα 7.15: Χάρτες κατανομής τιμών SPT, PI και S των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας για βάθη 0-5 m, όπου απεικονίζονται οι περιοχές «1» και «2» (βλ. Σχήμα 7.13)

Εικόνα 10. Τεχνικογεωλογικοί χάρτες κατανομής τιμών SPT, PI και S των τεχνητών επιχώσεων κι αποθέσεων Τεταρτογενούς και Νεογενούς ηλικίας για βάθη 0-5 m (Κοκκαλά Α., 2024)

Η ψαμμιτομαργαϊκή σειρά επικάθεται σύμφωνα πάνω στη σειρά Ερυθρών Αργίλων με κλίση 234/7,5 σύμφωνα με στοιχεία γεωτρήσεων (σχηματισμός Τρίγλιας, Συρίδης 1990).



Εικόνα 11. Εγκάρσιες γεωλογικές τομές τις περιοχής Θεσσαλονίκης με βάση τα στοιχεία του γεωλογικού χάρτη του ΕΑΓΜΕ (φύλλο Θεσσαλονίκης 1:50.000) από Λεβεντάκη 2003.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Με σκοπό τη δημιουργία του τεχνικογεωλογικού προσομοιώματος είναι αναγκαία η γεωτεχνική έρευνα - μελέτη των επιφανειακών και υπεδαφικών επί τόπου συνθηκών. Συγκεκριμένα, η διερεύνηση αυτή, έχει στόχο να προσδιορίσει την ακριβή στρωματογραφία καθώς και συγκεκριμένες παραμέτρους από τις οποίες εξαρτάται η συμπεριφορά του εδάφους. Ο προσδιορισμός αυτός επιτυγχάνεται αρχικά με την δειγματοληψία εδαφικού δείγματος μέσω γεωτρήσεων και με επί τόπου δοκιμές στο σημείο μελέτης και έπειτα, με την υποβολή των δειγμάτων σε μία σειρά εργαστηριακών δοκιμών, που με τη βοήθειά τους γίνεται η ποσοτικοποίηση των παραμέτρων αυτών.

Η γεωτεχνική έρευνα σχετικά με την ευστάθεια των εκσκαφών έγινε σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7. Οι αναλύσεις ευστάθειας γίνονται σύμφωνα με τις κλασσικές μεθόδους ανάλυσης και οι έλεγχοι γίνονται με τους συντελεστές ασφαλείας που ορίζονται στον Ευρωκώδικα 7 με τον Τρόπο Ανάλυσης 3 (Design Approach DA-3). Οι αναλύσεις εφαρμόζονται για αστράγγιστες συνθήκες, ενώ η σεισμική επιβάρυνση, καθώς και ο έλεγχος για ανώτατη στάθμη 50-ετίας δεν λαμβάνονται υπόψη εξαιτίας του προσωρινού χαρακτήρα των εκσκαφών.

Ο Τρόπος Ανάλυσης 3 (DA-3) (Ευρωκώδικας 7) εφαρμόζεται σε συνδυασμό με τις παρακάτω σχέσεις για τις εντάσεις (E) και τις αντιστάσεις (R):

$E_d = E(F_d, X_d) = E(\gamma_F, F_k, X_k/\gamma_M)$ *(2.1)*

$R_d = R(F_d, X_d) = R(\gamma_F, F_k, X_k/\gamma_M)$ *(2.2)*

Όπου F_d=δράση σχεδιασμού, F_k=χαρακτηριστική τιμή δράσης, X_d=εδαφική παράμετρος σχεδιασμού, X_k=χαρακτηριστική τιμή εδαφικής παραμέτρου, γ_F = επιμέρους συντελεστής για τις δράσεις και γ_M = επιμέρους συντελεστής για τις εδαφικές παραμέτρους (ιδιότητες).

Για ευστάθεια του πρανούς πρέπει να ικανοποιείται η Σχέση 2.3 και οι εξής ομάδες επιμέρους συντελεστών ασφαλείας δράσεων και εδαφικών παραμέτρων (γ_F, γ_M) του Παραρτήματος Α του EN1997-1 :

- (A1) για δομικές δράσεις (από την ανωδομή), όπως φορτία κτιρίων και κυκλοφορίας στην επιφάνεια του εδάφους,
- (A2) για δράσεις από το έδαφος (γεωτεχνικές δράσεις), περιλαμβανομένου και του βάρους του εδάφους,
- (M2) για τις εδαφικές παραμέτρους.

$E_d \leq R_d \rightarrow E(\gamma_F F_k, X_k/\gamma_M) \leq R(\gamma_F F_k, X_k/\gamma_M)$ *(2.3)*

Ο Τρόπος Ανάλυσης 3 (Ευρωκώδικας 7) αφορά μόνον στον έλεγχο της ολικής ευστάθειας των γεωτεχνικών έργων. Ο συντελεστής προσομοιώματος εξαρτάται από τις παραδοχές των υδραυλικών συνθηκών και θα λαμβάνει τις εξής τιμές:

α) Για συνήθεις δυσμενείς παραδοχές υδραυλικών συνθηκών : $\gamma_m = 1,1$.

Η χρήση του ανωτέρω συντελεστή προσομοίωσης γίνεται ώστε ο ισοδύναμος ενιαίος συντελεστής ασφαλείας (F.S) έναντι ολικής ευστάθειας να είναι :

- $F.S = \gamma_M \gamma_m = 1,25 \times 1,1 = 1,38$ για αναλύσεις μέσω ενεργών τάσεων με χρήση ενεργών παραμέτρων αντοχής (c′, φ′).
- $F.S = \gamma_M \gamma_m = 1,40 \times 1,1 = 1,54$ για αναλύσεις μέσω ολικών τάσεων με χρήση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (C_u).

β) Για πολύ δυσμενείς παραδοχές υδραυλικών συνθηκών : $\gamma_m = 1,0$.

Στην περίπτωση αυτή, ο ισοδύναμος ενιαίος συντελεστής ασφαλείας (F.S) έναντι ολικής ευστάθειας είναι:

- $F.S = \gamma_M \gamma_m = 1,25 \times 1,0 = 1,25$ για αναλύσεις μέσω ενεργών τάσεων με χρήση ενεργών παραμέτρων αντοχής (c’ , φ′).
- $F.S = \gamma_M \gamma_m = 1,40 \times 1,0 = 1,40$ για αναλύσεις μέσω ολικών τάσεων με χρήση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής.

Εξαίρεση αποτελεί η ανάλυση της ολικής ευστάθειας (π.χ. ευστάθεια πρανών) υπό συνήθεις υδραυλικές συνθήκες όπου επιτυγχάνεται ενιαίος συντελεστής ασφαλείας FS=1,10.

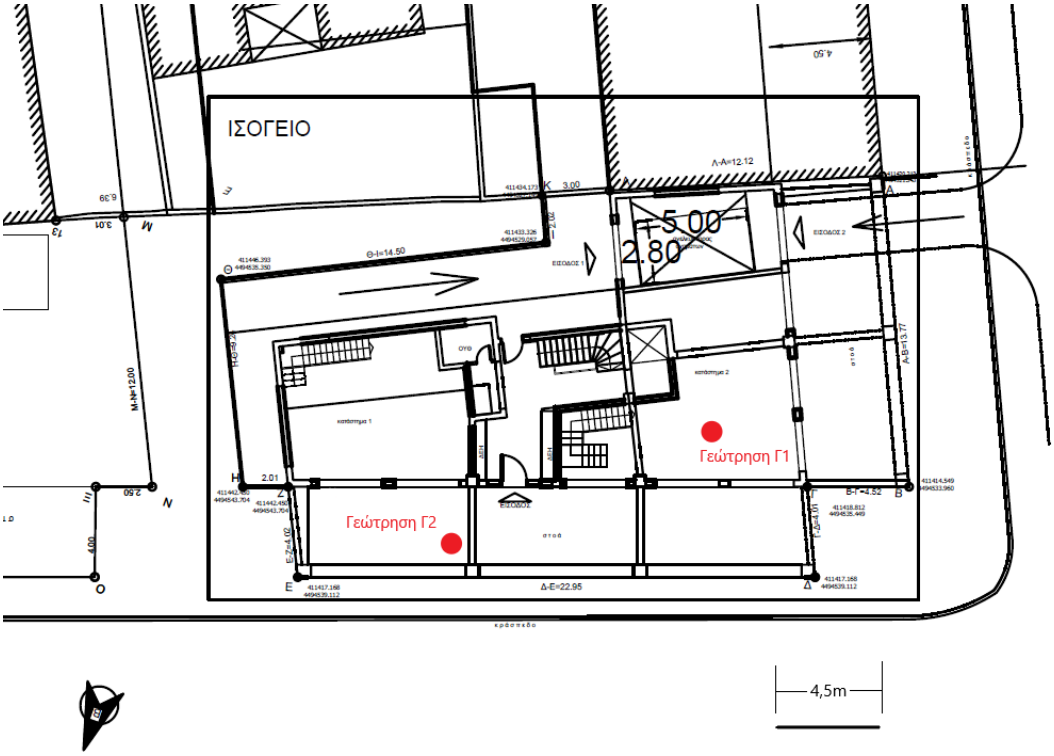
3.1 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Στη θέση του έργου έγιναν συνολικά δύο δειγματοληπτικές γεωτρήσεις βάθους 15,00m η κάθε μία. Οι εργασίες υπαίθρου εκτελέστηκαν τις 03/11/2023 και 04/11/2023, υπό την επίβλεψη του μελετητή Δρ. Παναγιώτη-Νικόλαου Χατζηγώγου. Χρησιμοποιήθηκε περιστροφικό υδραυλικό γεωτρύπανο τύπου HYNDAGA της εταιρίας γεωτεχνικών ερευνών "ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤΑΚΕΒΙΤΣ-ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ". Στο Παράρτημα Β παρουσιάζονται φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των γεωτρήσεων.

Δειγματοληψία

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των γεωτρήσεων, γινόταν συνεχής δειγματοληψία που περιλάμβανε:

- Αντιπροσωπευτικά δείγματα με δειγματολήπτη απλού τοιχώματος (Τ1) διαμέτρου 101mm, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του φραγμού (διακοπή τις παροχής νερού τις την κοπτική κεφαλή και κοπτική κεφαλή WIDIA.
- Σωλήνωση των γεωτρήσεων μέχρι το βάθος των 13,5m για την Γ1 και 14,5m για την Γ2 με χαλύβδινους σωλήνες διαμέτρου 127mm.



Εικόνα 12. Θέσεις των γεωτρήσεων σε κάτοψη

Κάθε κιβώτιο με τα αντίστοιχα δείγματα φωτογραφήθηκε με μέριμνα ώστε να αποφεύγονται σκιάσεις που μειώνουν την ποιότητα των φωτογραφιών των δειγμάτων. Η ποιότητα των φωτογραφιών ελέγχθηκε επιτόπου πριν τη διαλογή – αποστολή των δειγμάτων για εργαστηριακές δοκιμές.

Μετά το πέρας των εργασιών υπαίθρου έγινε επιλογή αντιπροσωπευτικών δειγμάτων, τα οποία μεταφέρθηκαν στο διαπιστευμένο εργαστήριο Εδαφομηχανικής – Βραχομηχανικής του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. για την εκτέλεση των εργαστηριακών δοκιμών, που απαιτούνται για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών τους.

Γεωτρήσεις	**Υψόμετρο (m)**	**Βάθος έρευνας (m)**	**Στάθμη υπόγειου ορίζοντα (m)**	**x**	**y**
Γ1	5,40	15,0	3,10	411.426,627	4.494.537,211
Γ2	5,90	15,0	3,10	411.439,737	4.494.545,53

Πίνακας 2. Στοιχεία των γεωτρήσεων

Εικόνα 13. Εκτέλεση γεώτρησης στη θέση Γ2

3.2 ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ

Για τον προσδιορισμό της επί τόπου συνεκτικότητας (στα αργιλικά εδάφη) και επί τόπου πυκνότητας (κοκκώδη εδάφη), κατά τη διάρκεια των διατρήσεων, εκτελέστηκαν 7 επί τόπου δοκιμές πρότυπης διείσδυσης (Standard Penetration Tests – SPT) ανά γεώτρηση. Τα αποτελέσματα των δοκιμών Πρότυπης Διείσδυσης, παρουσιάζονται στην τομή τις γεώτρησης στο Παράρτημα Β και σε πίνακα στο Παράρτημα Α.

Οι δοκιμές SPT γίνονται για τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής του εδάφους (αστράγγιστη αντοχή, γωνία τριβής φ). Η δοκιμή συνίσταται στη μέτρηση του αριθμού των κρούσεων N_{SPT} που χρειάζεται ο δειγματολήπτης τύπου Terzaghi, με την πτώση εμβόλου συγκεκριμένου βάρους και διαστάσεων, από συγκεκριμένο ύψος, ώστε να διεισδύσει στο έδαφος 45cm. Η μέτρηση για τα πρώτα 15cm απορρίπτεται, αφού το υλικό θεωρείται ότι έχει διαταραχθεί κατά την προηγούμενη δειγματοληψία. Μέσω εμπειρικών σχέσεων, χρησιμοποιώντας τον αριθμό N_{SPT} μπορούν να προσδιοριστούν αυτοί οι παράμετροι που καθορίζουν τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους.

N_{SPT}	Κατάταξη εδάφους	φ(°)
0-4	Πολύ χαλαρό	27-32
4-10	Χαλαρό	30-35
10-30	Μέσο	35-40
30-50	Πυκνό	38-45
>50	Πολύ πυκνό	>40

Πίνακας 3. Τιμές γωνίας εσωτερικής τριβής σε σχέση με τον αριθμό N_{SPT} (Terzaghi και Peck, 1948).

Εικόνα 14. Δείγμα γεώτρησης από δειγματολήπτη τύπου Terzaghi.

Γεώτρηση Γ1		Γεώτρηση Γ2	
ΒΑΘΟΣ (m)	**N_{SPT}**	**ΒΑΘΟΣ (m)**	**N_{SPT}**
2,00-2,45	10	2,00-2,45	10
3,60-4,05	2	4,00-4,45	3
6,10-6,55	7	6,00-6,45	6
8,50-8,95	6	8,50-8,95	6
11,00-11,45	9	10,30-10,75	9
13,50-13,95	10	12,50-12,95	5
14,50-14,95	24	14,50-14,95	16

Πίνακας 4. Αποτελέσματα δοκιμών SPT

3.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ- ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Οι εργαστηριακές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κατά την περίοδο Δεκεμβρίου 2023-Φεβρουαρίου 2024. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο αμέσως μετά την ολοκλήρωση τις γεώτρησης. Η εφαρμογή του εργαστηριακού ελέγχου ακολουθούσε άμεσα. Τα αποτελέσματα του εργαστηριακού ελέγχου παρουσιάζονται στο παράρτημα Α.

Το πρόγραμμα της έρευνας συγκεκριμένα περιλαμβάνει:

Δοκιμές για την διεξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους. Αναλυτικότερα έγιναν δοκιμές προσδιορισμού:

- φυσικής υγρασίας
- φαινόμενου βάρους
- ορίων Atterberg
- κοκκομετρικής σύνθεσης

Ακολούθως, πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω δοκιμές για τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους:

- μονοδιάστατης στερεοποίησης
- προσδιορισμού αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη
- άμεσης διάτμησης

3.3.1 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ:

Οι δοκιμές φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους είναι σημαντικές στη γεωτεχνική έρευνα και προηγούνται των άλλων δοκιμών λόγω της σημασίας τους στην κατάταξη των εδαφών. Οι δοκιμές αυτές είναι, ο προσδιορισμός φυσικής υγρασίας m και φαινόμενου βάρους γ και δευτερογενώς, του δείκτη πόρων e, του ξηρού φαινόμενου βάρους γ_d και του βαθμού κορεσμού S.

Αναλυτικότερα οι ιδιότητες που προσδιορίστηκαν είναι:

- Προσδιορισμός περιεχόμενης υγρασίας m

Η παρουσία νερού ή υγρασίας στα εδάφη είναι ένας παράγοντας ο οποίος θα πρέπει να διερευνάται, καθώς επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά του υλικού. Η περιεχόμενη υγρασία προσδιορίζεται ως ο λόγος του βάρους των νερού που περιέχεται στο υλικό (W_w) προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους (W_s) και εκφράζεται ως ποσοστό %.

$$m = \frac{W_w}{W_s} \text{ X } 100$$

- Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους γ

Το φαινόμενο ή μοναδιαίο βάρος υπολογίζεται από τον λόγο του βάρους του υλικού W προς το συνολικό του όγκο V (φαινόμενο βάρος).

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Το φαινόμενο βάρος προσδιορίζεται ως ολικό, ενώ, όταν το έδαφος βρίσκεται υπό ξηρές συνθήκες, τότε ονομάζεται ξηρό φαινόμενο βάρος γ_d (dry unit weight), και για τον υπολογισμό του συμμετέχουν μονάχα τα στερεά υλικά ως βάρος και όγκος του εδάφους.

$$\gamma_d = \frac{Ws}{V} = \frac{\gamma}{1+m} = \frac{\gamma_s}{1+e}$$

όπου γ_s το ειδικό βάρος των κόκκων του εδάφους

- Πορώδες/δείκτης πόρων

Τα κενά (πόροι) σε ένα εδαφικό υλικό καλύπτονται είτε από αέρα είτε από νερό. Για την περιγραφή αυτών των πόρων, δύο παράμετροι έχουν εισαχθεί: το πορώδες n και ο δείκτης πόρων ή λόγος κενών e. Το πορώδες ορίζεται ως το ποσοστό του συνολικού όγκου των κενών (V_v), ενώ ο δείκτης πόρων ως ο λόγος του όγκου των κενών (V_v) προς τον όγκο των στερεών (V_s):

$$n = \frac{V_V}{V} \times 1$$

$$e = \frac{V_V}{V_S}$$

- Βαθμός κορεσμού

Ο βαθμός κορεσμού S εκφράζει το ποσοστό του όγκου των πόρων ενός εδάφους, οι οποίοι καλύπτονται από νερό (V_w) σε σχέση με τον συνολικό όγκο των πόρων (V_v). Σε ένα κορεσμένο έδαφος που περιέχει νερό σε όλα τα κενά (πόρους) του ο βαθμός κορεσμού είναι S=1 ή 100%. Στη αντίθετη περίπτωση,

όταν δεν υπάρχει νερό στα κενά του υλικού, τότε το έδαφος είναι ξηρό και ο βαθμός κορεσμού είναι 0%.

$$S_w = \frac{n_w}{n} = \frac{V_w}{V_v}$$

3.3.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ

Οι δοκιμές κατάταξης των εδαφών έχουν σκοπό την κατάταξη του εδαφικού υλικού σε ομάδες με κριτήριο συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες και δείκτες. Η κατάταξη ομαδοποιεί τα εδαφικά υλικά σε ομάδες παρόμοιων μηχανικών χαρακτηριστικών και συμπεριφοράς.

Αρχικά, στη μακροσκοπική αναγνώριση των εδαφών κατά τη δειγματοληψία γίνεται χαρακτηρισμός τους (π.χ άμμος ή άργιλος) και στη συνέχεια ακολουθεί ο εργαστηριακός προσδιορισμός της κοκκομετρικής διαβάθμισης και της πλαστικότητας αυτών ώστε να γίνει η κατάταξη τους.

- Κοκκομετρική ανάλυση

Η κοκκομετρική ανάλυση πραγματοποιείται με τη μέθοδο των κοσκίνων και την μέθοδο του αραιομέτρου. Έχει στόχο τον προσδιορισμό ποσοστού κατά βάρους των κόκκων διαφορετικού μεγέθους και την ταξινόμησή των εδαφών αυτών ανάλογα τα ποσοστά αυτά. Εάν στο δείγμα που εξετάζεται, περιέχεται ποσοστό >25% από κόκκους με διάμετρο <0,075mm, τότε θα πρέπει να πραγματοποιείται ανάλυση και με τους δύο τρόπους, ειδάλλως η ανάλυση αποκλειστικά με κόσκινα είναι επαρκής.

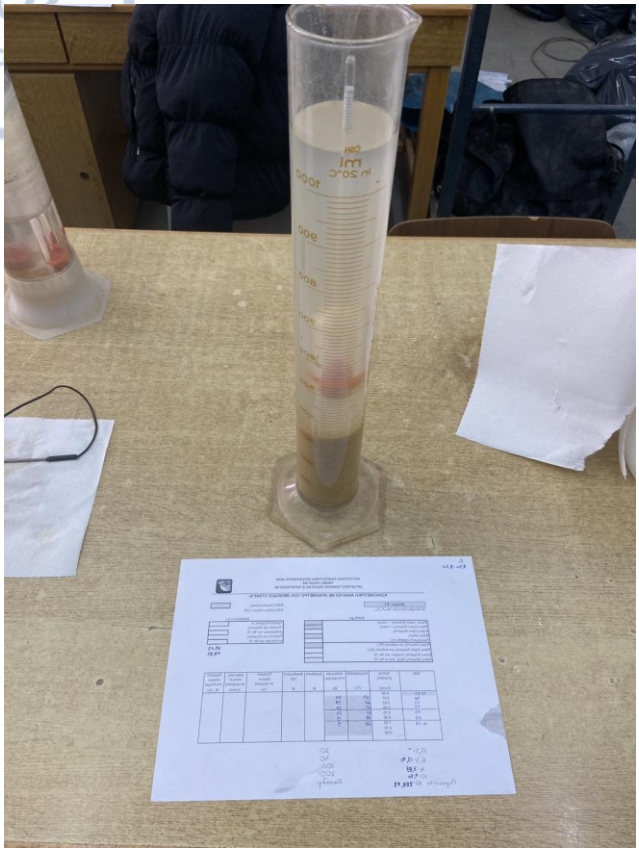
Η κοκκομετρική διαβάθμιση του δείγματος απεικονίζεται με την κοκκομετρική καμπύλη, σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα με κατακόρυφο άξονα το αθροιστικό ποσοστό του διερχόμενου βάρους των κόκκων από συγκεκριμένα κόσκινα και οριζόντιο τη διάμετρο των κόκκων. Από την ανάλυση της καμπύλης προκύπτουν η σύσταση και ομοιομορφία του δείγματος και έμμεσα η διαπερατότητά του.

Εικόνα 15. Ταξινόμηση εδαφικού δείγματος με την μέθοδο των κόσκινων

Αφού κονιοποιηθεί και αποξηραθεί, το δείγμα ζυγίζεται και τοποθετείται σε μία σειρά κοσκίνων διαφορετικής διαμέτρου και αφού κοσκινιστεί, ζυγίζεται η ποσότητα που έχει παραμείνει σε κάθε κόσκινο ώστε να προκύψει η κοκκομετρική καμπύλη.

Η μέθοδος αραιομέτρου, όπως προαναφέρθηκε, συμπληρώνει την κοκκομετρική ανάλυση ως προς τα λεπτόκοκκα συστατικά (ιλύ και άργιλο). Κατά την μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται αραιόμετρο που αποτελείται από ένα κυλινδρικό σώμα και ένα στέλεχος. Στον ογκομετρικό σωλήνα εισέρχεται δείγμα βάρους περίπου 50gr που διέρχεται από το κόσκινο Νο 10 (με διάμετρο 2mm). Πριν εισαχθεί στον ογκομετρικό σωλήνα, θα πρέπει να υποστεί διασπορά ώστε να επέλθει η αποσυσσωμάτωση των κόκκων. Για το σκοπό αυτό το δείγμα εισέρχεται σε διάλυμα ενός παράγοντα διασποράς, (πολυφωσφορικό νάτριο) και παραμένει για 24 h.

Το αραιόμετρο μετράει την πυκνότητα του εν αιώρηση υλικού στον σωλήνα. Το πιο αδρόκοκκο υλικό στον σωλήνα με το πέρασμα του χρόνου καθιζάνει πρώτο. Μετά το πέρας 24 ωρών, το αιώρημα ξεπλένεται σε κόσκινο Νο 200, το οποίο έπειτα ξεραίνεται και διέρχεται από κόσκινα Νο 40, 100, 200 διαδοχικά για την ολοκλήρωση της κοκκομετρικής καμπύλης.



Εικόνα 16: Αραιόμετρο σε εφαρμογή

- Όρια Atterberg

Τα όρια Atterberg υπολογίζονται κυρίως για τον προσδιορισμό του δείκτη πλαστικότητας σε ένα εδαφικό δείγμα. Αφορούν τα λεπτόκοκκα εδάφη και κυρίως υλικά που περιέχουν μεγάλο ποσοστό αργιλικών ορυκτών. Τα λεπτόκοκκα εδάφη ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία τους μπορούν να βρίσκονται σε 4 καταστάσεις: στερεή, ημιστερεή, πλαστική, υδαρή (ρευστή). Τα όρια ανάμεσα σε αυτές ονομάζονται όρια Atterberg και εκτελούνται σε εδαφικό δείγμα που πρέπει να διέρχεται από κόσκινο No 40 (0,425 mm),.

Για το όριο υδαρότητας (LL), δηλαδή το όριο στο οποίο το έδαφος με ελάττωση της υγρασίας του μεταπίπτει από την ρευστή στην πλαστική κατάσταση, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Πίπτοντος κώνου στην οποία κωνικό βαρίδιο βάρους 60g και ανοίγματος κώνου 60°, απελευθερώνεται από συγκεκριμένο ύψος και καταγράφεται το βάθος διείσδυσης του στο δείγμα. Το δείγμα διαβρέχεται για διάφορα ποσοστά υγρασίας και μετά από κάθε διείσδυση του κώνου λαμβάνεται υλικό για μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας. Στη συνέχεια κατασκευάζεται δεκαδικό διάγραμμα ''βάθους διείσδυσης (mm)-περιεκτικότητας σε νερό (%)'' στο οποίο το όριο υδαρότητας βρίσκεται ως η περιεκτικότητα σε νερό που αντιστοιχεί σε 10mm βάθους διείσδυσης.

Για το όριο πλαστικότητας (PL), το οποίο αντιστοιχεί στο όριο στο οποίο το έδαφος μεταπίπτει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση, λαμβάνεται δείγμα περίπου 8gr το οποίο έχει διαβραχεί με απεσταγμένο νερό. Το δείγμα αυτό κυλινδρώνεται σε σχήμα ραβδίσκου ομοιόμορφης διαμέτρου σε όλο το μήκος του. μέχρι η διάμετρος να φτάσει τα 3mm. Τότε επανασυμπιέζεται και αναζυμώνεται και επαναλαμβάνεται η διαδικασία μέχρι ο ραβδίσκος να θρυμματιστεί προτού φτάσει τη διάμετρο των 3mm. Τότε υπολογίζεται η περιεχόμενη υγρασία του που είναι το όριο πλαστικότητας και προκύπτει από το μέσο όρο τριών δοκιμών.

Εικόνα 17: Διαδικασία προσδιορισμού ορίων Atterberg

Υπάρχουν πολλά συστήματα ταξινόμησης εδαφών, όπως το σύστημα AASHO, κατά Casagrande κλπ. Η ταξινόμηση στην συγκεκριμένη περίπτωση, γίνεται σύμφωνα με το Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών (Unified Soil Classification System ή USCS).

Χαρακτηρισμός			Σύμβολο	Περιγραφή
Χονδρόκοκκα εδάφη (άνω του 50% συγκρατείται στο κόσκινο No 200	Άνω του 50% συγκρατείται στο κόσκινο No 4	Καθαροί χάλικες	GW	Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια, αμμοχάλικο, χωρίς ή με λίγα λεπτόκοκκα
			GP	Μη διαβαθμισμένα χαλίκια, αμμοχάλικο, χωρίς ή με λίγα λεπτόκοκκα
		Χάλικες με σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων	GM	Ιλυώδεις χαλίκια, ιλυώδες αμμοχάλικο
			GC	Αργιλώδεις χαλίκια. Αργιλώδες αμμοχάλικο
	Άνω του 50% διέρχεται στο κόσκινο No 4	Καθαροί άμμοι χωρίς ή με λίγα λεπτόκοκκα	SW	Καλά διαβαθμισμένες άμμοι, χαλικώδεις άμμοι, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα
			SP	Μη διαβαθμισμένες άμμοι, χαλικώδεις άμμοι, λίγα ή καθόλου λεπτόκοκκα
		Άμμοι με σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων	SM	Ιλυώδεις άμμοι, μίγμα άμμου - ιλύος
			SC	Αργιλώδεις άμμοι, μίγμα άμμου - αργίλου
Λεπτόκκα εδάφη (άνω του 50% διέρχεται από το κόσκινο No 200)	Ιλείς και άργιλοι	LL<50%	ML	Ανόργανη ιλύς και λεπτόκοκκες άμμοι, ιλυώδεις ή αργιλώδεις άμμοι, ή αργιλώδεις ιλύες με μικρή πλαστικότητα
			CL	Ανόργανες άργιλοι με χαμηλή έως μέση πλαστικότητα, χαλικώδεις άργιλοι, αμμώδεις άργιλοι, ιλυώδεις άργιλοι
			OL	Οργανικές ιλύες και οργανικές ιλυώδεις άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας
		LL>50%	MH	Ανόργανες ιλύες, μαρμαρυγιακές λεπτόκοκκες άμμοι ή ιλυώδη εδάφη, πλαστικές ιλύες
			CH	Ανόργανες άργιλοι υψηλής πλαστικότητας, παχιές άργιλοι
			OH	Οργανικές άργιλοι μέσης ή υψηλής πλαστικότητας, οργανικές ιλύες
Πολύ οργανικά εδάφη			Pt	Τύρφη ή άλλα οργανικά εδάφη

Εικόνα 18: Σύστημα ταξινόμησης USCS

3.3.3 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Ως προς τις μηχανικές ιδιότητες των εδαφικών δειγμάτων, το πλήθος και είδος δοκιμών που έγιναν αναφέρεται παραπάνω. Αναλυτικότερα έγιναν:

- Δοκιμή οιδημέτρου

  Η δοκιμή αυτή έχει ως σκοπό τον υπολογισμό του μέτρου και του χρόνου εκδήλωσης της καθίζησης σε αργιλικό έδαφος λόγω στερεοποίησης. Το δοκίμιο τοποθετείται και του ασκείται κατακόρυφη πίεση για 24 ώρες λαμβάνοντας μετρήσεις παραμόρφωσης του δοκιμίου. Μετά τις 24 ώρες διπλασιάζεται το φορτίο και επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις. Ακολουθεί η αποφόρτιση του δοκιμίου μετρώντας την αποσυμπίεσή του. Στο τέλος το δείγμα αφαιρείται από το δακτύλιο και προσδιορίζονται η φυσική υγρασία και το ξηρό φαινόμενο βάρος.

Εικόνα 19. Οιδήμετρο σε εφαρμογή

- Δοκιμή άμεσης διάτμησης

Η δοκιμή άμεσης διάτμησης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους, όπου δείγμα οδηγείται σε θραύση με την μετακίνηση ενός τμήματός του. Οι δοκιμές άμεσης διάτμησης διακρίνονται σε:

–Ταχεία δοκιμή μη στερεοποιημένου δοκιμίου

–Ταχεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου

–Βραδεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου

Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν ταχείες δοκιμές στερεοποιημένου δοκιμίου. Σε αυτές προσδιορίζεται η διατμητική αντοχή εδάφους λόγω επιβολής φορτίου σε σύντομο χρονικό διάστημα και αφού έχει προηγηθεί στερεοποίησή του υπό ορθή τάση. Κατά τη δοκιμή αυτή η πίεση του νερού των πόρων δεν είναι δυνατόν να εκτονωθεί. Για τον υπολογισμό της γωνίας τριβής (φ) και της συνοχής (c) απαιτούνται τουλάχιστον 2 δοκιμές από τις οποίες προκύπτουν ζεύγη τιμών μέγιστης διατμητικής τάσης (τ) και εφαρμοσμένης ορθής τάσης (σ).

Εικόνα 20. Εδαφικό δείγμα μετά από δοκιμή άμεσης διάτμησης.

Τα αποτελέσματα του εργαστηριακού προγράμματος εμφανίζονται αναλυτικά στις εικόνες 21 και 22.

ΧΑΤΖΗΓΩΓΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ. MSc ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ.
ΚΑΣΟΜΟΥΛΗ 1, 54655, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ. ΑΦΜ: 121921825, Ζ' ΔΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ. Τηλ. 6947180690

ΕΡΓΟ: "Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη".

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ										ΕΔΑΦΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ – ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ						ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ							
			ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ					ΟΡΙΑ ATTERBERG											ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΔΕΙΑΣ ΑΜΕΣ. ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΜΕ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗ		ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ				ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΙΤΟΔΙΣΤΗΣ ΘΛΥΨΗΣ	
ΤΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΚΟΣΚΙΝΑ				αραιόμετρο	ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	N_{30SPT}	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑ A.U.S.C.S.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΥΓΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	ΒΑΘΜΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ			ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΟ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΑΣΕΩΝ		
			4	10	40	200	<2μ						m	γ	γ_d	γ_s	e_o	S	c'	φ'	C_c	$C_v x10^{-4}$	E_s	p	σ_u	ε_u
			διερχόμενο %					LL	PL	PI			%	t/m³	t/m³			%	kPa	(°)		cm²/sec	kPa	kPa	kPa	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Γ1	1	0.00-0.70	97.17	94.47	88.51	57.09	3.26	28	27	1		ML	19.62	2.14	1.79	2.65	0.48	108.03								
Γ1	2	0.70-2.00	92.84	90.68	84.95	67.47	13.47	35	14	21		CL	16.84	2.13	1.82	2.65	0.45	98.37							341.3	7.58
Γ1	3	2.00-2.45									10		17.48	2.09	1.78	2.65	0.49	94.62							174.2	10.49
Γ1	4	2.45-3.00	87.66	85.88	81.66	62.92	13.89	35	13	22		CL	21.72	2.12	1.74	2.65	0.52	110.37			0.082	1.11	2687	45-90		
Γ1	5	3.00-3.60	93.83	91.67	86.27	61.07	11.71	30	14	16		CL	22.24	2.13	1.74	2.65	0.52	113.16							101.4	10.41
Γ1	6	3.60-4.05	99.26	98.43	95.41	55.67					2	ML-SM	30.22	2.12	1.63	2.65	0.63	127.57	0.0	32.6						
Γ1	7	4.05-4.70	98.68	96.66	92.13	73.68	12.85	38	16	22		CI	20.30	2.13	1.77	2.65	0.50	108.31								
Γ1	8	4.70-5.00	100.00	100.00	99.90	95.92	21.08	41	19	22		CI	28.18	2.06	1.61	2.65	0.65	115.08			0.152	2.23	3101	90-180	73.3	11.12
Γ1	9	5.00-6.10	100.00	100.00	99.74	98.12	25.94	52	23	29		CH	28.11	2.04	1.59	2.65	0.66	112.16							124.4	5.61
Γ1	10	6.10-6.55									7		35.33	2.00	1.48	2.65	0.79	118.05								
Γ1	11	6.55-7.30	100.00	100.00	99.26	87.63	22.46	48	23	25		CI	22.27	2.08	1.70	2.65	0.56	105.81			0.110	0.98	4367	90-180	161.6	11.37
Γ1	12	7.30-8.00	100.00	100.00	98.40	92.63	14.59	44	22	22		CI	27.45	2.01	1.58	2.65	0.68	106.93							145.7	8.09
Γ1	13	8.00-8.50	93.99	92.32	87.21	69.66	9.85	33	20	13		CL	22.05	2.19	1.79	2.65	0.48	122.54							92.9	4.60
Γ1	14	8.50-8.95	99.11	98.72	97.10	83.20	23.55	43	19	24	6	CI	28.85													
Γ1	15	8.95-11.00	99.53	98.52	97.93	79.74	10.47	37	20	17		CI	26.02	2.13	1.69	2.65	0.57	121.43			0.142	2.46	6079	180-360	77.0	11.27
Γ1	16	11.00-11.45	99.90	96.09	76.95	50.51	0.87	28	18	10	9	ML-SM														
Γ1	17	11.45-12.70	99.67	97.61	92.68	71.71	5.42	28	16	12		ML-CL							0.0	31.9	0.111	3.99	7243	180-360		
Γ1	17_2	12.70-13.50	97.00	90.30	71.87	47.21	1.90					SM-ML														
Γ1	18	13.50-13.95	65.06	53.03	37.55	19.63					10	SM														
Γ1	19	13.95-14.50	68.23	56.14	38.26	23.19						SM														
Γ1	20	14.50-14.95	90.29	72.81	42.72	11.06					24	SP														

Εικόνα 21. Αποτελέσματα εργαστηριακού προγράμματος γεώτρησης Γ1

ΧΑΤΖΗΓΩΓΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ. MSc ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΓΕΩΛΟΓΟΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ.
ΚΑΣΟΜΟΥΛΗ 1, 54655, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ. ΑΦΜ: 121921825, Ζ' ΔΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ. Τηλ. 6947180690

ΕΡΓΟ: "Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη".

ΕΔΑΦΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ										ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ						ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ								
ΤΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ					ΟΡΙΑ ATTERBERG			N_{30SPT}	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑ A.U.S.C.S.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	ΒΑΘΜΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ	ΔΟΚΙΜΗ ΒΡΑΔΕΙΑΣ ΑΜΕΣ. ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΜΕ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΕΗ		ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ				ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΕΜΙΣΟΔΕΤΗΣ ΘΛΙΨΗΣ	
																					ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΟ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΑΣΕΩΝ		
			4	10	40	200	<2μ	ΟΡΙΟ ΥΛΑΡΟΤΗΤΑΣ	ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ			m	γ	γ_d	γ_s	e_o	S	c'	φ'	C_c	$C_v x10^{-4}$	E_s	p	σ_u	ε_u
			διερχόμενο %					LL	PL	PI			%	t/m^3	t/m^3			%	kPa	(°)		cm^2/sec	kPa	kPa	kPa	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Γ2	1	0.00-0.60																								
Γ2	2	0.60-2.00																								
Γ2	3	2.00-2.45	95.18	88.86	75.47	39.79					10	SC	17.56	2.04	1.74	2.65	0.53	88.28								
Γ2	4	2.45-3.00	53.96	46.59	36.58	21.08						GM	11.85	2.07	1.85	2.65	0.43	72.71								
Γ2	5	3.00-4.00	82.23	72.63	51.77	18.67						SM	14.33	2.12	1.85	2.65	0.43	88.49	0.0	30.5						
Γ2	6	4.00-4.45									3		26.80	2.03	1.60	2.65	0.66	108.38								
Γ2	7	4.45-5.00	99.94	99.72	98.31	85.28	13.50	35	18	17		CL	30.76	2.17	1.66	2.65	0.60	136.58								
Γ2	8	5.00-5.50	100.00	100.00	99.82	94.74	9.39	34	21	13		CL	24.21	2.01	1.62	2.65	0.64	100.62							64.8	5.32
Γ2	9	5.50-6.00											27.69	1.96	1.53	2.65	0.73	101.01							99.2	12.81
Γ2	10	6.00-6.45									6		20.55	2.06	1.71	2.65	0.55	98.88							111.8	7.41
Γ2	11	6.45-7.00	100.00	100.00	99.68	85.66	18.25	40	19	21		CI	37.51	2.09	1.52	2.65	0.74	133.69			0.115	1.76	3978	90-180	162.4	9.61
Γ2	12	7.00-8.20	99.58	99.19	96.73	87.60	19.38	43	21	22		CI	29.66	2.08	1.60	2.65	0.65	120.57							72.4	7.67
Γ2	13	8.20-8.50	100.00	100.00	99.18	89.12	21.59	44	21	23		CI	28.04	1.96	1.53	2.65	0.73	101.63							113.2	9.12
Γ2	14	8.50-8.95									6		24.44	1.97	1.58	2.65	0.67	96.10							233.0	11.62
Γ2	15	8.95-9.20											24.59	2.08	1.67	2.65	0.59	110.95							69.6	6.21
Γ2	16	9.20-10.30	100.00	100.00	98.26	82.09	19.33	39	18	21		CI	21.92	2.06	1.69	2.65	0.57	102.20			0.149	1.50	5975	180-360	141.4	16.53
Γ2	17	10.30-10.75									9		25.92	2.01	1.60	2.65	0.66	104.05								
Γ2	18	10.75-11.30	100.00	100.00	99.10	88.36	26.61	44	18	26		CI	27.46	2.06	1.62	2.65	0.64	113.76								
Γ2	19	11.30-12.50	100.00	100.00	99.36	92.82	13.47	37	20	17		CI	27.81	2.14	1.67	2.65	0.58	126.46								
Γ2	20	12.50-12.95									5		17.63	2.21	1.88	2.65	0.41	113.81								
Γ2	21	12.95-13.30	100.00	99.40	94.22	67.50	8.20	30	17	13		CL	23.66	2.30	1.86	2.65	0.42	147.60								
Γ2	22	13.30-14.50	99.92	98.91	94.84	64.32	6.15	25	16	9		CL-ML	19.76	2.28	1.90	2.65	0.39	133.60	0.0	29.3						
Γ2	23	14.50-14.95									16															

Εικόνα 22. Αποτελέσματα εργαστηριακού προγράμματος γεώτρησης Γ2

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Για την εκτέλεση των ερευνητικών εργασιών υπαίθρου και εργαστηρίου εφαρμόστηκαν οι παρακάτω εγκεκριμένες Τεχνικές Προδιαγραφές:

- Τεχνικές Προδιαγραφές δειγματοληπτικών γεωτρήσεων ξηράς Ε101-83 (ΦΕΚ 363/24.6.83 τεύχος Β).
- Τεχνικές Προδιαγραφές επιτόπου δοκιμών εδαφομηχανικής Ε106-86 (ΦΕΚ 955/31.12.86 τεύχος Β).
- Τεχνικές Προδιαγραφές εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής Ε105/84 (ΦΕΚ 955/31.12.86 τεύχος Β).
- Τα προβλεπόμενα στο άρθρο ΓΤΕ.3 του Κανονισμού Προεκτιμώμενων Αμοιβών Μελετών και Υπηρεσιών, σύμφωνα με τον Ν. 3316/2005, που αναφέρεται στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων τις γεωτεχνικής διερεύνησης.
- Τις Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ), Έκδοση 11: Γεωλογικές και Γεωτεχνικές Έρευνες και Σχέδια, Κεφάλαιο 3, Άρθρα 2,3 και 4.
- BS 5930: 1999 «Κώδικας πρακτικής για έρευνες εδαφών»
- ASTM D2487 – 00 USC «Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών».

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ- ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

4.1 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

Η στρωματογραφία του υπεδάφους προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας τα δείγματα των δύο γεωτρήσεων που λήφθηκαν επιτόπου. Το έδαφος στην περιοχή μελέτης αποτελείται, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των αναλύσεων, από στρώματα αμμώδους αργιλοϊλύος και ιλυώδους άμμου, μέσης πλαστικότητας και μέσης συνεκτικότητας. Το υλικό σταδιακά μεταπίπτει σε αμμώδες. Η κλίση των στρωμάτων είναι οριζόντια – υποοριζόντια και η στάθμη των υπόγειων υδάτων βρέθηκε στα 3.1m.

Αναλυτικότερα, στην γεώτρηση Γ1 βρέθηκαν τα παρακάτω στρώματα:

Στρώμα F1: 0,00-0,80: Τεχνητές επιχώσεις από υγρή, σκούρη καστανή αμμόφιλοί με συγκρίματα, μπάζα, κεραμικά και υλικά κατεδάφισης (κατάταξη κατά USCS: ML).

Στρώμα C1: 0,80-3,00: Υγρή, καστανέρυθρη αμμώδης Αργιλοϊλύς, στιφρή, χαμηλής πλαστικότητας με συγκρίματα και ίχνη οργανικών (κατάταξη κατά USCS: CL).

Στρώμα C2: 3,00-4,70: Πολύ υγρή, μαλακή έως υδαρή, καστανοκίτρινη αμμώδης Αργιλοϊλύς έως ιλυώδης Άμμος, χαμηλής πλαστικότητας με συγκρίματα και ίχνη οργανικών (κατάταξη κατά USCS: ML-SM).

Εικόνα 23. Στρώμα C2 από γεώτρηση Γ1

Στρώμα C3: 4,70- 8,00: Υγρή, καστανέρυθρη Αργιλοϊλύς, με ίχνη οργανικών, μέσης έως υψηλής πλαστικότητας και μέσης συνεκτικότητας, με ορίζοντες πλαστικής, συνεκτικής, τεφροπράσινης αργιλοϊλύος (κατάταξη κατά USCS: CI).

Στρώμα C4: 8,00-11,00: Υγρή, καστανή αμμώδης Αργιλοϊλύς, μέση, μέσης πλαστικότητας (κατάταξη κατά USCS: CI).

Στρώμα S1: 11,00-14,50: Υγρός ορίζοντας χαλαρής καστανοκίτρινης ιλυώδους Άμμου έως Αμμοϊλύος (κατάταξη κατά USCS: SM-ML).

Στρώμα S2: 14,50-15,00: Υγρή, καστανοκίτρινη μη διαβαθμισμένη Άμμος μέσης πυκνότητας και ελαφράς συγκόλλησης (κατάταξη κατά USCS: SP).

Εικόνα 24. Στρώμα S1 από γεώτρηση Γ1

Παράλληλα, στη γεώτρηση Γ2 βρέθηκαν αναλυτικά:

Στρώμα F1: 0,00-0,60: Τεχνητές επιχώσεις από υγρή, σκούρη καστανή αμμοϊλύ με συγκρίματα, μπάζα, κεραμικά και υλικά κατεδάφισης (κατάταξη κατά USCS: ML).

Στρώμα F2: 0,60-3,10: Ιστορικές επιχώσεις αποτελούμενες από συγκρίματα χαλικιών και άμμου με αργιλικό συνδετικό υλικό καστανού χρώματος, χαλαρής έως μέσης πυκνότητας (κατάταξη κατά USCS: GM-SC).

Στρώμα C2: 3,10-5,50: Πολύ υγρή, μαλακή έως υδαρή, καστανοκίτρινη αμμώδης Αργιλοϊλύς έως ιλυώδης Άμμος, χαμηλής πλαστικότητας με συγκρίματα και ίχνη οργανικών (κατάταξη κατά USCS: CL-SM).

Εικόνα 25. Στρώμα C2 από γεώτρηση Γ2.

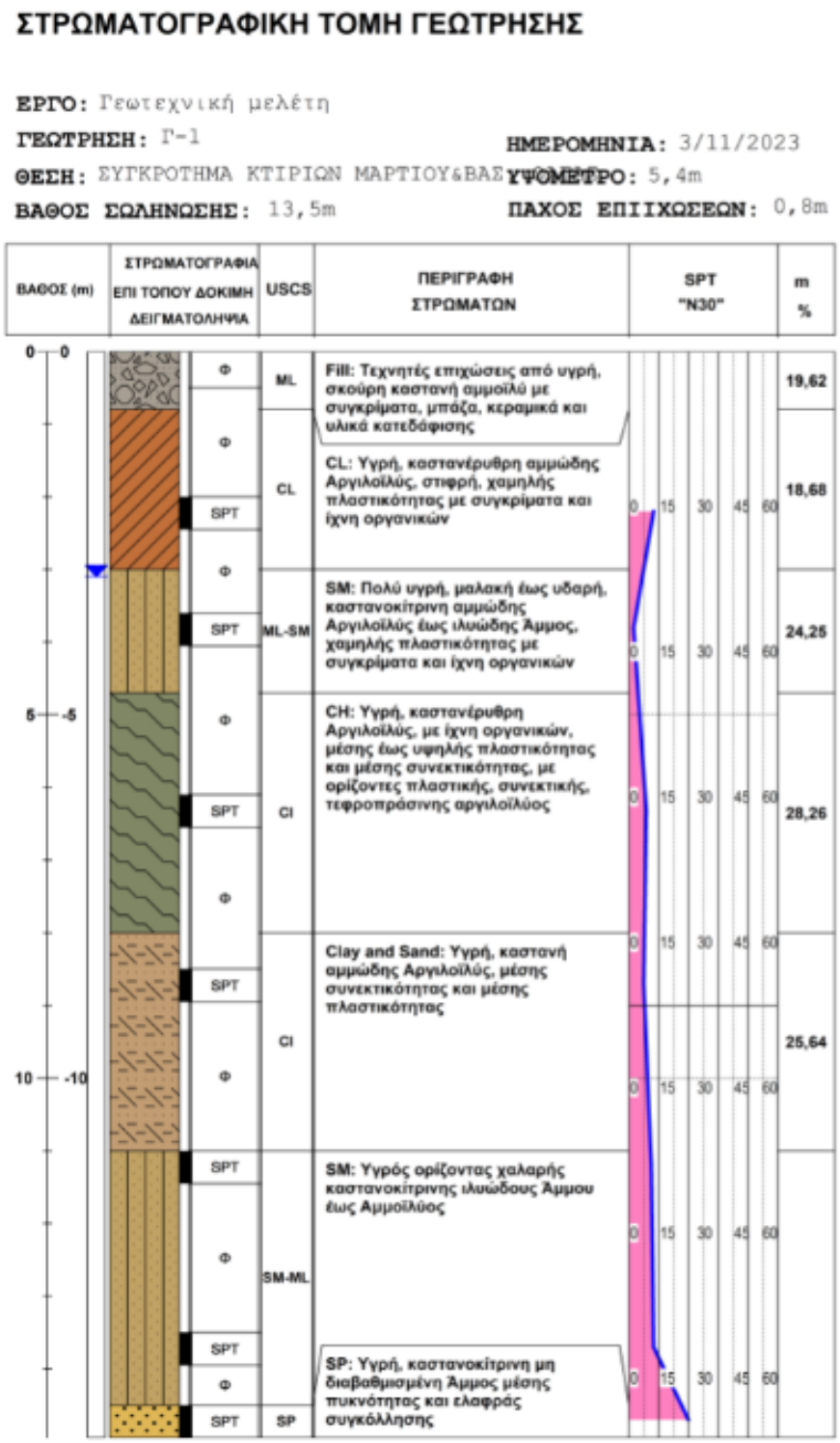
Στρώμα C3: 5,50- 8,90: Υγρή, καστανέρυθρη Αργιλοϊλύς, με ίχνη οργανικών, μέσης πλαστικότητας και μέσης συνεκτικότητας, με ορίζοντες πλαστικής, συνεκτικής, τεφροπράσινης αργιλοϊλύος (κατάταξη κατά USCS: CI).

Στρώμα C4: 8,90-11,30: Υγρή, καστανή αμμώδης Αργιλοϊλύς, στιφρή, μέσης πλαστικότητας (κατάταξη κατά USCS: CI).

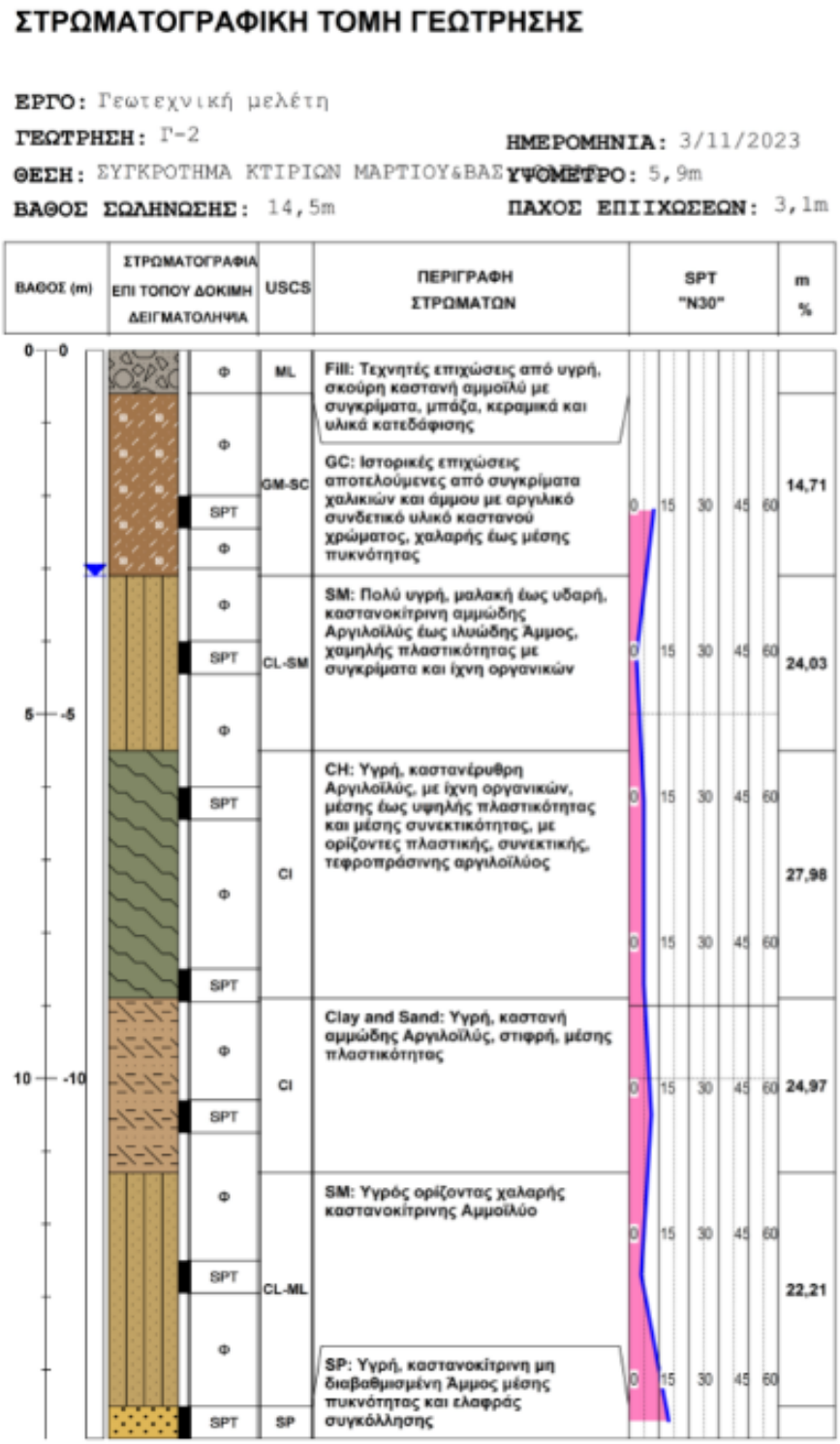
Στρώμα S1: 11,30-14,50: Υγρός ορίζοντας χαλαρής καστανοκίτρινης Αμμοϊλύος (κατάταξη κατά USCS: CL-ML).

Εικόνα 26. Στρώμα S1 από γεώτρηση Γ2

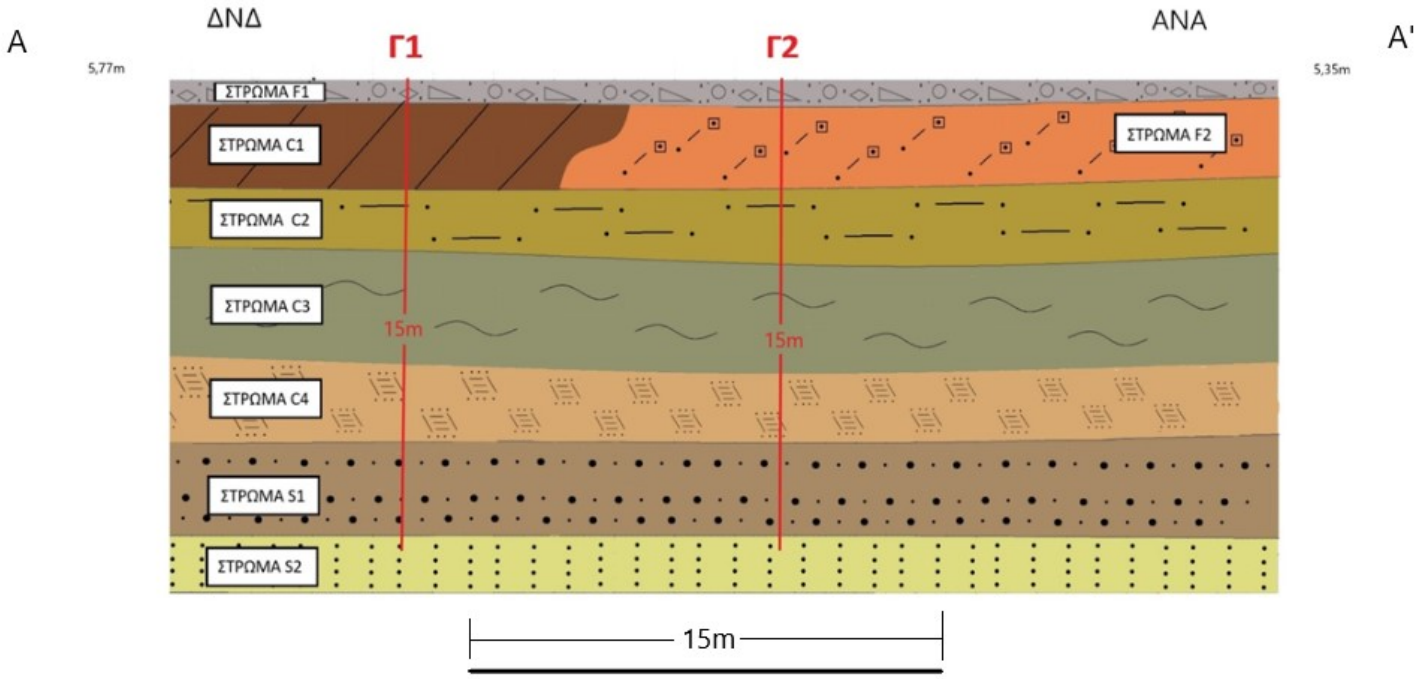
Στρώμα S2: 14,50-15,00: Υγρή, καστανοκίτρινη μη διαβαθμισμένη Άμμος μέσης πυκνότητας και ελαφράς συγκόλλησης (κατάταξη κατά USCS: SP).



Εικόνα 27. Στρωματογραφική τομή από γεώτρηση Γ1 (από τον μελετητή)



Εικόνα 28. Στρωματογραφική τομή από γεώτρηση Γ2 (από τον μελετητή)



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

F1: 0.00-0.80: Τεχνητές επιχώσεις από υγρή, σκούρη καστανή αμμοϊλύ με συγκρίματα, μπάζα, κεραμικά και υλικά κατεδάφισης (κατάταξη κατά USCS: ML).

C1: 0.80-3.00: Υγρή, καστανέρυθρη αμμώδης Αργιλοϊλύς, στιφρή, χαμηλής πλαστικότητας με συγκρίματα και ίχνη οργανικών (κατάταξη κατά USCS: CL).

F2: 0.60-3.10: Ιστορικές επιχώσεις αποτελούμενες από συγκρίματα χαλικιών και άμμου με αργιλικό συνδετικό υλικό καστανού χρώματος, χαλαρής έως μέσης πυκνότητας (κατάταξη κατά USCS: GM-SC).

C2: 3.10-5.50: Πολύ υγρή, μαλακή έως υδαρή, καστανοκίτρινη αμμώδης Αργιλοϊλύς έως ιλυώδης Άμμος, χαμηλής πλαστικότητας με συγκρίματα και ίχνη οργανικών (κατάταξη κατά USCS: CL-SM).

C3: 5.50- 8.90: Υγρή, καστανέρυθρη Αργιλοϊλύς, με ίχνη οργανικών, μέσης πλαστικότητας και μέσης συνεκτικότητας, με ορίζοντες πλαστικής, συνεκτικής, τεφροπράσινης αργιλοϊλύος (κατάταξη κατά USCS: CI).

C4: 8.90-11.30: Υγρή, καστανή αμμώδης Αργιλοϊλύς, στιφρή, μέσης πλαστικότητας (κατάταξη κατά USCS: CI).

S1: 11.30-14.50: Υγρός ορίζοντας χαλαρής καστανοκίτρινης Αμμοϊλύος (κατάταξη κατά USCS: CL-ML).

S2: 14.50-15.00: Υγρή, καστανοκίτρινη μη διαβαθμισμένη Άμμος μέσης πυκνότητας και ελαφράς συγκόλλησης (κατάταξη κατά USCS: SP).

Εικόνα 29. Γεωτεχνική τομή σχεδιασμού Α-Α', παράλληλη στο τμήμα Γ1-Γ2.

4.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΕΩΥΛΙΚΩΝ-ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΩΜΟΙΩΜΑ

Μετά το πέρας των επί τόπου δοκιμών κατά τη διάρκεια της γεώτρησης και την λήψη των μετρήσεων των δοκιμών SPT, προσδιορίζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των επιμέρους στρωμάτων από τα δείγματα που λήφθηκαν στο πεδίο χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις.

Πιο συγκεκριμένα, προσδιορίζονται:

- Αστράγγιστη διατμητική αντοχή C_u

C_u=0,6N t/m^2 (Terzaghi & Peck 1996)

και

C_u= 2,1 N_{60} + 17.6

ή

C_u = 2 N_{60} – 0,4 m – 1,1 LL + 2,4 PI + 33,3

Όταν PI≤20 (Nassaji & Kalantari 2011)

- Ενεργή γωνία τριβής φ’

φ'=0,3N+27°

ή

SPT (30-50) → φ=40°-45° (Peck 1953)

- Μέτρο παραμορφωσιμότητας E_s

E_s=300(N+6) kPa (Bowles 1982)

Όπου:

1Kp/cm^2 = 0,098 N/mm^2, 1 Kp (Kilopond) = 9,8 N (Newton), 1 N/mm^2 = 10,2 Kp/cm^2 για όλες τις μηχανικές ιδιότητες.

Όπως και:

Es=5(N+15) Kp/cm^2 (Webb,1969) για άμμους

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές των μηχανικών και φυσικών παραμέτρων του κάθε στρώματος, όπως προέκυψαν από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών.

Οι τιμές σχεδιασμού των παραμέτρων των εδαφικών στρώσεων προκύπτουν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών στα δείγματα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.

ΣΤΡΩΜΑ	ΠΑΧΟΣ (m)	m (%)	γ (kN/m^3)	γd (kN/m^3)	e	S (%)	LL (%)	PI (%)	USCS
F1	0,7	19,62	20,99	17,55	0,48	108,03	28	1	ML
F2	2,5	14,7	20,15	17,60	0,48	80,49	-	-	GC
C1	2,2	18,68	20,69	17,46	0,486	101,12	35	21,5	CL
C2	2,5	24,13	20,60	16,62	0,566	112,42	34,25	17	SM
C3	3,3	28,12	19,86	15,5	0,673	110,12	44,29	23,25	CI
C4	2,7	25,3	20,65	16,60	0,57	114,87	39,55	20,75	CI
S1	3,1	22,21	21,87	17,92	0,45	130,37	30,6	13	ML
S2	0,5	-	-	-	-	-	-	-	SP

Πίνακας 5. Εργαστηριακά αποτελέσματα φυσικών ιδιοτήτων στρωμάτων

ΣΤΡΩΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	γ (kN/m³)	N_{SPT}	Cu_{oed} (kPa)	Cu_{SPT} (kPa)	Es_{oed} (mPa)	Es_{SPT} (mPa)	c' (kPa)	φ' (°)	φ'$_{SPT}$ (°)
F1	0-0,8	20,99	-	-	-	-	-	-	-	-
C1	0,8-3	20,69	10	128,87	58,83	2,68	4,8	-	-	30
C2	3-4,7	20,79	2	50,7	11,76	-	2,4	0	32,6	27,6
C3	4,7-8	19,99	7	62,2	41,18	3,73	3,9	-	-	29,1
C4	8-11	21,18	6	42,47	35,30	6,07	3,6	-	-	28,8
S1	11-14,5	-	9	-	52,95	7,24	4,5	0	31,9	29,7
S2	14,5-15	-	24	-	141,21	-	9	-	-	34,2

Πίνακας 6. Εργαστηριακά και επί τόπου αποτελέσματα μηχανικών ιδιοτήτων στρωμάτων γεώτρησης Γ1

ΣΤΡΩΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	γ (kN/m³)	N_{SPT}	Cu_{oed} (kPa)	Cu_{SPT} (kPa)	Es_{oed} (mPa)	Es_{SPT} (mPa)	c' (kPa)	φ' (°)	φ'$_{SPT}$ (°)
F1	0-0,6	20,99	-	-	-	-		-	-	-
F2	0,6-3,1	20,15	10	-	58,83	-	4,8	-	-	30
C2	3,1-5,5	20,40	3	32,4	17,65	-	2,7	0	30,5	27,9
C3	5,5-8,95	19,81	6	56,25	35,30	3,97	3,6	-	-	28,8
C4	8,95-11,3	20,11	9	52,75	52,95	5,97	4,5	-	-	29,7
S1	11,3-14,5	21,87	5	-	29,41	-	3,3	0	29,3	28,5
S2	14,5-15	-	16	-	94,14	-	6,6	-	-	31,8

Πίνακας 7. Εργαστηριακά και επί τόπου αποτελέσματα μηχανικών ιδιοτήτων στρωμάτων γεώτρησης Γ2

Οι τιμές των διαφόρων χαρακτηριστικών κατάταξης και φυσικής κατάστασης των διαχωριζόμενων στρωμάτων, προκύπτουν γενικά ως οι μέσοι όροι των τιμών των αντιστοίχων εργαστηριακών δοκιμών

Σε τελική φάση, λαμβάνονται για τα πιο συντηρητικά σενάρια, οι μικρότερες τιμές των μηχανικών παραμέτρων που προκύπτουν για κάθε στρώμα, από τη σύγκριση των εργαστηριακών και επί τόπου αποτελεσμάτων των δοκιμών των δειγμάτων από τις δύο γεωτρήσεις.

ΣΤΡΩΜΑ	γ (kN/m³)	Es (mPa)	c' (kPa)	φ' (°)	Cu (kPa)
F1	20,99	0	0	0	0
F2	20,15	4,8	0	30	58,83
C1	20,69	2,68	0	30	58,83
C2	20,60	2,4	0	27,6	11,76
C3	19,86	3,6	0	28,8	35,3
C4	20,65	3,6	0	28,8	35,3
S1	21,87	3,3	0	28,5	29,41
S2	0	6,6	0	31,8	94,14

Πίνακας 8. Τελική αξιολόγηση γεωτεχνικών παραμέτρων

Γεωτεχνικό προφίλ σχεδιασμού

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τελικώς οι γεωτεχνικές παράμετροι σχεδιασμού του υπεδάφους στη θέση μελέτης, στους οποίους θα βασιστεί η γεωτεχνική τομή Α-Α'. Περιέχουν τις μηχανικές παραμέτρους του εδάφους όπως προκύπτουν από την αξιολόγηση του ερευνητικού προγράμματος, και αποτελούν σε συνδυασμό με τις στρωματογραφικές τομές (Εικόνες 27, 28) το γεωτεχνικό προσομοίωμα, στο οποίο βασίζονται οι υπολογισμοί της ευστάθειας των πρανών εκσκαφής.

ΣΤΡΩΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	γ (kN/m³)	Es (mPa)	Cu (kPa)
F1	0-0,8	20,99	0	0
C1	0,8-3	20,69	2,68	58,83
C2	3-4,7	20,60	2,4	11,76
C3	4,7-8	19,86	3,6	35,3
C4	8-11	20,65	3,6	35,3
S1	11-14,5	21,87	3,3	29,41
S2	14,5-15	0	6,6	94,14

Πίνακας 9. Εδαφική τομή γεώτρησης στη θέση Γ1

ΣΤΡΩΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	γ (kN/m³)	Es (mPa)	Cu (kPa)
F1	0-0,6	20,99	0	0
F2	0,6-3,1	20,15	4,8	58,83
C2	3,1-5,5	20,60	2,4	11,76
C3	5,5-8,95	19,86	3,6	35,3
C4	8,95-11,3	20,65	3,6	35,3
S1	11,3-14,5	21,87	3,3	29,41
S2	14,5-15	0	6,6	94,14

Πίνακας 10. Εδαφική τομή γεώτρησης θέση Γ2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

5.1 ΒΑΘΙΕΣ ΕΚΣΚΑΦΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ

Γενικά, βαθιά θεωρείται κάθε εκσκαφή που ξεπερνά τα 4.50-5.00 m. Όπου η ύπαρξη ανυποστήρικτης εκσκαφής είναι αδύνατη, είτε λόγω διαθέσιμου χώρου, είτε λόγω παραμέτρων εδάφους, είτε λόγω παρουσίας γειτονικών κατασκευών ευαίσθητων στην ανάπτυξη παραμορφώσεων, είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός της κατάλληλης διάταξης αντιστήριξης πρανών.

Απαραίτητη προϋπόθεση ασφαλούς και ορθολογικού σχεδιασμού αποτελεί η γνώση των γεωτεχνικών συνθηκών της περιοχής που περιβάλει την εκσκαφή, δηλαδή των φυσικών ιδιοτήτων, παραμέτρων διατμητικής αντοχής και συμπιεστότητας του εδάφους (γ, c, φ, E). Αυτό επιτυγχάνεται, όπως αναφέρθηκε, με την εκπόνηση της Γεωτεχνικής Έρευνας-Μελέτης στην περιοχή ενδιαφέροντος. Βασικό κριτήριο επιλογής της κατάλληλης διάταξης αντιστήριξης αποτελούν πέρα από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους και την παρουσία υπόγειων υδάτων, η χρονική έκθεση του ορύγματος καθώς και ο έλεγχος των παραμορφώσεων των όμορων κατασκευών. Απαιτείται επιμελής επίβλεψη των εργασιών και ενόργανη παρακολούθηση της εκσκαφής, με στόχο την ασφάλεια του έργου.

Οι αντιστηρίξεις με κριτήριο τη χρονική τους διάρκεια χαρακτηρίζονται ως Προσωρινές και Μόνιμες (Λάμαρης, 2011).

Προσωρινή Αντιστήριξη καλείται η αντιστήριξη με διάρκεια ζωής έως δύο (2) έτη. Πρόκειται για τις συνήθεις αντιστηρίξεις που συναντώνται στα αστικά περιβάλλοντα για την κατασκευή υπόγειων χώρων στάθμευσης, βάθρων γεφυρών, ανοικτών ορυγμάτων για τη διέλευση αγωγών, μετρό κτλ. Μετά την πάροδο των δύο ετών οι ωθήσεις γαιών αναλαμβάνονται είτε από τον φέροντα οργανισμό της κατασκευής, είτε στην περίπτωση των ανοικτών ορυγμάτων, από υλικά επίχωσης.

Μόνιμη Αντιστήριξη καλείται η κατασκευή της οποίας η διάρκεια ζωής ξεπερνά σαφώς τα δύο έτη, ιδανικά ξεπερνά και το χρόνο ζωής του τεχνικού έργου. Μόνιμες αντιστηρίξεις εφαρμόζονται σε μόνιμα πρανή οδοποιίας, κατολισθήσεις, κατασκευές Εκσκαφής-Επανεπίχωσης (cut&cover), σε λιμενικά έργα και σε περιπτώσεις όπου δεν είναι επιθυμητή η παραλαβή εδαφικών στατικών και σεισμικών ωθήσεων από τον φέροντα οργανισμό του νέου κτιρίου.

Οι αντιστηρίξεις με κριτήριο τη σύσταση του εδάφους και την παρουσία (ή μη) υπόγειων υδάτων χαρακτηρίζονται ως Μη στεγανές και Στεγανές.

Μη στεγανές καλούνται οι αντιστηρίξεις οι οποίες δεν αποτελούν φράγμα για το νερό και επιτρέπουν τη ροή εντός της εκσκαφής. Συνηθέστερος τύπος είναι ο **τοίχος Βερολίνου** (Berliner Wall) που αποτελείται από κατακόρυφους πασσάλους (soldier-piles), η εγκατάσταση των οποίων πραγματοποιείται προ της εκσκαφής με τη διάνοιξη οπών κατάλληλης διαμέτρου κατά μήκος των υπό αντιστήριξη πλευρών. Οι οπές γίνονται σε καθορισμένες οριζόντιες αποστάσεις ΔL ώστε να είναι εφικτή η θολωτή λειτουργία του εδάφους και η εδαφική ώθηση να μεταφέρεται πρακτικά στους πασσάλους. Οι πάσσαλοι μπορεί να είναι σύνθετες διατομές τύπου 2UPN180-2UPN32, όταν ο χώρος είναι περιορισμένος μικροπάσσαλοι HEB140-HEB180, ή όταν ο χώρος δεν αποτελεί πρόβλημα φρεατοπάσσαλοι συνήθως Φ800mm. Η ευστάθεια κάθε πασσάλου εξασφαλίζεται αφ' ενός με κατάλληλο μήκος πάκτωσης d, κάτω από την τελική στάθμη εκσκαφής H, (Συνολικό μήκος πασσάλου =H+d) αφ' ετέρου με την εγκατάσταση μίας ή περισσότερων σειρών αγκυρίων (tie-back) σε επιλεγμένα βάθη από την επιφάνεια του εδάφους. Τα εδαφικά ανοίγματα μεταξύ των πασσάλων σταθεροποιούνται είτε με εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Gunite), είτε με την κατασκευή σανιδότοιχου Ο τοίχος Βερολίνου εφαρμόζεται σε συνεκτικούς εδαφικούς ή ημιβραχώδεις σχηματισμούς μέτριας ως ικανοποιητικής αντοχής χωρίς σημαντική υδροφορία. Στην Ελλάδα η μέθοδος αυτή έχει εφαρμοστεί για βάθη εκσκαφής ως και 35 m.

Εικόνα 30. «Τοίχος Βερολίνου» με σανίδες και αντηρίδες σε εφαρμογή

Στεγανές αντιστηρίξεις καλούνται αυτές που χρησιμοποιούνται σε παραποτάμιες, παραλίμνιες ή παραθαλάσσιες περιοχές, στις οποίες ο συνδυασμός μαλακών εδαφικών σχηματισμών και υψηλού υδροφόρου ορίζοντα καθιστούν ακόμα και εκσκαφές μικρού βάθους δύσκολες. Τα προβλήματα που προκύπτουν αφορούν στην ανάπτυξη σημαντικών παραμορφώσεων πέριξ του σκάμματος λόγω εδαφορροής, αλλά και στη διαχείριση των υδάτων εντός της εκσκαφής. Επιγραμματικά αναφέρονται ως συνηθέστερες μέθοδοι στεγανών αντιστηρίξεων οι αλληλοτεμνόμενοι πάσσαλοι, οι διαφραγματικοί τοίχοι με υδραυλική ή μηχανική αρπάγη και σε σκληρό έδαφος ή βράχο, τα διαφράγματα με τη χρήση φρέζας.

Για εκσκαφές μεγαλύτερες των 6,00-7,00m και σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση όπου ο έλεγχος των παραμορφώσεων είναι κρίσιμος, ο συνηθέστερος τρόπος ελέγχου των παραμορφώσεων είναι η χρήση μίας ή πολλαπλών σειρών προεντεταμένων αγκυρίων. Τα προεντεταμένα αγκύρια, προσωρινά ή μόνιμα, αποτελούν το κρισιμότερο κομμάτι της κατασκευής. Δεν θα αποτελούσε υπερβολή να ειπωθεί ότι στην πλειοψηφία των περιστατικών κατάρρευσης σε διάταξη αντιστήριξης αυτή αποδόθηκε σε πλημμελή σχεδιασμό ή κατασκευή των αγκυρίων. Οι στάθμες κατασκευής των αγκυρίων καθορίζονται με βάση το βάθος θεμελίωσης των παρακείμενων κτιρίων, το βάθος έδρασης των αγωγών ύδρευσης και αποχέτευσης και την απλοποίηση των φάσεων της εκσκαφής. Η συνήθης κλίση είναι 10° -15° από την οριζόντιο.

Η ενόργανη παρακολούθηση (monitoring) κρίνεται απαραίτητη σε εκσκαφές σημαντικού βάθους (συνήθως μεγαλύτερου 8,00-10,00m), διότι παρέχει την δυνατότητα προσαρμογής – τροποποίησης της μελέτης για τυχόν νέα δεδομένα της εκσκαφής. Συνήθως χρησιμοποιούνται κλισίμετρα υψηλής ακρίβειας (Tilt meters) σε επιλεγμένες θέσεις στους φέροντες οργανισμούς κάθε όμορης οικοδομής. Ακόμα, εγκαθίστανται αποκλισιομετρικοί σωλήνες σε κατάλληλες θέσεις της αντιστήριξης ενώ προτείνεται και η τοποθέτηση στόχων (ανακλαστήρων 3D optical) στα κτίρια και τοπογραφικών καρφιών στους δρόμους ώστε με όργανο υψηλής ακρίβειας (laser) να ελέγχονται οι παραμορφώσεις. Επιπρόσθετα, σε μόνιμες αντιστηρίξεις ή προσωρινές αντιστηρίξεις μεγάλου βάθους ή μεγάλης διάρκειας, εγκαθίστανται στα αγκύρια κυψέλες μέτρησης φορτίου.

Επισημαίνεται ακόμα ότι για την αποφυγή προβλημάτων λόγω πιθανών διαφοροποιήσεων των εδαφικών ιδιοτήτων κατά τις διάφορες περιοχές εργασίας απαιτείται η συνεχής και επιμελής επίβλεψη των εργασιών ώστε να επαληθεύεται η εικόνα που σχηματίστηκε στη γεωτεχνική έρευνα ή να τροποποιείται αναλόγως με τη λήψη απαραίτητων μέτρων.

5.2 ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΕΚΣΚΑΦΩΝ

Στο συγκεκριμένο έργο, οι θεμελιώσεις των δύο οικοδομών θα πραγματοποιηθούν σε μία ενιαία ορθογωνική εκσκαφή από τέσσερα (4) προσωρινά πρανή, τα ύψη (βάθη) των οποίων, εξαρτώνται από την ύπαρξη ή όχι όμορης οικοδομής θεμελιωμένης σε κάποιο βάθος.

Αναλυτικότερα, το ύψος των πρανών για την ανάλυση οριακής ισορροπίας ορίστηκε ως η κατακόρυφη απόσταση του επιπέδου θεμελίωσης του σχεδιαζόμενου κτηρίου από την επιφάνεια εφαρμογής των όμορων φορτίων (οικοδομών, δρόμων).

Στην συγκεκριμένη περίπτωση, το βάθος θεμελίωσης των γειτονικών οικοδομών του βορειοανατολικού (1) και νοτιοανατολικού (2) πρανούς θεωρήθηκε ότι βρίσκεται σε βάθος 3,5m από την επιφάνεια του δρόμου.

Εικόνα 31. Αρίθμηση των μελλοντικών πρανών και των όμορων οικοδομών

Συνεπώς, το βορειοανατολικό (1) και νοτιοανατολικό (2) πρανές έχουν ύψος 3,5m από την ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους έως τη στάθμη θεμελίωσης των γειτονικών κτηρίων ενώ το νοτιοδυτικό (3) και βορειοδυτικό (4), 7 m αφού δεν υπάρχει κάποια θεμελίωση σε βάθος.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί η ιδιαίτερη κατανομή των τάσεων κατά μήκος του νοτιοανατολικού πρανούς. Το νοτιοανατολικό πρανές (2) έχει μήκος 45,26m και στην στέψη του βρίσκονται θεμελιωμένα 3 κτίσματα. Το πρώτο κτίσμα από τα δυτικά αποτελεί οικοδομή 7 ορόφων, βρίσκεται στην στέψη του μελλοντικού πρανούς και καταλαμβάνει τα πρώτα 11m κατά μήκος του. Η συνολική τάση υπολογίστηκε ως 140 kN/m^2 που αντιστοιχεί σε 20 kN/m^2 ανά όροφο, όπως θεωρήθηκε και από τον αρμόδιο μελετητή στην μελέτη για το συγκεκριμένο έργο.

Σε απόσταση 7,5m από την οικοδομή (1) του νοτιοανατολικού πρανούς και 7m από την στέψη του βρίσκεται διώροφο κτίσμα (2) πλάτους 12,5m. Ομοίως, κάθε όροφος αντιστοιχεί σε 20 kN/m^2, με συνολική τάση 40 kN/m^2.

Σε απόσταση 5m από το διώροφο κτίσμα (2) του νοτιοανατολικού πρανούς, μέχρι το ανατολικό του όριο και κατά μήκος της στέψης του, βρίσκεται εξαώροφη οικοδομή, πλάτους 10m, η οποία ασκεί κατακόρυφη τάση στο θεμέλιο 120 kN/m^2.

Επιπρόσθετα, κατά μήκος του βορειοανατολικού (1) πρανούς βρίσκεται εξαώροφη οικοδομή πλάτους 15,3m, ασκώντας στο έδαφος κατακόρυφη τάση 120 kN/m^2.

Το νοτιοδυτικό (3) και βορειοδυτικό (4) πρανές, συνορεύουν με τις οδούς Λεωφ. Βασιλίσσης Όλγας και 25^{ης} Μαρτίου αντίστοιχα, στις οποίες θεωρήθηκε συντηρητικά ότι ασκείται κατακόρυφη τάση P=30kN/m^2 σε απόσταση 4,5m και 1,5m από τη στέψη του πρανούς.

Στις παρακάτω εικόνες εμφανίζονται οι αντιπροσωπευτικές διατομές των πρανών εκσκαφής, ενώ στους πίνακες 11 και 12 είναι συγκεντρωμένα τα χαρακτηριστικά του κάθε ορύγματος και τα αποτελέσματα των αναλύσεων οριακής ισορροπίας αντίστοιχα

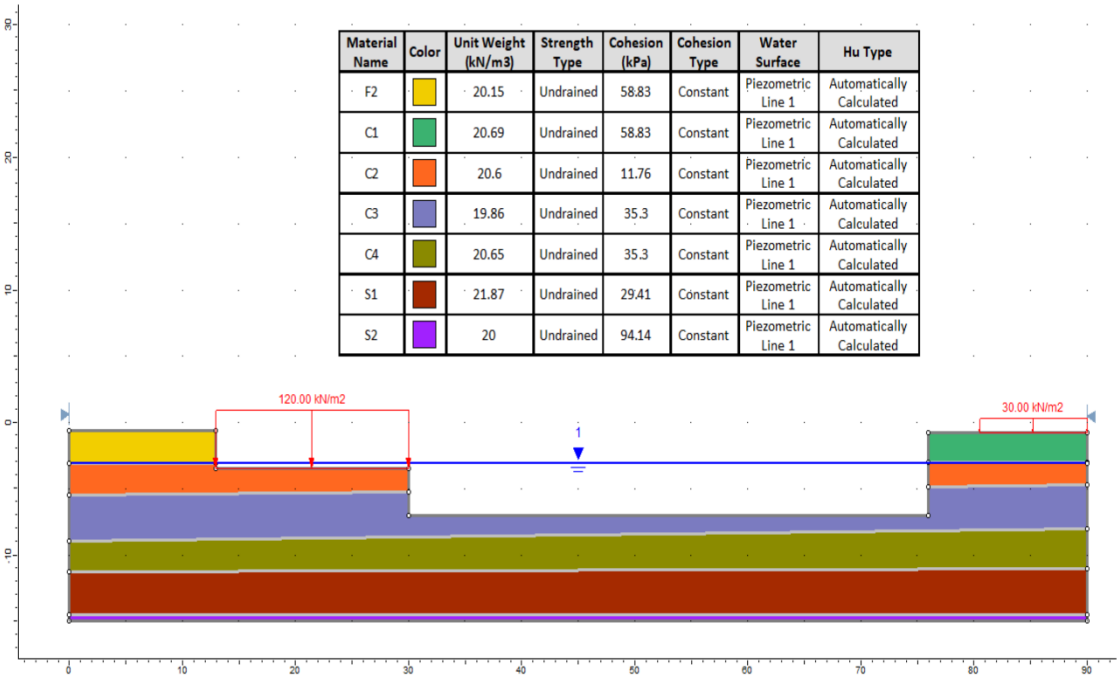
Όρυγμα	**Μήκος (m)**	**Ύψος (m)**	**Κλίση (^{o})**	**Μέγιστη όμορη τάση (kN/m^2)**	**Ύψος όμορης θεμελίωσης (m)**
1	15,3	3,5	90	120	3,5
2	44,5	3,5	90	140	3,5
3	17,84	7	90	30	0
4	45,26	7	90	30	0

Πίνακας 11. Χαρακτηριστικά των πρανών εκσκαφής και των τάσεων υπολογισμού.

Οι έλεγχοι ευστάθειας στα πρανή των εκσκαφών έγιναν με την βοήθεια του λογισμικού Slide2 της εταιρίας RocScience, για περιστροφικές αστοχίες, με τις

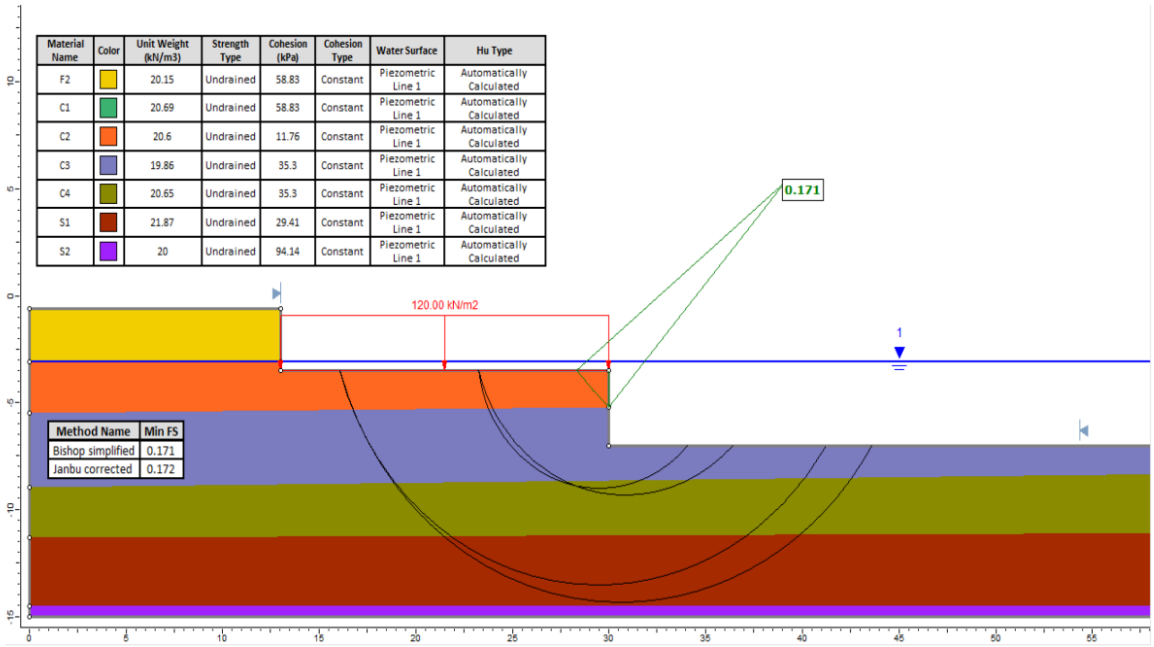
μεθόδους *Bishop* και *Janbu corrected* για την περίπτωση αστράγγιστων συνθηκών, χωρίς σεισμική επιβάρυνση καθώς θεωρούνται προσωρινές. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων οριακής ισορροπίας παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** 12.

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα των αναλύσεων, φαίνεται ότι μόνο το νοτιοδυτικό (3) και νοτιοανατολικό(2) πρανές, στο τμήμα εκατέρωθεν των δύο οικοδομών που βρίσκεται το διώροφο κτίσμα, ευσταθούν οριακά χωρίς εφαρμογή μέτρων αντιστήριξης, όμως οι συντελεστές ασφάλειας είναι μικρότεροι του 1,10, που τους καθιστά μη επαρκείς, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7. Παρότι προκύπτουν επιφάνειες ολίσθησης που επηρεάζουν σχεδόν όλα τα στρώματα, αυτές που προσδιορίζονται από το λογισμικό με το χαμηλότερο συντελεστή ασφάλειας εντοπίζονται, όπως είναι αναμενόμενο, κοντά στη στέψη του πρανούς. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Γ.

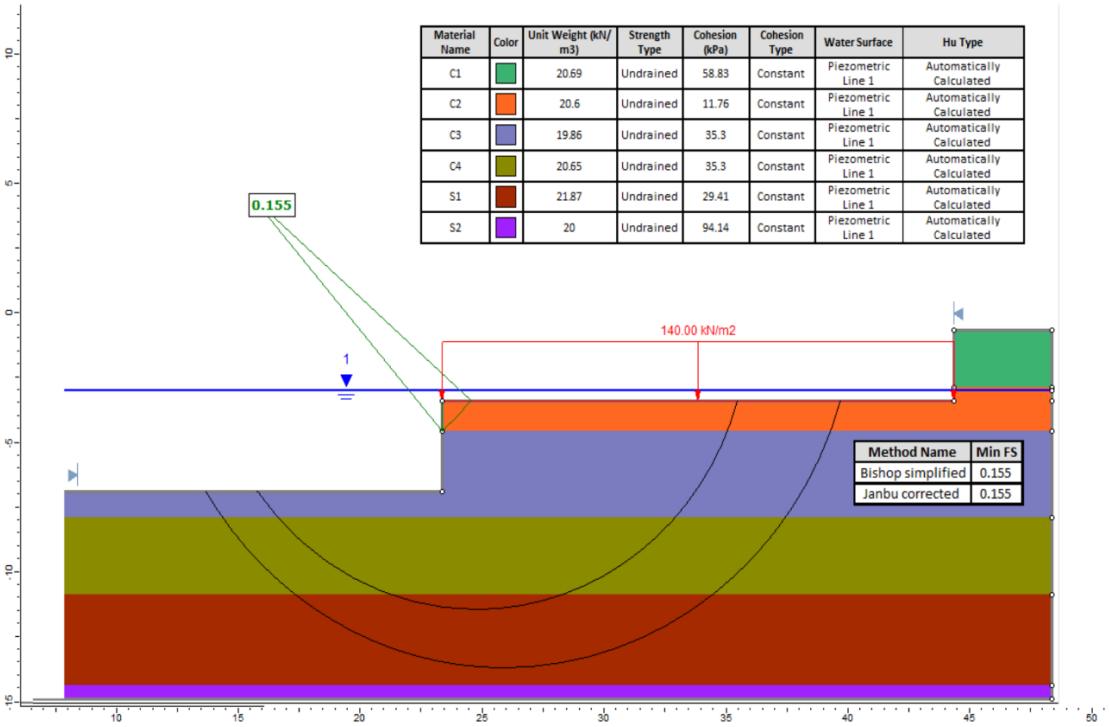


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Cohesion Type	Water Surface	Hu Type
F2		20.15	Undrained	58.83	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C1		20.69	Undrained	58.83	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C2		20.6	Undrained	11.76	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C3		19.86	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C4		20.65	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S1		21.87	Undrained	29.41	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S2		20	Undrained	94.14	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated

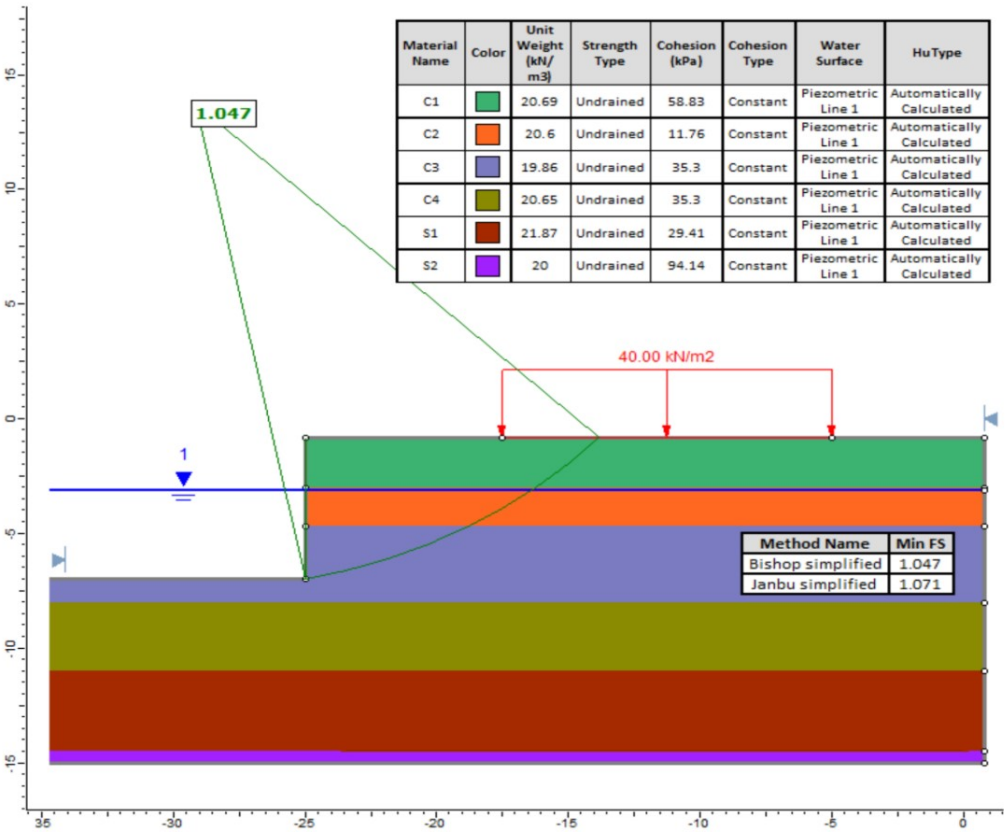
Εικόνα 32. Απεικόνηση του μοντέλου πριν την πραγματοποίηση των αναλύσεων (όρυγμα 1 – 3)



Εικόνα 33. Αποτέλεσμα της ανάλυσης ευστάθειας του Βορειοανατολικού πρανούς στο λογισμικό Slide.

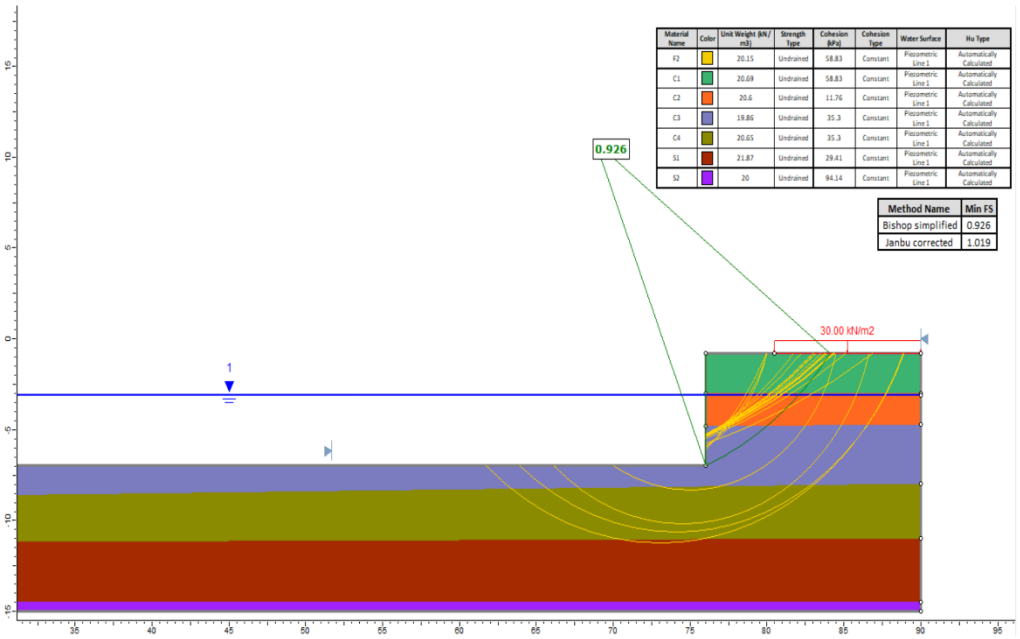


Εικόνα 34. Αποτέλεσμα της ανάλυσης ευστάθειας του Νότιοανατολικού πρανούς στο λογισμικό Slide (οικοδομή 1).



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Cohesion Type	Water Surface	HuType
C1		20.69	Undrained	58.83	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C2		20.6	Undrained	11.76	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C3		19.86	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C4		20.65	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S1		21.87	Undrained	29.41	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S2		20	Undrained	94.14	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated

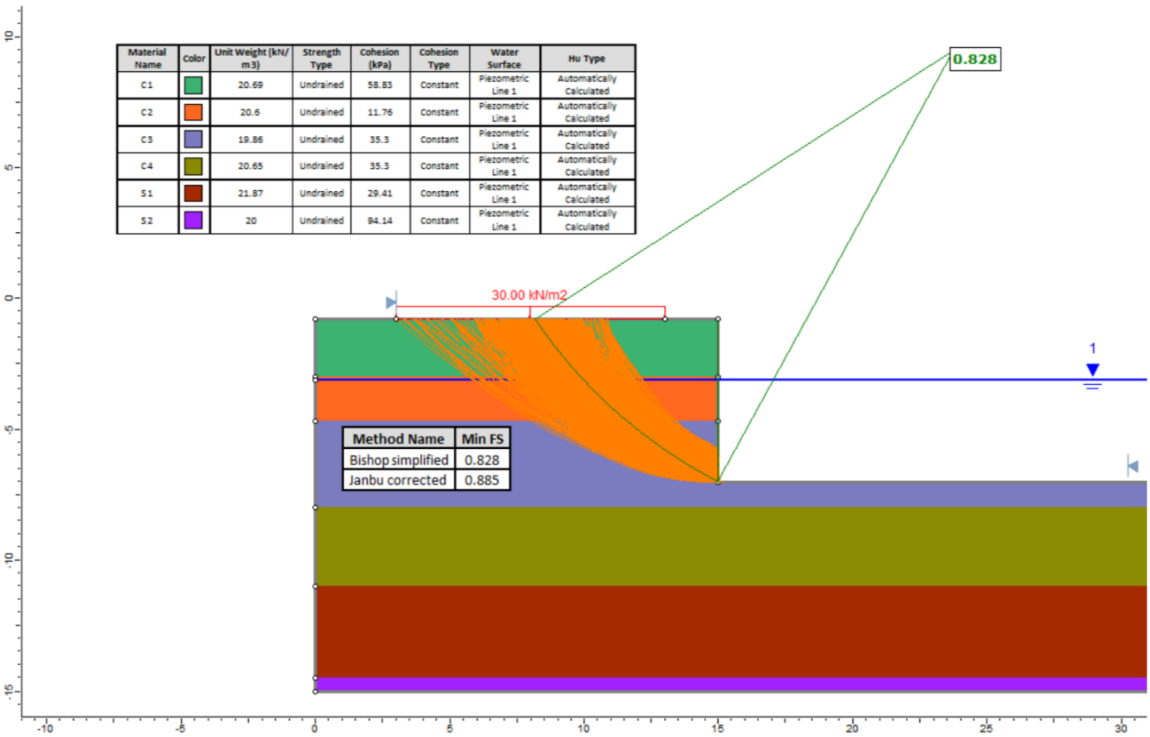
Εικόνα 35. Αποτέλεσμα της ανάλυσης ευστάθειας του Νότιοανατολικού πρανούς στο λογισμικό Slide (κτίσμα).



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Cohesion Type	Water Surface	Hu Type
F2		20.15	Undrained	58.83	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C1		20.69	Undrained	58.83	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C2		20.6	Undrained	11.76	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C3		19.86	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C4		20.65	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S1		21.87	Undrained	29.41	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S2		20	Undrained	94.14	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated

Εικόνα 36. Αποτέλεσμα της ανάλυσης ευστάθειας του Νότιοδυτικού πρανούς στο λογισμικό Slide

.



Εικόνα 37. Αποτέλεσμα της ανάλυσης ευστάθειας του Βορειοδυτικού πρανούς στο λογισμικό Slide.

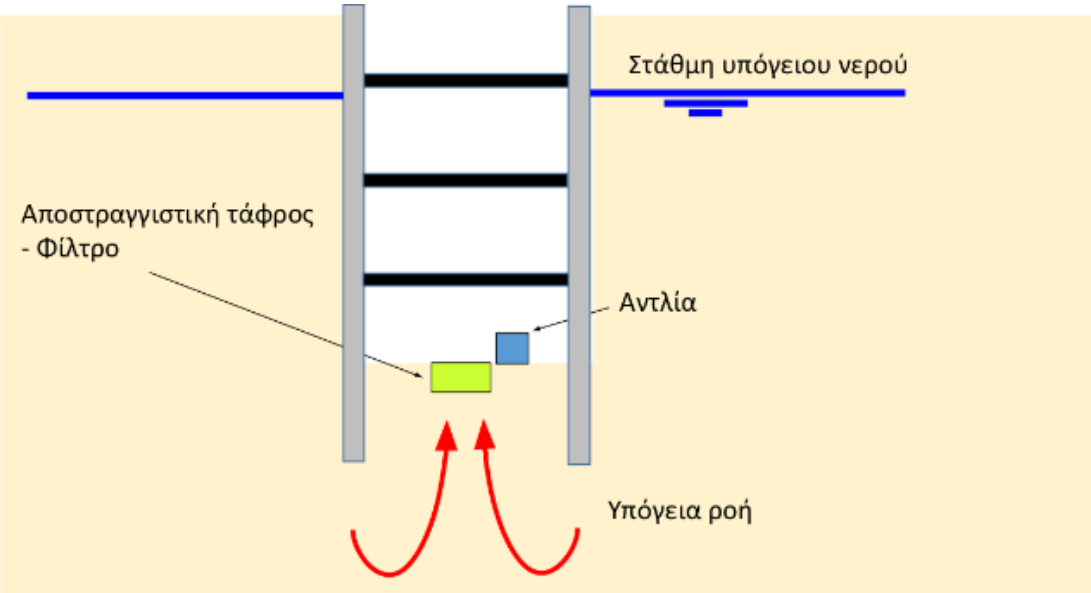
ΠΡΑΝΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	FS (Bishop)	FS (Janbu cor.)
1	Βορειοανατολικό	<<1	<<1
2	Νοτιοανατολικό (οικοδομή 1)	<<1	<<1
2	Νοτιοανατολικό (κτίσμα)	1,047	1,071
3	Νοτιοδυτικό	0,926	1,019
4	Βορειοδυτικό	0,828	0,885

Πίνακας 12. Συντελεστές ασφάλειας με τις μεθόδους Bishop και Janbu Corrected για τα τέσσερα πρανή της εκσκαφής.

5.3 ΕΚΣΚΑΦΕΣ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ

Η παρουσία υπόγειου νερού είναι καθοριστικός παράγοντας στο σχεδιασμό τεχνικών έργων, τόσο μέσω της επίδρασής του στη μηχανική συμπεριφορά των εδαφών, όσο και μέσω των εισροών σε περιπτώσεις εκσκαφών κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Επομένως υπάρχει συχνά ανάγκη ταπείνωσης της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα για τις υπόγειες εκσκαφές μέσω άντλησης.

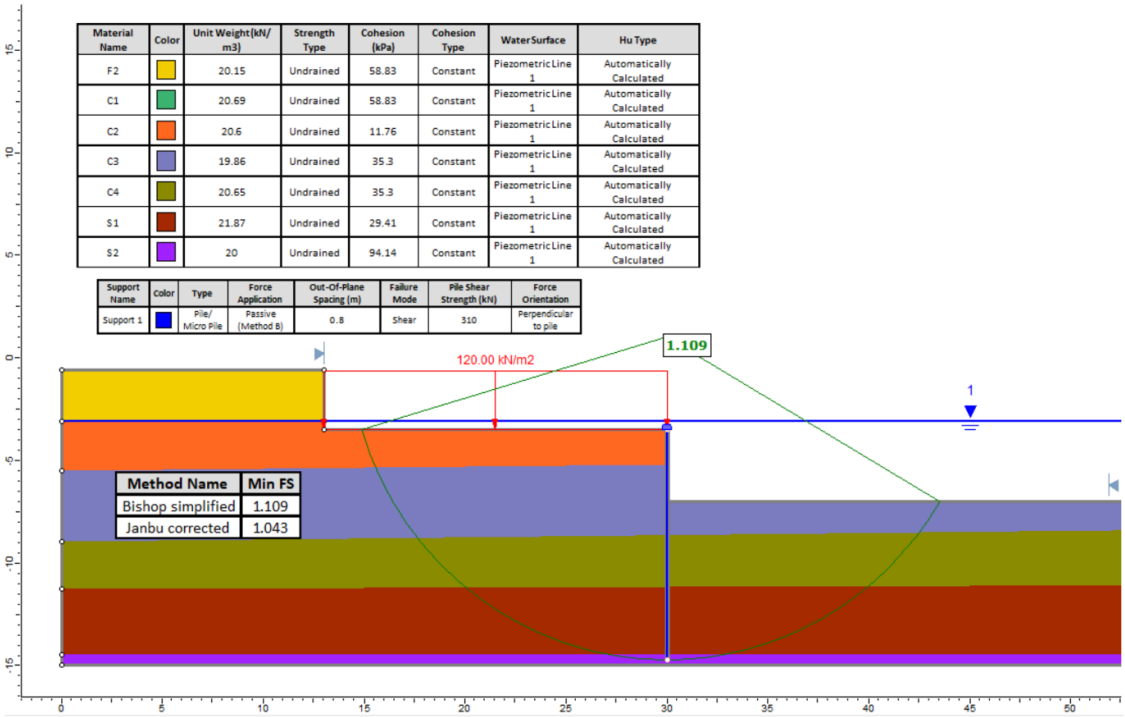
Στη συγκεκριμένη περίπτωση, λόγω της ύπαρξης υδροφόρου ορίζοντα σε βάθος 3,10m, είναι απαραίτητη η ταπείνωσή του κάτω από την στάθμη της θεμελίωσης και κατ' επέκταση των εκσκαφών. Η πτώση στάθμης όμως, προκαλεί και μεταβολές στο εντατικό πεδίο και ενδέχεται να προκληθούν παραμορφώσεις στο έδαφος θεμελίωσης των γειτνιαζουσών οικοδομών. Η άντληση του υδροφόρου ακολουθεί μετά την εφαρμογή των μέτρων προσωρινής αντιστήριξης των πρανών των εκσκαφών. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, την επανεπίχωση και την εξασφάλιση της στεγανότητας του έργου, η άντληση διακόπτεται και επανέρχεται η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα στην αρχική της θέση.



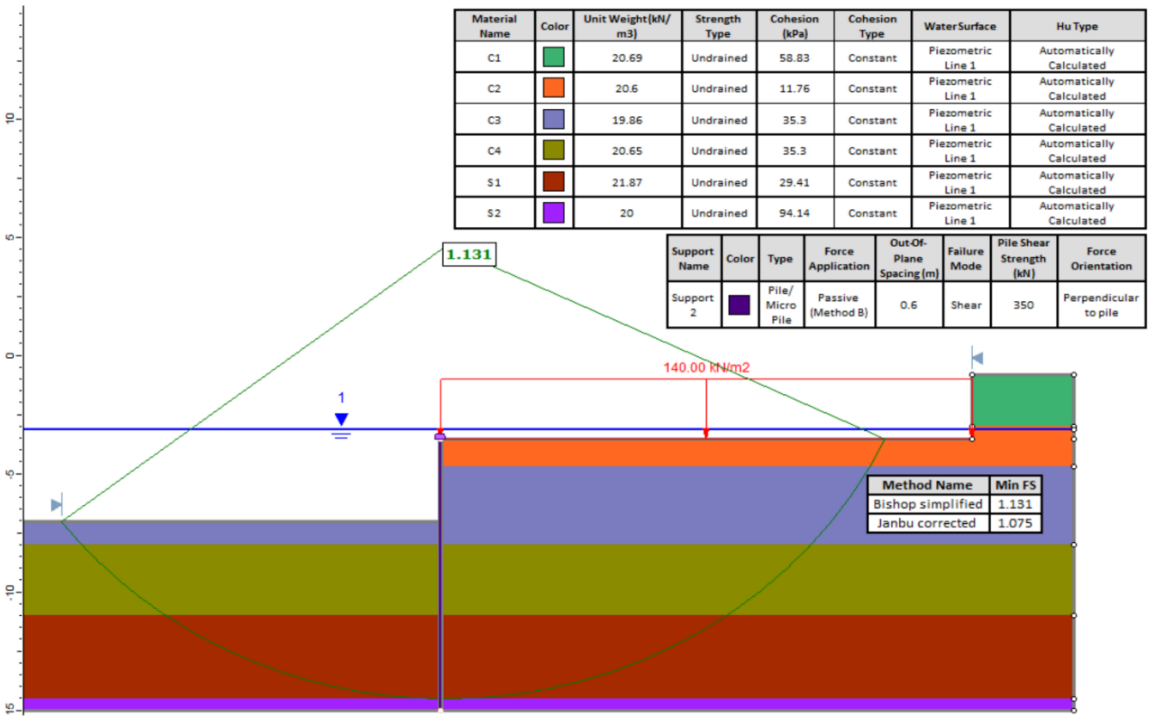
Εικόνα 38. Παράδειγμα άντλησης υπόγειου νερού μέσα σε χώρο εκσκαφής (Χατζηγώγος Χ., 2018).

5.4 ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας, κρίνεται αναγκαία η χρήση συστήματος αντιστήριξης των πρανών των εκσκαφών. Η ιδιαίτερη γεωμετρία και η έλλειψη χώρου στο σημείο κατασκευής, καθιστά την μείωση της κλίσης των πρανών μη εφικτή. Τα μέτρα που θα εξετασθούν είναι πυκνή συστοιχία μικροπασσάλων σε διάφορες διαξονικές αποστάσεις, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κεφαλόδεσμο για την ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων και την παραλαβή των παραμορφώσεων. Επειδή οι εδαφικές συνθήκες και τα φορτία στο χώρο του πρανούς (1) και του πρανούς (2) στο σημείο που είναι θεμελιωμένη η οικοδομή 2, ταυτίζονται, τα χαρακτηριστικά του συστήματος αντιστήριξης που θα εφαρμοσθεί θα είναι ίδια.



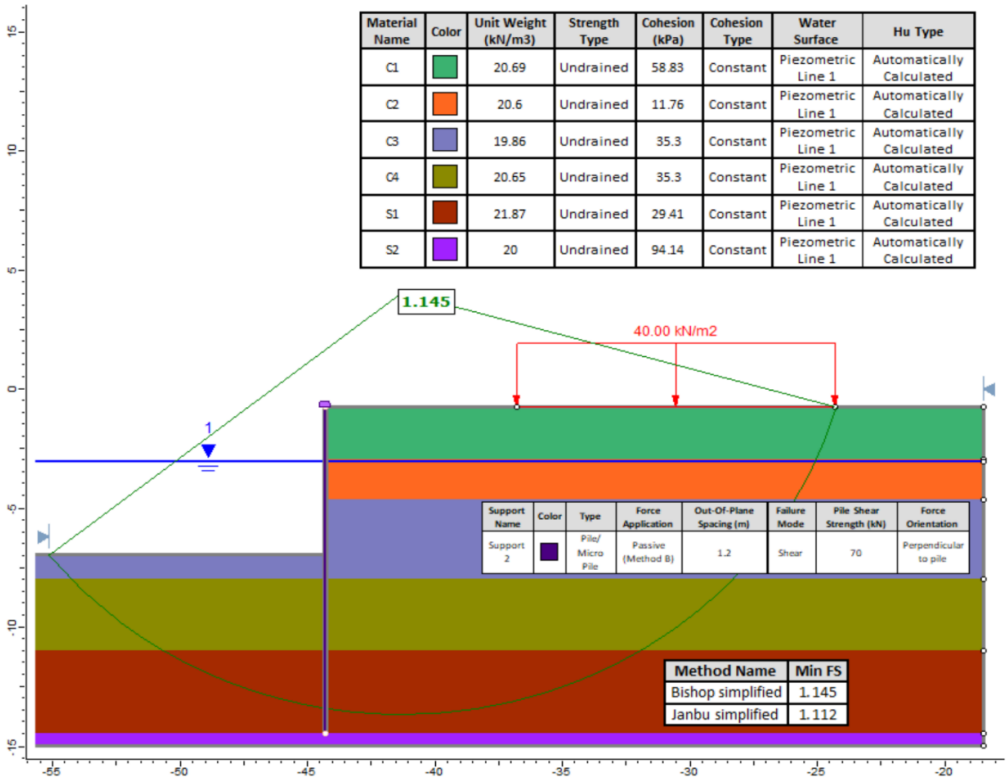
Εικόνα 39. Αποτέλεσμα της ανάλυσης ευστάθειας του Βορειοδυτικού πρανούς στο λογισμικό Slide με την εφαρμογή των μικροπασσάλων.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Cohesion Type	Water Surface	Hu Type
C1		20.69	Undrained	58.83	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C2		20.6	Undrained	11.76	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C3		19.86	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C4		20.65	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S1		21.87	Undrained	29.41	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S2		20	Undrained	94.14	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated

Support Name	Color	Type	Force Application	Out-Of-Plane Spacing (m)	Failure Mode	Pile Shear Strength (kN)	Force Orientation
Support 2		Pile/ Micro Pile	Passive (Method B)	0.6	Shear	350	Perpendicular to pile

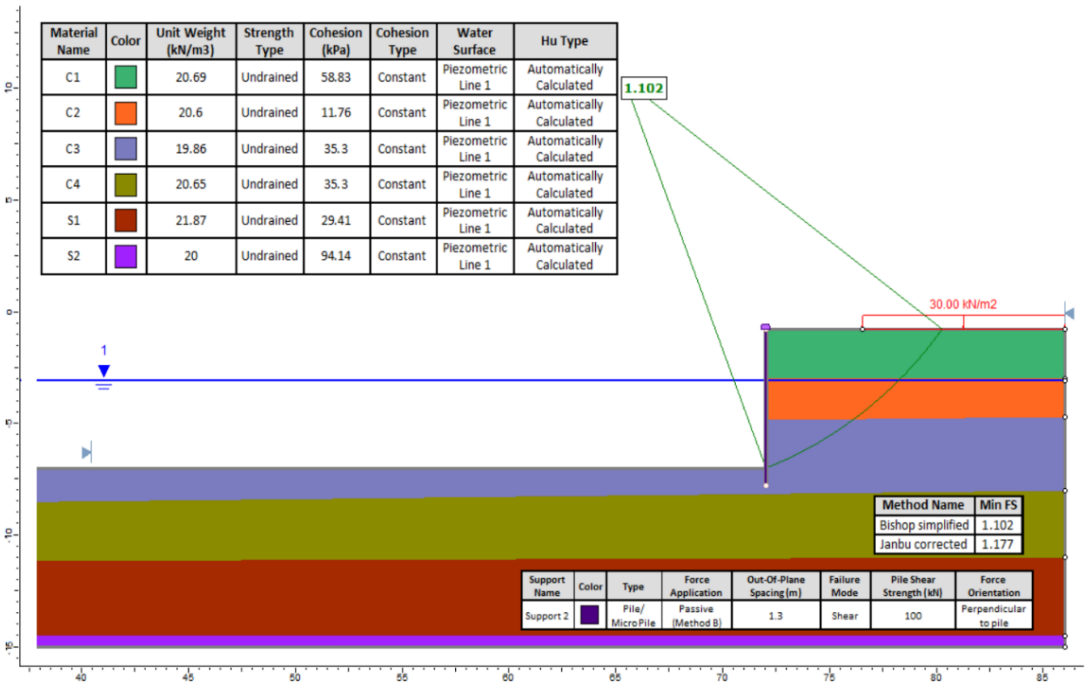
Εικόνα 40. Αποτέλεσμα της ανάλυσης ευστάθειας του Νότιοανατολικού πρανούς στο λογισμικό Slide με την εφαρμογή των μικροπασσάλων(οικοδομή 1).



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Cohesion Type	Water Surface	Hu Type
C1		20.69	Undrained	58.83	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C2		20.6	Undrained	11.76	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C3		19.86	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C4		20.65	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S1		21.87	Undrained	29.41	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S2		20	Undrained	94.14	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated

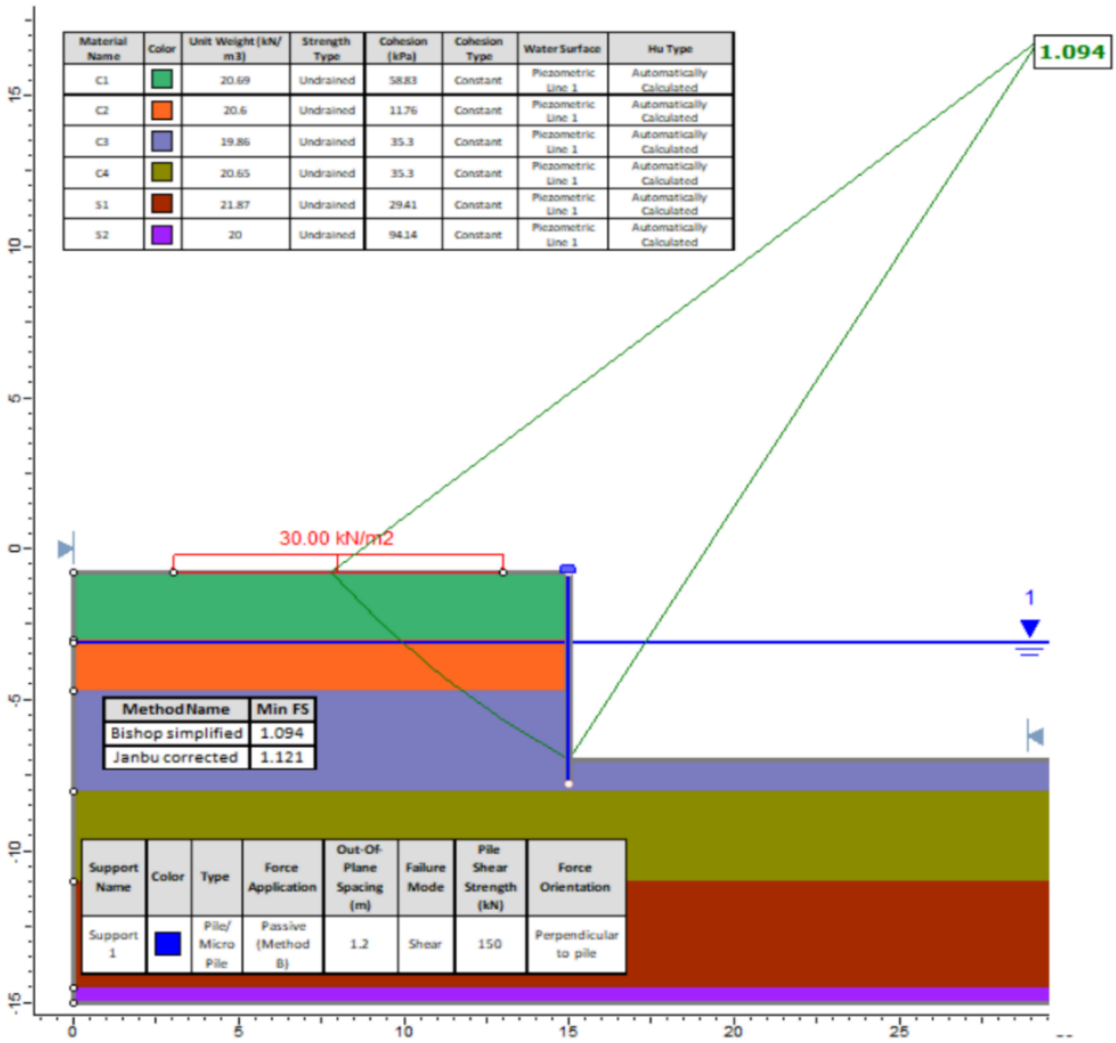
Support Name	Color	Type	Force Application	Out-Of-Plane Spacing (m)	Failure Mode	Pile Shear Strength (kN)	Force Orientation
Support 2		Pile/ Micro Pile	Passive (Method B)	1.2	Shear	70	Perpendicular to pile

Εικόνα 41. Αποτέλεσμα της ανάλυσης ευστάθειας του Νότιοανατολικού πρανούς στο λογισμικό Slide με την εφαρμογή των μικροπασσάλων(κτίσμα).



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Cohesion Type	Water Surface	Hu Type
C1		20.69	Undrained	58.83	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C2		20.6	Undrained	11.76	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C3		19.86	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C4		20.65	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S1		21.87	Undrained	29.41	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S2		20	Undrained	94.14	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated

Εικόνα 42. Αποτέλεσμα της ανάλυσης ευστάθειας του Νοτιοδυτικού πρανούς στο λογισμικό Slide με την εφαρμογή των μικροπασσάλων.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Cohesion Type	Water Surface	Hu Type
C1		20.69	Undrained	58.83	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C2		20.6	Undrained	11.76	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C3		19.86	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
C4		20.65	Undrained	35.3	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S1		21.87	Undrained	29.41	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated
S2		20	Undrained	94.14	Constant	Piezometric Line 1	Automatically Calculated

Εικόνα 43. Αποτέλεσμα της ανάλυσης ευστάθειας του Βορειοδυτικού πρανούς στο λογισμικό Slide με την εφαρμογή των μικροπασσάλων.

Όρυγμα	Διατμητική αντοχή πασσάλου (kN)	Μήκος πασσάλου (m)	Διαξονική απόσταση πασσάλων (m)	Διατομή πασσάλου (mm)	Συντελεστής ασφάλειας FS	
					Bishop	Janbu cor.
1	310	11,25	0,8	318,3	1,109	1,043
2 (οικοδομή 2)	350	11,50	0,6	318,3	1,131	1,075
2 (κτίσμα)	70	11	1,2	318,3	1,145	1,112
3	100	7	1,3	318,3	1,102	1,177
4	150	7	1,2	318,3	1,094	1,121

Πίνακας 13. Χαρακτηριστικά των πασσάλων που χρησιμοποιήθηκαν ξεχωριστά σε κάθε όρυγμα σε συνδυασμό με τους συντελεστές ασφάλειας μετά την εγκατάστασή τους.

5.5 ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Υψηλής σημασίας στις γεωτεχνικές συνθήκες θεμελίωσης έργων, όπου υπάρχουν υφιστάμενες όμορες κατασκευές που ενδέχεται να επηρεαστούν, αποτελούν οι παραμορφώσεις του εδάφους και ειδικότερα στις περιπτώσεις κατακόρυφων εκσκαφών οι οριζόντιες παραμορφώσεις. Οι παραμορφώσεις μπορεί να προκαλέσουν μετακινήσεις του εδάφους κατά την πραγματοποίηση των εκσκαφών, όταν το πεδίο των τάσεων αλλάζει και οι δυνάμεις που προκαλούν τα υπάρχοντα φορτία κατανέμονται διαφορετικά.

Στην παρούσα εργασία οι παραμορφώσεις στο μοντέλο εξετάστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού RS2 της εταιρίας RocScience.

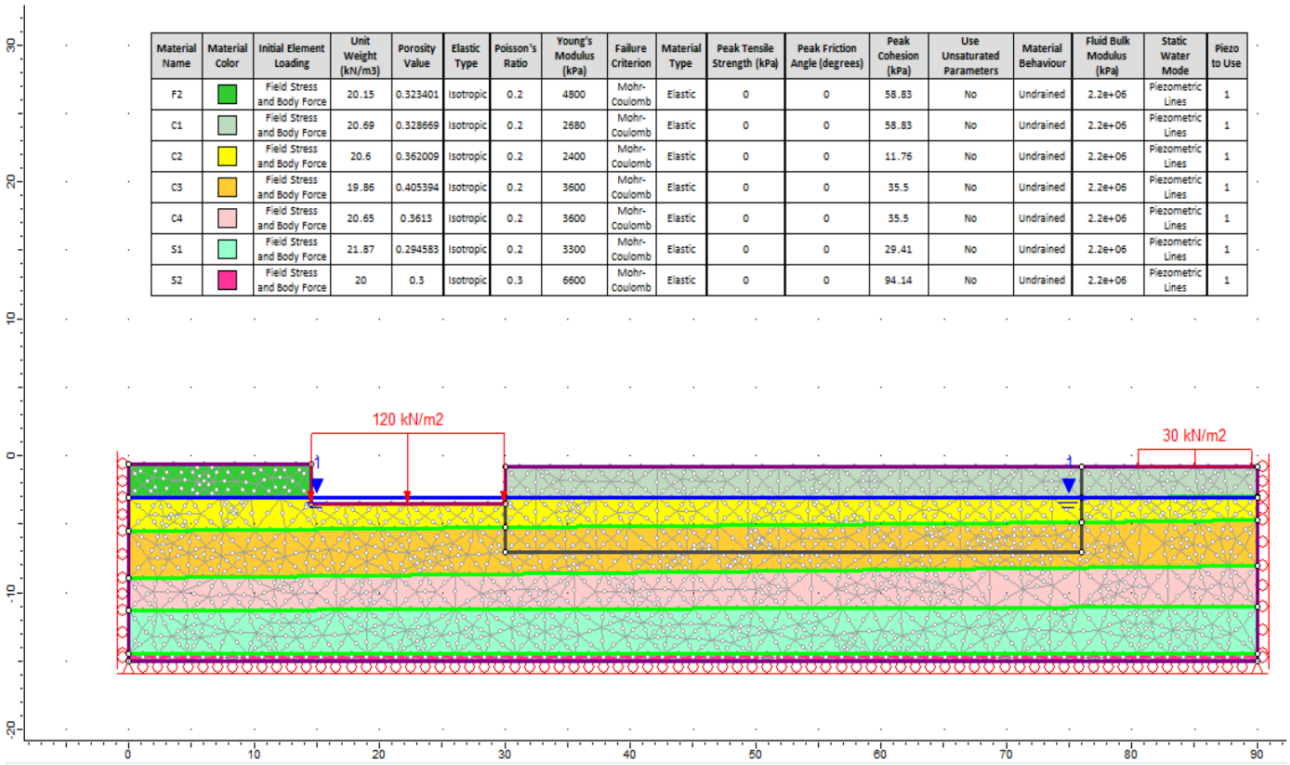
Με σκοπό τον υπολογισμό των παραμορφώσεων και στα 4 πρανή τις εκσκαφής, κατασκευάστηκαν 3 διαφορετικές διατομές. Η επιλογή των διατομών έγινε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν κατάλληλα το μοντέλο. Αναλυτικότερα, η πρώτη διατομή είναι παράλληλη στην οδό 25ης Μαρτίου και ξεκινάει από την λεωφόρο Βας. Όλγας και καταλήγει πίσω από την οικοδομή Γ (εικόνα 44). Η διατομή 2 είναι παράλληλη στην λεωφόρο Βας. Όλγας και ξεκινάει από την οδό 25ης Μαρτίου και καταλήγει στην οικοδομή 1 (εικόνα 31). Τέλος, η διατομή 3 είναι και αυτή παράλληλη στην λεωφόρο Βας. Όλγας, ξεκινάει από την οδό 25ης Μαρτίου και καταλήγει στο κτίσμα ανάμεσα στις οικοδομές 1 και 2.

Εικόνα 44. Αντιπροσωπευτικές διατομές για την κατασκευή του μοντέλου

Αρχικά κατασκευάσθηκε η γεωμετρία κάθε διατομής ξεχωριστά πριν την πραγματοποίηση της εκσκαφής και έγινε εισαγωγή της στρωματογραφίας, δίνοντας σε κάθε στρώμα τεχνικογεωλογικές ιδιότητες που προέκυψαν από τα δεδομένα των γεωτρήσεων και των εργαστηριακών δοκιμών. Στην συνέχεια προστέθηκαν τα όμορα φορτία που αντιστοιχούν σε κάθε όρυγμα, όπως επίσης, η κατασκευή του δεύτερου σταδίου του μοντέλου που αποτελεί η εκσκαφή,

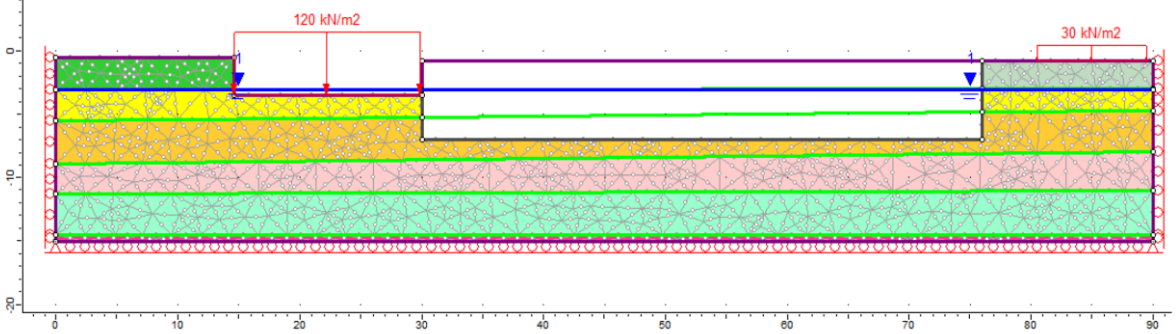
προσδιορίζοντάς την γεωμετρικά στο λογισμικό. Στη συνέχεια, έγινε η διακριτοποίηση του μοντέλου σε τριγωνικούς κόμβους και περιορίσθηκαν ορισμένοι από αυτούς. Συγκεκριμένα, οι κόμβοι των κατακόρυφων ορίων του μοντέλου μπορούν να μετατοπίζονται μόνο οριζόντια και οι κόμβοι των οριζόντιων ορίων μπορούν να μετατοπίζονται μόνο κατακόρυφα. Αντιθέτως, οι κόμβοι εσωτερικά του μοντέλου και οι κόμβοι της επιφάνειας του εδάφους θεωρούνται ελεύθεροι, ενώ οι κόμβοι στις κάτω γωνίες του μοντέλου θεωρούνται ακίνητες. Μετά την πραγματοποίηση των παραπάνω ενεργειών δημιουργείται το πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων που επιτρέπει την ανάλυση τάσεων στο μοντέλο.

Material Name	Material Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m3)	Porosity Value	Elastic Type	Poisson's Ratio	Young's Modulus (kPa)	Failure Criterion	Material Type	Peak Tensile Strength (kPa)	Peak Friction Angle (degrees)	Peak Cohesion (kPa)	Use Unsaturated Parameters	Material Behaviour	Fluid Bulk Modulus (kPa)	Static Water Mode	Piezo to Use
F2		Field Stress and Body Force	20.15	0.323401	Isotropic	0.2	4800	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	58.83	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C1		Field Stress and Body Force	20.69	0.328669	Isotropic	0.2	2680	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	58.83	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C2		Field Stress and Body Force	20.6	0.362009	Isotropic	0.2	2400	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	11.76	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C3		Field Stress and Body Force	19.86	0.405394	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.5	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C4		Field Stress and Body Force	20.65	0.3613	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.5	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S1		Field Stress and Body Force	21.87	0.294583	Isotropic	0.2	3300	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	29.41	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S2		Field Stress and Body Force	20	0.3	Isotropic	0.3	6600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	94.14	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1



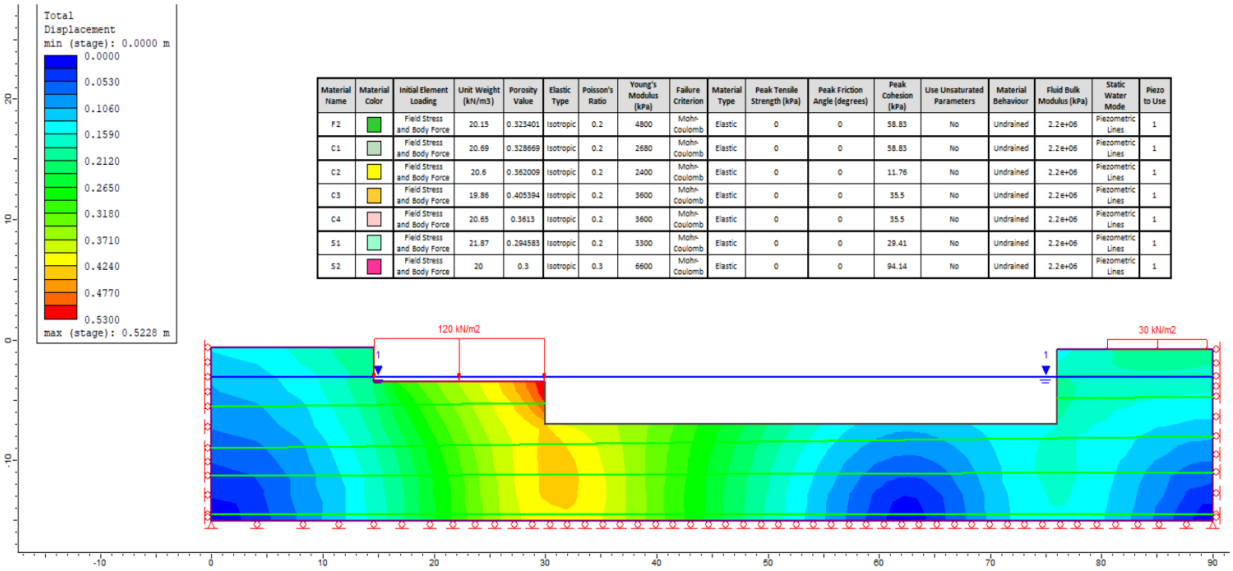
Εικόνα 45. Διακριτοποιημένο μοντέλο, όρυγμα 1 και 3 πριν την εκσκαφή χωρίς την εφαρμογή μικροπασσάλων (στάδιο 1)

Material Name	Material Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m3)	Porosity Value	Elastic Type	Poisson's Ratio	Young's Modulus (kPa)	Failure Criterion	Material Type	Peak Tensile Strength (kPa)	Peak Friction Angle (degrees)	Peak Cohesion (kPa)	Use Unsaturated Parameters	Material Behaviour	Fluid Bulk Modulus (kPa)	Static Water Mode	Piezo to Use
F2		Field Stress and Body Force	20.15	0.323401	Isotropic	0.2	4800	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	58.83	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C1		Field Stress and Body Force	20.69	0.328669	Isotropic	0.2	2680	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	58.83	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C2		Field Stress and Body Force	20.6	0.362009	Isotropic	0.2	2400	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	11.76	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C3		Field Stress and Body Force	19.86	0.405394	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.5	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C4		Field Stress and Body Force	20.65	0.3613	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.5	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S1		Field Stress and Body Force	21.87	0.294583	Isotropic	0.2	3300	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	29.41	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S2		Field Stress and Body Force	20	0.3	Isotropic	0.3	6600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	94.14	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1

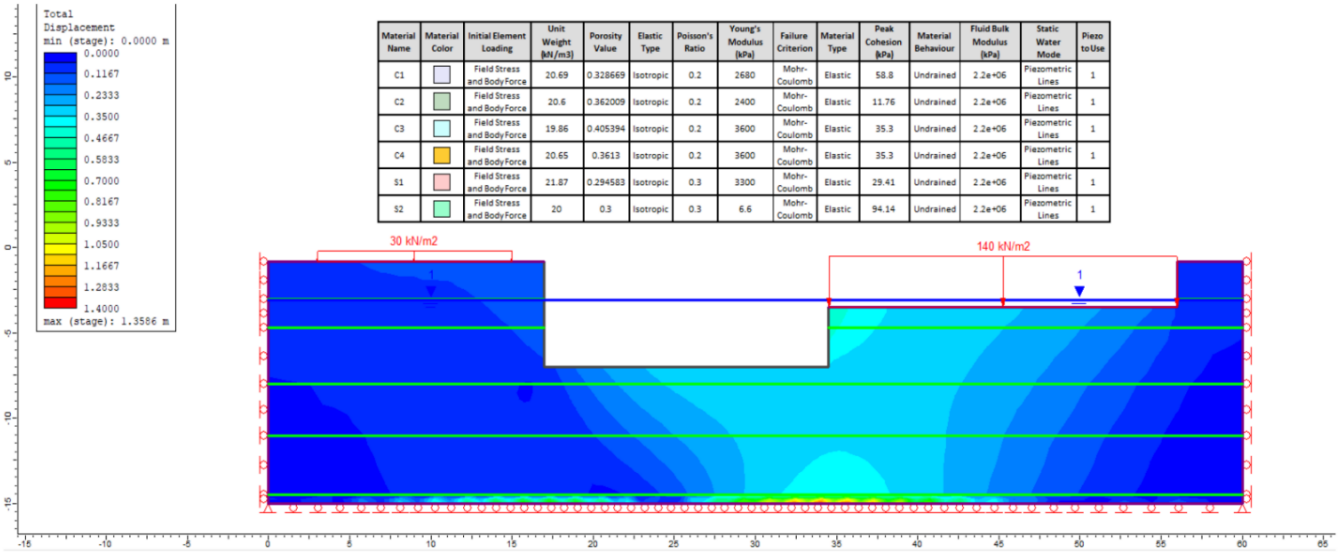


Εικόνα 46. Διακριτοποιημένο μοντέλο, όρυγμα 1 και 3 μετά την εκσκαφή χωρίς την εφαρμογή μικροπασσάλων (στάδιο 2)

Όσον αφορά τον έλεγχο των παραμορφώσεων, παρατηρείται ότι, αμέσως μετά την εκσκαφή και χωρίς την εφαρμογή των μέτρων αντιστήριξης, οι μέγιστες παραμορφώσεις εμφανίζονται σε γενικές γραμμές στην στέψη των πρανών ενώ φαίνεται να ελαττώνονται στα βαθύτερα στρώματα.

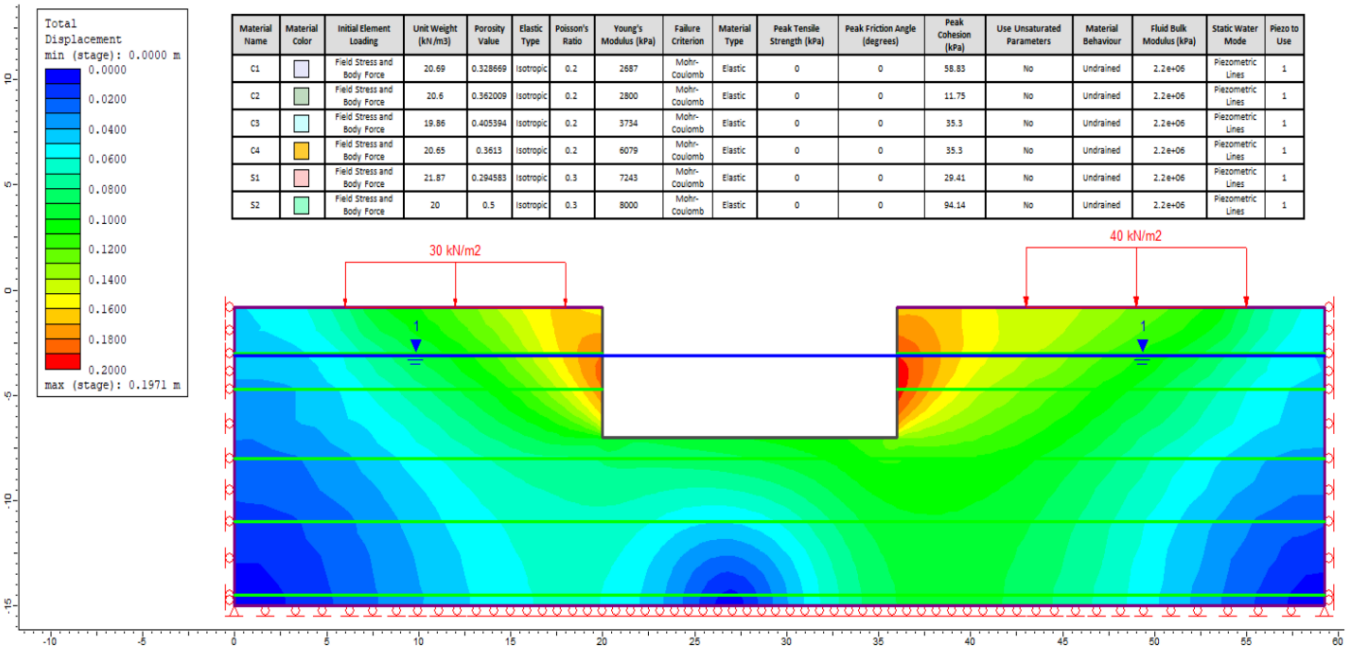


Εικόνα 47. Υπολογισμός παραμορφώσεων στο όρυγμα 1 και όρυγμα 3 χωρίς την εφαρμογή των μικροπασσάλων με την βοήθεια του λογισμικού RS2.



Material Name	Material Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m3)	Porosity Value	Elastic Type	Poisson's Ratio	Young's Modulus (kPa)	Failure Criterion	Material Type	Peak Cohesion (kPa)	Material Behaviour	Fluid Bulk Modulus (kPa)	Static Water Mode	Piezo to Use
C1		Field Stress and Body Force	20.69	0.328669	Isotropic	0.2	2680	Mohr-Coulomb	Elastic	58.8	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C2		Field Stress and Body Force	20.6	0.362009	Isotropic	0.2	2400	Mohr-Coulomb	Elastic	11.76	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C3		Field Stress and Body Force	19.86	0.405394	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	35.3	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C4		Field Stress and Body Force	20.65	0.3613	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	35.3	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S1		Field Stress and Body Force	21.87	0.294583	Isotropic	0.3	3300	Mohr-Coulomb	Elastic	29.41	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S2		Field Stress and Body Force	20	0.3	Isotropic	0.3	6.6	Mohr-Coulomb	Elastic	94.14	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1

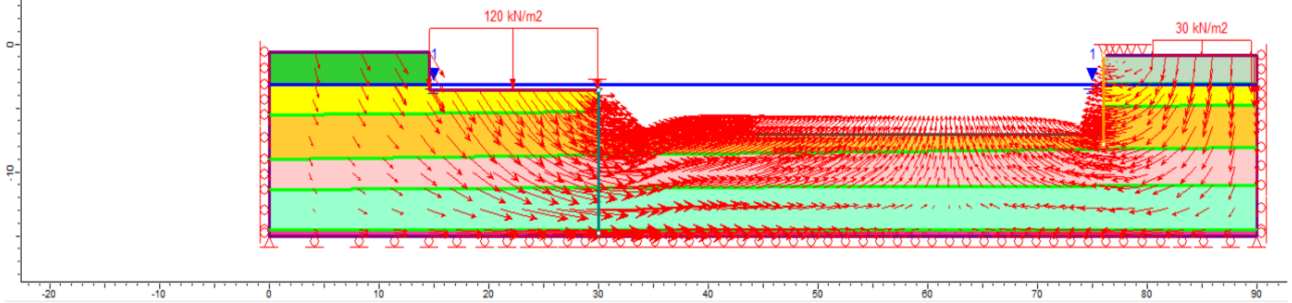
Εικόνα 48. Υπολογισμός παραμορφώσεων στο όρυγμα 2 (στον χώρο της οικοδομής 1) και όρυγμα 4 χωρίς την εφαρμογή των μέτρων αντιστήριξης με την βοήθεια του λογισμικού RS2.



Material Name	Material Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m3)	Porosity Value	Elastic Type	Poisson's Ratio	Young's Modulus (kPa)	Failure Criterion	Material Type	Peak Tensile Strength (kPa)	Peak Friction Angle (degrees)	Peak Cohesion (kPa)	Use Unsaturated Parameters	Material Behaviour	Fluid Bulk Modulus (kPa)	Static Water Mode	Piezo to Use
C1		Field Stress and Body Force	20.69	0.328669	Isotropic	0.2	2687	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	58.83	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C2		Field Stress and Body Force	20.6	0.362009	Isotropic	0.2	2800	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	11.75	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C3		Field Stress and Body Force	19.86	0.405394	Isotropic	0.2	3734	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.3	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C4		Field Stress and Body Force	20.65	0.3613	Isotropic	0.2	6079	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.3	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S1		Field Stress and Body Force	21.87	0.294583	Isotropic	0.3	7243	Mohr-coulomb	Elastic	0	0	29.41	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S2		Field Stress and Body Force	20	0.5	Isotropic	0.3	8000	Mohr-coulomb	Elastic	0	0	94.14	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1

Εικόνα 49. Υπολογισμός παραμορφώσεων στο όρυγμα 2 (στον χώρο του κτίσματος) και όρυγμα 4 χωρίς την εφαρμογή των μέτρων αντιστήριξης με την βοήθεια του λογισμικού RS2.

Material Name	Material Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m3)	Porosity Value	Elastic Type	Poisson's Ratio	Young's Modulus (kPa)	Failure Criterion	Material Type	Peak Tensile Strength (kPa)	Peak Friction Angle (degrees)	Peak Cohesion (kPa)	Use Unsaturated Parameters	Material Behaviour	Fluid Bulk Modulus (kPa)	Static Water Mode	Piezo to Use
F2		Field Stress and Body Force	20.15	0.323401	Isotropic	0.2	4800	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	58.83	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C1		Field Stress and Body Force	20.69	0.328669	Isotropic	0.2	2680	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	58.83	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C2		Field Stress and Body Force	20.6	0.362009	Isotropic	0.2	2400	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	11.76	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C3		Field Stress and Body Force	19.86	0.405394	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.5	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C4		Field Stress and Body Force	20.65	0.3613	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.5	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S1		Field Stress and Body Force	21.87	0.294583	Isotropic	0.2	3300	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	29.41	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S2		Field Stress and Body Force	20	0.3	Isotropic	0.3	6600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	94.14	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1



Εικόνα 50. Διανύσματα των μετατοπίσεων στο μοντέλο

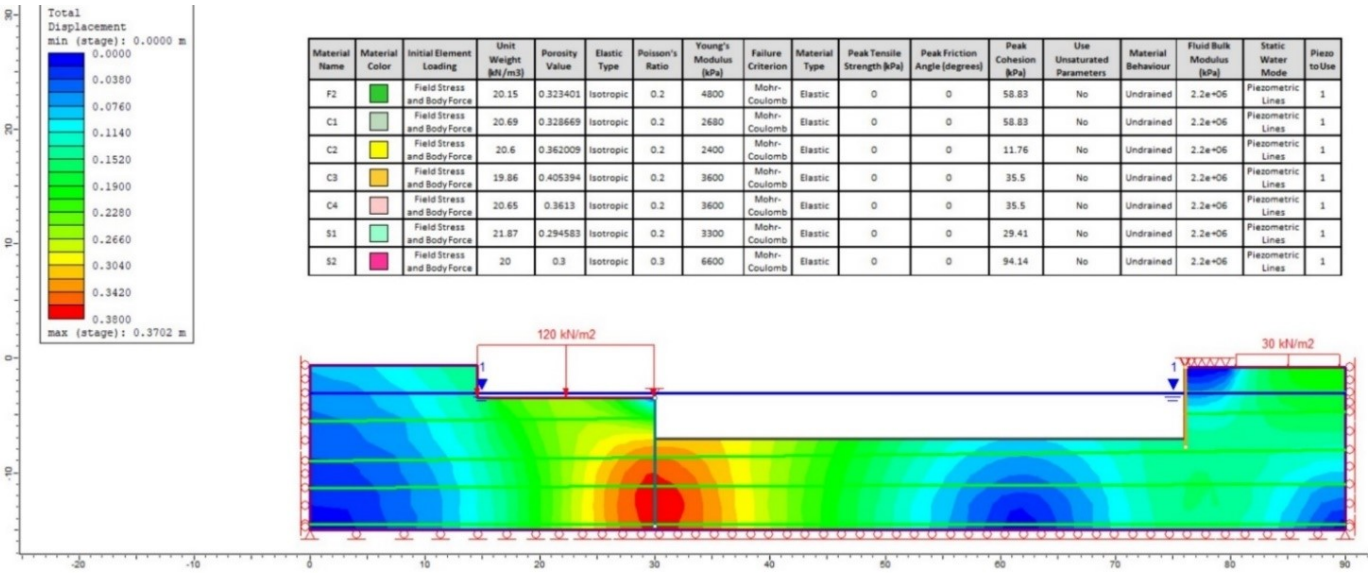
Όρυγμα	Στρώμα μέγιστης παραμόρφωσης	Μέγιστη παραμόρφωση (m)	Τάση (kN/m)	Απόσταση από την στέψη (m)
1	C1	0,5228	120	0
2 (οικοδομή)	C2	0,4667	140	0
2 (κτίσμα)	C1-C2-C3	0,1971	40	7
3	C2-C3	0,1590	30	4,5
4	C2	0,1800	30	1,5

Πίνακας 14. Χαρακτηριστικά των παραμορφώσεων που εμφανίζονται σε κάθε όρυγμα χωρίς την εφαρμογή των μέτρων αντιστήριξης.

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται κατανοητό ότι το μέγεθος της τάσης και η απόστασή της από την στέψη του πρανούς συνδέεται άμεσα με το μέγεθος της παραμόρφωσης του εδάφους. Συνεπώς, σε κάθε όρυγμα χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί πάσσαλοι με διαφορετικές διαξονικές αποστάσεις για την ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων.

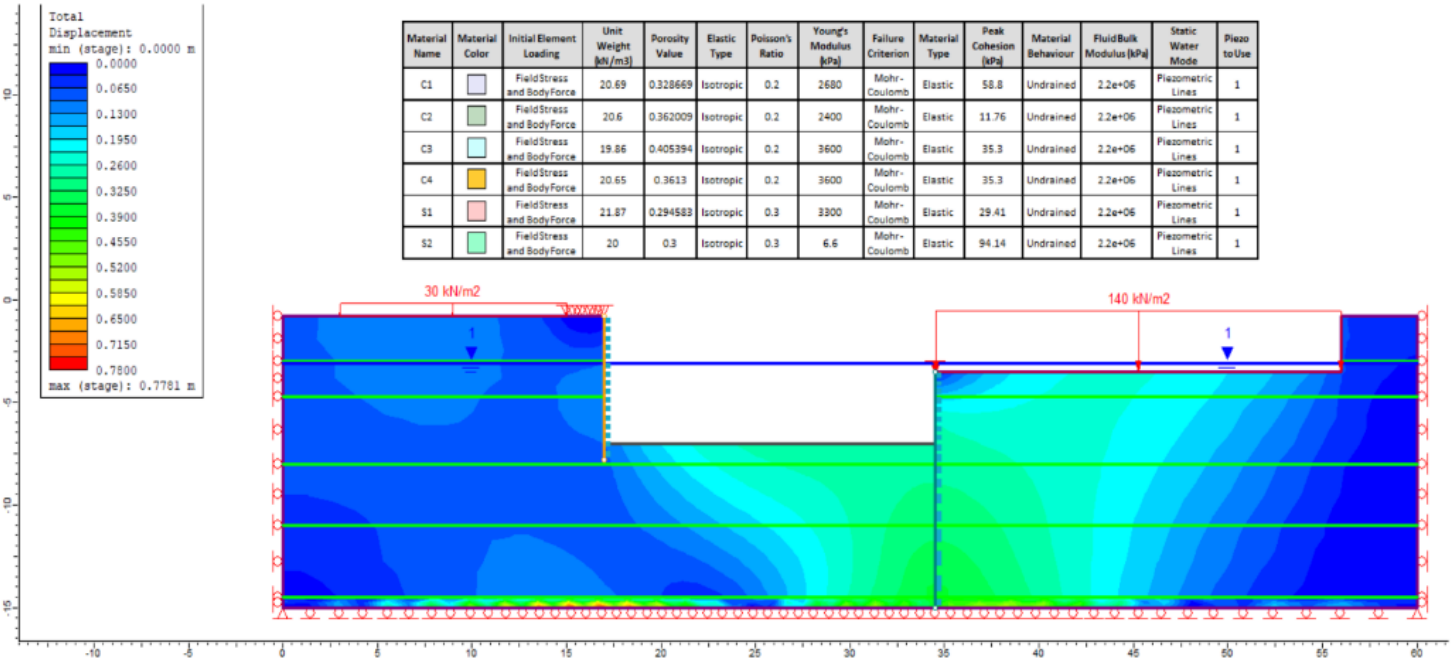
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των υπολογισμών των παραμορφώσεων, μετά την εφαρμογή των μέτρων οι μέγιστες παραμορφώσεις μεταβάλλονται, τόσο ως προς το μέγεθός τους, όσο και ως προς τα στρώματα στα οποία εμφανίζονται.

Αναλυτικότερα, διαπιστώνεται ότι οι παραμοφώσεις μεταφέρονται γενικά προς το βάθος. Οι διαφορές στις παραμορφώσεις διακρίνεται κυρίως στα πρανή με τις μεγαλύτερες τάσεις.



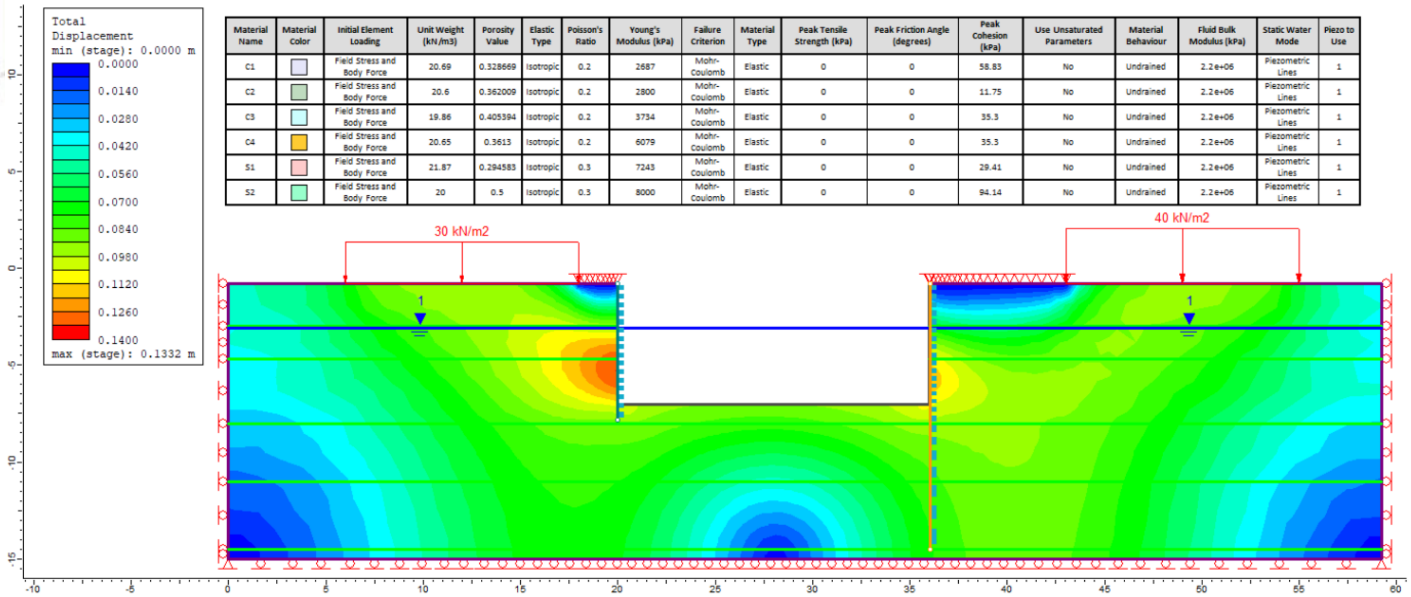
Material Name	Material Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m3)	Porosity Value	Elastic Type	Poisson's Ratio	Young's Modulus (kPa)	Failure Criterion	Material Type	Peak Tensile Strength (kPa)	Peak Friction Angle (degrees)	Peak Cohesion (kPa)	Use Unsaturated Parameters	Material Behaviour	Fluid Bulk Modulus (kPa)	Static Water Mode	Piezo to Use
F2		Field Stress and Body Force	20.15	0.323401	Isotropic	0.2	4800	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	58.83	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C1		Field Stress and Body Force	20.69	0.328669	Isotropic	0.2	2680	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	58.83	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C2		Field Stress and Body Force	20.6	0.362009	Isotropic	0.2	2400	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	11.76	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C3		Field Stress and Body Force	19.86	0.405394	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.5	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C4		Field Stress and Body Force	20.65	0.3613	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.5	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S1		Field Stress and Body Force	21.87	0.294583	Isotropic	0.2	3300	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	29.41	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S2		Field Stress and Body Force	20	0.3	Isotropic	0.3	6600	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	94.14	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1

Εικόνα 51. Υπολογισμός παραμορφώσεων στο όρυγμα 1 και όρυγμα 3 μετά την εφαρμογή των μικροπασσάλων με την βοήθεια του λογισμικού RS2.



Material Name	Material Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m3)	Porosity Value	Elastic Type	Poisson's Ratio	Young's Modulus (kPa)	Failure Criterion	Material Type	Peak Cohesion (kPa)	Material Behaviour	Fluid Bulk Modulus (kPa)	Static Water Mode	Piezo to Use
C1		Field Stress and Body Force	20.69	0.328669	Isotropic	0.2	2680	Mohr-Coulomb	Elastic	58.8	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C2		Field Stress and Body Force	20.6	0.362009	Isotropic	0.2	2400	Mohr-Coulomb	Elastic	11.76	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C3		Field Stress and Body Force	19.86	0.405394	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	35.3	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C4		Field Stress and Body Force	20.65	0.3613	Isotropic	0.2	3600	Mohr-Coulomb	Elastic	35.3	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S1		Field Stress and Body Force	21.87	0.294583	Isotropic	0.3	3300	Mohr-Coulomb	Elastic	29.41	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S2		Field Stress and Body Force	20	0.3	Isotropic	0.3	6.6	Mohr-Coulomb	Elastic	94.14	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1

Εικόνα 52. Υπολογισμός παραμορφώσεων στο όρυγμα 2 (στον χώρο της οικοδομής 1) και όρυγμα 4 μετά την εφαρμογή των μικροπασσάλων με την βοήθεια του λογισμικού RS2.



Material Name	Material Color	Initial Element Loading	Unit Weight (kN/m3)	Porosity Value	Elastic Type	Poisson's Ratio	Young's Modulus (kPa)	Failure Criterion	Material Type	Peak Tensile Strength (kPa)	Peak Friction Angle (degrees)	Peak Cohesion (kPa)	Use Unsaturated Parameters	Material Behaviour	Fluid Bulk Modulus (kPa)	Static Water Mode	Piezo to Use
C1		Field Stress and Body Force	20.69	0.328669	Isotropic	0.2	2687	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	58.83	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C2		Field Stress and Body Force	20.6	0.362009	Isotropic	0.2	2800	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	11.75	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C3		Field Stress and Body Force	19.86	0.405394	Isotropic	0.2	3734	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.3	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
C4		Field Stress and Body Force	20.65	0.3613	Isotropic	0.2	6079	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	35.3	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S1		Field Stress and Body Force	21.87	0.294583	Isotropic	0.3	7243	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	29.41	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1
S2		Field Stress and Body Force	20	0.5	Isotropic	0.3	8000	Mohr-Coulomb	Elastic	0	0	94.14	No	Undrained	2.2e+06	Piezometric Lines	1

Εικόνα 53. Υπολογισμός παραμορφώσεων στο όρυγμα 2 (στον χώρο του κτίσματος) και όρυγμα 4 μετά την εφαρμογή των μικροπασσάλων με την βοήθεια του λογισμικού RS2.

Όρυγμα	Στρώμα μέγιστης παραμόρφωσης	Μέγιστη παραμόρφωση (m)	Τάση (kN/m)	Ελάττωση παραμορφώσεων (%)
1	C4-S1-S2	0,3702	120	29,1
2 (οικοδομή)	C4-S1	0,2963	140	36,5
2 (κτίσμα)	C1-C2-C3	0,1971	40	0
3	C2-C3	0,1520	30	04,4
4	C2-C3	0,1317	30	26,8

Πίνακας 15. Χαρακτηριστικά των παραμορφώσεων που εμφανίζονται σε κάθε όρυγμα κατόπιν εφαρμογής των μέτρων αντιστήριξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τις συνθήκες ευστάθειας και των αναμενόμενων παραμορφώσεων των κατακόρυφων εκσκαφών για την ανέγερση οικοδομής με υπόγειο στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Για την πραγματοποίηση του έργου αυτού, απαιτείται ορθογωνική εκσκαφή βάθους 7 m από το ύψος της διαμορφωμένης επιφάνειας του οικοπέδου.

Η γεωτεχνική έρευνα έδειξε ότι η θέση του έργου δομείται από εδαφικούς σχηματισμούς του Τεταρτογενούς, κυρίως αμμώδους αργιλοϊλύος και ιλυώδους άμμου, μέσης πλαστικότητας και μέσης συνεκτικότητας που προς το βάθος σταδιακά μεταπίπτει σε αμμώδες. Η κλίση των στρωμάτων είναι οριζόντια – υποοριζόντια και η στάθμη των υπόγειων υδάτων βρέθηκε στα 3,1m.

Διεξήχθη ολοκληρωμένο πρόγραμμα επιτόπου και εργαστηριακών δοκιμών κατάταξης και αντοχής των εδαφικών υλικών από το οποίο προέκυψε το γεωτεχνικό προσομοίωμα και οι παράμετροι αντοχής των εδαφικών στρώσεων.

Η ευστάθεια 4 (τεσσάρων) πρανών της εκσκαφής ελέγχθηκε με τη χρήση του λογισμικού Slide2 της εταιρίας RocScience, για περιστροφικές αστοχίες, με τις μεθόδους *Bishop* και *Janbu corrected* για αστράγγιστες συνθήκες χωρίς σεισμική επιβάρυνση

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 ο συντελεστής ασφάλειας θα πρέπει να είναι >1,10. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν δείχνουν αστάθεια των ανυποστήρικτων κατακόρυφων εκσκαφών με συντελεστή ασφάλειας <1 σχεδόν σε όλες τις εκσκαφές.

Εξετάστηκαν οι επιλογές αντιστήριξης των εκσκαφών και επιλέχθηκε η διερεύνηση της αντιστήριξης με πυκνή συστοιχία μικροπασσάλων διαμέτρου 318,3m και βάθους 7 εώς 11,5m οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους με κεφαλόδεσμο και η διαξονική απόστασή τους, όπως και η αντοχή τους κυμαίνεται από 0,6 εώς 1,3 m και 70-350 kN/m^2 αντίστοιχα ανάλογα με το μέγεθος του όμορου φορτίου.

Μετά την εφαρμογή των μέτρων, προέκυψαν επαρκείς συντελεστές ασφάλειας για τις εκσκαφές (>1,1) ενώ οι μέγιστες παραμορφώσεις μεταφέρονται στα βαθύτερα στρώματα και ταυτόχρονα ελαττώνονται σημαντικά.

Οι παραμορφώσεις ελέγχθηκαν με το λογισμικό RS2 της RocScience, κατασκευάσθηκε αρχικά η γεωμετρία του μοντέλου και στην συνέχεια διακριτοποιήθκε σε τριγωνικούς κόμβους, λαμβάνοντας υπόψιν τα όμορα φορτία των οικοδομών και των οδών. Σύμφωνα με τις αναλύσεις, που έγιναν μετά τη δημιουργία του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων, τα μεγέθη των μετακινήσεων κυμαίνονται ανάλογα με το μέγεθος του φορτίου των όμορων κατασκευών – οδών και της απόστασής του από τη στέψη του πρανούς. Οι μέγιστες παραμορφώσεις σε ανυποστήρικτες εκσκαφές επηρεάζουν κυρίως τα

επιφανειακά στρώματα, ενώ μετά την εφαρμογή την μικροπασσάλων οι παραμορφώσεις μειώνονται και μετατοπίζονται προς το βάθος

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΓΦΙΑ

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

AASHO (1961). The classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes. In Standard specifications for highway materials and methods of sampling and testing, 8th ed., Part 1, Specifications, Am. Assoc. State Highway Officials.

Casagrande A. (1948) Classification and Identification of Soils. Transactions of the American Society of Civil Engineers.

Mountrakis D., Sapountzis E. , Kilias A. , Eleftheriadis G. and Christofides G. (1983). Paleogeographic conditions in the western Pelagonian margin in Greece during the initial rifting of the continental area Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.

Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules. ENV 1997-1:1994 E

Bowles E Joseph.. (1982). FOUNDATION ANALYSIS AND DESIGN, RE., S.E

Kalantari Nassaji. (2011). SPT Capability to Estimate Undrained Shear Strength of Fine-Grained Soils of Tehran, Iran

Kauffmann, G., Kockel, F., & Mollat, H, (1976). Notes on the stratigraphic and paleogeographic position of the Svoula Formation in the Innermost Zone of the Hellenides (Northern Greece). Bull. Soc. Geol. France, 18, 225-230.Papazachos B.C,

Kockel, F., Antoniades, P., Ioannides, K., Lalechos, N. 1978a. Geological map of Greece, Thessaloniki sheet, scale 1:50.000. Institute of Geology and Mineral Exploration (I.G.M.E.), Athens, Greece.

Paradisopoulou P.M., Karakostas V.G., Papadimitriou E.E., Tranos M.D., Papazachos C.B., Karakaisis G.F. (2004). “Microearthquake study of the broader Thessaloniki area", 5th Int. Symp. On Eastern Mediterranean Geology, Vol.2, pp. 623-626, Thessaloniki.

Papazachou K. (2003). The earthquakes of Greece. Ziti publications, Thessaloniki, Greece.

Rahman Manzur. (2020). Foundation Design using Standard Penetration Test (SPT) N-value.

Terzaghi K., Peck R. (1948). Soil Mechanics in Engineering Practice.

Terzaghi, K., Peck, R.B., Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y.

Webb, D.L., (1969). "Settlement of Structures on Deep Alluvial Sandy Sediments in Durban, South Africa." Proceedings of the Conference on In Situ Investigations in Soils and Rocks, BGS.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δημόπουλος Γ. (2008). Τεχνική Γεωλογία. Εκδόσεις Κυριακίδη,

Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003).

Ζερβοπούλου Α.Σ, (2010), «Νεοτεκτονικά ρήγματα της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης σε σχέση με τα εδάφη θεμελίωσης», Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ.

Λάμαρης Π. Χάρης . (2011). ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ ΠΡΑΝΩΝ ΕΚΣΚΑΦΗΣ. Δελτίο ΣΠΜΕ Μουντράκης, Δ. (1983). Η γεωλογική δομή της Βόρειας Πελαγονικής ζώνης και η γεωτεκτονική εξέλιξη των Εσωτερικών Ελληνίδων.

Κοκκαλά Ν. Α. (2024). Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση και ταξινόμησή των σχηματισμών του αστικού περιβάλλοντος της Θεσσαλονίκης με τη χρήση γεωτεχνικής βάσης δεδομένων. Έρευνα επί της τεχνικής συμπεριφοράς και εφαρμογές στον σχεδιασμό τεχνικών έργων. Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ

Λεβεντάκης Γ.-Α.Ν., (2003), "Μικροζωνική μελέτη της πόλης της Θεσσαλονίκης", Διδ. Διατρ. Α.Π.Θ.

Μουντράκης Δ.Μ., (2010), «Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας», University Studio Press.

Σαπουντζής Η., 1969 «Πετρογραφία και γεωλογική τοποθέτησις των πράσινων γνευσίων της Θεσσαλονίκης».

Συρίδης Γ.Ε., (1990), «Λιθοστρωματογραφική, βιοστρωματογραφική και παλαιογεωγραφική μελέτη των Νεογενών – Τεταρτογενών ιζηματογενών σχηματισμών της χερσονήσου Χαλκιδικής», Διδ. Διατριβή, Α.Π.Θ

Χατζηγώγος Χ. (2018), «Υπολογισμός αντιστηρίξεων με παρουσία υπόγειου νερού». Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Χρηστάρας Β., Χατζηαγγέλου Μ.(2011). «Απλά βήματα στην εδαφομηχανική», University Studio Press

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ
Εδαφικού Δοκιμίου - *ASTM D2216*

ΕΡΓΟ: "Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη".

ΓΕΩΤΡΗΣΗ: Γ-1	**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 4/1/2024**
ΔΕΙΓΜΑ: 8	**ΒΑΘΟΣ: 4.70-5.00m**

	1
Βάρος υγρού δείγματος και κάψας (gr)	171.61
Βάρος ξηρού δείγματος και κάψας (gr)	157.8
Βάρος κάψας (gr)	108.8
Βάρος νερού (gr)	13.81
Βάρος ξηρού δείγματος (gr)	49
Περιεχόμενη υγρασία (%)	28.18

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ
Εδαφικού Δοκιμίου - *ASTM D2216*

ΕΡΓΟ: "Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη".

ΓΕΩΤΡΗΣΗ: Γ-2	**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 7/1/2024**
ΔΕΙΓΜΑ: 9	**ΒΑΘΟΣ: 5.60-5.90m**

	1
Βάρος υγρού δείγματος και κάψας (gr)	135.95
Βάρος ξηρού δείγματος και κάψας (gr)	117.78
Βάρος κάψας (gr)	52.17
Βάρος νερού (gr)	18.17
Βάρος ξηρού δείγματος (gr)	65.61
Περιεχόμενη υγρασία (%)	27.69

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΣΥΝ. ΕΔΑΦΩΝ
(Με τη χρήση ογκομετρικού σωλήνα) - *AASHTO T 147*

ΕΡΓΟ: "Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη".

ΓΕΩΤΡΗΣΗ: Γ-1	**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 4/1/2024**
ΔΕΙΓΜΑ: 9	**ΒΑΘΟΣ: 6.00-6.10m**

ΣΕ ΔΕΙΓΜΑ ΜΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ:

Ύψος Δοκιμίου, H	2.09	cm
Διάμετρος Δοκιμίου, D	5.01	cm
Πλάτος Δοκιμίου, B		cm
Μήκος Δοκιμίου, L		cm
Ογκος Δείγματος, V	41.17	cm^3
Βάρος δείγματος, G	84.02	gr
Φαινόμενο βάρος, γ=G/V	2.04	gr/cm^3

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΣΥΝ. ΕΔΑΦΩΝ
(Με τη χρήση ογκομετρικού σωλήνα) - *AASHTO T 147*

ΕΡΓΟ: "Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη".

ΓΕΩΤΡΗΣΗ: Γ-2	**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 7/1/2024**
ΔΕΙΓΜΑ: 12	**ΒΑΘΟΣ: 8.00-8.20m**

ΣΕ ΔΕΙΓΜΑ ΜΕ ΜΟΡΦΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΥ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ:

Ύψος Δοκιμίου, H	8.49	cm
Διάμετρος Δοκιμίου, D	3.74	cm
Πλάτος Δοκιμίου, B		cm
Μήκος Δοκιμίου, L		cm
Ογκος Δείγματος, V	93.32	cm^3
Βάρος δείγματος, G	193.78	gr
Φαινόμενο βάρος, γ=G/V	2.08	gr/cm^3

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΑΠΘ)
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Τηλ./Fax: +30-2310-998506, e-mail: nchatzi@geo.auth.gr

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG

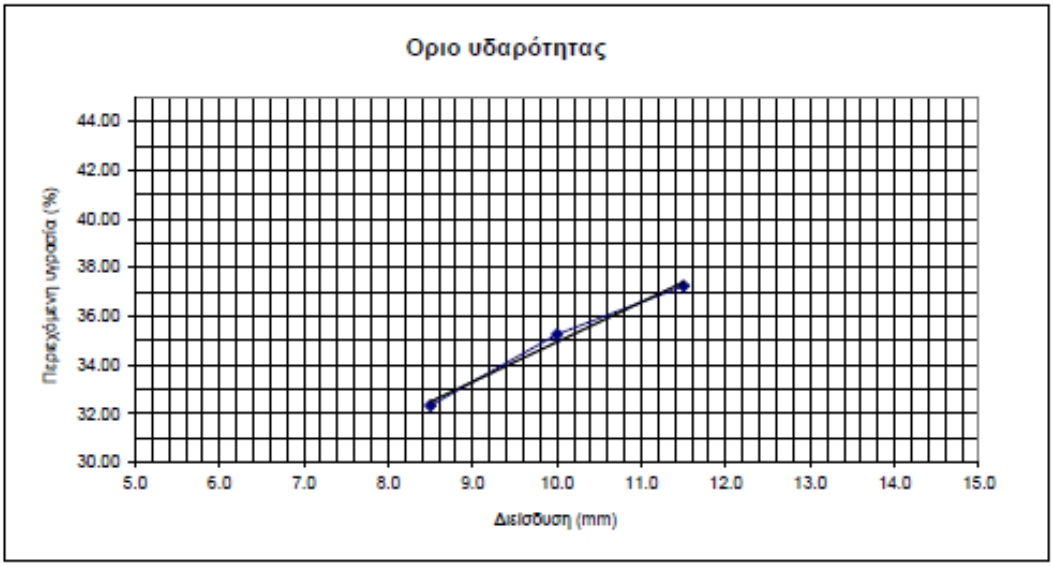
BNQ-2501-092: Sols – Détermination de la limite de liquidité à l' aide du pénétromètre suédois et de la limite de plasticité
ASTM D 4318-83: Standard test method for liquid limit, plastic limit and plasticity index of soils

ΕΡΓΟ: Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη

ΓΕΩΤΡΗΣΗ: Γ-2	**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 10/01/2024**
ΔΕΙΓΜΑ: 7	**ΒΑΘΟΣ: 4.45-4.70m**

	ΔΟΚΙΜΗ		Προσδιορισμός Ορίου Υδαρότητας				Προσδιορισμός Ορίου Πλαστικότητας			
	Αριθμός δοκιμής		1	2	3	4	1	2	3	4
	Αριθμός υποδοχέα									
	Βάθος διείδυσης (mm)		8.5	10	11.5					
A	Βάρος υγρού δείγματος + υποδοχέα	gr	43.180	47.860	47.840		16.010	16.410		
B	Βάρος ξηρού δείγματος + υποδοχέα	gr	39.520	43.520	42.830		15.420	15.780		
Γ	Βάρος ύδατος	gr	3.660	4.340	5.010		0.590	0.630		
Δ	Βάρος υποδοχέα	gr	28.200	31.210	29.380		12.090	12.240		
E	Βάρος ξηρού δείγματος	gr	11.320	12.310	13.450		3.330	3.540		
Z	Περιεχόμενη υγρασία	%	32.33	35.26	37.25		17.72	17.80		

Ορίο υδαρότητας	**LL :**	35 %	Ελέγχθηκε από	
Ορίο πλαστικότητας	**PL :**	18 %	Dr Νικόλαο Χατζηγώγο	
Δείκτης πλαστικότητας	**IP :**	17 %	Υπεύθυνο Εργαστηρίου	



Περιγραφή δείγματος: Αργιλοϊλύς CL

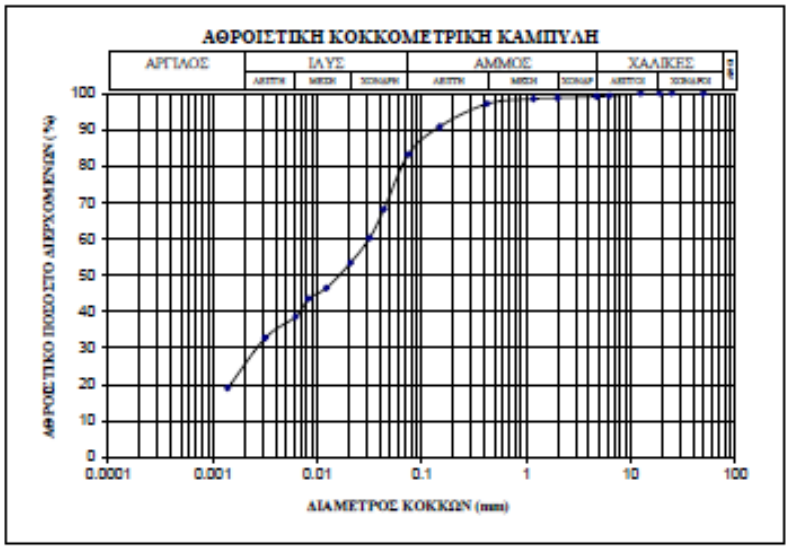
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΑΠΘ)
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Τηλ./Fax: +30-2310-998506, e-mail: nohatzi@geo.auth.gr

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
AASHTO T88 - ASTM D 422-72

ΕΡΓΟ: Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη

ΔΕΙΓΜΑ: Γ1-Δ14	ΒΑΘΟΣ: 8.50-8.95m

Αριθμός κοσκίνου	Άνοιγμα κοσκίνου mm	Συγκρατούμενο βάρος gr	Συγκρατούμενο βάρος %	Διερχόμενο βάρος gr	Διερχόμενο βάρος %
2 in.	50	0	0.00	50.650	100.00
1 in.	25	0	0.00	50.650	100.00
3/4 in.	19	0	0.00	50.650	100.00
1/2 in.	12.5	0	0.00	50.650	100.00
3/8 in.	6.3	0.35	0.69	50.300	99.31
No. 4	4.75	0.1	0.20	50.200	99.11
No. 10	2	0.2	0.39	50.000	98.72
No. 16	1.18	0.12	0.24	49.880	98.48
No. 40	0.425	0.7	1.38	49.180	97.10
No. 100	0.15	3.15	6.22	46.030	90.88
No. 200	0.075	3.89	7.68	42.140	83.20
	0.0438	7.62	15.05	34.52	68.15
	0.0320	3.99	7.88	30.53	60.27
	0.0209	3.49	6.89	27.03	53.38
	0.0123	3.49	6.89	23.54	46.48
	0.0083	1.50	2.95	22.05	43.53
	0.0063	2.49	4.92	19.55	38.60
	0.0032	2.99	5.91	16.56	32.70
	0.0014	6.98	13.79	9.58	18.91
		9.58	18.91		
		50.650	100.00		



Αργιλοϊλύς CI

Ελέγχθηκε από:
Dr Νικόλαο Χατζηγώγο
Υπεύθυνος Εργαστηρίου

Κοκκομετρία κατά ASTM D2487			
Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Άργιλλος
0.89	15.91	59.64	23.55

FINES (F)	D60	D10	D30	Cu	Cc
83.20	0.03	0.001	0.0026	30.00	0.23

PLASTICITY		
LL	PL	PI
43	19	24

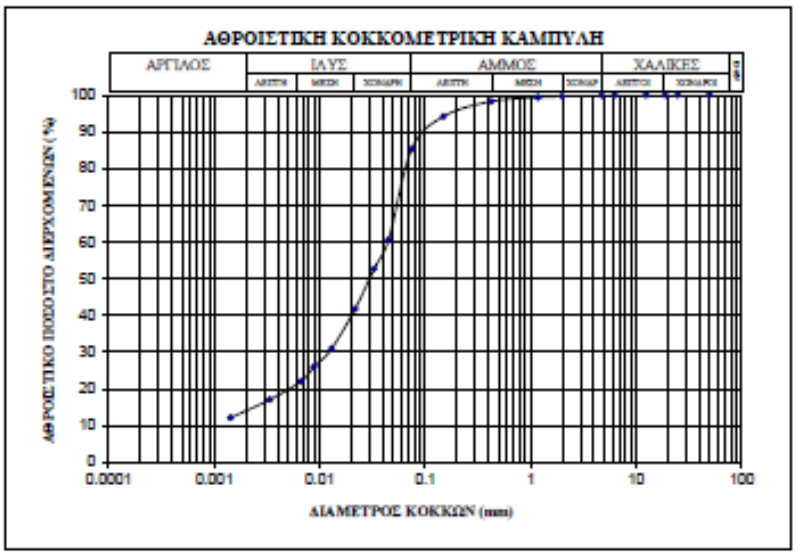
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΑΠΘ)
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Τηλ./Fax: +30-2310-998508, e-mail: nohatzi@geo.auth.gr

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
AASHTO T88 - ASTM D 422-72

ΕΡΓΟ: Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη

ΔΕΙΓΜΑ: Γ2-Δ7	ΒΑΘΟΣ: 4.45-4.70m

Αριθμός κοσκίνου	Άνοιγμα κοσκίνου mm	Συγκρατούμενο βάρος gr	Συγκρατούμενο βάρος %	Διερχόμενο βάρος gr	Διερχόμενο βάρος %
2 in.	50	0	0.00	50.400	100.00
1 in.	25	0	0.00	50.400	100.00
3/4 in.	19	0	0.00	50.400	100.00
1/2 in.	12.5	0	0.00	50.400	100.00
3/8 in.	6.3	0	0.00	50.400	100.00
No. 4	4.75	0.03	0.06	50.370	99.94
No. 10	2	0.11	0.22	50.260	99.72
No. 16	1.18	0.15	0.30	50.110	99.42
No. 40	0.425	0.56	1.11	49.550	98.31
No. 100	0.15	2.08	4.13	47.470	94.19
No. 200	0.075	4.49	8.91	42.980	85.28
	0.0452	12.47	24.74	30.51	60.53
	0.0330	3.99	7.91	26.52	52.62
	0.0218	5.48	10.88	21.04	41.74
	0.0130	5.48	10.88	15.55	30.86
	0.0089	2.49	4.95	13.06	25.91
	0.0067	1.99	3.96	11.07	21.96
	0.0034	2.49	4.95	8.57	17.01
	0.0014	2.49	4.95	6.08	12.07
		6.08	12.07		
		50.400	100.00		



Αμμώδης Άργιλος CL

Ελέγχθηκε από:
Dr Νικόλαο Χατζηγώγο
Υπεύθυνος Εργαστηρίου

Κοκκομετρία κατά ASTM D2487			
Χαλίκια	Άμμος	Ιλύς	Άργιλλος
0.06	14.66	71.77	13.50

FINES (F)	D60	D10	D30	Cu	Cc
85.28	0.045	0.001	0.013	45.00	3.76

PLASTICITY		
LL	PL	PI
35	18	17

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΑΠΘ)
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Τηλ./Fax: +30-2310-998506, e-mail: nchatzi@geo.auth.gr

ΕΡΓΟ: "Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη"

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: **Γ-1 4.70-5.00m**

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ: ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Χαρακτηρισμός Δοκιμίου και Υπολογισμοί

Δοκίμιο: Αριθμ. Συσκευής:

Διαστάσεις συσκευής: Ύψος (mm):	19.1	Διάμετρ.:	75.2	mm	Επιφ/εια Α:	4439.2	mm^2
Ειδικό βάρος εδάφους γ_s:	2.65	Φαινόμενο βάρος γ:		2.00		t/m^3	

Παρατηρήσεις

Μέση υδροπερατότητα: 8.93E-08 cm/sec

Βάρος συσκευής + υγρού εδάφους:	W =	288.3	gr	Υγρασία %	Πριν τη δοκιμή	Μετά τη δοκιμή
Βάρος συσκευής:	W_U =	118.8	gr			
Βάρος υγρού δείγματος:	W_S =	169.48	gr	Αριθμ. κάψας		
Βάρος ξηρού δείγματος:	W_T =	130.86	gr	Κάψα + Υγρό βάρος	171.61	273.36
R_1= συσκευή μετά τύπου 30 mm			gr	Κάψα + Ξηρό βάρος	157.8	239.74
R_2= συσκευή χωρίς φορτίο			gr	Βάρος νερού	13.81	33.62
R_3= συσκευή με φορτίο		kg/cm^2	gr	Βάρος κάψας	108.79	108.88
H_0= αρχικό ύψος δοκιμίου		19.1	mm	Βάρος ξηρού δείγμ.	49.01	130.86
H_s= ισοδύναμο ύψος κόκκων		11.12	mm	**m %**	**28.18**	**25.69**

Πίεση kPa	Τελική ανάγνωση R (mm)	Υποχώρ. σε 0.0001 (ΔR)	H=Ho-ΔR	Διάκενα H_o-H_s	Λόγ. κεν. $e = \frac{H - Hs}{Hs}$	Ξηρό φαινόμενο βάρος t/m^3	Cc	C_v (cm^2/sec) $x10^{-4}$
0			19.1	7.976	0.717	1.54		
90	1.27		17.83	6.706	0.603	1.65	0.120	2.09
180	1.78		17.32	6.196	0.557	1.70	0.152	2.23
360	2.385		16.715	5.591	0.503	1.76	0.181	1.84
0	1.51		17.59	6.466	0.581	1.68	-0.051	0.81

	Αρχική κατάστ.	Τελική κατάσταση
Ξηρό φαινόμενο βάρος γ_d (t/m^3)	1.543	1.676
Συνολικό ύψος H (mm)	19.1	17.59
Ύψος κόκκων H_s (mm)	11.12	11.12
Ύψος νερού H_w (mm)	0.8306	0.7573
Ύψος αέρα H_a (mm)	7.1455	5.7088
Περιεχόμενη υγρασία m (%)	28.18	25.69
Βαθμός κορεσμού S (%)	104.1	117.1

Ελέγχθηκε από

Dr Νικόλαο Χατζηγώγο
Υπεύθυνος Εργαστηρίου

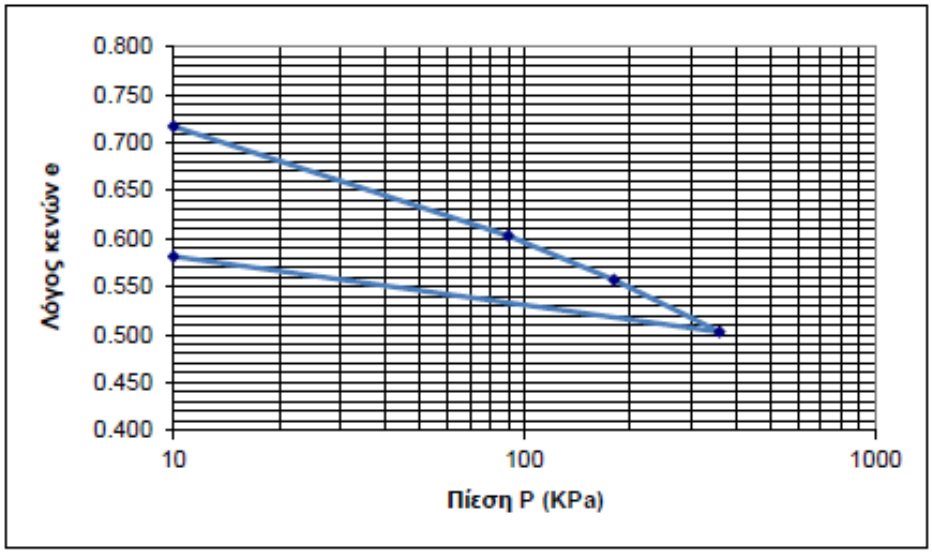
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΑΠΘ)
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Τηλ./Fax: +30-2310-998506, e-mail: nchatzi@geo.auth.gr

ΔΕΙΓΜΑ Γ-1

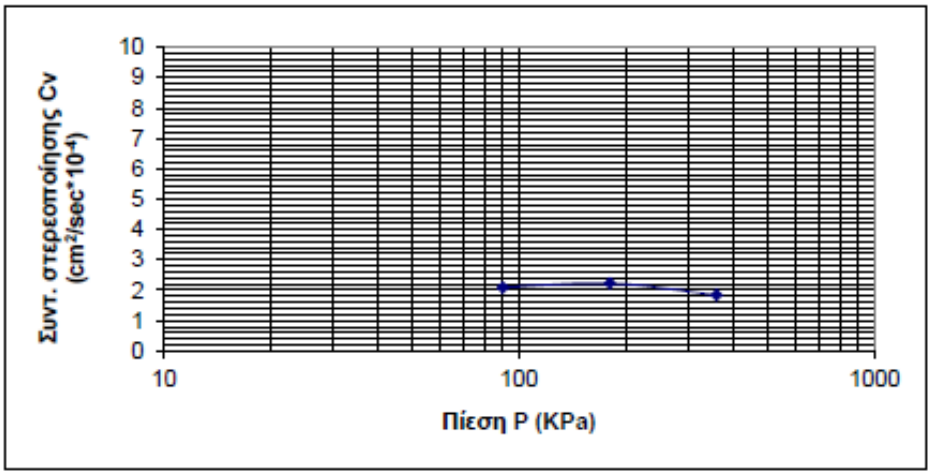
ΒΑΘΟΣ 4.70-5.00m

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Α. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΟΓΟΥ ΚΕΝΩΝ - ΦΟΡΤΙΣΗΣ

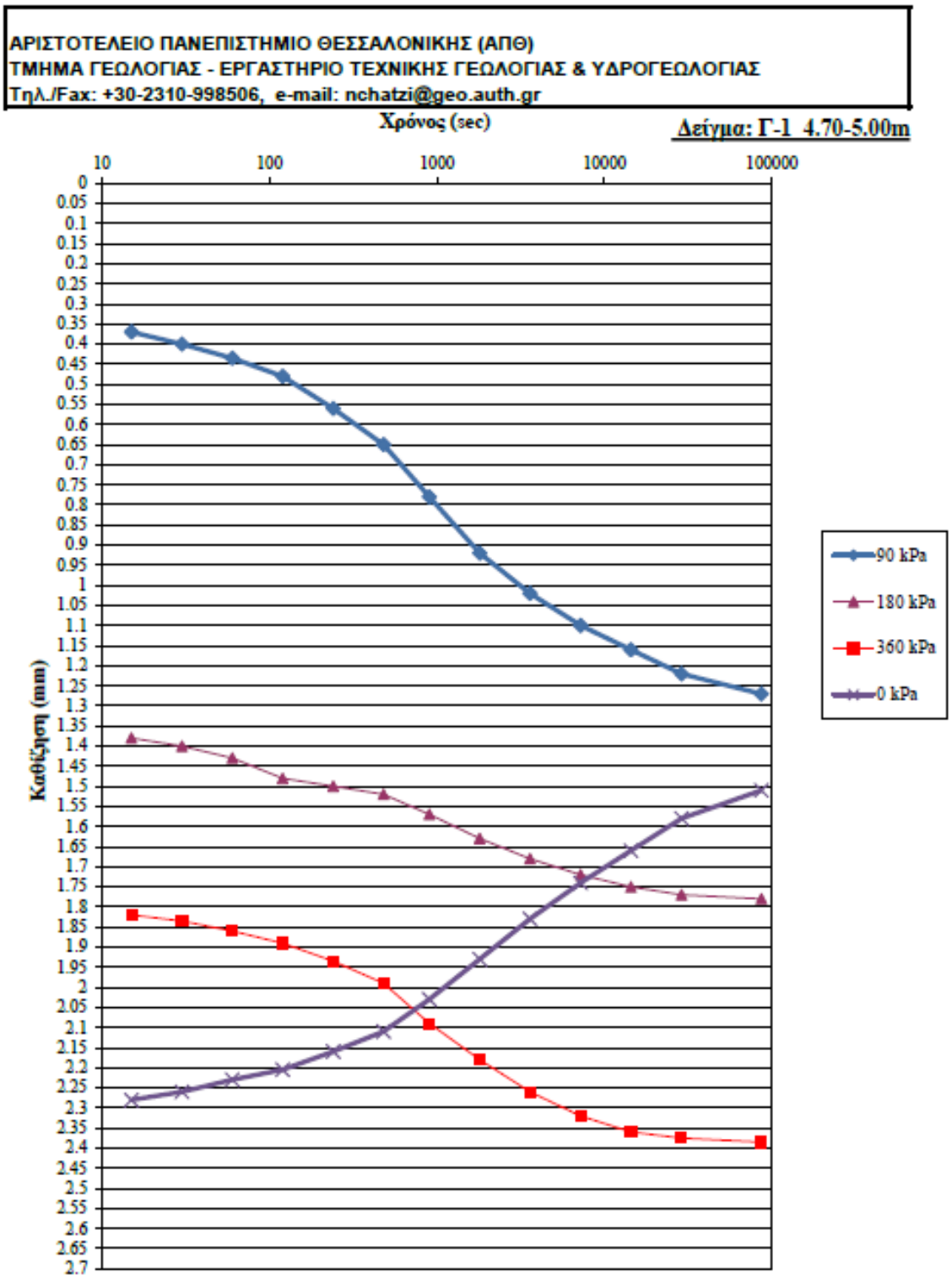


Β. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΦΟΡΤΙΣΗΣ



Ελέγχθηκε από

Dr Νικόλαο Χατζηγώγο
Υπεύθυνος Εργαστηρίου



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΑΠΘ)
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Τηλ./Fax: +30-2310-998506, e-mail: nchatzi@geo.auth.gr

ΕΡΓΟ: "Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη"

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ: **Γ-1 9.50-9.80m**

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ: ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Χαρακτηρισμός Δοκιμίου και Υπολογισμοί

Δοκίμιο: Αριθμ. Συσκευής:

Διαστάσεις συσκευής: Ύψος (mm):	19.1	Διάμετρ.:	75.2	mm	Επιφ/εια A:	4439.2	mm^2
Ειδικό βάρος εδάφους γ_s:	2.65	Φαινόμενο βάρος γ:		2.03		t/m^3	

Παρατηρήσεις

Μέση υδροπερατότητα: 1.18E-07 cm/sec

Βάρος συσκευής + υγρού εδάφους:	W =	291.5	gr
Βάρος συσκευής:	W_U =	119.07	gr
Βάρος υγρού δείγματος:	W_S =	172.43	gr
Βάρος ξηρού δείγματος:	W_T =	138.28	gr
R_1 = συσκευή μετά τύπου 30 mm			gr
R_2 = συσκευή χωρίς φορτίο			gr
R_3 = συσκευή με φορτίο		kg/cm^2	gr
H_o = αρχικό ύψος δοκιμίου		19.1	mm
H_s = ισοδύναμο ύψος κόκκων		11.75	mm

Υγρασία %	Πριν τη δοκιμή	Μετά τη δοκιμή
Αριθμ. κάψας		
Κάψα + Υγρό βάρος	119.88	260.26
Κάψα + Ξηρό βάρος	106.04	234.15
Βάρος νερού	13.84	26.11
Βάρος κάψας	52.84	95.87
Βάρος ξηρού δείγμ.	53.2	138.28
m %	**26.02**	**18.88**

Πίεση kPa	Τελική ανάγνωση R (mm)	Υποχώρ. σε 0.0001 (ΔR)	H=Ho-ΔR	Διάκενα H_o-H_s	Λόγ. κεν. $e = \frac{H - H_s}{H_s}$	Ξηρό φαινόμενο βάρος t/m^3	Cc	C_V (cm^2/sec) x10^{-4}
0			19.1	7.345	0.625	1.63		
180	1.894		17.206	5.451	0.464	1.81	0.128	4.97
360	2.396		16.704	4.949	0.421	1.86	0.142	2.46
720	2.944		16.156	4.401	0.374	1.93	0.155	2.68
0	2.22		16.88	5.125	0.436	1.85	-0.033	1.07

	Αρχική κατάστ.	Τελική κατάσταση
Ξηρό φαινόμενο βάρος γ_d (t/m^3)	1.631	1.845
Συνολικό ύψος H (mm)	19.1	16.88
Ύψος κόκκων H_s (mm)	11.75	11.75
Ύψος νερού H_w (mm)	0.8104	0.5882
Ύψος αέρα H_a (mm)	6.5350	4.5372
Περιεχόμενη υγρασία m (%)	26.02	18.88
Βαθμός κορεσμού S (%)	110.3	114.8

Ελέγχθηκε από

Dr Νικόλαο Χατζηγώγο

Υπεύθυνος Εργαστηρίου

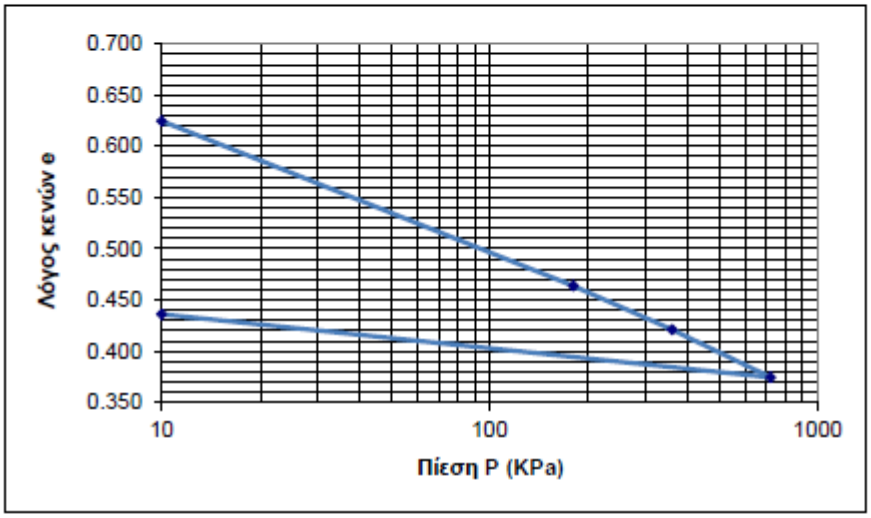
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΑΠΘ)
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Τηλ./Fax: +30-2310-998506, e-mail: nchatzi@geo.auth.gr

ΔΕΙΓΜΑ Γ-1

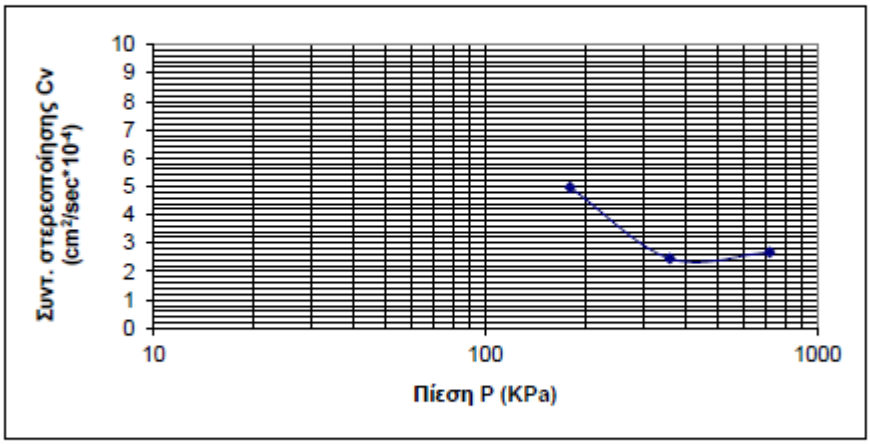
ΒΑΘΟΣ 9.50-9.80m

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Α. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΛΟΓΟΥ ΚΕΝΩΝ - ΦΟΡΤΙΣΗΣ

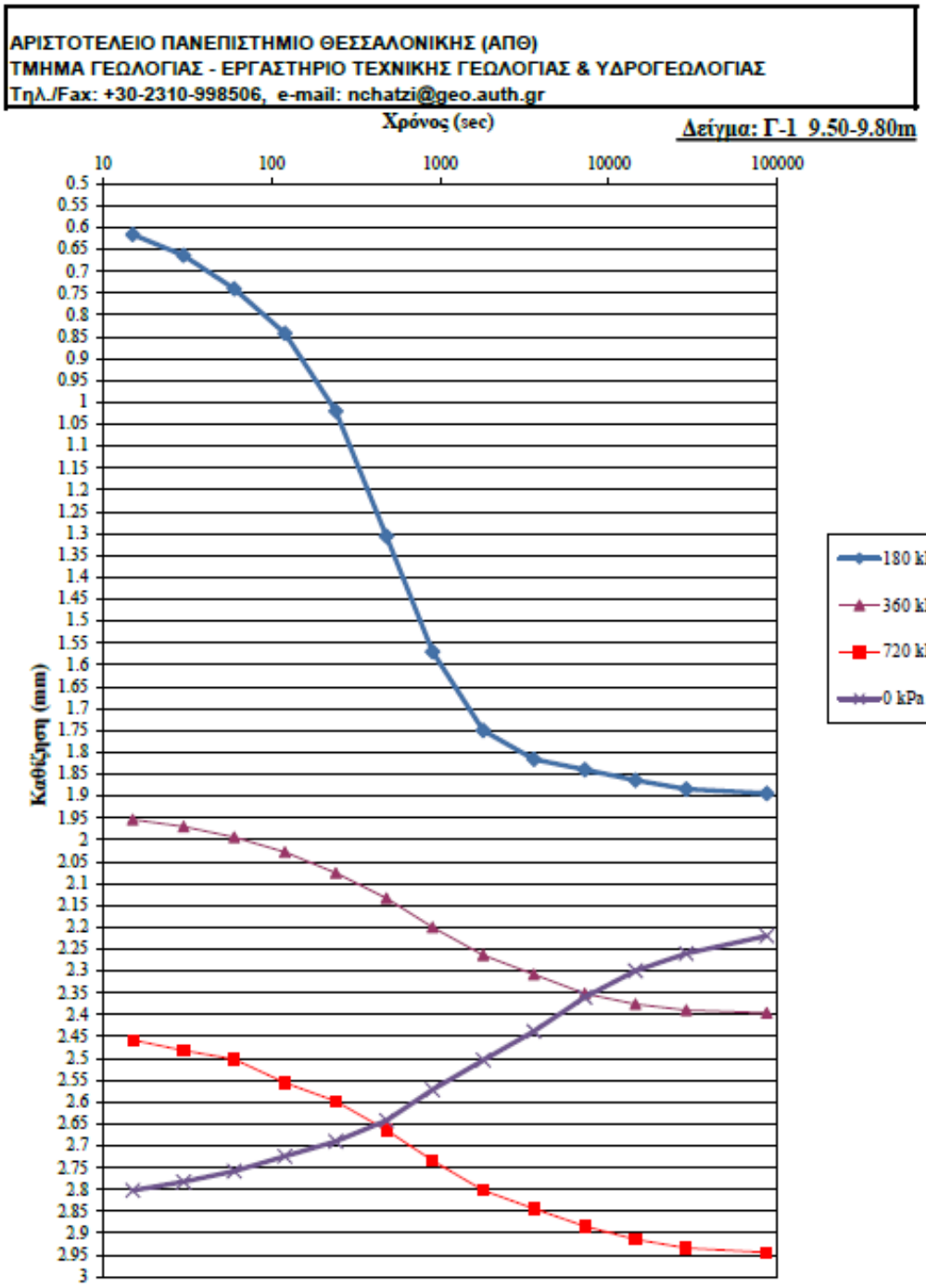


Β. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ - ΦΟΡΤΙΣΗΣ



Ελέγχθηκε από

Dr Νικόλαο Χατζηγώγο
Υπεύθυνος Εργαστηρίου



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΑΠΘ)
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Τηλ./Fax: +30-2310-998506, e-mail: nchatzi@geo.auth.gr

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗ ΘΛΙΨΗ
Εδαφικού Δοκιμίου
ΕΔΑΦ Ε.105-86 (14), AASHTO T 208, ASTM D 2166-66

ΕΡΓΟ: **"Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη"**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ: Γ-1	**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 05/01/2024**
ΔΕΙΓΜΑ: 15	**ΒΑΘΟΣ (m) : 10.20-10.50m**

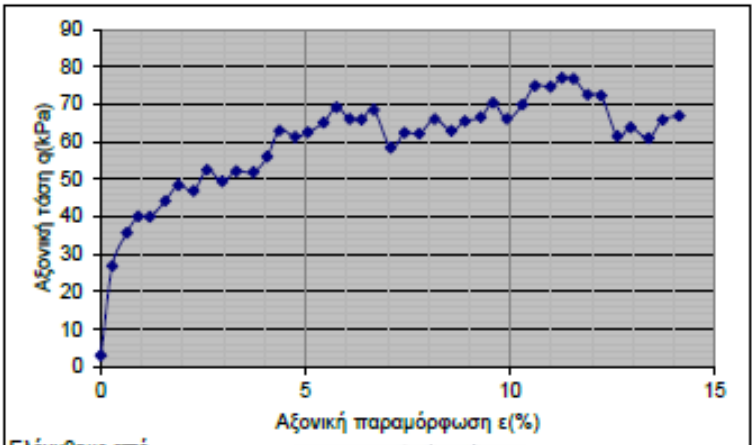
Στοιχεία Δοκιμίου :

Διάμετρος		Υψος		Επιφάνεια		Ανηγμένη επιφ.		Βάρος	
1.D (mm) =	37.54	L (mm) =	95.6	S_o (cm^2) =	11.06	S (cm^2) =	12.46	W (gr):	219.87
2.D (mm) =		L (mm) =		S_o (cm^2) =		S (cm^2) =		W (gr):	
3.D (mm) =		L (mm) =		S_o (cm^2) =		S (cm^2) =		W (gr):	

	Παραμ. ΔL (mm)	Αξον.παρ. ε_a=ΔL/L (%)	Φορτίο θραύσης P (N)	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη q_u (kPa)	Φαινόμενο βάρος γ (t/m^3)	Ξηρό φαιν. βαρ. γ_d (t/m^3)	Περιεχόμενη υγρασία (%)
1	10.77	11.27	96.0	77.0	2.08	1.65	26.02
2							
3							
M.O.							

Περιγραφή δείγματος: ***Αργιλοϊλύς***

Παρατηρήσεις : ***Διατμητική Θραύση***



Ελέγχθηκε από

Dr Νικόλαο Χατζηγώγο
Υπεύθυνος Εργαστηρίου

Ανεμπόδιστη θλίψη-Γ1_Δ15

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΑΠΘ)
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Τηλ./Fax: +30-2310-998506, e-mail: nchatzi@geo.auth.gr

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗ ΘΛΙΨΗ
Εδαφικού Δοκιμίου
ΕΔΑΦ Ε.105-86 (14), AASHTO T 208, ASTM D 2166-66

ΕΡΓΟ: **"Γεωτεχνική έρευνα-μελέτη στα πλαίσια ανέγερσης νέων οικοδομών επί της οδών Βασ. Όλγας και Μαρτίου στη Θεσσαλονίκη"**

ΓΕΩΤΡΗΣΗ: Γ-2	**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 23/01/2024**
ΔΕΙΓΜΑ: 14	**ΒΑΘΟΣ (m) : 8.50-8.95m**

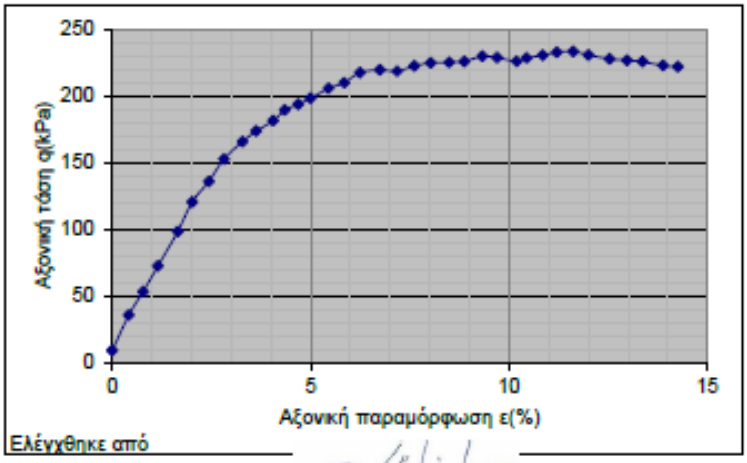
Στοιχεία Δοκιμίου :

Διάμετρος		Ύψος		Επιφάνεια		Ανηγμένη επιφ.		Βάρος	
1.D (mm) =	34.42	L (mm) =	79.16	S_o (cm^2) =	9.30	S (cm^2) =	10.52	W (gr):	145.36
2.D (mm) =		L (mm) =		S_o (cm^2) =		S (cm^2) =		W (gr):	
3.D (mm) =		L (mm) =		S_o (cm^2) =		S (cm^2) =		W (gr):	

	Παραμ. ΔL (mm)	Αξον.παρ. ε_a=ΔL/L (%)	Φορτίο θραύσης P (N)	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη q_u (kPa)	Φαινόμενο βάρος γ (t/m^3)	Ξηρό φαιν. βαρ. γ_d (t/m^3)	Περιεχόμενη υγρασία (%)
1	9.20	11.62	245.1	233.0	1.97	1.59	24.44
2							
3							
Μ.Ο.							

Περιγραφή δείγματος: ***Αργιλοϊλύς***

Παρατηρήσεις : *Διατμητική Θραύση*



Ελέγχθηκε από

Dr Νικόλαο Χατζηγώγο
Υπεύθυνος Εργαστηρίου

Ανεμπόδιστη θλίψη-Γ2_Δ14

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (Α.Π.Θ.) ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ- ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ASTM D 3080, BS 1377

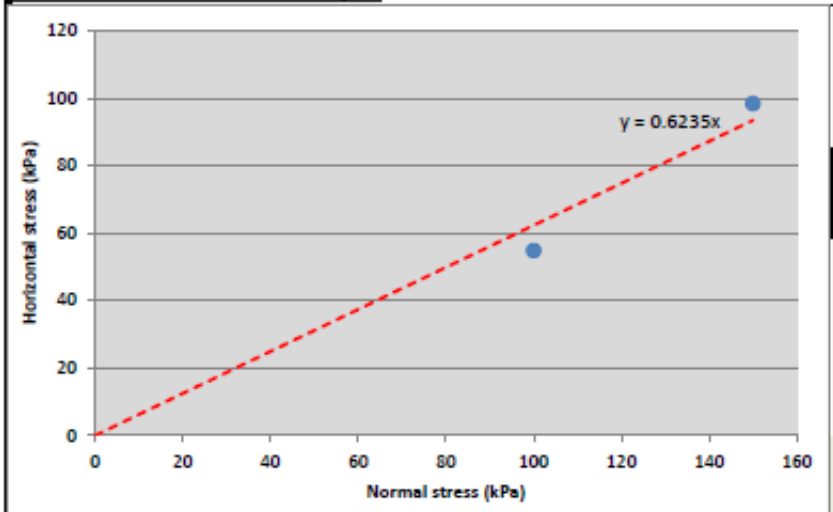
SHEAR TEST ASTM D 3080, BS 1377

Γεώτρηση (Borehole) :	Γ1	**Ημερομηνία (Date):**	22/12/23
Δείγμα (Sample):	17	**Βάθος (Depth) m:**	12.00-12.30

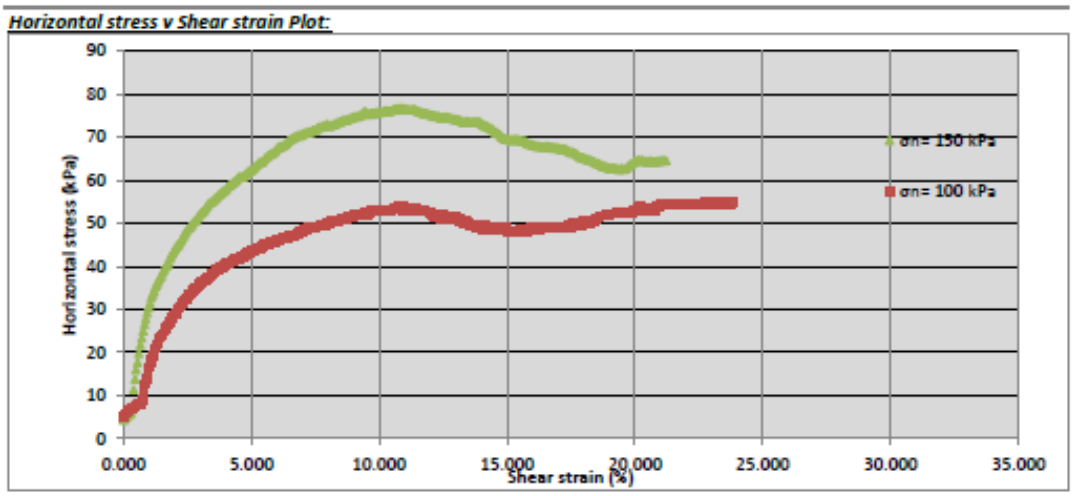
Sample data :

Αριθμός Δοκιμής Test No		1	2	3
Moisture content	%		18.90	17.50
Wet Bulk density	kN/m^3		21.00	21.30
Dry Bulk Density	kN/m^3		17.66	18.13
Void ratio			0.50	0.46
Saturation	%		100.09	100.41
Specific Gravity			26.5	26.5
Failure Measurements :				
Normal stress	kN/m^3	50	100	150
Horizontal stress	kN/m^3		54.91	98.49
Pore Pressure	kN/m^3		N/A	N/A
Strain	%		22.94	10.83

Horizontal stress v Normal stress plot



Results:	
ϕ (°)=	31.94
c=	0



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (Α.Π.Θ.) ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ- ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ASTM D 3080, BS 1377

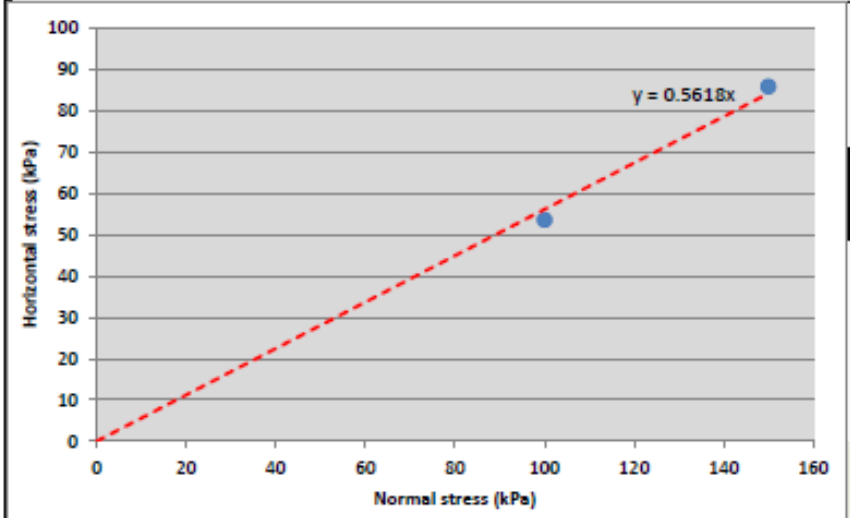
SHEAR TEST ASTM D 3080, BS 1377

Γεώτρηση (Borehole) :	Γ2	**Ημερομηνία (Date):**	30/1/24
Δείγμα (Sample):	22	**Βάθος (Depth) m:**	3.10-3.30

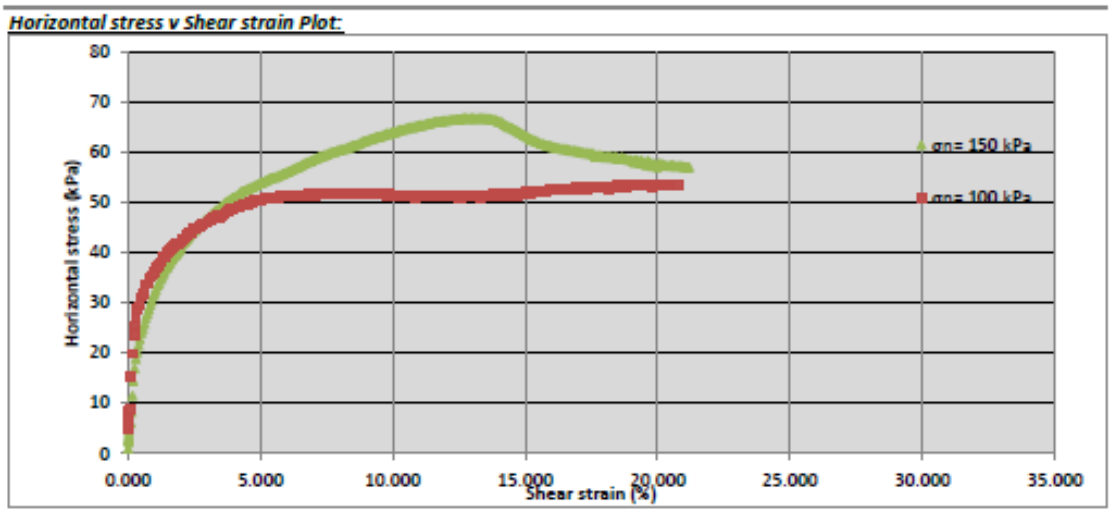
Sample data :

Αριθμός Δοκιμής Test No		1	2	3
Moisture content	%		15.10	13.80
Wet Bulk density	kN/m^3		21.80	22.10
Dry Bulk Density	kN/m^3		18.94	19.42
Void ratio			0.40	0.36
Saturation	%		100.25	100.31
Specific Gravity			26.5	26.5
Failure Measurements :				
Normal stress	kN/m^3	50	100	150
Horizontal stress	kN/m^3		53.65	85.96
Pore Pressure	kN/m^3		N/A	N/A
Strain	%		20.8	13.35

Horizontal stress v Normal stress plot



Results:	
ϕ (°)=	29.33
c=	0



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ

ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ1

ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ2

ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ1

ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ2

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ

ΠΡΑΝΕΣ 1

Slide2 Analysis Information

SLOPE 1 ANALYSIS

General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	days
Permeability Units:	meters/second
Data Output:	Standard
Failure Direction:	Left to Right

SLOPE 1 ANALYSIS Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Analysis Options

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
	Janbu simplified
	Janbu corrected
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75
Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Minimum FS during iteration:	0.1
Steffensen Iteration:	Yes
Eliminate vertical segments in non-circular search	Yes

SLOPE 1 ANALYSIS Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]:	9.81
Advanced Groundwater Method:	None

SLOPE 1 ANALYSIS Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

SLOPE 1 ANALYSIS Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Auto Refine Search
Divisions along slope:	20
Circles per division:	10
Number of iterations:	10
Divisions to use in next iteration:	50%
Composite Surfaces:	Disabled
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

SLOPE 1 ANALYSIS Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Loading

1 Distributed Load present

Distributed Load 1	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	120
Orientation:	Normal to boundary

SLOPE 1 ANALYSIS Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Materials

F2	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	20.15 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	58.83 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

C1	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	20.69 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	58.83 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

C2	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	20.6 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	11.76 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

C3	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	19.86 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	35.3 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

SLOPE 1 ANALYSIS

Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

C4	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	20.65 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	35.3 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

S1	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	21.87 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	29.41 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

S2	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	20 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	94.14 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	0.170891
Center:	39.470, 6.287
Radius:	14.912
Left Slip Surface Endpoint:	28.219, -3.500
Right Slip Surface Endpoint:	30.000, -5.232
Left Slope Intercept:	28.219 -3.500
Right Slope Intercept:	30.000 -3.500
Resisting Moment:	436.208 kN-m
Driving Moment:	2552.56 kN-m
Total Slice Area:	1.62854 m2
Surface Horizontal Width:	1.78112 m
Surface Average Height:	0.914338 m

Method: janbu simplified

FS	0.171776
Center:	41.133, 9.110
Radius:	18.081
Left Slip Surface Endpoint:	28.175, -3.500
Right Slip Surface Endpoint:	30.000, -5.137
Left Slope Intercept:	28.175 -3.500
Right Slope Intercept:	30.000 -3.500
Resisting Horizontal Force:	21.4615 kN
Driving Horizontal Force:	124.939 kN
Total Slice Area:	1.56164 m2
Surface Horizontal Width:	1.82496 m
Surface Average Height:	0.855714 m

Method: janbu corrected

FS	0.173739
Center:	41.133, 9.110
Radius:	18.081
Left Slip Surface Endpoint:	28.175, -3.500
Right Slip Surface Endpoint:	30.000, -5.137
Left Slope Intercept:	28.175 -3.500
Right Slope Intercept:	30.000 -3.500
Resisting Horizontal Force:	21.7068 kN
Driving Horizontal Force:	124.939 kN
Total Slice Area:	1.56164 m2
Surface Horizontal Width:	1.82496 m
Surface Average Height:	0.855714 m

Global Minimum Support Data

No Supports Present

Valid and Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	2410
Number of Invalid Surfaces:	0

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces:	1713
Number of Invalid Surfaces:	697

Error Codes

Error Code -108 reported for 1 surface
Error Code -111 reported for 13 surfaces
Error Code -200 reported for 683 surfaces

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces:	1713
Number of Invalid Surfaces:	697

Error Codes

Error Code -108 reported for 1 surface
Error Code -111 reported for 13 surfaces
Error Code -200 reported for 683 surfaces

Error Code Descriptions

The following errors were encountered during the computation:
-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
-111 = Safety factor equation did not converge
-200 = Factor of Safety <= min iteration value. Could mean 0 Normal/Shear resistance along part of the slip surface

ΠΡΑΝΕΣ 1 ΜΕ ΜΙΚΡΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ

Slide2 Analysis Information

SLOPE 1 ANALYSIS SUPPORTED

General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	days
Permeability Units:	meters/second
Data Output:	Standard
Failure Direction:	Left to Right

SLOPE 1 ANALYSIS SUPPORTED — Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Analysis Options

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
	Janbu simplified
	Janbu corrected
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75
Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Minimum FS during iteration:	0.1
Steffensen Iteration:	Yes
Eliminate vertical segments in non-circular search	Yes

SLOPE 1 ANALYSIS SUPPORTED Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]:	9.81
Advanced Groundwater Method:	None

SLOPE 1 ANALYSIS SUPPORTED Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

SLOPE 1 ANALYSIS SUPPORTED Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Auto Refine Search
Divisions along slope:	20
Circles per division:	10
Number of iterations:	10
Divisions to use in next iteration:	50%
Composite Surfaces:	Disabled
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Seismic Loading

Advanced seismic analysis:	No
Staged pseudostatic analysis:	No

SLOPE 1 ANALYSIS SUPPORTED Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Loading

1 Distributed Load present

Distributed Load 1	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	120
Orientation:	Normal to boundary

Materials

F2	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	20.15 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	58.83 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

C1	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	20.69 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	58.83 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

C2	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	20.6 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	11.76 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

C3	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	19.86 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	35.3 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

C4	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	20.65 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	35.3 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

S1	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	21.87 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	29.41 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

S2	
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight	20 kN/m3
Cohesion Type	Constant
Cohesion	94.14 kPa
Water Surface	Piezometric Line 1
Hu Type	Automatically Calculated
Specify alternate strength type above water surface	No

SLOPE 1 ANALYSIS SUPPORTED Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Support

Support 1	
Color	
Type	Pile/Micro Pile
Force Application	Passive (Method B)
Force Orientation	Perpendicular to pile
Out-Of-Plane Spacing	0.8 m
Failure Mode	Shear
Pile Shear Strength	310 kN

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.109140
Center:	29.945, 1.003
Radius:	15.754
Left Slip Surface Endpoint:	14.849, -3.500
Right Slip Surface Endpoint:	43.515, -7.000
Resisting Moment:	23319.3 kN-m
Driving Moment:	21024.7 kN-m
Total Slice Area:	199.513 m2
Surface Horizontal Width:	28.6665 m
Surface Average Height:	6.95981 m

Method: janbu simplified

FS	0.929702
Center:	29.945, 1.003
Radius:	15.754
Left Slip Surface Endpoint:	14.849, -3.500
Right Slip Surface Endpoint:	43.515, -7.000
Resisting Horizontal Force:	1241.1 kN
Driving Horizontal Force:	1334.94 kN
Total Slice Area:	199.513 m2
Surface Horizontal Width:	28.6665 m
Surface Average Height:	6.95981 m

Method: janbu corrected

FS	1.043460
Center:	29.945, 1.003
Radius:	15.754
Left Slip Surface Endpoint:	14.849, -3.500
Right Slip Surface Endpoint:	43.515, -7.000
Resisting Horizontal Force:	1392.96 kN
Driving Horizontal Force:	1334.94 kN
Total Slice Area:	199.513 m2
Surface Horizontal Width:	28.6665 m
Surface Average Height:	6.95981 m

Global Minimum Support Data

Method: bishop simplified

Number of Supports: 1

Support 1

Support Type: Pile/Micro Pile

Start (x, y)	Length (m)	L Inside SS (m)	L Outside SS (m)	Li (m)	Lo (m)	Force (kN)
30, -3.5	11.25	Not Effective	Not Effective	Not Effective	Not Effective	0

Method: janbu simplified

Number of Supports: 1

Support 1

Support Type: Pile/Micro Pile

Start (x, y)	Length (m)	L Inside SS (m)	L Outside SS (m)	Li (m)	Lo (m)	Force (kN)
30, -3.5	11.25	Not Effective	Not Effective	Not Effective	Not Effective	0

Method: janbu corrected

Number of Supports: 1

Support 1

Support Type: Pile/Micro Pile

Start (x, y)	Length (m)	L Inside SS (m)	L Outside SS (m)	Li (m)	Lo (m)	Force (kN)
30, -3.5	11.25	Not Effective	Not Effective	Not Effective	Not Effective	0

SLOPE 1 ANALYSIS SUPPORTED Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Valid and Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 3853
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 3853
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: janbu corrected

Number of Valid Surfaces: 3853
Number of Invalid Surfaces: 0

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

ΔΙΑΤΟΜΗ 1

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez

RS2 Analysis Information

General Settings

Number of Stages:	2
Analysis Type:	Plane Strain
Solver Type:	Gaussian Elimination
Units:	Metric, stress as kPa
Permeability Units:	meters/second
Time Units:	seconds

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Analysis Options

Maximum Number of Iterations:	500
Tolerance:	0.001
Number of Load Steps:	Automatic
Convergence Type:	Comprehensive
Tensile Failure:	Reduces Shear Strength

Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Groundwater Analysis

Method:	Static
Pore Fluid Unit Weight:	9.81 kN/m3
Grid Interpolation:	Modified Chugh
Probability:	None

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Field Stress

Field stress:	Gravity
Ground surface elevation:	-0.8 m
Unit weight of overburden:	0.02 kN/m3
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane):	0.5
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane):	0.5
Locked-in horizontal stress (in-plane):	0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane):	0

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Mesh

Mesh type:	Graded	
Element type:	6 Noded triangles	
Stage Name	**# of Elements**	**# of Nodes**
1. Starting Stage	1231	2568
2. Excavation	466	1045

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Mesh Quality

All elements are of good quality

Poor quality elements defined as:

Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
Minimum interior angle < 2.0 degrees
Maximum interior angle > 175.0 degrees

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Areas of Excavated and Filled Elements

2. Excavation

Material:	C1 103.091 m2
Material:	C2 91.438 m2
Material:	C3 90.671 m2

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

Excavation Area: 285.200 m2
Excavation Perimeter: 104.400 m
External Boundary Area: 1239.263 m2
External Boundary Perimeter: 214.200 m

1. Starting Stage

Excavation Area: 285.202 m2 (0.00200906 m2 change from original area)
Excavation Perimeter: 104.305 m (-0.09547 m change from original perimeter)
External Boundary Area: 1239.268 m2 (0.00527471 m2 change from original area)
External Boundary Perimeter: 214.267 m (0.066905 m change from original perimeter)
Volume Loss to Excavation: -0.00184948 %

2. Excavation

Excavation Area: 277.767 m2 (-7.43302 m2 change from original area)
Excavation Perimeter: 103.873 m (-0.527425 m change from original perimeter)
External Boundary Area: 1231.722 m2 (-7.54055 m2 change from original area)
External Boundary Perimeter: 214.679 m (0.479334 m change from original perimeter)
Volume Loss to Excavation: 2.64395 %

Material Properties

F2

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	20.15 kN/m3
Porosity Value	0.323401
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	4800 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	58.83 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

C1

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	20.69 kN/m3
Porosity Value	0.328669
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	2680 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	58.83 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

C2

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	20.6 kN/m3
Porosity Value	0.362009
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	2400 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	11.76 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

C3

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	19.86 kN/m3
Porosity Value	0.405394
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	3600 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	35.5 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

C4

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	20.65 kN/m3
Porosity Value	0.3613
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	3600 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	35.5 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

S1

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	21.87 kN/m3
Porosity Value	0.294583
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	3300 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	29.41 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

S2

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	20 kN/m3
Porosity Value	0.3
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.3
Young's Modulus	6600 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	94.14 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Joint Properties

Joint 1

Joint Color	
Slip Criterion	None
Normal Stiffness	100000 kPa/m
Shear Stiffness	10000 kPa/m
Initial Deformation	Yes
Apply Pore Pressure	Yes
Apply Additional Pressure inside Joint	No
Apply Pressure to Liner Side Only	No
Apply Stage Factors	No

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Liner Properties

Liner: Liner 1

Color	
Liner Type	Standard Beam
Formulation	Timoshenko
Area	0.076 m2
Moment of Inertia	0.00048 m4
Elastic Properties	
Young's modulus	3.5e+07 kPa
Poisson's ratio	0.2
Axial Strain (+Expansion)	0

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Displacements

Maximum total displacement for 1. Starting Stage:	0.0871053 m
Maximum total displacement for 2. Excavation:	0.522777 m

ΔΙΑΤΟΜΗ 1 ΜΕ ΜΙΚΡΟΠΑΣΣΑΛΟΥΣ

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez

RS2 Analysis Information

General Settings

Number of Stages:	2
Analysis Type:	Plane Strain
Solver Type:	Gaussian Elimination
Units:	Metric, stress as kPa
Permeability Units:	meters/second
Time Units:	seconds

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Analysis Options

Maximum Number of Iterations:	500
Tolerance:	0.001
Number of Load Steps:	Automatic
Convergence Type:	Comprehensive
Tensile Failure:	Reduces Shear Strength

Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Groundwater Analysis

Method:	Static
Pore Fluid Unit Weight:	9.81 kN/m3
Grid Interpolation:	Modified Chugh
Probability:	None

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Field Stress

Field stress:	Gravity
Ground surface elevation:	-0.8 m
Unit weight of overburden:	0.02 kN/m3
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane):	0.5
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane):	0.5
Locked-in horizontal stress (in-plane):	0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane):	0

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Mesh

Mesh type:	Graded	
Element type:	6 Noded triangles	
Stage Name	**# of Elements**	**# of Nodes**
1. Starting Stage	1333	2774
2. Excavation	522	1159

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Mesh Quality

8 of 1333 Elements (0.6 % of elements) are poor quality elements
5 of 1333 Elements (0.4 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio
8 of 1333 Elements (0.6 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle
3 of 1333 Elements (0.2 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle
0 of 1333 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted
Note: Elements can be of poor quality for more than one reason

Poor quality elements defined as:

Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
Minimum interior angle < 2.0 degrees
Maximum interior angle > 175.0 degrees

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Areas of Excavated and Filled Elements

2. Excavation

Material:	C1 103.091 m2
Material:	C2 91.438 m2
Material:	C3 90.671 m2

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

Excavation Area: 285.200 m2
Excavation Perimeter: 104.400 m
External Boundary Area: 1239.263 m2
External Boundary Perimeter: 214.200 m

1. Starting Stage

Excavation Area: 285.202 m2 (0.00178704 m2 change from original area)
Excavation Perimeter: 104.332 m (-0.0675721 m change from original perimeter)
External Boundary Area: 1239.266 m2 (0.0029456 m2 change from original area)
External Boundary Perimeter: 214.254 m (0.054315 m change from original perimeter)
Volume Loss to Excavation: -0.00103282 %

2. Excavation

Excavation Area: 280.037 m2 (-5.16347 m2 change from original area)
Excavation Perimeter: 103.962 m (-0.437938 m change from original perimeter)
External Boundary Area: 1234.077 m2 (-5.18549 m2 change from original area)
External Boundary Perimeter: 213.944 m (-0.25629 m change from original perimeter)
Volume Loss to Excavation: 1.8182 %

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Material Properties

F2

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	20.15 kN/m3
Porosity Value	0.323401
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	4800 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	58.83 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

C1

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	20.69 kN/m3
Porosity Value	0.328669
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	2680 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	58.83 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

C2

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	20.6 kN/m3
Porosity Value	0.362009
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	2400 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	11.76 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

C3

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	19.86 kN/m3
Porosity Value	0.405394
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	3600 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	35.5 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

C4

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	20.65 kN/m3
Porosity Value	0.3613
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	3600 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	35.5 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

S1

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	21.87 kN/m3
Porosity Value	0.294583
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.2
Young's Modulus	3300 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	29.41 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

S2

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Material Color	
Initial Element Loading	Field Stress and Body Force
Unit Weight	20 kN/m3
Porosity Value	0.3
Elastic Type	Isotropic
Poisson's Ratio	0.3
Young's Modulus	6600 kPa
Failure Criterion	Mohr-Coulomb
Material Type	Elastic
Peak Tensile Strength	0 kPa
Peak Friction Angle	0 degrees
Peak Cohesion	94.14 kPa
Use Unsaturated Parameters	No
Material Behaviour	Undrained
Fluid Bulk Modulus	2.2e+06 kPa
Static Water Mode	Piezometric Lines
Piezo to Use	1

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Joint Properties

Joint 1

Joint Color	
Slip Criterion	None
Normal Stiffness	100000 kPa/m
Shear Stiffness	10000 kPa/m
Initial Deformation	Yes
Apply Pore Pressure	Yes
Apply Additional Pressure inside Joint	No
Apply Pressure to Liner Side Only	No
Apply Stage Factors	No

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Liner Properties

Liner: Liner 1

Color	
Liner Type	Standard Beam
Formulation	Timoshenko
Area	0.076 m2
Moment of Inertia	0.00048 m4
Elastic Properties	
Young's modulus	3.5e+07 kPa
Poisson's ratio	0.2
Axial Strain (+Expansion)	0

Pile Properties

Pile 1

Pile Color	
Connection Type	Rigid
Skin Resistance	Mohr-Coulomb
Shear Stiffness	10000 kN/m/m
Normal Stiffness	100000 kN/m/m
Friction Angle	40 degrees
Residual Friction Angle	20 degrees
Cohesion	50 kN/m/m
Residual Cohesion	0 kN/m/m
Use Shear Resistance Cutoff	No
Perimeter	1 m
Use Base Resistance	No

Pile 2

Pile Color	
Connection Type	Rigid
Skin Resistance	Mohr-Coulomb
Shear Stiffness	10000 kN/m/m
Normal Stiffness	100000 kN/m/m
Friction Angle	40 degrees
Residual Friction Angle	20 degrees
Cohesion	50 kN/m/m
Residual Cohesion	0 kN/m/m
Use Shear Resistance Cutoff	No
Perimeter	1 m
Use Base Resistance	No

SLOPE 1-3 DISPLACEMENT ANALYSIS SUPPORTED.fez Δευτέρα, 21 Οκτωβρίου 2024

Displacements

Maximum total displacement for 1. Starting Stage:	0.0775943 m
Maximum total displacement for 2. Excavation:	0.370249 m