



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΠΟΥΛΙΟΣ ΑΓΗΣΙΛΑΟΣ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ  
ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ  
2021



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΑΓΗΣΙΛΑΟΣ Θ. ΠΟΥΛΙΟΣ  
Φοιτητής Τμήματος Γεωλογίας, ΑΕΜ: 5541

## ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας  
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας-Υδρογεωλογίας

### Επιβλέπων

Δρ. Θωμάς Μακεδών Ε.ΔΙ.Π.



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

© Αγησίλαος Θ. Πούλιος, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.





ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε, μικρό ή μεγάλο τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Δρ. Θωμά Μακεδόνα, Ε.ΔΙ.Π για την επίβλεψη, τις πάντα εύστοχες και σημαντικές παρατηρήσεις και συμβουλές καθώς και για τη δυνατότητα να εκπονήσω τις απαραίτητες εργαστηριακές δοκιμές μου στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου της Θεσσαλονίκης.

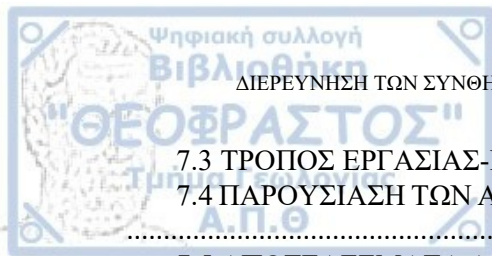
Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά το φίλο Δρ. Νικόλαο Χατζηγώγο, για την ασταμάτητη επιστημονική υποστήριξη και την πολύτιμη βοήθεια του εντός και εκτός εργαστηρίου, που δίχως αυτές η παρούσα διπλωματική εργασία δεν θα ήταν δυνατόν να εκπονηθεί.

Τέλος ,θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτερες ευχαριστίες στους γονείς μου για την υλική αλλά κυρίως ηθική στήριξη που μου παρείχαν ώστε να τα καταφέρω γι' αυτό αυτή η εργασία είναι αφιερωμένη στον Τέο και την Βάσω.



## Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	I
ABSTRACT .....	II
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1.1 ΓΕΝΙΚΑ .....	1
1.2 ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ .....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ .....	4
2.1 ΘΕΣΗ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ .....	4
2.1.1 ΑΡΜΑ .....	4
2.1.2 ΕΛΕΩΝΑΣ .....	6
2.1.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ .....	8
2.2 ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ .....	10
2.3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	11
2.3.1 ΑΡΜΑ .....	11
2.3.2 ΕΛΕΩΝΑΣ .....	14
2.3.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ .....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	20
3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ .....	20
3.1.1 ΑΡΜΑ .....	20
3.1.2 ΕΛΕΩΝΑΣ .....	22
3.1.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ .....	24
3.2 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ .....	26
3.2.1 ΑΡΜΑ .....	26
3.2.2 ΕΛΕΩΝΑΣ .....	33
3.2.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ .....	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	37
4.1 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ – ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ .....	37
4.1.1 ΑΡΜΑ .....	37
4.1.2 ΕΛΕΩΝΑΣ .....	41
4.1.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ .....	47
4.2 ΤΙΜΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ .....	49
4.2.1 ΑΡΜΑ .....	49
4.2.2 ΕΛΕΩΝΑΣ .....	50
4.2.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ .....	51
4.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ .....	52
4.3.1 ΑΡΜΑ .....	52
4.3.2 ΕΛΕΩΝΑΣ .....	55
4.3.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ .....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ .....	60
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ .....	61
6.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ .....	62
6.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΩΝ .....	67
6.3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ .....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ .....	78
7.1 ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΩΝ .....	78
7.2 ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΕ ΚΟΡΕΣΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ .....	82

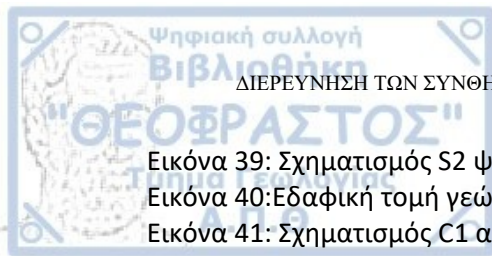


7.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ-ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ.....	83
7.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ.....	84
7.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΕΔΑΦΟΤΕΧΝΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ.....	90
8.1 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΘΡΑΥΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	92
8.1.1 ΑΡΜΑ.....	93
8.1.2 ΕΛΕΩΝΑΣ.....	96
8.1.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ.....	98
8.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ- ΔΕΙΚΤΗ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	99
8.2.1 ΑΡΜΑ.....	100
8.2.2 ΕΛΕΩΝΑΣ.....	102
8.2.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ.....	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ.....	110
9.1 ΑΡΜΑ.....	112
9.1.2 ΕΛΕΩΝΑΣ.....	113
9.1.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ.....	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ –ΕΥΡΕΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ.....	115
10.1 ΑΡΜΑ.....	115
10.2 ΕΛΕΩΝΑΣ.....	116
10.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ.....	117
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	119
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	126
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	127

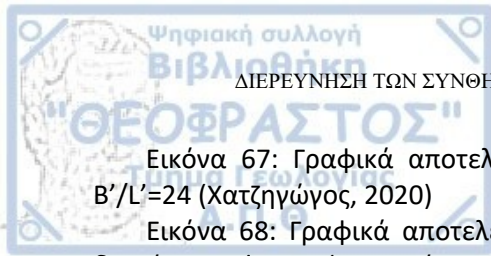


## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Δορυφορική εικόνα θέσης μελέτης	4
Εικόνα 2: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος με επισήμανση της θέσης διεξαγωγής δειγματοληπτικής γεώτρησης	5
Εικόνα 3: Απόσπασμα δορυφορικής εικόνας με επισήμανση της θέσης διεξαγωγής δειγματοληπτικής γεώτρησης	5
Εικόνα 4: Δορυφορική εικόνα θέσης μελέτης	6
Εικόνα 5: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος περιοχής μελέτης	7
Εικόνα 6: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος γεωτεμαχίου 1 με επισήμανση της θέσης διεξαγωγής δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ-1	7
Εικόνα 7: Δορυφορική εικόνα της ΒΙ.ΠΕ Σερρών με επισήμανση του οικοπέδου έρευνας	8
Εικόνα 8: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος θέσεων εγκατάστασης μονάδας βιοαερίου	9
Εικόνα 9: Απόσπασμα δορυφορικής εικόνας με επισήμανση της θέσης διεξαγωγής δειγματοληπτικής γεώτρησης	9
Εικόνα 10: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 0,00-5,00m.	12
Εικόνα 11: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 5,00-10,00m.	12
Εικόνα 12: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 10,00-15,00m.	13
Εικόνα 13: Εγκατάσταση Γεωτρητικού Εξοπλισμού	13
Εικόνα 14: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 0,00-5,00m.	14
Εικόνα 15: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 5,00-7,00m.	15
Εικόνα 16: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ-2 για το βάθος 0,00-5,00	15
Εικόνα 17: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 5,00-8,00m.	16
Εικόνα 18: Εγκατάσταση Γεωτρητικού εξοπλισμού	16
Εικόνα 19: Εγκατάσταση Γεωτρητικού Έξοπλισμού	17
Εικόνα 20: Εγκατάσταση Γεωτρητικού Εξοπλισμού	18
Εικόνα 21: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 0,00-5,40m.	19
Εικόνα 22: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 5,40-10,00m.	19
Εικόνα 23: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Θήβα, κλ. 1:50.000)	21
Εικόνα 24: Εναλλαγές ιζημάτων του Νεογενούς στα πρηνή εκσκαφής στη θέση της γεώτρησης Γ-1	22
Εικόνα 25: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Θήβα, κλ. 1:50.000)	23
Εικόνα 26: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Σέρρες, κλ. 1:50.000)	25
Εικόνα 27: Φάσμα Σχεδιασμού	29
Εικόνα 28: Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003)	32
Εικόνα 29: Σεισμοτεκτονικός χάρτης περιοχής μελέτης. (ΙΓΜΕ, κ: 1:500.000)	32
Εικόνα 30: Σεισμοτεκτονικός χάρτης περιοχής μελέτης. (ΙΓΜΕ, κ: 1:500.000)	34
Εικόνα 31: Σεισμοτεκτονικός χάρτης περιοχής μελέτης. (ΙΓΜΕ, κ: 1:500.000)	36
Εικόνα 32: Σχηματισμός S1 από τη Γεώτρηση Γ-1	37
Εικόνα 33: Σχηματισμός C1 αργιλόμαργας από τη Γεώτρηση Γ-1	38
Εικόνα 34: Σχηματισμός C2 αργιλοϊλύος από τη Γεώτρηση Γ-1	38
Εικόνα 35: Σχηματισμός C3 αργιλοϊλύος από τη Γεώτρηση Γ-1	39
Εικόνα 36: Εδαφική τομή γεώτρησης Γ-1 (Χατζηγώγος, 2020)	40
Εικόνα 37: Σχηματισμός C1 από τη Γεώτρηση Γ-1	41
Εικόνα 38: Σχηματισμός S1 από τη Γεώτρηση Γ-1	42



Εικόνα 39: Σχηματισμός S2 ψαμμιτοκροκαλοπαγούς από τη Γεώτρηση Γ-1	42
Εικόνα 40:Εδαφική τομή γεώτρησης Γ-1 (Χατζηγώγος, 2020)	43
Εικόνα 41: Σχηματισμός C1 από τη Γεώτρηση Γ-2	44
Εικόνα 42: Σχηματισμός S2 από τη Γεώτρηση Γ-2	45
Εικόνα 43: Σχηματισμός C2 από τη Γεώτρηση Γ-2	45
Εικόνα 44:Εδαφική τομή γεώτρησης Γ-2 (Χατζηγώγος, 2020)	46
Εικόνα 45: Ενδεικτική εικόνα στρώματος C1	47
Εικόνα 46:Εδαφική τομή γεώτρησης Γ-1 (Χατζηγώγος, 2020)	48
Εικόνα 47: Τυπική εδαφική τομή σχεδιασμού περιοχής έρευνας	53
Εικόνα 48: Τυπική εδαφική τομή σχεδιασμού περιοχής έρευνας	56
Εικόνα 49: Τυπική εδαφική τομή σχεδιασμού περιοχής έρευνας	58
Εικόνα 50:Κόσκινα του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ	71
Εικόνα 51: Οιδήμετρα Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας ΑΠΘ	76
Εικόνα 52: Διάταξη συσκευής άμεσης διάτμησης κλειστού τύπου με δυνατότητα ελέγχου των πιέσεων των πόρων και βαθμού κορεσμο (τροποποιημένη από GDS Specification Datasheet, 2009 ως προς τα χρώματα και το υπόμνημα). (Βλάχος, 2015).	79
Εικόνα 53: (α) Ηλεκτρονικός ελεγκτής υψηλής ακρίβειας νερού "Standard Pressure/Volume Controller (STDDPC) v2", (β) Πνευματικός ελεγκτής υψηλής ακρίβειας αέρα " Pneumatic Pressure Controller (GDSPPC)". (Βλάχος, 2015)	80
Εικόνα 54: Συνολική πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε και αποτελείται από:(α)Συσκευή διάτμησης, (β)Ελεγκτή πιέσεων νερού,(γ)Ελεγκτή πιέσεων αέρα, (δ)Κονσόλα δεδομένων οχτώ καναλιών, (ε )Γεννήτρια συμπίεσης αέρα και (στ)Ηλεκτρονικό υπολογιστή. (Βλάχος 2015)	81
Εικόνα 55: Ηλεκτρονικός μετατροπέας υψηλής ακρίβειας (transducer) για τον έλεγχο των μετρήσεων μέσα στο θάλαμο. (Βλάχος, 2015)	82
Εικόνα 56: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ2 (2,60-3,15) στα 100 kPa.	85
Εικόνα 57: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής ανηγμένης παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ2 (2,60-3,15) στα 100 kPa.	86
Εικόνα 58: Διάγραμμα διατμητικής τάσης -ανηγμένης παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ2 (2,60-3,15)	87
Εικόνα 59: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής ανηγμένης παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ2 (2,60-3,15) στα 150 kPa.	87
Εικόνα 60: Συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης -ανηγμένης παραμόρφωσης για τα δείγματα της γεώτρησης Γ2 (2,60-3,15).	88
Εικόνα 61:Διάγραμμα διατμητικής (kPa) – κάθετης τάσης (kPa).	89
Εικόνα 62:Τυπική διάταξη δεξαμενών	93
Εικόνα 63:Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με τετραγωνικά πέδιλα $B'/L'=1$ στη θέση Γ-1	94
Εικόνα 64: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με πεδιλοδοκό $B'/L'=24$ στη θέση Γ-1 (Χατζηγώγος, 2020)	95
Εικόνα 65: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με κοιτόστρωση διαμέτρου $D'=24m$ στη θέση Γ-1 (Χατζηγώγος, 2020)	95
Εικόνα 66:Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με τετραγωνικά πέδιλα $B'/L'=1$ (Χατζηγώγος, 2020)	96

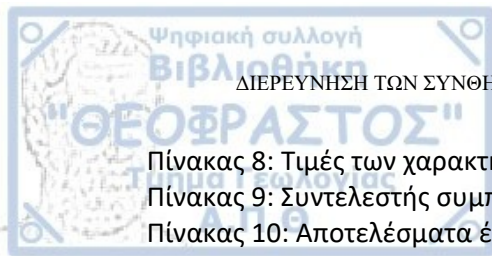


Εικόνα 67: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με πεδילוδοκό $B'/L'=24$ (Χατζηγώγος, 2020)	97
Εικόνα 68: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με κοιτόστρωση διαμέτρου $D'=24m$ (Χατζηγώγος, 2020)	97
Εικόνα 69: Αρχικό σχέδιο θεμελίωσης δεξαμενών (Χατζηγώγος, 2020)	98
Εικόνα 70: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με πεδילוδοκό $B'=1,8m$ και $B'/L'=20$ στη θέση Γ-1 (Χατζηγώγος, 2020)	99
Εικόνα 71: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων στη θέση Γ-1 για τετραγωνικό πέδιλο και πεδילוδοκό (Χατζηγώγος, 2020)	101
Εικόνα 72: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων στη θέση Γ-1 για κυκλική πλάκα διαμέτρου $24m$ (Χατζηγώγος, 2020)	101
Εικόνα 73: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων για τετραγωνικό πέδιλο και πεδילוδοκό (Χατζηγώγος, 2020)	103
Εικόνα 74: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων στη θέση Γ-1 για κυκλική πλάκα διαμέτρου $24m$ (Χατζηγώγος, 2020)	104
Εικόνα 75: Υπολογισμός καθιζήσεων για ενιαία κατανομή τάσεων σε κυκλική πλάκα με διάμετρο $D'=24,0m$ (Χατζηγώγος, 2020)	104
Εικόνα 76: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων στη θέση Γ-1 για πεδילוδοκό πλάτους $B'=1,8m$ (Χατζηγώγος, 2020)	106
Εικόνα 77: Υπολογισμός καθιζήσεων της τάξης των $7,25cm$ για θεμελίωση της δεξαμενής σε βάθος $D'=1,70m$ (Χατζηγώγος, 2020)	107
Εικόνα 78: Υπολογισμός απαιτούμενου ύψους προφόρτισης για εκδήλωση καθιζήσης $3cm$ (Χατζηγώγος, 2020)	108
Εικόνα 79: Κατανομή καθιζήσεων για τα τρία στάδια ανάλυσης (προφόρτιση(πράσινο)-εκσκαφή(κόκκινο)-κατασκευή(μπλε))	109
Εικόνα 80: Αναπτυσσόμενες τάσεις σε συμβατικό πάσσαλο από οπλισμένο σκυρόδεμα (Καββαδάς, 2008)	111
Εικόνα 81: Αναπτυσσόμενες τάσεις σε χαλικοπάσσαλο (Χριστούλας, 1998)	111
Εικόνα 82: Εκσκαφή μέχρι την στάθμη του υδροφόρου	123
Εικόνα 83: Διάστρωση με θραυστό υλικό και εφαρμογή γεωπλέγματος	123
Εικόνα 84: Τοποθέτηση χαλικοπάσσων ως μέτρο βελτίωσης εδάφους	124
Εικόνα 85: Οι δεξαμενές σήμερα, πλήρως λειτουργικές(1)	124
Εικόνα 86: Οι δεξαμενές σήμερα, πλήρως λειτουργικές(2)	125

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Στοιχεία γεωτεχνικής έρευνας.....	11
Πίνακας 2: Στοιχεία γεωτεχνικής έρευνας.....	14
Πίνακας 3: Στοιχεία γεωτεχνικής έρευνας.....	18
Πίνακας 4: Συντελεστές σπουδαιότητας $\gamma_1$ (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000)	26
Πίνακας 5: Σεισμική επιτάχυνση εδάφους : $A=\alpha \cdot g$ ( $g$ : επιτάχυνση της βαρύτητας).....	27
Πίνακας 6: Τιμές ποσοστού απόσβεσης $\zeta$ .....	28
Πίνακας 7: Συντελεστής θεμελίωσης $\theta$ .....	28





Πίνακας 8: Τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων T1 και T2 .....	29
Πίνακας 9: Συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής q .....	30
Πίνακας 10: Αποτελέσματα έρευνας επί τόπου δοκιμών NSPT .....	49
Πίνακας 11: Αποτελέσματα έρευνας επί τόπου δοκιμών NSPT .....	50
Πίνακας 12: Αποτελέσματα έρευνας επί τόπου δοκιμών NSPT .....	51
Πίνακας 13: Συνοπτικά αποτελέσματα αξιολόγησης επί τόπου δοκιμών και εργαστηριακών δοκιμών για τη Γεώτρηση Γ1 (Χατζηγώγος, 2020) .....	52
Πίνακας 14: Συνοπτικά αποτελέσματα αξιολόγησης επί τόπου δοκιμών και εργαστηριακών δοκιμών για τη Γεώτρηση Γ1. (Χατζηγώγος, 2020) .....	55
Πίνακας 15: Συνοπτικά αποτελέσματα αξιολόγησης επί τόπου δοκιμών και εργαστηριακών δοκιμών για τη Γεώτρηση Γ1. (Χατζηγώγος, 2020) .....	58
Πίνακας 16: Αποτελέσματα Δοκιμών Προσδιορισμού Φυσικών Χαρακτηριστικών επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΑΡΜΑ) .....	65
Πίνακας 17: Αποτελέσματα Δοκιμών Προσδιορισμού Φυσικών Χαρακτηριστικών επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΕΛΕΩΝΑΣ).....	66
Πίνακας 18: Αποτελέσματα Δοκιμών Προσδιορισμού Φυσικών Χαρακτηριστικών επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΛΕΥΚΩΝΑΣ).....	67
Πίνακας 19: Αποτελέσματα Δοκιμών Κατάταξης επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΑΡΜΑ) .....	73
Πίνακας 20: Αποτελέσματα Δοκιμών Κατάταξης επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΕΛΕΩΝΑΣ).....	74
Πίνακας 21: Αποτελέσματα Δοκιμών Κατάταξης επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΛΕΥΚΩΝΑΣ).....	75
Πίνακας 22: Αποτελέσματα Δοκιμών Συμπιεστότητας επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΑΡΜΑ).....	77
Πίνακας 23: Αποτελέσματα Δοκιμών Συμπιεστότητας επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΕΛΕΩΝΑΣ).....	77
Πίνακας 24: Αποτελέσματα Δοκιμών Συμπιεστότητας επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΛΕΥΚΩΝΑΣ).....	78
Πίνακας 25: Πλήθος και χαρακτηριστικά δειγμάτων που εφαρμόστηκε δοκιμή άμεσης διάτμησης σε κορεσμένες συνθήκες .....	82
Πίνακας 26: Διαστασιολόγηση πεδילוδοκού .....	93
Πίνακας 27: Συγκεντρωτικός πίνακας διαστασιολόγησης, επιτρεπόμενης τάσης και καθιζήσεων.....	100
Πίνακας 28: Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας για την περιοχή Άρμα με τη χρήση των λογισμικών Geostru και LoadCap.....	127
Πίνακας 29: Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας για την περιοχή Ελεώνας με την χρήση των λογισμικών Geostru και LoadCap.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Πίνακας 30: Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας για την περιοχή Λευκώνας με την χρήση των λογισμικών Geostru και LoadCap.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Πίνακας 31: Έλεγχος καθιζήσεων για την περιοχή του Λευκώνα με την χρήση του λογισμικού Settle.....	135



Για τη διερεύνηση των συνθηκών θεμελίωσης ενός έργου σε εδαφικούς σχηματισμούς είναι σημαντικός ο προσδιορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους θεμελίωσης και ειδικότερα ο προσδιορισμός της διατμητικής αντοχής και της συμπίεστότητας αυτού. Ο βέλτιστος τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι μέσω της διενέργειας τριαξονικών δοκιμών (δοκιμή τριαξονικής θλίψης ή δοκιμή άμεσης διάτμησης).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία και στα πλαίσια διερεύνησης της μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους έδρασης των περιοχών Άρμα, Ελεώνας και Λευκώνας εκτελέστηκαν εργαστηριακές εδαφομηχανικής ώστε να προκύψουν στοιχεία διατμητικής αντοχής και συμπίεστότητας. Με βάση τα εργαστηριακά αποτελέσματα έγιναν εδαφοτεχνικοί έλεγχοι της επάρκειας της θεμελίωσης των εξεταζόμενων υπό κατασκευή κτιρίων με υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας του εδάφους και της αντίστοιχης τιμής της επιτρεπόμενης τάσης και υπολογισμός των παραγόμενων από αυτήν καθιζήσεων.





In order to investigate the foundation's conditions of a construction, it is important to determine the mechanical characteristics of the subsoil and specifically its shear strength and compressibility. The optimal way to achieve this is by conducting triaxial tests (triaxial compression or direct shear tests).

In the present thesis and in the context of the investigation of the subsoil's mechanical behavior in the Arma, Eleonas and Leukonas area, laboratory soil mechanics tests were conducted to produce shear strength and compressibility parameters. Based on the laboratory tests results, trial tests were carried out on the foundation of the under construction buildings, in order to estimate the bearing capacity of the soil and the corresponding value of allowable stress and respective settlement.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η παρούσα διπλωματική διατριβή εκπονήθηκε, στα πλαίσια της εκπλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών, στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κατά τρόπο σύμφωνο με τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε106-85) και τις αντίστοιχες οδηγίες και προδιαγραφές της Α.Σ.Τ.Μ. (American Society for Testing and Materials).

Το αντικείμενο της διατριβής είναι η διερεύνηση και αξιολόγηση των συνθηκών θεμελίωσης μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιοαερίου στις περιοχές Άρμα, Ελεώνας και Λευκώνας. Στη διατριβή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των γεω-τεχνικών έρευνών που διεξήχθησαν με δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, των εργαστηριακών δοκιμών και των ελέγχων των συνθηκών θεμελίωσης.

Αντικείμενο της γεωτεχνικής έρευνας που διενεργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση και ο προσδιορισμός των εδαφικών συνθηκών που επικρατούν στις θέσεις θεμελίωσης των εν λόγω κτιρίων (στρωματογραφία, υπόγεια νερά, φυσικά χαρακτηριστικά εδάφους, μηχανικά χαρακτηριστικά εδάφους κ.λπ.). Τα στοιχεία αυτά συνθέτονται και αξιολογούνται προκειμένου να εκτιμηθούν οι τιμές εκείνων των εδαφικών παραμέτρων που απαιτούνται στη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους (χαρακτηριστικά αντοχής και συμπίεστότητας εδάφους, φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού θεμελίωσης - επιτρεπόμενη τάση, δείκτης εδάφους, κατάταξη από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας, κ.λπ.).

Στη συνέχεια, τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται σε υπολογιστικούς ελέγχους φέρουσας ικανότητας-καθιζήσεων, έτσι ώστε να διερευνηθεί η αναγκαιότητα ή μη σχεδιασμού μέτρων ενίσχυσης-αποκατάστασης του υπεδάφους θεμελίωσης.

Τα επιτόπου γεωτεχνικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν βασίζονται στα αποτελέσματα της γεωτεχνικής μελέτης που εκπονήθηκε από τον Δρ. Χατζηγάγο Νικόλαο την περίοδο του Οκτωβρίου-Νοεμβρίου 2020 στα πλαίσια της διερεύνησης των συνθηκών θεμελίωσης των εν λόγω κτιρίων.

Όλες οι παραπάνω δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ., το διάστημα 20/10/2020 με 10/12/2020 με βάση την προϋπάρχουσα τεχνογνωσία στην εκτέλεση δοκιμών άμεσης διάτμησης σε κορεσμένες συνθήκες.

Η διατριβή χωρίζεται θεματικά σε τρεις (3) κύριες ενότητες, οργανωμένες σε δέκα (10) κεφάλαια. Η πρώτη ενότητα αναφέρεται στην υφιστάμενη έρευνα σχετικά με τα στοιχεία του έργου σε θεωρητικό επίπεδο, η δεύτερη στα γεωτεχνικά στοιχεία του έργου όπως προκύπτουν από τα αποτελέσματα των συμβατικών δοκιμών εδαφομηχανικής ενώ η τρίτη ενότητα παρουσιάζει τα αποτελέσματα της εργαστηριακής προσομοίωσης διάτμησης εδαφικών δειγμάτων σε κορεσμένες συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα:

- Στο 2ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα στοιχεία των έργων. Αναφέρονται η θέση των έργων με μια λεπτομερή περιγραφή αυτού και το γεωερευνητικό πρόγραμμα που ακολουθήθηκε, ενώ στη συνέχεια αναλύεται η τεχνική περιγραφή των εργασιών της γεωτεχνικής έρευνας.



- Στο 3ο κεφάλαιο παρατίθενται τα γεωλογικά στοιχεία των περιοχών. Αρχικά παρουσιάζονται τα γενικά γεωλογικά στοιχεία των ευρύτερων περιοχών με εκτενείς αναφορές στη γεωτεκτονική ζώνη, την λιθοστρωματογραφική εξέλιξη, καθώς επίσης και τα σεισμολογικά της στοιχεία.
- Στο 4ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γεωτεχνικά στοιχεία των έργων. Αρχικά αναλύεται η στρωματογραφία του υπεδάφους και τα υπόγεια νερά παραθέτοντας και την αντίστοιχη εδαφική τομή. Στη συνέχεια αναφέρονται οι τιμές των εδαφικών παραμέτρων οι οποίες προκύπτουν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών ενώ τέλος παρατίθενται μια απλοποιημένη εδαφική τομή σχεδιασμού, το γεωτεχνικό προσομοίωμα.
- Στο 5ο κεφάλαιο γίνεται η εκτενής παρουσίαση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε σύμφωνα με τους στόχους και τις ανάγκες της παρούσας εργασίας.
- Στο 6ο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά το πρόγραμμα σχεδιασμού των εργαστηριακών δοκιμών που ακολουθήθηκε. Στον κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται εκτενώς οι συμβατικές δοκιμές εδαφομηχανικής που εφαρμόστηκαν, με αναφορά στο θεωρητικό πλαίσιο κάθε δοκιμής καθώς επίσης και στα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτές.
- Στο 7ο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η δοκιμή της άμεσης διάτμησης.
- Στο 8ο κεφάλαιο παρατίθενται οι εδαφοτεχνικοί έλεγχοι επάρκειας της θεμελίωσης και καθιζήσεων των εξεταζόμενων περιοχών. Εκτιμάται η επιτρεπόμενη τάση έναντι θραύσης εδάφους και εκτιμώνται οι καθιζήσεις του εδάφους που θα προκύψουν.
- Στο 9ο παρουσιάζονται το είδος και τα μέτρα βελτίωσης.
- Στο 10ο κεφάλαιο γίνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από την παρούσα έρευνα και εντοπίζονται οι γεωτεχνικοί κίνδυνοι που προκύπτουν.
- Τέλος στο 11ο κεφάλαιο συνοψίζονται και αξιολογούνται συνολικά τα ξεχωριστά συμπεράσματα κάθε κεφαλαίου.

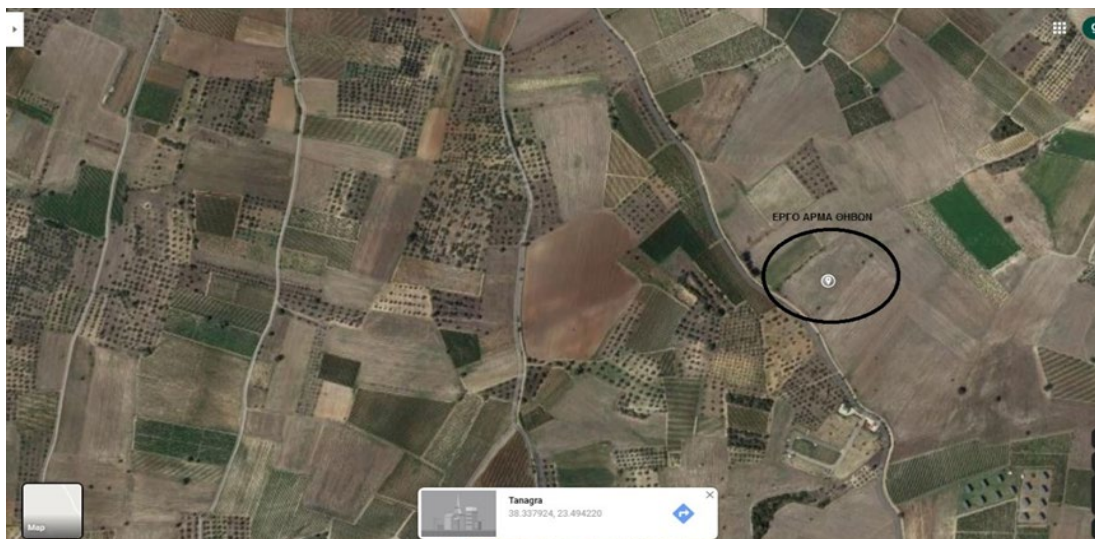
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ

### 2.1 ΘΕΣΗ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΕΡΓΩΝ

#### 2.1.1 ΑΡΜΑ

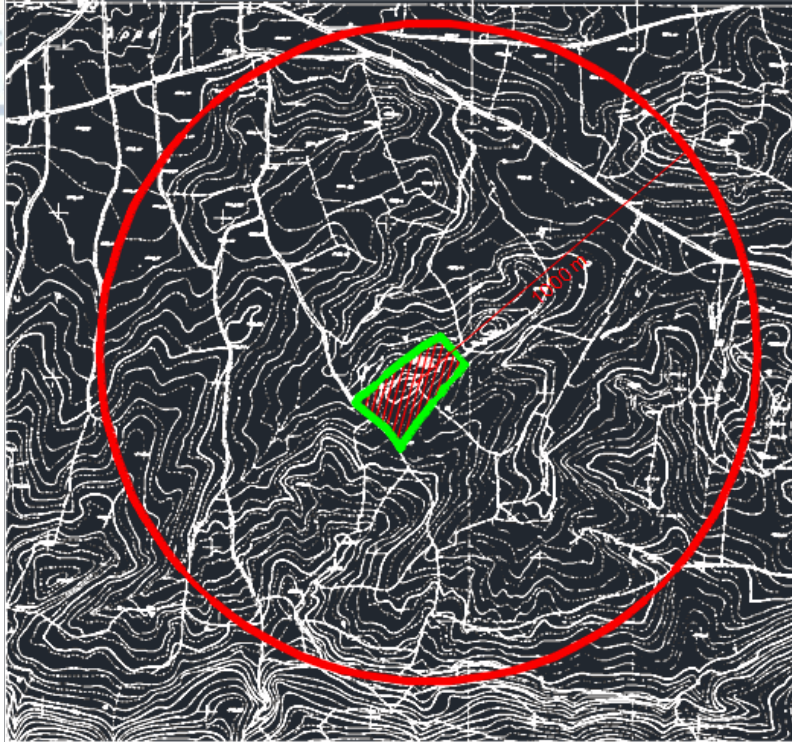
Η θέση όπου εκτελέστηκε η γεωτεχνική έρευνα βρίσκεται σε γεωτεμάχιο 1,6km νοτιοανατολικά του οικισμού Άρμα Θήβας ([Εικόνα 1](#) και [Εικόνα 2](#)). Στο γεωτεμάχιο θα θεμελιωθούν δύο δεξαμενές επεξεργασίας λυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση του παραγόμενου βιοαερίου. Η προτεινόμενη γεωτεχνική έρευνα είναι σε εναρμόνιση με τις απαιτήσεις του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού και των τροποποιητικών του διατάξεων, βάσει του οποίου για θεμελίωση κατασκευών σπουδαιότητας 3 σε εδάφη κατηγορίας Β-Γ, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή γεωτεχνικής έρευνας.

Το προβλεπόμενο έργο απαιτεί το σχεδιασμό ασφαλούς θεμελίωσης εξαιτίας των υψηλών προβλεπόμενων φορτίων και της φύσης του υπεδάφους. Με βάση τα παραπάνω εκτελέστηκε μία δειγματοληπτική γεώτρηση (Γ1) βάθους 15,0m. Η θέση εκτέλεσης της δειγματοληπτικής γεώτρησης παρουσιάζεται στην [Εικόνα 2](#) και στην [Εικόνα 3](#).



Εικόνα 1: Δορυφορική εικόνα θέσης μελέτης





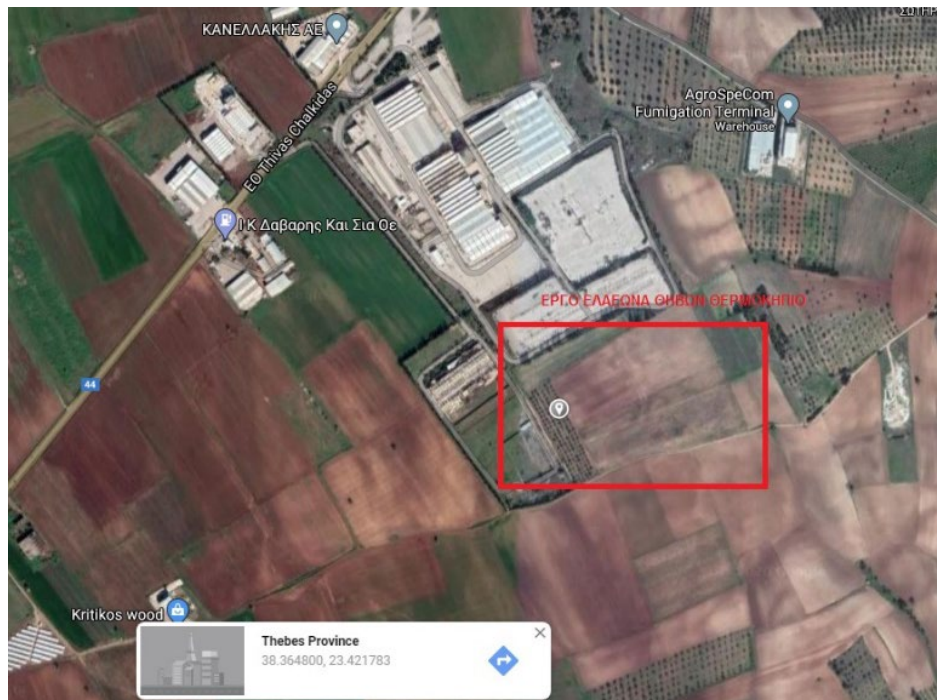
Εικόνα 2: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος με επισήμανση της θέσης διεξαγωγής δειγματοληπτικής γεώτρησης



Εικόνα 3: Απόσπασμα δορυφορικής εικόνας με επισήμανση της θέσης διεξαγωγής δειγματοληπτικής γεώτρησης

Οι θέσεις όπου εκτελέστηκε η γεωτεχνική έρευνα βρίσκεται σε δύο όμορα γεωτεμάχια, στη θέση «Μισοράχη» 9,9km ΑΒΑ της πόλης των Θηβών ([Εικόνα 4](#) και [Εικόνα 5](#)). Στα γεωτεμάχια θα θεμελιωθούν δύο δεξαμενές επεξεργασίας λυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση του παραγόμενου βιοαερίου. Η προτεινόμενη γεωτεχνική έρευνα είναι σε εναρμόνιση με τις απαιτήσεις του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού και των τροποποιητικών του διατάξεων, βάσει του οποίου για θεμελίωση κατασκευών σπουδαιότητας 3 σε εδάφη κατηγορίας Β, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή γεωτεχνικής έρευνας.

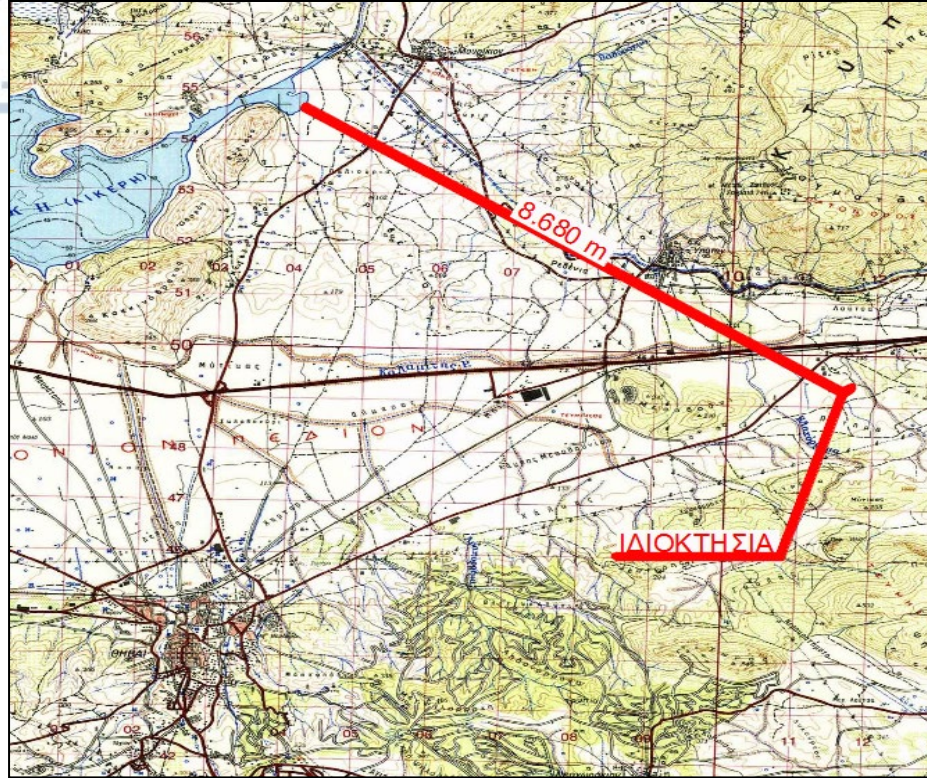
Το προβλεπόμενο έργο απαιτεί το σχεδιασμό ασφαλούς θεμελίωσης εξαιτίας των υψηλών προβλεπόμενων φορτίων και της φύσης του υπεδάφους. Με βάση τα παραπάνω εκτελέστηκαν δύο δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, Γ1 και Γ-2, βάθους 7,0m και 8,0m αντίστοιχα. Οι θέσεις εκτέλεσης των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων παρουσιάζονται στην [Εικόνα 6](#).



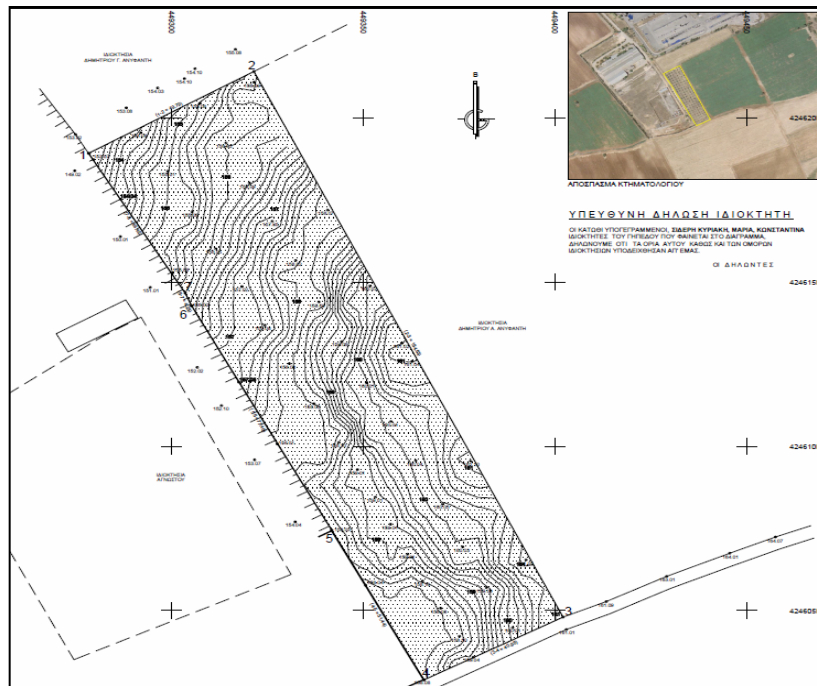
Εικόνα 4: Δορυφορική εικόνα θέσης μελέτης



ΔΙΠΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΩΝ ΒΙΟΑΕΡΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Εικόνα 5: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος περιοχής μελέτης



Εικόνα 6: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος γεωτεμαχίου 1 με επισήμανση της θέσης διεξαγωγής δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ-1

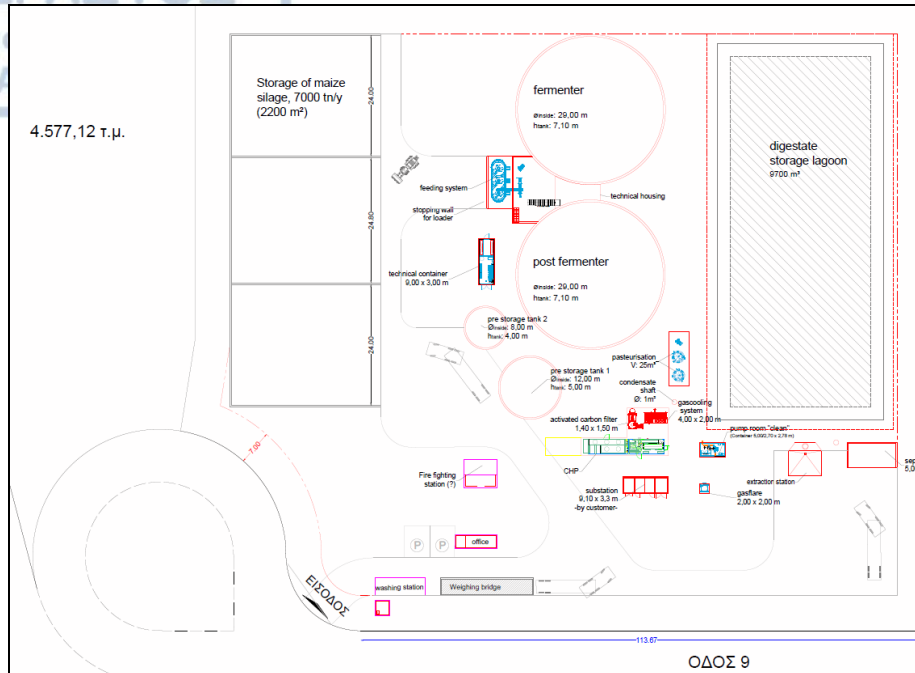


Η θέση όπου εκτελέστηκε η γεωτεχνική έρευνα βρίσκεται στη Βιομηχανική Περιοχή Σερρών, Ο.Τ. 11, ΟΙΚ. 5, περίπου 2,1km δυτικά του Λευκώνα Σερρών και 6,1km βορειοδυτικά της πόλης των Σερρών ([Εικόνα 7](#) και [Εικόνα 8](#)). Στην περιοχή θα θεμελιωθούν δύο δεξαμενές επεξεργασίας λυμάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση του παραγόμενου βιοαερίου, εσωτερικής διαμέτρου 26m και ύψους 8m, καθώς και κάποιες μικρότερες συνοδευτικές κατασκευές. Η προτεινόμενη γεωτεχνική έρευνα είναι σε εναρμόνιση με τις απαιτήσεις του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού και των τροποητικών του διατάξεων, βάσει του οποίου για θεμελίωση κατασκευών σπουδαιότητας 3 σε εδάφη κατηγορίας Γ, είναι απαραίτητη η διεξαγωγή γεωτεχνικής έρευνας.

Το προβλεπόμενο έργο απαιτεί το σχεδιασμό ασφαλούς θεμελίωσης εξαιτίας των υψηλών προβλεπόμενων φορτίων και της φύσης του υπεδάφους. Με βάση τα παραπάνω εκτελέστηκε μία δειγματοληπτική γεώτρηση (Γ1). Η θέση εκτέλεσης της δειγματοληπτικής γεώτρησης παρουσιάζεται στην [Εικόνα 9](#).



Εικόνα 7: Δορυφορική εικόνα της ΒΙ.ΠΕ Σερρών με επισήμανση του οικοπέδου έρευνας



Εικόνα 8: Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος θέσεων εγκατάστασης μονάδας βιοαερίου



Εικόνα 9: Απόσπασμα δορυφορικής εικόνας με επισήμανση της θέσης διεξαγωγής δειγματοληπτικής γεώτρησης



## 2.2 ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

Αντικείμενο της γεωτεχνικής έρευνας - μελέτης αποτέλεσε η διερεύνηση και ο προσδιορισμός των εδαφικών συνθηκών που επικρατούν στη θέση θεμελίωσης των υπό μελέτη κτιρίων (στρωματογραφία, υπόγεια νερά, χαρακτηριστικά εδάφους, κ.λπ.). Τα στοιχεία αυτά αξιολογούνται προκειμένου να εκτιμηθούν οι τιμές των εδαφικών εκείνων παραμέτρων που απαιτούνται στη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους (χαρακτηριστικά αντοχής και συμπίεστότητας εδάφους, φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού θεμελίωσης - επιτρεπόμενη τάση, δείκτης εδάφους, κατάταξη από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας, κ.λπ.). Στη συνέχεια, με βάση τα στοιχεία αυτά, θα διατυπωθούν τεκμηριωμένες προτάσεις που αφορούν στη θεμελίωση του και τέλος, τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται σε ελέγχους φέρουσας ικανότητας και καθιζήσεων, έτσι ώστε να διερευνηθούν πιθανώς απαιτούμενα μέτρα βελτίωσης των συνθηκών θεμελίωσης.





## 2.3 ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

### 2.3.1 ΑΡΜΑ

Η έρευνα του υπεδάφους στη θέση των υπό ανέγερση κατασκευών πραγματοποιήθηκε με τη διεξαγωγή μίας δειγματοληπτικής γεώτρησης (Γ-1), όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

**Πίνακας 1: Στοιχεία γεωτεχνικής έρευνας**

Γεωτρήσεις	Υψόμετρο (m)	Βάθος έρευνας (m)	Στάθμη υπόγειου υδάτινου οριζοντα (m)	x	ψ
Γ-1	270,4	15,00	Δεν συναντήθηκε	455.654,703	4.243.142,562

Η γεώτρηση πραγματοποιήθηκε με συνεχή δειγματοληψία αντιπροσωπευτικών δειγμάτων εδάφους. Η τεχνική δειγματοληψίας έγινε με μονό δειγματολήπτη (καροταρία) καρβιδίων για τους εδαφικούς σχηματισμούς που συναντήθηκαν.

Τα δείγματα όλων των γεωτρήσεων που έχουν αξιολογηθεί στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας εξετάστηκαν αρχικά μακροσκοπικά και ορισμένα αντιπροσωπευτικά από αυτά υποβλήθηκαν σε εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής, που εκτελέστηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κατά τρόπο σύμφωνο με τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε106-85).

Όλες οι ερευνητικές εργασίες πεδίου που περιλαμβάνονται στην παρούσα διπλωματική εργασία διεξήχθησαν από εξειδικευμένο συνεργείο της GATZES DRILLING κατά τρόπο σύμφωνο με τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε101-83, Ε106-86).



Εικόνα 10: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 0,00-5,00m.



Εικόνα 11: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 5,00-10,00m.





Εικόνα 12: Δειματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 10,00-15,00m.



Εικόνα 13: Εγκατάσταση Γεωτρητικού Εξοπλισμού

Η έρευνα του υπεδάφους στη θέση των υπό ανέγερση κατασκευών πραγματοποιήθηκε με τη διεξαγωγή δύο δειγματοληπτικών γεωτρήσεων (Γ-1 και Γ-2), όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 2: Στοιχεία γεωτεχνικής έρευνας

Γεωτρήσεις	Υψόμετρο (m)	Βάθος έρευνας (m)	Στάθμη υπόγειου υδάτινου οριζοντα (m)	x	ψ
Γ-1	153,6	7,00	Δεν συναντήθηκε	449.322,568	4.246.134,392
Γ-2	152,4	8,00	Δεν συναντήθηκε	449.279,171	4.246.222,919

Οι γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν με συνεχή δειγματοληψία αντιπροσωπευτικών δειγμάτων εδάφους. Η τεχνική δειγματοληψίας έγινε με μονό δειγματολήπτη καρβιδίων για τους εδαφικούς σχηματισμούς που συναντήθηκαν.



Εικόνα 14: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 0,00-5,00m.





Εικόνα 15: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 5,00-7,00m.



Εικόνα 16: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ-2 για το βάθος 0,00-5,00





Εικόνα 17: Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 5,00-8,00m.



Εικόνα 18: Εγκατάσταση Γεωτρητικού εξοπλισμού



**Εικόνα 19: Εγκατάσταση Γεωτρητικού Έξοπλισμού**



Η έρευνα του υπεδάφους στη θέση των υπό ανέγερση κατασκευών πραγματοποιήθηκε με τη διεξαγωγή μίας δειγματοληπτικής γεώτρησης (Γ-1), όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 3: Στοιχεία γεωτεχνικής έρευνας

Γεωτρήσεις	Υψόμετρο (m)	Βάθος έρευνας (m)	Στάθμη υπόγειου υδάτινου οριζοντα (m)	x(m)	ψ(m)
Γ-1	71,95	10,0	1,70	455362.026	4549748.928

Η γεώτρηση πραγματοποιήθηκε με συνεχή δειγματοληψία αντιπροσωπευτικών δειγμάτων εδάφους. Η τεχνική δειγματοληψίας έγινε με μονή καροταρία καρβιδίων για τους εδαφικούς σχηματισμούς που συναντήθηκαν.



Εικόνα 20: Εγκατάσταση Γεωτρητικού Εξοπλισμού



Εικόνα 21:Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 0,00-5,40m.



Εικόνα 22:Δειγματοληπτική Γεώτρηση Γ-1 για Βάθος 5,40-10,00m.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

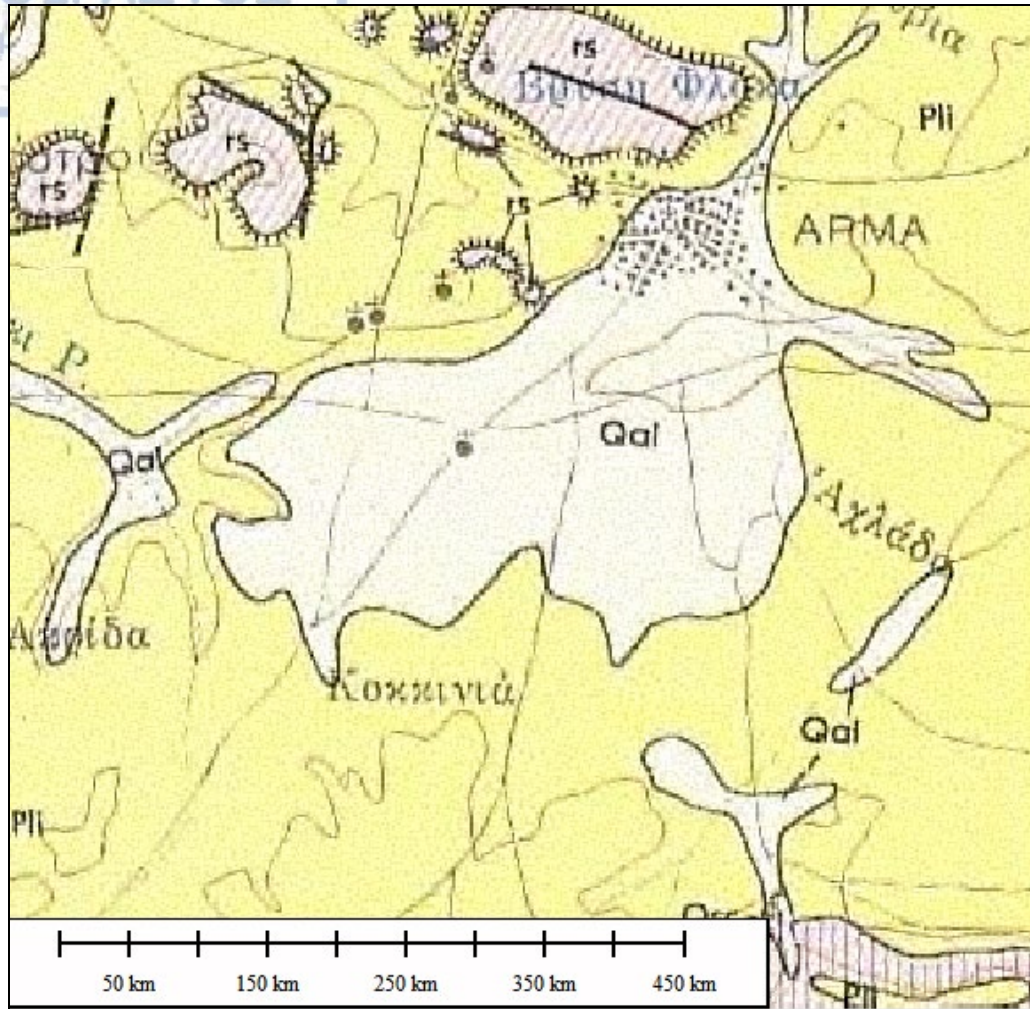
### 3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

#### 3.1.1 ΑΡΜΑ

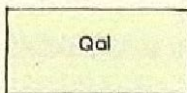
Η θέση κατασκευής της εγκατάστασης βρίσκεται σε λοφώδη περιοχή ομαλού ανάγλυφου με μικρές κλίσεις ([Εικόνα 1](#) και [Εικόνα 2](#)). Σύμφωνα με το χάρτη του ΙΓΜΕ (Φύλλο Θήβα, 1:50.000, [Εικόνα 23](#)) το υπέδαφος στη θέση έρευνας αποτελείται επιφανειακά από σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις και προσχώσεις χειμάρρων, με υποκείμενες μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή του Νεογενούς, υψηλής αντοχής και χαμηλής συμπιεστότητας.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, τα εδαφικά επιφανειακά στρώματα, στα οποία αναμένεται να εδράζονται οι προβλεπόμενες κατασκευές, κατατάσσονται στην κατηγορία Β-Γ, σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003). Τα εδαφικά στρώματα του υπεδάφους είναι υπερστερεοποιημένα και αναμένεται να είναι συνεκτικά, υψηλής αντοχής και χαμηλής συμπιεστότητας.

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, το υπέδαφος στη θέση έρευνας συνίσταται επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 2,5m από εναλλαγές χαλαρής λευκότεφρης άμμου και συνεκτικής τεφροπράσινης αργιλοϊλύος υψηλής πλαστικότητας στα οποία παρεμβάλλονται ασβεστιτικά συγκρίματα. Υποκείμενα αυτών είναι στρώματα αργιλοϊλύος και αργιλόμαργας χαμηλής πλαστικότητας και υψηλής συνεκτικότητας με λεπτούς ορίζοντες πολύ πυκνής χαλικώδους άμμου. Η στρωματογραφία αναμένεται οριζόντια, ενώ η υπόγεια στάθμη δεν εντοπίστηκε μέχρι το βάθος έρευνας των 15,0m.



ΟΛΟΚΑΙΝΟΝ



Άλλουβιακά απόθεσις: έντός χειμάρρων και προσχώσεις έκ ποικίλων ύλικών, έρυθρογής κλπ. Τοπικώς, έντός τών χειμάρρων έμφανίζονται άναβαθμίδες εις ύψος μέχρι 3 μ.

ΚΑΤΩΤΕΡΟΝ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟΝ (ΠΙΟΝΤΙΟΝ)



Μάργαι, άργιλοι, ψαμμίται, άμμοι και κροκαλοπαγή: κατ' έναλλαγήν, λιμναίας έως ύφαλμόρου φάσεως. Περιέχουν Γαστερόποδα, Χαρόφυτα και τὰ Όστρακώδη

*Caspiota* sp., *Candona* cf. *neglecta* SAKS., *Candona* sp., *Plyocypria*

Εις τας μεριοχάς, χωρίον Άρμα, λόφος Πύργος, Κάστρον, Καστράκι κ.ά., επί τών σχηματισμών τούτων άπαντέωνται όλιγοθήλιοι (ts) έξ άσβεστολίθων ήλικίας (ts-ji).

Νοτιοανατολικώτερον του φύλλου Θήβαι (εις περιοχήν Τανάγρας) έχει άνευρεθῆ υπό του Μ. Μητροπούλου παλαιοπανίς Ίπταρίων, ανάλογος προς την τοιαύτην, ποντίου ήλικίας, του Πικερμίου και Σάμου.

Εικόνα 23: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Θήβα, κλ. 1:50.000)



Η θέση κατασκευής της εγκατάστασης βρίσκεται σε λοφώδη περιοχή ομαλού ανάγλυφου με μικρές κλίσεις ([Εικόνα 5](#) και [Εικόνα 6](#)). Σύμφωνα με το χάρτη του ΙΓΜΕ (Φύλλο Θήβα, 1:50.000, [Εικόνα 25](#)) το υπέδαφος στη θέση έρευνας αποτελείται από μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή του Νεογενούς, υψηλής αντοχής και χαμηλής συμπιεστότητας.

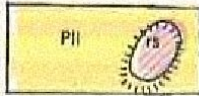
Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, τα εδαφικά επιφανειακά στρώματα, στα οποία αναμένεται να εδράζονται οι προβλεπόμενες κατασκευές, κατατάσσονται στην κατηγορία Β, σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003). Τα εδαφικά στρώματα του υπεδάφους είναι προστερεοποιημένα, έχουν υποστεί διαγένεση και αναμένεται να είναι συνεκτικά, υψηλής αντοχής και χαμηλής συμπιεστότητας.

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, το υπέδαφος στη θέση έρευνας συνίσταται επιφανειακά από εναλλαγές καστανής αργιλώδους άμμου με χάλικες και ασβεστιτικά συγκρίματα, με σημαντική συνοχή λόγω διαγένεσης. Η άμμος βαθύτερα μεταβαίνει σε ελαφρά συνεκτικό ψαμμιτοκροκαλοπαγές με καστανό αργιλικό συνδετικό υλικό μέσης πλαστικότητας και λεπτούς οριζόντες συνεκτικής καστανότεφρης ασβεστιτικής μάργας. Βαθύτερα των 6,0m συναντάται στερεή, καστανή αμμώδης αργιλοϊλύς έως αργιλόμαργα, υψηλής πλαστικότητας με ενστρώσεις ασβεστιτικού υλικού. Η στρωματογραφία αναμένεται οριζόντια, ενώ η υπόγεια στάθμη δεν εντοπίστηκε μέχρι το βάθος έρευνας των 8,0m.



**Εικόνα 24:** Εναλλαγές ιζημάτων του Νεογενούς στα πρανή εκκαφής στη θέση της γεώτρησης Γ-1

ΚΑΤΩΤΕΡΟΝ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟΝ (ΠΙΟΝΤΙΟΝ)

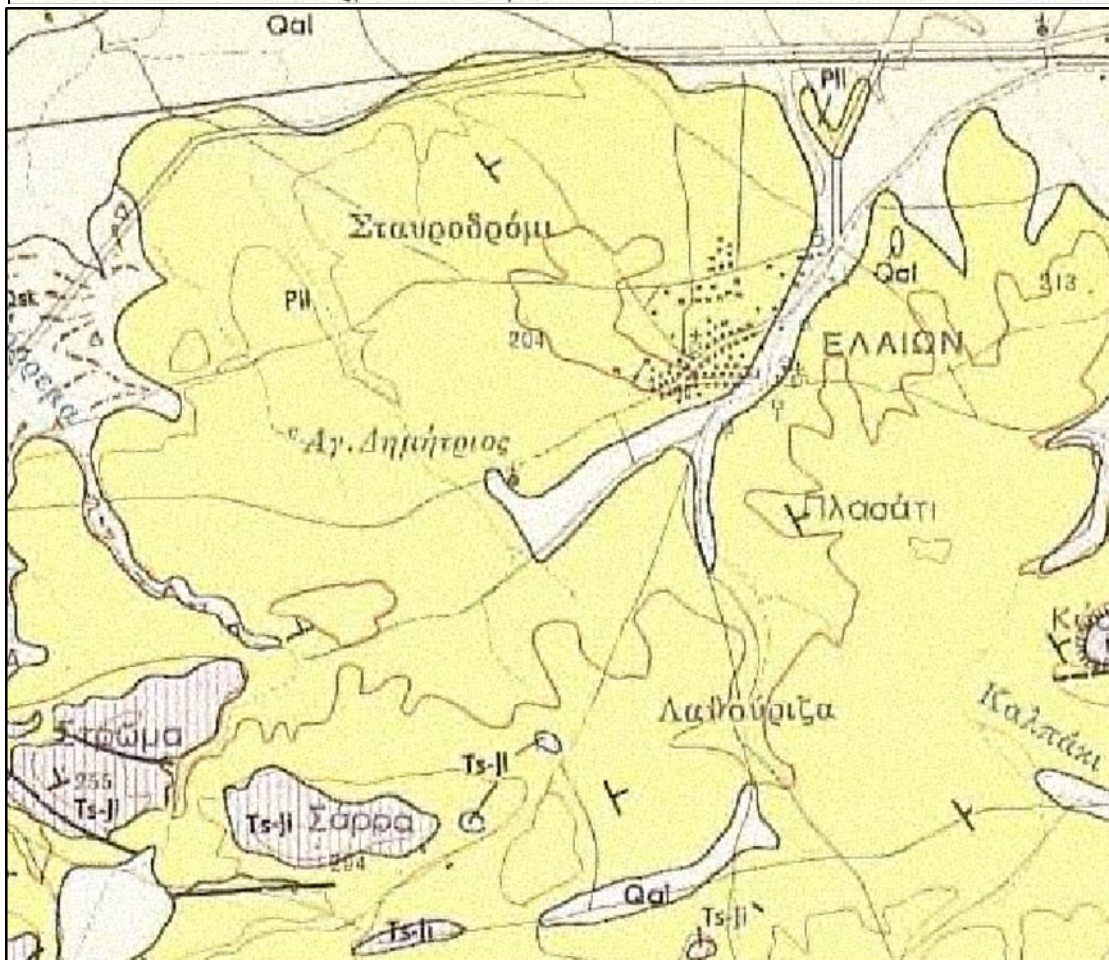


Μάργαι, ἄργιλοι, ψαμμίται, ἄμμοι καὶ κροκαλοπαγῆ: κατ' ἐναλλαγὴν, λιμναίας ἕως ὑφαλμύρου φάσεως. Περιέχουν Γαστερόποδα, Χαρόφυτα καὶ τὰ Ὑστρακώδη

*Caspiota* sp., *Candona* cf. *neglecta* Sars., *Candona* sp., *Ptyocypris*

Εἰς τὰς περτοχάς, χωρίον Ἄρμα, λόφος Πύργος, Κάστρον, Καστράκι κ.ἄ., ἐπὶ τῶν σχηματισμῶν τούτων ἀπαντῶνται ὀλιγολίθοι (ts) ἐξ ἀβεστολίθων ἡλικίας (Ts-II).

Νοτιοανατολικώτερον τοῦ φύλλου Θῆβαι (εἰς περιοχὴν Ταναγρας) ἔχει ἀνευρεθῆ ὑπὸ τοῦ Μ. Μητσοπούλου παλαιοπανις Ἰπταρίων, ἀνάλογος πρὸς τὴν τοιαύτην, ποντίου ἡλικίας, τοῦ Πικερμίου καὶ Σάμου.



Εικόνα 25: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Θήβα, κλ. 1:50.000)



Η θέση κατασκευής της εγκατάστασης βρίσκεται σε πεδινή περιοχή, στο περιθώριο της κοιλάδας του Στρυμόνα, με υψόμετρο περίπου 71,0m ([Εικόνα 7](#) και [Εικόνα 9](#)). Σύμφωνα με το χάρτη του ΙΓΜΕ (Φύλλο Σέρρες, κλ: 1:50.000, [Εικόνα 26](#)) το υπέδαφος στη θέση έρευνας αποτελείται επιφανειακά από σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις, κυρίως προσχώσεις κοιλάδων αποτελούμενες από εναλλαγές μιγμάτων άμμου, ιλύος και αργίλου με παρουσία χαλικιών κατά θέσεις. Βαθύτερα αναμένεται το κατώτερο σύστημα αναβαθμίδων της κοιλάδας του ποταμού Στρυμόνα, αποτελούμενο από άμμους και ερυθρές αργίλους με συγκρίματα μαρμάρων και άλλων κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, τα εδαφικά επιφανειακά στρώματα, στα οποία αναμένεται να εδράζονται οι προβλεπόμενες κατασκευές, κατατάσσονται στην κατηγορία Γ έως Χ, σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003). Τα εδαφικά στρώματα του υπεδάφους είναι κανονικά στερεοποιημένα και αναμένεται να εμφανίζουν πλευρική ανομοιομορφία, μικρή αντοχή και υψηλή συμπιεστότητα.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας έδειξαν ότι το υπέδαφος στη θέση έρευνας μέχρι το βάθος των 2,6m συνίσταται από χαλαρή ιλυώδη άμμο με υποκείμενη συνεκτική έως υδαρή αμμώδη αργιλοϊλύ μέσης πλαστικότητας. Βαθύτερα των 4,9m συναντάται υγρή, χαλαρή ιλυώδης άμμος με υποκείμενο στρώμα μέσης πυκνότητας, καλά διαβαθμισμένης μεσόκοκκης άμμου. Η στρωματογραφία αναμένεται να εμφανίζει πλευρική ανομοιομορφία και δε θεωρείται οριζόντια.

Από πλευράς σεισμοτεκτονικής, εντοπίζονται στην ευρύτερη περιοχή κανονικά ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ και ΝΑ-ΒΔ, καθώς κι ένα μεγάλο ανάστροφο ρήγμα διεύθυνσης ΝΑ-ΒΔ που διέρχεται δυτικά της θέσης έρευνας.

Η υπόγεια στάθμη εντοπίστηκε σε μικρό βάθος, περίπου στα 2,4m και η πιεζομετρική στάθμη μέσα στη γεώτρηση μετρήθηκε σε βάθος 1,70m. Η εναλλαγή αδρόκοκκων και λεπτόκοκκων εδαφικών οριζόντων στα επιφανειακά στρώματα συντελεί στη δημιουργία πολύ επιφανειακών υδροφοριών μικρής κατά κανόνα δυναμικότητας, που ενδεχομένως να είναι εποχιακές.



Εικόνα 26: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Σέρρες, κλ. 1:50.000)

## 3.2 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

### 3.2.1 ΑΡΜΑ

Σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003), η ευρύτερη περιοχή του Ν. Βοιωτίας εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας ΙΙ ([Εικόνα 28](#)), με μέγιστη σεισμική επιτάχυνση  $a=0,24g$  (όπου  $g$ , επιτάχυνση της βαρύτητας) και πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη. Το υπέδαφος κατατάσσεται στην κατηγορία Β-Γ, έτσι όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Ο συντελεστής σεισμικής επιβάρυνσης ο οποίος είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό της κατασκευής, δίδεται σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 (ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ 2000, χ.χ.) με την εξίσωση:

$$R_d(T) = \gamma_1 A \eta \theta \beta_0 / q \quad (1)$$

Όπου:

$\gamma_1$  : ο συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου (παρ.2.3.4)

Πίνακας 4: Συντελεστές σπουδαιότητας  $\gamma_1$  (Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000)

Κατηγορία Σπουδαιότητας		$\gamma_1$
Σ1	Κτίρια μικρής σπουδαιότητας ως προς την ασφάλεια του κοινού, όπως αγροτικά οικήματα και αγροτικές αποθήκες, υπόστεγα, στάβλοι, βουστάσια, χοιροστάσια, ορνιθοτροφεία, κλπ.	0.85
Σ2	Συνήθη κτίρια, όπως κατοικίες και γραφεία, βιομηχανικά - βιοτεχνικά κτίρια, ξενοδοχεία (τα οποία δεν περιλαμβάνουν χώρους συνεδρίων), ξενώνες, οικότροφεία, χώροι εκθέσεων, χώροι εστίασεως και ψυχαγωγίας (ζαχαροπλαστεία, καφενεία, μπόουλινγκ, μπιλιάρδου, ηλεκτρονικών παιχνιδιών, εστιατόρια, μπαρ, κλπ), τράπεζες, ιατρεία, αγορές, υπεραγορές, εμπορικά κέντρα, καταστήματα, φαρμακεία, κουρεία, κομμωτήρια, ινστιτούτα γυμναστικής, βιβλιοθήκες, εργοστάσια, συνεργεία συντήρησης και επισκευής αυτοκινήτων, βαφεία, ξυλουργεία, εργαστήρια ερευνών, παρασκευαστήρια τροφίμων, καθαριστήρια, κέντρα μηχανογράφησης, αποθήκες, κτίρια στάθμευσης αυτοκινήτων, πρατήρια υγρών καυσίμων, ανεμογεννήτριες, γραφεία δημοσίων υπηρεσιών και τοπικής αυτοδιοίκησης που δεν εμπίπτουν	1.00

	στην κατηγορία Σ4, κλπ	
Σ3	Κτίρια τα οποία στεγάζουν εγκαταστάσεις πολύ μεγάλης οικονομικής σημασίας, καθώς και κτίρια δημόσιων συναθροίσεων και γενικώς κτίρια στα οποία ευρίσκονται πολλοί άνθρωποι κατά μεγάλο μέρος του 24ώρου, όπως αίθουσες αεροδρομίων, χώροι συνεδρίων, κτίρια που στεγάζουν υπολογιστικά κέντρα, ειδικές βιομηχανίες, εκπαιδευτικά κτίρια, αίθουσες διδασκαλίας, φροντιστήρια, νηπιαγωγεία, χώροι συναυλιών, αίθουσες δικαστηρίων, ναοί, χώροι αθλητικών συγκεντρώσεων, θέατρα, κινηματογράφοι, κέντρα διασκέδασης, αίθουσες αναμονής επιβατών, ψυχιατρεία, ιδρύματα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ιδρύματα χρονίως πασχόντων, οίκοι ευγηρίας, βρεφοκομεία, βρεφικοί σταθμοί, παιδικοί σταθμοί, παιδότοποι, αναμορφωτήρια, φυλακές, εγκαταστάσεις καθαρισμού νερού και αποβλήτων, κλπ.	1.15
Σ4	Κτίρια των οποίων η λειτουργία, τόσο κατά την διάρκεια του σεισμού, όσο και μετά τους σεισμούς, είναι ζωτικής σημασίας, όπως κτίρια τηλεπικοινωνίας, παραγωγής ενέργειας, νοσοκομεία, κλινικές, αγροτικά ιατρεία, υγειονομικοί σταθμοί, κέντρα υγείας, διυλιστήρια, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, πυροσβεστικοί και αστυνομικοί σταθμοί, κτίρια δημόσιων επιτελικών υπηρεσιών για την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών από σεισμό.  Κτίρια που στεγάζουν έργα μοναδικής καλλιτεχνικής αξίας, όπως μουσεία, αποθήκες μουσείων, κλπ.	1.30

$A = \alpha g$  : μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους

Πίνακας 5: Σεισμική επιτάχυνση εδάφους :  $A = \alpha * g$  (g: επιτάχυνση της βαρύτητας)

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I	II	III
$\alpha$	0,16	0,24	0,36

$\eta$  : διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης  $\neq 5\%$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2 + \zeta}} \geq 0.7 \quad (2)$$

Πίνακας 6: Τιμές ποσοστού απόσβεσης  $\zeta$

Είδος Κατασκευής		$\zeta\%$
Μεταλλική:	με συγκολλήσεις	2
	με κοχλιώσεις	4
Σκυρόδεμα:	άοπλο	3
	οπλισμένο	5
	προεντεταμένο	4
Τοιχοποιία:	οπλισμένη	6
	διαζωματική	5
Ξύλινη:	κολλητή	4
	κοχλιωτή	4
	ηλωτή	5

$\theta$  : συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης (παρ. 2.3.7)

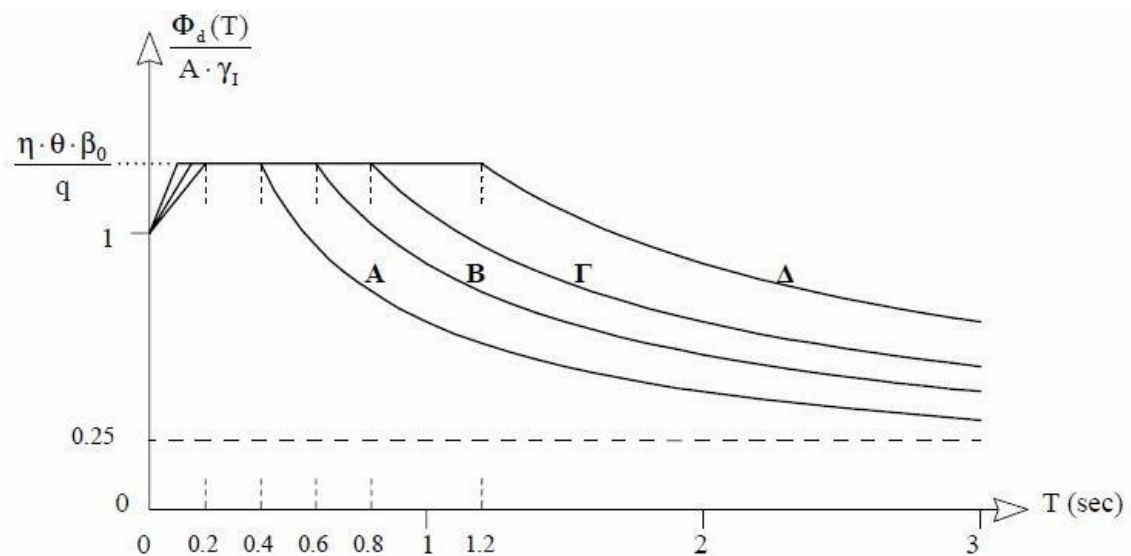
Πίνακας 7: Συντελεστής θεμελίωσης  $\theta$

Προϋποθέσεις		
1α.	Το κτίριο διαθέτει ένα υπόγειο	0.90
1β.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι γενική κοιτόστρωση	
1γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που φέρουν δοκούς σύνδεσης στην κεφαλή	



2α.	Το κτίριο διαθέτει δύο τουλάχιστον υπόγεια	0.80
2β.	Το κτίριο διαθέτει ένα τουλάχιστον υπόγειο και η θεμελίωση είναι γενική κοιτόστρωση	
2γ.	Η θεμελίωση του κτιρίου είναι με πασσάλους που συνδέονται με ενιαίο κεφαλόδεσμο (όχι αναγκαστικά ενιαίου πάχους)	
Παρατήρηση: Υπόγειος θεωρείται ένας όροφος όταν έχει περιμετρικά τοιχώματα έτσι, ώστε οι συνδεόμενες πλάκες να είναι πρακτικά αμετάθετες.		

$\beta_0$  : συντελεστής φασματικής ενίσχυσης



Εικόνα 27: Φάσμα Σχεδιασμού

Πίνακας 8: Τιμές των χαρακτηριστικών περιόδων T1 και T2

Κατηγορία εδάφους	A	B	Γ	Δ
T <sub>1</sub>	0,10	0,15	0,20	0,20
T <sub>2</sub>	0,40	0,60	0,80	1,20

q : συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής (παρ.2.3.5)

**Πίνακας 9: Συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής q**

ΥΛΙΚΟ	ΔΟΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	q
1. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	α. Πλαίσια ή μικτά συστήματα	3,50
	β. Συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν σαν πρόβολοι	3,00
	γ. Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50% της συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους.	2,00
2. ΧΑΛΥΒΑΣ	α. Πλαίσια	4,00
	β. Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα *	4,00
	γ. Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα:	
	<input type="checkbox"/> διαγώνιοι σύνδεσμοι	3,00
	<input type="checkbox"/> σύνδεσμοι τύπου V ή L	1,50
<input type="checkbox"/> σύνδεσμοι τύπου K (όπου επιτρέπεται*)	1,00	
3. ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ	α. Με οριζόντια διαζώματα	1,50
	β. Με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα	2,00
	γ. Οπλισμένα (κατακόρυφα και οριζόντια)	2,50
4. ΞΥΛΟ	α. Πρόβολοι	1,00
	β. Δοκοί – Τόξα – Κολλητά πετάσματα	1,50
	γ. Πλαίσια με κοχλιώσεις	2,00
	δ. Πετάσματα με ηλώσεις	3,00

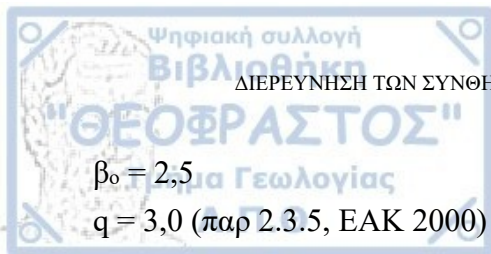
Σύμφωνα με τα στοιχεία του έργου οι ανωτέρω συντελεστές έχουν τις εξής τιμές:

$\gamma_1 = 1,15$  (παρ.2.3.4 ΕΑΚ 2000) για κτίρια σπουδαιότητας Σ3.

$A = 0,24g$

$\eta = 1$  για  $\zeta = 5$

$\theta = 1,0$  (παρ 2.3.7, ΕΑΚ 2000)



$$\beta_0 = 2,5$$

$$q = 3,0 \text{ (παρ 2.3.5, ΕΑΚ 2000)}$$

Σύμφωνα με την εξίσωση 1, ισχύει:

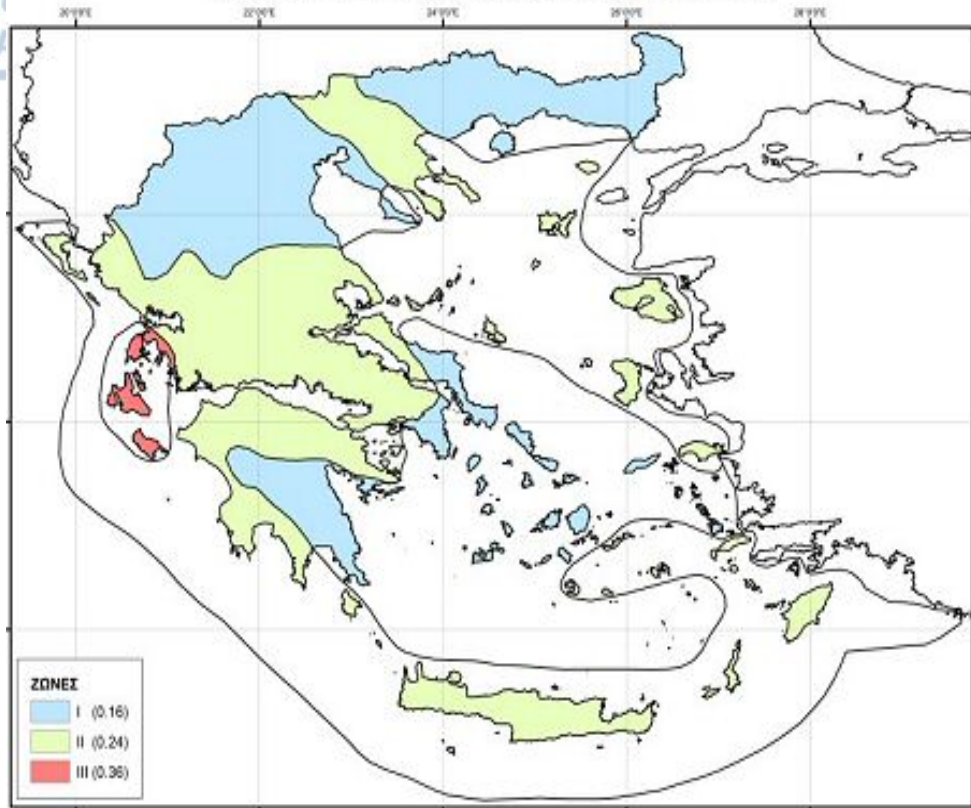
$$R_d (T) = 0,23$$

Σημειώνεται ότι σε περίπτωση όπου η ιδιοπερίοδος του κτιρίου δεν είναι μεταξύ των τιμών 0,2 sec και 0,8 sec η τιμή του  $R_d (T)$ , μειώνεται με βάση το τροποποιημένο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τους τύπους 2.1.α και 2.1.γ του ΕΑΚ 2000.

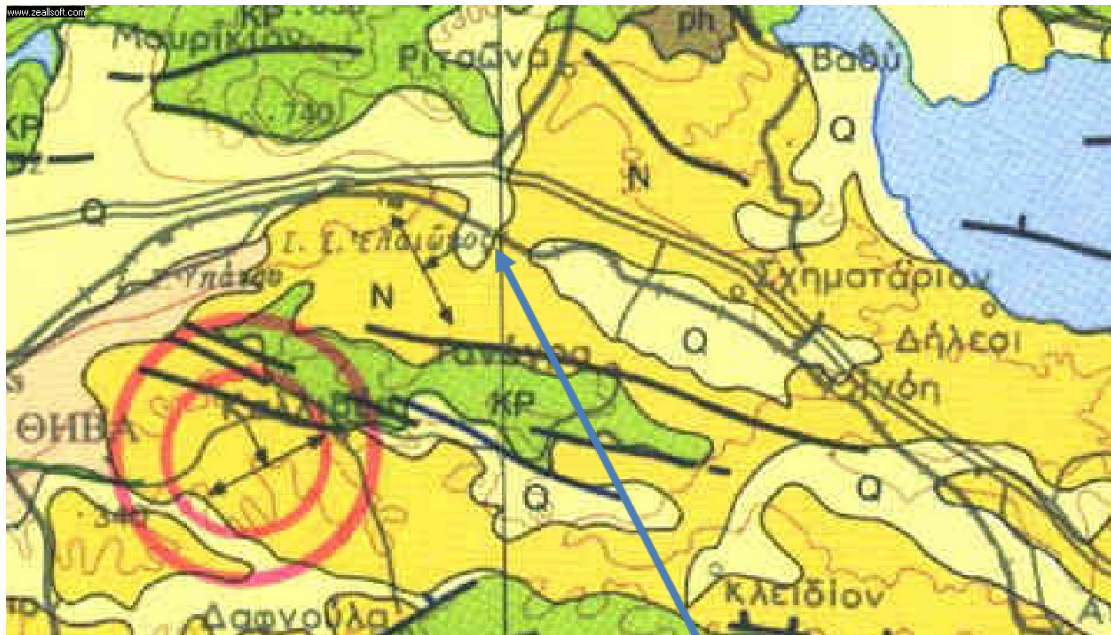
Επίσης, σύμφωνα με τον σεισμοτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας ([Εικόνα 29](#)), η περιοχή κατασκευής του έργου δεν βρίσκεται στην άμεση γειτονία σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων, τα οποία θα μπορούσαν να θεωρηθούν δυνητικώς ενεργά. Τέλος, η σύσταση των στρωμάτων του υπεδάφους καθιστά μη πιθανό το φαινόμενο ρευστοποίησης τους σε περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού.



ΝΕΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ



Εικόνα 28:Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003)



Εικόνα 29: Σεισμοτεκτονικός χάρτης περιοχής μελέτης. (ΙΓΜΕ, κ: 1:500.000)



### 3.2.2 ΕΛΕΩΝΑΣ

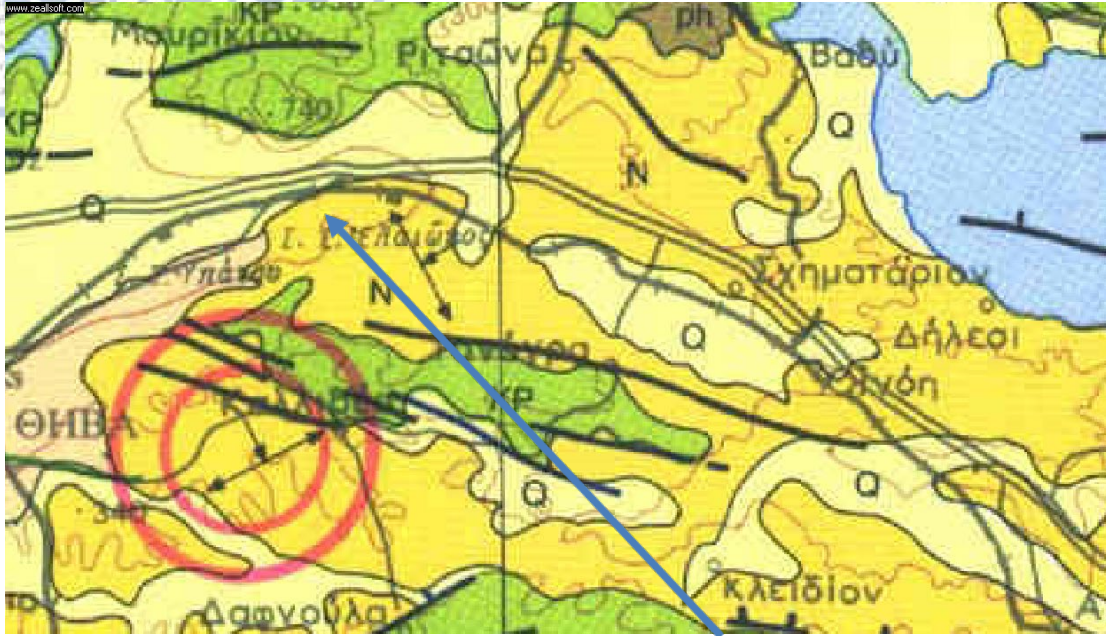
Σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154B', 12-8-2003), η ευρύτερη περιοχή του Ν. Βοιωτίας εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II ([Εικόνα 28](#)), με μέγιστη σεισμική επιτάχυνση  $a=0,24g$  (όπου  $g$ , επιτάχυνση της βαρύτητας) με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη, το δε υπέδαφος κατατάσσεται στην κατηγορία Β, έτσι όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας.

Σύμφωνα με την εξίσωση 1, ισχύει:

$$R_d(T) = 0,23$$

Σημειώνεται ότι σε περίπτωση όπου η ιδιοπερίοδος του κτιρίου δεν είναι μεταξύ των τιμών 0,2 sec και 0,8 sec η τιμή του  $R_d(T)$ , μειώνεται με βάση το τροποποιημένο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τους τύπους 2.1.α και 2.1.γ του ΕΑΚ 2000.

Επίσης, σύμφωνα με τον σεισμοτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας ([Εικόνα 30](#)), η περιοχή κατασκευής του έργου δεν βρίσκεται στην άμεση γειτονία σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων, τα οποία θα μπορούσαν να θεωρηθούν δυνητικώς ενεργά. Τέλος, η σύσταση των στρωμάτων του υπεδάφους καθιστά μη πιθανό το φαινόμενο ρευστοποίησής τους σε περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού.



Εικόνα 30: Σεισμοτεκτονικός χάρτης περιοχής μελέτης. (ΙΓΜΕ, κ: 1:500.000)



Σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154B', 12-8-2003), η ευρύτερη περιοχή του Λευκώνα Σερρών εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I ([Εικόνα 28](#)), με μέγιστη σεισμική επιτάχυνση  $a=0,16g$  (όπου  $g$ , επιτάχυνση της βαρύτητας) με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη. Το υπέδαφος κατατάσσεται στην κατηγορία Γ έως Χ, καθώς η σύσταση των στρωμάτων στο υπέδαφος του συγκεκριμένου χώρου, καθιστά πιθανό το φαινόμενο ρευστοποίησής τους σε περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού, έτσι όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Για το λόγο αυτό σε επόμενο κεφάλαιο γίνεται έλεγχος της επικινδυνότητας ρευστοποίησης του υπεδάφους θεμελίωσης.

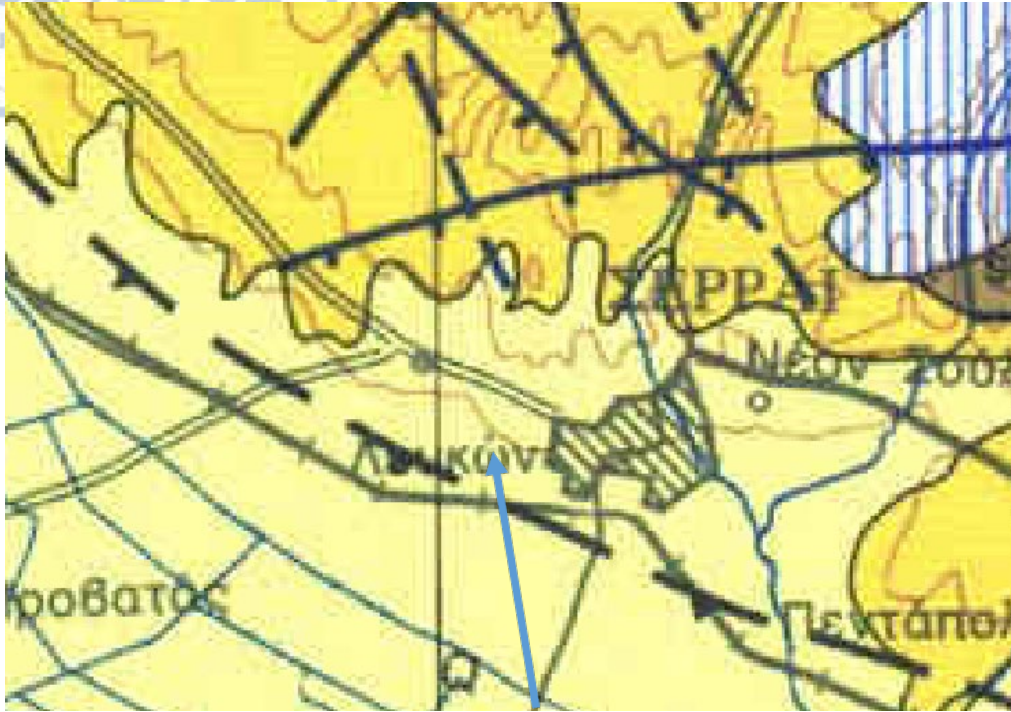
Σύμφωνα με την εξίσωση 1, ισχύει:

$$R_d(T) = 0,153$$

Σημειώνεται ότι σε περίπτωση όπου η ιδιοπερίοδος του κτιρίου δεν είναι μεταξύ των τιμών 0,2 sec και 0,8 sec η τιμή του  $R_d(T)$ , μειώνεται με βάση το τροποποιημένο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τους τύπους 2.1.α και 2.1.γ του ΕΑΚ 2000.

Επίσης, σύμφωνα με τον σεισμοτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας ([Εικόνα 31](#)), η περιοχή κατασκευής του έργου δεν βρίσκεται στην άμεση γειτονία σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων, τα οποία θα μπορούσαν να θεωρηθούν δυνητικώς ενεργά. Τέλος, με βάση τα διαθέσιμα σεισμολογικά στοιχεία, η ανάλυση της επικινδυνότητας για ρευστοποίηση πρέπει να γίνει για τιμή μέγιστου αναμενόμενου σεισμού  $M_w=6$  Richter.

Βάσει Ευρωκώδικα, (EN 1998-Part 1) η κατηγορία εδάφους είναι **D-S<sub>2</sub>** (loose to medium cohesionless soil or soft to firm cohesive soil-liquefiable soils or soil profiles not included in types A-E or S<sub>1</sub>,  $N_{SPT}<15$ ,  $C_u<70kPa$ ).



Εικόνα 31: Σεισμοτεκτονικός χάρτης περιοχής μελέτης. (IGME, κ: 1:500.000)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 4.1 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ – ΥΠΟΓΕΙΑ ΝΕΡΑ

#### 4.1.1 ΑΡΜΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας (Χατζηγώγος, 2020), το υπέδαφος στη θέση του συγκεκριμένου οικοπέδου συνίσταται κυρίως από συνεκτικές αργίλους και μάργες του Νεογενούς με λεπτούς οριζόντες στρωμάτων πολύ πυκνών άμμων καλής διαβάθμισης. Η στρωματογραφία του υπεδάφους είναι πρακτικά οριζόντια και παρουσιάζεται στην εδαφική τομή που δίνεται στην [Εικόνα 36](#).

Πιο συγκεκριμένα, στη γεώτρηση Γ-1 ([Εικόνα 36](#)) βρέθηκαν τα εξής στρώματα:

**Στρώμα "S1"** : Μέχρι βάθους 2,5m περίπου, συναντήθηκαν εναλλαγές ελαφρά υγρής λευκότεφρης άμμου καλής διαβάθμισης, χαλαρής, και τεφροπράσινης συνεκτικής αργιλοϊλύος υψηλής πλαστικότητας, με ασβεστίτικα συγκρίματα (κατάταξη κατά USCS: SW). ([Εικόνα 32](#))



Εικόνα 32: Σχηματισμός S1 από τη Γεώτρηση Γ-1

**Στρώμα "C1"** : Από βάθος 2,5m - 5,2m περίπου, συναντήθηκε υγρή, τεφροπράσινη αργιούχος μάργα, συνεκτική, με οριζόντες ασβεστίτικων συγκριμάτων και οργανικά (κατάταξη κατά USCS: CH). ([Εικόνα 33](#))



Εικόνα 33: Σχηματισμός C1 αργιλόμαργας από τη Γεώτρηση Γ-1

**Στρώμα "C2"** : Από βάθος 5,2m - 9,4m περίπου, συναντήθηκε υγρή, τεφροπράσινη ιλυώδης αργιλόμαργα, σιφρή, με ενστρώσεις ασβεστιτικών συγκριμάτων και κυμαινόμενο ποσοστό άμμου (κατάταξη κατά USCS: CH-SP)([Εικόνα 34](#))



Εικόνα 34: Σχηματισμός C2 αργιλοϊλύος από τη Γεώτρηση Γ-1

**Στρώμα "C3"** : Από βάθος 9,4m - 15,0m, συναντήθηκε ελαφρά υγρή, σκληρή, καστανή ιλυώδης άργιλος υψηλής πλαστικότητας, με ενστρώσεις καστανοκίτρινης ιλυώδους άμμου (κατάταξη κατά USCS: CH-SC).( [Εικόνα 35](#))

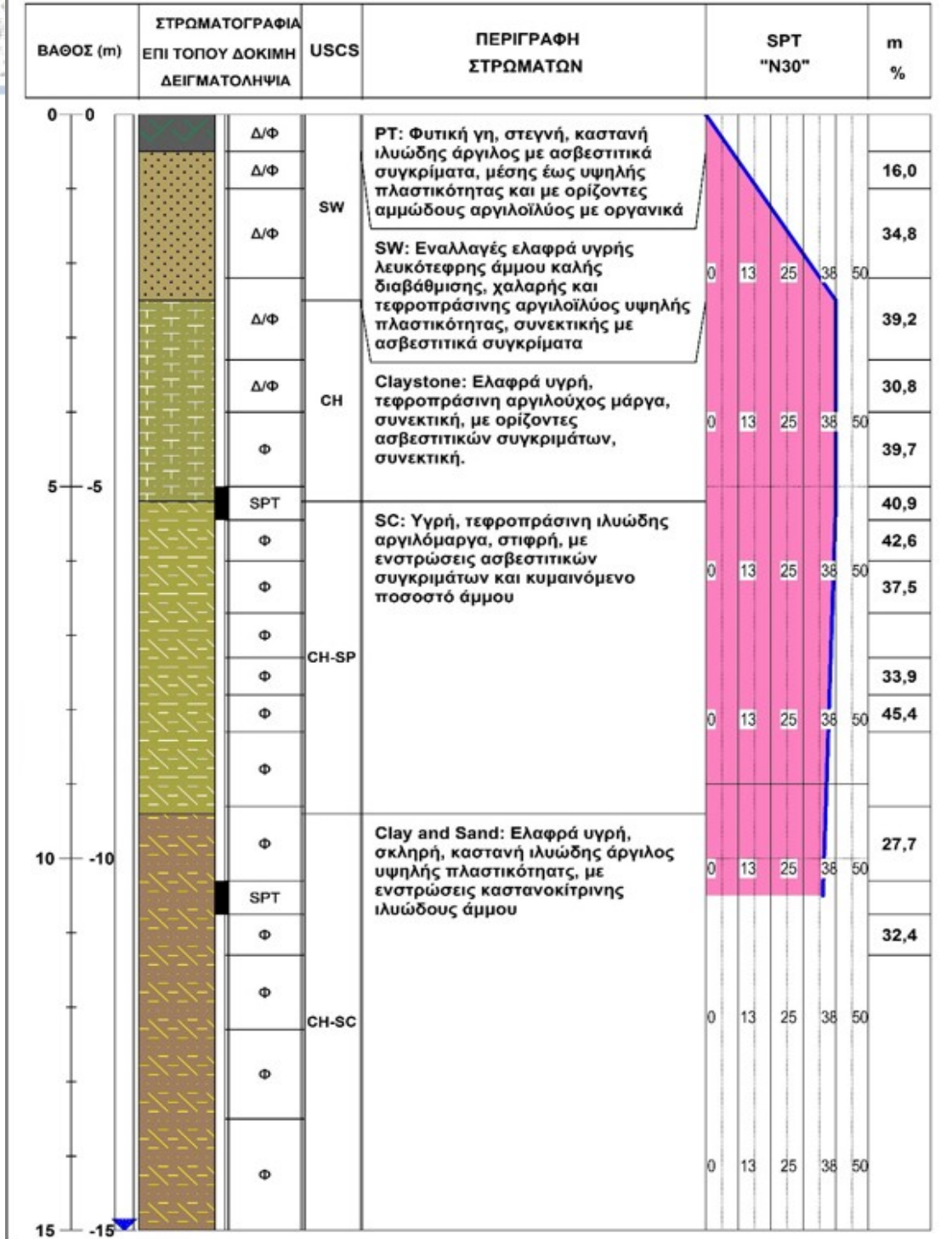




**Εικόνα 35: Σχηματισμός C3 αργιλοϊλύος από τη Γεώτρηση Γ-1**

Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της έρευνας (Νοέμβριος 2020) δεν βρέθηκε υπόγεια στάθμη μέχρι το βάθος έρευνας της γεώτρησης (15,0m).





Εικόνα 36:Εδαφική τομή γεώτρησης Γ-1 (Χατζηγώγος, 2020)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας (Χατζηγώγος, 2020), το υπέδαφος στη θέση του συγκεκριμένου οικοπέδου συνίσταται κυρίως από συνεκτικές αργίλους και μάργες του Νεογενούς με λεπτούς οριζόντες στρωμάτων πολύ πυκνών άμμων καλής διαβάθμισης. Η στρωματογραφία του υπεδάφους είναι πρακτικά οριζόντια και παρουσιάζεται στην εδαφική τομή που ακολουθεί ([Εικόνα 40](#)).

Πιο συγκεκριμένα, στη γεώτρηση Γ-1 ([Εικόνα 40](#)) βρέθηκαν τα εξής στρώματα:

**Στρώμα "C1"** : Μέχρι το βάθος των 1,2m περίπου, συναντήθηκε υγρή, καστανότεφρη, συνεκτική ασβεστιτική μάργα με συγκρίματα (κατάταξη κατά USCS: SW).([Εικόνα 37](#))



Εικόνα 37: Σχηματισμός C1 από τη Γεώτρηση Γ-1

**Στρώμα "S1"** : Από βάθος 1,2m - 3,85m περίπου, συναντήθηκε υγρή, καστανή αργιλώδης άμμος με χάλικες και ασβεστιτικά συγκρίματα, με σημαντική συνοχή λόγω διαγένεσης (κατάταξη κατά USCS: GC-SC).

**Στρώμα "C1"** : Από βάθος 3,85m - 5,3m περίπου, συναντήθηκε υγρή, καστανότεφρη, συνεκτική ασβεστιτική μάργα με συγκρίματα (κατάταξη κατά USCS: SW).([Εικόνα 38](#))





Εικόνα 38: Σχηματισμός S1 από τη Γεώτρηση Γ-1

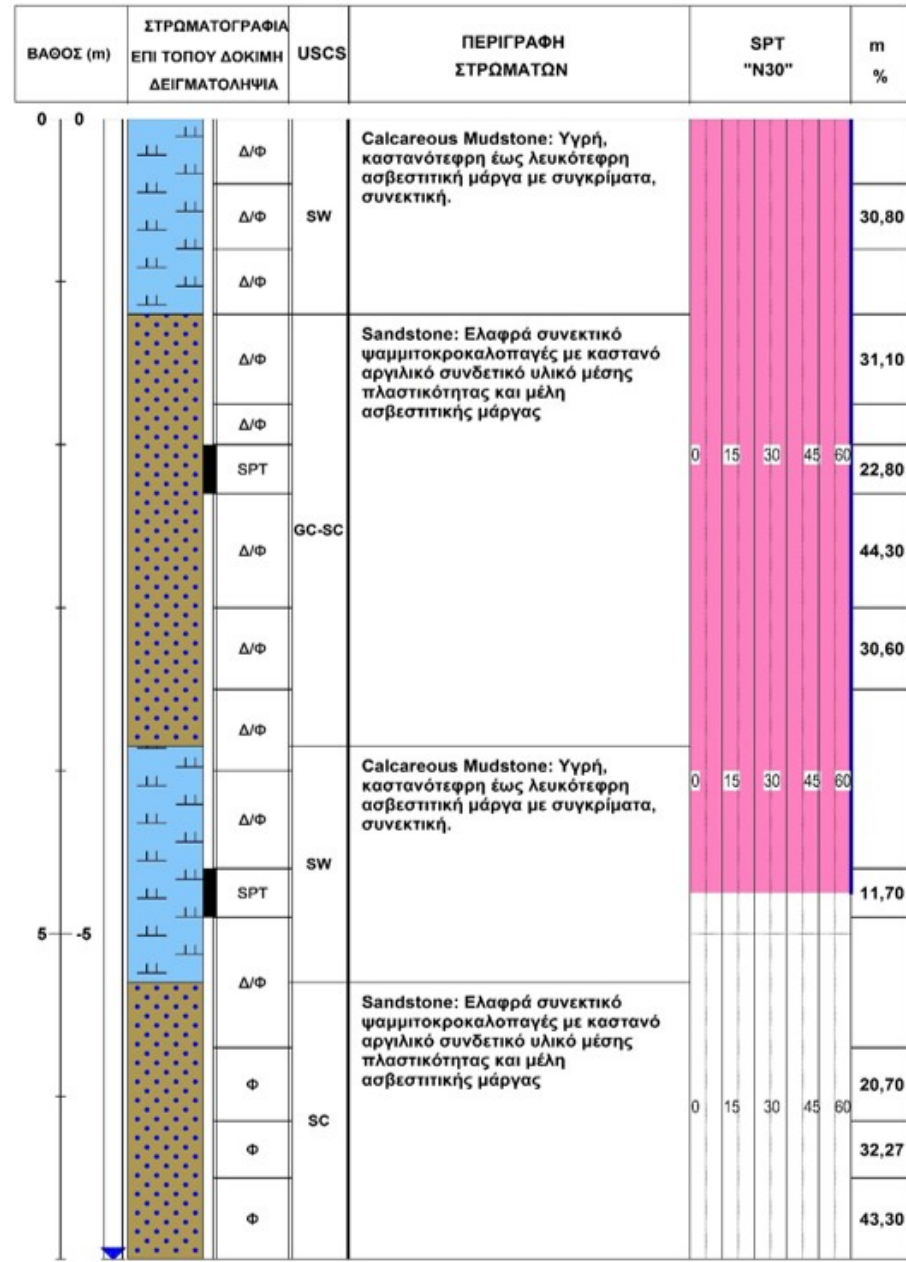
**Στρώμα "S2"** : Από βάθος 5,3m - 7,0m, συναντήθηκε ελαφρά συνεκτικό ψαμμιτοκροκαλοπαγές με καστανό αργιλικό συνδετικό υλικό μέσης πλαστικότητας και μέλη ασβεστιτικής μάργας (κατάταξη κατά USCS: SC).[\(Εικόνα 39\)](#)



Εικόνα 39: Σχηματισμός S2 ψαμμιτοκροκαλοπαγούς από τη Γεώτρηση Γ-1



Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της έρευνας (Νοέμβριος 2020) δεν βρέθηκε υπόγεια στάθμη μέχρι το βάθος έρευνας της γεώτρησης (7,0m).



Εικόνα 40:Εδαφική τομή γεώτρησης Γ-1 (Χατζηγώγος, 2020)

Αντίστοιχα, στη γεώτρηση Γ-2 ([Εικόνα 44](#)) βρέθηκαν τα εξής στρώματα:

**Στρώμα "C1"** : Μέχρι το βάθος των 0,6m περίπου, συναντήθηκε υγρή, καστανότεφρη, συνεκτική ασβεστιτική μάργα με συγκρίματα (κατάταξη κατά USCS: GC-SC).

**Στρώμα "S1"** : Από βάθος 0,6m -3,15m περίπου, συναντήθηκε υγρή, καστανή αργιλώδης άμμος με χάλικες και ασβεστιτικά συγκρίματα, με σημαντική συνοχή λόγω διαγένεσης (κατάταξη κατά USCS: SC).

**Στρώμα "C1"** : Από βάθος 3,15m - 4,0m περίπου, συναντήθηκε υγρή, καστανότεφρη, συνεκτική ασβεστιτική μάργα με συγκρίματα (κατάταξη κατά USCS: GC-SC).([Εικόνα 41](#))



**Εικόνα 41: Σχηματισμός C1 από τη Γεώτρηση Γ-2**

**Στρώμα "S2"** : Από βάθος 4,0m - 6,15m, συναντήθηκε ελαφρά συνεκτικό ψαμμιτοκροκαλοπαγές με καστανό αργιλικό συνδετικό υλικό μέσης πλαστικότητας και μέλη ασβεστιτικής μάργας (κατάταξη κατά USCS: SC).([Εικόνα 42](#))





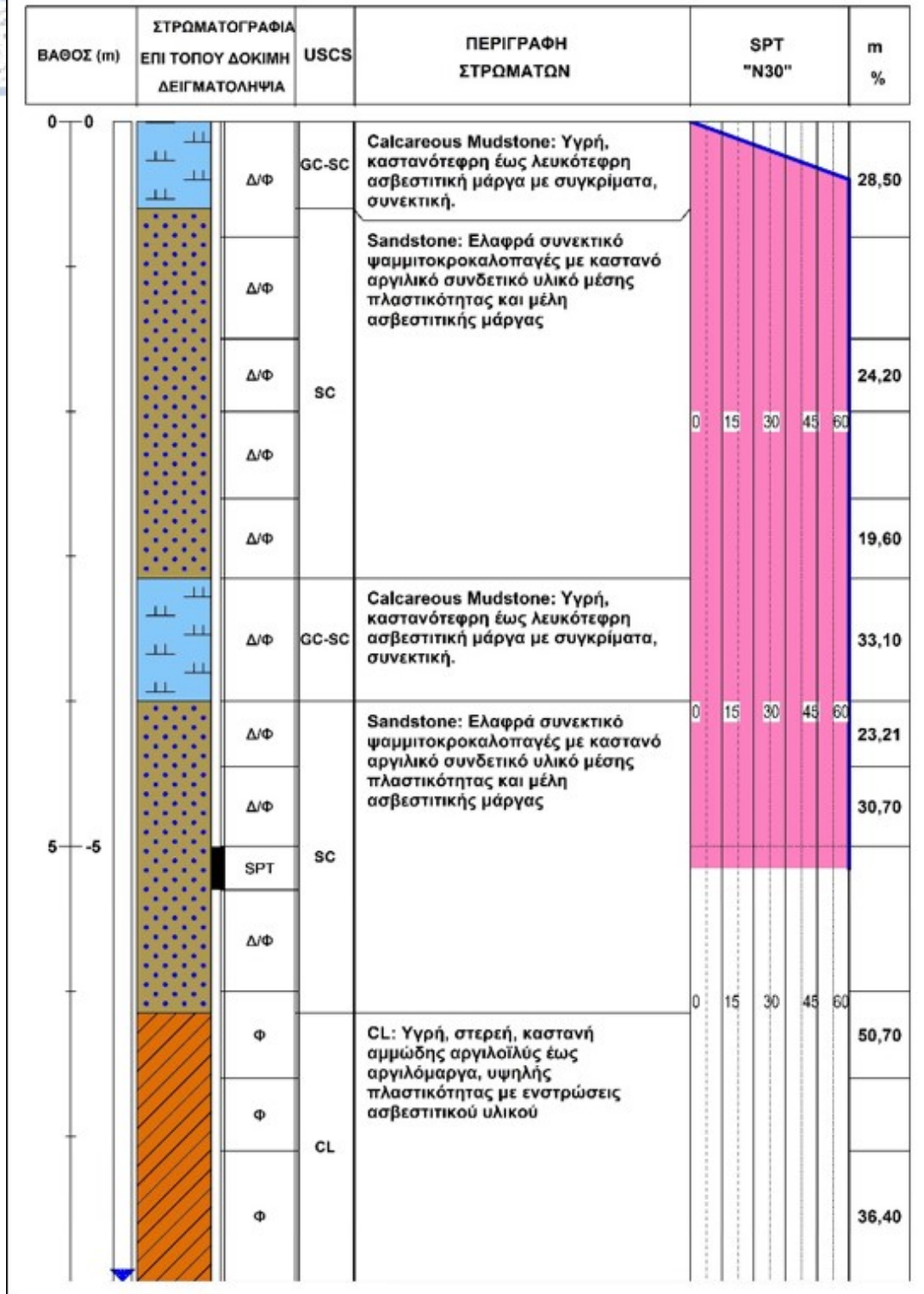
Εικόνα 42: Σχηματισμός S2 από τη Γεώτρηση Γ-2

**Στρώμα "C2"** : Από βάθος 6,15m - 8,0m, συναντήθηκε υγρή, στερεή, καστανή αμμώδης αργιλοίλυς έως αργιλόμαργα, υψηλής πλαστικότητας με ενστρώσεις ασβεστιτικού υλικού (κατάταξη κατά USCS: CL).([Εικόνα 43](#))



Εικόνα 43: Σχηματισμός C2 από τη Γεώτρηση Γ-2





Εικόνα 44:Εδαφική τομή γεώτρησης Γ-2 (Χατζηγώγος, 2020)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας (Χατζηγώγος, 2020), το υπέδαφος στη θέση του συγκεκριμένου αγροτεμαχίου συνίσταται κυρίως από σύγχρονες προσχώσεις κοιλάδων αποτελούμενες από εναλλαγές χαλαρών ιλυωδών άμμων και μαλακών αργιλοϊλύων. Η στρωματογραφία του υπεδάφους είναι πρακτικά οριζόντια και παρουσιάζεται στην εδαφική τομή που δίνεται στην [Εικόνα 46](#).

Πιο συγκεκριμένα, στη γεώτρηση Γ-1 βρέθηκαν τα εξής στρώματα:

**Στρώμα "S1"** : Μέχρι το βάθος των 1,7m περίπου, συναντήθηκε ξηρή και στη συνέχεια μέχρι τα 2,6m υγρή, καστανή έως καστανοκίτρινη χαλαρή ιλυώδης άμμος, με οριζόντες αμμώδους ιλύος μέσης συνεκτικότητας, μη πλαστικής (κατάταξη κατά USCS: SM-ML)

**Στρώμα "C1"** : Από βάθος 2,6m - 4,9m περίπου, συναντήθηκε υγρή, τεφροπράσινη οργανική αργιλώδης ιλύς με κυμαινόμενο ποσοστό αργίλου, πολύ μαλακή έως υδαρή, μέσης πλαστικότητας με οριζόντια χαλαρής μέσης έως χονδρής άμμου με συγκρίματα διαμέτρου >4cm ([Εικόνα 45](#)), (κατάταξη κατά USCS: ML-CL).

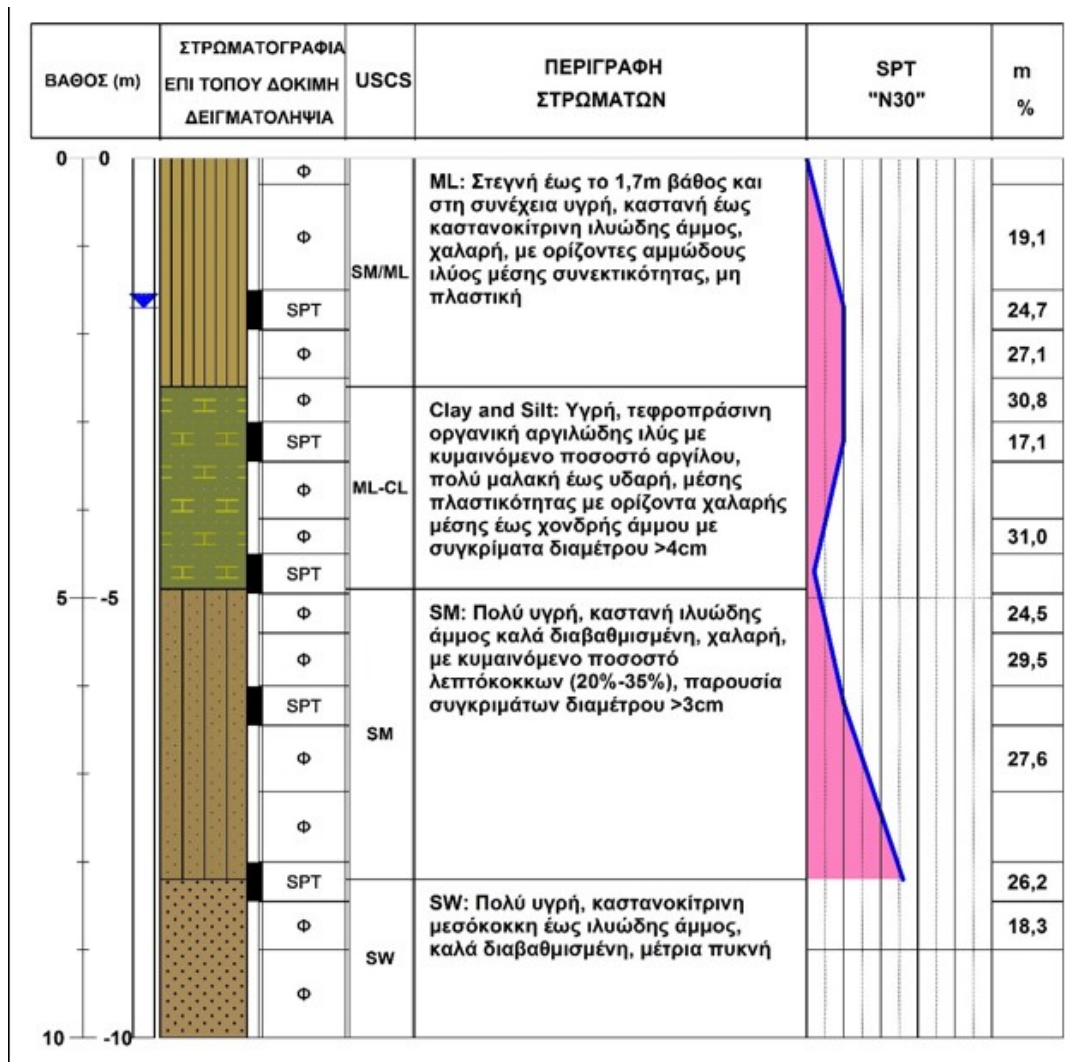


Εικόνα 45: Ενδεικτική εικόνα στρώματος C1

**Στρώμα "S2"** : Από βάθος 4,9m -βάθος 8,2m περίπου, συναντήθηκε πολύ υγρή, καστανή ιλυώδης άμμος καλά διαβαθμισμένη, χαλαρή, με κυμαινόμενο ποσοστό λεπτόκοκκων (20%-35%), παρουσία συγκριμάτων διαμέτρου >3cm, (κατάταξη κατά USCS: SM)

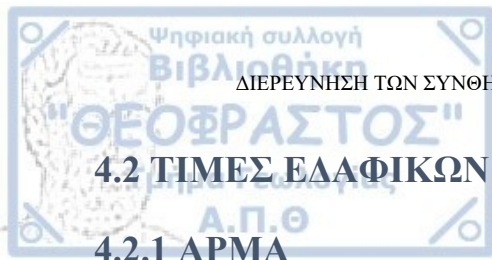
**Στρώμα "S3"** : Από βάθος 8,2m - 10,0m, συναντήθηκε πολύ υγρή, καστανοκίτρινη, μέτρια πυκνή, μεσόκοκκη έως ιλυώδης άμμος, καλά διαβαθμισμένη (κατάταξη κατά USCS: SW).

Κατά τη διάρκεια διεξαγωγής της έρευνας (Μάρτιος 2020) η υπόγεια στάθμη εντοπίστηκε σε βάθος 1,70m.



Εικόνα 46:Εδαφική τομή γεώτρησης Γ-1 (Χατζηγώγος, 2020)





## 4.2 ΤΙΜΕΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

### 4.2.1 ΑΡΜΑ

Οι τιμές των παραμέτρων των εδαφικών στρώσεων προκύπτουν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών στα δείγματα της δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ-1. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές των διαφόρων χαρακτηριστικών κατάταξης και φυσικής κατάστασης των διαχωριζόμενων στρωμάτων, προκύπτουν γενικά ως οι μέσοι όροι των τιμών των αντιστοίχων εργαστηριακών δοκιμών, όπως και οι τιμές των χαρακτηριστικών αντοχής και συμπιεστότητας. Κατά περίπτωση μπορεί να προκύπτουν και ως οι ελάχιστες χαρακτηριστικές τιμές κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας με διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Τα παραπάνω αποτελέσματα αξιολογούνται και ερμηνεύονται σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών NSPT που παρουσιάζονται στον [Πίνακα 10](#).

Πίνακας 10: Αποτελέσματα έρευνας επί τόπου δοκιμών NSPT

<b>Γ1</b>		
<b>ΒΑΘΟΣ(m)</b>	<b>N<sub>30</sub>SPT</b>	<b>N<sub>30</sub>SPT<sub>cor</sub></b>
5,00-5,45	40	42,4
10,30-10,75	36	29,3



#### 4.2.2 ΕΛΕΩΝΑΣ

Οι τιμές των παραμέτρων των εδαφικών στρώσεων προκύπτουν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών στα δείγματα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων Γ-1 και Γ-2. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές των διαφόρων χαρακτηριστικών κατάταξης και φυσικής κατάστασης των διαχωριζόμενων στρωμάτων, προκύπτουν γενικά ως οι μέσοι όροι των τιμών των αντιστοίχων εργαστηριακών δοκιμών, όπως και οι τιμές των χαρακτηριστικών αντοχής και συμπιεστότητας. Κατά περίπτωση μπορεί να προκύπτουν και ως οι ελάχιστες χαρακτηριστικές τιμές κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας με διάστημα εμπιστοσύνης 95%. Τα παραπάνω αποτελέσματα αξιολογούνται και ερμηνεύονται σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών NSPT που παρουσιάζονται στον [Πίνακα 11](#).

Πίνακας 11: Αποτελέσματα έρευνας επί τόπου δοκιμών NSPT

ΒΑΘΟΣ(m)	N <sub>30</sub> SPT
<b>Γ1</b>	
2,00-2,30	>50
4,60-4,90	>50
<b>Γ2</b>	
5,00-5,30	>50

Οι τιμές των παραμέτρων των εδαφικών στρώσεων προκύπτουν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών στα δείγματα της δειγματοληπτικής γεώτρησης Γ-1. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές των διαφόρων χαρακτηριστικών κατάταξης των διαχωριζόμενων στρωμάτων, προκύπτουν ως οι μέσοι όροι των τιμών των αντιστοίχων εργαστηριακών δοκιμών. Ομοίως οι τιμές των χαρακτηριστικών αντοχής και συμπιεστότητας εκτιμώνται ως οι μέσοι όροι των τιμών των εργαστηριακών δοκιμών ή κατά περίπτωση ως οι ελάχιστες χαρακτηριστικές τιμές. Τα παραπάνω αποτελέσματα αξιολογούνται και ερμηνεύονται σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των επί τόπου δοκιμών  $N_{SPT}$  που παρουσιάζονται στον [Πίνακα 12](#).

Πίνακας 12: Αποτελέσματα έρευνας επί τόπου δοκιμών  $N_{SPT}$

Γ1		
ΒΑΘΟΣ(m)	$N_{30SPT}$	$N_{30SPTcor}$
1,50-1,95	5	6,6
3,00-3,45	5	5,7
4,50-4,95	1	1,2
6,00-6,45	5	4,6
8,00-8,45	13	12,1



### 4.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

Σε όλες τις εξεταζόμενες περιοχές και με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών  $N_{SPT}$  υπολογίστηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των επιμέρους στρωμάτων που διακρίθηκαν, με τη χρήση των παρακάτω εμπειρικών σχέσεων:

$$C_u = 0,6N \text{ t/m}^2 \text{ (Terzaghi \& Peck)}$$

$$\varphi' = 0,3N + 27^\circ \text{ ή SPT (30-50) ---- } \varphi = 40^\circ - 45^\circ \text{ (Peck)}$$

$$E_s = 300(N+6) \text{ kPa (Bowles)}$$

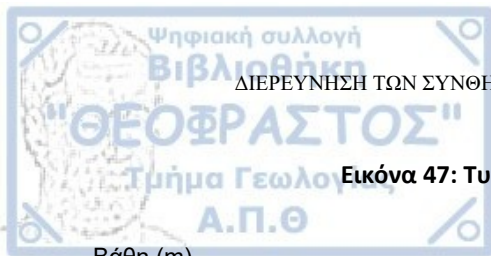
#### 4.3.1 ΑΡΜΑ

Στον [Πίνακα 13](#) που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων (αντοχή-συμπίεστότητα) των στρωμάτων ανά γεώτρηση, όπως προέκυψαν από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών.

**Πίνακας 13: Συνοπτικά αποτελέσματα αξιολόγησης επί τόπου δοκιμών και εργαστηριακών δοκιμών για τη Γεώτρηση Γ1 (Χατζηγώγος, 2020)**

Στρώμα	Βάθος (m)	$N_{30SPT}$	$N_{30SPT_{cor}}$	$C_u$ (kPa)	$C_{uspt}$ (kPa)	$E_{soed}$ (MPa)	$E_{sspt}$ (MPa)	$\varphi'_{spt}$ (°)
<b>C1</b>	2,5	-	-	115,9		7,2		
<b>C2</b>	5,2	40	42,4	45,4	240	3,4	13,8	39,0
<b>C3</b>	9,4	36	29,3	185,8	175,8	-	10,7	35,8

Με βάση τα προαναφερθέντα στις παραγράφους 4.1 και 4.2, στην [Εικόνα 47](#) δίνεται η εδαφική τομή σχεδιασμού, η οποία βασίζεται στην εδαφική τομή της γεώτρησης Γ1 και χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή των σχετικών εδαφοτεχνικών αναλύσεων.



Εικόνα 47: Τυπική εδαφική τομή σχεδιασμού περιοχής έρευνας

Βάθη (m)

↓ Φυσικό έδαφος

0,0

**Στρώμα "S1":** Εναλλαγές ελαφρά υγρής λευκότεφρης άμμου καλής διαβάθμισης, χαλαρής, και τεφροπράσινης αργιλοίλους υψηλής πλαστικότητας, συνεκτικής με ασβεστίτικα συγκρίματα.

[SW]

$W \cong 16,0$        $\gamma \cong 14,6$        $e \cong 1,15$

2,5

**Στρώμα "C1":** Υγρή, τεφροπράσινη αργιλούχος μάργα, συνεκτική, με ορίζοντες ασβεστίτικων συγκριμάτων και οργανικά [CH]

$W \cong 30,8-39,7$      $\gamma \cong 16,3-17,4$        $e \cong 0,87-1,05$      $C_u \cong 115,9$

$Es \cong 7,2$        $Cc \cong 0,156$        $C_v \cong 7,88$        $Cr = 0,049$

5,2

**Στρώμα "C2":** Υγρή, τεφροπράσινη ιλυώδης αργιλόμαργα, στιφρή, με ενστρώσεις ασβεστίτικων συγκριμάτων και κυμαινόμενο ποσοστό άμμου [CH]

$W \cong 33,9-45,4$      $\gamma \cong 16,9-18,6$        $e \cong 0,77-1,06$      $C_u \cong 45,4$

$(\varphi' \cong 39^\circ)$        $(C_u \cong 240)$        $(Es \cong 13,8)$        $Es \cong 3,4$

$Cc \cong 0,156$      $C_v \cong 14,07$        $Cr = 0,07$

9,4

**Στρώμα "C3":** Ελαφρά υγρή, σκληρή, καστανή ιλυώδης άργιλος υψηλής πλαστικότητας, με ενστρώσεις καστανοκίτρινης ιλυώδους άμμου [CH]

$W \cong 27,7-32,4$      $\gamma \cong 18,2-19,2$      $e \cong 0,87$        $C_u \cong 185,8$

$(C_u \cong 175,8)$      $(\varphi' \cong 35,8^\circ)$        $(Es \cong 10,7)$

15,0





Υπόμνημα :

- W : Φυσική υγρασία (%)
- $\gamma$  : Υγρό φαινόμενο βάρος (kN /m<sup>3</sup>)
- e : Λόγος κενών
- $\varphi'$  : Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής (Deg)
- C<sub>u</sub> : Αστράγγιστη συνοχή (kPa)
- C<sub>c</sub> : Δείκτης συμπίεσότητας (περιοχή τάσεων κανονικής στερεοποίησης)
- C<sub>r</sub> : Δείκτης επανασυμπίεσης (περιοχή τάσεων προστερεοποίησης)
- C<sub>v</sub> : Συντελεστής στερεοποίησης (cm<sup>2</sup>/sec\*10<sup>-4</sup>)
- E<sub>s</sub> : Μέτρο συμπίεσότητας (MPa)

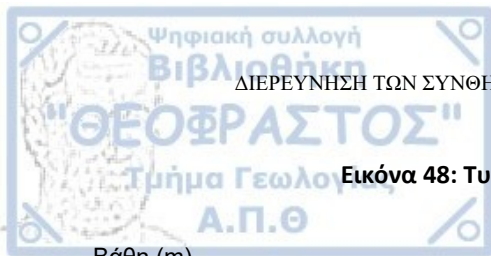


Στον [Πίνακα 14](#) που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων (αντοχή-συμπιεστότητα) των στρωμάτων, όπως προέκυψαν από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών.

**Πίνακας 14: Συνοπτικά αποτελέσματα αξιολόγησης επί τόπου δοκιμών και εργαστηριακών δοκιμών για τη Γεώτρηση Γ1. (Χατζηγώγος, 2020)**

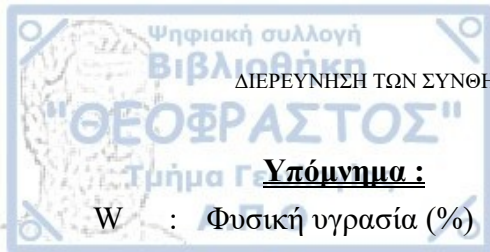
Στρώμα	Βάθος (m)	$N_{30SPT}$	$C_u$ (kPa)	$C_{uspt}$ (kPa)	$E_{soed}$ (MPa)	$E_{sspt}$ (MPa)	$\phi'_{spt}$ (°)	$\phi'$ (°)
<b>S1</b>	1,20	>50	-	300	-	16,8	43,8	26,7
<b>C1</b>	3,85	>50	-	300	-	16,8	43,8	-
<b>S2</b>	4,00	>50	86,7	300	4,0	16,8	43,8	-
<b>C2</b>	6,15	>50	101,4	300	-	16,8	43,8	-

Με βάση τα προαναφερθέντα στις παραγράφους 4.1 και 4.2, στην [Εικόνα 48](#) δίνεται η συνδυαστική εδαφική τομή σχεδιασμού, η οποία βασίζεται στις εδαφικές τομές των γεωτρήσεων Γ1 και Γ2 και χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή των σχετικών εδαφοτεχνικών αναλύσεων.



Εικόνα 48: Τυπική εδαφική τομή σχεδιασμού περιοχής έρευνας

Βάθος (m)	Φυσικό έδαφος
0,0	<p><b>Στρώμα "C1":</b> Υγρή, καστανότεφρη ασβεστιτική μάργα με συγκρίματα, συνεκτική <b>[SW]</b></p> <p><math>W \cong 28,5-30,8</math>    <math>\gamma \cong 18,7</math>    <math>e \cong 0,85</math></p>
0,6	<p><b>Στρώμα "S1":</b> Υγρή, καστανή αργιλώδης άμμος με χάλικες και ασβεστιτικά συγκρίματα, με σημαντική συνοχή λόγω διαγένεσης <b>[SC]</b></p> <p><math>W \cong 19,6-30,6</math>    <math>\gamma \cong 13,5-16,7</math>    <math>e \cong 1,21-1,35</math>    <math>C_u \cong 115,9</math>  <math>(\phi' \cong 43,8^\circ)</math>    <math>\phi' \cong 26,7^\circ</math>    <math>(C_u \cong 300)</math>    <math>(E_s \cong 16,8)</math></p>
3,2	<p><b>Στρώμα "C1":</b> Υγρή, καστανότεφρη ασβεστιτική μάργα με συγκρίματα, συνεκτική <b>[GC-SC]</b></p> <p><math>W \cong 33,1</math>    <math>\gamma \cong 17,3</math>    <math>e \cong 1,04</math>  <math>(\phi' \cong 43,8^\circ)</math>    <math>(C_u \cong 300)</math>    <math>(E_s \cong 16,8)</math></p>
4,3	<p><b>Στρώμα "S2":</b> Ελαφρά συνεκτικό ψαμμιτοκροκαλοπαγές με καστανό αργιλικό συνδετικό υλικό μέσης πλαστικότητας και μέλη ασβεστιτικής μάργας <b>[GC-SC]</b></p> <p><math>W \cong 20,7-33,1</math>    <math>\gamma \cong 16,5-17,3</math>    <math>e \cong 0,94-1,35</math>    <math>C_u \cong 86,7</math>    <math>(\phi' \cong 43,8^\circ)</math>  <math>(C_u \cong 300)</math>    <math>(E_s \cong 16,8)</math>    <math>E_s \cong 3,1-4,0</math>  <math>C_c \cong 0,16</math>    <math>C_v \cong 3,68</math>    <math>C_r \cong 0,022</math></p>
6,3	<p><b>Στρώμα "C1":</b> Υγρή, καστανότεφρη ασβεστιτική μάργα με συγκρίματα, συνεκτική <b>[CL]</b></p> <p><math>W \cong 36,4</math>    <math>\gamma \cong 16,5</math>    <math>e \cong 1,19</math>    <math>C_u \cong 101,4</math>  <math>(\phi' \cong 43,8^\circ)</math>    <math>(C_u \cong 300)</math>    <math>(E_s \cong 16,8)</math></p>
8,0	



**Υπόμνημα :**

W : Φυσική υγρασία (%)

$\gamma$  : Υγρό φαινόμενο βάρος (kN /m<sup>3</sup>)

e : Λόγος κενών

$\varphi'$  : Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής (Deg)

C<sub>u</sub> : Αστράγγιστη συνοχή (kPa)

C<sub>c</sub> : Δείκτης συμπίεστος (περιοχή τάσεων κανονικής στερεοποίησης)

C<sub>r</sub> : Δείκτης επανασυμπίεσης (περιοχή τάσεων προστερεοποίησης)

C<sub>v</sub> : Συντελεστής στερεοποίησης (cm<sup>2</sup>/sec\*10<sup>-4</sup>)

E<sub>s</sub> : Μέτρο συμπίεστος (MPa)



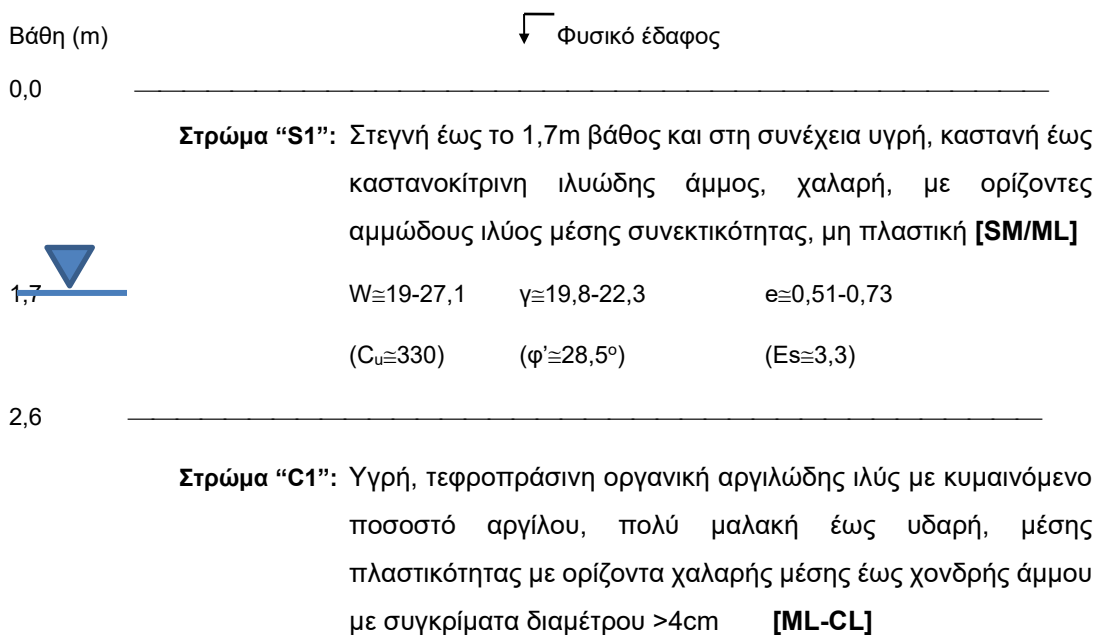
Στον [Πίνακα 15](#) που ακολουθεί παρουσιάζονται οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων (αντοχή-συμπιεστότητα) των στρωμάτων ανά γεώτρηση, όπως προέκυψαν από την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών.

**Πίνακας 15: Συνοπτικά αποτελέσματα αξιολόγησης επί τόπου δοκιμών και εργαστηριακών δοκιμών για τη Γεώτρηση Γ1. (Χατζηγώγος, 2020)**

Στρώμα	Βάθος (m)	Μέσο Πάχος(m)	N <sub>30</sub> SPT	N <sub>30</sub> SPT <sub>cor</sub>	C <sub>u</sub> (kPa)	C <sub>uspt</sub> (kPa)	E <sub>soed</sub> (MPa)	E <sub>sspt</sub> (MPa)	φ' <sub>spt</sub> (°)
S1	0	2,6	5	6,6	-	30	-	3,3	28,5
C1	2,6	2,3	1	1,2	-	7,2	2,2	2,1	27,3
S2	4,9	3,3	5	4,6	-	27,6	-	3,18	28,5
S3	8,2	1,8	13	12,1	-	72,6	-	14,0	30,9

Με βάση τα προαναφερθέντα στις παραγράφους 4.1 και 4.2, στην [Εικόνα 49](#) δίνεται η εδαφική τομή σχεδιασμού, η οποία βασίζεται στην εδαφική τομή της γεώτρησης Γ1 και χρησιμοποιείται για τη διεξαγωγή των σχετικών εδαφοτεχνικών αναλύσεων.

**Εικόνα 49: Τυπική εδαφική τομή σχεδιασμού περιοχής έρευνας**





$W \cong 31,0$	$\gamma \cong 19,3$	$e \cong 0,83$	$PI = 16$	$(C_u \cong 7,2)$
$E_s \cong 2,2$	$(E_s \cong 2,1)$	$C_c \cong 0,116$	$C_v \cong 5,8$	$(\phi' \cong 27,3^\circ)$

4,9

**Στρώμα "S2":** Πολύ υγρή, καστανή ιλυώδης άμμος καλά διαβαθμισμένη, χαλαρή, με κυμαινόμενο ποσοστό λεπτόκοκκων (20%-35%), παρουσία συγκριμάτων διαμέτρου >3cm **[SM]**

$W \cong 26,0-29,5$	$\gamma \cong 19,7$	$e \cong 0,77$
$(C_u \cong 27,6)$	$(\phi' \cong 28,5^\circ)$	$(E_s \cong 3,18)$

8,2

**Στρώμα "S3":** Πολύ υγρή, καστανοκίτρινη, μεσόκοκκη έως ιλυώδης άμμος, καλά διαβαθμισμένη, μέτρια πυκνή **[SW]**

$W \cong 18,3$	$\gamma \cong 19,8$	$e \cong 0,61$	$(\phi' \cong 30,9^\circ)$	$(E_s \cong 14,0)$
----------------	---------------------	----------------	----------------------------	--------------------

10,0

**Υπόμνημα :**

- W : Φυσική υγρασία (%)
- $\gamma$  : Υγρό φαινόμενο βάρος (kN /m<sup>3</sup>)
- e : Λόγος κενών
- $\phi'$  : Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής (Deg)
- $C_u$  : Αστράγγιστη συνοχή (kPa)
- $C_c$  : Δείκτης συμπιεστότητας (περιοχή τάσεων κανονικής στερεοποίησης)
- $C_v$  : Συντελεστής στερεοποίησης (cm<sup>2</sup>/sec\*10<sup>-4</sup>)
- $E_s$  : Μέτρο συμπιεστότητας (MPa)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας επικεντρώθηκε κυρίως στη διερεύνηση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του υπεδάφους θεμελίωσης των κτιρίων και στην εκτίμηση της μηχανικής τους συμπεριφοράς. Για το σκοπό αυτό ακολουθήθηκε μια μεθοδολογία σύμφωνα με τη σύσταση των δειγμάτων, τις απαιτήσεις σχεδιασμού του έργου και των προβλημάτων που ενδέχεται να παρατηρηθούν. Τα βασικά βήματα αυτής της μεθοδολογίας έρευνας είναι τα ακόλουθα:

1. Σχεδιασμός και εκτέλεση προγράμματος συμβατικών δοκιμών εδαφομηχανικής. Εκτελέστηκαν δοκιμές προσδιορισμού των φυσικών χαρακτηριστικών, δοκιμές ταξινόμησης εδαφών και δοκιμές υπολογισμού μηχανικών χαρακτηριστικών.
2. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων επί τόπου δοκιμών και σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών.
3. Εκτέλεση δοκιμών άμεσης διάτμησης σε κορεσμένες συνθήκες για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής της κορεσμένης ζώνης με χρήση συσκευής διάτμησης εδαφών.
4. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών άμεσης διάτμησης για την αποσαφήνιση της μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους θεμελίωσης και των μηχανικών παραμέτρων σχεδιασμού.
5. Έλεγχος φέρουσας ικανότητας και καθιζήσεων με χρήση ειδικών λογισμικών και υπολογισμός του συντελεστή ασφάλειας έναντι θραύσης, καθώς και των εκτιμώμενων καθιζήσεων.
6. Ερμηνεία των υπολογιστικών ελέγχων και εκτίμηση των γεωτεχνικών κινδύνων στη θέση της έρευνας.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Σε επιλεγμένα δείγματα των γεωτρήσεων εκτελέστηκε ένα πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής κατάλληλα προσαρμοσμένο στη σύσταση των δειγμάτων, στις απαιτήσεις θεμελίωσης του έργου και των προβλημάτων ευστάθειας του υπεδάφους που έχουν παρατηρηθεί.

Οι εργαστηριακές δοκιμές περιελάμβαναν :

- Δοκιμές κατάταξης του εδάφους (κοκκομετρικές αναλύσεις με κόσκινα, κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο, μετρήσεις ορίων υδαρότητας - πλαστικότητας).
- Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών χαρακτηριστικών (φυσική υγρασία, φαινόμενο βάρος και εξ αυτών προσδιορισμό του δείκτη κενών και του βαθμού κορεσμού του εδάφους).
- Δοκιμές προσδιορισμού των παραμέτρων συμπίεστότητας (δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης).
- Δοκιμές προσδιορισμού των παραμέτρων αντοχής (δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης, δοκιμή άμεσης διάτμησης).
- Συγκριτική δοκιμή άμεσης διάτμησης εδαφικού δείγματος σε κορεσμένες και ακόρεστες συνθήκες.

Οι εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής εκτελέστηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. κατά τρόπο σύμφωνο με τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε106- 85) και τις αντίστοιχες οδηγίες και προδιαγραφές της Α.Σ.Τ.Μ. (American Society for Testing and Materials).



## 6.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ

Οι δοκιμές προσδιορισμού των φυσικών χαρακτηριστικών του εδάφους αποτελούν τη βάση όλων των υπολογισμών των γεωτεχνικών συνθηκών και της μηχανικής συμπεριφοράς. Είναι δοκιμές σύντομης χρονικής διάρκειας και χαμηλού κόστους και εκτελούνται πάντοτε στα πλαίσια μιας γεωτεχνικής έρευνας. Οι φυσικές ιδιότητες που υπολογίζονται είναι η φυσική υγρασία  $m$ , το φαινόμενο  $\gamma$  και το ειδικό βάρος  $\gamma_s$  και εξ' αυτών προσδιορίζονται ο δείκτης πόρων  $e$ , ο βαθμός κορεσμού  $S$  και το ξηρό φαινόμενο βάρος  $\gamma_d$ .

### ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Αρχικά πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε άλλη δοκιμή υπολογίζεται η φυσική υγρασία του εδάφους. Η δοκιμή αυτή έχει ως σκοπό τη μέτρηση της μάζας του νερού που περιέχεται στο δείγμα του εδαφικού σχηματισμού. Ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του νερού που υπάρχει μέσα στους πόρους ( $W_w$ ) προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους ( $W_s$ ), δηλαδή:

$$m = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM D2216-80.

### ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

Το φαινόμενο βάρος ορίζεται ως το πηλίκο του ολικού βάρους προς το συνολικό όγκο του εδάφους:

$$\gamma = \frac{W}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

όπου  $W$  το ολικό βάρος του δείγματος όπου συμπεριλαμβάνονται και οι πόροι με το περιεχόμενο τους (αέρας + νερό) και  $V$  ο συνολικός όγκος του δείγματος .

Η διαδικασία προσδιορισμού του φαινόμενου βάρους που ακολουθήθηκε είναι σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM C-29.

Το φαινόμενο βάρος συνδέεται με άλλα βάρη των εδαφών με τις σχέσεις:



$$\gamma = \gamma_d * (1 + m)$$

$$\gamma_{sat} = \frac{m + 1}{m + 1/\gamma_s}$$

Όπου  $\gamma_{sat}$  το φαινόμενο βάρος κορεσμένου εδάφους,  $\gamma_d$  το ξηρό φαινόμενο βάρος,  $m$  η υγρασία και  $\gamma_s$  το ειδικό βάρος.

Όσον αφορά τον προσδιορισμό του δείκτη κενών (πόρων), ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών  $V_v$  ενός εδαφικού σχηματισμού προς τον όγκο των στερεών συστατικών  $V_s$ :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1 - n}$$

Όπου  $n$  είναι το πορώδες.

Επίσης μπορεί να συνδέεται και με τις άλλες φυσικές παραμέτρους:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 = \frac{\gamma_s * (1 + m)}{\gamma} - 1$$

Σε συνθήκες κορεσμού ισχύει  $e = m \cdot \gamma_s / \gamma_w$ , ενώ για μερικά κορεσμένο έδαφος είναι  $e = m \cdot \gamma_s / S$ .

Όσον αφορά τον προσδιορισμό του ξηρού φαινόμενου βάρους, το ξηρό φαινόμενο βάρος είναι το ξηρό βάρος του υλικού προς τον συνολικό όγκο του δείγματος και υπολογίζεται από:

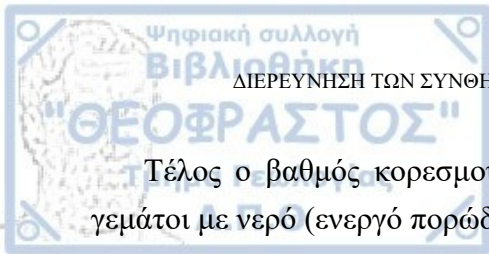
$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Επίσης μπορεί να συνδεθεί και με άλλες φυσικές ιδιότητες:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + m} = \frac{\gamma_s}{1 + e} = (1 - n) * \gamma_s$$

Ισχύει ότι:  $\gamma_d < \gamma < \gamma_{sat}$ .





Τέλος ο βαθμός κορεσμού προκύπτει από τη σχέση των κενών χώρων που είναι γεμάτοι με νερό (ενεργό πορώδες) προς το συνολικό πορώδες:

$$S_w = \frac{n_w}{n} = \frac{V_w}{V_v} = \frac{\gamma_s * m}{\gamma_w * e}$$

Σε κατάσταση κορεσμού ( $S=1$ ), η περιεκτικότητα σε νερό έχει τη μεγαλύτερη τιμή της.

Πίνακας 16: Αποτελέσματα Δοκιμών Προσδιορισμού Φυσικών Χαρακτηριστικών επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΑΡΜΑ)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ					
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑ A.U.S.C.S.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	ΒΑΘΜΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ
			m	γ	γ <sub>d</sub>	γ <sub>s</sub>	ε <sub>o</sub>	S
			%	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>			%
1	2	3	13	14	15	16	17	18
Γ1	1	0,00-0,50						
Γ1	2	0,50-1,00	16,00	1,46	1,26		1,15	37,72
Γ1	3	1,00-2,20	34,80	1,37	1,02		1,66	56,72
Γ1	4/1	2,20-2,50						
Γ1	4/2	2,50-3,30	39,20	1,63	1,17		1,05	89,64
Γ1	5	3,30-4,00	30,80	1,68	1,28		0,87	85,11
Γ1	6	4,00-5,00	39,70	1,74	1,25		0,93	102,79
Γ1	7	5,00-5,45	40,90					
Γ1	8	5,45-6,00	42,60	1,73	1,21		0,98	104,51
Γ1	9	6,00-6,70	37,50	1,86	1,35		0,77	116,25
Γ1	10	6,70-7,30						
Γ1	11	7,30-7,80	33,90	1,69	1,26		0,90	90,25
Γ1	12	7,80-8,30	45,40	1,69	1,16		1,06	102,32
Γ1	13	8,30-9,30						
Γ1	14	9,30-10,30	27,70	1,82	1,43		0,86	85,42
Γ1	15	10,30-10,75						
Γ1	16	10,75-11,30	32,40	1,92	1,45		0,83	103,77
Γ1	17	11,30-12,30						
Γ1	18	12,30-13,50						
Γ1	19	13,50-15,00						

Πίνακας 17: Αποτελέσματα Δοκιμών Προσδιορισμού Φυσικών Χαρακτηριστικών επιλεγμένων  
εδαφικών δειγμάτων(ΕΛΕΩΝΑΣ)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ					
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑ Α.Υ.Σ.Σ.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΥΓΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	ΒΑΘΜΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ
			m	γ	γ <sub>d</sub>	γ <sub>s</sub>	e <sub>o</sub>	S
			%	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>			%
1	2	3	13	14	15	16	17	18
Γ1	1	0,00-0,40						
Γ1	2	0,40-0,80	30,80	1,87	1,43		0,85	95,62
Γ1	3	0,80-1,20						
Γ1	4	1,20-1,75	31,10					
Γ1	5	1,75-2,00						
Γ1	6	2,00-2,30	22,80					
Γ1	7	2,30-3,00	44,30	1,67	1,16		1,29	91,02
Γ1	8	3,00-3,50	30,60					
Γ1	9	3,50-4,00						
Γ1	10	4,00-4,60						
Γ1	11	4,60-4,90	11,70					
Γ1	12	4,90-5,70						
Γ1	13	5,70-6,15	20,70	2,00	1,66		0,60	91,54
Γ1	14	6,15-6,50	32,27	1,71	1,29		1,05	81,46
Γ1	15	6,50-7,00	43,30	1,65	1,15		1,30	88,16
Γ2	1	0,00-0,80	28,50					
Γ2	2	0,80-1,50						
Γ2	3	1,50-2,00	24,20	1,49	1,20		1,21	53,05
Γ2	4	2,00-2,60						
Γ2	5	2,60-3,15	19,60	1,35	1,13		1,35	38,54
Γ2	6	3,15-4,00	33,10	1,73	1,30		1,04	84,44
Γ2	7	4,00-4,45	23,21	1,68	1,36		0,94	65,19
Γ2	8	4,45-5,00	30,70	1,68	1,29		1,06	76,63
Γ2	9	5,00-5,30						
Γ2	10	5,30-6,00						
Γ2	11	6,00-6,60	50,70	1,32	0,88		0,83	98,13
Γ2	12	6,60-7,10						
Γ2	13	7,10-8,00	36,40	1,65	1,21		1,19	81,01

Πίνακας 18: Αποτελέσματα Δοκιμών Προσδιορισμού Φυσικών Χαρακτηριστικών επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΛΕΥΚΩΝΑΣ)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ					
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑ A.U.S.C.S.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΥΠΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΞΗΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	ΑΡΧΙΚΟΣ ΛΟΓΟΣ ΚΕΝΩΝ	ΒΑΘΜΟΣ ΚΟΡΕΣΜΟΥ
			m	γ	γd	γs	e <sub>o</sub>	S
			%	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>			%
1	2	3	13	14	15	16	17	18
Γ1	1	0,00-0,30						
Γ1	2	0,30-1,50	19,10	1,64	1,38	2,70	0,96	53,67
Γ1	3	1,50-1,95	24,70	2,23	1,79	2,70	0,51	130,81
Γ1	4	1,95-2,50	27,10	1,98	1,56	2,70	0,73	99,80
Γ1	5	2,50-3,00	30,80	1,94	1,48	2,70	0,82	101,36
Γ1	6	3,00-3,45	17,10	1,96	1,67	2,70	0,61	75,30
Γ1	7	3,45-4,10						
Γ1	8	4,10-4,50	31,00	1,93	1,47	2,70	0,83	100,52
Γ1	9	4,50-4,95						
Γ1	10	4,95-5,40	24,50	2,07	1,66	2,70	0,62	106,02
Γ1	11	5,40-6,00	29,50	1,97	1,52	2,70	0,77	102,79
Γ1	12	6,00-6,45						
Γ1	13	6,45-7,20	27,60	1,94	1,52	2,70	0,78	96,05
Γ1	14	7,20-8,00						
Γ1	15	8,00-8,45	26,20	1,94	1,54	2,70	0,76	93,52
Γ1	16	8,45-9,00	18,30	1,98	1,67	2,70	0,61	80,58
Γ1	17	9,00-10,00						

## 6.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΛΑΦΩΝ

Οι δοκιμές που είναι απαραίτητες για την ταξινόμηση εδαφών και κατάταξη τους σε ομάδες γίνονται με σκοπό να εκτιμηθεί κατ' αρχάς η καταλληλότητα τους για την



κατασκευή τεχνικών έργων καθώς και η μηχανική συμπεριφορά τους. Στην προκειμένη περίπτωση πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κοκκομετρικής διαβάθμισης και προσδιορισμού ορίων Atterberg σε συνολικά δέκα επιλεγμένα δείγματα της γεώτρησης Γ1.

## **ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG**

Η περιεκτικότητα σε νερό διαδραματίζει αποφασιστικό ρόλο στις ιδιότητες αντοχής και στερεότητας του υλικού. Στα κοκκώδη εδάφη η μεταβολή του περιεχόμενου νερού παίζει μικρό ρόλο στην αντοχή του, αλλά στα λεπτόκοκκα συνεκτικά εδάφη μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές. Η συμπεριφορά των αργιλικών εδαφών σε σχέση με την περιεκτικότητα τους σε νερό προκύπτει από τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg (Χρηστάρας & Χαζηαγγέλου, 2011). Συνεπώς τα όρια αυτά βοηθούν άμεσα στην ταξινόμηση ενός λεπτόκοκκου εδάφους.

### **Όριο υδαρότητας (LL)**

Ορίζεται ως η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό κατά τη χρονική στιγμή που το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή (ρευστή) κατάσταση. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τη διερεύνηση του ορίου υδαρότητας ήταν η μέθοδος πενετρόμετρου πίπτοντος κώνου. Κατά τη μέθοδο αυτή κωνικό βαρίδιο συγκεκριμένου βάρους και γωνίας ανοίγματος, κρέμεται με την κορυφή του κώνου σε επαφή με το εδαφικό δείγμα. Το βαρίδιο απελευθερούμενο βυθίζεται εντός του δείγματος του εδάφους. Η τιμή του ορίου υδαρότητας για κωνικό βαρίδιο 60g με γωνία ανοίγματος 60° αντιστοιχεί σε διείσδυση 10mm.

Το βάθος διείσδυσης του κώνου, ανάλογα με το βάρος του, σχετίζεται επίσης και με τη διατμητική αντοχή του εδάφους μέσω της σχέσης:

$$C_u = 9,8 * \frac{K * M}{p^2} \text{ (kPa)}$$

Όπου Μ η μάζα του κώνου(gr), p το βάθος διείσδυσης του κώνου μέσα στο έδαφος και Κ σταθερά που εξαρτάται από τη γωνία ανοίγματος του κώνου.

Το όριο πλαστικότητας αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm χωρίς αυτός να θραύεται (AASHO T-90/70, ASTM D-4318/83). (Χρηστάρας & Χαζηαγγέλου, 2011)

### **Δείκτης πλαστικότητας PI**

Ορίζεται ως η περιεκτικότητα υγρασίας του εδάφους στην περιοχή ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και στο όριο πλαστικότητας ( $PI = LL - PL$ ), όπου το υλικό συμπεριφέρεται πλαστικά. Τα συνεκτικά εδάφη παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό πλαστικότητας, ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων τους (όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το έδαφος, τόσο ο δείκτης πλαστικότητας είναι μεγαλύτερος) και από την πετρογραφική τους σύσταση. Με ελαττούμενη περιεκτικότητα σε νερό τα εδάφη αυτά μεταβαίνουν από τη στερεή δια μέσου της πλαστικής στην ημιστερεή κατάσταση. (Χρηστάρας & Χαζηαγγέλου, 2011)

### **Δείκτης υδαρότητας (LI)**

Ορίζεται από τον τύπο  $LI = (w - PL) / PI$ . Η συμπεριφορά ενός εδάφους θεμελίωσης εξαρτάται από τη φυσική του υγρασία σε σχέση με τα όρια Atterberg και εκφράζεται με το δείκτη υδαρότητας. Όταν  $LI = 100\%$ , το έδαφος βρίσκεται στο όριο υδαρότητας, ενώ όταν  $LI = 0\%$ , το έδαφος βρίσκεται στο όριο πλαστικότητας. (Χρηστάρας & Χαζηαγγέλου, 2011)

### **Ενεργότητα**

Ο δείκτης PI αποτελεί γραμμική συνάρτηση του ποσοστού % καθαρής αργίλου του εδάφους. Η κλίση της ευθείας καλείται ενεργότητα και ισούται με  $PI / \% \text{ αργίλου}$  ( $d < 0,002 \text{ mm}$ ). Η ενεργότητα αποτελεί κατά κάποιο τρόπο μέτρο της δραστηριότητας του αργιλικού κλάσματος όσον αφορά την ικανότητά του να προσροφήσει νερό. Όταν η ενεργότητα είναι  $< 0,75$  τότε το έδαφος χαρακτηρίζεται ως μη ενεργό, όταν είναι μεταξύ 0,75 και 1,25 ως κανονικό και όταν είναι  $> 1,25$  ως ενεργό. (Χρηστάρας & Χαζηαγγέλου, 2011)



### Δείκτης συνεκτικότητας (I<sub>c</sub>)

Η αντοχή ενός εδάφους θεμελίωσης που αποτελείται από συνεκτικό χαλαρό πέτρωμα εξαρτάται από τον I<sub>c</sub> του υλικού. Επομένως χαρακτηρίζει την διατμητική αντοχή ενός εδάφους η οποία αυξάνει καθώς ο I<sub>c</sub> αυξάνει μεταξύ 0 και 1. (Χρηστάρας & Χαζηαγγέλου, 2011).

$$I_c = \frac{LL - m}{PI}$$

### ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΚΟΣΚΙΝΑ

Με σκοπό την ταξινόμηση των εδαφών υπολογίζεται επίσης στο εργαστήριο η κοκκομετρική τους διαβάθμιση (Unified Soil Classification System USCS – USAE, 1953, AASHO, 1961, IAEG, 1981).

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη διαδικασία για τον προσδιορισμό της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων με τη χρησιμοποίηση πρότυπων κόσκινων τετραγωνικών οπών (AASHO T-27/66, ASTM C-136). Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιούμε, ανάλογα με το υλικό που έχουμε να εξετάσουμε και διαφορετική ποσότητα δείγματος. Έτσι για λεπτή έως μέση άμμο χρειαζόμαστε 100-200 gr, για χοντρή άμμο μέχρι λεπτά χαλίκια χρειαζόμαστε 0,5 kg και για χονδρά χαλίκια και κροκάλες  $\geq 5$  kg.



**Εικόνα 50:Κόσκια του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος  
Γεωλογίας ΑΠΘ**

Τα κόσκια χρησιμοποιούνται με σειρά μεγέθους αυξανόμενη από κάτω προς τα πάνω: 0,075 (No. 200), 0,15 (No. 100), 0,30 (No. 50), 0,425 (No. 40), 2,0 (No. 10), 4,75 (No. 4), 6,30 (1/4"), 12,50 (1/2"), 19,0 3/4"), 25,0 (1") .

Το δείγμα πρέπει να αποτελείται από ξηρό υλικό με διαχωρισμένους κόκκους και χωρίς ξένα σώματα.





## ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΡΑΙΟΜΕΤΡΟ

### Μέθοδος Αραιόμετρου (λεπτόκοκκα υλικά)

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για τον ποσοτικό προσδιορισμό της κατά μέγεθος κατανομής των κόκκων στα λεπτόκοκκα εδάφη. Για την ανάλυση χρησιμοποιείται αραιόμετρο (ή υδρόμετρο ή πυκνόμετρο) τύπου 152H. Η κλίμακά του έχει υποδιαιρέσεις από 0-60 gr/lt και η βαθμονόμησή του έγινε με βάση την παραδοχή ότι το αποσταγμένο νερό έχει ειδικό βάρος 1,000 στους 20°C και ότι το ειδικό βάρος του εδάφους που βρίσκεται σε διασπορά είναι 2,65 gr/cm<sup>3</sup>. (Χρηστάρας & Χαζηαγγέλου, 2011)

Το αραιόμετρο μετράει την πυκνότητα του εν αιώρηση στερεού υλικού μέσα σ' ένα υγρό μέσο. Αποτελείται από ένα κυλινδρικό σώμα και στέλεχος με υποδιαιρέσεις αυξανόμενες από το ανώτερο προς το κατώτερο τμήμα του στελέχους. Όταν η συγκέντρωση του υλικού σε αιώρηση είναι μεγάλη, τότε το στέλεχος του αραιόμετρου συναντά την επιφάνεια του νερού μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο στο κατώτερο τμήμα του, δηλαδή δίνει μεγάλες τιμές πυκνότητας. Αντίθετα όταν η συγκέντρωση είναι μικρή τότε το στέλεχος βυθίζεται μέσα στο αιώρημα και αυτό μας δείχνει μικρές τιμές πυκνότητας. (Χρηστάρας & Χαζηαγγέλου, 2011)

Η ταχύτητα καθίζησης των κόκκων μέσα στο νερό του ογκομετρικού κυλίνδρου εξαρτάται από το μέγεθός τους και προσδιορίζεται από το νόμο του Stokes. Οι μεγάλοι κόκκοι καθιζάνουν στον πυθμένα του κυλίνδρου πρώτοι και οι μικροί τελευταίοι. Άρα οι διαφορές που παρατηρούνται κατά τη μέτρηση της πυκνότητας του αιωρήματος σε ορισμένα χρονικά διαστήματα δίνουν την καθίζηση των αιωρούμενων κόκκων και τελικά αποκαλύπτουν το μέγεθός τους. (Χρηστάρας & Χαζηαγγέλου, 2011)

Πίνακας 19: Αποτελέσματα Δοκιμών Κατάταξης επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΑΡΜΑ)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ									
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ					ΟΡΙΑ ΑΤΤΕΡΒΕΡΓ			ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑ A.U.S.C.S.	
			ΚΟΣΚΙΝΑ				αραιόμετρο ϕ<2μ	ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ		
			4	10	40	200						διερχόμενο %
			LL	PL	PI							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Γ1	1	0,00-0,50										
Γ1	2	0,50-1,00	66,74	53,76	21,21	2,94						SW
Γ1	3	1,00-2,20	94,42	88,65	74,95	52,38						SM-ML
Γ1	4/1	2,20-2,50	80,72	69,72	35,44	19,28						SW
Γ1	4/2	2,50-3,30	100,00	100,00	96,90	74,98						CH
Γ1	5	3,30-4,00	100,00	100,00	99,29	89,40	15,71					CH
Γ1	6	4,00-5,00	100,00	100,00	99,49	95,27	51,21					CH
Γ1	7	5,00-5,45	96,03	92,15	54,17	23,90						SP
Γ1	8	5,45-6,00										
Γ1	9	6,00-6,70	100,00	100,00	99,77	87,69	17,76					CH
Γ1	10	6,70-7,30										
Γ1	11	7,30-7,80										
Γ1	12	7,80-8,30	99,84	99,78	93,76	84,31						CH
Γ1	13	8,30-9,30										
Γ1	14	9,30-10,30	99,62	98,76	98,32	56,51						SM-ML
Γ1	15	10,30-10,75										
Γ1	16	10,75-11,30	100,00	100,00	99,63	92,34	23,82					CH
Γ1	17	11,30-12,30										
Γ1	18	12,30-13,50										
Γ1	19	13,50-15,00										

Πίνακας 20: Αποτελέσματα Δοκιμών Κατάταξης επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΕΛΕΩΝΑΣ)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ								
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ					ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑ A.U.S.C.S.
			ΚΟΣΚΙΝΑ				αραιόμετρο	ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	
			4	10	40	200	<2μ				
			διερχόμενο %					LL	PL	PI	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Γ1	1	0,00-0,40									
Γ1	2	0,40-0,80	71,06	59,83	19,54	8,34					SW
Γ1	3	0,80-1,20									
Γ1	4	1,20-1,75	95,46	85,62	69,85	56,85					CL
Γ1	5	1,75-2,00									
Γ1	6	2,00-2,30									
Γ1	7	2,30-3,00	63,70	49,01	35,39	29,21					GC-SC
Γ1	8	3,00-3,50	71,08	61,92	51,17	45,20					SC
Γ1	9	3,50-4,00									
Γ1	10	4,00-4,60									
Γ1	11	4,60-4,90									
Γ1	12	4,90-5,70									
Γ1	13	5,70-6,15	86,53	74,15	46,81	34,01					SC
Γ1	14	6,15-6,50									
Γ1	15	6,50-7,00	75,49	63,82	48,75	38,08					SC
Γ2	1	0,00-0,80	66,53	60,69	50,22	38,79					GC-SC
Γ2	2	0,80-1,50									
Γ2	3	1,50-2,00	67,40	49,28	32,26	19,90					GC-SC
Γ2	4	2,00-2,60									
Γ2	5	2,60-3,15	83,87	67,59	47,55	27,99					SC
Γ2	6	3,15-4,00	60,57	48,50	33,84	24,15					GC-SC
Γ2	7	4,00-4,45									
Γ2	8	4,45-5,00	83,95	68,76	45,55	30,96					SC
Γ2	9	5,00-5,30									
Γ2	10	5,30-6,00									
Γ2	11	6,00-6,60	98,21	92,44	69,52	53,33					CL
Γ2	12	6,60-7,10									
Γ2	13	7,10-8,00	94,98	87,15	69,26	57,63					CL

Πίνακας 21: Αποτελέσματα Δοκιμών Κατάταξης επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΛΕΥΚΩΝΑΣ)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ								
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ					ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑ A.U.S.C.S.
			ΚΟΣΚΙΝΑ				αραιόμετρο <2μ	ΟΡΙΟ ΥΔΑΡΟΤΗΤΑΣ	ΟΡΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	
			4	10	40	200					
			διερχόμενο %								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Γ1	1	0,00-0,30									
Γ1	2	0,30-1,50	100,00	99,97	98,66	50,92	7,65				SM-ML
Γ1	3	1,50-1,95	100,00	99,81	89,23	72,04	11,47	NP	NP	NP	ML
Γ1	4	1,95-2,50	100,00	99,91	93,13	30,66					SM/ML
Γ1	5	2,50-3,00	100,00	100,00	87,54	39,70		45	29	16	ML-CL
Γ1	6	3,00-3,45									
Γ1	7	3,45-4,10									
Γ1	8	4,10-4,50	100,00	100,00	100,00	90,51	23,69				ML-CL
Γ1	9	4,50-4,95									
Γ1	10	4,95-5,40	92,22	91,50	67,16	22,19		28	25	3	SM
Γ1	11	5,40-6,00	100,00	99,70	79,89	34,30					SM/ML
Γ1	12	6,00-6,45									
Γ1	13	6,45-7,20									
Γ1	14	7,20-8,00									
Γ1	15	8,00-8,45	94,51	94,08	81,54	34,91	2,90	NP	NP	NP	SM
Γ1	16	8,45-9,00	94,29	90,79	59,51	10,90					SW
Γ1	17	9,00-10,00									

## 6.3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ

### ΔΟΚΙΜΗ ΜΟΝΟΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται ο βαθμός στερεοποίησης και η συμπιεστότητα εδαφικού υλικού όταν είναι πλευρικά μη παραμορφώσιμο, φορτίζεται δε και στραγγίζεται αξονικά. Η καθίζηση είναι έτσι ίση με τη μεταβολή σε όγκο του δοκιμίου, δηλαδή είναι ανάλογη με τη μεταβολή του δείκτη πόρων. Οι κατακόρυφες παραμορφώσεις των εδαφών εξετάζονται στη συσκευή του οιδημέτρου.

Αυτή αποτελείται από :

- **Συσκευή φόρτισης** για την εφαρμογή κατακόρυφων φορτίων στο δοκίμιο.



- **Συσκευή στερεοποίησης:** Το δοκίμιο συγκρατείται μέσα σε δακτύλιο (ύψος 19mm, διάμετρος 50,8mm), ο οποίος έχει συνδεθεί με τη βάση της συσκευής. Στην άνω και κάτω επιφάνεια του δοκιμίου προσαρμόζονται πορόλιθοι. Η συσκευή θα πρέπει να επιτρέπει συνεχή κορεσμό του δοκιμίου, επιβολή κατακόρυφου φορτίου και μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου.
- Οι **πορόλιθοι** είναι υλικά που δεν διαβρώνονται από την υγρασία. Το πάχος τους θα πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μην θραύονται κατά τη δοκιμή.
- **Μηκυνσιόμετρο** για την μέτρηση της μεταβολής του ύψους του δοκιμίου κατά το στάδιο στερεοποίησης με ακρίβεια 0,0025mm. (Χρηστάρας & Χατζηαγγέλου, 2011)

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην δοκιμή ήταν σύμφωνη με τις προδιαγραφές ASTM D-2435/80, E 105-86.



Εικόνα 51: Οιδήμετρα Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος  
Γεωλογίας ΑΠΘ

Πίνακας 22: Αποτελέσματα Δοκιμών Συμπιεστότητας επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΑΡΜΑ)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ			
ΓΕΩΓΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ			
			ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΟ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΑΣΕΩΝ
			$C_c$	$C_v \times 10^{-4}$ cm <sup>2</sup> /sec	$E_s$ kPa	$p$ kPa
1	2	3	4	5	6	7
Γ1	5	3,30-4,00	0,156	7,88	7181	90-180
Γ1	9	6,00-6,70	0,156	14,07	3398	90-180

Πίνακας 23: Αποτελέσματα Δοκιμών Συμπιεστότητας επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΕΛΕΩΝΑΣ)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ			
ΓΕΩΓΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ			
			ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΟ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΑΣΕΩΝ
			$C_c$	$C_v \times 10^{-4}$ cm <sup>2</sup> /sec	$E_s$ kPa	$p$ kPa
1	2	3	4	5	6	7
Γ1	14	6,15-6,50	0,145	3,46	3997	90-180
Γ2	7	4,00-4,45	0,176	3,89	3098	90-180

Πίνακας 24: Αποτελέσματα Δοκιμών Συμπίεστότητας επιλεγμένων εδαφικών δειγμάτων(ΛΕΥΚΩΝΑΣ)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΣΤΑΘΕΡΕΣ			
ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΔΕΙΓΜΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ			
			ΔΕΙΚΤΗΣ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ	ΜΕΤΡΟ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΑΣΕΩΝ
			$C_c$	$C_v \times 10^{-4}$ cm <sup>2</sup> /sec	$E_s$ kPa	$p$ kPa
1	2	3	4	5	6	7
Γ1	5	2,50-3,00	0,116	5,81	2204	45-90

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

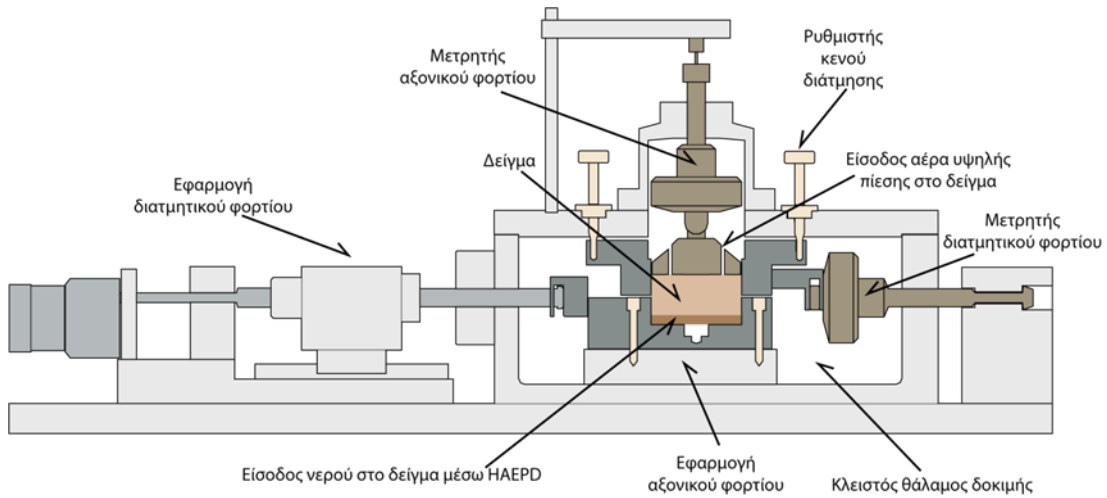
### 7.1 ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΕΛΑΦΩΝ

Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας για την εκτέλεση των δοκιμών άμεσης διάτμησης χρησιμοποιήθηκε η αυτοματοποιημένη συσκευή άμεσης διάτμησης κλειστού τύπου με δυνατότητα ελέγχου των πιέσεων πόρων και του βαθμού κορεσμού της GDS (μοντέλο: Saturated/Unsaturated Back Pressured Shearbox "GDSBPS") που διαθέτει το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.

Η διάταξη της συσκευής δίνεται στην [Εικόνα 52](#) σε τομή όπου παρατηρούνται:

- ο κλειστός θάλαμος ελέγχου της πίεσης του αέρα,
- η θέση του δείγματος που βρίσκεται σε επαφή με τον πορόλιθο υψηλής πίεσης εισόδου αέρα (HAEPD) 500 kPa (5 bar),
- η είσοδος του νερού μέσω του HAEPD στο δείγμα,
- η εφαρμογή του αξονικού φορτίου και ο μετρητής της αξονικής μετατόπισης/δύναμης/πίεσης,

- η εφαρμογή του διαμητικού φορτίου και ο μετρητής της οριζόντιας μετατόπισης/δύναμης/πίεσης. (Βλάχος, 2015) (Παπατσικουράκης, 2017)



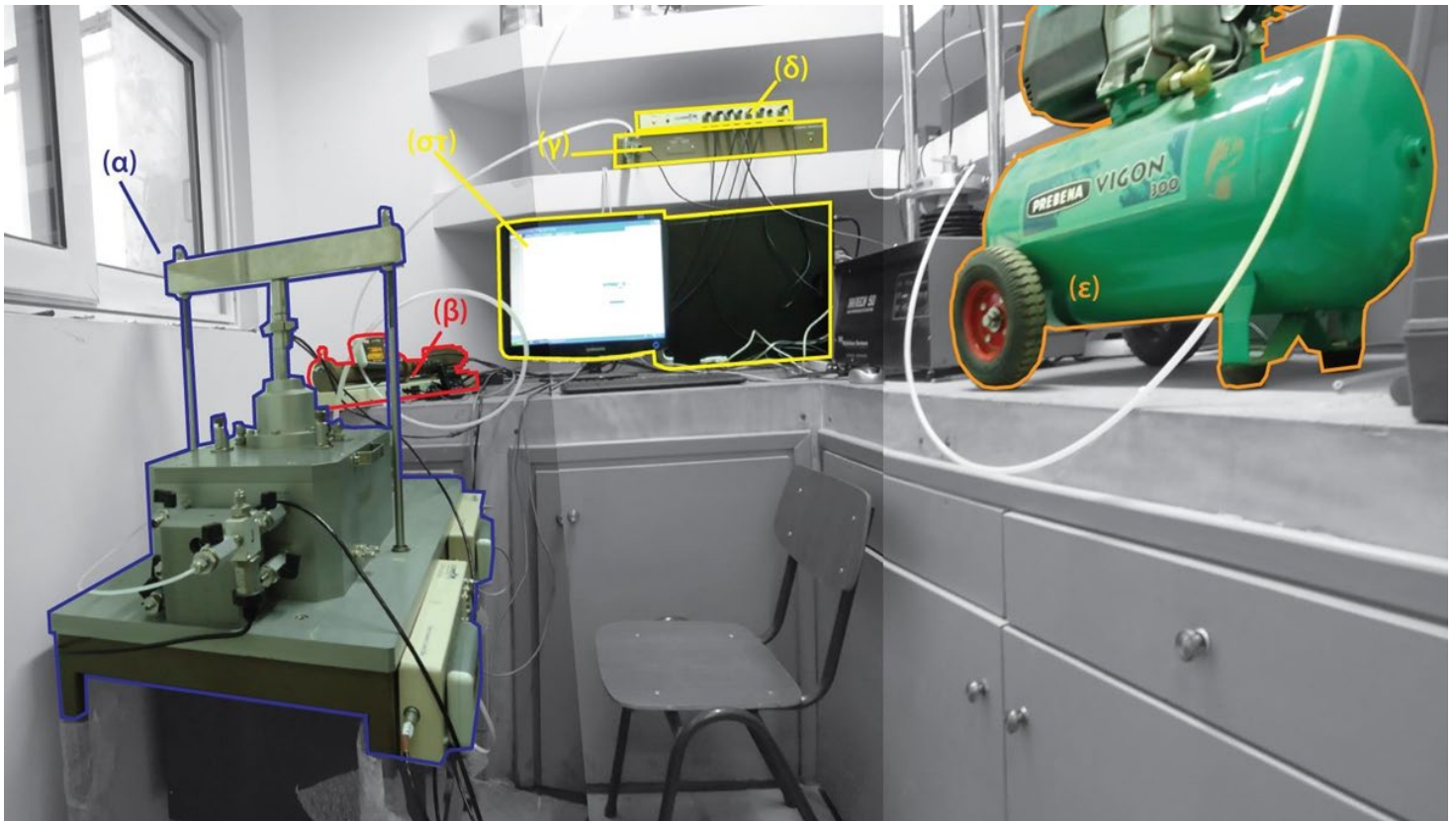
**Εικόνα 52: Διάταξη συσκευής άμεσης διάτμησης κλειστού τύπου με δυνατότητα ελέγχου των πιέσεων των πόρων και βαθμού κορεσμο (τροποποιημένη από GDS Specification Datasheet, 2009 ως προς τα χρώματα και το υπόμνημα). (Βλάχος, 2015).**



Η συνολική πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε ([Εικόνα 54](#)) βρίσκεται στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. σε ξεχωριστό κλειστό θάλαμο με έλεγχο της θερμοκρασίας του χώρου κατά την εκτέλεση της δοκιμής. Η καταγραφή των δεδομένων, από κάθε ελεγκτή και μετατροπέα, γίνεται σε κονσόλα οχτώ (8) καναλιών που μεταφέρει τα δεδομένα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η αποτύπωση των δεδομένων και ο χειρισμός της πειραματικής διάταξης έγινε μέσω του προγράμματος GDSLAB που συνοδεύεται από κλειδί γνησιότητας.



**Εικόνα 53: (α) Ηλεκτρονικός ελεγκτής υψηλής ακρίβειας νερού "Standard Pressure/Volume Controller (STDDPC) v2", (β) Πνευματικός ελεγκτής υψηλής ακρίβειας αέρα " Pneumatic Pressure Controller (GDSPPC)". (Βλάχος, 2015)**



**Εικόνα 54:** Συνολική πειραματική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε και αποτελείται από:(α)Συσκευή διάτμησης, (β)Ελεγκτή πιέσεων νερού,(γ)Ελεγκτή πιέσεων αέρα, (δ)Κονσόλα δεδομένων οχτώ καναλιών, (ε)Γεννήτρια συμπίεσης αέρα και (στ)Ηλεκτρονικό υπολογιστή. (Βλάχος 2015)



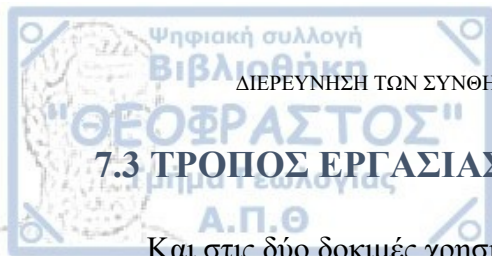
Εικόνα 55: Ηλεκτρονικός μετατροπέας υψηλής ακρίβειας (transducer) για τον έλεγχο των μετρήσεων μέσα στο θάλαμο. (Βλάχος, 2015)

## 7.2 ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΣΕ ΚΟΡΕΣΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές άμεσης διάτμησης των δειγμάτων σε κορεσμένες συνθήκες για τον υπολογισμό της διατμητικής τους αντοχής. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές σε κορεσμένες συνθήκες. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για την δοκιμή δίνονται στον [Πίνακα 25](#) με τα βασικά χαρακτηριστικά της κάθε δοκιμής.

Πίνακας 25: Πλήθος και χαρακτηριστικά δειγμάτων που εφαρμόστηκε δοκιμή άμεσης διάτμησης σε κορεσμένες συνθήκες

Πλήθος δειγμάτων	Είδος δοκιμής	Αξονικό φορτίο δοκιμής (kPa)	Κατάταξη δείγματος	Γεώτρηση	Βάθος (m)
	Διάτμηση σε	100			
2	κορεσμένες, στραγγιζόμενες συνθήκες	150	S1 (USCS:SC)	Γ2	2,60 –3,15



### 7.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ-ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ

Και στις δύο δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν κατά το δυνατό αδιατάρακτα δείγματα.

- Αρχικά τοποθετείται δείγμα στην τετραγωνική μήτρα διαστάσεων (75mm)x(75mm). Το ύψος του δοκιμίου είναι ίσο με το συνολικό ύψος της μήτρας (βλ. [εικόνα 52](#) κεφ. 7.1).
- Κατά την τοποθέτηση του δείγματος, χρησιμοποιείται ειδικό εργαλείο- σπάτουλα για την καλύτερη δυνατή πλήρωση της μήτρας.
- Από τα τεμάχια του δείγματος που παρέμειναν κατά την τελική παρασκευή του, με ζύγιση σε μεταλλικό υποδοχέα και ξήρανση στο φούρνο στους 105°C βρίσκουμε τη φυσική υγρασία στο δείγμα προ της δοκιμής.
- Με δύο βίδες σταθεροποιείται η μήτρα της συσκευής για αποφυγή της καταστροφής του δείγματος.
- Στο κιβώτιο προστίθεται αποσταγμένο νερό για κορεσμό και σφραγίζεται η συσκευή.
- Στη συνέχεια, με επιβολή αξονικού φορτίου (ορθή δύναμη), στερεοποιείται το δείγμα. Η διαδικασία της στερεοποίησης διαρκεί τουλάχιστον 24 ώρες.
- Το δείγμα υποβάλλεται σε στερεοποίηση με φορτία 100 kPa και 150 kPa (2,60m – 3,15m)
- Μετά τη στερεοποίηση, αφαιρούνται οι βίδες συγκράτησης της μήτρας, ελέγχονται και μηδενίζονται οι ενδείξεις των μετρήσεων που πρόκειται να καταγραφούν.
- Ενεργοποιείται η συσκευή επιβολής οριζόντιας(διατμητικής) φόρτισης.
- Η τιμή του ρυθμού μετατόπισης σε όλη τη διάρκεια διεξαγωγής της δοκιμής παραμένει σταθερή στα 0,042mm/sec.



## 7.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε αρχείο με υπολογιστικά φύλλα (Microsoft Excel) με σκοπό την αυτοματοποιημένη παραγωγή αποτελεσμάτων από τη δοκιμή άμεσης διάτμησης και τα πρωτογενή δεδομένα που τη συνοδεύουν. Τα πρωτογενή δεδομένα προέρχονται από την καταγραφή των τάσεων και των αντίστοιχων παραμορφώσεων του δείγματος σε πραγματικό χρόνο. Πιο συγκεκριμένα γίνεται καταγραφή του αξονικού και διατμητικού φορτίου και των αντίστοιχων αξονικών και διατμητικών μετακινήσεων μέσω αυτοματοποιημένων καταγραφικών συστημάτων (controllers και transducers).

Το αρχείο αποτελείται από τρία (3) συνολικά υπολογιστικά φύλλα. Τα πρώτα δυο (2) φύλλα αφορούν το στάδιο της διάτμησης ενώ το τελευταίο είναι το φύλλο παρουσίασης των παραγόμενων διαγραμμάτων:

- a) τάσης-ανηγμένης παραμόρφωσης
- b) αξονικής παραμόρφωσης-χρόνου
- c) διατμητικής τάσης-κάθετης τάσης από το οποίο υπολογίζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά αντοχής  $c'$  και  $\phi'$ .
- d)

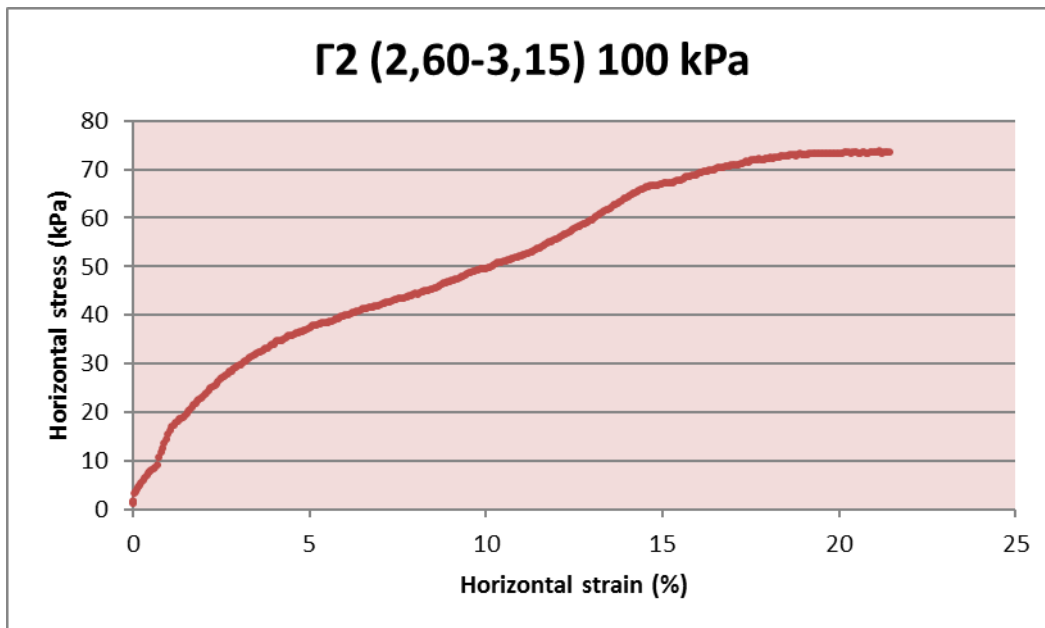
Στο τελικό φύλλο παρουσίασης αναγράφονται επίσης τα φυσικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων όπως η φυσική υγρασία, το υγρό φαινόμενο βάρος, το ξηρό φαινόμενο βάρος, ο λόγος των κενών, το ειδικό βάρος και ο βαθμός κορεσμού των δειγμάτων ενώ τέλος και χρήσιμα στοιχεία της δοκιμής όπως ο αριθμός της γεώτρησης, η ημερομηνία, ο αριθμός και το βάθος του κάθε δείγματος..

## 7.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

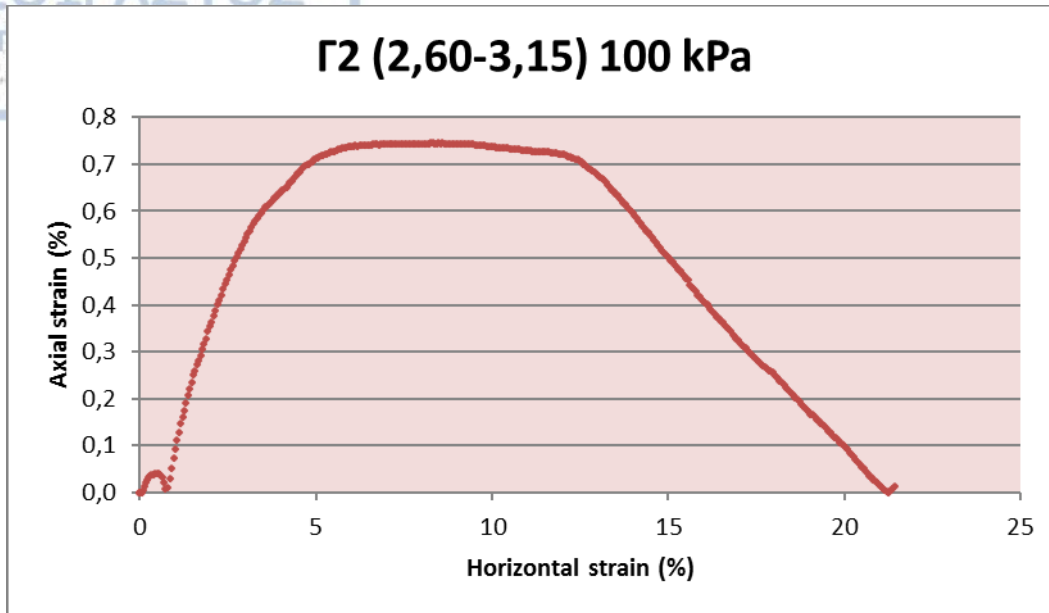
Στην παράγραφο αυτή αναλύονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης σε κορεσμένες συνθήκες.

Για τα δείγματα της γεώτρησης Γ2 (2,60-3,15) πραγματοποιήθηκαν:

1. Διάτμηση σε κορεσμένες συνθήκες με στερεοποίηση στα 100 kPa. Στην [Εικόνα 56](#) και [Εικόνα 57](#) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 73.7 kPa και αντιστοιχεί σε 21.35% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 73.7 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 22%. Με βάση το παραπάνω αποτέλεσμα, η μέγιστη διατμητική αντοχή αναπτύσσεται σε υψηλές τιμές παραμόρφωσης, καθώς το υλικό επιδुकνύει έντονα πλαστική παραμόρφωση και εκτιμάται πως διατηρείται σταθερή για σημαντικό εύρος παραμόρφωσης μέχρι να μειωθεί σε μία παραμένουσα τιμή, σε πολύ υψηλότερες τιμές παραμόρφωσης

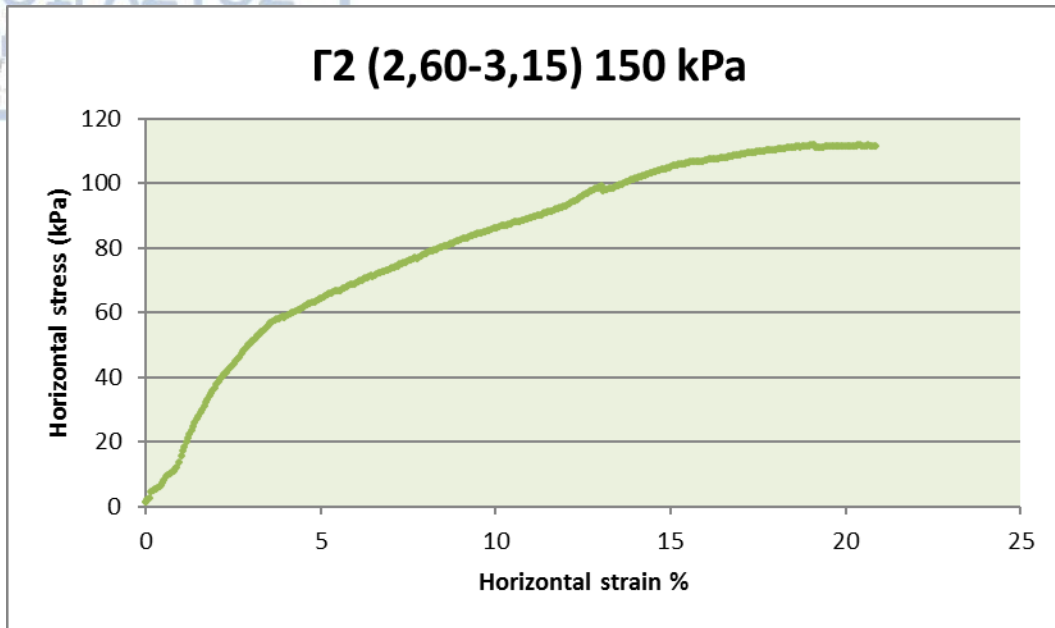


Εικόνα 56: Διάγραμμα διατμητικής τάσης - παραμόρφωσης για τη δοκιμή του G2 (2,60-3,15) στα 100 kPa.

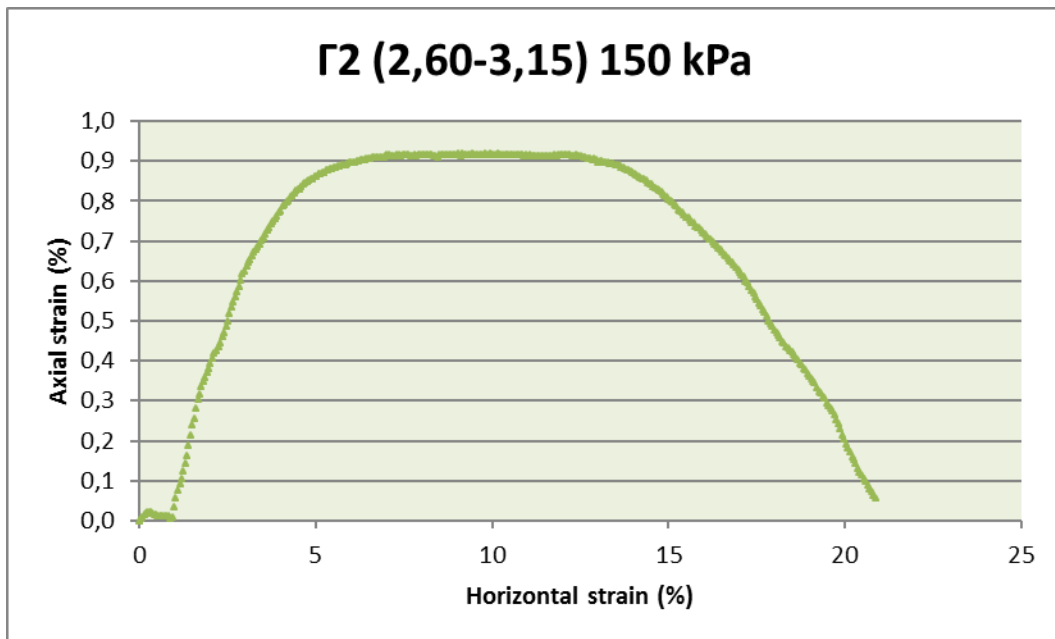


Εικόνα 57: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής ανηγμένης παραμόρφωσης για τη δοκιμή του G2 (2,60-3,15) στα 100 kPa.

2. Διάτμηση σε κορεσμένες συνθήκες για στερεοποίηση στα 150 kPa. Στην [Εικόνα 58](#) και [Εικόνα 59](#) παρατηρούνται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης – παραμόρφωσης και αξονικής - διατμητικής παραμόρφωσης αντίστοιχα. Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωσης παρατηρείται ότι η μέγιστη διατμητική αντοχή είναι 111.9 kPa και αντιστοιχεί σε 18.99% παραμόρφωση, ενώ η παραμένουσα διατμητική αντοχή είναι 111 kPa για τιμές παραμόρφωσης πάνω από 21%.

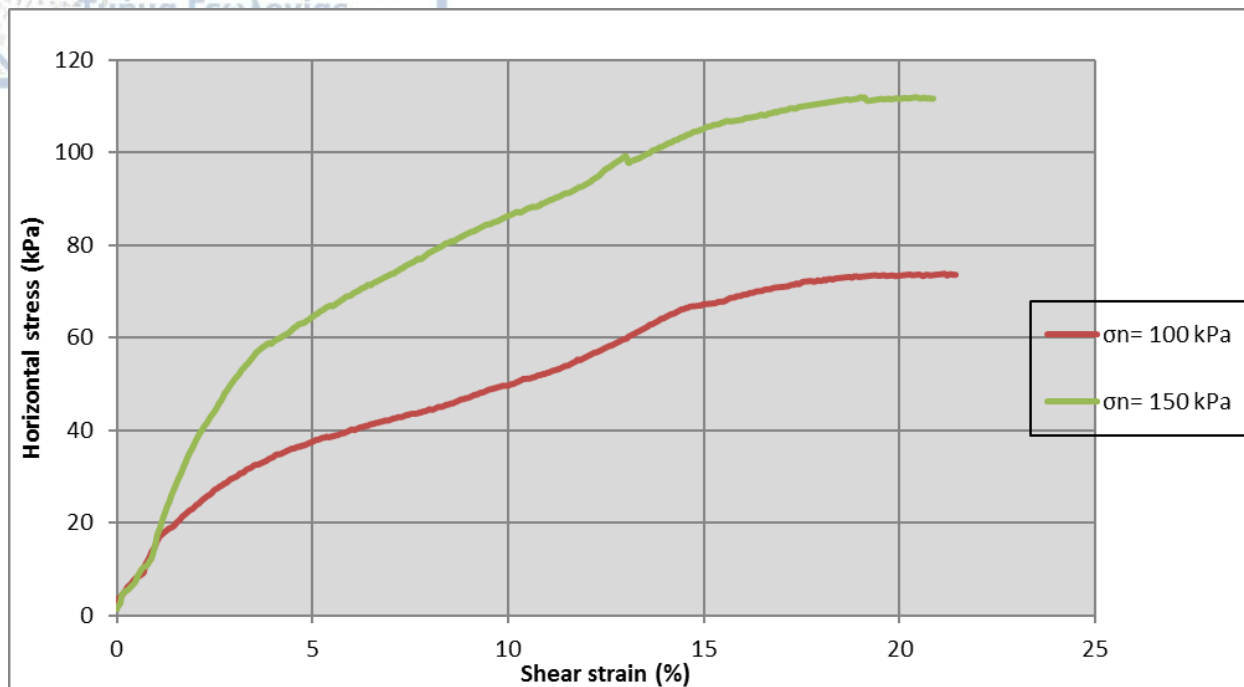


Εικόνα 58: Διάγραμμα διατμητικής τάσης -ανηγμένης παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ2 (2,60-3,15 στα 150 kPa.



Εικόνα 59: Διάγραμμα αξονικής – διατμητικής ανηγμένης παραμόρφωσης για τη δοκιμή του Γ2 (2,60-3,15) στα 150 kPa.





Εικόνα 60: Συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης -ανηγμένης παραμόρφωσης για τα δείγματα της γεώτρησης Γ2 (2,60-3,15).

Από τις παραπάνω δοκιμές με εφαρμογή διαφορετικής αξονικής τάσης προκύπτει στην [Εικόνα 60](#) το συγκεντρωτικό διάγραμμα διατμητικής τάσης – ανηγμένης παραμόρφωσης. Στο διάγραμμα παρατηρείται η αναμενόμενη αύξηση της διατμητικής αντοχής αναλογικά με την αύξηση του αξονικού φορτίου στο δείγμα.

Οι μέγιστες τιμές της διατμητικής σε σχέση με την αξονική τάση μας δίνουν στο διάγραμμα διατμητικής τάσης ( $\tau$ ) – αξονικής τάσης ( $\sigma_n$ ) τα σημεία της περιβάλλουσας θραύσης κατά Mohr – Coulomb από τα οποία υπολογίζονται οι μηχανικές παράμετροι του υλικού  $c'$  και  $\phi'$  όπως φαίνεται παρακάτω ([Εικόνα 61](#)).

Δεν παρατηρήθηκε θραυσίγενής συμπεριφορά στα εξεταζόμενα δείγματα και για το λόγο αυτό υπολογίστηκαν μόνο οι μέγιστες τιμές παραμέτρων διατμητικής αντοχής (peak values),  $c'=0$  και  $\phi'=36,62^\circ$ .



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):	15/11/20
Δείγμα (Sample):	S1	Βάθος (Depth) m:	2.60-3.15

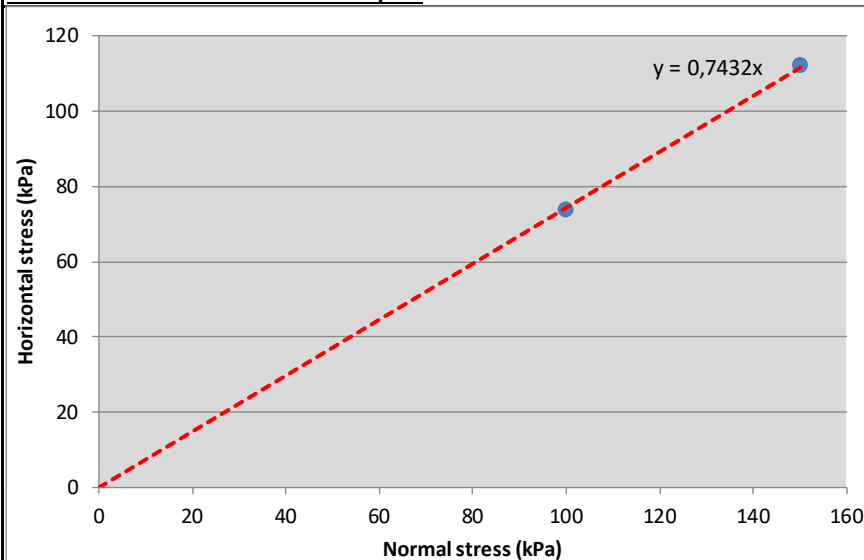
Sample data :

Αριθμός Δοκιμής Test No		1	2	3
Moisture content	%		61,10	61,10
Wet Bulk density	kN/m <sup>3</sup>		16,30	16,30
Dry Bulk Density	kN/m <sup>3</sup>		10,12	10,12
Void ratio			1,62	1,62
Saturation	%		100,00	100,00
Specific Gravity			26,5	26,5

Failure Measurements :

Normal stress	kN/m <sup>3</sup>		100	150
Horizontal stress	kN/m <sup>3</sup>		73,7	111,9
Res. Horizontal stress	kN/m <sup>3</sup>			
Pore Pressure	kN/m <sup>3</sup>		N/A	N/A
Strain	%		21,35	18,99

Horizontal stress v Normal stress plot



Results:

$\phi$ (°)=	36,62
c=	0

Εικόνα 61: Διάγραμμα διατμητικής (kPa) – κάθετης τάσης (kPa).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΕΛΑΦΟΤΕΧΝΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ΤΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται εδαφοτεχνικοί έλεγχοι επάρκειας των θεμελιώσεων και καθιζήσεων του εξεταζόμενου κτιρίου βάσει των στοιχείων των γεωτεχνικών ερευνών – μελετών του Δρ. Χατζηγώγου Νικόλαου τα οποία και παραχωρήθηκαν από το μελετητή για επεξεργασία στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

### Βασικές θεωρητικές έννοιες πάνω στο αντικείμενο των θεμελιώσεων

#### Φέρουσα ικανότητα

Για τον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας,  $q_{op}$  εφαρμόζονται, ανάλογα με το είδος της φόρτισης, οι παρακάτω μέθοδοι και σχέσεις:

#### Κεντρικό, κατακόρυφο φορτίο:

Γενική θραύση:  $q_{op} = s_c d_c c N_c + s_q d_q \gamma_1 D_f N_q + 0,5 s_\gamma d_\gamma \gamma_2 B N_\gamma$

Τοπική θραύση:  $q'_{op} = s'_c d'_c c' N'_c + s'_q d'_q \gamma_1 D_f N'_q + 0,5 s'_\gamma d'_\gamma \gamma_2 B N'_\gamma$

$N_c, N_q, N_\gamma$ : Συντελεστές φέρουσας ικανότητας για γενική θραύση: Είναι συναρτήσεις της γωνίας τριβής και λαμβάνονται από Πίνακες.

$N'_c, N'_q, N'_\gamma$ : Συντελεστές φέρουσας ικανότητας για τοπική θραύση: Είναι συναρτήσεις της γωνίας τριβής και λαμβάνονται από Πίνακες .

$s_c, s_q, s_\gamma$ : Συντελεστές σχήματος θεμελίου

$d_c, d_q, d_\gamma$ : Συντελεστές βάθους θεμελίωσης

$\gamma_1, \gamma_2$ : Φαινόμενα βάρη για το έδαφος που βρίσκεται πάνω και κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης αντίστοιχα.

Οι παράμετροι αντοχής του εδάφους που εισάγονται στους υπολογισμούς είναι οι μέσες σταθμισμένες τιμές των παραμέτρων εκείνων των εδαφικών στρώσεων που περιλαμβάνονται στο βάθος επιρροής  $t_s$  (βλ. παρακάτω).

**Μέθοδος Terzaghi:** Στη μέθοδο αυτή γίνεται η θεώρηση ότι το έδαφος πάνω από τη στάθμη θεμελίωσης δε συνεισφέρει (πέραν του όρου της επιφόρτισης  $\gamma \times D_f$ ) στη φέρουσα ικανότητα: Δεν δέχεται με άλλα λόγια την πρόσθετη φέρουσα ικανότητα την οποία προσδίδουν οι συντελεστές βάθους  $d_c, d_q, d_\gamma$ .

Έτσι οι παραπάνω γενικές σχέσεις απλοποιούνται ως εξής και είναι γνωστές ως οι σχέσεις του Terzaghi:

$$q_{op} = s_c c N_c + s_q \gamma_1 D_f N_q + 0,5 s_\gamma \gamma_2 B N_\gamma$$

$$q'_{op} = s'_c c' N'_c + s'_q \gamma_1 D_f N'_q + 0,5 s'_\gamma \gamma_2 B N'_\gamma$$



### Προσδιορισμός της επιτρεπόμενης τάσης (Φέρουσας Ικανότητας Σχεδιασμού, $R_d$ ) με τον Ευρωκώδικα EC7 (Οριακή κατάσταση αστοχίας ULS)

Ο Ευρωκώδικας εισάγει διαφορετικούς συντελεστές ασφάλειας,  $\gamma_F$  για τα μόνιμα φορτία,  $G$  και διαφορετικούς συντελεστές για τα κινητά φορτία,  $Q$ :

$\gamma_F = 1,35$  για τα μόνιμα φορτία

$\gamma_F = 1,50$  για τα κινητά φορτία

$$R_d = R_k / \gamma_R$$

$\gamma_R = 1,4$

$R_d$  = φέρον φορτίο σχεδιασμού (αντιστοιχεί στο επιτρεπόμενο φορτίο)

$R_k$  = οριακό φέρον φορτίο (αντιστοιχεί στο φορτίο θραύσης: προσδιορίζεται με μία από τις διαθέσιμες σχέσεις της φέρουσας ικανότητας)

$\gamma_R$  = συντελεστής ασφάλειας

Σύμφωνα με τα παραπάνω πρέπει:

$$R_d = 1,35 G + 1,50 Q \leq R_k / \gamma_R = R_k / 1,4$$

Οι προηγούμενες σχέσεις της φέρουσας ικανότητας βασίζονται σε ελέγχους της στατικής ισορροπίας κατά μήκος πιθανών επιφανειών διατμητικής αστοχίας.

### Προσδιορισμός της επιτρεπόμενης τάσης για το σύνολο των εντατικών μεγεθών που μεταφέρονται στη βάση του θεμελίου

Ο στατικός μελετητής του έργου θα πρέπει με βάση το σύνολο των στατικών δεδομένων (συνιστώσες ροπών,  $M$ , κατακόρυφα φορτία,  $V$ , οριζόντια φορτία,  $H$ ) να προσδιορίσει (με μία από τις παραπάνω μεθόδους) τις φέρουσες ικανότητες των θεμελίων και να τις συγκρίνει με τις αναπτυσσόμενες στη βάση τους τάσεις.

Θα πρέπει οι αναπτυσσόμενες τάσεις να είναι μικρότερες από τις επιτρεπόμενες:

$$q_{\text{αναπτ}} \leq q_{\text{επιτρ}} = q_{\text{ορ}} / 3$$

$$q_{\text{αναπτ}} = \frac{V_I}{A'} = \frac{V_I}{B' \times L'}$$

$V_I$  : Το συνολικό κατακόρυφο φορτίο (αξονικό + βάρος θεμελίου + βάρος εδάφους πάνω από το θεμέλιο)

$A$  : Το εμβαδόν της βάσης του θεμελίου:  $A = B \times L$

$A'$  : Το ενεργό εμβαδόν της βάσης του θεμελίου:  $A' = B' \times L'$

$B$  : Το πλάτος του θεμελίου

$B'$  : Το ενεργό πλάτος του θεμελίου:  $B' = B - 2 e_L$

$L$  : Το μήκος του θεμελίου

$L'$  : Το ενεργό μήκος του θεμελίου:  $L' = L - 2 e_L$

$e_B$  : Η εκκεντρότητα κατά  $B$

$e_L$  : Η εκκεντρότητα κατά  $L$



## 8.1 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΘΡΑΥΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η εκτίμηση της επιτρεπόμενης τάσης έναντι θραύσης του υπεδάφους γίνεται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7 και τον ΕΑΚ σε στατικές και σεισμικές συνθήκες αντίστοιχα.

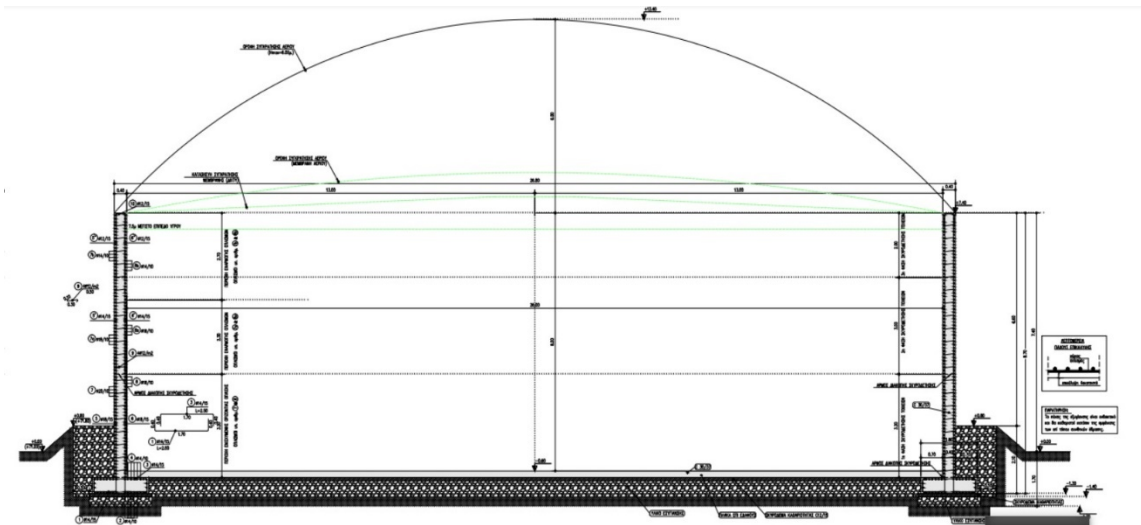
Κατά τους υπολογισμούς, γίνεται η παραδοχή έδρασης των θεμελίων επί στρωματογραφίας, σύμφωνα με τα στοιχεία των τυπικών εδαφικών τιμών ([Εικόνα 47](#), [Εικόνα 48](#) και [Εικόνα 49](#)) στη θέση των γεωτρήσεων Γ-1(Άρμα), Γ-1 και Γ-2(Ελεώνας) και Γ-1(Λευκώνας).

Κατά τους υπολογισμούς, για τις περιοχές Άρμα και Ελεώνας, θεωρήθηκε υπολογιστικό βάθος θεμελίωσης  $D=4,0\text{m}$  και έγινε παραμετρικός έλεγχος για τετραγωνικά πέδιλα με στοιχεία  $B'/L=1$ , για πεδילוδοκό με στοιχεία  $B'/L'=24$  και για κυκλική πλάκα κοιτόστρωσης με διάμετρο  $D'=24\text{m}$ . Για την περιοχή του Λευκώνα, θεωρήθηκε ελάχιστο υπολογιστικό βάθος θεμελίωσης  $D=1,7\text{m}$  και έγινε παραμετρικός έλεγχος για πεδילוδοκό με στοιχεία  $B'=1,8$  και  $B'/L'=10$  και για πεδילוδοκό με στοιχεία  $B'=1,8$  και  $B'/L'=20$  ([Εικόνα 69](#)). (Χατζηγώγος, 2020) Οι υπολογισμοί έγιναν με το λογισμικό υπολογισμού φέρουσας ικανότητας και καθιζήσεων LoadCar της εταιρείας Geostru. Η αντίσταση σχεδιασμού του εδάφους (Design Resistance  $R_d$ ) υπολογίστηκε με τις μεθόδους TERZAGHI, VESIC, MEYERHOF και BRINCH-JANSEN και με την επιβολή μερικών συντελεστών ασφάλειας βάσει των προσεγγίσεων σχεδιασμού 1 και 2 του Ευρωκώδικα 7. Στις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές αστράγγιστης αντοχής  $C_u$  που υπολογίστηκαν από επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές για κάθε επί μέρους στρώμα και επιπλέον, εφαρμόστηκε διόρθωση στην τιμή της συνοχής (cohesion correction) της τάξης  $2/3 \cdot c$ . Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα ([Πίνακας 28](#), [Πίνακας 29](#), [Πίνακας 30](#) και [Πίνακας 31](#)). (Χατζηγώγος, 2020)

Ο υπολογισμός της αντίστασης εδάφους έγινε για αστράγγιστες συνθήκες εξαιτίας της φύσης του υπεδάφους θεμελίωσης. Για συνθήκες αποστράγγισης οι επιτρεπόμενες τάσεις που προκύπτουν είναι πολύ μεγαλύτερες και γι' αυτό οι τελικές επιτρεπόμενες τάσεις προκύπτουν από τις υπολογιζόμενες τιμές για αστράγγιστες συνθήκες.

Η τυπική διάταξη θεμελίωσης των συγκεκριμένων δεξαμενών περιλαμβάνει μια παραμετρική πεδילוδοκό και μια κυκλική πλάκα επί εδάφους η οποία εδράζεται στα εσωτερικά πέλματα των πεδילוδοκών. Ο γεωτεχνικός έλεγχος στοχεύει στην διαστασιολόγηση του πλάτους  $B'$  της περιμετρικής πεδילוδοκού και του βάθους θεμελίωσης  $D'$ . Συμπληρωματικά, για λόγους πληρότητας, παρουσιάζονται και παραμετρικοί έλεγχοι τετραγωνικών πέδλων και κυκλικής πλάκας κοιτόστρωσης για την

περίπτωση που οι γεωτεχνικοί έλεγχοι της πεδιλοδοκού δώσουν μη αποδεκτό αποτέλεσμα ως προς την φέρουσα ικανότητα ή τις ανεκτές καθιζήσεις.



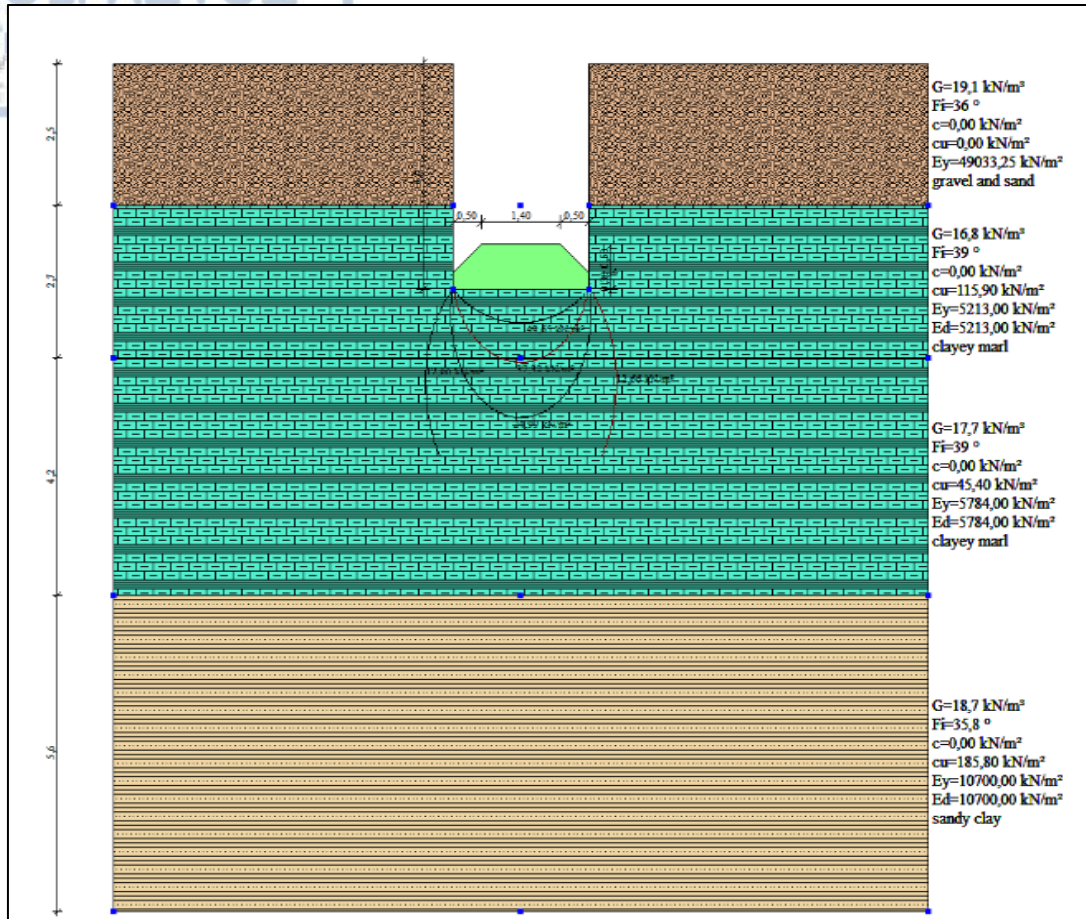
Εικόνα 62:Τυπική διάταξη δεξαμενών

Πίνακας 26: Διαστασιολόγηση πεδιλοδοκού

	B'(m)	D'(m)	$\sigma_{επ}$ (kPa)
ΑΡΜΑ	1,6	4,0	200
ΕΛΕΩΝΑΣ	1,6	4,0	220
ΛΕΥΚΩΝΑΣ	1,8	1,7	80

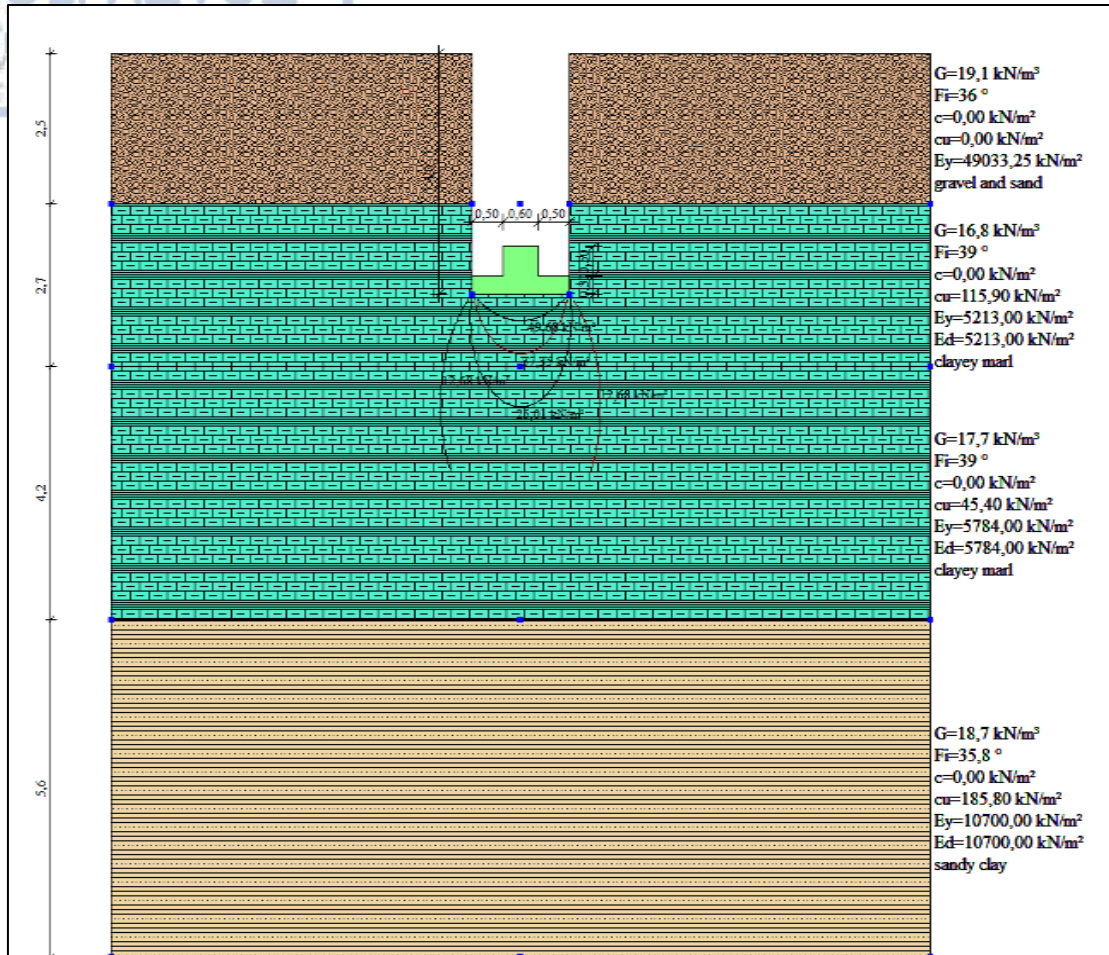
### 8.1.1 ΑΡΜΑ

Με βάση τα αποτελέσματα, ενδεικτικά για τετραγωνικό πέδιλο με  $B'=2,4\text{m}$  στη θέση της γεώτρησης Γ-1 προκύπτουν τιμές επιτρεπόμενης τάσης της τάξης του  $\sigma_{επ}=310\text{ kN/m}^2$  σε αστράγγιστες συνθήκες (Εικόνα 63), για πεδιλοδοκό με στοιχεία  $B'=1,6\text{m}$  και  $L'=38\text{m}$ , προκύπτουν τιμές επιτρεπόμενης τάσης της τάξης του  $\sigma_{επ}=314,4\text{ kN/m}^2$  σε αστράγγιστες συνθήκες (Εικόνα 64) και  $\sigma_{επ}=510,5\text{ kN/m}^2$  για κυκλική πλάκα με διάμετρο  $B'=24,0\text{m}$  (Εικόνα 65).

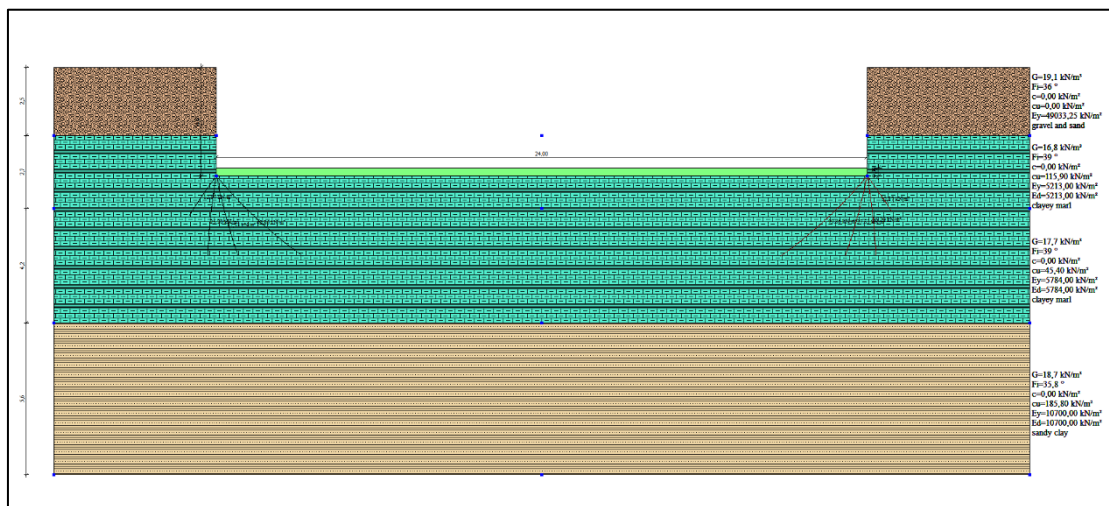


Εικόνα 63:Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με τετραγωνικά πέδιλα  $B'/L'=1$  στη θέση Γ-1

Η διαστασιολόγηση των θεμελίων θα πρέπει να οδηγεί σε αναπτυσσόμενες τάσεις μικρότερες των επιτρεπόμενων, έτσι όπως αυτές προκύπτουν από την αντίστοιχη ανάλυση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εάν γίνει δεκτή μία μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση της τάξης των 10 cm (για κοιτόστρωση ή πυκνή σχάρα πεδιλοδοκών) στη θέση της γεώτρησης Γ-1, η αντίστοιχη τιμή επιτρεπόμενης τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{επ} \approx 160 \text{ kN/m}^2$ . Αντίστοιχα για μία μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση της τάξης των 5 cm για τετραγωνικά πέδιλα, η αντίστοιχη τιμή επιτρεπόμενης τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{επ} \approx 225 \text{ kN/m}^2$  και για πεδιλοδοκό  $\sigma_{επ} \approx 200 \text{ kN/m}^2$ . (Χατζηγώγος, 2020)



Εικόνα 64: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με πεδילוδοκό  $B'/L'=24$  στη θέση Γ-1 (Χατζηγώγος, 2020)

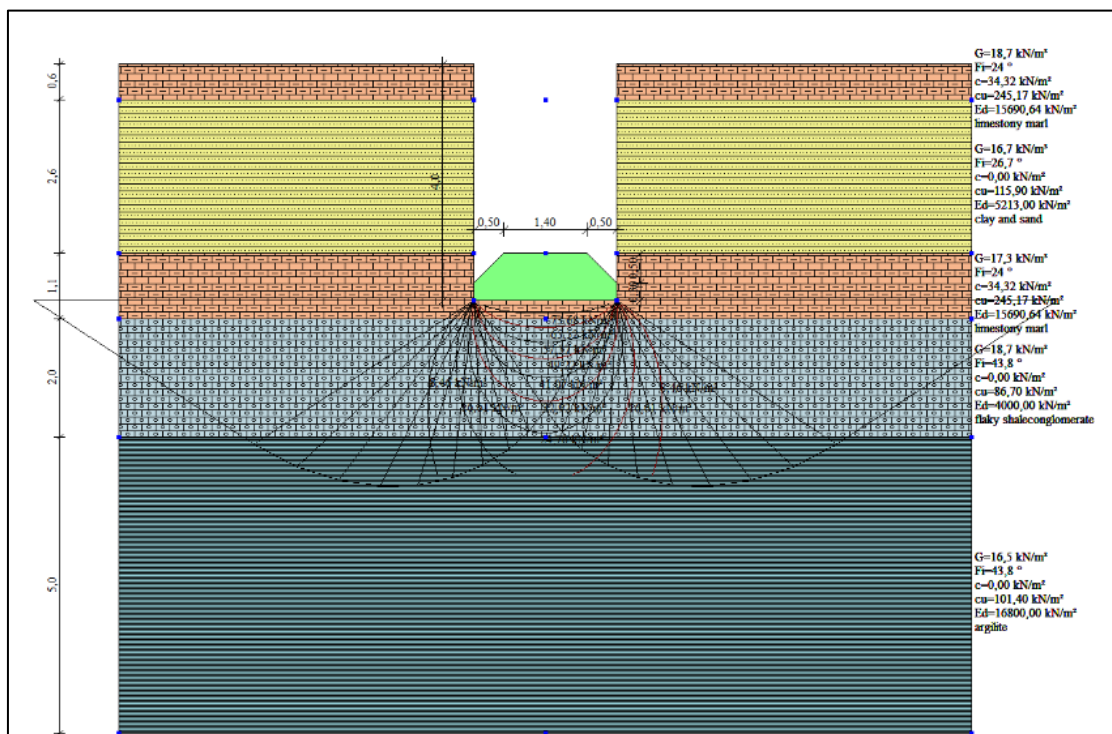


Εικόνα 65: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με κοιτόστρωση διαμέτρου  $D'=24m$  στη θέση Γ-1 (Χατζηγώγος, 2020)



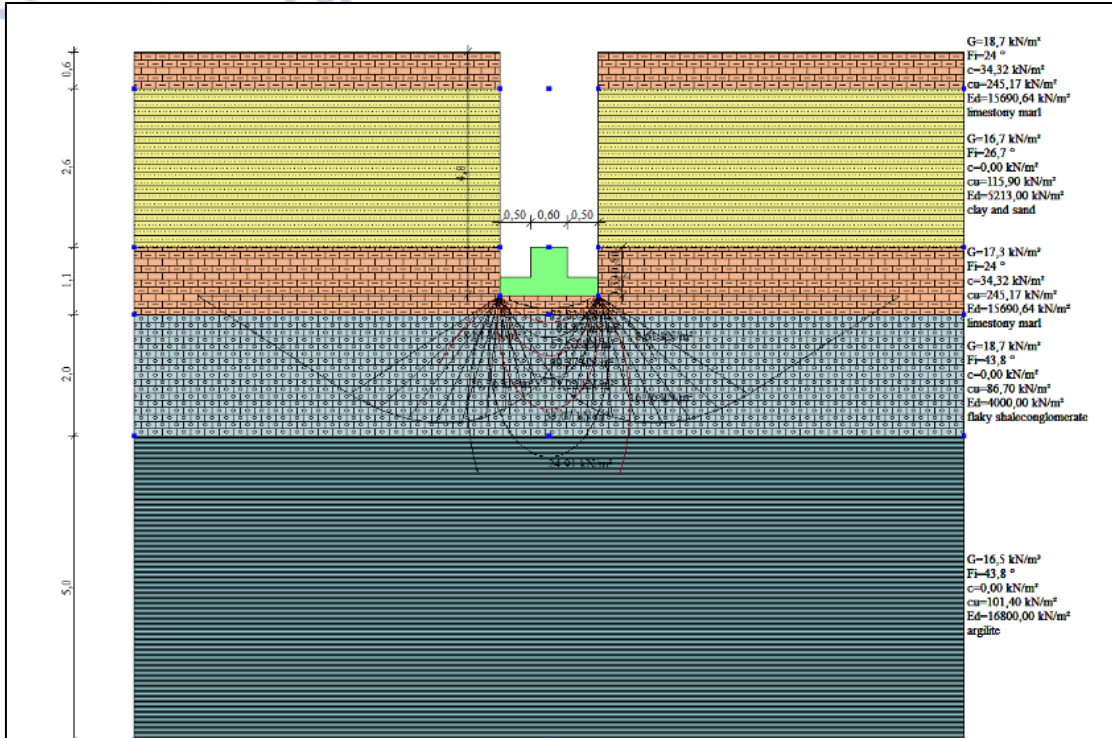
### 8.1.2 ΕΛΕΩΝΑΣ

Με βάση τα αποτελέσματα, ενδεικτικά για τετραγωνικό πέδιλο με  $B'=2,4\text{m}$  προκύπτουν τιμές επιτρεπόμενης τάσης της τάξης του  $\sigma_{\text{επ}}=310\text{ kN/m}^2$  σε αστράγγιστες συνθήκες (Εικόνα 66), για πεδילוδοκό με στοιχεία  $B'=1,6\text{m}$  και  $L'=38\text{m}$ , προκύπτουν τιμές επιτρεπόμενης τάσης της τάξης του  $\sigma_{\text{επ}}=314,4\text{ kN/m}^2$  σε αστράγγιστες συνθήκες (Εικόνα 67) και  $\sigma_{\text{επ}}=510,5\text{ kN/m}^2$  για κυκλική πλάκα με διάμετρο  $B'=24,0\text{m}$  (Εικόνα 68). (Χατζηγώγος, 2020)

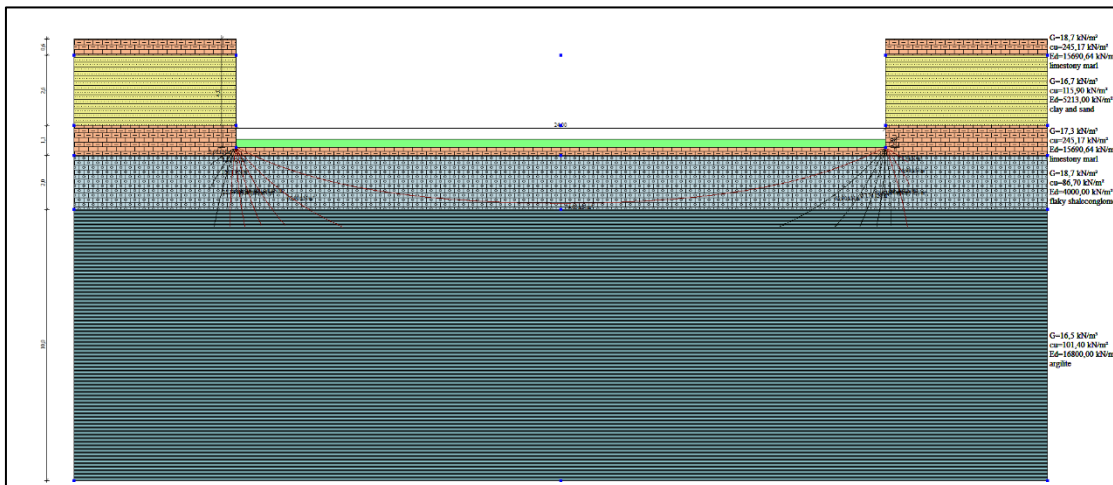


Εικόνα 66: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με τετραγωνικά πέδιλα  $B'/L'=1$  (Χατζηγώγος, 2020)

Η διαστασιολόγηση των θεμελίων θα πρέπει να οδηγεί σε αναπτυσσόμενες τάσεις μικρότερες των επιτρεπόμενων, έτσι όπως αυτές προκύπτουν από την αντίστοιχη ανάλυση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εάν γίνει δεκτή μία μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση της τάξης των 10 cm (για κοιτόστρωση ή πυκνή σχάρα πεδילוδοκών), η αντίστοιχη τιμή επιτρεπόμενης τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{\text{επ}} \approx 180\text{ kN/m}^2$ . Αντίστοιχα για μία μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση της τάξης των 5 cm για τετραγωνικά πέδιλα, η αντίστοιχη τιμή επιτρεπόμενης τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{\text{επ}} \approx 260\text{ kN/m}^2$  και για πεδילוδοκό  $\sigma_{\text{επ}} \approx 220\text{ kN/m}^2$ .

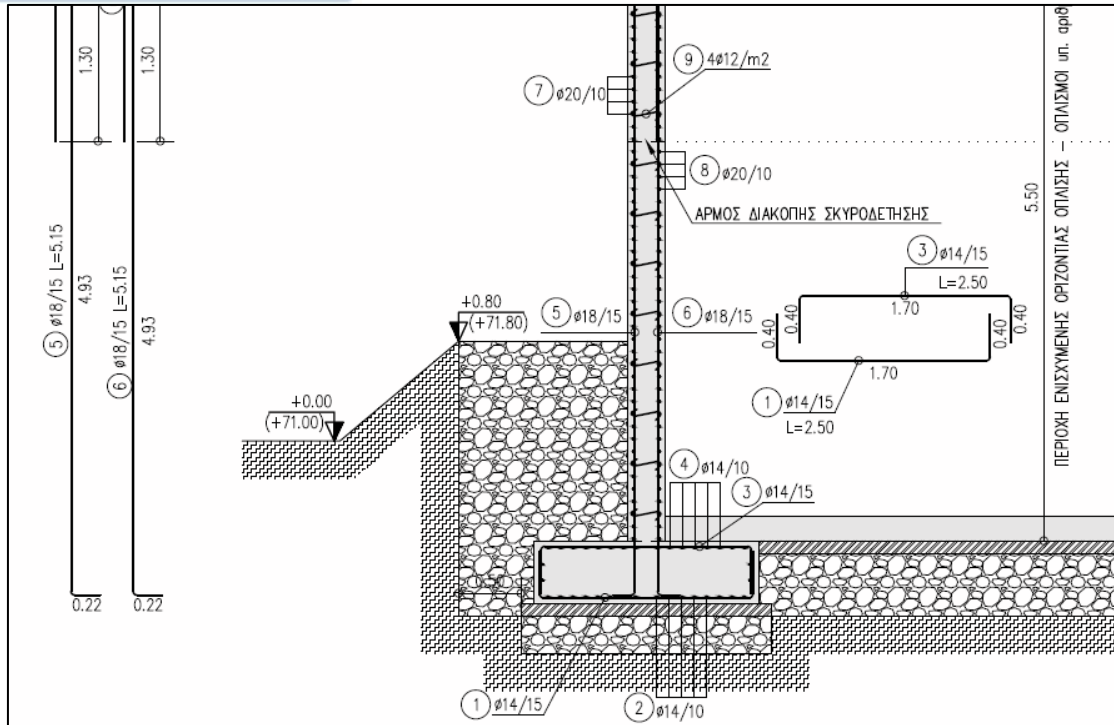


Εικόνα 67: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με πεδילוδοκό  $B'/L'=24$  (Χατζηγώγος, 2020)



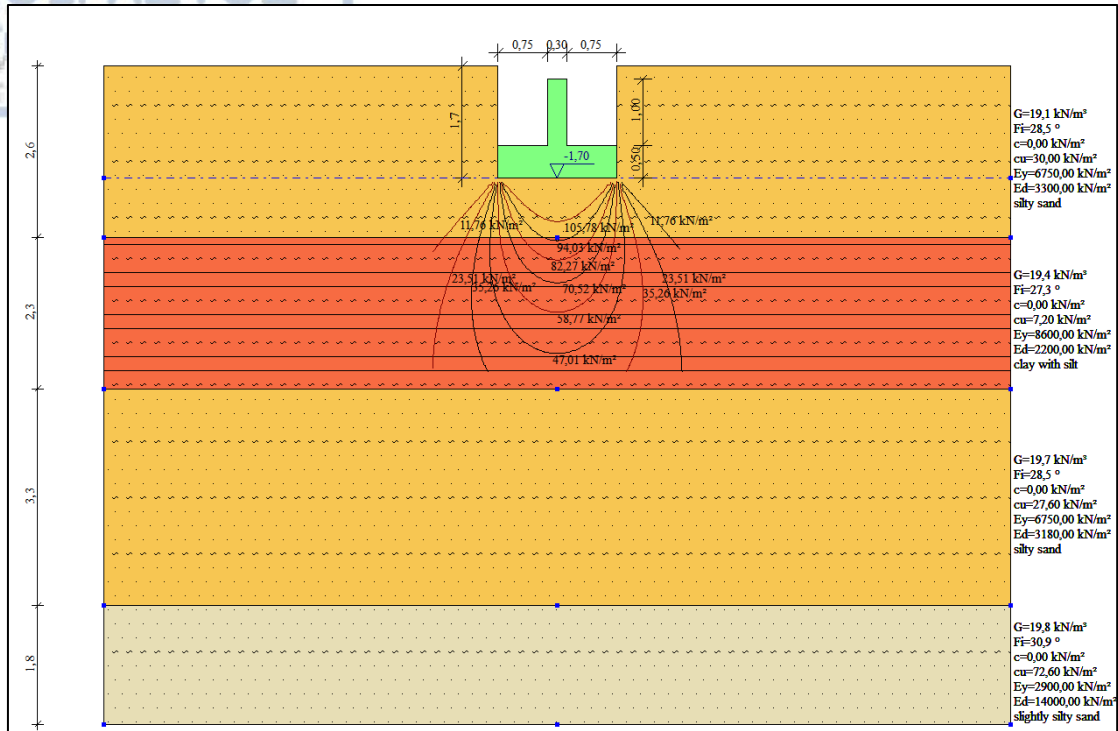
Εικόνα 68: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με κοιτόστρωση διαμέτρου  $D'=24m$  (Χατζηγώγος, 2020)

### 8.1.3 ΔΕΥΚΩΝΑΣ



Εικόνα 69: Αρχικό σχέδιο θεμελίωσης δεξαμενών (Χατζηγώγος, 2020)

Με βάση τα αποτελέσματα, ενδεικτικά για πεδילוδοκό με στοιχεία  $B'=1,8\text{m}$  και  $L'=36\text{m}$ , προκύπτουν τιμές επιτρεπόμενης τάσης της τάξης του  $\sigma_{επ}=74,8 \text{ kN/m}^2$  σε αστράγγιστες συνθήκες (Εικόνα 70) και  $\sigma_{επ}=155,2 \text{ kN/m}^2$  σε συνθήκες αποστράγγισης. Η τιμή της επιτρεπόμενης τάσης σε αστράγγιστες συνθήκες χωρίς τη διόρθωση στην τιμή της συνοχής (cohesion correction) της τάξης  $2/3 \cdot c_u$  είναι της τάξης  $\sigma_{επ}=100,2 \text{ kN/m}^2$ .



Εικόνα 70: Γραφικά αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας με πεδילוδοκό  $B'=1,8m$  και  $B'/L'=20$  στη θέση Γ-1 (Χατζηγάτος, 2020)

Η διαστασιολόγηση των θεμελίων θα πρέπει να οδηγεί σε αναπτυσσόμενες τάσεις μικρότερες των επιτρεπόμενων, έτσι όπως αυτές προκύπτουν από την αντίστοιχη ανάλυση. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εάν γίνει δεκτή μία μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση της τάξης των 5 cm για πεδילוδοκό, η αντίστοιχη τιμή επιτρεπόμενης τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{επ} \approx 80 \text{ kN/m}^2$ .

## 8.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ- ΔΕΙΚΤΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Με βάση τα αποτελέσματα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και τις γεωτεχνικές τομές σχεδιασμού, ακολουθεί μία εκτίμηση των καθιζήσεων του εδάφους. Στους υπολογισμούς γίνεται θεώρηση εκσκαφής  $D=4,0m$  και θεμελίωση πάνω στη εδαφική στρώση "C1" για την περιοχές Άρμα και Ελεόνας ενώ για την περιοχή του Λευκόνα γίνεται θεώρηση εκσκαφής  $D=1,7m$  και θεμελίωση πάνω στη εδαφική στρώση "S1". Οι υπολογισμοί έγιναν με το πρόγραμμα LoadCar της εταιρείας Geostru.



Πίνακας 27: Συγκεντρωτικός πίνακας διαστασιολόγησης, επιτρεπόμενης τάσης και καθιζήσεων

		Για πεδιλοδοκό	
B'(m)	D'(m)	$\sigma_{επ}$ (kPa)	Καθιζήσεις(cm)
1,6	4,0	200	5
1,6	4,0	220	5
1,8	1,7	80	5

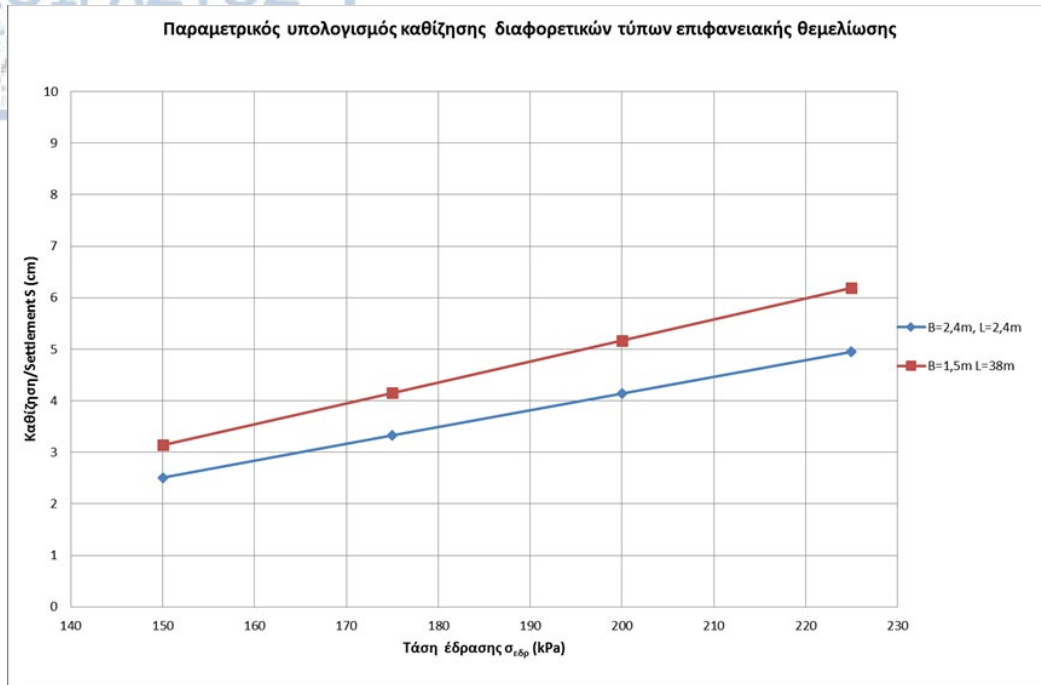
## 8.2.1 ΑΡΜΑ

Στην [Εικόνα 71](#) παρουσιάζεται παραμετρικός υπολογισμός της καθίζησης στη θέση Γ-1 για διάφορες τιμές φόρτισης για πέδιλα με στοιχεία  $B'=2,4m$ ,  $L'=2,4m$ . Προκύπτει καθίζηση 2,51cm για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ} \approx 150 \text{ kN/m}^2$  έως 4.95cm για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ} \approx 225 \text{ kN/m}^2$ . (Χατζηγώγος, 2020)

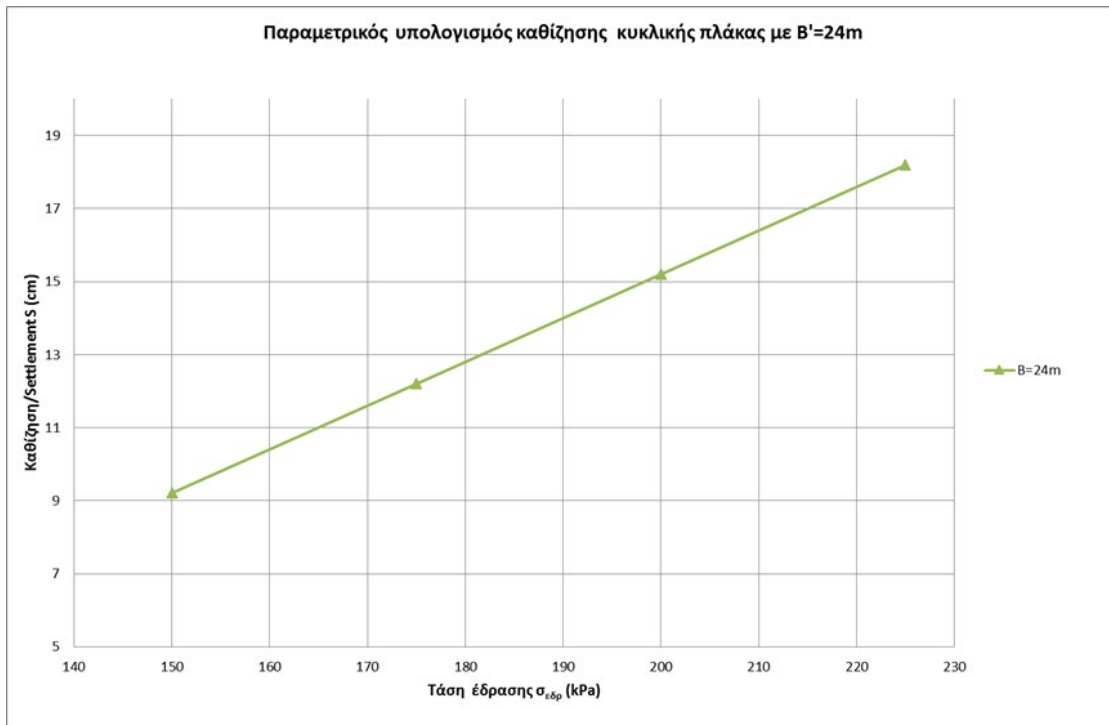
Στην ίδια Εικόνα παρουσιάζεται παραμετρικός υπολογισμός της καθίζησης στη θέση Γ-1 για διάφορες τιμές φόρτισης για πεδιλοδοκό με στοιχεία  $B'=1,6m$ ,  $L'=38,0m$ . Προκύπτει καθίζηση 3,14cm για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ} \approx 150 \text{ kN/m}^2$  έως 6.19cm για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ} \approx 225 \text{ kN/m}^2$ .

Επίσης παρουσιάζεται παραμετρικός υπολογισμός της καθίζησης στη θέση Γ-1 για διάφορες τιμές φόρτισης για κυκλική κοιτόστρωση με με διάμετρο  $D'=24,0m$  ([Εικόνα 72](#)). Προκύπτει καθίζηση 9.21cm για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ} \approx 150 \text{ kN/m}^2$  έως 18,2cm για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ} \approx 225 \text{ kN/m}^2$ .

Οι άνω υπολογιζόμενες τιμές ισχύουν για την περίπτωση ολοκλήρωσης των καθιζήσεων λόγω στερεοποίησης (συνθήκες μακροχρόνιας φόρτισης). Παρατηρείται πως εάν γίνει δεκτή μία μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση της τάξης των 10 cm στην κυκλική πλάκα, η αντίστοιχη τιμή επιτρεπόμενης τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{επ} \approx 160 \text{ kN/m}^2$ . Αντίστοιχα για μία μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση της τάξης των 5 cm στα τετραγωνικά πέδιλα και στις πεδιλοδοκούς, η αντίστοιχη τιμή επιτρεπόμενης τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{επ} \approx 200 \text{ kN/m}^2$ .



Εικόνα 71: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων στη θέση Γ-1 για τετραγωνικό πέδιλο και πεδילוδοκό (Χατζηγώγος, 2020)



Εικόνα 72: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων στη θέση Γ-1 για κυκλική πλάκα διαμέτρου 24m (Χατζηγώγος, 2020)

Η τιμή του δείκτη εδάφους για ενδεχόμενη στατική επίλυση του κτιρίου με θεώρηση έδρασης επί ελαστικού εδάφους μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τις προτεινόμενες τιμές σε διάφορους τύπους εδαφών κατά Terzaghi. Ενδεικτικά, για την περίπτωση θεμελίωσης σε στιφρές αργίλους ( $C_u=50-100\text{kPa}$ ) μπορούν να θεωρηθούν τιμές του δείκτη εδάφους  $k_0=100-165\text{MN/m}^3$  για τετραγωνική ή κυκλική πλάκα εύρους  $B_0=0,305$ . Επομένως για πεδילוδοκό με πλάτος  $B'=1,6\text{m}$  μπορούν να ληφθούν τιμές  $k=12,7-20,9\text{ MN/m}^3$  και αντίστοιχα για τετραγωνικό πέδιλο πλάτους  $B'=2,4\text{m}$  τιμές  $k=12,7-21,0\text{ MN/m}^3$ . Προτείνεται η χρήση των μέγιστων τιμών ( $k=21,0\text{ MN/m}^3$ ), λόγω των συντηρητικών παραδοχών στις τιμές της αντοχής. Για ανάλυση μάλιστα σε σεισμό, μπορεί να ληφθούν τιμές  $K$  τουλάχιστον διπλάσιες έως και τριπλάσιες των ως άνω προτεινόμενων.

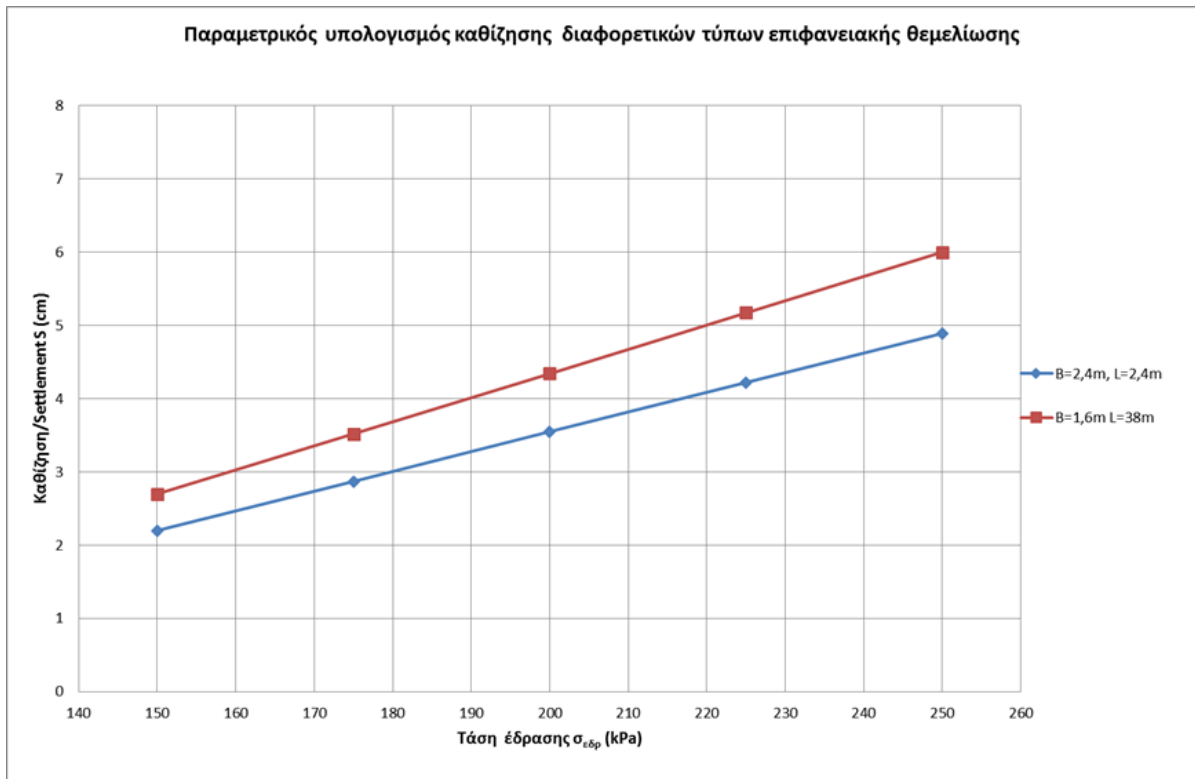
## 8.2.2 ΕΛΕΩΝΑΣ

Στην [Εικόνα 73](#) παρουσιάζεται παραμετρικός υπολογισμός της καθίζησης για διάφορες τιμές φόρτισης για πέδιλα με στοιχεία  $B'=2,4\text{m}$ ,  $L'=2,4\text{m}$ . Προκύπτει καθίζηση  $2,20\text{cm}$  για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ}\cong 150\text{ kN/m}^2$  έως  $4,89\text{cm}$  για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ}\cong 225\text{ kN/m}^2$ .

Στην ίδια Εικόνα παρουσιάζεται παραμετρικός υπολογισμός της καθίζησης για διάφορες τιμές φόρτισης για πεδילוδοκό με στοιχεία  $B'=1,6\text{m}$ ,  $L'=38,0\text{m}$ . Προκύπτει καθίζηση  $2,70\text{cm}$  για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ}\cong 150\text{ kN/m}^2$  έως  $5,17\text{cm}$  για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ}\cong 225\text{ kN/m}^2$ .

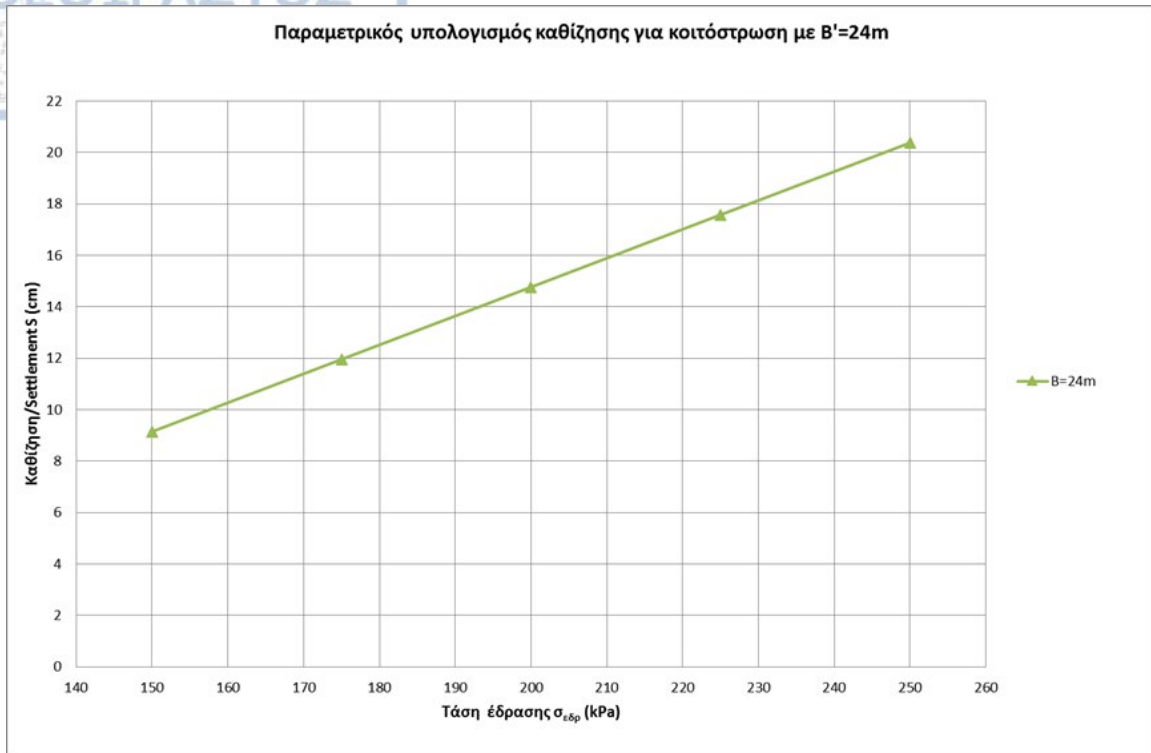
Επίσης παρουσιάζεται παραμετρικός υπολογισμός της καθίζησης για διάφορες τιμές φόρτισης για κυκλική κοιτόστρωση με διάμετρο  $D'=24,0\text{m}$  (Εικόνα 73). Προκύπτει καθίζηση  $9,15\text{cm}$  για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ}\cong 150\text{ kN/m}^2$  έως  $20,38\text{cm}$  για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ}\cong 250\text{ kN/m}^2$ . Τέλος γίνεται θεώρηση πως οι καθιζήσεις θα εκδηλωθούν μετά από ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων στη κυκλική πλάκα με διάμετρο  $D'=24,0\text{m}$  και υπολογίζονται οι τελικές καθιζήσεις με το πρόγραμμα Settle3D της εταιρίας RocScience ([Εικόνα 75](#)). Προκύπτει τελική καθίζηση της τάξης των  $10,1\text{cm}$  για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδρ}\cong 180\text{ kN/m}^2$ .

Οι άνω υπολογιζόμενες τιμές ισχύουν για την περίπτωση ολοκλήρωσης των καθιζήσεων λόγω στερεοποίησης (συνθήκες μακροχρόνιας φόρτισης). Παρατηρείται πως εάν γίνει δεκτή μία μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση της τάξης των 10 cm στην κυκλική πλάκα, η αντίστοιχη τιμή επιτρεπόμενης τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{επ} \approx 180 \text{ kN/m}^2$ . Αντίστοιχα για μία μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση της τάξης των 5 cm στα τετραγωνικά πέδιλα και στις πεδιλοδοκούς, η αντίστοιχη τιμή επιτρεπόμενης τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{επ} \approx 220 \text{ kN/m}^2$ .

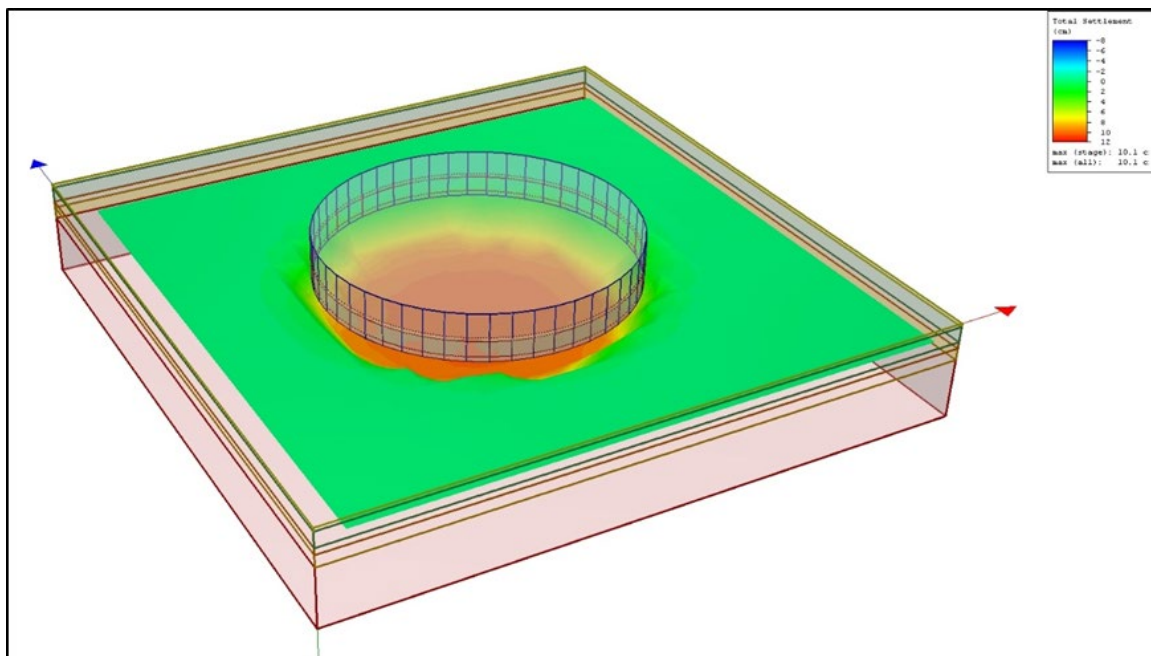


Εικόνα 73: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων για τετραγωνικό πέδιλο και πεδιλοδοκό (Χατζηγώγος, 2020)





Εικόνα 74: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων στη θέση Γ-1 για κυκλική πλάκα διαμέτρου 24m (Χατζηγώγος, 2020)



Εικόνα 75: Υπολογισμός καθιζήσεων για ενιαία κατανομή τάσεων σε κυκλική πλάκα με διάμετρο  $D'=24,0m$  (Χατζηγώγος, 2020)

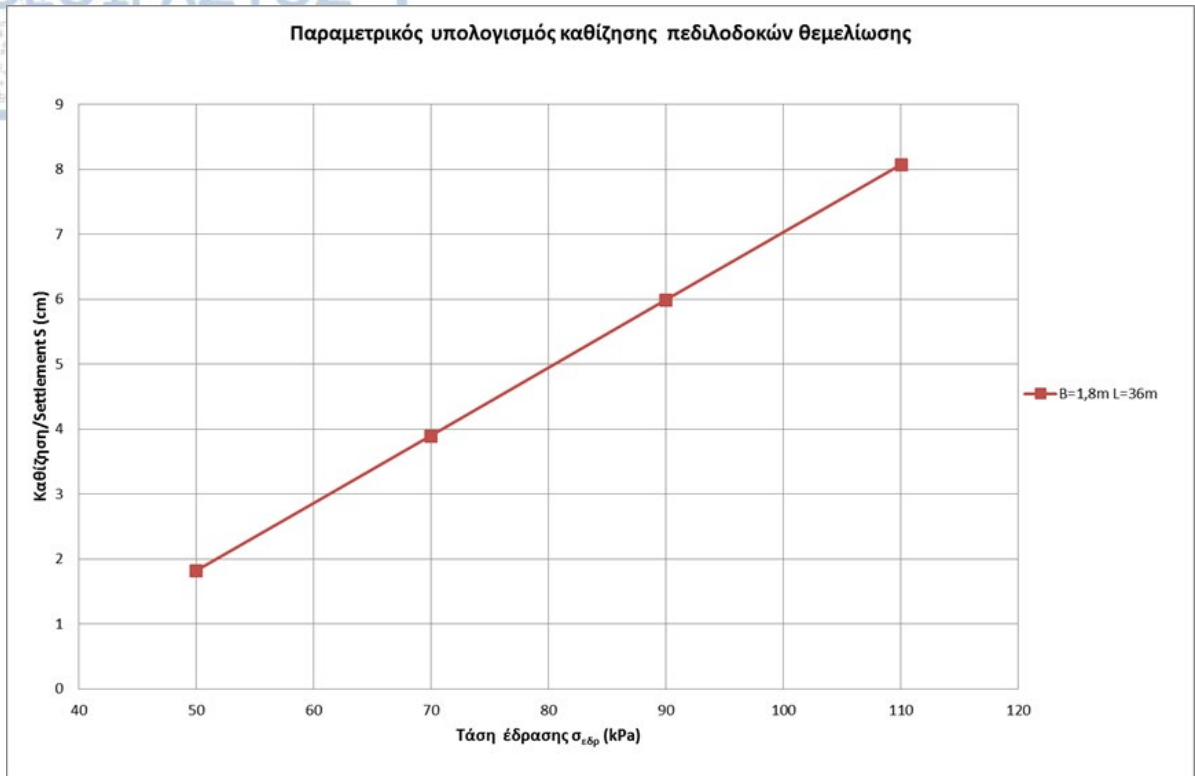
Η τιμή του δείκτη εδάφους για ενδεχόμενη στατική επίλυση του κτιρίου με θεώρηση έδρασης επί ελαστικού εδάφους μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τις προτεινόμενες τιμές σε διάφορους τύπους εδαφών κατά Terzaghi. Ενδεικτικά, για την περίπτωση θεμελίωσης σε στιφρές αργίλους ( $C_u=50-100\text{kPa}$ ) μπορούν να θεωρηθούν τιμές του δείκτη εδάφους  $k_0=100-165\text{MN/m}^3$  για τετραγωνική ή κυκλική πλάκα εύρους  $B_0=0,305$ .

Επομένως για πεδιλοδοκό με πλάτος  $B'=1,6\text{m}$  μπορούν να ληφθούν τιμές  $k=12,7-20,9\text{MN/m}^3$  και αντίστοιχα για τετραγωνικό πέδιλο πλάτους  $B'=2,4\text{m}$  τιμές  $k=12,7-21,0\text{MN/m}^3$ . Προτείνεται η χρήση των μέγιστων τιμών ( $k=21,0\text{MN/m}^3$ ), λόγω των συντηρητικών παραδοχών στις τιμές της αντοχής. Για ανάλυση μάλιστα σε σεισμό, μπορεί να ληφθούν τιμές  $K$  τουλάχιστον διπλάσιες έως και τριπλάσιες των ως άνω προτεινόμενων.

### 8.2.3 ΛΕΥΚΩΝΑΣ

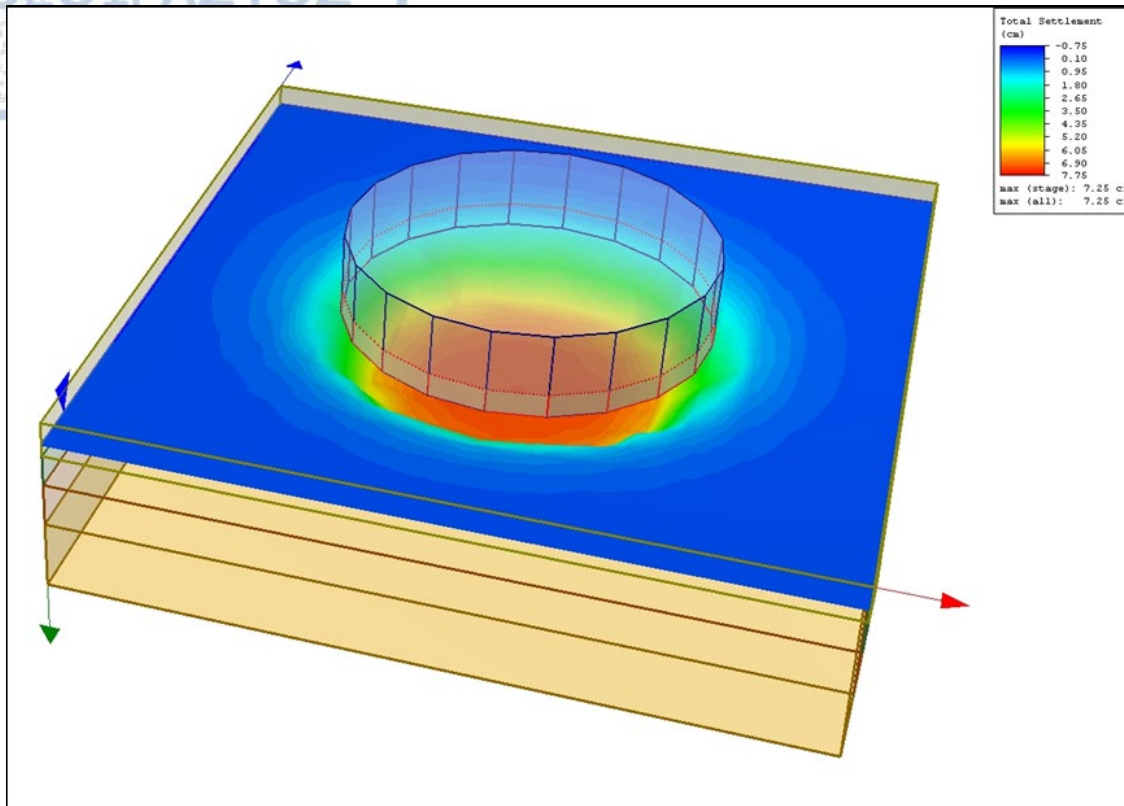
Στην [Εικόνα 76](#) παρουσιάζεται παραμετρικός υπολογισμός της καθίζησης στη θέση Γ-1 για διάφορες τιμές φόρτισης για πεδιλοδοκό με στοιχεία  $B'=1,8\text{m}$ ,  $L'=36,0\text{m}$ . Προκύπτει καθίζηση  $1,82\text{cm}$  για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδ\rho}\cong 50\text{kN/m}^2$  έως  $8,07\text{cm}$  για αναπτυσσόμενες τάσεις έδρασης της τάξης των  $\sigma_{εδ\rho}\cong 110\text{kN/m}^2$ .

Οι άνω υπολογιζόμενες τιμές ισχύουν για την περίπτωση ολοκλήρωσης των καθιζήσεων λόγω στερεοποίησης (συνθήκες μακροχρόνιας φόρτισης). Παρατηρείται πως εάν γίνει δεκτή μία μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση της τάξης των  $5\text{cm}$ , η αντίστοιχη τιμή επιτρεπόμενης τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{επ}\cong 80\text{kN/m}^2$ .



**Εικόνα 76: Παραμετρικός υπολογισμός καθιζήσεων στη θέση Γ-1 για πεδιλοδοκό πλάτους  $B'=1,8m$  (Χατζηγώγος, 2020)**

Συμπληρωματικά έγινε υπολογισμός των καθιζήσεων της προβλεπόμενης δεξαμενής με θεώρηση κατανομής του φορτίου της σε όλη την επιφάνειά της. Οι υπολογισμοί έγιναν με το πρόγραμμα Settle3D της εταιρείας Rocscience και γίνεται θεώρηση εκσκαφής  $D=1,7m$  και θεμελίωση πάνω στη εδαφική στρώση "S1". Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων, εκτιμάται ολική καθίζηση της τάξης των 7,25cm για επιβαλλόμενη τάση της τάξης των 80 kPa ([Εικόνα 77](#)).

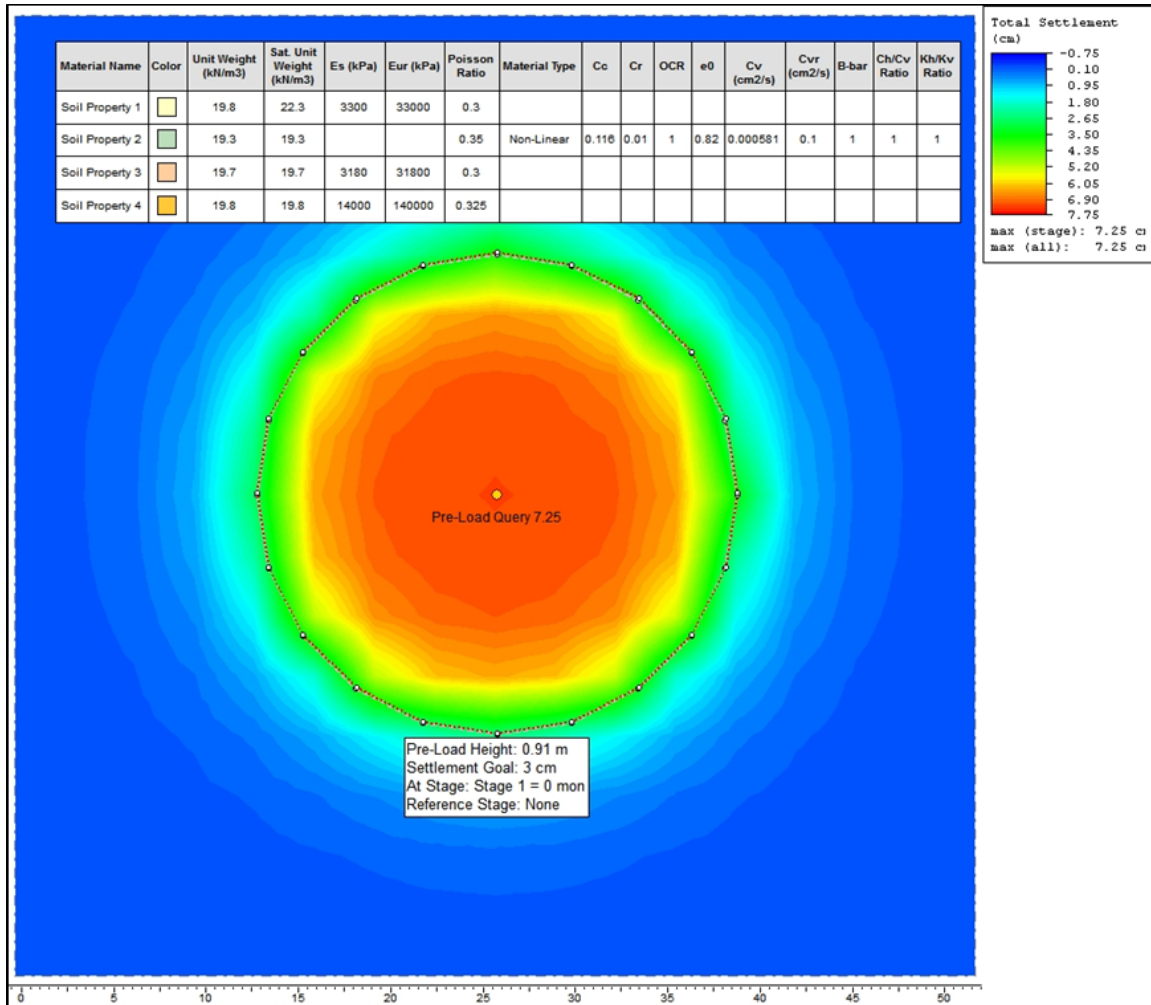


Εικόνα 77:Υπολογισμός καθιζήσεων της τάξης των 7,25cm για θεμελίωση της δεξαμενής σε βάθος  $D'=1,70m$  (Χατζηγώγος, 2020)

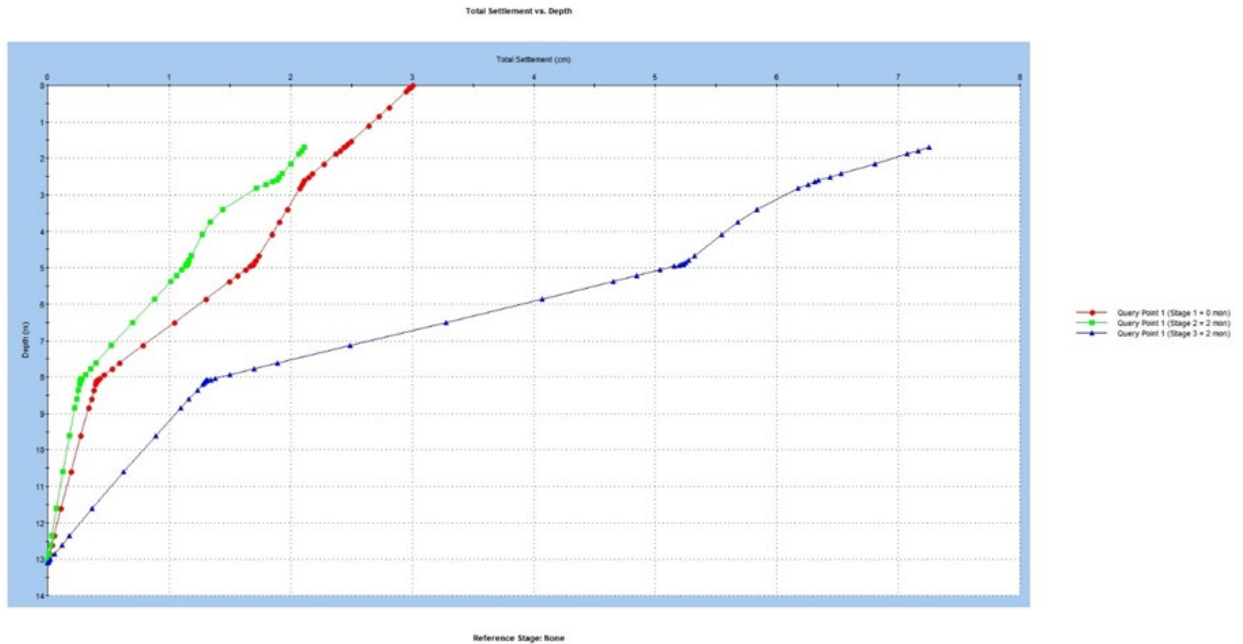
Ακολούθως εκτελέστηκε ανάλυση της εξέλιξης των καθιζήσεων για τρεις χρονικές φάσεις. Η πρώτη φάση περιλαμβάνει την επιβολή προφόρτισης, όπου υπολογίζεται το απαιτούμενο ύψος του επιχώματος προφόρτισης ώστε να επιτευχθεί καθίζηση της τάξης των 3cm, με αποτέλεσμα το υπόλοιπο μέρος της καθίζησης που θα παραληφθεί από την κατασκευή να είναι εντός ανεκτών ορίων ( $\leq 5cm$ ). Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει την αφαίρεση του επιχώματος και την εκσκαφή σε βάθος 1,70m σε χρονική απόσταση 2μηνών από την επιβολή της προφόρτισης και η Τρίτη φάση περιλαμβάνει την κατασκευή με την επιβολή του φορτίου των 80 kPa, αμέσως μετά την εκσκαφή. Υπολογίστηκε πως το ελάχιστο ύψος επιχώματος προφόρτισης για την εκδήλωση καθίζησης της τάξης των 3cm είναι  $H=0,9m$ . Σε αυτήν την περίπτωση η κατανομή των καθιζήσεων ανά στάδιο που παρουσιάζεται στην [Εικόνα 79](#) είναι η εξής:

- A. Στο στάδιο της προφόρτισης μετά από δύο μήνες **3cm**
- B. Στο στάδιο της εκσκαφής **-0,89cm**, δηλαδή διόγκωση του υπεδάφους
- Γ. Στο στάδιο της κατασκευής **5,14cm**





Εικόνα 78:Υπολογισμός απαιτούμενου ύψους προφόρτισης για εκδήλωση καθίζησης 3cm (Χατζηγώγος, 2020)



Εικόνα 79: Κατανομή καθιζήσεων για τα τρία στάδια ανάλυσης (προφόρτιση(πράσινο)-εκσκαφή(κόκκινο)-κατασκευή(μπλε))

Η τιμή του δείκτη εδάφους για ενδεχόμενη στατική επίλυση των κατασκευών με θεωρία έδρασης επί ελαστικού εδάφους μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τις προτεινόμενες τιμές σε διάφορους τύπους εδαφών κατά Terzaghi. Ενδεικτικά, για την περίπτωση θεμελίωσης σε χαλαρές άμμους κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα μπορούν να θεωρηθούν τιμές του δείκτη εδάφους  $k_0=8\text{MN/m}^3$  για τετραγωνική ή κυκλική πλάκα εύρους  $B_0=0,305$ . Επομένως για πεδילוδοκό με πλάτος  $B'=1,8\text{m}$  μπορούν να ληφθούν τιμές με βάση την εξίσωση:

$$k = \frac{2}{3} * k_0 * \left(\frac{B_0}{B}\right)^2 * \left(\frac{B+0,305}{B_0+0,305}\right)^2 = 1,83 \text{ MN/m}^3$$

Για ανάλυση μάλιστα σε σεισμό, μπορεί να ληφθούν τιμές  $K$  τουλάχιστον διπλάσιες έως και τριπλάσιες των ως άνω προτεινόμενων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:ΕΙΔΟΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΑ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιείται ευρύτατα τα τελευταία χρόνια είναι η μέθοδος των χαλικοπασσάλων, η οποία συνδυάζει κυρίως την ενίσχυση του εδάφους, τη βελτίωσή του καθώς και τη μείωση του πρόσθετου φορτίου που αναλαμβάνει το φυσικό έδαφος. (Μπουκοβάλας, 2004)

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αντικατάσταση τμήματος (15%-35%) εδαφικού υλικού από το *in situ* έδαφος από ένα αδρομερές, ανομοιόμορφο και μη συνεκτικό υλικό (όπως για παράδειγμα χάλικες, κροκάλες, θραυστό λατομείου). Έτσι δημιουργείται ένα πιο δύσκαμπτο σύνθετο υλικό με ενισχυμένα μηχανικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το αρχικό, του οποίου η συμπεριφορά εξαρτάται τόσο από το αρχικό έδαφος όσο και από το υλικό πλήρωσης.

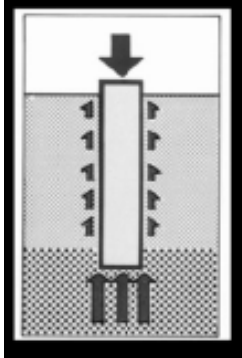
Η δράση των χαλικοπασσάλων είναι σύνθετη:

- Ενισχύει το έδαφος θεμελίωσης με την αύξηση της μέσης διατμητικής αντοχής του “μικτού” εδάφους (φυσικό έδαφος – χαλικοπάσσαλοι), λόγω της μερικής αντικατάστασης του ασθενούς αρχικού εδάφους με υλικό καλύτερων χαρακτηριστικών.
- Βελτιώνει το έδαφος θεμελίωσης, εξαιτίας της τοπικής συμπύκνωσης του εδάφους κατά την εγκατάσταση των χαλικοπασσάλων αλλά κυρίως λόγω της επιτάχυνσης της εξέλιξης του φαινομένου της πρωτογενούς στερεοποίησης των αργιλικών εδαφών, μέσω της δυνατότητας δημιουργίας οριζόντιας ροής του νερού των πόρων και της αντίστοιχης μείωσης των υπερπιέσεων τους λόγω εξωτερικής φόρτισης ή σεισμού.
- Μειώνει το πρόσθετο φορτίο που αναλαμβάνει το φυσικό έδαφος, εξαιτίας της συγκέντρωσης των φορτίων της κατασκευής στους χαλικοπασσάλους, λόγω της μεγαλύτερης ακαμψίας τους σε σχέση με το περιβάλλον έδαφος. Αυτή η αποφόρτιση του φυσικού εδάφους γύρω από το χαλικοπάσσαλο έχει ως αποτέλεσμα το “μικτό” έδαφος θεμελίωσης να παρουσιάζει μείωση της συμπίεσής του (Μπουκοβάλας, 2004)

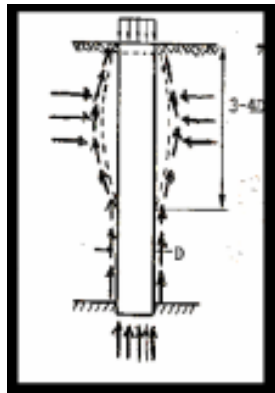
Οι χαλικοπάσσαλοι διαφέρουν από τους συμβατικούς άκαμπτους πασσάλους από οπλισμένο σκυρόδεμα όχι μόνο ως προς το υλικό κατασκευής (οι χαλικοπάσσαλοι είναι σαφώς πιο συμπίεστοι από τους συμβατικούς πασσάλους) αλλά και ως προς τη συμπεριφορά τους στην ανάληψη φορτίων ([Εικόνα 80](#)). Οι άκαμπτοι πάσσαλοι είτε

μεταφέρουν τα φορτία σε μεγάλο βάθος όπου οι εδαφικές στρώσεις είναι πιο ανθεκτικές (πάσσαλοι αιχμής), είτε μεταφέρουν τα φορτία μέσω της τριβής που αναπτύσσεται στην παράπλευρη επιφάνειά τους (πάσσαλοι τριβής). Επίσης ένας άκαμπτος πάσσαλος καθιζάνει περίπου ως ασυμπίεστο σώμα όταν φορτίζεται. (Καββαδάς, Στοιχεία Εδαφομηχανικής, 2007)

Αντίθετα οι χαλικοπάσσαλοι είναι αποτελεσματικοί στην ανάληψη και μεταφορά μικρών φορτίων στα επιφανειακά εδαφικά στρώματα. Επιπλέον με την αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου ο χαλικοπάσσαλος διογκώνεται πλευρικά με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται πλευρικές πιέσεις στην περιβάλλουσα γεώμασα.

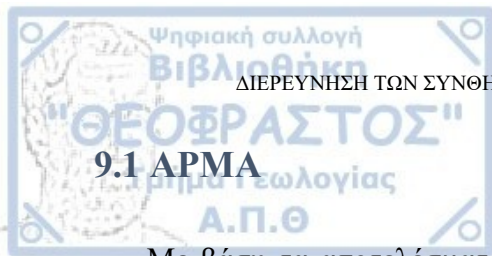


Εικόνα 80: Αναπτυσσόμενες τάσεις σε συμβατικό πάσσαλο από οπλισμένο σκυρόδεμα (Καββαδάς, 2008)



Εικόνα 81: Αναπτυσσόμενες τάσεις σε χαλικοπάσσαλο (Χριστούλας, 1998)





## 9.1 ΑΡΜΑ

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας (Χατζηγώγος, 2020) και σύμφωνα με τους εδαφοτεχνικούς υπολογισμούς που ακολουθούν, το υπέδαφος φαίνεται να παρέχει πολύ ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα και χαμηλή συμπίεστότητα. Η σύσταση του πυθμένα θεμελίωσης στην περίπτωση θεμελίωσης των προβλεπόμενων κατασκευών σε βάθος  $D=4,0m$  αποτελείται από τεφροπράσινη συνεκτική αργιλούχο μάργα (στρώση “C1”) με υποκείμενη στιφρή και συνεκτική αργιλοϊλύ με ενστρώσεις άμμου (στρώση “C2”).

Σημειώνεται πως δεν εντοπίστηκε η στάθμη υπόγειων υδάτων μέχρι το βάθος των  $15,0m$  και οι σχηματισμοί που συναντήθηκαν είναι πρακτικά αδιαπέρατοι.

Με βάση τα παραπάνω και σύμφωνα με τους ελέγχους που ακολουθούν, η θεμελίωση των κατασκευών προτείνεται να υλοποιηθεί με βάση το υφιστάμενο σχέδιο θεμελίωσης, δηλαδή με πεδילוδοκούς γεωμετρικών στοιχείων  $B'=1,6m$  και  $L'=38m$ , τετραγωνικό κεντρικό θεμέλιο με πλάτος  $B'=2,4m$  και κυκλική πλάκα διαμέτρου  $D'=24m$ . Το υπέδαφος θεμελίωσης παρέχει υψηλές τιμές φέρουσας ικανότητας εξαιτίας των υψηλών αντοχών που υπολογίστηκαν και χαμηλή συμπίεστότητα.

Τα θεμέλια προτείνεται να επανεπιχωθούν με κοκκώδες υλικό, επαρκώς συμπυκνωμένο περιμετρικά και με καθαρό στραγγιστικό αμμοχάλικο (εσωτερικά). Επίσης προτείνεται η κατασκευή συμπυκνωμένης στρώσης πάχους  $10-15cm$  από αμμοχάλικο κατηγορίας A-1-a ή A-1-b κατά AASHTO, ώστε να δημιουργηθεί κατάλληλο δάπεδο εργασίας, να διαμορφωθεί η επιφάνεια έδρασης των θεμελίων στο απαιτούμενο βάθος θεμελίωσης, να ομογενοποιηθούν οι συνθήκες έδρασης και να καταστεί αποτελεσματικότερη η επανασυμπύκνωση του υπεδάφους έδρασης των θεμελίων.



### 9.1.2 ΕΛΕΩΝΑΣ

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας (Χατζηγώγος, 2020) και σύμφωνα με τους εδαφοτεχνικούς υπολογισμούς που ακολουθούν, το υπέδαφος φαίνεται να παρέχει πολύ ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα και χαμηλή συμπιεστότητα. Η σύσταση του πυθμένα θεμελίωσης στην περίπτωση θεμελίωσης των προβλεπόμενων κατασκευών σε βάθος  $D=4,0m$  αποτελείται από καστανότεφρη συνεκτική ασβεστιτική μάργα (στρώση “C1”) με υποκείμενο σιφρό και συνεκτικό ψαμμιτοκροκαλοπαγές με αργιλικό συνδετικό υλικό μέσης πλαστικότητας (στρώση “S2”).

Σημειώνεται πως δεν εντοπίστηκε η στάθμη υπόγειων υδάτων μέχρι το βάθος των  $15,0m$  και οι σχηματισμοί που συναντήθηκαν είναι πρακτικά αδιαπέρατοι.

Με βάση τα παραπάνω και σύμφωνα με τους ελέγχους που ακολουθούν, η θεμελίωση των κατασκευών προτείνεται να υλοποιηθεί με βάση το υφιστάμενο σχέδιο θεμελίωσης, δηλαδή με πεδילוδοκούς γεωμετρικών στοιχείων  $B'=1,6m$  και  $L'=38m$ , τετραγωνικό κεντρικό θεμέλιο με πλάτος  $B'=2,4m$  και κυκλική πλάκα διαμέτρου  $D'=24m$ . Το υπέδαφος θεμελίωσης παρέχει υψηλές τιμές φέρουσας ικανότητας εξαιτίας των υψηλών αντοχών που υπολογίστηκαν και χαμηλή συμπιεστότητα.

Τα θεμέλια προτείνεται να επανεπιχωθούν με κοκκώδες υλικό, επαρκώς συμπυκνωμένο περιμετρικά και με καθαρό στραγγιστικό αμμοχάλικο (εσωτερικά). Επίσης προτείνεται η κατασκευή συμπυκνωμένης στρώσης πάχους  $10-15cm$  από αμμοχάλικο κατηγορίας A-1-a ή A-1-b κατά AASHO, ώστε να δημιουργηθεί κατάλληλο δάπεδο εργασίας, να διαμορφωθεί η επιφάνεια έδρασης των θεμελίων στο απαιτούμενο βάθος θεμελίωσης, να ομογενοποιηθούν οι συνθήκες έδρασης και να καταστεί αποτελεσματικότερη η επανασυμπύκνωση του υπεδάφους έδρασης των θεμελίων.

Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας (Χατζηγάγος, 2020) και σύμφωνα με τους εδαφοτεχνικούς υπολογισμούς που ακολουθούν, το υπέδαφος φαίνεται να παρέχει οριακή φέρουσα ικανότητα και σχετικά υψηλή συμπίεστικότητα.

Η στάθμη των υπόγειων υδάτων εκτιμάται την εποχή διεξαγωγής της έρευνας στα 2,3m από την επιφάνεια του εδάφους και η πιεζομετρική στάθμη στα 1,7m (μετρημένη στη γεώτρηση Γ-1). Επίσης διαπιστώθηκαν χαλαροί αμμώδεις σχηματισμοί υπό τον υδροφόρο ορίζοντα και μέχρι το βάθος έρευνας (10,0m), συνθήκες που καθιστούν πιθανό το φαινόμενο της ρευστοποίησης τους μετά από έντονο σεισμικό γεγονός, προκαλώντας σημαντικές μετά-σεισμικές καθιζήσεις. Η στάθμη της πιεζομετρικής επιφάνειας καθορίζει και την πρόταση θεμελίωσης σε βάθος 1,7m.

Η σύσταση του πυθμένα θεμελίωσης στην περίπτωση θεμελίωσης των προβλεπόμενων κατασκευών σε βάθος  $D=1,7m$  αποτελείται από χαλαρή ιλυώδη άμμο (στρώση "S1") με υποκείμενη μαλακή έως υδαρή αργιλοϊλύ μέσης πλαστικότητας (στρώση "C1").

Με βάση τα παραπάνω και σύμφωνα με τους ελέγχους που ακολουθούν, η θεμελίωση των κατασκευών προτείνεται να υλοποιηθεί με βάση το υφιστάμενο σχέδιο θεμελίωσης, δηλαδή με πεδילוδοκούς πλάτους  $B'=1,8m$ , με την προϋπόθεση να ληφθούν μέτρα έναντι των καθιζήσεων λόγω συμπίεστικότητας του υπεδάφους αλλά και του ενδεχομένου ρευστοποίησης. Προτείνεται η εφαρμογή προφόρτισης για ικανό χρονικό διάστημα με χρήση των υλικών εκσκαφής της γειτονικής λιμνοδεξαμενής και ενδεχομένως η κατασκευή χαλικοπασσάλων μήκους 6,5m .

Τα θεμέλια προτείνεται να επανεπιχωθούν με κοκκώδες υλικό, επαρκώς συμπυκνωμένο περιμετρικά και με καθαρό στραγγιστικό αμμοχάλικο (εσωτερικά). Επίσης προτείνεται η κατασκευή συμπυκνωμένης στρώσης πάχους 40cm από αμμοχάλικο κατηγορίας A-1-a ή A-1-b κατά AASHO, στη στάθμη της εκσκαφής που θα καθοριστεί από τη στάθμη της πιεζομετρικής επιφάνειας κατά την εποχή εκτέλεσης των εργασιών εκσκαφής, ώστε να δημιουργηθεί κατάλληλο δάπεδο εργασίας, να διαμορφωθεί η επιφάνεια έδρασης των θεμελίων στο απαιτούμενο βάθος θεμελίωσης, να ομογενοποιηθούν οι συνθήκες έδρασης και να καταστεί αποτελεσματικότερη η επανασυμπύκνωση του υπεδάφους έδρασης των θεμελίων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΕΥΡΕΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΙΝΔΥΝΩΝ

### 10.1 ΑΡΜΑ

Σύμφωνα με τα στοιχεία δειγματοληπτικής γεώτρησης σε γεωτεμάχιο στην τοποθεσία Άρμα του Δήμου Τανάγρας, όπου θα κατασκευασθεί μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιοαερίου, διαπιστώθηκαν τα εξής :

- Το υπέδαφος στη θέση έρευνας συνίσταται επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 2,5m από εναλλαγές χαλαρής λευκότεφρης άμμου και συνεκτικής τεφροπράσινης αργιλοϊλύος υψηλής πλαστικότητας, με ασβεστιτικά συγκρίματα. Υποκείμενα στρώματα αργιλοϊλύος και αργιλόμαργας χαμηλής πλαστικότητας και υψηλής συνεκτικότητας με λεπτούς ορίζοντες πολύ πυκνής χαλικώδους άμμου. Η στρωματογραφία αναμένεται οριζόντια.
- Το υπέδαφος θεμελίωσης κατατάσσεται στην Κατηγορία Β-Γ κατά ΕΑΚ 2000 και στην κατηγορία C κατά Ευρωκώδικα EN-1998
- Κατά την εποχή διεξαγωγής της έρευνας (Οκτώβριος 2020) η υπόγεια στάθμη δε βρέθηκε μέχρι το βάθος έρευνας των 15,0m και οι σχηματισμοί κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους είναι πρακτικά αδιαπέρατοι.
- Η σύσταση και η πυκνότητα του υπεδάφους παρέχει επαρκείς συνθήκες για επιφανειακή θεμελίωση με πεδιλοδοκό πλάτους  $B'=1,6m$  και κυκλική οπλισμένη πλάκα διαμέτρου  $D'=24m$ . Προτείνεται η κατασκευή εξυγιαντικής στρώσης πάχους τουλάχιστον 10cm υπό τα θεμέλια, ώστε να ομογενοποιηθούν οι συνθήκες έδρασης των θεμελίων.
- Παρατηρείται πως η υψηλές τιμές επιτρεπόμενης τάσης και αντίστοιχα οι μικρές τιμές καθιζήσεων οφείλονται στην πολύ καλή μηχανική συμπεριφορά του υπεδάφους. Επίσης λόγω της υψηλής συνεκτικότητας των επιφανειακών στρωμάτων είναι δυνατή η εκσκαφή σε βάθος  $D=4,0m$  με μεγάλες κλίσεις και θεμελίωση των κατασκευών στην εν λόγω στάθμη.



## 10.2 ΕΛΕΩΝΑΣ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, που διεξήχθη με δύο δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σε γεωτεμάχιο στην τοποθεσία «Μισοράχη» Ελεώνα, του Δήμου Θηβαίων, όπου θα κατασκευασθεί μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιοαερίου, διαπιστώθηκαν τα εξής :

- Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, το υπέδαφος στη θέση έρευνας συνίσταται επιφανειακά από εναλλαγές καστανής αργιλώδους άμμου με χάλικες και ασβεστιτικά συγκρίματα, με σημαντική συνοχή λόγω διαγένεσης που βαθύτερα μεταβαίνει σε ελαφρά συνεκτικό ψαμμιτοκροκαλοπαγές με καστανό αργιλικό συνδετικό υλικό μέσης πλαστικότητας και μέλη ασβεστιτικής μάργας, με λεπτούς ορίζοντες συνεκτικής καστανότεφρης ασβεστιτικής μάργας. Βαθύτερα των 6,0m συναντάται στερεή, καστανή αμμώδης αργιλοϊλός έως αργιλόμαργα, υψηλής πλαστικότητας με ενστρώσεις ασβεστιτικού υλικού. Η στρωματογραφία αναμένεται οριζόντια.
- Το υπέδαφος θεμελίωσης κατατάσσεται στην Κατηγορία Β κατά ΕΑΚ 2000 και στην κατηγορία Β κατά Ευρωκώδικα EN-1998
- Κατά την εποχή διεξαγωγής της έρευνας (Οκτώβριος 2020) η υπόγεια στάθμη δε βρέθηκε μέχρι το βάθος έρευνας των 8,0m και οι σχηματισμοί κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους είναι πρακτικά αδιαπέρατοι.
- Η σύσταση και η πυκνότητα του υπεδάφους παρέχει επαρκείς συνθήκες για επιφανειακή θεμελίωση με πεδιλοδοκό πλάτους  $B'=1,6m$  και κυκλική οπλισμένη πλάκα διαμέτρου  $D'=24m$ . Προτείνεται η κατασκευή εξυγιαντικής στρώσης πάχους τουλάχιστον 10cm υπό τα θεμέλια, ώστε να ομογενοποιηθούν οι συνθήκες έδρασης των θεμελίων.
- Παρατηρείται πως η υψηλές τιμές επιτρεπόμενης τάσης και αντίστοιχα οι μικρές τιμές καθιζήσεων οφείλονται στην πολύ καλή μηχανική συμπεριφορά του υπεδάφους. Επίσης λόγω της υψηλής συνεκτικότητας των επιφανειακών στρωμάτων είναι δυνατή η εκσκαφή σε βάθος  $D=4,0m$  με μεγάλες κλίσεις και θεμελίωση των κατασκευών στην εν λόγω στάθμη.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, που διεξήχθη με δειγματοληπτική γεώτρηση στο Λευκώνα Σερρών, σε αγροτεμάχιο στη ΒΙ.ΠΕ. Σερρών στη θέση Ο.Τ. 11, ΟΙΚ. 5 της Δ.Ε. Σερρών, όπου θα κατασκευασθεί μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση βιοαερίου, διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας, το υπέδαφος στη θέση έρευνας συνίσταται επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 2,6m από χαλαρή ιλυώδη άμμο με υποκείμενη συνεκτική έως υδαρή αμμώδη αργιλοϊλύ μέσης πλαστικότητας. Βαθύτερα των 4,9m συναντάται υγρή, χαλαρή ιλυώδης άμμος με υποκείμενο στρώμα μέσης πυκνότητας, καλά διαβαθμισμένης μεσόκοκκης άμμου. Η στρωματογραφία αναμένεται να εμφανίζει πλευρική ανομοιομορφία και δε θεωρείται οριζόντια.
- Το υπέδαφος κατατάσσεται στην κατηγορία Γ έως Χ, καθώς η σύσταση των στρωμάτων στο υπέδαφος του συγκεκριμένου χώρου, καθιστά πιθανό το φαινόμενο ρευστοποίησής τους σε περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού. Βάσει Ευρωκώδικα, (EN 1998-Part 1) η κατηγορία εδάφους είναι D-S2.
- Η υπόγεια στάθμη εντοπίστηκε σε μικρό βάθος, περίπου στα 2,4m και η πιεζομετρική στάθμη μέσα στη γεώτρηση μετρήθηκε σε βάθος 1,70m κατά την εποχή διεξαγωγής της έρευνας, το Μάρτιο του 2020. Η εναλλαγή αδρόκοκκων και λεπτόκοκκων εδαφικών οριζόντων στα επιφανειακά στρώματα συντελεί στη δημιουργία πολύ επιφανειακών υδροφοριών μικρής κατά κανόνα δυναμικότητας, που ενδεχομένως να είναι εποχιακές.
- Η στάθμη θεμελίωσης των κατασκευών προτείνεται να είναι σε βάθος 1,70m (οροθετείται από την υπόγεια στάθμη για αποφυγή εργασιών αντλήσεων και αντιστηρίξεων των εκσκαφών) ή στο βάθος εντοπισμού της πιεζομετρικής επιφάνειας κατά την εποχή εκτέλεσης των εργασιών εκσκαφής.
- Η σύσταση και η πυκνότητα του υπεδάφους παρέχει οριακές συνθήκες για θεμελίωση με βάση το υφιστάμενο σχέδιο θεμελίωσης, δηλαδή με πεδילוδοκούς πλάτους  $B'=1,8m$ , με την προϋπόθεση να ληφθούν μέτρα έναντι των καθιζήσεων λόγω συμπίεστικότητας του υπεδάφους αλλά και του ενδεχομένου ρευστοποίησης. Προτείνεται η εφαρμογή προφόρτισης για ικανό χρονικό διάστημα με χρήση των υλικών εκσκαφής της γειτονικής λιμνοδεξαμενής και ενδεχομένως η κατασκευή χαλικοπασσάλων μήκους 6,5m.



- Επίσης προτείνεται η κατασκευή συμπυκνωμένης στρώσης πάχους 40cm από αμμοχάλικο κατηγορίας A-1-α ή A-1-b κατά AASHO, στη στάθμη της εκσκαφής που θα καθοριστεί από τη στάθμη της πιεζομετρικής επιφάνειας κατά την εποχή εκτέλεσης των εργασιών εκσκαφής.
- Προτείνεται για τον περιορισμό των καθιζήσεων η κατασκευή επιχώματος προφόρτισης με χρήση των υλικών εκσκαφής της όμορης λιμνοδεξαμενής. Το ύψος του επιχώματος στις θέσεις κατασκευής των δεξαμενών εκτιμήθηκε 1-2m (ελάχιστο ύψος 0,9m). Οι καθιζήσεις από την προφόρτιση αναμένεται να εκδηλωθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα (εντός 1 μήνα) εξαιτίας της αμμώδους σύστασης του υπεδάφους. Εναλλακτικά προτείνεται η κατασκευή χαλικοπασσάλων μήκους 6,3m από τη στάθμη θεμελίωσης (1,70m) ή 8,0m από τη σημερινή επιφάνεια του εδάφους. Η λύση αυτή πέραν της μείωσης των καθιζήσεων οδηγεί και σε βελτίωση του υπεδάφους έναντι του κινδύνου ρευστοποίησης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζεται ο σχεδιασμός, η εφαρμογή και η αξιολόγηση τριών επιμέρους γεωτεχνικών προγραμμάτων για την διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθήκων θεμελίωσης δεξαμενών βιοαερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε τρεις διαφορετικές περιοχές. Στις περιπτώσεις έργων θεμελίωσης ο ορθός σχεδιασμός βασίζεται στα αποτελέσματα των επιτόπου και εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής τα οποία αξιολογούνται στην συνέχεια με βάση τα κατασκευαστικά στοιχεία του έργου και τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής.

Για τη θεμελίωση δεξαμενών βιοαερίου προτείνεται συνήθως η θεμελίωση τους σε βάθος 4,0m για να μειωθούν οι τελικές επιπρόσθετες τάσεις στο υπέδαφος θεμελίωσης. Έχοντας υπόψη πως το σύνηθες ύψος των δεξαμενών είναι  $H=8,0m$  και η διάμετρος  $D'=24-27m$ , το συνολικό φορτίο αυτών εκτιμάται της τάξης των 36,172kN-45.781kN, και επομένως η αύξηση του βάθους θεμελίωσης μειώνει τις συνολικές επιπρόσθετες τάσεις, δηλαδή μειώνεται το  $\Delta\sigma_n$  της κατασκευής. Επιπρόσθετα, η αύξηση του βάθους θεμελίωσης βελτιώνει και τη σεισμική απόκριση της κατασκευής, η οποία στην περίπτωση θεμελίωσης σε βάθος 4,0m είναι στην ουσία εγκυβωτισμένη κατά το ήμισυ στο υπέδαφος.

Επομένως, ο σχεδιασμός του γεωερευνητικού προγράμματος πρέπει να στοχεύει στην εκτίμηση της δυνατότητας θεμελίωσης σε μεγάλο βάθος, δηλαδή στη διερεύνηση της ευστάθειας προσωρινών εκσκαφών και στην παρουσία υδροφόρου ορίζοντα σε μικρά βάθη. Παράλληλα πρέπει να παρέχει και όλα τα γεωτεχνικά στοιχεία (φυσικές και μηχανικές παραμέτρους υπεδάφους θεμελίωσης), ώστε να διεξαχθούν οι απαραίτητοι έλεγχοι φέρουσας ικανότητας και καθιζήσεων και τελικώς να προκύψει η τιμή της επιτρεπόμενης τάσης θεμελίωσης κατά περίπτωση.

Τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής ερευνάς και της παρούσας εργασίας για τις τρεις περιοχές έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα:

- Το υπέδαφος στη θέση Άρμα συνίσταται επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 2,5m από εναλλαγές χαλαρής λευκόεφρης άμμου και συνεκτικής τερροπράσινης αργιλοϊλύος υψηλής πλαστικότητας, με ασβεστιτικά συγκρίματα με υποκείμενα στρώματα αργιλοϊλύος και αργιλόμαργας χαμηλής πλαστικότητας και υψηλής





συνεκτικότητας με λεπτούς ορίζοντες πολύ πυκνής χαλικώδους άμμου. Η στρωματογραφία αναμένεται οριζόντια.

- Το υπέδαφος στη θέση Ελεώνας συνίσταται επιφανειακά από εναλλαγές καστανής αργιλώδους άμμου με χάλικες και ασβεστιτικά συγκρίματα, με σημαντική συνοχή λόγω διαγένεσης που βαθύτερα μεταβαίνει σε ελαφρά συνεκτικό ψαμμιτοκροκαλοπαγές με καστανό αργιλικό συνδετικό υλικό μέσης πλαστικότητας και μέλη ασβεστιτικής μάργας, με λεπτούς ορίζοντες συνεκτικής καστανότεφρης ασβεστιτικής μάργας. Βαθύτερα των 6,0m συναντάται στερεή, καστανή αμμώδης αργιλοϊλός έως αργιλόμαργα, υψηλής πλαστικότητας με ενστρώσεις ασβεστιτικού υλικού. Η στρωματογραφία αναμένεται οριζόντια.
- Το υπέδαφος στη θέση Λευκώνας συνίσταται επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 2,6m από χαλαρή ιλυώδη άμμο με υποκείμενη συνεκτική έως υδαρή αμμώδη αργιλοϊλύ μέσης πλαστικότητας. Βαθύτερα των 4,9m συναντάται υγρή, χαλαρή ιλυώδης άμμος με υποκείμενο στρώμα μέσης πυκνότητας, καλά διαβαθμισμένης μεσόκοκκης άμμου. Η στρωματογραφία αναμένεται να εμφανίζει πλευρική ανομοιομορφία και δε θεωρείται οριζόντια.

Συμπερασματικά, για τις τρεις εξεταζόμενες περιοχές προέκυψαν τα εξής:

- Για την περιοχή του Άρματος, η θεμελίωση των κατασκευών προτείνεται να υλοποιηθεί με βάση το υφιστάμενο σχέδιο θεμελίωσης, δηλαδή με πεδילוδοκούς γεωμετρικών στοιχείων  $B'=1,6m$  και συνολικό μήκος  $L'=38m$ , τετραγωνικό κεντρικό θεμέλιο με πλάτος  $B'=2,4m$  και κυκλική εδαφόπλακα διαμέτρου  $D'=24m$ .
- Για την περιοχή του Ελεώνα, η θεμελίωση των κατασκευών προτείνεται να υλοποιηθεί με βάση το υφιστάμενο σχέδιο θεμελίωσης, δηλαδή με πεδילוδοκούς γεωμετρικών στοιχείων  $B'=1,6m$  και συνολικό μήκος  $L'=38m$ , τετραγωνικό κεντρικό θεμέλιο με πλάτος  $B'=2,4m$  και κυκλική εδαφόπλακα διαμέτρου  $D'=24m$ .
- Για την περιοχή του Λευκώνα, η θεμελίωση των κατασκευών προτείνεται να υλοποιηθεί με βάση το υφιστάμενο σχέδιο θεμελίωσης, δηλαδή με πεδילוδοκούς πλάτους  $B'=1,8m$  και συνολικό μήκος  $L'=36,0m$ , με την προϋπόθεση να ληφθούν



μέτρα έναντι των καθιζήσεων λόγω συμπίεστικότητας του υπεδάφους αλλά και του ενδεχομένου ρευστοποίησης.

Οι δεξαμενές θα θεμελιώνονται στις περιμετρικές πεδιλοδοκούς και την εδαφόπλακα η οποία θα εδράζεται στο πέλαμα του περιμετρικού θεμέλιου. ([Εικόνα 62](#) και [Εικόνα 69](#))

Μετά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών παρουσιάζεται το γεωτεχνικό προσομοίωμα σχεδιασμού για την κάθε περιοχή με βάση το οποίο εκτελούνται οι απαραίτητοι για την κατασκευή γεωτεχνικοί έλεγχοι. Οι έλεγχοι αυτοί είναι:

1. Έλεγχος φέρουσας ικανότητας με βάση των Ευρωκώδικα 7 και διαστασιολόγηση του πλάτους της θεμελίωσης και του βάθους έδρασης.
  2. Έλεγχος καθιζήσεων και σχεδιασμός μέτρων περιορισμού τους στις περιπτώσεις που αυτές υπολογίζονται πέραν των ανεκτών ορίων της κατασκευής.
  3. Έλεγχος ευστάθειας των απαιτούμενων προσωρινών εκσκαφών και διαστασιολόγηση προσωρινών μέτρων υποστήριξης.
- Για την περιοχή του Άρματος, εκτιμήθηκε η φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού για την περίπτωση επιφανειακής θεμελίωσης( επιτρεπόμενες τάσεις κατά Ευρωκώδικα 7) με χρήση μερικών συντελεστών ασφάλειας στα χαρακτηριστικά εδάφους. Έτσι για μια μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση των 5cm για τετραγωνικά πέδιλα , η τιμή επιτρεπτής τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{επ} \cong 225 \text{ kN/m}^2$  και για πεδιλοδοκό  $\sigma_{επ} \cong 200 \text{ kN/m}^2$ . Οι αναμενόμενες τάσεις καθίζησης εκτιμώνται εντός ανεκτών ορίων. Για θεμελίωση με πεδιλοδοκό, προκύπτει καθίζηση της τάξης των 3,14cm έως 6,19cm για αναπτυσσόμενες τάσεις  $\sigma_{εδρ} \cong 150-225 \text{ kN/m}^2$ .
  - Για την περιοχή του Ελεώνα , εκτιμήθηκε η φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού για την περίπτωση επιφανειακής θεμελίωσης( επιτρεπόμενες τάσεις κατά Ευρωκώδικα 7) με χρήση μερικών συντελεστών ασφάλειας στα χαρακτηριστικά εδάφους. Έτσι για μια μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση των 5cm για τετραγωνικά πέδιλα , η τιμή επιτρεπτής τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{επ} \cong 260 \text{ kN/m}^2$  και για πεδιλοδοκό  $\sigma_{επ} \cong 220 \text{ kN/m}^2$ . Οι αναμενόμενες τάσεις καθίζησης εκτιμώνται εντός ανεκτών ορίων. Για θεμελίωση με πεδιλοδοκό, προκύπτει καθίζηση της τάξης των 2,70cm έως 5,17cm για αναπτυσσόμενες τάσεις  $\sigma_{εδρ} \cong 150-225 \text{ kN/m}^2$ .

- Για την περιοχή του Λευκώνα , εκτιμήθηκε η φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού για την περίπτωση επιφανειακής θεμελίωσης( επιτρεπόμενες τάσεις κατά Ευρωκώδικα 7) με χρήση μερικών συντελεστών ασφάλειας στα χαρακτηριστικά εδάφους. Έτσι για μια μέγιστη ανεκτή ολική καθίζηση των 5cm για πεδילוδοκό , η τιμή επιτρεπτής τάσης ανέρχεται σε  $\sigma_{\text{επ}} \approx 80 \text{ kN/m}^2$ . Για θεμελίωση με πεδילוδοκό, προκύπτει καθίζηση της τάξης των 1,82cm έως 8,07cm για αναπτυσσόμενες τάσεις  $\sigma_{\text{εδρ}} \approx 50-100 \text{ kN/m}^2$ . Η μικρή τιμή της επιτρεπόμενης τάσης και οι υψηλές τιμές καθιζήσεων προ προέκυψαν οφείλονται, πέραν των ιδιοτήτων του υπεδάφους, στην υψηλή Δσ, λόγω του μικρού βάθους θεμελίωσης. Επιπλέον το υπέδαφος , είναι κατά θέσεις κοκκώδες, σε χαλαρή κατάσταση υπό τον υδροφόρο ορίζοντα, συνθήκη που ευνοεί την εκδήλωση ρευστοποίησης σε περίπτωση ισχυρού σεισμού.

Με βάση τα παραπάνω προτάθηκε μία σειρά μέτρων αντιμετώπισης των προβλεπόμενων καθιζήσεων και βελτίωσης του εδάφους έναντι ρευστοποίησης, που περιλαμβάνουν τα ακόλουθα στάδια:

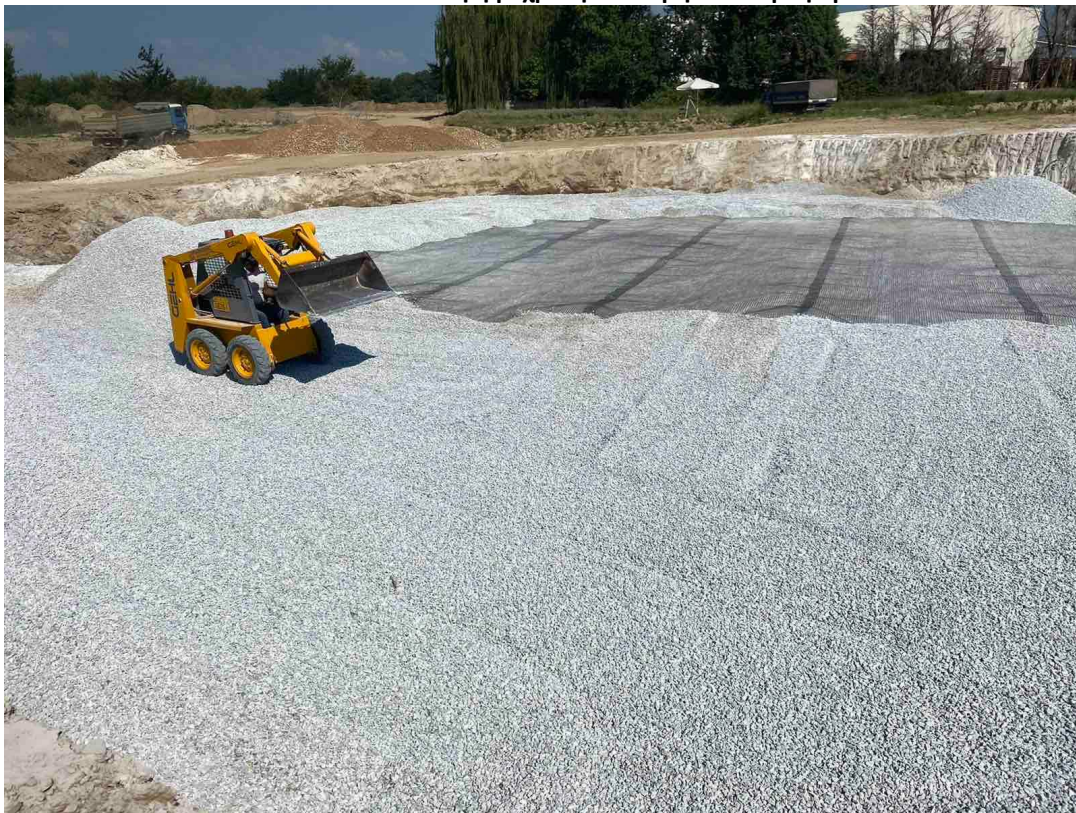
1. Εκσκαφή μέχρι το βάθος της στάθμης του υδροφόρου, δηλαδή 1,70m
2. Διάστρωση με θραυστό υλικό (λιθόρριπη) για διαμόρφωση δαπέδου εργασίας
3. Κατασκευή τριγωνικού καννάβου χαλικοπασσάλων 4,0x4,0 μήκους 13,0m για τη βελτίωση του υπεδάφους έναντι ρευστοποίησης. ([Εικόνα 84](#))
4. Διάστρωση γεωπλέγματος εφελκυστικής αντοχής της τάξης των 60KN/m<sup>2</sup> για τη σύνδεση των χαλικοπασσάλων και τη μείωση των καθιζήσεων.
5. Επιβολή επιχώματος προφόρτισης για χρόνο ικανό ώστε να εκδηλωθούν πριν την κατασκευή οι πέραν των ανεκτών καθιζήσεις.

Τα προτεινόμενα κατασκευαστικά στάδια παρουσιάζονται στη συνέχεια.





**Εικόνα 82: Εκσκαφή μέχρι την στάθμη του υδροφόρου**



**Εικόνα 83: Διάστρωση με θραυστό υλικό και εφαρμογή γεωπλέγματος**





Εικόνα 84: Τοποθέτηση χαλικοπάσσαλων ως μέτρο βελτίωσης εδάφους



Εικόνα 85: Οι δεξαμενές σήμερα, πλήρως λειτουργικές(1)



Εικόνα 86: Οι δεξαμενές σήμερα, πλήρως λειτουργικές(2)

Συμπερασματικά, ο σωστός σχεδιασμός της γεωτεχνικής έρευνας με βάση τις ανάγκες του εκάστοτε έργου, θα πρέπει να οδηγεί στην παραγωγή ενός ρεαλιστικού γεωτεχνικού μοντέλου, με βάση το οποίο να μπορούν στη συνέχεια να διεξαχθούν οι απαραίτητοι γεωτεχνικοί έλεγχοι και να διαστασιολογηθούν ενδεχόμενα πρόσθετα μέτρα προστασίας της κατασκευής από τους γεωτεχνικούς κινδύνους.





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASTM D3080-90: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. (n.d.).
- GDS Specification Datasheet: (a)Saturated/Unsaturated Back Pressured Shearbox (GDSBPS). (n.d.).
- Βλάχος, Β. (2015). *Εργαστηρική προσομοίωση των συνθηκών διάτμησης εδαφών σε ακόρεστες συνθήκες*. Θεσσαλονίκη: Μεταδιπλωματική διατριβή Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ 2000*. (n.d.). Ανάκτηση από [www.oasp.gr](http://www.oasp.gr)
- Καββαδάς, Μ. (2007). *Στοιχεία Εδαφομηχανικής*. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ.
- Καββαδάς, Μ. (2008). *Σημειώσεις Θεμελιώσεων Τεχνικών Έργων*. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ.
- Μπουκοβάλας, Γ. (2004). *Σημειώσεις σε Ειδικά Θέματα Θεμελιώσεων*. Εκδόσεις ΕΜΠ.
- Παπατσικουράκης, Δ. (2017). *Διερεύνηση των συνθηκών θεμελίωσης στο Γενί Τζάμι της Έδεσσας*. Θεσσαλονίκη: Προδιπλωματική Διατριβή Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.
- Παπαχαρίσης, Ν., Μάνου-Ανδρεάδη, Ν., & Γραμματικόπουλος, Ι. (1999). *Γεωτεχνική Μηχανική*. Θεσσαλονίκη: Εκδοτικός Οίκος Αδέρφων Κυριακίδη.
- Τσότσος, Σ. (1987). *Θέματα εδαφομηχανικής και θεμελιώσεων*. Α.Π.Θ.
- Χατζηγώγος, Ν. (2020). *Διεξαγωγή Γεωτεχνικής Έρευνας-Μελέτης στη ΒΙ.Π.Ε. Σερρών*. Θεσσαλονίκη.
- Χατζηγώγος, Ν. (2020). *Διεξαγωγή Γεωτεχνικής Έρευνας-Μελέτης στο Άρμα Βοιωτίας*. Θεσσαλονίκη.
- Χατζηγώγος, Ν. (2020). *Διεξαγωγή Γεωτεχνικής Έρευνας-Μελέτης στον Ελεώνα Βοιωτίας*. Θεσσαλονίκη.
- Χρηστάρας, Β., & Χαζηαγγέλου, Μ. (2011). *Απλά βήματα στην εδαφομηχανική*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Χριστούλας, Σ. (1998). *Επιλογές Εφαρμοσμένης Γεωτεχνικής Μηχανικής*. Αθήνα: Εκδόσεις Συμεών.



## ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ

Πίνακας 28: Έλεγχοι φέρουσας ικανότητας για την περιοχή Άρμα με τη χρήση των λογισμικών Geostru και LoadCap

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΠΕΔΙΛΟΔΟΚΟ ΜΕ ΣΤΟΙΧΕΙΑ $B'=1,6\text{m}$ ΚΑΙ $L'=38,0\text{m}$ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ-1 (ΑΡΜΑ)

#### MAIN PARAMETERS

Seismic action EC7/8  
 Zone Greece  
 Lat./ Long. [WGS84] 401512,5/241450,06  
 Foundation width 1,6 m  
 Foundation length 38,0 m  
 Depth of bearing surface 4,0 m  
 Embedded height 1,0 m  
 Correction parameters Terzaghi

#### EARTHQUAKE

Maximum acceleration (ag/g) 0,24  
 Seismic effect according to EC7/8  
 Horizontal seismic coefficient 0,12

#### SOIL STRATIGRAPHY

Layer thickness [m]	Unit weight [kN/m <sup>3</sup> ]	Saturated unit weight [kN/m <sup>3</sup> ]	Angle of friction [°]	Cohesion [kN/m <sup>2</sup> ]	Undrained cohesion [kN/m <sup>2</sup> ]	Elastic modulus [kN/m <sup>2</sup> ]	Oedometric modulus [kN/m <sup>2</sup> ]	Poisson	Index of primary consolidation [cmq/s]	Index of secondary compression	Description
2,5	19,12	20,59	36,0	0,0	0,0	49033,25	0,0	0,0	0,0	0,0	gravel and sand
2,7	16,8	16,8	39,0	0,0	115,9	5213,0	5213,0	0,0	0,000788	0,0	clayey marl
4,2	17,7	17,7	39,0	0,0	45,4	5784,0	5784,0	0,0	0,0014	0,0	clayey marl
5,6	18,7	18,7	35,8	0,0	185,8	10700,0	10700,0	0,0	0,0	0,0	sandy clay

Design loads acting on foundation



Nr.	Combination name	Design normal stress [kN/m <sup>2</sup> ]	N [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Hx [kN]	Hy [kN]	Type
1	A1+M1+R 1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Design
2	A2+M2+R 2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Design
3	Earthquake	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Design
4	S.L.E.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Design
5	S.L.D.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Design

#### Earthquake + Partial coef. soil geotechnical parameters + Resistances

Nr	Seismic correction	Tangent to angle of shearing resistance angle	Effective cohesion	Undrained cohesion	Unit weight in foundation	Overburden unit weight	Red. Coef. Vertical bearing capacity	Red. Coef. Horizontal bearing capacity
1	No	1	1	1	1	1	1	1
2	No	1,25	1,25	1,4	1,3	1	1	1,1
3	No	1	1	1	1,35	1	1,4	1,1
4	Yes	1	1	1	1,35	1	1,4	1,1
5	Yes	1,25	1,25	1,4	1,3	1	1	1,1

#### FOUNDATION BEARING CAPACITY COMBINATION...

Author: Brinch - Hansen 1970

Bearing capacity [Qult] 314,41 kN/m<sup>2</sup>

Design resistance [Rd] 314,41 kN/m<sup>2</sup>

Safety factor [Fs=Qult/Ed] --

#### BOWLE'S SUBGRADE COEFFICIENT (1982)

Costante di Winkler 12576,53 kN/m<sup>3</sup>

#### Earthquake

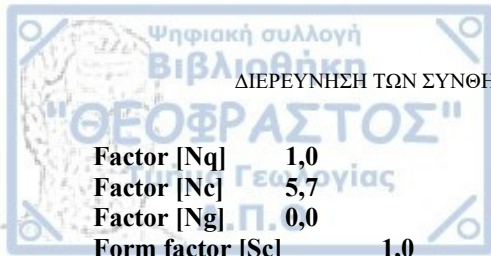
Author: HANSEN (1970) (Undrained conditions)

Factor [Nq] 1,0  
 Factor [Nc] 5,14  
 Factor [Ng] 0,0  
 Form factor [Sc] 0,01  
 Depth factor [Dc] 0,48  
 Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
 Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
 Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

Bearing capacity 566,65 kN/m<sup>2</sup>

Design resistance 404,75 kN/m<sup>2</sup>

Author: TERZAGHI (1955) (Undrained conditions)



Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,7  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 1,0  
Form factor [Sg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

---

---

Bearing capacity 442,69 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 316,21 kN/m<sup>2</sup>

---

---

Author: MEYERHOF (1963) (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,14  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 1,01  
Depth factor [Dc] 1,5  
Load inclination factor [Ic] 1,0  
Form factor [Sq] 1,0  
Depth factor [Dq] 1,0  
Load inclination factor [Iq] 1,0  
Form factor [Sg] 1,0  
Depth factor [Dg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

---

---

Bearing capacity 575,93 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 411,38 kN/m<sup>2</sup>

---

---

Author: VESIC (1975) (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,14  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 0,01  
Depth factor [Dc] 0,48  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

---

---

Bearing capacity 566,65 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 404,75 kN/m<sup>2</sup>

---

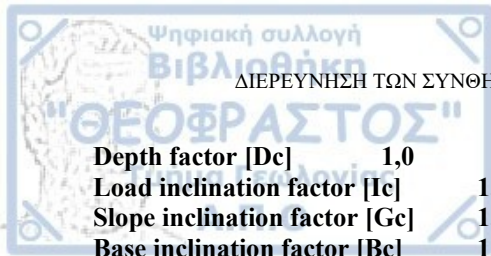
---

Author: Brinch - Hansen 1970 (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,14  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 1,01



Depth factor [Dc] 1,0  
Load inclination factor [Ic] 1,0  
Slope inclination factor [Gc] 1,0  
Base inclination factor [Bc] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

---

---

Bearing capacity 409,51 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 292,51 kN/m<sup>2</sup>

---

---

S.L.E.

Author: HANSEN (1970) (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,14  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 0,01  
Depth factor [Dc] 0,48  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

---

---

Bearing capacity 566,65 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 404,75 kN/m<sup>2</sup>

---

---

Author: TERZAGHI (1955) (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,7  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 1,0  
Form factor [Sg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

---

---

Bearing capacity 442,69 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 316,21 kN/m<sup>2</sup>

---

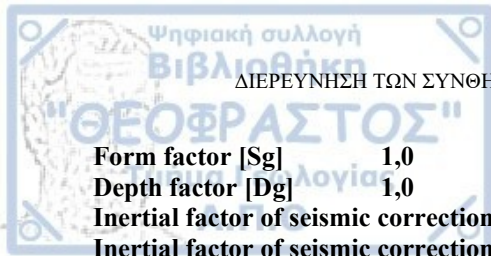
---

Author: MEYERHOF (1963) (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,14  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 1,01  
Depth factor [Dc] 1,5  
Load inclination factor [Ic] 1,0  
Form factor [Sq] 1,0  
Depth factor [Dq] 1,0  
Load inclination factor [Iq] 1,0



Form factor [Sg] 1,0  
Depth factor [Dg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

---

---

Bearing capacity 575,93 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 411,38 kN/m<sup>2</sup>

---

---

Author: VESIC (1975) (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,14  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 0,01  
Depth factor [Dc] 0,48  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

---

---

Bearing capacity 566,65 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 404,75 kN/m<sup>2</sup>

---

---

Author: Brinch - Hansen 1970 (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,14  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 1,01  
Depth factor [Dc] 1,0  
Load inclination factor [Ic] 1,0  
Slope inclination factor [Gc] 1,0  
Base inclination factor [Bc] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

---

---

Bearing capacity 409,51 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 292,51 kN/m<sup>2</sup>

---

---

S.L.D.

Author: HANSEN (1970) (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,14  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 0,01  
Depth factor [Dc] 0,48  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0





---

---

Bearing capacity 426,66 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 426,66 kN/m<sup>2</sup>

---

---

Author: TERZAGHI (1955) (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,7  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 1,0  
Form factor [Sg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

---

---

Bearing capacity 338,11 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 338,11 kN/m<sup>2</sup>

---

---

Author: MEYERHOF (1963) (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,14  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 1,01  
Depth factor [Dc] 1,5  
Load inclination factor [Ic] 1,0  
Form factor [Sq] 1,0  
Depth factor [Dq] 1,0  
Load inclination factor [Iq] 1,0  
Form factor [Sg] 1,0  
Depth factor [Dg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

---

---

Bearing capacity 433,28 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 433,28 kN/m<sup>2</sup>

---

---

Author: VESIC (1975) (Undrained conditions)

---

---

Factor [Nq] 1,0  
Factor [Nc] 5,14  
Factor [Ng] 0,0  
Form factor [Sc] 0,01  
Depth factor [Dc] 0,48  
Inertial factor of seismic correction [zq] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zg] 1,0  
Inertial factor of seismic correction [zc] 1,0

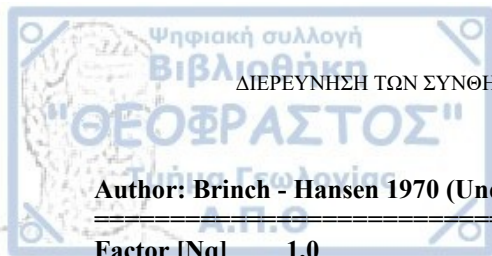
---

---

Bearing capacity 426,66 kN/m<sup>2</sup>  
Design resistance 426,66 kN/m<sup>2</sup>

---

---



Author: Brinch - Hansen 1970 (Undrained conditions)

---



---

Factor [Nq]	1,0
Factor [Nc]	5,14
Factor [Ng]	0,0
Form factor [Sc]	1,01
Depth factor [Dc]	1,0
Load inclination factor [Ic]	1,0
Slope inclination factor [Gc]	1,0
Base inclination factor [Bc]	1,0
Inertial factor of seismic correction [zq]	1,0
Inertial factor of seismic correction [zg]	1,0
Inertial factor of seismic correction [zc]	1,0

---



---

Bearing capacity 314,41 kN/m<sup>2</sup>  
 Design resistance 314,41 kN/m<sup>2</sup>

---



---

#### SETTLEMENTS FOR EVERY LAYER

\* Oedometric settlement calculated with: Terzaghi's monodimensional consolidation method

Design normal stress 200,0 kN/m<sup>2</sup>  
 Settlement after T years 15,0  
 Total settlement 5,17 cm

Z: Average layer depth; Dp: Pressure increment; Wc: Consolidation settlement; Ws: Secondary settlement; Wt: Total settlement.

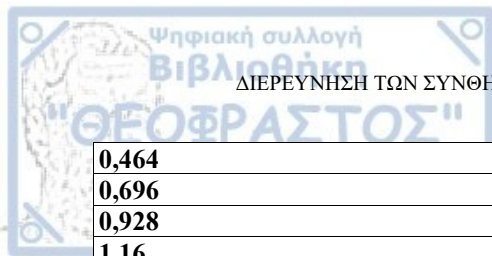
Layer	Z (m)	Pressure (kN/m <sup>2</sup> )	Dp (kN/m <sup>2</sup> )	Method	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
2	4,6	83,08	93,93	Oedometric	2,16	--	2,16
3	7,3	130,33	31,972	Oedometric	2,32	--	2,32
4	12,2	219,86	13,129	Oedometric	0,69	--	0,69

#### Layer's settlement progress over time ...1 Wt=2,16 cm

Settlement [cm]	% Ced	Time days
0,216	10	8,244765
0,432	20	33,62151
0,648	30	75,70193
0,864	40	134,9144
1,08	50	209,8667
1,296	60	306,2342
1,512	70	431,5117
1,728	80	607,1145
1,944	90	907,9949
2,16	100	1070,749

#### Layer's settlement progress over time ...2 Wt=2,32 cm

Settlement [cm]	% Ced	Time days
0,232	10	11,22917



0,464	20	45,79166
0,696	30	103,1042
0,928	40	183,75
1,16	50	285,8333
1,392	60	417,0833
1,624	70	587,7083
1,856	80	826,8749
2,088	90	1236,667
2,32	100	1458,333

#### ELASTIC SETTLEMENT

Design normal stress 160,0 kN/m<sup>2</sup>  
 Layer thickness 12,0 m  
 Rock substrate depth 12,0 m  
 Elastic modulus 0,0 kN/m<sup>2</sup>  
 Poisson's ratio 0,0

Influence coefficient I1 0,88  
 Influence coefficient I2 0,13  
 Influence coefficient Is 0,97

Settlement at foundation centre 29,31 mm

Influence coefficient I1 0,65  
 Influence coefficient I2 0,15  
 Influence coefficient Is 0,75  
 Settlement at edge 11,32 mm

#### SETTLEMENTS BURLAND BURBIDGE

Design normal stress 160,0 kN/m<sup>2</sup>  
 Time 15,0  
 Significant depth Zi (m) 1  
 Average N<sub>spt</sub> values within Zi 38  
 Form factor fs 1,53  
 Compressible layer factor fh 1  
 Time factor ft 1,44  
 Compressibility index 0,01  
 Settlement 3,571 mm

#### LIQUEFACTION VERIFICATION - Method C.N.R. - GNDT from Seed and Idriss

S<sub>vo</sub>: Total confined stress; S'<sub>vo</sub>: Effective confined stress; T: Cyclic tangential stress; R: Soil resistance to liquefaction; Fs: Safety coefficient

1	2,50	60,00	85,901	47,799	47,799	0,000	0,000	0,00
2	5,20	40,00	41,213	93,159	93,159	0,000	0,000	0,00
3	9,40	40,00	28,239	167,497	167,497	0,000	0,000	0,00
4	15,00	36,00	17,607	272,216	272,216	0,000	0,000	0,00



Πίνακας 29: Έλεγχος καθιζήσεων για την περιοχή του Λευκώνα με την χρήση του λογισμικού Settle

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΜΕ ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗ ΓΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΣΕ ΒΑΘΟΣ 1,70Μ

### Settle3D Analysis Information

#### Project Settings

---

- Document Name: Λευκώνας
- Date Created: 28/3/2020, 8:09:40 μμ
- Stress Computation Method: Boussinesq
- Time-dependent Consolidation Analysis
- Time Units: months
- Permeability Units: centimeters/second
- Calculate settlement with mean stress
- Include buoyancy effect when material settles below water table
- Use average properties to calculate layered stresses
- Groundwater method: Water Table
- Water Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Depth to water table: 1.7 [m]

#### Stage Settings

---

Stage #	Name	Time [months]
1	Stage 1	0
2	Stage 2	2
3	Stage 3	2

#### Results

---

- Time taken to compute: 19.2454 seconds



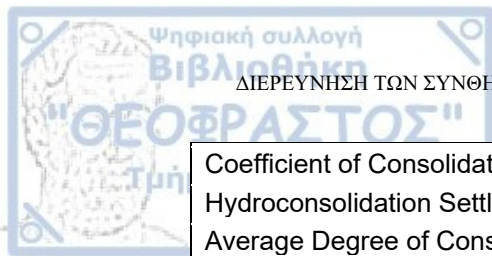


**Stage: Stage 1 = 0 mon**

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	-0.020783	3.00044
Consolidation Settlement [cm]	-0.0094082	0.478737
Immediate Settlement [cm]	-0.0184021	2.58001
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	15.4411
Effective Stress [kPa]	-1.5033	153.749
Mean Stress [kPa]	-0.0954034	10.8088
Total Stress [kPa]	0	270
Total Strain	-0.000230497	0.0040666
Pore Water Pressure [kPa]	-0.136291	116.25
Excess Pore Water Pressure [kPa]	-0.136291	15.4412
Degree of Consolidation [%]	0	38.8197
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.3366	153.7
Over-consolidation Ratio	1	19.9329
Void Ratio	0	0.820119
Permeability [cm/s]	0	3.47968e-008
Coefficient of Consolidation [cm <sup>2</sup> /s]	0	0.000581
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0

**Stage: Stage 2 = 2 mon**

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	-0.00965776	2.11227
Consolidation Settlement [cm]	0	0.742025
Immediate Settlement [cm]	-0.0128929	1.3838
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	-33.66	0.445479
Effective Stress [kPa]	-0.136291	149.286
Mean Stress [kPa]	-23.562	0.393237
Total Stress [kPa]	0	259.963
Total Strain	-0.000207447	0.00750806
Pore Water Pressure [kPa]	-46.79	111.038
Excess Pore Water Pressure [kPa]	-46.79	0.136291
Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.337024	153.7
Over-consolidation Ratio	1	1.43579
Void Ratio	0	0.819953
Permeability [cm/s]	0	5.16304e-007



Coefficient of Consolidation [cm <sup>2</sup> /s]	0	0.1
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	100

### Stage: Stage 3 = 2 mon

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	-0.0394972	7.24956
Consolidation Settlement [cm]	0	1.3955
Immediate Settlement [cm]	-0.0438476	6.13767
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	46.34
Effective Stress [kPa]	-0	160.074
Mean Stress [kPa]	-0.541373	32.438
Total Stress [kPa]	0	293.076
Total Strain	-0.000207447	0.0123763
Pore Water Pressure [kPa]	-1.26354	133.002
Excess Pore Water Pressure [kPa]	-1.33516	80
Degree of Consolidation [%]	0	91.3917
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.337024	160.029
Over-consolidation Ratio	1	46.8736
Void Ratio	0	0.819893
Permeability [cm/s]	0	2.76997e-007
Coefficient of Consolidation [cm <sup>2</sup> /s]	0	0.0502905
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	11.5185

## Loads

### 1. Pre-Load

- Fill Unit Weight: 17 kN/m<sup>3</sup>
- Settlement Goal: 3 cm
- Settlement Goal Stage: Stage 1 = 0 mon
- Calculated Fill Height: 0.908297 m
- Load Type: Flexible
- Area of Load: 522.239 m<sup>2</sup>
- Load: 17 kPa

### Advanced Staging



Stage	Load Factor	Depth [m]
Stage 1 = 0 mon	1	0
Stage 2 = 2 mon	0	0
Stage 3 = 2 mon	0	0

### Coordinates

X [m]	Y [m]
13.3875	22.5799
15.234	18.956
18.11	16.0799
21.734	14.2334
25.7512	13.5972
29.7684	14.2334
33.3924	16.0799
36.2684	18.956
38.1149	22.5799
38.7512	26.5972
38.1149	30.6144
36.2684	34.2384
33.3924	37.1144
29.7684	38.9609
25.7512	39.5972
21.734	38.9609
18.11	37.1144
15.234	34.2384
13.3875	30.6144
12.7512	26.5972

## Excavations

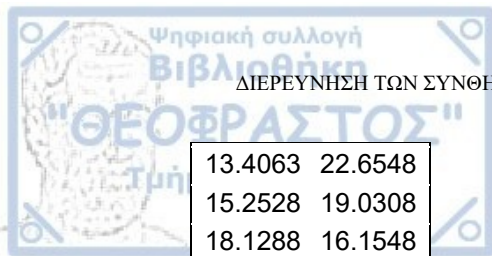
---

### 1. Excavation

- Depth: 1.7 m
- Installation Stage: Stage 2 = 2 mon
- Load at Bottom of Excavation: 80 kPa
- Load Installation Stage: Stage 3 = 2 mon

### Coordinates

X [m]	Y [m]
-------	-------



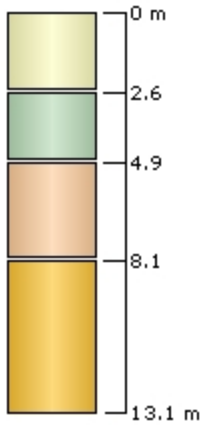
13.4063	22.6548
15.2528	19.0308
18.1288	16.1548
21.7528	14.3083
25.77	13.672
29.7872	14.3083
33.4112	16.1548
36.2872	19.0308
38.1337	22.6548
38.77	26.672
38.1337	30.6892
36.2872	34.3132
33.4112	37.1892
29.7872	39.0357
25.77	39.672
21.7528	39.0357
18.1288	37.1892
15.2528	34.3132
13.4063	30.6892
12.77	26.672

## Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]	Drained at Bottom
1	Soil Property 1	2.6	0	No
2	Soil Property 2	2.3	2.6	No
3	Soil Property 3	3.2	4.9	No
4	Soil Property 4	5	8.1	No

- Ground Surface Drained: Yes





## Soil Properties

Property	Soil Property 1	Soil Property 2	Soil Property 3	Soil Property 4
Color				
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	19.8	19.3	19.7	19.8
Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	22.3	19.3	19.7	19.8
Poisson's Ratio	0.3	0.35	0.3	0.325
Immediate Settlement	Enabled	Disabled	Enabled	Enabled
E [kPa]	3300		3180	14000
Eur [kPa]	33000		31800	140000
Primary Consolidation	Disabled	Enabled	Disabled	Disabled
Material Type		Non-Linear		
Cc		0.116		
Cr		0.01		
e0		0.82		
OCR	1	1	1	1
Cv [cm <sup>2</sup> /s]		0.000581		
B-bar		1		

## Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	25.7512, 26.5972	Auto: 63



- Number of points: 289
- Expansion Factor: 2

#### Grid Coordinates

X [m]	Y [m]
51.77	52.672
51.77	0.54
-0.361	0.54
-0.361	52.672