

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεωτεχνική έρευνα και βελτίωση εδαφών αποθεσιοθαλάμων. Η περίπτωση του Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΟΣΔΑ) Δυτικής Μακεδονίας



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:
ΠΛΑΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:
ΒΓΕΝΟΠΟΥΛΟΥ ΕΙΡΗΝΗ

ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην Δυτική Μακεδονία και πιο συγκεκριμένα στον άξονα Κοζάνης, Πτολεμαΐδας, Αμυνταίου, έχουν αναπτυχθεί από τη ΔΕΗ οι μεγαλύτερες Ατμοηλεκτρικές Εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας μας. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται σ' αυτές τις εγκαταστάσεις είναι ο λιγνίτης, ο οποίος εξορύσσεται από τεράστια σε έκταση επιφανειακά ορυχεία.

Οι λιγνίτες είναι το αποτέλεσμα μιας ιδιότυπης αποσύνθεσης φυτών η οποία χαρακτηρίζεται με τον ειδικό όρο ως ενανθράκωση. Τα λιγνιτικά κοιτάσματα της Πτολεμαΐδας διαμορφώθηκαν κατά την τριτογενή γεωλογική περίοδο και είναι ηλικίας ενός έως πέντε εκατομμυρίων ετών. Η ευρύτερη περιοχή η οποία οριοθετείται σήμερα από το Μοναστήρι, το Αμύνταιο, τη Φλώρινα, την Πτολεμαΐδα, την Κοζάνη μέχρι τα Σέρβια, πριν από εκατομμύρια χρόνια, ήταν μια περιοχή με αβαθείς λίμνες και διάσπαρτα έλη. Οι κλιματολογικές συνθήκες της τότε εποχής ευνοούσαν την ανάπτυξη υδροχαρών φυτών και κυρίως καλάμια και βρύα. Όταν τα φυτά ξηραίνονταν, έπεφταν στο φτωχό σε οξυγόνο νερό των βάλτων και σκεπάζονταν από λάσπη. Παράλληλα, λόγω καθιζήσεων και φερτών υλικών, τα φυτά καλύπτονταν με επιπλέον ιζηματογενείς αποθέσεις. Η αποσύνθεση των φυτών γινόταν σε περιβάλλον χωρίς αέρα και κάτω από πίεση, ενώ η παρουσία μικροοργανισμών υποβοηθούσε την αναερόβια ζύμωση. Κατά την διαδικασία της ενανθράκωσης, διέφευγε στην ατμόσφαιρα το οξυγόνο, το υδρογόνο και το άζωτο και κατά συνέπεια αυξάνονταν το ποσοστό του άνθρακα στα υπολείμματα. Αργότερα, φύτρωνε καινούργια βλάστηση και ο κύκλος επαναλαμβανόταν. Πάνω από τα νεώτερα στρώματα λιγνίτη επικάθισαν γαιώδη υλικά, τα λεγόμενα «υπερκεείμενα». Το πάχος των υπερκειμένων υλικών, άμμος, ασβεστόλιθος και άργιλος, κυμαίνεται στα ορυχεία της Πτολεμαΐδας, από 12 μέχρι 200 μέτρα. Επιπλέον, το κοίτασμα του λιγνίτη δεν είναι ενιαίο, διότι ακριβώς μέσα στο κοίτασμα υπάρχουν τα παλαιότερα γαιώδη υλικά, τα οποία ονομάζονται «ενδιάμεσα».

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των λιγνιτικών κοιτασμάτων της Πτολεμαΐδας αποτελεί η συχνή εναλλαγή των οριζόντιων λιγνιτικών κοιτασμάτων και των ενδιάμεσων υλικών, τα οποία αποκαλούνται «στείρα» ή «άγονα». Η εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων γίνεται επιφανειακά με τη μέθοδο των «ορθών βαθμίδων». Η εξόρυξη των υπερκειμένων και στη συνέχεια του λιγνίτη, γίνεται με μεγάλα ηλεκτροκίνητα μηχανήματα συνεχούς λειτουργίας, τους καδοφόρους εκσκαφείς. Από τα υλικά που εξορύσσονται, ο μεν λιγνίτης μεταφέρεται στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς, τα δε υπερκεείμενα και ενδιάμεσα υλικά μεταφέρονται και αποτίθενται κυρίως στις περιοχές στις οποίες έχει προηγηθεί εξόρυξη, ώστε μετά το τέλος της εκμετάλλευσης, η επίπτωση στο τοπίο της περιοχής να είναι η ελάχιστη δυνατή. Η μεταφορά του λιγνίτη και των στείρων, γίνεται με τους ταινιόδρομους, οι οποίοι μπορούν να μεταφέρουν συνεχώς σε μακρινές αποστάσεις μεγάλες ποσότητες υλικών. Η απόθεση των στείρων υλικών και της τέφρας γίνεται μηχανικά με αποθέτες στις περιοχές όπου έχει αποληφθεί ο λιγνίτης, δηλαδή σε αποθεσιοθαλάμους. Έτσι η στρωματογραφία του υπεδάφους των συγκεκριμένων αποθεσιοθαλάμων είναι πολυσύνθετη, εξαρτώμενη από τα υλικά και τον τρόπο που αυτά έχουν αποθεθεί, οι δε φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του εδάφους των πολυποίκιλες.

Ο χώρος που καταλαμβάνουν τα ορυχεία του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας εκτιμάται σε 160.000 στρέμματα. Μέχρι σήμερα από τους αποθεσιοθαλάμους των ορυχείων της ΔΕΗ έχουν αποκατασταθεί περίπου 40.000 στρέμματα, εκ των οποίων διατέθηκαν:

- 19.000 για εκτάσεις με δασικά είδη
- 15.000 για γεωργικές εκτάσεις
- 600 για χώρους ειδικών χρήσεων (Χώροι Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων, Χώροι Διαχείρισης Βιομηχανικών Αποβλήτων, κλπ.)
- 5.400 λοιπές αποκατεστημένες εκτάσεις (Κτίρια, συνεργεία, κλπ.)

Λόγω του τρόπου δημιουργίας των αποθεσιοθαλάμων και της ιδιόμορφης σύστασής τους, ιδιαίτερα στην περιοχή των ορυχείων της περιοχής Πτολεμαΐδας, η χρήση τους για την κατασκευή επί αυτών κτιριακών εγκαταστάσεων απαιτεί την προσεκτική Γεωτεχνική Μελέτη του υπεδάφους, ώστε να αποφευχθούν στο μέλλον σοβαρές καθιζήσεις ή ρευστοποιήσεις, που θα τα καταστρέψουν ή θα τα καταστήσουν μη λειτουργικά.

Μια τέτοια περίπτωση χρήσης των προαναφερθέντων αποθεσιοθαλάμων είναι η κατασκευή των κεντρικών εγκαταστάσεων του Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΟΣΔΑ) Δυτικής Μακεδονίας, που έχουν χωροθετηθεί εντός του Νοτίου Πεδίου του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας, σε απόσταση 17 km περίπου βορειοανατολικά της Κοζάνης. Στην παρούσα εργασία θα περιοριστούμε στην περιγραφή της Γεωτεχνικής Έρευνας που έγινε για λογαριασμό της εταιρίας Διαχείρισης Απορριμμάτων Δυτικής Μακεδονίας Α.Ε. (ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε.) για τις εγκαταστάσεις της Μονάδας Επεξεργασίας Απορριμμάτων (ΜΕΑ) και του Χώρου Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ) των κεντρικών εγκαταστάσεων του ΟΣΔΑ Δυτικής Μακεδονίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η παρουσίαση των διαδικασιών που απαιτούνται για την διεξαγωγή μιας γεωτεχνικής έρευνας προκειμένου να επιλεγούν οι καταλληλότερες μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης υποβαθμισμένων εδαφών, όπως αυτά των αποθεσιοθαλάμων των ορυχείων λιγνίτη, που προέρχονται από τη διαδικασία εξόρυξης και καύσης του λιγνίτη στους Ατμοηλεκτρικούς Σταθμούς της ΔΕΗ. Σαν περίπτωση εξέτασης επιλέχθηκε η γεωτεχνική έρευνα για τις εγκαταστάσεις της ΜΕΑ και του ΧΥΤΥ των κεντρικών εγκαταστάσεων του ΟΣΔΑ Δυτικής Μακεδονίας.

Στο 1^ο Κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζονται γενικές έννοιες της Εδαφομηχανικής για τα είδη των εδαφών (χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα), τις φυσικές τους ιδιότητες και τον τρόπο ταξινόμησής τους.

Στο 2^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κυριότερες μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους που χρησιμοποιούνται στα έργα πολιτικού μηχανικού.

Στο 3^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται οι διαδικασίες που απαιτούνται για την διεξαγωγή μιας γεωτεχνικής έρευνας, με έμφαση στις επί τόπου δοκιμές.

Στο 4^ο Κεφάλαιο αναλύεται τι είναι ένα Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων και παρατίθενται στοιχεία για την ανάγκη δημιουργίας του ΟΣΔΑ Δυτικής Μακεδονίας, τον τρόπο διαχείρισης και λειτουργίας του, καθώς και τις εγκαταστάσεις που περιλαμβάνει, κάνοντας ιδιαίτερη αναφορά στο χώρο των κυρίων εγκαταστάσεων επεξεργασίας των απορριμμάτων, όπου πρόκειται να γίνει το υπό μελέτη έργο της ΜΕΑ και του ΧΥΤΥ.

Στο 5^ο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα στάδια διεξαγωγής της γεωτεχνικής έρευνας, τα αποτελέσματα των επί τόπου και των εργαστηριακών δοκιμών, η διαδικασία κατάταξης των εδαφών, ο τρόπος εκτίμησης των παραμέτρων σχεδιασμού, καθώς και η επιλογή των καταλληλότερων μεθόδων βελτίωσης και ενίσχυσης του συγκεκριμένου εδάφους.

Τέλος, η εργασία συμπληρώνεται με την βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε, καθώς και με Παράρτημα που περιλαμβάνει γεωλογικό χάρτη της περιοχής του έργου και σχέδιο γενικής διάταξης της εξεταζόμενης εγκατάστασης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	I
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	III
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	IV
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΕΛΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ.....	2
1.1 ΈΔΑΦΟΣ.....	2
1.2 ΧΟΝΔΡΟΚΟΚΚΑ ΚΑΙ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΕΔΑΦΗ	2
1.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	3
1.3.1 Μη συνεκτικά εδάφη	3
1.3.1.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση	4
1.3.1.2 Σχετική πυκνότητα	6
1.3.2 Συνεκτικά εδάφη	7
1.3.2.1 Ποσοστό υγρασίας.....	7
1.3.2.2 Όρια Atterberg.....	7
1.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	9
1.5 ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΙΛΥΩΝ ΚΑΙ ΑΡΓΙΛΩΝ.....	11
1.6 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	11
1.6.1 Αντοχή εδάφους	11
1.6.2 Μεθοδολογίες προσδιορισμού της αντοχής	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	15
2.1 ΓΕΝΙΚΑ	15
2.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	20
2.2.1 Στερεοποίηση	23
2.2.1.1 Προφόρτιση.....	23
2.2.1.2 Προφόρτιση με αμμοστραγγιστήρια.....	24
2.2.1.3 Ηλεκτρική όσμωση.....	27
2.2.2 Οπλισμός του εδάφους	28
2.2.2.1 Λιθοπάσσαλοι ή χαλικοπάσσαλοι.....	28
2.2.2.2 Οπλισμένο έδαφος.....	31
2.2.2.3 Χρησιμοποίηση γεωϋφασμάτων και γεωπλεγμάτων	33
2.2.2.4 Ριζοπάσσαλοι (Root Piles).....	35
2.2.2.5 Εδαφοηλώσεις (Soil nailing)	35
2.2.3 Συμπύκνωση	36
2.2.3.1 Δυναμική συμπύκνωση	36
2.2.3.2 Πάσσαλοι συμπύκνωσης (Δονητική συμπύκνωση).....	38
2.2.3.3 Μέθοδοι μαζικής δόνησης.....	39
2.2.3.4 Συμπύκνωση με εκρήξεις.....	39
2.2.4 Σταθεροποίηση με ανάμιξη του εδάφους με άσβεστο ή τσιμέντο (Χημική σταθεροποίηση)	41
2.2.4.1 Βαθεία ανάμιξη (Deep mixing)	41
2.2.4.2 Υποβάσεις δρόμων	41
2.2.4.3 Επικάλυψη πρανών με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	42
2.2.5 Ενέσεις.....	43
2.2.6 Ενθέματα μεγάλης δυσκαμψίας	44
2.2.6.1 Εδαφοπάσσαλοι (jet grouting).....	45
2.2.6.2 Πάσσαλοι από άοπλο σκυρόδεμα	45
2.2.6.3 Προκατασκευασμένοι πάσσαλοι	45
2.2.6.4 Πάσσαλοι CFA (Continuous Flight Auger).....	46
2.2.6.5 Πάσσαλοι πλήρους εκτόπισης FDP (Full Displacement Piles).....	47
2.2.7 Θερμική δράση.....	47
2.2.7.1 Θέρμανση του εδάφους	47
2.2.7.2 Ψύξη του εδάφους	48

2.3	ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ		52
3.1	ΤΙ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΙ ΜΙΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	52
3.2	ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ	52
3.2.1	<i>Ερευνητικά φρέατα</i>	52
3.2.2	<i>Ερευνητικές/Δειγματοληπτικές Γεωτρήσεις</i>	54
3.2.3	<i>Επιτόπου δοκιμές</i>	57
3.2.3.1	Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης - Standard Penetration Test (SPT ή Terzaghi)	59
3.2.3.2	Η Δοκιμή Διείσδυσης Κώνου (CPT)	63
3.2.3.3	Δοκιμή πρεσσιομέτρου.....	68
3.2.3.4	Δοκιμή Cross – Hole	70
3.2.3.5	Δοκιμές εισπίεσεων	74
3.2.3.6	Η Δοκιμή Πτερυγίου (FVT)	77
3.2.3.7	Επίπεδο Ντιλατόμετρο - Flat Dilatometer Test (DMT)	79
3.3	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ		82
4.1	ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ	82
4.2	ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΟΣΔΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	84
4.3	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	85
4.4	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	86
4.5	ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	88
4.6	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	89
4.7	ΓΕΝΙΚΕΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ	90
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ		91
5.1	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΈΡΕΥΝΑΣ ΣΤΟΝ ΟΣΔΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	91
5.2	ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ	91
5.2.1	<i>Πρότυπες Δοκιμές Διείσδυσης SPT</i>	91
5.2.2	<i>Δοκιμές Πενετρομέτρησης CPT</i>	93
5.3	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ	94
5.4	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	96
5.4.1	<i>Στοιχεία στρωματογραφίας</i>	96
5.4.2	<i>Υπόγεια νερά</i>	96
5.4.3	<i>Σεισμολογικά στοιχεία</i>	98
5.4.4	<i>Παράμετροι σχεδιασμού</i>	98
5.5	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ Η/ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		105
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....		109

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιδέα της βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους, με την ανάμιξη υλικών (τσιμέντου, ασβέστου, πολυμερών υλικών κλπ.) ή την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων (πασσάλων, διαφραγμάτων, γεωφασμάτων, ηλώσεων κλπ.) άρχισε να εφαρμόζεται από αρχαιοτάτων χρόνων, από την περίοδο των Αιγυπτίων, Σουμερίων, Ασσυρίων, Ελλήνων, Κινέζων, Αράβων και Ρωμαίων.

Με τον όρο βελτίωση ή ενίσχυση ενός υλικού, φυσικού ή θραυστού, εννοούμε την επεξεργασία του υλικού αυτού που αποβλέπει στη βελτίωση των γεωτεχνικών του ιδιοτήτων (αντοχή, διάβρωση, διαπερατότητα, συμπίεστικότητα, πορώδες, φυσικά χαρακτηριστικά, μηχανικές ιδιότητες κλπ.). Οι τεχνικές βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους εφαρμόζονται:

- Στα θεμέλια κτιρίων για την μείωση των καθιζήσεων, τον έλεγχο της διαπερατότητας ή την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους.
- Σε εργασίες εκσκαφής για καλύτερη πλευρική αύξηση της αντοχής σε σήραγγες ή τάφρους και μείωση της διαπερατότητας.
- Στην οδοποιία, στις υποβάσεις δρόμων για αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, μείωση της διάβρωσης και μείωση του μεταβολών του όγκου.
- Σε σταθεροποίηση των πρανών για να αυξηθεί η αντοχή του εδάφους σε διάβρωση, να μειωθεί η διαπερατότητα, να μειωθεί ο δείκτης κενών.
- Σε κατασκευές συγκράτησης (αποθήκευσης) ύδατος για την δημιουργία όσο το δυνατόν υδατοστεγανών κατασκευών, όπως φράγματα, κανάλια, δεξαμενές, χωματερές (X.Y.T.A.).
- Στην προστασία περιβάλλοντος, αυξάνοντας την αντίσταση του εδάφους στην φυσική αποσάθρωση από τον αέρα ή το νερό, περιορίζοντας τη μόλυνση του εδάφους με μείωση της μεταφορικής ικανότητας των μολυσμένων ουσιών δημιουργώντας συσσωματώματα που μετατρέπονται σε πολυδυσκίνητες χημικές μορφές.

Προκειμένου να επιλεγεί η καταλληλότερη μέθοδος βελτίωσης ή ενίσχυσης του εδάφους και ο ανάλογος τρόπος θεμελίωσης μιας κατασκευής, απαιτείται η εκπόνηση μιας γεωτεχνικής μελέτης. Η μελέτη αυτή βασίζεται αφ' ενός σε γεωλογικά, υδρολογικά, σεισμολογικά, μορφολογικά, κλπ. στοιχεία της περιοχής του έργου, που είναι το αντικείμενο μιας γεωτεχνικής έρευνας και αφ' ετέρου στους περιορισμούς που επιβάλλονται από το κτίσμα που πρόκειται να κατασκευαστεί, τον αρχιτεκτονικό και λειτουργικό του σχεδιασμό, καθώς και τα φορτία που υπολογίζεται ότι θα ασκηθούν στο έδαφος μέσω της θεμελίωσής του.

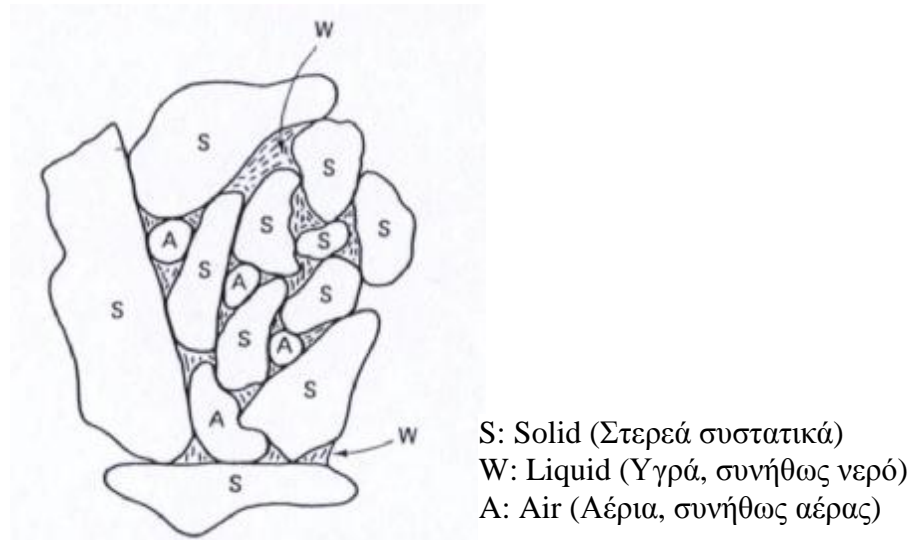
Οι διαδικασίες και οι προδιαγραφές που ακολουθούνται στην εκπόνηση μιας γεωτεχνικής έρευνας στηρίζονται πλέον σε εθνικές και Ευρωπαϊκές προδιαγραφές, όπως ο Ευροκώδικας 7 - Μέρος 2^ο, που αναφέρεται στην Έρευνα και δοκιμές του εδάφους (Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing).

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία που είναι απαραίτητα προκειμένου να εξοικειωθεί ο τεχνικός με τις έννοιες της Εδαφομηχανικής που περιλαμβάνονται σε μια Γεωτεχνική Έρευνα, καθώς και η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην περίπτωση του έργου της ΜΕΑ και του ΧΥΤΥ των κεντρικών εγκαταστάσεων του ΟΣΔΑ Δυτικής Μακεδονίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

1.1 Έδαφος

Το έδαφος (βλέπε Εικόνα 1.1) είναι ένα μη-συμπαγές πολυφασικό υλικό, που αποτελείται από ασύνδετους ή ελαφρά συνδεδεμένους στερεούς κόκκους, τα κενά μεταξύ των οποίων (πόροι) περιέχουν υγρά (συνήθως νερό) ή/και αέρια (συνήθως αέρα).

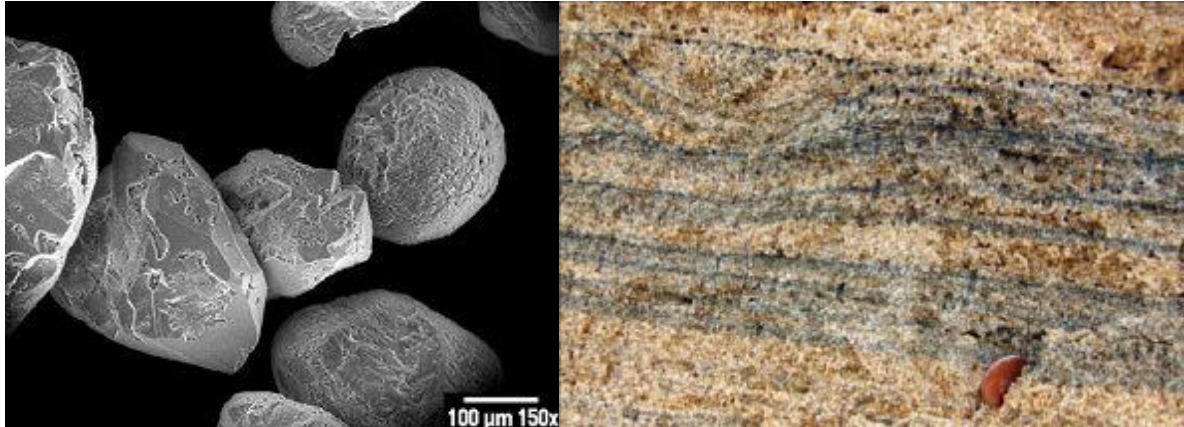


Εικόνα 1.1: Η φύση του εδάφους

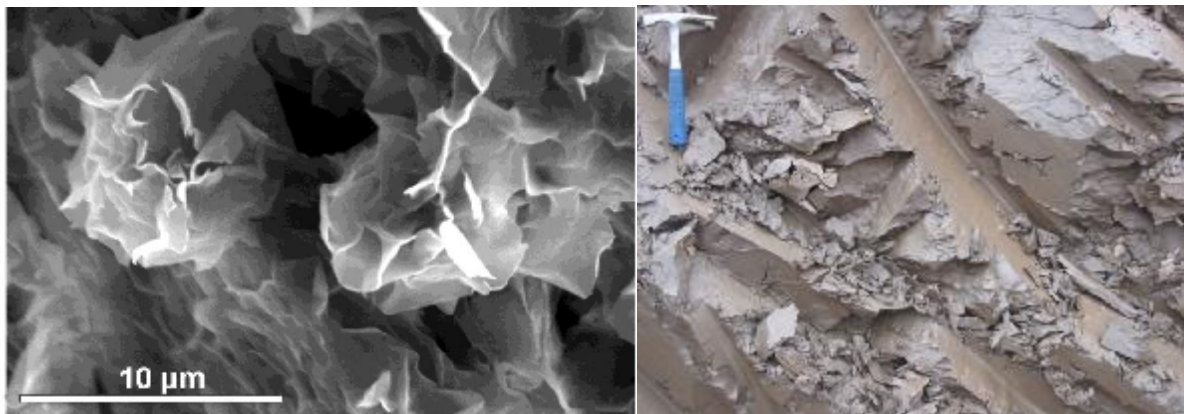
Τα εδαφικά υλικά προέρχονται από τη μηχανική ή/και χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων. Η μηχανική αποσάθρωση οφείλεται σε παράγοντες, όπως ο παγετός, οι συνεχείς θερμοκρασιακές μεταβολές, η διάβρωση από το νερό και τον αέρα, οι λειτουργίες φυτών, ζώων και του ανθρώπου και οδηγεί σε κατατεμαχισμό και θρυμματισμό των βράχων. Αντίστοιχα, η χημική αποσάθρωση προκαλεί την αποσύνθεση των πετρωμάτων λόγω οξείδωσης, ενανθράκωσης, αναγωγής και άλλων χημικών διαδικασιών. Γενικά, η χημική αποσάθρωση είναι ο κυριότερος παράγων γένεσης λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών (ιλύων και αργίλων), ενώ η μηχανική αποσάθρωση συντελεί κυρίως στη δημιουργία των χονδρόκοκκων εδαφών (χαλίκων και άμμων), χωρίς όμως να αποκλείεται και η μερική συμμετοχή της εναλλακτικής μεθόδου αποσάθρωσης στη γένεση εδαφικών σχηματισμών κάθε τύπου.

1.2 Χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα εδάφη

Οι διαφορές μεταξύ των χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων ιζημάτων εκτείνονται και πέραν του τρόπου γένεσής τους. Ειδικότερα, το μέγεθος των κόκκων τους διαφέρει σημαντικά: εδάφη με κόκκους μεγαλύτερους από 2 mm ανήκουν στην κατηγορία των χαλίκων, οι άμμοι (βλέπε Εικόνα 1.2) έχουν κόκκους με διαστάσεις από 2 mm έως 0,06 mm (η διάσταση αυτή είναι περίπου ίση με το μικρότερο μέγεθος κόκκου που είναι ορατός δια γυμνού οφθαλμού), οι ιλύες έχουν κόκκους από 0,06 mm έως 0,002 mm και τέλος, οι άργιλοι (βλέπε Εικόνα 1.3) έχουν κόκκους με μέγεθος μικρότερο από 0,002 mm.



Εικόνα 1.2: Άμμος



Εικόνα 1.3: Άργιλος

Τα λεπτόκοκκα εδάφη ονομάζονται επίσης και συνεκτικά, επειδή παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους (που οφείλεται στις ηλεκτρικές έλξεις μεταξύ των αργιλικών πλακιδίων). Αντίστοιχα, τα χονδρόκοκκα εδάφη ονομάζονται και μη-συνεκτικά, επειδή δεν παρουσιάζουν συνοχή μεταξύ των κόκκων τους.

1.3 Φυσικές ιδιότητες των εδαφών

Ο προσδιορισμός των φυσικών ιδιοτήτων αποσκοπεί στην κατάταξη και το χαρακτηρισμό των εδαφικών υλικών. Παράλληλα, μέσω εμπειρικών και θεωρητικών σχέσεων, οι φυσικές ιδιότητες μπορούν να παράσχουν προσεγγιστικές πληροφορίες για τις μηχανικές ιδιότητες των εδαφών.

Οι βασικότερες φυσικές ιδιότητες των εδαφών είναι: Η φυσική υγρασία W , το φαινόμενο βάρος γ , το ειδικό βάρος ή φαινόμενο βάρος των στερεών συστατικών γ_s , η κοκκομετρική διαβάθμιση και τα όρια Atterberg.

1.3.1 Μη συνεκτικά εδάφη

Τα μη συνεκτικά εδάφη χαρακτηρίζονται από την κοκκομετρική τους διαβάθμιση, δηλαδή από το ποσοστό στο οποίο περιέχονται κόκκοι κάποιας διαμέτρου και από έναν δείκτη που ονομάζεται σχετική πυκνότητα και που μετράει το πόσο πυκνή ή αραιή είναι η διάταξη των κόκκων.

1.3.1.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση

Ο προσδιορισμός της κατανομής των μεγεθών κόκκων των εδαφικών υλικών (κοκκομετρική διαβάθμιση) γίνεται για μεν τους χάλικες και τις άμμους με τη λεγόμενη «κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα», για δε τις ιλύς και αργίλους με την «κοκκομετρική ανάλυση με τη μέθοδο του αραιομέτρου».

Η ανάλυση με κόσκινα γίνεται με τη μηχανική δόνηση δείγματος του εδαφικού υλικού διαμέσου σειράς κοσκίνων με βαθμιαία μικρότερη διάσταση οπής και τη μέτρηση του βάρους του υλικού που συγκρατείται σε κάθε κόσκινο (βλέπε Εικόνα 1.4). Τα πρότυπα μεγέθη (διαστάσεις οπής) των κοσκίνων ποικίλουν. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται κόσκινα που ακολουθούν την Αμερικανική Προδιαγραφή ASTM D422-1980. Ο κωδικός και η διάσταση της οπής των κοσκίνων αυτών φαίνονται στον ακόλουθο Πίνακα 1.1:

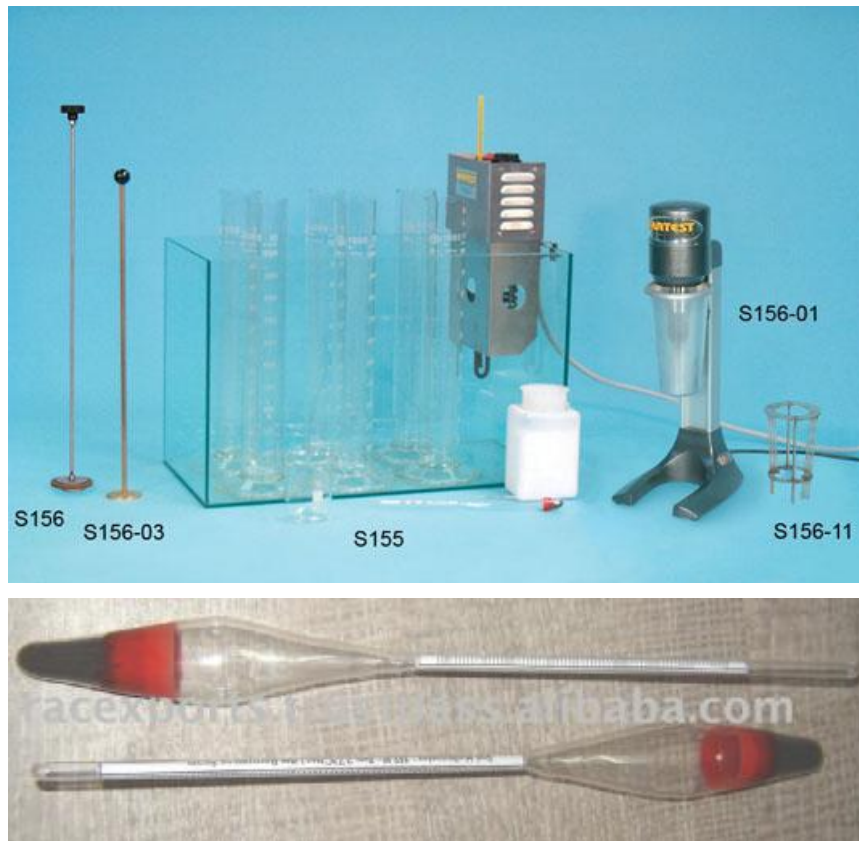
Πίνακας 1.1: Κωδικός και η διάσταση της οπής των κοσκίνων

Αριθμός κοσκίνου (No)	Διάσταση οπής (mm)
4	4,75
10	2
20	0,85
40	0,425
60	0,25
100	0,15
140	0,106
200	0,075



Εικόνα 1.4: Κοκκομέτρηση εδαφών με κόσκινα

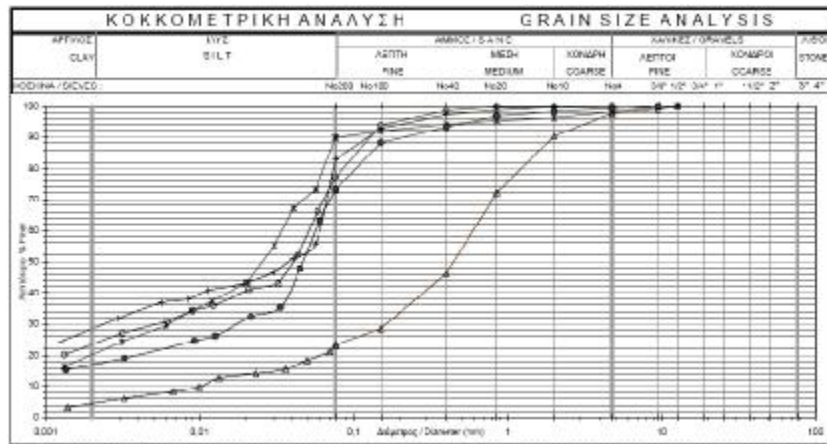
Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόσκινο Νο 200 αντιστοιχεί κατά προσέγγιση στο συμβατικό όριο μεταξύ άμμων και ιλύων (0,06 mm). Η κατασκευή και χρήση κοσκίων για την κοκκομέτρηση εδαφών με μεγέθη κόκκων μικρότερα από το Νο 200 δεν είναι πρακτική. Κατά συνέπεια, ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής διαβάθμισης των λεπτόκοκκων εδαφικών υλικών (ιλύων και αργίλων) γίνεται με τη μέθοδο του αραιομέτρου (βλέπε Εικόνα 1.5).



Εικόνα 1.5: Κοκκομέτρηση λεπτόκοκκων υλικών με τη μέθοδο του αραιόμετρου

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στο νόμο του Stokes για την κίνηση σφαιρών σε ιξώδες ρευστό με την επίδραση της βαρύτητας, σύμφωνα με τον οποίο η οριακή ταχύτητα καθίζησης εξαρτάται από τη διάμετρο και την πυκνότητα του υλικού των σφαιρών, την πυκνότητα του ρευστού και το ιξώδες του. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου του αραιόμετρου μετράται η πυκνότητα του μίγματος νερού και εδάφους σε διάφορους χρόνους και προσδιορίζεται η ταχύτητα καταβύθισης των κόκκων του εδαφικού υλικού, από την οποία προκύπτει η κατανομή του μεγέθους των κόκκων.

Η κατανομή του μεγέθους των κόκκων ενός εδαφικού υλικού, όπως προκύπτει από την κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα και το αραιόμετρο, παρουσιάζεται συνήθως σε ένα διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας εμφάνισης ως προς το μέγεθος του κόκκου (σε λογαριθμική κλίμακα). Ένα τέτοιο διάγραμμα φαίνεται στην Εικόνα 1.6.



Εικόνα 1.6: Διάγραμμα κοκκομετρικής διαβάθμισης εδαφών

Από διαγράμματα αυτού του τύπου μπορούν να προσδιορισθούν ποσοτικά μεγέθη ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, όπως το εύρος των διαμέτρων των κόκκων ενός εδαφικού υλικού και το ποσοστό (κατά βάρος) του υλικού που είναι μικρότερο από κάποια συγκεκριμένη διάμετρο.

1.3.1.2 Σχετική πυκνότητα

Ένα συγκεκριμένο μη συνεκτικό εδαφικό υλικό μπορεί να εμφανισθεί στη φύση με διάφορες τιμές του λόγου κενών ή δείκτη πόρων (e), που εξαρτώνται από την εκάστοτε διάταξη (δομή) των κόκκων του. Ο λόγος κενών ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών προς τον όγκο των στερεών κόκκων:

$$e = V_v / V_s$$

Ένα εδαφικό υλικό μπορεί να έχει λόγο κενών σε διάφορες τιμές. Αυτό εξαρτάται από τη δομή του, δηλαδή από τη διάταξη των κόκκων του. Πρόσφατες αποθέσεις άμμων είναι πολύ χαλαρές με αραιή διάταξη των κόκκων και με λόγο κενών που τείνει σε μία ελάχιστη τιμή. Αντίθετα, εάν η άμμος συμπυκνωθεί με έντονη δόνηση, οι κόκκοι πλησιάζουν μεταξύ τους παίρνοντας μία πυκνή διάταξη. Ο λόγος κενών τείνει τότε σε μία μέγιστη τιμή. Αυτές οι ακραίες καταστάσεις διάταξης των κόκκων μπορούν να πραγματοποιηθούν στο εργαστήριο. Ένα χρήσιμο μέγεθος που συγκρίνει την πραγματική κατάσταση μιας άμμου με τις ακραίες τιμές της πυκνότητάς της είναι η σχετική πυκνότητα. Ως σχετική πυκνότητα ορίζεται το πηλίκο:

$$D_r = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min})$$

Όπου: e είναι ο πραγματικός λόγος κενών της άμμου,

e_{\max} είναι ο λόγος κενών που αντιστοιχεί στην ελάχιστη πυκνότητα (χαλαρό δείγμα-μέγιστο πορώδες) και

e_{\min} είναι ο λόγος κενών που αντιστοιχεί στη μέγιστη πυκνότητα (πυκνό δείγμα-ελάχιστο πορώδες).

Με βάση την τιμή της σχετικής πυκνότητας κατατάσσουμε ένα αμμώδες έδαφος σύμφωνα με τον ακόλουθο Πίνακα 1.2:

Πίνακα 1.2: Σχετική πυκνότητα διαφόρων εδαφών

Σχετική πυκνότητα (%)	Περιγραφή εδάφους
0 – 15	Πολύ χαλαρό
15 – 35	Χαλαρό
35 – 65	Μέσης πυκνότητας
65 – 85	Πυκνό
85 - 100	Πολύ πυκνό

1.3.2 Συνεκτικά εδάφη

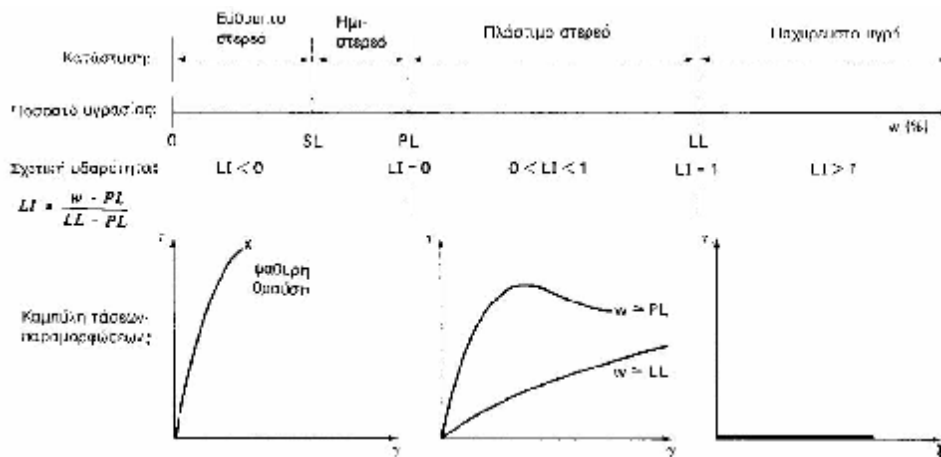
Στα συνεκτικά εδάφη (ιλύες και άργιλοι) δεν είναι δυνατόν να γίνει κοσκίνισμα λόγω του πολύ μικρού μεγέθους των κόκκων. Επιπλέον τα φυσικά χαρακτηριστικά που αναφέραμε στα μη συνεκτικά εδάφη δεν συσχετίζονται με τις ιδιότητες των συνεκτικών εδαφών. Τα κύρια φυσικά χαρακτηριστικά των συνεκτικών εδαφών είναι το ποσοστό υγρασίας και τα όρια Atterberg.

1.3.2.1 Ποσοστό υγρασίας

Η παρουσία του νερού είναι καθοριστική για τη μηχανική συμπεριφορά των συνεκτικών εδαφών. Μεταβάλλοντας την περιεχόμενη υγρασία παρατηρούμε ότι με την αύξησή της έχουμε μεταβολή της κατάστασης του εδάφους από τη στερεή κατάσταση στην υδαρή. Η ερμηνεία αυτής της επιρροής έγκειται στην ιδιότητα που έχουν τα πολύ λεπτόκοκκα υλικά να προσροφούν στην επιφάνεια των κόκκων τους, οι οποίοι έχουν σχήμα πλακιδίου, νερό με ισχυρές δυνάμεις.

1.3.2.2 Όρια Atterberg

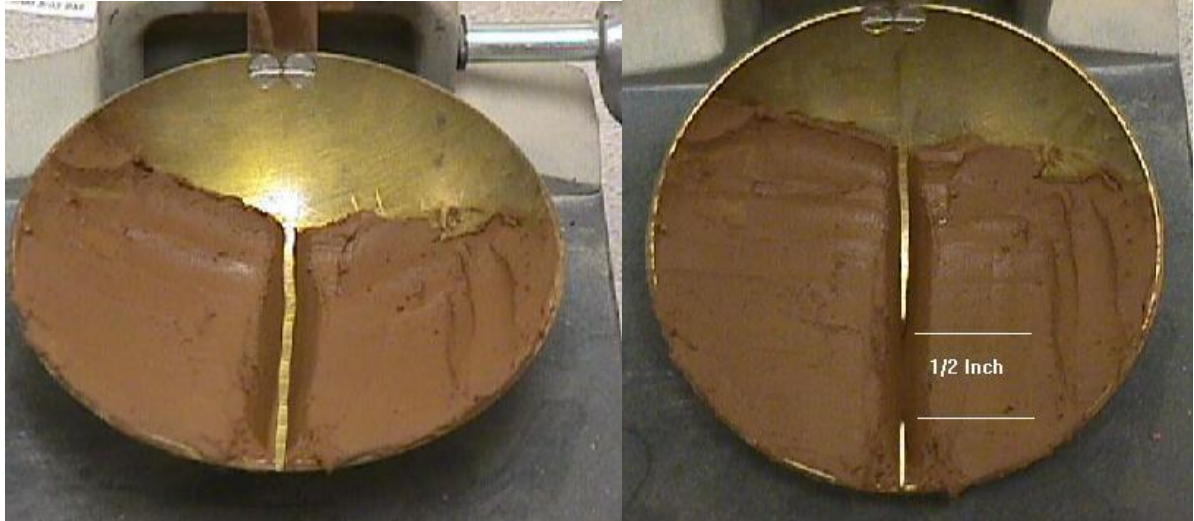
Τα όρια Atterberg είναι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας, στις οποίες παρατηρείται μετάπτωση της κατάστασης του εδάφους από την «υγρή» στην «πλαστική» και στη συνέχεια στην «ημιστερεή» και στη «στερεή» κατάσταση. Η Εικόνα 1.7 παρουσιάζει τη βαθμιαία μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών (τη μορφή της καμπύλης τάσεων-παραμορφώσεων σε δοκιμή διάτμησης) ενός συνεκτικού εδάφους με την αύξηση του ποσοστού της υγρασίας. Είναι σαφές ότι, όσο αυξάνει το ποσοστό της υγρασίας, τόσο μειώνεται η αλληλεπίδραση μεταξύ των κόκκων του εδαφικού υλικού και η συμπεριφορά του προσομοιάζει τη συμπεριφορά των ρευστών.



Εικόνα 1.7: Μεταβολή της συνεκτικότητας των αργίλων με το ποσοστό υγρασίας

Ειδικότερα τα όρια Atterberg ορίζονται ως εξής:

1. Όριο υδαρότητας (LL) : όριο υδαρότητας είναι η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας, εξαιτίας της οποίας τα τοιχώματα διαμορφωμένης εγκοπής ενός δείγματος εδάφους, που τοποθετείται στη συσκευή Casagrande, έρχονται σε επαφή μεταξύ τους μετά από 25 κρούσεις (Εικόνα 1.8).



Εικόνα 1.8: Δοκιμή προσδιορισμού ορίου υδαρότητας με συσκευή Casagrande

2. Όριο πλαστικότητας (PL) : είναι η περιεχόμενη υγρασία, εξαιτίας της οποίας ένα δείγμα εδάφους αρχίζει να θρυμματίζεται σε μικρά τεμάχια όταν πλάθεται σε λεπτές ίνες, μόλις φθάσει σε διάμετρο 3mm (Εικόνα 1.9).



Εικόνα 1.9: Προσδιορισμός των ορίων υδαρότητας και πλαστικότητας

3. Όριο συρρίκνωσης (SL) : είναι η περιεχόμενη υγρασία, που αντιστοιχεί στην απαιτούμενη ποσότητα ύδατος για την πλήρωση των πόρων, όταν το δείγμα έχει τον ελάχιστο του όγκου του μετά από ξήρανση. Για μικρότερη περιεκτικότητα νερού το δείγμα παύει να είναι κορεσμένο.

Με τη βοήθεια αυτών των ορίων προσδιορίζονται οι ακόλουθοι δείκτες:

- Δείκτης πλαστικότητας (PI) : ονομάζεται η διαφορά μεταξύ των ορίων υδαρότητας και πλαστικότητας

$$PI=LL-PL$$

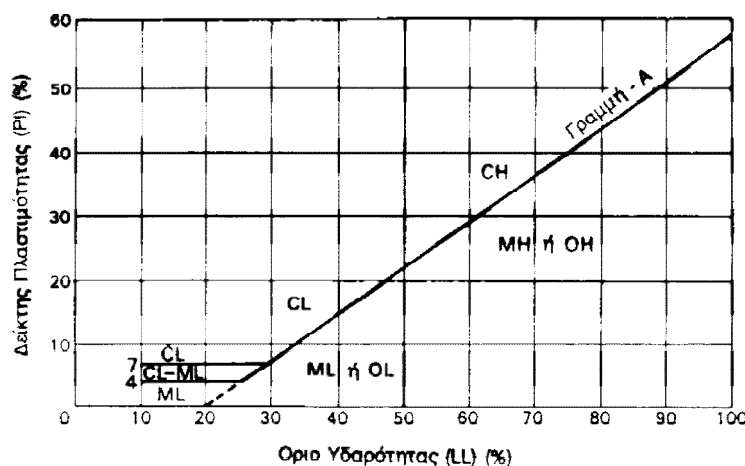
- Δείκτης υδαρότητας (LI) : ονομάζεται το πηλίκο

$$LI=(w-PL)/(LL-PL)$$

- Δείκτης συνεκτικότητας (cr) : ονομάζεται το πηλίκο

$$cr=(LL-w)/(LL-PL)$$

Το όριο υδαρότητας LL και ο δείκτης πλαστικότητας PI χρησιμεύουν στην κατάταξη των λεπτόκοκκων εδαφών με βάση το διάγραμμα Casagrande (Εικόνα 1.10)



Εικόνα 1.10: Διάγραμμα Casagrande

1.4 Ταξινόμηση των εδαφών

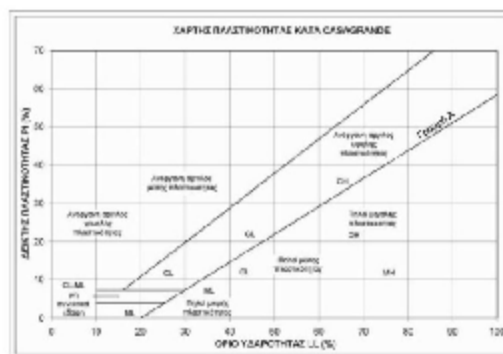
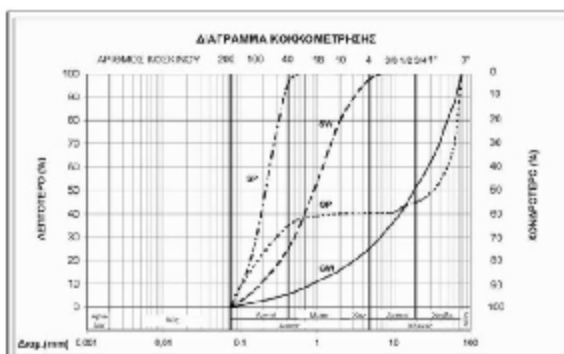
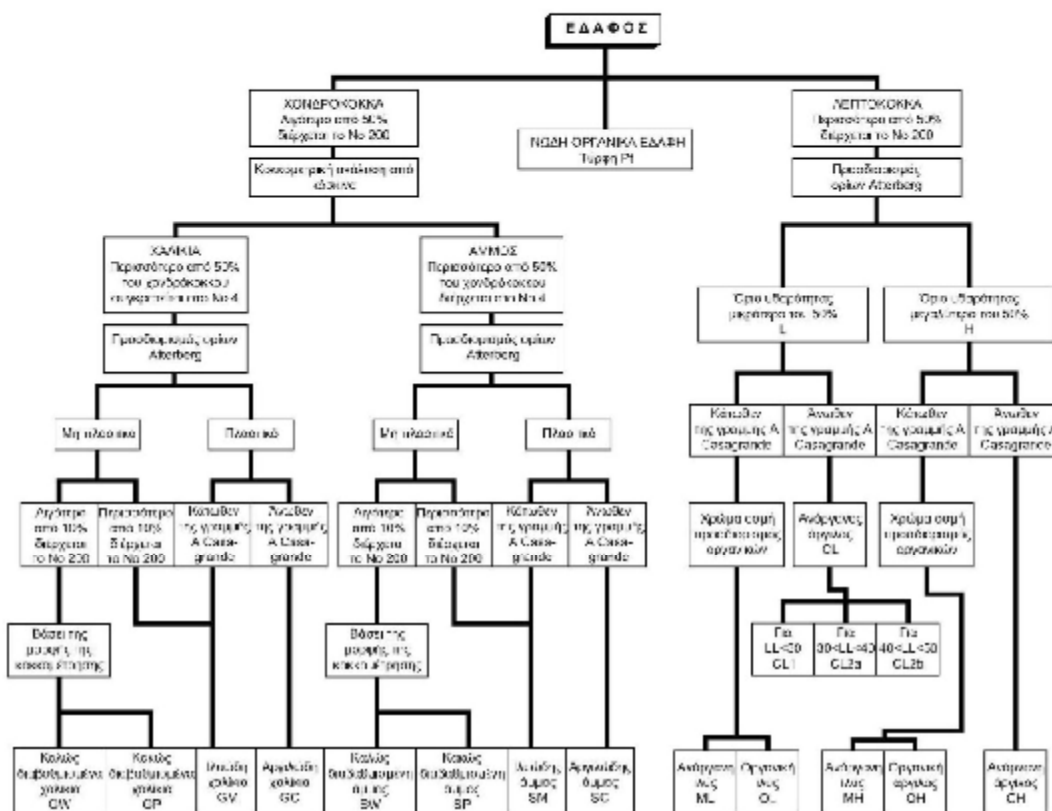
Η ταξινόμηση των εδαφών σε κατηγορίες με παρόμοιες μηχανικές ιδιότητες είναι χρήσιμη από πολλές απόψεις. Η χρησιμότητα των κατατάξεων αυτού του τύπου είναι ιδιαίτερα σημαντική, δεδομένου ότι οι απαιτούμενες δοκιμές είναι απλές, σύντομες και με μικρό κόστος.

Οι περισσότερες μέθοδοι ταξινόμησης χρησιμοποιούν σαν χαρακτηριστικές δοκιμές την κοκκομέτρηση με κόσκινα και τις δοκιμές προσδιορισμού των ορίων Atterberg, δοκιμές που πληρούν τις απαιτήσεις απλότητας, ταχύτητας και μικρού κόστους που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Υπάρχουν διάφορα συστήματα κατάταξης των εδαφών, από τα οποία τα κυριότερα είναι το Ενιαίο Σύστημα Κατάταξης (USCS-Unified Soil Classification System), το οποίο είναι αποδεκτό ως προδιαγραφή από την Αμερικανική Εταιρεία Ελέγχου των Υλικών (ASTM-American Society for Testing Materials), το σύστημα της Αμερικανικής

Ένωσης των Οδοποιών (AASHTO-American Association of State Highway and Transportation Officials), το Βρετανικό Σύστημα Κατάταξης Εδαφών (BSCS-British Soil Classification System) και το Σύστημα Κατάταξης κατά τους Γερμανικούς Κανονισμούς (DIN).

Από αυτά τα συστήματα, το επικρατέστερο είναι το USCS/ASTM ή AUSCS. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί τα ποσοστά του εδάφους που διέρχονται από το κόσκινο Νο 200 (το λεγόμενο λεπτόκοκκο κλάσμα) και το Νο 4 (αμμώδες κλάσμα) και τα όρια του Atterberg με τη μορφή του «Χάρτη Πλαστικότητας του Casagrande», που φαίνεται στην Εικόνα 1.10. Το παρακάτω Διάγραμμα 1.11 παρουσιάζει την ταξινόμηση εδαφών κατά το Ενοποιημένο Σύστημα Κατάταξης AUSCS.

**ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΤΑ
AMERICAN UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM
(A.U.S.C.S.)**



Εικόνα 1.11: Ταξινόμηση εδαφών κατά A.U.S.C.S.

1.5 Επί τόπου διάκριση ιλύων και αργίλων

- **Δοκιμή καθίζησης:** Αναμιγνύουμε δείγμα εδάφους σε ένα ποτήρι με νερό και μετράμε τον χρόνο, ο οποίος απαιτείται για να γίνει το νερό διαυγές. Εάν το έδαφος είναι ιλύς, τότε θα κατακαθίσει σε 10 έως 60 λεπτά, ενώ εάν είναι άργιλος θα περάσουν πολλές ώρες ή και ημέρες.
- **Δοκιμή αντοχής:** Αποξηραίνουμε μικρό δείγμα εδάφους και στη συνέχεια το θραύουμε με τα δάχτυλα. Εάν είναι άργιλος, τότε θραύεται σχετικά δύσκολα, ενώ η ιλύς θραύεται εύκολα. Επιπλέον εάν τρίψουμε την ιλύ αφήνει σκόνη στα δάχτυλα.
- **Δοκιμή πλαστικότητας:** Τα αργιλικά εδάφη που περιέχουν κατάλληλη ποσότητα νερού πλάθονται σε λεπτές ίνες, ενώ η ιλύς πλάθεται πολύ δύσκολα και με μεγάλη ποσότητα περιεχόμενου νερού.
- **Δοκιμή ανατάραξης:** Σε μικρή ποσότητα εδάφους προσθέτουμε νερό μέχρι να πλάθεται. Κατόπιν το εκτινάσσουμε ανάμεσα στις παλάμες μας οπότε παρατηρούμε, ότι στη μεν ιλύ η επιφάνεια του δείγματος γίνεται υγρή και λαμπρή, στη δε άργιλο δεν παρατηρούνται αυτές οι αλλαγές γιατί το νερό διασχίζει με πολλή δυσκολία τα σωματίδια της αργίλου.

1.6 Μηχανικές ιδιότητες των εδαφών

1.6.1 Αντοχή εδάφους

Η αντοχή του εδάφους είναι μία φυσική ιδιότητα, μεγάλου ενδιαφέροντος για τον σχεδιασμό των τεχνικών έργων που εδράζονται στο έδαφος ή κατασκευάζονται μέσα σε αυτό. Η αντοχή είναι ένα μέγεθος το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί με μεθόδους έρευνας πεδίου ή να μετρηθεί με εργαστηριακές μεθόδους. Συνήθως εκφράζεται αριθμητικά με τις παραμέτρους αντοχής, οι οποίες είναι άμεσα συνυφασμένες με κάποιο νόμο – μοντέλο αστοχίας.

Τα εδάφη αστοχούν υπό κάποια ένταση, συνήθως σχηματίζοντας επίπεδα αστοχίας (Εικόνα 1.12). Στα επίπεδα εκδηλώνεται η αστοχία με ολίσθηση. Η ολίσθηση προκαλείται από τη διατμητική τάση σε αυτό το επίπεδο. Έτσι συνηθίζουμε να μιλάμε για «Διατμητική αστοχία» όπως και για «Διατμητική αντοχή». Η Διατμητική αντοχή είναι το μέγεθος στο οποίο θα αναφερόμαστε και θα είναι αντιπροσωπευτικό για την συνολική αντοχή του εδάφους.

Μερικά μοντέλα αστοχίας του εδάφους που έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς είναι: Το μοντέλο μέγιστης διατμητικής τάσης (Tresca) για την πλαστικότητα, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε κορεσμένες – μαλακές αργίλους (και είναι μία υποπερίπτωση του μοντέλου Mohr-Coulomb για $\phi=0$), το μοντέλο διατμητικής αστοχίας του Coulomb (νόμος της τριβής), καθώς και το μοντέλο Cam-Clay. Το μοντέλο του Coulomb, στο οποίο βασίζεται ο νόμος Mohr-Coulomb, χρησιμοποιείται ευρύτατα, καθώς έχει απλή μαθηματική διατύπωση και έχει φυσικό νόημα.



Εικόνα 1.12: Αστοχία δοκιμίου αργίλου από θλίψη. Η αστοχία εκδηλώνεται σε ένα επίπεδο που σχηματίζει γωνία με την διεύθυνση φόρτισης $\sim 45^\circ$.

Ο νόμος του Mohr περιγράφει πως η αστοχία θα επέλθει όταν η διατμητική τάση (τ) λάβει κάποια κρίσιμη τιμή, η οποία εξαρτάται από την ορθή τάση (σ). Όταν δε η αστοχία γίνεται σε επίπεδο, τότε για τις διατμητικές (τ_n), ορθές τάσεις (σ_n) επί του επιπέδου θα ισχύει:

$$\tau_n = f(\sigma_n)$$

Η παραπάνω συνάρτηση αν απεικονιστεί στο επίπεδο (σ, τ) ως καμπύλη, αποτελεί μία «περιβάλλουσα αστοχίας», το όριο δηλαδή για τις εντατικές καταστάσεις που δεν προκαλούν αστοχία. Υπέρβαση της περιβάλλουσας δεν επιτρέπεται, επιπλέον δε, τιμές της έντασης (σ, τ) επί της περιβάλλουσας περιγράφουν κατάσταση αστοχίας. Όταν εφαρμοστεί στο νόμο του Mohr ο νόμος τριβής του Coulomb, καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση, τον νόμο Mohr-Coulomb:

$$\tau_n = \sigma_n \tan\phi + c$$

όπου ϕ, c οι παράμετροι αντοχής: Γωνία εσωτερικής (εφόσον μιλάμε για έδαφος) τριβής (ϕ) εκφρασμένη σε μοίρες και Συνοχή (c) με μονάδες τάσης (συνήθως kPa = kN/m² για την εδαφομηχανική).

Τα χονδρόκοκα υλικά (άμμος - χαλίκια) στερούνται συνοχής, ωστόσο παρουσιάζουν τιμή στην γωνία τριβής που υπερβαίνει τις 30° (με τιμές που φθάνουν και τις 40°). Λεπτόκοκκα υλικά όπως η ιλύς και η άργιλος παρουσιάζουν συνοχή που κυμαίνεται από 15 kPa, συνήθως δε 50-100 kPa και σε εξαιρετικές περιπτώσεις μέχρι 200-500 kPa (ημίβραχος). Χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους αντοχής ϕ, c , προχωράμε στον σχεδιασμό των τεχνικών έργων.

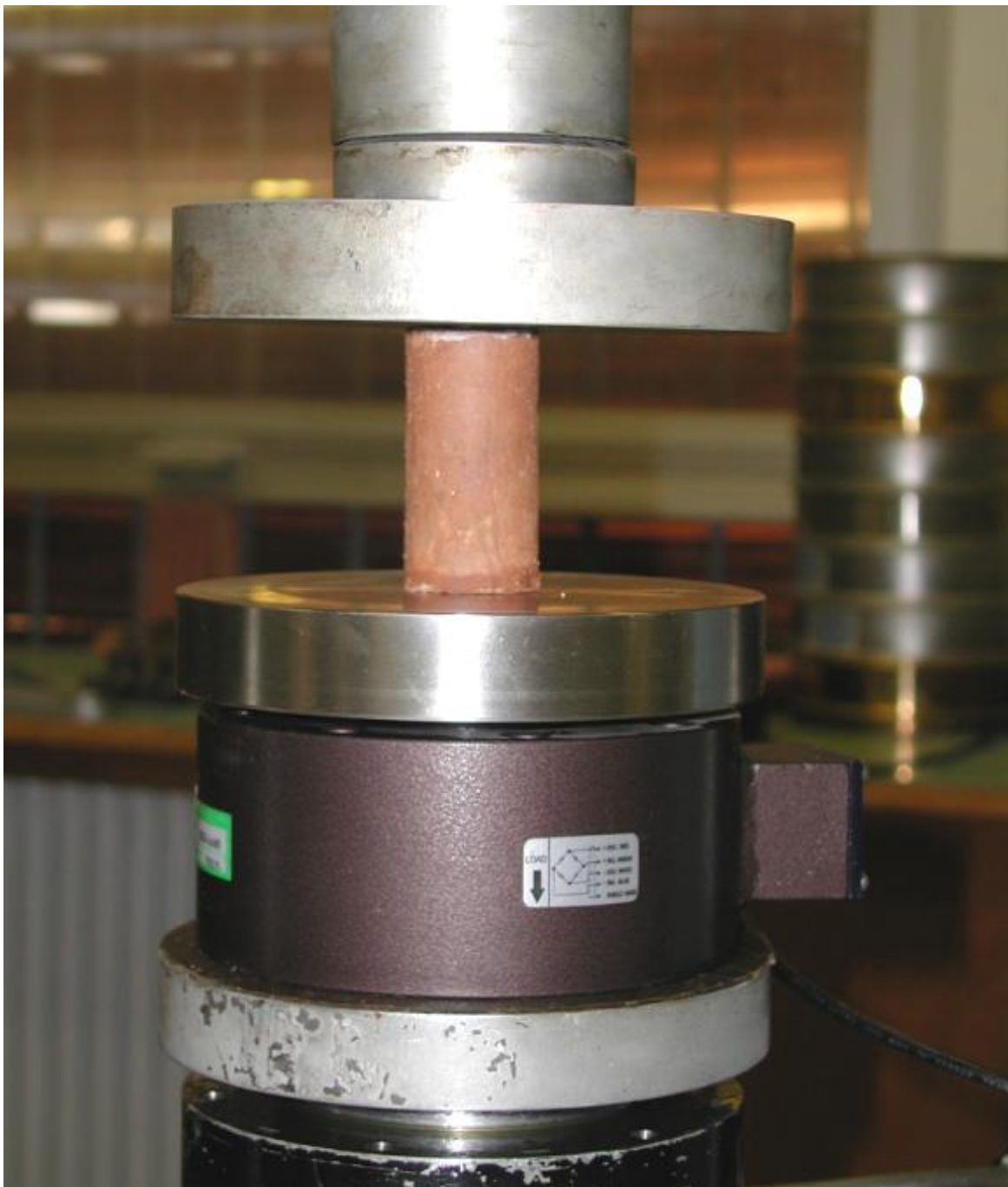
Όταν το έδαφος είναι κορεσμένο, λαμβάνεται υπόψη η πίεση του νερού στους πόρους του εδάφους (u) μέσω των ενεργών τάσεων: $\sigma' = \sigma - u$, $\tau' = \tau$. Θα χρησιμοποιούνται σε αυτήν την περίπτωση οι παράμετροι αντοχής ϕ' και c' . Εν γένει η παρουσία της πίεσης πόρων, μειώνει την ενεργή τάση (σ') με αποτέλεσμα την συνολική μείωση της αντοχής.

1.6.2 Μεθοδολογίες προσδιορισμού της αντοχής

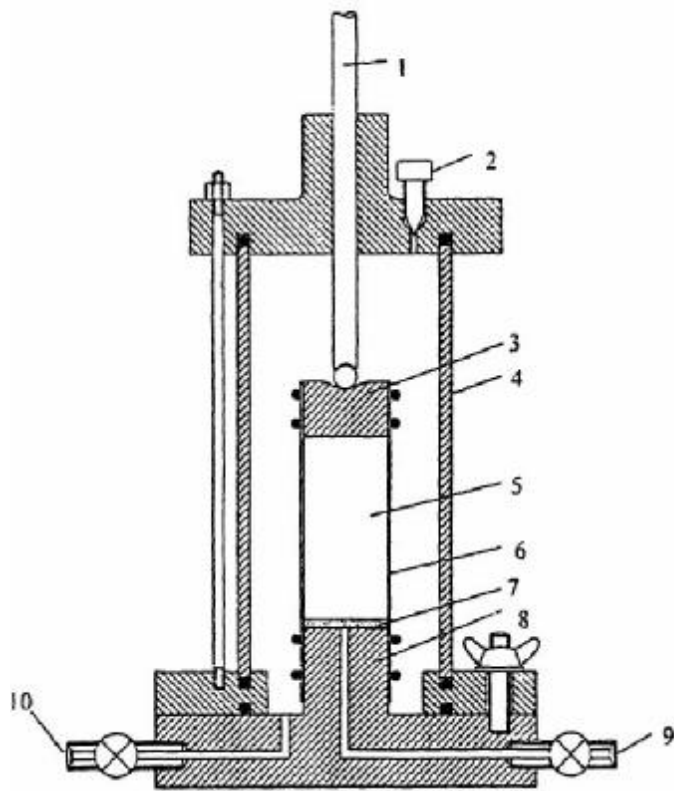
Οι εκτιμήσεις της αντοχής γίνονται με τις παρακάτω μεθοδολογίες:

- Εμπειρικές εκτιμήσεις, συνήθως σε συνδυασμό με μία μέθοδο ταξινόμησης και παρατήρηση ποιοτικών χαρακτηριστικών. Η εμπειρία δίνει μία τάξη μεγέθους στην αντοχή των εδαφικών σχηματισμών.
- Επιτόπου δοκιμές, όπως SPT (πρότυπη δοκιμή διείδυσης), CPT, φορητό vane test, κλπ.
- Εργαστηριακές δοκιμές. Οι συνηθέστερες εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού των μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφών είναι:
 - Προσδιορισμός Καλιφορνιακού λόγου φέρουσας ικανότητας (C.B.R.) (E105-86/12, ASTM D1886).
 - Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης (E105-86/13, ASTM D2435).
 - Δοκιμή δυναμικού μονοδιάστατης διόγκωσης ή στερεοποίησης (ASTM D4546, BS1377-5).
 - Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης (E105-86/14, ASTM D2166) (βλ. Εικόνα 1.13).
 - Δοκιμή τριαξονικής θλίψης σε συνεκτικά εδάφη, χωρίς στερεοποίηση και μέτρηση της πίεσης πόρων (UU) (E105-86/15, ASTM D2850, BS1377-7) (Εικόνα 1.14).
 - Δοκιμή τριαξονικής θλίψης σε συνεκτικά εδάφη, με στερεοποίηση και μέτρηση της πίεσης πόρων (CUPP) (E105-86/15, ASTM D4767, BS1377-8).

- Δοκιμή τριαξονικής θλίψης σε συνεκτικά εδάφη, με στερεοποίηση και αποστράγγιση (CD) (E105-86/15, BS1377-8).
- Δοκιμή άμεσης διάτμησης, ταχεία και χωρίς στερεοποίηση (UU) (E105-86/16).
- Δοκιμή άμεσης διάτμησης, ταχεία με στερεοποίηση (CU) (E105-86/16).
- Δοκιμή άμεσης διάτμησης, βραδεία με στερεοποίηση (CD) (E105-86/16, ASTM D3080, BS 1377-7).
- Δοκιμή άμεσης διάτμησης, βραδεία με στερεοποίηση, πολλαπλών επαναφορών (CD-Residual) (BS 1377-7).
- Δοκιμή υδροπερατότητας (E105-86/18 και E105-86/19, Earth Manual, W. Lambe).



Εικόνα 1.13: Εδαφικό δοκίμιο σε ανεμπόδιστη θλίψη



Εικόνα 1.14: Διάταξη τριαξονικής δοκιμής (σχεδιάγραμμα, φωτογραφία)

Τα βασικά τμήματα της διάταξης τριαξονικής δοκιμής, όπως φαίνονται στην Εικόνα 1.14, είναι:

- (1) Έμβολο
- (2) Βαλβίδα
- (3) Μεταλλική πλάκα για υποβολή του δείγματος σε θλίψη
- (4) Κυψέλη
- (5) Αεροστεγής κύλινδρος όπου τοποθετείται το δείγμα
- (6) Αδιαπέρατη μεμβράνη
- (7) Διαπερατός πωρόλιθος
- (8) Μεταλλική πλάκα για υποβολή του δείγματος σε θλίψη
- (9) Βαλβίδα που επικοινωνεί με το σύστημα επιβολής υπερπίεσης πόρων και με τον μετρητή πίεσης πόρων
- (10) Βαλβίδα που επιτρέπει την παροχή νερού για την επιβολή της παράπλευρης πίεσης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

2.1 Γενικά

Πολλές υποβαθμισμένες, από πλευράς εδαφικών χαρακτηριστικών, περιοχές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή έργων είτε λόγω έλλειψης χώρων (περιαστικές περιοχές) είτε λόγω αύξησης των απαιτήσεων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών μεγάλων έργων υποδομής. Για τη χρησιμοποίηση αυτών των εδαφών γίνεται χρήση μεθόδων βελτίωσης και ενίσχυσης των γεωτεχνικών ιδιοτήτων τους. Σκοπός της βελτίωσης και ενίσχυσης των εδαφών είναι η αύξηση της φέρουσας ικανότητάς τους και η μείωση του μεγέθους των αναμενόμενων καθιζήσεων.

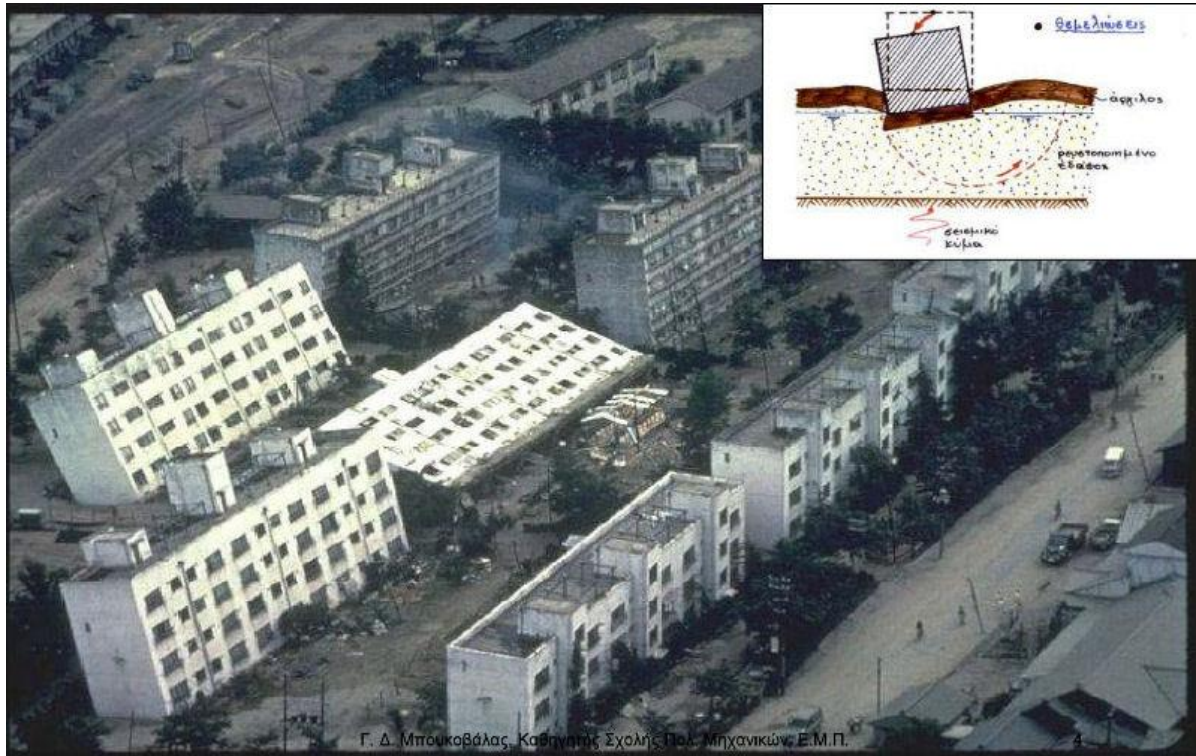
Η ιδέα της βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους, με την ανάμιξη υλικών (τσιμέντου, ασβέστου, πολυμερών υλικών κλπ.) ή την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων (πασσάλων, διαφραγμάτων, γεωφασμάτων, ηλώσεων κλπ.) άρχισε να εφαρμόζεται από αρχαιότατων χρόνων, από την περίοδο των Αιγυπτίων, Σουμερίων, Ασσυρίων, Ελλήνων, Κινέζων, Αράβων και Ρωμαίων. Η χρήση της υδρασβέστου στη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους ήταν γνωστή στους Κινέζους, πριν 3000 έτη, για βελτίωση των δρόμων (Israel, 1982). Την ίδια χρονική περίοδο επίσης οι Κινέζοι χρησιμοποιούσαν ξύλο η bamboo για την ενίσχυση του εδάφους, μεθόδους που χρησιμοποιούν ακόμη και σήμερα για την δημιουργία φραγμάτων για προστασία του περιβάλλοντος από λασποροές. Οι αρχαίοι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν ηφαιστειακή τέφρα, (ποζολάνες – ο όρος Pozzolan προέρχεται από το χωριό Pozzuoli της Ιταλίας), για διάφορες κατασκευές όπως η Απία Οδός, το Κολοσσαίο, το Πάνθεον, (Israel, 1982). Στη Μεσοποταμία οι κάτοικοι χρησιμοποιούσαν άσφαλτο αναμειγμένη με αμμώδες έδαφος για κατασκευές δρόμων, από το 3200 π.χ., (Asphalt Institute, 1965). Η πρώτη σύγχρονη κατασκευή με ασφαλτικό υλικό επικάλυψης σημειώθηκε το 1802 στη Γαλλία. Το τσιμέντο Portland ανακαλύφθηκε το 1824 από τον Άγγλο Joseph Aspdin. Η ονομασία του συνδέθηκε με το χρώμα του που ήταν όμοιο με αυτό του ασβεστολίθου της νήσου Portland κοντά στην Αγγλία. Το 1904 στη περιοχή St Louis (USA) έγινε η πρώτη εφαρμογή σταθεροποίησης εδάφους με τσιμέντο τύπου Portland. Από το 1940 και μετά οι Γερμανοί, αργότερα οι Βρετανοί και οι Αμερικανοί, κατασκεύαζαν τους αεροδιαδρόμους πολλών πολεμικών αεροδρομίων με την τεχνική εδάφους - τσιμέντου. Την ίδια χρονική περίοδο η τεχνική της σταθεροποίησης εδάφους με διάφορα πρόσθετα (τσιμέντο, άσβεστος, ιπτάμενη τέφρα, χημικές ενώσεις κλπ) επεκτάθηκε στην Αυστραλία, Σκανδιναβία και Ιαπωνία (Σταυριδάκης, 1997). Άλλες τεχνικές σταθεροποίησης και ενίσχυσης μαλακών και συνεκτικών εδαφών είναι η βαθιά μίξης με πρόσθετα (DSM, CDM, κλπ), για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών αυτών (Kamruzzaman et al, 2000). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε από την Ιαπωνία το 1970, Σκανδιναβία, (Σουηδία, Φιλανδία) για εφαρμογές σε κτιριακά συγκροτήματα, θεμελιώσεις γεφυρών, κατασκευές αντιστήριξης, κλπ. Η βασική στρατηγική όλων αυτών των τεχνικών είναι να βρεθεί η πιο κατάλληλη, αποτελεσματική και οικονομική μέθοδος που να βελτιώνει το έδαφος, ώστε οι μηχανικές του ιδιότητες να γίνουν παρόμοιες με αυτές των μαλακών βράχων, αυξάνοντας την ασφάλεια των γεωτεχνικών έργων.

Σε γενικές γραμμές, η ενίσχυση εφαρμόζεται σε μαλακά ή/και χαλαρά εδάφη όπως:

- χαλαρές άμμους, ιδιαίτερα όταν είναι κορεσμένες,
- χαλαρές και μέσης πυκνότητας κορεσμένες άμμους και αμμοχάλικα υπό σεισμική φόρτιση,

- απροφόρτιστες ή υπο-στερεοποιημένες αργίλους και ιλύες.

Παραδείγματα καταστροφών μεγάλων κτιριακών έργων εξ αιτίας αστοχίας τέτοιων εδαφών φαίνονται στις Εικόνες 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 και 2.5.



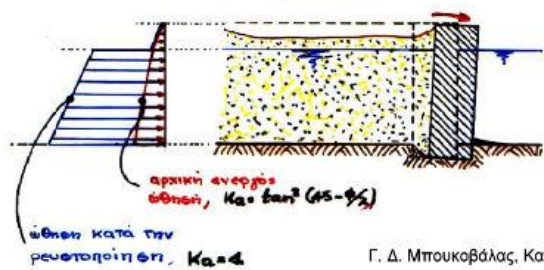
Εικόνα 2.1: Αστοχία λόγω ρευστοποίησης εδάφους - Niigata, Ιαπωνία (1964)



Εικόνα 2.2: Πρανή σε μαλακά-χαλαρά εδάφη - Hokkaido, Ιαπωνία (2003)

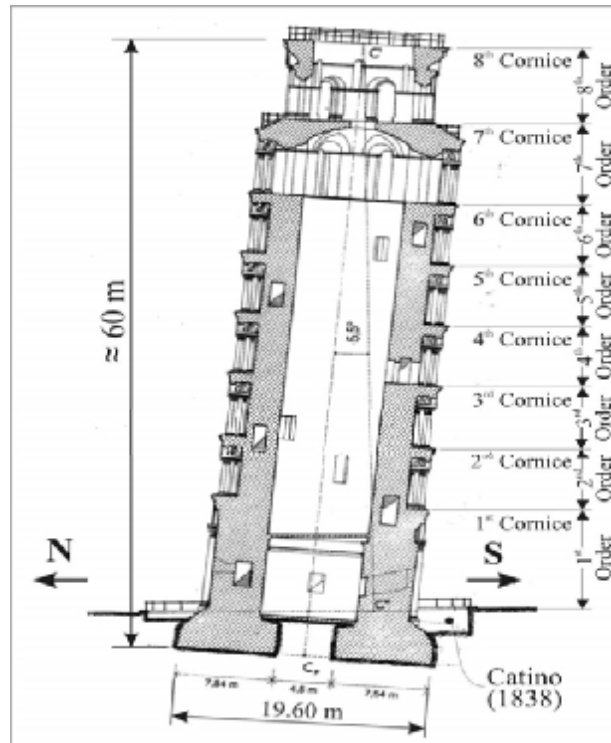


Εικόνα 2.3: Αστοχία θεμελίωσης φρεατίου λόγω ρευστοποίησης εδάφους - Hokkaido, Ιαπωνία (2003)



Γ. Δ. Μπουκοβάλας, Καθηγητής Σουλάνγκερ, Μηχανικών, Ε.Μ.Π.

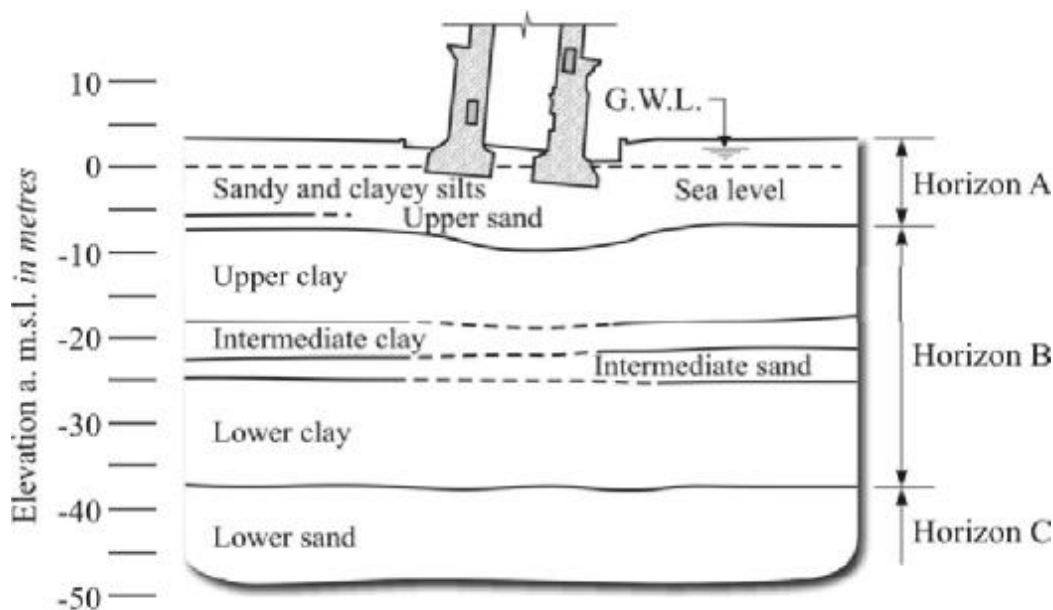
Εικόνα 2.4: Αστοχία σε λιμενικούς κρηπιδότοιχους - Kobe, Ιαπωνία (1995)



Weight	142 MN
Height of the centre of gravity	22.6 m
Overturning moment	327MNm
Average foundation pressure:	≈ 500 kPa

Κατακόρυφη τομή στο επίπεδο της μέγιστης κλίσης, όπως ήταν το 1993

Κατακόρυφη τομή στο επίπεδο της μέγιστης κλίσης, όπως ήταν το 1993



Στρωματογραφία υπεδάφους

Εικόνα 2.5: Θεμελίωση επί μαλακού εδάφους - Κεκλιμένος πύργος Πίζας, Ιταλία

Με τον όρο βελτίωση ή ενίσχυση ενός υλικού, φυσικού ή θραυστού, εννοούμε την επεξεργασία του υλικού αυτού που αποβλέπει στη βελτίωση των γεωτεχνικών του ιδιοτήτων (αντοχή, διάβρωση, διαπερατότητα, συμπίεστικότητα, πορώδες, φυσικά χαρακτηριστικά, μηχανικές ιδιότητες κλπ.).

Ο Van Impre (1989) διαχωρίζει τις μεθόδους βελτίωσης στις παρακάτω γενικές ομάδες:

1. Προσωρινές τεχνικές βελτίωσης εδάφους με περιορισμένο χρόνο εφαρμογής, κατά την περίοδο της κατασκευής (ηλεκτρική όσμωση, ψύξη εδάφους κλπ.).
2. Μόνιμες (διαρκείς) τεχνικές βελτίωσης εδάφους, που εφαρμόζονται χωρίς την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων (δυναμική συμπύκνωση, μέθοδοι μαζικής δόνησης κλπ.).
3. Μόνιμες (διαρκείς) τεχνικές βελτίωσης εδάφους που εφαρμόζονται με την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων (οπλισμένο έδαφος, τσιμεντενέσεις, γενικά ενέσεις με διάφορα ενέματα, βαθιές μίξεις με διάφορα μίγματα όπως τσιμέντου, ασβέστου, μπεντονίτη κλπ.)

Οι τεχνικές βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους εφαρμόζονται:

- Στα θεμέλια κτιρίων για την μείωση των καθιζήσεων, τον έλεγχο της διαπερατότητας ή την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους.
- Σε εργασίες εκσκαφής για καλύτερη πλευρική αύξηση της αντοχής σε σήραγγες ή τάφρους και μείωση της διαπερατότητας.
- Στην οδοποιία, στις υποβάσεις δρόμων για αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, μείωση της διάβρωσης και μείωση του μεταβολών του όγκου.
- Σε σταθεροποίηση των πρανών για να αυξηθεί η αντοχή του εδάφους σε διάβρωση, να μειωθεί η διαπερατότητα, να μειωθεί ο δείκτης κενών.

- Σε κατασκευές συγκράτησης (αποθήκευσης) ύδατος για την δημιουργία όσο το δυνατόν υδατοστεγανών κατασκευών, όπως φράγματα, κανάλια, δεξαμενές, χωματερές (Χ.Υ.Τ.Α.).
- Στην προστασία περιβάλλοντος, αυξάνοντας την αντίσταση του εδάφους στη φυσική αποσάθρωση από τον αέρα ή το νερό, περιορίζοντας τη μόλυνση του εδάφους με μείωση της μεταφορικής ικανότητας των μολυσμένων ουσιών δημιουργώντας συσσωματώματα που μετατρέπονται σε πολυδυσκίνητες χημικές μορφές.

2.2 Μέθοδοι βελτίωσης του εδάφους

Οι μέθοδοι βελτίωσης (βλ. Εικόνα 2.6) παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω Πίνακα 2.1 (Τσότσος, 1987) χωρισμένες σε κατηγορίες.



Εικόνα 2.6: Διάφοροι μέθοδοι βελτίωσης εδαφών
Πίνακας 2.1: Μέθοδοι βελτίωσης του εδάφους

Μηχανισμός βελτίωσης	Μέθοδος
1. Στερεοποίηση	- Προφόρτιση - Προφόρτιση με αμμοστραγγιστήρια - Ηλεκτρική όσμωση
2. Οπλισμός του εδάφους (χρήση στοιχείων που μπορούν να παραλάβουν δυνάμεις ελκυσμού ή θλίψης)	- Λιθοπάσσαλοι - Οπλισμένο έδαφος - Χρήση γεωϋφασμάτων - Ριζοπάσσαλοι (Root Piles) - Εδαφοηλώσεις (Soil nailing)
3. Συμπύκνωση	- Δυναμική συμπύκνωση - Πάσσαλοι συμπύκνωσης - Μέθοδοι μαζικής δόνησης - Εκρήξεις
4. Βαθιά εδαφική ανάμειξη (Χημική σταθεροποίηση)	- Ασβεστοπάσσαλοι - Πάσσαλοι ή διαφράγματα με ανάμειξη εδάφους και τσιμέντου - Υποβάσεις δρόμων - Επικαλύψεις πρανών
5. Ενέσεις	- Ενέσεις διαποτισμού - Ενέσεις εκτόπισης ή συμπύκνωσης
6. Θερμική δράση	- Θέρμανση του εδάφους - Ψύξη του εδάφους

Στον παρακάτω Πίνακα 2.2, που δημοσιεύθηκε στα πρακτικά του 17^{ου} Διεθνούς Συνεδρίου Εδαφομηχανικής και Γεωτεχνικής Μηχανικής, παρουσιάζεται η ποιο σύγχρονη κατηγοριοποίηση των μεθόδων βελτίωσης του εδάφους, που περιλαμβάνει όλες τις χρησιμοποιούμενες παγκοσμίως μεθόδους.

Πίνακας 2.2: Σύγχρονη κατηγοριοποίηση των μεθόδων βελτίωσης του εδάφους

Category	Method	Principle
A. Ground improvement without admixtures in non-cohesive soils or fill materials	A1. Dynamic compaction	Densification of granular soil by dropping a heavy weight from air onto ground.
	A2. Vibrocompaction	Densification of granular soil using a vibratory probe inserted into ground.
	A3. Explosive compaction	Shock waves and vibrations are generated by blasting to cause granular soil ground to settle through liquefaction or compaction.
	A4. Electric pulse compaction	Densification of granular soil using the shock waves and energy generated by electric pulse under ultra-high voltage.
	A5. Surface compaction (including rapid impact compaction)	Compaction of fill or ground at the surface or shallow depth using a variety of compaction machines.
B. Ground improvement without admixtures in cohesive soils	B1. Replacement/displacement (including load reduction using light weight materials)	Remove bad soil by excavation or displacement and replace it by good soil or rocks. Some light weight materials may be used as backfill to reduce the load or earth pressure.
	B2. Preloading using fill (including the use of vertical drains)	Fill is applied and removed to pre-consolidate compressible soil so that its compressibility will be much reduced when future loads are applied.
	B3. Preloading using vacuum (including combined fill and vacuum)	Vacuum pressure of up to 90 kPa is used to pre-consolidate compressible soil so that its compressibility will be much reduced when future loads are applied.
	B4. Dynamic consolidation with enhanced drainage (including the use of vacuum)	Similar to dynamic compaction except vertical or horizontal drains (or together with vacuum) are used to dissipate pore pressures generated in soil during compaction.
	B5. Electro-osmosis or electro-kinetic consolidation	DC current causes water in soil or solutions to flow from anodes to cathodes which are installed in soil.
	B6. Thermal stabilisation using heating or freezing	Change the physical or mechanical properties of soil permanently or temporarily by heating or freezing the soil.
	B7. Hydro-blasting compaction	Collapsible soil (loess) is compacted by a combined wetting and deep explosion action along a borehole.
C. Ground improvement with admixtures or inclusions	C1. Vibro replacement or stone columns	Hole jetted into soft, fine-grained soil and back filled with densely compacted gravel or sand to form columns.
	C2. Dynamic replacement	Aggregates are driven into soil by high energy dynamic impact to form columns. The backfill can be either sand, gravel, stones or demolition debris.
	C3. Sand compaction piles	Sand is fed into ground through a casing pipe and compacted by either vibration, dynamic impact, or static excitation to form columns.
	C4. Geotextile confined columns	Sand is fed into a closed bottom geotextile lined cylindrical hole to form a column.
	C5. Rigid inclusions (or composite foundation)	Use of piles, rigid or semi-rigid bodies or columns which are either premade or formed in-situ to strengthen soft ground.
	C6. Geosynthetic reinforced column or pile supported embankment	Use of piles, rigid or semi-rigid columns/inclusions and geosynthetic girds to enhance the stability and reduce the settlement of embankments.
	C7. Microbial methods	Use of microbial materials to modify soil to increase its strength or reduce its permeability.

	C8. Other methods	Unconventional methods, such as formation of sand piles using blasting and the use of bamboo, timber and other natural products.
--	-------------------	--

Στη συνέχεια παρουσιάζονται όλες οι παραπάνω μέθοδοι βελτίωσης.

2.2.1 Στερεοποίηση

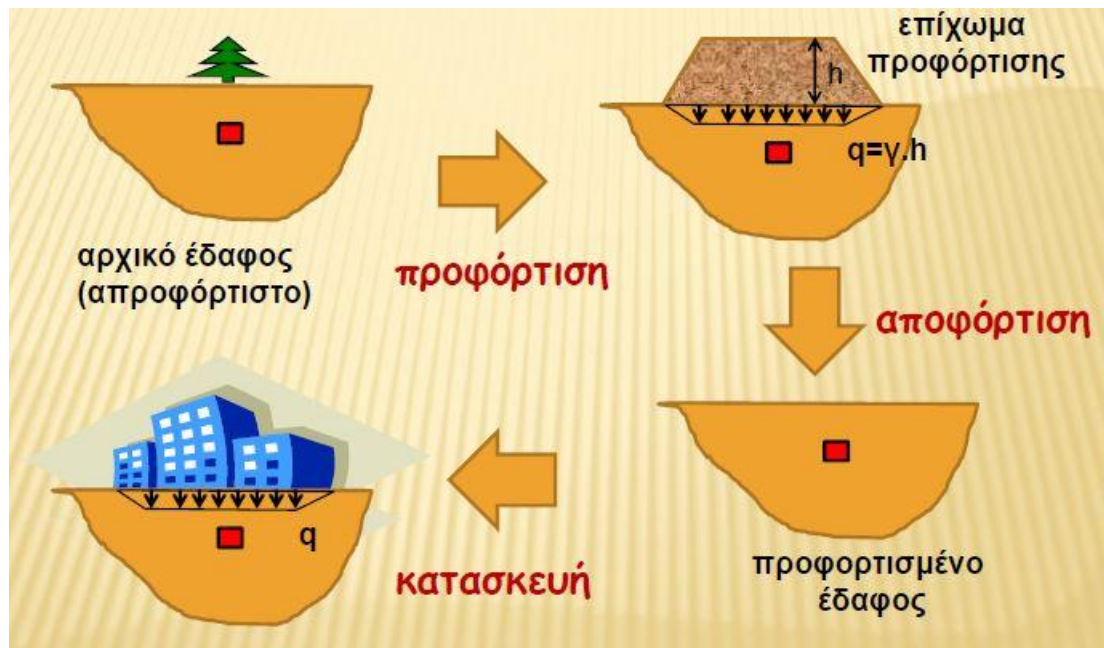
2.2.1.1 Προφόρτιση

Η μέθοδος της προφόρτισης συνιστάται στη συσσώρευση εδαφικού υλικού και την τοποθέτησή του με μορφή σωρών πάνω στην προς βελτίωση έκταση κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η στέγη του σωρού να καλύπτει τουλάχιστον το περίγραμμα της κατασκευής. Σκοπός της προφόρτισης είναι η επιβολή στο έδαφος φορτίων τουλάχιστον κατά 50% μεγαλύτερα από αυτά των κατασκευών.

Η μέθοδος της προφόρτισης εφαρμόζεται σε λεπτόκοκκα μαλακά εδάφη (κυρίως αργιλικά), στοχεύοντας στη στερεοποίησή τους. Αποτελεί τον πιο απλό και οικονομικό τρόπο βελτίωσης εδαφών, ενώ ως μειονέκτημα διακρίνεται η απαίτηση χρόνου. Η προφόρτιση εφαρμόζεται κυρίως σε έργα οδοποιίας αλλά και σε θεμελιώσεις κτιρίων, υπό την προϋπόθεση ότι τα φορτία της κατασκευής δεν θα είναι ιδιαίτερα συγκεντρωμένα.

Η μέθοδος συνίσταται στη συσσώρευση εδαφικού υλικού (επίχωμα προφόρτισης) και την τοποθέτησή του με μορφή σωρών επί της έκτασης που πρόκειται να βελτιωθεί (βλ. Εικόνα 2.7), για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται, ώστε το έδαφος να αποκτήσει την κατάλληλη αντοχή. Η μέθοδος είναι αποτελεσματική, εφόσον η τάση της προφόρτισης είναι μεγαλύτερη από την τάση προστερεοποίησης του εδάφους. Με άλλα λόγια, τα προσωρινά φορτία που θα τοποθετηθούν πρέπει να είναι μεγαλύτερα από εκείνα που εφαρμόστηκαν προγενέστερα στο έδαφος.

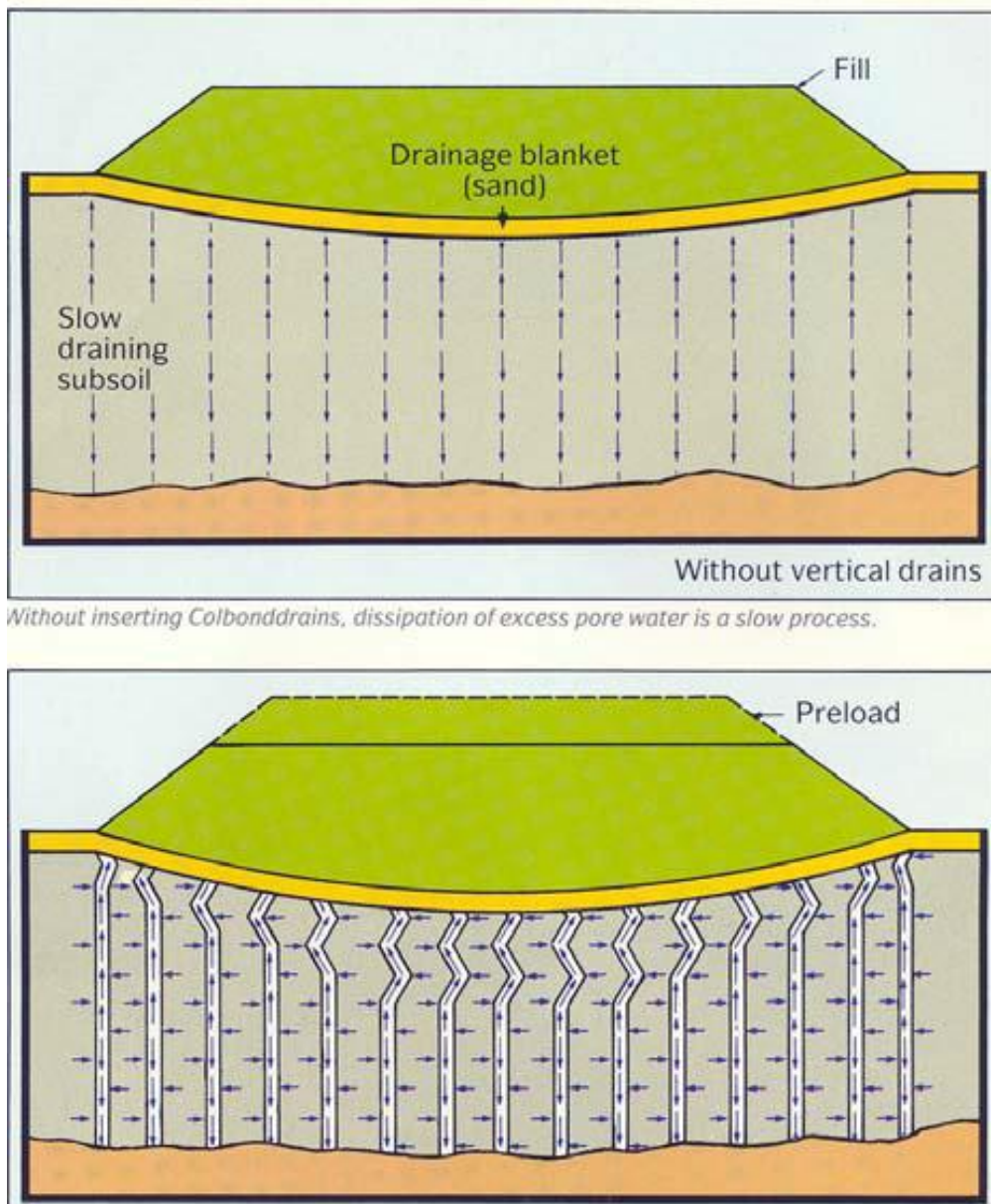
Σε περιορισμένες εκτάσεις η προφόρτιση μπορεί να εφαρμοστεί με την κατασκευή δεξαμενής και την πλήρωσή της με νερό. Σε γραμμικά έργα μικρού πλάτους η προφόρτιση μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων. Επίσης εναλλακτικοί τρόποι προφόρτισης αποτελούν η κατάλληλη άντληση και ο υποβιβασμός της στάθμης του υπογείου νερού, καθώς και η επιφανειακή διαβροχή στεγνών χαλαρών αποθέσεων.



Εικόνα 2.7: Προφόρτιση εδάφους

2.2.1.2 Προφόρτιση με αμμοστραγγιστήρια

«Καθίζηση» δεν σημαίνει τίποτα περισσότερο από μείωση του όγκου των κενών του εδάφους. Στην περίπτωση κορεσμένου εδάφους, καθίζηση μπορεί να προκύψει μόνο με την απομάκρυνση του νερού που βρίσκεται μέσα στους πόρους του. Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ χαμηλή διαπερατότητα των αργιλικών εδαφών αντιλαμβάνεται κανείς ότι ο χρόνος που απαιτείται για να στραγγίσει το νερό από τους πόρους του εδάφους και να ολοκληρωθεί το φαινόμενο της στερεοποίησης μπορεί να είναι πολύ μεγάλος (ακόμα και δεκαετίες). Ο χρόνος αυτός είναι ανάλογος του τετραγώνου της απόστασης που πρέπει να διανύσει το νερό για να φθάσει σε ένα ελεύθερα στραγγιζόμενο στρώμα (π.χ. ένα πολύ εκτεταμένο στρώμα άμμου ή στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους). Κατά συνέπεια ένας τρόπος για να μειωθεί δραστικά ο απαιτούμενος χρόνος ολοκλήρωσης της στερεοποίησης (άρα και των καθιζήσεων), είναι η μείωση του μήκους της διαδρομής που θα πρέπει να διανύσει το νερό για να απομακρυνθεί από τους πόρους του εδάφους. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι τα περισσότερα εδάφη έχουν μεγαλύτερη διαπερατότητα κατά την οριζόντια διεύθυνση από ότι κατά την κατακόρυφη (συνήθως 2-5 φορές) λόγω της στρωσιγένειας που εμφανίζουν και της παρουσίας πολλών λεπτών ενστρώσεων ιλύος ή λεπτής άμμου. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο καλύτερος τρόπος για να μειωθεί ο χρόνος στερεοποίησης είναι να δοθεί η δυνατότητα στο νερό να αποστραγγίζει οριζόντια και σε μικρή απόσταση. Αυτό επιτυγχάνεται πολύ αποτελεσματικά με την τοποθέτηση εντός του εδάφους κατακόρυφων στραγγιστηρίων σε μικρή μεταξύ τους απόσταση, τα οποία επικοινωνούν με ένα οριζόντιο στρώμα μεγάλης διαπερατότητας (π.χ. ένα κοκκώδες στρώμα στην επιφάνεια του εδάφους, κάτω από το επίχωμα προφόρτισης – βλ. Εικόνες 2.8, 2.9 και 2.10). Έτσι το νερό των πόρων ρέει οριζόντια προς το πλησιέστερο στραγγιστήριο και από εκεί κατακόρυφα προς τη στρώση αποστράγγισης.



Εικόνα 2.8: Σχηματική απεικόνιση της ροής του νερού των πόρων και της εξέλιξης των καθιζήσεων χωρίς (άνω) και με τη χρήση (κάτω) κατακόρυφων γεωσύνθετων στραγγιστήριων

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε λεπτόκοκκα αργιλικά εδάφη, στα οποία η καθίζηση από δευτερεύουσα στερεοποίηση δεν είναι σημαντική. Τα στραγγιστήρια μπορεί να αποτελούνται είτε από αμμοπασσάλους ή χαλικοπασσάλους με συνήθη διάμετρο 0,50 - 1,00 m είτε από γεωσύνθετα στραγγιστήρια μορφής λωρίδας με σύνηθες πλάτος 100 mm. Τα τελευταία προτιμώνται λόγω των ακόλουθων πλεονεκτημάτων:

- Καθαρότερο εργοτάξιο
- Μικρότερη διατάραξη του εδάφους (ιδιαίτερα σημαντικό σε ευαίσθητες αργίλους)
- Χαμηλό κόστος
- Υψηλή ταχύτητα τοποθέτησης
- Εξασφάλιση συνέχειας στραγγιστηρίου
- Μικρότερη διακίνηση αδρανών υλικών.



Εικόνα 2.9: Τα κατακόρυφα γεωσύνθετα στραγγιστήρια τοποθετούνται μέσα στο έδαφος με τη βοήθεια ειδικού γερανού με κατακόρυφο οδηγό, σε μικρές μεταξύ τους αποστάσεις των 2 - 4 m

Ο απαιτούμενος κάρναβος θα προκύψει μετά από σχετικούς υπολογισμούς της χρονικής εξέλιξης του βαθμού στερεοποίησης (και κατ' επέκταση των καθιζήσεων) λόγω οριζόντιας στράγγισης, γενικά όμως οι συνήθεις κάρναβοι σε ανάλογες εφαρμογές είναι 1,00x1,00 m έως 2,00x2,00 m για τις φιλτροταινίες και 2,50x2,50 m έως 3,50x3,50 m για τους χαλικοπασσάλους.

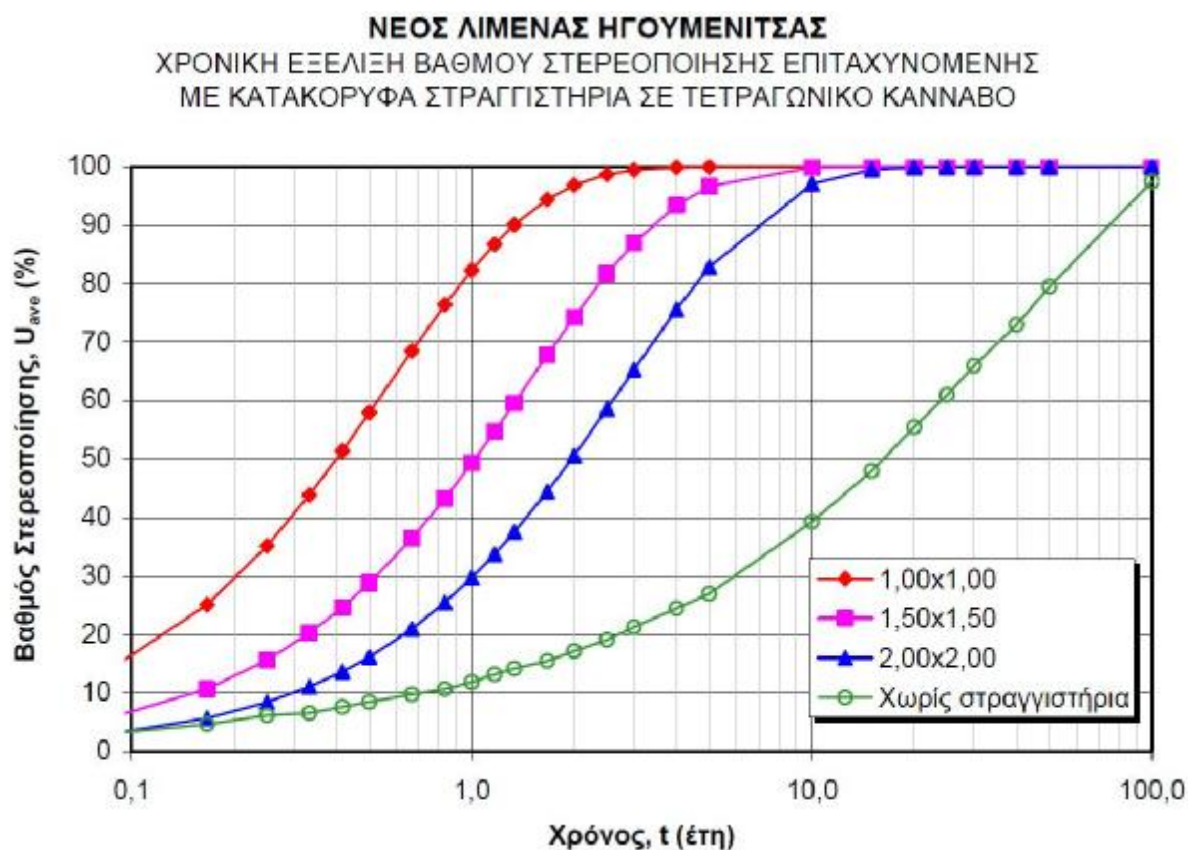


Εικόνα 2.10: Σχηματική διάταξη και τρόπος λειτουργίας των κατακόρυφων συνθετικών στραγγιστηρίων. Η αυξημένη οριζόντια διαπερατότητα και η μικρή απόσταση μεταξύ των πασσάλων περιορίζουν σημαντικά το χρόνο στερεοποίησης

Προκειμένου να γίνει παρακολούθηση των καθιζήσεων κατά τη διάρκεια της προφόρτισης, έτσι ώστε να αποφασιστεί η κατάλληλη χρονική στιγμή περάτωσής της, θα πρέπει να προβλεφθεί η τοποθέτηση πλακών καθίζησης («μαρτύρων») στη στάθμη εφαρμογής της προφόρτισης.

Στην Διάγραμμα 2.1 φαίνεται μία τυπική περίπτωση της χρονικής εξέλιξης της στερεοποίησης στο το νέο λιμένα Ηγουμενίτσας, τόσο χωρίς στραγγιστήρια όσο και με στραγγιστήρια σε τετραγωνικό κάνναβο πλευράς 1,00x1,00-1,50x1,50-2,00x2,00 m. Παρατηρούμε την ιδιαίτερα σημαντική μείωση του χρόνου που επιτυγχάνεται για την ολοκλήρωση του μεγαλύτερου μέρους του φαινομένου της στερεοποίησης με τη χρήση των στραγγιστηρίων, καθώς και τη σοβαρή επιρροή του καννάβου επί του χρόνου αυτού. Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να ολοκληρωθεί το 80% της στερεοποίησης απαιτούνται:

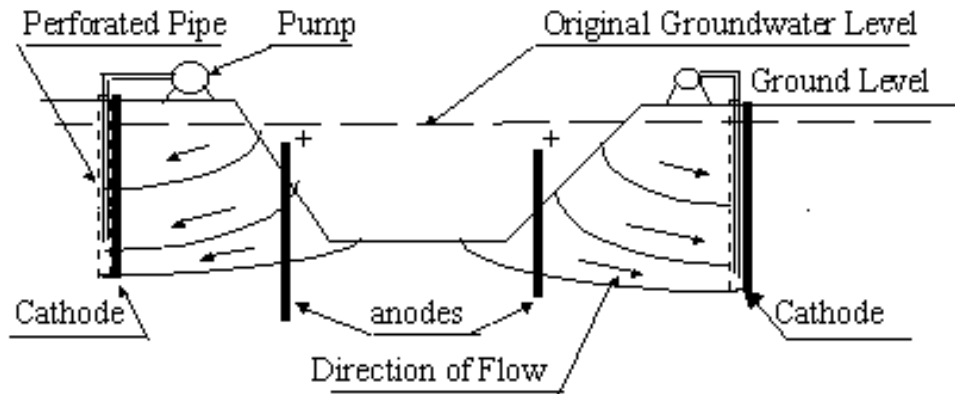
- 50 χρόνια περίπου χωρίς στραγγιστήρια.
- 4,5 χρόνια περίπου με στραγγιστήρια σε κάνναβο 2,00x2,00 m.
- 1 χρόνος περίπου με στραγγιστήρια σε κάνναβο 1,00x1,00 m.



Διάγραμμα 2.1: Χρονική εξέλιξη στερεοποίησης με και χωρίς κατακόρυφα στραγγιστήρια.

2.2.1.3 Ηλεκτρική όσμωση

Η μέθοδος συνίσταται στην δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλεί τη ροή του υπογείου νερού προς την κάθοδο. Αν μια άνοδος μπηχθεί στο έδαφος πλησίον του ορίου της εκσκαφής και η κάθοδος τοποθετηθεί αρκετά μακριά από αυτήν, το υπόγειο νερό ρέει από την εκσκαφή μακριά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.11. Κοντά στις καθόδους τοποθετούνται διάτρητοι σιδερένιοι σωλήνες που συγκεντρώνουν το νερό, το οποίο διαρρέει από την εκσκαφή προς το σωλήνα και από εκεί απομακρύνεται με άντληση.

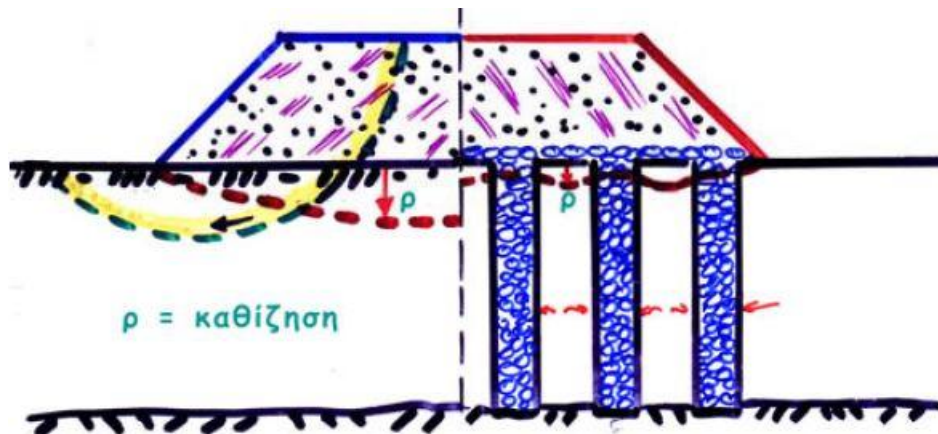


Εικόνα 2.11: Έλεγχος του υπόγειου νερού με τη μέθοδο της ηλεκτρο-όσμωσης

2.2.2 Οπλισμός του εδάφους

2.2.2.1 Λιθοπάσσαλοι ή χαλικοπάσσαλοι

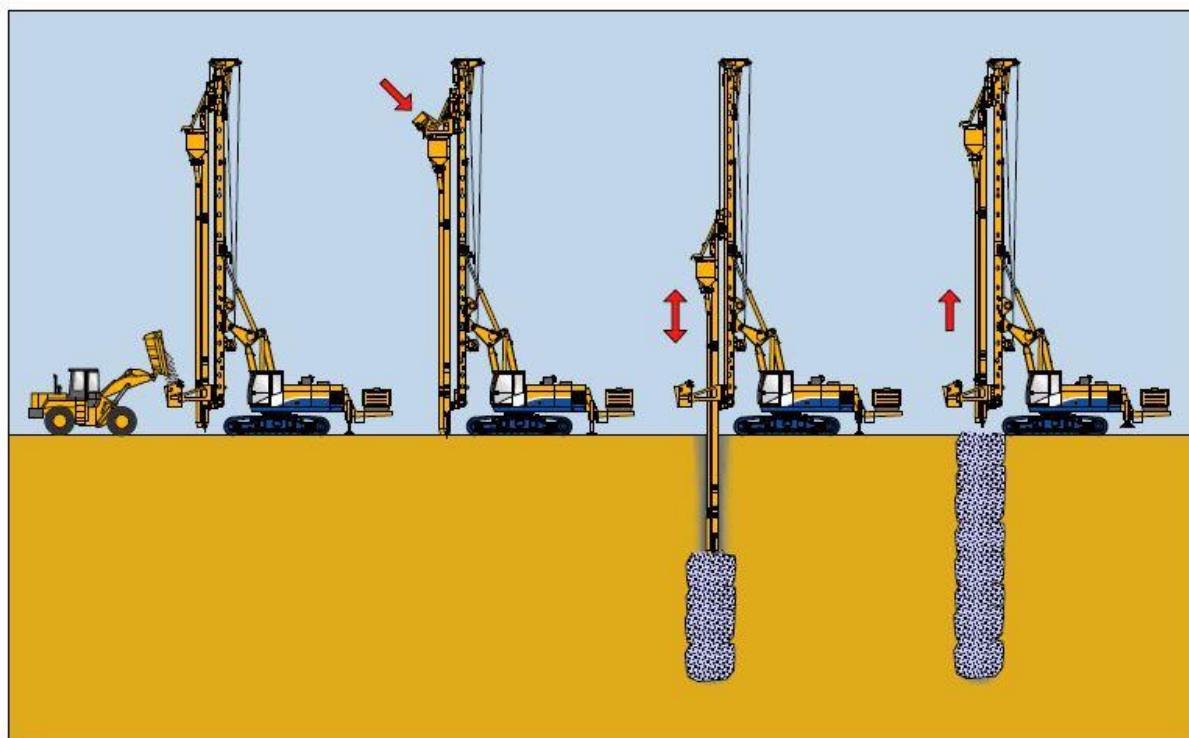
Η μέθοδος συνίσταται στη διάνοιξη κυκλικών οπών στο προβληματικό έδαφος με μήκος σημαντικό και την πλήρωσή τους με χάλικες ή με θραυστό υλικό λατομείου (βλ. Εικόνα 2.12). Σ' αυτήν την περίπτωση κρίσιμη είναι η αντοχή του ιδίου του υλικού του πασσάλου και όχι η μεταφορά του φορτίου από τους πασσάλους στο έδαφος.



Εικόνα 2.12: Χαλικοπάσσαλοι

Η τεχνική της βαθιάς δονητικής αντικατάστασης εφαρμόζεται σε συνεκτικά και συμπιεστά εδάφη (ιλώδη και αργιλικά), όπου η μέθοδος της βαθιάς δονητικής συμπίκνωσης δεν έχει αποτελέσματα.

Η μέθοδος συνίσταται στην έμπηξη δονητικής τορπίλης, με τη βοήθεια υπό πίεση νερού ή αέρα στην αιχμή της, μέχρι το επιθυμητό βάθος και στην εν συνεχεία ανάσυσή της κατά βήματα και πλήρωση του δημιουργούμενου διατηρήματος με θραυστά χαλίκια κατάλληλης διαβάθμισης. Η τροφοδοσία των χαλικιών γίνεται είτε από την αιχμή της βολίδας (bottom feed dry method) (βλ. Εικόνα 2.13), είτε από την επιφάνεια με φορτωτή (top feed wet method) (βλ. Εικόνα 2.14). Κατά την ανάσυσρη γίνεται σταδιακή συμπίκνωση των χαλικιών του χαλικοπασσάλου με μικρές διαδοχικές δονητικές επανεμπήξεις. Η επιτυγχάνομενη διάμετρος εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό και τη φύση και αντοχή του εδάφους, αλλά γενικά κυμαίνεται μεταξύ 0,70-1,00 m.



Εικόνα 2.13: Bottom Feed Method



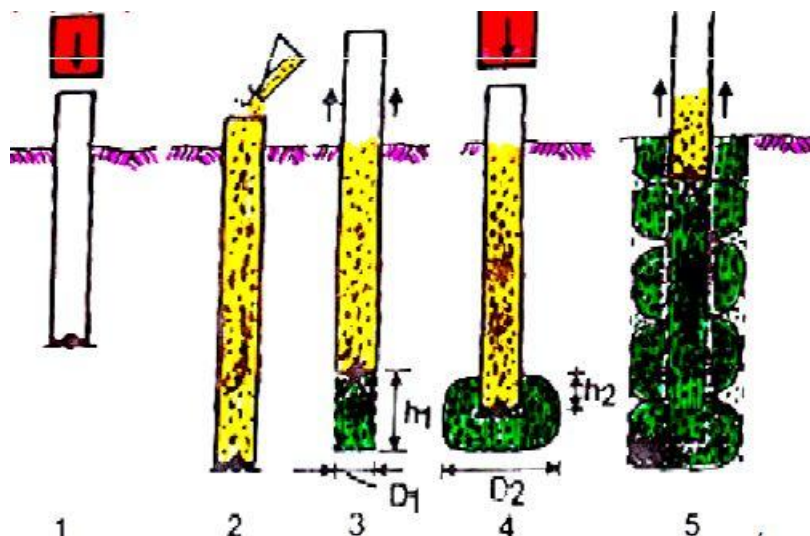
Εικόνα 2.14: Top feed method

Η κατασκευή χαλικοπασσάλων με την «ελληνική» μέθοδο ή μέθοδο έμπηξης κλειστού σωλήνα εφαρμόζεται στα ίδια εδάφη που εφαρμόζεται και η βαθιά δονητική αντικατάσταση [I.O.K., 2005(β)] και περιλαμβάνει τις εξής φάσεις εργασίας (Βλ. Εικόνα 2.15):

1. Έμπηξη μέσα στο έδαφος ενός άκαμπτου χαλύβδινου σωλήνα εξωτερικής διαμέτρου κατ' ελάχιστο 600 mm και ποματισμένου προσωρινά στο κάτω άκρο με ειδικό πώμα. Η

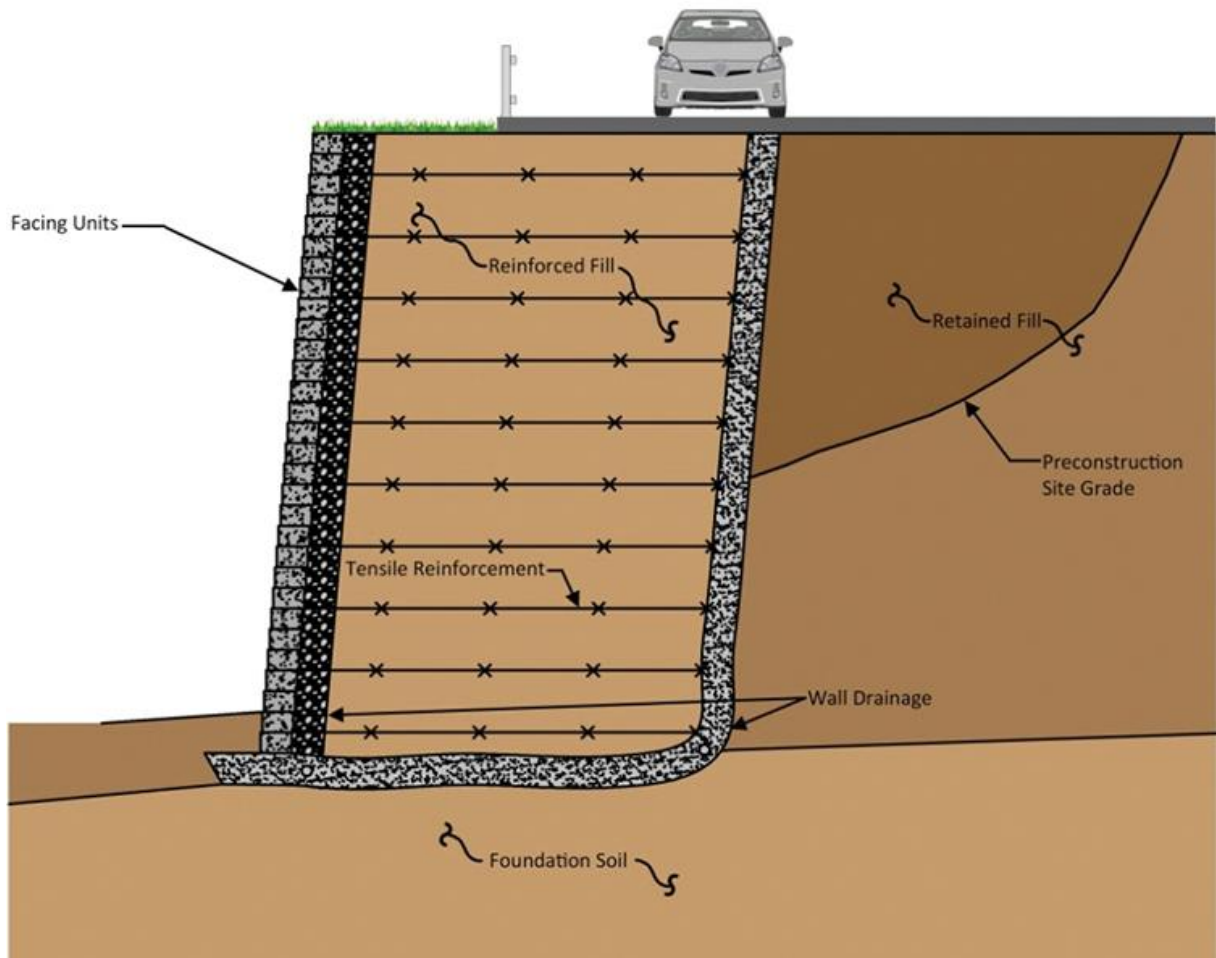
τοποθέτηση του σωλήνα γίνεται είτε δονητικά είτε κρουστικά, με κατάλληλο δονητή ή σφυρί. Το πωμάτισμα επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός αρθρωτά συνδεδεμένου και ανοιγόμενου πώματος (κλαπέ), κωνικού ή επίπεδου σχήματος, αποτελούμενου από ένα ή περισσότερα τμήματα που τοποθετείται μόνιμα στο κάτω άκρο του σωλήνα έμπηξης.

2. Ολοκλήρωση της έμπηξης (μέχρι την τελική στάθμη) και πλήρωση του εσωτερικού του σωλήνα με κοκκώδες υλικό, με τη βοήθεια χοάνης που τοποθετείται στο άνω άκρο του σωλήνα.
3. Ελαφρά ανύψωση του σωλήνα σε προκαθορισμένο τμήμα $h_1 = H/n$, όπου H το συνολικό μήκος έμπηξης και n ακέραιος αριθμός, τέτοιος ώστε η τιμή του κλάσματος H/n να μην υπερβαίνει τα 1.25 - 1.75 m, γιατί διαφορετικά δεν γίνεται επαρκής συμπύκνωση ή και διεύρυνση. Η ανύψωση στοχεύει στο να ανοίξει το πώμα στην αιχμή του σωλήνα και το κοκκώδες υλικό να πληρώσει το αντίστοιχο τμήμα του διατρήματος, ερχόμενο σε άμεση επαφή με το έδαφος.
4. Στη συνέχεια λειτουργεί ξανά ο δονητής (ή το σφυρί έμπηξης) προκαλώντας μετατόπιση του σωλήνα προς τα κάτω κατά $h_2 = H/2n$, ούτως ώστε το πώμα να ξανακλείσει. Με την επανέμπηξη του σωλήνα συμπυκνώνεται το κοκκώδες υλικό και διευρύνεται συγχρόνως η διάμετρος του χαλικοπασσάλου από D_1 σε D_2 . Το μήκος ανύψωσης του σωλήνα θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μην υπάρχουν καταπτώσεις των τοιχωμάτων της οπής που μένει χωρίς επένδυση.
5. Εκτελούνται διαδοχικές ανυψώσεις και επανέμπηξεις του σωλήνα, έως ότου γίνει πλήρης ανύψωση του σωλήνα, πλήρωση του διατρήματος του σωλήνα με κοκκώδες υλικό και συμπύκνωσή του.



Εικόνα 2.15: Η "ελληνική" μέθοδος Bottom Feed

2.2.2.2 Οπλισμένο έδαφος



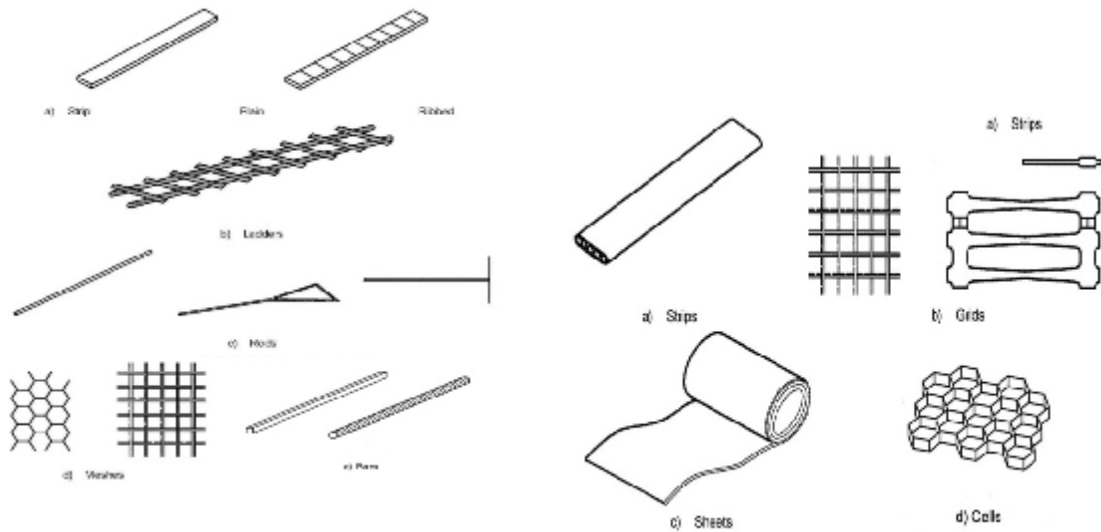
Εικόνα 2.16: Τοίχος αντιστήριξης από Οπλισμένη Γη

Το έδαφος μπορεί να βελτιωθεί με την εισαγωγή τοπικά στοιχείων οπλισμού. Αυτό μπορεί να γίνει με την εισαγωγή μεταλλικών λωρίδων μέσα στο έδαφος, που ονομάζεται Οπλισμένη Γη. Είναι η ιδανική μέθοδος κατασκευής σε εφαρμογές ευρέως φάσματος, ακόμα και κατασκευές μέσα σε νερό, όπως σε τοίχους αντιστήριξης, ακρόβαθρα γεφυρών, λιμενικούς τοίχους κλπ. (βλ. Εικόνα 2.16).

Η αρχή λειτουργίας είναι απλή και βασίζεται στις σημαντικές τριβές μεταξύ των μορίων του εδάφους και των ελασμάτων οπλισμού, που όταν έλθουν σε επαφή, σε συνδυασμό με ανάλογα διανεμημένα ελάσματα οπλισμού και υλικού επίχωσης παράγουν την Οπλισμένη Γη, μία σύνθεση υλικών με πολλά πλεονεκτήματα όπως:

- Μεγάλη αντίσταση σε στατικές και δυναμικές δυνάμεις
- Οι κατασκευές είναι ευέλικτες και για το λόγο αυτό προσαρμόζονται αρκετά αποτελεσματικά σε παραμορφώσεις κάτω από την επιφάνεια του εδάφους
- Η εφαρμογή είναι γρήγορη και απλή, προσφέροντας σημαντική οικονομία χρόνου εφαρμογής και κόστους.

Τα στοιχεία οπλισμού (βλ. Εικόνα 2.17) είναι κατασκευασμένα από γαλβανισμένο χάλυβα, ή συνθετικούς τάπητες, με τυπικές οριζόντιες στρώσεις, ανά 80 cm.



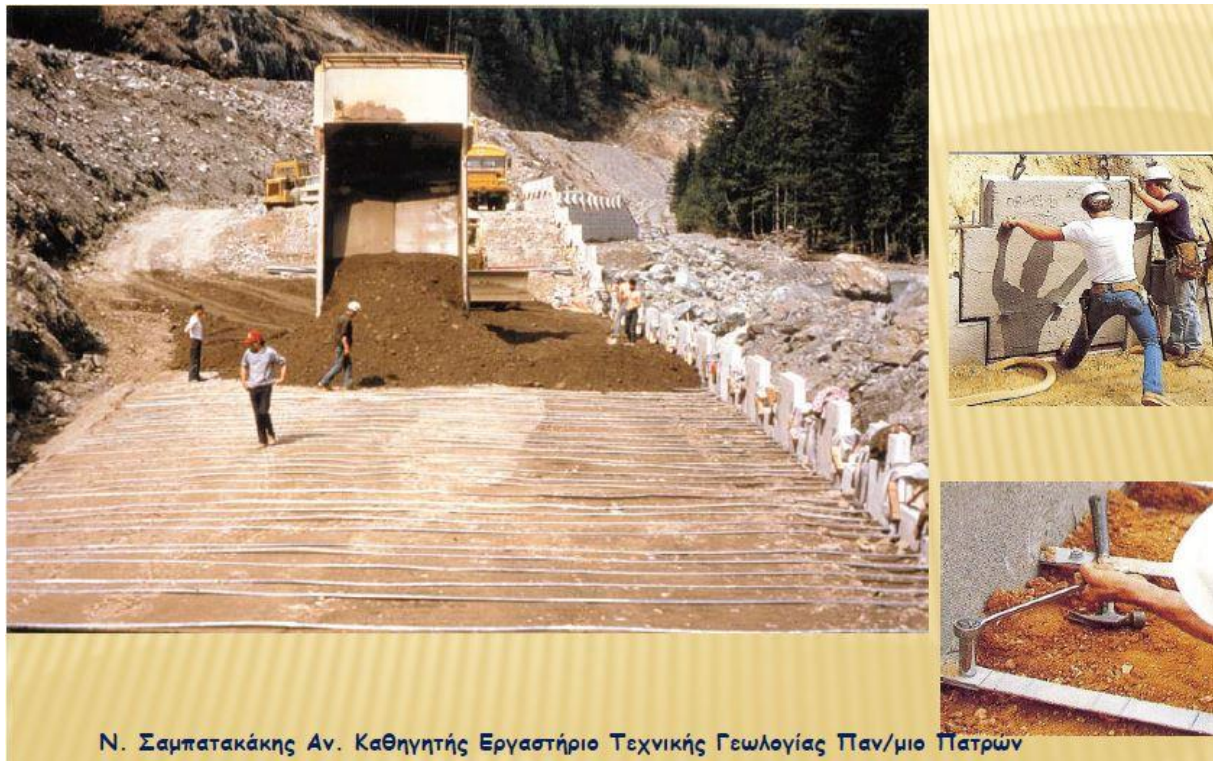
Εικόνα 2.17: Ελάσματα οπλισμού και γεωπλέγματα-γεωφάσματα που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο Οπλισμένης Γης

Τα στοιχεία πρόσοψης (βλ. Εικόνα 2.18) είναι κατασκευασμένα από σκυρόδεμα, και διαχωρίζονται με αρμούς, προσφέροντας ευελιξία, που είναι και ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες για την χρήση της Οπλισμένης Γης.



Εικόνα 2.18: Στοιχεία πρόσοψης που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο Οπλισμένης Γης.

Τα στοιχεία αυτά συνδέονται με τα ελάσματα οπλισμού, και τοποθετούνται εναλλάξ. Η διάταξη αυτή εξασφαλίζει τη συνάφεια των στοιχείων σε περίπτωση σημαντικής καθίζησης στο υπέδαφος και επίσης εξυπηρετεί στην τοποθέτηση των προκατασκευασμένων στοιχείων πρόσοψης. Τα προκατασκευασμένα στοιχεία πρόσοψης μπορούν σε συγκεκριμένες εφαρμογές να αντικατασταθούν με εναλλακτικά υλικά όπως ειδικό πλέγμα



Εικόνα 2.19: Τοποθέτηση μεταλλικών λαμών, πάκτωση στις πλάκες πρόσοψης, επίχωση και συμπίκνωση

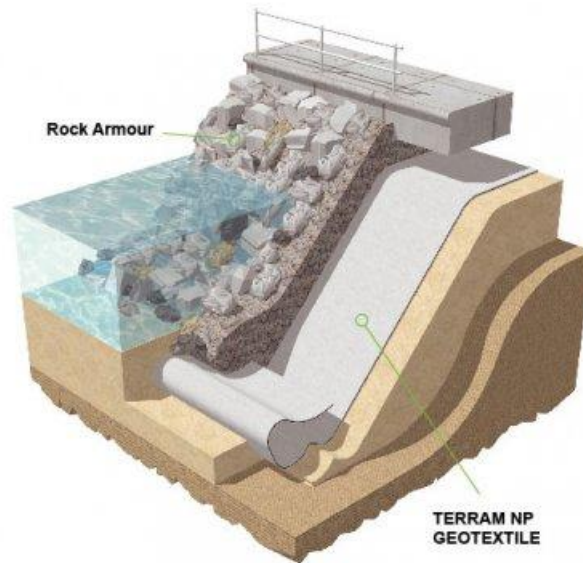
Η εύκολη και σύντομη συναρμολόγηση των κατασκευών Οπλισμένης Γής, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο γεγονός του ότι δεν χρειάζεται η χρήση οποιουδήποτε τύπου σκαλωσιάς ή καλουπιού. Το κάθε στοιχείο πρόσοψης τοποθετείται μεταξύ άλλων ήδη τοποθετημένων στοιχείων (βλ. Εικόνα 2.19).

2.2.2.3 Χρησιμοποίηση γεωϋφασμάτων και γεωπλεγμάτων

Τα γεωυφάσματα και τα γεωπλέγματα λειτουργούν ως οπλισμός μέσω του μηχανισμού διάτμησης και του μηχανισμού αγκύρωσής τους στο περιβάλλον έδαφος. Τα γεωυφάσματα κατασκευάζονται από θερμοπλαστικά υλικά όπως πολυαμίδες, πολυαιθυλένιο, πολυεστέρες, πολυπροπυλένιο, χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) και χλωριούχο πολυαιθυλένιο. Τα γεωπλέγματα κατασκευάζονται από πολυπροπυλένιο ή υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο.

Τα γεωυφάσματα χρησιμοποιούνται συνήθως:

- Σε έργα δικτύων μεταφορών (δρόμους, αεροδρόμια, σιδηροδρομικές γραμμές κ.ά.), στα οποία λειτουργούν ως διαχωριστικά ή/και φίλτρα σε περιοχές που αντιμετωπίζουν κινδύνους από υπόγεια νερά.
- Ως βασικά υλικά στη σχεδίαση και στην κατασκευή μιας ποικιλίας θαλάσσιων και υδραυλικών μηχανικών κατασκευών όπως σε επικαλύψεις, ύφαλους και έξαλους κυματοθραύστες, σωληνοειδείς κατασκευές και κατασκευές απόθεσης οργανικά και χημικά βεβαρυμένης λάσπης (βλ. Εικόνα 2.20).
- Ως υλικά στην ενίσχυση κατασκευών, όπως σε τοίχους αντιστήριξης, πρανή και αναχώματα, στις οποίες παρέχουν ελαστική αντίσταση στο έδαφος, ενισχύοντας τα χαρακτηριστικά του.



Εικόνα 2.20: Γεωφάσματα σε κατασκευή κυματοθραύστη



Εικόνα 2.21: Χρήση γεωπλεγμάτων στην ενίσχυση και σταθεροποίηση πρανών

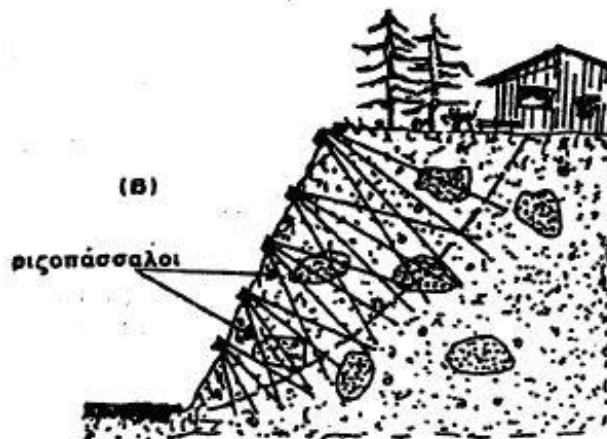
Η σταθεροποίηση εδαφών με τη χρήση δύσκαμπτων διαξονικών γεωπλεγμάτων αποτελεί μια σύγχρονη, γρήγορη και οικονομική μέθοδο, η οποία λαμβάνει χώρα ολοκληρωτικά στην επιφάνεια του ασθενούς εδάφους, χωρίς να απαιτείται η εκσκαφή ή οποιαδήποτε άλλη αναταραχή του υφιστάμενου, «ασθενούς», εδαφικού υλικού. Στρώσεις διαξονικών γεωπλεγμάτων τοποθετούνται απευθείας στην επιφάνεια του ασθενούς εδάφους και έπειτα καλύπτονται με στρώσεις συμπυκνωμένου κοκκώδους υλικού, κατάλληλου μεγέθους και καλής διαβάθμισης (βλ. Εικόνες 2.22, 2.23).



Εικόνα 2.23: Τοποθέτηση γεωπλεγμάτων στην επιφάνεια «ασθενούς» εδάφους

2.2.2.4 Ριζοπάσσαλοι (Root Piles)

Οι ριζοπάσσαλοι εφαρμόζονται σε συνεκτικά εδάφη, συνήθως κατακερματισμένα και χαρακτηρίζονται από υψηλή ταχύτητα κατασκευής. Για τη διασωλήνωση της οπής δεν γίνεται χρήση σωλήνα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται στο σώμα του πασσάλου ανωμαλίες και ριζώματα, στα οποία οφείλεται ο χαρακτηρισμός του. Η διάμετρος των πασσάλων κυμαίνεται μεταξύ 75 και 250 mm και ο οπλισμός αποτελείται από μια μόνο κεντρική ράβδο, όταν η διάμετρος είναι μικρότερη των 140 mm, ενώ αποτελείται από κλωβό, όταν η διάμετρος είναι μεγαλύτερη.



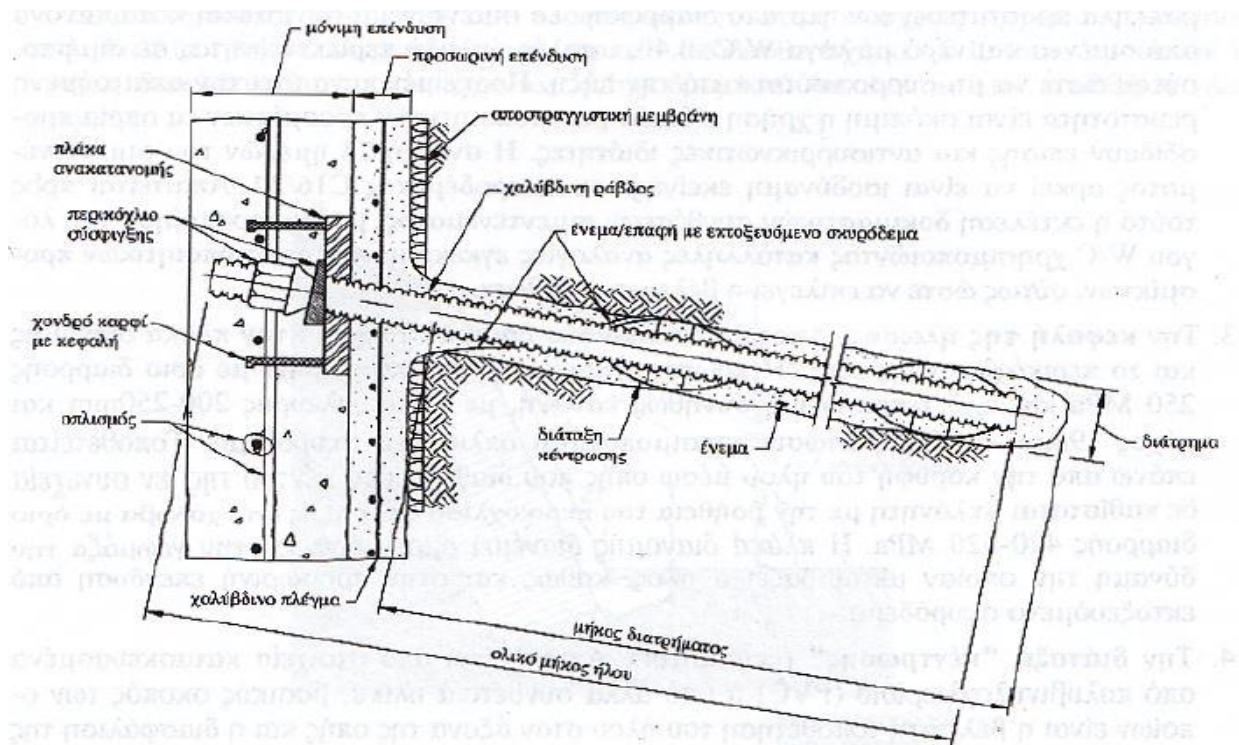
Εικόνα 2.24: Ενίσχυση εδάφους και αποφυγή κατολίσθησης με χρήση ριζοπασσάλων

2.2.2.5 Εδαφοηλώσεις (Soil nailing)

Ως εδαφοήλωση (soil nailing) νοείται η εγκατάσταση ράβδων σε εδαφομάζα με σκοπό την ενίσχυση ή την διατήρηση της ισορροπίας της μέσω ανάληψης εφελκυστικών δυνάμεων και ενδεχομένως διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών. Οι ράβδοι είναι κατά κανόνα χαλύβδινες, μη-προεντεταμένες και έχουν μήκος 1.5m ή μεγαλύτερο, εισάγονται συνήθως στην εδαφομάζα σε προϋπάρχον διάτρημα, πακτώνονται δε σε όλο το μήκος τους με ενεμάτωση τσιμεντενέματος ή ρητινών (drilled-ground rails) σπανιότερα εισάγονται με έμπηξη και δεν ενεματώνονται (driven nails) (βλ. Εικόνες 2.25, 2.26).



Εικόνα 2.25: Εδαφοήλωση



Εικόνα 2.26: Λεπτομέρεια εδαφοήλωσης

2.2.3 Συμπύκνωση

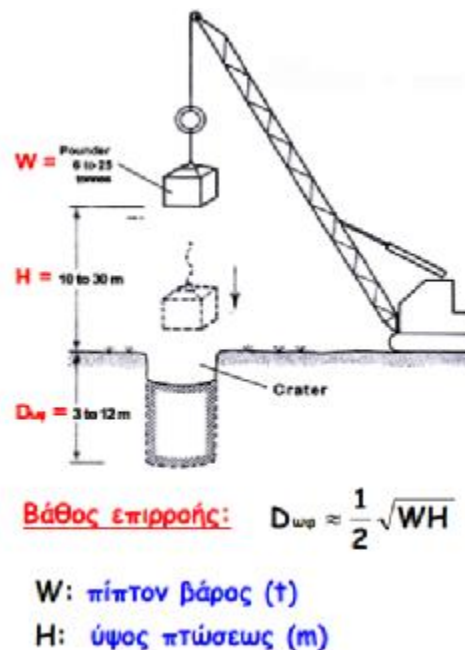
2.2.3.1 Δυναμική συμπύκνωση

Η δυναμική συμπύκνωση είναι μία μέθοδος βελτίωσης του εδάφους κατά την οποία έχουμε την πτώση ενός μεγάλου βάρους (της τάξης των 5-20 tn), από ύψος 15-20 m με τη βοήθεια κατάλληλου γερανού (βλ. Εικόνες 2.27, 2.28). Το βάρος είναι συνήθως τετραγωνικής ή κυκλικής μορφής, κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα ή μεταλλικές πλάκες συγκολλημένες μεταξύ τους. Πριν την έναρξη εφαρμογής της μεθόδου, διαστρώνεται στο χώρο του έργου εξυγιαντική στρώση πάχους 0,30-1,00 m. Η πτώση του βάρους γίνεται σε τετραγωνικό καννάβο πλευράς 5-10 m, εφαρμόζοντας 5-10 κρούσεις σε κάθε κορυφή καννάβου, με διαδοχικά περάσματα από όλες τις κορυφές. Ο σκοπός είναι να δημιουργηθεί σε κάθε κορυφή του καννάβου ένας «κρατήρας» βάθους 0,50-2,00 m, ο οποίος γεμίζεται μετά από κάθε πέρασμα του βάρους. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την επίτευξη της

βελτίωσης του επιθυμητού πάχους. Στην περίπτωση εφαρμογής της δυναμικής συμπίκνωσης, συνήθως προβλέπεται μετά τη συμπίκνωση η διάστρωση εξυγιαντικής στρώσης πάχους τουλάχιστον 1,00 m, από καλά συμπυκνωμένο θραυστό αμμοχάλικο, για την καλύτερη διανομή των φορτίων.



Εικόνα 2.27: Εφαρμογή της μεθόδου δυναμικής συμπίκνωσης

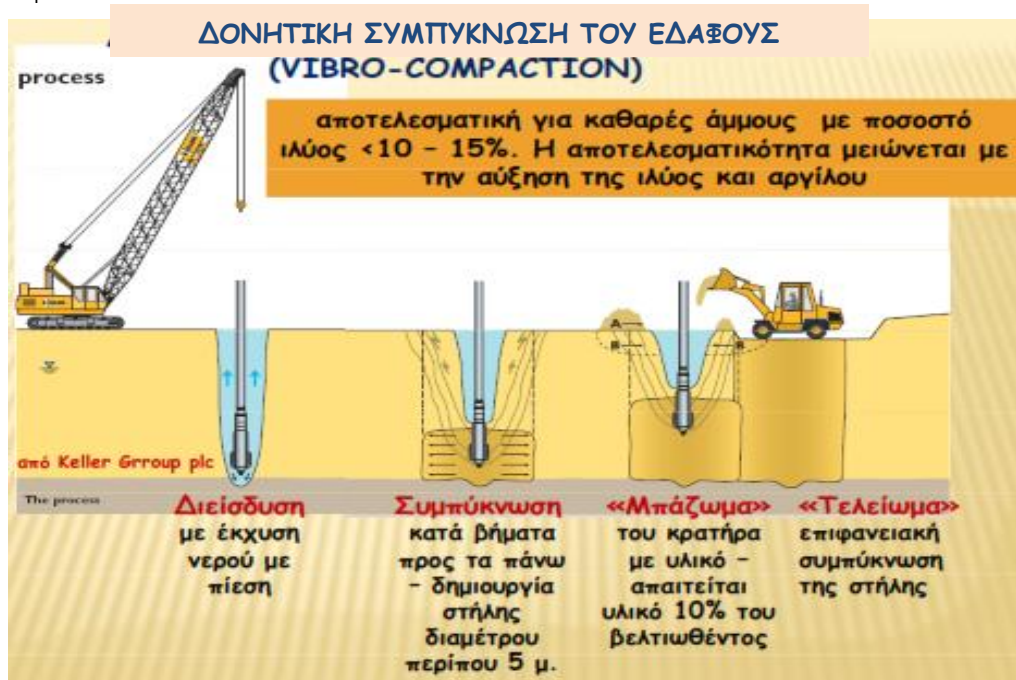


Εικόνα 2.28: Χαρακτηριστικά μεγέθη της μεθόδου δυναμικής συμπίκνωσης

Η μέθοδος προσφέρεται καλύτερα για χαλαρά κοκκώδη έως ιλυώδη υλικά και επιχώσεις από μικτά υλικά. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου μειώνεται σημαντικά στην περίπτωση αργίλων μέσης ως υψηλής πλαστικότητας ($LL > 30\%$, $PI > 10\%$ - Mitchell, 1988) και στην περίπτωση που ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε βάθος μικρότερο από 2,00 m (Mitchell, 1988).

2.2.3.2 Πάσσαλοι συμπύκνωσης (Δονητική συμπύκνωση)

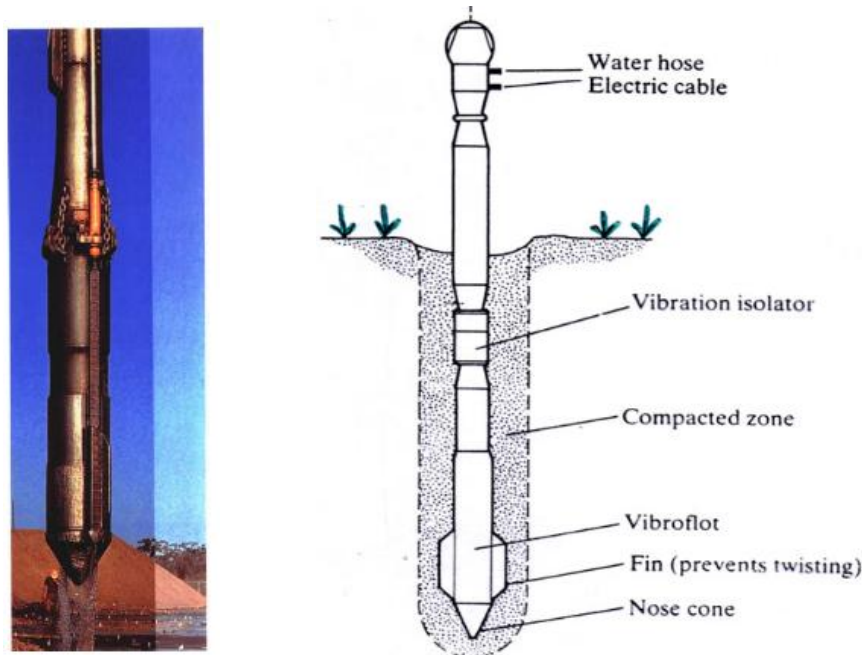
Η δονητική συμπύκνωση συνίσταται στην εισαγωγή δονητή σε χαλαρά, μη συνεκτικά εδάφη, στα οποία προκαλεί ακτινωτή συμπύκνωση. Η μέθοδος μπορεί να πραγματοποιηθεί με επιβολή κατακόρυφης ή οριζόντιας ταλάντωσης στο έδαφος. Η δονητική συμπύκνωση είναι δυναμικό φαινόμενο και επομένως το αποτέλεσμα δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της φυγοκέντρου δυνάμεως και από το στατικό βάρος της μηχανής, αλλά και από τη συχνότητα διέγερσης, τη μορφή και την ίδια συχνότητα του εδάφους. Κατά συνέπεια, τα στοιχεία λειτουργίας (συχνότητα διέγερσης, αντίβαρο, φυγόκεντρη δύναμη και στατικό βάρος συμπυκνωτή) πρέπει να προσδιορίζονται με δοκιμές επάνω στο υπό συμπύκνωση υλικό. Οι μέθοδοι βαθιάς δονητικής συμπύκνωσης είναι αποτελεσματικές για (καθαρές) άμμους με ποσοστό ιλύος $\leq 10\% - 15\%$ και ποσοστό αργίλου $\leq 5\%$. Η αποτελεσματικότητά τους μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό ιλύος και ιδιαίτερα το ποσοστό αργίλου. Σε έργα θεμελίωσης η μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί με μερική αντικατάσταση του εδάφους από υλικό, το οποίο κατόπιν μπορεί να αποτελέσει τη βάση της θεμελίωσης. Αυτές είναι η μέθοδος της βαθιάς δονητικής συμπύκνωσης (Vibro-compaction) (βλ. Εικόνα 2.29) και η μέθοδος της βαθιάς δονητικής αντικατάστασης (Vibro-replacement), που αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.2.2.1.



Εικόνα 2.29: Μέθοδος βαθιάς δονητικής συμπύκνωσης (Vibro-compaction)

Η διαδικασία για συμπύκνωση με τη μέθοδο της βαθιάς δονητικής συμπύκνωσης είναι η εξής: η δονητική στήλη (το σύνολο της δονητικής τορπίλης και στελεχών αποτελούμενων από απλούς χαλύβδινους σωλήνες) τοποθετείται σε κατακόρυφη θέση με τη βοήθεια ανυψωτικού γερανού στο σημείο όπου πρόκειται να εφαρμοστεί η δονητική συμπύκνωση (βλ. Εικόνα 2.30). Με το ίδιο βάρος της δονητικής στήλης, τη βοήθεια νερού που εκτοξεύεται από τα ακροφύσια στην αιχμή του δονητή και σε συνδυασμό με τη δόνηση που επιβάλλεται, η δονητική στήλη εισέρχεται στο έδαφος μέχρι το επιθυμητό βάθος, διανοίγοντας διάτρημα

σημαντικής διαμέτρου (0.7 - 0.9 m). Η ροή του νερού διατηρεί ανοιχτό κανάλι κατά μήκος των πλευρών του δονητή, επιτρέποντας στο κοκκώδες υλικό που θα διοχετευτεί από την επιφάνεια να φτάνει στο χείλος και ταυτόχρονα αποτρέπει από το να κολλήσει ο δονητής. Αφού η δονητική στήλη φτάσει στο επιθυμητό βάθος αρχίζει η διαδικασία συμπίκνωσης με ανιόντα βήματα της τάξεως των 30 έως 60 cm μέχρι την επιφάνεια, με μειωμένη παροχή νερού. Οι ταλαντώσεις του δονητή οδηγούν στην καλύτερη συμπίκνωση του εδάφους, ενώ ταυτόχρονα διοχετεύεται με σταθερό ρυθμό κοκκώδες υλικό από την επιφάνεια για την πλήρωση των κενών. Ο ρυθμός ανασυρσης του δονητή εξαρτάται από τον επιδιωκόμενο βαθμό συμπίκνωσης, τον τύπο του εδάφους αλλά και του εξοπλισμού και πρέπει να συμβαδίζει με το ρυθμό παροχής του εισαγόμενου υλικού. Η παραπάνω διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας συμπυκνωμένης εδαφικής στήλης με διάμετρο που κυμαίνεται από 2 έως 4 m, αναλόγως των συνθηκών (Ανδρέου, 2009).



Εικόνα 2.30: Δονητική τορπίλη που χρησιμοποιείται στη μέθοδο της βαθιάς δονητικής συμπίκνωσης

2.2.3.3 Μέθοδοι μαζικής δόνησης

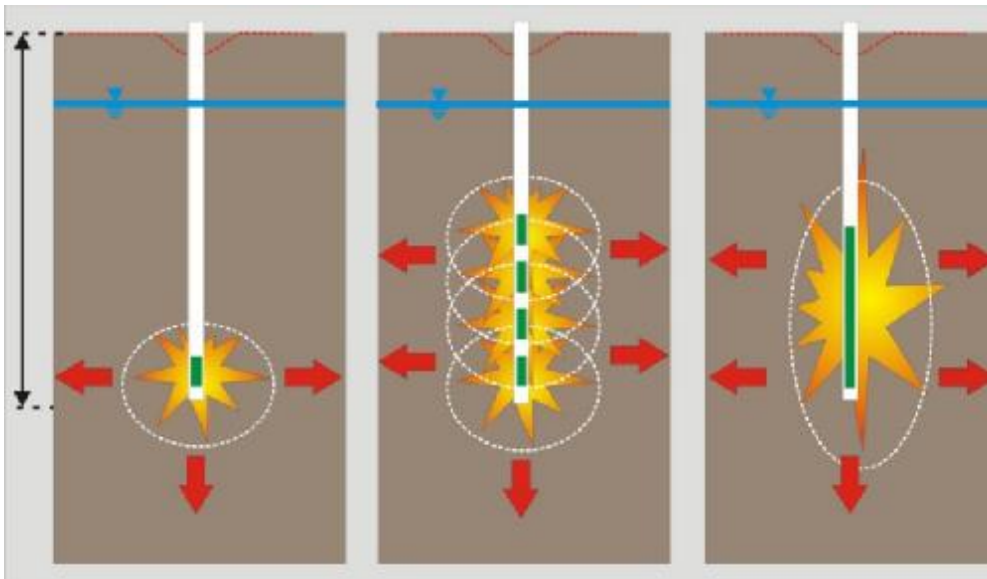
Η μέθοδος μαζικής δόνησης συνίσταται στην εισαγωγή δονητή σε χαλαρά, μη συνεκτικά εδάφη όπου προκαλεί ακτινωτή συμπίκνωση.

2.2.3.4 Συμπύκνωση με εκρήξεις

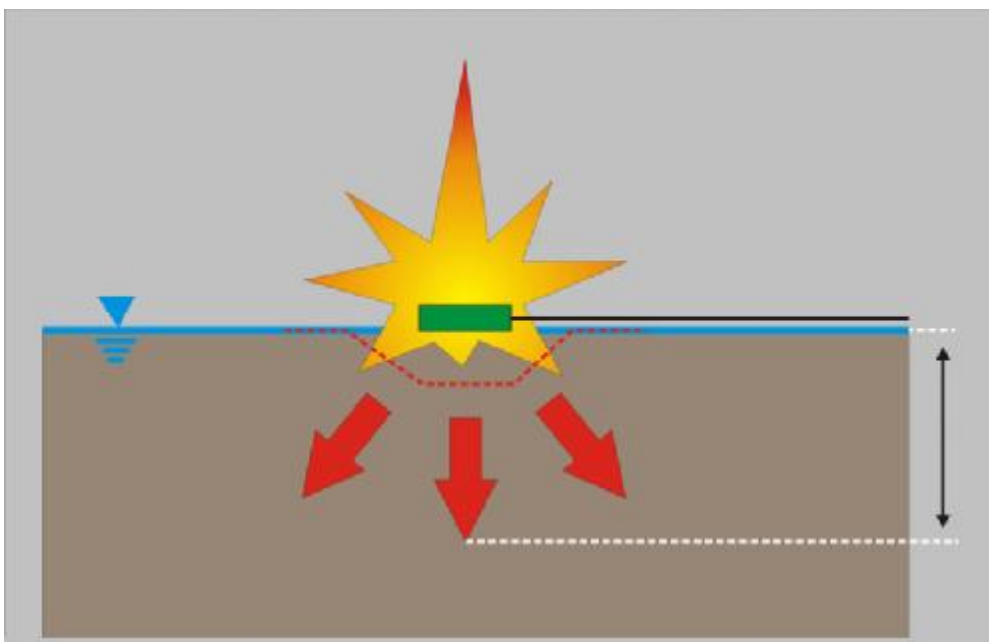
Σε δίκτυο γεωτρήσεων τοποθετείται εκρηκτική ύλη που κατά την έκρηξη δημιουργεί διαμήκη και εγκάρσια κύματα, που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητας του εδάφους, κάτω από το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων. Η συμπύκνωση με εκρήξεις πραγματοποιείται με πυροδότηση εκρηκτικών μέσα στο έδαφος (βλ. Εικόνα 2.31) ή στην επιφάνειά του (βλ. Εικόνα 2.32). Η συμπύκνωση με εκρήξεις έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορα έργα σε όλο τον κόσμο τα τελευταία 80 χρόνια. Η συμπύκνωση με εκρήξεις περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός εκρηκτικού φορτίου στο βάθος μιας γεώτρησης σε χαλαρό χώμα (συνήθως σε αργιλώδη άμμο ή άμμο και χαλίκια) και στη συνέχεια η πυροδότηση του. Πολλές εκρήξεις πυροδοτούνται μαζί, με καθυστέρηση μεταξύ τους για την ενίσχυση της κυκλικής φόρτισης, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τη μέγιστη επιτάχυνση. Συχνά, τα εκρηκτικά τοποθετούνται σε στρώσεις σε μία γεώτρηση οι οποίες διαχωρίζονται με χαλίκι ενδιάμεσα ώστε να

προλαμβάνεται συμπαθητική έκρηξη (πυροδότηση εκρηκτικών φορτίων από το κρουστικό κύμα των άλλων).

Η συμπίεση με εκρήξεις είναι ελκυστική μέθοδος, διότι τα εκρηκτικά είναι μια φθηνή πηγή εύκολα μεταφερόμενης ενέργειας και επιτρέπει την συμπύκνωση με σημαντική εξοικονόμηση σε σχέση με άλλες εναλλακτικές μεθόδους. Μόνο εξοπλισμός μικρής κλίμακας είναι απαραίτητος (π.χ. γεωτρύπανο), ελαχιστοποιώντας το κόστος κινητοποίησης και επιτρέποντας την εργασία σε δύσκολες συνθήκες. Η συμπίεση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε βάθη μεγαλύτερα από αυτά που μπορούν να φθάσουν τα συμβατικά εργαλεία επεξεργασίας του εδάφους.



Εικόνα 2.31: Συμπύκνωση με εκρήξεις σε βάθος



Εικόνα 2.32: Συμπύκνωση με εκρήξεις στην επιφάνεια του εδάφους

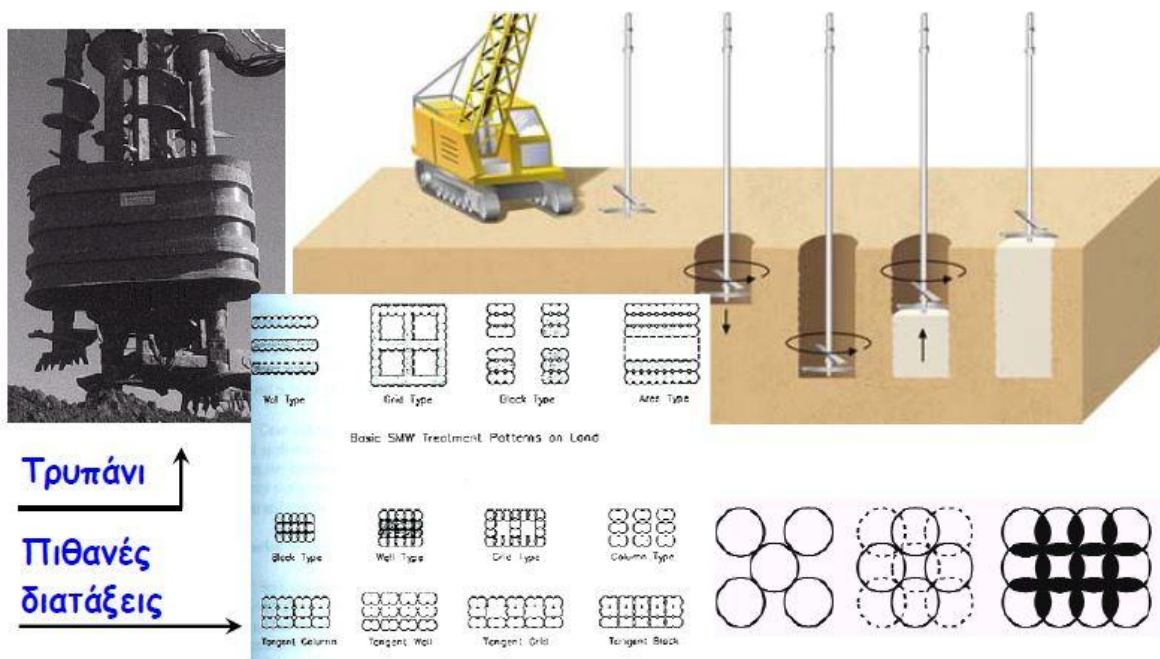
Οι περισσότερες εκρηκτικές συμπιέσεις γίνονται για την πρόληψη ρευστοποίησης και χρησιμοποιούνται σε χαλαρά εδάφη κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα (και σε βάθος περίπου 50 m). Ωστόσο, η συμπίεση αυξάνει και την ακαμψία του εδάφους και την αντοχή του και η εκρηκτική συμπίεση έχει ευρείες εφαρμογές γενικά για τη βελτίωση του εδάφους.

2.2.4 Σταθεροποίηση με ανάμιξη του εδάφους με άσβεστο ή τσιμέντο (Χημική σταθεροποίηση)

2.2.4.1 Βαθεία ανάμιξη (Deep mixing)

Η μέθοδος συνίσταται στη διείσδυση περιστροφικά εντός του εδάφους ειδικού στελέχους, μέχρι το επιθυμητό βάθος, το οποίο κατά την ανύψωσή του περιστρέφεται και ανεβοκατεβαίνει, παροχετεύοντας στο έδαφος τσιμέντο ή υδράσβεστο, σε υγρή ή ξηρή μορφή, το οποίο αναμιγνύεται με το έδαφος διαμορφώνοντας έτσι κατακόρυφα στοιχεία μεγαλύτερης αντοχής (βλ. Εικόνα 2.34).

Η μέθοδος αυτή είναι ταχεία κατά την κατασκευή της, έχει όμως το μειονέκτημα της αβεβαιότητας του αποτελέσματος, διότι δεν είναι εξασφαλισμένη απόλυτα η αντοχή του τελικού μίγματος εδάφους/βελτιωτικού, η οποία εξαρτάται από παράγοντες όπως την αναλογία νερού/βελτιωτικού, τη φύση του εδάφους κ.ά.



Εικόνα 2.34: Βελτίωση του εδάφους με Βαθεία Εδαφική Ανάμιξη

2.2.4.2 Υποβάσεις δρόμων

Στον παρακάτω Πίνακα 2.3 φαίνονται οι διάφοροι τρόποι σταθεροποίησης του εδάφους οδοστρωσίας, ποιες εδαφικές ιδιότητες επηρεάζουν και ποιο αποτέλεσμα έχουν σε αυτό, καθώς και σε ποια τμήματα του οδοστρώματος συνίσταται να εφαρμοσθούν.

Πίνακας 2.3: Σταθεροποίηση εδαφών οδοστρώσας

ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ, ΑΣΒΕΣΤΟ, ΑΣΦΑΛΤΟ Ή ΑΠΛΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ (ΚΟΛΙΑΣ 1979)			
Είδος σταθεροποίησης	Επηρεαζόμενες εδαφικές ιδιότητες	Αποτελέσματα σταθεροποίησης	Θέση σταθεροποιημένης στρώσης στο οδόστρωμα
Μηχανική σταθεροποίηση	<ul style="list-style-type: none"> - Κοκκομετρική διαβάθμιση - Πλαστικότητα - Περιεχόμενη υγρασία 	Βελτίωση της ικανότητας για συμπίκνωση και άλλων ιδιοτήτων του μείγματος που εξαρτώνται από τις αρχικές ιδιότητες των υλικών.	Βάση - Υπόβαση (ανεπαρκής για βάση δρόμων βαριάς κυκλοφορίας).
Σταθεροποίηση με άσβεστο	<ul style="list-style-type: none"> - Περιεχόμενη υγρασία - Όρια Atterberg - Δομή του εδάφους 	Δυνατότητα συμπίκνωσης με αυξημένη υγρασία. Μόνιμη ελάττωση της ευπάθειας στις επιδράσεις του νερού και του παγετού. Αύξηση αντοχής.	Υπέδαφος - Υπόβαση. Σπανιότερα για βάση δρόμων ελαφράς κυκλοφορίας.
Σταθεροποίηση με άσφαλτο	<ul style="list-style-type: none"> - Αντοχή 	Δημιουργία εύκαμπτης στρώσης, με αυξημένη φέρουσα ικανότητα, ανθεκτική στις επιδράσεις του νερού και του παγετού.	Κυρίως για βάση, σπανιότερα για υπόβαση.
Σταθεροποίηση με τσιμέντο	<ul style="list-style-type: none"> - Αντοχή - Δομή του εδάφους 	Δημιουργία στρώσης με αυξημένη φέρουσα ικανότητα, ανθεκτική στις επιδράσεις του νερού και του παγετού.	Βάση, υπόβαση, υπέδαφος. Αυτοδύναμα οδοστρώματα ελαφράς κυκλοφορίας που φέρουν λεπτή ασφαλτική επίστρωση.

2.2.4.3 Επικάλυψη πρανών με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι ένα ευπροσάρμοστο υλικό, το οποίο έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Είναι ένα υλικό που προσφέρει υψηλή θλιπτική αντοχή, έχει καλή αντίσταση στη διάβρωση και τις χημικές ουσίες, καλή πρόσφυση με το υπάρχον σκυρόδεμα, με το χάλυβα, τον βράχο. Μπορεί να πάρει εύκολα οποιοδήποτε σχήμα και περίγραμμα και να εφαρμοστεί χωρίς ξυλότυπο.

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πλεονεκτεί σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα σε συνθήκες όπου η πρόσβαση είναι δύσκολη, όπου απαιτούνται λεπτά στρώματα ή μεταβλητά πάχη. Αποτελεί σκυρόδεμα νέας τεχνολογίας που είναι περισσότερο γνωστό με τον Αγγλικό όρο GUNITE και πρώτη φορά άρχισε να εφαρμόζεται στην Ελλάδα από τους σεισμούς της Θεσσαλονίκης το 1978.



Εικόνα 2.33: Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Gunité)

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εφαρμόζεται κυρίως για επισκευές κτιρίων, στους μανδύες δομικών στατικών στοιχείων υποστυλωμάτων δοκών πλάκες και στην ενίσχυση φερουσών τοιχοποιιών και λιθοδομών (βλ. Εικόνα 2.33). Στην οδοποιία το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (gunité) εφαρμόζεται στην αντιστήριξη πρανών και στην κατασκευή υπόγειων σηράγγων (τούνελ).

Σε αντίθεση με το γνωστό έγχυτο σκυρόδεμα το μίγμα αδρανών τσιμέντου παρασκευάζεται ως ξηρό μίγμα με ελάχιστη υγρασία (και με αυτό τροφοδοτείται η μηχανή του GUNITE). Εν συνέχεια και με την βοήθεια ισχυρού αεροσυμπιεστού το ξηρό μίγμα από τη μηχανή του GUNITE μέσω ελαστικού σωλήνα μεταφέρεται και εκτοξεύεται στην επιφάνεια που πρόκειται να ενισχύσουμε. Στην άκρη του ελαστικού σωλήνα υπάρχει μηχανισμός διαβροχής του μίγματος (μάνικα), ώστε το μίγμα να αποκτήσει την ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή πρόσφυση νέου σκυροδέματος με παλιό καθώς και πολύ υψηλές αντοχές σκυροδέματος.

Οι χρήσεις του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι πολλές, αλλά οι δύο βασικότερες είναι η σταθεροποίηση εδαφών, είτε αυτά είναι πρανή αντιστήριξης, είτε είναι σήραγγες και βέβαια, οι επισκευές και ενισχύσεις οπλισμένου σκυροδέματος.

Σήμερα λέγοντας gunité εννοούμε εκτοξευόμενο τσιμεντοκονίαμα (δηλαδή κονίαμα με μέγιστο κόκκο αδρανούς 4,5 ή και 8 mm, ανάλογα με τη χώρα εφαρμογής), ενώ ως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εννοούμε ένα πραγματικό σκυρόδεμα που εκτοξεύεται, του οποίου βέβαια ο μέγιστος κόκκος δεν ξεπερνάει τα 16 mm.

2.2.5 Ενέσεις

Η ένεση είναι η διοχέτευση στα εδάφη, με πίεση, ειδικών ρευστών που σύντομα πήζουν και βελτιώνουν – ενισχύουν τη συμπεριφορά τους. Ανάλογα με την ιδιότητα που βασικά

επηρεάζεται διακρίνουμε δύο κατηγορίες ενέσεων: τις ενέσεις στεγανοποίησης που προκαλούν κυρίως μείωση διαπερατότητας και χρησιμοποιούνται στην αντιμετώπιση υπογείων ροών και τις ενέσεις σταθεροποίησης που έχουν ως στόχο την αύξηση της αντοχής και τη μείωση της συμπιεστότητας.

Κατά την εφαρμογή των ενέσεων, η πίεση του ενέματος δεν πρέπει να ξεπερνά τη γεωστατική πίεση, ώστε να μη βγαίνει το ένεμα στην επιφάνεια. Ανάλογα με τον τρόπο που ενεργεί το ένεμα, διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

- Ενέσεις διαποτισμού, με τις οποίες το ένεμα εισχωρεί στο έδαφος και γεμίζει εδαφικούς πόρους.
- Ενέσεις εκτόπισης ή συμπύκνωσης.
- Ενέσεις εγκλωβισμού, με τις οποίες το ένεμα συγκολλά ρηγματωμένη βραχώμαζα.
- Ενέσεις πλήρωσης γαιών, με τις οποίες πληρούνται καρστικά έγκοιλα ή κενά τεχνητών επιχωματώσεων.

Οι συνήθεις τύποι ενεμάτων είναι τα αιωρήματα τσιμέντου (τσιμεντενέσεις) ή μείγματος εδάφους (π.χ. μπετονίτη, άμμου) και τσιμέντου ή και μόνο εδαφών σε νερό, καθώς και τα χημικά διαλύματα, συνήθως πυριτικών ή πολυμερών υλικών. Σε περίπτωση που επιδιώκεται ρύθμιση των ιδιοτήτων των μειγμάτων εδάφους - τσιμέντου χρησιμοποιούνται σταθεροποιητές ή πρόσθετα, όπως επιταχυντές και επιβραδυντές. Η ενίσχυση με ενέσεις βρίσκει εφαρμογή σε όλο σχεδόν το εύρος των εδαφών (συνεκτικά και μη συνεκτικά) και σε μαλακούς βράχους, υπό τον όρο ότι ο βράχος είναι ρηγματωμένος, με τις ρωγμές του να επικοινωνούν. Αντίθετα, δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε εδάφη με μικρή διαπερατότητα όπως είναι οι άργιλοι. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου προσμετρώνται η υψηλή ταχύτητα εφαρμογής, το σχετικά χαμηλό κόστος και η απουσία θορύβου και δονήσεων κατά την εφαρμογή. Η επιλογή των ενεμάτων εξαρτάται από το είδος του εδάφους και την κοκκομετρική του διαβάθμιση. Γενικά, η σταθεροποίηση με τσιμέντο παρουσιάζει το ευρύτερο φάσμα εφαρμογής. Στην περίπτωση διαπερατών αμμωδών εδαφών χρησιμοποιούνται αιωρήματα τσιμέντου με υψηλές τιμές του λόγου «τσιμέντο προς νερό», εφόσον επιδιώκεται υψηλή αντοχή, ενώ προτιμώνται χημικά διαλύματα ειδικών πυριτικών ή πολυμερών προϊόντων, όταν η διαπερατότητα είναι μικρότερη, όπως συμβαίνει στα αργιλικά εδάφη. Στις θεμελιώσεις οι ενέσεις χρησιμοποιούνται ως μέθοδοι επέμβασης σε περιπτώσεις που διαπιστώνονται βλάβες. Επίσης χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις εκσκαφών που βρίσκονται σε επαφή με υφιστάμενα κτίρια, ειδικά όταν οι εκσκαφές είναι μεγάλου βάθους και το έδαφος είναι μαλακό, καθώς και σε περιπτώσεις, κατά τις οποίες κρίνεται αναγκαία η βελτίωση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους θεμελίωσης (εδάφη χαμηλής αρχικής φέρουσας ικανότητας, προσθήκη ορόφων κτλ.). Η αποτελεσματικότητα της τεχνικής εξαρτάται από την ομοιομορφία της διασποράς του ενέματος κάτω από τη θεμελίωση. Σε περιπτώσεις ανομοιογένειας του εδάφους, η ομοιόμορφη διασπορά του ενέματος καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη, ενώ η διεύθυνσή του σε μεγάλη έκταση ενδέχεται να έχει σημαντικές οικονομικές συνέπειες. Η επιλογή της σύνθεσης των ενεμάτων, κυρίως ως προς το ιξώδες, απαιτεί γνώση του επιπέδου των ρωγμών του εδάφους, εντός των οποίων θα διεισδύσει.

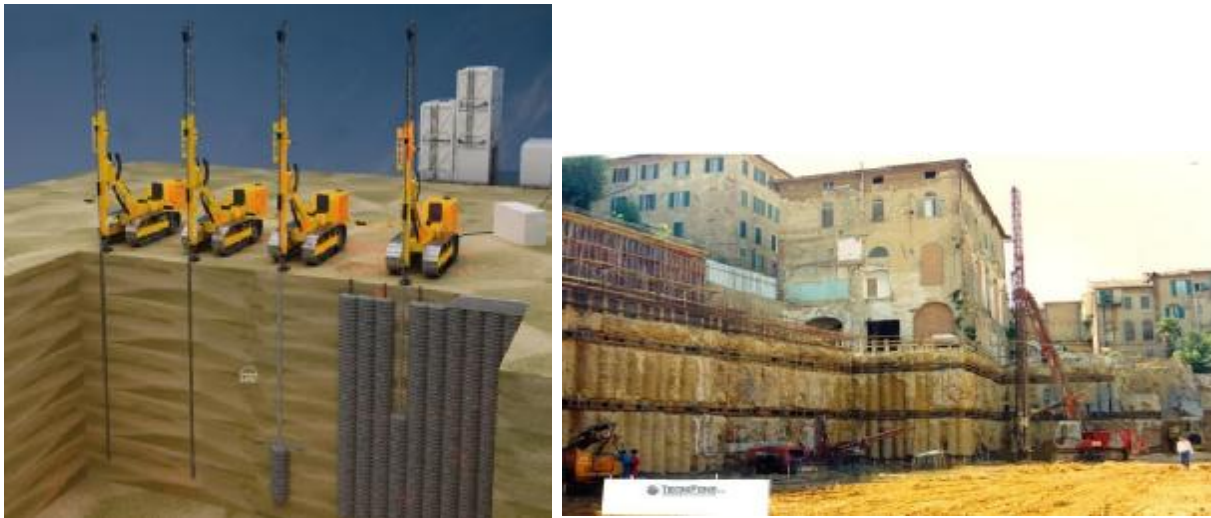
2.2.6 Ενθέματα μεγάλης δυσκαμψίας

Σκοπός των ενθεμάτων μεγάλης δυσκαμψίας είναι η βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των επιφανειακών μικρότερης πυκνότητας (και κατ' επέκταση μικρότερης αντοχής και μεγαλύτερης συμπιεστότητας) αποθέσεων και μεταφορά των φορτίων των κατασκευών βαθύτερα σε λιγότερο συμπιεστά στρώματα, με αποτέλεσμα τη μείωση των καθιζήσεων.

Ο απαιτούμενος κάρναβος των ενθεμάτων μεγάλης δυσκαμψίας προκύπτει μετά από σχετικούς υπολογισμούς φέρουσας ικανότητας και καθιζήσεων, γενικά όμως οι συνήθεις κάρναβοι σε ανάλογες εφαρμογές είναι 1,50x1,50 m έως 3,00x3,00 m, εξαρτώμενοι από το μέγεθος των φορτίων, τη δυσκαμψία των ενθεμάτων και το μέγεθος των αποδεκτών κατά περίπτωση καθιζήσεων.

2.2.6.1 Εδαφοπάσσαλοι (jet grouting)

Η μέθοδος συνίσταται στη διείσδυση περιστροφικά εντός του εδάφους ειδικού στελέχους διαμέτρου 90-150 mm, μέχρι το επιθυμητό βάθος και στην αργή ανάσπρσή του στη συνέχεια με περιστροφή και εκτόξευση από πλευρικά ακροφύσια (διαμέτρου 1-3 mm) ενέματος υπό υψηλή πίεση (jet grouting), το οποίο διαβρώνει το περιβάλλον έδαφος, αντικαθιστώντας το με ένεμα και δημιουργώντας έτσι έναν εδαφοπάσσαλο διαμέτρου 0,60-0,80 m (απλό σύστημα) ανάλογα με τη φύση του εδάφους (βλ. Εικόνα 2.35).



Εικόνα 2.35: Κατασκευή εδαφοπασσάλων με τη μέθοδο jet grouting

2.2.6.2 Πάσσαλοι από άοπλο σκυρόδεμα

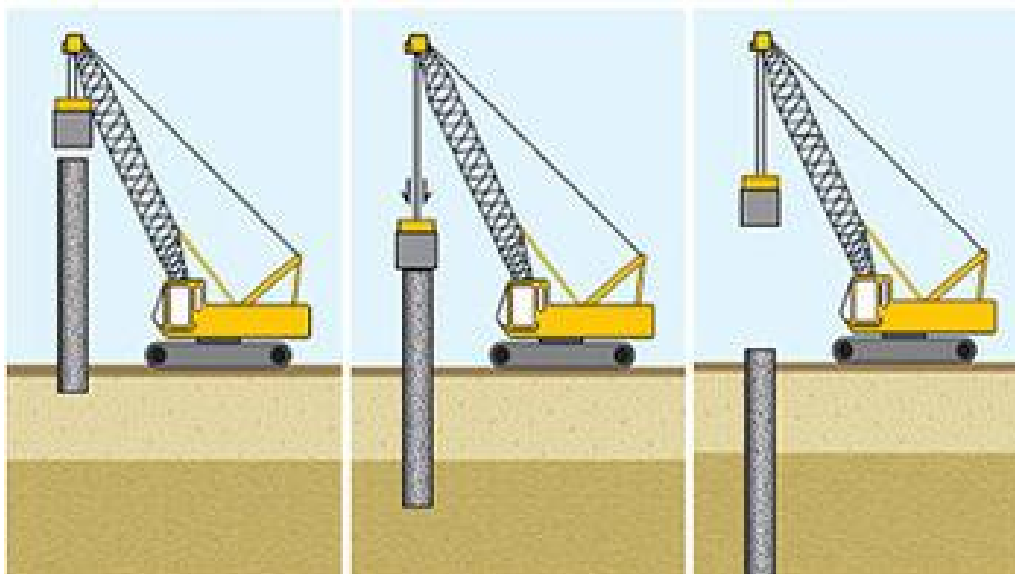
Η ενίσχυση του εδάφους μπορεί να γίνει με έγχυτους πασσάλους κατασκευαζόμενους είτε με εκτόπιση είτε με εκσκαφή του εδάφους. Οι πάσσαλοι με εκτόπιση του εδάφους εκτιμάται ότι μπορεί να είναι διαμέτρου της τάξης των 0,50-0,60 m. Οι πάσσαλοι οι κατασκευαζόμενοι με εκσκαφή του εδάφους εκτιμάται ότι μπορεί να είναι διαμέτρου της τάξης των 0,50-1,20 m.

Σημειώνεται ότι προτιμούνται οι πάσσαλοι με εκτόπιση έναντι των πασσάλων με εκσκαφή αφενός λόγω μεγαλύτερης ταχύτητας κατασκευής, αφετέρου δε λόγω του ότι με αυτούς ελέγχεται καλύτερα το μήκος έμπηξης εντός του φέροντος στρώματος, από την αντίσταση έμπηξης του κλειστού σωλήνα στο έδαφος.

2.2.6.3 Προκατασκευασμένοι πάσσαλοι

Οι προκατασκευασμένοι πάσσαλοι είναι δονητικά εμπεγνυόμενοι πάσσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα, ξύλο ή ανοικτοί ή κλειστοί χαλύβδινοι σωλήνες (οι τελευταίοι μετά την έμπηξη πληρούνται με σκυρόδεμα). Οι πάσσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι κυκλικής ή τετραγωνικής διατομής και πλάτους/διαμέτρου 0,30-0,60 m (βλ. Εικόνα 2.36).

Η μέθοδος αυτή είναι ταχεία κατά την εφαρμογή της, όμως εάν παρουσιαστεί δυσκολία κατά τη δονητική έμπηξη, η περαιτέρω έμπηξη θα πρέπει να γίνει κρουστικά με σφυρί ή να γίνει αποκοπή του μη εμπεγθέντος μήκους, γεγονός που επιφέρει μεγάλες καθυστερήσεις.

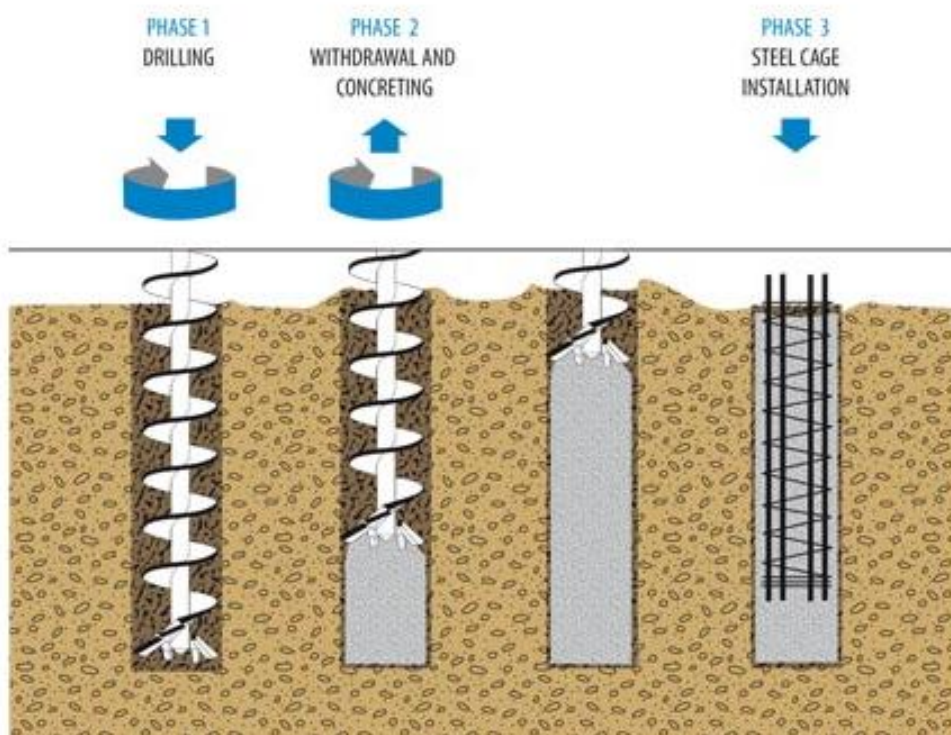


Εικόνα 2.36: Τοποθέτηση προκατασκευασμένων πασσάλων από σκυρόδεμα

2.2.6.4 Πάσσαλοι CFA (Continuous Flight Auger)

Οι πάσσαλοι CFA κατασκευάζονται με συνεχόμενη διάτρηση με κοχλία κατάλληλης διαμέτρου μέχρι το επιθυμητό βάθος με ταυτόχρονη ανάσχυση του στελέχους από κάτω προς τα πάνω, τοποθέτηση οπλισμού και σκυροδέτηση από το εσωτερικό του στελέχους διάτρησης. Μετά την ολοκλήρωση της σκυροδέτησης, γίνεται αφαίρεση της προσωρινής σωλήνωσης (βλ. Εικόνα 2.37).

Οι πάσσαλοι αυτοί έχουν ως πλεονέκτημα τη συνεχόμενη διάτρηση με την ταυτόχρονη στήριξη της περιμέτρου του πασσάλου από το διατρητικό στέλεχος, καθώς και τη μεγάλη ταχύτητα κατασκευής τους (bored piling method).



Εικόνα 2.37: Φάσεις δημιουργίας πασσάλων CFA

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για έργα σε αστικά κέντρα, καθώς δεν δημιουργούνται δονήσεις και διαταραχές των παρακείμενων κατασκευών, ενώ εκπομπές θορύβου είναι χαμηλές. Οι πάσσαλοι CFA καθιστούν δυνατή την αποφυγή αποσυμπίεσης του εδάφους λόγω της χρήσης λάσπη μπεντονίτη για τη διάτρηση. Αυτό απλοποιεί σημαντικά τη διάθεση των αποβλήτων. Χάρη στη συνεχή τεχνική βελτίωσή της, η τεχνολογία αυτή έχει διευρύνει σημαντικά τα πεδία εφαρμογής της, επιτρέποντας τη χρήση της σε ένα πολύ ευρύτερο φάσμα διαμέτρων και μηκών.

2.2.6.5 Πάσσαλοι πλήρους εκτόπισης FDP (Full Displacement Piles)

Οι πάσσαλοι FDP κατασκευάζονται με ειδικό εξοπλισμό κατασκευής πασσάλων από άοπλο σκυρόδεμα με διάτρηση και εκτόπιση του εδάφους με ειδική ελικοειδή αρίδα επί κοίλου στελέχους μεταβλητής (αυξανόμενης από κάτω προς τα πάνω) διαμέτρου, η βόλτα της οποίας είναι τέτοια ώστε να πιέζει το έδαφος προς τα πλάγια και κάτω καθώς εισέρχεται περιστροφικά εντός αυτού. Η ειδική αυτή αρίδα είναι στερεωμένη στο άκρο του επίσης κοίλου στελέχους διάτρησης και πιέζεται περιστροφικά μέσα στο έδαφος με μεγάλη στρεπτική ροπή και πίεση μέχρι το επιθυμητό βάθος. Όταν η αρίδα φθάσει στο επιθυμητό βάθος, αρχίζει η σκυροδέτηση του πασσάλου μέσα από το κοίλο στέλεχος διάτρησης και το κοίλο στέλεχος της αρίδας, ενώ παράλληλα γίνεται περιστροφική ανάσυρση της αρίδας. Η ταχύτητα ανάσυρσης και η τροφοδοτούμενη ποσότητα σκυροδέματος ελέγχονται συνεχώς ηλεκτρονικά έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν δημιουργούνται ασυνέχειες στη σκυροδέτηση του πασσάλου (βλ. Εικόνα 2.38).

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι το γεγονός ότι ο χώρος εργασίας παραμένει καθαρός, καθόσον δεν αφαιρείται καθόλου έδαφος (υπάρχει πλήρης εκτόπιση του εδάφους προς τα πλάγια και κάτω, επιτυγχάνοντας παράλληλα συμπύκνωση και βελτίωση του περιβάλλοντος εδάφους). Άλλο πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η μεγάλη ταχύτητα κατασκευής των πασσάλων και το χαμηλό κόστος.



Εικόνα 2.38: Κατασκευή πασσάλων πλήρους εκτόπισης FDP

2.2.7 Θερμική δράση

2.2.7.1 Θέρμανση του εδάφους

Η μέθοδος αυτή είναι η λιγότερο οικονομική από τις προηγούμενες και εφαρμόζεται σε χαλαρά εδάφη με μεγάλη διαπερατότητα και συνίσταται στη δημιουργία οπών με καρφίδες και την εισβολή πολύ θερμού μίγματος αέρος και καυσίμου μέσα στο έδαφος. Η πίεση είναι

1,5 φορά μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Η θερμοκρασία κυμαίνεται από 300 °C έως 1000 °C με αποτέλεσμα τη συμπύκνωση λόγω απώλειας του νερού και την αύξηση των ενεργών τάσεων. Σε θερμοκρασίες 550 °C η ικανότητα διόγκωσης της αργίλλου καταστρέφεται. Σε 1000 °C οι κόκκοι άμμου τήκονται και δημιουργούν τεχνητή τσιμεντοποίηση.

2.2.7.2 Ψύξη του εδάφους

Η μέθοδος ψύξης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φραγμών από παγωμένο νερό έξω από την επιφάνεια των κατασκευών. Η ψύξη του εδάφους είναι μια κατασκευαστική τεχνική που χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου πρέπει να σταθεροποιηθεί το έδαφος ώστε να μην καταρρεύσει δίπλα σε εκσκαφές, ή να προληφθεί η επιμόλυνση του εδάφους. Η ψύξη του εδάφους χρησιμοποιείται για τουλάχιστον εκατό χρόνια.

Τοποθετούνται σωλήνες μέσα στο χώμα και στη συνέχεια ψυκτικά υγρά διαρρέουν τους σωλήνες παγώνοντας το έδαφος (βλ. Εικόνα 2.39). Το παγωμένο έδαφος μπορεί να είναι τόσο σκληρό όσο το σκυρόδεμα.



Εικόνα 2.39: Διάταξη ψύξης του εδάφους για σταθεροποίηση

Είναι σημαντική η παρουσία υπόγειων υδάτων, είτε φυσικά λόγω υψηλού υδροφόρου ορίζοντα ή τεχνητά. Το παγωμένο νερό (πάγος) γίνεται ο συνδετικός παράγοντας, που

συγκολλά μεταξύ τους λόγω της πήξης σωματίδια εδάφους ή μάζες βράχου για να αυξηθεί η συνδυασμένη ισχύς τους και να γίνουν αδιαπέραστα από το νερό.

Τυπικές εφαρμογές αυτής της μεθόδου περιλαμβάνουν κάθετα φρεάτια, βαθιές εκσκαφές, τούνελ, έλεγχο υπογείων υδάτων, κατασκευαστική υποστήλωση και περιορισμό επικίνδυνων αποβλήτων (βλ. Εικόνα 2.40).

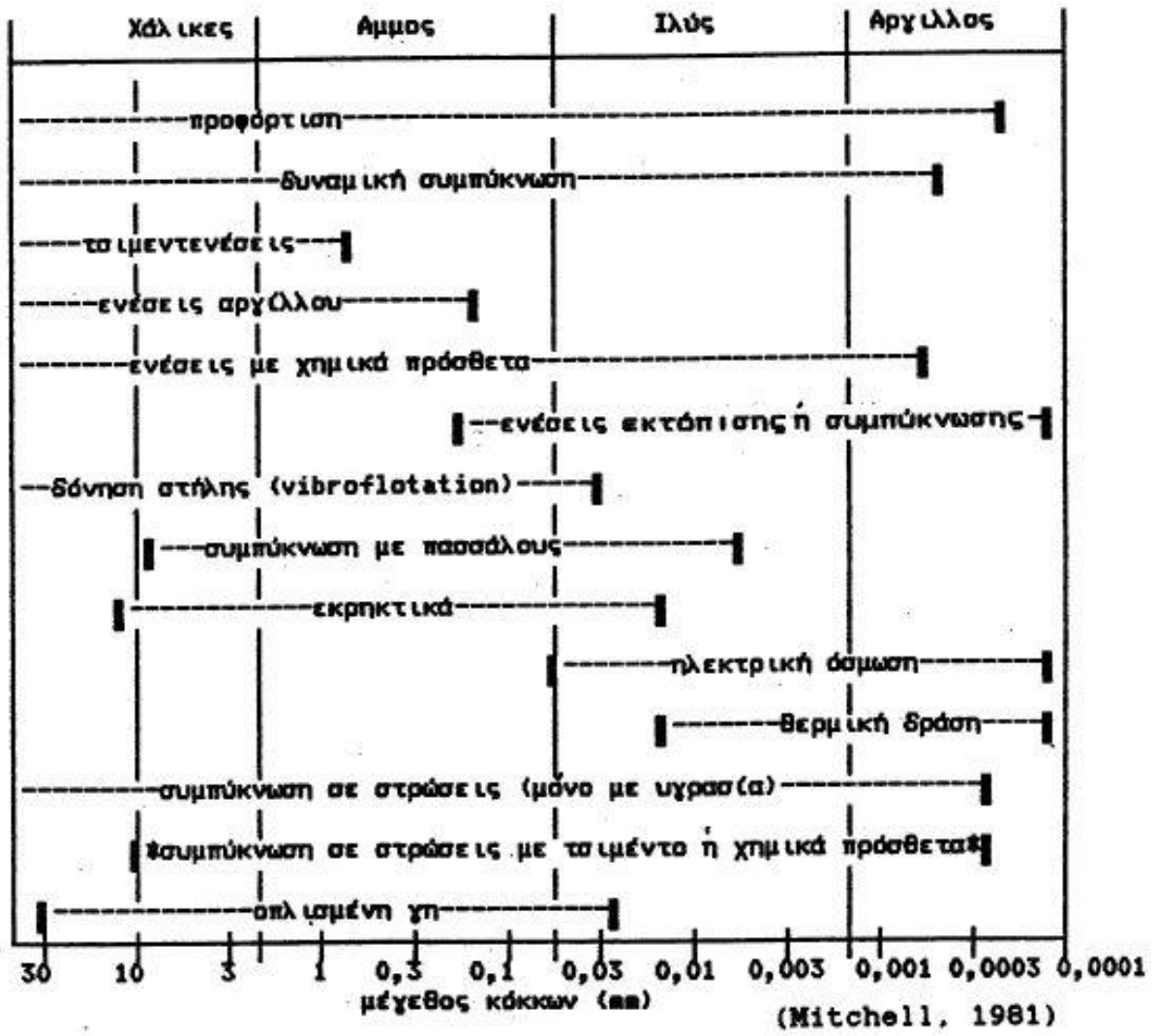


Εικόνα 2.40: Εφαρμογή μεθόδου ψύξης του εδάφους σε βαθιά εκσκαφή

2.3 Επιλογή μεθόδου βελτίωσης του εδάφους

Στο παρακάτω Διάγραμμα 2.2 (Bell, 1975, Mitchell, 1981, Van Impe, 1989) και στον Πίνακα 2.4 δίνονται τα όρια της κοκκομετρικής σύνθεσης των εδαφών στα οποία εφαρμόζεται αποτελεσματικά κάθε μία από τις μεθόδους βελτίωσης που αναφέρθηκαν. Όπως παρατηρούμε από το Διάγραμμα και τον Πίνακα για κάθε τύπο εδάφους μπορούν να εφαρμοσθούν περισσότερες της μια μέθοδοι βελτίωσης.

Συμπερασματικά η διαδικασία και η μέθοδος εφαρμογής της βελτίωσης και ενίσχυσης των εδαφών εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα του εδάφους (αμμώδες, συνεκτικό ή διογκούμενο έδαφος), την ιδιότητα (φυσική ή μηχανική) που πρέπει να βελτιωθεί, από το είδος και το μέγεθος του γεωτεχνικού έργου, αλλά και από την αντίστοιχη κατασκευή. Κατ' επέκταση ο συνδυασμός των παραπάνω δηλαδή η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου είναι και συνάρτηση του κόστους του συνολικού έργου κατασκευής σε σχέση με το κόστος της μεθόδου βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους.



Διάγραμμα 2.2: Αποτελεσματικότητα των μεθόδων βελτίωσης ανάλογα με τον τύπο εδάφους

Πίνακας 2.4: Αποτελεσματικότητα των μεθόδων βελτίωσης ανάλογα με τον τύπο εδάφους

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ				
Έδαφος / μέγεθος κόκκων	Χάλικες 30 - 2,5 (mm)	Άμμος 2,5 - 0,07 (mm)	Πλύς 0,07 - 0,0017 (mm)	Αργίλος 0,0017 - 0,0001 (mm)
Προφόρτιση	✓	✓	✓	✓ (> 0,0002 mm)
Δυναμική συμπίκνωση	✓	✓	✓	✓ (> 0,0005 mm)
Τσιμεντενέσεις	✓	✓ (> 0,7 mm)	✗	✗
Ενέσεις αργίλου	✓	✓ (> 0,17 mm)	✗	✗
Ενέσεις με χημικά πρόσθετα	✓	✓	✓	✓ (> 0,0006 mm)
Ενέσεις εκτόπισης ή συμπίκνωσης	✗	✓ (> 0,2 mm)	✓	✓ (> 0,00014 mm)
Δόνηση στήλης	✓	✓	✓ (> 0,03 mm)	✗
Συμπύκνωση με πασσάλους	✓ (< 9 mm)	✓	✓ (> 0,07 mm)	✗
Εκρηκτικά	✓ (< 14 mm)	✓	✓ (> 0,016 mm)	✗
Ηλεκτρική όσμωση	✗	✗	✓	✓ (> 0,00014 mm)
Θερμική δράση	✗	✗	✓ (< 0,016 mm)	✓ (> 0,00014 mm)
Συμπύκνωση σε στρώσεις (μόνο με υγρασία)	✓	✓	✓	✓
Συμπύκνωση σε στρώσεις με τσιμέντο ή χημικά πρόσθετα	✓ (< 11 mm)	✓	✓	✓ (> 0,00026 mm)
Οπλισμένη γη	✓ (< 30 mm)	✓	✓ (> 0,028 mm)	✗

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

3.1 Τι περιλαμβάνει μια γεωτεχνική έρευνα

Στις περισσότερες περιπτώσεις μία γεωτεχνική έρευνα ξεκινάει από το γραφείο με έρευνα του ιστορικού του χώρου χρησιμοποιώντας τόσο γεωλογικούς, υδρογεωλογικούς χάρτες και ιστορικά στοιχεία από βιβλιογραφία, όσο και γεωτεχνικά στοιχεία από παλαιότερες μελέτες που έχουν γίνει στην περιοχή του έργου.

Όταν έχει αποφασιστεί ο καλύτερος τρόπος για τη συλλογή των γεωλογικών και γεωτεχνικών πληροφοριών που χρειάζονται για τις ανάγκες του έργου, πραγματοποιείται επί τόπου επίσκεψη και καταγραφή των γεωτεχνικών ή γεωλογικών στοιχείων της περιοχής, εκτελούνται δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, στατικές ή δυναμικές πενετρομετρήσεις, ερευνητικά φρέατα, γεωφυσικές διασκοπήσεις, χημικές αναλύσεις ή οποιαδήποτε άλλη μέθοδος απαιτείται σε κάθε περίπτωση, για την καλύτερη διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών του έργου.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις ανάγκες του έργου, πραγματοποιούνται επιτόπου δοκιμές ή εγκαθίστανται όργανα παρακολούθησης για την καταγραφή της συμπεριφοράς του εδάφους, των κατασκευών και του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με το χρόνο.

Κατά την εκτέλεση των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και φρεάτων συλλέγονται δείγματα εδάφους, βράχου, υπογείων υδάτων και οποιοδήποτε άλλο στοιχείο θεωρείται απαραίτητο για την καλύτερη διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών του έργου. Στη συνέχεια πραγματοποιείται μια προκαταρκτική επιτόπου εκτίμηση των γεωτεχνικών συνθηκών και της στρωματογραφίας του υπεδάφους, καταγράφονται λεπτομερώς τα ευρήματα, τα δείγματα εδάφους και οποιαδήποτε άλλη παρατήρηση ή πληροφορία μπορεί να είναι χρήσιμη για την καλύτερη αξιολόγηση του έργου. Ύστερα από αυτή την επί τόπου λεπτομερή καταγραφή επιλέγεται ποιες εργαστηριακές δοκιμές πρέπει να πραγματοποιηθούν περαιτέρω. Τα δείγματα του εδάφους συσκευάζονται και μεταφέρονται στη συνέχεια στο εργαστήριο με τέτοιο τρόπο ώστε να μη διαταραχθεί στο ελάχιστο η φυσική τους σύσταση και δομή. Με βάση το πρόγραμμα των εργαστηριακών δοκιμών, τα δείγματα προετοιμάζονται και εκτελούνται οι απαραίτητες εργαστηριακές δοκιμές, σύμφωνα με τις ισχύουσες Ελληνικές και Ευρωπαϊκές προδιαγραφές.

Με την ολοκλήρωση των εργαστηριακών δοκιμών, συντάσσεται το τεύχος της γεωτεχνικής έρευνας, όπου αναλύονται και αξιολογούνται με λεπτομέρεια όλα τα δεδομένα, γίνονται οι απαιτούμενοι γεωτεχνικοί υπολογισμοί και παρατίθενται τα απαραίτητα γεωτεχνικά στοιχεία και κατασκευαστικές λεπτομέρειες για την ολοκλήρωση του έργου.

Εφόσον οι συνθήκες του έργου το απαιτούν, συντάσσεται στη συνέχεια και ειδική μελέτη θεμελίωσης, αντιστήριξης, υποθεμελίωσης ή/και αποκατάστασης, σύμφωνα με τα δεδομένα και τις γεωτεχνικές δυσκολίες του έργου.

3.2 Ερευνητικές εργασίες υπαίθρου

3.2.1 Ερευνητικά φρέατα

Η απλούστερη γεωτεχνική δειγματοληψία γίνεται ίσως με την εκσκαφή ενός φρέατος και τη λήψη εδαφικών δειγμάτων από τις παρειές ή τον πυθμένα του (βλ. Εικόνα 3.1). Η μέθοδος διερεύνησης του εδάφους με ερευνητικά φρέατα επιτρέπει ταυτόχρονα και τη μακροσκοπική παρατήρηση της στρωματογραφίας (εδαφικό προφίλ), της κλίσης των εδαφικών στρώσεων και ποικίλες λεπτομέρειες που δεν είναι εύκολο να αποκαλυφθούν με άλλες μεθόδους. Τα

κυριότερα μειονεκτήματα των ερευνητικών φρέατων είναι το μικρό βάθος τους (που με χρήση συνήθων εκσκαπτικών μηχανημάτων δεν υπερβαίνει τα 5 m περίπου) και η δυσκολία εκσκαφής κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα (εκτός από τον κίνδυνο κατάπτωσης των παρειών, η παρατήρηση είναι αδύνατη και η δειγματοληψία δυσχερής).



Εικόνα 3.1: Εκσκαφή ερευνητικού φρέατος

Τα ερευνητικά φρέατα είναι τομές στο έδαφος που γίνονται με χρήση εκσκαπτικού μηχανήματος (π.χ. εκσκαφέα) σε βάθος μέχρι 4-5 m, δηλ. στη ζώνη επιρροής, με σκοπό να βοηθήσουν την γεωτεχνική έρευνα του εδάφους για προσδιορισμό της φύσης και της επαφής επιφανειακών με υποκείμενα εδάφη. Επειδή με τα ερευνητικά φρέατα δεν μπορούν να εκτιμηθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους, αυτά γίνονται συνήθως συμπληρωματικά με γεωτεχνικές γεωτρήσεις σε μια γεωτεχνική έρευνα και ειδικότερα σε περιπτώσεις, όπως:

1. Αν το έδαφος προέρχεται από αποθέσεις προϊόντων κατεδάφισης κατασκευών (μπάζα). Στην περίπτωση αυτή υπάρχει η δυνατότητα να σκάψεις μεγαλύτερο όγκο και να δεις τη φύση του εδάφους σε μεγαλύτερη έκταση, απ' ότι σε μια γεωτεχνική γεώτρηση που έχει μικρή διάμετρο (περί τα 10 cm) και δίνει την εικόνα μικρής έκτασης. Λόγω του συνήθως μικρού βάθους αυτού του είδους αποθέσεων και της μεγάλης ανομοιογένειάς τους, τα συμπεράσματα που εξάγονται με αυτή τη μέθοδο είναι πολύ διαφωτιστικά.
2. Αν είναι επιθυμητή η χρήση των υλικών της εκσκαφής για συγκεκριμένη χρήση, όπως για παράδειγμα σαν υλικό στεγανοποίησης της λεκάνης σε ένα Χ.Υ.Τ.Α., είναι αναγκαία αρκετή ποσότητα εδάφους αφ' ενός για εκτέλεση της εργαστηριακής δοκιμής διαπερατότητας και αφ' ετέρου για να διαπιστωθεί η ομοιογένεια του εδάφους.
3. Αν ψάχνεις να βρεις μια επαφή μεταξύ στρώσεων, όταν υπάρχουν πληροφορίες για τη φύση του εδάφους, όπως για παράδειγμα ότι υπάρχει βράχος σε μικρό βάθος και είναι επιθυμητή η επαλήθευση της θέσης του, ή πού αρχίζει το φυσικό έδαφος κάτω από

σχετικά μικρού πάχους αποθέσεις. Σε αυτή την περίπτωση γίνονται τομές στο έδαφος με εκσκαφέα, που είναι σχετικά φθηνή μέθοδος και καταγράφεται η φύση του εδάφους.

4. Για τον χαρακτηρισμό της εκσκαψιμότητας του εδάφους, κυρίως σε εδάφη που είναι κακός, σπασμένος βράχος ή πολύ σκληρό έδαφος, που χαρακτηρίζεται σαν ημιβράχος, όπου η γεώτρηση δεν μπορεί να δώσει σαφή εικόνα για την εκσκαψιμότητα.
5. Για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς του εδάφους κατά την εκσκαφή, ιδιαίτερα σε εδάφη που είναι χαλαρά ή όπου ο υδροφόρος ορίζοντας είναι ψηλά, οπότε είναι άμεση η παρατήρηση της δυνατότητας εισροής του νερού ή της δημιουργίας καταπτώσεων κατά την εκσκαφή και μάλιστα μετά από πόση ώρα. Οι πληροφορίες αυτές είναι πολύ χρήσιμες στο σχεδιασμό των εργασιών εκσκαφής (προσδιορισμό της ανάγκης αντλήσεων σε μικρής διάρκειας εκσκαπτικές εργασίες, όπως για παράδειγμα τοποθέτηση υπόγειου αποχετευτικού δικτύου, καθώς και της αναγκαίας παροχής άντλησης). Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορούν να γίνουν και δοκιμαστικές αντλήσεις.
6. Σε γεωτεχνικές αναγνωρίσεις για μικρές κατασκευές, προκειμένου να προσδιοριστεί η ανάγκη για εκτέλεση γεωτεχνικής έρευνας.

3.2.2 Ερευνητικές/Δειγματοληπτικές Γεωτρήσεις

Η έρευνα υπαίθρου με ερευνητικές/δειγματοληπτικές γεωτρήσεις περιλαμβάνει την εκτέλεση του απαιτούμενου από το μελετητή αριθμού και βάθους περιστροφικών γεωτρήσεων πυρηνοληψίας, διατεταγμένων κατά τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτονται όλα τα τμήματα του έργου (βλ. Εικόνα 3.2). Κατά τη μέθοδο αυτή δημιουργείται μία κυλινδρική οπή στο έδαφος με τη διείσδυση ενός μεταλλικού στελέχους (διατρητική στήλη) εφοδιασμένου με κοπτική κεφαλή. Η διείσδυση γίνεται είτε με κρούση ή δόνηση (κρουστικές γεωτρήσεις) είτε με συνδυασμό πίεσης και περιστροφής του στελέχους (περιστροφικές γεωτρήσεις).

Ανάλογα με τη φύση του εδάφους που απαντάται κατά την εκτέλεση των γεωτρήσεων, λαμβάνονται αδιατάρακτα, ημιδιαταραγμένα και διαταραγμένα δείγματα εδάφους, καθώς και πυρήνες σε περίπτωση βραχώδους υποβάθρου. Παράλληλα με τη λήψη γίνεται και λεπτομερής καταγραφή των εδαφικών και βραχωδών δειγμάτων, των επί τόπου δοκιμών και των επί τόπου μετρήσεων και παρατηρήσεων των γεωτρήσεων, στα δελτία γεωτρήσεων.



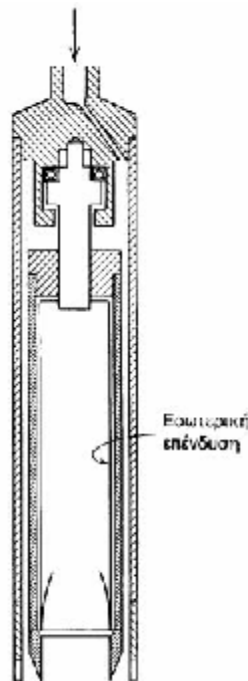
Εικόνα 3.2: Δειγματοληπτική γεώτρηση

Η κατάπτωση των τοιχωμάτων της γεώτρησης αποφεύγεται με την τοποθέτηση σωλήνωσης (επένδυσης) που προωθείται ταυτόχρονα με την προχώρηση της διατρητικής στήλης. Με τον τρόπο αυτό η γεώτρηση μπορεί να προχωρήσει σε μεγάλα βάθη, με μόνο περιορισμό τις δυνατότητες (βάρος και ισχύ) του γεωτρύπανου και το διαθέσιμο μήκος των στελεχών και της σωλήνωσης. Το μέγιστο βάθος διάτρησης μιας γεώτρησης συχνά περιορίζεται από την αδυναμία προχώρησης της σωλήνωσης, η οποία υφίσταται την πλευρική τριβή του εδάφους σε ολόκληρη την εξωτερική της επιφάνεια. Στις περιπτώσεις αυτές, μετά τη διάτρηση μέχρι κάποιο βάθος, εισάγεται στο εσωτερικό της ήδη τοποθετημένης σωλήνωσης νέα σωλήνωση μικρότερης διαμέτρου, η οποία και προωθείται κατά την περαιτέρω διάτρηση της οπής. Η δεύτερη σωλήνωση υφίσταται πλευρικές τριβές μόνο στο τμήμα του μήκους της κάτω από τη βάση της πρώτης σωλήνωσης και συνεπώς μπορεί να προχωρήσει ευκολότερα. Το κυριότερο μειονέκτημα της μεθόδου των διαδοχικών σωληνώσεων, εκτός από το μεγάλο μήκος και την ποικιλία μεγεθών των σωληνώσεων που απαιτούνται, είναι η μείωση της διαμέτρου της γεώτρησης και συνεπώς η μείωση του μεγέθους των εδαφικών δειγμάτων, τα οποία υπόκεινται σε μεγαλύτερη διατάραξη.

Η προχώρηση της γεώτρησης συνήθως γίνεται με ταυτόχρονη εισπίεση νερού διαμέσου της διατρητικής στήλης προς τη διατρητική κεφαλή, ώστε να αποφεύγεται η υπερβολική φθορά της κεφαλής λόγω υπερθέρμανσης. Κατά την προχώρηση της γεώτρησης, σε τακτά διαστήματα εκτελούνται επιτόπου δοκιμές, όπως η Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης (SPT), η Δοκιμή Πτερυγίου (FVT), η Δοκιμή Πρεσσιομέτρου (PMT), δοκιμές εισπίεσης για τη μέτρηση της διαπερατότητας κλπ. Επίσης, περιοδικώς λαμβάνονται αδιατάρακτα δείγματα με κάποια από τις μεθόδους που περιγράφονται παρακάτω:

1. Σε σχετικά μαλακούς εδαφικούς σχηματισμούς η δειγματοληψία γίνεται με εμβολοφόρους δειγματολήπτες (piston samplers) τύπου Denison ή Shelby (βλ. Εικόνα

- 3.3). Οι δειγματολήπτες αυτοί αποτελούνται από ένα σωλήνα με λεπτό τοίχωμα και αιχμηρό άκρο, προωθούνται στο έδαφος κάτω από τον πυθμένα της γεώτρησης με απλή πίεση και στη συνέχεια ανακτώνται (μαζί με το εδαφικό δείγμα) με εξαγωγή της διατρητικής στήλης στην επιφάνεια του εδάφους.
2. Σε σκληρότερους εδαφικούς σχηματισμούς, όπου η προχώρηση του δειγματολήπτη με απλή πίεση δεν είναι δυνατή, χρησιμοποιούνται δειγματολήπτες με κοπτική κεφαλή (καροταρίες). Οι δειγματολήπτες αυτοί αποτελούνται από ένα κυλινδρικό σωλήνα (ή από διπλό σωλήνα στις καροταρίες διπλού τοιχώματος), στη βάση του οποίου είναι προσαρμοσμένη η κοπτική κεφαλή (αδαμαντοφόρος ή με σκληρομέταλλα). Ο δειγματολήπτης προσαρμόζεται στη βάση της διατρητικής στήλης και προωθείται στο έδαφος κάτω από τον πυθμένα της γεώτρησης με συνδυασμό πίεσης και περιστροφής. Κατά την προώθηση του δειγματολήπτη, συνήθως διακόπτεται η κυκλοφορία νερού προς την κοπτική κεφαλή, ώστε να μη διαταραχθεί το εδαφικό δείγμα (μέθοδος φραγμού).
 3. Τέλος, στα αμμώδη εδάφη, όπου η αδιατάρακτη δειγματοληψία είναι ιδιαίτερα δυσχερής, χρησιμοποιούνται ειδικοί δειγματολήπτες, οι οποίοι χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους για να εμποδίσουν το δείγμα να διαφύγει κατά τη διαδικασία ανάκτησης του δειγματολήπτη.



Εικόνα 3.3: Δειγματολήπτης τύπου Denison

Μετά την ανάκτηση του δειγματολήπτη, τα δείγματα συσκευάζονται, ώστε να αποφευχθούν απώλειες υγρασίας (συνήθως περιβάλλονται με ρευστή παραφίνη και τοποθετούνται σε πλαστικούς σάκους) και τοποθετούνται σε κιβώτια, ώστε να περιορισθεί η διατάραξη κατά τη μεταφορά τους στο Εργαστήριο (Εικόνα 3.4).

Επίσης κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων εκτελούνται επί τόπου δοκιμές διαπερατότητας MAAG, LEFRANC και LUGEON, σύμφωνα με τις Προδιαγραφές των επί τόπου Δοκιμών Εδαφομηχανικής του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ε 106-86 – ΦΕΚ 955 Β'/31.12.86), ανάλογα με τη φύση των διατρυομένων σχηματισμών. Η δοκιμή MAAG εκτελείται σε σχετικά μικρής διαπερατότητας εδαφικούς σχηματισμούς και αποτελεί δοκιμή υδροπερατότητας μεταβλητού φορτίου (μέτρηση ταχύτητας πτώσης στάθμης προστεθέντος νερού μέσα στη γεώτρηση). Η

δοκιμή LEFRANC εκτελείται σε σχετικά διαπερατούς εδαφικούς σχηματισμούς και είναι δοκιμή υδροπερατότητας σταθερού φορτίου (μέτρηση παροχής προστιθεμένου νερού για διατήρηση της στάθμης του σε συγκεκριμένη θέση πάνω από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα). Τέλος η δοκιμή LUGEON εκτελείται σε σχετικά μικρής διαπερατότητας βραχώδεις σχηματισμούς με αυτοσυγκρατούμενα τοιχώματα και είναι και αυτή δοκιμή σταθερού φορτίου (μέτρηση παροχής εισπιεζομένου νερού σε ανιόντα και κατιόντα βήματα πίεσης). Η δοκιμή αυτή απαιτεί, λόγω της εφαρμοζόμενης εξωτερικά πίεσης στο εισαγόμενο νερό, τη χρήση παρεμβυσμάτων για την απομόνωση του εξεταζόμενου τμήματος της γεώτρησης.



Εικόνα 3.4: Δειγματοληψία γεωτρήσεων

Τέλος, μετά τη διάνοιξη των γεωτρήσεων και εφόσον η μελέτη το απαιτεί, μπορούν να εκτελεστούν δοκιμαστικές αντλήσεις με τη διαδικασία που προβλέπεται στο βρετανικό CIRIA REPORT 113 (1986) και να γίνουν μετρήσεις πτώσης στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στις γειτονικές γεωτρήσεις ως προς τη γεώτρηση όπου γίνεται η άντληση. Αυτή η δοκιμή δίνει χρήσιμες πληροφορίες για την εκτίμηση της διαπερατότητας του εδάφους και την ακτίνα επιρροής των αντλήσεων, από τα οποία μπορεί να προκύψει ο αριθμός και η παροχή των αντλιών που θα απαιτηθούν σε περίπτωση αντλήσεων, τόσο κατά την κατασκευή, όσο και κατά τη λειτουργία του έργου.

3.2.3 Επιτόπου δοκιμές

Η έρευνα του υπεδάφους συχνά συνδυάζεται και με την εκτέλεση επιτόπου δοκιμών. Οι δοκιμές αυτές πλεονεκτούν (σε σχέση με τις Εργαστηριακές), επειδή ελέγχουν τις ιδιότητες του εδάφους στη φυσική του κατάσταση, χωρίς να παρεμβληθεί η δειγματοληψία και οι λοιπές διαδικασίες που το διαταράσσουν και μεταβάλλουν τη δομή του. Επιπλέον, πολλές από τις επιτόπου δοκιμές εκτελούνται συνεχώς με το βάθος (π.χ. η δοκιμή Διείσδυσης

Κώνου), οπότε λαμβάνεται μία συνεχής καταγραφή των εδαφικών χαρακτηριστικών με το βάθος. Το κύριο μειονέκτημα των επιτόπου δοκιμών είναι ότι οι εντατικές καταστάσεις που επιβάλλουν στο έδαφος είναι ανομοιογενείς και τις περισσότερες φορές άγνωστες. Έτσι, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων των επιτόπου δοκιμών είναι δυσχερής και συνήθως βασίζεται σε εμπειρικές συσχετίσεις με περιορισμένο πεδίο εφαρμογής.

Η βασική φιλοσοφία των επί τόπου δοκιμών είναι η μέτρηση και καταγραφή της «αντίδρασης» του εδάφους από την επιβολή σε αυτό άμεσων φορτίσεων. Η επιλογή της πιο κατάλληλης κατά περίπτωση επιτόπου δοκιμής εξαρτάται, κυρίως, από τους παράγοντες που επιδρούν στην αποτελεσματικότητα κάθε δοκιμής, σε συνάρτηση πάντα με το είδος του εδάφους.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των επιτόπου δοκιμών είναι τα παρακάτω:

- Πέραν της εφαρμογής τους σε εδάφη όπου η αδιατάρακτη δειγματοληψία είναι αδύνατη, η εκτέλεσή τους αναφέρεται στη «φυσική κατάσταση» του εδάφους, όπως δηλαδή αυτή συναντάται στην πραγματικότητα επιτόπου. Συνεπώς, οι μετρούμενες παράμετροι προσεγγίζουν πλησιέστερα την «πραγματικότητα» σε σχέση με τις εργαστηριακά εκτιμούμενες, όπου μεσολαβεί η διαδικασία δειγματοληψία - μεταφορά - διαμόρφωση δείγματος.
- Με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων ευρείας χρήσης, που είναι αποτέλεσμα συστηματικής διερεύνησης, οδηγούν όχι μόνο στην εκτίμηση των φυσικών - μηχανικών παραμέτρων του εδάφους, αλλά κατευθείαν σε εφαρμογές σχεδιασμού θεμελιώσεων τεχνικών έργων (CANADIAN MANUAL ON FOUNDATION ENGINEERING, 1985).

Βασικός παράγοντας αξιοπιστίας των επί τόπου δοκιμών είναι κυρίως η εμπειρία και η προσεκτική εκτέλεση, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα και τις ισχύουσες προδιαγραφές.

Οι σημαντικότερες επί τόπου δοκιμές που εκτελούνται στα πλαίσια της γεωτεχνικής έρευνας για τη μελέτη τεχνικών έργων και οι οποίες θα περιγραφούν στη συνέχεια, είναι οι παρακάτω:

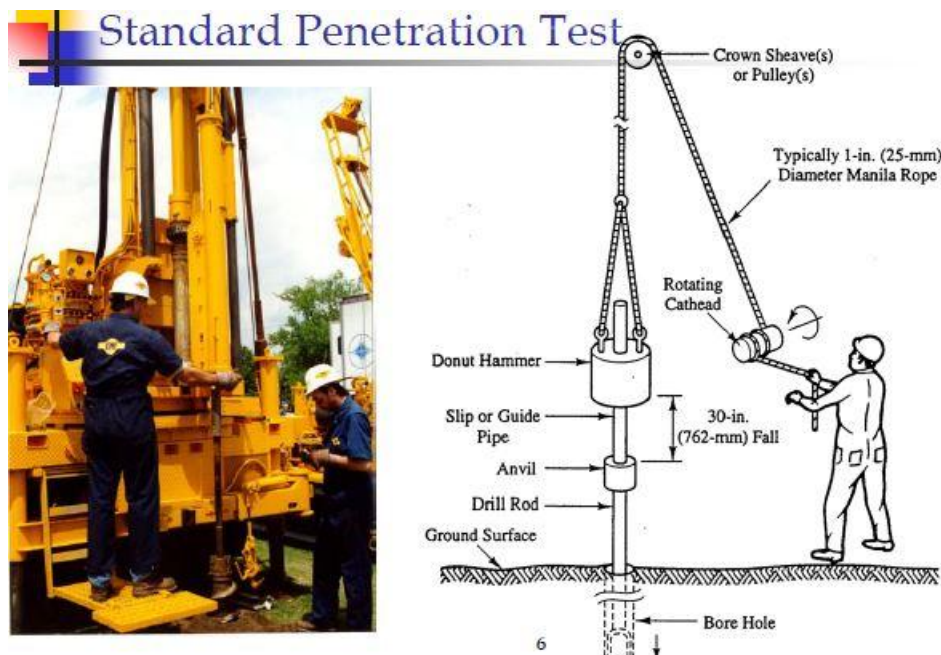
- Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης (Standard Penetration Test)
- Δοκιμή Στατικής Πενετρομέτρησης (Cone Penetration Test)
- Δοκιμή Πρεσσιομέτρου (Pressuremeter Test)
- Δοκιμή Cross - Hole
- Δοκιμές υδροπερατότητας

Υπάρχουν και άλλες σπανιότερα εκτελούμενες όπως:

- Δοκιμή Πτερυγίου (Field Vane)
- Δοκιμή Ντιλατομέτρου (Ντιλατόμετρο Marchetti για μαλακά εδάφη και Ντιλατομετρήσεις για βραχώδεις σχηματισμούς)
- Δοκιμή Επί Τόπου Διάτμησης, κ.ά.

Στην Ελλάδα οι επί τόπου Δοκιμές Εδαφομηχανικής εκτελούνται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ε 106-86 - ΦΕΚ 955 Β'/31.12.86).

3.2.3.1 Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης - Standard Penetration Test (SPT ή Terzaghi)



Εικόνα 3.5: Εκτέλεση πρότυπης δοκιμής διείσδυσης

Η δοκιμή αυτή είναι μία από τις περισσότερο διαδεδομένες επιτόπου δοκιμές (Εικόνα 3.5), όχι τόσο για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της, όσο λόγω της πολυετούς εφαρμογής της και των ποικίλων (εμπειρικών) συσχετίσεων των αποτελεσμάτων της με μηχανικές ιδιότητες του εδάφους. Χρησιμοποιείται ευρέως για ποιοτική ένδειξη των επιτόπου ιδιοτήτων των εδαφών και στον προσδιορισμό:

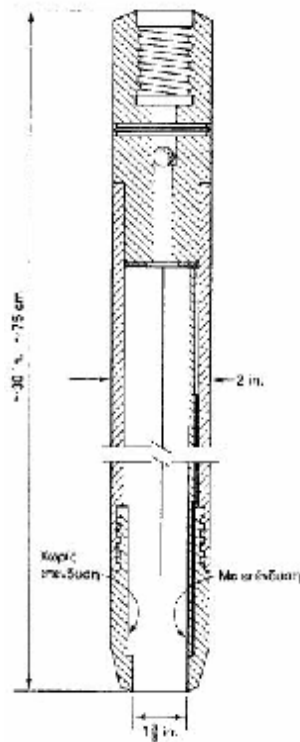
άμεσα,

- της σχετικής πυκνότητας
- της αντίστασης των σχηματισμών στη διείσδυση

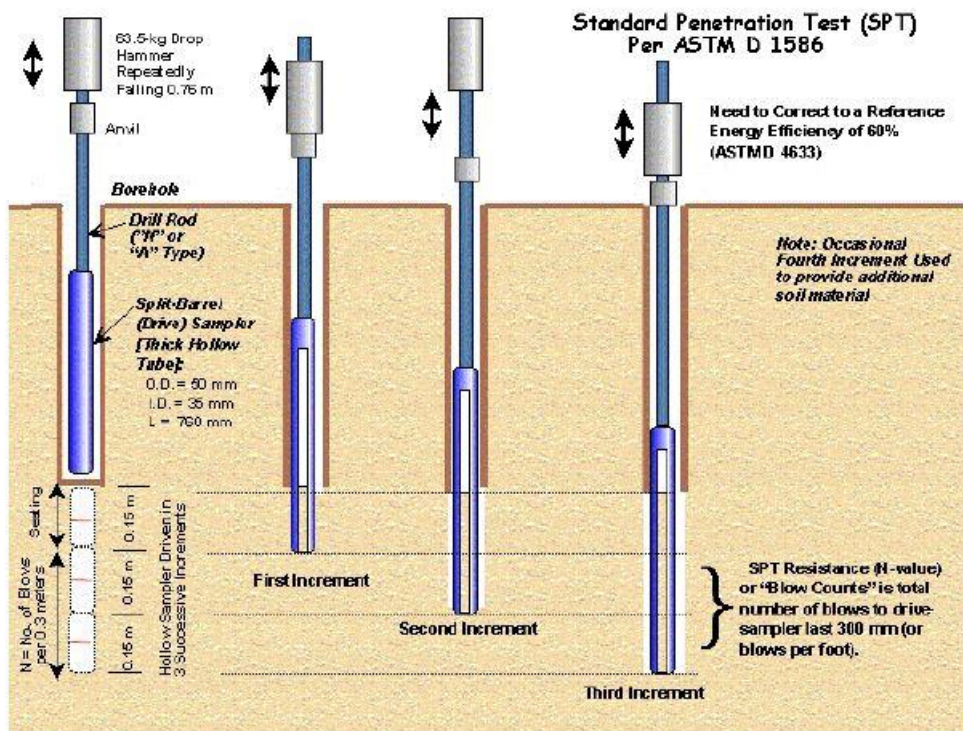
και έμμεσα,

- των παραμέτρων διατμητικής αντοχής και συμπιεστότητας με τη χρήση εμπειρικών συσχετίσεων
- στον καθορισμό της επιτρεπόμενης φέρουσας ικανότητας
- στον υπολογισμό των καθιζήσεων των κατασκευών.

Η δοκιμή βασίζεται στην προχώρηση του ειδικού διαιρετού δειγματολήπτη Terzaghi (Εικόνα 3.6) και εκτελείται με τη βοήθεια γεωτρητικού συγκροτήματος κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων, σε διάφορα βάθη αυτών (Εικόνα 3.7), όπως περιγράφεται παρακάτω.



Εικόνα 3.6: Δειγματολήπτης Terzaghi



Εικόνα 3.7: Διαγραμματική απεικόνιση της διάταξης εκτέλεσης της δοκιμής πρότυπης διείσδυσης

1. Προσδιορίζεται ο αριθμός των κρούσεων (N) για προχώρηση του ειδικού δειγματολήπτη Terzaghi με την πτώση αντίβαρου 63,5kg από ύψους 76,2cm, κατά 45cm (σε τρία διαδοχικά τμήματα των 15cm).

2. Ο αριθμός των κρούσεων για τη διείσδυση του δειγματολήπτη στο πρώτο τμήμα των 15cm απορρίπτεται (διαταραγμένο από τη διαδικασία διάτρησης υλικό, ή πληρωμένο με υλικά που έχουν καταπέσει από το ασωλήνωτο τμήμα της γεώτρησης).
3. Ο χαρακτηρισμός των δειγμάτων γίνεται βάση της προχώρησης στα δύο υπόλοιπα τμήματα των 15cm (σύνολο 30cm), όπως δίνεται βιβλιογραφικά, σύμφωνα με σχετικούς πίνακες.
4. Στην περίπτωση που η δοκιμή εκτελείται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα, οι τιμές πρέπει να διορθωθούν, όσον αφορά την επίδραση του νερού στη στήλη εκτέλεσης της δοκιμής και η γενική διόρθωση που ισχύει είναι:

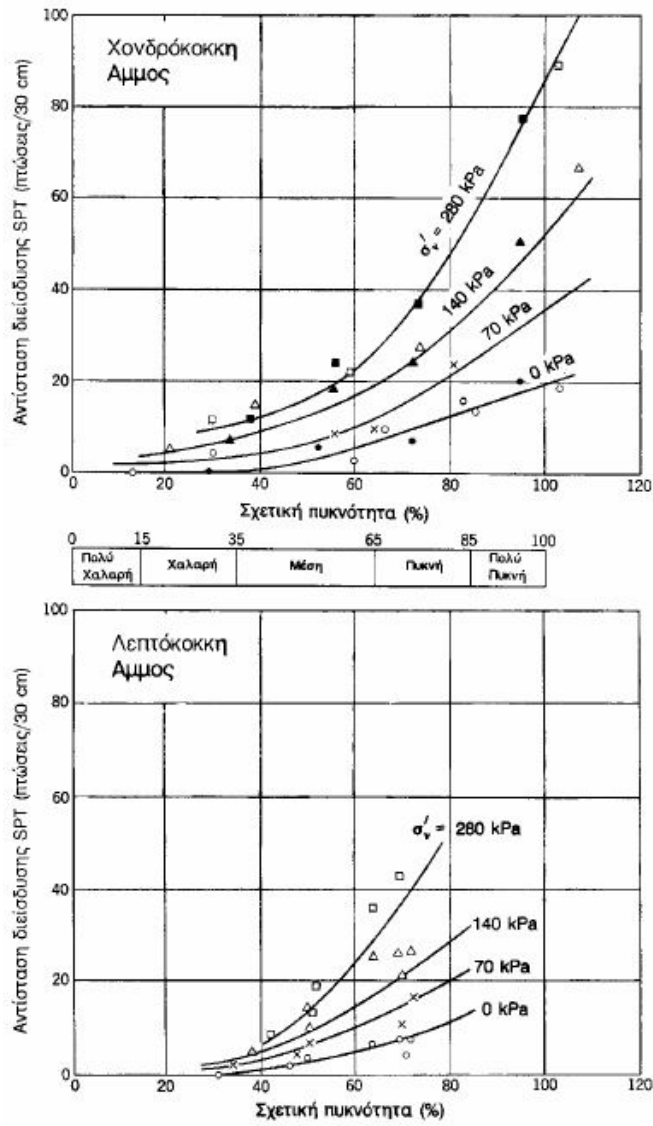
$$N' = 15 + 0,5 \times (N-15), \text{ για } N > 15$$

Μερικές από τις εμπειρικές συσχετίσεις των αποτελεσμάτων της δοκιμής SPT με μηχανικές ιδιότητες του εδάφους παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 3.1.

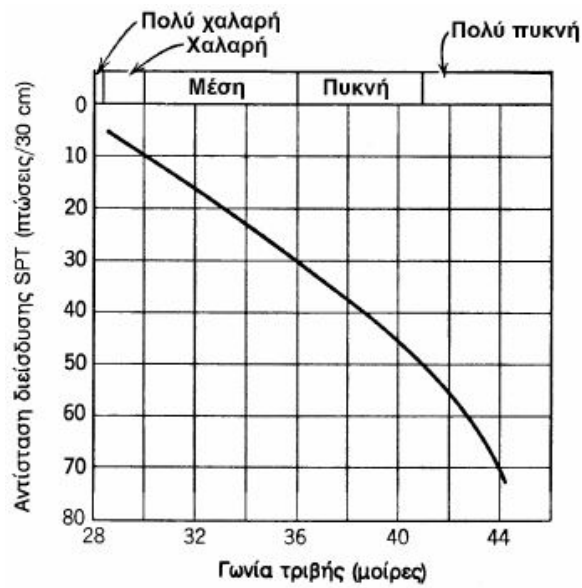
Πίνακας 3.1: Ταξινόμηση εδαφών κατά Terzaghi βάση των αποτελεσμάτων της δοκιμής SPT

Μη Συνεκτικά - Κοκκώδη Εδάφη		Συνεκτικά - Αργιλικά Εδάφη	
N _{SPT}	Ταξινόμηση και σχετική γωνία τριβής σε °	N _{SPT}	Ταξινόμηση και σχετική αντοχή σε kPa
0 ~ 4	Λίαν Χαλαρό (28-29)	< 2	Πολύ Μαλακή (<25)
4 ~ 10	Χαλαρό (29-30)	2 ~ 4	Μαλακή (25-50)
10 ~ 30	Μέσης Πυκνότητας (30-36)	4 ~ 8	Μέσης Στιφρότητας (50-100)
30 ~ 50	Πυκνής Απόθεσης (36-41)	8 ~ 15	Στιφρή (100-200)
> 50	Πολύ Πυκνής Απόθεσης (41-44)	15 ~ 30	Πολύ Στιφρή (200-400)
		> 30	Σκληρή (400-800)

Επίσης, στα δυο επόμενα Διαγράμματα 3.1 και 3.2 συσχετίζονται η αντίσταση διείσδυσης N με τη σχετική πυκνότητα χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων άμμων για διάφορα βάθη εκτέλεσης της δοκιμής (που εκφράζονται με την κατακόρυφη ενεργό τάση σ_v'), καθώς και η αντίσταση διείσδυσης N με τη γωνία τριβής των κοκκωδών εδαφών.



Διάγραμμα 3.1: Συσχέτιση σχετικής πυκνότητας με αντίσταση διείσδυσης SPT



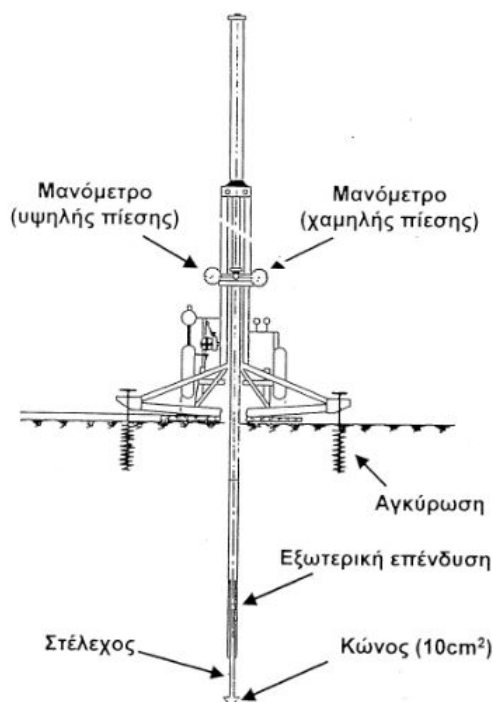
Διάγραμμα 3.2: Συσχέτιση γωνίας τριβής με αντίσταση διείσδυσης SPT

3.2.3.2 Η Δοκιμή Διείσδυσης Κώνου (CPT)

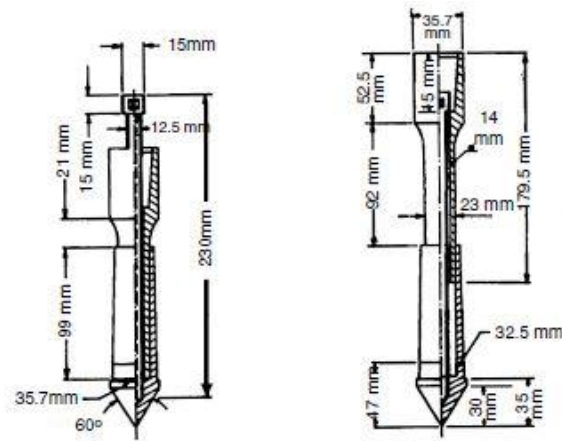


Εικόνα 3.8: Εκτέλεση στατικών πενετρομετρήσεων

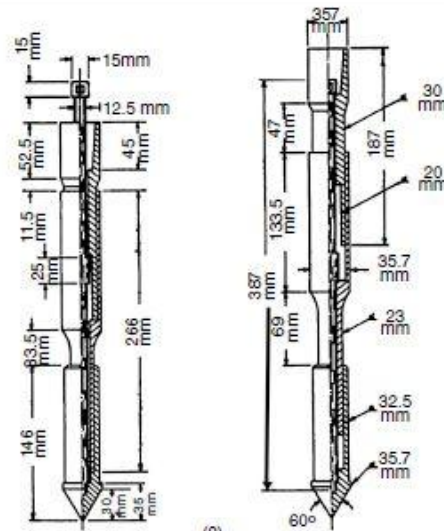
Η δοκιμή αυτή, που ονομάζεται και δοκιμή του Ολλανδικού Πενετρομέτρου (Εικόνες 3.8 & 3.9), χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής μαλακών έως στιφρών αργίλων και της σχετικής πυκνότητας άμμων. Η δοκιμή βασίζεται στη συνεχή προχώρηση (με ταχύτητα 1-2 m/min) ενός κώνου με αιχμή 60 μοιρών και διατομή 10 cm^2 (Εικόνα 3.10). Κατά τη διείσδυση του κώνου μετράται η αντίσταση στην προχώρηση της αιχμής και η αντίσταση (πλευρική τριβή) στην προχώρηση του πλευρικού μανδύα που έχει επιφάνεια 100 cm^2 .



Εικόνα 3.9: Σχηματική απεικόνιση επί τόπου δοκιμής CPT (Θ. Τάσιος, 1964)



(α)



(β)

Εικόνα 3.10: Τύποι Ολλανδικού κώνου. (α) Απλός Ολλανδικός κώνος και β) Ολλανδικός κώνος με μανδύα τριβής Begemann (Από ASTM D - 3441)

Τα πενετρόμετρα είναι τυποποιημένοι πάσσαλοι υπό κλίμακα, στα οποία η αιχμή κινείται ανεξάρτητα από το λοιπό μέρος, που αποτελείται από ένα σωλήνα. Η απλή αρχή στην οποία βασίζεται η μέθοδος είναι ότι αφού τα δυο μεγέθη που χαρακτηρίζουν την αντοχή του πασσάλου, η αντοχή αιχμής q_c και η αντοχή τριβής f_s , είναι συναρτήσεις των δυο χαρακτηριστικών συντελεστών του εδάφους ϕ και c , αντίστροφα ϕ και c είναι συναρτήσεις των q_c και f_s .

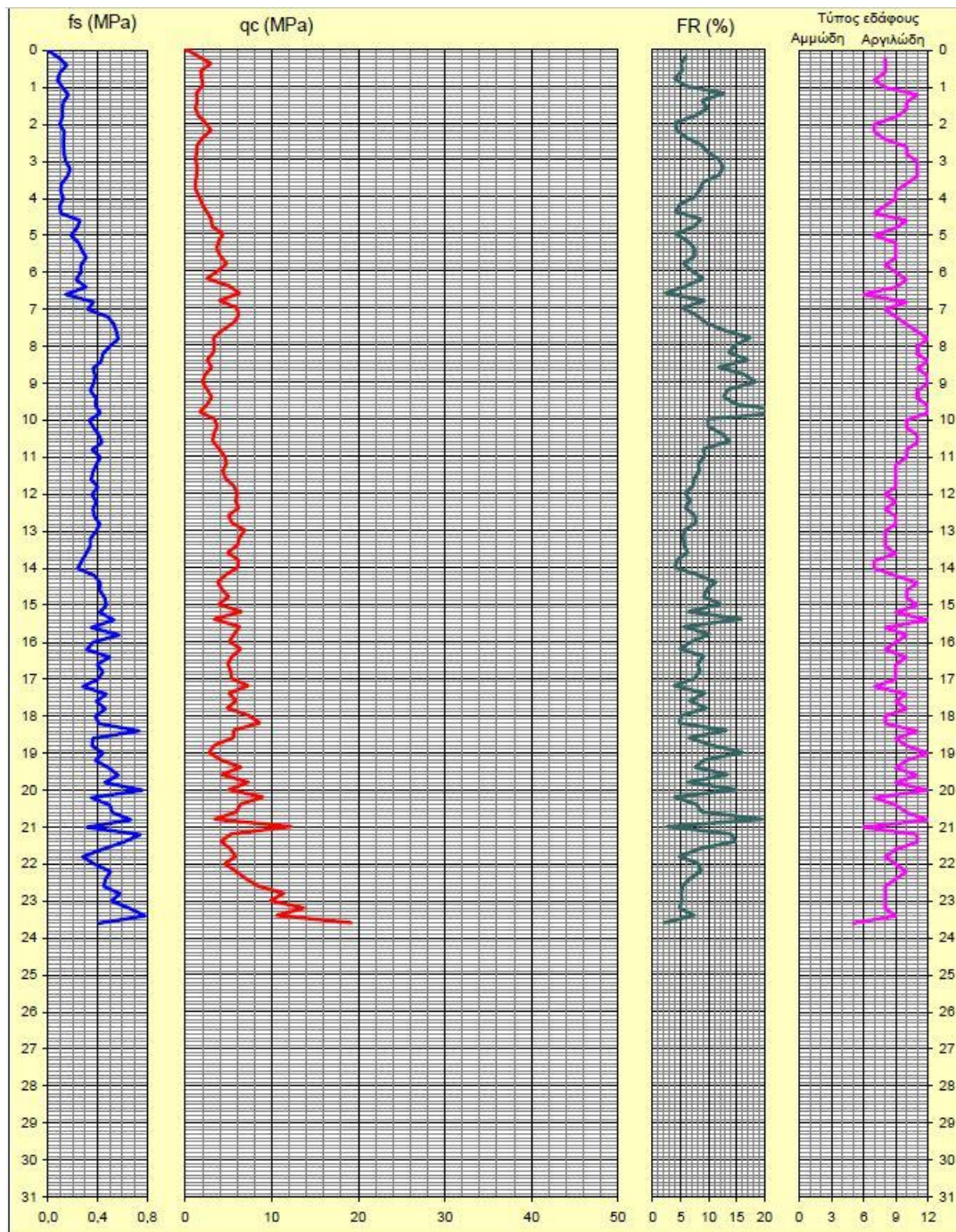
Αρα μετρώντας την τιμή των q_c και f_s προσδιορίζονται οι τιμές ϕ και c σε διάφορα βάθη. Επίσης μπορούν να εκτιμηθούν και άλλα μεγέθη, όπως αυτά που χαρακτηρίζουν την παραμόρφωση του εδάφους. Μπορεί έτσι να μετρηθεί χωριστά η αντοχή που παρουσιάζει η αιχμή στην έμπηξη και η αντοχή τριβής του κυλίνδρου. Η έμπηξη γίνεται στατικά ή δυναμικά.

Με το στατικό πενετρόμετρο μετρούμε:

- Την αντοχή αιχμής q_c (Kg/cm^2)
- Την αντοχή τριβής f_s (Kg/cm^2)

Οι τιμές αυτές, όπως και η τιμή του λόγου τριβής $R_f = f_s/q_c$, ο οποίος έχει μεγάλη σημασία καθώς αποτελεί ένδειξη κατάταξης του εδαφικού σχηματισμού και χρησιμοποιείται για την

ταξινόμηση - περιγραφή του εδαφικού υλικού, καταγράφονται σε συνάρτηση με το βάθος σε μορφή διαγράμματος, όπως το Πενетроμετρικό Διάγραμμα 3.3.



Διάγραμμα 3.3: Δείγμα καταγραφής τιμών q_c , f_s και R_f με το βάθος από πεντρομετρήσεις Γεωτεχνικής Έρευνας ΟΣΛΑ Δ. Μακεδονίας (ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ, 2014)

Η εκτίμηση της στρωματογραφίας του εδάφους μπορεί να γίνει έμμεσα με απλή παρατήρηση του πεντρομετρικού διαγράμματος (δηλαδή την κατανομή των μεγεθών q_c , f_s και R_f με το βάθος), λαμβάνοντας υπόψη τις παρακάτω γενικές οδηγίες:

1. Στρώσεις (η θύλακες) υψηλής συμπίεσότητας (π.χ. μαλακές άργιλοι) εμφανίζουν χαμηλές τιμές q_c και σχετικά υψηλές τιμές f_s και απότομη Q αύξηση R_f .
2. Τα μη συνεκτικά εδάφη (π.χ. άμμοι) εμφανίζουν χαμηλές τιμές f_s και R_f .

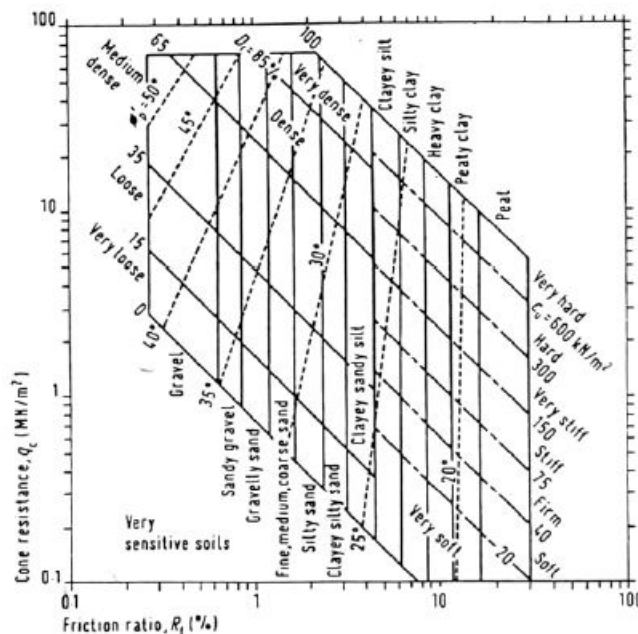
3. Τα συνεκτικά εδάφη (π.χ. άργιλοι) εμφανίζουν υψηλές τιμές f_s και R_f και προφανώς υψηλές υπερπίεσεις του νερού των πόρων (όταν χρησιμοποιείται πιεζοκόνος).
4. Κανονικά προστερεοποιημένες άργιλοι και άμμοι ($OCR = 1$) παρουσιάζουν αυξανόμενο q_c με το βάθος.
5. Υπερστερεοποιημένες άργιλοι ($OCR > 1$) παρουσιάζουν περίπου σταθερό q_c με το βάθος (αλλά προφανώς σχετικά υψηλές τιμές).
6. Απότομες μικρής διάρκειας / βάθους κορυφές στις τιμές του q_c πρέπει να αντιμετωπίζονται με επιφύλαξη. Μπορεί να οφείλονται σε τοπικά συγκολλημένους κόκκους ή σποραδικά χαλίκια ή σε λεπτή ένστρωση χωρίς επιρροή. Τις περισσότερες φορές αγνοούνται, εκτός και αν εμφανίζονται συχνά και συστηματικά.

Στον παρακάτω Πίνακα 3.2 δίνονται ενδεικτικές τιμές της κατάταξης των εδαφών με βάση το λόγο τριβής R_f (%).

Πίνακας 3.2: Κατάταξη εδαφών με βάση ενδεικτικές τιμές του λόγου τριβής R_f (%)

Έδαφος	q_c	f_s	$R_f = f_s/q_c$ (%)
Άργιλος	Μικρό	Μεγάλο	>3%
Ιλύς			1 - 7%
Άμμος	Μεγάλο	Σχετικά μικρό	<2.5%
Αργιλώδεις άμμοι			0.5-8%
Ιλυώδη αμμοχάλικα			<2%
Αργιλώδη αμμοχάλικα			<5%

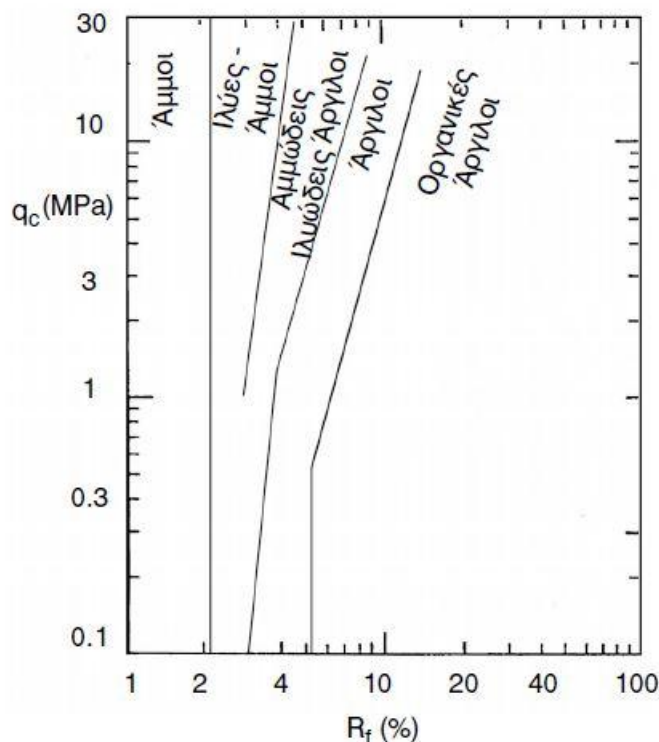
Κατά καιρούς, έχουν προταθεί διάφορες συσχετίσεις με σκοπό την αναγνώριση του τύπου των εδαφών, ενώ παράλληλα έχουν δοθεί διαγράμματα ταξινόμησης με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών πενетроμέτρησης. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται οι τιμές της αντοχής του κώνου q_c , της τοπικής πλευρικής τριβής f_s στο μανδύα του κώνου και του λόγου τριβών R_f . Τέτοια διαγράμματα ταξινόμησης που βασίζονται σε μηχανικούς κώνους είναι τα διαγράμματα των SEARLE (1979), SCHMERTMAN (1978), ROBERTSON and CAMPANELLA (1983) (βλ. Διαγράμματα 3.4, 3.5, 3.6).



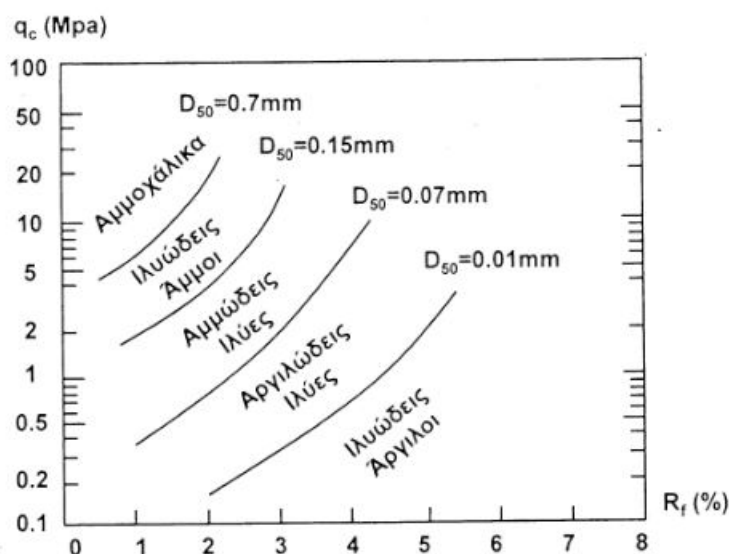
ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ

- Gravel - Χάλικες
- Sandy gravel - Αμμώδεις χάλικες
- Gravelly sand - Άμμος με χαλίκια
- Sand - Άμμος
- Silty sand - Ιλυώδης άμμος
- Clayey silty sand - Αργιλοίλυδης άμμος
- Clayey sandy silt - Αμμοίλυς
- Clayey silt - Αργιλοίλυς
- Silty clay - Ιλυώδης άργιλος
- Heavy clay - Πλαστική άργιλος
- Peaty clay - Οργανική άργιλος
- Peat - Τύρφη

Διάγραμμα 3.4: Κατάταξη εδαφών μέσω του λόγου R_f και της q_c (Searle, 1979)



Διάγραμμα 3.5: Κατάταξη εδαφών με βάση τα αποτελέσματα δοκιμών CPT (Schmertman, 1978)



Διάγραμμα 3.6: Κατάταξη εδαφών μέσω του λόγου R_f και της q_c , όπου D_{50} η διάμετρος των κόκκων από την οποία διέρχεται το 50% του υλικού (Robertson & Campanella, 1983)

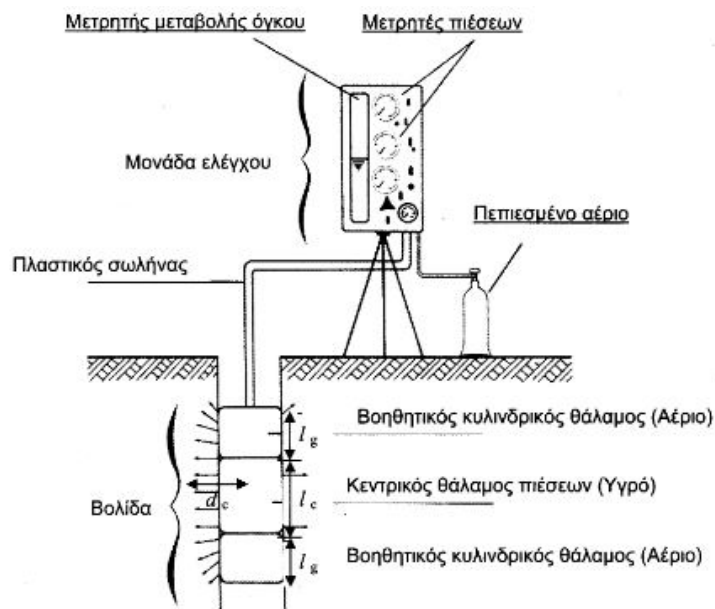
Η δοκιμή Διεϊσδυσής Κώνου σήμερα εκτελείται με «ηλεκτρικούς κώνους», στους οποίους οι μετρήσεις λαμβάνονται με ηλεκτρικούς μετατροπείς και καταγράφονται αυτομάτως αναλογικά ή ψηφιακά. Επίσης, συχνά τοποθετείται στην περιοχή της αιχμής και ένα πιεζόμετρο για τη μέτρηση της πίεσης πόρων που αναπτύσσεται κατά την προώθηση του κώνου.

Η δοκιμή εκτελείται χωρίς δειγματοληψία και συνεπώς η στρωματογραφία του εδάφους πρέπει να συναχθεί από τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Από τις μετρήσεις της αντοχής αιχμής (q_c), της πλευρικής τριβής (f_s) και της αναπτυσσόμενης πίεσης πόρων (u_s) σε συνδυασμό με την εμπειρία που έχει αποκτηθεί κατά την πολυετή εφαρμογή της μεθόδου,

αλλά και τη βαθμονόμησή της με την εκτέλεση μερικών δοκιμών δίπλα σε δειγματοληπτικές γεωτρήσεις στην περιοχή του έργου, συνάγεται η στρωματογραφία και η συνεκτικότητα / σχετική πυκνότητα των εδαφικών σχηματισμών. Τα κύρια πλεονεκτήματα της δοκιμής είναι η ταχύτητα εκτέλεσής της και η συνεχής καταγραφή των εδαφικών χαρακτηριστικών με το βάθος, ενώ το κύριο μειονέκτημα είναι ότι δεν λαμβάνονται εδαφικά δείγματα. Η δοκιμή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη με χάλικες ή σε σκληρές αργίλους, λόγω αδυναμίας προώθησης του κώνου.

3.2.3.3 Δοκιμή πρεσσιομέτρου

Η δοκιμή πρεσσιομέτρου είναι δοκιμή στατικής επί τόπου φόρτισης του εδάφους, που πραγματοποιείται με τη βοήθεια κυλινδρικής βολίδας που έχει δυνατότητα ακτινικής διόγκωσης. Η βολίδα εισάγεται μέσα στη γεώτρηση, στο επιθυμητό βάθος και διογκούμενη υδραυλικά από κατάλληλο σύστημα που βρίσκεται στην επιφάνεια, πιέζει τα τοιχώματα της γεώτρησης. Η εκτέλεση της δοκιμής αποβλέπει στην απόκτηση σχέσης τάσης - παραμόρφωσης του εδάφους, με παραδοχή επίπεδης έντασης καθώς και στον προσδιορισμό της οριακής αντοχής του.



Εικόνα 3.11: Γενική διάταξη δοκιμής πρεσσιομέτρου

Ο πλέον συνηθισμένος τύπος πρεσσιομέτρου είναι το πρεσσιόμετρο Menard (MPM), το οποίο και περιγράφεται στη συνέχεια. Υπάρχουν και άλλοι τύποι πρεσσιομέτρων που σπάνια χρησιμοποιούνται στον Ελληνικό χώρο, όπως τα εμπηγνύομενα πρεσσιόμετρα, τα οποία δεν απαιτούν τη διάνοιξη γεώτρησης.

Η δοκιμή γίνεται σε διάφορες στάθμες (βάθη) μέσα σε γεώτρηση. Εισάγεται η κυλινδρική πρεσσιομετρική βολίδα (βλ. Εικόνα 3.11), που έχει διάμετρο λίγο μικρότερη από εκείνη της οπής της γεώτρησης και τοποθετείται στη στάθμη που έχει επιλεγεί για τη δοκιμή. Η βολίδα συνδέεται με λεπτούς σωλήνες υψηλής πίεσης με δοχείο υγρού (συνήθως αποσταγμένου νερού), που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Από το δοχείο αυτό διοχετεύεται στη βολίδα υγρό με πίεση ώστε αυτή να διογκώνεται και πιέζει τα τοιχώματα της γεώτρησης και μετρείται η διαστολή της για διάφορες επιβαλλόμενες πιέσεις. Η γενική διάταξη της δοκιμής φαίνεται στην Εικόνα 3.12.



Εικόνα 3.12: Πρεσσιομετρική βολίδα

Από τις μετρήσεις που λαμβάνονται κατά την εκτέλεση της δοκιμής σε ένα συγκεκριμένο βάθος στη γεώτρηση, σχεδιάζονται τα σχετικά διαγράμματα που φαίνονται στο παρακάτω Διάγραμμα 3.7. Τα διαγράμματα αυτά είναι η μεταβολή όγκου και πίεσης με το χρόνο, η πρεσσιομετρική καμπύλη πιέσεων - ογκομετρικών παραμορφώσεων (διογκώσεων) και η καμπύλη ερπυστικών παραμορφώσεων σε σχέση με την πίεση.

Από την πρεσσιομετρική καμπύλη και την καμπύλη ερπυσμού προσδιορίζονται τα παρακάτω μεγέθη:

- Το ελαστικό όριο $P_o = \sigma_{ho}$ (δηλαδή η οριζόντια γεωστατική τάση)
- Η πίεση ερπυσμού P_f (με τον όρο «ερπυστικές παραμορφώσεις» καθορίζουμε την παρατηρούμενη διαφορά του όγκου σε 30 και 60 sec στην εκάστοτε βαθμίδα εξασκούμενης πίεσης).
- Η οριακή πίεση P_l . Σε πυκνά ή / και σκληρά εδάφη είναι δυνατό η οριακή πίεση να υπερβαίνει τη μέγιστη πίεση του οργάνου. Στην περίπτωση αυτή είναι δυνατή η έμμεση εκτίμηση της οριακής πίεσης με θεωρητική επέκταση των αποτελεσμάτων της δοκιμής.
- Το πρεσσιομετρικό μέτρο παραμόρφωσης (EM) που αντιπροσωπεύει την κλίση της ψευδοελαστικής περιοχής (ή της επαπτόμενης στο μέσο της ψευδοελαστικής περιοχής) και εκφράζεται από τη σχέση:

$$E_M = 2(1+\nu) (V_o + V) (\Delta_p/\Delta_v) \quad \text{με } \nu = 0.333 \text{ (λόγος Poisson)}$$

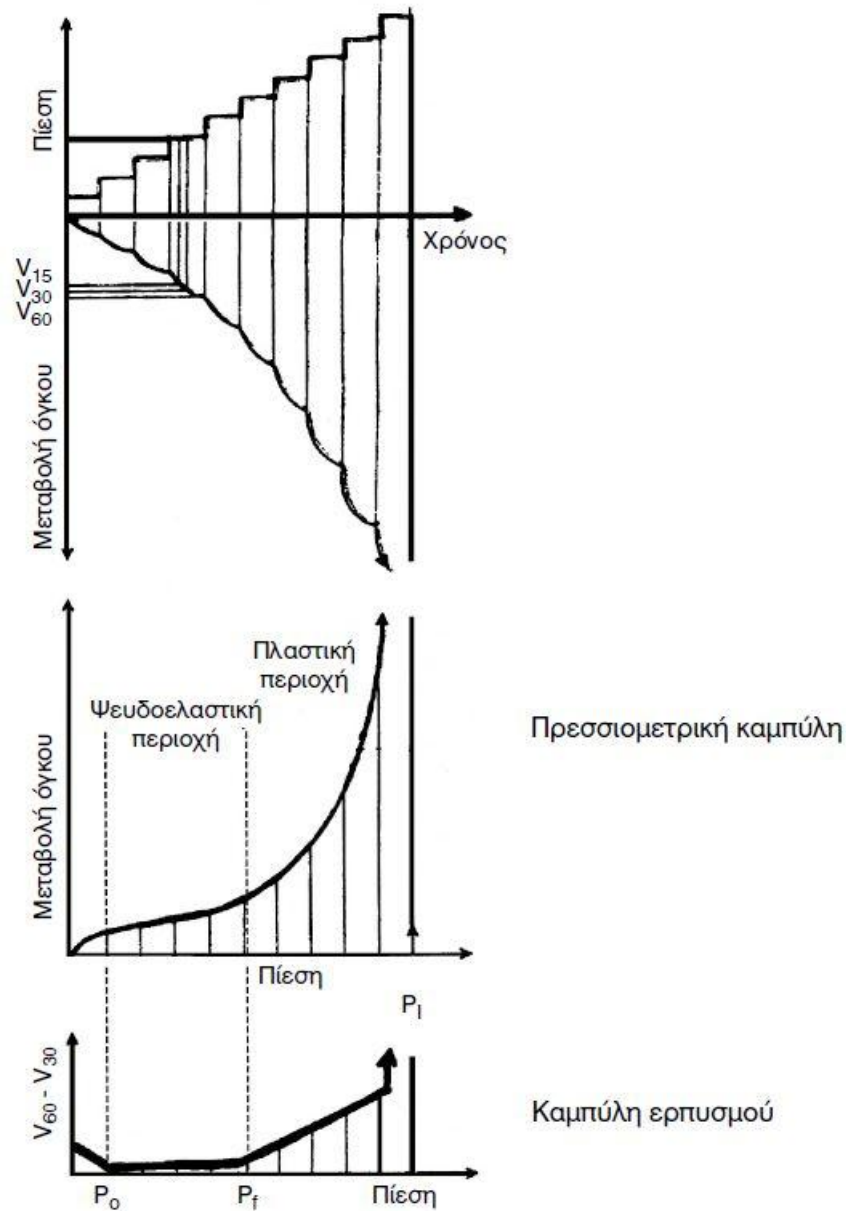
όπου,

V_o = ο αρχικός όγκος του θαλάμου μέτρησης

V = ο μέσος πρόσθετος όγκος στην ελαστική περιοχή.

Η διατύπωση της προηγούμενης σχέσης προκύπτει από εφαρμογή της θεωρίας ελαστοπλαστικής διόγκωσης κυλινδρικής κοιλότητας σε απεριόριστο μέσο.

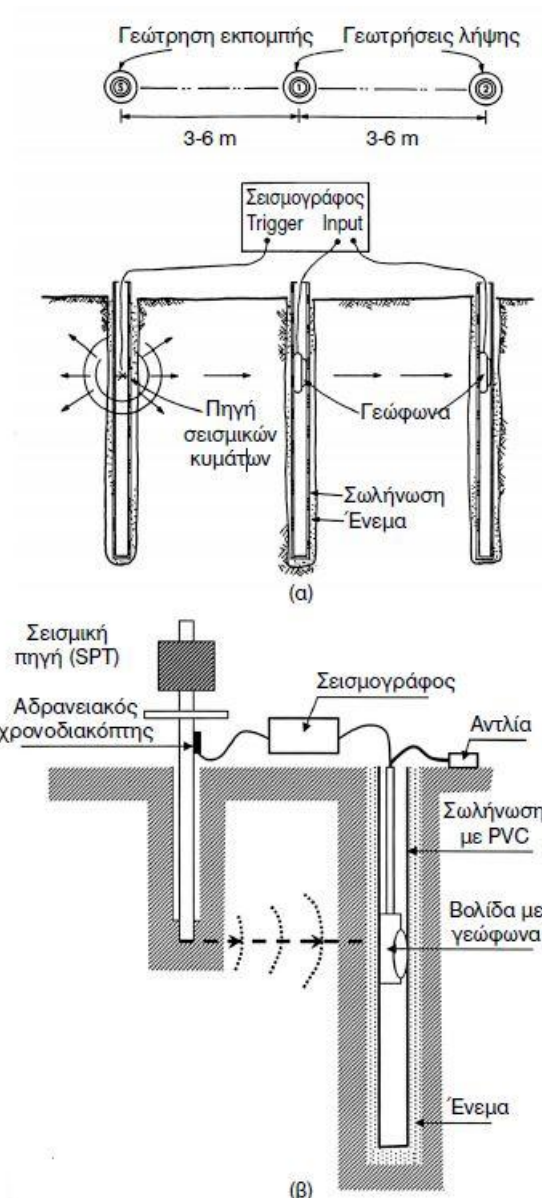
Τα μεγέθη P_o , P_f , P_l και E_M χρησιμοποιούνται σαν παράμετροι σχεδιασμού θεμελιώσεων, με τη χρήση εμπειρικών σχέσεων.



Διάγραμμα 3.7: Διάγραμμα δοκιμής πρεσσιόμετρου

3.2.3.4 Δοκιμή Cross - Hole

Η δοκιμή cross-hole χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των δυναμικών ιδιοτήτων του εδάφους (δυναμικά μέτρα διάτμησης και ελαστικότητας και λόγος Poisson). Η εκτέλεση της δοκιμής αποβλέπει στην ακριβή μέτρηση των ταχυτήτων διάδοσης των διατμητικών (V_s) και διαμήκων (V_p) κυμάτων στο έδαφος και επειδή προφανώς αναφέρεται σε μικρές παραμορφώσεις του εδαφικού υλικού, εκτιμώνται τα μέγιστα (ή αρχικά) δυναμικά μέτρα διάτμησης (G_o ή G_{max}) και ελαστικότητας (E_o ή E_{max}).



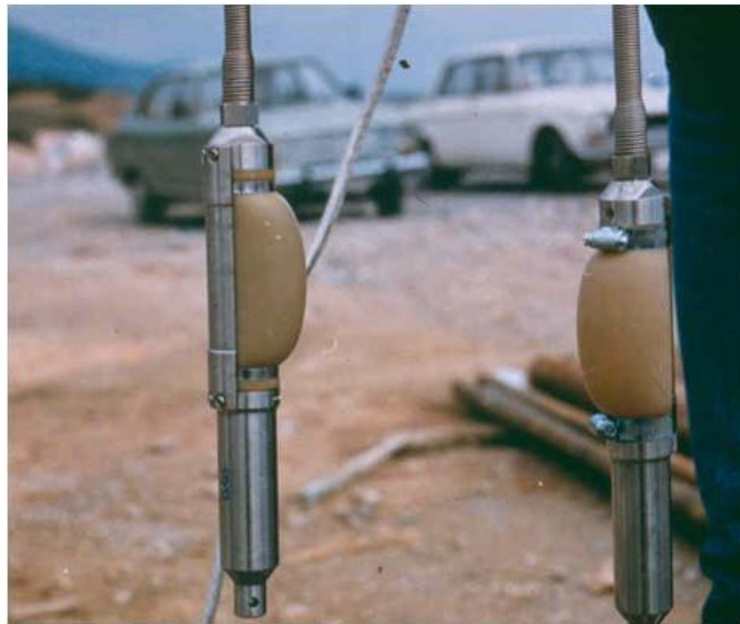
Εικόνα 3.13: Σχηματική διάταξη εκτέλεσης δοκιμών Cross-hole με τη χρήση α) δύο και β) μιας γεώτρησης λήψης

Διανοίγονται μία ή δύο γεωτρήσεις σε προκαθορισμένες μεταξύ τους αποστάσεις, οι οποίες και επενδύονται σε όλο το βάθος τους με σωλήνες PVC Φ75. Στη συνέχεια διανοίγεται νέα γεώτρηση, σε ευθυγραμμία με τις άλλες και κατά τη διάρρησή της εκτελείται η δοκιμή σε διάφορα βάθη. Τυπική διάταξη για την εκτέλεση των δοκιμών Cross-Hole παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.13, που αποτελείται από μία γεώτρηση εκπομπής και μία ή δύο γεωτρήσεις λήψης. Ο βασικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- Την πηγή διατμητικών (S) και διαμήκων (P) σεισμικών κυμάτων. Η πηγή των σεισμικών κυμάτων που χρησιμοποιείται συνήθως είναι ο διαιρετός δειγματολήπτης Terzaghi της δοκιμής πρότυπης διείδυσης (SPT). Διείδυση του δειγματολήπτη στο έδαφος, προκαλεί κυρίως κατακόρυφα πολωμένα διατμητικά κύματα, μικρού πλάτους ταλάντωσης, τα οποία προσφέρονται ιδιαίτερα για τη μέτρηση του ελαστικού (μεγίστου) μέτρου διάτμησης του εδάφους (G_0). Επιπρόσθετα, η διείδυση του δειγματολήπτη στο έδαφος προκαλεί και διαμήκη κύματα λόγω της μικρής σχετικά προκαλούμενης εκτόπισης του εδάφους. Τα κύματα αυτά σε συνδυασμό με τα

διατμητικά κύματα επιτρέπουν επιπλέον τον υπολογισμό του ελαστικού λόγου του Poisson (ν) και του ελαστικού μέτρου του Young (E_0). Σαν πηγή μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και ειδική μηχανική διάταξη που πακτώνεται υδραυλικά στα τοιχώματα της γεώτρησης εκπομπής στο επιθυμητό βάθος και αποτελείται από στέλεχος με ειδικό βάρος ανάκρουσης το οποίο παράγει κρούσεις και στις δυο κατακόρυφες διευθύνσεις. Η χρήση της παραπάνω μηχανικής διάταξης, προαπαιτεί την επένδυση της γεώτρησης εκπομπής με σωλήνες PVC $\Phi 90$.

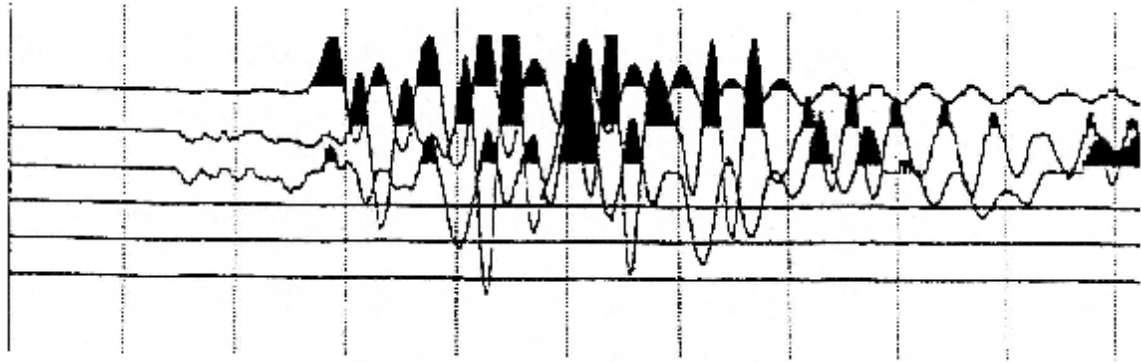
- Το σύστημα λήψης των κυμάτων, μαζί με υδραυλικό σύστημα πάκτωσης στη γεώτρηση λήψης και συμβατό σειсмоγράφο για την καταγραφή των σημάτων. Το σύστημα λήψης των σεισμικών κυμάτων που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση των δοκιμών Cross-Hole, αποτελείται από τρία μονοαξονικά γεώφωνα (δηλαδή ένα τριαξονικό γεώφωνο) προσανατολισμένα σε τρισσορθογώνιο σύστημα αξόνων, ο ένας από τους οποίους ταυτίζεται με τον άξονα της γεώτρησης (δηλαδή κατακόρυφο). Τα γεώφωνα αυτά περιβάλλονται από μεταλλική βολίδα. Η πάκτωση της βολίδας (δηλαδή των γεωφώνων) μέσα στη γεώτρηση λήψης επιτυγχάνεται με υδραυλικά διογκούμενη ελαστική μεμβράνη που είναι κατάλληλα προσαρμοσμένη στη βολίδα, η οποία περικλείει τα γεώφωνα (βλ. Εικόνα 3.14). Η βολίδα συνδέεται με σειсмоγράφο που έχει τη δυνατότητα επαλληλίας των σημάτων, διαθέτει οθόνη καθοδικών ακτίνων (CRD), ηλεκτροστατικό εκτυπωτή μεγάλης διακριτικότητας, κ.λ.π.
- Τον αδρανειακό χρονοδιακόπτη (trigger) για την αυτόματη έναρξη μετρήσεων του χρόνου μετάδοσης των κυμάτων με την κρούση της πηγής.



Εικόνα 3.14: Μεταλλική βολίδα που περιέχει τριαξονικό γεώφωνο και διογκούμενη ελαστική μεμβράνη για πάκτωση στα τοιχώματα της γεώτρησης

Η δοκιμή cross-hole γίνεται αφού η βολίδα (ή οι βολίδες) πακτωθεί σε τέτοιο βάθος μέσα στη (ή στις) γεωτρήσεις λήψης, ώστε η στάθμη των γεωφώνων να ταυτίζεται περίπου με τη στάθμη της αιχμής του διαιρετού δειγματολήπτη SPT στη γεώτρηση εκπομπής.

Η παραγωγή σεισμικών κυμάτων P και S μέσα στο έδαφος γίνεται με τη βοήθεια του βάρους της δοκιμής SPT ή της ειδικής πηγής.



Διάγραμμα 3.8: Καταγραφή δοκιμής cross-hole με τη χρήση μιας γεώτρησης λήψης. Η πρώτη κυματομορφή είναι του κατακόρυφου γεώφωνου (ευκρινής καταγραφή των S κυμάτων) και οι δύο επόμενες των δύο οριζοντίων γεωφώνων (ευκρινής καταγραφή των P κυμάτων).

Σε διαδοχικά βάθη, κατά την εκτέλεση των δοκιμών, καταγράφονται τα σήματα (κυματομορφές) των S και P κυμάτων και οι αντίστοιχοι χρόνοι άφιξης t_s και t_p (Διάγραμμα 3.8), οπότε υπολογίζονται οι ταχύτητες V_s και V_p και στη συνέχεια εκτιμώνται τα G_0 , E_0 και ν σύμφωνα με τις παρακάτω σχέσεις:

$$V_s = \frac{D}{t_s}$$

$$V_p = \frac{D}{t_p}$$

$$G_0 = \rho V_s^2$$

$$\nu = \frac{0,5 \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$

$$E_0 = 2(1 + \nu)G_0$$

όπου,

D = η οριζόντια απόσταση γεωτρήσεων (των δύο γεωτρήσεων λήψης η της μίας λήψης και εκπομπής).

G_0 = το δυναμικό ελαστικό (μέγιστο) μέτρο διάτμησης

E_0 = το δυναμικό ελαστικό (μέγιστο) μέτρο Ελαστικότητας

ν = ο λόγος Poisson

ρ = η πυκνότητα του εδάφους η οποία συσχετίζεται με το συνολικό φαινόμενο βάρος (γ_b) με τη σχέση $\rho = \gamma_b/g$.

Στη διεθνή βιβλιογραφία δίνεται ένας σημαντικός αριθμός εμπειρικών σχέσεων μεταξύ των εδαφικών παραμέτρων που εκτιμώνται από επί τόπου αλλά και εργαστηριακές δοκιμές, σαν αποτέλεσμα επεξεργασίας και αξιολόγησης πλήθους αντίστοιχων δοκιμών σε διάφορες περιοχές. Θα πρέπει να τονιστεί ότι όλες οι σχέσεις αυτές έχουν σχετικό βαθμό αξιοπιστίας στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο εμπειρικός χαρακτήρας και η αναφορά τους στις συγκεκριμένες εδαφικές συνθήκες. Αποτελούν πάντως

ένα βασικό εργαλείο υπολογισμών που συχνά χρησιμοποιούνται ακόμα και σε επίπεδο σχεδιασμού.

3.2.3.5 Δοκιμές εισπίσεων

Η γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στο σχεδιασμό και στη διαστασιολόγηση των τεχνικών έργων. Βασικής σημασίας είναι ο υπολογισμός της υδροπερατότητας του υπεδάφους, όπως αυτή εκφράζεται με το συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας k , που υπολογίζεται με τις επιτόπου δοκιμές εισπίσεων. Οι δοκιμές αυτές γίνονται κατά τη διάρκεια προχώρησης της δειγματοληπτικής γεώτρησης, όπου σε συγκεκριμένο απομονωμένο τμήμα της διοχετεύεται νερό και μετριέται, άμεσα ή έμμεσα, η ποσότητα νερού που απορροφάται από το έδαφος, σε σχέση με την εφαρμοζόμενη πίεσή του.

Η γνώση της υδροπερατότητας έχει μεγάλη σημασία στις εφαρμογές και μελέτες στεγανότητας του υπαβάθρου τεχνικών έργων (π.χ. φραγμάτων, ΧΥΤΑ), αποστραγγίσεων (π.χ. σηράγγων, κατολισθήσεων), κ.λ.π. Στις μελέτες και εφαρμογές εκμετάλλευσης υπόγειων νερών χρησιμοποιούνται κυρίως οι δοκιμαστικές αντλήσεις, οι οποίες είναι δοκιμές μεγαλύτερης ακρίβειας και περισσότερο αντιπροσωπευτικές, καθόσον αναφέρονται σε μεγαλύτερη έκταση του υπεδάφους. Η χρησιμοποίηση των δοκιμαστικών αντλήσεων για γεωτεχνικούς σκοπούς δεν ενδείκνυται, λόγω του σχετικά υψηλού κόστους τους, αλλά και της αδυναμίας εκτίμησης του k , τόσο κατά συγκεκριμένα βάθη, όπως αυτό είναι συνήθως επιθυμητό, όσο και στην ακόρεστη ζώνη (πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα).

Υπάρχουν οι παρακάτω τρεις κατηγορίες δοκιμών εισπίσεων, ανάλογα με τις συνθήκες εκτέλεσής τους και κυρίως με τον τρόπο διοχέτευσης και μέτρησης του νερού που απορροφάται:

1. Δοκιμές σταθερού φορτίου (δοκιμή Lefranc - κατάσταση ισορροπίας), όπου μετριέται η ποσότητα νερού που διοχετεύεται στο υπέδαφος ώστε να διατηρείται σταθερή στάθμη πάνω από το τμήμα της γεώτρησης που γίνεται η δοκιμή.
2. Δοκιμές μεταβλητού φορτίου (δοκιμή Maag - κατάσταση μη ισορροπίας), όπου μετριέται ο χρόνος πτώσης της στάθμης του νερού που διοχετεύεται στο τμήμα της γεώτρησης που γίνεται η δοκιμή.
3. Δοκιμές αποστολής νερού με πίεση (δοκιμή Lugeon), όπου μετριέται η ποσότητα του νερού που διοχετεύεται σε απομονωμένο με παρέμβυσμα (packer) τμήμα της γεώτρησης, σε σχέση με την επιβαλλόμενη πίεση αποστολής του νερού.

Δοκιμές σταθερού φορτίου (δοκιμή Lefranc)

Οι δοκιμές αυτές είναι κατάλληλες κυρίως για ομοιογενή χαλαρά η μέτριας συνεκτικότητας και μεγάλης υδροπερατότητας εδάφη, ενώ λιγότερο για ομοιογενή πετρώματα.

Η υδροπερατότητα υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$k = Q / (C \cdot h_c)$$

όπου,

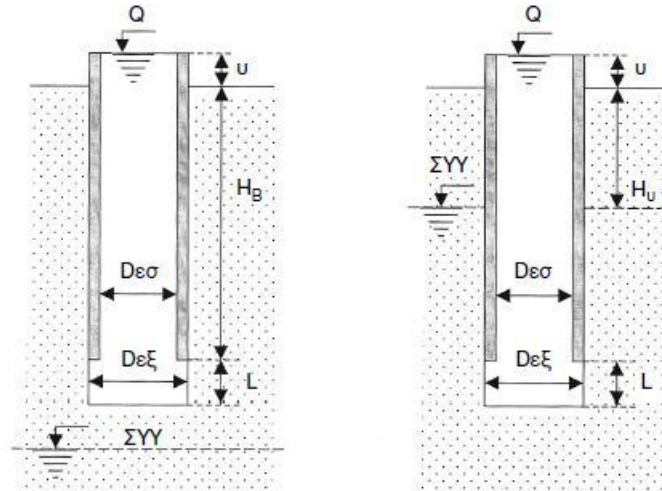
k : συντελεστής υδροπερατότητας

Q : παροχή νερού που διοχετεύεται ώστε να παραμένει σταθερή η στάθμη του

h_c : σταθερή στάθμη νερού που επιβάλλεται και μετριέται από τη μέση του εισπιεζόμενου τμήματος

C: συντελεστής «θύλακα» που εξαρτάται από τη γεωμετρική μορφή του εισπιεζόμενου τμήματος.

Στην Εικόνα 3.15 δίνεται τυπική διάταξη της δοκιμής σταθερού φορτίου, ανάλογα με τη θέση του εισπιεζόμενου τμήματος σε σχέση με τον υδροφόρο ορίζοντα και στην περίπτωση που γίνεται πλήρωση της σωλήνωσης επένδυσης μέχρι το άνω άκρο της.



Εικόνα 3.15: Τυπική διάταξη δοκιμής σταθερού φορτίου

Όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι χαμηλότερα από το εισπιεζόμενο τμήμα ισχύει:

$$h_c = H_B + L/2 + u$$

όπου,

H_B : το βάθος της σωλήνωσης επένδυσης

$L/2$: το μισό του εισπιεζόμενου τμήματος

u : το μήκος του σωλήνα επένδυσης που «εξέχει» της επιφάνειας του εδάφους

Όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υψηλότερα από το εισπιεζόμενο τμήμα ισχύει:

$$h_c = H_u + u$$

όπου H_u είναι το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα.

Δοκιμές μεταβλητού φορτίου (Δοκιμές MAAG)

Οι δοκιμές αυτές είναι κατάλληλες κυρίως για ομοιογενή χαλαρά ή μέτριας συνεκτικότητας και μικρότερης υδροπερατότητας εδάφη, ενώ λιγότερο για ομοιογενή πετρώματα. Όταν η διάτρηση της δειγματοληπτικής γεώτρησης φθάσει στο επιθυμητό βάθος, ακολουθείται η ίδια ακριβώς διαδικασία που περιγράφηκε στη δοκιμή σταθερού φορτίου, με τη διαφορά ότι γίνεται πλήρωση με νερό της σωλήνωσης επένδυσης και στη συνέχεια μετρείται ο ρυθμός πτώσης της στάθμης με το χρόνο.

Η διαπερατότητα υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$k = \frac{A}{C(t_2 - t_1)} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

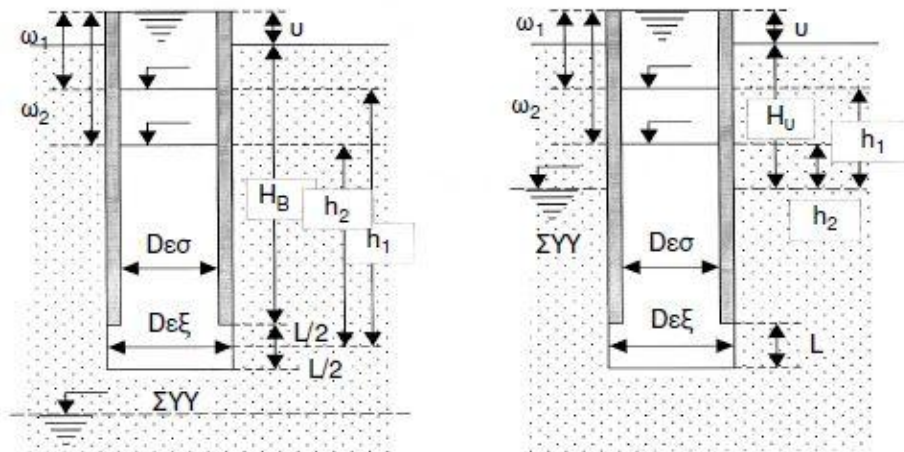
όπου,

k: συντελεστής υδροπερατότητας

A: διατομή της στήλης νερού μέσα στη γεώτρηση ($=\pi D_{\epsilon\sigma}^2 / 4$) με $D_{\epsilon\sigma}$ την εσωτερική διάμετρο της σωλήνωσης

C: συντελεστής «θύλακα» που εξαρτάται από τη γεωμετρική μορφή του εισπιεζόμενου τμήματος.

h_1 και h_2 : οι στάθμες του νερού σε χρονικές στιγμές t_1 και t_2 αντίστοιχα, ενώ για τη μέτρησή τους ισχύουν περίπου τα ίδια με τον υπολογισμό της στάθμης που αναφέρθηκε στη δοκιμή σταθερού φορτίου.



Εικόνα 3.16: Τυπική διάταξη δοκιμής μεταβλητού φορτίου

Στην Εικόνα 3.16 φαίνεται διάταξη της δοκιμής μεταβλητού φορτίου, ανάλογα με τη θέση του εισπιεζόμενου τμήματος σε σχέση με τον υδροφόρο ορίζοντα. Όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι χαμηλότερα από το εισπιεζόμενο τμήμα τότε:

$$h_1 = H_B + L/2 + v - \omega_1$$

όπου,

H_B : το βάθος της σωλήνωσης επένδυσης

$L/2$: το μισό του εισπιεζόμενου τμήματος

v : το μήκος του σωλήνα επένδυσης που «εξέχει» της επιφάνειας του εδάφους

ω : η μετρούμενη στάθμη του νερού από το άκρο του σωλήνα (ω_1 και ω_2 για h_1 και h_2 αντίστοιχα)

Όταν η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα είναι υψηλότερα από το εισπιεζόμενο τμήμα, ισχύει:

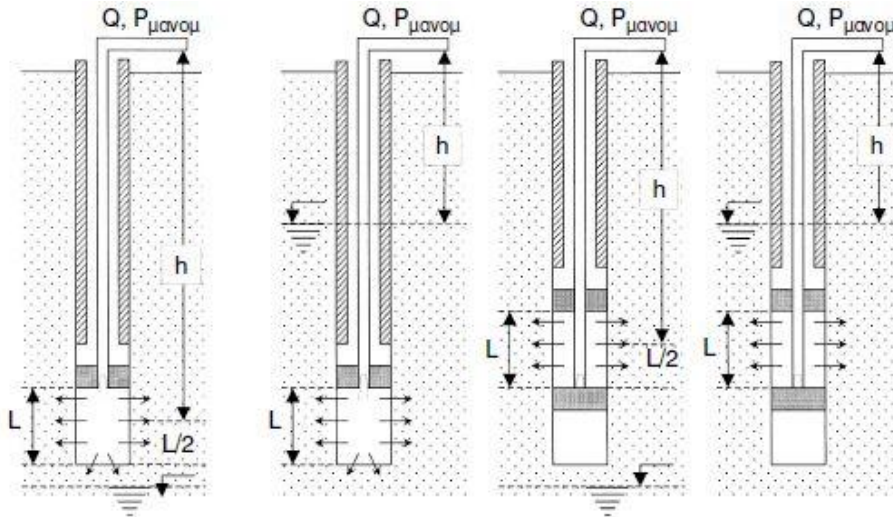
$$h_1 = H_u + v - \omega_1$$

όπου, H_u είναι το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα.

Δοκιμές αποστολής νερού με πίεση (Δοκιμή Lugeon)

Οι δοκιμές αυτές είναι κατάλληλες για πετρώματα και κυρίως για έντονα διακλασμένες βραχομάζες. Επίσης μπορούν να εφαρμοστούν σε σκληρά εδάφη, με την προϋπόθεση ότι μπορούν να αντέξουν τις πιέσεις που εξασκούνται κατά τη δοκιμή.

Το εισπιεζόμενο τμήμα έχει μήκος 3 μέχρι 5 m από τον πυθμένα της γεώτρησης και απομονώνεται από πάνω με ειδικό παρέμβυσμα (packer), το οποίο διογκούμενο μηχανικά ή υδραυλικά, εφάπτεται στα τοιχώματα της γεώτρησης και δεν επιτρέπει διαφυγές του νερού προς τα πάνω κατά την εκτέλεση της δοκιμής (Εικόνα 3.17). Εναλλακτικά, μπορεί το εισπιεζόμενο τμήμα να περικλείεται μεταξύ δύο παρεμβυσμάτων στην περίπτωση που οι δοκιμές εκτελούνται σε επιθυμητά βάθη, μετά την ολοκλήρωση της δειγματοληπτικής γεώτρησης. Εισπίζεται νερό με τη χρήση αντλίας με μανόμετρο από την επιφάνεια και με υδρομετρητή μετρείται η παροχή του.



Εικόνα 3.17: Τυπική διάταξη δοκιμής Lugeon με τη χρήση μονού και διπλού παρεμβύσματος (packer), πάνω και κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα

Ο συντελεστής υδροπερατότητας προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$k = \frac{Q}{2\pi L P_{\text{πραγμ}}} \cdot \ln \frac{2L}{D_{\text{εξωτ}}}$$

όπου,

k : συντελεστής υδροπερατότητας

Q: παροχή νερού που διοχετεύεται

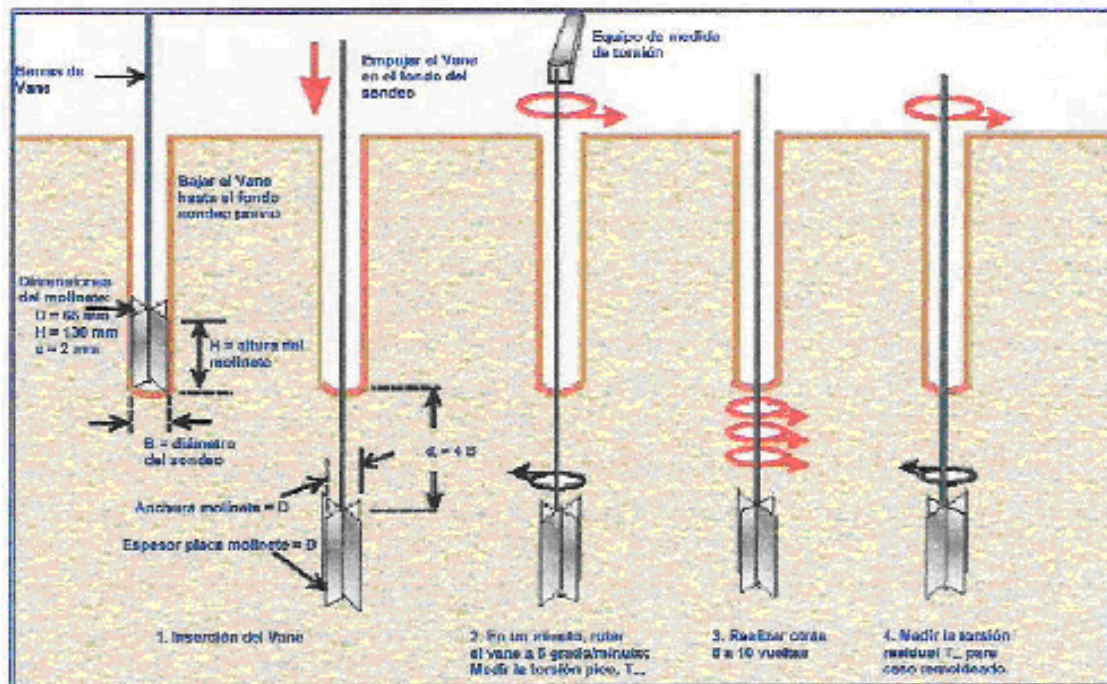
L: το εισπιεζόμενο τμήμα

$D_{\text{εξωτ}}$: η εξωτερική διάμετρος της σωλήνωσης επένδυσης

$P_{\text{πραγμ}}$: η πραγματική πίεση που εξασκείται στο βάθος εκτέλεσης της δοκιμής. Η πίεση αυτή εκφράζεται σαν υδραυλικό φορτίο, δηλαδή σε μέτρα στήλης νερού και γενικά ισχύει: $h(\text{m}) = P_{\text{πραγμ}} (\text{kg/cm}^2) \times 10$.

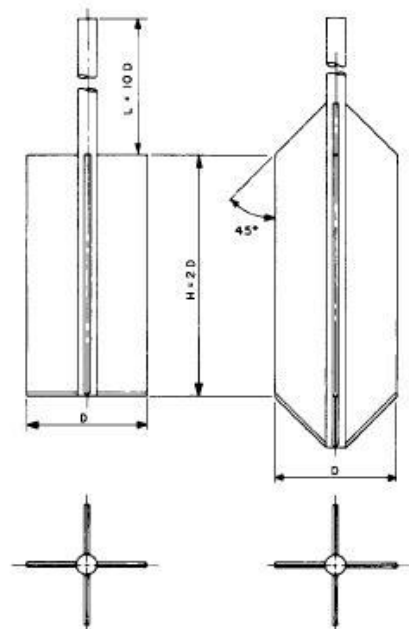
3.2.3.6 Η Δοκιμή Πτερυγίου (FVT)

Η επί τόπου Δοκιμή Πτερυγίου (field vane test) αναπτύχθηκε στις Σκανδιναβικές χώρες για τη μέτρηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής των μαλακών αργίλων.



Εικόνα 3.18: Παρουσίαση των φάσεων εκτέλεσης της δοκιμής FVT

Κατά τη δοκιμή, που εκτελείται σε συνδυασμό με δειγματοληπτική γεώτρηση, εισάγεται στο έδαφος κάτω από τον πυθμένα της γεώτρησης ένα σύστημα δύο κατακόρυφων μεταλλικών πλακών (περυγίο) σε σχήμα σταυρού (Εικόνα 3.18, 3.19).



Ορθογωνικά περυγία Κωνικά περυγία

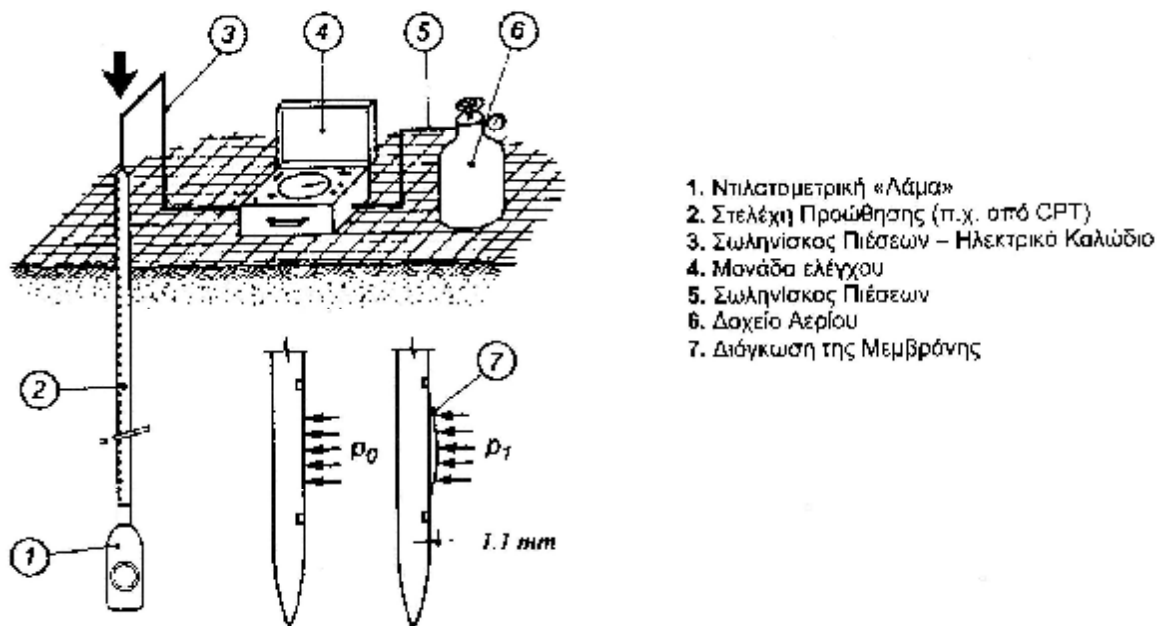
Εικόνα 3.19: Μορφές και γεωμετρία περυγίων

Κατά την περιστροφή του συστήματος μετράται η απαιτούμενη ροπή στρέψης σαν συνάρτηση της γωνίας στροφής, καθώς και η μέγιστη ροπή στρέψης, που συσχετίζεται (ημιεμπειρικά) με την αστράγγιστη διατμητική αντοχή του εδάφους. Τα αποτελέσματα της δοκιμής έχουν εφαρμοσθεί με επιτυχία στην ανάλυση της ευστάθειας επιχωμάτων και

εδαφικών πρανών. Έχει επίσης αναπτυχθεί και πτερύγιο μικρών διαστάσεων για την εκτέλεση της δοκιμής σε αδιατάρακτα εδαφικά δοκίμια στο εργαστήριο.

3.2.3.7 Επίπεδο Ντιλατόμετρο - Flat Dilatometer Test (DMT)

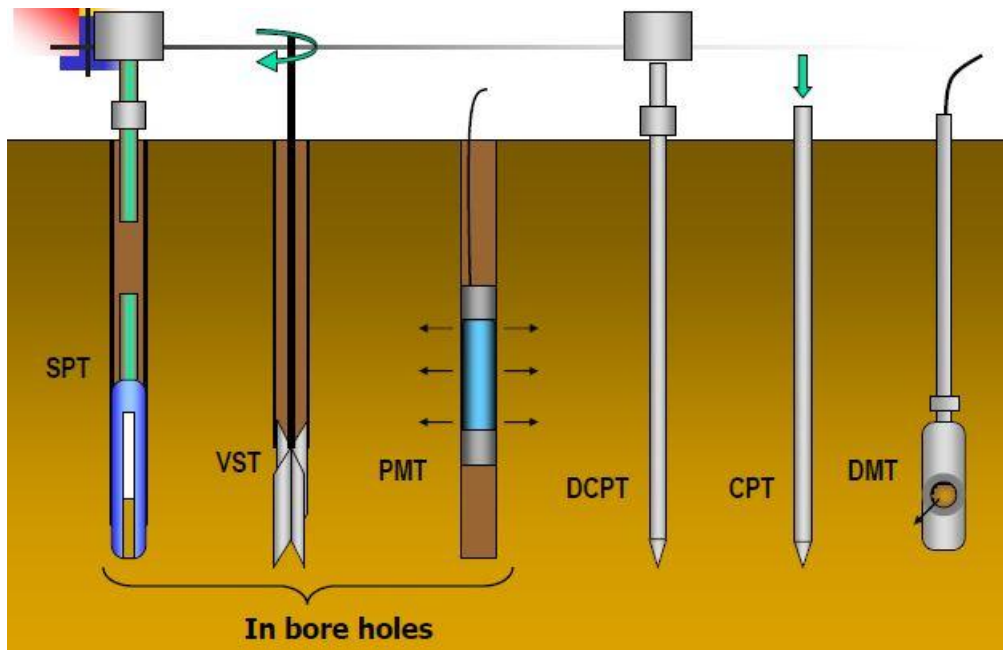
Το Επίπεδο Ντιλατόμετρο (Διαστολόμετρο) Marchetti (DMT) είναι μια λεπτή, μεταλλική, «κούφια» πλάκα, η οποία ονομάζεται «λάμα» (blade), λόγω της λεπτότητάς της. Οι διαστάσεις της «λάμας» είναι 95mm x 200mm, με πάχος 14mm (βλ. Εικόνα 3.20). Στη μία όψη της «λάμας» υπάρχει ένα ομοεπίπεδο κυκλικό «παράθυρο», διαμέτρου 60mm, το οποίο καλύπτεται από μία εύκαμπτη μεμβράνη από ανοξείδωτο χάλυβα. Η μεμβράνη αυτή έχει τη δυνατότητα να εκτείνεται προς τα έξω, με πίεση εκ των έσω, με αέριο (άζωτο) ή υγρό. Πίσω από τη μεμβράνη υπάρχει μετρητική διάταξη των πιέσεων, η οποία δίνει ένα σήμα μόλις η μεμβράνη αρχίσει να αποκολλάται από τη βάση της (ή μετακινηθεί το κέντρο της κατά 0.05mm), καθώς και όταν πραγματοποιηθεί στο κέντρο της μετακίνηση 1.1mm. Στα δύο αυτά σημεία λαμβάνονται μετρήσεις των αντίστοιχων πιέσεων p_0 και p_1 . Η «λάμα» προωθείται στο έδαφος είτε με συνεχή ώθηση (χρησιμοποιώντας μια συσκευή πενετρομέτρου π.χ. 10t) είτε με ελαφρές κρούσεις (π.χ. χρησιμοποιώντας σφύρα ή τη διάταξη της δοκιμής SPT). Κατά την προώθηση της «λάμας» θα πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια ώστε να αποφεύγεται η παραμόρφωσή της, δεδομένου ότι μπορεί να αναλάβει φορτίο έως 250kN.



Εικόνα 3.20: Διάταξη συσκευής Ντιλατομέτρου Marchetti και «λάμας» DMT (Marchetti et al.,2001)

Σκοπός της δοκιμής είναι η λήψη πληροφοριών για την εδαφική στρωματογραφία, την επί τόπου εντατική κατάσταση, παραμέτρους παραμορφωσιμότητας, καθώς και τη διατμητική αντοχή σε διάφορα βάθη (EN ISO/TS 22476-11). Γενικά, η εφαρμογή της δοκιμής DMT ενδείκνυται για τη διερεύνηση αργιλικών ή ιλυωδών σχηματισμών, καθώς και λεπτόκοκκων (κυρίως) άμμων, σε βάθος έως και 50m.

Μετά την παρουσίαση των κυριότερων επί τόπου δοκιμών, για λόγους σύγκρισης απεικονίζονται στην Εικόνα 3.21 συγκεντρωτικά 5 από τις συχνότερα χρησιμοποιούμενες δοκιμές στις γεωτεχνικές έρευνες.



Εικόνα 3.21: Συγκριτική απεικόνιση των κυριότερων επί τόπου δοκιμών

Όργανα μέτρησης που χρησιμοποιούνται παράλληλα με τις επιτόπου δοκιμές

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των επί τόπου δοκιμών, έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις της γεωτεχνικής έρευνας και άλλα όργανα μέτρησης, τα κυριότερα από τα οποία είναι:

1. Τα πιεζόμετρα είναι όργανα που τοποθετούνται σε διάφορες στάθμες της γεώτρησης για τη μέτρηση των μακροχρόνιων υδατικών πιέσεων στις θέσεις αυτές.
2. Τα κύτταρα πίεσης γαιών τοποθετούνται στο έδαφος (συνήθως στο οριζόντιο επίπεδο) για τη μέτρηση της ολικής κατακόρυφης τάσης.
3. Τα κλισιόμετρα είναι εύκαμπτοι ελαστικοί σωλήνες που τοποθετούνται στο εσωτερικό των γεωτρήσεων για τη μέτρηση των μακροχρόνιων οριζόντιων μετακινήσεων σε διάφορα βάθη.
4. Τα καθιζήσιμετρα είναι ένα σύστημα μεταλλικών δακτυλίων που τοποθετούνται σε διάφορα βάθη στο εσωτερικό γεωτρήσεων για τη μέτρηση των υποχωρήσεων του εδάφους στα βάθη αυτά.

3.3 Εργαστηριακές Δοκιμές

Στα εδαφικά δείγματα που λαμβάνονται κατά τη γεωτεχνική έρευνα εκτελούνται διάφορες εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους. Οι κυριότερες από αυτές είναι:

1. Δοκιμές κατάταξης (μπορούν να εκτελεστούν και σε διαταραγμένο δείγμα).
 - (α) Κοκκομέτρηση με κόσκινα.
 - (β) Κοκκομέτρηση με υγρόμετρο.
 - (γ) Προσδιορισμός ορίων Atterberg.
 - (δ) Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας.
 - (ε) Προσδιορισμός πυκνότητας των στερεών κόκκων.

- (στ) Προσδιορισμός πυκνότητας του εδαφικού υλικού.
 - (ζ) Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε οργανικά.
 - (η) Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε θειικά και χλωριόντα.
2. Δοκιμές συμπίεστικότητας (μόνο σε αδιατάρακτα δείγματα).
 - (α) Δοκιμή συμπίεσομέτρου.
 - (β) Δοκιμή διόγκωσης.
 - (γ) Δοκιμή ερπυσμού.
 3. Δοκιμές αντοχής (μόνο σε αδιατάρακτα δείγματα).
 - (α) Κυλινδρική τριαξονική δοκιμή.
 - (β) Δοκιμή απευθείας διάτμησης.
 - (γ) Δοκιμή απλής διάτμησης.
 4. Δοκιμές διαπερατότητας (μόνο σε αδιατάρακτα δείγματα).
 - (α) Διαπερατόμετρο σταθερού φορτίου.
 - (β) Διαπερατόμετρο μεταβλητού φορτίου.

Στην Ελλάδα οι εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής εκτελούνται σύμφωνα τις προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ε 105-86 - ΦΕΚ 955 Β'/31.12.86) και γενικά συμφωνούν με τις αντίστοιχες Αμερικάνικες προδιαγραφές του AASHTO και του ASTM. Οι παραπάνω εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής περιγράφονται διεξοδικά στη βιβλιογραφία και επειδή οι περισσότερες εξ αυτών έχουν παρουσιαστεί και στις εργαστηριακές ασκήσεις των μαθημάτων Εδαφομηχανικής Ι & ΙΙ του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της Σχολής μας, δεν θα μπορούμε στον πειρασμό να τις παρουσιάσουμε εδώ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων στη σύγχρονη κοινωνία αποτελεί μια πρόκληση. Η παραγωγή αποβλήτων αυξάνει με την αύξηση του πληθυσμού και την οικονομική ανάπτυξη. Ακατάλληλη διαχείριση στερεών αποβλήτων σημαίνει κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Ανεξέλεγκτη απόρριψη και ακατάλληλη διαχείριση των αποβλήτων προκαλεί πολλά προβλήματα, συμπεριλαμβανομένων της ρύπανσης των υδάτων, της προσέλευσης εντόμων και τρωκτικών, καθώς και της αύξησης των πλημμύρων λόγω των αποκλεισμένων διόδων απορροής ή των ρεμάτων. Επιπλέον, τέτοια φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιές ή εκρήξεις. Ακατάλληλη διαχείριση των αποβλήτων αυξάνει επίσης τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (GHG), που συμβάλλουν στην αλλαγή του κλίματος.

Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου προγράμματος για τη συλλογή, μεταφορά και διάθεση απορριμμάτων, σε συνδυασμό με δραστηριότητες για την πρόληψη ή την ανακύκλωση των αποβλήτων, μπορεί να εξαλείψει αυτά τα προβλήματα.

4.1 Τι είναι το Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων

Το Ολοκληρωμένο Σύστημα Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΟΣΔΑ) είναι μια ολοκληρωμένη διαδικασία πρόληψης δημιουργίας απορριμμάτων, ανακύκλωσης, κομποστοποίησης και διάθεσης αυτών. Ένα αποτελεσματικό σύστημα ΟΣΔΑ προβλέπει πως θα γίνεται η πρόληψη, η ανακύκλωση και η διαχείριση των στερεών απορριμμάτων, με τρόπους που προστατεύουν πιο αποτελεσματικά την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Το ΟΣΔΑ περιλαμβάνει την αξιολόγηση των τοπικών αναγκών και συνθηκών και στη συνέχεια δρομολογεί την επιλογή και το συνδυασμό των πιο κατάλληλων διαδικασιών διαχείρισης αποβλήτων για αυτές τις συνθήκες.

Οι κύριες δραστηριότητες του ΟΣΔΑ (Integrated Solid Waste Management) είναι η πρόληψη των αποβλήτων (Waste Prevention), η ανακύκλωση και η κομποστοποίηση (Recycling and Composting), καθώς και η καύση και διάθεση σε κατάλληλα σχεδιασμένους, κατασκευασμένους και διαχειριζόμενους χώρους υγειονομικής ταφής (Disposal-Landfilling and Combustion) (Εικόνα 4.1). Κάθε μία από αυτές τις διαδικασίες απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, χρηματοδότηση, συλλογή και μεταφορά.



Εικόνα 4.1: Σχηματική απεικόνιση του ΟΣΔΑ

- **Πρόληψη της δημιουργίας απορριμμάτων**

Η πρόληψη δημιουργίας απορριμμάτων, ή «η μείωση στην πηγή» στόχο έχει να μη δημιουργούνται απόβλητα. Οι στρατηγικές περιλαμβάνουν τη χρήση λιγότερων υλικών συσκευασίας, το σχεδιασμό των προϊόντων ώστε να έχουν μεγαλύτερο κύκλο ζωής και την επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων. Η πρόληψη των αποβλήτων βοηθά στη μείωση της διακίνησης, επεξεργασίας, του κόστους διάθεσης, ενώ παράλληλα μειώνει την παραγωγή του μεθανίου.

- **Ανακύκλωση και κομποστοποίηση**

Η ανακύκλωση είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει τη συλλογή, την επανεπεξεργασία και/ή την ανάκτηση ορισμένων υλικών των απορριμμάτων (π.χ. γυαλί, μέταλλο, πλαστικό, χαρτί) ώστε να γίνουν νέα υλικά ή προϊόντα. Ορισμένα ανακυκλωμένα οργανικά υλικά είναι πλούσια σε θρεπτικές ουσίες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση εδαφών. Η μετατροπή των αποβλήτων σε πρόσθετα εδάφους ονομάζεται κομποστοποίηση. Τόσο η ανακύκλωση όσο και κομποστοποίηση παράγουν πολλά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη. Για παράδειγμα, δημιουργούνται θέσεις εργασίας και εισόδημα, παράγονται πολύτιμες πρώτες ύλες για τη βιομηχανία, βελτιώνουν τα εδάφη με την παραγωγή εδαφοβελτιωτικού κομπόστ, μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και τον αριθμό των χώρων υγειονομικής ταφής ή καύσης.

- **Διάθεση (υγειονομική ταφή και καύση)**

Οι δραστηριότητες αυτές απαιτούνται για τη διαχείριση των αποβλήτων, που δεν μπορούν να ανακυκλωθούν. Ένας τρόπος για τη διάθεσή τους είναι η τοποθέτηση σε κατάλληλα σχεδιασμένους και κατασκευασμένους, χώρους υγειονομικής ταφής, όπου ενταφιάζονται με ασφαλή τρόπο. Ένας άλλος τρόπος είναι μέσω της καύσης. Η καύση είναι ελεγχόμενη και βοηθά στη μείωση του όγκου τους. Επιπλέον, με κατάλληλη τεχνολογία και σε κατάλληλα σχεδιασμένους και κατασκευασμένους χώρους τα απόβλητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας από την ανάκτηση μεθανίου ή για την παραγωγή ατμού και νερού ως παραπροϊόντα, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης για την παραγωγή ενέργειας.

Αναπτύσσοντας μια εγκατάσταση για την ολοκληρωμένη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων ο προγραμματισμός είναι το πρώτο βήμα στο σχεδιασμό. Οι μελετητές διαχείρισης των αποβλήτων θα πρέπει να λάβουν υπόψη τους θεσμικούς, κοινωνικούς, οικονομικούς, τεχνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί ποικίλουν από τόπο σε τόπο. Με βάση αυτούς τους παράγοντες, η κάθε κοινότητα επιλέγει το συνδυασμό των δραστηριοτήτων διαχείρισης αποβλήτων που ταιριάζει καλύτερα στις ανάγκες της.

Επειδή η ολοκληρωμένη διαχείριση στερεών αποβλήτων περιλαμβάνει τόσο βραχυπρόθεσμες όσο και μακροπρόθεσμες επιλογές, είναι σημαντικό να τεθούν εφικτοί στόχοι (π.χ., προστασία της ανθρώπινης υγείας, προστασία των αποθεμάτων νερού, αύξηση της ανακύκλωσης και της κομποστοποίησης) και να επιδιωχθεί η συμμετοχή της κοινότητας στην ανάπτυξη του σχεδίου, έτσι ώστε να διασφαλιστεί αυξημένη δημόσια αποδοχή. Επειδή η εφαρμογή ενός σχεδίου ΟΣΔΑ είναι μια συνεχής διαδικασία, η ευελιξία και η δημιουργικότητα κατά την εφαρμογή του σχεδίου είναι στοιχεία που δεν πρέπει να παραβλέπονται.

4.2 Γενικά στοιχεία για το ΟΣΔΑ Δυτικής Μακεδονίας

Με την υλοποίηση του έργου του Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχειρίσεις Αποβλήτων (ΟΣΔΑ) Δυτικής Μακεδονίας, δρομολογείται η συνεπής με τη νομοθεσία διαχείριση απορριμμάτων στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας, με την οποία επιτυγχάνονται οι στόχοι που τέθηκαν από την Οδηγία 1999/31/ΕΚ περί Υγειονομικής Ταφής Αποβλήτων (εναρμόνιση στο εθνικό δίκαιο με την ΚΥΑ 29407/3508/2002).

Με την ολοκλήρωση της κατασκευής και λειτουργίας των Μονάδων του ΟΣΔΑ, θα επιτευχθεί μείωση άνω του 80% των εισερχόμενων απορριμμάτων, που αντιστοιχεί σε 35% χαμηλότερη ποσότητα βιοαποδομήσιμων υλικών που οδηγούνται στον ΧΥΤΥ, σε σχέση με τον μέγιστο στόχο της Περιφέρειας για το 2020.

Επίσης ικανοποιούνται οι στόχοι της ανακύκλωσης που τίθενται με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ περί Διαχείρισης Αποβλήτων (εναρμόνιση στο εθνικό δίκαιο με τον ν. 4042/2012) μέχρι το 2020, δεδομένου ότι με την υλοποίηση των Μονάδων του ΟΣΔΑ θα επιτυγχάνεται ανάκτηση ανακυκλώσιμων άνω του 35% επί της εισερχόμενης ποσότητας των ανακυκλώσιμων υλικών στη ΜΕΑ.

Το έργο πρόκειται να κατασκευασθεί με τη μέθοδο ΣΔΙΤ (Σύμπραξη Δημοσίου και Ιδιωτικού Τομέα) σε συνεργασία με τη ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε. η οποία είναι Ν.Π.Ι.Δ., δηλαδή διαδημοτική επιχείρηση (αρ. 269, ν. 3463/2006) με τη μορφή της Ανωνύμου Εταιρείας. Κύριο αντικείμενο της Εταιρείας είναι ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και η λειτουργία του ΟΣΔΑ της Δυτικής Μακεδονίας, σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης του 1995. Η ίδρυσή της βασίστηκε στην Οικονομοτεχνική Μελέτη Σκοπιμότητας του 1996 και η έναρξη λειτουργίας της σηματοδοτήθηκε με τη δημοσίευση του καταστατικού της στο ΦΕΚ (1998). Μέτοχοι της εταιρείας είναι: Οι Δήμοι Γρεβενών, Καστοριάς, Φλώρινας, Κοζάνης & Πτολεμαΐδας και οι Τοπικές Ενώσεις Δήμων & Κοινοτήτων (ΤΕΔΚ) των τεσσάρων Νομών της Δυτικής Μακεδονίας.

Με τη λειτουργία του ΟΣΔΑ θα εξυπηρετούνται οι ανάγκες των 12 Οργανισμών Τοπικής Αυτοδιοίκησης της Περιφέρειας Δυτικής Μακεδονίας, δηλαδή 300.000 κάτοικων. Καθημερινά διατίθενται 100.000 τόνοι απορριμμάτων ποικίλης σύστασης, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 4.1.

Παραγόμενες Ποσότητες		Ποιοτική Σύσταση ΑΣΑ	
Δήμοι	Σύνολο 2013 Τόνοι	Ποιοτική Σύσταση ΑΣΑ	Στην Πηγή % (πριν την ΔοΠ)
Δήμος Αμυνταίου	6.384,55	ΖΥΜΩΣΙΜΑ	46,1%
Δήμος Βοΐου	6.194,95	ΧΑΡΤΙΑ	20,3%
Δήμος Γρεβενών	9.882,12	ΠΛΑΣΤΙΚΑ	14,4%
Δήμος Δεσκάτης	2.018,27	ΜΕΤΑΛΛΑ	2,2%
Δήμος Εορδαίας	18.456,70	ΓΥΑΛΙΑ	2,0%
Δήμος Καστοριάς	14.379,93	ΔΕΥΛ	5,0%
Δήμος Κοζάνης	24.843,14	ΛΟΙΠΑ-ΑΔΡΑΝΗ	10,0%
Δήμος Νεστορίου	729,77	ΣΥΝΟΛΟ ΑΣΑ	100,0%
Δήμος Ορεστίδος	4.911,62		
Δήμος Πρεσπών	564,10		
Δήμος Σερβίων-Βελβεντού	4.692,59		
Δήμος Φλώρινας	12.145,73		
Σύνολο	100.083,88		

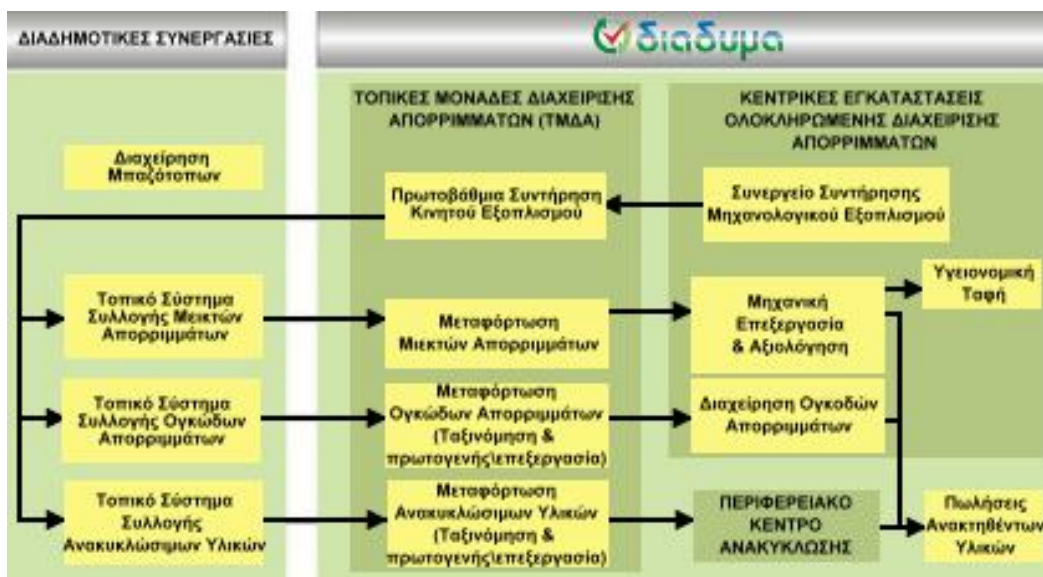
Πίνακας 4.1: Ποσοτική και ποιοτική σύσταση αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) Δ. Μακεδονίας

Ειδικότερα με την ολοκλήρωση του έργου:

- Επιλύεται άμεσα και οριστικά το πρόβλημα διαχείρισης των αστικών στερεών και υγρών αποβλήτων στη Δυτική Μακεδονία.
- Αναβαθμίζεται πλήρως και προστατεύεται το περιβάλλον.
- Βελτιώνεται η ποιότητα ζωής των κατοίκων και προστατεύεται η δημόσια υγεία.
- Μεγιστοποιείται η διαλογή αποβλήτων στην πηγή, η ποιότητα της ανακύκλωσης και η εκτροπή των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων από την ταφή μέσω κομποστοποίησης.
- Παράγεται πράσινη ενέργεια, η οποία καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες των Μονάδων.
- Επενδύονται περισσότερα από 46 εκατ. ευρώ, με δημόσια, κοινοτικά και ιδιωτικά κεφάλαια στα επόμενα δύο χρόνια, στην Περιφέρεια Δυτικής Μακεδονίας.
- Δημιουργούνται 150 θέσεις εργασίας στην διετή περίοδο κατασκευής και 130 μόνιμες θέσεις εργασίας στην 25ετή περίοδο λειτουργίας, ενώ πρόσθετες θέσεις εργασίας θα δημιουργηθούν μέσω της ανάπτυξης παράλληλων δραστηριοτήτων.
- Δημιουργούνται προφανή οφέλη στις τοπικές οικονομίες και την περιβαλλοντική αγωγή των πολιτών και ιδιαίτερα των νέων.

4.3 Σχεδιασμός

Ο σχεδιασμός σε επίπεδο Περιφέρειας αποσκοπεί στη βιώσιμη εφαρμογή μεθόδων Μηχανικής Επεξεργασίας & Αξιοποίησης των αστικών απορριμμάτων και τη μεγιστοποίηση της Ανάκτησης των ανακυκλώσιμων υλικών. Οι Κεντρικές Εγκαταστάσεις Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Διαχείρισης τροφοδοτούνται από ένα δίκτυο τοπικών εγκαταστάσεων, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1, όπου χωροθετούνται από κοινού οι υποδομές μεταφόρτωσης των σύμμεικτων απορριμμάτων και των ανακυκλώσιμων υλικών, για την κάλυψη των αναγκών των αντίστοιχων διαδημοτικών συστημάτων συλλογής.



Εικόνα 4.1: Σχεδιασμός του ΟΣΛΑ Δυτ. Μακεδονίας

4.4 Λειτουργία

Κύριες δραστηριότητες του ΟΣΔΑ Δυτικής Μακεδονίας είναι:

- Η μηχανική αποκομιδή
- Η μεταφόρτωση
- Η ανάκτηση και ανακύκλωση
- Η μηχανική επεξεργασία & αξιοποίηση
- Η υγειονομική ταφή
- Η διαχείριση ειδικών απορριμμάτων

Τα συστήματα που περιλαμβάνει ο ΟΣΔΑ Δυτικής Μακεδονίας είναι:

- Το σύστημα διαχείρισης σύμμεικτων απορριμμάτων (Εικόνα 4.2)
- Το σύστημα διαχείρισης ανακυκλώσιμων υλικών (Εικόνα 4.3)
- Το σύστημα μεταφόρτωσης απορριμμάτων (Εικόνα 4.4), που αποτελείται από Δίκτυο δέκα (10) Τοπικών Μονάδων Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΤΜΔΑ), οι οποίες περιλαμβάνουν Σταθμούς Μεταφόρτωσης σύμμεικτων και ογκωδών απορριμμάτων και Μεταφόρτωσης και Πρωτογενούς Διαλογής (ταξινόμηση, κλπ.) των ανακυκλώσιμων απορριμμάτων, που προέρχονται από τα προγράμματα Διαλογής στην Πηγή (ΔσΠ) στους οικισμούς της Περιφέρειας και αναφέρονται ως Τοπικά Κέντρα Ανακύκλωσης
- Τις κεντρικές εγκαταστάσεις ολοκληρωμένης διαχείρισης (Εικόνα 4.5)



Εικόνα 4.2: Σύστημα διαχείρισης σύμμεικτων απορριμμάτων



Εικόνα 4.3: Σύστημα διαχείρισης ανακυκλώσιμων υλικών



Εικόνα 4.4: Σύστημα μεταφόρτωσης απορριμμάτων



Εικόνα 4.5: Κεντρικές εγκαταστάσεις ολοκληρωμένης διαχείρισης

4.5 Θέση και περιγραφή του έργου

Ο χώρος του έργου βρίσκεται εντός του νότιου πεδίου του λιγνιτικού κέντρου της Δυτικής Μακεδονίας, σε απόσταση 17,0 km περίπου βορειοανατολικά της Κοζάνης, 13,5 km περίπου νοτιοανατολικά της Πτολεμαΐδας, 5,2 km περίπου βορειοανατολικά του Α.Η.Σ. Καρδιάς, 4,4 km περίπου βορειοδυτικά του οικισμού Κλείτος και στα νοτιοδυτικά του υπάρχοντος Χ.Υ.Τ.Α., όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.6 από το Google Earth.



Εικόνα 4.6: Περιοχή του έργου

Η περιοχή του έργου είναι σχετικά επίπεδη, με ελαφρά κλίση προς τα νοτιοδυτικά. Η σημερινή μορφολογία έχει προέλθει από προγενέστερες εκτεταμένες εκσκαφές για τις ανάγκες των λιγνιτορυχείων, ενώ μετά το πέρας των εξορύξεων η ευρύτερη περιοχή του έργου χρησιμοποιήθηκε για την απόθεση των άγονων προϊόντων εκσκαφής των ορυχείων.

Στο χώρο του έργου, συνολικής έκτασης 200 στρεμμάτων περίπου, προβλέπεται η κατασκευή των κεντρικών εγκαταστάσεων του ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων (Ο.Σ.Δ.Α.) της Δυτικής Μακεδονίας (βλ. σχέδιο Γενικής Διάταξης των εγκαταστάσεων στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ).

Οι κατασκευές που περιλαμβάνονται στο έργο είναι:

- Χώρος Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (Α, Β, Γ, Δ κύτταρο).
- Μονάδα Ενεργειακής Αξιοποίησης του παραγόμενου Βιοαερίου του ΧΥΤΑ (Α, Β κύτταρο).
- Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων που προέρχονται από τον ΧΥΤΑ και το Κέντρο Ανακύκλωσης και λοιπές εγκαταστάσεις.
- Μονάδα Μηχανικής και Βιολογικής Επεξεργασίας Απορριμμάτων (ΜΕΑ) δυναμικότητας 120.000 tn/y.
- Χώρο Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ).
- Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων που προέρχονται από την ΜΕΑ και τον ΧΥΤΥ.
- Περιφερειακό Κέντρο Ανακύκλωσης.
- Μονάδα Διαλογής και Τεμαχισμού των Ογκωδών Αστικών Στερεών Απορριμμάτων.
- Μονάδα Επεξεργασίας και Αξιοποίησης της Βιολογικής Ιλύος που παράγεται στις Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Λυμάτων της Περιφέρειας.
- Δίκτυο υποδομών και υποστηρικτικές εγκαταστάσεις.

Σημειώνεται πως το έργο περιλαμβάνει την τεχνολογική εφαρμογή της αερόβιας επεξεργασίας του οργανικού κλάσματος των Συμβατικών Αποβλήτων, η οποία θα αναληφθεί από τη γερμανική εταιρεία Herhof GmbH, πάροχο τεχνολογιών αιχμής αναφορικά με τη διαχείριση απορριμμάτων, με κατατεθειμένες πατέντες προστατευόμενες από δικαιώματα ευρεσιτεχνίας, η οποία και αποτελεί 100% θυγατρική της εταιρείας ΗΛΕΚΤΩΡ Α.Ε.

4.6 Γεωμορφολογία

Η περιοχή του έργου βρίσκεται στο χώρο του εξαντλημένου Ορυχείου Καρδιάς του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας (ΛΚΔΜ) στη λεκάνη Πτολεμαΐδας βορείως του υφιστάμενου ορυχείου του Νοτίου Πεδίου. Μετά την εξάντληση του λιγνιτοφόρου κοιτάσματος, στο κενό που δημιουργήθηκε από την απόληψη του λιγνίτη έχει γίνει απόθεση άγονων προϊόντων εκσκαφής των λιγνιτορυχείων. Τα υλικά της απόθεσης αποτελούνται από ανάμιξη άγονων υλικών που προέρχονται από τα υπερκείμενα του λιγνίτη τόσο του ορυχείου Καρδιάς όσο και του Νοτίου Πεδίου καθώς και τέφρα, που προέρχεται από τα εργοστάσια καύσης του λιγνίτη. Το πάχος των άγονων προϊόντων εκσκαφής είναι άγνωστο και εκτιμάται ότι υπερβαίνει τα 25-30 m.

Μορφολογικά η περιοχή του Έργου, χαρακτηρίζεται από τα ανάγλυφα που δημιουργήθηκαν από τις εργασίες εξορύξης και απόθεσης της ΔΕΗ. Η άμεση περιοχή ενδιαφέροντος διαμορφώθηκε επίσης από τις εργασίες απόθεσης της ΔΕΗ και εν γένει χαρακτηρίζεται ως

ήπιο ανάγλυφο, με εξαίρεση το βορειοανατολικό τμήμα της περιοχής όπου εντοπίζονται κοιλάματα. Η άμεση περιοχή ενδιαφέροντος είναι στο μεγαλύτερο μέρος της σχετικά επίπεδη με μικρές κλίσεις και εξάρσεις και με ελαφρά κλίση προς τα νοτιοδυτικά, ενώ βορειοανατολικά εντοπίζονται κοιλάματα που ορίζουν το χαμηλότερο υψόμετρο στο Έργο.

4.7 Γενικές γεωλογικές πληροφορίες

Στην ευρύτερη περιοχή της θέσης του έργου εμφανίζονται λατυποπαγείς και κροκαλοπαγείς κώνοι κορημάτων με παρεμβολές ερυθρών αργίλων (βλ. γεωλογικό χάρτη στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Η θέση του έργου καλύπτεται από εκτεταμένες και μεγάλου πάχους αποθέσεις άγονων προϊόντων εκσκαφής από τη δραστηριότητα των ορυχείων λιγνίτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

5.1 Σκοπός της Γεωτεχνικής Έρευνας στον ΟΣΔΑ Δυτικής Μακεδονίας

Σκοπός αυτής της έρευνας είναι η διαπίστωση της αντοχής και συμπεριστατότητας των υφισταμένων αποθέσεων, προκειμένου να επιλεγεί η καταλληλότερη μέθοδος θεμελίωσης των εγκαταστάσεων ή/και βελτίωσης του εδάφους θεμελίωσης. Για το σκοπό αυτό εκτελέστηκαν ερευνητικές εργασίες υπαίθρου καθώς και εργαστηριακές δοκιμές.

Στο γήπεδο του Έργου διενεργήθηκαν δύο (2) προγράμματα γεωτεχνικών ερευνών. Το πρώτο πρόγραμμα εκτελέστηκε τον Οκτώβριο 2012 κατά τη φάση του διαγωνισμού του Έργου, ενώ το δεύτερο πραγματοποιήθηκε την περίοδο από Απρίλιο 2014 έως Μάιο 2014, κατά τη φάση της Οριστικής Μελέτης του Έργου.

5.2 Ερευνητικές εργασίες υπαίθρου

Οι δύο γεωτεχνικές έρευνες που έλαβαν χώρα στο γήπεδο του Έργου περιελάμβαναν συνολικά τα εξής:

- Τέσσερις (4) δειγματοληπτικές γεωτρήσεις.
- Πέντε (5) ερευνητικά φρέατα.
- Δεκατέσσερις (14) δοκιμές στατικής πενетроμέτρησης CPT.
- Μία (1) δοκιμή δυναμικής πενетроμέτρησης DPSH.
- Πρότυπες δοκιμές διείδυσης SPT.

Από τους πυρήνες των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων καθώς επίσης και από τα ερευνητικά φρέατα λήφθηκαν κατάλληλα δείγματα, στα οποία διενεργήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές, όπως δοκιμές προσδιορισμού φυσικών χαρακτηριστικών, ανεμπόδιστη θλίψη, άμεσης διάτμησης και στερεοποίησης.

Οι θέσεις των γεωτρήσεων, πενетроμετρήσεων και ερευνητικών φρεάτων φαίνονται στο τοπογραφικό διάγραμμα της Εικόνας 5.1.

5.2.1 Πρότυπες Δοκιμές Διείδυσης SPT

Από τις γεωτρήσεις ελήφθησαν ημιδιαταραγμένα και διαταραγμένα δείγματα εδάφους. Λόγω της φύσης του εδάφους (μέσης συνεκτικότητας ως σκληρές άργιλοι) δεν ήταν δυνατό να ληφθούν αδιατάρακτα δείγματα (σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές Δειγματοληπτικών Γεωτρήσεων Ξηράς για Γεωτεχνικές Έρευνες του ΥΠΕΧΩΔΕ – ΦΕΚ 363B'/24-6-83 – αδιατάρακτα δείγματα λαμβάνονται σε μαλακά συνεκτικά εδάφη).

Κατά την διάτρηση των τεσσάρων (4) δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, εκτελέστηκαν επί τόπου πρότυπες δοκιμές διείδυσης SPT (Standard Penetration Test) κατά Terzaghi, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3, σύμφωνα με τις Προδιαγραφές των επί τόπου Δοκιμών Εδαφομηχανικής του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ε 106-86 - ΦΕΚ 955 Β'/31-12-86). Πραγματοποιήθηκαν συνολικά σαράντα τρεις (43) πρότυπες δοκιμές διείδυσης SPT. Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω Πίνακα 5.1.



Εικόνα 5.1: Θέσεις ερευνητικών εργασιών

Πίνακας 5.1: Αποτελέσματα πρότυπων δοκιμών διεύθυνσης SPT

Γεώτρηση	Βάθος[m]	Κρούσεις	N _{SPT}
Γ1	2,00 - 2,45	1 ₁₅ -2 ₁₅ -3 ₁₅	5
	4,10 - 4,55	1 ₁₅ -2 ₁₅ -3 ₁₅	5
	6,60 - 7,05	2 ₁₅ -3 ₁₅ -5 ₁₅	8
	8,70 - 9,15	8 ₁₅ -8 ₁₅ -11 ₁₅	19
	10,60 - 11,05	4 ₁₅ -6 ₁₅ -8 ₁₅	14
	12,70 - 13,15	3 ₁₅ -4 ₁₅ -7 ₁₅	11
	14,80 - 15,25	12 ₁₅ -7 ₁₅ -14 ₁₅	21
Γ2	16,90 - 17,35	7 ₁₅ -9 ₁₅ -12 ₁₅	21
	19,00 - 19,45	6 ₁₅ -9 ₁₅ -12 ₁₅	21
	21,40 - 21,85	4 ₁₅ -6 ₁₅ -9 ₁₅	15
	23,60 - 24,05	8 ₁₅ -10 ₁₅ -12 ₁₅	22
	25,60 - 26,05	16 ₁₅ -14 ₁₅ -21 ₁₅	35
	27,80 - 28,25	12 ₁₅ -18 ₁₅ -20 ₁₅	38
	29,70 - 30,15	9 ₁₅ -13 ₁₅ -20 ₁₅	33
	2,00 - 2,45	1 ₁₅ -2 ₁₅ -2 ₁₅	4
	4,20 - 4,65	8 ₁₅ -7 ₁₅ -7 ₁₅	14
	6,40 - 6,53	60 ₁₃	Άρνηση
	8,40 - 8,85	3 ₁₅ -6 ₁₅ -7 ₁₅	13
Γ3	10,30 - 10,75	3 ₁₅ -6 ₁₅ -8 ₁₅	14
	12,40 - 12,85	8 ₁₅ -9 ₁₅ -12 ₁₅	21
	14,80 - 15,25	6 ₁₅ -7 ₁₅ -8 ₁₅	15
	17,10 - 17,55	8 ₁₅ -8 ₁₅ -10 ₁₅	18
	19,00 - 19,45	10 ₁₅ -12 ₁₅ -19 ₁₅	31
	2,00 - 2,45	8 ₁₅ -12 ₁₅ -10 ₁₅	22
	4,10 - 4,55	7 ₁₅ -5 ₁₅ -3 ₁₅	8
5,90 - 6,35	2 ₁₅ -2 ₁₅ -6 ₁₅	8	
7,90 - 8,35	2 ₁₅ -3 ₁₅ -4 ₁₅	7	
10,00 - 10,45	5 ₁₅ -6 ₁₅ -8 ₁₅	14	

Γεώτρηση	Βάθος[m]	Κρούσεις	N _{SPT}
	11,80 - 12,25	5 ₁₅ -6 ₁₅ -9 ₁₅	15
	13,70 - 14,15	5 ₁₅ -7 ₁₅ -9 ₁₅	16
	16,10 - 16,55	8 ₁₅ -10 ₁₅ -12 ₁₅	22
	18,30 - 18,75	8 ₁₅ -10 ₁₅ -12 ₁₅	22
	20,20 - 20,65	7 ₁₅ -9 ₁₅ -10 ₁₅	19
Γ4	2,00 - 2,45	3 ₁₅ -4 ₁₅ -6 ₁₅	10
	4,10 - 4,55	2 ₁₅ -3 ₁₅ -3 ₁₅	6
	6,00 - 6,45	4 ₁₅ -5 ₁₅ -7 ₁₅	12
	7,70 - 8,15	11 ₁₅ -18 ₁₅ -18 ₁₅	36
	9,80 - 10,25	7 ₁₅ -10 ₁₅ -14 ₁₅	24
	12,10 - 12,55	8 ₁₅ -11 ₁₅ -13 ₁₅	24
	14,10 - 14,55	7 ₁₅ -9 ₁₅ -13 ₁₅	22
	16,30 - 16,75	11 ₁₅ -15 ₁₅ -19 ₁₅	34
	18,50 - 18,95	6 ₁₅ -10 ₁₅ -15 ₁₅	25
	20,10 - 20,55	8 ₁₅ -12 ₁₅ -16 ₁₅	28

Για την εκτίμηση της πυκνότητας και της αντοχής των γεωλογικών σχηματισμών χρησιμοποιήθηκαν τα [κριτήρια Terzaghi](#), που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3.

5.2.2 Δοκιμές Πενетроμέτρησης CPT

Επίσης, κατά την διάρκεια των γεωτεχνικών ερευνών πραγματοποιήθηκαν στο γήπεδο του Έργου δεκατέσσερις (14) δοκιμές στατικής πεντρομέτρησης CPT (Cone Penetration Test) και μία (1) δοκιμή δυναμικής πεντρομέτρησης DPSH (Dynamic Penetration Super Heavy). Οι στατικές πεντρομετρήσεις εκτελέστηκαν με κώνο τύπου Begemann, όπως περιγράφηκε στο Κεφ. 3, ο οποίος επιτρέπει τη μέτρηση της αντίστασης αιχμής q_c και της τοπικής πλευρικής τριβής f_s του εδάφους που διαπερνά. Η δυναμική πεντρομέτρηση εκτελέστηκε με απλό κώνο διευρυμένης διατομής 20 cm² για μείωση των πλευρικών τριβών. Κατά τη δοκιμή της δυναμικής πεντρομέτρησης μετράται ο αριθμός των κρούσεων που απαιτούνται για τη διείσδυση του κώνου κατά 20 cm (N₂₀). Η διείσδυση επιτυγχάνεται με την πτώση πρότυπου βάρους 63,5 kg από ύψος 75 cm.

Τα αποτελέσματα των πεντρομετρήσεων παρουσιάζονται συνοπτικά στους παρακάτω Πίνακες 5.2 και 5.3.

Πίνακας 5.2: Αποτελέσματα δοκιμών στατικής πεντρομέτρησης CPT

CPT	Υψόμετρο Εδάφους [m]	Βάθος[m]	Αντίσταση Κώνου q_c [MPa] (μέση τιμή)	Τοπική Πλευρική Τριβή f_s [kPa] (μέση τιμή)	Λόγος Τριβής, R_F [%] (μέση τιμή)
Π1	+751,00	0,00 - 11,00	2,38	0.24	11,83
		11,00 - 24,00	4,70	0.42	11,08
		24,00 - 25,60	6,23	0.40	7,58
Π2	+744,20	0,00 - 14,00	2,82	0.24	9,23
		14,00 - 21,00	5,46	0.45	7,26
		21,00 - 25,60	8,22	0.47	6,66
Π3	+750,00	0,00 - 11,00	2,73	0.23	9,65
		11,00 - 21,00	3,32	0.29	9,17
		21,00 - 25,60	6,23	0.43	7,91
Π4	+744,90	0,00 - 11,00	2,36	0.20	9,05
		11,00 - 21,00	4,49	0.39	9,22
		21,00 - 28,10	12,78	0.63	5,96
Π5	+743,70	0,00 - 9,00	2,36	0.24	11,24
		9,00 - 21,00	3,82	0.43	11,93
		21,00 - 25,60	7,77	0.66	8,72

CPT	Υψόμετρο Εδάφους [m]	Βάθος[m]	Αντίσταση Κώνου q_c [MPa] (μέση τιμή)	Τοπική Πλευρική Τριβή f_s [kPa] (μέση τιμή)	Λόγος Τριβής, R_F [%] (μέση τιμή)
Π6	+747,10	0,00 - 5,00	2,93	0.23	8,08
		5,00 - 25,60	5,59	0.41	7,82
Π7	+745,50	0,00 - 8,50	2,87	0.18	6,65
		8,50 - 13,50	4,80	0.33	7,86
		13,50 - 15,20	18,74	0.42	4,07
Π8	+745,50	0,00 - 6,00	2,30	0.16	7,47
		6,00 - 19,00	4,77	0.41	9,64
		19,00 - 23,60	7,41	0.52	8,67
Π9	+746,50	0,00 - 6,00	2,17	0.17	8,15
		6,00 - 16,00	3,75	0.33	9,29
		16,00 - 30,60	6,44	0.37	5,95
Π10	+746,50	0,00 - 5,00	2,59	0.19	7,95
		5,00 - 9,00	11,98	0.65	5,63
Π11	+742,00	0,00 - 2,50	2,09	0.15	7,07
		2,50 - 16,00	3,49	0.27	8,08
		16,00 - 24,60	8,89	0.36	5,62
Π12	+748,00	0,00 - 9,00	2,00	0.15	7,79
		9,00 - 22,00	3,31	0.21	7,04
		22,00 - 30,60	9,11	0.44	5,73
Π13	+748,00	0,00 - 7,00	2,12	0.15	7,51
		7,00 - 18,00	2,95	0.19	7,22
		18,00 - 30,60	6,09	0.41	7,32
Π14	+746,50	0,00 - 6,00	2,45	0.17	7,37
		6,00 - 19,00	4,21	0.27	7,32
		19,00 - 22,00	19,31	0.49	3,56

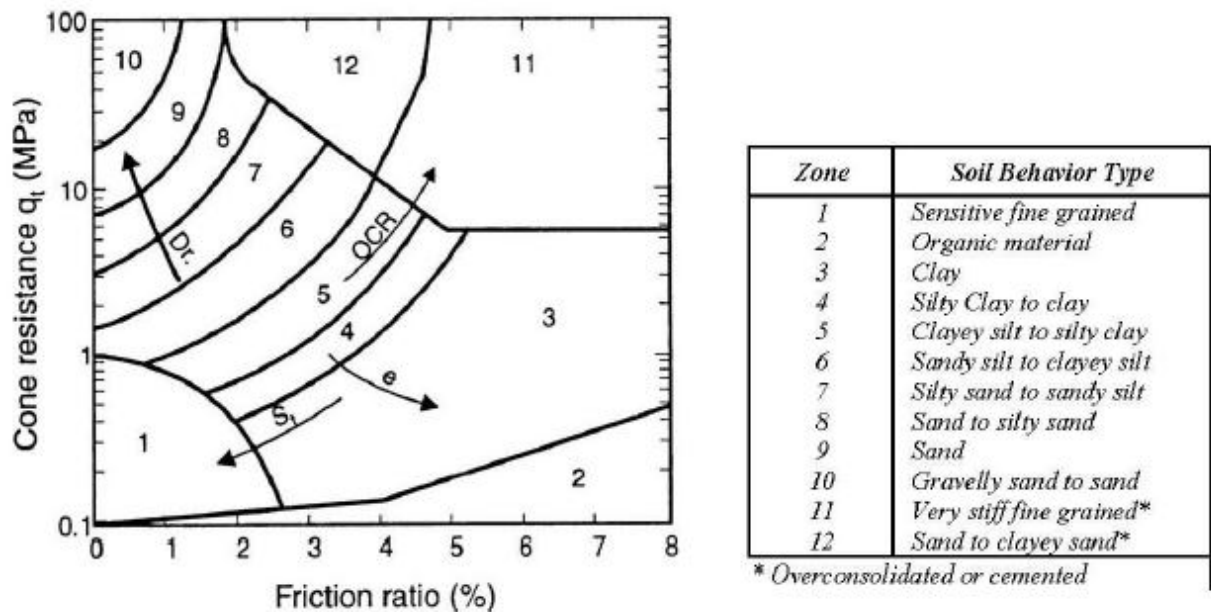
Πίνακας 5.3: Αποτελέσματα δοκιμής δυναμικής πενετρομετρικής DPSH

DPSH	Βάθος[m]	N20 (μέση τιμή)
Π10*	0,00 - 5,00	0,1
	5,00 - 8,00	2,5
	8,00 - 19,00	8,8

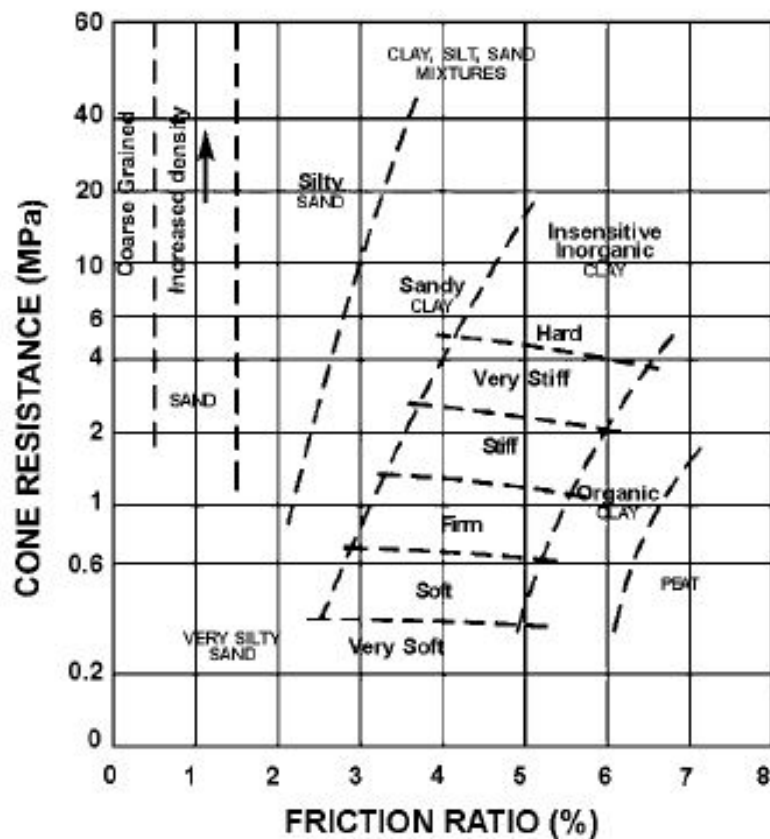
Στη συνέχεια με βάση τα παραπάνω δεδομένα των στατικών πενετρομετρήσεων CPT έγινε η κατάταξη του εδάφους σύμφωνα με τα διαγράμματα των Robertson et al. (1986) (Διάγραμμα 5.1), Meigh (1987) (Διάγραμμα 5.2) και [Searle \(1979\)](#) (Διάγραμμα 3.4). Τονίζεται ότι τα εν λόγω διαγράμματα δεν παρέχουν ακριβείς προβλέψεις για τον τύπο του εδάφους από κοκκομετρία, αλλά παρέχουν ένα οδηγό για τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εδάφους, ή για τον τύπο συμπεριφοράς του εδάφους (Soil Behaviour Type - SBT).

5.3 Εργαστηριακές Δοκιμές

Το πρόγραμμα εργαστηριακών ερευνών περιελάμβανε εργαστηριακές δοκιμές, οι οποίες εκτελέστηκαν σε κατάλληλα και αντιπροσωπευτικά δείγματα τα οποία επιλέχθηκαν από το σύνολο των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και των ερευνητικών φρεάτων.



Διάγραμμα 5.1: Κατάταξη εδάφους από δεδομένα CPT σύμφωνα με Robertson et al. (1986).



Διάγραμμα 5.2: Κατάταξη εδάφους από δεδομένα CPT σύμφωνα με Meigh (1987)

Οι δοκιμές που εκτελέστηκαν στα επιλεγμένα δείγματα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων, με σκοπό την κατάταξη και τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφικών σχηματισμών, ήταν οι εξής:

- Δοκιμές κατάταξης για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής διαβάθμισης με κόσκινα και αραιόμετρο και προσδιορισμός ορίων Atterberg.
- Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους.
- Προσδιορισμός ειδικού βάρους.
- Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας.
- Δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης.
- Δοκιμές άμεσης διάτμησης (CD).
- Δοκιμές συμπιεστότητας

Οι δοκιμές που εκτελέστηκαν στα επιλεγμένα δείγματα των ερευνητικών φρεάτων, με σκοπό την κατάταξη και τον προσδιορισμό μόνο των φυσικών χαρακτηριστικών των εδαφικών σχηματισμών, ήταν οι εξής:

- Δοκιμές κατάταξης για τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής διαβάθμισης με κόσκινα και προσδιορισμός ορίων Atterberg.
- Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας.

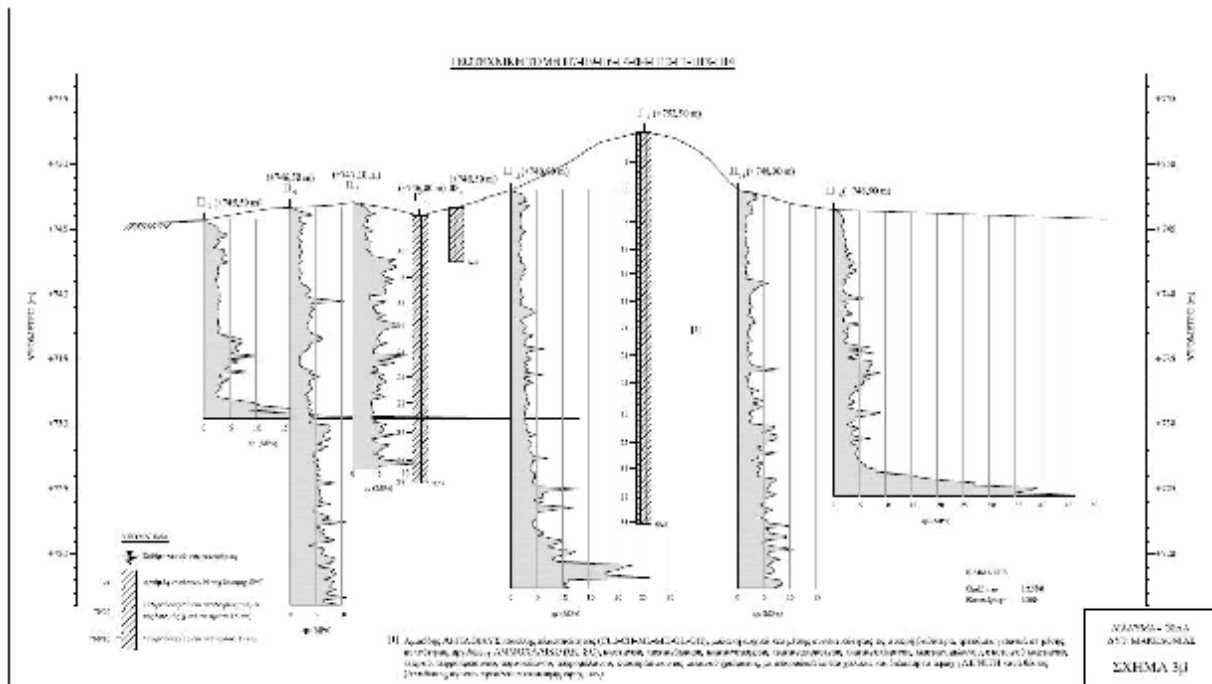
5.4 Γεωτεχνική Αξιολόγηση

5.4.1 Στοιχεία στρωματογραφίας

Στο χώρο του έργου απαντώνται από την επιφάνεια και μέχρι το μέγιστο βάθος που διερευνήθηκε (30,60 m) τεχνητές επιχώσεις (ΜΠΑΖΑ) προερχόμενες από την απόθεση άγονων προϊόντων εκσκαφής των ορυχείων λιγνίτη, αποτελούμενες κατά κύριο λόγο από αμμώδη ΑΡΓΙΛΟΪΛΥ ποικίλης πλαστικότητας (CL2-CH-ML-MH-OL-OH), μαλακή αρχικά και μέσης συνεκτικότητας ως στιφρή βαθύτερα, καστανού, καστανόφαιου, καστανότεφρου, καστανοπράσινου, καστανοκίτρινου, καστανομέλανου, σκοτεινού καστανού, τεφρού, τεφροπράσινου, τεφροκύανου, τεφρομέλανου, φαιοπράσινου ως μελανού χρώματος, τρεπόμενη τοπικά σε μέσης πυκνότητας ΑΡΓΙΛΟ και ΑΜΜΟ με σποραδικά λεπτά χαλίκια και διάσπαρτα τεμάχια ΛΙΓΝΙΤΗ κατά θέσεις. Η αντίσταση αιχμής κώνου του στρώματος αυτού κυμαίνεται γενικά μεταξύ $q_c = 2,00-7,00$ MPa αυξανόμενη προοδευτικά με το βάθος, ενώ στις περιοχές των αμμωδών ενστρώσεων η αντίσταση αιχμής κώνου του στρώματος αυτού εμφανίζεται αυξημένη, κυμαινόμενη γενικά μεταξύ $q_c = 5,00-40,00$ MPa (βλ. δείγμα γεωτεχνικής τομής από τη Γεωτεχνική Έρευνα ΟΣΔΑ Δ. Μακεδονίας (ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΕΠΕ, 2014) στο Σχήμα 3β). Η διακύμανση των παραμέτρων του στρώματος αυτού δίνεται στον Πίνακα 5.4.

5.4.2 Υπόγεια νερά

Υπόγεια νερά δεν απαντήθηκαν στις γεωτρήσεις, τις πενετρομετρήσεις και τα ερευνητικά φρέατα κατά την περίοδο εκτέλεσής τους (Απρίλιος 2014) μέχρι το μέγιστο βάθος που διερευνήθηκε (30,60 m).



Πίνακας 5.4: Διακύμανση παραμέτρων στρώματος [1]

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	min	max	M.O.	Σύνολο τιμών
Όρια Atterberg:				
• Όριο υδαρότητας (LL)	31,8%	82,5%	52,6%	37
• Όριο πλαστικότητας (PL)	16,0%	70,0%	30,9%	37
• Δείκτης πλαστικότητας (PI)	6,2%	39,7%	21,7%	37
Φυσική υγρασία (w)	14,4%	86,9%	41,9%	37
Χαλίκια (συγκρατούμενο #4) Άμμος	0%	25%	2%	37
(διερχόμενο #4-#200) Λεπτόκοκκα	2%	43%	17%	37
(διερχόμενο #200) Ποσοστό αργίλου	54%	98%	81%	37
Ειδικό βάρος στερεών (Gs)	5%	52%	24%	21
Υγρό φαινόμενο βάρος (γ_w - kN/m^3)	2,38	2,68	2,55	21
Ανεμπόδιστη θλίψη (q_u - kN/m^2) Δείκτης συμπίεσης (Cc)	15,59	19,43	17,54	15
Λόγος συμπίεσης (Cec)	98,2	180,6	125,6	6
Τάση διόγκωσης (σ_s - kPa)	0,117	0,337	0,215	9
Μέτρο συμπίεσης (E_s - MN/m^2) (*)	0,063	0,172	0,108	9
Συντελ. στερεοποίησης ($C_v \times 10^{-8}$ - m^2/s) (**)	25	50	29	6
Ενεργές τάσεις:	5,15	20,83	10,31	10
Γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ') (**)	1,4	44,8	13,7	10
Συνοχή (c' - kN/m^2) (**)	18°	30°	26°	4
	21	72	35	4

(*) Οι τιμές αυτές αφορούν περιοχή τάσεων p'_o έως $p'_o + \Delta p$, όπου p'_o είναι η ενεργός πίεση υπερκειμένων γαιών και Δp είναι η αύξηση των ενεργών τάσεων στο εξεταζόμενο βάθος λόγω των πρόσθετων φορτίων της ανωδομής

(**) Από δοκιμές άμεσης διάτμησης CD

5.4.3 Σεισμολογικά στοιχεία

Η περιοχή του έργου ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ-2000), όπως τροποποιήθηκε με την υπ' αριθμ. Δ17α/12.8.2003 (ΦΕΚ 1154 Β') απόφαση του ΥΠΕΧΩΔΕ, το δε έδαφος (άγονα προϊόντα εκσκαφής των ορυχείων) κατατάσσεται στην κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας [X] (πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις –μπάζα), εκτός εάν ληφθούν μέτρα για τη βελτίωσή του (π.χ. αντικατάσταση μέχρι ένα ορισμένο βάθος με καλά συμπυκνωμένο υλικό για τις ελαφρές κατασκευές και βαθύτερες και περισσότερο εκτεταμένες τεχνικές βελτίωσης εδάφους, όπως δυναμική συμπύκνωση, jet grouting, θεμελίωση επί πασσάλων κλπ. για βαρύτερες ή πιο ευαίσθητες κατασκευές), οπότε θα μπορούσε να καταταχθεί στην κατηγορία εδάφους [Γ] (ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5 m).

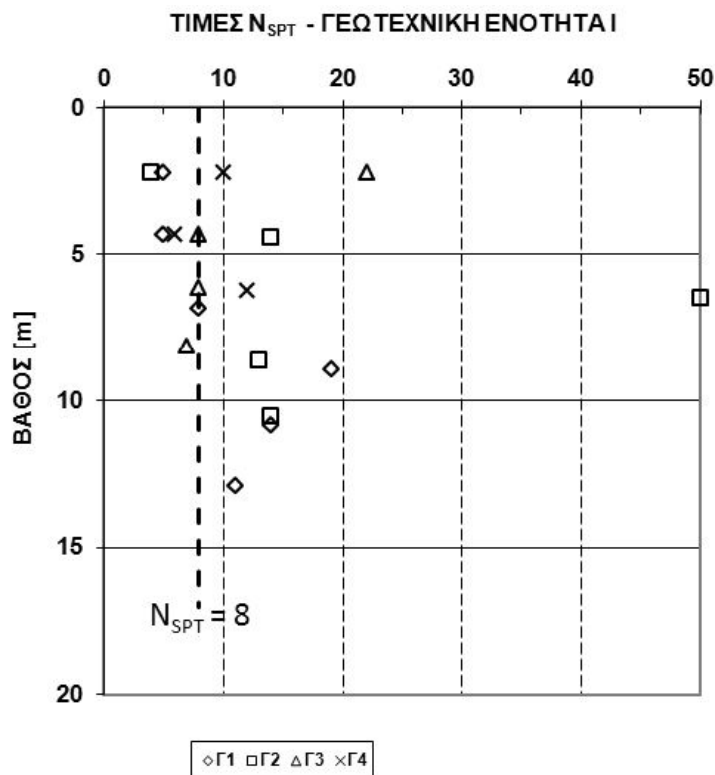
Για τη σεισμική ανάλυση των κατασκευών, η σεισμική επιτάχυνση εδάφους για τη ζώνη Ι είναι κατά ΕΑΚ $A = 0,16g$, οι δε χαρακτηριστικές περίοδοι για την κατηγορία εδάφους [Γ] (μετά τη βελτίωση) είναι: $T_1 = 0,20 \text{ sec}$ και $T_2 = 0,80 \text{ sec}$.

5.4.4 Παράμετροι σχεδιασμού

Η επιλογή των παραμέτρων σχεδιασμού βασίζεται στα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών, στα αποτελέσματα της δοκιμής SPT σε συνδυασμό με την κοκκομετρία, τη φυσική υγρασία και τα όρια Atterberg (βλ. Mitchell et al, 1978 και CIRIA REPORT 143, 1995) και στα αποτελέσματα των πενετρομετρήσεων με τις παραμέτρους αντοχής και παραμορφωσιμότητας (βλ. Mitchell et al, 1978 και CIRIA REPORT, 1987).

Πιο αναλυτικά η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

1. Από τις πρότυπες δοκιμές διείδυσης SPT που εκτελέστηκαν εκτιμάται η αντιπροσωπευτική τιμή των κρούσεων (N_{SPT}) με το βάθος (βλ. Διάγραμμα 5.3).



Διάγραμμα 5.3: Τιμές N_{SPT} με το βάθος για τη Γεωτεχνική Ενότητα 1

- Από τα αποτελέσματα των στατικών δοκιμών πενετρόμετρου CPT, που φαίνονται στον προαναφερθέντα Πίνακα 5.2, βρίσκεται η μέση αντοχή αιχμής q_c , η τοπική πλευρική τριβή f_s και ο μέσος λόγος τριβής R_f .
- Ο προσδιορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων γίνεται είτε από τις εργαστηριακές δοκιμές, εάν ο αριθμός των δειγμάτων είναι μεγάλος, είτε όταν αυτός είναι περιορισμένος, με επιπλέον χρήση της διεθνούς βιβλιογραφίας, που παρουσιάζεται στον παρακάτω Πίνακα 5.5, καθώς και των εμπειρικών σχέσεων που αφορούν σχηματισμούς με συναφή χαρακτηριστικά.

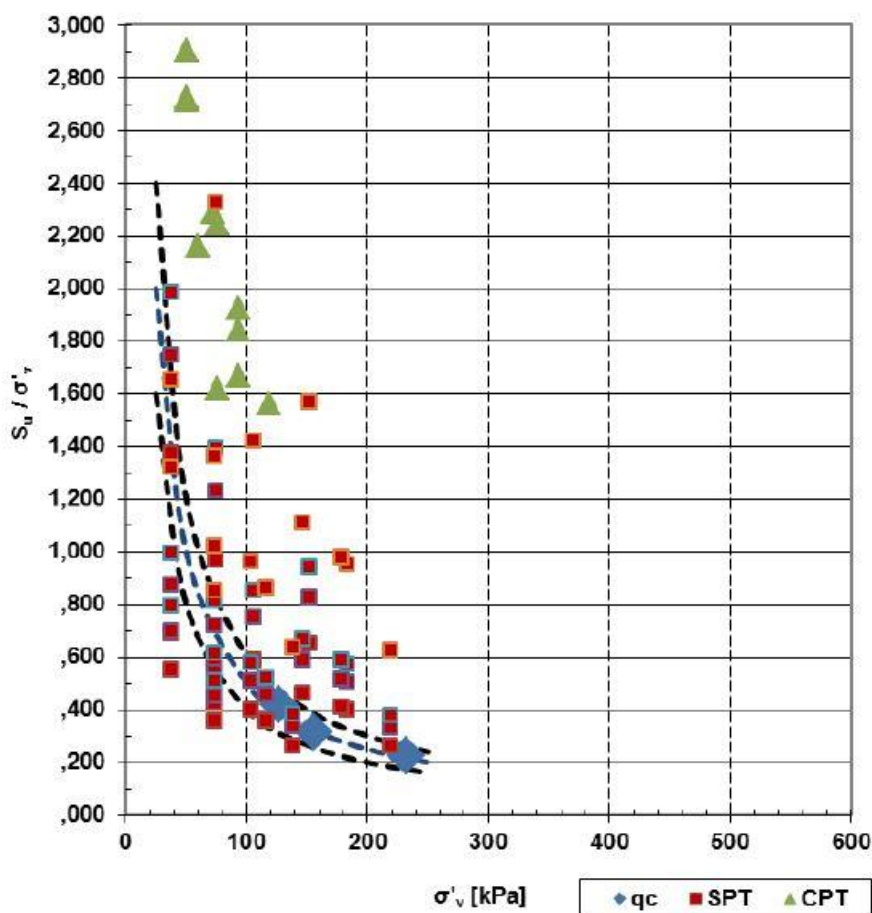
Πίνακα 5.5: Εκτίμηση των γεωτεχνικών παραμέτρων σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα για μέσης στιφρότητας και στιφρή άργιλο

Βιβλιογραφική Αναφορά	Δεδομένα	Γεωτεχνική Παράμετρος
Foundation analysis and design, J.E. Bowles, 5 th Edition, Table 2-8, page 125	Μέσης Στιφρότητας Άργιλος Αμμώδης Άργιλος	$E_s = 15\text{MPa} - 50\text{MPa}$ $E_s = 25\text{MPa} - 250\text{MPa}$
McCarthy, David F., Essentials of Soil Mechanics and Foundations: Basic Geotechnics, Fifth Edition, Prentice Hall, 1998	Μέσης Στιφρότητας Άργιλος Στιφρή Άργιλος Αμμώδης Άργιλος	$E_s = 4\text{MPa} - 7\text{MPa}$ $E_s = 7\text{MPa} - 20\text{MPa}$ $E_s = 25\text{MPa} - 40\text{MPa}$
Soil Mechanics DESIGN MANUAL 7.02, (NAVFAC, page 7.2-39, table 1)	CL CH ML MH ML-CL	$\phi' = 28^\circ, c = 13\text{kPa}$ $\phi' = 19^\circ, c = 11\text{kPa}$ $\phi' = 32^\circ, c = 9\text{kPa}$ $\phi' = 25^\circ, c = 20\text{kPa}$ $\phi' = 32^\circ, c = 22\text{kPa}$
DIN 1055, Part 2 (2,76)	Άργιλος & Ιλύς (LL>50%) - στιφρή Άργιλος & Ιλύς (35%<LL<50%) - στιφρή Οργανικές προσμίξεις – λεπτόκοκκα & στιφρό	$\phi' = 17,5^\circ, c = 10\text{kPa}, \gamma = 19,0\text{kN/m}^3$ $\phi' = 22,5^\circ, c = 5\text{kPa}, \gamma = 19,5\text{kN/m}^3$ $\phi' = 15,0^\circ, c = 0\text{kPa}, \gamma = 17,0\text{kN/m}^3$
Pile Design & Construction Practice, Fourth Edition, M. J. Tomlinson, Properties of Materials, Appendix	Μέσης Στιφρότητας Πλαστική Άργιλος Στιφρή Πλαστική Άργιλος	$\gamma = 17,5\text{kN/m}^3 - 20,0\text{kN/m}^3$ $S_u = 40\text{kPa} - 75\text{kPa}$ $\gamma = 18,0\text{kN/m}^3 - 21,0\text{kN/m}^3$ $S_u = 75\text{kPa} - 150\text{kPa}$
Hobst & Zajic "Anchoring in rock and soil", 1983	Στιφρή Άργιλος Μέσης Πλαστικότητας Στιφρή Άργιλος Μεγάλης Πλαστικότητας	$E = 1,5\text{MPa} - 4,0\text{MPa}$ $E = 1,0\text{MPa} - 3,0\text{MPa}$

- Από τις δοκιμές άμεσης διάτμησης (CD), καθώς και με χρήση του διαγράμματος του [Searle \(1979\)](#) (Διάγραμμα 3.4), προσδιορίζονται η μέση τιμή της γωνίας εσωτερικής τριβής ϕ' και η μέση τιμή της συνοχής c' .
- Η αστράγγιστη διατμητική αντοχή S_u υπολογίζεται με διάφορους τρόπους, χρησιμοποιώντας και τα αποτελέσματα των στατικών δοκιμών πενετρόμετρου CPT.

- Από τη σχέση: $S_u = \frac{q_c - \sigma_v}{N_k}$, όπου σ_v είναι η ολική κατακόρυφη τάση και $N_k = 10-20$ για άργιλο.
- Από τη σχέση: $S_u = \frac{f_c}{\alpha}$, όπου $\alpha=1,20-1,30$.
- Με χρήση του διαγράμματος του [Searle \(1979\)](#) (Διάγραμμα 3.4).
- Σύμφωνα με το Stroud (1974), γνωρίζοντας τον δείκτη πλαστικότητας και την αντιπροσωπευτική τιμή των κρούσεων N_{SPT} , προκύπτει η αστράγγιστη διατμητική αντοχή για αργίλους από τη σχέση: $S_u = 5,2 \times N_{SPT}$.
- Σύμφωνα με τους Terzaghi & Peck (1967), γνωρίζοντας την αντιπροσωπευτική τιμή των κρούσεων N_{SPT} , προκύπτει η αστράγγιστη διατμητική αντοχή για αργίλους από τη σχέση: $S_u = 6,6 \times N_{SPT}$.
- Σύμφωνα με το Sowers (1979) γνωρίζοντας την αντιπροσωπευτική τιμή των κρούσεων N_{SPT} , προκύπτει η αστράγγιστη διατμητική αντοχή για αργίλους μέσης πλαστικότητας από τη σχέση: $S_u = 7,5 \times N_{SPT}$, ενώ για αργίλους υψηλής πλαστικότητας από τη σχέση: $S_u = 12,5 \times N_{SPT}$.

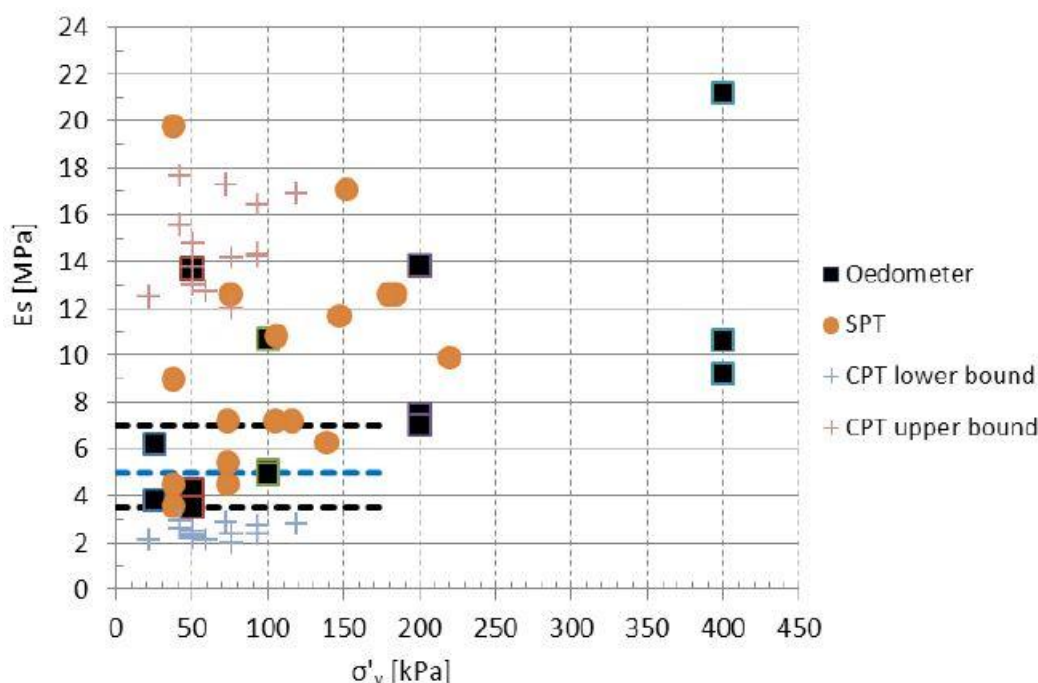
Συγκεντρώνοντας όλους τους παραπάνω τρόπους υπολογισμού της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής στο παρακάτω Διάγραμμα 5.4, προσδιορίζεται η προτεινόμενη τιμή S_u .



Διάγραμμα 5.4: Τιμές S_u / σ'_v με το βάθος (σε τιμές σ'_v) για την Γεωτεχνική Ενότητα 1

6. Η τιμή του μέτρου Συμπίεστος E_s υπολογίζεται με διάφορους τρόπους, χρησιμοποιώντας και τα αποτελέσματα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης.
- Σύμφωνα με το Stroud (1989), για αργίλους με συντελεστή ασφαλείας ίσο με 3 στη φέρουσα ικανότητα, μία προσέγγιση είναι $E_s / N_{SPT} = 0,90$. Γνωρίζοντας την αντιπροσωπευτική τιμή των κρούσεων N_{SPT} , προκύπτει το μέτρο Συμπίεστος E_s .
 - Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των δοκιμών πενετρομέτρησης CPT, προκύπτει το μέτρο Συμπίεστος από τη σχέση: $E_s = 1,0 + 2,5 \times q_c$ για έδαφος τύπου CL ($PI < 50\%$ και $q_c > 2,0 \text{MPa}$) και $E_s = 3,0 + 6,0 \times q_c$ για έδαφος τύπου ML ($PI < 50\%$ και $q_c > 2,0 \text{MPa}$).

Συγκεντρώνοντας όλους τους παραπάνω τρόπους υπολογισμού του μέτρου Συμπίεστος E_s στο παρακάτω Διάγραμμα 5.5, προσδιορίζεται η προτεινόμενη τιμή E_s .



Διάγραμμα 5.5: Τιμές E_s με το βάθος (σε τιμές σ'_v) για την Γεωτεχνική Ενότητα 1

7. Το μέτρο ελαστικότητας E συσχετίζεται με το μέτρο Συμπίεστος E_s και το λόγο Poisson ν από την σχέση:

$$E_s = \frac{(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} E$$

Θεωρώντας την τιμή του λόγου Poisson $\nu = 0,35$ και υπολογίζοντας την τιμή του μέτρου Συμπίεστος E_s όπως αναφέρθηκε στο βήμα 6, προκύπτει το μέτρο ελαστικότητας E .

8. Ο προσδιορισμός των παραμέτρων στερεοποίησης γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης και συναξιολογώντας βιβλιογραφικά δεδομένα για παρόμοια εδάφη, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.6.

Πίνακα 5.6: Παράμετροι στερεοποίησης για ΓΕ-I σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία για άργιλο

Βιβλιογραφική Αναφορά	Δεδομένα	Γεωτεχνική Παράμετρος
Lambe, T. W. and Whitman, R. V. 1969. Soil Mechanics, John Wiley & Sons	Lean Clay	$e_0 = 0,394 - 0,530$
	Sandy Clay	$e_0 = 0,379 - 1,303$
Carter, M. and Bentley, S. P., Correlations of Soil Properties, Pentech Press, London 1991	CL	$c_v = 1,9 - 8,6 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{sec}$
	CL-CH	$c_v = 0,3 - 3,0 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{sec}$
	MH	$c_v = 1.0 - 1,6 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{sec}$
	Normally consolidated medium sensitive clays	$C_c = 0,2 - 0,5$
	Normally consolidated sensitive clays	$m_v = 0,3 - 1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kN}$
	Firm clays	$m_v = 0,1 - 0,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kN}$
	Very stiff clays	$m_v = 0,05 - 0,1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kN}$

9. Χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα των δοκιμών μονοδιάστατης συμπίεσης, προκύπτει ο συντελεστής μεταβολής όγκου m_v , ο συντελεστής συμπιεστότητας c_v , ο δείκτης συμπίεσης C_c , ο δείκτης διόγκωσης C_s και ο αρχικός λόγος κενών e_0 .
10. Όσον αφορά στο δείκτη υπερστερεοποίησης **OCR**, θεωρείται πως, λόγω της υψηλής φυσικής υγρασίας w και του αυξημένου λόγου κενών e , η ΓΕ-1 είναι ελαφρώς υπερστεροποιημένη μέσω του μηχανισμού του ερπυσμού και της ανάπτυξης δομής με ενδεικτικό δείκτη υπερστερεοποίησης $OCR = 1,0 - 1,5$.
11. Όσον αφορά στο συντελεστή διαπερατότητας k , σύμφωνα με το Earth Manual (3rd Edition, Figure 1-32, page 48) για έδαφος CL, CH, ML, MH, $k = 10^{-5} - 10^{-6} \text{ cm}/\text{sec}$ ($\sim 10^{-7} - 10^{-8} \text{ m}/\text{sec}$) για κορεσμένα εδάφη. Ο συντελεστής διαπερατότητας για μερικώς κορεσμένα εδάφη τείνει να μειώνεται ανάλογα με το βαθμό κορεσμού. Επίσης, ο συντελεστής διαπερατότητας k προσδιορίζεται έμμεσα από τις δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης με την σχέση: $k = c_v \times m_v \times \gamma_w / 1000$.
12. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, ο δείκτης διόγκωσης C_s είναι αρκετά μικρότερος σε μέγεθος από ότι ο δείκτης συμπίεσης και μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση: $C_s = 0.1 \sim 0.2 C_c$ (Principles of Geotechnical Engineering, Das, B. M. 5th Edition p.282).
13. Ο δείκτης δευτερογενούς συμπίεσης C_a σχετίζεται με το δείκτη συμπίεσης C_c σύμφωνα με την σχέση: $C_a / C_c = 0.03 \sim 0.06$ (Essential of soil mechanics and foundations - Basic Geotechnics, D.F. McCarthy 5th Edition, p344).
14. Τέλος, ο συντελεστής στερεοποίησης c_v βρίσκεται σύμφωνα με το γράφημα που προτείνεται από τη NAVFAC (page 7.1-144, Figure 4) γνωρίζοντας το Όριο Υδαρότητας (LL).

Βάσει των παραπάνω βιβλιογραφικών αναφορών και των εμπειρικών τύπων, των επί τόπου δοκιμών που εκτελέστηκαν (CPT και SPT), των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών, των υπολογισμών που προηγήθηκαν, καθώς επίσης και την εμπειρία του μελετητή, προσδιορίζεται το εύρος των αντιπροσωπευτικών τιμών, καθώς και οι χαρακτηριστικές τιμές σχεδιασμού των γεωτεχνικών παραμέτρων, όπως αυτές παρουσιάζονται στους παρακάτω Πίνακες 5.7 και 5.8.

Πίνακας 5.7: Εύρος τιμών και προτεινόμενες τιμές των Παραμέτρων Σχεδιασμού για τη ΓΕ-1

Παράμετροι σχεδιασμού	Εύρος Τιμών	Προτεινόμενες Τιμές
Υγρό φαινόμενο βάρος	$\gamma = 16,0\text{kN/m}^3 - 19,0\text{kN/m}^3$	$\gamma = 17,0\text{kN/m}^3$
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή	$S_u=40\text{kPa} - 60\text{kPa}$	$S_u=50\text{kPa}$
Συνοχή	$c = 5\text{kPa} - 15\text{kPa}$	$c = 10\text{kPa}$
Γωνία εσωτερικής τριβής	$\phi' = 20^\circ - 26^\circ$	$\phi' = 23^\circ$
Μέτρο Συμπιεστότητας	$E_s = 3,5\text{MPa} - 7,0\text{MPa}$	$E_s = 5,0\text{MPa}$
Μέτρο Ελαστικότητας	$E = 2,5\text{MPa} - 4,5\text{MPa}$	$E = 3,0\text{MPa}$
Συντελεστής Διαπερατότητας	$k = 10^{-7} - 10^{-8} \text{ m/sec}$	$k = 1.0 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$
Λόγος Poisson	$\nu = 0,33 - 0,37$	$\nu = 0.35$

Πίνακας 5.8: Εύρος τιμών των παραμέτρων στερεοποίησης για τη ΓΕ-1

Παράμετροι σχεδιασμού	Εύρος Τιμών
Συντελεστής μεταβολής όγκου	$m_v = 0,1 - 0,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{kN}$
Δείκτης συμπίεσης	$C_c = 0,200 - 0,300$
Δείκτης διόγκωσης	$C_s = 0,030 - 0,040$
Αρχικός λόγος κενών	$e_0 = 0,800 - 0,900$
Δείκτης υπερστερεοποίησης	$\text{OCR} = 1,0 - 1,5$
Συντελεστής στερεοποίησης	$c_v = 3,0 - 8,0 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{sec}$
Δείκτης δευτερογενούς συμπίεσης	$C_a / C_c = 0,03 - 0,06$

5.5 Προτεινόμενες μέθοδοι θεμελίωσης ή/και βελτίωσης του εδάφους

Προκειμένου να βελτιωθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υφισταμένων αποθέσεων και να αυξηθεί η φέρουσα ικανότητα της στρώσης έδρασης των κατασκευών, προτείνεται η εφαρμογή μιας ή περισσοτέρων από τις παρακάτω περιγραφόμενες μεθόδους βελτίωσης των αποθέσεων. Η βελτίωση των υφισταμένων αποθέσεων υπαγορεύεται από την ανάγκη έδρασης των κατασκευών με ασφάλεια, τη μείωση των καθιζήσεων και τον περιορισμό των διαφορικών καθιζήσεων που θα προέκυπταν λόγω της έντονα μεταβλητής φύσης και πυκνότητας των αποθέσεων αυτών τόσο κατ' έκταση όσο και καθ' ύψος.

Με βάση τα αναφερόμενα στην [Παράγραφο 2.3](#) της παρούσης εργασίας και την εμπειρία του, ο μελετητής πρότεινε τις παρακάτω μεθόδους θεμελίωσης ή/και βελτίωσης του εδάφους, οι οποίες έχουν περιγραφεί στην [Παράγραφο 2.2](#):

- Δυναμική Συμπύκνωση εδάφους ([Παρ. 2.2.3.1](#))
- Προφόρτιση επιταχυνόμενη με στραγγιστήρια ([Παρ. 2.2.1.2](#))
- Ενθέματα μικρής ως μέσης δυσκαμψίας

- Χαλικοπάσσαλοι/Χαλικοπάσσαλοι με επένδυση από γεώφασμα (βαθεία δονητική αντικατάσταση) ([Παρ. 2.2.2.1](#))
- Βαθεία ανάμιξη (Deep mixing) ([Παρ. 2.2.4.1](#))
- Ενθέματα μεγάλης δυσκαμψίας
 - Εδαφοπάσσαλοι (jet grouting) ([Παρ. 2.2.6.1](#))
 - Πάσσαλοι από άοπλο σκυρόδεμα ([Παρ. 2.2.6.2](#))
 - Προκατασκευασμένοι πάσσαλοι ([Παρ. 2.2.6.3](#))
 - Πάσσαλοι CFA (Continuous Flight Auger) ([Παρ. 2.2.6.4](#))
 - Πάσσαλοι πλήρους εκτόπισης FDP (Full Displacement Piles) ([Παρ. 2.2.6.5](#))

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Burland J. B., Jamiolkowski M. B., Viggiani C., Leaning Tower of Pisa: Behaviour after Stabilization Operations, p.158
(http://casehistories.geoengineer.org/volume/volume1/issue3/IJGCH_1_3_2.pdf)
2. Chu J., Varaksin S., Klotz U., Mengé P. (Jeddah, 19-20 October 2010), Introduction to soil improvement, parameters, classification, case history of Kaust, State of the Art Report, 17th International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering
(http://www.bbri.be/homepage/download.cfm?dtype=services&doc=TC211_3_Lectures_Perth_1_June_2010.pdf&lang=en)
3. Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing (March 2007), Ref. No. EN 1997-2:2007: E
(<https://law.resource.org/pub/eu/eurocode/en.1997.2.2007.pdf>)
4. Gohl W. B., Jefferies M. G., Howie J. A., Diggle D. (2000), Explosive compaction: design, implementation and effectiveness, Geotechnique 50, No. 6, 657-665
(<https://books.google.gr/books?id=vxGKhZ2aRMUC&pg=PA65&lpg=PA65&dq=explosive+compaction+soil+improve&source=bl&ots=mmOWTt6s05&sig=5bQffAzciT3hHVMC09Rd7oxmMk0&hl=el&sa=X&ved=0ahUKEwi-ms3uppMAhUGEywKHaWiARoQ6AEIKzAA#v=onepage&q&f=true>)
5. Sachan A., Assistant Professor, Geotechnical Testing Methods II – Slides, Civil Engineering IIT Gandhinagar
(http://www.iitgn.ac.in/GAEE2013/handouts/Geotechnical%20Testign%20Methods%20I_AS.pdf)
6. United States Environmental Protection Agency, What Is Integrated Solid Waste Management (<http://www.epa.gov/climatechange/wycd/waste/downloads/overview.pdf>)
7. Αναγνωστόπουλος Α., Ανδρέου Π., Αναγνωστόπουλος Γ. (Αθήνα, 2014), Εδαφικές ιδιότητες από επί τόπου δοκιμές, Εκδόσεις Συμείων, ISBN: 978-960-9400-49-7
8. ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε. (Αθήνα, Μάιος 2014), Μελέτη, Κατασκευή, Συντήρηση και Λειτουργία Υποδομών Ολοκληρωμένου Συστήματος Διαχείρισης Απορριμμάτων (ΟΣΔΑ) στο Νότιο Πεδίο του Λιγνιτικού Κέντρου Δυτικής Μακεδονίας - Γεωτεχνική Έρευνα
9. ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε. (2007), Αποκαταστάσεις, Ιστοσελίδα Επιχείρησης ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε.
(<http://www.diadyma.gr/Website/Apokatastaseis/Apokatastaseis.html>)
10. ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε. (2007), Λειτουργία, Ιστοσελίδα Επιχείρησης ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε.
(<http://www.diadyma.gr/Website/Leitourgia/Leitourgia.html>)
11. ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε. (2007), Νέα έργα, Ιστοσελίδα Επιχείρησης ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε.
(<http://www.diadyma.gr/Website/Erga/Erga.html>)
12. ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε. (2007), Σχεδιασμός, Ιστοσελίδα Επιχείρησης ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε.
(<http://www.diadyma.gr/Website/Sxediasmos/Sxediasmos.html>)
13. ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε. (2007), Υλοποίηση, Ιστοσελίδα Επιχείρησης ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε.
(<http://www.diadyma.gr/Website/Ylopoiisi/Ylopoiisi.html>)

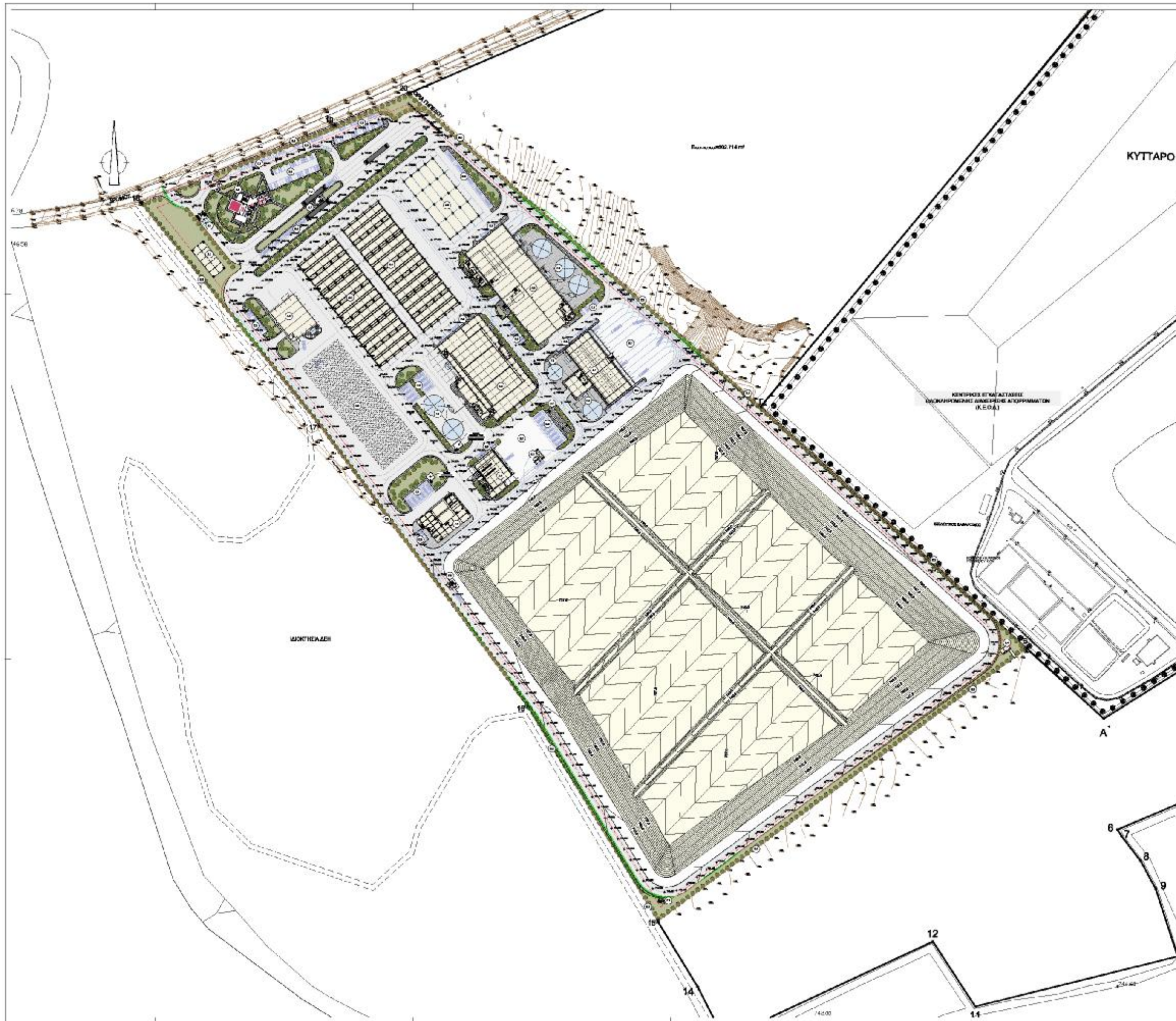
14. Ζαραφίδης Δ., Παυλουδάκης Φρ., Παρουσίαση: Ο λιγνίτης της Πτολεμαΐδας
<http://www.ptolemaida.gr/old/1/100xronia/pdf/diimerida/b/%CE%96%CE%B1%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B4%CE%B7%CF%82%CE%A0%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%85%CF%83%CE%AF%CE%B1%CF%83%CE%B7.pdf>
15. Καββαδάς Μ. (Σεπτέμβριος 2005), ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ-Κεφ. 11-Η έρευνα του υπεδάφους, Έκδοση Ε.Μ. Πολυτεχνείου
<http://users.ntua.gr/kavvadas/Books/Soil%20Mechanics/ch11.pdf>
16. Καββαδάς Μ. (Σεπτέμβριος 2005), ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ-Κεφ. 2-Φυσικά Χαρακτηριστικά των Εδαφών, Έκδοση Ε.Μ. Πολυτεχνείου
<http://users.ntua.gr/kavvadas/Books/Soil%20Mechanics/ch02.pdf>
17. Καββαδάς Μ. (Σεπτέμβριος 2005), ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ-Κεφ. 9-Διατμητική αντοχή των Εδαφών, Έκδοση Ε.Μ. Πολυτεχνείου
<http://users.ntua.gr/kavvadas/Books/Soil%20Mechanics/ch09.pdf>
18. Καββαδάς Μ. (Σεπτέμβριος 2007), ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ-Κεφ. 6- Γεωτεχνικές έρευνες υπεδάφους, Έκδοση Ε.Μ. Πολυτεχνείου
<http://users.ntua.gr/kavvadas/Books/Env%20Geotechnics/Ch-6-7.pdf>
19. Κάλτσιος Αργ., Πολιτικός Μηχ., MSc., Βελτίωση & ενίσχυση εδαφών, Περιοδικό Κτίριο (Τεύχος 8/2012, σελ. 81-86) (<http://www.ktirio.gr/system/files/2012-08-81.pdf>)
20. Καφάσης Π., Δ/ντής Προμηθειών Υπηρεσιών Προγραμμάτων ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε., Ολοκληρωμένη διαχείριση απορριμμάτων Δυτική Μακεδονία – Διαφάνειες (<http://energywaste.gr/pdf/17-12-2014/oloklhrwmenh-diaxeirish-aporrimatwn-Kafasis.pdf>)
21. Κούκης Γ., Σαμπατακάκης Ν. (Δεκέμβριος 2002), ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ-Κεφ. 7-Επί Τόπου Δοκιμές Γεωτεχνικής, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, ISBN13 9789607530097
<https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/TMB218/A%20ΕΝΟΤΗΤΑ%20CE%BC%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82,%20%CE%8E%CE%BB%CE%B7%202015,%20%CE%94%CE%B9%CE%B4%CE%AC%CF%83%CE%BA%CF%89%CE%BD%20%CE%A3.%20%CE%A3%CE%9A%CE%99%CE%91%CE%A3/2.%20%CE%95%CF%80%CE%B9%20%CE%A4%CF%8C%CF%80%CE%BF%CF%85%20%CE%94%CE%BF%CE%BA%CE%B9%CE%BC.%20%CE%93%CE%B5%CF%89%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD.%20%CE%88%CF%81%CE%B3%CF%89%CE%BD.pdf>
22. Κουμαντάκης Ι., Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (S.P.T. ή Terzaghi), Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών ΕΜΠ
http://www.metal.ntua.gr/uploads/3536/THEORIA_-_SPT.pdf
23. Κωστόπουλος Σ. Δ. (2008), Γεωτεχνικές Κατασκευές ΙΙ-Ανάλυση των αρχών σχεδιασμού & κατασκευής, Εκδόσεις Ίων, ISBN: 978-960-411-657-7
http://books.eudoxus.gr/publishers/CID_00028/CID_00028-0246-ABS.pdf

24. Λουπασάκης Κ., Εδαφομηχανική και Στοιχεία Θεμελιώσεων-Φυσικές Ιδιότητες- Διαφάνειες διαλέξεων, Σχολή μηχανικών μεταλλείων και μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών ΕΜΠ
(<http://www.legah.metal.ntua.gr/pdf/edafo/%CE%95%CE%B4%CE%B1%CF%86%CE%BF%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%A3%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%B1%20%CE%98%CE%B5%CE%BC%CE%B5%CE%BB%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CF%89%CE%BD%CE%A6%CF%85%CF%83%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CE%99%CE%B4%CE%B9%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B5%CF%82.pdf>)
25. Λουπασάκης Κ., Τεχνική Γεωλογία Ι-Εργαστηριακές δοκιμές Εδαφομηχανικής- Βραχομηχανικής - Διαφάνειες διαλέξεων, Σχολή μηχανικών μεταλλείων και μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών ΕΜΠ
(<http://www.metal.ntua.gr/uploads/2677/d4.pdf>)
26. Μπαντής Στ. (2012), Σημειώσεις Τεχνική Γεωλογία ΙΙ-ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ Α.Π.Θ.
(http://users.auth.gr/~sbandis/ENG_GEOLOGY_2/%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97%20%CE%93%CE%95%CE%A9%CE%9B%CE%9F%CE%93%CE%99%CE%91%20%CE%99%CE%99-%CE%A3%CE%97%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%A9%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3%202012c.pdf)
27. Μπαρουλάκη Μ. (Αθήνα, Φεβρουάριος 2011), Παραμετρική διερεύνηση της συμπεριφοράς αργιλικού εδάφους ενισχυμένου με χαλικοπασσάλους, Διπλ. Εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
(http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/handle/123456789/4050/baroulakim_gravelpiles.pdf?sequence=3)
28. Μπουκοβάλας Γ. (Φεβρουάριος 2015), Ειδικά θέματα θεμελιώσεων - Διαφάνειες, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
(http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/special_topics_of_foundation_engineering-7_15.pdf)
29. Μπουκοβάλας Γ. Δ. (Μάιος, 2010), Σύγχρονες μέθοδοι κατασκευής & σχεδιασμού στραγγιστηρίων για τον έλεγχο ρευστοποίησης - Διαφάνειες, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ (http://www.hssmge.gr/bouckovalas_presentation-03may2010.pdf)
30. Μπουκοβάλας Γ. Δ., Βελτίωση-Ενίσχυση εδαφών - Διαφάνειες, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
(http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/special_topics_of_foundation_engineering-5-SOIL_IMPROV_09.pdf)
31. Μπουκοβάλας Γ., Καμαριώτης Αρ., Μαρονικολάκης Σοφ., Τσάμης Β., Καραμήτρος Δ., Ειδικά θέματα θεμελιώσεων 2012-2013 - Διαφάνειες, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ (http://users.ntua.gr/gbouck/downfiles/special_topics_of_foundation_engineering-1_13.pdf)
32. ΟΜΙΚΡΟΝ ΚΑΠΙΑ ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΗ Α.Ε. (Αθήνα, Δεκέμβριος 2014), Μελέτη, χρηματοδότηση, κατασκευή, συντήρηση και λειτουργία υποδομών του ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης απορριμμάτων (ΟΣΔΑ) περιφέρειας δυτικής Μακεδονίας με ΣΔΙΤ-Οριστική γεωτεχνική μελέτη-Τεχνική έκθεση

33. Παύλου Β., Γεν. Δ/ντής ΔΙΑΔΥΜΑ Α.Ε., Συστήματα ολοκληρωμένης διαχείρισης ΑΣΑ σε επίπεδο περιφέρειας: σχεδιασμός, υλοποίηση & λειτουργία - η εμπειρία της Δυτικής Μακεδονίας
(http://www.inioxos.gr/abc/downloads/2010/arxeio_eisigisewn/2_2_Basili_Pavlou_Diadymaae.pdf)
34. Περιβάλλον και διαχείριση ενέργειας - Η Βιομηχανία του Λιγνίτη στη Δ.Μακεδονία
(<http://www.allaboutenergy.gr/LigniteMakedonia.html>)
35. Πλατής, Α.Δ. Πολιτικός Μηχανικός, Μ.Eng., ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε. (2007), Κατακόρυφα γεωσύνθετα στραγγιστήρια, Ημερίδα «Γεωτεχνικές Εφαρμογές Γεωσυνθετικών Υλικών», ΕΒΕΑ, (11.01.2007, Αθήνα)
(http://library.tee.gr/digital/m2185/m2185_platis.pdf)
36. Σακελλαρίου Μ., Κοζάνης Σ. (Αθήνα, 2003), Εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής, Εργαστήριο Δομικής Μηχανικής-Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ
(<http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/struct/LabTest.pdf>)
37. Σακελλαρίου Μ., Σημειώσεις μαθήματος Γεωτεχνικής Μηχανικής-Φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφών, Εργαστήριο Δομικής Μηχανικής -Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ (<http://users.ntua.gr/mgsakel/Classification.pdf>)
38. Σαμπατακάκης Ν., ΚΕΦ. 4-Βελτίωση-Ενίσχυση Εδαφών - Διαφάνειες - Πανεπιστήμιο Πατρών, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας
(http://www.geology.upatras.gr/files/shmioseis/12817E/KEFALAIO_4.pdf)
39. Σταυριδάκης Ε. Ι. (2003), Μέθοδοι βελτίωσης & ενίσχυσης εδαφών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, Πολυτεχνική Σχολή ΑΠΘ
(http://der.topo.auth.gr/tsioumis/Tsioumis%20CD/StarsToEarth/08_Stauridakis.pdf)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

- Απόσπασμα Γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ
- Σχέδιο Γενικής Διάταξης Εγκαταστάσεων Μονάδας Επεξεργασίας Απορριμμάτων (ΜΕΑ)



1	ΥΠΩ
2	ΜΕΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
A	ΜΕΡΟΣ ΤΥ
B	ΜΕΡΟΣ ΤΥ
C	ΜΕΡΟΣ ΤΥ
D	ΜΕΡΟΣ ΤΥ
E	ΜΕΡΟΣ ΤΥ
F	ΜΕΡΟΣ ΤΥ
G	ΜΕΡΟΣ ΤΥ
H	ΜΕΡΟΣ ΤΥ
I	ΜΕΡΟΣ ΤΥ
J	ΜΕΡΟΣ ΤΥ

ΥΠΩΣΗΜΑ

- A ΜΕΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
- A.1 ΜΕΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
- A.2 ΜΕΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
- A.3 ΜΕΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
- A.4 ΜΕΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
- A.5 ΜΕΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
- A.6 ΜΕΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
- A.7 ΜΕΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
- A.8 ΜΕΡΟΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
- B Ε.Π.Σ.
- B.1 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.2 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.3 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.4 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.5 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.6 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.7 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.8 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.9 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.10 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.11 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.12 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.13 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.14 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.15 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.16 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.17 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.18 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.19 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.20 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.21 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.22 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.23 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.24 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.25 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.26 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.27 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.28 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.29 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.30 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.31 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.32 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.33 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.34 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.35 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.36 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.37 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.38 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.39 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.40 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.41 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.42 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.43 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.44 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.45 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.46 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.47 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.48 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.49 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.
- B.50 ΜΕΡΟΣ Ε.Π.Σ.

ΑΛΛΑΥΜΑ Α.Ε.
 ΑΝΩΤΕΡΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ
 ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΤΟΡΜΑΤΩΝ

ΕΤΥ: ΜΕΛΕΤΗ, ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ, ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΠΩΣΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΟΑΚΑ/ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΤΟΡΜΑΤΩΝ (Ο.Α.Κ.Α.) ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΛΤ

ΜΕΤ: ΝΟΤΙΟ ΒΟΡΕΙΟ Α.Ε.Π. ΑΕΡΙΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΕΥΡΩΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ
“ΑΚΤΟΡ ΠΑΡΑΧΩΡΗΣΕΙΣ Α.Ε.” - “ΗΛΕΚΤΡΟ Α.Ε.”
ΜΕΤΡ. 2, 24 ΜΕΤΡΩΝ, ΤΗΛ. +30 210 7500000, FAX +30 210 7500001, WWW.ΑΚΤΟΡΠ.ΑΕ

ΥΠΩΣΗΜΑΤΩΝ ΑΣ
ΤΕΧΝΙΚΗ ΠΡΟΣΦΟΡΑ
 ΑΣ.α
 «Αντικείμενο: Έργο Τεχνικής Προσφοράς»

M1 Τεχνική Προσφορά ΜΕΑ για τις ανάγκες των Είδσεων Ενός Ισχύος Εύρωπος

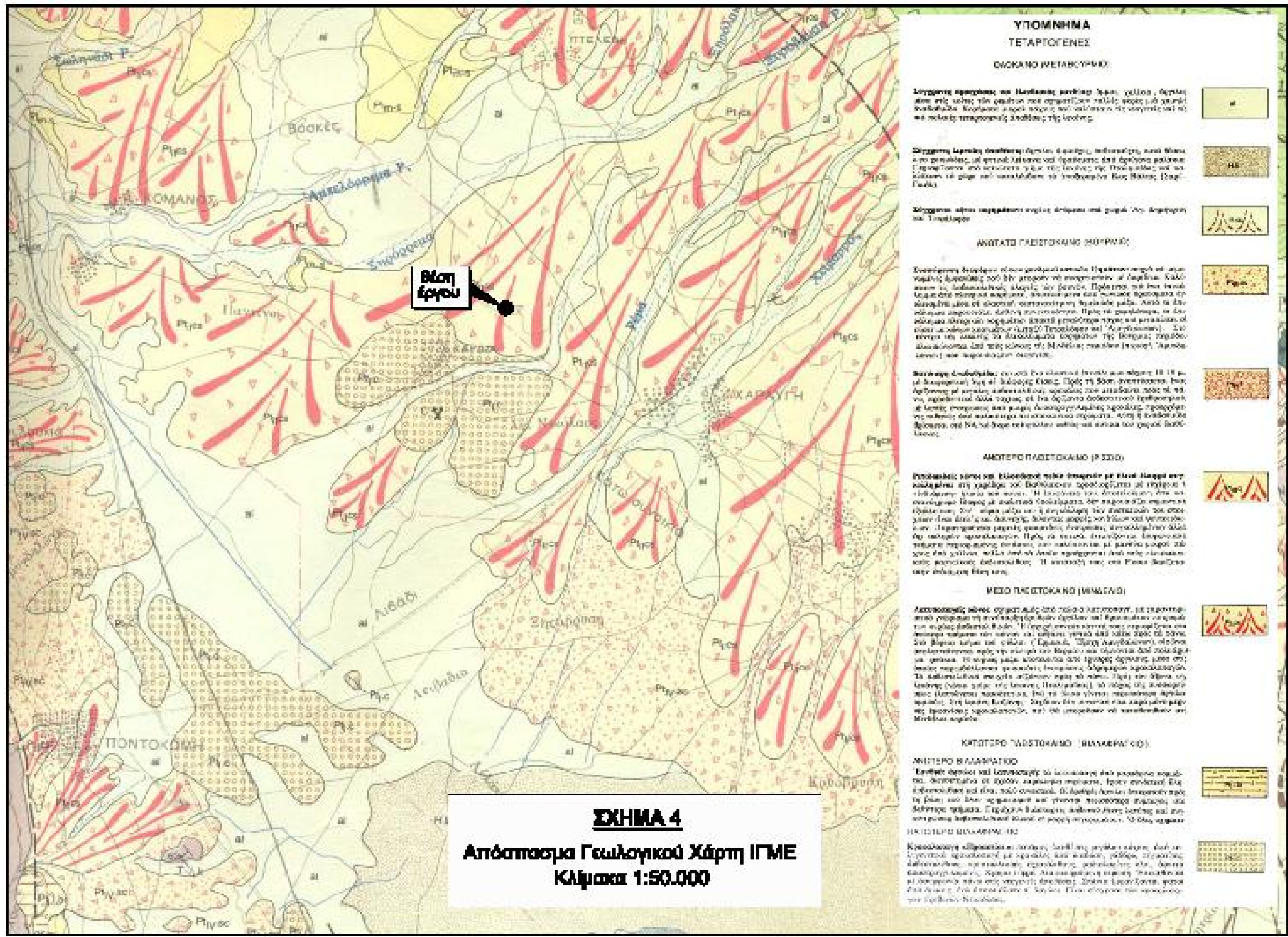
Μ1.2
 ΚΑΒΑΛΑ: 1/2024

ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ

ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ: ΑΝΤΩΝΗΣ ΚΑΡΑΓΕΩΡΓΙΩΤΗΣ
 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ
 ΔΕΛΦΙΝΟΥ 22, 157 01 ΑΘΗΝΑ
 ΤΗΛ. +30 210 7500000, FAX +30 210 7500001
 WWW.ΑΚΤΟΡΠ.ΑΕ

ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ: ΑΝΤΩΝΗΣ ΚΑΡΑΓΕΩΡΓΙΩΤΗΣ
 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ
 ΔΕΛΦΙΝΟΥ 22, 157 01 ΑΘΗΝΑ
 ΤΗΛ. +30 210 7500000, FAX +30 210 7500001
 WWW.ΑΚΤΟΡΠ.ΑΕ

ΣΥΝΤΑΚΤΗΣ: ΑΝΤΩΝΗΣ ΚΑΡΑΓΕΩΡΓΙΩΤΗΣ
 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΕΙΑ
 ΔΕΛΦΙΝΟΥ 22, 157 01 ΑΘΗΝΑ
 ΤΗΛ. +30 210 7500000, FAX +30 210 7500001
 WWW.ΑΚΤΟΡΠ.ΑΕ



ΣΧΗΜΑ 4
Απόσπασμα Γεωλογικού Χάρτη ΙΓΜΕ
Κλίμακα 1:50.000