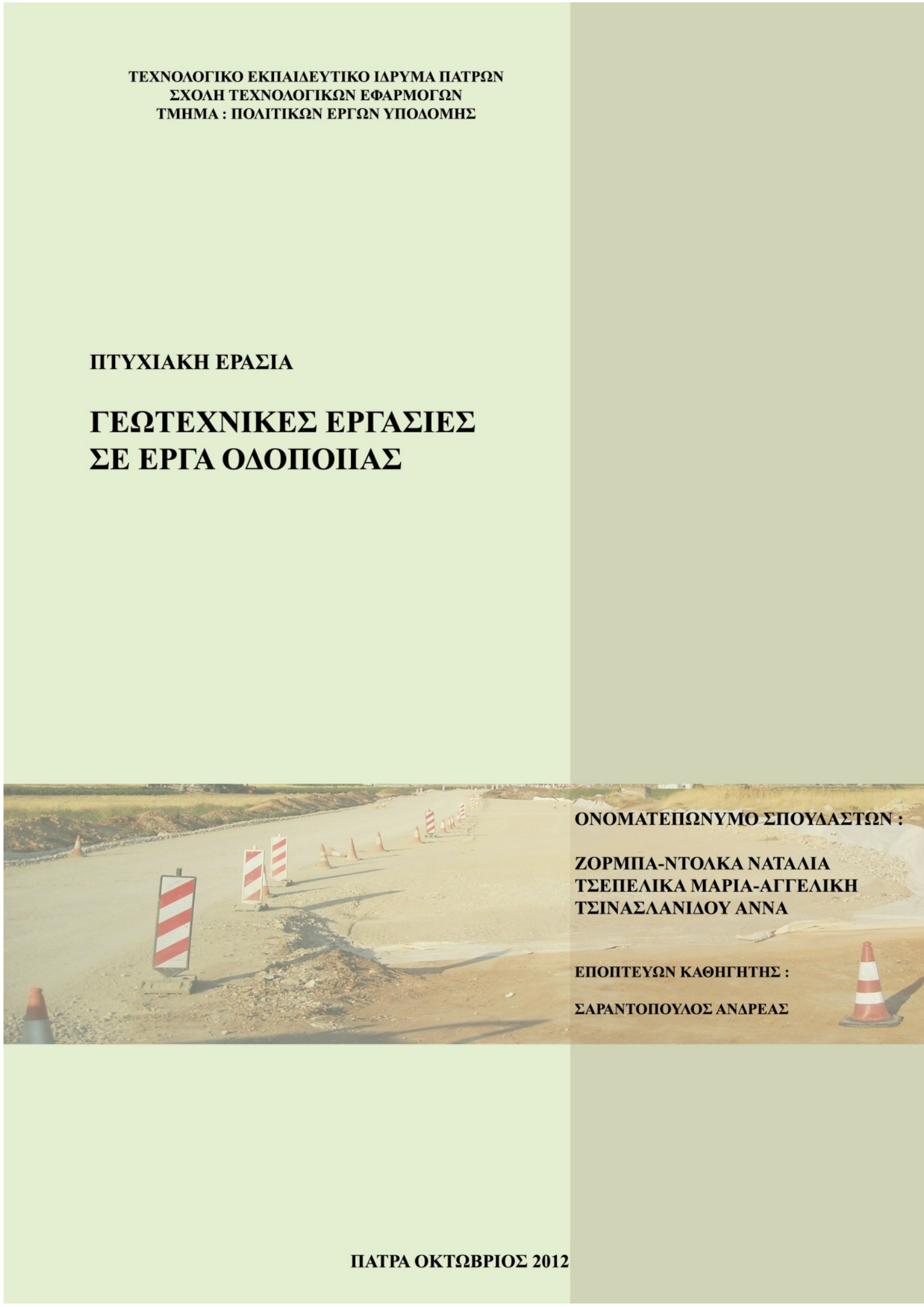


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ : ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΑΣΙΑ

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΕ ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ



ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ :

**ΖΟΡΜΠΑ-ΝΤΟΛΚΑ ΝΑΤΑΛΙΑ
ΤΣΕΠΕΛΙΚΑ ΜΑΡΙΑ-ΑΓΓΕΛΙΚΗ
ΤΣΙΝΑΣΛΑΝΙΔΟΥ ANNA**

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :

ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Εξ' αρχής θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον καθηγητή και υπεύθυνο της πτυχιακής εργασίας κ. Ανδρέα Σαραντόπουλο, για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και την πολύτιμη καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης αυτής.

Η εργασία δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς τη στενή συνεργασία με τον κ. Παναγιώτη Κλουκίνα, εργαστηριακό συνεργάτη στο εργαστήριο εδαφομηχανικής, οι συμβουλές του οποίου μας βοήθησαν σε ζητήματα που ανέκυψαν κατά εξέλιξη της εργασίας μας.

Ζορμπά – Ντόλκα Ναταλία

Τσεπελίκα Μαρία – Αγγελική

Τσινασλανίδου Άννα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θέτοντας ως στόχο την επίτευξη της ασφάλειας των τεχνικών έργων ο μηχανικός υποχρεούται να εκτελέσει όλες εκείνες τις εργασίες βελτίωσης και ενίσχυσης των εδαφικών συνθηκών. Επιπροσθέτως πρέπει να εντοπιστεί και να εξεταστεί η θέση θεμελίωσης του εκάστοτε τεχνικού έργου ως προς την ασφάλεια.

Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στη χρονική αλληλουχία μεταξύ των γεωτεχνικών μελετών, ερευνών και τέλος εργασιών πράγμα το οποίο προσπαθήσαμε να αποδώσουμε σε όλο το εύρος της πτυχιακής μας εργασίας.

Ξεκινώντας, το 1^ο κεφάλαιο κατά κύριο λόγο αναφέρεται το θεσμικό πλαίσιο σύμφωνα με το οποίο διεξάγεται μια γεωτεχνική μελέτη.

Στη συνέχεια, το 2^ο κεφάλαιο περιλαμβάνει τις γεωτεχνικές δοκιμές και έρευνες καθώς και τον διαχωρισμό αυτών.

Τέλος, το 3^ο κεφάλαιο περιγράφει λεπτομερώς τις γεωτεχνικές εργασίες που πραγματοποιούνται στη φάση της κατασκευής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Διαβάζοντας την ιστορική αναδρομή που παρατίθεται στο εισαγωγικό κεφάλαιο διαπιστώνει κανείς την άρρηκτα συνδεδεμένη εξέλιξη της οδοποιίας και ειδικότερα των τεχνικών έργων που την υποστηρίζουν σε σχέση με την ανάπτυξη των πληθυσμών και των αναγκών. Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε πληρέστερα το αντικείμενό μας αναφέρουμε όλους τους απαραίτητους ορισμούς των γεωτεχνικών εργασιών και των έργων οδοποιίας όπως επίσης αναλύουμε τη χρησιμότητα αυτών. Καθοριστικό ρόλο για κάθε γεωτεχνική μελέτη κατέχουν οι κανονισμοί και οι τεχνικές προδιαγραφές που διέπουν την εκπόνησή της. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ολοκλήρωση του παρόντος κεφαλαίου είναι η αναφορά και ο διαχωρισμός των σταδίων εκπόνησης της γεωτεχνικής μελέτης, σε προμελέτη και σε οριστική μελέτη, καθώς και η αναλυτικότερη περιγραφή των περιεχομένων αυτών.

Έχοντας ολοκληρώσει την μελέτη του έργου προβαίνουμε στις αντίστοιχες, ανά περίπτωση, γεωτεχνικές έρευνες οι οποίες αποτελούνται από τις απαιτούμενες εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές, προκειμένου να διεξαχθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα για τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους και τη σύστασή του. Ανάλογα με το μέγεθος και τη σπουδαιότητα του έργου καθορίζονται τα είδη και οι ποσότητες των δοκιμών. Τα αποτελέσματα των δοκιμών περιλαμβάνονται στην έκθεση προγράμματος των γεωτεχνικών ερευνών. Στη συνέχεια αναλύονται οι ερευνητικές μέθοδοι, συγκεκριμένα γεωτρητικές εργασίες, μέθοδοι διάνοιξης γεωτρήσεων και νέες τεχνικές. Εκτός από τις διαδεδομένες γεωτρητικές εργασίες παρουσιάζονται και οι μη καταστρεπτικές, μιας και εφαρμόζονται στην επιφάνεια του εδάφους, μέθοδοι διεξαγωγής συμπερασμάτων που καλούνται γεωφυσικές μέθοδοι οι οποίες είναι υποστηρικτικές μέθοδοι των γεωτρητικών εργασιών, δηλαδή δεν τις αντικαθιστούν. Μεγάλη βαρύτητα δίνεται στις επί τόπου δοκιμές εφ' όσον τα συμπεράσματα που διεξάγονται από αυτές είναι υψίστης σημασίας μιας και συχνά οι εργαστηριακές δοκιμές (αναφέρονται επιγραμματικά) δεν αρκούν για επαρκή και αξιόπιστα αποτελέσματα. Κάθε είδους δοκιμή πραγματοποιείται κάτω από ορισμένες προδιαγραφές οι οποίες ορίζονται είτε από θεσμικά όργανα είτε από διεθνείς οργανισμούς πιστοποίησης. Κλείνοντας αυτό το κεφάλαιο αναφερόμαστε στα αδρανή αναλύοντας τη χρησιμότητά τους, την κατηγοριοποίησή τους καθώς και τον τρόπο δειγματοληψίας τους.

Εωσότου ολοκληρωθεί ένα έργο οδοποιίας, λαμβάνουν χώρα ποικίλες γεωτεχνικές εργασίες οι οποίες διεξάγονται στη φάση της κατασκευής του. Μιας και υπάρχει πληθώρα γεωτεχνικών εργασιών σκόπιμο κρίνεται να κατατάσσονται ανάλογα με το είδος, τη φύση τους και το λόγω για τον οποίο πραγματοποιούνται. Σημαντικό ρόλο κατέχουν οι εργασίες βελτίωσης – ενίσχυσης του εδάφους οι οποίες, εξαρτώνται άμεσα από την ποιότητα του

εδάφους, την ιδιότητα που πρέπει να βελτιωθεί, από το είδος και το μέγεθος του έργου αλλά και από την αντίστοιχη κατασκευή, έχοντας ως κύριο στόχο την ασφάλεια της κατασκευής. Οι εργασίες διαχωρίζονται ανάλογα με λόγο της εφαρμογής τους σε μηχανισμούς όπως, Μηχανισμός Στερεοποίησης, Μηχανισμός Οπλισμού, Μηχανισμός Συμπύκνωσης, Μηχανισμός Χημικής Σταθεροποίησης, Μηχανισμός Ενεμάτωσης Εδάφους και Μηχανισμός Θερμικής Δράσης. Αναπόσπαστο κομμάτι κάθε έργου είναι οι εκσκαφές που διακρίνονται ανάλογα με την έκταση της επιφάνειας που πραγματοποιούνται. Γίνεται αναλυτική αναφορά στις μεθόδους εκσκαφής – διάνοιξης σηράγγων καθώς και στα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση του σκοπού αυτού. Ευρύ θέμα της εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής αποτελεί η ευστάθεια πρανών. Στην παρούσα πτυχιακή γίνεται διάκριση των πρανών ανάλογα με τη φύση του εδάφους όπως επίσης αναλύονται τα αίτια κατολίσθησης αυτών αλλά και τα μέτρα σταθεροποίησής τους ανάλογα με το είδος τους. Στα μέτρα αυτά συμπεριλαμβάνονται οι αντιστηρίξεις στις οποίες γίνεται εκτενής αναφορά καθότι καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα στον κλάδο της σταθεροποίησης. Εξίσου σημαντικός θεωρείται ο τομέας των επιχωματώσεων. Τα επιχώματα ανάλογα με τις ανάγκες που καλούνται να καλύψουν διακρίνονται σε οπλισμένα επιχώματα, επιχώματα οδοποιίας, μεταβατικά επιχώματα κ.α. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και η κατάλληλη θεμελίωση διότι επιτυγχάνοντας την μείωση των τάσεων του εδάφους επιτρέπεται στην κατασκευή να εδρασθεί με μεγαλύτερη ασφάλεια. Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος, λόγω χαμηλού κόστους, ενίσχυσης της θεμελίωσης είναι η χρήση πασσάλων. Αστάθμητο παράγοντα στην κατασκευή ενός έργου αποτελούν οι καθιζήσεις για τις οποίες αναφερόμαστε αναλυτικά στα είδη, τις αιτίες, τις τεχνικές αντιμετώπισης, τα μέτρα πρόληψης όπως και τα μέτρα ανάσχεσης – ανακοπής. Στις τελευταίες ενότητες της πτυχιακής μας εργασίας αναφερόμαστε στα βάρθρα γεφυρών και στις στρώσεις οδοστρωσίας οι οποίες αποτελούν το τελικό στάδιο της φάσης κατασκευής ενός έργου οδοποιίας.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	i
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ & ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	viii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	ix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ.....	1
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	1
1.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	3
1.3 ΈΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ.....	4
1.3.1 ΟΔΟΙ ΚΑΙ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ.....	5
1.3.2 ΣΗΡΑΓΓΕΣ.....	6
1.4 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ.....	9
1.5 ΣΤΑΔΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ.....	10
1.5.1 ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ.....	10
1.5.2 ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	14
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ.....	14
2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	14
2.2 ΕΚΘΕΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ.....	14
2.3 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	16
2.3.1 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ.....	16
2.3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ.....	17
2.3.1.2 ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ.....	19
2.3.1.3 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ.....	19
2.4 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	22
2.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	23
2.4.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	24
2.4.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΕΡΥΝΑΣ.....	24
2.5 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ – ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ.....	25
2.6 ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	26
2.6.1 ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (STANDARD PENETRATION TEST - SPT).....	26
2.6.2 ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΚΩΝΟΥ (CONE PENETRATION TEST - CPT).....	28
2.6.3 ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΕΣΣΙΟΜΕΤΡΟΥ (PRESSUREMETER TEST).....	30
2.6.4 ΔΟΚΙΜΗ ΠΤΕΡΥΓΙΟΥ (FIELD VANE TEST).....	31
2.6.5 ΔΟΚΙΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΠΛΑΚΑΣ.....	31
2.6.6 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	32
2.6.7 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ.....	33
2.7 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ.....	34

2.7.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ.....	34
2.7.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.....	35
2.7.3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ.....	35
2.7.4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ.....	36
2.7.5 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ.....	36
2.7.6 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ.....	36
2.7.7 ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ.....	36
2.7.8 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	37
2.8 ΑΔΡΑΝΗ.....	37
2.8.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	38
2.8.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΔΡΑΝΩΝ.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	41
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	41
3.1 ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ.....	41
3.1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	41
3.1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	43
3.1.2.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	43
3.1.2.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	44
3.1.2.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ.....	48
3.1.2.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	49
3.1.2.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΜΑΤΩΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	51
3.1.2.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ.....	53
3.2 ΕΚΣΚΑΦΕΣ – ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ – ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΣΕΙΣ.....	54
3.2.1 ΕΚΣΚΑΦΕΣ.....	54
3.2.1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΚΣΚΑΦΩΝ.....	54
3.2.1.1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΣΚΑΦΗΣ – ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΡΑΓΩΝ.....	55
3.2.1.1.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΟΛΟΜΕΤΩΠΟΥ ΚΟΠΗΣ (TUNNEL BORING MACHINE, TBM).....	56
3.2.1.1.3 ΜΗΧΑΝΕΣ ΧΩΡΙΣ ΑΣΠΙΔΑ (GRIPPER TBM).....	57
3.2.1.1.4 TBM ΜΕ ΑΣΠΙΔΑ.....	57
3.2.1.1.5 ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΜΕ ΙΣΟΡΡΟΠΟΙΑ ΠΙΕΣΗΣ ΓΑΙΩΝ (EARTH PRESSURE BALANCE, EPB).....	58
3.2.1.1.6 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ (CUT & COVER).....	58
3.2.1.1.7 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ - ΕΚΣΚΑΦΗΣ (COVER & CUT ή TOP DOWN).....	59
3.2.1.1.8 ΝΕΑ ΑΥΣΤΡΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (NEW AUSTRIA TUNNELLING METHOD or NATM).....	60
3.2.2 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ.....	61
3.2.2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	61
3.2.2.2 ΤΑ ΠΡΑΝΗ.....	61
3.2.2.3 ΒΑΣΙΚΑ ΑΙΤΙΑ ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΕ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΠΡΑΝΩΝ.....	62

3.2.2.4 ΜΕΤΡΑ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ Η ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	63
3.2.3 ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ	66
3.2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ	66
3.2.3.2 ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	66
3.2.4 ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΣΕΙΣ	71
3.2.4.1 ΓΕΝΙΚΑ	71
3.2.4.2 ΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ	72
3.2.4.3 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ	73
3.2.4.4 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ	73
3.2.4.5 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΩΣ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ ΑΠΟΤΟΜΩΝ ΑΣΤΑΘΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ Η/ΚΑΙ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ	74
3.2.4.6 ΚΡΗΠΙΔΩΜΑΤΑ, ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΕΙΣ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ.....	74
3.2.4.7 ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ.....	74
3.3 ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ.....	76
3.4 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ.....	83
3.4.1 ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ	84
3.4.2 ΑΙΤΙΑ ΤΩΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ.....	84
3.4.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ	85
3.4.4 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ	86
3.4.4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ.....	86
3.4.4.2 ΜΕΡΙΚΗ Η ΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ.....	86
3.4.4.3 ΔΟΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ	86
3.4.4.4 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ	87
3.4.4.5 ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗ.....	87
3.4.4.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΑΝΑΧΩΜΑΤΩΝ	87
3.4.4.7 ΣΤΑΔΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.....	87
3.4.4.8 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ.....	88
3.4.4.9 ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	91
3.4.5 ΜΕΤΡΑ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ – ΑΝΑΚΟΠΗΣ.....	91
3.4.5.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ	92
3.5 ΒΑΘΡΑ ΓΕΦΥΡΩΝ.....	92
3.5.1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ.....	93
3.5.2 ΤΑ ΑΚΡΟΒΑΘΡΑ	93
3.5.3 ΠΤΕΡΥΓΟΤΟΙΧΟΙ.....	96
3.5.4 ΤΑ ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ.....	96
3.5.5 ΤΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΤΗΣ ΑΝΑΔΟΜΗΣ	97
3.5.6 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ.....	98
3.6 ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΔΟΣΤΡΩΣΙΑΣ	98
3.6.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	102

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ & ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

- R.Q.D : Rock Quality Designation
- A.S.T.M : American Society for Testing and Materials Transportation Officials
- AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Test
- SPT : Standard Penetration Test
- CPT : Cone Penetration Test
- PVC : Polyvinyl Chloride
- EPDM : Ethylene Propylene Diene Monomer
- HDPE : High Density Polyethylene
- FPP : Flexible Polypropylene
- GCL : Geosynthetic Clay Liner
- TBM : Tunnel Boring Machine
- EPB : Earth Pressure Balance
- NATM : New Austria Tunneling Method
- EPS : Earnings per Share
- TAM : Tube A Manchette
- TPO : Thermoplastic Polyolefin

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η περιγραφή και ανάλυση όλων των αναγκαίων γεωτεχνικών εργασιών που εφαρμόζονται σε έργα οδοποιίας. Οι εργασίες αυτές έχουν ως στόχο την εξασφάλιση της ασφαλούς κατασκευής εντός των προκαθορισμένων χρονικών περιθωρίων έτσι όπως αυτά καθορίζονται στην κάθε γεωτεχνική μελέτη από τον εκάστοτε μελετητή, συνυπολογίζοντας πάντα το βέλτιστο χρηματικό κόστος και το χαμηλότερο κόστος συντήρησης. Παρατηρώντας την αλληλεξάρτηση των παραπάνω στόχων διαπιστώνεται η σπουδαιότητα ύπαρξης της γεωτεχνικής μελέτης, η οποία οδηγεί στην υλοποίηση άρτιων εργασιών τόσο από πλευράς οργάνωσης και σωστού καταμερισμού αυτών, όσο και από πλευράς επιλογής της πλέον ενδεδειγμένης μεθόδου – τεχνικής ως προς τις εργασίες κατά τη φάση κατασκευής του έργου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η εξέλιξη της οδοποιίας είναι στενά συνδεδεμένη με την ιστορική εξέλιξη της ανθρωπότητας. Τη σημερινή της μορφή (διάσταση) άρχισε να την παίρνει, όταν για το σχεδιασμό και την κατασκευή των οδικών υποδομών έγινε αναγκαία η ανθρώπινη σκέψη και η ανθρώπινη εργασία. Μέχρι τότε οι άνθρωποι στις μετακινήσεις τους ακολουθούσαν την ροή των ποταμών ή άλλων φυσικών διαβάσεων. Οι πρώτες ενδείξεις σχεδιασμού και κατασκευής τέτοιων έργων, δηλαδή οδικών έργων, των οποίων ο σχεδιασμός και η κατασκευή απαιτούσε ανθρώπινη σκέψη και ανθρώπινη εργασία, είναι οι λιθόστρωτοι δρόμοι που κατασκευάστηκαν στη Μεσοποταμία (4000 π.Χ.). Ακολουθούν οι πλινθόστρωτοι δρόμοι στην Ινδία περί το 3000 π. Χ. και οι λιθόστρωτοι δρόμοι της Μινωικής Εποχής στην Κρήτη . Αξιόλογα οδικά έργα έχουν επίσης να επιδείξουν η Αρχαία Αίγυπτος, η Περσία, η Βαβυλώνα, οι Σουμέριοι κλπ.

Η πρώτη επίσης γνωστή μεγάλη υπεραστική οδός, είναι αυτή που ένωνε την πρωτεύουσα των Ασσυρίων Σούζα (Susa) με τις Σάρδεις (Sardes) δια μέσου της πόλης Νινίβε (Ninive) και η οποία είχε μήκος 2500 χλμ . Η αρχαιότερη οδός που σώζεται μέχρι σήμερα, κατασκευάστηκε στην Κρήτη περί το 1700 π. Χ., είχε μήκος περί τα 50 χλμ και ένωνε την Κνωσό με την πόλη Γόρτυνα και τις νότιες ακτές της Νήσου. Έμφαση στην οδοποιία δόθηκε και στη μετέπειτα εποχή της Αρχαίας Ελλάδας και ιδιαίτερα στην αστική οδοποιία, όπου τέθηκαν οι βάσεις ενός πραγματικού οδικού σχεδιασμού. Έτσι από την περίοδο αυτή, η αστική οδός δεν είναι πλέον μια τυχαία χάραξη, δηλαδή ένα τυχαίο μονοπάτι που ακολουθεί το έδαφος, αλλά αρχίζει να αποτελεί ένα έργο γεωμετρικά σχεδιασμένο και προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις της πόλης (οικισμού), στα πλαίσια ενός οργανωμένου οδικού δικτύου. Ο διαχωρισμός της πόλης σε τετράγωνα, εφοδιασμένα με τους απαιτούμενους δημόσιους χώρους και τις ανάλογες οδικές υποδομές είναι δημιούργημα αυτής της εποχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η πόλη της Μιλήτου. Έτσι λοιπόν, στα πλαίσια αυτής της εξέλιξης, η οδός δεν ακολουθεί πλέον το έδαφος, όπως γινόταν μέχρι τότε, αλλά σχεδιάζεται και υλοποιείται με βάση τον πολεοδομικό σχεδιασμό, επιτακτική αρχή και της σημερινής αστικής οδοποιίας. Ιδιαίτερη επίσης στην οδοποιία της Αρχαίας Ελλάδας ήταν και η συμβολή του Μ. Αλεξάνδρου, ο οποίος, πέραν των άλλων, παρέλαβε και το οδικό δίκτυο των Περσών και των υπολοίπων λαών που κατέκτησε και απάρτισαν τη μεγάλη

αυτοκρατορία του. Το οδικό αυτό δίκτυο, όχι μόνο το συντήρησε ,αλλά το βελτίωσε και το επέκτεινε με τους Θρακιώτες τεχνίτες του. Τα έργα αυτά δεν είχαν μόνο στρατιωτική σημασία, αλλά συνέβαλλαν σημαντικά και στην ανάπτυξη του εμπορίου. Οι οδοί του μεταξιού που ένωναν τη Μεσόγειο με την Κίνα είχαν ως βάση τα έργα αυτά.

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω βλέπουμε, ότι η τεχνική που εφαρμόστηκε στην αρχική αυτή φάση της οδοποιίας και η οποία έθεσε τις βάσεις για την περαιτέρω εξέλιξή της είναι άξια θαυμασμού. Κύριο γνώρισμα της τεχνικής αυτής, η οποία αποτελεί και τον πυρήνα κατασκευής των σημερινών (σύγχρονων) οδικών έργων, είναι, ότι οι οδικές κατασκευές αποτελούνται από περισσότερες στρώσεις. Η κατασκευή αυτή αποδείχθηκε αναγκαία για την ανθεκτικότητα των οδών, τόσο στις αρνητικές επιδράσεις των καιρικών φαινομένων (βροχοπτώσεις, παγετός κ.λπ.), όσο και των αξονικών φορτίων, τα οποία βέβαια όσο μικρά και εάν ήταν -σε σχέση με τα σημερινά-, δημιουργούσαν προβλήματα σε μια οδό με μειωμένη ικανότητα έδρασης, λόγω της κακής αποστράγγισης. Επιπλέον πληροφορίες σχετικά με διάφορες εργασίες βελτίωσης και ενίσχυσης των εδαφών αναφέρονται στα Ομηρικά έπη (8^{ος} αιώνας π. Χ.), αν και ο αριθμός των πληροφοριών δεν είναι μεγάλος είναι ωστόσο σημαντικός λαμβάνοντας υπόψη τον επικό χαρακτήρα των έργων. Σε μια προσπάθεια ενίσχυσης της άμυνας και προστασίας των πλοίων τους τα οποία ήταν τραβηγμένα στην ακτή, οι Αχαιοί κατασκευάζουν ένα αμυντικό τείχος και σκάμμα. Ο Όμηρος περιγράφει το σκάμμα ως βαθύ, πλατύ και μεγάλο, ενώ μας ενημερώνει ότι οι Αχαιοί τοποθέτησαν στις πλαγιές του σκάμματος μεγάλους ξύλινους πασσάλους (Ιλιάδα, Η435-441). Κατά τη διάρκεια της μάχης, τα άλογα των Τρώων όχι μόνο δε μπορούσαν να πηδήξουν το σκάμμα, αλλά ούτε και να το διαβούν, καθώς οι πλαγιές του σκάμματος ήταν κατακόρυφες. Η πληροφορία αυτή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί γνωρίζουμε ότι κατακόρυφες βαθιές εκσκαφές δε μπορούν να πραγματοποιηθούν σε αμμώδη εδάφη σαν αυτά που υπάρχουν κοντά στις ακτές, ενώ ακόμα και αργιλικά εδάφη μπορούν να διατηρήσουν την ισορροπία τους για περιορισμένο μόνο χρόνο χωρίς κατάλληλη αντιστήριξη των κατακόρυφων πρανών του σκάμματος. Ο ποιητής εξηγεί ότι οι Αχαιοί είχαν τοποθετήσει μεγάλους αιχμηρούς πασσάλους, σε πυκνή διάταξη. Η διάταξη του σκάμματος ήταν τέτοια που το ιππικό και το πεζικό δυσκολευόταν να ξεπεράσουν το εμπόδιο αυτό. Οι πάσσαλοι λειτουργούσαν σίγουρα σαν δεύτερη γραμμή άμυνας, αλλά χρησίμευαν και για την αντιστήριξη των κατακόρυφων πρανών του σκάμματος. Παρατηρούμε λοιπόν ότι από τα αρχαία ακόμα χρόνια υπήρχαν τα πρώτα γεωτεχνικά έργα με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιώνονται οι εδαφικές συνθήκες. Ο τομέας των τεχνικών έργων με την πάροδο των χρόνων γνώρισε πολύ σημαντική και ταχύτατη πρόοδο - ανάπτυξη των τεχνικών και μεθόδων όπου χρησιμοποιούνται. Το 1712 γράφεται από το μηχανικό οδοποιίας Hubert Gautier το πρώτο βιβλίο οδοποιίας, στο οποίο δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποστράγγιση της οδού. Το 1747 ιδρύεται στο Παρίσι η πρώτη σχολή

οδοποιίας με τον τίτλο «Ecole Nationale des Ponts et Chaussées» (Σχολή Κατασκευής Γεφυρών και Οδών). Το 1775 εκδίδονται από τον Tresquet οδηγίες κατασκευής λιθόστρωτων οδών, οι οποίες χαρακτηρίστηκαν ως οι πρώτες προδιαγραφές (κανονισμοί) κατασκευής οδικών έργων. Στην εξέλιξη της οδοποιίας αυτής της εποχής, ιδιαίτερος ήταν και ο ρόλος του Μ. Ναπολέοντα, ο οποίος με τις εκστρατείες του επιτάχυνε την ανανέωση και επέκταση του οδικού δικτύου. Η ρωμαϊκή ευθεία ανακαλύπτεται εκ νέου και αποτελεί το καθοριστικό στοιχείο της χάραξης.

Ανακεφαλαιώνοντας λοιπόν, η αύξηση του πληθυσμού και η συνεχής αναζήτηση για ανάπτυξη, οι ανάγκες για επικοινωνία - μεταφορά ολοένα και αυξάνονταν με αποτέλεσμα την δημιουργία των πρώτων άρτιων οδικών δικτύων. Σταδιακά, ο σχεδιασμός και οι κατασκευαστικές τεχνικές που χρησιμοποιούσαν για την δημιουργία μίας οδού βελτιώνονταν.

Έτσι γεννήθηκε η ανάγκη για ασφαλή τεχνικά έργα όπου θα εξυπηρετούσαν πλήρως τις σύγχρονες απαιτήσεις, οι κατασκευές άρχισαν πλέον να θεμελιώνονται σε εκείνες τις περιοχές όπου ήταν η βέλτιστη τεχνοοικονομική λύση και όχι εκεί που «υποδείκνυε» η μορφολογία του εδάφους. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας, και της επιστήμης σε συνδυασμό με την βελτιωμένη τεχνογνωσία, μας δίνουν την δυνατότητα να υλοποιούμε τα αναγκαία έργα υποδομής στις πλέον κατάλληλες θέσεις όπου θα καλύπτονται όλες οι ανάγκες για την μεταφορά, την ανάπτυξη της κάθε περιοχής και την προστασία του περιβάλλοντος χώρου κάθε έργου. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο, κρίνονται χρήσιμες οι κάθε είδους γεωτεχνικές έρευνες.

Για την πληρέστερη κατανόηση του θέματος των γεωτεχνικών εργασιών στην συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικότερα όλοι οι χρησιμοποιούμενοι ορισμοί, όλες εκείνες οι απαραίτητες πληροφορίες που αναλύουν τους σκοπούς που εξυπηρετεί η κάθε εργασία καθώς και την κατηγοριοποίηση τους και τέλος την χρονική σειρά που θα πρέπει να τηρείται ώστε να εξασφαλίζεται η αρτιότητα της μελέτης και εν συνεχεία, της κατασκευής.

1.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Γεωτεχνικές εργασίες είναι όλες εκείνες οι εργασίες βελτίωσης των εδαφικών συνθηκών ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η ασφάλεια των τεχνικών έργων. Η εκπόνηση της μελέτης γίνεται προκειμένου να διερευνηθεί και να εντοπισθεί η ασφαλέστερη θέση θεμελίωσης του εκάστοτε τεχνικού έργου, επιπλέον να εξασφαλιστεί η ασφαλέστερη κατά τον δυνατόν κυκλοφορία των οχημάτων, καθώς επίσης να απαιτηθεί για την κατασκευή και την συντήρηση του έργου το

ελάχιστο δυνατό κόστος. Τέλος, η μελέτη αποβλέπει στον καθορισμό των αναγκών σε εξοπλισμό και σε προσωπικό ώστε να γίνει έγκαιρα η προμήθεια του εξοπλισμού, καθώς και η αναζήτηση και πρόσληψη του αναγκαίου προσωπικού. Οι γεωτεχνικές έρευνες αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα της μελετητικής διαδικασίας. Οι γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής κατασκευής ενός έργου οδοποιίας προσεγγίζονται σταδιακά και η πλήρης διερεύνησή τους είναι καθοριστικής σημασίας, τόσο για τον βέλτιστο τεχνικοοικονομικό σχεδιασμό του, όσο και για την άρτια μελέτη, την ασφαλή και οικονομική κατασκευή και την περαιτέρω λειτουργία και συντήρησή του. Οι έρευνες που γίνονται περιέχουν όλα τα στοιχεία του εδάφους που είναι απαραίτητα για τη σύνταξη των γεωτεχνικών μελετών που αναφέρονται σε:

- Θεμελιώσεις τεχνικών έργων.
- Έδραση επιχωμάτων.
- Ευστάθεια πρανών ορυγμάτων και επιχωμάτων (κλίσεις πρανών, τυχόν αναγκαίες αντιστηρίξεις, αναβαθμοί κλπ.)
- Βελτίωση εδάφους.
- Ανάλυση κινδύνου ρευστοποίησης
- Καταλληλότητα προϊόντων εκσκαφής για την κατασκευή επιχωμάτων.
- Χαρακτηρισμός και κατάταξη εδαφικών στρώσεων που επηρεάζουν τη διαστασιολόγηση του οδοστρώματος.
- Καταλληλότητα υλικών λατομείων προς εξεύρεση αδρανών για εργασίες σκυροδεμάτων, οδοστρωσίας, και σκληρών αδρανών για τη χρήση τους στην αντιολισθηρή ασφαλική στρώση κυκλοφορίας.
- Καταλληλότητα υλικών δανειοθαλάμων για επιχώματα, στρώσεις έδρασης οδοστρωμάτων, στρώσεις εξυγίανσης και θεμελίωσης έργων, στραγγιστικές στρώσεις κλπ.
- Υπόγεια Τεχνικά Έργα.

1.3 ΈΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

Έργο οδοποιίας, ορίζεται το σύνολο των εργασιών για την κατασκευή και την διαμόρφωση ενός τμήματος του εδάφους που θα εξυπηρετεί την μεταφορά ανθρώπων και αγαθών. Τα έργα οδοποιίας διακρίνονται στις παρακάτω βασικές

κατηγορίες : οδικά δίκτυα, υπόγεια δίκτυα (σήραγγες). Σκόπιμο κρίνεται, να εξετάσουμε ξεχωριστά κάθε έργο που αποτελεί δίοδο μεταφοράς

1.3.1 ΟΔΟΙ ΚΑΙ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

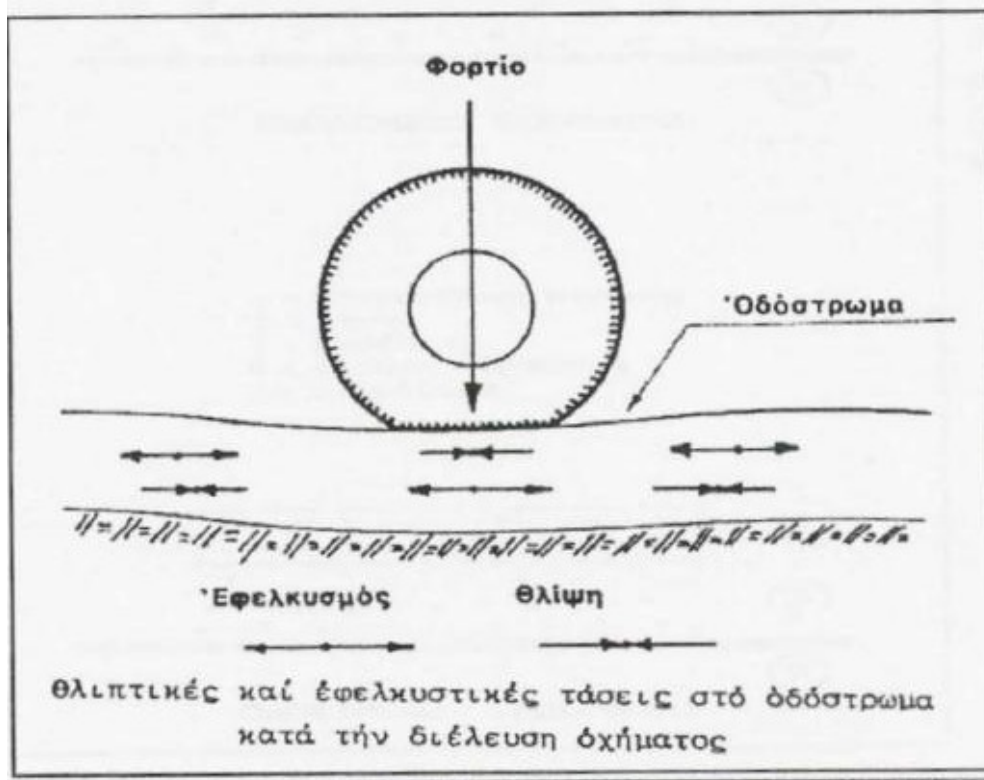
Το φυσικό έδαφος στη μορφή που βρίσκεται δεν είναι ικανό να φέρει τις προερχόμενες από την κυκλοφορία καταπονήσεις και δεν έχει την απαιτούμενη λεία επιφάνεια για την ομαλή κίνηση επ' αυτού των τροχών. Επιπλέον δεν αντέχει στις κλιματολογικές διακυμάνσεις, την υγρασία, την βροχή κλπ. όταν επάνω του κινούνται οχήματα. Ως λύση, για να παρακάμψουμε αυτά τα μειονεκτήματα, είναι το οδόστρωμα.

Οδόστρωμα ορίζεται το σύνολο των επαλλήλων στρώσεων που είναι τοποθετημένες πάνω από το φυσικό έδαφος για τη δημιουργία της οδού. Το οδόστρωμα είναι μια σύνθετη κατασκευή που έχει να επιτελέσει διάφορες λειτουργίες οι οποίες είναι ανόμοιες μεταξύ τους. Το γεγονός αυτό κάνει την κατασκευή αρκετά πολύπλοκη. Το οδόστρωμα είναι μία κατασκευή η οποία έχει σκοπό να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ποιότητα κύλισης των οχημάτων για όλο το χρονικό διάστημα λειτουργίας του. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να εξασφαλίζεται :

- Η μετάδοση στο έδαφος των φορτίων των κυκλοφορούντων οχημάτων ελαττωμένων σε τέτοιο βαθμό, που να αποτρέπονται ανεπίτρεπτες σε μέγεθος μόνιμες παραμορφώσεις.
- Η δομική επάρκεια του ίδιου του οδοστρώματος στις επαναλαμβανόμενες επιπονήσεις της κυκλοφορίας και του περιβάλλοντος δηλαδή αποφυγή ρηγματώσεων, παραμορφώσεων και αποφλοιώσεων.
- Η προστασία του εδάφους θεμελίωσης του οδοστρώματος από τις επιδράσεις του περιβάλλοντος (παγετός, νερό), οι οποίες θα προκαλέσουν απώλεια φέρουσας ικανότητας και μόνιμες παραμορφώσεις.
- Η διατήρηση ενός ελάχιστου επιτρεπόμενου επίπεδου αντιολισθητικών χαρακτηριστικών της στρώσεως κύλισης.

Είναι προφανές ότι, όσο αυξάνει η χρήση ενός δρόμου, τόσο μεγαλώνει και η φθορά του, αλλά παράλληλα αυξάνονται και οι απαιτήσεις που οι χρήστες έχουν από αυτόν. Έτσι από τους αρχαίους ακόμα χρόνους κατέστη αναγκαία κάποια μορφή προστασίας και ενίσχυσης της επιφάνειας κίνησης. Σήμερα είναι προφανές ότι, η επίστρωση των οδών με σύγχρονα οδοστρώματα είναι αναγκαία για να επιτευχθεί ένα αποδεκτό επίπεδο ασφαλούς, άνετης, οικονομικής και γρήγορης μετακίνησης των οχημάτων. Το οδόστρωμα έχει σαν κύριο λόγο να

διανέμει τις πιέσεις, ώστε, η καταπόνηση του εδάφους θεμελίωσης να μην υπερβαίνει τα όρια.



Σχήμα 1.1 Το φορτίο του οχήματος ασκεί τάσεις στο οδόςτρωμα.

1.3.2 ΣΗΡΑΓΓΕΣ

Η Ελλάδα μέχρι το 1999 είχε ελάχιστες οδικές σήραγγες, με πλέον γνωστή τη σήραγγα Αρτεμισίου (μονού κλάδου, αμφίδρομης κυκλοφορίας, μήκους ~1.360μ.). Σήμερα η κατάσταση αυτή έχει αλλάξει σημαντικά, η σύγχρονη ανάπτυξη των πόλεων και οι αυξημένες ανάγκες μετακίνησης με την ταυτόχρονη αυξημένη απαίτηση για άνεση και το μειωμένο χρόνο ταξιδιού, επιβάλλουν σε μεγάλο βαθμό την επέκταση των υφιστάμενων δικτύων υπόγειων συγκοινωνιών στις μεγάλες πόλεις όλου του κόσμου. Η αλλαγή αυτή είχε σαν αποτέλεσμα την υλοποίηση μεγάλων αναπτυξιακών έργων όπως, η Εγνατία Οδός (680 χλμ.), η Αττική Οδός (65 χλμ.) και ο ΠΑΘΕ (Οδικός άξονας Πατρών - Αθήνας - Θεσσαλονίκης - Ευζώνων) μήκους 780 χλμ. Ο αριθμός των εν λειτουργία οδικών σηράγγων όλων των τύπων (με διάτρηση, εκσκαφή και επανεπίχωση, υποθαλάσσιες, κλπ.), υπερβαίνει τις 50, με μήκη έως και 3,6 χλμ, ενώ υπολογίζεται ότι ο συνολικός αριθμός τους έως το 2010 είχε ξεπεράσει τις 100, με μήκη έως και 5 χλμ.

Σήραγγα καλείται ένα υπόγειο πέρασμα. Ωστόσο δεν υπάρχει ένας ορισμός γενικά αποδεκτός, παρ' όλα αυτά οι σήραγγες έχουν διπλάσιο μήκος από το πλάτος τους ενώ θα πρέπει να είναι πλήρως κλεισμένες, εκτός από τα ανοίγματά τους, σε κάθε πλευρά. Μερικοί σχεδιαστές ορίζουν ως σήραγγα ένα τεχνικό έργο μήκους 0.08 μιλίων (0.13 χιλιόμετρα) ή μεγαλύτερο, ενώ οτιδήποτε μικρότερου μήκους θεωρείται ως υπόγεια διάβαση.

Στον Ελληνικό χώρο η εξόρυξη μιας σήραγγας δεν αποτελεί απλό εγχείρημα δεδομένης της πολύπλοκης γεωλογικής και τεκτονικής δομής του, συχνά όλοι όσοι ασχολούνται με αυτού του είδους τα έργα υποδομής καλούνται να αντιμετωπίσουν προβλήματα όπως η αντιμετώπιση ασταθών τασικών πεδίων και μεγάλων συγκλίσεων ιδιαίτερα σε τεκτονικώς διαταραχθείσες περιοχές, κακής ποιότητας εδαφών σε ορισμένες ζώνες, πράγμα που έχει αποδειχθεί από την εμπειρία που αποκτήθηκε κατά την κατασκευή σηράγγων.

Είναι απαραίτητο πριν την κατασκευή μίας σήραγγας να προηγείται μία εμπειριστατωμένη γεωλογική, γεωφυσική και γεωτεχνική μελέτη συμπεριλαμβανομένων και γεωτρήσεων, έτσι ώστε να καθίσταται ικανός ο μελετητής προκειμένου να προκαθορίσει την ποιότητα και την κατάσταση του εδάφους και να διαπιστώσει τυχόν ύπαρξη μεταπτώσεων, ζωνών διατμήσεως, ενδεχόμενη εισροή υδάτων, εκρηκτικών αερίων κλπ. Στα αρχικά στάδια, ο οριζόντιος και ο κάθετος προσανατολισμός της σήραγγας θα βελτιστοποιηθεί βάση της γεωτεχνικής μελέτης ώστε να αποφευχθεί το ασταθές ή πολύ σκληρό έδαφος. Η ανάλυση αυτής της μελέτης θα οδηγήσει σε καλύτερη επιλογή των μηχανημάτων και των μεθόδων διάνοιξης.

Μία σήραγγα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποικίλους σκοπούς, αναλυτικότερα να εξυπηρετεί πεζούς ή ποδηλάτες, για οδική κυκλοφορία γενικά, για την μεταφορά υδάτων για υδρευτικούς, αρδευτικούς ή υδροηλεκτρικούς σκοπούς. Άλλες σήραγγες χρησιμοποιούνται για την αποχέτευση ομβρίων υδάτων ή λυμάτων, καθώς και για την εγκατάσταση καλωδίων επικοινωνίας, επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεταλλευτικούς σκοπούς.

Υπάρχουν τρεις τύποι σηράγγων :

- Μεταλλικές σήραγγες, Χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη μεταλλευμάτων, μετάλλων, διαμαντιών κλπ..
- Σήραγγες κοινής ωφέλειας, Χρησιμοποιούνται για άρδευση, ύδρευση, μεταφορά φυσικού αερίου και εγκατάσταση καλωδίων επικοινωνίας
- Συγκοινωνιακές σήραγγες, Περιλαμβάνουν οδικές, σιδηροδρομικές, καθώς και σήραγγες για πεζούς και ποδηλάτες.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, στην συνέχεια θα αναφερθούμε εκτενέστερα στις συγκοινωνιακές σήραγγες, κυρίως στις οδικές.



Εικόνα 1.1 Σήραγγα οδοποιίας



Εικόνα 1.2 Διάβαση πεζών

Έχοντας λοιπόν παραθέσει τους ορισμούς των έργων οδοποιίας καθώς και τους λόγους ύπαρξής τους, διαπιστώνεται η σπουδαιότητα των γεωτεχνικών εργασιών οι οποίες εξασφαλίζουν την άρτια κατασκευή των τεχνικών έργων και την ομαλή λειτουργία τους. Ωστόσο πριν από κάθε εργασία, προηγείται μια μελέτη που θα πρέπει να είναι πλήρης έτσι ώστε να παρέχονται οι δυνατότητες σωστής επιλογής τοποθεσίας έργου, τεχνικού και ανθρώπινου δυναμικού, την εξασφάλιση σωστής και πλήρους κατασκευής όποιου έργου μέσα στα προβλεπόμενα χρονικά και οικονομικά περιθώρια. Οι γεωτεχνικές μελέτες αποτελούν τις υποστηρικτικές μελέτες υποδομής που είναι απαραίτητες για την εκπόνηση των μελετών έργων οδοποιίας. Κάθε μελέτη για να είναι ουσιαστικά χρήσιμη και κοινά αποδεκτή, βασίζεται σε ορισμένες αρχές – παραμέτρους όπου τη διέπουν από την αρχή έως το τέλος της. Οι βασικές αρχές για την αρτιότητα της κατασκευής είναι:

- Ο δρόμος να κατασκευάζεται για μία ελάχιστη διάρκεια ζωής 50 χρόνων, κατά την οποία τα έξοδα επιδιόρθωσης και ανακατασκευής του θα πρέπει να είναι ασήμαντα. Σ' αυτό θα συμβάλλουν η επάρκεια των γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών πριν από την κατασκευή του, αλλά και η συνεχής παρακολούθηση της συμπεριφοράς του που θα επιβεβαιώσει την επάρκεια της μελέτης και την ανάγκη λήψης πρόσθετων μέτρων απέναντι σε λειτουργικά προβλήματα.
- Να προσδιορισθούν όλες οι ενεργές τάσεις που μπορούν να προκαλέσουν αστοχίες στο οδόστρωμα και τα τεχνητά πρανή.
- Να γίνουν όλες εκείνες οι εργαστηριακές δοκιμές που είναι απαραίτητες για να προσδιορισθούν οι παράμετροι που επηρεάζουν τα αδρανή υλικά και τα υλικά των αναχωμάτων.
- Να αναλυθούν όλες οι πιθανές περιπτώσεις των μηχανισμών ολίσθησης, από τους οποίους θα εξασφαλισθεί η ασφάλεια των πρανών.
- Να συντάσσονται λεπτομερέστερες και ακριβέστερες μελέτες, όπου εντοπίζονται προβληματικές θέσεις.

1.4 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

Οι γεωτεχνικές μελέτες εκπονούνται σύμφωνα αλλά όχι περιοριστικά, με τους Κανονισμούς που αναφέρονται παρακάτω από τις αντίστοιχες παραπομπές που αυτοί υποδεικνύουν. Η χρήση άλλων εναλλακτικών κανονισμών επιτρέπεται κατόπιν τεκμηρίωσης της αντιστοιχίας τους με τους Κανονισμούς που αναφέρονται παρακάτω ενώ για ειδικές περιπτώσεις ή θέματα που δεν καλύπτονται από αυτούς ή εμφανίζονται ορισμένες παρεκκλίσεις θα πρέπει να γίνεται ειδική αναφορά σε πρόσθετα βιβλιογραφικά δεδομένα και πηγές που χρησιμοποιεί ο Μελετητής.

- DIN 1054 Υπέδαφος: Επιτρεπόμενη φόρτιση του υπεδάφους (θεμελίωσης).
- DIN 1055 Φορτίσεις εδαφών και φορτία εδαφικών ωθήσεων.
- DIN 4014 [Μέρος 1] - Έγχυτοι πάσσαλοι συμβατικού τύπου: Διαδικασία κατασκευής, μελέτη και επιτρεπόμενα φορτία.
- DIN 4014 [Πρόσθετες σελίδες του Μέρους 1] – Έγχυτοι πάσσαλοι συμβατικού τύπου: Διαδικασία κατασκευής, μελέτη και επιτρεπόμενα φορτία.- Σχόλια.
- DIN 4014 [Μέρος 2] - Έγχυτοι πάσσαλοι μεγάλης διαμέτρου: Διαδικασία κατασκευής, μελέτη και επιτρεπόμενα φορτία.
- DIN 4015 Εδαφομηχανική και μηχανική θεμελιώσεων.
- DIN 4017 Ανάλυση Υπεδάφους – Υπολογισμός φέρουσας ικανότητας θεμελίωσης.
[Μέρος 1] – Κατακόρυφη κεντρική φόρτιση.
[Μέρος 2] – Έκκεντρη και λοξή φόρτιση.
- DIN 4018 Υπέδαφος – Κατανομή των τάσεων επαφής κάτω από τα πέδιλα θεμελίωσης με κεντρική φόρτιση, υπολογισμός.
- DIN 4019 Καθιζήσεις Υπεδάφους.
[Μέρος 1] – Υπολογισμός υποχωρήσεων σε κατακόρυφη κεντρική φόρτιση.
[Μέρος 2] – Υπολογισμός υποχωρήσεων στην περίπτωση λοξής και έκκεντρης φόρτισης-Οδηγίες.
- DIN 4026 Εμπηγνύομενοι πάσσαλοι – Διαδικασία κατασκευής, μελέτη και επιτρεπόμενα φορτία. [Πρόσθετες σελίδες του 4026] – Σχόλια.
- DIN 4030 Εκτίμηση των ιδιοτήτων του νερού του εδάφους και των αερίων από την πλευρά της δραστηρότητάς τους επί του σκυροδέματος.

- DIN 4084 [Μέρος 1] Υπέδαφος: Διερεύνηση ευστάθειας για κατασκευές αντιστηρίξεων αποφυγή θραύσης της βάσης.

1.5 ΣΤΑΔΙΑ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΜΕΛΕΤΩΝ

Η μελέτη γεωτεχνικών έργων συντάσσεται γενικώς στα εξής δύο στάδια σύμφωνα με την κοινή Υπουργική απόφαση ΔΜΕΟ/δ/ο/1759/12 – 11 – 98 (ΦΕΚ Β 1221/98):

- Προμελέτη
- Οριστική μελέτη

Μετά από εντολή της Υπηρεσίας μπορεί να συνταχθεί απ' ευθείας οριστική μελέτη.

Στάδιο προμελέτης. Κατά την προμελέτη διερευνώνται οι εφικτοί τρόποι επίτευξης των στόχων της μελέτης, διαστασιοποιούνται τα έργα σε γενικές γραμμές, περιγράφονται τα στάδια εργασιών και προϋπολογίζεται η δαπάνη σε πρώτη προσέγγιση.

Στάδιο οριστικής μελέτης. Κατά την οριστική μελέτη περιγράφονται λεπτομερώς τα έργα μετά κατασκευαστικών σχεδίων λεπτομερειών, δίνεται προδιαγραφή υλικών και μεθόδων εργασίας.

1.5.1 ΠΡΟΜΕΛΕΤΗ

Η προμελέτη πρέπει να περιλαμβάνει τα παρακάτω τεύχη και σχέδια:

Τεύχος Τεχνικής Έκθεσης που περιέχει:

- Δεδομένα, ιστορικό έργου, εντολές εργοδότη, ονόματα αυτών που συνέταξαν τη μελέτη και αυτών που την έλεγξαν.
- Σύνταξη υπολογιστικής εδαφικής τομής με τις χαρακτηριστικές παραμέτρους μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφικών υλικών.

- Επισήμανση των κυρίων – κρίσιμων συνθηκών που πρέπει να τηρηθούν (ανεκτές παραμορφώσεις, επιτρεπτές επιπτώσεις στον περιβάλλοντα χώρο κλπ.).
- Διερεύνηση και περιγραφή πρόσφορων κατασκευαστικών λύσεων με εκτίμηση φορτίων και κριτηρίων βάσει των οποίων θα προτείνεται η κατάλληλη λύση. Θα καταγράφονται όλες οι οδηγίες και περιορισμοί που έχουν δοθεί από τον κύριο του έργου για την κατασκευή των έργων.
- Συνοπτικούς υπολογισμούς που περιλαμβάνουν:

Τεύχος προμέτρησης των κατ' είδος εργασιών.

Σχέδια που περιλαμβάνουν:

- Οριζοντιογραφία υπό κλίμακα 1:500 στην οποία φαίνονται τα στοιχεία του εδάφους και των τυχόν υφισταμένων εγκαταστάσεων και λοιπών επιγείων ή υπογείων εμποδίων όπως προϋπάρχουν.
- Σχέδιο οριζοντιογραφίας υπό κλίμακα 1:500 στην οποία φαίνεται η διάταξη των έργων.
- Σχέδια διατομών υπό κατάλληλη κλίμακα (1:500 ή λεπτομερέστερη) σε χαρακτηριστικές θέσεις, όπου φαίνονται η αρχική επιφάνεια εδάφους, τα χαρακτηριστικά (στρωματογραφία και ιδιότητες) του εδάφους, οι άξονες και τα τελικά επίπεδα χωματουργικών διαμορφώσεων και τα τυχόν δομικά στοιχεία αντιστήριξης.
- Χαρακτηριστική διατομή σε κατάλληλη κλίμακα όπου φαίνονται ευκρινώς τα τυχόν δομικά στοιχεία με αναγραφή της σειράς και των σταδίων κατασκευής καθώς επίσης και την ποιότητα των υλικών.

1.5.2 ΟΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Η Οριστική μελέτη πρέπει να περιλαμβάνει τα παρακάτω τεύχη και σχέδια:

Τεύχος Τεχνικής Έκθεσης που περιλαμβάνει:

- Δεδομένα, ιστορικό έργου, εντολές εργοδότη, ονόματα αυτών που συνέταξαν τη μελέτη και αυτών που την έλεγξαν.
- Σύνταξη υπολογιστικής εδαφικής τομής με τις χαρακτηριστικές παραμέτρους μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφικών υλικών.

- Επισήμανση των κυρίων – κρίσιμων συνθηκών που πρέπει να τηρηθούν (ανεκτές παραμορφώσεις, επιτρεπτές επιπτώσεις στον περιβάλλοντα χώρο κλπ.).

και επιπλέον:

- Αναλυτική περιγραφή της λύσης και της διαδικασίας κατασκευής.
- Προβλέψεις τρόπου ελέγχου συμπεριφοράς της κατασκευής τόσο κατά την διάρκεια εκτέλεσης των έργων όσο και μετά.
- Εφαρμοστέοι κανονισμοί.
- Οδηγίες για μέτρα ασφαλείας κατά την διάρκεια των εργασιών.
- Παρατηρήσεις και οδηγίες για την αποφυγή ή τον περιορισμό ενόχλησης στο περιβάλλον από την κατασκευή του έργου.

Τεύχος αναλυτικών υπολογισμών:

Κατά στάδιο και στο τέλος της κατασκευής και διαστασιολόγησης όλων των στοιχείων του έργου με αναφορά επί των παραδοχών υπολογισμού και του τρόπου ανάλυσης. Επίσης θα αναφέρεται η χρησιμοποιούμενη βιβλιογραφία.

Τεχνικές προδιαγραφές μεθόδων και υλικών:

Εάν υπάρχουν πρότυπες προδιαγραφές θα γίνεται παραπομπή σε αυτές αλλιώς θα δίνεται ειδική προδιαγραφή για το συγκεκριμένο έργο. Ιδιαίτερος θα ορίζονται οι ποιότητες υλικών, ο τρόπος παρακολούθησης ποιότητας και οι διαδικασίες ελέγχου.

Σχέδια σε πρόσφορη κλίμακα:

Θα περιλαμβάνουν οριστικώς προσαρμοσμένα όλα τα υπό στοιχεία της προμελέτης και επί πλέον:

- Κατασκευαστικά σχέδια με λεπτομέρειες προς εφαρμογή όλων των ειδών.
- Σχέδια λεπτομερειών.
- Διαγράμματα κοπής και αναπτύγματα οπλισμού όλων των δομικών στοιχείων που προβλέπει η μελέτη.

Όπως προαναφερθήκαμε, η διάνοιξη μίας σήραγγας είναι μια ιδιαίτερη κατασκευή που συχνά απαιτεί επιπλέον μελέτες, ώστε να αποφευχθούν τυχόν αστοχίες και λάθος χειρισμοί. Για τον λόγο αυτό η εκπόνηση μελέτης σχετικά με σήραγγα ακολουθείται από διαφορετικό θεσμικό πλαίσιο, όπως παρουσιάζεται στην συνέχεια.

Η μελέτη σηράγγων συντάσσεται στα εξής δύο στάδια σύμφωνα με την ΟΜΟΕ “ τεύχος 8:Οδικές σήραγγες Έργα Πολιτικού Μηχανικού ” (αριθ. Απόφασης έγκρισης ΔΜΕΟ/γ/ο/285/19-2-2003 του Υφυπουργού ΠΕΧΩΔΕ):

- Προκαταρκτική μελέτη.
- Οριστική μελέτη.

Προκαταρκτική μελέτη : Γεωτεχνικές έρευνες στα τεχνικά της οδού εφ’ όσον απαιτούνται λαμβανομένου υπόψη του εκτελεσθέντος μέχρι τη φάση αυτή προγράμματος γεωτεχνικών ερευνών. Έκθεση αξιολόγησης γεωτεχνικών ερευνών.

Γεωτεχνικές μελέτες τεχνικών (πρόταση θεμελίωσης, ευστάθεια πρανών προσωρινών εκσκαφών κλπ) .

Οριστική μελέτη : Αν και εφόσον απαιτηθεί συμπληρωματικές γεωτεχνικές έρευνες και συμπλήρωση της γεωτεχνικής μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι γεωτεχνικές έρευνες δίνουν γενικές κατευθύνσεις ως προς τις «βασικές» εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές που πρέπει να περιλαμβάνονται σε κάθε γεωτεχνική μελέτη ανάλογα με την φύση της κατασκευής. Είναι ευνόητο ότι σε περίπτωση που παραστεί ανάγκη περισσότερων ή/και πιο εξειδικευμένων δοκιμών αυτές πραγματοποιούνται κατά περίπτωση. Η γεωτεχνική έρευνα αποσκοπεί στη διερεύνηση των γεωλογικών, γεωμορφολογικών και γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του έργου. Η γνώση της γεωλογικής σύστασης και δομής των σχηματισμών, η εκτίμηση της μηχανικής συμπεριφοράς τους και ο εντοπισμός των προβλημάτων που πιθανόν να προκύψουν, βοηθούν αποτελεσματικά στην καλύτερη επιλογή που θα εξυπηρετεί απαιτήσεις τεχνικοοικονομικές και ασφαλείας. Οι ποσότητες και το είδος των ερευνών εξαρτώνται από την ποιότητα και το είδος του εδάφους, από την έκταση των χωματουργικών εργασιών, από το μέγεθος και τη σπουδαιότητα των έργων.

Τα αποτελέσματα των ερευνών παρουσιάζονται σε ειδικό τεύχος (Έκθεση Αποτελεσμάτων) σε πλήρη και αναλυτική μορφή, που επιτρέπει την αξιολόγησή τους και παρέχει όλες τις παραμέτρους που είναι απαραίτητες για τους γεωτεχνικούς υπολογισμούς, ανάλογα με το είδος του εδάφους και τον χαρακτήρα του έργου.

2.2 ΕΚΘΕΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

Η έκθεση του προγράμματος των γεωτεχνικών ερευνών περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

Περιγραφή των διαθέσιμων αποτελεσμάτων ερευνών στην εξεταζόμενη περιοχή.

Λεπτομερή περιγραφή και αιτιολόγηση των προτεινόμενων ερευνών ανά είδος έργου.

Αναλυτικότερα καλύπτει τα ακόλουθα:

- Αναγκαιότητα διάνοιξης οδών προσπέλασης.
- Θέσεις, είδος, διάμετρος και βάθη ερευνητικών διανοίξεων.
- Απαιτήσεις δειγματοληψίας.
- Απαιτήσεις εγκατάστασης οργάνων και πρόγραμμα παρακολούθησης αυτών.
- Επί τόπου δοκιμές (θέσεις, είδος, πυκνότητα εκτέλεσης δοκιμών κτλ.).
- Ενδεικτικό πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών.
- Προδιαγραφές εκτέλεσης των προτεινόμενων ερευνών.
- Οριζοντιογραφία με τις θέσεις όλων των υφισταμένων και προτεινόμενων σημείων έρευνας καθώς και το είδος αυτών.
- Προμέτρηση, Προϋπολογισμό και Χρονοδιάγραμμα των ερευνών.

Κατά τη διερεύνηση γεωτεχνικών θεμάτων μεγάλης σημασίας ή μεγάλης έκτασης, οι γεωτεχνικές έρευνες εκτελούνται συνήθως σε τρεις φάσεις: κατά την αναγνώριση, την προκαταρκτική έρευνα και τη λεπτομερή έρευνα. Οι φάσεις αυτές συνήθως συναρτώνται με τα αντίστοιχα στάδια εκπόνησης των μελετών (προκαταρκτική μελέτη, προμελέτη και οριστική μελέτη).

Η φάση της γεωτεχνικής αναγνώρισης συνήθως περιλαμβάνει τη συγκέντρωση και αξιολόγηση των διαθέσιμων τοπογραφικών δεδομένων, γεωλογικών στοιχείων, αεροφωτογραφιών, στοιχείων από προηγούμενες γεωτεχνικές έρευνες στην ευρύτερη περιοχή και επιτόπου επισκέψεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις κατά τη φάση της αναγνώρισης εκτελούνται και γεωφυσικές διασκοπήσεις. Σκοπός των γεωτεχνικών ερευνών κατά τη φάση της αναγνώρισης είναι:

- Ο εντοπισμός πιθανών προβλημάτων που θα πρέπει να διερευνηθούν κατά τις επόμενες φάσεις των ερευνών.
- Η σύνταξη του προγράμματος των γεωτεχνικών ερευνών της επόμενης φάσης (συνήθως προκαταρκτική έρευνα).

Η έκταση της προκαταρκτικής γεωτεχνικής έρευνας εξαρτάται από το είδος του έργου και τα αποτελέσματα της αναγνώρισης. Η προκαταρκτική έρευνα συνήθως περιλαμβάνει τη διάνοιξη ερευνητικών φρεάτων, την εκτέλεση περιορισμένου αριθμού γεωτρήσεων και την εκτέλεση κάποιων εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής ή/και βραχομηχανικής. Σε ορισμένες περιπτώσεις κατά την προκαταρκτική έρευνα εκτελούνται και γεωφυσικές διασκοπήσεις.

Σκοπός της προκαταρκτικής έρευνας είναι η διαπίστωση της εδαφικής στρωματογραφίας (είδος και πάχος των εδαφικών στρώσεων), των υδραυλικών συνθηκών (στάθμες του υπογείου ορίζοντα) και των φυσικών, μηχανικών και υδραυλικών ιδιοτήτων των εδαφικών στρώσεων σε βαθμό λεπτομέρειας ανάλογο της σημασίας και της έκτασης του έργου.

Οι γεωτεχνικές έρευνες διακρίνονται σε επιτόπου έρευνες που εκτελούνται στο ύπαιθρο και σε εργαστηριακές δοκιμές που εκτελούνται στο εργαστήριο σε εδαφικά δείγματα που λαμβάνονται κατά τις επιτόπου έρευνες. Το είδος και η έκταση των εργαστηριακών και επιτόπου δοκιμών, δίνεται με ειδικά αιτιολογημένο πρόγραμμα και εξαρτάται από τη φύση των απαντωμένων γεωλογικών σχηματισμών

2.3 ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.3.1 ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι γεωτρήσεις γίνονται για τη διερεύνηση και τον χαρακτηρισμό των βασικών γεωλογικών ενοτήτων που καθορίζονται κατά τη γεωλογική μελέτη ενός έργου. Οι γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση του υπεδάφους σε βάθη μεγαλύτερα από τα βάθη που διερευνώνται με ερευνητικά φρέατα.

Οι γεωτρήσεις γενικά γίνονται για τους ακόλουθους σκοπούς :

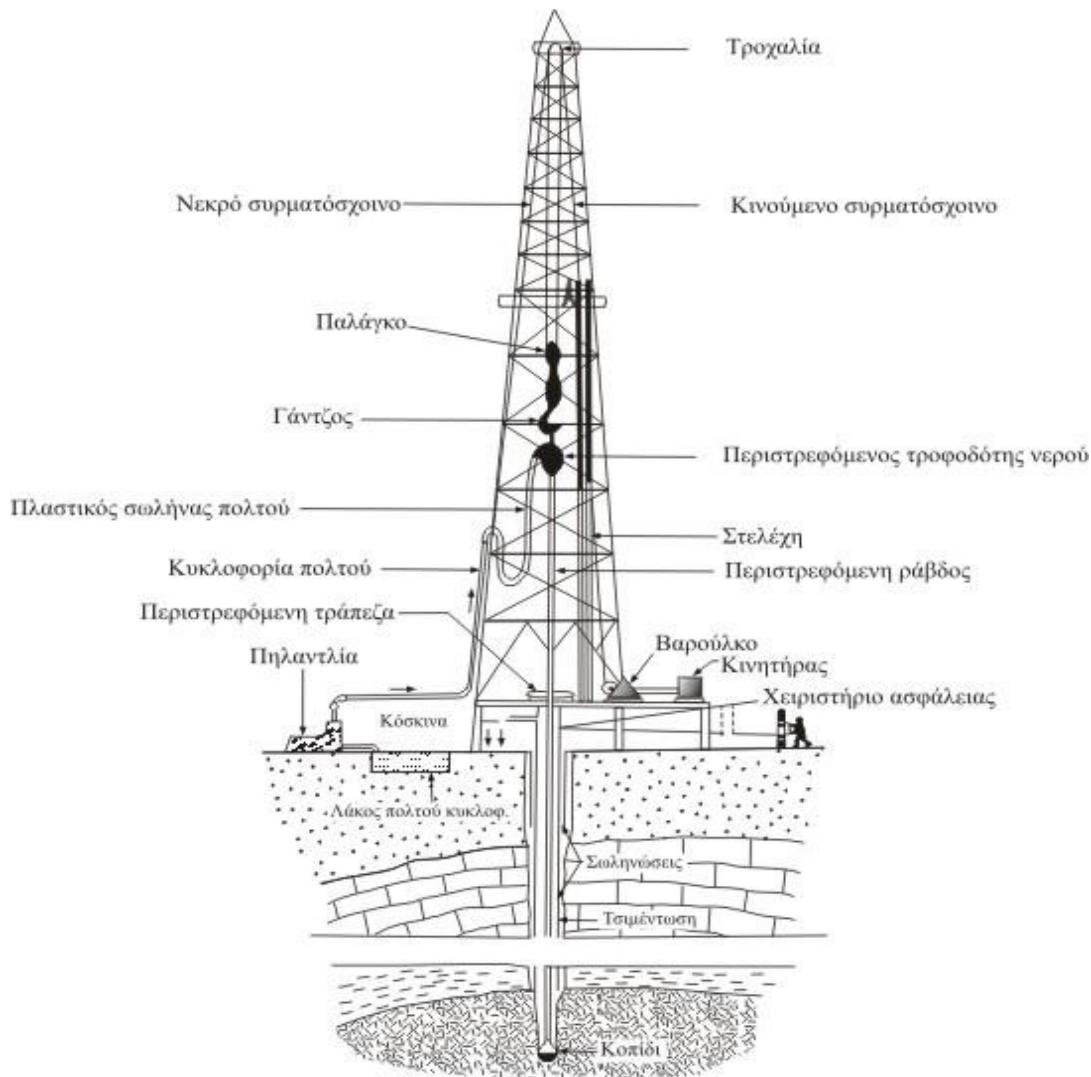
- Προσδιορισμό ειδικής στρωματογραφίας και δομής των γεωλογικών ενοτήτων.
- Λήψη δειγμάτων για τον προσδιορισμό μηχανικών ιδιοτήτων.
- Λήψη δειγμάτων για δοκιμές κατάταξης.
- Λήψη στοιχείων για τα υπόγεια νερά.
- Εκτέλεση επί τόπου δοκιμών.
- Εγκατάσταση οργάνων.
- Διερεύνηση δεδομένων θεμελίωσης σε υπάρχουσες κατασκευές (π.χ. σταθμών θεμελίωσης).

2.3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Για τη διάνοιξη των γεωτρήσεων χρησιμοποιούνται οι εξής μέθοδοι:

- Η ελικοειδής διάτρηση (hollow-stem continuous flight auger). Η μέθοδος συνίσταται στην προώθηση μέσω περιστροφής ενός κοίλου σωλήνα με ελικοειδές σπείρωμα στην εξωτερική πλευρά. Διαταραγμένα εδαφικά δείγματα λαμβάνονται από το υλικό που εισέρχεται στο εσωτερικό του σωλήνα αλλά και το υλικό που συγκρατείται στις σπείρες του τοιχώματος.
- Η υδραυλική διάτρηση (wash-type boring), κατά την οποία η προώθηση της γεώτρησης γίνεται μέσω ενός μεταλλικού στελέχους με την εισπίεση νερού που παρασύρει τα εδαφικά τεμάχια προς την επιφάνεια. Η μέθοδος είναι ταχεία και έχει μικρό κόστος. Το κύριο μειονέκτημά της είναι η αδυναμία λήψεως αντιπροσωπευτικών εδαφικών δειγμάτων. Κυρίως χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που απλώς ζητείται να εντοπισθεί η θέση του βραχώδους υποβάθρου που υπόκειται χαλαρών εδαφικών σχηματισμών.
- Η κρουστική διάτρηση (percussion drilling, shell and auger, cable tool, churn drilling), κατά την οποία η προώθηση της γεώτρησης γίνεται με θρυμματισμό των πετρωμάτων στον πυθμένα της οπής μέσω κρούσης. Η έξοδος των εδαφικών τεμαχίων από την οπή γίνεται συνήθως με την κυκλοφορία νερού που παρασύρει τα εδαφικά θραύσματα. Κατά τη μέθοδο αυτή λαμβάνονται μόνον διαταραγμένα εδαφικά δείγματα. Η μέθοδος αυτή, δίνει την δυνατότητα ακρίβειας κατά την δειγματοληψία, για την εκτέλεσή της απαιτείται χαμηλό κόστος, αλλά έχει τα μειονεκτήματα του περιορισμένου βάθους ανόρυξης (μέχρι 100 m), της ανάγκης συνεχούς σωλήνωσης και τέλος του αργού ρυθμού διάνοιξης.
- Η περιστροφική διάτρηση (rotary drilling) κατά την οποία η προχώρηση της οπής γίνεται με την περιστροφή της γεωτρητικής στήλης η οποία στο άκρο της φέρει ειδική κοπτική κεφαλή. Η κοπτική κεφαλή μπορεί να είναι συμπαγής (π.χ. “τρίφτερο”) ή κοίλη (κορώνα). Η ψύξη της κοπτικής κεφαλής γίνεται με νερό το οποίο κατά την κυκλοφορία του παρασύρει τα εδαφικά θραύσματα. Στην περίπτωση της χρήσης κοίλης κοπτικής κεφαλής, συνήθως η διάτρηση συνδυάζεται με ταυτόχρονη δειγματοληψία με την τοποθέτηση κατάλληλου δειγματολήπτη μεταξύ της κοπτικής κεφαλής και της διατρητικής στήλης. Πλεονέκτημα της περιστροφικής διάτρησης είναι, το μεγάλο βάθος διάτρησης με γρήγορους ρυθμούς. Από την άλλη μεριά όμως είναι μια μέθοδος με υψηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης του εξοπλισμού. Η περιστροφική διάτρηση είναι η συνηθέστερη μέθοδος εκτέλεσης γεωτρήσεων στην Ελλάδα.

Οι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις εκτελούνται με περιστροφικό γεωτρήσιμο και συνεχή δειγματοληψία. Όταν χρησιμοποιείται νερό διάτρησης αυτό πρέπει να είναι καθαρό χωρίς πρόσμιξη μπετονίτη ή άλλων ουσιών που μπορεί να μεταβάλλουν τη φύση ή την αντοχή των δειγμάτων. Το νερό δεν πρέπει να κυκλοφορεί μεταξύ των τοιχωμάτων του δειγματολήπτη και του δείγματος αλλά να εκβάλλει από κατάλληλες τρύπες στην άκρη του κοπτικού.



Σχήμα 2.1 Περιστροφικό γεωτρήσιμο

2.3.1.2 ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ

Τα τελευταία χρόνια με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν προταθεί νέες μέθοδοι διάτρησης, αν και δεν έχουν εφαρμοστεί ακόμα σε μεγάλη κλίμακα και έχουν ακόμα ερευνητικό χαρακτήρα. Στην συνέχεια αναφέρουμε τέτοιες μεθόδους.

Τήξη: αναπτύσσονται με διάφορους τρόπους (ηλεκτρικά, ακτίνες laser, κλπ.) υψηλές θερμοκρασίες που λιώνουν τα πετρώματα. Η διάτρηση γίνεται περιστροφικά και χρησιμοποιείται ειδικός πολτός για την ψύξη του κοπιδιού, επίσης τα κράματα που χρησιμοποιούνται για το κοπίδι είναι κατάλληλα για την αντοχή τους σε υψηλές θερμοκρασίες.

Διάτρηση με χημικά μέσα: χρησιμοποιούνται πολύ δραστικές χημικές ουσίες, οι οποίες εκτοξεύονται με μεγάλη ταχύτητα στον πυθμένα και διαλύουν τα πετρώματα.

Στροβιλοδιάτρηση (turbodrill): χρησιμοποιείται στρόβιλος που βρίσκεται στο κάτω άκρο της διατρητικής στήλης και δίνει κίνηση στο κοπίδι. Με την μέθοδο αυτή αναπτύσσονται δεκαπλάσιες ταχύτητες διάτρησης σε σύγκριση με τις περιστροφικές μεθόδους.

Ηλεκτροδιάλυση (electrodrill): με την μέθοδο αυτή δίνεται κίνηση στο κοπίδι, χωρίς την ανάγκη περιστροφής των στελεχών, σε ορισμένες περιπτώσεις δεν χρησιμοποιούνται καθόλου στελέχη.

Εφαρμογή μηχανικές τάσεων: πραγματοποιείται εκτόξευση ατσάλινων σφαιριδίων στον πυθμένα της γεώτρησης μαζί με τον πολτό διάτρησης. Με τον τρόπο αυτό τα πετρώματα θρυμματίζονται, τα τρίμματα με την βοήθεια του πολτού ανέρχονται στην επιφάνεια.

2.3.1.3 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ

Στους γαιώδεις σχηματισμούς η συνεχής δειγματοληψία διακόπτεται μόνο για τη λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων και την εκτέλεση δοκιμών SPT. Αδιατάρακτα δείγματα παίρνονται σε όλα τα μαλακά συνεκτικά στρώματα (με ενδεικτικό αριθμό κρούσεων NSPT £ 16) με χρήση δειγματολήπτου λεπτού τοιχώματος τύπου Shelby ή εμβολοφόρων (piston sampler) που λαμβάνονται με απλή πίεση. Σε σκληρότερα εδάφη μπορεί να χρησιμοποιηθεί δειγματολήπτης τύπου Denisson, φραγμός ή άλλες μέθοδοι. Σε χαλαρά αμμώδη εδάφη, όταν το

αδιατάρακτο δείγμα δεν συγκρατείται στους δειγματολήπτες αυτούς, χρησιμοποιούνται δειγματολήπτες κατάλληλου τύπου (με ελατήριο, με καλαθάκι, με κλαπέτο, τριπλή καροταρία τύπου Mazier κλπ.) ή άλλες μέθοδοι (π.χ. φραγμός με διακοπή της κυκλοφορίας του νερού κλπ.). Το ποσοστό δειγματοληψίας δεν πρέπει να είναι κατώτερο του 90% του μήκους διατήσεως με εξαίρεση στρώσεις καθαρής άμμου ή αμμοχάλικου ή χαλικιών ή κροκάλων κλπ. όπου η δειγματοληψία είναι δύσκολη και το ποσοστό της μπορεί να περιοριστεί μέχρι 70%. Στην περίπτωση αυτή συνιστάται η χρήση διαιρετού διπλού δειγματολήπτη.

Στους βραχώδεις σχηματισμούς η ποιότητα της δειγματοληψίας εξασφαλίζεται με τη χρήση αδαμάντινης στεφάνης. Το ποσοστό της δειγματοληψίας δεν μπορεί να είναι κατώτερο του 95%, με εξαίρεση τους κερματισμένους σκληρούς βράχους, όπου το ποσοστό αυτό μπορεί να περιοριστεί μέχρι 70%. Στους σχηματισμούς αυτούς θα προσδιορίζεται το ποσοστό πυρηνοληψίας επί του μήκους διατήσεως, ο δείκτης ποιότητας βράχου R.Q.D (Rock Quality Designation), ο αριθμός των διακλάσεων ανά μέτρο, η κλίση των διακλάσεων ή των επιφανειών διάστροφης και ο βαθμός κερματισμού και αποσάθρωσης με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η κατάταξη του υλικού σε κάποιο δόκιμο σύστημα ταξινόμησης της βραχώμαζας. Σε βραχώδεις σχηματισμούς και σε σκληρά εδάφη για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απόδοση κατά τη λήψη του δείγματος, θα χρησιμοποιηθούν γενικά πυρηνολήπτες διπλών ή τριπλών τοιχωμάτων (double ή triple tube core barrels). Σε ασταθή βραχώμαζα, σε ασθενείς βράχους ή σε εναλλαγές σκληρών και μαλακών στρώσεων, μπορεί να κριθεί απαραίτητη η χρησιμοποίηση διαιρετού δειγματολήπτη (split barrel) και ειδικής αδαμαντοκορώνας βραδείας προχώρησης βαθμιδωτού τύπου (stepped corebits) που εξασφαλίζει συνεχή αδιατάρακτη δειγματοληψία με ποσοστό πυρηνοληψίας που υπερβαίνει το 95%.

Η ελάχιστη διάμετρος δείγματος είναι 62mm.

Όλα τα δείγματα κάθε γεώτρησης μετά τη λήψη τους, τοποθετούνται κατά σειρά λήψης μέσα σε κατάλληλα κιβώτια, κατά τρόπο που να εξασφαλίζεται η αδιατάρακτη μεταφορά τους. Διαταραγμένα δείγματα που λαμβάνονται από τα χαλαρά στρώματα κοντά στην επιφάνεια, πριν ακόμα τοποθετηθούν μέσα σε κιβώτια, τοποθετούνται σε πλαστικά σακουλάκια με κατάλληλη σήμανση. Μεταξύ των καρότων (πυρηνοληψιών) παρεμβάλλεται ξύλινος τάκος πάνω στον οποίο γράφεται καθαρά το βάθος. Σε κάθε κιβώτιο αναγράφεται ο τίτλος του έργου, η γεώτρηση, η αρχή και το τέλος των περιεχομένων των καρότων, ο αύξοντας αριθμός του κιβωτίου και ο συνολικός αριθμός των κιβωτίων της αντίστοιχης γεώτρησης. Τα αδιατάρακτα δείγματα θα πρέπει να

παραφινώνονται ή να προστατεύονται κατάλληλα, ώστε να μην υπάρχει η δυνατότητα μεταβολής της φυσικής τους υγρασίας, επίσης πρέπει να συσκευάζονται προσεκτικά, χωρίς απότομες κινήσεις και να μεταφέρονται με προσωπικό που έχει γνώση για την ευαισθησία των υλικών που μεταφέρονται.

Φωτογράφιση των δειγμάτων. Τα δείγματα φωτογραφίζονται πριν από την αφαίρεση των δοκιμίων που προορίζονται για τις εργαστηριακές δοκιμές, με τέτοιο τρόπο ώστε να διακρίνονται ευκρινώς τα εδαφικά είδη, όσο και τα στοιχεία του έργου (γεώτρηση, αριθμός κιβωτίου, βάθος κλπ.). Ανάλογες φωτογραφίες θα παίρνονται και από τα δείγματα φρεάτων και ορυγμάτων, όταν δεν καλύπτονται από τη φωτογράφιση της τομής.



Εικόνα 2.1 Πυρηνοληγία με βραχώδες δείγμα

Φύλαξη των δειγμάτων. Μέχρι την έναρξη των εργαστηριακών δοκιμών, τα δείγματα πρέπει να φυλάσσονται σε χώρους αποθήκευσης χωρίς υπερβολική υγρασία ή μεγάλη θερμοκρασία και οπωσδήποτε όχι στο ύπαιθρο, ενώ τα αδιατάρακτα δείγματα, εφόσον προβλέπεται μεγάλος χρόνος αποθήκευσης, να φυλάσσονται σε θάλαμο με κατάλληλες συνθήκες.

Μετά το τέλος της γεωτεχνικής έρευνας τα δείγματα επιστρέφονται στον κύριο του έργου, ο οποίος κρίνει για το χρόνο και τον τόπο διατήρησής τους. Η διατήρηση των δειγμάτων είναι χρήσιμη για τυχόν συμπληρωματικές εργαστηριακές δοκιμές ή για επανέλεγχο ή ακόμη σε μεταγενέστερο χρόνο για άμεση εποπτεία της εδαφικής στήλης πέρα από τις περιγραφές.

2.4 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Αντικείμενο της γεωφυσικής είναι η συναγωγή συμπερασμάτων για την υπεδιαφική δομή της γης από παρατηρήσεις (μετρήσεις) που αποκτούμε με την εφαρμογή ειδικών τεχνικών μεθόδων που γίνονται στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να το καταστρέφουν. Για το λόγο αυτό όλες οι μέθοδοι της γεωφυσικής λέγονται "μη-καταστροφικές" και είναι συνεπώς φιλικές προς το περιβάλλον.

Η γεωφυσική ασχολείται με :

- Την διερεύνηση της βαθιάς δομής της γης.
- Την ανίχνευση και εκτίμηση οικονομικών πόρων.
- Την αξιολόγηση του εδάφους και την καταλληλότητά του να δεχθεί ορισμένες ανθρώπινες κατασκευές.

Σε κάθε περίπτωση, οι γεωφυσικές τεχνικές στοχεύουν στο να συμπληρώσουν τις απευθείας μεθόδους και δεν αντικαθιστούν τις απευθείας μεθόδους αξιολόγησης της τοποθεσίας όπως είναι οι γεωτρήσεις, η εκσκαφή, κλπ. Οι γεωφυσικές μέθοδοι μπορούν να θεωρηθούν ως μέσο με το οποίο παρεμβάλλουμε στοιχεία και εξάγουμε συμπεράσματα από τα δεδομένα των γεωτρήσεων .

Με τις γεωφυσικές μεθόδους μετρούμε φυσικά φαινόμενα όπως:

- Το πεδίο βαρύτητας της γης.
- Το μαγνητικό πεδίο της γης.
- Τα ελαστικά κύματα.
- Τον ηλεκτρισμό.
- Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Τα παραπάνω φυσικά φαινόμενα παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες ως προς τον καθορισμό των αντίστοιχων φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους:

- την πυκνότητα,
- την μαγνητική επιδεκτικότητα,
- την ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων,
- την ειδική ηλεκτρική αντίσταση,
- την αγωγιμότητα/ επαγωγή.

Άρα οι γεωφυσικές μέθοδοι μελετούν τις φυσικές ιδιότητες του υπεδάφους έμμεσα από τις μετρήσεις των φυσικών φαινομένων.

Οι γεωφυσικές τεχνικές διακρίνονται σε:

Παθητικές οι οποίες μελετούν φυσικά πεδία, τα οποία υπάρχουν στην γη, όπως είναι:

- Το πεδίο βαρύτητας της γης.
- Το μαγνητικό πεδίο της γης.
- Τα σεισμικά κύματα των σεισμών.

Ενεργητικές οι οποίες μελετούν τεχνητά πεδία, που εμείς δημιουργούμε στην επιφάνεια της γης, όπως είναι:

- Τα σεισμικά κύματα που παράγονται από εκρήξεις.
- Το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργούμε με εισαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στη γη.
- Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργούμε στην επιφάνεια της γης.

2.4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

- Αποδοτικές: Προβαίνουν στην αξιολόγηση μεγάλων εκτάσεων του υπεδάφους γρήγορα.
- Ευελιξία – Ικανότητα: Παρέχουν την δυνατότητα συνδυασμένης εφαρμογής διαφορετικών τεχνικών στην αντιμετώπιση σύνθετων προβλημάτων. Επειδή οι λύσεις που παρέχουν οι γεωφυσικές μέθοδοι δεν είναι κατά κανόνα μονοσήμαντες, η μελέτη περισσότερων της μίας φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους μειώνει σημαντικά την διφορούμενη ερμηνεία των αποτελεσμάτων.
- Οικονομικό όφελος: Η γεωφυσική δεν απαιτεί εκσκαφές ή άλλου είδους απευθείας πρόσβαση στο υπέδαφος. Αυτό σημαίνει ότι τεράστιοι όγκοι γης μπορούν να αξιολογηθούν με σημαντικά μικρότερο κόστος σε σύγκριση με το κόστος των εκσκαφών ή των γεωτρήσεων.
- Μη καταστρεπτικές για το έδαφος: Ιδανικές για χρήση σε κατοικημένες περιοχές, σε αρχαιολογικούς χώρους, μέσα σε γεωτρήσεις χωρίς να δημιουργήσουν ζημιές κατά την εφαρμογή τους.

2.4.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Οι γεωφυσικές μέθοδοι κατατάσσονται σύμφωνα με την κλίμακα έρευνας και το είδος του προβλήματος.

Αναλυτικότερα για την κατάταξη ανάλογα με την κλίμακα της έρευνας υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες:

Προβλήματα βαθιάς δομής (Βάθος και έκταση έρευνας μεγάλο έως σχετικά μεγάλο - Κλίμακα χιλιομέτρων).

Προβλήματα ενδιάμεσης δομής (Βάθος και έκταση έρευνας μεσαίο - Κλίμακα δεκάδες έως εκατοντάδες μέτρα). Όπου είναι εκείνα που σχετίζονται με την παρούσα πτυχιακή εργασία όπως παρουσιάζονται στην συνέχεια.

- Υδρογεωλογία.
- Τεχνικά έργα (υποδομή, φράγματα, δομικά υλικά κλπ.).
- Γεωλογική χαρτογράφηση.
- Πρόληψη – αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών (κατολισθήσεις, μικροζωνικές μελέτες).

Προβλήματα επιφανειακής δομής (Βάθος και έκταση έρευνας μικρό - Κλίμακα μέτρα έως δεκάδες μέτρα).

Η κατάταξη σύμφωνα με το είδος του προβλήματος περιλαμβάνει επίσης τρεις κατηγορίες:

Διερευνητική Γεωφυσική (Exploration Geophysics). (Γεωθερμική έρευνα, έρευνα υδρογονανθράκων).

Τεχνική Γεωφυσική (Engineering Geophysics) που εμπεριέχει όμοια προβλήματα με εκείνα της ενδιάμεσης δομής.

Περιβαλλοντική Γεωφυσική (Environmental Geophysics). (Αρχαιολογία, διαχείριση αστικού περιβάλλοντος).

2.4.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ανάλογα με τον τελικό στόχο κάθε έρευνας επιλέγονται ο τρόπος εκτέλεσης της γεωφυσικής έρευνας, οι μέθοδοι και ο εξοπλισμός, που θα χρησιμοποιηθεί με στόχο την ακριβή πιο γρήγορη και με το χαμηλότερο δυνατό κόστος εξαγωγή των αποτελεσμάτων-συμπερασμάτων. Στην συνέχεια αναφέρονται οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την διεξαγωγή μιας γεωφυσικής έρευνας.

- Βαρυτική Μέθοδος.

- Μαγνητική Μέθοδος.
- Ηλεκτρική Μέθοδος.
- Σεισμικές Μέθοδοι.
- Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος.
- Μέθοδος Φυσικού Δυναμικού.
- Μέθοδος Επαγόμενης Πόλωσης.
- Μέθοδος Γεωραντάρ.
- Ραδιομετρικές Μέθοδοι.

2.5 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ – ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

Από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα συστάθηκαν διάφοροι οργανισμοί με στόχο την διατύπωση κανονισμών συμφωνά με τους οποίους θα εκτελούνταν διάφορες εργασίες και θα παρέχονταν οι διάφορες υπηρεσίες. Η δημιουργία των κανονισμών έγινε αναγκαία, όταν άρχισε να πραγματοποιείται η ταχύτατη εξέλιξη σε τεχνολογικό εξοπλισμό καθώς και στην ανθρώπινη τεχνογνωσία, μιας και οι επιστήμονες σε όλο τον κόσμο εξειδικεύονταν ολοένα και περισσότερο την στιγμή που επιθυμούσαν ένα πρότυπο σύστημα ελέγχου και προδιαγραφών, κοινά αποδεκτό από όλους. Πιο συγκεκριμένα στον τομέα των γεωτεχνικών εργασιών, οι πλέον γνωστοί είναι A.S.T.M. Διεθνούς Αμερικανικής Εταιρείας Δομικών Υλικών (American Society for Testing and Materials), AASHTO Αμερικάνικη Ένωση Κρατικών Υπαλλήλων Εθνικών Οδών και Μεταφορών (American Association of State Highway and Transportation Officials).

Το Ελληνικό θεσμικό πλαίσιο – τεχνικές προδιαγραφές συμφωνά με το οποίο εκτελούνται οι γεωτεχνικές εργασίες, όπως έχει διατυπωθεί, από το υπουργείο υποδομών μεταφορών και δικτύων είναι το ακόλουθο:

- Τεχνικές προδιαγραφές δειγματοληπτικών γεωτρήσεων ξηράς για γεωτεχνικές έρευνες: Ε. 101-83, ΦΕΚ363/24-6-83, Τ.Β΄.
- Τεχνικές προδιαγραφές εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής : Ε. 105-86 και Ε. 106-86, ΦΕΚ: 955/31-12-86, τ. β΄.

- Τεχνικές προδιαγραφές δοκιμών βραχομηχανικής και εργαστηριακών δοκιμών βραχομηχανικής: Ε. 102-84 και Ε. 103-84, ΦΕΚ: 70/8-2-85, τ. Β΄. Η μεθοδολογία εκτέλεσης των εργαστηριακών δοκιμών στηρίχθηκε στους γνωστούς κανονισμούς και οδηγίες των Ελληνικών προδιαγραφών (Ε105-86).

2.6 ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ

Οι επί τόπου δοκιμές αποτελούν πολύ σημαντικά τμήματα μίας γεωτεχνικής μελέτης, καθώς τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών δεν είναι πάντα αξιόπιστα ενώ πιο εξελιγμένες δοκιμές απαιτούν χρόνο και κοστίζουν ακριβά. Όταν πρόκειται για πολύ μαλακές ή ευαίσθητες αργίλους, η διεξαγωγή επί τόπου δοκιμών είναι επιθυμητή έως και απαραίτητη για τον προσδιορισμό των παραμέτρων. Αυτό συμβαίνει σε αυτά τα εδάφη διότι είναι δύσκολο να πάρουμε αδιατάρακτα δείγματα καλής ποιότητας. Ακόμα κι αν χρησιμοποιηθεί κάποια εξελιγμένη μέθοδος, το κόστος είναι πολύ μεγαλύτερο και απαιτείται περισσότερος χρόνος διεξαγωγής της δειγματοληψίας.

2.6.1 ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (STANDARD PENETRATION TEST - SPT)

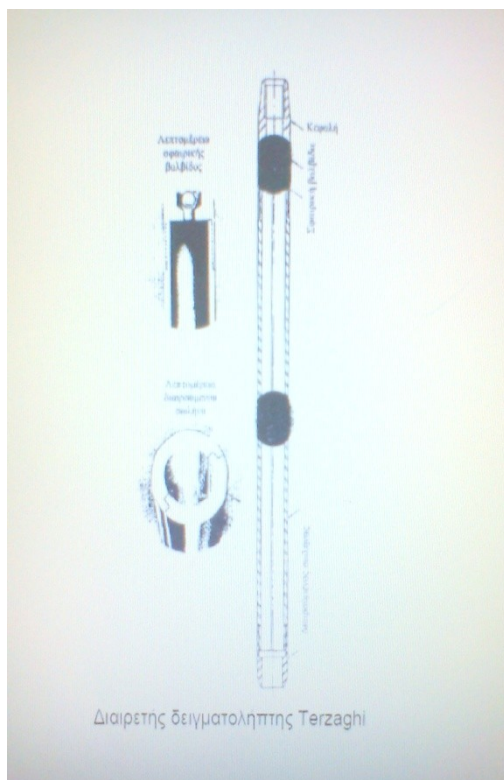
Η δοκιμή πρότυπης διείσδυσης είναι η πιο παλιά και η πλέον συνηθισμένη που χρησιμοποιείται για την διερεύνηση του υπεδάφους σε διάφορες γεωτεχνικές εφαρμογές και στο σχεδιασμό θεμελιώσεων. Είναι μία δοκιμή όπου απαιτεί απλό εξοπλισμό ενώ ταυτόχρονα είναι εύκολη η πραγματοποίησή της. Η δοκιμή μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορους εδαφικούς τύπους που κυμαίνονται από χαλαρές αργίλους και χαλαρές άμμους μέχρι πολύ στιφρές αργίλους και πυκνές άμμους.

Η δοκιμή εκτελείται κατά τη διάτρηση στον εκάστοτε πυθμένα της γεώτρησης και μετρά την αντίσταση σε διείσδυση διαιρούμενου κυλινδρικού δειγματολήπτη (Terzaghi) που ωθείται με κρούση από τον πυθμένα της γεώτρησης στο υπέδαφος. Πριν ξεκινήσει η δοκιμή ο πυθμένας της γεώτρησης πρέπει να καθαριστεί από τυχόν υπολείμματα της διάτρησης. Ο αριθμός N είναι ο αριθμός των κρούσεων που απαιτούνται για να επιτευχθεί η διείσδυση κατά

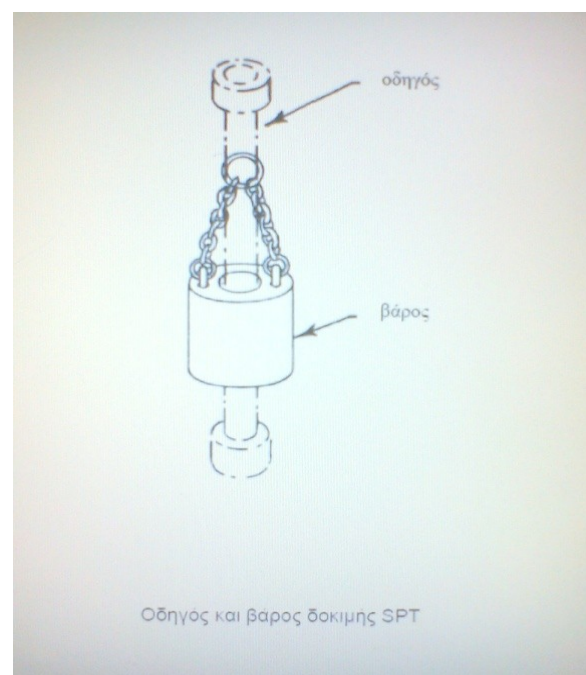
45 cm με την πτώση αντίβαρου 63,5 kg από ύψος 76,2 cm, σε τρία διαδοχικά βήματα των 15cm. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής λαμβάνεται και διαταραγμένο εδαφικό δείγμα στο εσωτερικό του διαιρετού δειγματολήπτη. Η δοκιμή χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτίμηση των επιτόπου ιδιοτήτων των εδαφών και ενδεικτικά για τον προσδιορισμό των ακόλουθων παραμέτρων:

- της σχετικής πυκνότητας του εδάφους,
- της αντίστασης των σχηματισμών του υπεδάφους σε διείδυση,
- των παραμέτρων διατμητικής αντοχής και εμμέσως συμπιεστότητας του εδάφους με τη χρήση εμπειρικών συσχετίσεων,
- στον καθορισμό της επιτρεπόμενης φέρουσας ικανότητας θεμελίων,
- στον υπολογισμό των καθιζήσεων των θεμελίων,
- στον προσδιορισμό της φέρουσας ικανότητας πασσάλων.

Η εκτέλεση της δοκιμής περιγράφεται στην προδιαγραφή ASTM D 1586.



Εικόνα 2.2 Διαίρετος δειγματολήπτης Terzaghi



Εικόνα 2.3 Οδηγός και βάρος δοκιμής SPT

Σε περίπτωση που ο αριθμός κρούσεων N υπερβεί τις 50 χωρίς να επιτευχθεί διείσδυση 15 cm, θεωρείται ότι υπάρχει άρνηση και η δοκιμή διακόπτεται αναγράφοντας τους 50 κτύπους και την αντίστοιχη διείσδυση.

Η δοκιμή διεισδυτικότητας γίνεται συνήθως σε στιφρούς αργιλικούς σχηματισμούς όπως και σε ημιβραχώδεις σχηματισμούς. Συγκεκριμένα εκτελούνται 60 κτύποι όταν ο δειγματολήπτης δεν έχει διεισδύσει τα πρώτα 15cm και μετριέται το μήκος διείσδυσης. Ως διεισδυτικότητα, που προτάθηκε από τους Κοτζίά -Σταματόπουλο ορίζεται το πηλίκο:

$$\frac{\text{Μήκος διείσδυσης (cm)} * 100}{60 \text{ κτύποι}}$$

Συνεπώς παρουσιάζεται ο ακόλουθος πίνακας:

Διεισδυτικότητα cm/60 κτύποι	Χαρακτηρισμός
0-1	Πολύ χαμηλή
2-4	Χαμηλή
5-8	Μέση
9-15	Υψηλή
16-30	Πολύ υψηλή

Πίνακας 2.1 Κατάταξη δειγμάτων βάσει διεισδυτικότητας

Τέλος, καθώς η δοκιμή δεν είναι εντελώς τυποποιημένη αλλά διαφέρει π.χ. από χώρα σε χώρα ανάλογα με τον εξοπλισμό, πολλοί μελετητές έχουν προτείνει την κανονικοποίηση των τιμών N που μετρώνται κατά την δοκιμή. Έτσι έχουν προκύψει πολλοί διορθωτικοί συντελεστές για τους κτύπους που μετρώνται στο πεδίο, λαμβάνοντας υπόψη τη διάμετρο της γεώτρησης, τον τύπο της σφαίρας, την συχνότητα των κτύπων, κ.τ.λ.

2.6.2 ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ ΚΩΝΟΥ (CONE PENETRATION TEST - CPT)

Η δοκιμή συνίσταται στη συνεχή προχώρηση εντός του εδάφους ενός μεταλλικού στελέχους με κωνική αιχμή (κώνος γωνίας 60°) εμβαδού 10 cm² με

ταχύτητα 1-2 cm/sec. Κατά την προχώρηση του στελέχους μετράται η αντίσταση στη διείσδυση της αιχμής (Q_c) και η πλευρική τριβή (Q_s) σε τμήμα της πλευρικής επιφάνειας του μεταλλικού στελέχους ή μανδύα που έχει επιφάνεια 100 cm^2 . Από τις μετρούμενες τιμές της αντοχής αιχμής (q_c) και της πλευρικής τριβής (f_s) μπορούν να συνταχθούν συμπεράσματα για το είδος και τη μηχανική αντοχή των εδαφικών σχηματισμών που συναντώνται κατά τη διείσδυση του κώνου. Προκειμένου ο τρόπος επεξεργασίας των αποτελεσμάτων, που προκύπτουν, να καταστεί περισσότερο κατανοητός, παρουσιάζονται οι ακόλουθες σχέσεις.

$$\text{Αντίσταση αιχμής } q_c = \frac{Q_c}{A_c}$$

όπου Q_c αιχμή κώνου ανά 20 cm, A_c εμβαδόν αιχμής κώνου

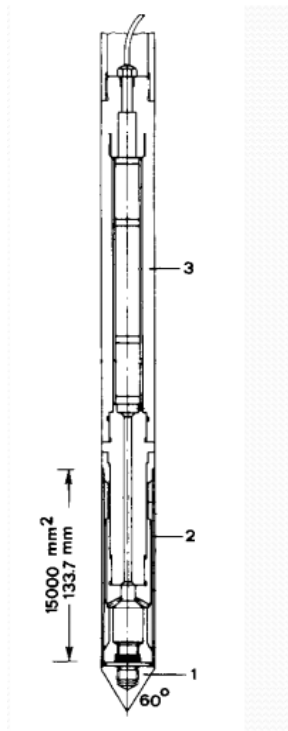
$$\text{Πλευρική τριβή στον μανδύα } f_s = \frac{Q_s}{A_s}$$

Όπου Q_s πλευρική αντίσταση στον μανδύα, A_s εμβαδόν πλευρικής επιφάνειας στον μανδύα.

Η δοκιμή δεν επιτρέπει τη λήψη εδαφικών δειγμάτων. Σε ορισμένες διατάξεις της δοκιμής κώνου, εκτός από τα μεγέθη q_c και f_s μετράται και η πίεση πόρων στην περιοχή της αιχμής του κώνου (ηλεκτρικός κώνος). Η δοκιμή παρέχει αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με τη στρωματογραφία του εδάφους, επιτρέπει προκαταρκτικές εκτιμήσεις των γεωτεχνικών ιδιοτήτων, αναλυτικότερα, δίνεται η δυνατότητα εκτίμηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής του εδάφους C_u ενώ γίνεται και η ανάλογη κατάταξη των εδαφών, τέλος υλοποιούνται εκτιμήσεις κινδύνου ρευστοποίησης.

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 πρόωθησης του κώνου.

Η εκτέλεση της δοκιμής περιγράφεται λεπτομερώς στην προδιαγραφή ASTM D3441.



Σχήμα 2.2 Πρότυπη συσκευή διείδυσης κώνου (1. Κώνος, 2. Στέλεχος τριβής, 3. Στήλη σωλήνων)

2.6.3 ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΕΣΣΙΟΜΕΤΡΟΥ (PRESSUREMETER TEST)

Η δοκιμή συνίσταται στην πλευρική διόγκωση ενός κυλινδρικού στοιχείου το οποίο τοποθετείται στο εσωτερικό της γεώτρησης και αρχικά έχει διάμετρο ίση με τη διάμετρο της οπής της γεώτρησης. Κατά τη δοκιμή μετράται η διόγκωση που προκαλείται από μια συγκεκριμένη αύξηση της πίεσης στο εσωτερικό του κυλινδρικού στοιχείου. Από τις μετρούμενες τιμές της πίεσης και της αντίστοιχης διόγκωσης μπορούν να συναχθούν συμπεράσματα για το μέτρο ελαστικότητας και την αστράγγιστη διατμητική αντοχή του εδάφους. Εφαρμόζεται τυποποιημένη μεθοδολογία διάτρησης των γεωτρήσεων, εκτέλεσης της δοκιμής όπως και εξοπλισμός με τυπικές βολίδες G-Menard, κατηγορίας AX και BX αναλόγως των εμφανιζομένων σχηματισμών και της δομής τους. Οι G βολίδες έχουν διαμέτρους 58 mm, εφαρμόζονται σε βάθος έως 50m και ασκούν πίεση από 5^{MPA} έως 10^{MPA}. σύμφωνα με τις προδιαγραφές E106-86 παρ. 11, E102-84 παρ. 4 και ASTM D 4719-00.

2.6.4 ΔΟΚΙΜΗ ΠΤΕΡΥΓΙΟΥ (FIELD VANE TEST)

Η δοκιμή συνίσταται στην τοποθέτηση εντός του εδάφους (π.χ. στον πυθμένα της οπής μιας γεώτρησης) ενός μεταλλικού στοιχείου που αποτελείται από δυο κατακόρυφα μεταλλικά ελάσματα κάθετα μεταξύ τους. Τα ελάσματα συνδέονται με κατακόρυφο μεταλλικό στέλεχος το οποίο φθάνει μέχρι την επιφάνεια του εδάφους και μπορεί να περιστραφεί με ειδικό μηχανισμό. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής (που περιγράφεται στην προδιαγραφή ASTM D2573) περιστρέφεται το μεταλλικό στέλεχος με τα μεταλλικά ελάσματα και μετράται η ροπή που απαιτείται για την περιστροφή. Από τα δεδομένα αυτά μπορούν να συναχθούν συμπεράσματα για την αστράγγιστη διατμητική αντοχή του υπεδάφους σε στρώσεις κυρίως μαλακής έως στιφρής αργίλου.

2.6.5 ΔΟΚΙΜΗ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΠΛΑΚΑΣ

Κατά τη δοκιμή αυτή φορτίζεται με κατακόρυφο φορτίο μια μεταλλική πλάκα (διαμέτρου 30 cm) που τοποθετείται στην επιφάνεια του εδάφους και μετράται η υποχώρηση που αντιστοιχεί σε κάθε βαθμίδα της φόρτισης. Από τη δοκιμή μπορούν να συναχθούν συμπεράσματα για το μέτρο ελαστικότητας του εδάφους ακριβώς κάτω από την πλάκα. Το κυριότερο μειονέκτημα της δοκιμής είναι ότι το βάθος επιρροής (δηλαδή το πάχος του εδαφικού στρώματος που επηρεάζεται από τη δοκιμή) είναι μικρό με συνέπεια οι μετρούμενες ιδιότητες να αντιπροσωπεύουν μια μικρή εδαφική στρώση πάχους της τάξεως των 50 cm κάτω από την πλάκα. Η εκτέλεση της δοκιμής σε μεγαλύτερα βάθη δεν είναι ευχερής λόγω των απαιτούμενων εκσκαφών. Η δοκιμή περιγράφεται στις προδιαγραφές ASTM D1194 και DIN 18134.



Εικόνα 2.4 Δοκιμή φόρτισης πλάκας

2.6.6 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Η μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους συνήθως γίνεται με τις δοκιμές εισπίεσεως. Οι δοκιμές αυτές βασίζονται στην εισπίεση νερού στο εσωτερικό μιας γεώτρησης και τη μέτρηση των διαφυγών (απωλειών) που αντιστοιχούν σε μια συγκεκριμένη πίεση ή, ισοδύναμα, στη μέτρηση της πίεσης που αντιστοιχεί σε ορισμένες διαφυγές. Υπάρχουν τριών τύπων δοκιμές εισπίεσεως:

Η δοκιμή τύπου Lugeon, κατά την οποία γίνεται εισπίεση μέχρι 1 MPa και μετρώνται οι διαφυγές.

Η δοκιμή τύπου Maag, κατά την οποία η γεώτρηση πληρούται με νερό και στη συνέχεια η στάθμη του νερού αφήνεται να πέφτει λόγω των διαφυγών και μετράται ο ρυθμός πτώσης της στάθμης.

Η δοκιμή τύπου Lefranc, κατά την οποία η οπή της γεώτρησης διατηρείται πλήρης με νερό και μετράται η παροχή τροφοδοσίας που είναι απαραίτητη για τη διατήρηση σταθερής στάθμης. Η αξιολόγηση των ανωτέρω μετρήσεων επιτρέπει την εκτίμηση του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους.

Η μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας του εδάφους μπορεί να γίνει και με δοκιμαστικές αντλήσεις. Κατά τις δοκιμές αυτές αντλείται μια γεώτρηση με ορισμένη παροχή και μετράται η επιτυγχανόμενη ταπείνωση της στάθμης στην

ίδια τη γεώτρηση και σε δορυφορικά πιεζόμετρα που κατασκευάζονται σε διάφορες αποστάσεις από την αντλούμενη γεώτρηση.

2.6.7 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ

Η μέτρηση της στάθμης του υπογείου ορίζοντα γίνεται με όργανα που ονομάζονται πιεζόμετρα. Τα όργανα αυτά συνήθως είναι τεσσάρων τύπων:

Τα κοινά πιεζόμετρα ή πιεζόμετρα ανοικτού σωλήνα (stand-pipe piezometers), τα οποία αποτελούνται από ένα κατακόρυφο σωλήνα που διαθέτει οπές στο κατώτερο τμήμα του. Το νερό εισέρχεται στο σωλήνα και δημιουργεί στάθμη η οποία μετράται με κατάλληλη βολίδα. Από την παρατηρούμενη στάθμη υπολογίζεται η υδατική πίεση στην περιοχή μέτρησης του σωλήνα.

Τα πιεζόμετρα κεραμικής κεφαλής (ceramic tip piezometers), τα οποία αποτελούνται από μια κεραμική κεφαλή που επιτρέπει την είσοδο του νερού αλλά όχι και του αέρα. Η κεραμική κεφαλή που τοποθετείται στον πυθμένα μιας γεώτρησης συνδέεται με την επιφάνεια του εδάφους με δυο λεπτούς πλαστικούς σωλήνες μέσω των οποίων μετράται η υδατική πίεση στη στάθμη της κεραμικής κεφαλής.

Τα πιεζόμετρα με διεπιφάνεια αέρα-νερού (air-actuated piezometers). Τα πιεζόμετρα αυτά έχουν επίσης μια κεραμική κεφαλή εντός της οποίας υπάρχει μια ελαστική μεμβράνη. Η μεμβράνη πιέζεται από τη μια πλευρά από πεπιεσμένο αέρα και από την άλλη από το υπόγειο νερό. Η πίεση του αέρα ρυθμίζεται από την επιφάνεια μέχρις ότου γίνει ίση με την πίεση του υπόγειου νερού. Με τον τρόπο αυτό μετράται η πίεση του υπόγειου νερού.

Τα ηλεκτρικά πιεζόμετρα (electrical piezometers). Τα πιεζόμετρα αυτά περιέχουν μια εύκαμπτη μεταλλική μεμβράνη της οποίας η παραμόρφωση μετράται με ηλεκτρικούς μετρητές (strain gauges). Η πίεση του υπόγειου νερού ασκείται στη μεταλλική μεμβράνη η οποία παραμορφώνεται και το ηλεκτρικό σήμα που καταγράφεται λόγω της παραμόρφωσης της μεμβράνης επιτρέπει τον υπολογισμό της πίεσης του υπόγειου νερού.

2.7 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Μία ολοκληρωμένη γεωτεχνική έρευνα πεδίου περιλαμβάνει τρία ξεχωριστά, αλλά εξίσου σημαντικά στάδια:

- τον προσεκτικό προγραμματισμό της (θέση γεωτρήσεων, βάθος, δοκιμές πεδίου κλπ) έτσι ώστε να αποφέρει τα απαραίτητα για την εκτέλεση του έργου δεδομένα.
- τη συνεχή επί τόπου επίβλεψη της από ειδικό επιστήμονα με σκοπό την λήψη όσο το δυνατόν περισσότερων και ποιοτικότερων δεδομένων και την προσαρμογή του ερευνητικού προγράμματος στα νέα δεδομένα που προκύπτουν με την πρόοδο των εργασιών.
- την επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν, τη σωστή παρουσίασή τους και τη διατύπωση προτάσεων για τη βέλτιστη εκτέλεση του έργου.

Για να θεωρηθεί μια γεωτεχνική έρευνα πεδίου πλήρης και ολοκληρωμένη, θα πρέπει να συνδυάζεται με το κατάλληλο πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών.

Οι εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής που εκτελούνται κατά τις συνήθεις γεωτεχνικές έρευνες είναι:

2.7.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ

Η κατάταξη του εδάφους αποτελεί ένα μέσον για να φτάσουμε στον τελικό σκοπό. Η απλή κατάταξη δεν παρέχει αρκετές πληροφορίες που να επιτρέπουν μία ακριβή πρόγνωση της πραγματικής συμπεριφοράς του εδάφους. Η κατάταξη εδαφών, όμως, εξυπηρετεί ένα χρήσιμο σκοπό και πρέπει να διεξάγεται πάντα. Επιτρέπει μία εκτίμηση της συμπεριφοράς του εδάφους και χρησιμεύει σαν ένα μέσο για διαίρεση των εδαφών σε ομάδες. Για εφαρμογές Οδοποιίας, συχνά χρησιμοποιείται το σύστημα AASHTO αντί του ευρέως διαδεδομένου σε προβλήματα Εδαφομηχανικής Ενοποιημένου Συστήματος (USCS) που θεωρείται σαν το πιο πλήρες σύστημα ταξινομήσεως των εδαφών, διότι ταξινομεί τα εδάφη με την συμπεριφορά τους σαν υλικά κατασκευής. Επιγραμματικά αναφέρουμε τις εργαστηριακές δοκιμές κατάταξης εδαφών:

- Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα.
- Κοκκομετρική ανάλυση με υγρόμετρο.
- Προσδιορισμός ορίων Atterberg.

- Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας.
- Προσδιορισμός φαινομένου βάρους εδάφους.
- Προσδιορισμός ειδικού βάρους κόκκων.
- Προσδιορισμός περιεκτικότητας σε οργανικά.

2.7.2 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Συμπύκνωση είναι η εργασία της φυσικής συμπίεσεως του εδάφους για τη μείωση των κενών χώρων μεταξύ των κόκκων του υλικού (αέρας ή νερό) και την αύξηση του φαινομένου ειδικού βάρους, η οποία έχει ως συνέπεια την αύξηση της φέρουσας αντοχής του εδάφους. Η ικανότητα του εδάφους στην παραλαβή φορτίων σε χωματουργικό έργο ή του ασφαλικού τάπητα σε έργο οδοποιίας εξαρτάται από την πυκνότητα, επομένως τη συμπύκνωση, των υλικών που διαστρώνονται. Οι ενδεικτικότερες δοκιμές συμπύκνωσής είναι οι παρακάτω:

- Προσδιορισμός βέλτιστης υγρασίας συμπύκνωσης και μέγιστης ξηρής πυκνότητας (δοκιμή Proctor).
- Δοκιμή CBR.

2.7.3 ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

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.

- Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης.
- Διαφόρων τύπων τριαξονικές δοκιμές.
- Απλή διάτμηση.
- Απευθείας διάτμηση.
- Δακτυλιοειδής διάτμηση.

2.7.4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

- Δοκιμή σταθερού φορτίου.
- Δοκιμή μειούμενου φορτίου.

2.7.5 ΔΟΚΙΜΕΣ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑΣ

Δοκιμή συμπίεσομέτρου.

Οι ανωτέρω δοκιμές περιγράφονται αναλυτικά στις προδιαγραφές ASTM (American Society for Testing Materials). Για ορισμένες από τις δοκιμές αυτές υπάρχουν και αντίστοιχες Ελληνικές Προδιαγραφές.

Οι εργαστηριακές δοκιμές βραχομηχανικής που εκτελούνται κατά τις συνήθεις γεωτεχνικές έρευνες είναι:

2.7.6 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗΣ

- Προσδιορισμός ειδικού βάρους και πυκνότητας.
- Προσδιορισμός υδραπορροφητικότητας.

2.7.7 ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

- Δοκιμή μοναξονικής θλίψης (uniaxial compression).
- Δοκιμή σημειακής φόρτισης (point load).
- Δοκιμή θλίψης κατά γενέτειρα (Brazilian test).

2.7.8 ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

- Δοκιμή υγείας.
- Δοκιμή αντοχής σε φθορά και κρούση (Los Angeles test).
- Δοκιμή ευθρυπτότητας (slake durability test).

Θα πρέπει οπωσδήποτε το γεωυλικό να χαρακτηρίζεται ως προς την:

- Καταλληλότητά του για αδρανή σκυροδέματος.
- Καταλληλότητά του για την κατασκευή επιχωμάτων.
- Συμπεριφορά του κατά την κατασκευή, π.χ. συνθλιβόμενο, διογκούμενο, κλπ.

2.8 ΑΔΡΑΝΗ

Οι κύριες χρήσεις των αδρανών υλικών αφορούν στον τομέα της κατασκευής δομικών και συγκοινωνιακών έργων όπως: σκυροδέματα, κονιάματα, ασφαλτομείγματα, υλικά βάσης και υπόβασης οδοποιΐας και αντισιδηρών στρώσεων.

Αδρανή ονομάζονται τα κοκκομετρικώς διαβαθμισμένα φυσικής ή βιομηχανικής προέλευσης υλικά που έχουν ξηρή πυκνότητα μεγαλύτερη από $2,0 \text{ kg/m}^3$ και χρησιμοποιούνται είτε με συγκολλητικό μέσο (σκυρόδεμα, ασφαλτόμιγμα) είτε αυτούσια (έρμα σιδηροδρομικών γραμμών, στραγγιστηριών, φράγματα, αναβαθμίδες ποταμών, λιμενικά έργα) σε ποικίλα τεχνικά έργα. Τα αδρανή υλικά προσφέρουν όγκο και υψηλότερη αντοχή στις διάφορες τεχνικές κατασκευές, δεν αντιδρούν χημικά με τις διάφορες συγκολλητικές ύλες, αλλά παρουσιάζουν φυσική συνοχή εξαιτίας της γεωμετρικής ταξινόμησης των κόκκων τους και του βάρους τους .

Ως αδρανή χρησιμοποιούνται επίσης ορισμένα τεχνητά προϊόντα ή ειδικά πετρώματα όπως, σκουριές υψικαμίνων, σμύριδα, αμίαντος, κίσσηρη (ελαφρόπετρα), διογκωμένος περλίτης, μπεντονίτης κ.ά. Το φαινόμενο ειδικό βάρος των πετρωμάτων των συνήθων αδρανών, δηλαδή όσων δεν προέρχονται από ελαφρά αδρανή (π.χ. ελαφρόπετρα) ή από βαριά ορυκτά (π.χ. βαρίτης), είναι της τάξης των $2,6 \text{ tn/m}^3$. Η αντοχή τους αντίστοιχα ξεπερνά τα 800

kgf/cm², σαφώς ανώτερη από τα 400 - 500 kgf/cm² που είναι η αντοχή του τσιμεντοκονιάματος.

Τα αδρανή υλικά καθαρίζονται, ελέγχονται ποιοτικά, γίνεται χημική και ορυκτολογική ανάλυση, και έλεγχος της σκληρότητας των πετρωμάτων από τα οποία προέρχονται.

Τα συνηθέστερα πετρώματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή αδρανών υλικών στη χώρα μας είναι τα ασβεστολιθικά για τους παρακάτω λόγους:

- ικανοποιούν τις μηχανικές αντοχές των συνήθων κατασκευών.
- έχουν μικρό κόστος θραύσης.
- συναντώνται στα περισσότερα μέρη του Ελλαδικού χώρου.

2.8.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα αδρανή διακρίνονται:

Με βάση την προέλευσή τους

Φυσικής προέλευσης: Είναι τα αδρανή τα οποία έχουν ληφθεί από το φυσικό περιβάλλον και έχουν υποστεί μόνο μηχανική επεξεργασία θραύσης, πλυσίματος και διαλογής.

Τεχνητά ή βιομηχανικά: Είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει ως προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης (π.χ. τέφρες, σκωρίες, υπολείμματα καύσεων, άργιλοι, βερμικουλίτης, περλίτης, αργιλικοί σχιστόλιθοι, σχιστοπηλοί κλπ.).

Ανακυκλωμένα: Είναι τα αδρανή που προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές (υλικά κατεδάφισης σκυροδέματος, τοιχοποιίας, ασφαλτικών έργων κλπ.).

Με βάση την πηγή απόληψης

Φυσικά ή συλλεκτά αδρανή: Ονομάζονται τα αδρανή που η λήψη τους γίνεται από φυσικές αποθέσεις (π.χ. ποτάμια, ορυχεία κλπ.). Είναι τα γνωστά χαλίκια, τα αμμοχάλικα ή η φυσική άμμος. Τα μειονεκτήματά τους είναι οι προσμίξεις χώματος, η λεία επιφάνεια και το στρογγυλεμένο σχήμα των κόκκων τους.

Αδρανή λατομείων: Ονομάζονται τα αδρανή που προκύπτουν από εξόρυξη και θραύση όγκων πετρώματος. Είναι η κύρια κατηγορία αδρανών υλικών που χρησιμοποιούνται στον Ελλαδικό χώρο. Περιέχουν ποσοστό παιπάλης πολύ μεγαλύτερο από αντίστοιχα φυσικά αδρανή.

Με βάση το μέγεθος των κόκκων

Τα αδρανή διακρίνονται σε χονδρόκοκκα συγκρατούμενα στο κόσκινο Νο 8 (2,36 mm), σε λεπτόκοκκα διερχόμενα από το κόσκινο Νο 8 και συγκρατούμενα στο κόσκινο Νο 200 και σε παιπάλη διερχόμενη από το κόσκινο Νο 200.

Με βάση τη χρήση τους

Αδρανή βάσεων και υποβάσεων: τα αδρανή της υπόβασης μπορούν να είναι φυσικά ή θραυστά, ενώ τα αδρανή της βάσης πρέπει να είναι μόνο θραυστά. Τα αδρανή της βάσης και της υπόβασης μπορεί, εκτός από φυσικά και θραυστά, να είναι τεχνητά και ανακυκλωμένα

Αδρανή σκυροδέματος: Το σκυρόδεμα αποτελείται από αδρανή με καθορισμένη κοκκομετρική διαβάθμιση και τσιμέντο ως συγκολλητικό υλικό. Τα αδρανή υλικά αποτελούν το σκελετό του σκυροδέματος, επηρεάζουν καθοριστικά τις ιδιότητές του, τόσο στη νωπή όσο και στη σκληρυμένη μορφή.

2.8.2 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΑΔΡΑΝΩΝ

Η επιλογή του δείγματος αποτελεί τον κρισιμότερο παράγοντα ενός ελέγχου ή δοκιμής. Η δειγματοληψία πρέπει να γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε το δείγμα που θα ληφθεί να εκφράζει πιστά τις ιδιότητες όλης της ποσότητας του υλικού. Η δειγματοληψία των αδρανών στη συνήθη περίπτωση που αυτά μεταφέρονται με αυτοκίνητα γίνεται στους σωρούς. Το δείγμα σχηματίζεται από μικρές ποσότητες που παίρνονται με φτυάρι από δέκα (10) τουλάχιστον σημεία της ελεύθερης επιφάνειας του σωρού. Τα σημεία αυτά δεν πρέπει να είναι από το κάτω πέμπτο μέρος του σωρού. Η Δειγματοληψία για γενικό έλεγχο ιδιοτήτων αδρανών είναι EN 932.

Ποιοτικός έλεγχος αδρανών.

Ο ποιοτικός έλεγχος των αδρανών περιλαμβάνει τόσο τον έλεγχο του μητρικού πετρώματος από το οποίο προέρχονται τα αδρανή, όσο και τον έλεγχο των ίδιων των αδρανών. Στην πρώτη κατηγορία ελέγχων περιλαμβάνονται:

- η μηχανική αντοχή του μητρικού πετρώματος.
- η δοκιμή υγείας ή αντοχή σε αποσάθρωση του πετρώματος.
- η αντοχή σε τριβή και κρούση (δοκιμή Los Angeles).
- η ορυκτολογική σύσταση, κ.ά.

Στην δεύτερη κατηγορία ελέγχων περιλαμβάνονται:

- η κοκκομετρική ανάλυση.
- ο προσδιορισμός των ειδικών βαρών, του φαινομένου βάρους και της υδροαπορροφητικότητας.
- ο προσδιορισμός της παιπάλης.
- η παρουσία επιβλαβών οργανικών προσμίξεων.
- ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας σε άργιλο, κ.ά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΤΗ ΦΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

3.1 ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ – ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ

3.1.1 ΓΕΝΙΚΑ

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. 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 ασφαλτο αναμειγμένη με αμμώδες έδαφος για κατασκευές δρόμων, από το 3200 πχ., (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 κατασκεύασαν τους αεροδιαδρόμους πολλών πολεμικών αεροδρομίων με την τεχνική εδάφους - τσιμέντου. Την ίδια χρονική περίοδο η τεχνική της σταθεροποίησης εδάφους με διάφορα πρόσθετα (τσιμέντο, ασβέστος, 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 μίξη 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.

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, συμπιεστότητα, πορώδες, φυσικά χαρακτηριστικά, μηχανικές ιδιότητες κλπ.). Ο Van Impe (1989) διαχωρίζει τις μεθόδους βελτίωσης στις παρακάτω γενικές ομάδες:

- **Προσωρινές** τεχνικές βελτίωσης εδάφους με περιορισμένο χρόνο εφαρμογής, κατά την περίοδο της κατασκευής (ηλεκτρική όσμωση, ψύξη εδάφους κλπ.).
- **Μόνιμες** (διαρκείς) τεχνικές βελτίωσης εδάφους, που εφαρμόζονται χωρίς την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων (δυναμική συμπίκνωση, μέθοδοι μαζικής δόνησης κλπ.).
- **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 μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους εφαρμόζονται συνήθως στις παρακάτω περιπτώσεις:

- 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 αέρα ή νερό, περιορίζοντας την μόλυνση

του εδάφους με μείωση της μεταφορικής ικανότητας των μολυσμένων ουσιών δημιουργώντας συσσωματώματα που μετατρέπονται σε πολυδυσκίνητες χημικές μορφές.

3.1.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

3.1.2.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗΣ

Μέθοδος Προφόρτισης.

Η προφόρτιση είναι μία προσωρινή φόρτιση, συνήθως ένα εδαφικό επίχωμα, το οποίο κατασκευάζεται στην εδαφική επιφάνεια με σκοπό τη βελτίωση του υπεδάφους μέσω της επιτευχθείσας συμπύκνωσης και της αύξησης των οριζοντίων τάσεων. Συνιστάται στη συσσώρευση εδαφικού υλικού και την τοποθέτησή του με μορφή σωρών πάνω στην προς βελτίωση έκταση.

Μέθοδος Προφόρτισης με την χρησιμοποίηση κατακόρυφων αμμοστραγγιστηρίων (Sand Drains), κατακόρυφων στραγγιστηρίων από συνθετικό υλικό (wick drains).

Η προφόρτιση μπορεί να ενισχυθεί και να βελτιωθεί με την κατασκευή κατακόρυφων αμμοστραγγιστηρίων που επιτρέπουν συμπληρωματική αποστράγγιση, καθώς και με την κατασκευή κατακόρυφων στραγγιστηρίων από συνθετικό υλικό η οποία έχει ως σκοπό την ταχύτερη εξέλιξη της στερεοποίησης του εδαφικού υλικού συνεπώς ταχύτερη ολοκλήρωση των αναμενομένων καθιζήσεων και την ταχύτερη αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους.

Άλλοι τρόποι προφόρτισης είναι:

- η τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων συνήθως σε μικρού πλάτους γραμμικά έργα,
- η κατάλληλη άντληση και ο υποβιβασμός της στάθμης του υπογείου νερού,
- η πλήρωση δεξαμενών ή άλλων υδατοστεγανών χώρων με νερό,
- η επιφανειακή διαβροχή στεγνών χαλαρών αποθέσεων.

Μέθοδος Ηλεκτρο-όσμωσης.

Η μέθοδος συνιστάται στην δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλεί τη ροή υπογείου νερού προς την κάθοδο. Οι κάθοδοι συνήθως αποτελούνται από διάτρητους σιδερένιους σωλήνες που απομακρύνουν το νερό.

3.1.2.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το έδαφος μπορεί να βελτιωθεί με την εισαγωγή, τοπικά, στοιχείων οπλισμού. Ο οπλισμός μπορεί να εισαχθεί σε ένα φυσικό πρανές έτσι ώστε να μπορούν να παραχθούν μεγαλύτερες κλίσεις πρανών που υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν θα ήταν δυνατές ή για να βελτιωθεί η αντοχή σε φόρτιση του συγκεκριμένου πρανού. Ο οπλισμός μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να βελτιωθεί η φέρουσα ικανότητα των αδύναμων εδαφών ώστε να φέρουν επιχώματα ή άλλες κατασκευές.

Μέθοδος Λιθοπασσάλων ή χαλικοπασσάλων.

Η μέθοδος συνίσταται στη διάνοιξη κυκλικών οπών στο προβληματικό έδαφος με μήκος σημαντικό και την πλήρωσή τους με χάλικες ή με θραυστό υλικό λατομείου. 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.

Μέθοδος Οπλισμένου εδάφους.

Με την έννοια "οπλισμένο έδαφος" καθορίζονται σύμμικτες κατασκευές εδάφους οπλισμού που περιλαμβάνουν κατάλληλα υλικά επίχωσης, ειδική επένδυση της όψης με προκατασκευασμένες πλάκες ή άλλο σύστημα, ή φυτική γη και οπλισμό από μεταλλικές ή γεωσυνθετικές ράβδους, πλέγματα, συρματοκιβώτια, ήλους ή αγκύρια, ανάλογα με τις απαιτήσεις σχεδιασμού. Εφόσον η εξωτερική παρειά έχει κλίση μικρότερη ή ίση των 70° θεωρούνται ως "οπλισμένα επιχώματα" ενώ για κλίσεις $70^\circ < i \leq 90^\circ$ θεωρούνται ως "τοίχοι οπλισμένου εδάφους".



Εικόνα 3.1 Τοίχος οπλισμένου εδάφους.

Μέθοδος Ριζοπασσάλων.

Αποτελεί μια από τις πιο συχνές μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην ενίσχυση θεμελίωσης, στη σταθεροποίηση πρανών, και ιδιαίτερα σε «δύσκολα εδάφη» όπως αυτά που περιλαμβάνουν πέτρες και βράχια.

Μέθοδος Καρφώματος εδάφους (Soil nailing).

Αποτελεί μια οικονομική τεχνική για τη σταθεροποίηση των πρανών και για την κατασκευή τοίχων αντιστήριξης από πάνω προς τα κάτω. Αυτή η διαδικασία ενίσχυσης του εδάφους χρησιμοποιεί τένοντες χάλυβα οι οποίοι είναι διάτρητοι και εμποτίζονται στο έδαφος ώστε να δημιουργήσουν μια σύνθετη μάζα παρόμοια με έναν τοίχο αντιστήριξης.

Μέθοδος Γεωφασμάτων.

Τα γεωφάσματα, τα οποία αποτελούν τη μεγαλύτερη κατηγορία γεωσυνθετικών υλικών, ορίζονται ως διαπερατά, συνήθως συνθετικά, υλικά που μοιάζουν με υφάσματα και ενσωματώνονται σε μια κατασκευή σε συνδυασμό με γεωυλικά, με στόχο τη βελτίωση της συμπεριφοράς και/ή τη μείωση κόστους της κατασκευής. Η μεγάλη ποικιλία γεωφασμάτων που διατίθενται σήμερα στο εμπόριο οφείλεται στις διαφορές που υπάρχουν μεταξύ των χρησιμοποιούμενων πρώτων υλών, τύπων νημάτων και μεθόδων κατασκευής του τελικού προϊόντος. Οι τέσσερις κύριες λειτουργίες των γεωφασμάτων είναι οι εξής:

- Η λειτουργία του διαχωρισμού: έχει την έννοια της εισαγωγής ενός γεωφάσματος μεταξύ δύο ανόμοιων εδαφικών στρώσεων ώστε να εξασφαλίζεται η ακεραιότητά τους και να βελτιώνεται η λειτουργικότητα των υλικών αυτών.
- Η λειτουργία της ενίσχυσης ή του οπλισμένου εδαφικού υλικού: υλοποιείται με την ενσωμάτωση του γεωφάσματος στη μάζα του εδάφους και είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας ή της αλληλεπίδρασης του γεωφάσματος με το έδαφος.
- Η λειτουργία του φιλτραρίσματος: επιτρέπεται η ελεύθερη κίνηση νερού, αλλά όχι και εδαφικών κόκκων, κάθετα στο επίπεδο του γεωφάσματος για απροσδιόριστα μακρό χρονικό διάστημα.
- Η λειτουργία της στράγγισης: επιτρέπεται η ελεύθερη κίνηση νερού, αλλά όχι και εδαφικών κόκκων, στο εσωτερικό του γεωφάσματος (παράλληλα προς την επιφάνειά του) για απροσδιόριστα μακρό χρονικό διάστημα.



Εικόνα 3.2 Γεώφασμα

Μέθοδος Γεωμεμβρανών.

Οι γεωμεμβράνες είναι συνθετικές μεμβράνες στεγανοποίησης οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως σε γεωτεχνικά κυρίως έργα για τη στεγανοποίηση κατασκευών. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία γεωμεμβρανών, αλλά οι πιο διαδεδομένες είναι: PVC, EPDM, TPO, HDPE, FPP, Μπετονιτικές (GCL). Οι γεωμεμβράνες χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών και ανάλογα με τις απαιτήσεις επιλέγεται και ο κατάλληλος τύπος.

Οι πιο συνήθεις εφαρμογές είναι:

- Στεγανοποίηση θεμελίων.
- Στεγανοποίηση υπόγειων κατασκευών.
- Στεγανοποίηση τούνελ.
- Λιμνοδεξαμενές.
- Δεξαμενές πόσιμου νερού.
- Κανάλια.
- ΧΥΤΑ.
- ΧΑΔΑ.



Εικόνα 3.3 Στρώσιμο γεωμεμβράνης.

Μέθοδος Γεωπλεγμάτων.

Τα γεωπλέγματα είναι μία ακόμα μεγάλη κατηγορία των γεωσυνθετικών υλικών με ολοένα αυξανόμενο εύρος εφαρμογών. Στην ανάπτυξή τους οδήγησαν ανάγκες για κατασκευαστικές λύσεις σε προβλήματα όπως της σταθεροποίησης, αποστράγγισης και αντιδιαβρωτικής προστασίας των εδαφών, της στερέωσης πρανών.

Τα γεωπλέγματα διατίθενται:

- **Εξηλασμένα:** διαμορφώνονται από ένα διάτρητο οργανικό φύλλο το οποίο υφίσταται προένταση προς την μία ή και τις δύο κατευθύνσεις του για τη βελτίωση των μηχανικών του ιδιοτήτων.
- **Υφαντά:** παράγονται με την ύφανση νημάτων, κυρίως από προπυλένιο ή πολυεστέρα, τα οποία μπορεί να έχουν πρόσθετη επιφανειακή επίστρωση για αύξηση της αντοχής τους σε τριβή.
- **Συγκολλημένα:** παράγονται με συγκόλληση υφαντών τεμαχίων ή εξηλασμένων.
- **Σύνθετα:** παράγονται από συνδυασμό γεωπλεγμάτων με άλλα προϊόντα (π.χ. γεωπλέγματα με γεωμεμβράνη).



Εικόνα 3.4 Επίπεδο γεώπλεγμα.

3.1.2.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Μέθοδος Δυναμικής Συμπύκνωσης.

Η Δυναμική Συμπύκνωση (Dynamic Compaction) χρησιμοποιείται για βελτίωση αμμωδών εδαφών. Η μέθοδος της Δυναμικής συμπύκνωσης του εδάφους συνίσταται στην διαδοχική ελεύθερη πτώση, με προκαθορισμένο πρόγραμμα, μιας σφύρας βάρους 10 έως 40 τόνων από ένα ύψος 8 έως 30 m επί της επιφάνειας του εδάφους που πρόκειται να συμπυκνωθεί. Από την πτώση αυτή δημιουργούνται κρουστικά κύματα και εισάγονται στο έδαφος υψηλές πιέσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση των εδαφικών πόρων μέσω αναδιάταξης των κόκκων (στην περίπτωση ξηρών ή μερικώς κορεσμένων εδαφών) ή μέσω της ανάπτυξης υψηλών υπερπίεσεων πόρων (μερικής ρευστοποίησης) και επακόλουθης αποτόνωσής τους (στερεοποίηση). Η μέθοδος της Δυναμικής συμπύκνωσης εφαρμόζεται κυρίως σε χαλαρούς και συμπιεστούς εδαφικούς σχηματισμούς, με σχετικώς εύκολη δυνατότητα στράγγισης.

Μέθοδοι μαζικής δόνησης.

Συνίσταται στην εισαγωγή δονητή σε χαλαρά, μη συνεκτικά εδάφη όπου προκαλεί ακτινωτή συμπύκνωση. Η μέθοδος αυτή αναλύεται ανάλογα με το είδος του εδάφους:

- Η Δονητική συμπύκνωση (Vibro Compaction). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε χαλαρά μή-συνεκτικά εδάφη (π.χ. με περιεκτικότητα ιλύος μικρότερη του 15% ή περιεκτικότητα αργίλου μικρότερη του 5%). Μέσω της δόνησης που εισάγεται στο έδαφος επιτυγχάνεται συμπύκνωση και συνεπώς σημαντική αύξηση της σχετικής

πυκνότητας. Λόγω της επακόλουθης μείωσης του εδαφικού όγκου προκαλείται ταπείνωση της επιφάνειας του εδάφους (με την δημιουργία επιφανειακών «κρατήρων») κατά την διάρκεια των εργασιών βελτίωσης. Η αύξηση της σχετικής πυκνότητας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, την μείωση των καθιζήσεων και την ελαχιστοποίηση του κινδύνου ρευστοποίησης του εδάφους λόγω ραγδαίας επαναλαμβανόμενης φόρτισης.

- Η Δονητική αντικατάσταση (Χαλικοπάσσαλοι) [Vibro Replacement (Stone Columns)]. Η τεχνική της Δονητικής αντικατάστασης εφαρμόζεται κυρίως σε σχετικώς συνεκτικά, μαλακά και συμπιεστά εδάφη (π.χ. ιλυώδη και αργιλικά), όπου η δονητική συμπύκνωση δεν έχει αποτελέσματα. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η εις-βάθος εκτόπιση (προς τα πλάγια) του επιτόπου μαλακού αργιλικού υλικού και η πλήρωση του δημιουργούμενου κενού με χαλικώδες υλικό κατά μήκος μιας στήλης εδάφους (χαλικοπάσσαλος). Ο χαλικοπάσσαλος και το περιβάλλον αυτόν έδαφος αποτελούν ένα σύστημα με βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Η μέθοδος της Δονητικής αντικατάστασης του εδάφους εφαρμόζεται με επιτυχία για την αύξηση της φέρουσας ικανότητας και τη μείωση των καθιζήσεων εδάφους θεμελίωσης, την επιτάχυνση της πραγματοποίησης των καθιζήσεων σε συνδυασμό με την αύξηση της φέρουσας ικανότητας, και τη βελτίωση της συνολικής ευστάθειας επιχωμάτων και άλλων τεχνικών έργων.

Μέθοδος Εκρήξεων.

Σε δίκτυο γεωτρήσεων τοποθετείται εκρηκτική ύλη που κατά την έκρηξη δημιουργεί διαμήκη και διάτμησης κύματα, που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητας του εδάφους, κάτω από το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων.

3.1.2.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ

Μέθοδος Βαθιάς Εδαφικής Ανάμιξης (DMM).

Η μέθοδος συνίσταται στη βελτίωση μαλακών εδαφών με την προσθήκη βελτιωτικών υλικών (κονίες) σε αυτά, τα οποία μειώνουν τις καθιζήσεις και συμβάλλουν στην επίτευξη ενός σταθερότερου εδάφους το οποίο να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον μαλακό έδαφος, ούτως ώστε η επιβαλλόμενη φόρτιση να διαμοιράζεται μεταξύ του βελτιωμένου και του ασθενούς εδάφους. Τα βελτιωτικά υλικά (τσιμέντο Portland, ασβέστης, μπεντονίτης, ιπτάμενη

τέφρα, γύψος κ.α.) εισάγονται στο έδαφος με τη χρήση ειδικών τρυπανιών/αναμικτήρων σε ξηρή ή υγρή μορφή και αναμιγνύονται με το προς βελτίωση έδαφος. Η μέθοδος της Βαθιάς εδαφικής ανάμιξης εφαρμόζεται με επιτυχία για την αύξηση της ευστάθειας των επιχωμάτων και τη μείωση του χρόνου των καθιζήσεων, την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, την προστασία από ρευστοποίηση, και τον περιορισμό των μολυσμένων εδαφών.

Μέθοδος εξυγίανσης/σταθεροποίησης του εδάφους.

Εξυγίανση/σταθεροποίηση του εδάφους νοείται η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του υφισταμένου εδαφικού υλικού, σε συγκεκριμένο βάθος, με την ανάμιξή του με υδράσβεστο ή/και τσιμέντο ή ασβεστόχο ιπτάμενη τέφρα, ώστε με τη συμπύκνωσή του υπό συνθήκες βέλτιστης υγρασίας και με τη συντήρησή του για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα να προκύψει ομοιογενής, ανθεκτική στρώση με βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά και αυξημένη φέρουσα ικανότητα. Τα νέα βελτιωμένα υλικά που προκύπτουν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε οδοστρώματα οδών ή και αεροδρομίων σε στρώσεις έδρασης ή υπόβασης. Η εξυγίανση εδαφικών υλικών αποσκοπεί:

- Στη βελτίωση χαρακτηριστικών εδάφους επί του οποίου θεμελιώνονται τα επιχώματα.
- Στη βελτίωση των ορίων Atterberg και της φέρουσας ικανότητας της εδαφικής στρώσης (στέψης επιχωμάτων, ή στρώσης έδρασης οδοστρωμάτων), όταν αυτή έχει δυσμενή χαρακτηριστικά (π.χ. μεγάλη πλαστικότητα ή/και μικρές τιμές CBR).
- Στην εξουδετέρωση της διογκωσιμότητας ορισμένων εδαφικών υλικών και των κινδύνων που συνεπάγεται αυτή για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του έργου.

Η εφαρμογή τεχνικών εξυγίανσης του εδάφους επιλέγεται μετά από οικονομοτεχνική σύγκριση με άλλες τεχνικές δόκιμες μεθόδους, όταν το συνολικό κόστος του απαιτούμενου οδοστρώματος καθίσταται μικρότερο.

Η τεχνική της σταθεροποίησης με υδράσβεστο, ασβεστόχο ιπτάμενη τέφρα ή/και τσιμέντο είναι συνήθως πλεονεκτική, όταν με χρήση επιτόπου υλικών το προκύπτον οδόστρωμα είναι μεγάλου πάχους και δεν διατίθενται κοντά στο έργο κατάλληλα εδαφικά υλικά, που να πληρούν τις απαιτήσεις των προδιαγραφών, ενώ η προμήθειά τους από άλλες μακρινές πηγές είναι δαπανηρότερη. Εφαρμόζεται και σε περιπτώσεις περιβαλλοντικών περιορισμών σχετικά με δανειοθαλάμους/αποθεσιοθαλάμους στην ευρύτερη περιοχή των έργων.

3.1.2.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΕΝΕΜΑΤΩΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Με τον όρο ενεμάτωση του εδάφους (για γεωτεχνικούς σκοπούς) εννοείται η διαδικασία κατά την οποία ρευστό υλικό εισάγεται με εισπίεση εντός του γεωλικού με ταυτόχρονο έλεγχο και ρύθμιση των χαρακτηριστικών ροής και των παραμέτρων εισπίεσης (πίεση, όγκος και ρυθμός ροής). Η πλήρωση των κενών ενός εδαφικού ή των ρωγμών ενός βραχώδους σχηματισμού με ένεμα υπό πίεση βελτιώνει τα μηχανικά χαρακτηριστικά και μειώνει τη διαπερατότητά του, εξασφαλίζοντας στεγανοποίηση. Η ίδια μέθοδος χρησιμοποιείται και για τη δημιουργία στεγανού πετάσματος, για τον έλεγχο υπόγειας ροής. Μπορεί να εφαρμοστεί ακόμη για τη στεγανοποίηση πυθμένα και πρανών βαθιών εκσκαφών ή τη σταθεροποίηση σηράγγων και θεμελιώσεων κτιρίων.

Τα χρησιμοποιούμενα συστατικά των ενεμάτων είναι συνήθως τα εξής:

- Υδραυλικά συγκολλητικά και τσιμεντοκονιάματα.
- Αργιλικής φύσεως υλικά και μπεντονίτες.
- Άμμοι, χάλικες.
- Νερό.
- Χημικά προϊόντα και πρόσμικτα υλικά (ακρυλικά ή εποξικές ρυτίνες, πολυουρεθάνες κλπ).
- Άλλα υλικά (ασβεστιτικά και πυριτικά υλικά, κονιοποιημένη καύσιμη τέφρα (pfa-pulverized fuel ash), ποζουλάνες και ιπτάμενη τέφρα).

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται όσον αφορά την ενεμάτωση εδάφους είναι:

Τσιμεντενέσεις απλές.

Το τσιμεντένεμα είναι ένα μίγμα τσιμέντου, νερού και άλλων πρόσμικτων που παρασκευάζεται κάθε φορά ανάλογα με τον τύπο της τοιχοποιίας ώστε να είναι απολύτως συμβατό. Η βελτίωση της βραχώμαζας με τσιμεντενέσεις συνίσταται στην υπό πίεση έγχυση ενέματος, το οποίο διαχέεται στο έδαφος και πληρώνει τα κενά. Μετά την ολοκλήρωση διαδικασίας πήξης του ενέματος, δημιουργείται μία συνεκτική γεώμαζα, με βελτιωμένα χαρακτηριστικά αντοχής και παραμορφωσιμότητας.

Με τη μέθοδο των τσιμεντενέσεων:

- Ενισχύεται το σαθρό έδαφος στον πληρέστερο βαθμό
- Εξασφαλίζεται υψηλή ασφάλεια στη θεμελίωση κτιρίων

- Επιτυγχάνεται σταθεροποίηση στη βάση και τα τοιχώματα φραγμάτων
- Επιτυγχάνεται στεγανοποίηση στον πυθμένα δομικών εγκαταστάσεων
- Επιτυγχάνεται αποφυγή ρωγμών που προέρχονται από σεισμούς και δονήσεις

Τσιμεντενέσεις με βαλβιδωτούς σωλήνες (T.A.M.)

Οι ενεματώσεις εδαφικών υλικών μπορούν να επιτευχθούν με τη βοήθεια σωληνώσεων, στηριζόντων υγρών και βαλβιδωτών σωλήνων. Οι βαλβιδωτοί σωλήνες, των οποίων οι βαλβίδες «σφραγίζονται» εντός του εδάφους με τη χρήση στηρίζοντος υγρού (π.χ. μπεντονιτικό αιώρημα), επιτρέπουν την επαναλαμβανόμενη εισπίεση ενέματος, εξαιτίας της μικρής αντοχής της δημιουργούμενης στρώσης φίλτρου στη διεπιφάνεια μεταξύ αυτών των σωλήνων και των τοιχωμάτων των οπών.

Εδαφοπάσσαλοι (Jet Grouting).

Μέθοδος διοχέτευσης ενέματος στο έδαφος, με σύστημα ακροφυσίων υψηλής πίεσης (500 bars), η οποία δημιουργεί, με ταυτόχρονη ανάμειξη, στήλες τσιμέντου-εδάφους, με βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Ανάλογα με την περίπτωση, εφαρμόζονται κυρίως οι τεχνικές του απλού συστήματος (μόνο ένεμα-ανάμειξη) του Διπλού συστήματος (νερό & ένεμα-ανάμειξη κι αντικατάσταση) και του Τριπλού συστήματος (νερό, αέρας & ένεμα-ανάμειξη κι αντικατάσταση).

Ενεματώσεις εκτοπίσεως.

Ενεματώσεις κατά τη διάρκεια των οποίων το ένεμα εισπίζεται εντός του υλικού, προκαλώντας την παραμόρφωση, τη συμπίεση έως και την πλήρη εκτόπισή του.

Ενεματώσεις συμπίκνωσης (Compaction Grouting).

Ενεματώσεις εκτόπισης γεωυλικού, με σκοπό τη συμπίκνωσή του χωρίς την πρόκληση υδραυλικής θραύσης του.

Ενεματώσεις διείσδυσης.

Η εισπίεση ενέματος εντός διακλάσεων ή ρωγμών βραχώμαζας ή εντός κενών πόρων εδαφικής μάζας, χωρίς την εκτόπιση του αντίστοιχου γεωυλικού. Ο όρος

περιλαμβάνει τις ενεματώσεις στεγανοποίησης, τις ενεματώσεις πλήρωσης ρωγμών και τις ενεματώσεις επαφής.

Ενεματώσεις επαφής.

Η εισπίεση ενέματος στη διεπιφάνεια μεταξύ κατασκευής και γεωυλικού.

Ενεματώσεις πλήρωσης όγκου κενών.

Περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενέματος για την πλήρωση μεγάλων κενών εντός του γεωυλικού.

Ενεματώσεις δια βαρύτητας.

Ενεματώσεις έγχυσης (tremie grouting), δηλαδή χωρίς την εφαρμογή πρόσθετης πίεσης, πέραν του πιεζομετρικού ύψους του υγρού του ενέματος.

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.

3.1.2.6 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΡΑΣΗΣ

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 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 αργίλου καταστρέφεται, σε 1000°C οι κόκκοι άμμου τήκονται και δημιουργούν τεχνητή τσιμεντοποίηση.

Ψύξη του εδάφους.

Η μέθοδος ψύξης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φραγμών από παγωμένο νερό έξω από την επιφάνεια των κατασκευών.

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 συνάρτησης του κόστους του συνολικού έργου κατασκευής σε σχέση με το κόστος της μεθόδου βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους.

3.2 ΕΚΣΚΑΦΕΣ – ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ – ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΣΕΙΣ

3.2.1 ΕΚΣΚΑΦΕΣ

Οι εκσκαφές είναι για κάθε έργο ένα μεγάλο και αναπόσπαστο κομμάτι, το οποίο είναι απόλυτα αναγκαίο διότι η εκσκαφή έχει σκοπό την προσαρμογή της κατασκευής στο υπέδαφος που πρόκειται να εγκατασταθεί. Οποιοδήποτε έργο και αν εξετάσουμε οι εκσκαφές παίζουν σημαντικό ρόλο για την πορεία και διαδικασία ολοκλήρωσής του. Πέρα από τη σπουδαιότητα και τη χρησιμότητα των εκσκαφών μας απασχολεί και ο οικονομικός προϋπολογισμός αυτών διότι για να πραγματοποιηθεί μια εκσκαφή απαιτεί έμπειρο και ειδικευμένο προσωπικό, όπως επίσης και τα κατάλληλα σκαπτικά μηχανήματα. Με τον όρο «εκσκαφή» νοείται γενικά η δυνατότητα που παρέχει μια συγκεκριμένη περιοχή για την εκσκαφή της σε προκαθορισμένη έκταση και βάθος.

3.2.1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΚΣΚΑΦΩΝ

Οι εκσκαφές, ανάλογα με τις συνθήκες εκτέλεσής τους κατατάσσονται ως εξής:

Ως προς τον χώρο εκτέλεσης

- Εκτός κατοικημένων περιοχών (συμπεριλαμβάνονται και οι εκσκαφές που εκτελούνται εντός του εύρους κατάληψης οδικών έργων χωρίς διερχόμενη κυκλοφορία).
- Εντός κατοικημένων περιοχών και στο εύρος κατάληψης οδικών αξόνων υπό κυκλοφορία.
- Υπό συνθήκες στενότητας χώρου όπου για την εκτέλεση της εργασίας απαιτείται ειδικός εξοπλισμός.

Ως προς τις κατηγορίες εδάφους

- Χαλαρά – ασταθή εδάφη: φυτικές γαίες, ιλύς, τύρφη και λοιπά εδάφη που έχουν προέλθει από επιχωματώσεις με ανομοιογενή υλικά, μη συνεκτική

άμμος και αμμοχάλικα διαμέτρου μέχρι 70 mm, τα οποία λόγω πολύ μικρής περιεκτικότητας σε άργιλο (ποσοστό λεπτόκοκκου εδάφους), είναι χαλαρά ή δεν παρουσιάζουν καμία συνοχή.

- Γαιώδη – ημιβραχώδη εδάφη: που μπορούν να εκσκαφθούν αποτελεσματικά με υδραυλικό εκσκαφέα (τσάπα) ισχύος έως 120 Hp χωρίς τη χρήση κρουστικού εξοπλισμού όπως αεροσφύρες ή υδραυλικές σφύρες.
- Βραχώδη εδάφη: όλα τα μη αποσαθρωμένα συμπαγή πετρώματα, τα οποία δεν μπορούν να εκσκαφθούν αν δεν χαλαρωθούν με κρουστικό όπως αεροσφύρες και υδραυλικές σφύρες ή με τη χρήση εκρηκτικών υλών.
- Εξαιρετικά σκληρά κροκαλοπαγή και γρανιτικά εδάφη: μη αποσαθρωμένα συμπαγή ισχυρώς τσιμεντωμένα κροκαλοπαγή πετρώματα και γρανιτικά πετρώματα και γενικά ιδιαίτερος σκληρά πετρώματα η εκσκαφή των οποίων είναι δυσχερής και μικρής αποδόσεως και απαιτεί κρουστικό εξοπλισμό ή χρήση εκρηκτικών.

Γενικά όμως, οι εκσκαφές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Στις γενικές εκσκαφές: Ως γενικές εκσκαφές νοούνται οι εκσκαφές και οι εξορύξεις σε σχετικά μεγάλες επιφάνειες (π.χ. εκσκαφή υπογείου) και σε οποιοδήποτε βάθος. Αναφορικά προς τον χρησιμοποιούμενο μηχανικό εξοπλισμό, μια εκσκαφή μπορεί να χαρακτηριστεί ως γενική, εάν είναι δυνατόν να εκτελείται με περισσότερα του ενός τύπου χωματουργικά μηχανήματα (π.χ. προωθητές, εκσκαφείς, φορτωτές, χωματοσυλλέκτες κλπ) και όχι μόνο με εκσκαφέα (τσάπα).

Στις ειδικές εκσκαφές: Ως ειδικές εκσκαφές νοούνται οι εκσκαφές που έχουν περιορισμένη επιφάνεια (π.χ. εκσκαφές θεμελίων).

3.2.1.1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΣΚΑΦΗΣ – ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΣΗΡΡΑΓΩΝ

Οι μέθοδοι διάνοιξης σηράγγων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Στις συμβατικές μεθόδους, όπου ανήκει η μέθοδος Drill & Blast και, στις μηχανικές μεθόδους, όπου ανήκουν οι μέθοδοι ολομέτωπης και τμηματικής εκσκαφής.

3.2.1.1.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΟΛΟΜΕΤΩΠΟΥ ΚΟΠΗΣ (TUNNEL BORING MACHINE, TBM)

Οι κυριότεροι λόγοι οι οποίοι οδήγησαν στην ανάπτυξη της μηχανικής όρυξης σηράγγων, είναι το γεγονός ότι η χρησιμοποίηση εκρηκτικών υλών για την θραύση του πετρώματος έχει ως αποτέλεσμα τον επηρεασμό της περιοχής γύρω από την εκσκαφή. Επιπλέον, ο κύκλος εκσκαφής με την χρήση εκρηκτικών είναι ασυνεχής υπό την έννοια ότι μεσολαβούν «νεκρά» χρονικά διαστήματα μεταξύ των διαφόρων φάσεων. Η μηχανική όρυξη σηράγγων πραγματοποιείται με τις Μηχανές Ολομέτωπης Κοπής (TBM-Tunnel Boring Machine). Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής (Tunnel boring machines, TBM και οι ασπίδες, shields) χρησιμοποιούνται για την διάνοιξη σηράγγων μέσα σε διαφορετικούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Μπορεί να χρησιμοποιηθούν το ίδιο αποτελεσματικά για τη διάνοιξη μέσα από σκληρά ή χαλαρά πετρώματα ή εδάφη. Οι διάμετροι διάνοιξης κυμαίνονται από 1m έως και 15m (με τάση να φθάσουν τα 19 m) και οι ταχύτητες προχώρησης ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες από μερικά εκατοστά/εβδομάδα έως και 130 μέτρα/εβδομάδα. Ένα TBM συνήθως αποτελείται από ένα ή δυο ασπίδες, μεταλλικούς κυλίνδρους και από συστήματα υποστήριξης. Στο ένα άκρο της ασπίδας τοποθετείται η κοπτική κεφαλή. Η επιλογή της κοπτικής κεφαλής εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους. Πίσω από τον θάλαμο βρίσκονται μια σειρά υδραυλικών γρύλων, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την προώθηση του μηχανήματος. Οι γρύλοι τοποθετούνται στην επένδυση της σήραγγας που βρίσκεται πίσω από το μηχανήμα και εν συνεχεία το ωθούν προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η επιλογή μονής ή διπλής ασπίδας εξαρτάται κυρίως από τη γεωλογία της περιοχής καθώς και από την ταχύτητα προχώρησης. Διπλές ασπίδες χρησιμοποιούνται σε χαλαρά εδάφη ή ρηγματογόνες ζώνες όπου απαιτείται μεγάλη ταχύτητα προχώρησης. Αντίστοιχα η μονή ασπίδα χρησιμοποιείται σε σκληρά, συμπαγή πετρώματα.



Εικόνα 3.5 Μηχανή Ολομέτωπου Κοπής, TBM

3.2.1.1.3 ΜΗΧΑΝΕΣ ΧΩΡΙΣ ΑΣΠΙΔΑ (GRIPPER TBM)

Ένα Gripper TBM είναι κατάλληλο για εξόρυξη βραχομαζών που η ευστάθεια του μετώπου και του ανυποστύλωτου τμήματος της σήραγγας μπορεί να επιτευχθεί με προσωρινά μέσα υποστύλωσης όπως κοχλίες, μεταλλικά πλαίσια και εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

3.2.1.1.4 TBM ΜΕ ΑΣΠΙΔΑ

Τα μηχανήματα ολομέτωπης κοπής με ασπίδα χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που η βραχώμαζα λόγω της μικρής της αντοχής δεν μπορεί να παραλάβει τις δυνάμεις στήριξης της μηχανής TBM, που είναι απαραίτητες για την μετάδοση των δυνάμεων πρόωσης.

3.2.1.1.5 ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΜΕ ΙΣΟΡΡΟΠΟΙΑ ΠΙΕΣΗΣ ΓΑΙΩΝ (EARTH PRESSURE BALANCE, EPB).

Τα μηχανήματα EPB χρησιμοποιούνται σε τμήματα σήραγγας που βρίσκονται σε έδαφος και πέτρωμα μαζί. Εφαρμόζονται επίσης σε μεταβαλλόμενες γεωλογικές συνθήκες ή σε μικτές γεωλογίες μετώπων και σε πολύ αποσαθρωμένα πετρώματα.

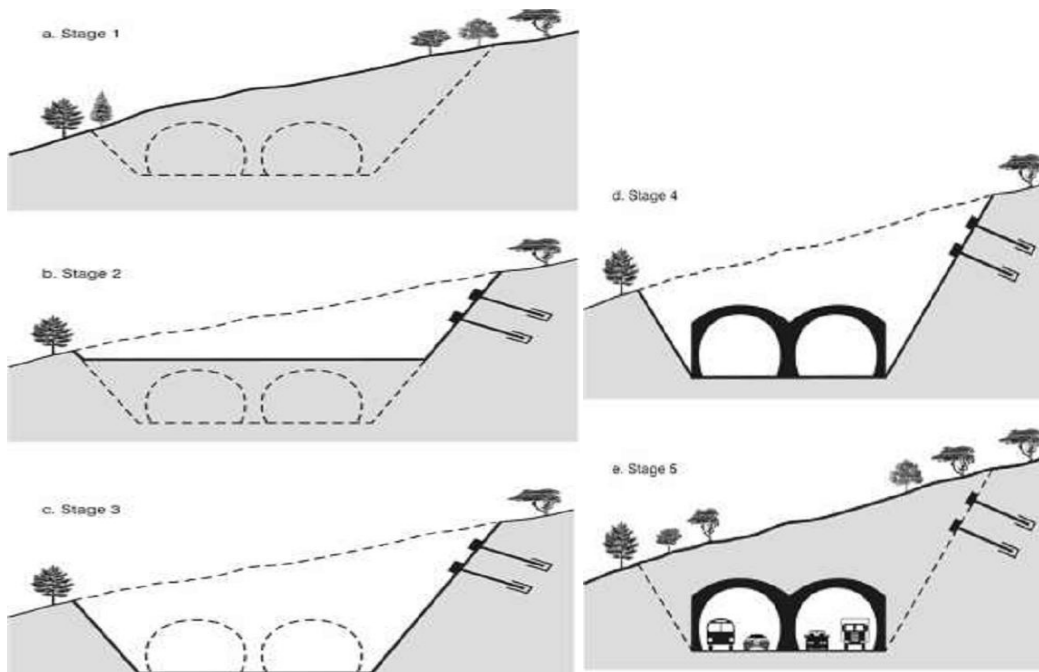
Συνοπτικά, ο κύκλος λειτουργίας των μηχανημάτων αυτής της κατηγορίας, είναι ο εξής:

- Διάνοιξη μετώπου.
- Τοποθέτηση τελικής επένδυσης και στερέωση με την βοήθεια των πέδινων αντιστήριξης.
- Συνέχιση διάνοιξης μετώπου.

Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, στην κατηγορία αυτή των μηχανικών μεθόδων κατατάσσεται και η μέθοδος τμηματικής εκσκαφής, στην οποία χρησιμοποιούνται μηχανήματα σημειακής κοπής ή αλλιώς roadheaders και υδραυλικά ή πνευματικά σφυριά. Η χρήση αυτής της μεθόδου ενδείκνυται σε ιδιαίτερα χαλαρά εδάφη, όπου ο κίνδυνος αστοχίας είναι μεγάλος. Ωστόσο, ο ρυθμός των εργασιών εκσκαφής με αυτή την μέθοδο είναι ιδιαίτερα αργός.

3.2.1.1.6 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΟΡΥΓΜΑΤΟΣ (CUT & COVER)

Η μέθοδος ανοικτού ορύγματος χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια στην κατασκευή αστικών υπογείων σιδηροδρόμων καθώς επίσης και σε υπεραστικά προγράμματα, όπως στην κατασκευή ρηχών σχετικά μικρού μήκους σηράγγων οδοποιίας και σιδηροδρόμων. Τελευταία, η μέθοδος έχει υιοθετηθεί καταλλήλως ώστε να διευκολύνει την κατασκευή των στομίων εισόδων κι εξόδων σηράγγων. Η βασική ιδέα είναι η εκσκαφή μίας τάφρου η οποία πρέπει να σκεπαστεί και η επί τόπου σκυροδέτηση της σήραγγας η οποία, εν τέλει, θα καλυφθεί με υλικά επιχωμάτωσης. Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει σταδιακή εκσκαφή κι εφαρμογή της υποστήριξης των παρειών των εκσκαφών με προσωρινούς τοίχους και συστήματα σύσφιξης. Σε περιπτώσεις εξαιρετικά δυσμενών γεωτεχνικών όρων, η προενίσχυση κρίνεται απαραίτητη προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν ή να αποφευχθούν τα προβλήματα σταθερότητας κατά τη διάρκεια της φάσης ανασκαφής. Μόλις επιτευχθεί το επίπεδο θεμελίωσης, ξεκινούν οι διαδικασίες σκυροδέτησης της σήραγγας, ακολουθούμενες από τη στεγανοποίηση και την τοποθέτηση της τελικής επιχωμάτωσης.



Εικόνα 3.6 Κατασκευαστικά στάδια μεθόδου ανοικτού ορύγματος

3.2.1.1.7 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ - ΕΚΣΚΑΦΗΣ (COVER & CUT ή TOP DOWN)

Παραλλαγή της μεθόδου ανοικτής εκσκαφής αποτελεί και η μέθοδος επικάλυψης και εκσκαφής (στην ξένη ορολογία cover & cut ή αλλιώς top-down). Η διαδικασία κατασκευής περιλαμβάνει έξι ευδιάκριτα στάδια, συμπεριλαμβανομένων των διαδικασιών χωματουργικών έργων, διάτρηση και ρήψη των υποστυλωμάτων, κατασκευή πλακών, απομάκρυνση γαιών και επιχωμάτωση.

Τα πλεονέκτηματα της μεθόδου αυτής είναι ο μειωμένος χρόνος εκτεταμένων εργοταξιακών καταλήψεων και η ταχύτητα αποκατάστασης και απόδοσης σε χρήση της περιοχής (οδική κυκλοφορία, πλατείες, κλπ), και τελικώς η αποφυγή μακρόχρονης όχλησης των λειτουργιών της πόλης. Τα μειονεκτήματα της είναι, κυρίως, το αυξημένο κόστος και η πολυπλοκότερη κατασκευαστική διαδικασία.



Εικόνα 3.7 Διάτρηση και τοποθέτηση υποστύλωματος κατά την μέθοδο επικάλυψης-εκσκαφής

3.2.1.1.8 ΝΕΑ ΑΥΣΤΡΙΑΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ (NEW AUSTRIA TUNNELLING METHOD or NATM)

Η λεγόμενη "Νέα Αυστριακή Μέθοδος Διάνοιξης Σηράγγων" (New Austrian Tunneling Method-NATM1) ουσιαστικώς δεν αποτελεί μια "μέθοδο" αλλά περιλαμβάνει ένα σύνολο τεχνικών διάνοιξης και υποστήριξης σηράγγων οι οποίες εφαρμόστηκαν συστηματικά κατά τη διάνοιξη σηράγγων στις Αυστριακές Άλπεις. Αν και δεν υπάρχει γενικώς αποδεκτός ορισμός της "Μεθόδου NATM", ο όρος συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διάνοιξη σηράγγων με εκτεθειμένο το μέτωπο εκσκαφής (δηλαδή χωρίς την εφαρμογή πίεσης με μηχανικά μέσα) και υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό ή οπλισμένο) ή/και αγκύρια βράχου. Η συνήθης εφαρμογή της μεθόδου NATM είναι η διάνοιξη της διατομής της σήραγγας σε μια ή περισσότερες φάσεις και η άμεση υποστήριξη του τοιχώματος με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (απλό, ινοπλισμένο, οπλισμένο με χαλύβδινο πλέγμα ή ενισχυμένο με χαλύβδινες νευρώσεις από ράβδους ή διατομές I) και αγκύρια (παθητικά ή προεντεταμένα). Σημειώνεται ότι η υποστήριξη του τοιχώματος της σήραγγας μόνον με αγκύρια χωρίς εκτοξευόμενο σκυρόδεμα υπάγεται επίσης στην κατηγορία της μεθόδου NATM.

3.2.2 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ

3.2.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ευστάθεια των πρανών αποτελεί ένα πολύ ευρύ θέμα, ένα από τα σημαντικότερα κεφάλαια της εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής, με το οποίο έχει ασχοληθεί εκτεταμένα τόσο η ελληνική όσο και η διεθνής επιστημονική κοινότητα.

Όταν το έδαφος είναι υπό κλίση τότε υπάρχει συνιστώσα βάρους του εδάφους που έχει την τάση να παρασύρει την εδαφική μάζα προς τα κάτω. Αυτό που αντιστέκεται και δεν μετακινείται το έδαφος είναι η αντοχή του σε διάτμηση. Αυτό το απλοϊκό μοντέλο αποτελεί τη βάση για την κατανόηση του θέματος της ευστάθειας των πρανών. Το θέμα βέβαια λίγο θα μας είχε απασχολήσει αν δε συνέβαιναν πολλές αστοχίες πρανών και αν δεν είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα συμβούν και στο μέλλον. Έτσι, από τις πρώτες δεκαετίες του προηγούμενου αιώνα άρχισαν οι προσπάθειες για τη διερεύνηση και τη μελέτη των αστοχιών πρανών και την ανάπτυξη μεθόδων ελέγχου της ευστάθειάς τους. Παρά τις τεράστιες προόδους που έχουν σημειωθεί μέχρι σήμερα το θέμα κάθε άλλο παρά κλειστό είναι, οι απαιτήσεις κάθε άλλο παρά σίγουρες και οι προσπάθειες κάθε άλλο παρά ολοκληρωμένες.

3.2.2.2 ΤΑ ΠΡΑΝΗ

Όταν γίνεται λόγος για πρανή θα πρέπει να γίνουν ορισμένες διακρίσεις. Η βασικότερη διάκριση είναι σε φυσικά και τεχνητά πρανή:

- τα φυσικά πρανή με τη σειρά τους μπορούν να διακριθούν στα πρανή που διαμορφώθηκαν χωρίς την επίδραση του ανθρώπου και στις εκσκαφές και
- τα τεχνητά πρανή περιλαμβάνουν τα επιχώματα, φράγματα κλπ. Τα τελευταία βέβαια είναι πολύ πιο ελεγχόμενα ως προς τις ιδιότητές τους αφού κατασκευάζονται από τον άνθρωπο σύμφωνα με ορισμένες προδιαγραφές (σύνθεση, ποσοστό συμπίκνωσης κλπ.)

Μια άλλη διάκριση είναι βέβαια η διάκριση ανάμεσα στα βραχώδη πρανή και στα γαιώδη πρανή. Ανάμεσα σε αυτές τις δύο κατηγορίες βρίσκονται οι «ημίβραχοι» όπως π.χ. αργιλικοί ημίβραχοι (clay shales) δηλ. ιζηματογενή που παρουσιάζουν ιδιότητες ενδιάμεσες ή ιδιότητες που αλλάζουν εντυπωσιακά κάτω από ορισμένες συνθήκες (π.χ. παρουσία νερού κλπ.). Για τους ημίβραχους το αν θα χρησιμοποιηθεί μοντέλο βραχομηχανικής ή εδαφομηχανικής για να αναλυθεί το πρόβλημα εξαρτάται από τις ειδικές συνθήκες κάθε προβλήματος.

Η ισορροπία ενός πρανούς έχει ιδιαίτερη σημασία όταν πρόκειται να κατασκευαστεί ένα πρανές είτε με επίχωση είτε με εκσκαφή και όταν έχει αστοχήσει ή υπάρχουν φόβοι ότι θα αστοχήσει ένα υπάρχον πρανές. Στην πρώτη περίπτωση αυτό που ενδιαφέρει είναι να κατασκευαστεί ένα πρανές που είναι ασφαλές και οικονομικό, έννοιες σε μεγάλο βαθμό συγκρουόμενες. Στην περίπτωση των κατολισθήσεων πρέπει πρώτα να προσδιοριστούν οι αιτίες της κατολίσθησης έτσι ώστε να μπορούν να παρθούν μέτρα που να συνιστούν μια ασφαλή και οικονομική κατασκευή.

Αστοχία πρανούς είναι η κατάρρευση μάζας της επιφάνειάς του. Αστοχία μπορεί να προκληθεί λόγω επέμβασης του ανθρώπου στη φύση με την κατασκευή τεχνικών έργων (εκσκαφές ορυγμάτων, υποσκαφές, επιφορτίσεις κ.α.) τα οποία διαταράσσουν την υφιστάμενη ισορροπία στο έδαφος. Μπορεί να προκληθεί επίσης από την επίδραση φυσικών παραγόντων όπως την αποσάθρωση, τη διάβρωση, τον παγετό, τη μεταβολή του υδροφόρου ορίζοντα και τους σεισμούς (Turner & Schuster, 1996).

Οι παράγοντες που επιδρούν σε ένα φυσικό πρανές είναι κυρίως εκείνοι της γεωλογικής δομής, των υδρογεωλογικών συνθηκών, των τεκτονικών συνθηκών, καθώς και εκείνοι των μηχανικών χαρακτηριστικών.

Η ευστάθεια των πρανών εξαρτάται από τη βαρύτητα, η οποία δρα ως παράγοντας αστάθειας του πρανούς, αφού τείνει να παρασύρει προς τα κάτω και προς τα έξω ορισμένη μάζα εδάφους. Παράλληλα, εξαρτάται και από τη συνοχή και την εσωτερική τριβή, που τείνουν να διατηρήσουν ενωμένα τα υλικά που συνθέτουν το πρανές και αντιστέκονται σε οποιαδήποτε μετακίνηση, συμβάλλοντας έτσι στην ευστάθειά τους. Εξαρτάται, τέλος, από τη στρώση και την κατατμητικότητα του εδάφους, την αποστράγγιση του πρανούς, την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών καθώς και τις χρονικές μεταβολές των τάσεων και των παραμορφώσεων.

3.2.2.3 ΒΑΣΙΚΑ ΑΙΤΙΑ ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΕ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΠΡΑΝΩΝ

Οι κατολισθήσεις οφείλονται στην επίδραση του ίδιου βάρους του εδάφους, στην ενέργεια των δυνάμεων ροής, στις σεισμικές δονήσεις ή σε άλλες εξωτερικές δυνάμεις καταπονήσεις, στην μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού, στην μεταβολή της γεωμετρίας του πρανούς και σε άλλες δευτερεύουσες αιτίες όπως είναι π.χ. οι κλιματικές αλλαγές. Συχνά η κατολίσθηση οφείλεται σε έναν συνδυασμό των πιο πάνω επί μέρους αιτιών.

Είναι απαραίτητο να ανευρεθούν οι αιτίες που προκαλούν τις κατολισθήσεις για να αναζητηθεί ο πιο κατάλληλος τρόπος ανάσχεσής τους. Η αναζήτηση των

αιτιών μπορεί να είναι δαπανηρή, χωρίς να οδηγήσει υποχρεωτικά στην εξήγηση του φαινομένου. Το πρόβλημα της αναζήτησης των αιτιών πρέπει να αντιμετωπίζεται με σύστημα και σε συνεργασία, αν αυτό απαιτηθεί, με ειδικευμένους γεωλόγους. Οι κυριότερες αιτίες που προκαλούν κατολισθήσεις είναι:

- Ίδιο βάρος και σεισμικές δυνάμεις.
- Δυνάμεις ροής.
- Η μεταβολή της γεωμετρικής μορφής του πρανούς.

3.2.2.4 ΜΕΤΡΑ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗΣ Η ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Αν υπάρχει κίνδυνος για την ευστάθεια ενός πρανού ή έχει συμβεί ήδη μια κατολίσθηση, μετά από τις έρευνες και τις αναλύσεις, έρχονται οι προτάσεις για τα μέτρα που πρέπει να παρθούν ώστε να αυξηθεί η ασφάλεια ενός επιρρεπούς σε παρόμοιες κινήσεις πρανού ή να αποκατασταθεί και να εξασφαλιστεί ένα πρανές όπου σημειώθηκε κατολίσθηση.

Μια λύση του προβλήματος είναι η κατάργησή του. Για παράδειγμα, σε κατολίσθηση σε πρανές οδοποιίας θα μπορούσε να αλλάξει η χάραξη και να απομακρυνθεί ο δρόμος τόσο που να μην επηρεάζεται ή θα μπορούσε να «καταργηθεί» το πρανές αν διαπιστωθεί η αστάθειά του και να γίνει σήραγγα στην επικίνδυνη περιοχή αντί για εκσκαφή. Ειδικά δε στην οδοποιία μια όχι ασυνήθιστη λύση είναι η σήραγγα τύπου cut and cover όπου αφού έχει γίνει μια πρόχειρη εκσκαφή (τμηματική ή με αντιστήριξη κλπ.) κατασκευάζεται σήραγγα και επανεπιχώνεται από πάνω με τα προϊόντα της εκσκαφής ώστε να αποκατασταθεί η ευστάθεια του πρανούς.

Αργιλικά πρανή.

Για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των κατολισθήσεων είναι απαραίτητο να γίνεται όσο το δυνατόν καλύτερα η διερεύνηση των αιτιών που τις προκαλούν, αλλιώς υπάρχει κίνδυνος τα προτεινόμενα μέτρα να επιδεινώσουν την κατάσταση.

- Αν η κατολίσθηση οφείλεται στην ενέργεια του νερού πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για να απομακρυνθεί το νερό, που βρίσκεται μέσα στη ζώνη, ή για να εμποδιστεί η εισροή νέων ποσοτήτων νερού.
- Όταν η κατολίσθηση οφείλεται στην είσοδο μέσα στο έδαφος των νερών της βροχής από τις επιφανειακές ρωγμές, το καλύτερο μέτρο είναι το σφράγισμα αυτών. Γίνεται συνήθως με τη μορφή τσιμεντενέσεων. Πάντως πρέπει να δίνεται η προσοχή που χρειάζεται στον προσδιορισμό της πίεσης

των ενέσεων για να αποφευχθεί ο πρόσθετος κίνδυνος κατολίσθησης που θα οφειλόταν στις πιέσεις αυτές.

Στα αργιλικά εδάφη η αντοχή εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την συνοχή. Η συνοχή μπορεί να μειωθεί για μία από τις εξής αιτίες:

- Από την ευαισθησία της. Μια εξωτερική δυναμική επιπόνηση μπορεί να προκαλέσει μεγάλη πτώση της αντοχής.
- Εξαιτίας της αύξησης της περιεκτικότητας σε νερό που μειώνει όπως είναι γνωστό την αντοχή.
- Εξαιτίας του ερυσμού. Όταν η άργιλος παρουσιάζει παραμόρφωση πέρα από μια ορισμένη τιμή, χάνει ένα μεγάλο μέρος από την αντοχή της. Για μια κανονική στερεοποιημένη άργιλο το φαινόμενο είναι λιγότερο έντονο.
- Εξαιτίας της συνεχούς ρηγματώσεως των επιφανειακών στρωμάτων με την επίδραση συνήθως των κλιματικών μεταβολών αλλά και για άλλους λόγους. Οι ρηγματώσεις αυτές μειώνουν το μήκος της καμπύλης θραύσης και κατά συνέπεια και την τιμή των δυνάμεων συνοχής που εμποδίζουν τις κατολισθήσεις. Στην Ελλάδα παρατηρούνται συχνά τέτοιου είδους ρηγματώσεις που πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη γιατί ενδέχεται να αποτελούν προειδοποιητικά στοιχεία.

Συνήθη μέτρα αντιμετώπισης του προβλήματος αστοχίας είναι η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης στη βάση των πρανών με ή χωρίς αγκυρώσεις μέσα στο στέρεο έδαφος. Χωρίς αγκύρωση η αποτελεσματικότητα των τοίχων είναι μικρή επειδή η αντοχή τους δεν είναι στην κλίμακα του φαινομένου και υπάρχει κίνδυνος μετατόπισής τους.

Αν οι αγκυρώσεις εκτελεστούν κατάλληλα και ιδιαίτερα αν γίνουν με την τεχνική της προέντασης τα αποτελέσματα θα είναι ικανοποιητικά. Πρέπει όμως να εξετάζεται το πρόβλημα της διατήρησης των δυνάμεων αγκύρωσης σε όλη τη διάρκεια του έργου. Αγκυρώσεις χωρίς τοίχο που να επιτρέπει την καλή κατανομή των αντιδράσεων στο έδαφος, έχουν μικρή αποτελεσματικότητα. Αντί για τοίχο είναι δυνατόν να εκτελούνται εσχάρες από δοκούς οπλισμένου σκυροδέματος κατά μήκος του πρανού.

Σε ορισμένες περιπτώσεις βέβαια η ανάσχεση πραγματοποιείται με την τοποθέτηση μεγάλου αριθμού πασσάλων στη ζώνη της βάσης του πρανού. Οι πάσσαλοι αυτοί θα πρέπει να κατεβαίνουν κάτω από την πιθανή ζώνη κατολίσθησης και να έχουν την απαιτούμενη αντοχή για να αντισταθούν στις πιθανές ωθήσεις που μεταφέρει η μάζα του εδάφους.

Οι πάσσαλοι είναι από ξύλο, από χάλυβα ή από οπλισμένο σκυρόδεμα. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν μικρο-πάσσαλοι από σκυρόδεμα διαστάσεων λίγων εκατοστών που τοποθετούνται σε όλη την επιφάνεια του πρανού σε απόσταση 2 μέτρων περίπου μεταξύ τους. Μια ακόμα πιο απλή λύση είναι η κατασκευή ενός βοηθητικού αναχώματος στη βάση του πρανού.

Βραχώδη πρανή.

Όταν ο κίνδυνος περιορίζεται στην πτώση μεμονωμένων βράχων εφαρμόζονται οι εξής απλές λύσεις:

- Κατασκευάζεται στην βάση του πρανού και σε μια σχετική απόσταση ένα διάφραγμα από σκυρόδεμα ή άλλα υλικά με τρόπο που τα προϊόντα των ολισθήσεων να πέφτουν πίσω από το διάφραγμα. Σε ορισμένες περιπτώσεις αρκεί να προβλεφθεί μια ζώνη ασφαλείας μεταξύ της οδού και της βάσης του πρανού.
- Τοποθετείται ένα μεταλλικό πλέγμα που οδηγεί τους βράχους μικρών διαστάσεων προς τον πόδα. Το πλέγμα αγκυρώνεται στην κορυφή και είναι ανοιχτό στη βάση.
- Τέλος μια απλή λύση, που χρησιμοποιείται ευρέως στην χώρα μας και αποσκοπεί στην αύξηση της προσοχής των πολιτών είναι και η τοποθέτηση απλής πινακίδας με την φράση: «Προσοχή πτώση βράχων».

Για πιο σημαντικές κατολισθήσεις χρησιμοποιούνται τα εξής μέτρα:

- Γίνονται αγκυρώσεις μέσα στο βράχο. Οι αγκυρώσεις μπορεί να είναι απλές ή προεντεταμένες, οριζόντιες ή με κλίση προς τα κάτω. Συνοδεύονται συχνά με την κατασκευή πέδιλου αγκύρωσης.
- Ενίσχυση του βράχου με βοηθητικά μέτρα αντιστήριξης, με προστασία της επιφάνειας με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα οπλισμένο με ένα μεταλλικό πλέγμα ή με την κατασκευή προστατευτικής στοάς.
- Στεγανή επένδυση του εδάφους πάνω από το πρανές για να εμποδιστούν οι διηθήσεις των νερών της βροχής.
- Τέλος δεν πρέπει να αποκλείεται και η προκαταβολική αφαίρεση επικίνδυνου τμήματος του βραχώδους εδάφους με τη βοήθεια εκρηκτικών υλών ή και μετατόπιση της οδού.

Στην περίπτωση που πρέπει να αυξηθεί η κλίση των πρανών και όταν απαιτείται ειδική προστασία της επιφάνειάς τους από την ενέργεια κυματισμών, των όμβριων υδάτων, του ανέμου ή και άλλων παραγόντων, μπορεί να προβλεφθεί και επένδυση πρανού. Η επένδυση αυτή μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους: Με λιθοδομή, με μπετόν ή ασφαλτο με συρματοκιβώτια (σαρζενέτια).

Προφανώς δεν είναι δυνατό να ελέγχονται όλα τα φυσικά και τεχνητά πρανή που υπάρχουν. Αλλά αν δημιουργηθούν υποψίες ότι υπάρχει κίνδυνος κατολίσθησης ενός ορισμένου πρανού είναι καλό να ελέγχεται γιατί πριν από την κατολίσθηση οι κινήσεις του εδάφους αυξάνονται και μπορεί να προβλεφθεί σε κάποιο βαθμό η κατολίσθηση.

Ο πιο συστηματικός έλεγχος της κλίσης των πρανών μπορεί να γίνει σε όλες τις περιπτώσεις, με την εφαρμογή της μεθόδου του Fellenius, οπότε λαμβάνονται

υπόψη όλα τα δεδομένα του προβλήματος (γωνία τριβής και συνοχή εδάφους, ύψος πρανούς, συνθήκες ροής).

3.2.3 ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΙΣ

3.2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Όταν το έδαφος δεν είναι οριζόντιο, η συνιστώσα του βάρους κατά τη διεύθυνση της κλίσης τείνει να το μετακινήσει προς τα κάτω. Η κατάσταση αυτή απαντάται σε φυσικά πρανή και εκσκαφές για την κατασκευή αγωγών, υπόγειων κατασκευών, ορυγμάτων συγκοινωνιακών έργων κλπ. Σε πολλές από τις περιπτώσεις αυτές στις οποίες η ασφάλεια των εδαφικών μαζών έναντι μετακινήσεων είναι ανεπαρκής (δηλαδή υπάρχει κίνδυνος αστοχίας), τα πρανή και οι εκσκαφές πρέπει να αντιστηριχθούν με την κατασκευή κάποιου τεχνικού έργου. Τοίχοι αντιστήριξης που λειτουργούν με το βάρος τους (τοίχοι βαρύτητας) και εύκαμπτοι τοίχοι από οπλισμένο σκυρόδεμα, συχνά σε συνδυασμό με συστήματα αγκύρωσης, είναι οι κατασκευές που χρησιμοποιούνται για την αντιστήριξη φυσικών πρανών και εκσκαφών.

3.2.3.2 ΤΟΙΧΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Οι τοίχοι αντιστήριξης του εδάφους αποτελούν τις πιο κοινές εφαρμογές της Εδαφομηχανικής. Εξάλλου και πολύ πριν τεθούν οι βάσεις της μηχανικής του εδάφους, κατασκευάζονταν τοίχοι, πολλοί από τους οποίους διατηρούνται ακόμα και σήμερα.

Από τα σημαντικότερα συμπεράσματα της Εδαφομηχανικής είναι ότι το έδαφος δεν μπορεί να παραμείνει κατακόρυφο όταν δεν παρουσιάζει συνοχή, και όταν υπάρχει συνοχή το ύψος της κατακόρυφης εκσκαφής είναι περιορισμένο. Πρακτικά η τιμή του ύψους αυτού είναι της τάξεως των 4-5 μέτρων. Όταν λοιπόν το ύψος είναι μεγαλύτερο, ή όταν το έδαφος δεν παρουσιάζει συνοχή, πρέπει να τοποθετείται ένας τοίχος που να συγκρατεί το έδαφος κατακόρυφο και να ισορροπεί τις δυνάμεις που ονομάζονται ωθήσεις του εδάφους ή ακριβέστερα ενεργές ωθήσεις.

Η συνοχή επιτρέπει στο έδαφος να στέκεται κατακόρυφο χωρίς καμία αντιστήριξη αλλά η τιμή της δεν είναι γνωστή με μεγάλη ακρίβεια και μπορεί να μεταβάλλεται χρονικά. Για αυτό κατά γενικό κανόνα όταν πρόκειται για μόνιμες

κατασκευές τοποθετείται τοίχος αντιστήριξης. Αντίθετα για προσωρινές κατασκευές έστω και αν η συνοχή δεν είναι εξασφαλισμένη, οι εκσκαφές μπορεί να παραμείνουν κατακόρυφες όταν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα.

Οι διάφοροι τοίχοι αντιστήριξης εξετάζονται σε συνάρτηση με το υλικό κατασκευής τους. Οι τοίχοι αντιστήριξης επομένως κατασκευάζονται συνήθως από τα εξής υλικά: λιθοδομή, απλό σκυρόδεμα, οπλισμένο σκυρόδεμα, μέταλλο. Σε σπάνιες περιπτώσεις κατασκευάζονται οριστικοί τοίχοι ξύλινοι, συνήθως όμως το ξύλο χρησιμοποιείται για προσωρινές κατασκευές. Υπάρχουν παραδείγματα τοίχων από προεντεταμένο σκυρόδεμα αλλά πρόκειται μάλλον για τοίχους οπλισμένου ή μη σκυροδέματος στους οποίους έχουν προστεθεί φορτία με καλώδια προέντασης. Συναντάμε και λύσεις που συνδυάζουν δύο ή περισσότερα υλικά και πρηνή από λιθορριπή. Τα τελευταία χρόνια άρχισαν να κατασκευάζονται και τοίχοι από οπλισμένο έδαφος, οι οποίοι αντιμετωπίζονται με διαφορετικό τρόπο από τους άλλους τοίχους.

Τοίχοι από Λιθοδομή

Αποτελούνται σε όλο το πάχος τους από λιθοδομή ή έχουν μόνο επένδυση από πέτρα με εσωτερικό από απλό σκυρόδεμα. Υπάρχουν επίσης και τοίχοι από πλινθοδομή. Οι τοίχοι αυτοί ήταν οι μόνοι που κατασκευάζονταν μέχρι να εμφανιστεί το σκυρόδεμα και είναι φυσικό να υπάρχουν ακόμα πολλά παραδείγματα εφαρμογής τους. Σήμερα όμως η χρήση τους είναι περιορισμένη και γίνεται μόνο στις εξής περιπτώσεις:

- Όταν πρόκειται για έργα δευτερευούσης σημασίας για τα οποία δεν δικαιολογείται η εγκατάσταση εργοταξιακού σκυροδέματος.
- Όταν το ύψος του τοίχου δεν είναι μεγαλύτερο από 3-4 μέτρα.
- Όταν το έδαφος είναι βραχώδες και δεν προκαλεί μεγάλες ωθήσεις.

Τοίχοι από απλό σκυρόδεμα

Οι τοίχοι αυτοί έχουν τραπεζοειδή διατομή. Το πάχος στην κορυφή είναι της τάξης των 30-50 εκατ. Στη βάση το πλάτος εξαρτάται από τις ωθήσεις. Συνήθως η τιμή του κυμαίνεται στα 40-50% του θεωρητικού ύψους H. Οι τιμές αυτές τις βάσης οδηγούν ενδεχομένως σε τάσεις εφελκυσμού του σκυροδέματος στην εσωτερική παρειά. Αν οι τάσεις αυτές δεν είναι μεγαλύτερες από 4 kgf/cm², δεν χρειάζεται να προστεθεί οπλισμός. Αν όμως έχουν μεγαλύτερες τιμές, πρέπει να οπλίζεται ελαφρά ο τοίχος. Ο οπλισμός δεν χρειάζεται για να παραλάβει το σύνολο των τάσεων εφελκυσμού, αλλά για να επιτρέψει την αύξηση της αντοχής στην ρηγμάτωση του σκυροδέματος. Η αντοχή στον εφελκυσμό του σκυροδέματος λαμβάνεται υπόψη κατ' εξαίρεση στην περίπτωση των τοίχων,

διότι οι τοίχοι δέχονται σταθερά φορτία γιατί δεν υπάρχουν κλιματικές μεταβολές που να αποτελούν την κύρια αιτία ρηγματώσεως.

Οι τοίχοι αντιστήριξης από απλό σκυρόδεμα είναι σημαντικοί και ενδιαφέροντες για ύψη μικρότερα από 3-4 μέτρα. Απαιτούνται σχετικά μεγάλες ποσότητες από σκυρόδεμα, αλλά αποφεύγεται ο οπλισμός και η κατασκευή είναι απλή. Ιδιαίτερα ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση τοίχων με μεταβλητό ύψος. Οι τοίχοι αυτοί παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στις κρούσεις και στις καιρικές μεταβολές. Για τους λόγους αυτούς τους προτιμούμε για τα λιμενικά έργα.

Όταν ο τοίχος είναι σε συνεχή επαφή με μία τουλάχιστον επιφάνειά του με το νερό, δημιουργείται κίνδυνος οξειδώσεως του οπλισμού και καταστροφής του οπλισμένου σκυροδέματος. Είναι συνεπώς προτιμότερο να αποφεύγεται η χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος στις περιπτώσεις αυτές και εξηγείται έτσι το ενδιαφέρον των λύσεων απλού σκυροδέματος.

Και για μεγαλύτερο όμως ύψος μπορεί να βρεθεί οικονομική λύση τοίχου από απλό σκυρόδεμα. Το ενδιαφέρον των λύσεων αυτών δεν οφείλεται πλέον στην απλοποίηση της εκτελέσεως, γιατί οι διατομές του τοίχου παύουν να είναι απλές και ομοιόμορφες, αλλά στο ότι αποφεύγεται ο οπλισμός του σκυροδέματος. Οι μορφές των τοίχων απλού σκυροδέματος μεγάλου ύψους είναι ανάλογες με αυτές που χρησιμοποιούνται για τα φράγματα και η σχεδιάσή τους βασίζεται στις εξής αρχές:

- Αφαιρούνται τα μέρη των διατομών που δεν είναι απαραίτητα για την αντοχή του τοίχου.
- Δίνονται στον τοίχο μορφές που αντιστοιχούν στις σχοινοκαμπύλες των ωθήσεων των φορτίων.
- Δίνονται κατάλληλες κλίσεις στην επιφάνεια του τοίχου σε επαφή με το έδαφος έτσι που να μειώνονται όσο γίνεται περισσότερο οι ωθήσεις του εδάφους.

Η κυριότερη δυσκολία εκτελέσεως των τοίχων αυτών οφείλεται στους ξυλότυπους και συνεπώς παρουσιάζει ενδιαφέρον η προκατασκευή. Τα προκατασκευασμένα στοιχεία έχουν συνήθως μεγάλες διαστάσεις και η τοποθέτησή τους απαιτεί ακρίβεια και καλό εξοπλισμό εργοταξίου.

Τοίχοι από οπλισμένο σκυρόδεμα

Το πιο συνηθισμένο υλικό για την κατασκευή των τοίχων αντιστήριξης είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα.

Για μικρά ύψη μέχρι 3-4 μέτρα, ο τοίχος αποτελείται από απλή κατακόρυφη πλάκα, πακτωμένη σε οριζόντιο πέδιλο. Το πάχος των πλακών είναι σταθερό ή

μεταβλητό. Το πάχος στην κορυφή θα πρέπει να επιτρέπει την εύκολη τοποθέτηση του σκυροδέματος (συνήθως κυμαίνεται από 0.16 έως 0.20 μέτρα).

Ο οπλισμός του τοίχου είναι απλός. Πρέπει να οπλίζεται κατακόρυφα η πίσω πλευρά του τοίχου και στο πέδιλο, η κάτω πλευρά μπροστά και η επάνω πίσω. Στις εξωτερικές πλευρές του τοίχου τοποθετείται συχνά ένας μικρός οπλισμός για να αποφεύγονται ρωγμές από τις θερμικές παραμορφώσεις του σκυροδέματος. Στα πέδιλα πρέπει να τοποθετείται οπλισμός πακτώσεως του τοίχου. Είναι καλύτερα να μπαίνουν οι ράβδοι με όλο τους το ύψος και όχι να τοποθετούνται απλές αναμονές. Για αυτό θα πρέπει η διάμετρος να εκλέγεται ώστε να μπορεί η ράβδος να σταθεί κατακόρυφα σε όλο το ύψος του τοίχου ώσπου να τοποθετηθούν οι ξυλότυποι. Κατά κανόνα μόνο το 1/3 των ράβδων έχει το ολικό ύψος ενός τοίχου.

Για ύψη μεγαλύτερα από 3-4 μέτρα είναι προτιμότερο για λόγους οικονομικούς να προστίθενται αντηρίδες στον τοίχο. Ο τοίχος παίρνει έτσι άλλη μορφή και συμπεριφέρεται με διαφορετικό τρόπο απ' ότι οι τοίχοι που αναφέραμε πιο πάνω.

Οι αντηρίδες παραλαμβάνουν όλες τις ροπές και τις μεταφέρουν, λειτουργώντας σαν πρόβολοι στο πέδιλο. Το πάχος τους είναι σταθερό και προσδιορίζεται με τρόπο που να μπορεί να παραλάβει εύκολα τον κατακόρυφο οπλισμό, που είναι άλλωστε εξίσου σημαντικός αφού η αντηρίδα δέχεται το σύνολο των ωθήσεων του τοίχου. Η απόστασή τους είναι συνήθως ίση με 2-4 μέτρα.

Όταν το έδαφος είναι κακής ποιότητας η θεμελίωση γίνεται με πασσάλους κατακόρυφους και λοξούς που χρειάζονται για την ισορρόπηση των οριζόντιων δυνάμεων. Σε αυτήν την περίπτωση το πέδιλο τοποθετείται στο εσωτερικό του τοίχου. Έτσι οι πάσσαλοι βρίσκονται κάτω από τις αντηρίδες και δεν δημιουργούνται ροπές κάμψης στα πέδιλα.

Για τοίχους με μεγαλύτερο ύψος μπορούν ακόμα να δοθούν λύσεις που δίνονται στα φράγματα. Στις περιπτώσεις αυτές η εσωτερική πλευρά του τοίχου μπορεί να έχει μορφή επίπεδη ή ακόμα και κυλινδρική. Στην τελευταία περίπτωση το πάχος είναι πολύ μικρό μέχρι τα 15 εκατ. Οι τοίχοι κατασκευάζονται επί τόπου ή προκατασκευάζονται μερικά ή στο σύνολό τους. Για μεγαλύτερα κατασκευαστικά ύψη ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι λύσεις που εμπνέονται από τα αντηριδωτά φράγματα.

Τοίχοι από προεντεταμένο σκυρόδεμα.

Η προένταση πρέπει να αποφεύγεται όταν υπάρχει η λύση του οπλισμένου σκυροδέματος. Κατά κανόνα λοιπόν δεν χρησιμοποιείται το προεντεταμένο σκυρόδεμα για τις αντιστηρίξεις. Οι μόνες περιπτώσεις εφαρμογής της προέντασης είναι οι εξής:

- Όταν πρέπει να αυξηθεί το ύψος ενός τοίχου που ήδη υπάρχει χωρίς να είναι δυνατή η αύξηση του πάχους του στη βάση. Τότε η ανύψωση της στάθμης του εδάφους ή της επιφάνειας του ύδατος οδηγεί σε σημαντική αύξηση των ωθήσεων. Για να ισορροπήσει το σύστημα με τις νέες ροπές πρέπει να προστεθεί στο βάρος του τοίχου μια κατακόρυφη δύναμη F . Η δύναμη αυτή δημιουργείται με την προένταση των καλωδίων. Πρόκειται λοιπόν πιο πολύ για πρόσθετη φόρτιση παρά για προένταση. Η ενίσχυση του τοίχου με τον τρόπο αυτόν προϋποθέτει την ύπαρξη εδάφους κατάλληλου για την αγκύρωση του καλωδίου καθώς και τοίχο καλής αντοχής για να μπορεί να παραλάβει τις συμπληρωματικές τάσεις προέντασης. Η τεχνική αυτή εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στο φράγμα CHEURFAS στην Αλγερία (1936). Με ανάλογο τρόπο χρησιμοποιείται η προένταση όταν αντί να αυξηθεί το ύψος του τοίχου, πρέπει να, μειωθεί το πάχος του.
- Όταν ο τοίχος αποτελείται από προκατασκευασμένα στοιχεία που πρέπει να συνδεθούν επί τόπου. Η προένταση στην περίπτωση αυτή χρειάζεται μόνο για την σύνδεση. Η σύνδεση αυτή μπορεί να γίνει και με άλλους τρόπους: με ράβδους αναμονής, με συγκόλληση κλπ, αλλά η προένταση είναι ίσως η καλύτερη λύση.

Μεταλλικοί τοίχοι

Πρόκειται κυρίως για λύσεις με πασσαλοσανίδες που χρησιμοποιούνται με διάφορους τρόπους.

Στην Ελλάδα η λύση δεν είναι συνηθισμένη γιατί επικρατεί η εντύπωση ότι οι πασσαλοσανίδες είναι δαπανηρές. Είναι όμως βέβαιο ότι σε πολλές περιπτώσεις και ειδικότερα στα λιμενικά και υδραυλικά έργα είναι οικονομικά ενδιαφέρουσες ακόμη και για τις Ελληνικές συνθήκες.

Μεταλλικοί τοίχοι μπορούν να κατασκευασθούν και με τυποποιημένα στοιχεία όπως π.χ. τα στοιχεία Armcο (Ohio U.S.A. 1958). Στην περίπτωση αυτή οι ορθογωνικοί σκελετοί γεμίζουν με χώμα. Ο τύπος αυτός του τοίχου μπορεί να κατασκευαστεί και με ξύλινα στοιχεία. Παρουσιάζει ενδιαφέρον για περιοχές απομακρυσμένες, όπου δεν είναι εύκολο να εγκατασταθεί εργοτάξιο και να βρεθούν ειδικευμένοι εργάτες.

Τοίχοι από οπλισμένο έδαφος

Το οπλισμένο έδαφος είναι ένα προϊόν σχετικά πρόσφατης τεχνολογίας που εφαρμόστηκε από τον M.H.Vidal το 1965. Χάρη στις δυνάμεις συνδέσεως που αναπτύσσονται ανάμεσα στους οπλισμούς και στα χώματα, είναι ένα έδαφος με εντελώς καινούριες ιδιότητες. Το υλικό αυτό είναι βαρύ, ανθεκτικό, φθινό και

ακόμη εύκαμπτο και εύκολο στην κατασκευή. Αν το ύψος του έργου είναι μεγαλύτερο από 5 μ, η λύση αυτή μπορεί να είναι πολύ συμφέρουσα.

Το μεγάλο ενδιαφέρον του υλικού φάνηκε από πολλά έργα που έγιναν στην Γαλλία, Αμερική και αλλού, εδώ και αρκετά χρόνια και ιδιαίτερα στην περίπτωση των συμπιεστών εδαφών, γιατί το οπλισμένο έδαφος προσαρμόζεται εύκολα στις διάφορες καθιζήσεις.

Ένα έργο από οπλισμένο έδαφος εμφανίζεται σαν μια μάζα που αποτελείται από οριζόντιες στρώσεις εδάφους ανάμεσα στις οποίες τοποθετούνται στρώσεις οπλισμού οι οποίες έχουν γενικά ένα πάχος 25 εκατ.

Οι οπλισμοί είναι συχνά πλατιές μεταλλικές ταινίες, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλοι τύποι (δικτυωτοί οπλισμοί, ράβδοι κτλ) ή και πλαστικά υλικά. Ο οπλισμός πρέπει επίσης, να αντέχει στη διάβρωση, να μπορεί να μεταφέρει σημαντικές τάσεις ελκυσμού και τέλος, να μπορεί να αναπτύξει σημαντική τριβή με το έδαφος.

Για να διαμορφωθεί η εξωτερική όψη του τοίχου χρησιμοποιούνται ελάσματα με μορφή U που αποτελούν το «δέρμα» του τοίχου. Τα πιο συνηθισμένα μοντέλα ελασμάτων για τον σχηματισμό του «δέρματος» είναι από γαλβανισμένο χάλυβα, από αλουμίνιο, ή από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Το «δέρμα» πρέπει να είναι ανθεκτικό, αλλά να επιτρέπει και μερικές μετακινήσεις για την προσαρμογή στην εντατική κατάσταση που δημιουργείται.

Η θραύση ενός έργου από οπλισμένο έδαφος μπορεί να προκληθεί είτε από κακή συμπεριφορά του οπλισμού είτε και από θραύση του οπλισμού εξαιτίας των υπερβολικών εφελκυστικών δυνάμεων.

3.2.4 ΕΠΙΧΩΜΑΤΩΣΕΙΣ

3.2.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Επίχωμα νοείται, γενικά η υπερυψωμένη κατασκευή που δημιουργείται με διάστρωση και συμπύκνωση κατάλληλων εδαφικών υλικών, προϊόντων εκσκαφών ή δανείων, σε στρώσεις πάχους τέτοιου, ώστε με τα μέσα συμπύκνωσης που διατίθενται, να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη συμπύκνωση. Η κατασκευή υλοποιείται σε τμήματα κατάλληλων διαστάσεων, ώστε να μπορεί να γίνει χρήση μηχανικού εξοπλισμού υψηλής απόδοσης.

3.2.4.2 ΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ

Υπό τον όρο οπλισμένα επιχώματα, καλούνται όλα τα επιχώματα πολιτικού μηχανικού (engineering fills), τα οποία περιλαμβάνουν οποιονδήποτε αποδεκτού τύπου οπλισμό, είτε στο σύνολο του ύψους αυτών, είτε τοπικά στην βάση ή την στέψη. Διακρίνονται στα εξής:

- Οπλισμένα επιχώματα με απότομες έως και κατακόρυφες κλίσεις πρανών, η ευστάθεια των οποίων δεν θα μπορούσε να εξασφαλισθεί χωρίς όπλιση. Ως εκ τούτου, πρόκειται για οπλισμένα επιχώματα αντιστήριξης (retaining structures).
- Επιχώματα ήπιας κλίσης πρανών που περιλαμβάνουν όπλιση είτε στην θεμελίωση αυτών, είτε στην στέψη, για λόγους π.χ. ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους ή και αντιμετώπισης διαφορετικών καθιζήσεων σε ειδικές περιπτώσεις.

Για την κατασκευή των οπλισμένων επιχωμάτων, είναι γενικώς κατάλληλα όλα τα γεωυλικά που θεωρούνται κατάλληλα και για τα άοπλα επιχώματα (δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται οργανικά, διογκούμενα ή υδατοδιαλυτά γεωυλικά). Αναλόγως των απαιτήσεων σχεδιασμού και χρήσης των οπλισμένων επιχωμάτων, συνιστώνται κυρίως κοκκώδη ή μικτής κοκκομετρικής διαβάθμισης γεωυλικά. Η μέγιστη διάσταση και η μορφή των κόκκων του υλικού, σε σχέση με την ορυκτολογική σύσταση και την προέλευσή του, εξαρτάται από το είδος των οπλισμών (ώστε να μην καταστρέφονται κατά την τοποθέτησή τους) καθώς και από το καθοριζόμενο μέγιστο πάχος στρώσης του υλικού προς συμπίκνωση. Τα ηλεκτροχημικά χαρακτηριστικά των γεωυλικών (pH, ηλεκτρική αγωγιμότητα, χλωροϊόντα και θειικά) πρέπει να βρίσκονται εντός ανεκτών ορίων εφόσον οι οπλισμοί είναι χαλύβδινοι. Για πολυμερικής σύστασης οπλισμούς, αρκεί ο βαθμός οξύτητας pH να μη λαμβάνει ιδιαίτερα ακραίες τιμές (εξαρτώνται από τις προδιαγραφές του υλικού του οπλισμού).

Οι οπλισμοί που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι είτε οι χαλύβδινοι (χαλύβδινες λωρίδες, ράβδοι, χαλύβδινα πλέγματα), είτε από πολυμερικά υλικά (πολυμερικές λωρίδες, πολυμερικά γεωπλέγματα ή φύλλα). Οπλισμοί από ίνες (fiber, carbon) έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί ερευνητικά σε προσωρινές κατασκευές.

Η τοποθέτησή τους γίνεται συνηθέστατα σε διαδοχικά οριζόντια επίπεδα κατά την ανέγερση του επιχώματος και συνδέονται με το σύστημα επένδυσης της παρειάς. Σε περίπτωση χρήσης πολυμερικού τύπου οπλισμών, ακολουθεί ελαφρά τάνυση και προσωρινή στερέωση του πίσω άκρου τους επί της εκάστοτε συμπυκνωμένης επιφάνειας επίχωσης, πριν την τοποθέτηση και την διάστρωση της επόμενης στρώσης υλικού επιχώματος.

Στη συνέχεια παρατίθενται ορισμένες συνήθειες εφαρμογές και χρήσεις των οπλισμένων επιχώματων.

3.2.4.3 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

- Κυκλοφορούμενα επιχώματα, σε αντικατάσταση τοίχων αντιστήριξης στέψης ή ποδός, όταν δεν διατίθεται το απαιτούμενο πλάτος για την εφαρμογή των ήπιων κλίσεων πρανών που απαιτούν τα άοπλα επιχώματα (π.χ. νέα επιχώματα ή επιχώματα διαπλάτυνσης υφιστάμενων οδών σε περιορισμένο διατιθέμενο εύρος κατάληψης).
- Κυκλοφορούμενα επιχώματα, σε αντικατάσταση έργων γεφύρωσης ή υψηλών τοίχων ποδός, σε περίπτωση ισχυρής εγκάρσιας κλίσης φυσικού εδάφους (π.χ. σε περίπτωση που είναι πρακτικά γεωμετρικώς ανέφικτη η εφαρμογή των ήπιων κλίσεων πρανών που απαιτούν τα άοπλα επιχώματα).
- Επιχώματα ακροβάθρων γεφυρών, είτε σε αντικατάσταση των τοίχων αντεπιστροφής, είτε και σε αντικατάσταση των ίδιων των βάθρων.
- Κυκλοφορούμενα επιχώματα ήπιας κλίσης πρανών, με οπλισμό στην στέψη, στη βάση σε περιπτώσεις ανάγκης ενίσχυσης της φέρουσας ικανότητας του υπεδάφους ή ομογενοποίησης των συνθηκών έδρασης για αποφυγή διαφορικών καθιζήσεων.
- Κυκλοφορούμενα επιχώματα ήπιας κλίσης πρανών, με οπλισμό υπό την στάθμη έδρασης του οδοστρώματος σε περίπτωση χρήσης υλικού σώματος του επιχώματος που δύναται να παρουσιάσει παραμορφώσεις με το χρόνο, π.χ. λόγω παγοπληξίας ή και έντονων μεταβολών υγρασίας.
- Ηχητικά φράγματα: Ηχοπλάσματα με επιχώματα απότομης κλίσης, συνήθως με χρήση φυτεύσιμων σπονδυλωτών δόμων ως σύστημα επένδυσης.

3.2.4.4 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Δημιουργία επίπεδων χώρων (αύλειων, αναληματικών βαθμιδωτών κατασκευών) έναντι κατασκευής κλασσικών τοίχων στέψης εξοπλισμένου σκυροδέματος.

3.2.4.5 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ ΩΣ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ ΑΠΟΤΟΜΩΝ ΑΣΤΑΘΩΝ ΚΛΙΣΕΩΝ ΦΥΣΙΚΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ Η/ΚΑΙ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ

Οπλισμένα αντίβαρα απότομης κλίσης σε κατολισθαίνουσες ή επικίνδυνες προς κατολίπηση περιοχές, με δημιουργία τεχνητής βαθμίδας στη στέψη του επιχώματος, η οποία παρέχει πρόσθετη παθητική προστασία στον κατάντη χώρο.

3.2.4.6 ΚΡΗΠΙΔΩΜΑΤΑ, ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΕΙΣ ΥΔΑΤΟΡΕΥΜΑΤΩΝ

- Οπλισμένα κατακόρυφα κρηπιδώματα σε λιμενικά έργα.
- Οπλισμένες απότομης κλίσης επενδύσεις όχθων υδατορευμάτων.

3.2.4.7 ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ

Η χρήση του γεωαφρού EPS σε τοίχους αντιστήριξης και κρηπιδοτοίχους έργων κτιριακών, λιμενικών, οδοποιίας, γεφυροποιίας κλπ είναι ευρύτατα γνωστή τόσο στις Ευρωπαϊκές χώρες (Νορβηγία, Ολλανδία, Γερμανία) όσο και στην Ιαπωνία και στις Η.Π.Α. Η πρώτη εφαρμογή ελαφρών επιχωμάτων με γεωαφρό EPS έγινε το 1972 στη Νορβηγία. Πιο συγκεκριμένα έχουν εκδοθεί και εφαρμόζονται από 40ετίας ειδικοί Κανονισμοί και Προδιαγραφές για τη μελέτη, τον σχεδιασμό και την κατασκευή επιχωμάτων σε αυτοκινητοδρόμους και μεταβατικών επιχωμάτων σε γέφυρες με τη χρήση γεωαφρού EPS.

Το χαμηλό βάρος και η ιδιαίτερη μηχανική του συμπεριφορά καθιστούν το γεωαφρό EPS μια αξιόπιστη λύση για την κατασκευή ελαφρών επιχωμάτων πάνω σε μαλακά / συμπιεστά εδάφη. Ο γεωαφρός EPS ζυγίζει από 0.5% έως 2.5% του βάρους των συμβατικών επιχωμάτων και κατά την εφαρμογή ελαχιστοποιούνται οι εργασίες βελτίωσης του φυσικού εδάφους, ελαχιστοποιούνται τα προβλήματα των καθιζήσεων και μειώνεται το κόστος συντήρησης του έργου.

Η χρήση Γεωαφρού διογκωμένης πολυστερίνης (EPS) για την κατασκευή μεταβατικών επιχωμάτων σε μαλακά και συμπιεστά εδάφη προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, λόγω της ελαχιστοποίησης των επιβαλλόμενων φορτίων στο έδαφος στις εξής περιπτώσεις:

- Τοίχοι με δυνατότητα μετακίνησης (τοίχοι βαρύτητας, εύκαμπτα πετάσματα χωρίς αγκύρωσης, κλπ.)

- Αμετακίνητοι τοίχοι (τοίχοι υπογείων έργων, πτερυγότοιχοι- ακρόβαθρα γεφυρών, κλπ.)



Εικόνα 3.8 Μεταβατικά επιχώματα EPS.

Στη χώρα μας έχουν γίνει ήδη αρκετές και σημαντικές εφαρμογές σε μεγάλα έργα όπως στους τοίχους αντιστήριξης πρανών στην Κακιά Σκάλα, στην γέφυρα του Αυτοκινητοδρόμου ΠΑΘΕ περιοχή Σκάρφεια- Θερμοπύλες κ.α.

Το τεράστιο πλεονέκτημα που προσφέρει η χρήση του γεωαφρού στην κατασκευή μεταβατικών επιχωμάτων σε μεγάλα τεχνικά έργα είναι η μείωση της στατικής επιφόρτισης των επιχωμάτων σε ποσοστά μεγαλύτερα του 20%, καθώς επίσης η μείωση της δυναμικής επιφόρτισης (σεισμικής) σε ποσοστά μεγαλύτερα του 50%.

Ειδικότερα σε έργα γεφυροποιίας και λιμενικά η συνολική αντικατάσταση του εδαφικού υλικού στο μεταβατικό επίχωμα με EPS, είναι δυνατόν να μηδενίσει τις ωθήσεις, γεγονός που οδηγεί σε δραματική υποδιαστασιολόγηση των έργων, ή αντίστοιχα σε επιμήκυνση του χρόνου ζωής σε υφιστάμενα έργα.

Επιπλέον καθιστά βιώσιμα έργα που μελετήθηκαν με παλαιότερους (ευμενέστερους) κανονισμούς, αφού με την αντικατάσταση των μεταβατικών επιχωμάτων με EPS, υπερκαλύπτονται οι νέες απαιτήσεις ασφαλείας.

3.3 ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Η Θεμελίωση μιας κατασκευής ορίζεται ως η «...διεύρυνση των δομικών στοιχείων με σκοπό την απομείωση των τάσεων σε τιμές που είναι αποδεκτές για το έδαφος» [1]. Στις επιφανειακές θεμελιώσεις οι διευρύνσεις αυτές παίρνουν διαφορετικές μορφές (πέδιλα, πεδιλοδοκοί, κοιτοστρώσεις), που εκτείνονται σε μικρό σχετικά βάθος από την επιφάνεια του εδάφους. Εφαρμόζονται στις περιπτώσεις «καλών» εδαφών, δηλαδή εκεί όπου οι τάσεις έδρασης της κατασκευής μπορούν να παραληφθούν από το υπέδαφος που βρίσκεται αμέσως κάτω από αυτήν. Οι βαθιές θεμελιώσεις εφαρμόζονται στις περιπτώσεις που για σημαντικό βάθος κάτω από την κατασκευή υπάρχει πολύ «μαλακό» ή «χαλαρό», δηλαδή μη ανθεκτικό έδαφος, που δεν μπορεί να παραλάβει τάσεις έδρασης της κατασκευής, ενώ δεν είναι δυνατή ή αποδεκτή η βελτίωσή του. Μέσω των βαθιών θεμελιώσεων τα φορτία της κατασκευής είτε μεταφέρονται σε μεγαλύτερο βάθος, όπου υπάρχει ανθεκτικότερο έδαφος, είτε κατανέμονται σε πολύ μεγαλύτερες επιφάνειες, ώστε να μπορέσουν τελικά να παραληφθούν από το έδαφος.

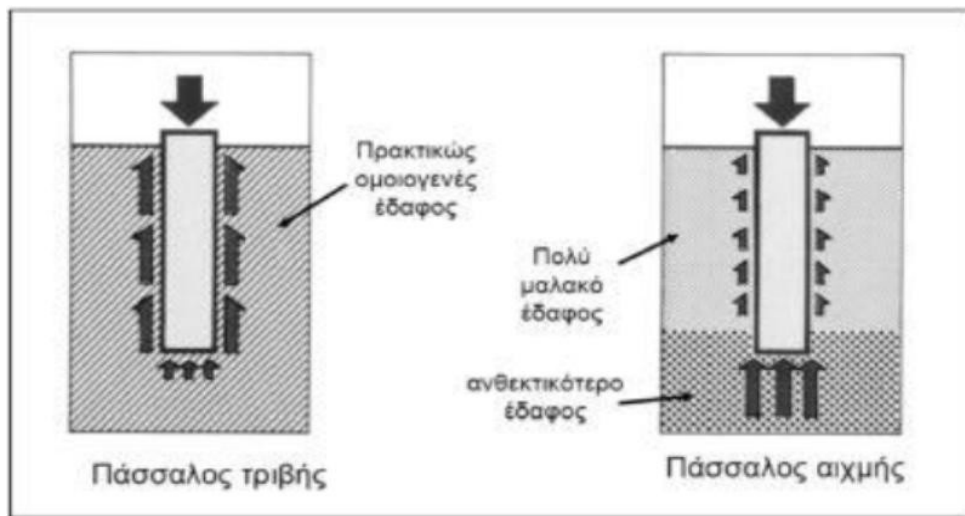
Οι πάσσαλοι θεμελίωσης (foundation piles) είναι η περισσότερο διαδεδομένη μέθοδος βαθιάς θεμελίωσης, λόγω του χαμηλότερου κόστους κατασκευής, σε σχέση με άλλους τύπους βαθιών θεμελιώσεων, αλλά και της δυνατότητας εύκολης προσαρμογής σε μεγάλο εύρος κατασκευών και εδαφών. Πρόκειται για κατακόρυφα στοιχεία μικρής διατομής σε σχέση με τις διαστάσεις των κατασκευών, που κατασκευάζονται με διαφορετικούς τρόπους μέσα στο έδαφος ή μπήγονται σε αυτό, επάνω στα οποία εδράζονται τελικά οι κατασκευές.

Τα φορτία των κατασκευών που θεμελιώνονται επί πασσάλων είτε παραλαμβάνονται μέσω της τριβής των πασσάλων με το έδαφος (πάσσαλοι τριβής) είτε μεταφέρονται από τους πασσάλους, ώστε να παραληφθούν από ανθεκτικότερες στρώσεις σε μεγαλύτερα βάθη (πάσσαλοι αιχμής). Οι μηχανισμοί αυτοί μεταφοράς των φορτίων προς το έδαφος μέσω των πασσάλων φαίνονται στην Εικόνα (3.9)

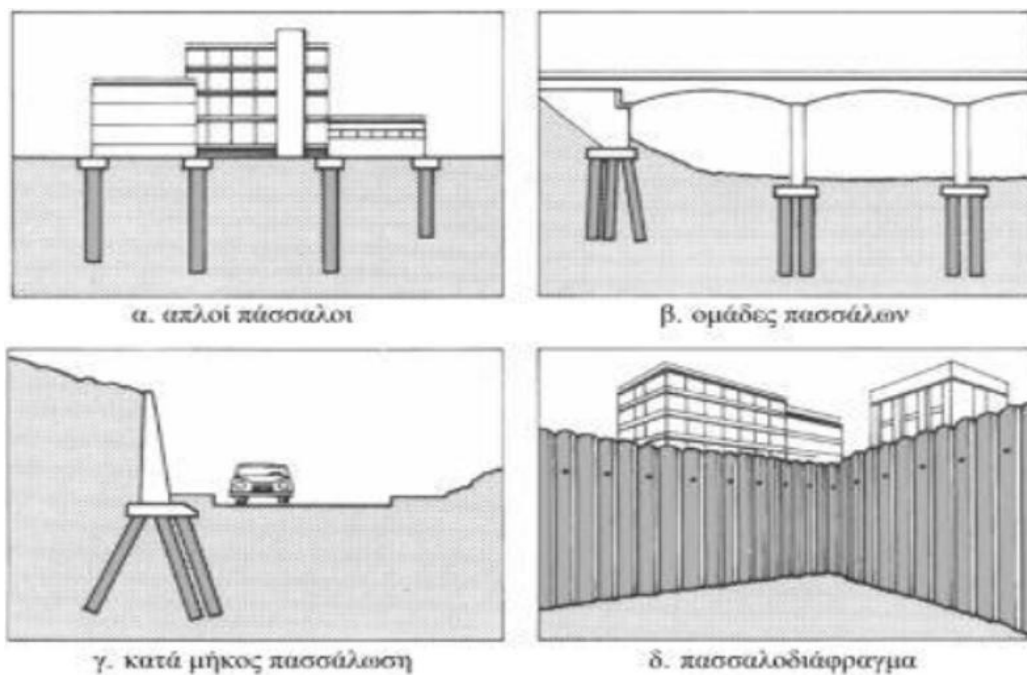
Στην Εικόνα (3.10) φαίνονται τυπικές εφαρμογές των πασσάλων για τη θεμελίωση δομικών κατασκευών. Οι πάσσαλοι διατάσσονται σε κάρναβο, στην περίπτωση θεμελίων κτιρίων (Εικόνα 3.10α), σε ομάδες ή γραμμικά (Εικόνες 3.10β και γ), στην περίπτωση θεμελίων άλλων δομικών κατασκευών. Στην Εικόνα 3.10δ, οι πάσσαλοι δε σχετίζονται άμεσα με τη θεμελίωση της κατασκευής, αλλά κατασκευάζονται για τη συγκράτηση των πρσανών σκάμματος (πασσαλοδιάφραγμα).

Το πόσο διαδεδομένη είναι η χρήση των πασσάλων στις δομικές κατασκευές συνειδητοποιεί κανείς, εάν φέρει στο νου του πόλεις, όπως η Βενετία και το Άμστερνταμ, τα κτίρια των οποίων στο σύνολο τους σχεδόν είναι θεμελιωμένα επί πασσάλων. Μεμονωμένες πασσαλώσεις ακόμη και σε σχετικά ανθεκτικά

εδάφη χρησιμοποιούνται και για τη θεμελίωση πυλώνων, βάθρων, τοίχων αντιστήριξης κ.α.



Εικόνα 3.9 Οι μηχανισμοί μεταφοράς φορτίων προς το έδαφος μέσω των πασσάλων θεμελίωσης [1].



Εικόνα 3.10 Τυπικές εφαρμογές πασσάλων [1].

Οι πάσσαλοι θεμελίωσης μπορούν να διακριθούν σε κατηγορίες όπως παρακάτω [1]:

Πάσσαλοι μεγάλης εκτόπισης.

- Προκατασκευασμένοι –εμπηγνύομενοι πάσσαλοι από ξύλο, οπλισμένο σκυρόδεμα ή κλειστούς χαλύβδινους σωλήνες που μετά την έμπηξη γεμίζουν με σκυρόδεμα.
- Κατασκευασμένοι επιτόπου: κλειστοί χαλύβδινι σωλήνες που μετά την έμπηξη γεμίζονται με σκυρόδεμα. Στη συνέχεια οι σωλήνες αφαιρούνται.

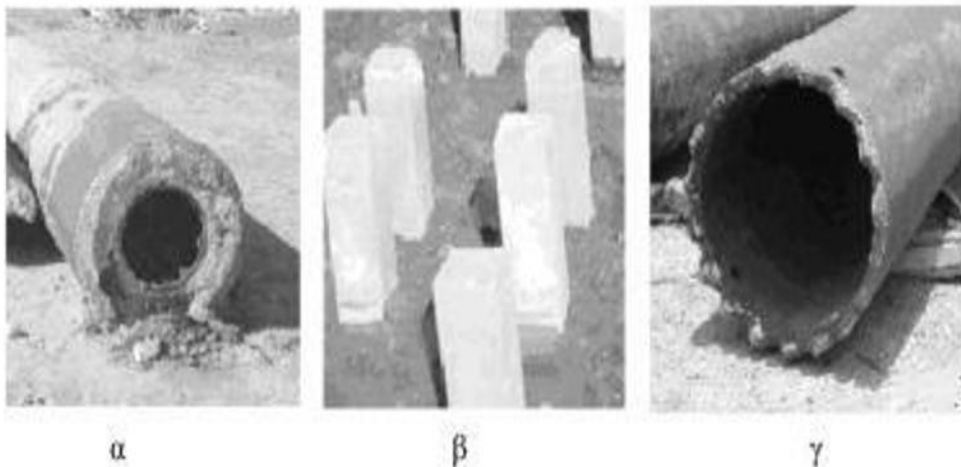
Πάσσαλοι μικρής εκτόπισης.

- Εμπηγνύομενοι ανοιχτοί σωλήνες, διπλά T, πασσαλοσανίδες και άλλες χαλύβδινες διατομές.
- Εμπηγνύομενοι πάσσαλοι που τοποθετούνται σε διατρήματα.

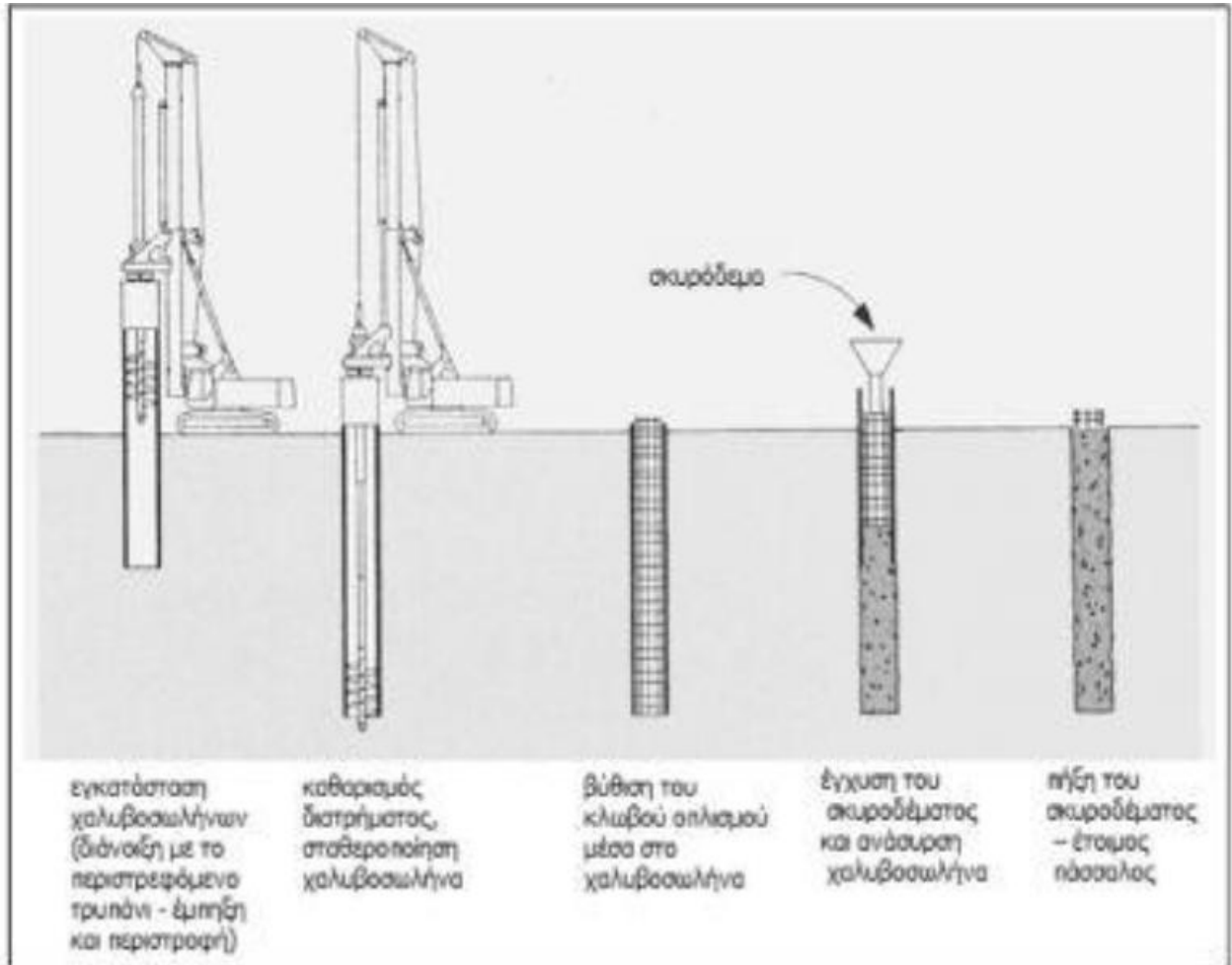
Πάσσαλοι χωρίς εκτόπιση.

- Έγχυτοι πάσσαλοι σε διατρήματα αντιστηριζόμενα με σωληνώσεις ή μπεντονίτη.
- Έγχυτοι πάσσαλοι σε μη αντιστηριζόμενα διατρήματα χωρίς δηλαδή σωλήνωση ή μπεντονίτη (πάσσαλοι με ξηρή διάτρηση ή ελικοειδούς διάτρησης).

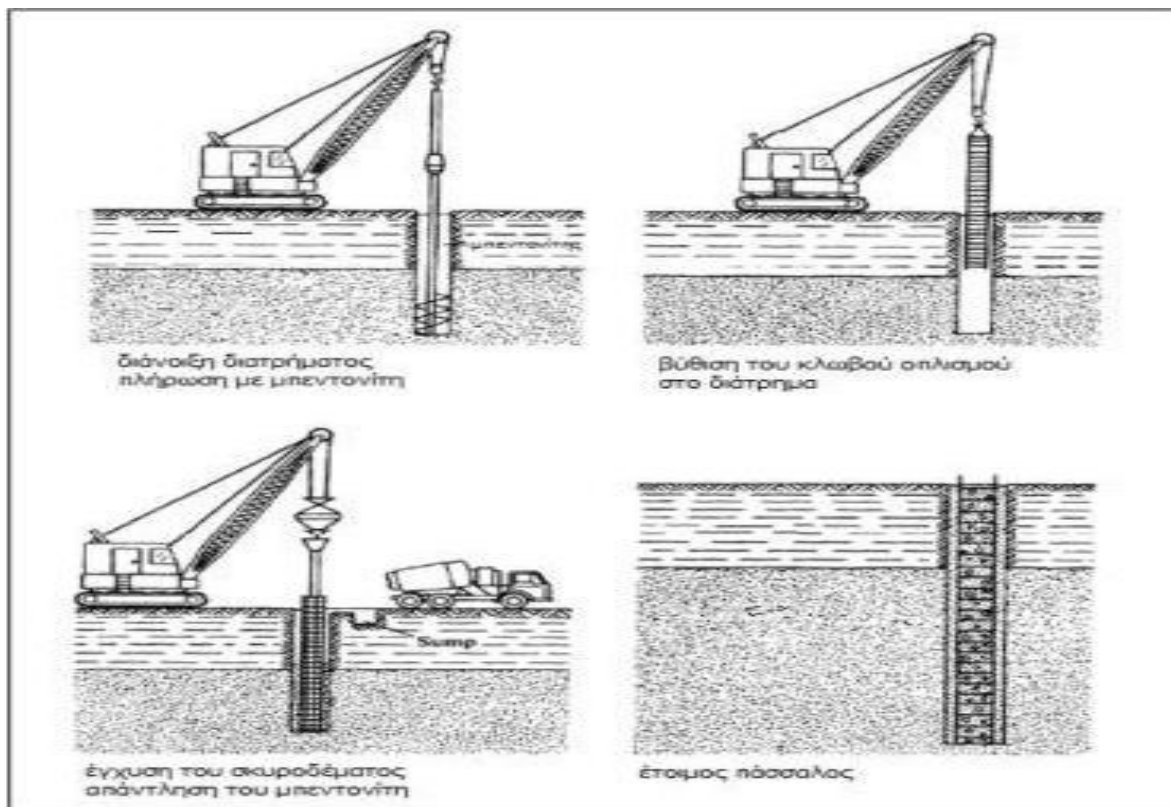
Στην Εικόνα 3.11 φαίνονται προκατασκευασμένοι εμπηγνύομενοι πάσσαλοι και στις Εικόνες 3.12 έως 3.15 διαφορετικοί τρόποι κατασκευής έγχυτων επιτόπου πασσάλων.



Εικόνα 3.11 Προκατασκευασμένοι εμπηγνύομενοι πάσσαλοι (α) κυκλικής διατομής, κοίλοι, από σκυρόδεμα (β) ορθογωνική διατομής, πλήρεις, από σκυρόδεμα (γ) από χαλυβδοσωλήνα [1].



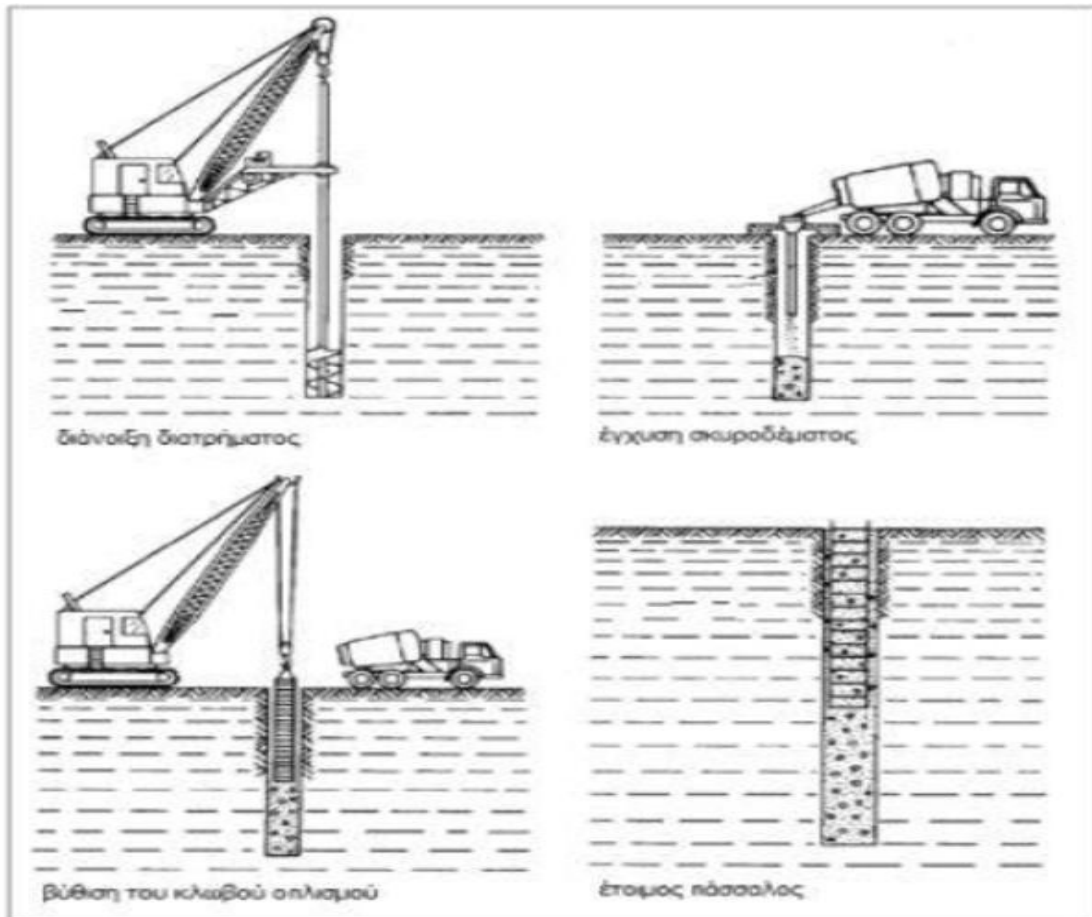
Εικόνα 3.12 Τα στάδια κατασκευής επί τόπου έγχυτου πασσάλου με τη χρήση χαλυβδοσωλήνα για τη σταθεροποίηση του διατρήματος. Ο οπλισμός κατέρχεται στο διάτρημα πριν από την έγχυση του σκυροδέματος. Η σωλήνωση αφαιρείται κατά την πλήρωση με σκυρόδεμα [1].



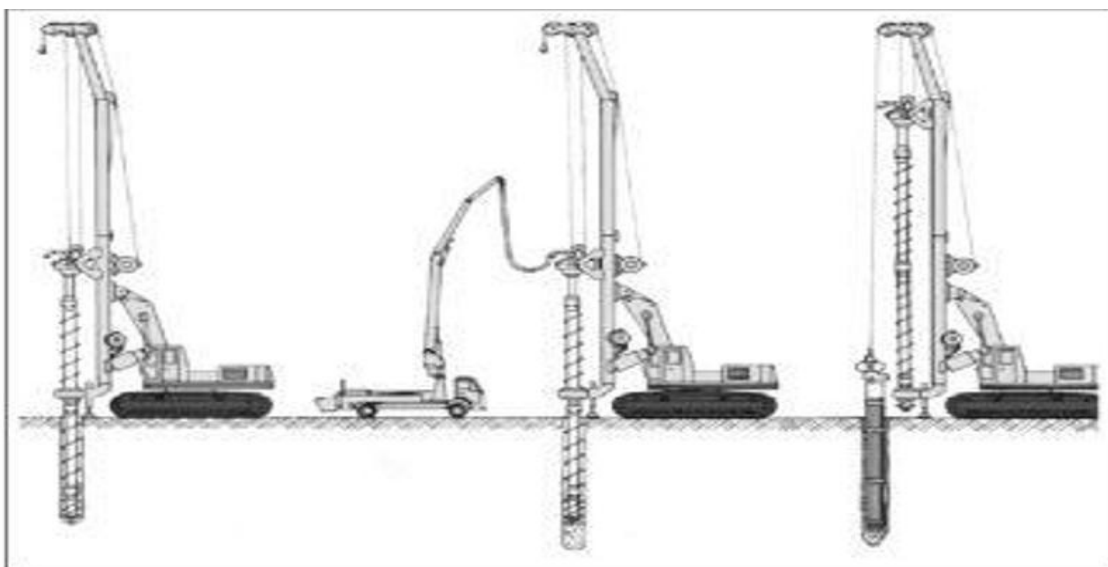
Εικόνα 3.13 Τα στάδια κατασκευής επί τόπου έγχυτου πασσάλου με τη χρήση μπεντονίτη για τη σταθεροποίηση του διατρήματος. Ο οπλισμός κατέρχεται στο διάτρημα που έχει πληρωθεί με μπεντονίτη πριν από την έγχυση του σκυροδέματος [1].

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθούν τα παρακάτω:

- Τα εδάφη στα οποία κατασκευάζονται πάσσαλοι για τη θεμελίωση κτιρίων είναι μίγματα λεπτόκοκκων υλικών (άργιλοι) και χονδρόκοκκων (άμμοι).
- Δεν υπάρχει πάντοτε υδροφόρος ορίζοντας με στάθμη μέσα στην περιοχή κατασκευής των πασσάλων, νερό δηλαδή που να διαβρέχει αυτά τα μίγματα των εδαφών, παρόλο ότι αυτό είναι σύνηθες.
- Σπάνια η σύνθεση του εδάφους είναι ίδια κατά μήκος του πασσάλου· πολλές στρώσεις με διαφορετική σύνθεση και χαρακτηριστικά υπάρχουν συνήθως από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το κάτω άκρο του.
- Οι εργασίες κατασκευής των έγχυτων πασσάλων είναι βαριές εργασίες που εξελίσσονται με τη χρήση εξαιρετικά ογκώδους και δυσκίνητου εξοπλισμού (Εικόνα 3.16), τις περισσότερες φορές υπό δυσμενείς συνθήκες.



Εικόνα 3.14 Τα στάδια κατασκευής επί τόπου έγχυτου πασσάλου εν ξηρώ. Η πλήρωση με σκυρόδεμα γίνεται αμέσως μετά τη διάτρηση. Ο σπλισμός κατέρχεται μετά την έγχυση του σκυροδέματος [1].



Εικόνα 3.15 Τα στάδια κατασκευής επί τόπου έγχυτου πασσάλου με την τεχνική της ελικοειδούς διάτρησης (CFA). Γίνεται σταθεροποίηση των τοιχωμάτων κατά τη διάτρηση,

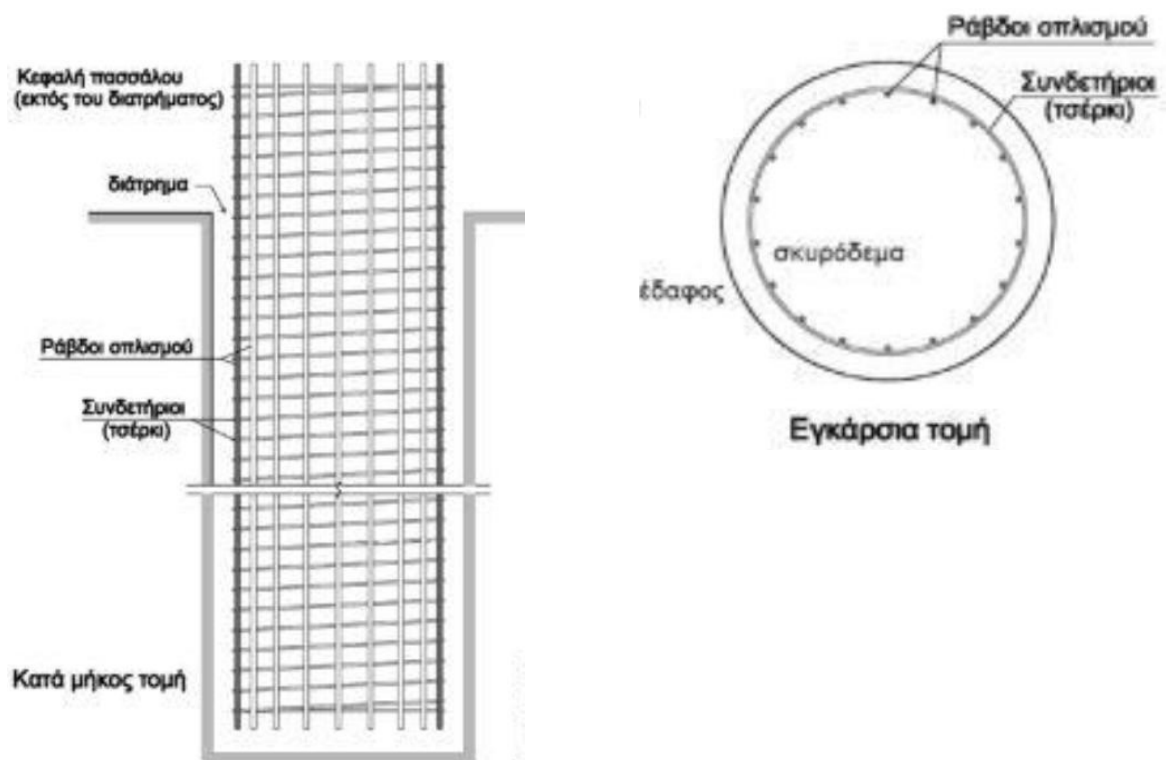
έγχυση σκυροδέματος με την ανάσυρση και κάθοδος του οπλισμού μετά την έγχυση του σκυροδέματος [1].

- Η τελική γεωμετρία των πασσάλων είναι αντίστοιχη των συνθηκών και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή τους. Δεν είναι δυνατόν να φανταστεί κανείς έγχυτο επιτόπου πάσσαλο από σκυρόδεμα με τέλεια κυλινδρική γεωμετρία· μεταβολές της τελικής διαμέτρου κατά μήκος του πασσάλου υπάρχουν και είναι πολλές φορές σημαντικές.
- Οι πάσσαλοι διαθέτουν μεγάλο «απόθεμα αντοχής», δηλαδή οι τάσεις που τελικά θα επικρατήσουν σε αυτούς είναι πολύ μικρότερες από τις αντοχές τους· έτσι είναι αδύνατο να αστοχήσουν από πιθανές μεταβολές στις διαστάσεις τους, από συνήθεις κακοτεχνίες κατά την κατασκευή, αλλά και από τη σχετική ασάφεια ως προς τις πραγματικές τιμές των παραμέτρων του υπεδάφους κάτω από διαφορετικές καταστάσεις σε όλα τα στρώματά του.



Εικόνα 3.16 Φωτογραφία εργοταξίου κατά τη φάση κατασκευής έγχυτων πασσάλων [1].

Στην Εικόνα 3.17 δίνεται ένα σχέδιο κατά μήκος και εγκάρσια τομής τυπικού έγχυτου πασσάλου από σκυρόδεμα. Οι παρειές του πασσάλου (εξωτερική επιφάνεια του σώματος από οπλισμένο σκυρόδεμα) στο σχέδιο αυτό θεωρούνται τέλειες γεωμετρικά κυλινδρικές επιφάνειες, παρόλο που αυτό είναι αδύνατο να πραγματοποιηθεί κατά την κατασκευή. Δεν φαίνεται επίσης στο σχέδιο ο χαλυβδοσωλήνας που πολλές φορές τοποθετείται για την προστασία του διατρήματος και που τις περισσότερες φορές μετά την έγχυση του σκυροδέματος ανασύρεται.



Εικόνα 3.17 Εγκάρσια και κατά μήκος τομή του οπλισμού ενός τυπικού έγχυτου πασσάλου από οπλισμένο σκυρόδεμα τοποθετημένου στο διάτρημά του.

3.4 ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ

Με τον όρο καθίζηση ορίζεται η υποχώρηση ή παραμόρφωση του εδάφους, που προκαλείται από το βάρος ενός τεχνικού έργου, που βρίσκεται πάνω σε αυτό. Είναι δηλαδή η συμπίεση του εδάφους, όταν το υπερκείμενο έργο υπερβεί την αντοχή του. Το φαινόμενο αυτό συνδέεται με διάφορους γεωλογικούς –

γεωτεχνικούς παράγοντες, την τοπογραφία – μορφολογία της περιοχής, το ύψος των βροχοπτώσεων και ιδίως τις απότομες θεομηνίες, τη σεισμικότητα της περιοχής, το είδος της κατασκευής, τον τύπο της θεμελίωσής της, την καταλληλότητα των κατασκευαστικών υλικών και, βέβαια, τη σωστή επίβλεψη κατά το χρόνο κατασκευής του έργου.

3.4.1 ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ

Βάσει των γεωλογικών – γεωτεχνικών παραγόντων οι καθιζήσεις διαχωρίζονται σε α) γενικές – ολικές και β) διαφορικές.

Γενικές ή ολικές καθιζήσεις είναι εκείνες στις οποίες το έδαφος υποχωρεί ομοιόμορφα και «συμπαρασύρει» ομοιόμορφα το υπερκείμενο έργο. Σ' αυτή την περίπτωση, οι ρωγμές που δημιουργούνται, είναι συνήθως λίγες και αδύνατες.

Διαφορικές καθιζήσεις είναι εκείνες στις οποίες το έδαφος υποχωρεί, ανομοιόμορφα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συνήθως πολλές και μεγάλες ρωγμές με, συνήθως, διαφορετική κλίση και κατεύθυνση.

3.4.2 ΑΙΤΙΑ ΤΩΝ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ

Καθιζήσεις – υποχωρήσεις του εδάφους δημιουργούνται, όπου τα στρώματα είναι μαλακά/συμπιεστά (δηλαδή χαμηλής αντοχής), διογκούμενα ή χημικά διαβρωμένα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σπήλαια και διάφορες μορφές από καταβόθρες.

Στην περίπτωση των μαλακών/συμπιεστών (χαμηλής αντοχής) εδαφών παρατηρούνται καθιζήσεις του εδάφους και ρωγμές στα έργα, όπου αυτά είναι κατασκευασμένα πάνω σε χαλαρές ή μαλακές προσχώσεις στις επιφάνειες των πρηνών ορεινών περιοχών. Τα εδάφη αυτά, επειδή είναι πολύ ευάλωτα στη διάβρωση από βροχές και εξασθενούν ακόμη περισσότερο, όταν δέχονται ισχυρές βροχοπτώσεις, οι καθιζήσεις αυτές είναι δυνατό να μετεξελιχθούν σε κατολισθήσεις.

Τα διογκούμενα εδάφη είναι το επόμενο μεγάλο είδος των προβληματικών γεωλογικών σχηματισμών, διότι αποτελούνται από αργίλους που έχουν την ιδιότητα ν' απορροφούν νερό, π.χ. κατά το χειμώνα, με αποτέλεσμα να αυξάνουν τον όγκο τους και τελικά να «ανασηκώνουν» τα υπερκείμενα έργα (κατοικίες, δρόμους κτλ.). Στη συνέχεια, τα εδάφη αυτά αποβάλλουν το νερό

(π.χ. το καλοκαίρι αποξηραίνονται), με αποτέλεσμα να μειώνεται/συρρικνώνεται ο όγκος τους και να οδηγούν έτσι σε καθίζηση/υποχώρηση τις υπερκείμενες κατασκευές. Η διαχρονική εξέλιξη αυτού του φαινομένου, δηλαδή το συνεχές «ανεβο-κατέβασμα» κάθε χειμώνα – καλοκαίρι ενός έργου προκαλεί τη ρωγμάτωσή του. Τα εδάφη αυτά γίνονται ακόμη πιο επικίνδυνα, όταν περιέχουν το ορυκτό μπεντονίτη, που επαυξάνει τη διογκωσιμότητά τους με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η εκδήλωση κατολισθήσεων, όταν π.χ. βρίσκονται σε τοπογραφικά επικλινείς επιφάνειες του εδάφους.

3.4.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ

Όλα τα πιο πάνω προβλήματα προσλαμβάνουν ιδιαίτερη σημασία, από πλευράς ευστάθειας των έργων, όταν λάβει κανείς υπόψη του, ότι ο τόπος μας έχει αυξημένη σεισμική δράση και, κατ' επέκταση, αυξημένη σεισμική επικινδυνότητα, που είναι δυνατό να μειώσει την ασφάλεια των κατασκευών μας.

Στον τομέα της αντιμετώπισης των καθιζήσεων δύο είναι οι κύριες κατηγορίες μέτρων που διακρίνονται. Πρόκειται για α) τα μέτρα πρόληψης και τα β) μέτρα ανάσχεσης - ανακοπής. Η επιτυχία και των δύο ειδών μέτρων εξαρτάται από την επαρκή γνώση των παρακάτω χαρακτηριστικών:

- Της γεωλογικής δομής της περιοχής.
- Των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν.
- Των γεωτεχνικών παραμέτρων των γεωλογικών σχηματισμών που επηρεάζονται.
- Των εδαφοτεχνικών και βραχομηχανικών μεγεθών των σχηματισμών που καθιζάνουν ή υπάρχει περίπτωση να καθιζήσουν.

Να σημειωθεί επίσης ότι οποιοδήποτε έργο αντιμετώπισης και αν εφαρμοστεί, αυτό μπορεί να αχρηστευτεί αν δε συντηρείται επαρκώς. Πολύ συχνά είναι τα φαινόμενα της απόφραξης των αγωγών αποστράγγισης, και επακόλουθη μείωση των συντελεστών ασφαλείας ενός έργου.

3.4.4 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ

3.4.4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

Η κατασκευή υψηλών οδικών επιχωμάτων παρουσιάζει προβλήματα, όταν το έδαφος αποτελείται από συμπιεστά υλικά: αργιλώδη, ιλυώδη και οργανικά εδάφη. Το μέγεθος της καθίζησης είναι σημαντικό και η διάρκεια του φαινομένου μπορεί να ξεπεράσει τα 5 χρόνια σε υλικά μικρής διαπερατότητας και συμπιεστά στρώματα μεγάλου πάχους. Για την αντιμετώπιση ανάλογων καταστάσεων, εφαρμόζονται βελτιωτικές μέθοδοι, οι οποίες έχουν στόχο να αποκαταστήσουν την ισορροπία του συστήματος «επίχωμα – υπέδαφος» στο βραχύτερο δυνατό χρόνο, περιορίζοντας ταυτόχρονα το μέγεθος των καθιζήσεων. Οι κυριότερες από τις μεθόδους αυτές, οι οποίες εκ παραλλήλου, μπορεί να αυξάνουν τη μηχανική αντοχή και να μειώνουν κινδύνους ολίσθησης ή ρευστοποίησης του υπεδάφους, είναι:

3.4.4.2 ΜΕΡΙΚΗ Η ΟΛΙΚΗ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

Εκτελείται, πριν αρχίσουν οι εργασίες επιχωμάτωσης, εκσκαφή σε βάθος ανάλογο με το πάχος του συμπιεστού στρώματος και απομάκρυνση του υλικού. Στη συνέχεια τοποθετείται στη θέση του υγιές υλικό, συνήθως θραυστό λατομείου ή κροκάλες, μέχρι την επιφάνεια του εδάφους και για τον λόγο αυτόν, η τεχνική αυτή ονομάζεται και εξυγίανση του υπεδάφους. Η μέθοδος είναι δυνατό να συνδυασθεί με την τεχνική των εκρήξεων, όπου η απομάκρυνση του υλικού επιτυγχάνεται δια πυροδότησης εκρηκτικών που έχουν τοποθετηθεί στον πυθμένα του συμπιεστού στρώματος και συγχρόνως το θραυστό υλικό που ευρίσκεται στην επιφάνεια μετατοπίζεται κατακόρυφα λόγω ιδίου βάρους.

3.4.4.3 ΔΟΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Εφαρμόζεται για αύξηση της φέρουσας ικανότητας χονδρόκοκκων εδαφών. Καταλληλότερα για εφαρμογή της τεχνικής αυτής είναι εδάφη με μικρό ποσοστό λεπτόκοκκων (< 15%). Η τεχνική απαιτεί ειδικό εξοπλισμό που αποτελείται από ένα δονούμενο έμβολο μεγάλου βάρους ανηρτημένου σε έναν ερπυστριοφόρο γερανό. Το έμβολο διεισδύει λόγω ασκούμενης πίεσης στο έδαφος και, μέσω της δόνησης, προκαλεί συμπύκνωση σε μια ακτίνα 2,50 m. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί για βελτίωση χαρακτηριστικών υπεδάφους μέχρι βάθος 10 m.

3.4.4.4 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Χρησιμοποιείται για βελτίωση αμμωδών εδαφών. Η τεχνική συνίσταται στην πτώση ενός μεγάλου φορτίου (5-10t) από ένα ύψος 5-10 m. Το φορτίο είναι ανηρτημένο σε ερπυστριοφόρο γερανό και αφήνεται να προσπέσει στην επιφάνεια του προς συμπύκνωση υπεδάφους. Η τεχνική είναι αρκετά δημοφιλής στη Γαλλία όπου πολύ μεγάλα φορτία χρησιμοποιούνται για συμπύκνωση αμμωδών, αμμοϊλυωδών και αργιλοϊλυωδών εδαφών. Η ενέργεια ανά κτύπο είναι $E = mgh$, όπου h το ύψος πτώσης του φορτίου. Η ακτίνα εμβέλειας της τεχνικής είναι $a = n^{1/mh}$, όπου n εμπειρικός συντελεστής με τιμές $n = 0,5-1$ για αμμώδη εδάφη, $n = 0,3-0,5$ για αργιλικά εδάφη.

3.4.4.5 ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗ

Εφαρμόζεται για να επιταχυνθεί η διαδικασία της στερεοποίησης συνεκτικών εδαφών υπό την επίδραση αυξημένου κατακόρυφου φορτίου. Το πρόσθετο φορτίο, συνήθως από εδαφικά ή θραυστά υλικά επί της στέψης του επιχώματος, αφαιρείται στην τελική φάση κατασκευής για να τοποθετηθεί το οδόστρωμα. Για την εκτέλεση της προφόρτισης απαιτείται προηγουμένως έλεγχος της ευστάθειας του επιχώματος το οποίο κινδυνεύει να ολισθήσει υπό την επίδραση αυξημένου φορτίου αν η διατμητική αντοχή του υπεδάφους είναι μικρή.

3.4.4.6 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΑΝΑΧΩΜΑΤΩΝ

Πρόκειται για τεχνική που χρησιμοποιείται για αποτροπή της ολίσθησης του επιχώματος, μέσω της αύξησης των δυνάμεων και της ροπής αντίστασης.

3.4.4.7 ΣΤΑΔΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Όταν το συνολικό φορτίο του επιχώματος είναι μεγάλο, ο κίνδυνος ολίσθησης είναι σημαντικός σε υπεδάφη μικρής διατμητικής αντοχής ($c_u < 0,5 \text{ kg/cm}^2$). Δια της σταδιακής κατασκευής επιχώματος επί συνεκτικού υπεδάφους, εξασφαλίζεται προοδευτική αύξηση της διατμητικής αντοχής στο υπεδάφος παράλληλα με την αύξηση της ενεργού κατακόρυφης τάσης σ' . Έτσι η σταδιακή αύξηση της ενεργού τάσης δημιουργεί σε κάθε χρονική στιγμή τις απαραίτητες συνθήκες ευστάθειας του επιχώματος.

3.4.4.8 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ

Ως «εγκαταστάσεις αποστράγγισης» νοούνται οι εγκαταστάσεις για τη συλλογή και απομάκρυνση των υπογείων υδάτων καθώς και του διηθούμενου επιφανειακού ύδατος.

Στις εγκαταστάσεις αυτές περιλαμβάνονται οι εξής κατασκευές:

Γραμμικά στραγγιστήρια:

Αποτελούνται κατά κανόνα από έναν σωληνωτό αγωγό αποστράγγισης που περιβάλλεται με υλικό φίλτρου. Για πολύ μικρές παροχές είναι δυνατόν να κατασκευάζονται και γραμμικά στραγγιστήρια χωρίς σωληνωτό αγωγό.

Γραμμικά στραγγιστήρια και σωληνωτοί αγωγοί αποστράγγισης περιορισμένου μήκους και με μικρές παροχές δύνανται να εκβάλουν στο έδαφος. Γραμμικά στραγγιστήρια και σωληνωτοί αγωγοί αποστράγγισης μεγαλύτερου μήκους και με σημαντικές παροχές πρέπει απαραίτητα να καταλήγουν σε φρεάτια του δικτύου ομβρίων ή σε άλλο κατάλληλο αποδέκτη.

Οι σωληνωτοί αγωγοί αποστράγγισης εδράζονται επί κλίνης από υλικό φίλτρου, ελαχίστου πάχους 0,10 m για την περίπτωση φίλτρου απλής και 0,15 m για την περίπτωση φίλτρου πολλαπλής διαβάθμισης.

Για τον έλεγχο και τον καθαρισμό των σωληνωτών αγωγών αποστράγγισης, είναι απαραίτητη η κατασκευή φρεατίων επιθεώρησης ανά τακτά διαστήματα (όχι μεγαλύτερα των 50 m - 100 m). Ο μεταξύ δύο διαδοχικών φρεατίων επιθεώρησης σωλήνας αποστράγγισης πρέπει να είναι ευθύγραμμος.

Διάτρητοι πρόχυτοι τσιμεντοσωλήνες αποστράγγισης με σχετικά μεγάλες κυκλικές ή επιμήκειες οπές, περιβάλλονται από φίλτρο πολλαπλής διαβάθμισης. Στις περιπτώσεις αυτές, ως δεύτερη βαθμίδα φίλτρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα φίλτρο από γαιούφασμα σε επαφή με το περιβάλλον συνεκτικό έδαφος.

Κατά κανόνα, οι διάτρητοι σωλήνες τοποθετούνται με τις οπές διατασσόμενες προς τα πάνω. Τούτο συμβαίνει όταν το περιβάλλον έδαφος είναι ιλυώδες ή/και ενδιαφέρει ιδιαίτερος η απαγωγή και διηθούμενου επιφανειακού ύδατος. Οι διάτρητοι σωλήνες τοποθετούνται με τις οπές διατασσόμενες προς τα κάτω, σε περίπτωση που δεν υφίσταται διήθηση επιφανειακού ύδατος, καθώς και σε περίπτωση που η εγκατάσταση φορτίζεται περιοδικά (λόγω μεταβαλλόμενης στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα), οπότε υφίσταται κίνδυνος εναπόθεσης αλάτων (εξαιτίας διαρκούς εναλλασσόμενης έκθεσης σε αέρα και νερό) και επομένως έμφραξης των οπών του σωλήνα.

Το πλάτος γραμμικού στραγγιστηρίου χωρίς σωλήνα αποστράγγισης πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,30 m, ενώ στην περίπτωση τοποθέτησης και σωλήνα αποστράγγισης το ελάχιστο πλάτος του γραμμικού στραγγιστηρίου είναι 0,60m.

Τάφροι αποστράγγισης:

Σε περιπτώσεις αποστράγγισης μεγάλων ποσοτήτων υπογείων υδάτων, κατασκευάζονται ανοικτές τάφροι.

Η τάφρος αποστράγγισης, παράλληλα με την αποστράγγιση των υπογείων υδάτων, χρησιμεύει και για τη συλλογή και απομάκρυνση της επιφανειακής απορροής.

Η τάφρος αποστράγγισης έχει κατά κανόνα ορθογωνική διατομή και τα τοιχώματά της πρέπει να κατασκευάζονται από διαπερατά υλικά (κοκκώδη). Οι διαστάσεις της τάφρου προκύπτουν με βάση την απαιτούμενη υδραυλική αποχετευτική ικανότητα και τις κατασκευαστικές απαιτήσεις. Σε κάθε περίπτωση όμως το ελάχιστο πλάτος της τάφρου πρέπει να έχει ως ακολούθως:

- 0,60 m για βάθος μέχρι 2,50 m
- 0,80 m για βάθος άνω των 2,50 m.

Ο πυθμένας της τάφρου θα εξασφαλίζεται έναντι άνωσης, με την τοποθέτηση σκύρων ή πλακών εκ σκυροδέματος στον πυθμένα.

Στην περίπτωση επενδεδυμένων τάφρων αποστράγγισης με πολλαπλά φίλτρα, για λόγους διατάραξης του χείλους των παρειών της τάφρου, η εξωτερική βαθμίδα (στρώση) των φίλτρων πρέπει να κατασκευάζεται με ελάχιστο πάχος 0,20 m.

Η διείδυση κόκκων από την περιβάλλουσα τη διατομή της τάφρου στρώση φίλτρου θα εμποδίζεται με τη χρήση κατάλληλου γεωφάσματος.

Στρώσεις αποστράγγισης:

Αποτελούνται από στρώσεις υλικού φίλτρου και διαμορφώνονται με εγκάρσια κλίση προς τα γραμμικά στραγγιστήρια ή τις τάφρους αποστράγγισης. Ανάλογα με τον κύριο προορισμό των στρώσεων αποστράγγισης διακρίνονται σε:

Στρώσεις Στράγγισης Οδοστρώματος:

Οι Στρώσεις Στράγγισης Οδοστρώματος (ΣΣΟ) είναι φίλτρα, τα οποία κατασκευάζονται κάτωθεν του οδοστρώματος καθ' όλο το πλάτος της οδού (συμπεριλαμβανομένων και των ερεισμάτων) και χρησιμεύουν στην απαγωγή του ύδατος στα γραμμικά στραγγιστήρια ή σε άλλον αποδέκτη, με σκοπό:

- την προστασία των οδοστρωμάτων από τα όμβρια ύδατα που εισρέουν διαμέσου των ρωγμών του ασφαλτοτάπητα και διαφορετικά θα εγκλωβίζονται και με τους κύκλους πήξης-τήξης λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών θα προκαλούσαν φθορές στα οδοστρώματα. Στην περίπτωση αυτή η υπόψη στρώση ονομάζεται Στρώση Αντιπαγετικής Προστασίας (ΣΑΠ).

- την ταπείνωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα κάτω από την άνω επιφάνεια της Στρώσης Έδρασης Οδοστρώματος (ΣΕΟ), ο οποίος λόγω της υδροστατικής άνωσης που θα ασκούσε στο οδόστρωμα, θα προκαλούσε τη θραύση του. Στην περίπτωση αυτή η στρώση αυτή ονομάζεται «στρώση αποστράγγισης της ΣΕΟ». Σε περίπτωση που ο η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα βρίσκεται περιοδικά ή μόνιμα πάνω από την ΣΕΟ, η κατασκευή της «στρώσης αποστράγγισης της ΣΕΟ» επιβάλλεται ανεξάρτητα από την ανάγκη ή μη κατασκευής ΣΑΠ.

Η ελάχιστη εγκάρσια κλίση των στρώσεων στράγγισης οδοστρώματος είναι 4%.

Η εγκάρσια κλίση των στρώσεων στράγγισης οδοστρωμάτων δύναται να διαμορφωθεί μονοκλινής ή αμφικλινής. Στα τμήματα μεταβολής της κλίσης από αμφικλινή σε μονοκλινή, η προκύπτουσα ακμή των τεμνόντων επιφανειών κείται λοξά ως προς τον άξονα της οδού.

Κατά μήκος του άξονα της οδού, οι στρώσεις στράγγισης οδοστρώματος, εφόσον παύουν να είναι απαραίτητες, καταλήγουν υπό μορφή σφήνας υπό κατά μήκος κλίση 20% και επί μήκους 10 m περίπου.

Η «στρώση αποστράγγισης της ΣΕΟ» διαμορφώνεται ενσωματούμενη στο άνω τμήμα της ΣΕΟ και κάτω από την ΣΑΠ ή, σε περίπτωση απουσίας ΣΑΠ, κάτω από την υπόβαση.

Το ελάχιστο πάχος της «στρώσης αποστράγγισης της ΣΕΟ» ορίζεται σε 0,50 m, το οποίο, στην περίπτωση που προκύψει ανάγκη κατασκευής ΣΑΠ, δεν επιτρέπεται να συνυπολογίζεται στο πάχος της ΣΑΠ.

Στρώση Αποστράγγισης Πρανούς:

Η στρώση αποστράγγισης πρανούς προορίζεται για την διευκόλυνση της εξόδου των υδάτων από την υδροφόρο εδαφική στρώση του πρανούς, ενώ συγχρόνως εμποδίζεται η υπόγεια διάβρωση του φυσικού εδάφους λόγω της απόπλυσής του από τα λεπτά σωματίδια. Το ούτως συλλεγόμενο νερό απομακρύνεται του πρανούς, μέσω του σωλήνα αποστράγγισης ενός γραμμικού στραγγιστηρίου που βρίσκεται στον πόδα αυτού.

Η κλίση του πρανούς καθορίζεται σε σχέση με την αντοχή σε διάτμηση του υλικού του φίλτρου του πρανούς και της πίεσης της ροής στην υδροφόρο εδαφική στρώση του πρανούς.

Η στρώση αποστράγγισης πρανούς κατασκευάζεται ως φίλτρο απλής διαβάθμισης ή πολλαπλής διαβάθμισης. Για πρανή ύψους μέχρι 6 m, το συνολικό πάχος της στρώσης αποστράγγισης πρανούς δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 0,60 m στη στέψη και 1,00 m στον πόδα του πρανούς. Για

μεγαλύτερα ύψη πρανών, το απαιτούμενο πάχος της στρώσης αποστράγγισης πρανούς αποτελεί αντικείμενο ειδικής εδαφοτεχνικής μελέτης.

Η διάμετρος του σωλήνα αποστράγγισης, στον οποίο καταλήγει το φίλτρο του πρανούς, πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,30 m.

Η στρώση αποστράγγισης πρανούς, προκειμένου να προστατεύεται από τη διήθηση επιφανειακού ύδατος, καλύπτεται από μια στρώση συνεκτικού υλικού πάχους τουλάχιστον 0,20 m.

3.4.4.9 ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Είναι μέθοδος που αποσκοπεί στη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους έδρασης του επιχώματος μέσω διάχυσης καταλλήλων ενεμάτων (τσιμέντου, ασφαλτοϋδαρών, μπεντονίνη). Συνήθως η τεχνική των ενεμάτων χρησιμοποιείται σε χονδρόκοκκα εδάφη και κατακερματισμένους βράχους. Πολλές από τις ως άνω μεθόδους, αλλά και ορισμένες άλλες, συνδυάζονται με χρήση γεωσυνθετικών υλικών που αποτελούν πλέον ένα ικανότατο εργαλείο για αντιμετώπιση προβλημάτων μηχανικής συμπεριφοράς σε γεωκατασκευές οδοποιίας.

3.4.5 ΜΕΤΡΑ ΑΝΑΣΧΕΣΗΣ – ΑΝΑΚΟΠΗΣ

Τα μέτρα ανάσχεσης – ανακοπής είναι τα μέτρα που λαμβάνονται μετά την εμφάνιση της καθίζησης. Τα στοιχεία θεμελίωσης είναι τα σημαντικότερα από πλευράς ασφάλειας στοιχεία του δομικού συστήματος. Τυχούσα αστοχία τους ή μη καλή μεταφορά των φορτίων στο έδαφος επιβάλλει να γίνει κατάλληλη ενίσχυσή τους. Τεχνικές και πρακτικές που έχουν αναπτυχθεί για την ενίσχυση των στοιχείων θεμελίωσης παρουσιάζουμε σε αυτήν την εργασία, καθώς και οπτικές ενδείξεις για την ανάγκη τέτοιων επεμβάσεων. Σε περιπτώσεις που δεν αστοχούν τα θεμέλια αλλά το έδαφος θεμελίωσης, εφαρμόζουμε μεθόδους ενίσχυσης του εδάφους, κάποιες από τις οποίες επίσης αναφέρονται συνοπτικά αν και δεν αποτελούν κάθε αυτό ενίσχυση των στοιχείων θεμελίωσης, εντούτοις είναι προϋπόθεση για τη σωστή μεταφορά των φορτίων η επαρκής αντοχή του εδάφους θεμελίωσης.

3.4.5.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Εκτός από τις τεχνικές επέμβασης στα θεμέλια που έχουν υποστεί βλάβη, οι οποίες και θα αναφερθούν παρακάτω, θα κάνουμε μια σύντομη αναφορά στις διάφορες μεθόδους ενίσχυσης του εδάφους το οποίο φέρει τη θεμελίωση. Θα αναφέρουμε:

- Βελτίωση του υπεδάφους με διαπότιση και αγκύρωση.
- Αύξηση της ασφάλειας κατά θραύση του εδάφους.

Βελτίωση του εδάφους με διαπότιση και αγκύρωση

Η συγκεκριμένη μέθοδος συντελεί στην αύξηση της αντοχής του εδάφους και στην αποφυγή καθιζήσεων και ρωγμών οπότε από τη σκοπιά αυτή αποτελεί ενδεδειγμένη μέθοδο για την πρόληψη ακόμα βλαβών στα στοιχεία θεμελίωσης. Συνίσταται στη διαπότιση του εδάφους του υποκείμενου των στοιχείων θεμελίωσης με κατάλληλα διαλύματα, γαλακτώματα και αιωρήματα τα οποία δημιουργούν μια κατάσταση απολίθωσης και μεγαλώνουν την επιφάνεια έδρασης της θεμελίωσης. Αυτό οφείλεται στο ότι τα μέσα αυτά κλείνουν τα κενά του εδαφικού υλικού (πόροι, πτυχώσεις, ρωγμές, αρμοί) και έτσι η αντοχή του βελτιώνεται. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη διαπότιση του εδάφους ποικίλουν ανάλογα με το είδος του εδάφους και την κοκκομετρική του διαβάθμιση, και περιλαμβάνουν κοινό τσιμέντο με ή χωρίς άμμο, τσιμέντο αλεσμένο πολύ λεπτά, μίγματα τσιμέντου-μπετονίτη, χημικά διαλύματα όπως η ορυκτή γέλα, οργανικές ρητίνες ή ασφαλικά γαλακτώματα. Τσιμεντενέσεις σε συνεκτικά εδάφη δεν είναι δυνατές. Βέβαια δεν επιδέχονται όλα τα εδάφη αυτή τη μέθοδο. Την επιδέχονται κατά βάση όλα τα εδάφη που διαρρέονται από νερά. Οι διατρήσεις για την εκτέλεση των ενέσεων διαπότισης γίνονται έτσι ώστε οι περιοχές τους να είναι κλειστές για να μην απομένουν ασυμπίεστες ζώνες. Επίσης πρέπει να πυκνώνουν οι διατρήσεις σε περιπτώσεις μικρής διαπερατότητας του υπεδάφους, μεγαλύτερης οξύτητας του υλικού διαπότισης σε σχέση με το έδαφος, και χαμηλής πίεσης καταθλίψεως του υλικού μέσα στο έδαφος.

3.5 ΒΑΘΡΑ ΓΕΦΥΡΩΝ

Τα τμήματα που αποτελούν μία γέφυρα είναι:

3.5.1 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

Η θεμελίωση μιας γέφυρας ανάλογα με το έδαφος που θα εδράζεται μπορεί να είναι, επιφανειακή θεμελίωση, επιφανειακή με ανασήκωμα, πασσαλοκολώνες, πάσσαλοι με κεφαλόδεσμο και φρέατα.

3.5.2 ΤΑ ΑΚΡΟΒΑΘΡΑ

Τα ακρόβαθρα είναι οι ακραίες στηρίξεις του φορέα της γέφυρας, αναλαμβάνοντας με την μορφή κατακόρυφων και οριζόντιων αντιδράσεων μέρος των φορτίσεών του. Επίσης τα ακρόβαθρα λειτουργούν και ως τοίχοι αντιστήριξης, αναλαμβάνοντας τις ωθήσεις που προέρχονται από το επίχωμα και εξασφαλίζοντας την ασφαλή μεταφορά τους στο έδαφος. Επάνω τους στηρίζονται οι πλάκες πρόσβασης και οι πτερυγότοιχοι, όπου εγκιβωτίζουν τα επιχώματα. Η μορφολογία των ακροβάθρων είναι τέτοια ούτως ώστε να εξασφαλίζουν τον απαιτούμενο χώρο για την ανάπτυξη των οριζόντιων μετακινήσεων και στροφών γύρω από κατακόρυφο ή και οριζόντιο άξονα του φορέα της γέφυρας.

Ανάλογα με το είδος της γέφυρας, τις φορτίσεις και το έδαφος τα ακρόβαθρα διακρίνονται σε:

Ακρόβαθρο με πλήρως αναρτημένο πτερυγότοιχο

Αυτού του είδους τα ακρόβαθρα χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρά τεχνικά έργα.

Κιβωτιόσχημο ακρόβαθρο

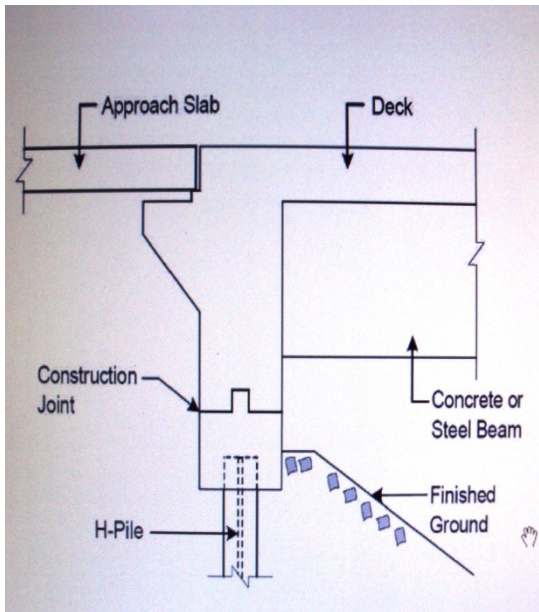
Αυτός ο τύπος ακρόβαθρου εκπληρώνει όλες τις λειτουργίες, για τις οποίες είναι κατασκευασμένα τα ακρόβαθα, με γενικότερη εξασφάλιση των μεταβατικών επιχωμάτων.



Εικόνα 3.18 κιβωτιόσχημο ακρόβαθρο

Ανοιχτό ακρόβαθρο

Στο ανοιχτό ακρόβαθρο την λειτουργία του μετωπικού τοίχου αναλαμβάνουν δίστηλα ή πολύστηλα πλαίσια αποτελούμενα από δύο ή περισσότερα αντίστοιχα υποστυλώματα σε απόσταση μεταξύ τους. Αυτό το είδος, η κατασκευή ακρόβαθρου, έχει το πλεονέκτημα ότι είναι οικονομικότερη λόγω του φτωχού ξυλότυπου. Επειδή όμως επιτρέπεται η διαρροή υλικού διαμέσου των υποστυλωμάτων, δημιουργείται ανισοσταθμία μεταξύ του θωρακίου του ακρόβαθρου και της παρακείμενης επιφάνειας κύλισης του μεταβατικού επιχώματος. Λόγω της προαναφερθείσας ανισοσταθμίας, δημιουργείται ανεξέλεγκτη επιβολή κρουστικών φορτίων. Επίσης υπάρχει ανωμαλία πάνω στην κυκλοφορία των οχημάτων και ανάγκη για συνεχή παρακολούθηση και επισκευή.



Εικόνα 3.19 μονολιθικό ακρόβαθρο



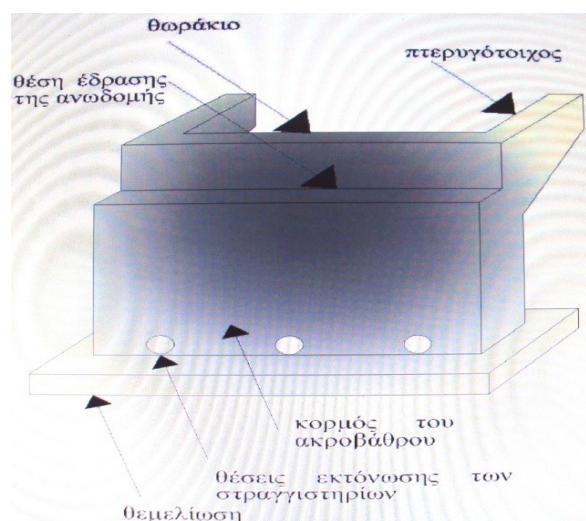
Εικόνα 3.20 ανοιχτό ακρόβαθρο

Μονολιθικό ακρόβαθρο

Στο μονολιθικό ακρόβαθρο ο φορέας της γέφυρας συνδέεται μονολιθικά με αυτό χωρίς αρμούς διαστολής και εφεδρανα. Συνήθως σ' αυτές τις κατασκευές διαμορφώνονται αρμοί πίσω από τα ακρόβαθρα προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι σχετικές μετακινήσεις ανάμεσα στην γέφυρα και την οδό πρόσβασης. Το πλεονέκτημα των μονολιθικών ακρόβαθρων είναι η έλλειψη αρμών και εφεδράνων, τα οποία έχουν υψηλό κόστος συντήρησης. Η συμπύκνωση του πρανούς πρέπει να είναι η προβλεπόμενη, διαφορετικά, αν είναι μικρότερη, τότε υπάρχει περίπτωση καθίζησης της οδού, ενώ αν είναι μεγαλύτερη πιθανών να υπάρξει ρηγμάτωση του σκυροδέματος εξαιτίας του περιορισμού της μετακίνησης.

Τα δομικά μέλη των ακροβάθρων είναι:

- Δοκός έδρασης
- Θωράκιο πρόσβασης
- Κεφαλόδεσμος
- Πλευρικοί τοίχοι (ωτίδες)
- Κορμός ή σώμα ακροβάθρου
- Αγκυρώσεις
- Πέδιλο
- Πάσσαλοι



3.5.3 ΠΤΕΡΥΓΟΤΟΙΧΟΙ

Οι πτερυγότοιχοι είναι στην ουσία τοίχοι αντιστήριξης που εγκιβωτίζουν το μεταβατικό επίχωμα. Η διαφορά τους από τα ακρόβαθρα είναι ότι δεν παραλαμβάνουν κατακόρυφα φορτία. Οι πτερυγότοιχοι κατατάσσονται ανάλογα με την γεωμετρία τους σε ευθείς, λοξούς και αντεπιστροφής και ανάλογα με την δομή τους ως, μονολιθικοί και ανεξάρτητοι.



Εικόνα 3.21 συνήθης πτερυγότοιχος

3.5.4 ΤΑ ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ

Ο βασικός ρόλος των μεσοβάθρων, είναι η μεταφορά των οριζόντιων, αλλά κυρίως των κατακόρυφων φορτίων της γέφυρας στην θεμελίωση. Επίσης είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να υπάρχει η ελάχιστη δυνατή παρεμπόδιση της ροής των εγκάρσιων υδάτων, ή της κυκλοφορίας των διασταυρωνόμενων οδών. Έτσι η μορφή που μπορεί να έχει το μεσόβαθρο μπορεί να είναι, κυκλικής ή ελλειπτικής, τετραγωνικής, ορθογωνικής, εξαγωνικής και οκταγωνικής διατομής.

Επίσης ανάλογα με το είδος και το ύψος της γέφυρας οι τύποι των μεσοβάθρων μπορεί να είναι:

- Τοιχία

- Μεμονωμένα υποστυλώματα
- Πλαίσια, δίστηλα ή πολύστηλα
- Κολωνοπάσσαλοι

Τα κύρια δομικά μέλη των μεσοβάθρων είναι:

- Κεφαλή ή κεφαλόδεσμος ή δοκός έδρασης (ζύγωμα στην περίπτωση πλαισιακού, πολύστυλου βάθρου)
- Τοιχείο ή υποστύλωμα
- Πέδιλο ή πασσαλόδεσμος
- Πάσσαλοι ή φρέαρ θεμελίωσης



Εικόνα 3.22 μεσόβαθρο – πολύστηλο πλαίσιο

3.5.5 ΤΟ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑ ΤΗΣ ΑΝΑΔΟΜΗΣ

Ανάλογα με το ύψος, το μήκος, το μέγιστο άνοιγμα της γέφυρας, το ανάγλυφο του εδάφους, το κόστος και μια σειρά από άλλους παράγοντες, οι μελετητές διαλέγουν την μέθοδο κατασκευής της γέφυρας και γενικότερα την μέθοδο κατασκευής της ανωδομής.

Οι μέθοδοι κατασκευής της ανωδομής μπορεί να είναι:

- Μέθοδος προβολοδόμησης.
- Μέθοδος σταδιακής προώθησης.

- Μέθοδος προωθούμενων-αυτοφερούμενων δοκών.
- Μέθοδος προκατασκευασμένων δοκών.

3.5.6 ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ

Όσον αφορά τα επιχώματα έχει γίνει εκτενής αναφορά στην παρ. 3.2.4.

3.6 ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΔΟΣΤΡΩΣΙΑΣ

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας έχει γίνει μια σύντομη αναφορά στα οδοστρώματα, στην συγκεκριμένη ενότητα θα αναφερθούμε εκτενέστερα στις κατηγορίες των οδοστρωμάτων, στις στρώσεις τους και στα πάχη των στρώσεων αυτών.

3.6.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Ανάλογα με την ελαστικότητα τους, τα οδοστρώματα διακρίνονται κατά κανόνα, σε εύκαμπτα και δύσκαμπτα.

Σαν εύκαμπτα θεωρούνται:

- Τα ασφαλτικά.
- Τα κυκλοφοριόπηκτα.
- Τα σταθεροποιημένα.
- Τα σκυρωτά.

Σαν δύσκαμπτα θεωρούνται:

- Τα από σκυρόδεμα.
- Τα λιθόστρωτα.

Κατά κανόνα τα εύκαμπτα οδοστρώματα αποτελούνται από:

- Υπόβαση.
- Βάση.

- Επιφανειακή στρώση.

Στα εύκαμπτα οδοστρώματα οι στρώσεις υπόβασης και βάσης κατασκευάζονται, επειδή:

- Αποτρέπουν την άνοδο του ύδατος λόγω τριχοειδών.
- Δίνουν μια πρόσθετη προστασία από τον παγετό.
- Συντελούν στην αποστράγγιση.
- Αυξάνουν τη φέρουσα ικανότητα.
- Βοηθούν την κατανομή των φορτίων με το σύστημα των στρώσεων.

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα αποτελούνται από :

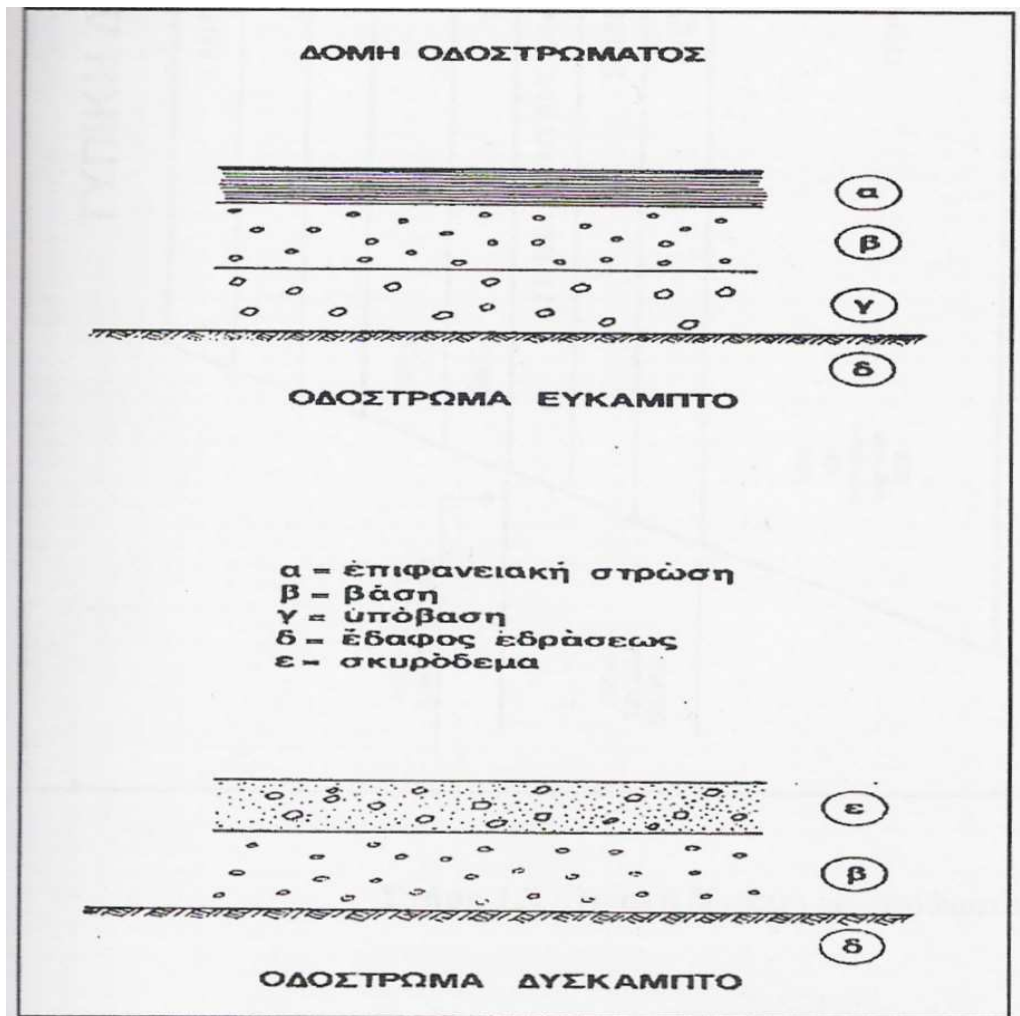
- Έδαφος εδράσεως.
- Σκυρόδεμα.

Τα δύσκαμπτα οδοστρώματα κατασκευάζονται από σκυρόδεμα (άοπλο, οπλισμένο ή προεντεταμένο) και εδράζονται σε κατάλληλη βάση.

Στα δύσκαμπτα οδοστρώματα η στρώση βάσης κατασκευάζεται, επειδή:

- Αποτρέπει την άνοδο του ύδατος λόγω τριχοειδών.
- Προστατεύει από τον παγετό.
- Συντελεί στην αποστράγγιση.
- Αποτρέπει τις καθιζήσεις του εδάφους.
- Αυξάνει την αντοχή του οδοστρώματος.
- Διευκολύνει την κατασκευή.

Ο σκοπός και η λειτουργία των στρώσεων ποικίλει, ανάλογα με την ελαστικότητα του οδοστρώματος.



Εικόνα 3.23 Δομές οδοστρωμάτων και τα διάφορα στρώματα που αποτελούνται



Εικόνα 3.24 Τυπική διατομή οδοστρώσας

Στο εύκαμπτο οδόστρωμα η μεταφορά των φορτίων στο έδαφος γίνεται δια μέσου των στρώσεων του. Το ολικό πάχος του ευκάμπτου οδοστρώματος πρέπει να είναι τόσο, ώστε οι δυνάμεις που μεταβιβάζονται σε μεγαλύτερη συνεχώς επιφάνεια να μειωθούν μέχρι να γίνονται ανεκτές από το έδαφος έδρασης του οδοστρώματος.

Στο δύσκαμπτο οδόστρωμα, όπου το υλικό του είναι μεγάλης αντοχής, το κύριο μέρος των τάσεων μεταβιβάζεται στο φορέα, ενώ το έδαφος θεμελίωσης απλώς αντιδρά στην παραμόρφωση του οδοστρώματος. Έτσι το πρόβλημα του υπολογισμού των δύσκαμπτων οδοστρωμάτων είναι η στατική επίλυση πλάκας σκυροδέματος, που εδράζεται σε άπειρα ελαστικά σημεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1.** Ο.Μ.Ο.Ε. (Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων) «Γεωλογικές και Γεωτεχνικές Έρευνες και Μελέτες» τεύχος 11, 2003.
- 2.** Απόφαση Υπουργού περ/ντος χωροταξίας και δημόσιων έργων, υπ' αριθ. 6019-27/11/1985 (ΦΕΚ Β' 29).
- 3.** Οδοποιία – Ιστορική αναδρομή
Αντώνης Καλτσούνης, Λέκτορας Ε.Μ.Π., Μηχανικός, 2007.
- 4.** Σχεδιασμός - Μελέτη – Λειτουργία οδικών έργων. Γεωτεχνικά θέματα
Μ. Σακελλαρίου, καθηγητής Ε.Μ.Π., 2001.
- 5.** Γεωτεχνικές έρευνες υπεδάφους
Ευθ. Λέκκας, καθηγητής Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- 6.** Γεωλογικές και Περιβαλλοντολογικές μελέτες τεχνικών έργων
Β. Μαρίνος, Λέκτορας Α.Π.Θ Τεχνικός Γεωλόγος.
- 7.** Έρευνες Υπεδάφους
Ευθ. Λέκκας, καθηγητής Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- 8.** Δοκιμές Εδαφομηχανικής
Μ. Σακελλαρίου, καθηγητής Ε.Μ.Π., 2003.
- 9.** Στοιχεία Εδαφομηχανικής
Μιχ. Καββαδάς, Δρ. Πολ/κος Μηχ/κος, καθηγητής Ε.Μ.Π
- 10.** Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής
Ιωαν. Λούης, 2008.
- 11.** ΠΕΤΕΠ (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές), “02.02.01.00 Γενικές εκσκαφές (πλην κτιριακών έργων)”, “02.07.01.00 Κατασκευή επιχωμάτων με κατάλληλα προϊόντα εκσκαφών ή δανειοθαλάμων”, “02.07.03.00 Μεταβατικά επιχώματα”, “02.07.04.00 Οπλισμένες επιχώσεις”, “02.09.01.00 Με εφαρμογή υδράσβεστου ή/και υδραυλικών κονιών, τσιμέντου ή/και ασβεστούχου ιπτάμενης τέφρας”, “08.01.03.01 Εκσκαφές ορυγμάτων υπογείων δικτύων”, “11.02.01.00 Τοίχοι αντιστηρίξεως τύπου "Βερολίνου"”, “11.02.02.00 Τοίχοι αντιστηρίξεως από μεταλλικές πασσαλοσανίδες”, “11.02.03.00 Διαφραγματικοί τοίχοι”, “11.02.05.00 Τοίχοι αντιστηρίξεως από

οπλισμένη γη”, “11.03.01.00 Δυναμική συμπίκνωση”, “11.03.02.00 Δονητική Συμπύκνωση”, “11.03.03.00 Δονητική Αντικατάσταση - Χαλικοπάσσαλοι”, “11.03.05.00 Ενεματώσεις εδάφους”, “11.03.06.00 Κατακόρυφα συνθετικά στραγγιστήρια”, “12.07.02.00 Τσιμεντενέσεις”.

12. Μέθοδοι Βελτίωσης και Ενίσχυσης εδαφών
Ευάγ. Ι. Σταυριδάκης, καθηγητής Α.Π.Θ.

13. Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας Ε.Μ.Π.

14. Βελτίωση του εδάφους με Βαθιά Εδαφική Ανάμιξη, Εφαρμογές σε οργανικά εδάφη
Κων/νος Καλιουδάκης, καθηγητής Ε.Μ.Π, Γεωτεχνικός.

15. Πρότυπες Μέθοδοι Προσδιορισμού της Πορομετρικής Καμπύλης μη Υφασμένων Γεωφασμάτων, Διπλωματική Εργασία
Ελένη Κ. Παναγιωτίδη, Διπλ. Πολ/κος Μηχ/κος.

16. Αποτύπωση Διατομών Σηράγγων κατά τη Διάνοιξη με Συμβατικές Γεωδαιτικές Μεθόδους και Επίγειο σαρωτή LASER: Εφαρμογή στη Σήραγγα Τεμπών Τ1, Διπλωματική Εργασία
Ελ. Καντιάνης, 2010.

17. Επικινδυνότητα Καταπτώσεων και Ολισθήσεων Έναντι Αστοχίας Βραχωδών Πρανών σε κατοικημένες περιοχές, Διπλωματική Εργασία
Χαρ. Λιόνης, Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχ/κος Ε.Μ.Π., Αθήνα 2010.

18. Οπλισμένα Επιχώματα – Στοιχεία Σχεδιασμού, Κατασκευής και Ελέγχων Ευστάθειας
Νικ. Α. Νάσκος, Δρ. Πολ/κος Μηχ/κος, Γεωγνώση Α.Ε.

19. Η Αστοχία των Πρανών και Κατολισθητικά Φαινόμενα. Μηχανισμοί Πρόκλησής τους και Αντιμετώπιση, Διπλωματική Εργασία
Ιωαν. Μπάτσου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2003.

20. Τα Αίτια των Καθιζήσεων και Ρωγμών σε Οικοδομές και Τεχνικά Έργα της υπαίθρου, Άρθρο
Κλεόπας Χ. Χαραλάμπους, Ιούνιος 2003.

21. Ο Πάσσαλος Θεμελίωσης ως Γεωεναλλάκτης. Διερευνήσεις για τη Θερμική του Συμπεριφορά, Διδακτορική Διατριβή
Δημ. Μπόζης, Διπλ. Μηχ/λογος Μηχ/κος, Θεσ/νικη 2011.

22. Έργα Αντιστήριξης

Χαρ. Ζερβογιάννης, Δρ. Πολ/κος Μηχ/κος.

23. Διερεύνηση του Φαινομένου της Γήρανσης της Ασφάλτου – Τρόποι Αντιμετώπισης. Πτυχιακή Εργασία

Αγγελική Τσορώνη, Κων/νος Τζίμας, Πάτρα 2012.

24. Πηγές INTEPNET.