

Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : Μιχαλόπουλος Κώστας
Μπάρτζος Γεώργιος

ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑ : Βγενοπούλου Ειρήνη
ΠΑΤΡΑ2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΣΕΛ.
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΡΟΦΟΡΤΙΣΗ</u>	10
1.1 Γενικά.....	11
1.2 Τρόποι επιβολής του φορτίου.....	12
1.3 Απαιτήσεις και προϋποθέσεις	13
1.4 Συντελεστής υπερφορτίσεως και λόγος κατακόρυφων τάσεων	14
1.5 Ευστάθεια κατά την προφόρτιση	14
1.6 Καθιζήσεις κατά την προφόρτιση	15
1.7 Διάρκεια στερεοποίησης	15
1.8 Αιτίες βελτίωσης του εδάφους από την προφόρτιση	16
1.9 Βελτίωση των χαρακτηριστικών του εδάφους μετά την προφόρτιση..	17
1.10 Κατακόρυφα συνθετικά στραγγιστήρια.....	17
1.10.1 Γενικά	17
1.10.2 Χρήση στραγγιστηρίων	18
1.10.3 Ενσωματωμένα υλικά	20
1.10.4 Μέθοδοι κατασκευής στραγγιστηρίων	22
1.10.5 Διαδικασία κατασκευής στραγγιστηρίων	22
1.11 Ηλεκτρο-όσμωση	25
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΟΙ</u>	26
2.1 Γενικά	27
2.2 Τύποι χαλικοπάσσων	28
2.3 Διαδικασία κατασκευής	29
2.3.1 Μέθοδος με τροφοδοσία αδρανών στη κεφαλή της δονητικής στήλης..	29

2.3.2 Μέθοδος με εσωτερική τροφοδοσία αδρανών από την αιχμής.....	31
2.3.3 Μέθοδος με έμπηξη κλειστού σωλήνα	32
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΜΑΖΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ</u>	35
3.1 Μαζική συμπίκνωση (Vibrocompaction or Vibroflotation)	36
3.1.1 Γενικά	36
3.1.2 Διαδικασία κατασκευής	36
3.2 Πάσσαλοι Δόνησης, (Vibratory probes)	39
3.3 Μέθοδος του δονούμενου στελέχους (VIBRO WING METHOD)..	39
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ</u>	40
(DYNAMIC COMPACTION OR DYNAMIC CONSOLIDATION).	
4.1 Γενικά	42
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΕΝΕΣΕΙΣ</u>	49
5.1 Γενικά.....	50
5.2 Κατηγορίες Ενέσεων.....	50
5.3 Τύποι και ιδιότητες ενεμάτων	51
5.4 Σχεδιασμός, εκτέλεση , έλεγχος των ενέσεων	54
5.5 Μερικά παραδείγματα ενέσεων διαφόρων ενεμάτων.....	57
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΕΞΥΓΙΑΝΣΗ – ΑΣΒΕΣΤΟΠΑΣΣΑΛΟΙ</u>	60
6.1 Γενικά.....	61
6.2 Σκοπός της εξυγίανσης	61
6.3 Χρήση Ιπτάμενης Τέφρας (Fly Ash)	62
6.4 Jet Grouting	63
6.5 Ασβεστοπάσσαλοι	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΗΛΩΣΕΙΣ	67
7.1 Γενικά	68
7.2 Βασικά στοιχεία εδαφοηλώσεων	69
7.3 Παρουσίαση των μορφών αστοχίας	74
7.4 Εξωτερικές μορφές αστοχίας	74
7.4.1 Έλεγχος συνολικής ευστάθειας	75
7.4.2 Έλεγχος έναντι φέρουσας ικανότητας	76
7.5 Εσωτερικές μορφές αστοχίας	78
7.5.1 Έλεγχος έναντι εξόλκευσης ήλωσης	79
7.5.2 Έλεγχος έναντι ολίσθησης της ράβδου	80
7.5.3 Έλεγχος έναντι θραύσης	81
7.5.4 Έλεγχος έναντι κάμψης και διάτμησης ήλωσης	82
7.6 Αστοχία της επένδυσης	82
7.7 Μέθοδοι ανάλυσης	83
7.7.1 Μέθοδοι οριακής ισορροπίας	83
7.7.2 Κινηματική οριακή ανάλυση	84
7.7.3 Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (Computer Methods).....	85
7.8 Υπολογισμοί ευστάθειας ενισχυμένων πρανών με εδαφοηλώσεις...	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ – ΟΠΛΙΣΜΕΝΗ ΓΗ

8.1 Γενικά	90
8.2 Ιδιότητες γεωυφασμάτων	91
8.2.1 Μηχανικές ιδιότητες	91
8.2.2 Υδραυλικές ιδιότητες	91
8.3 Πλεονεκτήματα από τη χρήση των γεωυφασμάτων	92
8.4 Μηχανική συμπεριφορά του συστήματος γεωύφασμα έδαφος.....	93
8.4.1 Επιπόνηση σε διάτμηση	93
8.4.2 Επιπόνηση σε κατάσταση μεμβράνης	93

8.5 Συμπεριφορά των γεωφασμάτων σε κόπωση	94
8.6 Οπλισμένη γη	95
8.6.1 Γενικά	95
8.6.2 Χρησιμοποίηση γεωφασμάτων σε έργα οδοποιίας	95
8.6.3 Χρησιμοποίηση γεωφασμάτων σε θεμελιώσεις τεχνικών έργων και σε τοίχους αντιστήριξης.....	96
8.6.4 Κατασκευή έργων αντιστηρίξεως από οπλισμένη γη	98
8.6.5 Αποστράγγιση	100
8.6.6 Έλεγχος και Περιορισμός της Διάβρωσης	100
8.6.7 Παράδειγμα κατασκευής τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένη γη...101	
8.8 Μερικά παραδείγματα χρήσης γεωφασμάτων στην Εγνατία οδό στο ύψος του Μετσόβου	101

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

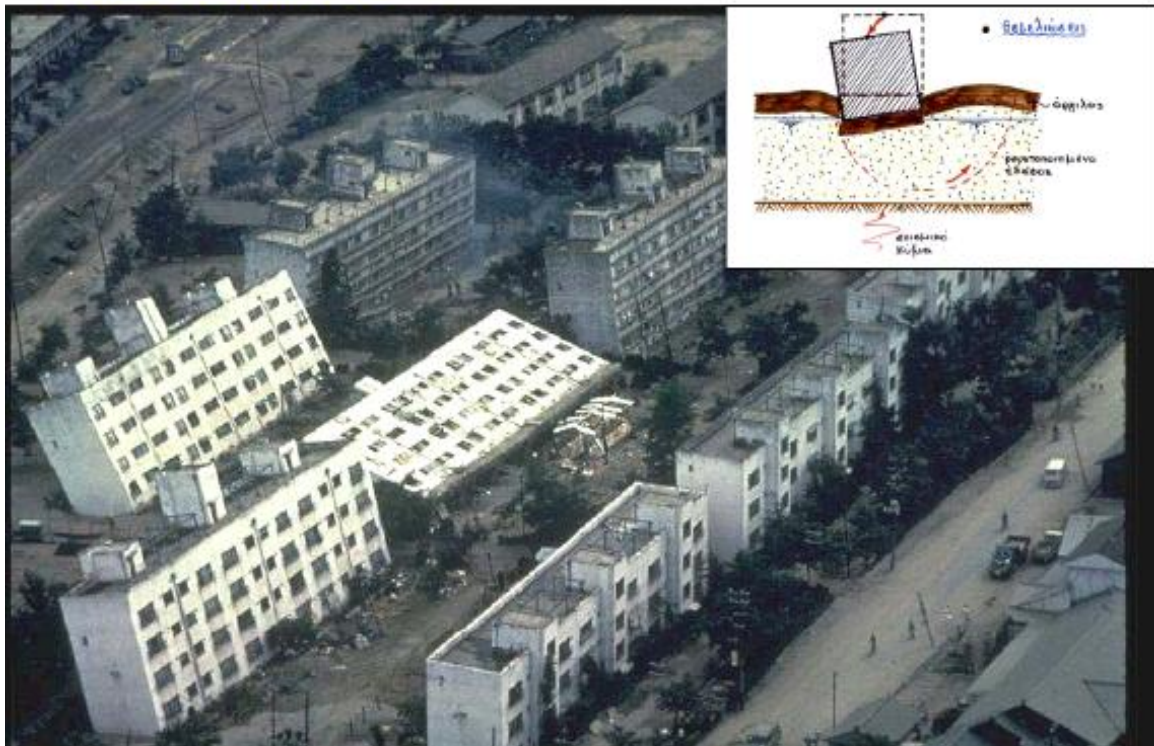
1. R.HAUSMANN “Engineering principles of ground modification”.
2. Καθ.Στέφανος Τσότσος ”Ειδικές Θεμελιώσεις”
3. Α.Χαρίση Χατζηγώγου “Συμπεριφορά και κριτήρια σχεδιασμού έργων αντιστήριξης από οπλισμένο έδαφος με μεταλλικά στοιχεία”.
4. Βασίλης Προφυλλίδης “ Γεωφάσματα»
5. Δημήτριος θ. Βαλαλάς “ Αντιστηρήξεις και θεμελιώσεις”.
6. Rolf.H.Rübener/Wilhelm Stiegler “ θεμελιώσεις”
7. Εκδόσεις Κλειδάριθμος “ Εδαφομηχανική (αρχές και εφαρμογές).
8. Α. Γ. Αναγνωστόπουλος “Θεμελιώσεις με πασσάλους”.
9. Παράμετροι σχεδιασμού θεμελιώσεων (Πρακτικά 2^{ης} Ελληνικής Ημερίδας Γεωτεχνικής, εκδόσεις Πλαίσιο).
10. Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές (Π.Ε.Τ.Ε.Π).

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ

1. WWW.PSK-GEOTEX.NAROD.RU
2. WWW.Π.Ε.Τ.Ε.Π.GR (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές).
3. WWW.CAT1.COM.AR
4. WWW.WEBTECGEOS.COM
5. WWW.JUDYCOMPANY.COM

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Niigata, Japan (1964)



Αν η εξέλιξη και η διάδοση των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών στα τελευταία χρόνια δημιούργησε, στα πλαίσια της προσπάθειας για πιο σωστή και εκλεπτυσμένη θεωρητική μελέτη των γεωτεχνικών προβλημάτων, τις προϋποθέσεις πρότασης και ανάπτυξης νέων, πιο σύνθετων και ολοκληρωμένων μοντέλων της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους από την άλλη μεριά η εξέλιξη της τεχνολογίας είχε σαν αποτέλεσμα την επινόηση και την επιτυχία στην πράξη Χρήση πολλών νέων μεθόδων αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων. Οι νέες αυτές μέθοδοι που ονομάστηκαν "Μέθοδοι Βελτίωσης του Εδάφους" κατά κάποιο τρόπο ανέτρεψαν την κλασική αντίληψη ότι ο Πολιτικός Μηχανικός δεν μπορεί να επέμβει στο έδαφος το οποίο είναι δεδομένο, και περιορίζεται στο να το μελετήσει και να προτείνει την πιο κατάλληλη λύση για το υπό μελέτη τεχνικό έργο, (π.χ. τον τύπο της θεμελίωσης ή το σύστημα αντιστήριξης). Έτσι οι μέθοδοι αυτές φαίνεται ότι αποτελούν σήμερα μια άλλη νέα δυνατότητα λύσης πολλών προβλημάτων θεμελίωσης σε περιπτώσεις που η εφαρμογή μιας των κλασικών διατάξεων επιφανειακών θεμελιώσεων (πέδιλα, σύστημα πεδιλοδοκών, κοιτόστρωση), δεν φαίνεται να είναι ασφαλής. Η δυνατότητα αυτή πρέπει να εξετασθεί πριν από τις συνήθως δαπανηρές λύσεις βαθιών θεμελιώσεων και αποδεικνύεται ότι συχνά προσφέρει την προοπτική μιας έξυπνης σύγχρονης λύσης, δηλαδή μιας λύσης ασφαλούς και οικονομικής. Συμπερασματικά μπορεί να λεχθεί ότι η γνώση των μεθόδων αυτών και η συνεχής παρακολούθηση της εξέλιξης τους είναι σήμερα για τον πολιτικό μηχανικό πολύ χρήσιμη, τόσο του, μελετητή που θα επιλέξει, και θα σχεδιάσει τη λύση του γεωτεχνικού προβλήματος όσο και τον εργοταξιακό που θα επιβλέψει την εφαρμογή της.

Στον πίνακα 1 δίνονται διάφορες σύγχρονοι μέθοδοι βελτίωσης του εδάφους χωρισμένες, ανάλογα με τον μηχανισμό που προκαλεί την βελτίωση, στις επόμενες 5 κατηγορίες:

- α) Μέθοδοι συμπύκνωσης του εδάφους
- β) Μέθοδοι στερεοποίησης
- γ) Μέθοδοι με εκτέλεση ενέσεων
- δ) Μέθοδοι σταθεροποίησης με ανάμειξη τσιμέντου, άσβεστου ή άλλων υλικών,
- ε) Μέθοδοι όπλισης του εδάφους.

Πρέπει να τονιστεί ότι ο Πολιτικός Μηχανικός πριν από την πρόταση εφαρμογής οποιασδήποτε μεθόδου βελτίωσης, πρέπει, πέρα από τα γενικά επιστημονικά και τεχνικά στοιχεία, να λαμβάνει σοβαρά υπόψη του τα επιτόπου δεδομένα της πράξης όπως το κόστος, την ύπαρξη του εξοπλισμού και τη καταλληλότητα του σε σχέση με τις συγκεκριμένες συνθήκες, τα αποτελέσματα και τις δυσκολίες που παρατηρήθηκαν σε τυχόν προηγούμενη εφαρμογή της ίδιας μεθόδου .

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ	ΜΕΘΟΔΟΙ
1. Στερεοποίηση	<u>Προφόρτιση με φορτίο</u> Προφόρτιση με χρήση άμμο-στραγγιστηρίων Ηλεκτρική όσμωση
2. Οπλισμός του εδάφους. (Ενσωμάτωση στοιχείων που μπορούν να παραλάβουν δυνάμεις εφελκυσμού ή θλίψεις) .	<u>Λιθοπάσσαλοι</u> Οπλισμένο έδαφος Χρησιμοποίηση γεωυφασμάτων Ριζοπάσσαλοι Κάρφωμα του εδάφους
3. Συμπύκνωση	<u>Δυναμική συμπύκνωση</u> Πάσσαλοι συμπύκνωσης Μέθοδοι μαζικής δόνησης Εκρήξεις
4. Σταθεροποίηση με ανάμειξη σε βάθος άσβεστου ή τσιμέντου (Χημική σταθεροποίηση)	<u>Άσβεστοπάσσαλοι</u> Πάσσαλοι ή διαφράγματα με ανάμειξη εδάφους και τσιμέντου.
5. Ενέσεις	<u>Ενέσεις</u> διαποτισμού Ενέσεις εκτοπίσεως ή συμπυκνώσεως .

Σχ.1 Μέθοδοι βελτίωσης του εδάφους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

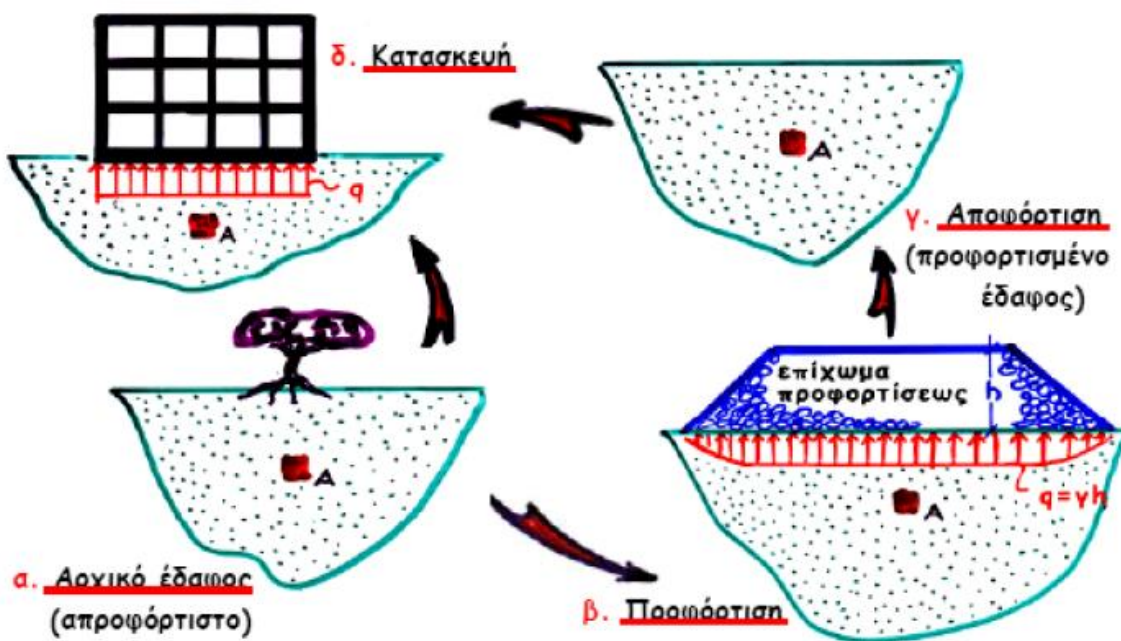
ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ



1.1 Γενικά

Η μέθοδος της προφόρτισης (σχ. 1) αποτελεί ίσως την πιο παλιά μέθοδο βελτίωσης του εδάφους και έχει χρησιμοποιηθεί με σχετική επιτυχία σε πολλούς τύπους εδαφών. Η μέθοδος παρουσιάζει το σημαντικό πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί τη χρησιμοποίηση ειδικού εξοπλισμού. Κατά τον Mitchell η εφαρμογή της προφόρτισης προσφέρεται περισσότερο στις περιπτώσεις κεκορεσμένων μαλακών αργίλων, συμπιεστών ιλύων, οργανικών αργίλων και ανθρακικών εδαφών.

Παρακάτω γίνεται αναφορά σ' ορισμένα επιμέρους θέματα που είτε παρέχουν χρήσιμες τεχνικές πληροφορίες είτε πραγματεύονται θεωρητικές μεθόδους πρόβλεψης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων της μεθόδου



Σχ. 1 Στάδια προφόρτισης

1.2 Τρόποι επιβολής του Φορτίου

Η πιο συνηθισμένη μέθοδος προφόρτισης είναι η συσσώρευση εδαφικού υλικού και η τοποθέτηση του με μορφή σωρών πάνω από την έκταση που θέλουμε να βελτιώσουμε. Το ύψος του σωρού και ο χρόνος παραμονής του εξαρτώνται από τα εδαφικά δεδομένα και τα χαρακτηριστικά του έργου και μπορούν να υπολογίσουν όπως αναπτύσσεται παρακάτω. Συνήθως το ύψος έχει τιμές μεταξύ 4 και 12 μέτρα και ο χρόνος είναι μεταξύ 3 και 10 μηνών. Το εδαφικό υλικό καταρχήν μπορεί να είναι κάθε τύπου συνήθως όμως είτε χρησιμοποιούνται προϊόντα κατεδαφίσεων ή εκσκαφών είτε μεταφέρονται αμμοχάλικα που δεν λασπώνουν και στη συνέχεια μπορούν να αξιοποιηθούν χρησιμοποιούμενα στη κατασκευή επιχωμάτων, δρόμων ή άλλων χωμάτων έργων.

Άλλες μέθοδοι προφόρτισης είναι οι εξής:

- Η τοποθέτηση (Βαρειών προκατασκευασμένων στοιχείων συνήθως σε μικρού πλάτους γραμμικά έργα.
- Η κατάλληλη άντληση και ο υποβιβασμός της στάθμης του υπόγειου νερού.
- Η πλήρωση δεξαμενών ή άλλων υδατοστεγών χώρων με νερό. Π.χ. στην περίπτωση δεξαμενών υγρών καυσίμων ή με τη κατασκευή στεγανών περιμετρικών αναχωμάτων.
- Η επιφανειακή διαβροχή στεγνών χαλαρών αποθέσεων. Η άσκηση φορτίων με γρύλλους ιδίως σε περιπτώσεις αύξησης των φορτίων. Π.χ. όταν πρόκειται να προστεθούν όροφοι σε υφιστάμενη κατασκευή.

1.3. Απαιτήσεις Και Προϋποθέσεις

Η προφόρτιση απαιτεί διαθέσιμο χώρο. Για την κατασκευή σωρών πρέπει να καταληφθεί χώρος που να ξεπερνάει την περίμετρο της κατασκευής κατά περίπου 10 m. Σε νέες κατασκευές η απαίτηση αυτή ικανοποιείται συνήθως με ευκολία αλλά σε έργα επεκτάσεως η απαίτηση του χώρου μπορεί να αποβεί απαγορευτική. Η προφόρτιση κοντά σε υπάρχοντα κτίρια ,ενδέχεται να προξενήσει ζημιογόνες καθιζήσεις και πρέπει να αποφεύγεται ,εκτός ειδικών περιπτώσεων. Π.χ. εάν έχει προηγηθεί προφόρτιση και στη θέση του υπάρχοντος κτιρίου. Άλλη απαίτηση είναι η εξεύρεση κατάλληλου υλικού για τους σωρούς και η δυνατότητα μεταφοράς του χωρίς σοβαρές περιβαντολλογικές επιπτώσεις. Το καλύτερο υλικό είναι το αμμοχάλικο ή η άμμος ,επειδή δεν λασπώνουν όταν βρέχει και επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν αργότερα με ευχέρεια στην κατασκευή δρόμων, κ.λπ. Άλλα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία είναι αργιλώδη εδάφη ,στείρα λατομείου ,προϊόντα κατεδαφίσεων ή εκσκαφών για νέα κτίρια κ.ά. Ακόμη για την επιτυχή διεξαγωγή της προφορτίσεως απαιτείται η παρακολούθηση από πολιτικό μηχανικό-γεωτεχνικό με την βοήθεια οργάνων μέτρησης. Σε περίπτωση που απαιτηθεί πρέπει ο γεωτεχνικός να μπορεί να επιμηκύνει τον χρόνο κατασκευής των σωρών ή τη διάρκεια της προφορτίσεως.

Προϋποθέσεις για την επιτυχία της προφορτίσεως είναι η πρόληψη της θραύσεως του υπεδάφους κατά την προφόρτιση και η επαρκής βελτίωση του εδάφους μέσα σε λογικά χρονικά πλαίσια.

1.4. Συντελεστής υπερφορτίσεως και λόγος κατακόρυφων τάσεων

Ο συντελεστής υπερφορτίσεως (n) είναι ίσος με το λόγο του φορτίου που ασκείται κατά την προφόρτιση ,προς το μέγιστο φορτίο που θα έχει η μελλοντική μόνιμη κατασκευή. Σε πρακτικές εφαρμογές συνιστάται το n να είναι 1,5-2. Παρόλο που ο συντελεστής n είναι χρήσιμος σαν παράμετρος σχεδιασμού ,επειδή εκφράζει την πρόσθετη φόρτιση ενέχει κάποια υπεραπλούστευση. Στην πράξη ,τα φορτία της προφορτίσεως δεν εφαρμόζονται ακριβώς στις ίδιες θέσεις με τα φορτία λειτουργίας και έτσι οι κατακόρυφες τάσεις κάτω από κρίσιμα σημεία της κατασκευής επηρεάζονται άμεσα από την προφόρτιση.

1.5 Ευστάθεια κατά την προφόρτιση

Από την φύση του προβλήματος που αντιμετωπίζεται με την προφόρτιση προκύπτει ότι το έδαφος θεμελιώσεως έχει χαμηλή αντοχή και υπόκειται στον κίνδυνο της θραύσεως. Εξάλλου ,για να επιτευχθεί υψηλός βαθμός βελτιώσεως πρέπει το φορτίο της προφορτίσεως να είναι κατά το δυνατόν υψηλότερο. Για την εκτίμηση του κινδύνου θραύσεως υπολογίζεται ο συντελεστής ασφαλείας (ΣA). Η επικρατέστερη μέθοδος για τον υπολογισμό του ΣA είναι με δοκιμαστικούς κύκλους και τις παραδοχές ή του Fellenius ή του Bishop ή του Sarma ή παρόμοιες με αυτές. Για την γρήγορη προσεγγιστική εκτίμηση του ΣA προσφέρεται επίσης ο χάρτης ευστάθειας (Stability chart) ,λαμβάνοντας το φαινόμενο βάρους ίσο με το φαινόμενο βάρους του σωρού και τη διατμητική αντοχή ίση με τη διατμητική αντοχή του εδάφους εδράσεως. Σε προβλήματα προφορτίσεως ,μια τιμή του ΣA περίπου 1,2 θεωρείται επαρκής. Εάν η πίεση του νερού των πόρων παρακολουθείται με πιεζόμετρα ,ο υπολογισμός του ΣA μπορεί να επαναλαμβάνεται και κατά την εξέλιξη της προφορτίσεως.

1.6 Καθιζήσεις κατά την προφόρτιση

Ο υπολογισμός του μεγέθους των καθιζήσεων που θα προκληθούν από την προφόρτιση ,είναι χρήσιμος για τη σταδιακή εκτίμηση της προόδου της βελτιώσεως του εδάφους. Π.χ. εάν έχει υπολογιστεί συνολική καθίζηση 0,80 m και στο τέλος της κατασκευής του σωρού προφορτίσεως έχει αναπτυχθεί καθίζηση 0,40 m ,τότε η βελτίωση του εδάφους έχει προχωρήσει περίπου κατά το ήμισυ. Άλλος πρόσθετος λόγος είναι η εκτίμηση του πάχους του υλικού από τον σωρό προφορτίσεως που θα προσαρτηστεί στο έδαφος.

Για τον υπολογισμό των καθιζήσεων απαιτείται ο εργαστηριακός προσδιορισμός της συμπιεστότητας του εδάφους. Η συμπιεστότητα ,που είναι σημαντική παράμετρος σχεδιασμού, εκφράζεται είτε σαν «συντελεστής συμπιεστότητας» (C_c) είτε σαν «ειδικό μέτρο συμπιεστότητας» (D_s) (μέτρο συμπιεστότητας για κατακόρυφη τάση ίση με την τάση των υπερκειμένων συν $0,05 \text{ MN/m}^2$). Σε περίπτωση εδαφών με προσυμπίεση ή παρατεταμένη στερεοποίηση (aging) ή ξήρανση ,το D_s είναι προτιμότερο.

1.7 Διάρκεια στερεοποίησης

Η εκτίμηση της διάρκειας της στερεοποίησης είναι απαραίτητη για το σωστό προγραμματισμό της βελτιώσεως του εδάφους. Βαρύνει δε πάρα πολύ στο στάδιο της αποδοχής της μεθόδου κατά το σχεδιασμό των έργων. Ο καλύτερος τρόπος εκτιμήσεως είναι με βάση την επιτόπια εμπειρία ή με δοκιμαστική φόρτιση. Εάν η διάρκεια της στερεοποίησης υπολογιστεί με τη θεωρία του Terzaghi ,είναι απαραίτητο ο συντελεστής στερεοποίησης κατά την κατακόρυφο (C_v) να υπολογίζεται από

$$C_v = D_s k / V_w ,$$

όπου C_v και D_s είναι όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, k η υδατοπερατότητα του εδάφους από μετρήσεις μέσα σε γεωτρήσεις (π.χ. Lefranc) και V_w το μοναδιαίο βάρος του νερού.

1.8 Αιτίες βελτίωσης του εδάφους από την προφόρτιση

Κατά την προφόρτιση επέρχεται αύξηση της πυκνότητας του εδάφους, συμύκνωση. Η συμύκνωση διαπιστώνεται από την καθίζηση της αρχικής επιφάνειας. Και παρόλο που μέρος της παρατηρούμενης καθιζήσεως ενδέχεται να οφείλεται σε πλευρική μετακίνηση του εδάφους προς τα έξω, το μεγαλύτερο μέρος της καθιζήσεως αντιπροσωπεύει, κατά κανόνα, συμύκνωση. (Σε μαλακές αργίλους ενδέχεται να συμβεί σημαντική πλευρική μετακίνηση, οφειλόμενη σε ερπυσμό, οπότε η καθίζηση δεν θα είναι εξ' ολοκλήρου ενδεικτική της επερχόμενης συμύκνωσης). Η συμύκνωση προκαλεί αφενός τη μείωση της φυσικής υγρασίας (w_N), και αφετέρου την αύξηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (S_u), του μέτρου συμπίεστικότητας (D) και της αντοχής σε πρότυπη δοκιμή διεισδύσεως (N).

Κατά την προφόρτιση, επέρχεται επίσης και αύξηση των οριζόντιων θλιπτικών τάσεων (οριζόντια συμπίεση). Η οριζόντια συμπίεση μειώνει τις διατμητικές τάσεις και αυξάνει περαιτέρω την αντοχή N . Σε αργίλους, η μείωση των διατμητικών τάσεων μειώνει τη δευτερεύουσα στερεοποίηση. Σε άμμους, η αύξηση της N επενεργεί σαν παράγοντας πρόσθετης σταθεροποίησης και συμβάλλει στη μείωση του κινδύνου της ρευστοποίησης.

1.9 Βελτίωση των Χαρακτηριστικών του εδάφους μετά την προφόρτιση

Εάν υποθεθεί ότι το σύνολο της παρατηρούμενης καθιζήσεως (δ) οφείλεται σε συμπύκνωση (πλευρική μετακίνηση = 0), είναι δυνατόν να εκτιμηθεί, κατά προσέγγιση, η μεταβολή (Δ) χαρακτηριστικών παραμέτρων του εδάφους συναρτήσει του πάχους των συμπιεστών εδαφών (h) και της ασκούμενης πίεσεως (p) της προφορτίσεως. Το ειδικό βάρος των κόκκων του εδάφους συμβολίζεται με το G και ο λόγος κενών με το e .

$$\Delta w_N = - (w_N + 1/G) \delta/h \quad (1)$$

$$\Delta s_u = (G/0.434 C_c) \cdot s_u \cdot \Delta w_N \quad (2)$$

$$\Delta s_u = (1+w_N G/0.434 C_c) \cdot s_u \cdot \delta/h \quad (3)$$

$$\Delta D = (1+ e/ 0.434 C_c) \cdot p \quad (4)$$

1.10 Κατακόρυφα συνθετικά στραγγιστήρια

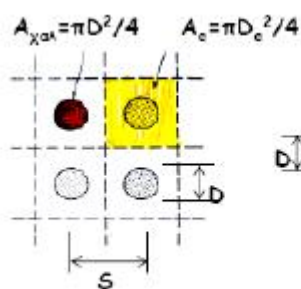
1.10.1 Γενικά

Η τοποθέτηση στο έδαφος κατακόρυφων στραγγιστηρίων από συνθετικό υλικό (wick drains) για την επιτάχυνση της εκτόνωσης των υδατικών υπερπιάσεων πόρων (στράγγιση του ύδατος των εδαφικών πόρων), έχει ως σκοπό την ταχύτερη εξέλιξη της στερεοποίησης του εδαφικού υλικού και συνεπώς την ταχύτερη ολοκλήρωση των αναμενομένων καθιζήσεων και την ταχύτερη αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους. Η βελτίωση του εδάφους μέσω κατακόρυφων συνθετικών στραγγιστηρίων συνδυάζεται πάντοτε

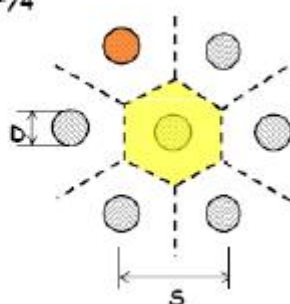
με προφόρτιση του εδάφους ώστε να προκληθούν υδατικές υπερπιέσεις στο έδαφος. Η μέθοδος της βελτίωσης του εδάφους μέσω κατακόρυφων συνθετικών στραγγιστηρίων εφαρμόζεται σε μαλακούς και συμπιεστούς εδαφικούς σχηματισμούς μικρής διαπερατότητας. Λόγω της μικρής διατμητικής αντοχής των εδαφικών σχηματισμών, η κατασκευή των κατακόρυφων συνθετικών στραγγιστηρίων γίνεται με έμπηξη.

1.10.2 Χρήση στραγγιστηρίων

Σε περιπτώσεις που είτε το πάχος της συμπιεστής στρώσης είναι μεγάλο, (π.χ. 2H μεγαλύτερο των 6.0 m), είτε ο συντελεστής στερεοποίησης είναι μικρός, (π. χ. μικρότερος του 10^{-3} cm²/sec απαιτείται, για να είναι αποτελεσματική προφόρτιση, χρόνος παραμονής της που ξεπερνάει τις συνήθεις δυνατότητες. Στις περιπτώσεις αυτές η αποτελεσματικότητα της προφόρτισης μπορεί να ενισχυθεί και να βελτιωθεί με τη κατασκευή κατακόρυφων στραγγιστηρίων οπών σε τριγωνική ή τετραγωνική διάταξη που επιτρέπουν την συμπληρωματική οριζόντια αποστράγγιση όπως φαίνεται στα σχ.1.2α και 1.2β.



Σχ. 1.2α



Σχ. 1.2β

Η εφαρμογή της τεχνικής αυτής αξιοποιεί την αυξημένη κατά κανόνα διαπερατότητα των φυσικών αργιλικών εδαφών κατά την οριζόντια διεύθυνση ($C_r/C_v = 2:10$), όπως και την τυχόν παρουσία οριζόντιων στρώσεων μικρού πάχους που χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη διαπερατότητα δημιουργώντας έτσι ένα ορθογώνιο πλέγμα διαδρομών αποστράγγισης.

Για την ακτινική ροή, ανάλογα με την κατακόρυφη αποστράγγιση, ισχύει η παρακάτω σχέση 1,8

$$T_r = C_r \cdot t / d_e^2, \quad \text{όπου}$$

(d_e η διάμετρος υποθετικού κυλίνδρου που αντιστοιχεί στο στραγγιστήριο).

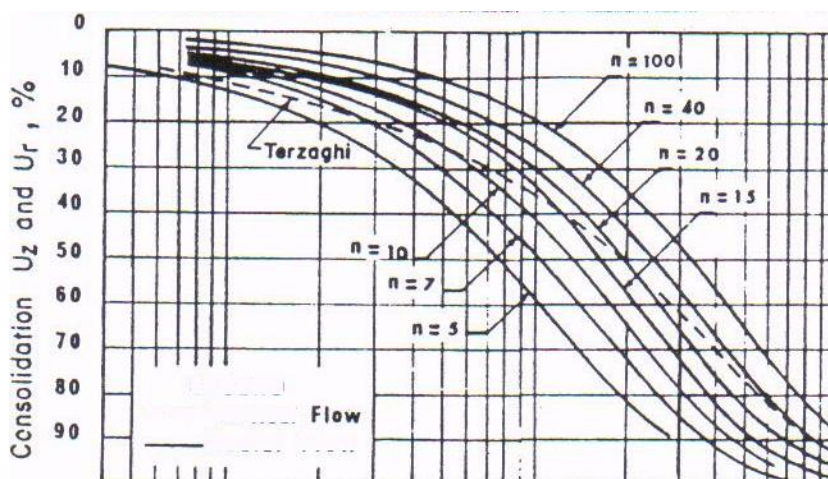
Οι σχέσεις μεταξύ του παράγοντα χρόνου T_r και του αντίστοιχου βαθμού στερεοποίησης U_r έχουν δοθεί από τον BARRON με μορφή νομογραφήματος για διάφορες τιμές του λόγου d_e/d_w (σχ. 1.3). Η ορθότητα του υπολογισμού εξαρτάται από την αξιοπιστία της τιμής του C_r που χρησιμοποιείται. Η αποστράγγιση κατά την κατακόρυφη έννοια υπολογίζεται σαν να μην υπάρχουν στραγγιστήρια οδηγώντας στον υπολογισμό του αντίστοιχου Βαθμού στερεοποίησης U_v .

Ο γενικός βαθμός στερεοποίησης U^* υπολογίζεται με τη σχέση

$$(1-U^*) = (1-U_v) (1-U_r)$$

Η αποστράγγιση διευκολύνεται όταν πάνω στις κεφαλές των στραγγιστηρίων και πριν από την κατασκευή του σωρού της προφόρτισης τοποθετηθεί διαπερατή αμμοχαλικώδης στρώση. Οι συνήθεις στην πράξη διάμετροι είναι μεταξύ 150 και 400 mm. Η χρονική διάρκεια κατασκευής μιας

οπής διαρκεί μεταξύ 2-5 και 20 λεπτών καθώς εξαρτάται από τις επιτόπου συνθήκες και βέβαια επιδιώκεται η ταχεία εκτέλεση και τελικά η οικονομία. Επισημαίνεται ότι όχι σπάνια η απόδοση των στραγγιστηρίων περιορίζεται πολύ όταν κυρίως σε οργανικά ή σε πολύ υδαρή εδάφη τα στραγγιστήρια δεν σχηματίζονται ομαλά ή με τον χρόνο αλλοιώνονται και σ' ένα βαθμό καταστρέφονται.



Σχ. 1.3 Ννομογράφημα χρόνου (T_r) - στερεοποίηση (U_r).

1.10.3 Ενσωματωμένα υλικά

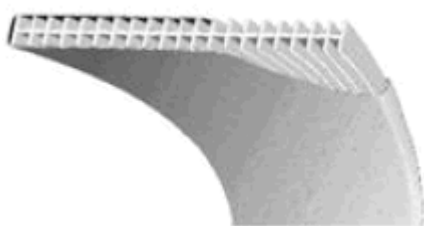
Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο τα λεγόμενα “Wick drains” και τα “Plastic drains”. Τα συνθετικά στραγγιστήρια (wick drains) είναι προκατασκευασμένες φιλτροταινίες βιομηχανικού τύπου (prefabricated band drains), αποτελούμενες από πυρήνα ο οποίος περιβάλλεται από φίλτρο (σχ. 1.4). Το φίλτρο έχει ως σκοπό την αποφυγή διείσδυσης του

περιβάλλοντος εδαφικού υλικού στον πυρήνα, ενώ ο πυρήνας αποτελεί την δίοδο κατακόρυφης αποστράγγισης του νερού των πόρων. Το πλάτος των φιλτροταινίων κυμαίνεται συνήθως από 2 έως 5 ίντσες.

Ο σχεδιασμός μιας διάταξης Wick drains μπορεί να γίνει αφού προηγουμένως υπολογισθούν τα ισοδύναμα προς αυτά κλασικά στραγγιστήρια άμμου. Η ισοδυναμία κατά τον Koerner ορίζεται με την εξίσωση των κενών που έχουν τα δυο διαφορετικά στοιχεία.

$$\eta^* (\pi \cdot d^2 w / 4) = \text{πλάτος} \cdot \text{πάχος} \cdot \text{ποσ. κενών στρ.} \longrightarrow$$
$$dw = (4 \cdot A / \pi \cdot \eta)^{1/2}$$

Σε περιπτώσεις που η συμπιεστή στρώση έχει μικρό πάχος και είναι επιφανειακή, τότε η στερεοποίηση μπορεί να επιταχυνθεί και με την διάνοιξη στραγγιστηρίων τάφρων.



Σχ. 1.4 Τυπική τομή φιλτροταινίας

1.10.4 Μέθοδοι κατασκευής στραγγιστηρίων

Οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι την εποχή αυτή μέθοδοι και τεχνικές κατασκευής στραγγιστηρίων είναι οι εξής:

- Με χρήση σωλήνα με κλειστό μετακινούμενο πυθμένα. Ο σωλήνας εμπηγνύεται μέχρι το βάθος που προβλέπεται και στη συνέχεια γεμίζει με άμμο που διοχετεύεται με πίεση. Ο σωλήνας ανασύρεται αφού προηγουμένα έχει ανοίγει ο πυθμένας και η άμμος υπό πίεση καταλαμβάνει ολόκληρο το κενό χώρο.
- Με χρήση τρυπανιού και ταυτόχρονη παροχή άμμου με πίεση.
- Με την εφαρμογή και κατάλληλη εκτόξευση νερού με πίεση,

Η χρονική διάρκεια κατασκευής μιας οπής διαρκεί μεταξύ 2-5 και 20 λεπτών καθώς εξαρτάται από τις επιτόπου συνθήκες και βέβαια επιδιώκεται η ταχεία εκτέλεση και τελικά η οικονομία. Επισημαίνεται ότι όχι σπάνια η απόδοση των στραγγιστηρίων περιορίζεται πολύ όταν κυρίως σε οργανικά ή σε πολύ υδαρή εδάφη τα στραγγιστήρια δεν σχηματίζονται ομαλά ή με τον χρόνο αλλοιώνονται και σ' ένα βαθμό καταστρέφονται.

1.10.5 Διαδικασία κατασκευής στραγγιστηρίων.

Πριν από την εισαγωγή των στραγγιστηρίων στο έδαφος θα κατασκευάζεται στην επιφάνεια του εδάφους αποστραγγιστική στρώση πάχους 0.50 m. από κοκκώδες διαπερατό υλικό. Η ανωτέρω στρώση έχει σκοπό να παρέχει δάπεδο εργασίας για τα μηχανήματα αλλά και για να λειτουργήσει ως αποστραγγιστική στρώση για το νερό που θα ανέρχεται στις κεφαλές των στραγγιστηρίων κατά τη λειτουργίας τους. Τα περιμετρικά άκρα της

αποστραγγιστικής στρώσης θα έχουν την δυνατότητα ελεύθερης στράγγισης στο περιβάλλον (σχ. 1.5).

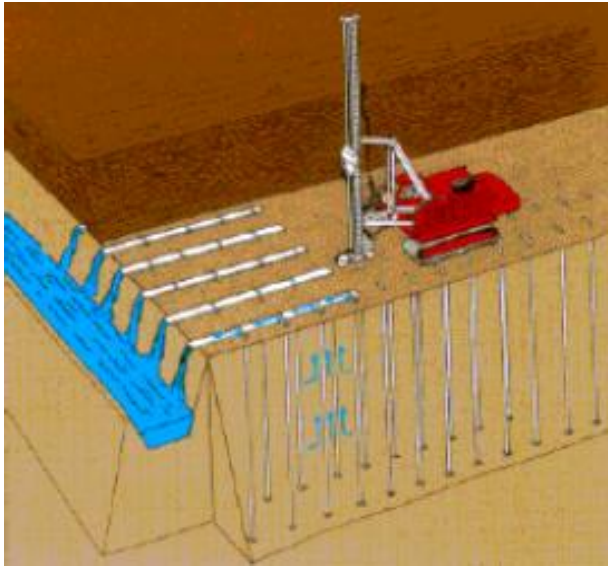
Η εισαγωγή των στραγγιστηρίων στο έδαφος (έμπηξη) θα γίνεται με την βοήθεια του γερανού (drain sticher) εξοπλισμένου με κατακόρυφο οδηγό (kelly) ο οποίος μπορεί να ασκήσει ικανή πίεση ώστε να επιτευχθεί η διείσδυση των στραγγιστηρίων στο έδαφος μέχρι το επιθυμητό βάθος και με την απαραίτητη κατακορυφότητα (σχ. 1.6).

Κατά την έμπηξη, τα στραγγιστήρια περιβάλλονται από ειδικό χαλύβδινο στέλεχος (mandrel) κοίλης διατομής (ορθογωνικής, κυκλικής ή ρομβοειδούς), το οποίο κινείται κατακόρυφα κατά μήκος του οδηγού του γερανού και παρασύρει στο εσωτερικό του το στραγγιστήριο το οποίο ξετυλίγεται από το τύμπανο. Το χαλύβδινο στέλεχος αφενός μεν βοηθά στην έμπηξη του στραγγιστηριού παρέχοντας την απαραίτητη ακαμψία και αντοχή σε πίεση, αφετέρου δε προστατεύει το στραγγιστήριο κατά την έμπηξή του. Στη βάση του χαλύβδινου στελέχους τοποθετείται χαλύβδινη πλάκα επί της οποίας προσδένεται το κάτω άκρο του πλαστικού στραγγιστηριού. Κατά την έμπηξη του χαλύβδινου στελέχους στο έδαφος, παρασύρεται και η χαλύβδινη πλάκα έλκοντας το πλαστικό στραγγιστήριο μέχρι το επιθυμητό βάθος. Όταν το χαλύβδινο στέλεχος φθάσει στο επιθυμητό βάθος, αρχίζει να ανασύρεται, αφήνοντας την χαλύβδινη πλάκα στο τελικό βάθος και το στραγγιστήριο καθ' όλο το ύψος τα οπής.

Μετά το πέρας τη έμπηξης κάθε στραγγιστηριού και την ανάσυρση του ειδικού χαλύβδινου περιβλήματος, η φιλτροταινία θα αποκόπτεται με μηχανικό κόπτη, σε ύψος περίπου 200 mm υπεράνω της στάθμης του εδάφους. Εναλλακτικά, η φιλτροταινία μπορεί να κόβεται και πριν από την έμπηξη.

Τέλος είναι δυνατή η χρήση συστημάτων ταυτόχρονης έμπηξης πολλαπλών συνθετικών στραγγιστηρίων με τη χρήση κατάλληλου πλαισίου

στήριξης πολλαπλών στελεχών και ισχυρού συστήματος εφαρμογής πίεσης ή δονητού ικανής ισχύος.



Σχ. 1.5 Σχηματική διάταξη και τρόπος λειτουργίας των κατακόρυφων συνθετικών στραγγιστηρίων.

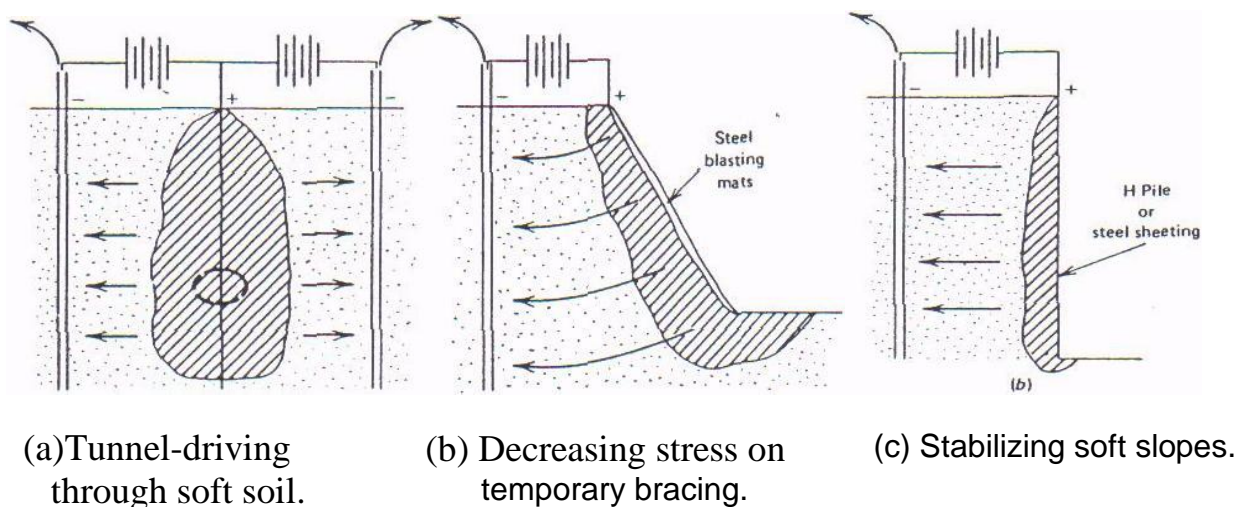


Σχ. 1.6 Εξοπλισμός τοποθέτησης κατακόρυφων στραγγιστηρίων.

1.11. Ηλεκτρο-όσμωση

Η ηλεκτρο-όσμωση (σχ. 1.7) μοιάζει με τα κατακόρυφα στραγγιστήρια επειδή η βελτίωση του εδάφους οφείλεται επίσης στην αποστράγγιση του και τη μείωση της φυσικής υγρασίας του. Η μέθοδος δεν έχει εφαρμοσθεί πολύ, φαίνεται όμως ότι παρουσιάζει ενδιαφέρον σε περιπτώσεις που ζητείται η βελτίωση τοπικά σε περιορισμένη έκταση ίσως και προσωρινά σε ειδικά έργα. Η μέθοδος συνίσταται στη τοποθέτηση στο έδαφος αριθμού ηλεκτροδίων 1,50μ. περίπου βαθύτερα από τη χαμηλότερη στάθμη βελτίωσης και η δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλεί την ροή του υπόγειου νερού προς τις καθόδους. Σαν κάθοδοι συνήθως χρησιμοποιούνται διάτρητοι σιδερένιοι σωλήνες διαμέσου των οποίων απομακρύνεται το νερό. Η πλευρά του καννάβου που σχηματίζουν τα ηλεκτρόδια είναι συνήθως μεταξύ 6 και 9 μέτρων.

Παραλλαγή της μεθόδου είναι η παροχή στην άνοδο κατάλληλου ενέματος το οποίο κινείται προς τις καθόδους κατά παρόμοιο τρόπο, διαποτίζει το έδαφος και επιδρώντας χημικά βελτιώνει τις ιδιότητες του, electrical injection). Η δαπάνη εφαρμογής της μεθόδου εξαρτάται έντονα από τα δεδομένα κάθε περίπτωσης.



Σχ. 1.7 Typical stabilization configurations using electro-osmosis, where arrows refer to water flow and shaded areas to stabilized soil.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΧΑΛΙΚΟΠΑΣΣΑΛΟΙ



2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Οι χαλικοπάσσαλοι είναι μια νέα σχετικά τεχνική που οι πρώτες, συστηματικές εφαρμογές της παρουσιάστηκαν περί τα τέλη της δεκαετίας του 1950. Η μέθοδος συνίσταται από την διάνοιξη κυκλικών οπών στο προβληματικό φυσικό έδαφος με μήκος σημαντικό που σε ορισμένες περιπτώσεις πλησίασε τα 20m, και διάμετρο 0.60 έως 1.00 και την πλήρωση τους συνήθως με χάλικες ή θραυστό υλικό λατομείων. Το παραπάνω υλικό στις περισσότερες των περιπτώσεων έχει διαστάσεις μεταξύ 20mm και 75mm, έχουν όμως χρησιμοποιηθεί επίσης με επιτυχία φυσικά αμμοχάλικα ή και άμμοι. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται είναι και πάλι η τριγωνική και η τετραγωνική διάταξη (σχ. 1.2α – 1.2β) με μήκος πλευράς μεταξύ 1.50 και 3.50 μέτρα.

Η λειτουργία των χαλικοπασσάλων μοιάζει με την λειτουργία των πασσάλων σκυροδέματος καθώς δέχονται τμήμα του φορτίου της κατασκευής την οποία φέρουν, και το οποίο τελικά μεταφέρουν στο φυσικό έδαφος με την πλευρική τριβή και την έδραση της αιχμής των. Η βασική όμως διαφορά τους είναι ότι το υλικό τους έχει πολύ μικρότερη αντοχή από το σκυρόδεμα, και μάλιστα μηδενική συνοχή οπότε είναι απαραίτητη η ύπαρξη πλευρικής αντίστασης για να αποκτήσουν αντοχή σε αξονική θλιπτική επιπόνηση ή διάτμηση.

Έτσι λοιπόν στην αντοχή του όλου συστήματος, στην περίπτωση των χαλικοπασσάλων, κρίσιμη είναι η αντοχή αυτού του ίδιου του πασσάλου και όχι η μεταφορά του φορτίου από τους πασσάλους στο έδαφος, που αποτελεί τον κανόνα στην περίπτωση των πασσάλων. Αυτό το στοιχείο είναι και ο λόγος που δεν αναζητείται απαραίτητα κάποια ανθεκτική στρώση για την έδραση των αιχμών των λιθοπασσάλων, όπως και του ότι δεν προσφέρει πέραν ενός ορίου αύξηση του μήκους τους.

Χρησιμοποιούνται επίσης για να μειωθεί ο κίνδυνος ρευστοποίησης του εδάφους. Η ρευστοποίηση εδάφους παρατηρείται αρκετές φορές κυρίως σε αμμώδη εδάφη, τα οποία είναι κορεσμένα με νερό, και οφείλεται στην αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων λόγω του σεισμού. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια τη μείωση της τριβής μεταξύ των κόκκων του υλικού, έτσι ώστε αυτό να συμπεριφέρεται ως ρευστό.

2.2 Τύποι Χαλικοπάσσων

Η τεχνική της δονητικής αντικατάστασης (vibro-replacement), 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 επί τόπου μαλακού αργιλικού υλικού και η πλήρωσή του δημιουργούμενου κενού με χαλικώδες υλικό κατά μήκος μιας στήλης εδάφους (χαλικοπάσσαλος). Ο χαλικοπάσσαλος και το περιβάλλον αυτόν έδαφος αποτελούν ένα σύστημα με βελτιωμένα χαρακτηριστικά.

Ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη μέθοδο δονητικής αντικατάστασης διακρίνονται οι εξής τύποι χαλικοπάσσων:

1. Χαλικοπάσσαλος με τροφοδοσία αδρανών από τη κεφαλή της δονητικής στήλης (Top feed method).
2. Χαλικοπάσσαλος με τροφοδοσία αδρανών στην αιχμή της δονητικής στήλης (Bottom feed method).
3. Χαλικοπάσσαλος με έμπηξη κλειστού σωλήνα.

2.3 Διαδικασία κατασκευής

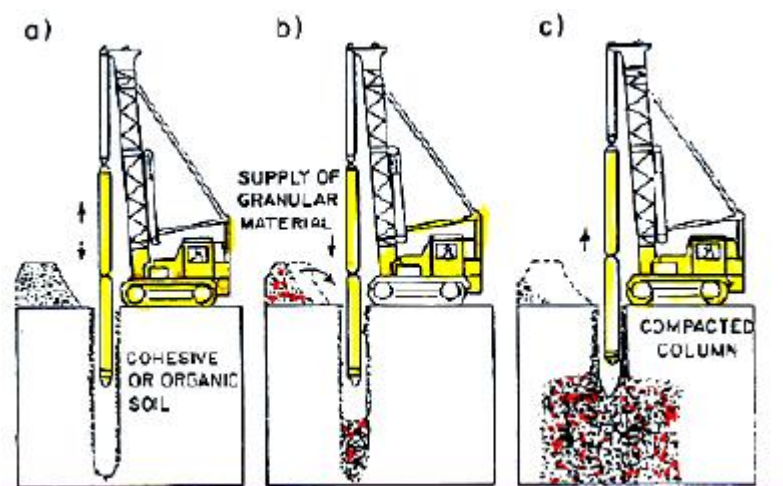
2.3.1. Μέθοδος με τροφοδοσία αδρανών στη κεφαλή της δονητικής στήλης.

Η δονητική στήλη τοποθετείται σε κατακόρυφη θέση (με τη βοήθεια του ανυψωτικού γερανού) στο σημείο όπου πρόκειται να εφαρμοστεί η κατασκευή του χαλικοπάσσαλου (σχ. 2.1).

Με το ίδιο βάρος της δονητικής στήλης, τη βοήθεια του νερού που διοχετεύεται από τα ακροφύσια στην αιχμή του δονητή και σε συνδυασμό με τη δόνηση που επιβάλλεται, η δονητική στήλη εισάγεται στο έδαφος μέχρι το επιθυμητό βάθος. Η επιβαλλόμενη δόνηση σε συνδυασμό με τη χρήση του εκτοξευόμενου νερού έχει ως αποτέλεσμα την πλευρική εκτόπιση και (εν μέρει) απομάκρυνση (ξέπλυμα) του επί τόπου αργιλικού εδάφους δημιουργώντας οπή με διάμετρο μεγαλύτερη από τη διάμετρο του δονούμενου στελέχους (σχ. 2.2).

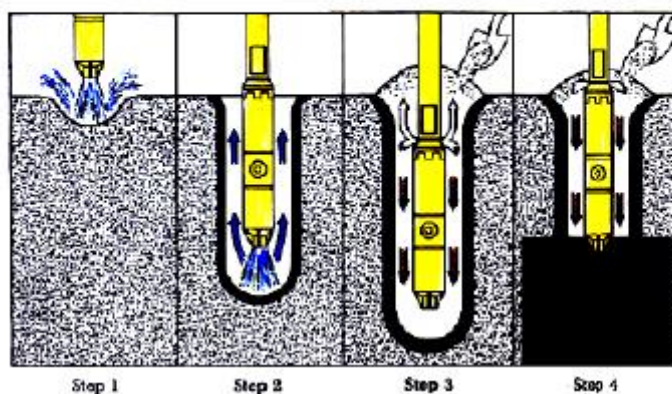
Αφού η δονητική στήλη φθάσει στο επιθυμητό βάθος, αρχίζει η διαδικασία κατασκευής του χαλικοπασσάλου με ανιόντα βήματα της τάξης των 30 – 50 cm μέχρι την επιφάνεια, και σε κάθε βήμα διοχετεύεται χαλίκι από την επιφάνεια του εδάφους με τη βοήθεια ενός φορτωτή. Σε κάθε βήμα ανόδου, ο δονητής ξαναβυθίζεται και με τη δόνησή του προκαλεί συμπίκνωση του χαλικιού και περαιτέρω εκτόπιση του εδάφους, έτσι ώστε να σχηματίζεται χαλικοπάσσαλος με διάμετρο μεγαλύτερη από αυτήν της οπής. Η βύθιση του δονητή επαναλαμβάνεται σε κάθε βήμα, μέχρις ότου επιτευχθεί συγκεκριμένη αύξηση της υδραυλικής πίεσης (Bars) ή της ηλεκτρικής έντασης (Ampers), ανάλογα εάν χρησιμοποιείται υδραυλικός η ηλεκτρικός δονητής. Τα κριτήρια ανόδου του δονητή, δηλαδή βήμα ανόδου, αύξηση της πίεσης ή της έντασης, αριθμός παλινδρομικών κινήσεων προσδιορίζονται από τα αποτελέσματα στο αρχικό δοκιμαστικό πεδίο.

Το χαλίκι πλήρωσης μπορεί να προέρχεται από προκατασκευασμένο στρώμα χαλικιών («κουβέρτα»), στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους και πάχους τέτοιου (2-3 m), ώστε ο όγκος του να αντιστοιχεί περίπου στο συνολικό απαιτούμενο όγκο συμπυκνωμένου υλικού για την κατασκευή και ολοκλήρωση κάθε χαλικοπασσάλου. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στα λιμενικά έργα όπου δεν είναι δυνατή η συνεχής τροφοδοσία χαλικιών στην επιφάνεια του πυθμένα.



Σχ. 2.1: Τυπική διάταξη ανυψωτικού γερανού για την εφαρμογή της δονητικής αντικατάστασης.

λίγη περισσότερη λεπτομέρεια για την
βαθιά δονητική αντικατάσταση (vibro-REPLACEMENT)

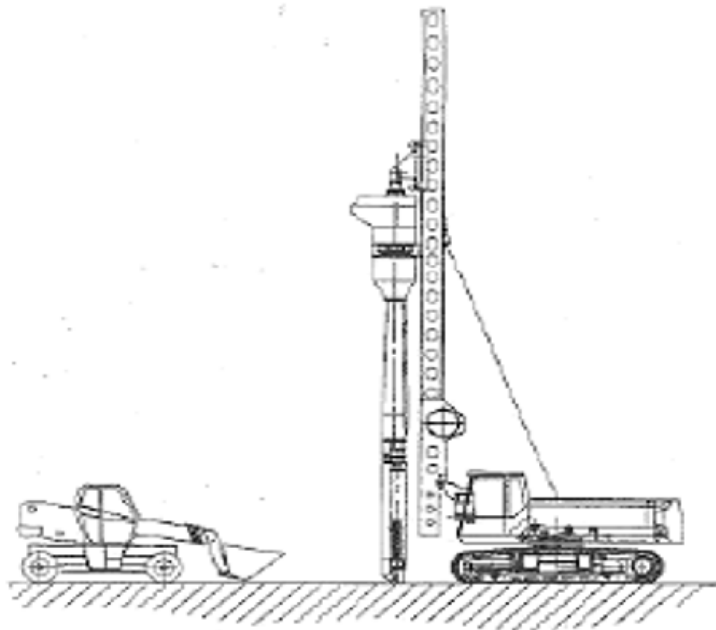


Σχ. 2.2

2.3.2 Μέθοδος με εσωτερική τροφοδοσία αδρανών από την αιγυής

Η μέθοδος περιλαμβάνει της εξής φάσεις εργασίας :

- Τοποθέτηση του δονητικού στελέχους όπου πρόκειται να κατασκευαστεί ο χαλικοπάσσαλος(σχ. 2.3).
- Πλήρωση όλου του δονητικού στελέχους μέσω της χοάνης στην κεφαλή, με αδρανή υλικά (σκύρα).
- Έμπηξη του δονητικού στελέχους μέσα στο έδαφος με σύγχρονη δόνηση, μέχρι το προβλεπόμενο βάθος.
- Μερική ανύψωση του δονητικού στελέχους κατά 0.50 m περίπου, εκκένωση των σκύρων και δονητική επανέμπηξη του στελέχους προκειμένου να συμπτυκνωθούν τα σκύρα.
- Προοδευτική ανύψωση, με παράλληλη εκκένωση των σκύρων, με ταυτόχρονες συνεχής μικρές επανεμπήξεις και συνεχή δόνηση, προκειμένου να συμπτυκνωθούν τα σκύρα και να σχηματιστεί ο χαλικοπάσσαλος. Σε κάθε βήμα, η επιτυγχανόμενη συμτύκνωση ελέγχεται μέσω της καταγραφής αύξησης της υδραυλικής πίεσης (Bars) ή της ηλεκτρικής έντασης (Ampers), ανάλογα εάν χρησιμοποιείται υδραυλικός η ηλεκτρικός δονητής. Τα κριτήρια ανόδου του δονητή, δηλαδή βήμα ανόδου, αύξηση της πίεσης ή της έντασης, αριθμός παλινδρομικών κινήσεων προσδιορίζονται από τα αποτελέσματα στο αρχικό δοκιμαστικό πεδίο.
- Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας, ο σωλήνα τροφοδοτείται τακτικά με σκύρα, ανάλογα με τις ανάγκες.



Σχ. 2.3 : Η δονητική στήλη αναρτάται από γερανό με κατακόρυφο οδηγό (μπούμα), επί του οποίου ολισθαίνουν ανεξάρτητα (α) η δονητική στήλη και (β) μια χοάνη για την τροφοδοσία του δονητικού στελέχους με σύρτη στο κάτω μέρος.

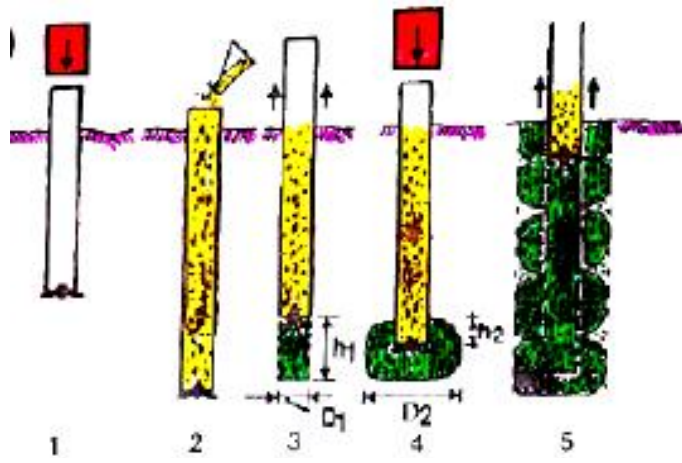
2.3.3 Μέθοδος με έμπηξη κλειστού σωλήνα

Η κατασκευή χαλικοπάσσων με την μέθοδο της έμπηξης κλειστού σωλήνα περιλαμβάνει τις εξής φάσεις εργασίας (σχ. 2.3) :

- Έμπηξη στο έδαφος (μέχρι την τελική στάθμη), ενός άκαμπτου χαλύβδινου σωλήνα πωματισμένου προσωρινά στο κάτω άκρο και εξωτερικής διαμέτρου κατ' ελάχιστο 600 mm. Η τοποθέτηση του σωλήνα θα γίνεται είτε δονητικά είτε κρουστικά, με κατάλληλο δονητή ή σφυρί, ικανό να επιτύχει την έμπηξη και ανύψωση του σωλήνα. Το πωμάτισμα

επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός αρθρωτά συνδεδεμένου και ανοιγόμενου πώματος (κλαπέ), κωνικού η επίπεδου σχήματος αποτελούμενου από ένα ή περισσότερα τμήματα, που τοποθετείται μόνιμα στο κάτω άκρο του σωλήνα εμπηξης. Πλήρωση του σωλήνα μετά το πέρας της εμπηξης, με τα αδρανή υλικά, με τη βοήθεια χοάνης που τοποθετείται στο άνω άκρο του σωλήνα.

- Ελαφρά ανύψωση του σωλήνα, έτσι ώστε να ανοίξει το πώμα στην αιχμή του σωλήνα και το χαλικώδες υλικό του σωλήνα να πληρώσει το αντίστοιχο τμήμα του διατρήματος, ερχόμενο σε άμεση επαφή με το έδαφος. Στην συνέχεια λειτουργεί ξανά το σφυρί εμπηξης προκαλώντας μετατόπιση του σωλήνα προς τα κάτω, έτσι ώστε το πώμα να ξανακλείσει. Με την επανέμπηξη του σωλήνα συμπυκνώνεται το υλικό των σκύρων και διευρύνεται συγχρόνως η διάμετρος του χαλικοπάσσαλου. Εκτελούνται συνεχείς ανυψώσεις και επανεμπήξεις του σωλήνα μέχρις ότου γίνει πλήρης ανύψωση του σωλήνα, πλήρωση του διατρήματος με χαλικώδες υλικό και συμπύκνωση.
- Κατά τη διάρκεια των φάσεων ανύψωσης και επανέμπηξης, ο σωλήνας θα πρέπει να τροφοδοτείται συνεχώς με υλικό τέτοιου όγκου, ώστε η συνολική τελικά διοχετευόμενη ποσότητα χαλίκων να αρκεί για την ολοκλήρωση του υπό κατασκευή χαλικοπάσσαλου. Για να μειωθούν οι τριβές επαφής των σκύρων τόσο μεταξύ τους όσο και με τα εσωτερικά τοιχώματα του σωλήνα εμπηξης, θα πρέπει να διοχετεύεται μέσα στο σωλήνα μαζί με τα σκύρα και ποσότητα νερού, αρκετή για να γεμίσουν τα νερά.



Σχ. 2.3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΑΖΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ



3.1 Μαζική συμπύκνωση (Vibrocompaction or Vibroflotation).

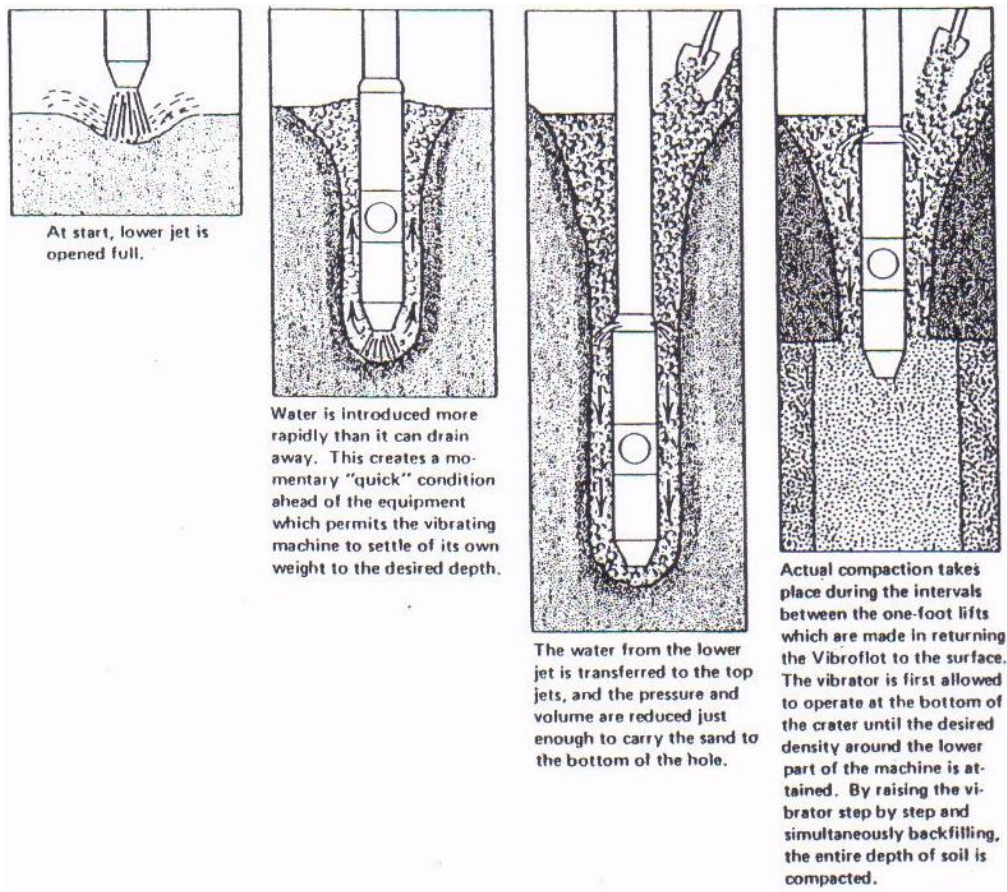
3.1.1 Γενικά

Η μαζική συμπύκνωση είναι, μια ενδιαφέρουσα τεχνική βαθειάς συμπύκνωσης κυρίως σε χαλαρά μη συνεκτικά εδάφη. Μέσω της δόνησης που εισάγεται στο έδαφος επιτυγχάνεται συμπύκνωση και συνεπώς σημαντική αύξηση της σχετικής πυκνότητας. Η αύξηση της σχετικής πυκνότητας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, τη μείωση των καθιζήσεων και την ελαχιστοποίηση του κινδύνου ρευστοποίησης του εδάφους λόγω ραγδαίας επαναλαμβανόμενης φόρτισης. Η μέθοδος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική βελτιώνοντας την σχετική πυκνότητα μέχρι 80%-90%, όταν το έδαφος είναι σχεδόν καθαρή άμμος ή αμμοχάλικο και το ποσοστό των λεπτόκοκκων δεν ξεπερνά το 10%. (σχ. 3.3)

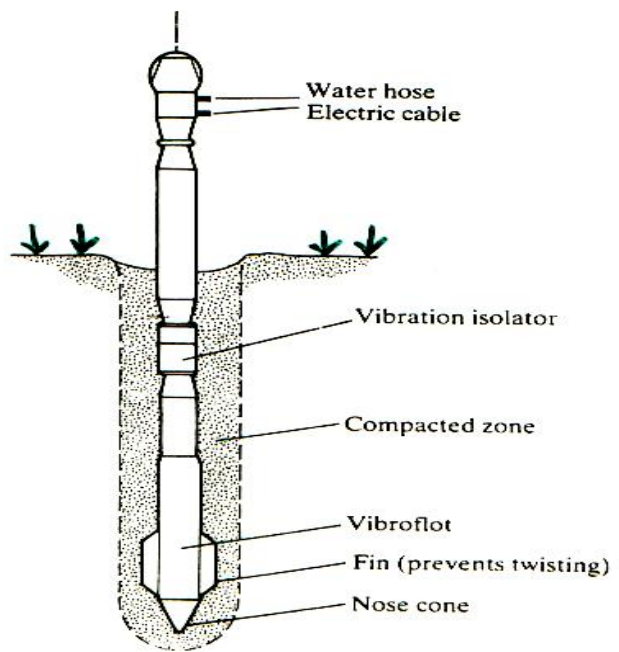
3.1.2 Διαδικασία κατασκευής

Ο κύριος εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι το ειδικό στέλεχος το οποίο βυθίζεται στο έδαφος μόνο με το βάρος του, καθώς από το κάτω άκρο του εκτοξεύεται με μεγάλη πίεση νερό που ρευστοποιεί το έδαφος που βρίσκεται αμέσως πιο κάτω. Το στέλεχος βυθίζεται μέχρι το μεγαλύτερο βάθος στο οποίο επιδιώκεται η συμπύκνωση του εδάφους. Τα συνήθη χαρακτηριστικά του στελέχους είναι μήκος 1.50-3,00μ. διάμετρος 30 - 45 cm, βάρος 2 - 4 tons.

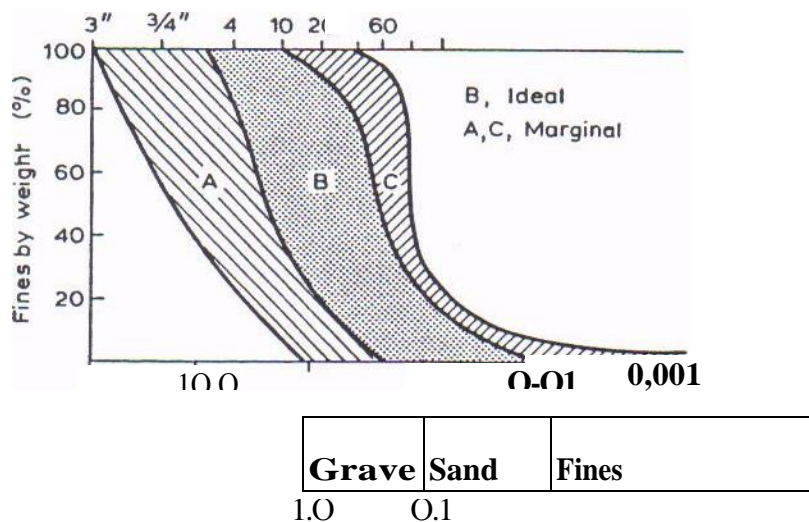
Στη συνέχεια το στέλεχος ανασύρεται δονούμενο με κατάλληλη συχνότητα με μικρά βήματα και συνήθη ταχύτητα 0.30-0,60 m/sec. Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, από την συμπύκνωση δημιουργείται στην επιφάνεια γύρω από τον άξονα μικρός κρατήρας ο οποίος γεμίζεται από την επιφάνεια



Σχ. 3.1 Διαδικασία κατάσκευής



Σχ. 3.2



Σχ. 3.3 Soil grading suitable for vibro-compaction(after Mitchell,1968).

Η συμπύκνωση επιτυγχάνεται με συνδυασμό των παρακάτω τρόπων:

α) Με την οριζόντια δόνηση του στελέχους που συμπυκνώνει τα καθαρά κοκκώδη εδάφη σε οριζόντια απόσταση 2m περίπου. Η ακτίνα επιρροής, μειώνεται σημαντικά όταν το έδαφος περιέχει λεπτόκοκκα έστω και σε μικρό ποσοστό(π.χ. η ακτίνα μειώνεται στο 1m για ποσοστό λεπτόκοκκων 20%).

Επειδή το στοιχείο αυτό καθορίζει το πλάτος του κανάβου εφαρμογής της μεθόδου είναι απαραίτητο να μετριέται η ακτίνα επιρροής εξαρτώμενη βέβαια και από την επιδιωκόμενη συμπύκνωση, με την χρήση κατάλληλης επιτόπου δοκιμής, (π.χ. στατική πενετρομέτρηση).

β) Με την αλλαγή στην παροχή του νερού από το πάνω μέρος του στελέχους με μικρότερη ποσότητα και χαμηλότερη πίεση που ευνοεί την συμπύκνωση του εδάφους

γ) Με την κατακόρυφη συνιστώσα της δόνησης και την ανά διαστήματα άνοδο και πτώση του στελέχους που ευνοούν την συμπύκνωση του εδάφους κάτω από το στέλεχος.

3.2 Πάσσαλοι Δόνησης, (Vibratory probes).

Μια συγγενής με την μέθοδο Μαζικής Συμπύκνωσης είναι η τεχνική των πασσάλων Δόνησης, (Vibratory probes). Ο εξοπλισμός της τεχνικής αποτελείται από ένα απλό μεταλλικό σωλήνα, ανοικτό στο κάτω άκρο ο οποίος μπήγεται στο ψαθυρό έδαφος και τίθεται από την κεφαλή του σε κατάλληλη δόνηση. Η δόνηση προκαλεί μικρομετακινήσεις των κόκκων προς μια πιο πυκνή και σταθερή διάταξη. Τα πάνω 1-2 μέτρα του εδάφους δεν συμπυκνώνονται ικανοποιητικά και απαιτείται η συμπύκνωση τους από την επιφάνεια.

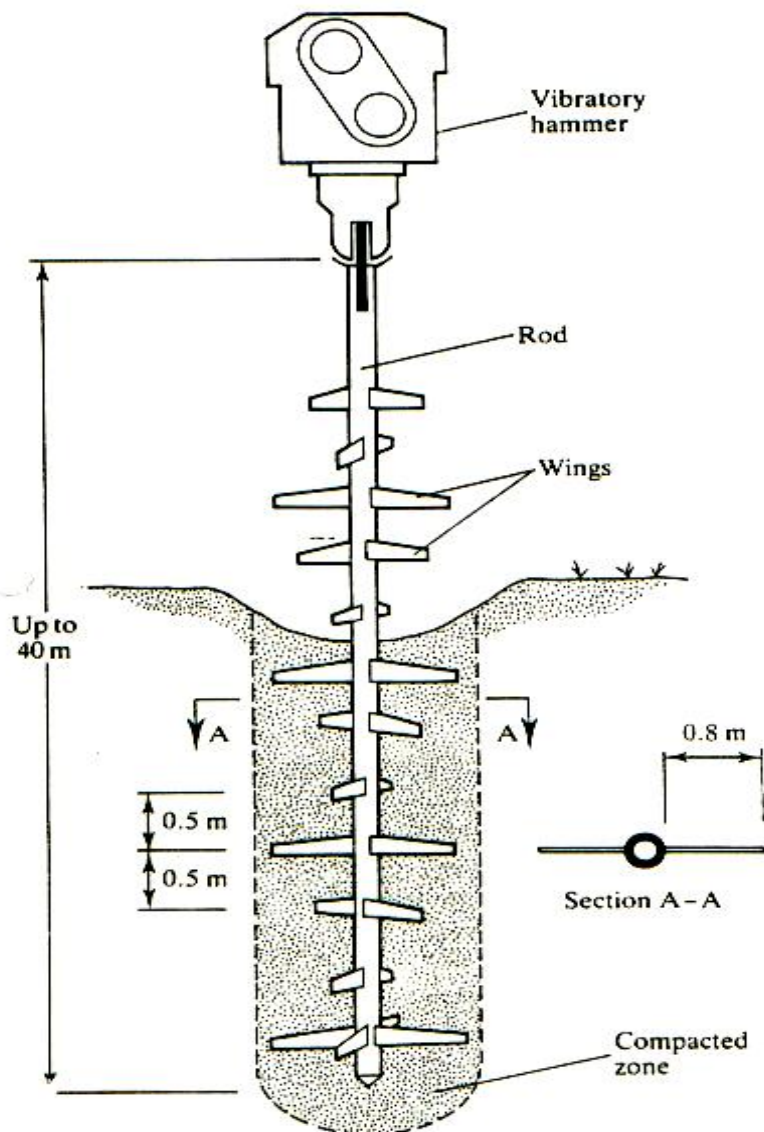
3.3 Μέθοδος του δονούμενου στελέχους (VIBRO WING METHOD)

Μια νέα τεχνική (1983) για την βαθιά συμπύκνωση μη συνεκτικών εδαφών είναι η "Μέθοδος του Δονούμενου Στελέχους" (Vibro-Wing Method). Η μέθοδος αρχικά χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλο Τεχνικό έργο ,για τη σταθεροποίηση υδραυλικού επιχώματος από φυσικό μη συνεκτικό υλικό βυθοκορήσεως καθώς και για τη συμπύκνωση χαλαρού μη συνεκτικού υλικού μέσα σε κυψελωτά κιβώτια στο λιμάνι του Rostock.

Η μέθοδος θεωρείται ταχεία ,οικονομική και αποδοτική για ανάλογα έργα και εδαφικούς σχηματισμούς. Έτσι για τη βοήθεια ενός συνήθους γερανού εμπήξεως προκατασκευασμένων πασσάλων.

Το στέλεχος ωθείται στο έδαφος μέχρι το επιθυμητό βάθος συμπυκνώσεως ,και είναι δυνατό για τη διευκόλυνση της διεισδύσεως από το κάτω άκρο του στελέχους να εκτοξεύεται νερό με πίεση (jetting).

Στη συνέχεια επιβάλλεται δόνηση στο στέλεχος , με συχνότητα περί τα 20 Hz ,μέχρι να επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός συμπυκνώσεως του υλικού. Η διάρκεια της δονήσεως και ο ρυθμός ανασύρσεως του στελέχους εξαρτώνται κυρίως από τη διαπερατότητα του υλικού ,το πάχος του προς συμπύκνωση στρώματος καθώς και την απόσταση μεταξύ των διαφόρων σημείων εμπήξεως του Δονουμένου Στελέχους.



Σχημ.3.3.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ



4.1 Γενικά

Η μέθοδος της Δυναμικής Συμπύκνωσης προτάθηκε και εφαρμόστηκε με επιτυχία σε χαλαρά αμμώδη εδάφη από τον Memard στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Η μέθοδος σύντομα επεκτάθηκε στα κεκορεσμένα λεπτόκοκκα εδάφη με μικρότερη όμως επιτυχία.

Η μέθοδος συνίσταται στην εφαρμογή στο έδαφος διαδοχικών κρούσεων μάζας μεγάλου βάρους, συνήθως μεταξύ 6 και 25 τόνων, (σε εξαιρετικές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε βάρος μέχρι και 200 τόνων) που πέφτει ελεύθερα από σημαντικό ύψος, συνήθως 10-30 μέτρα και επαναλαμβάνονται με ρυθμό 2-3 στο λεπτό (σχ. 4.1).

Για την ανύψωση του βάρους χρησιμοποιείται κατάλληλα ισχυρός γερανός που αποτελεί και την βασικότερη μονάδα του αναγκαίου εξοπλισμού. Το βάρος είναι συνήθως ένα πολύ σταθερό και ενισχυμένο χαλύβδινο στέρεο γεμάτο με άμμο ή σκυρόδεμα και σχήμα βάσης τετραγωνικό, κυκλικό ή πολυγωνικό. Στην ειδική περίπτωση χρήσης μέσα σε νερό δίνεται στο βάρος κατάλληλο υδροδυναμικό σχήμα.

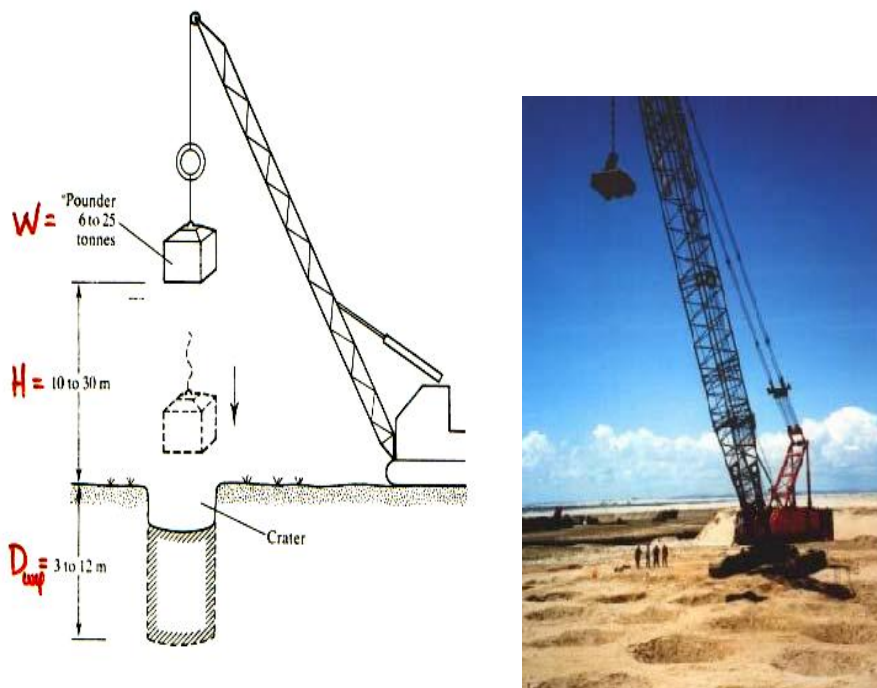
Παρότι η Δυναμική Συμπύκνωση φαίνεται να είναι μια μάλλον απλή μέθοδος, για να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα απαιτείται από την αρχή επιτυχής σχεδιασμός και προγραμματισμός της εφαρμογής της, που προϋποθέτει γνώσεις και εμπειρία, και κυρίως πρέπει να γίνεται οργανωμένη και συστηματική παρακολούθηση των πρώτων αποτελεσμάτων η παρατήρηση και η αξιοποίηση των οποίων συχνά οδηγεί σε τροποποιήσεις και διορθώσεις.

Ο βαθμός βελτίωσης έχει παρατηρηθεί ότι γίνεται μέγιστος σ' ένα κρίσιμο βάθος d_c και στη συνέχεια μειώνεται μέχρι ένα άλλο βάθος d_{max} στο οποίο η βελτίωση πρακτικά μηδενίζεται. Ένα χρήσιμο για τον σχεδιασμό στοιχείο είναι ότι όπως προκύπτει από ένα πλήθος πραγματικών μετρήσεων το μέγιστο βάθος εξαρτάται από την ενέργεια πτώσης $W.H$ (σχ. 4.2).

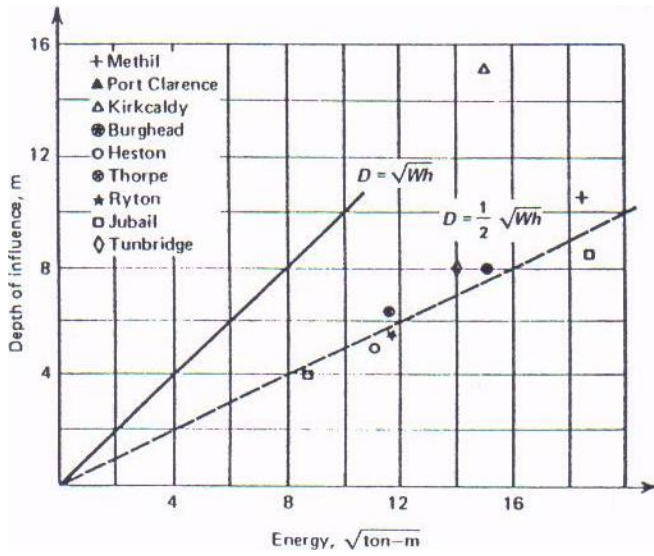
Ο Leonards κ.α. (1980) πρότειναν την σχέση $D_{\max} = 1/2 (w*H)^{0.5}$.

Στην πράξη η ανά πτώση ενέργεια έχει συνήθως τιμές μεταξύ 150 και 500 tm ενώ σε εξαιρετικές περιπτώσεις μπορεί να φτάσει τα 2000 tm. Η μεγάλη διασπορά των σημείων στο σχ. δείχνει ότι το βάθος επιρροής εξαρτάται και από πολλές άλλες παραμέτρους όπως το είδος των εδαφών .

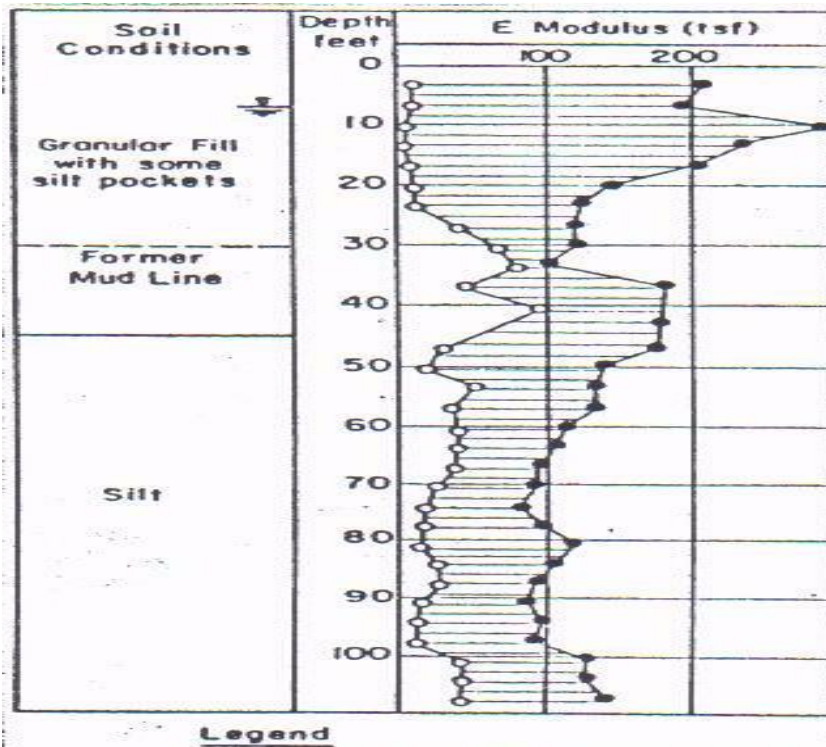
Στην εικόνα του σχ. 4.1 φαίνεται μια τυπική τετραγωνική διάταξη των κρατήρων που προκαλεί η πτώση του βάρους. Η πλευρά του τετραγωνικού κανάβου έχει συνήθως τιμές μεταξύ 2.5μ και 15μ. Κατά κανόνα όσο μεγαλύτερο είναι το βάθος στο οποίο επιδιώκεται βελτίωση τόσο προγραμματίζονται πτώσεις μεγαλύτερης ενέργειας και επίσης αυξάνεται η πλευρά του κανάβου. Στο σχήμα 4.3 φαίνεται το μέγεθος της αύξησης του μέτρου συμπίεσης με το βάθος για μια συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου.



Σχ.4.1 Τυπική διάταξη δυναμικής συμπίκνωσης



Σχ.4.2



- Before dynamic consolidation
- After 3 passes of dynamic consolidation

Σχ. 4.3

Η όλη εργασία χωρίζεται σε επιμέρους φάσεις που ονομάζονται περάσματα (Passages). Σε κάθε πέραςμα πραγματοποιείται για κάθε θέση ένας ορισμένος αριθμός κτυπημάτων. Η τυχόν κακή επιλογή των διαστάσεων της διάταξης και της ανά κτύπημα ενέργειας είναι δυνατόν να προκαλέσει ανομοιόμορφη συμπύκνωση κατά το βάθος και την έκταση. Μετά από κάθε πέραςμα οι κρατήρες που το βάθος του είναι συνήθως μεταξύ 0.30 και 2.00 μ. γεμίζουν με καλής ποιότητας υλικό και η επιφάνεια εξομαλύνεται.

Για κάθε επόμενο πέραςμα ο όγκος των κρατήρων για την ίδια ποσότητα ενέργειας πρέπει να είναι μικρότερος. Έτσι παρακολούθηση του όγκου των κρατήρων αποτελεί μια πρόχειρη ένδειξη του βαθμού βελτίωσης.

Στα χονδρόκοκκα εδάφη δεν απαιτείται η διακοπή της εργασίας μεταξύ των διαδοχικών περασμάτων ο αριθμός των οποίων είναι συνήθως μικρός και συχνά μόνο ένα. Αντίθετα στα κεκορεσμένα λεπτόκοκκα εδάφη απαιτείται να μεσολαβεί μεταξύ των περασμάτων χρόνος λίγων εβδομάδων για την εκτόνωση της πρόσθετης πίεσης του νερού των πόρων. (Στα ιλυώδη εδάφη συνήθως 3-7 περάσματα). Στα τελευταία περάσματα είναι σκόπιμη η μείωση της πλευράς του κανάβου και της ενέργειας κάθε πτώσης με πρόθεση την επίτευξη μεγαλύτερης ομοιογένειας.

Τα αποτελέσματα των περασμάτων είναι σκόπιμο να ελέγχονται συστηματικά. Πιο αναλυτικά συνήθως εκτελούνται οι παρακάτω δοκιμές και έλεγχοι:

- Μετρήσεις της μέσης υποχώρησης της επιφάνειας και του βάθους του κρατήρα.
- Μετρήσεις με πιεζόμετρα της μεταβολής της πίεσης του νερού των πόρων σε διάφορες θέσεις και βάθη για να καθορισθεί ο απαιτούμενος χρόνος για την εκτόνωση της και να προγραμματιστεί το επόμενο πέραςμα.

- Μετρήσεις με Πρεσσιόμετρο της οριακής αντοχής και του μέτρου συμπίεσης. Οι πρεσσιομετρήσεις συμπληρώνονται με SPT, CPT, Δοκιμές πτερυγίου, Δοκιμαστικές Φορτίσεις.
- Μετρήσεις της ταχύτητας των δονήσεων που προκαλούν οι πτώσεις με κατάλληλα όργανα. Για τις τυχόν επισκευές αναφέρεται σαν μέγιστο επιτρεπτό όριο τα 50 mm/sec.

Μετά από όλα τα παραπάνω είναι σκόπιμο η αναφορά στην εμπειρική κατά βάση μέθοδο της Δυναμικής Συμπύκνωσης να κλείσει με τις παρακάτω πρακτικές παρατηρήσεις,

α) Η εφαρμογή της Δυναμικής Συμπύκνωσης παρουσιάζει ενδιαφέρον όταν η επιφάνεια της έκτασης είναι μεγάλη, (ειδικά τα εδάφη είναι λεπτόκοκκα και απαιτείται χρόνος αναμονής μεταξύ των περασμάτων), και όταν δεν υπάρχουν κτίρια ή άλλες κατασκευές μέσα ή κοντά στα όρια της. Κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις το κόστος της είναι συγκριτικά ιδιαίτερα χαμηλό. Π.χ. κατά κανόνα ή ανά κυβ. μέτρο εδάφους η δαπάνη είναι 5-10 φορές μικρότερη της δαπάνης κατασκευής χαλικοπασσάλων και 30-300 φορές μικρότερη του αντίστοιχου κόστους βελτίωσης του εδάφους με ενέσεις.

β) Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί με σχετική επιτυχία σε πολλές κατηγορίες εδαφών. Ειδικότερα η Δυναμική Συμπύκνωση φαίνεται να έχει καλά αποτελέσματα στα χαλαρά φυσικά και τεχνητά κοκκώδη εδάφη όπως τα υδραυλικά επιχώματα.

Στην σχετική αρθρογραφία περιγράφονται αρκετές περιπτώσεις που η εφαρμογή της μεθόδου σε ιλυώδη εδάφη, πρόσφατες τεχνητές επιχωματώσεις και ανθρακικά εδάφη είχε καλά αποτελέσματα. Για τις αργίλους υποστηρίζεται ότι η εφαρμογή της μεθόδου έχει θετικά αποτελέσματα όταν η δομή της δεν είναι προσανατολισμένη ενώ στην αντίθετη περίπτωση μπορεί να έχει ακόμη και αρνητική επίπτωση.

γ) Ο αρχικός σχεδιασμός οφείλει να καθορίζει τα παρακάτω στοιχεία:

- I. Τον αριθμό των περασμάτων (φάσεων).
- II. Τον αριθμό των κρούσεων κάθε περάσματος.
- III. Την ανά κρούση ενέργεια και ειδικότερα το βάρος W και το ύψος πτώσης H , (μπορεί να διαφοροποιηθούν στα διάφορα περάσματα).
- IV. Την πλευρά του καννάβου και τις θέσεις των κρούσεων στα διάφορα περάσματα.

Για τον σχεδιασμό και την προσεγγιστική πρόβλεψη των αποτελεσμάτων της μεθόδου, είναι δυνατό να ακολουθηθεί μια από τις παρακάτω προσεγγίσεις:

Να γίνουν κατάλληλες εργαστηριακές δοκιμές σε δυναμικό οιδήμετρο ή σε συσκευές DYNO,

Να εκτελεσθούν ορισμένες δοκιμαστικές κρούσεις τόσο σε διάφορες θέσεις για να διαπιστωθεί ο βαθμός της τυχόν ανομοιογένειας όσο και σειρά κρούσεων σε περιορισμένες θέσεις για να μελετηθεί η απόκριση του εδάφους και να καθορισθεί ο αριθμός των κρούσεων ανά πέρασμα.

Να εφαρμοσθούν εμπειρικές σχέσεις, υποδείξεις και παρατηρήσεις που προτείνονται στην σχετική αρθρογραφία και που πρέπει να προέρχονται από κατά το δυνατό παρόμοιες περιπτώσεις.

δ) Στην εφαρμογή της μεθόδου θα πρέπει να ακολουθούνται οι εξής κατασκευαστικοί κανόνες:

Όταν το επιφανειακό έδαφος λασπώνει, (ιλύς ή άργιλος), πρέπει να διαστρώνεται για την διευκόλυνση των εργασιών αμμοχαλικώδης στρώση μικρού πάχους

Όταν η στάθμη του υπόγειου νερού είναι κοντά στην επιφάνεια, τότε πρέπει επίσης να διαστρώνεται πρόσθετη εδαφική στρώση κατάλληλου πάχους ώστε στη στάθμη του νερού η επιφόρτιση να ξεπεράσει τους $3t/m^2$.

Εάν οι κρούσεις προκαλούν ρευστοποίηση και αναβλύζει στην επιφάνεια νερό, αυτό θα πρέπει να αντλείται από τους κρατήρες και επίσης είναι ευεργετική η κατασκευή επιφανειακών στραγγιστήριων τάφρων.

ε) Μετά την εφαρμογή της μεθόδου η αντοχή του βελτιωμένου εδάφους πρέπει να ελεγχθεί με πρεσσιομετρικές ή άλλες δοκιμές καθώς μέχρι σήμερα η αξιοπιστία των τυχόν προβλέψεων και προεκτιμήσεων είναι γενικά περιορισμένη. Στην σχετική αρθρογραφία έχουν διατυπωθεί οι παρακάτω ενδιαφέρουσες προτάσεις.

Στα χαλαρά ψαθυρά εδάφη η εφαρμογή της μεθόδου προκαλεί αύξηση της μεν αντοχής 2-5 φορές του δε Μέτρου Συμπύεσης 2-10 φορές.

στ) Η Δυναμική Συμπύκνωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον περιορισμό του δυναμικού ρευστοποίησης χαλαρών ομοιόμορφων λεπτόκοκκων άμμων όπως και τον περιορισμό της εδαφικής ενίσχυσης σε περιπτώσεις ισχυρών σεισμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΝΕΣΕΙΣ



5.1 Γενικά

Στην Γεωτεχνική Μηχανική ονομάζεται ένεση η διοχέτευση στα εδάφη με πίεση ειδικών ρευστών που σύντομα πήζουν και βελτιώνουν την συμπεριφορά του.

Ανάλογα με την ιδιότητα που βασικά επηρεάζεται διακρίνουμε δυο κατηγορίες ενέσεων, τις ενέσεις στεγανοποίησης που προκαλούν κυρίως μείωση της διαπερατότητας και χρησιμοποιούνται στην αντιμετώπιση προβλημάτων υπόγειων ροών και τις ενέσεις σταθεροποίησης (Consolidation grouting) που έχουν ως στόχους την αύξηση της αντοχής και μείωσης της συμπιεστότητας.

5.2 Κατηγορίες Ενέσεων

Ανάλογα με τον τρόπο που ενεργεί το ένεμα διακρίνουμε τις εξής τέσσερις κατηγορίες:

α) Ενέσεις Διαποτισμού (Permeation grouting) :

Το ένεμα εισχωρεί και γεμίζει τους πόρους του εδάφους χωρίς ουσιαστικά να διαταράσσει την αρχική δομή του και να μεταβάλλει τον όγκο του, (π.χ. σε αμμώδη και αμμοχαλικώδη εδάφη)

β) Ενέσεις Εκτοπίσεως ή Συμπυκνώσεως (Displacement or Compaction grouting) :

Το ένεμα είναι πολύ πυκνό και καθώς διοχετεύεται με ισχυρή πίεση εκτοπίζει το έδαφος και το συμπυκνώνει σχηματίζοντας βολβό στην θέση του κενού. Αυτού του τύπου ενέσεις εκτελούνται σε λεπτές άμμους, ιλύς και αργίλους, (σχ.1,26β).

γ) Ενέσεις Εγκλωβισμού (Encapsulation grouting) :

Το ένεμα γεμίζει τις ρωγμές του ρηγματωμένου υλικού μέσου (π.χ. κερματισμένη βραχώμαζα) ή η πίεση του είναι μεγαλύτερη της χαμηλής αντοχής του υλικού το οποίο αστοχεί και θραύεται σε τεμάχια. Το ένεμα χωρίς να διαποτίζει περιβάλλει και συγκολλά τα τεμάχια σταθεροποιώντας την βραχώμαζα,

δ) Ενέσεις Πλήρωσης Κενών, (Καρστικά έγκοιλα, Κενά Μπαζών κλπ) .

5.3 Τύποι και ιδιότητες Ενεμάτων

Οι συνήθεις τύποι ενεμάτων είναι τα αιωρήματα τσιμέντου ή μίγματος ειδικού εδάφους, (π.χ. μπεντονίτη, άμμου κ.α.) και τσιμέντου, ή και μόνο εδαφών σε νερό και τα χημικά διαλύματα συνήθως πυριτικών ή πολυμερών υλικών. Μια τρίτη ειδική κατηγορία είναι τα γαλακτώματα με περισσότερο γνωστά τα γαλακτώματα ασφάλτου με ειδικά πρόσμικτα που χρησιμοποιούνται σε ενέσεις στεγανοποίησης.

Για ενέσεις διαποτισμού χρησιμοποιούνται όλοι οι τύποι των ενεμάτων.

Για ενέσεις συμπύκνωσης κατά κανόνα χρησιμοποιούνται πυκνά ενέματα χαμηλής κάθισης.

Για ενέσεις εγκλωβισμού χρησιμοποιούνται συνήθως ενέματα άσβεστου ή άλλα χημικά ενέματα και για την πλήρωση κενών αιωρήματα τσιμέντου ή μίγματα τσιμέντου-άμμου.

Τα αιωρήματα τσιμέντου που αποτελούν ίσως το περισσότερο συχνά χρησιμοποιούμενο ένεμα παρασκευάζονται με αναλογία νερού-τσιμέντου που ποικίλει από 0.5:1 μέχρι 6:1. Χαμηλές τιμές του λόγου χρησιμοποιούνται όταν επιδιώκουμε μεγάλες τιμές αντοχής και ο τύπος του εδάφους επιτρέπει την διείσδυση σχετικά πυκνού ενέματος. Τα αιωρήματα εδάφους τσιμέντου

παρασκευάζονται με αναλογία εδάφους τσιμέντου που συνήθως ποικίλει από 4:1 μέχρι 6:1. Ο λόγος των όγκων νερού εδάφους ποικίλει και πάλι περισσότερο από 1:3 μέχρι 2:1. Ενέματα αυτού του τύπου με χαμηλές τιμές του τελευταίου λόγου χρησιμοποιούνται για ενέσεις συμπύκνωσης.

Ορισμένες φορές στα ενέματα χρησιμοποιούνται κατάλληλα πρόσθετα με σκοπό την ευκολότερη διείσδυση, την παρεμπόδιση της θρόμβωσης του τσιμέντου και τον έλεγχο του χρόνου πήξης που κυμαίνεται μέσα σε μεγάλα όρια και ο οποίος κατά περίπτωση άλλοτε πρέπει να είναι σύντομος κι άλλοτε μακρύς.

Τα πιο σημαντικά στοιχεία που λαμβάνονται υπόψη όταν εξετάζεται η καταλληλότητα ενός ενέματος η όταν μελετάται η σύνθεση του ενέματος για μια συγκεκριμένη χρήση, είναι τα εξής :

4. Η διεισδυτικότητα για δεδομένη πίεση και δεδομένο τύπο εδάφους
5. Ο χρόνος πήξης και ανάπτυξης της αντοχής του
6. Η σταθερότητα του
7. Η στεγανότητα ή η αναπτυσσόμενη αντοχή ανάλογα με την κατηγορία και τον σκοπό της ένεσης.
8. Η τοξικότητα και η διαβρωσιμότητά του
9. Η διαθεσιμότητα στην αγορά και το κόστος

Πιο αναλυτικά η διεισδυτικότητα εξαρτάται από την ρευστότητα η οποία εκφράζεται από το ιξώδες. Τα αιωρήματα είναι γενικά πλαστικά ρευστά τύπου Bingham με υψηλή συνεκτικότητα που σε συνδυασμό με το μέγεθος των εν αιωρήσει σωματιδίων δυσκολεύει την διείσδυση τους και απαιτεί υψηλές πιέσεις. Αντίθετα τα χημικά διαλύματα είναι λεπτόρρευστα. Νευτώνεια υγρά με μεγαλύτερη διεισδυτικότητα και απαιτούν χαμηλότερες πιέσεις.

Χρήσιμες σχετικές με την διεισδυτικότητα παρατηρήσεις είναι οι εξής:

Η αύξηση του ποσοστού νερού αυξάνει την διεισδυτικότητα .

Για τα εδάφη και για ενέματα τύπου αιωρήματος η ένεση είναι χωρίς προβλήματα πραγματοποιήσιμη όταν ισχύουν οι σχέσεις:

$$(D15)_{εδ.}/(D85)_{ενεμ.} > 24 \quad \text{και} \quad (D10)_{εδ.}/(D95)_{ενεμ.} > 11$$

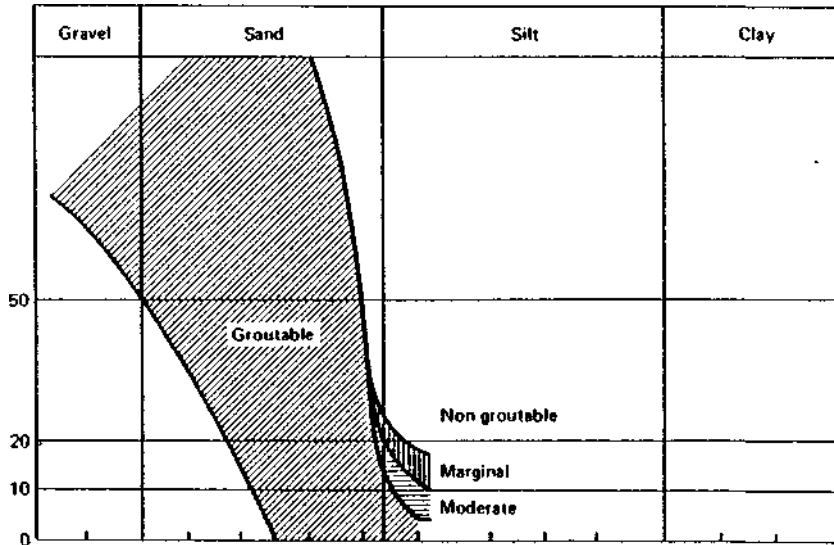
Αντίθετα δεν είναι δυνατή η ένεση όταν $:(D15)_{εδ.} / (D85)_{ενεμ.} < 11$ ή $(D10)_{εδ.}/(D95)_{ενεμ.} < 6$

Για ρηγματωμένη βραχώμαζα η ένεση είναι χωρίς προβλήματα πραγματοποιήσιμη όταν ισχύει η σχέση (Εύρος ασυνέχειας $/(D95)_{ενέματος}) > 5$ ενώ δεν είναι δυνατή αν η τιμή του λόγου είναι μικρότερη του 2.

Στο σχ. 5.1 δίνεται η περιοχή που είναι δυνατή και αποτελεσματική η χρήση των διάφορων ενεμάτων.

Όσον αφορά την σταθερότητα είναι σημαντικά για τα τσιμεντενέματα τα φαινόμενα της απόσμηξης και του στραγγίσματος τους κατά την διαδρομή τους. Η ανεπιθύμητη αυτή συμπεριφορά μετριάζεται με την προσθήκη μπεντονίτη που βελτιώνει την σταθερότητα.

Ο χρόνος πήξης είναι σημαντική παράμετρος στο σχεδιασμό που πρέπει να είναι γνωστή με καλή ακρίβεια και ρυθμίζεται με διάφορα πρόσμικτα. Χαρακτηριστικά επισημαίνεται ότι σε περιπτώσεις που υπάρχει στο έδαφος σημαντική υπόγεια ροή είναι απαραίτητο ο χρόνος πήξης να είναι μικρός. Όταν το ποσοστό των λεπτόκοκκων είναι μεγαλύτερο του 20% (κόκκοι με διάμετρο μικρότερη των 74 mm) τότε δεν είναι δυνατή η εισχώρηση μεταξύ των κόκκων του εδάφους ακόμη και των χημικών ενεμάτων, και δεν εκτελούνται ενέσεις διαποτισμού. Ο Mitchell αναφέρει ότι μεταξύ των διάφορων τύπων των χημικών ενεμάτων τα πυριτικά καλύπτουν το 90% περίπου του συνόλου των περιπτώσεων εφαρμογής χρησιμοποιούμενα τόσο για μείωση της διαπερατότητας όσο και για σταθεροποίηση, ανάλογα με το βαθμό αραιώσης τους, (αραιά διαλύματα μικρή αύξηση της αντοχής).



Σχ. 5.1. Grout ability of soils by various solution grouts

5.4 Σχεδιασμός, Εκτέλεση, Έλεγχος των Ενέσεων

Ο σχεδιασμός μιας επέμβασης με ενέσεις απαιτεί γενικά τα παρακάτω:

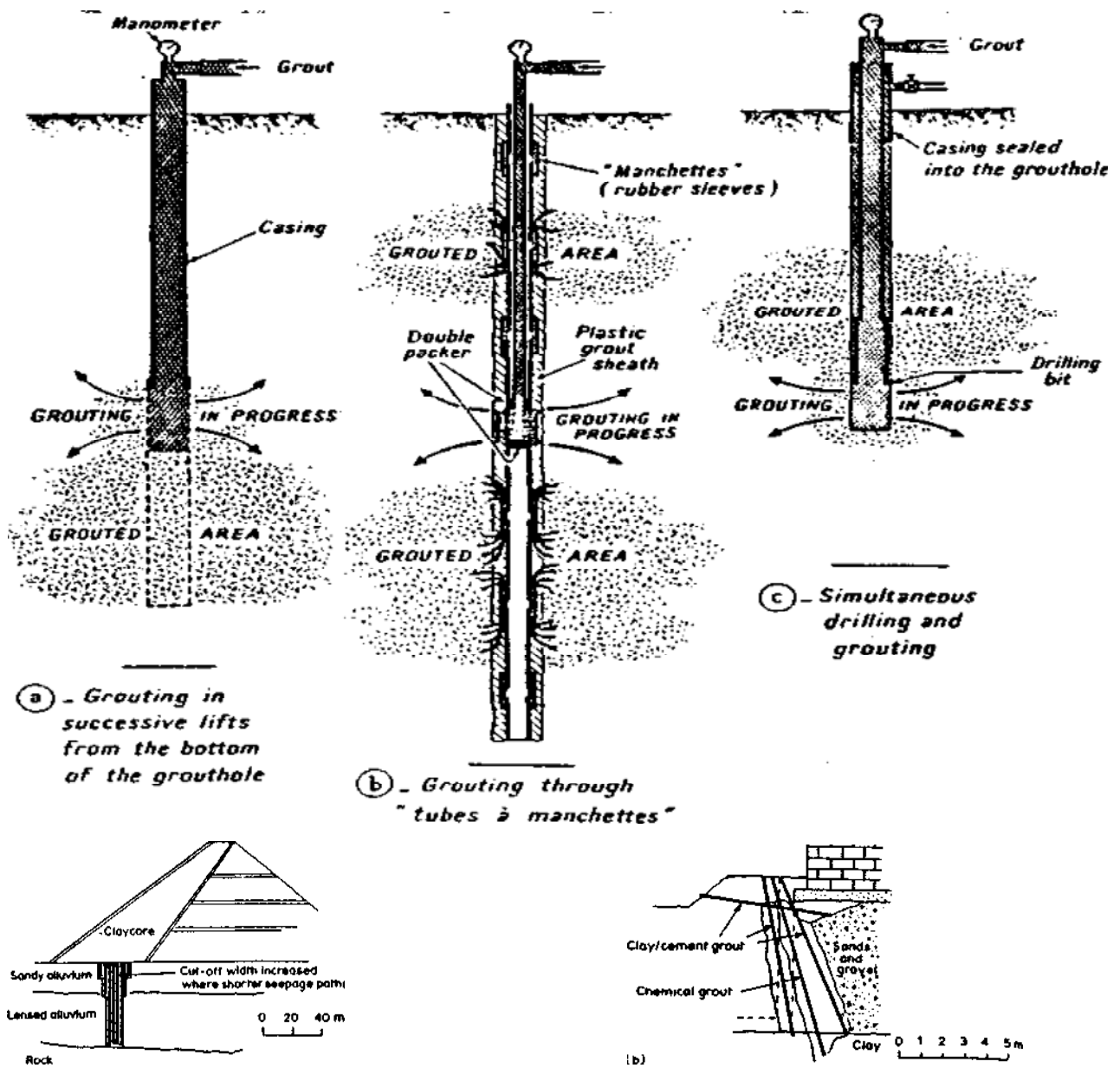
1. Την κατανόηση των απαιτήσεων του έργου.
2. Τον κατά το δυνατόν πλήρη προγραμματισμό των εργασιών.

Ο προγραμματισμός πρέπει να περιλαμβάνει:

- α) Τις θέσεις, τα μήκη και τις κλίσεις των γεωτρήσεων των ενέσεων. Συνήθως η μεταξύ τους απόσταση κυμαίνεται μεταξύ 1.3 μ και 2.5 μ.
- β) Τον τύπο και τα χαρακτηριστικά του ενέματος.
- γ) Το είδος του εξοπλισμού τον τρόπο χρήσης του και το ύψος των πιέσεων που θα εφαρμοσθούν. Συνήθως η πίεση δεν ξεπερνά την γεωστατική πίεση στο βάθος διοχέτευσης του ενέματος.

Πιο αναλυτικά ο σχεδιασμός προϋποθέτει και περιλαμβάνει τις εξής επιμέρους εργασίες:

1. Τον προσδιορισμό της γεωμετρίας της ενέσιμης μάζας που γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τη θέση, την μορφή, τις διαστάσεις και τα φορτία του έργου.
2. Την έρευνα του εδάφους που έχει σαν κύριο στόχο την μέτρηση της διαπερατότητας με κατάλληλη επιτόπου δοκιμή, (Lugeon Lefranc ή Maag) και η οποία συμπληρώνεται στο εργαστήριο με δοκιμές προσδιορισμού της κοκκομετρικής διαβάθμισης και στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθούν χημικά ενέματα τον με ειδικές δοκιμές προσδιορισμό της χημικής σύστασης εδαφικών κόκκων και υπόγειου νερού.
3. Την εργαστηριακή έρευνα των ενεμάτων.
4. Την εκτέλεση δοκιμαστικών ενέσεων όταν το υπό εκτέλεση πρόγραμμα είναι μεγάλο.



Σχ. 5.2 Τρόποι εκτέλεσης ενέσεων.

Στο σχ. 5.2 φαίνονται, οι συνηθέστεροι τρόποι εκτέλεσης ενέσεων είτε αφού τελειώσει, η γεώτρηση από κάτω προς τα πάνω από τον ανοικτό πυθμένα της σωλήνωσης που σηκώνεται κατά βήματα, είτε με βολβιδοφόρο σωλήνα, είτε

από πάνω προς τα κάτω μέσα από την διατηρητική στήλη κατά την "προχώρηση" της γεώτρησης.

Η σειρά εκτέλεσης των ενέσεων πρέπει να είναι από την περίμετρο προς το μέσο έτσι ώστε από την αρχή να δημιουργείται φραγμός στη διαφυγή του ενέματος. Η ένεση διακόπτεται όταν ο ρυθμός απορρόφησης μειωθεί σημαντικά (π. χ. 2lit/min για 10 min)

Για να διασφαλιστεί κατά το δυνατό η αποτελεσματικότητα των ενέσεων πρέπει τόσο κατά την εκτέλεση να παρακολουθείται η κανονική πορεία της (τυχόν διαφυγή στην επιφάνεια, συνεχείς μετρήσεις όγκου ενέματος, σύνθεσης, πιέσεων κλπ.), όσο και μετά το τέλος δειγματοληπτικά να ελέγχεται η βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους.

5.4 Μερικά παραδείγματα ενέσεων διαφόρων ενεμάτων:

Εικόνα1



Εικόνα2



Εικόνα 3

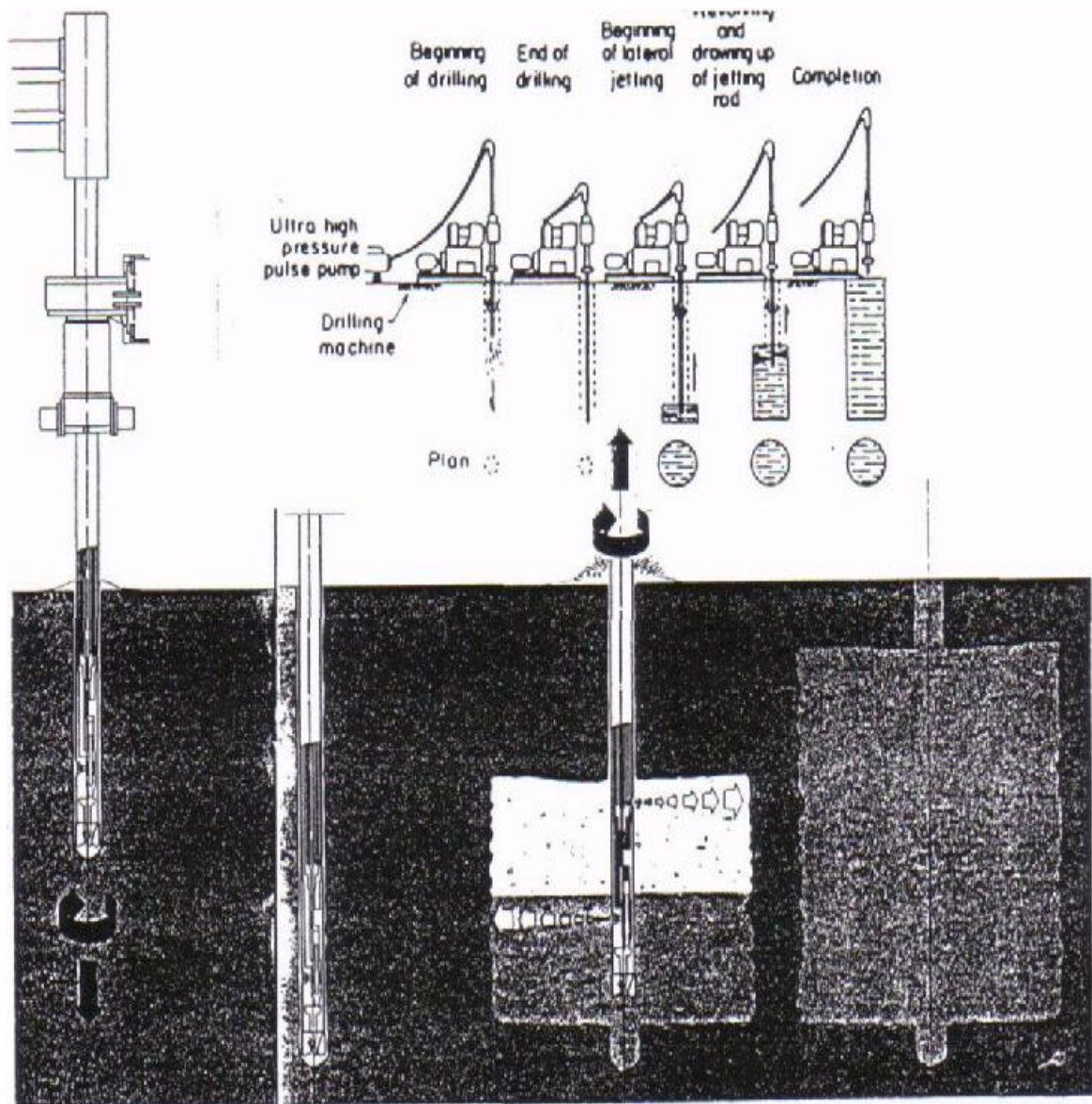


Εικόνα 4



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΞΥΓΙΑΝΣΗ - ΑΣΒΕΣΤΟΠΑΣΣΑΛΟΙ



6.1 Γενικά

Με τον όρο εξυγίανση / σταθεροποίηση εδαφών νοείται η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων, του υφιστάμενου εδαφικού υλικού, σε συγκεκριμένο βάθος, με την ανάμιξη του με υδράσβεστο ή και τσιμέντο ή ασβεστούχο 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. Πριν από κάθε εφαρμογή θα πραγματοποιείται μελέτη για το καθορισμό ποσοστού του ή των σταθεροποιητών.

6.2 Σκοπός της εξυγίανσης

Η εξυγίανση εδαφικών υλικών αποσκοπεί:

- Στη βελτίωση των χαρακτηριστικών εδάφους επί του οποίου θεμελιώνονται τα επιχώματα.
- Στη βελτίωση των ορίων Atteberg 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.

Η τεχνική της σταθεροποίησης με υδράσβεστο ή και τσιμέντο ή ασβεστούχο τέφρα είναι συνήθως πλεονεκτική, όταν με χρήση επιτόπου υλικών το προκύπτον οδόστρωμα είναι μεγάλου πάχους και δεν διατίθενται κοντά στο χώρο κατάλληλα εδαφικά υλικά, που να πληρούν τις απαιτήσεις των προδιαγραφών.

6.3 Χρήση Ιπτάμενης Τέφρας (Fly Ash)

Η χρήση της ιπτάμενης τέφρας στη βελτίωση των εδαφών έχει για την Ελλάδα ιδιαίτερο ενδιαφέρον, εξαιτίας των σημαντικών ποσοτήτων τέφρας που παράγεται από την καύση των λιγνιτών στις θερμοηλεκτρικές μονάδες της ΔΕΗ. Το 1985 υπολογίστηκε ότι η παραγωγή τέφρας ξεπέρασε τους 5,50 εκ. τόνους από τους οποίους το 75% προέρχονταν από την περιοχή Πτολεμαΐδας, το 23% από την περιοχή Μεγαλόπολης και μόνο το 2% από το Αλιβέρι.

Γενικά η σύσταση των τεφρών εξαρτάται από την σύσταση των πρώτων υλών και από τις συνθήκες της καύσης. Για τις ελληνικές τέφρες παρότι η σύσταση και οι ιδιότητες τους δεν παραμένουν απόλυτα σταθερές, έχουν η μεν τέφρα της Μεγαλόπολης κατά μέσο όρο καλές ποζουλανικές ιδιότητες, η δε τέφρα της Πτολεμαΐδας επιπρόσθετα και υδραυλικές ιδιότητες. Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα και παρά την φτηνή τιμή τους (που εξαρτάται κύρια από τις δαπάνες μεταφοράς), έχει γίνει πολύ περιορισμένη χρήση τους, παρότι στην σχετική επιστημονική έρευνα που μέχρι σήμερα έγινε υπήρξαν σαφή στοιχεία που δείχνουν ότι θα μπορούσαν οι τέφρες να χρησιμοποιηθούν είτε ως υλικό παρασκευής ενεμάτων διαποτισμού και πλήρωσης ρωγμών και κενών, είτε σε μεγαλύτερες ποσότητες σαν σταθεροποιητικό υλικό του εδάφους, π.χ. στην κατασκευή βάσεων ή επιχωμάτων στην οδοποιία ή οποιασδήποτε χρήσης αναχώματος όταν υπάρχουν υψηλές απαιτήσεις σταθερότητας.

6.4 Jet Grouting

Η συγγενής τεχνική του Jet Grouting που η εφαρμογή της ξεκίνησε μόλις πριν από λίγα χρόνια στην Ιαπωνία παρουσιάζει σημαντικό ενδιαφέρον γιατί χαρακτηρίζεται από τα εξής σοβαρά πλεονεκτήματα:

1. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί όχι μόνο σε αμμώδη εδάφη αλλά ακόμη και σε αργίλους.
2. Η βελτίωση παρακολουθείται και ελέγχεται.
3. Η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη και το μέτρο συμπίεσης μετά την εφαρμογή της βελτιώνονται κατά πολύ. Ο Miki κ.α. αναφέρουν περιπτώσεις στις οποίες η αντοχή αυξήθηκε κατά 30 φορές, ($q_u = 1,5-4,0 \text{ Mpa}$), ενώ το μέτρο συμπίεσης αυξήθηκε κατά 200 φορές.

Στο σχήμα (6.1- 6.2) εικονίζεται το χρησιμοποιούμενο ειδικό στέλεχος και φαίνονται οι διάφορες επιμέρους φάσεις εφαρμογής της μεθόδου. Βασικό στοιχείο είναι η εκτόξευση από ακροφύσιο ανοίγματος πλάτους 1-2 mm, νερού με εξαιρετικά υψηλή πίεση ($200-5000 \text{ Kgr/cm}^2$). Στην πρώτη φάση το στέλεχος προχώρα μέχρι το προγραμματισμένο βάθος συνήθως με τη χρήση προσαρμοσμένης στο άκρο του κοπτικής κεφαλής. Στις επόμενες φάσεις εκτελείται η κύρια εργασία που περιλαμβάνει την εκτόξευση προς τα πλάγια του νερού, που καταστρέφει τη δομή του εδάφους καθώς και την κατά διαστήματα διοχέτευση κατάλληλου ενέματος που αναμιγνύεται με το έδαφος.

Μ' αυτόν τον τρόπο όταν η διεύθυνση του ακροφύσιου παραμένει σταθερή κατασκευάζεται στο έδαφος ένα τοίχωμα από το σκληρυθέν μίγμα ένεμα-έδαφος ενώ όταν το ακροφύσιο περιστρέφεται κυκλικά κατασκευάζεται μια περίπου κυλινδρική στήλη με διάμετρο που μπορεί να φτάσει τα 3m όπως φαίνεται στο σχήμα το στέλεχος σταδιακά ανασηκώνεται. Είναι ενδιαφέρον ότι

η κατασκευή μπορεί είτε να προχωρήσει μέχρι την επιφάνεια είτε μπορεί να περιορισθεί σε μια συγκεκριμένη στρώση.

6.5 Ασβεστοπασσαλοι

Οι σχετικά πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούνται συνήθως από εναλλασσόμενες συμπιεστές αργιλοιλυώδεις στρώσεις έχουν υψηλή περιεκτικότητα νερού ($W=WL$) , και είναι μια από τις περιπτώσεις προβληματικών εδαφών που συναντώνται συχνά. Η περιοχή δυτικά της Θεσσαλονίκης όπου εκβάλλουν οι ποταμοί Γαλλικός, Αξιός, Λουδίας και Αλιάκμονας είναι μια γνωστή εκτεταμένη περιοχή με τέτοιου τύπου αποθέσεις σε σημαντικό βάθος. Για αυτές τις περιπτώσεις είναι φανερό από όσα αναφέρθηκαν προηγούμενα ότι οι διάφορες μέθοδοι συμπύκνωσης δεν έχουν καλά αποτελέσματα και ότι η βελτίωση πρέπει να επιδιωχθεί είτε κυρίως με την απομάκρυνση του νερού και την στερεοποίηση, είτε με την όπλιση του εδάφους.

Η τεχνική των ασβεστοκολώνων είναι μια μέθοδος που στηρίζεται σε συνδυασμό των δυο αυτών μηχανισμών και η οποία φαίνεται να ξεκίνησε περίπου παράλληλα από την Ιαπωνία (kitsugi και Azakami) , την Σοβιετική Ένωση, (Abelev) , και την Σουηδία (Broms) . Σήμερα λίγα μόλις χρόνια μετά η εφαρμογή της φαίνεται να έχει πολύ επεκταθεί.

Η κατασκευή εκτελείται με ειδικά αυτοκινούμενο μηχάνημα και η πρώτη φάση περιλαμβάνει την έμπηξη στο προβλεπόμενο βάθος του στελέχους του, (σχ.6.2). Στη συνέχεια το στέλεχος ανασύρεται ενώ διοχετεύεται στο έδαφος με μορφή σκόνης (άνυδρος ασβέστης, (CaO) , σε ποσοστό γύρω στο 6% του εδάφους. Κατά την φάση αυτή η μορφής μίξερ κεφαλή του στελέχους περιστρέφεται αναμιγνύοντας έδαφος και ασβέστη και σχηματίζοντας τελικά μια κατακόρυφη στήλη, (ασβεστοπάσσαλο) , διαμέτρου τις περισσότερες φορές μεταξύ 50 και 80 cm. Το μήκος των ασβεστοπασσάλων είναι συνήθως μικρότερο των 10 μέτρων, η διάταξη τους είναι μάλλον πυκνή, π.χ. απόσταση 2

m, και κάτω από εξαιρετικά ευνοϊκές συνθήκες είναι δυνατή η κατασκευή, σε μια μέρα μέχρι και 50 πασσάλων. Σχ. 6.1

Η βελτίωση που προκαλείται οφείλεται σε συνδυασμό των παρακάτω επιπτώσεων από την κατασκευή των ασβεστοπασσάλων.

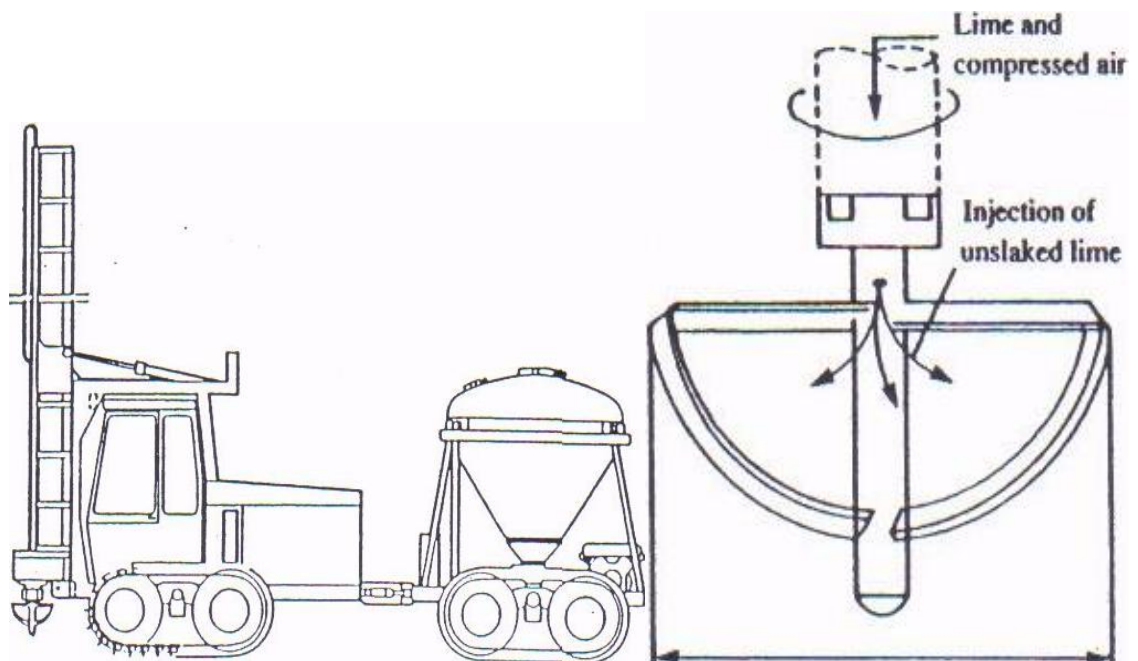
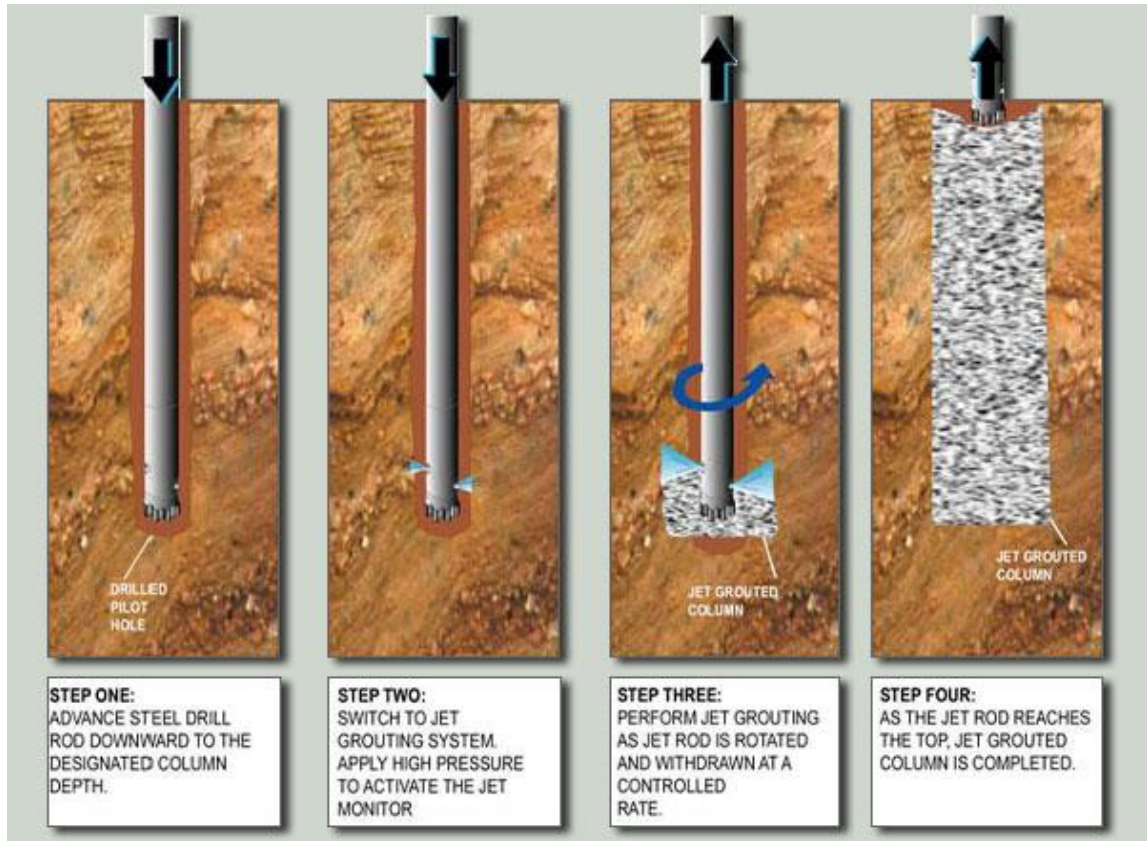
Της σημαντικής μείωσης του ποσοστού της υγρασίας του εδάφους κατά 5% έως και 15% ακόμη, εξαιτίας του φαινομένου της ενυδάτωσης του ασβέστη και δέσμευσης του ελεύθερου νερού, ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$), αλλά και της εξάτμισης νερού εξαιτίας της θέρμανσης του εδάφους.

- Της ανάπτυξης πουζολανικών αντιδράσεων οι οποίες εξελίσσονται αργά και ολοκληρώνονται μετά από πάροδο 6-12 μηνών.
- Της διόγκωσης του αρχικού χώρου του ασβεστοπάσσαλου με σύγχρονη σημαντική αύξηση της διαπερατότητας. Με τον τρόπο αυτό οι ασβεστοκολώνες ενεργούν σαν κατακόρυφα στραγγιστήρια ενώ παράλληλα διογκούμενες συμπιέζουν και βοηθούν επιπρόσθετα στην στράγγιση του φυσικού εδάφους που τις περιβάλλει.
- Της μείωσης του δείκτη πλαστικότητας.

Από τις διάφορες κριτικές αναφορές στην αποτελεσματικότητα της μεθόδου προκύπτει ότι οι ασβεστοκολώνες έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στις παρακάτω κατηγορίες περιπτώσεων:

- Την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας και την μείωση των καθιζήσεων θεμελίων.
- Την ενίσχυση της σταθερότητας του πυθμένα εκσκαφών
- Την ενίσχυση της σταθερότητας επιχωμάτων σε μαλακά εδάφη

- Την ενίσχυση της σταθερότητας των πρανών εκσκαφών.



Σχ. 6.2 Mixed-in-Place Columns Made by Jet Grouting.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΗΛΩΣΕΙΣ



7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ενισχυμένη με ηλώσεις κατασκευή αντιστήριξης είναι ένα σύνθετο έργο όπου το εσκαμμένο πρηνές ενισχύεται εσωτερικά από πυκνά τοποθετημένα ευθύγραμμα στοιχεία.

Η κατασκευή πραγματοποιείται σε κάθετα στάδια, από την κορυφή της εκσκαφής μέχρι τον πόδα. Σε κάθε βήμα εκσκαφής τοποθετούνται εδαφοηλώσεις και μόνιμη ή προσωρινή επένδυση για την συγκράτηση του εδάφους. Πρέπει να εκτείνονται σε ικανοποιητικό βάθος και να τοποθετούνται πυκνά έτσι ώστε να ανθίστανται στις δυνάμεις που επιβάλλονται από το έδαφος και τις πρόσθετες φορτίσεις

7.2 ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΛΑΦΟΗΛΩΣΕΩΝ

Με ηλώσεις αποτελείται από τα εξής στοιχεία :

α) Τη χαλύβδινη ράβδο. Αποτελεί ίσως το κυριότερο στοιχείο στο ολοκληρωμένο σύστημα υποστήριξης. Συνήθως χρησιμοποιείται συμπαγής χαλύβδινη ράβδος διαμέτρου $\Phi 19, 22, 25, 29, 32$ ή 36mm . Ο χάλυβας της ράβδου πρέπει να είναι καλής και πιστοποιημένης ποιότητας με χαρακτηριστικό όριο ελαστικότητας $f_{yk} > 500\text{MPa}$. Επίσης, η ράβδος θα πρέπει να διαθέτει κατάλληλο σπείρωμα κεφαλής μήκους τουλάχιστον 100mm (εάν πρόκειται για ράβδο νευροχάλυβα S500) ή συνεχές σπείρωμα (εάν πρόκειται για έτοιμες ράβδους ηλώσεων) καθώς και κατάλληλη μούφα σύνδεσης ίδιας τουλάχιστον αντοχής, αν πρόκειται να συνδεθεί.



Για την αντιδιαβρωτική της προστασία προβλέπεται ηλεκτροστατικό ή εν θερμώ γαλβάνισμα, με συνιστώμενη επικάλυψη ψευδαργύρου πάχους 85mm (κατ' ελάχιστο),

β) Το τσιμεντένεμα.

Εγχύεται στο διάτρημα, μετά την τοποθέτηση της ήλωσης. Ο ρόλος του είναι διπλός.

Καταρχήν συνεισφέρει στη δημιουργία της κατάλληλης πρόσφυσης μεταξύ ήλωσης και εδάφους, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται οι δυνάμεις

συνάφειας που είναι απαραίτητες για την μεταφορά των αναπτυσσόμενων εφελκυστικών τάσεων ενώ παράλληλα προστατεύει την ήλωση από τη διάβρωση. Το τσιμεντένεμα συνίσταται κατά κανόνα με λόγο νερού προς τσιμέντο (W/C) περίπου ίσο με 0,40, υψηλής δηλαδή περιεκτικότητας σε τσιμέντο ούτως ώστε να μη συρρικνώνεται κατά την πήξη. Η αντοχή 28 ημερών του τσιμεντενέματος αρκεί να είναι ισοδύναμη εκείνης του σκυροδέματος C16/20.

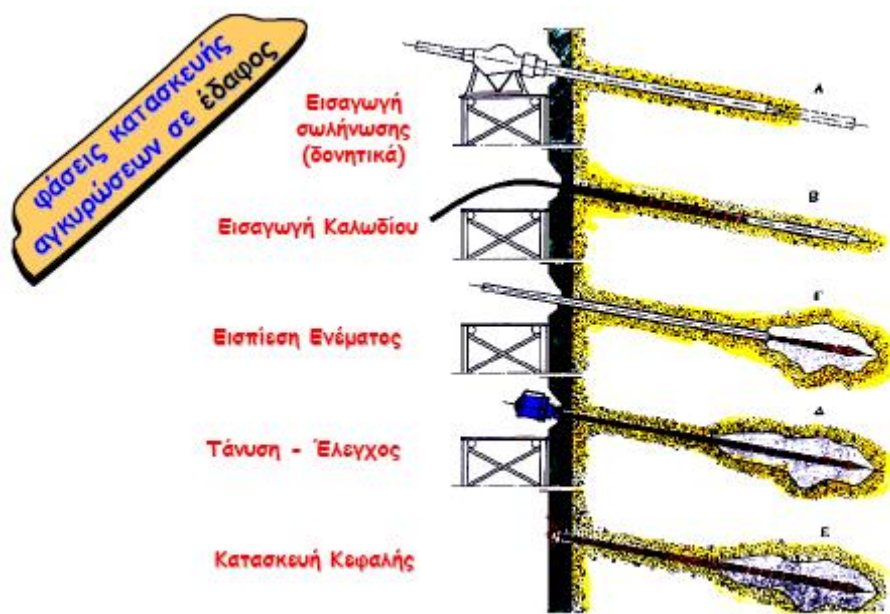
γ) Η κεφαλή της ήλωσης αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία : Την πλάκα διανομής και το περικόχλιο έμφραξης. Η πλάκα διανομής κατασκευάζεται από χάλυβα με όριο διαρροής 250 MPa και έχει τετράγωνη συνήθως κάτοψη με μήκος πλευράς 200-250mm και πάχος 19mm. Τοποθετείται πάνω από την κεφαλή της εδαφοήλωσης την κορυφή της ήλωσης μέσω οπής που διαθέτει στο κέντρο της και εν συνεχεία καθίσταται ακλόνητη με τη βοήθεια του περικοχλίου έμφραξης, το οποίο κατασκευάζεται από χάλυβα με όριο διαρροής 420-520 MPa. Σκοπός της πλάκας διανομής είναι η ομοιόμορφη διανομή της δύναμης, που της μεταβιβάζει η ήλωση, στο έδαφος που βρίσκεται πίσω από την επένδυση, καθώς και στην προσωρινή επένδυση από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (εικ. 1,2).

δ) Η διάταξη "κεντρώσεως" (centralizers) αποτελείται από στοιχεία κατασκευασμένα από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) ή από άλλα συνθετικά υλικά. Βασικός σκοπός τους είναι η βέλτιστη τοποθέτηση του ήλου εντός του κέντρου της οπής και η διασφάλιση στην, καθ' όλο το μήκος του, κάλυψη από επαρκή ποσότητα τσιμεντενέματος. Η διάταξη «κεντρώσεως» τοποθετείται κατά μήκος της ήλωσης, συνήθως σε απόσταση 0.50m από κάθε άκρο του και εν συνεχεία ανά 2.0-2.5m .

ε) Ως προσωρινή επένδυση στο μέτωπο της εκσκαφής ή στην επιφάνεια του πρανούς τοποθετείται γαλβανισμένο χαλύβδινο πλέγμα υψηλής αντοχής, το οποίο καλύπτεται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Εναλλακτική λύση έναντι της

χρήσης μεταλλικού πλέγματος αποτελεί η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος εμπλουτισμένου με μεταλλικές ή συνθετικές ίνες. Σκοπός της προσωρινής επένδυσης, είναι η υποστήριξη του εδάφους μεταξύ των ηλώσεων κατά τη διάρκεια της τμηματικής εκσκαφής, η εξασφάλιση της ανέχειας της κατασκευής και η προστασία έναντι διαβρώσεως. Ως μόνιμη επένδυση συνήθως επιλέγεται το οπλισμένο επί τόπου εγχυόμενο σκυρόδεμα και σπανιότερα προκατασκευασμένα στοιχεία (panels). **Η μόνιμη επένδυση προσδίδει επίσης συνέχεια στην κατασκευή, αυξημένη προστασία έναντι της διάβρωσης, υποστήριξη του μετώπου και αισθητική εμφάνιση.** Το πάχος της επένδυσης κυμαίνεται από 100mm έως 150mm (4-6 in).

στ) Το σύστημα αποστράγγισης αποτελείται από γεωσυνθετικές αποστραγγιστικές μεμβράνες, που τοποθετούνται μεταξύ του εδάφους και της προσωρινής επένδυσης, με σκοπό την παρεμπόδιση ανάπτυξης υπερπιέσεων. Επίσης, για τη συλλογή και μεταφορά των όμβριων υδάτων εκτός της κατασκευής, κατασκευάζονται αποστραγγιστικές οπές.



Σχ. 7.1 Διαδικασία κατασκευής ηλώσεων στο έδαφος.

EIKONA 1



EIKONA 2



EIKONA 3



7.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό μιας ενισχυμένης με εδαφοηλώσεις κατασκευής αντιστήριξης παίζει ο καθορισμός των πιθανών μορφών αστοχίας της. Για τον προσδιορισμό τους είναι απαραίτητη η ανάλυση που βασίζεται στην εφαρμογή σχέσεων που πηγάζουν από τις οριακές καταστάσεις αστοχίας και λειτουργικότητας της κατασκευής. Οι μορφές αστοχίας είναι δυνατόν να αφορούν:

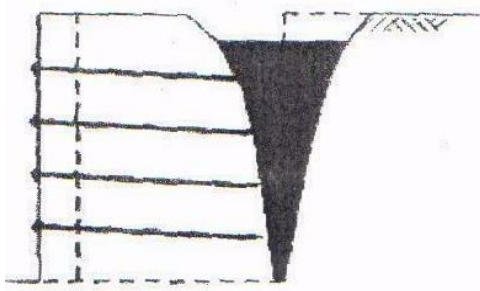
- ολόκληρο το σύστημα επένδυσης, ηλώσεων και εδάφους οπότε αναφέρονται ως εξωτερικές.
- Μόνο κάποια ή κάποιες εδαφοηλώσεις οπότε διακρίνονται ως εσωτερικές.
- το σύστημα επένδυσης.

7.4 Εξωτερικές μορφές αστοχίας

Οι εξωτερικές μορφές αστοχίας χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την θέση που εμφανίζεται η επιφάνεια αστοχίας. Αυτή είναι δυνατόν να τέμνει τις ηλώσεις οπότε πρόκειται για την περίπτωση της συνολικής ευστάθειας. Στην περίπτωση που η επιφάνεια αστοχίας περνάει πίσω από το σύστημα υποστήριξης της κατασκευής χωρίς να τέμνει τις ηλώσεις πρόκειται για αστοχία ολίσθησης στην βάση, ενώ όταν η επιφάνεια αστοχίας περνάει κάτω από τον πόδα της κατασκευής πρόκειται για την περίπτωση αστοχίας από φέρουσα ικανότητα.

7.4.1 Έλεγχος συνολικής ευστάθειας

Το αντιστηριζόμενο πρανές θα αστοχήσει όταν οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται λόγω του ίδιου βάρους και των εξωτερικών φορτίων ξεπεράσουν την διαθέσιμη αντοχή της επιφάνειας αστοχίας(σχ. 7.2). Η μελέτη της ευστάθειας ενός πρανούς πραγματοποιείται με τη χρήση μεθόδων οριακής ισορροπίας, κατά τις οποίες εξετάζεται η ισορροπία δυνάμεων και ροπών κατά μήκος μίας υποτιθέμενης επιφάνειας αστοχίας και εν συνεχεία εκτιμάται η συνολική ευστάθεια βάσει της τιμής του συντελεστή ασφάλειας. Η επιφάνεια αστοχίας μπορεί να είναι οποιουδήποτε σχήματος (επίπεδη, κυκλική, παραβολική κ.λ.π.) αναλόγως κυρίως της μεθόδου ανάλυσης που εφαρμόζεται αλλά και της στρωματογραφίας του υπόψη πρανούς. Μέσω της ανάλυσης οριακής ισορροπίας και αφού υπολογιστεί ο κρίσιμος συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται το μήκος των ηλώσεων που απαιτούνται για τη σταθεροποίηση του πρανούς. Αντί αυτού μπορεί να θεωρηθεί αρχικά μια ελάχιστη τιμή του συντελεστή ασφαλείας και εν συνεχεία να υπολογιστεί η συνολική δύναμη ηλώσεων που απαιτείται για την επίτευξη της επιλεγείσας τιμής.



a) Sliding

Σχ. 7.2 Αστοχία από ολίσθηση στην βάση

Ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ολισθήσεως (FS_{SL}) υπολογίζεται ως ο λόγος της συνισταμένης (αλγεβρικά) των οριζοντίων δυνάμεων που

αντιστέκονται στην ολίσθηση (ZR) προς τη συνισταμένη των οριζοντίων δυνάμεων (ZD) που τείνουν να ολισθήσουν το σύστημα εδάφους - υποστήριξης, δηλαδή ((CLOUTERRE, 1991): $FS_{SL} = \Sigma R / \Sigma D$

7.4.2 Έλεγχος έναντι φέρουσας ικανότητας

Γενικώς, προβλήματα ευστάθειας λόγω μη επαρκούς φέρουσας ικανότητας του εδάφους δεν εμφανίζονται συχνά σε κατασκευές αντιστήριξης με τη χρήση εδαφοηλώσεων. Εντούτοις σε περιπτώσεις όπου η κατασκευή εδράζεται πάνω σε χαλαρούς λεπτόκοκκους σχηματισμούς, είναι δόκιμη η διενέργεια του συγκεκριμένου ελέγχου.

Ο συντελεστής ασφαλείας στην προκειμένη περίπτωση δίνεται από τη σχέση (Terzaghi 1966):

$$FS_H = S_u N_c / H_{eq} [\gamma - (S_u / B)].$$

οπού,

S_u : αστράγγιστη διατμητική αντοχή του εδάφους

N_0 : συντελεστής φέρουσας ικανότητας,

Γ : ειδικό βάρος εδάφους,

H : ύψος επένδυσης,

B : βάθος επιρροής της επιφάνειας αστοχίας,

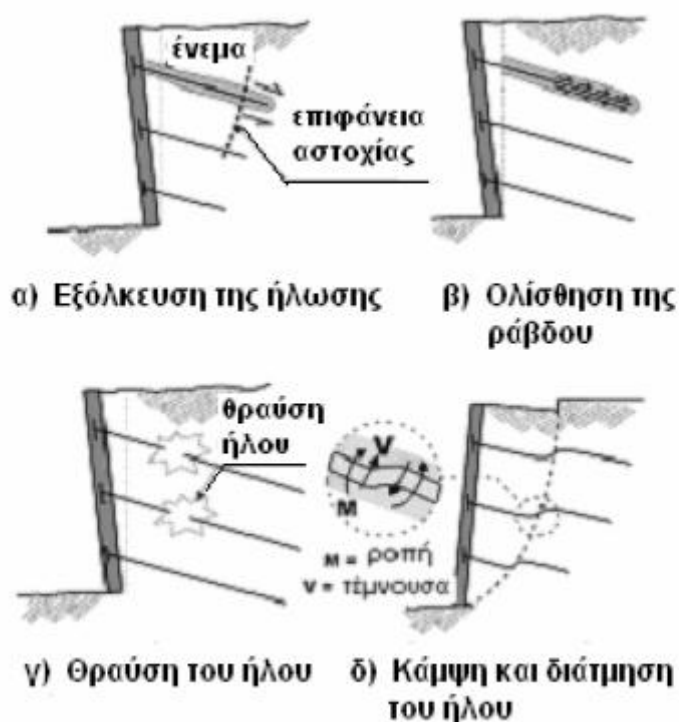
($B = B_e / 1.414$, όπου B_e πλάτος εκσκαφής), και

H_{eq} : ισοδύναμο ύψος ($H_{eq} = H + \Delta H$, όπου ΔH το ύψος του επιχώματος που προσομοιάζει τη φόρτιση)

7.5. Εσωτερικές μορφές αστοχίας

Ως εσωτερικής μορφής αστοχίες αναφέρονται οι αστοχίες που είναι πιθανό να συμβούν στην ζώνη μεταξύ εδάφους, ενέματος και ράβδου. Η πραγματοποίηση αστοχιών αυτής της μορφής προϋποθέτει την εκ των προτέρων ενεργοποίηση της ήλωσης ως μέσο παραλαβής των αναπτυσσόμενων εφελκυστικών τάσεων. Ανάλογα με την εφελκυστική αντοχή και το μήκος της ήλωσης καθώς και τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις συνάφειας μεταξύ εδάφους ενέματος και ράβδου είναι δυνατόν να εμφανιστούν οι παρακάτω μορφές εσωτερικής αστοχίας : (σχ. 7.2)

1. Εξόλκευση ήλωσης,
2. Ολίσθηση της ράβδου,
3. Θραύση του ήλου,
4. Κάμψη και διάτμηση του ήλου.



Σχ.7.2 Εσωτερικές μορφές αστοχίας.

7.5.1 Έλεγχος έναντι εξόλκευσης ήλωσης

Αστοχία από εξόλκευση ήλωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί λόγω ανεπαρκούς συνάφειας μεταξύ εδάφους και ήλωσης ή λόγω μικρότερου μήκους ήλωσης από το απαιτούμενο .

Η αντοχή εξόλκευσης μιας εδαφοήλωσης ανά μονάδα μήκους δίνεται από την σχέση :

$$Q = \pi q D_{DH} \quad \text{όπου,}$$

q : τάση συνάφειας στην διεπιφάνεια εδάφους - ήλωσης

D_{DH} : ενεργός διάμετρος του διατρήματος

Αν θεωρηθεί ότι ασκείται αξονική εφελκυστική δύναμη T_0 στο άκρο ενός μεμονωμένου ήλου τότε η τάση συνάφειας q σχετίζεται με τη δύναμη T_0 βάσει της Εξίσωσης 2 (σε ένα στοιχειώδη τμήμα του ήλου dx):

$$dT = \pi \cdot D_{DH} \cdot q \cdot dx = Q \cdot dx \quad (2)$$

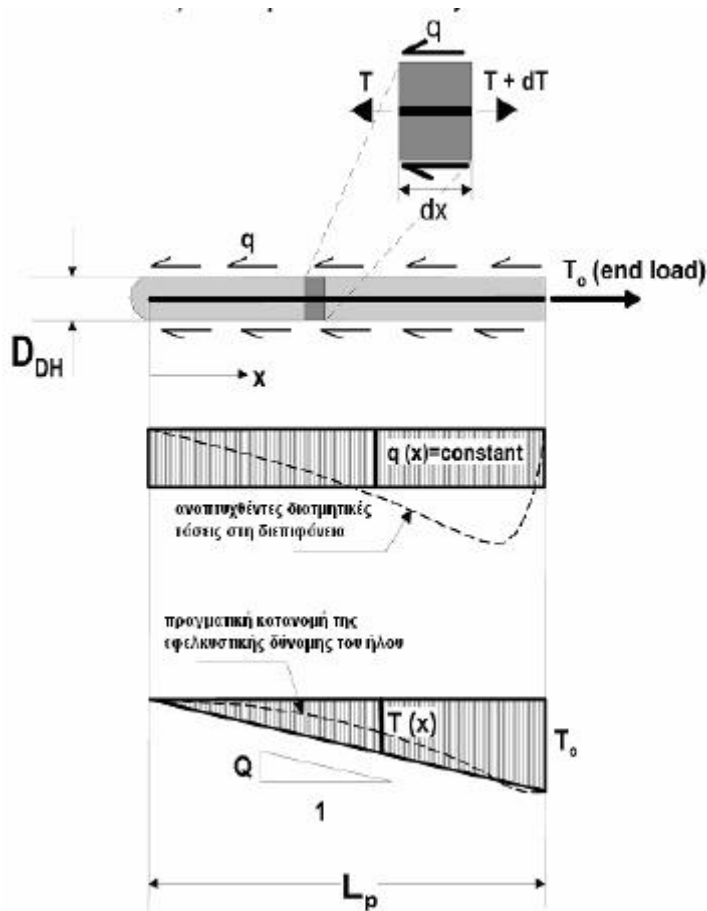
Στη γενικότερη περίπτωση ενός ήλου μήκους x θα εφαρμόζεται η Εξίσωση 3:

$$T(x) = \int_0^x \pi D_{DH} q \, dx = \int_0^x Q \, dx \quad (3)$$

Η κατανομή των τάσεων συνάφειας q καθώς και της εφελκυστικής δύναμης $T(x)$ κατά μήκος του ήλου όπως διακρίνεται και στο Σχήμα 5 δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι το μήκος του ήλου, το μέγεθος της εφαρμοζόμενης δύναμης T_0 , τα χαρακτηριστικά του τσιμεντενέματος και τις επικρατούσες εδαφικές συνθήκες. Κατά τους υπολογισμούς για λόγους απλοποίησης υιοθετείται σταθερή κατανομή των

τάσεων συνάφειας, συνεπώς βάσει της εξίσωσης 1 και η αντοχή εξόλκευσης Q είναι σταθερή, οπότε από την ολοκλήρωση της Εξίσωσης 3 προκύπτει το μήκος πρόσφυσης L_p :

$$L_p = T_o / Q$$



Σχ 5

7.5.2 Έλεγχος έναντι ολίσθησης της ράβδου

Οφείλεται στην ανεπαρκή συνάφεια μεταξύ ράβδου και τσιμεντενέματος . Η πιθανότητα να αστοχήσει η ήλωση λόγω ολίσθησης της ράβδου κατά μήκος της ενεματωμένης οπής αυξάνεται σημαντικά στην περίπτωση που

χρησιμοποιούνται λείες ράβδοι, αντί ράβδων με νευρώσεις οι οποίες παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή σε ολίσθηση. Οι τάσεις συνάφειας που αναπτύσσονται μεταξύ ράβδων και τσιμεντενέματος μπορεί να οφείλονται σε τρεις διαφορετικούς μηχανισμούς:

- στην φυσικοχημική συνάφεια (πρόσφυση)
- στην συνάφεια λόγω τριβής
- στην μηχανική συνάφεια

Εντυπωσιακή αύξηση στην συνάφεια επιτυγχάνεται με τον τρίτο από τους παραπάνω μηχανισμούς η ανάπτυξη του οποίου προϋποθέτει αποκλειστικά την χρήση ράβδων με νευρώσεις.

7.5.3 Έλεγχος έναντι θραύσης

Για να επιτευχθεί ο επαρκής σχεδιασμός έναντι των εσωτερικών μορφών αστοχίας απαιτείται η πλήρης κινητοποίηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους ταυτόχρονα με την πλήρη κινητοποίηση της εφελκυστικής αντοχής των ηλώσεων. Δηλαδή, όταν ο συντελεστής ασφαλείας σε συνολική ευστάθεια ισούται με $FS_Q=1.0$ (πλήρης κινητοποίηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους) τότε θα πρέπει και ο μερικός συντελεστής ασφαλείας έναντι θραύσης της ήλωσης να είναι $FS_T=1.0$ (πλήρης κινητοποίηση της εφελκυστικής αντοχής της ήλωσης). Σε αυτή την περίπτωση η εφελκυστική δύναμη της ήλωσης είναι η μέγιστη εφελκυστική δύναμη σχεδιασμού $T_{max,s}$.

Αστοχία έναντι θραύσης της ήλωσης θα συμβεί όταν η εφελκυστική δύναμη $T_{max,s}$ ξεπεράσει την εφελκυστική αντοχή της ράβδου η οποία δίδεται από την σχέση:

$$R_T = A_t f_y \quad \text{όπου,}$$

A_t : το εμβαδό και

f_y : το όριο διαρροής της ράβδου.

Η αντοχή που προσδίδει το τσιμεντένεμα αμελείται λόγω διαφορετικού μέτρου ελαστικότητας μεταξύ ενέματος και ήλωσης. Τέλος, για να ληφθούν υπόψη διάφορες αβεβαιότητες (όπως η αντοχή της ράβδου, πρόσθετη φόρτιση) στην παραπάνω εξίσωση εισάγεται συντελεστής ασφαλείας με ελάχιστη τιμή 1.8.

7.5.4 Έλεγχος έναντι κάμψης και διάτμησης ήλωσης

Στις περιπτώσεις χρήσης των εδαφοηλώσεων σε κατασκευές αντιστήριξης οι ηλώσεις παραλαμβάνουν κυρίως εφελκυστικές δυνάμεις (Elias & Juran, 1991). Ωστόσο, κατά την εμφάνιση σχετικά μεγάλων μετακινήσεων ενεργοποιείται η καμπτική και διατμητική τους αντοχή χωρίς όμως αυτό να συνεισφέρει σημαντικά στην συνολική ευστάθεια του συστήματος.

Για αυτό τον λόγο στον σχεδιασμό έργων αντιστήριξης ενισχυμένων με εδαφοηλώσεις θεωρείται αμελητέα η διατμητική και καμπτική αντοχή των ηλώσεων με αποτέλεσμα αστοχία τέτοιας μορφής να μην αναμένεται στις περισσότερες περιπτώσεις .

7.6 Αστοχία της επένδυσης

Η πιο συνήθης μορφή αστοχίας στο τμήμα της επένδυσης του μετώπου είναι η καμπτική αστοχία (flexure failure) κατά μήκος αυτής, λόγω μη επαρκούς αντοχής έναντι κάμψης που δημιουργείται από τις ωθήσεις του εδάφους. Η συγκεκριμένη μορφή αστοχίας πρέπει να μελετάται ξεχωριστά για την προσωρινή και για τη μόνιμη επένδυση. Σπανιότερα παρουσιάζονται και επιμέρους αστοχίες σε μεμονωμένα τμήματα της επένδυσης όπως στην πλάκα

ανακατανομής του φορτίου ή στις ηλώσεις (όταν υπάρχουν) και στα περικόχλια σύσφιγξης αυτής.

Πάντως αυτές οι επιμέρους αστοχίες δεν επηρεάζουν τη συνολική ευστάθεια του έργου ενώ και η επιδιόρθωση τους επιτυγχάνεται σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα.

7.7 Μέθοδοι ανάλυσης

Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι για την ανάλυση κατασκευών ενίσχυσης του εδάφους με ηλώσεις (μέθοδος soil nailing) μπορούν να χωριστούν σε τρεις κύριες κατηγορίες (CLOUTEREE.1991):

1. Μέθοδοι οριακής ισορροπίας
2. Κινηματική οριακή ανάλυση
3. Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων

Στην πρώτη κατηγορία μεθόδων ανάλυσης (οριακής ισορροπίας) συμπεριλαμβάνονται:

- 1.1) η μέθοδος της οριακής ανάλυσης (Limit Analysis)
- 1.2) η μέθοδος ανάλυσης οριακής ισορροπίας (Limit Equilibrium Analysis)
- 1.3) η μέθοδος των μετακινήσεων

7.7.1 Μέθοδοι οριακής ισορροπίας

Η ανάλυση ορίων βασίζεται στα οριακά θεωρήματα πλαστικότητας. Βασικό στόχο αποτελεί η εξαγωγή σχέσεων που να περιγράφουν την ελαστοπλαστική συμπεριφορά του οπλισμένου εδάφους ώστε να καταστεί δυνατός ο υπολογισμός του φορτίου κατάρρευσης και των παραμορφώσεων της κατασκευής.

Η ανάλυση οριακής ισορροπίας αποτελεί ένα συνδυασμό των επιλύσεων άνω και κάτω ορίου καθώς θεωρεί ένα μηχανισμό κατάρρευσης και μια κατάσταση ισορροπίας αντίστοιχα, γι' αυτό και όπως προαναφέρθηκε αποτελεί την πιο αξιόπιστη μέθοδο οριακής ισορροπίας.

Τέλος η μέθοδος των μετακινήσεων εκτιμά την ευστάθεια του οπλισμένου εδάφους λαμβάνοντας υπ' όψη :

- τη διατμητική αστοχία του εδάφους κατά μήκος της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης,
- την αστοχία λόγω εξόλκευσης της ράβδου,
- τη θραύση της ράβδου είτε από κάμψη είτε από συνδυασμό της δράσης των εφελκυστικών και των διατμητικών δυνάμεων και
- τον ερπυσμό ή την πλαστική διαρροή του εδάφους ανάμεσα στις ηλώσεις.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την εκτίμηση των συντελεστών ασφαλείας, λαμβάνοντας υπ' όψη τα χαρακτηριστικά διατμητικής αντοχής της διεπιφάνειας οπλισμού - εδάφους.

7.7.2 Κινηματική οριακή ανάλυση

Η κινηματική μέθοδος (Elias και Juran, 1991) βασίζεται «στο συσχετισμό ενός κινηματικά αποδεκτού τρόπου μετακίνησης-αστοχίας με μια στατικά αποδεκτή λύση οριακής ισορροπίας». Σε αυτήν την μέθοδο δεν χρησιμοποιείται η μέθοδος των λωρίδων και η ενισχυμένη με ηλώσεις κατασκευή αντιστήριξης θεωρείται ως μηχανικά σταθεροποιημένο επίχωμα, θεωρεί ένα ημιεύκαμπτο τμήμα περιστροφής το οποίο καθορίζεται από μια κυκλική ή μεγάλου εύρους σπειροειδή επιφάνεια αστοχίας. Μοιάζει με την

Γαλλική μέθοδο στην χρησιμοποίηση του κριτηρίου αστοχίας του Mohr-Coulomb καθώς και του κριτηρίου αστοχίας Tresca για τις ηλώσεις .

7.7.3 Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (Computer Methods)

Τα προβλήματα που προκύπτουν κατά τον υπολογισμό κατασκευών ενισχυμένων με εδαφοηλώσεις θα μπορούσαν να ήταν αρκετά δυσνόητα αν δεν υπήρχαν εξειδικευμένα προγράμματα υπολογιστών. Υπάρχουν, λοιπόν, προγράμματα υπολογιστών τα οποία επιβάλλεται να χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό τέτοιων κατασκευών. Έτσι κερδίζεται χρόνος αλλά μειώνεται και η πιθανότητα λάθους.

Τέτοια εξειδικευμένα προγράμματα είναι το πρόγραμμα του Caltrans (SNAIL) και του Golder και Byrne (GOLDNAIL). Στο πρόγραμμα του Caltrans υπάρχει το πλεονέκτημα ότι μπορούν να συνδυαστούν ηλώσεις με αγκύρια. Επίσης, υπάρχουν Γαλλικά προγράμματα (TALREN) και Γερμανικά, τα οποία, όμως, είναι πιο δύσχρηστα και έχουν υψηλότερο κόστος. Τέλος για εξειδικευμένες γνώσεις υπάρχουν μέθοδοι πεπερασμένων στοιχείων.

7.8 Υπολογισμοί ευστάθειας ενισχυμένων πρανών με εδαφοηλώσεις.

Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι ανάλυσης και σχεδιασμού των ενισχυμένων πρανών με ηλώσεις. Αυτές οι ηλώσεις μπορούν να τοποθετηθούν είτε οριζόντια είτε έχοντας συγκεκριμένη κλίση.

Ο Lesniewska απέδειξε ότι η κλίση των ηλώσεων παίζει σημαντικό ρόλο στην ευστάθεια των κατασκευών. Επίσης, η πιθανή εξοικονόμηση χρημάτων από τον τρόπο τοποθέτησης των ηλώσεων προκάλεσε το ενδιαφέρον των ερευνητών. Οι Anthoine και Salencon έκαναν μελέτες για την ευνοϊκότερη

τοποθέτηση των ηλώσεων, καθώς και για το ευνοϊκότερο μήκος που πρέπει να έχουν, θεωρώντας ένα μόνο στρώμα ενίσχυσης. Ο Sabahit (1995) ανέπτυξε μια γενική μέθοδο για τον βέλτιστο σχεδιασμό των ηλώσεων στα πρανή, που βασιζόταν στην μέθοδο Janbu (Μέθοδος των Λωρίδων). Δίνοντας ελάχιστη σημασία στην επίδραση της ενεργητική ζώνης και θεωρώντας μόνο την συνολική ισορροπία, υπολόγισαν τις συνολικές απαιτούμενες δυνάμεις ενίσχυσης, έτσι ώστε να αυξηθεί ο βαθμός ασφαλείας σε κάποια επιθυμητή τιμή. Ωστόσο δεν πρέπει να παραμεληθεί η αλληλεπίδραση του εδάφους με τις ηλώσεις. Παρακάτω ακολουθούν υπολογισμοί που βασίζονται στην εσωτερική και συνολική ισορροπία όπου τα τμήματα του εδάφους μπορεί να είναι είτε κάθετα είτε με κλίση.

Η θέση της μέγιστης τάσης των ηλώσεων αντιστοιχεί στην επιφάνεια ολίσθησης. Η τάση στην ήλωση εντός της μάζας αστοχίας, καθορίζεται από τον συντελεστή τριβής που προτάθηκε από τους Cartier και Gigan (1993). Οι συντελεστές ασφαλείας και η τιμή του συντελεστή k για μια επιφάνεια ολίσθησης σε πρανή ενισχυμένα με ηλώσεις, υπολογίζεται με επαναληπτικές τεχνικές από την συνολική ισορροπία των τμημάτων. Στην μέθοδο των κεκλιμένων τμημάτων η τιμή του συντελεστή ασφαλείας αντιστοιχεί στην τιμή του k που είναι ίση με μηδέν.

Κατά την χρήση των κάθετων λωρίδων, διαπιστώθηκε ότι ο συντελεστής ασφαλείας μεταβάλλεται ανάλογα με την κλίση αλλά και με την απόσταση μεταξύ των ηλώσεων. Ο Kitamura απέδειξε ότι οι ηλώσεις που τοποθετούνται με ανοδική κλίση δεν είναι τόσο αποτελεσματικές όσο αυτές που τοποθετούνται οριζόντια ή με καθοδική κλίση. Ο Sabahit θεωρεί ότι η βέλτιστη λύση είναι να τοποθετούνται σχεδόν οριζόντια. Ωστόσο, βασιζόμενος και στην θεωρία του Kitamura απέκλεισε από το πρόγραμμα του τις ηλώσεις με ανοδική κλίση.

Τέλος παραθέτουμε μερικά ακόμη παραδείγματα:

Εικόνα 4



Εικόνα 5



ΕΙΚΟΝΑ 6



Επιπλεον φωτογραφίες:



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΓΕΩΥΦΑΣΜΑΤΑ



8.1. Γενικά

Τα γεωφάσματα αποτελούν ίσως την πιο σημαντική τεχνολογική εξέλιξη και καινοτομία που συνέβη τα τελευταία χρόνια στην εφαρμοσμένη Γεωτεχνική Μηχανική.

Από άποψη σύστασης τα γεωφάσματα, διακρινόμενα από τις αδιαπέρατες γεωμεμβράνες, είναι διαπερατά, πορώδη τεχνητά υλικά, παρασκευασμένα βιομηχανικά από ποικίλα συνθετικά υλικά, όπως πολυπροπυλένιο, πολυεστέρες, πολυβινιλένιο, νάϋλον, πολυαιθυλένιο, γυαλί, ή από μίγματα τους.

Η πολύ μεγάλη εξάπλωση της χρήσης των γεωφασμάτων σε τόσο μικρό χρόνο συνδυάστηκε με την παραγωγή και την διάθεση στην αγορά μεγάλου αριθμού σχετικών προϊόντων. Η διάμετρος των ινών ποικίλλει από 10-30μ .Τα γεωφάσματα έχουν πάχος από 0.4 mm έως 3 mm και βάρος από 70 gr/cm² έως 350 gr/cm² .

Υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες γεωφασμάτων :

α) Τα υφαντά γεωφάσματα ,που προκύπτουν από αλληλοδιασταύρωση δυο κάθετων στρωμάτων ινών .

β) Τα μη υφαντά γεωφάσματα ,στα οποία οι ίνες είναι τοποθετημένες ακανόνιστα και η μεταξύ τους σύνδεση εξασφαλίζεται εφαρμόζοντας δυο τεχνικές:

- Η τεχνική της θερμοσυγκόλλησης μεταξύ δυο στρωμάτων ινών που έρχονται σε επαφή σε ημιτετηγμένη μορφή (για γεωφάσματα μικρού και μέσου πάχους).

- Η τεχνική της διάνοιξης οπών σε ένα συνεχές στρώμα ινών που είναι τυχαία διατεταγμένες (για γεωφάσματα μεγάλου πάχους).

8.2 Ιδιότητες γεωφασμάτων.

Οι ιδιότητες διακρίνονται στις εξής δύο κατηγορίες :

- 1) Μηχανικές ιδιότητες
- 2) Υδραυλικές ιδιότητες

8.2.1 Μηχανικές ιδιότητες

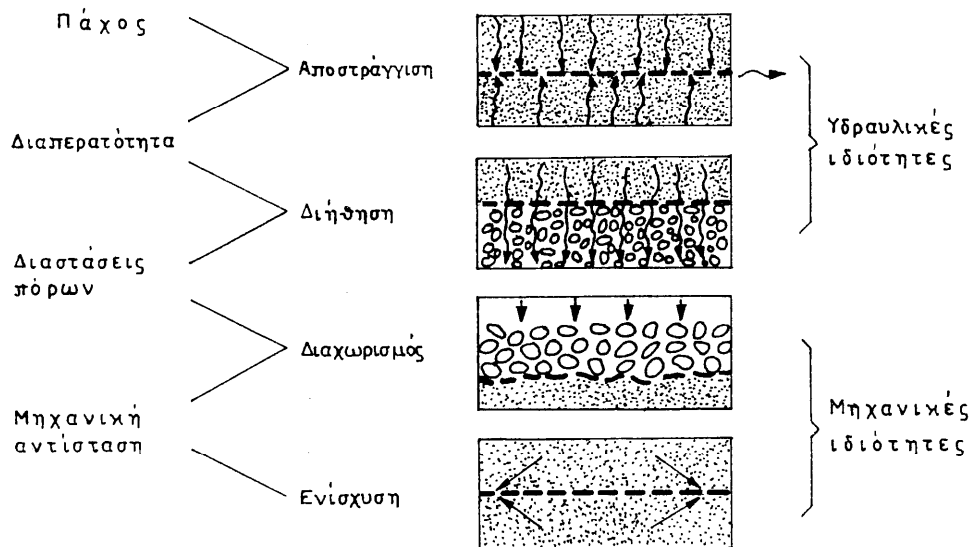
A) Διαχωρισμός δυο διαδοχικών στρώσεων κοκκώδους υλικού .Ένα συνηθισμένο πρόβλημα στην Εδαφομηχανική είναι η διείδυση των λεπτόκοκκων στοιχείων ενός αργιλικού εδάφους στο υπερκείμενο στρώμα αμμοχάλικου ή άμμου. Η τοποθέτηση γεωφάσματος στη επιφάνεια ανάμεσα στις δυο στρώσεις δίνει στο πρόβλημα λύση ασφαλή και μόνιμη .

B) Ενίσχυση εδαφικού υλικού ανεπαρκούς κατ' αρχήν μηχανικής αντοχής .Η αδυναμία εξεύρεσης ελεύθερων χώρων αναγκάζει πολύ συχνά να θεμελιώσουμε πάνω σε εδάφη μικρής μηχανικής αντοχής ,ετερογενή ,συμπιεστά ,με μεγάλη παραμορφωσιμότητα .Η τοποθέτηση γεωφάσματος στις περιπτώσεις αυτές προκαλεί ενίσχυση της μηχανικής αντοχής του προβληματικού εδαφικού υλικού ,αλλά και δίνει τη δυνατότητα να αναληφθούν ικανοποιητικά ενδεχόμενες διαφορικές καθιζήσεις.

8.2.2. Υδραυλικές ιδιότητες

A) Χρησιμοποίηση του γεωφάσματος ως φίλτρου. Η αδυναμία εξεύρεσης κοκκώδους υλικού επαρκώς διαβαθμισμένο για τη χρησιμοποίηση του ως φίλτρου δεν είναι κάτι το ασυνήθιστο .Το γεωφάσμα μπορεί να καλύψει και τη δυνατότητα αυτή .

B) Ταχεία και προς ορισμένη κατεύθυνση αποστράγγιση όμβριων και υπόγειων νερών (drainage). Είναι ένα πρόβλημα που συχνά υποτιμάται και στην επίλυση του οποίου μπορούν να συμβάλλουν πολύ ικανοποιητικά τα γεωφάσματα .(σχ. 8.1)



Σχ.8.1 Μηχανικές και υδραυλικές ιδιότητες των γεωφασμάτων.

8.3 Πλεονεκτήματα από τη χρήση των γεωφασμάτων.

Η χρήση των γεωφασμάτων είναι ιδιαίτερος διευρυμένη την σημερινή εποχή λόγω των πλεονεκτημάτων που προσδίδουν. Πιο συγκεκριμένα η παρεμβολή ανάμεσα σε υλικά ασυνεχή (αργλικές ,αμμώδεις στρώσεις) ενός υλικού συνεχούς (γεωφάσμα) προσδίδει ευστάθεια στην κατασκευή και βελτιώνει τη μηχανική της συμπεριφορά. Επίσης δίνουν λύση μόνιμη και συνεχή στα προβλήματα της μηχανικής και υδραυλικής συμπεριφοράς του συστήματος με συνέπεια πολύ μεγάλες οικονομίες στις μετέπειτα δαπάνες συντήρησης ενώ παράλληλα εξασφαλίζουν ευκολία και πιστότητα κατασκευής . Όσο ευκολότερη είναι η τοποθέτηση ενός υλικού τόσο πιο αποτελεσματικός είναι ο έλεγχος της ποιότητας κατασκευής.

Τέλος η χρησιμοποίηση γεωφάσματος οδηγεί πολύ συχνά σε λύση πολύ πιο οικονομική αναφορικά με τη συνολική διάρκεια ζωής του έργου .Μόνο ως προς την οικονομία μεταφοράς δίνουμε το παρακάτω παράδειγμα .Ένα γεώφασμα βάρους 250 g/m^2 μπορεί να αντικαταστήσει μια αμμώδη στρώση πάχους 15 cm και βάρους 250 kg/m^2 ,δηλαδή 1000 φορές βαρύτερη .Για ένα χιλιόμετρο οδοστρώματος πλάτους 8 m ,αυτό συνεπάγεται χρησιμοποίηση υλικών 2000 t στη δεύτερη περίπτωση (για τη μεταφορά των οποίων απαιτούνται 20 φορτηγά οχήματα των 10 t), ενώ στην πρώτη περίπτωση απαιτούνται μόνο 2t γεωφάσματος που μπορούν να μεταφερθούν άνετα από ένα μικρό φορτηγό .

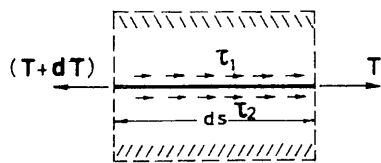
8.4. Μηχανική συμπεριφορά του συστήματος γεώφασμα-έδαφος

8.4.1 Επιπόνηση σε διάτμηση

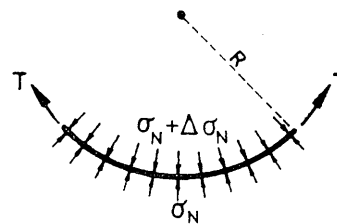
Το έδαφος μεταφέρει στο γεώφασμα σημαντικές δυνάμεις διάτμησης .Στην περίπτωση αυτή το γεώφασμα λειτουργεί σαν οπλισμός και η ενδεδειγμένη κατεύθυνση τοποθέτησής του εξαρτάται από τη διεύθυνση της μέγιστης ασκούμενης παραμόρφωσης .Ως απόρροια της ανάληψης σημαντικών διατμητικών τάσεων προκύπτει και η ανάγκη επαρκούς και σωστής αγκύρωσης.

8.4.2 Επιπόνηση σε κατάσταση μεμβράνης

Εκτός από τις διατμητικές δυνάμεις , το γεώφασμα παραλαμβάνει ,και κατά κύριο λόγο μάλιστα ,σημαντικές αξονικές δυνάμεις ,οπότε έχουμε μια συμπεριφορά ανάλογη με κατάσταση μεμβράνης (σχ. 8.2).



επιπόνηση σε διάτμηση



αξονική επιπόνηση

Σχ. 8.2 επιπόνηση σε κατάσταση μεμβράνης

8.5. Συμπεριφορά των γεωφασμάτων σε κόπωση

Παρόλο που το γεωφάσμα τοποθετείται σ' απόσταση αρκετή από το εξωτερικό φορτίο, υφίσταται την επιπόνηση των κυκλικών φορτίσεων , (πέρασμα οχήματος ,σιδηροδρόμου ,κύμα ,κλπ .) , που θέτουν έτσι το πρόβλημα της κόπωσης . Άλλωστε η οργανικής φύσης υφή του θέτει και το πρόβλημα της αλλοίωσης των ινών μέσα στο χρόνο .

Θα πρέπει ωστόσο να τονισθεί ότι καθώς η τεχνική των γεωφασμάτων είναι πρόσφατη ,η υπάρχουσα σήμερα γνώση ως προς την εξέλιξη σε συνάρτηση με το χρόνο των μηχανικών παραμέτρων και της υφής του γεωφάσματος δεν μπορεί να θεωρηθεί επαρκής. Πολύ λίγη συστηματική έρευνα έχει γίνει προς την κατεύθυνση αυτή .

Έτσι λοιπόν έχει προκύψει (κυρίως από επιτόπου μετρήσεις) ότι το μέτρο ελαστικότητας παραμένει σχεδόν αμετάβλητο σε συνάρτηση με το χρόνο. Διαπιστώθηκε επίσης ότι τα πολυμερή που συνθέτουν την πρώτη ύλη του γεωφασμάτων έγιναν την τελευταία δεκαετία είναι παρακινδυνευμένο να υιοθετηθούν ως οριστικές οι παραπάνω διαπιστώσεις .

8.6 Οπλισμένη γη

8.6.1 Γενικά

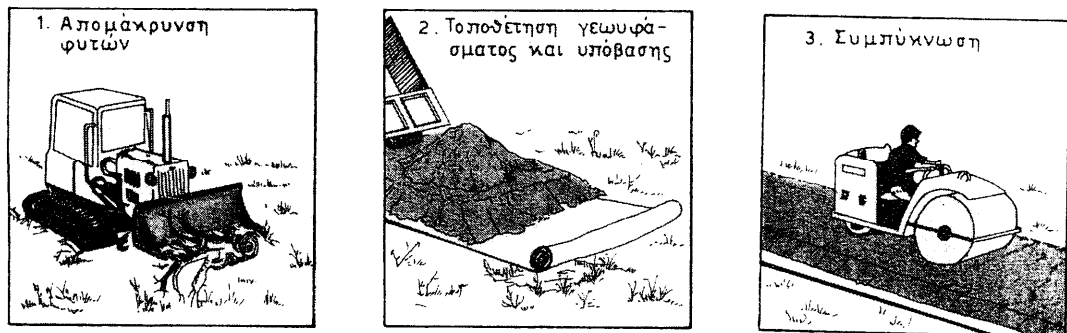
Παρόλο που η τεχνολογία κατασκευής των οπλισμένων επιχωμάτων - τοίχων είναι ήδη πολύ αναπτυγμένη, οι δε υπάρχουσες εφαρμογές πολυπληθείς, εν τούτοις, οι μεθοδολογίες και οι τρόποι ελέγχου-υπολογισμού της ευστάθειας των κατασκευών αυτών παρουσιάζουν μία αρκετά μεγάλη διασπορά σε διεθνές επίπεδο και βασίζονται σε συγγράμματα, πρακτικές και λίγους σχετικούς εθνικούς κανονισμούς ή οδηγίες.

Στον Ελληνικό επίσης χώρο, την τελευταία δεκαετία έχουν μελετηθεί και κατασκευασθεί πολλά και σημαντικότερα από άποψη γεωμετρικών χαρακτηριστικών και τεχνικής δυσκολίας οπλισμένα επιχώματα.

8.6.2. Χρησιμοποίηση γεωφασμάτων σε έργα οδοποιίας

Μια από τις συνηθέστερες χρήσεις των γεωφασμάτων είναι για έργα οδοποιίας ,τα οποία λόγω αδυναμίας εξεύρεσης ελεύθερων χώρων κατασκευάζονται συχνά σε περιοχές όπου τα εδάφη είναι προβληματικά. Εδώ το γεώφασμα καλείται να ικανοποιήσει τους παρακάτω ρόλους :

- Διαχωρισμός του κοκκώδους υλικού της υπόβασης από το υποκείμενο εδαφικό υλικό ,ιδίως μάλιστα όταν το τελευταίο είναι χαλαρό,
- Διήθηση και γρήγορη αποστράγγιση επιφανειακών και υπόγειων νερών .
- Ενίσχυση της μηχανικής αντοχής του εδάφους θεμελίωσης, ιδίως μάλιστα αν το τελευταίο είναι χαλαρό και μικρής φέρουσας ικανότητας



Σχ. 8.3 Χρησιμοποίηση γεωφασμάτων σε έργα οδοποιίας.

8.6.3 Χρησιμοποίηση γεωφασμάτων σε θεμελιώσεις τεχνικών έργων και σε τοίχους αντιστήριξης

Μια από τις πρώτες και περισσότερο συνήθεις εφαρμογές των γεωφασμάτων είναι στις θεμελιώδεις τεχνικών έργων, ιδίως μάλιστα όταν το έδαφος θεμελίωσης είναι μικρής φέρουσας ικανότητας και υπάρχει το ενδεχόμενο να εμφανιστούν σημαντικές διαφορικές καθιζήσεις. Στις περιπτώσεις αυτές γίνεται εκμετάλλευση σχεδόν όλων των ιδιοτήτων του γεωφάσματος :

- διαχωρισμός στρώσεων
- διήθηση-αποστράγγιση
- ενίσχυση μηχανικής αντοχής
- ευκολία και πιστότητα κατασκευής

Πιο πρόσφατη είναι η χρησιμοποίηση γεωφασμάτων για αντιστηρίξεις ,με τα αναμφισβήτητα παρακάτω πλεονεκτήματα :



- Δυνατότητα να δοθεί μεγάλη κλίση (μέχρι και κατακόρυφη)
- ευκαμψία και δυνατότητα ανάληψης μεγάλων παραμορφώσεων
- οικονομία και ευκολία κατασκευής
- προσαρμογή στην αισθητική του περιβάλλοντος

Τέλος είναι όλο και περισσότερες οι εφαρμογές γεωφασμάτων στις περιπτώσεις τεχνικών έργων ιδιαίτερα ευαίσθητων στις καθιζήσεις :

- πίστες αεροδρομίων
- εγκαταστάσεις τένις, γκόλφ , κλπ.
- πυρηνικοί αντιδραστήρες

Το σχήμα 8.4 ανακεφαλαιώνει διαγραμματικά τις βασικές περιοχές εφαρμογών των γεωφασμάτων

Εφαρμογή	Ρόλος γεωφάσματος			
	Διαχωρισμός	Διήθηση (Κατακόρυφα)	Αποστράγγιση (Οριζόντια)	Ενίσχυση
Οδοποιία Σιδηροδρομική Σταθεροποίηση υποδομής				
Στραγγιστήρια				
Πρανή φραγμάτων				
Ποτάμια και θαλάσσια έργα				
Αξιοποίηση υγρών εδαφικών εκτάσεων				
Ενίσχυση εδάφους				

Επεξήγηση:  Βασικός ρόλος
 Συμπληρωματικός ρόλος

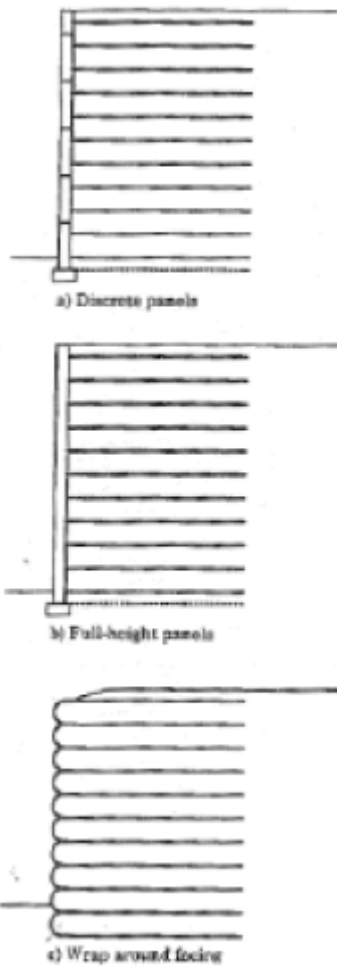
Σχ.8.4 Περιοχές εφαρμογή των γεωφασμάτων.

8.6.4 Κατασκευή έργων αντιστήριξης από οπλισμένη γη.

Τα έργα αντιστήριξης με οπλισμένη γη κατασκευάζονται με την ενσωμάτωση υλικών οπλισμού από χάλυβα ή γεωσυνθετικά υλικά (δηλ. μεταλλικές λωρίδες, μεταλλικά πλέγματα, γεωφάσματα και γεωπλέγματα) σε εδαφικά υλικά επίχωσης κατά τη διάρκεια της κατασκευής των στρώσεων της επίχωσης. Στην επιφάνεια του διαμορφωμένου πρανούς (με γωνία ως προς την οριζόντια $\geq 70^\circ$) κατασκευάζεται επιφανειακή άκαμπτη ή εύκαμπτη επικάλυψη για την εξωτερική αγκύρωση του οπλισμού αλλά και για αισθητικούς λόγους (διαμόρφωση ομαλής επιφάνειας).

Η άκαμπτη επικάλυψη μπορεί να αποτελείται από ένα συνεχές στοιχείο (σε όλο το ύψος αντιστήριξης) ή από διακριτά στοιχεία (σε επιμέρους τμήματα του συνολικού ύψους αντιστήριξης) από σκυρόδεμα, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα μεταλλικά φύλλα, μεταλλικά πλέγματα) ή από συνδυασμό των ανωτέρω (σχ. 8.5a -b).

Η εύκαμπτη επικάλυψη, περιλαμβάνει στοιχεία τα οποία συνιστούν περιερισσόμενες επεκτάσεις των στρώσεων των συνθετικών στοιχείων οπλισμού, οι οποίες περιβάλλουν εξωτερικώς τα υλικά της επίχωσης (σχ. 8.5c). Στα εύκαμπτα στοιχεία επικάλυψης περιλαμβάνονται επίσης και οι επικαλύψεις με συρματοκιβώτια με ή χωρίς αγκύρωση στο σώμα του αντιστηριζόμενου εδάφους.



Σχ. 8.5 Τύποι επιφανειακής κάλυψης έργων αντιστηρίξεις από οπλισμένη γη.

Με τους ανωτέρω μπορούν να διαμορφωθούν τοίχοι αντιστήριξης με κατακόρυφη ή πολύ απότομη κλίση ($\geq 70^\circ$). τονίζεται ότι λόγω της διαμόρφωσης των επιχωμάτων με πολύ απότομα πρανή, οι τάσεις που ασκούνται στην θεμελίωση του επιχώματος είναι αυξημένες και συνεπώς οι έλεγχοι ευστάθειας και παραμορφώσεων του εδάφους θεμελίωσης αποκτούν εξαιρετική σημασία.

8.6.5 Αποστράγγιση

Η χρήση των γεωφασμάτων στον σχεδιασμό και την κατασκευή στραγγιστηρίων τάφρων, οριζόντιων στραγγιστηρίων στρώσεων καθώς και σε άλλα όμοιας σκοπιμότητας μικρά ή μεγάλα έργα έχει αποδειχθεί εξαιρετικά επωφελής τόσο στην απλοποίηση της κατασκευής όσο και στην απόδοση και την διάρκεια ζωής των στραγγιστηρίων και των γενικότερων έργων.

Στο σχεδιασμό αυτών των κατασκευών απαιτείται από την μια η εφαρμογή γνώσεων της θεωρητικής και κυρίως της εφαρμοσμένης υδραυλικής μαζί με ημιεμπειρικές σχέσεις και πρακτικούς κανόνες και από την άλλη η παρακολούθηση των τεχνολογικών εξελίξεων και της αγοράς.

8.6.6 Έλεγχος και Περιορισμός της Διάβρωσης

Το κύριο αίτιο διάβρωσης του εδάφους είναι η σχετική διαβρωτική δράση γραμμική ή τυρβώδης του κινούμενου νερού. Η ένταση της διάβρωσης εξαρτάται από τον τύπο και την ταχύτητα της ροής του νερού, τα χαρακτηριστικά των τυχόν κυμάτων, την κλίση της επιφάνειας του εδάφους καθώς και το είδος και τις μηχανικές ιδιότητες του.

Οι πιο συνηθισμένες γενικές κατηγορίες σχετικών έργων είναι:

α) Τα έργα ενίσχυσης της σταθερότητας των πλευρών της κοίτης ορμητικών καναλιών ποταμών και χειμάρρων.

β) Τα έργα προστασίας ακτών, κυματοθραυστών και άλλων λιμενικών έργων.

Στη σειρά των σκίτσων του σχ.8.6 δίνονται διάφορες διατάξεις έργων που κατασκευάζονται με σκοπό αποκλειστικό ή παράλληλο την προστασία του

εδάφους από την διάβρωση. Σε άλλα σκίτσα του σχ. 8.6 διευκρινίζεται πιο αναλυτικά ο τρόπος τοποθέτησης και η λειτουργία των γεωφασμάτων.

Οι διαστάσεις των λίθων που τοποθετούνται στο προς το νερό εξωτερικό μέρος της επένδυσης εκτιμώνται με την βοήθεια σχέσεων που αναφέρει, ο Rankilor . Οι σχέσεις αυτές στην μεν περίπτωση των έργων σε ποταμούς ή χειμάρρους λαμβάνουν υπόψη την ταχύτητα και τον τύπο της ροής του νερού, στα δε έργα στις ακτές το ύψος των κυμάτων και την κλίση του πρανούς του έργου.

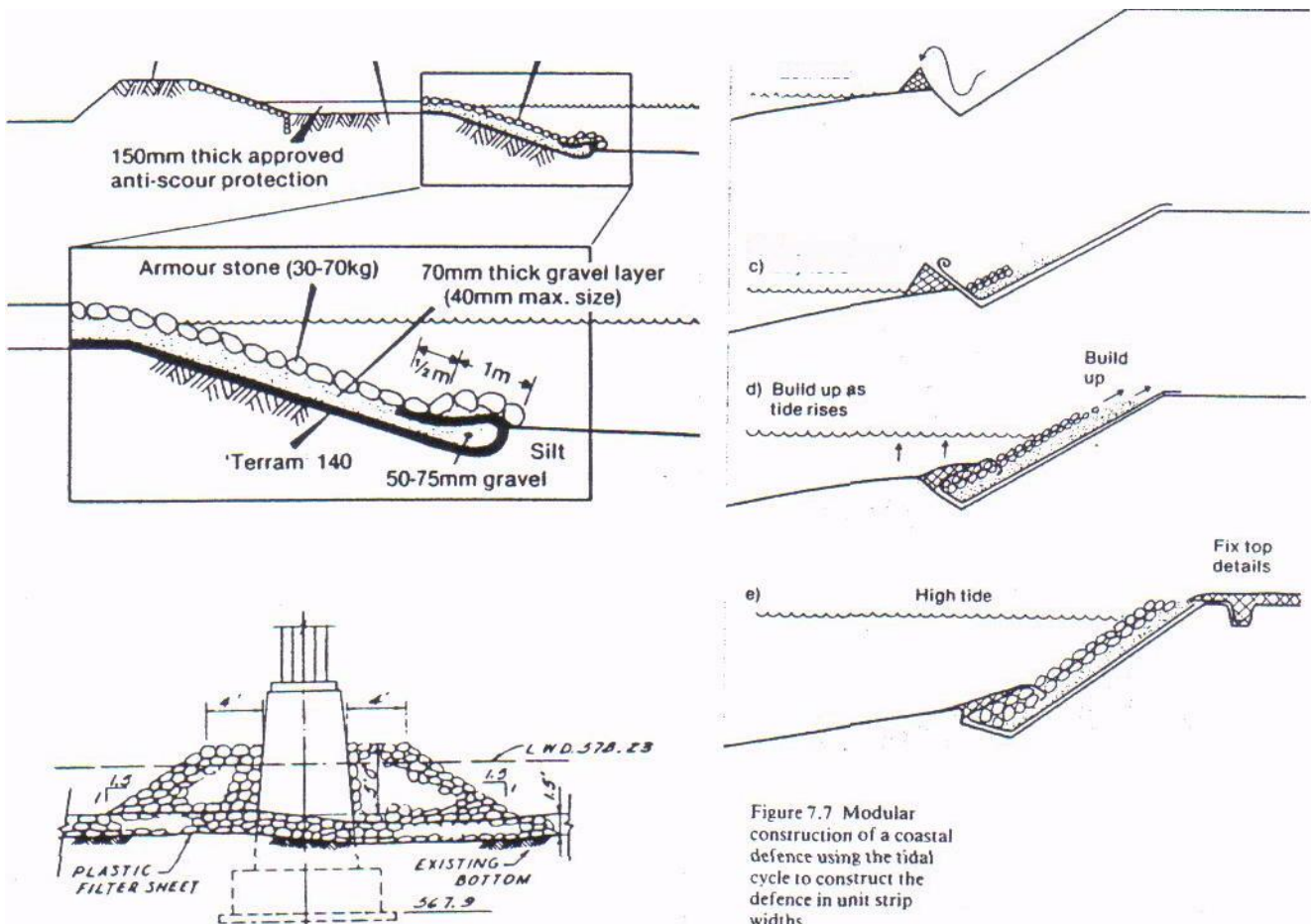
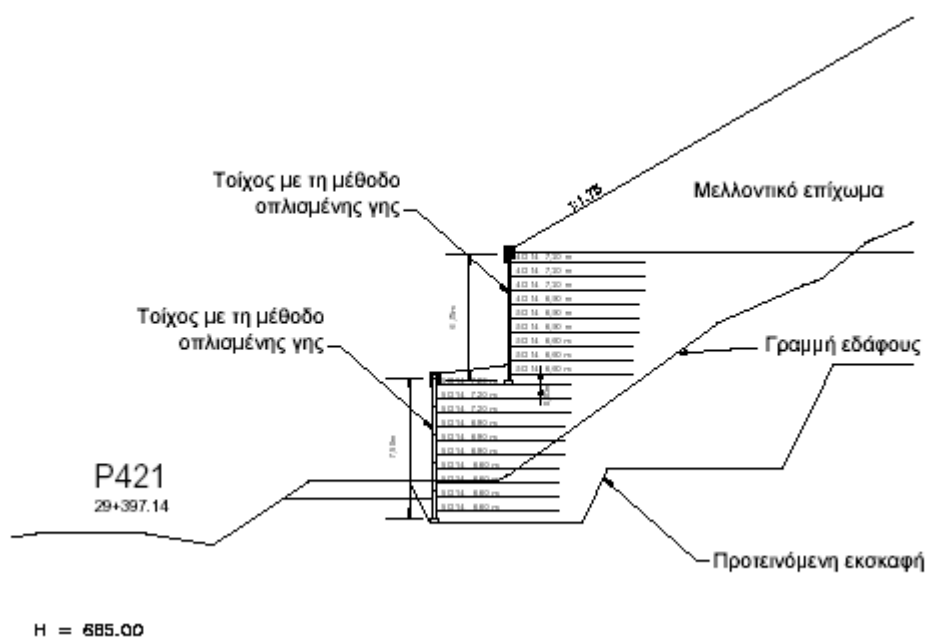


Figure 7.7 Modular construction of a coastal defence using the tidal cycle to construct the defence in unit strip widths

Σχ. 8.6

8.6.7 Παράδειγμα κατασκευής τοίχου αντιστήριξης από οπλισμένη γη.

Κατά τη φάση κατασκευής του τμήματος 5.1 της Εγνατίας οδού (Πολύμυλος – Λευκόπετρα) κατασκευάστηκε υψηλό επίχωμα το οποίο λόγω μορφολογίας έπρεπε να είναι οπλισμένο στη βάση του. Το οπλισμένο επίχωμα σχεδιάστηκε με δύο επάλληλους τοίχους οπλισμένης γης. Για την λειτουργία της οδού εξυπηρέτησης της Εγνατίας κατάντη του αριστερού κλάδου σχεδιάστηκε τρίτος τοίχος. Ο οπλισμός όλων των τοίχων αντιστήριξης περιλάμβανε τη χρήση μεταλλικών πλεγμάτων με την μορφή λωρίδων πλάτους 0,60 m ενώ τα υλικά επίχωσης των τοίχων οπλισμένης γης και του επιχώματος περιελάμβαναν αδρομερή προϊόντα εκσκαφής από τις εκατέρωθεν σήραγγες, γνευσιακής και γρανιτικής προέλευσης.(Σχ. 8.7).



Σχ. 8.7. Τυπική διατομή οπλισμένης γης .

8.8 Μερικά παραδείγματα από το έργο <<ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ>> στο ύψος του Μετσόβου όπου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των γεωφρασμάτων

EIKONA 1



EIKONA 2



EIKONA 3



EIKONA 4



EIKONA 5



EIKONA 6



EIKONA 7.

