



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΛΑΦΩΝ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΤΣΕΝΤΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΔΗΜΗΤΡΕΛΗΣ ΦΙΛΙΠΠΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΖΗΣΙΜΑΤΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2018

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.Εδάφη: ταξινόμηση, ιδιότητες, έλεγχοι.....	4
1.1.Ταξινόμηση.....	4
1.1.1.Ελληνικά εδαφικά συστήματα	5
1.1.2.Ιδιότητες.....	6
1.1.3.Έλεγχοι.....	7
1.1.4.Προβλήματα που παρουσιάζει το έδαφος	10
1.2.Βελτίωση εδάφους.....	16
2.Βελτίωση και ενίσχυση εδαφών: ιστορία και μέθοδοι.....	18
2.1.Ιστορική αναδρομή	18
2.2.Μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης εδαφών	19
2.3.Μέθοδοι μείωσης φορτίου	23
2.4.Λοιπές μέθοδοι	25
2.4.1.Ενέσεις.....	26
2.4.2.Ενθέματα μεγάλης δυσκαμψίας	27
2.4.2.1.Εδαφοπάσσαλοι (jet grouting).....	27
2.4.2.2.Πάσσαλοι από άοπλο σκυρόδεμα	28
2.4.2.3.Προκατασκευασμένοι πάσσαλοι	28
2.4.2.4.Πάσσαλοι CFA (Continuous Flight Auger)	29
2.4.2.5.Πάσσαλοι πλήρους εκτόπισης FDP (Full Displacement Piles)	30
2.4.3.Θερμική δράση.....	31
2.4.3.1.Θέρμανση του εδάφους.....	31
2.4.3.2.Ψύξη του εδάφους.....	32
3.Συμπύκνωση εδαφών	33
3.1.Τι είναι η συμπύκνωση	33
3.2.Αποτελέσματα συμπύκνωσης εδάφους	40
3.3.Μέθοδοι συμπύκνωσης εδάφους.....	41
3.3.1.Δυναμική συμπύκνωση.....	41
3.3.2.Πάσσαλοι συμπύκνωσης (δονητική συμπύκνωση)	44
3.3.3.Μαζική δόνηση	46
3.3.4.Συμπύκνωση με εκρήξεις.....	46
4.Σταθεροποίηση	49
4.1.Τι είναι η σταθεροποίηση	49

4.2.Υλικά σταθεροποίησης.....	50
4.3.Μηχανισμοί σταθεροποίησης εδάφους	55
4.3.1.Βαθιά ανάμειξη	55
4.3.2.Υποβάσεις δρόμων.....	57
4.3.3.Επικάλυψη πρανών με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.....	58
5.Στερεοποίηση	60
5.1.Τι είναι η στερεοποίηση.....	60
5.2.Μηχανισμοί στερεοποίησης	63
5.2.1.Προφόρτιση.....	63
5.2.1.1.Προφόρτιση με αμμοστραγγιστήρια	64
5.2.2.Ηλεκτρική όσμωση	69
6.Όπλιση.....	70
6.1.Τι είναι η όπλιση του εδάφους	70
6.2.Μηχανισμοί όπλισης εδάφους	72
6.2.1.Λιθοπάσσαλοι ή χαλικοπάσσαλοι	72
6.2.2.Όπλισμένο έδαφος.....	75
6.2.3.Χρησιμοποίηση γεωϋφασμάτων και γεωπλεγμάτων.....	80
6.2.4.Ριζοπάσσαλοι	82
6.2.5.Εδαφοηλώσεις (soil nailing)	83
7.Σχολιασμός – Συμπεράσματα	86
Βιβλιογραφία	89

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξαιρετικά μεγάλη δυσκολία που παρουσιάζει η σύλληψη της πολυδιάστατης έννοιας του εδάφους και οι διαφορετικές οπτικές θεώρησης του από επιστημονικούς τομείς των οποίων τα ερευνητικά πεδία έχουν σχέση με αυτό καθιστούν ιδιαίτερα προβληματική τη διατύπωση ενός ορισμού για το έδαφος, αποδεκτού από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα.

Γενικότερα, το έδαφος θα μπορούσε να οριστεί ως «όλα τα υλικά, ανόργανα και οργανικά, που περιβάλλουν τον πετρώδη φλοιό της Γης υπό μορφή χαλαρών ή μαλακών εναποθέσεων». Όλα τα εδάφη προέρχονται από αποσάθρωση των πετρωμάτων ή/και σήψη και αποσύνθεση της βλάστησης. Η αποσάθρωση και η αποσύνθεση μπορεί να οφείλονται σε πολλές φυσικές ή χημικές δυνάμεις με κυριότερες τον άνεμο, το νερό, τις θερμοκρασιακές μεταβολές και γενικότερα τις χημικές αντιδράσεις. (Νικολαΐδης, 2011)

Για τους μηχανικούς, το έδαφος είναι το θεμελιακό υλικό των περισσότερων δομικών έργων. Επίσης, το χρησιμοποιούν ως υλικό κατασκευής επιχωμάτων, φραγμάτων και άλλων χωμάτινων έργων, μεριμνούν για την αντιστήριξή του σε περιπτώσεις βαθιών εκσκαφών και το μελετούν για την αντιμετώπιση ειδικών προβλημάτων που σχετίζονται με αυτό, όπως οι αποστραγγίσεις, οι αντλήσεις, η διάδοση των σεισμικών κραδασμών κ.ά. (Καββαδάς, 2009)

Η επίλυση των προβλημάτων που αφορούν το έδαφος είναι συνυφασμένη με τη διερεύνηση των χαρακτηριστικών του εδάφους και της μηχανικής συμπεριφοράς αυτού.

1.Εδάφη: ταξινόμηση, ιδιότητες, έλεγχοι

1.1.Ταξινόμηση

Τα φυσικά εδάφη, παρ' όλη τη γενική τους ανομοιομορφία, μπορούν να ταξινομηθούν σε ομάδες βάσει του μεγέθους του κόκκου τους, εννοώντας το μέγιστο μέγεθος κόκκου που εμπεριέχεται στο έδαφος.

Λίθοι και κροκάλες, χαλίκια και άμμος είναι κοκκώδη (χονδρόκοκκα) εδάφη οι κόκκοι των οποίων δεν έχουν καθόλου ή σχεδόν καθόλου συνοχή μεταξύ τους.

Ψύς είναι έδαφος με λεπτούς κόκκους οι οποίοι παρουσιάζουν κάποια συνοχή μεταξύ τους. Είναι έδαφη με συμπιεστότητα και ελαστικότητα.

Άργιλος είναι πολύ λεπτόκοκκο έδαφος κολλοειδούς μορφής (θολό υδατικό διάλυμα με τα στερεά σωματίδια για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα σε αιώρηση). (Μαραγκός, 2009)

1.1.1.Ελληνικά εδαφικά συστήματα

Στην Ελλάδα κάτω από την επίδραση των παραγόντων εδαφογένεσης που κυριαρχούν αναπτύχθηκαν εδαφικά συστήματα με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Πρόσφατες αποθέσεις σε περιοχές που βρίσκονται κοντά σε υδάτινα ρεύματα, στις οποίες σχηματίζονται στρωσιγενή εδάφη κατά κανόνα χωρίς εδαφογενετικούς ορίζοντες, αλλά με ανομοιόμορφες εδαφικές στρώσεις. Αυτά είναι βαθιά γόνιμα εδάφη με υψηλές γεωργικές αποδόσεις, όταν εξασφαλίζονται οι λοιποί παράγοντες ανάπτυξης των φυτών, π.χ. παροχή ικανών ποσοτήτων νερού. Τα εδάφη αυτά ονομάζονται Entisols.
- Ελαφρώς εξελιγμένα και κατά κανόνα καλά στραγγιζόμενα εδάφη με ασθενείς εδαφικούς ορίζοντες. Τα εδάφη αυτά έχουν επίσης μεγάλη γεωργική σημασία και ονομάζονται Inceptisols. Βρίσκονται σε πιο απομακρυσμένες περιοχές από τα υδάτινα ρεύματα σε σύγκριση μετά Entisols
- Πολύ βαριά εδάφη, με μεγάλη χημική γονιμότητα αλλά κακές φυσικές ιδιότητες που αναπτύχθηκαν σε ασβεστούχα μητρικά υλικά που έχουν την ιδιότητα να διαστέλλονται και να συστέλλονται ανάλογα με την περιεκτικότητα σε υγρασία παρουσιάζοντας κατά τους ξηρούς μήνες χαρακτηριστικές σχισμές (Vertisols). Εάν εξασφαλιστούν καλές συνθήκες καλλιέργειας, τα εδάφη αυτά είναι πολύ γόνιμα. Εδάφη που αναπτύχθηκαν σε ασβεστολιθικά κατά κανόνα μητρικά πετρώματα, με χαρακτηριστικούς ερυθρού χρώματος εδαφικούς ορίζοντες που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο και οξειδία του σιδήρου και αργιλίου (Alfisols). Είναι εδάφη με μεγάλη γεωργική σημασία δεδομένου, ότι σε πολλά από αυτά αναπτύσσονται σημαντικές καλλιέργειες.
- Εδάφη με μικρό κατά κανόνα βάθος αλλά πλούσια σε οργανική ουσία και με πολύ καλές φυσικές ιδιότητες που έχουν αναπτυχθεί σε μητρικά υλικά πλούσια σε ασβέστιο και φιλοξενούν κυρίως βοσκότοπους (Mollisols).

Τα εδάφη του ελληνικού χώρου, λόγω του ιδιαίτερου κλίματος της περιοχής, της μακρόχρονης καλλιέργειας τους και των γεωργικών πρακτικών που ακολουθούνται, απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή κατά τη διαχείρισή τους. Τα ελληνικά εδάφη με έντονα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με το ξηρό θέρος και τις βροχοπτώσεις κατά τη χειμερινή περίοδο είναι πολύ ευαίσθητα στη διάβρωση. Παράλληλα λόγω του ξηροθερμικού κλίματος της περιοχής κατά τη θερινή περίοδο όσα γειτνιάζουν με το θαλάσσιο όγκο της Μεσογείου εμφανίζουν αυξημένο κίνδυνο αλάτωσης.

Ο κίνδυνος υποβάθμισης των ελληνικών εδαφών δεν οφείλεται μόνο στα ενδογενή χαρακτηριστικά της περιοχής και στις φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα. Οι ανθρωπογενείς επιδράσεις, και ιδιαίτερα οι γεωργικές πρακτικές, έχουν σοβαρές επιπτώσεις στην ποιότητα των ελληνικών εδαφών. Παρά το μικρό μέγεθος του κλήρου, οι παραδοσιακές γεωργικές πρακτικές της περιοχής έχουν εγκαταλειφθεί και αντικαταστάθηκαν με την εντατικής μορφής γεωργία. Η διάρκεια των αμειψισπορών έχει μειωθεί και οι αγρότες έχουν στραφεί προς εμπορικές καλλιέργειες υψηλής αποδοτικότητας, με αλόγιστη πολλές φορές χρήση λιπασμάτων και γεωργικών φαρμάκων, θυσιάζοντας με αυτό τον τρόπο την ποιότητα του εδαφικού πόρου στο βωμό της προσωρινής παραγωγικότητας.

1.1.2. Ιδιότητες

Από τις ανωτέρω περιγραφές, καταλαβαίνει κανείς ότι το έδαφος είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού τριών φάσεων: στερεάς (κόκκοι), υγρής (νερό) και αέριας (κενά μεταξύ των κόκκων) (Εικ. 1). Ο συνδυασμός αυτός προσδίδει στο έδαφος βασικές ιδιότητες (Νικολαΐδης, 2011):

1. **Περιεκτικότητα σε νερό:** πολλές φορές αναφέρεται και ως φυσική υγρασία του εδάφους και ορίζεται ως ο λόγος της μάζας του νερού που εμπεριέχεται στο έδαφος (M_w) προς τη μάζα των στερών (M_s), επί τοις εκατό

$$w = (M_w/M_s) * 100$$

2. **Δείκτης πόρων ή λόγος κενών :** ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών αέρα (V_a) και ύδατος προς τον όγκο των στερών (V_s):

$$e = V_v/V_s$$

3. **Πορώδες:** ορίζεται ως ο λόγος του όγκου όλων των κενών, αέρος και νερού (V_v), προς τον συνολικό όγκο (V), επί τοις εκατό:

$$n = (V_v/V) * 100$$

4. **Βαθμός κορεσμού:** ορίζεται ως ο λόγος του όγκου του νερού προς τον όγκο όλων των κενών (V_v) επί τοις εκατό:

$$S = (V_w/V_v) * 100$$

5. **Ξηρή πυκνότητα εδάφους:** είναι ο λόγος του βάρους των στερεών (W_s) προς τον συνολικό όγκο (V):

$$\gamma_d = M_s/V$$

6. **Πυκνότητα (φαινόμενη) εδάφους:** είναι ο λόγος του βάρους των στερεών (W_s) και τη μάζας του νερού (M_w) προς τον συνολικό όγκο:

$$\gamma = (W_s + M_w)/V$$

7. **Πυκνότητα κορεσμένου εδάφους:** ορίζεται ως ο λόγος του βάρους των στερεών και της μάζας του νερού που καταλαμβάνει όλους τους πόρους (V_v) προς τον συνολικό όγκο (V):

$$\gamma_{sat} = (M_s + V_v * \rho_w)/V$$

όπου γ_w η πυκνότητα του νερού

1.1.3. Έλεγχοι

Για να αναγνωρίσει κανείς πλήρως τι είδους έδαφος αντιμετωπίζει και πώς μπορεί να το αξιοποιήσει εποικοδομητικά, πρέπει να διενεργηθούν κάποιοι βασικοί έλεγχοι, συνήθως στο στάδιο της προμελέτης των έργων. Εκτός από τη διαδικασία των ελέγχων, σημασία έχει να ερμηνευθούν σωστά και τα αποτελέσματα αυτών.

I. Κοκκομετρική ανάλυση:

Είναι ο καθορισμός, επί τοις εκατό, της κατανομής του μεγέθους των κόκκων που περιέχονται στο έδαφος. Η διαδικασία περιλαμβάνει δύο αναλύσεις: την ανάλυση με κόσκινα και την ανάλυση με υδρόμετρο. Η πρώτη εκτελείται για τον καθορισμό της κατανομής του μεγέθους των κόκκων του εδάφους που συγκρατούνται στο κόσκινο των 0,075mm (ή 0,063 αναλόγως με την προδιαγραφή που ακολουθείται), δηλαδή στο κόσκινο 200 σύμφωνα με την Αμερικανική Προδιαγραφή ASTM D422-1980, η οποία έχει καθιερωθεί να χρησιμοποιείται στην Ελλάδα. Το κόσκινο 200 αντιστοιχεί κατά προσέγγιση στο όριο μεταξύ άμμων και ιλύων. Για τον διαχωρισμό των ιλύων και των αργίλων χρησιμοποιείται η δεύτερη ανάλυση που αναφέρθηκε, δηλαδή η ανάλυση με υδρόμετρο (Καββαδάς, 2009)

II. Όρια Attenberg:

Τα όρια αυτά είναι τρία: όριο συρρίκνωσης (S_w), όριο πλαστιμότητας (PL) και όριο υδαρότητας (LL). Αποτελούν χαρακτηριστικές ιδιότητες των συνεκτικών εδαφών (ιλύωδη και αργιλικά) και προσδιορίζονται από πρότυπες δοκιμές. Έτσι, το όριο υδαρότητας ορίζεται ως το ποσοστό υγρασίας, στο οποίο τα χείλη μια σχισμής που έχει δημιουργηθεί σε δείγμα του εδαφικού υλικού στη συσκευή Casagrande (Εικ. 2) κλείνουν μετά από 25 πτώσεις της κάψας πάνω στην ειδική βάση. Το όριο πλαστιμότητας ορίζεται ως το ποσοστό υγρασίας, στο οποίο επιμήκη στοιχεία του εδαφικού υλικού θρυμματίζονται όταν η διάμετρός τους γίνει 3mm. Τέλος, το όριο συρρίκνωσης ορίζεται ως το ποσοστό υγρασίας που αρκεί για να πληρώσει τα κενά του ξηρού εδαφικού υλικού, δηλαδή το ποσοστό της υγρασίας περαιτέρω μείωση του οποίου δεν οδηγεί σε μείωση του όγκου του εδαφικού υλικού.

Με βάση τα όρια Attenberg ορίζονται και οι λεγόμενοι δείκτες συνεκτικότητας, δηλαδή:

$$\text{Δείκτης πλαστιμότητας: } PI = LL - PL$$

Εκφράζει το εύρος της πλάστιμης περιοχής, δηλαδή το εύρος της «περιοχής» (μετρούμενης σε ποσοστά υγρασίας) στην οποία το εδαφικό υλικό συμπεριφέρεται σαν πλάστιμο στερεό.

Δείκτης σχετικής υδαρότητας: $LI = (w - PL) / (LL - PL)$ όπου w - πραγματικό ποσοστό υγρασίας

Εκφράζει τη σχέση του πραγματικού ποσοστού υγρασίας ως προς το όριο υδαρότητας. Τιμές του LI μεταξύ 0 και 1 αντιστοιχούν στην πλάστιμη περιοχή.

Αντίθετα, τιμές του $LI < 0$ αντιστοιχούν στην ημιστερεά και στερεά κατάσταση και τιμές $LI > 1$ στην υδαρή κατάσταση (Τσότσος, 1987).

III. Δοκιμή Proctor:

Η δοκιμή αυτή έχει σκοπό να προσδιορίσει τη σχέση μεταξύ της πυκνότητας και της περιεχόμενης υγρασίας του εδαφικού υλικού και από τη βέλτιστη υγρασία τη μέγιστη πυκνότητα.

Κατά τη δοκιμή, σύμφωνα με τις αμερικανικές προδιαγραφές (AASHTOT 180, ASTM D 1557), επαρκής ποσότητα εδαφικού υλικού αναμιγνύεται καλά με ποσότητα νερού και κατόπιν αφού τοποθετηθεί σε συγκεκριμένη μεταλλική μήτρα συμπυκνώνεται με ειδικό κόπανο βάρους 4,54kg που πέφτει από ύψος 457,2mm (Νικολαΐδης, 2011).

IV. Δοκιμή τιμής κατάστασης υγρασίας

Η δοκιμή προσδιορισμού της Τιμής Κατάστασης Υγρασίας περιλαμβάνει τον έλεγχο εδαφικού υλικού σε δεδομένη υγρασία που, με τη σταδιακή αύξηση του έργου συμπύκνωσης προσδιορίζεται το έργο συμπύκνωσης πέραν του οποίου περαιτέρω αύξηση αυτού δεν επιφέρει αύξηση της πυκνότητας.

Ουσιαστικά, η δοκιμή αποτελείται εκτελείται για γρήγορο έλεγχο αποδοχής ή μη των εδαφικών υλικών όσον αφορά την περιεκτικότητα αυτών σε υγρασία για αποτελεσματική συμπύκνωση (Νικολαΐδης, 2011)

Όλοι οι παραπάνω έλεγχοι γίνονται, όπως αναφέρθηκε, για να διερευνηθεί το έδαφος το οποίο θα χρησιμοποιηθεί είτε ως βάση έδρασης κάποιου έργου είτε ως υλικό για την κατασκευή κάποιου έργου.

Ανάλογα με το έργο και τις ανάγκες του, το έδαφος πρέπει να πληροί κάποιους από τους ελέγχους. Εάν αυτό δεν συμβαίνει και εφόσον το έργο δεν μπορεί να τοποθετηθεί άλλου, είναι ανάγκη να υπάρξει βελτίωση των φυσικών, γεωτεχνικών ή και μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους.

1.1.4. Προβλήματα που παρουσιάζει το έδαφος

Υγρασία

Η υγρασία που προέρχεται από το έδαφος αποτελεί μια από τις σημαντικότερες αιτίες φθορών στους τοίχους, στα θεμέλια και στο υπόγειο. Η υγρασία στο έδαφος μπορεί να προέρχεται από τις βροχοπτώσεις, το χιόνι καθώς και από υπόγεια νερά. Μπορεί επίσης να δημιουργείται από διαρροή στα δίκτυα εξυπηρέτησης (ύδρευση, αποχέτευση). Ωστόσο, θα πρέπει να εξετάζεται και το ενδεχόμενο η υγρασία να προέρχεται από τα ίδια τα υλικά του κτιρίου (για παράδειγμα από το νωπό σκυρόδεμα ή από τα κονιάματα) ή από τη διαρροή κάποιου σωλήνα ύδρευσης ή από τους υδρατμούς. Καταρχήν, εμφανίζονται στο εσωτερικό των κτιρίων αισθητικά προβλήματα και προβλήματα υγιεινής. Τα επιχρίσματα οι ταπετσαρίες, τα ξύλα και τα χρώματα φουσκώνουν, σαπίζουν και αρχίζουν να συγκεντρώνουν μύκητες. Η διαβίωση στο εσωτερικό δεν είναι άνετη από την άποψη της θερμότητας και συνεπώς χρειάζεται να αυξηθεί η δαπάνη για την θέρμανση του κτιρίου. Τα μέταλλα και κυρίως ο οπλισμός του σκυροδέματος σκουριάζουν και προκαλούν ρωγμές στο σκυρόδεμα των υποστυλωμάτων και της πλάκας. Εμφανίζονται λεκέδες στην τοιχοποιία και στο σκυρόδεμα ενώ αν το νερό εισχωρεί στα δομικά υλικά προκαλεί υπάρχει περίπτωση να προκαλέσει ρηγματώσεις σε περίπτωση παγετού. Γενικά τα υλικά που έρχονται σε επαφή με το έδαφος τείνουν να απορροφούν την υγρασία, ανάλογα με το πορώδες τους. Όταν υπάρχει υπόγειο η υγρασία εισχωρεί στα τοιχώματα και στο δάπεδο του υπογείου. Όταν δεν υπάρχει υπόγειο, η υγρασία εισχωρεί στο δάπεδο και στους τοίχους μέσω των θεμελίων (ανιούσα υγρασία).

Τα πιο τυπικά μέτρα αντιμετώπισης της υγρασίας που έρχεται από το έδαφος είναι τα παρακάτω:

Μπορούν να επιλεγούν δομικά υλικά (για τις υπόγειες κατασκευές) όσο το δυνατόν πιο στεγανά στην υγρασία. Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με τον εμποτισμό τους με κατάλληλα υλικά. Προσοχή θα πρέπει να δοθεί στους αρμούς διαστολής και

στο σφράγισμά τους με διατομές πλήρωσης αρμών από θερμοπλαστικά υλικά. Μπορεί να δημιουργηθεί αποστραγγιστικό σύστημα περιμετρικά των θεμελίων. Μια τυπική λύση αποτελεί η τοποθέτηση αγωγού αποστράγγισης και λιθορριπής στα θεμέλια. Τα δομικά στοιχεία μπορούν να επαλειφθούν με στεγανωτικά υλικά. Σε κτίρια χωρίς υπόγειο τοποθετείται στεγανωτική στρώση (στεγανωτικά φύλλα ή μεμβράνες) 30 εκ. πάνω από την στάθμη του εδάφους. Κάτω από το δάπεδο αν δεν υπάρχουν ιδιαίτερα προβλήματα υδροφόρου ορίζοντα δημιουργείται μια στρώση από χαλίκι 15-20 εκ. κάτω από την πλάκα. Ωστόσο αν υπάρχουν προβλήματα υδροφόρου ορίζοντα ή αν τουπόγειο είναι κατοικήσιμο θα πρέπει να ληφθούν επιπλέον μέτρα (προσθήκη στεγανωτικής στρώσης, θερμομόνωση, κα). Σε περίπτωση στεγάνωσης του εξωτερικού της τοιχοποιίας (κατακόρυφη στεγάνωση) αυτή μπορεί να γίνει με ασφαλικές επιστρώσεις, με στεγανωτικά επιχρίσματα, με στεγανωτικά φύλλα η μεμβράνες. Μια άλλη λύση είναι η δημιουργία στεγανής λεκάνης με χρήση στεγανού σκυροδέματος τόσο στους τοίχους του υπογείου όσο και στο δάπεδο.

Υγρασία από το έδαφος σε σπίτι

Διάβρωση

Η εδαφική διάβρωση αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες μορφές εδαφικής υποβάθμισης και προκαλεί δυσμενή αποτελέσματα στη φυτική παραγωγή γιατί χάνεται το γονιμότερο τμήμα του εδάφους. Διάβρωση είναι η παράσυρση του εδάφους που βρίσκεται στο ανώτερο στρώμα της γήινης επιφάνειας από το νερό της βροχής ή τον άνεμο. Εξαρτάται από το είδος του εδάφους, την κλίση του και τη μορφολογία του, από την ένταση των βροχών και των ανέμων της περιοχής και από το είδος της βλάστησης. Σύμφωνα με έρευνες η διάβρωση του γεωργικού εδάφους είναι 12,5 φορές μεγαλύτερη από τη διάβρωση που υφίσταται στο ίδιο χρονικό διάστημα ένας βοσκότοπος, 200 φορές μεγαλύτερη από τη διάβρωση που υφίσταται έδαφος φυλλοβόλων και 100 φορές μεγαλύτερη από το έδαφος με δάσος πεύκων.

Οι συνέπειες της διάβρωσης είναι καταστρεπτικές γιατί απομακρύνεται το επιφανειακό έδαφος που έχει τις καλύτερες φυσικές και χημικές ιδιότητες και χάνονται τα θρεπτικά συστατικά, ιδίως το ασβέστιο, το κάλιο και το μαγνήσιο.

Η διάκριση που μπορεί να γίνει όσον αφορά τα είδη των διεργασιών διάβρωσης είναι η αιολική και η υδατική διάβρωση. Υπάρχει επίσης και η διάβρωση που προκαλείται από τα ζώα και τις δραστηριότητες χρήσης γης, οι οποίες μπορούν γενικά να περιγραφούν ως μορφές επιταχυνόμενης διάβρωσης. Η αιολική διάβρωση αφορά στη ταχύτητα του ανέμου που ασκεί πίεση στο έδαφος και αποσπά τεμάχια ενός συγκεκριμένου μεγέθους (χονδρόκοκη ιλύς και άμμος). Όταν αυτά τα τεμάχια δεν συγκρατούνται ισχυρά με την παρουσία της οργανικής ουσίας των ριζών ή της αργίλου διαβρώνονται εύκολα. Υπάρχουν αρκετές διακριτές εργασίες υδατικής διάβρωσης οι πιο συνηθισμένες εκ των οποίων περιγράφονται στη συνέχεια.

Η διάβρωση διασποράς είναι η αποκόλληση και η απομάκρυνση με εκτόξευση μικρών εδαφικών τεμαχιδίων που προκαλείται από την πτώση των σταγόνων της βροχής στο έδαφος. Η επιφανειακή διάβρωση ή η διάβρωση κατά στρώσεις είναι η αφαίρεση ενός σχετικά ομοιόμορφου λεπτού στρώματος εδάφους από την επιφάνεια εξαιτίας των βροχοπτώσεων και της επιφανειακής απορροής. Η αυλακωτή διάβρωση είναι μια διεργασία διάβρωσης σε επικλινείς περιοχές, στις οποίες σχηματίζονται πολυάριθμα- συνήθως μερικών εκατοστών αυλάκια- κυρίως στα πρόσφατα καλλιεργημένα εδάφη. Η χαραδρωτική διάβρωση είναι μια διεργασία διάβρωσης κατά την οποία το νερό συγκεντρώνεται σε χαράδρες, απομακρύνοντας το έδαφος σε σημαντικό βάθος μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Το βάθος μια τυπικής χαραδρωτικής διάβρωσης κυμαίνεται από 0,5 μέτρα έως 25 με 30 μέτρα. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε συγκεκριμένες συνθήκες και τύπους πετρωμάτων. Μπορεί να διαμορφωθεί γρήγορα με την αποκοπή του εδάφους στην αρχή της διαμορφούμενης χαράδρας. Οι χαράδρες συχνά συγκεντρώνουν το νερό αποστράγγισης από τις γειτονικές περιοχές γεγονός που τις καθιστά ιδιαίτερα ασταθείς. Τέλος, η υπόγεια διάβρωση εμφανίζεται σε εδάφη που είναι επιρρεπή στη δημιουργία υπόγειων διόδων νερού. Τα εδάφη αυτά είναι συνήθως πλούσια σε άργιλο, τα οποία συστέλλονται όταν ξηραίνονται και διαστέλλονται όταν υγραίνονται, ή στρώσεις με έδαφος το οποίο υφίσταται διασπορά στο νερό κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων.

Για τη δημιουργία αυλακιών και χαραδρών πρέπει να ξεπεραστεί μια κρίσιμη τιμή η οποία συσχετίζεται με την ενέργεια του νερού απορροής και την αντίσταση του εδάφους στη διάβρωση. Αυλάκια και χαράδρες εμφανίζονται συχνά σε χαρακτηριστικούς τύπους υλικών. Δηλαδή εμφανίζονται συχνά σε γεωργικά εδάφη που έχουν υποστεί συμπίεση του υπεδάφους και το επιφανειακό έδαφος έχει μικρή συνοχή. Εμφανίζονται επίσης κατά μήκος των πρικών δρόμων και σε υποβαθμισμένες γαίες. Οι χαραδρώσεις που βρίσκονται κατά μήκος των ποταμών συχνά δημιουργούνται από τη ροή του νερού, που κατατρώγει τα πρνή ή και τον πυθμένα. Οι υποβαθμισμένες γαίες είναι περιοχές όπου οι διεργασίες διάβρωσης κυριαρχούν στην επιφάνεια του εδάφους. Όλες οι διεργασίες διάβρωσης-διασπορά, επιφανειακή, αυλακωτή, χαραδρωτική και υπόγεια – καθώς επίσης και οι κατολισθήσεις είναι ιδιαίτερα χαρακτηριστικές. Οι κατολισθήσεις παρατηρούνται εκεί όπου το έδαφος ή το μητρικό υλικό δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη της βλάστησης.

Οι επιστήμονες που ασχολούνται με το αντικείμενο της διάβρωσης των εδαφών θεωρούν την υδατική διάβρωση ως συνέπεια των ακολουθών παραγόντων, της ενέργειας της βροχής(που αυξάνεται με την ένταση των βροχοπτώσεων), της σταθερότητας των εδαφικών συσσωματωμάτων (που επηρεάζεται από την οργανική ουσία, τις χημικές διεργασίες και το μέγεθος των εδαφικών τεμαχιδίων), του βαθμού κλίσης και του μήκους των κλίσεων, του είδους της βλάστησης και του ποσοστού της φυτοκάλυψης και των πρακτικών διαχείρισης της γης. Αξιολογώντας τον τρόπο με τον οποίο αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν τη διάβρωση, οι επιστήμονες ανέπτυξαν

συγκεκριμένα μοντέλα πρόβλεψης των διαβρώσεων. Αυτά αποδεικνύουν ότι οι σημαντικότεροι παράγοντες είναι το έδαφος και η επιφανειακή κάλυψη με βλάστηση και πέτρες.

Οι πιο σοβαρές επιπτώσεις της διάβρωσης είναι στα κατώτερα αλλουβιακά πεδία(πεδινές περιοχές) όπου η απορροή μεταφέρει μεγάλες ποσότητες ιζημάτων μειώνοντας τις ικανότητες μεταφοράς νερού των ποταμών. Έτσι, η απορροή αυξάνει την εμφάνιση και το μέγεθος των πλημμυρών στα αλλουβιακά πεδία, αφήνοντας μεγάλες περιοχές υπό την απειλή του κινδύνου πλημμυρών. Η γονιμότητα του εδάφους επηρεάζεται από τη διάβρωση. Η μεταφορά και η απόθεση των εδαφικών υλικών μπορεί να δημιουργήσει ένα σοβαρό κίνδυνο, επειδή κατά την διάρκεια της απόθεσης, λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα υλικά ταξινομούνται και διαχωρίζονται σύμφωνα με την ταχύτητα ροής του νερού. Αυτό σημαίνει ότι η οργανική ουσία και η άργιλος συγκεντρώνονται στις θέσεις όπου τα πλημμυρικά νερά ηρεμούν. Όμως αυτά υλικά του εδάφους περιέχουν τόσα θρεπτικά στοιχεία όσο και τοξικές ουσίες. Επομένως δημιουργούνται εστίες ιδιαίτερης σημασίας που μερικές φορές προκαλούνται τοξικότητες. Οι μεγαλύτεροι ρυθμοί διάβρωσης σχετίζονται με την ανθρώπινη παρέμβαση. Παντού, οι μεγάλες διαβρώσεις, συμπίπτουν με την εμφάνιση των σύγχρονων γεωργικών πρακτικών, ιδιαίτερα με την χρήση μηχανημάτων (μπουλντόζες) για την ισοπέδωση της γης. Σήμερα ο ρυθμός διάβρωσης σε έδαφος που ισοπεδώθηκε μπορεί να φτάσει σε 20-30 εκ. στη διάρκεια μιας και μόνο καταιγίδας μερικών ωρών. Η συχνότητα των συμβάντων διάβρωσης εδάφους έχει αυξηθεί στη περιοχή της Μεσογείου, επειδή υπάρχουν περισσότερες ισχυρές και μεγάλης διάρκειας καταιγίδες που συνδέονται με υψηλές θερμοκρασίες. Ο μεγαλύτερος κίνδυνος διάβρωσης παρουσιάζεται στην καλλιεργήσιμη αγροτική γη ή σε οπωρώνες όπου το έδαφος διατηρείται ελεύθερο ζιζανίων. Οι κλιματικές αλλαγές και η χρήση φυτοφαρμάκων έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της οργανικής ουσίας που συγκρατεί μεταξύ τους τα εδαφικά τεμαχίδια. Η καλή δομή βοηθά το έδαφος να διατηρήσει το νερό το οποίο διηθείται και έτσι ενισχύει την ανάπτυξη των φυτών. Η μεγαλύτερη εξάτμιση νερού, η χρήση λιπασμάτων και η άρδευση οδηγούν στη συγκέντρωση αλάτων στο ανώτερο τμήμα των εδαφών, γεγονός που αυξάνει την ευαισθησία τους στη υδατική διάβρωση. Σε αυτές τις περιπτώσεις ακόμη και σε χαμηλής έντασης βροχή προκαλείται διάβρωση του εδάφους. Έρευνες προσδιόρισαν το κατώτατο όριο των περίπου 350χιλ. βροχόπτωσης κάτω από το οποίο η συμπεριφορά των εδαφών καθορίζεται από την παρουσία αλάτων και οι ρυθμοί διάβρωσης είναι μεγάλοι. Στην Ισπανία οι ανώτερες περιοχές κατά μήκος μιας κλιματοσειράς ήταν ευαίσθητες λόγω του μικρού βιολογικού κύκλου ανάπτυξης της βλάστησης και των αρνητικών επιπτώσεων της στο σχηματισμό καλής δομής εδάφους.

Οι σχέσεις μεταξύ διάβρωσης, πυρκαγιάς και ερημοποίησης είναι παράδοξες στη Μεσόγειο. Το 1994 οργανώθηκε μια ημερίδα στη οποία αναλύθηκαν όλα τα μέχρι τότε αποτελέσματα της έρευνας σχετικά με τις πυρκαγιές. Το απροσδόκητο συμπέρασμα, το οποίο δεν έχει αναθεωρηθεί μέχρι σήμερα, ήταν ότι, εκτός από

ειδικές περιπτώσεις, η πυρκαγιά τείνει να βελτιώσει την ικανότητα του εδάφους να συγκρατήσει το νερό και να αυξήσει την γονιμότητα του. Μόνο όπου οι θερμοκρασία του εδάφους ξεπέρασε την οριακή τιμή, των 400-600 0C, η διάβρωση των εδαφών αυξήθηκε πραγματικά. Εάν οι ίδιες πυρκαγιές δεν οδηγούν στη διάβρωση, τίθεται το ερώτημα γιατί η διάβρωση αυξάνεται συχνά μετά από μια πυρκαγιά, όπου οι καταστροφικές δασικές πυρκαγιές δεν προκαλούν την διάβρωση από μόνες τους, έτσι δεν υπάρχει λόγος πανικού. Τα κύρια προβλήματα είναι οι ανθρώπινες δραστηριότητες μετά την πυρκαγιά, με σκοπό την εκμετάλλευση της κατάστασης που διαμορφώθηκε, προς ίδιον όφελος. Η παρεμπόδιση της διάβρωσης θα μπορούσε κατά ένα μεγάλο μέρος να επιτευχθεί με την απαγόρευση κάθε ανθρώπινης δραστηριότητας στις πληγείσες περιοχές, δίνοντας έτσι την δυνατότητα στη φύση να αναγεννηθεί, διεργασία που διαρκεί γενικά τρία ως τέσσερα έτη.

Η ανάπτυξη της κτηνοτροφίας είχε πάντοτε μεγάλη επίδραση στη διάβρωση του εδάφους, επειδή τα ζώα συμπιέζουν και κονιορτοποιούν το έδαφος, μετατοπίζουν τις πέτρες στις κατώτερες κλίσεις και καταναλώνουν ή καταστρέφουν τη βλάστηση που προστατεύει το έδαφος. Αλλά τα ζώα μπορούν να έχουν και θετικές επιπτώσεις στη μείωση της απορροής, για παράδειγμα με την προσθήκη των θρεπτικών ουσιών ευνοούν την ανάπτυξη των φυτών. Είναι δύσκολη η ακριβής κατανόηση των επιπτώσεων επειδή οι αλληλεπιδράσεις και οι αλληλοσυσχετίσεις μεταξύ των φυτών, των ζώων και της διάβρωσης εμφανίζονται σε διαστήματα δεκάδων ή ακόμα και εκατοντάδων ετών. Αναφέρεται επίσης το κάπνισμα ως μέσο βελτίωσης εδωδιμης βιομάζας από τα ζώα, αλλά και οι αλλαγές στις πρακτικές διαχείρισης. Η έννοια της υπερβόσκησης είναι ότι υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός ζώων από την ικανότητα της γης να συγκρατήσει και να τροφοδοτήσει αειφορικά με χόρτο με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της γης. Η έρευνα έχει δείξει ότι, όπου τα βοοειδή βοσκούν ελεύθερα, αποτελούν ίσως το σημαντικότερο παράγοντα διάβρωσης στο κόσμο.

Η αντιμετώπιση της διάβρωσης και η καλή συντήρηση του εδάφους μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους, με την καλλιέργεια των επικλινών εδαφών κατά ισούψεις καμπύλες, η οποία συντελεί στη μείωση της κλίσης και τη χαλάρωση του εδάφους, που με τη σειρά της οδηγεί στην αποτροπή της επιφανειακής απορροής των νερών της βροχής, με την κατασκευή αναβαθμίδων(πεζουλιών) κατά τις ισούψεις στα επικλινή εδάφη, με την κάλυψη των εδαφών με φυτική βλάστηση ή με καλλιεργούμενα φυτά ή με φυσική βλάστηση(λιβάδι, δάσος), με προστασία των δασών από πυρκαγιές και τη λήψη μέτρων προστασίας μετά από αυτές. Αναδάσωση, φυσική ή τεχνητή. Τα οικοσυστήματα έχουν την δυνατότητα φυσικής αναγέννησης, όμως μερικές φορές σε επικλινή εδάφη πρέπει να επεμβαίνουμε άμεσα με φυτεύσεις ή αντιδιαβρωτικά τεχνικά έργα. Με την αποκατάσταση παλιών λατομείων που έχουν εγκαταλειφτεί, με την αγρανάπωση και την εναλλαγή των καλλιεργούμενων ειδών και με την αλλαγή των καλλιεργητικών πρακτικών.

Ερημοποίηση

Σύμφωνα με την περιγραφή του όρου, που έχει γίνει από τα Ηνωμένα έθνη (1992), ερημοποίηση είναι η υποβάθμιση της γης σε τέτοια βαθμό, ώστε το έδαφος να χάνει την γονιμότητα του, με άλλα λόγια να «νεκρώνεται». Προκαλείται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανόμενων των κλιματικών μεταβολών και των δραστηριοτήτων του ανθρώπου.

Οι έντονες βροχοπτώσεις συντελούν στην επιδείνωση του φαινομένου της ερημοποίησης, καθώς προκαλούν μεγάλη διάβρωση του εδάφους, μετακίνηση του προς τα κατώτερα στρώματα, απογύμνωση περιοχών, πλημμύρες.

Η ερημοποίηση μεγάλων εκτάσεων της γης οφείλεται σε παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας, σε συνδυασμό με υπερβόσκηση και λανθασμένη εκμετάλλευση της γης. Οιανθρωπογενείς επιδράσεις σε ημι-ερημικές και άλλες περιοχές καταστρέφουν την βλάστηση και αφήνουν το έδαφος απροστάτευτο. Ακόμα στις περιοχές, στις οποίες υπάρχει έρημος παρατηρείται μετακίνηση της άμμου με την βοήθεια των ανέμων και μεταφορά της ερήμου σε άλλες περιοχές. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα ερημοποίησης των εδαφών σε πολλές περιοχές της χώρας μας – βουνών και κυρίως νησιών- από τις συνεχείς πυρκαγιές και την εντατική υπερβόσκηση. Σε αυτές τις περιοχές έχουν απομείνει μόνο τα σκληρά πετρώματα, αφού το χώμα έχει παρασυρθεί από τα νερά της βροχής. Το 50% των εδαφών της Κρήτης αλλά και το 35% των εδαφών σε ολόκληρη την Ελλάδα βρίσκονται σε υψηλό κίνδυνο ερημοποίησης, με επιπτώσεις στην οικονομία και στο δημογραφικό πρόβλημα της χώρας. Η αποκατάσταση αυτών των οικοσυστημάτων απαιτεί μεγάλο σχετικά χρονικό διάστημα.

Καθώς έγινε αντιληπτή η σημασία που έχει η ερημοποίηση των εδαφών μιας περιοχής, δημιουργήθηκαν δείκτες, η συνεχής παρακολούθηση των οποίων διευκολύνει τη διατήρηση των εδαφών. Οι δείκτες έχουν κατηγοριοποιηθεί σύμφωνα με την σχέση τους όσο αφορά στην ερημοποίηση σε, οικολογικούς(έχουν σχέση με τον τύπο του κλίματος, τον τύπο του εδάφους, την ύπαρξη νερού, τη βλάστη, τις πυρκαγιές), οικονομικούς (έχουν σχέση με τη γεωργία και την κτηνοτροφία καθώς και με τον τρόπο και την ένταση των χρήσεων γης, την κατανάλωση νερού και τον τουρισμό),κοινωνικούς, (έχουν σχέση με παράγοντες του πληθυσμού όπως, μορφωτικό και βιοτικό επίπεδο, πυκνότητα πληθυσμού κ.α),οργανωτικούς, (έχουν σχέση με τα σχέδια δράσης της περιοχής, τις πολιτικές διαχείρισης των πόρων της περιοχής, τη νομοθεσία κ.α) τέλος σε σύνθετους δείκτες(έχουν σχέση με το σύνολο ή μέρος των παραπάνω δεικτών).

Στεγανοποίηση

Στεγανοποίηση του εδάφους ονομάζουμε την κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους με αδιαπέρατα υλικά ή τη μεταβολή της φύσης του έτσι που καθίσταται αδιαπέρατο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της ροής του νερού. Οι επιφανειακές απορροές συχνά αυξάνουν δραματικά σε ποσότητα και ταχύτητα, και έτσι γίνονται ανεξέλεγκτες. Ενδεικτικές συνέπειες αυτού του φαινομένου είναι οι

πλημμύρες σε πολλούς οικισμούς της χώρας μας που οικοδομούνται ανεξέλεγκτα. Ωστόσο, οι σημαντικότερες επιπτώσεις αυτού του φαινομένου εντοπίζονται στις αστικές και μητροπολιτικές περιοχές, όπου μεγάλες επιφάνειες γης οικοδομούνται ή καλύπτονται από μεγάλα έργα οδοποιίας και γενικότερα υποδομές μεταφορών (ΕΕΑ 2003). Επιπλέον, οι εγκαταστάσεις εργοστασίων, οι μεταλλευτικές δραστηριότητες, οι κατασκευές φραγμάτων και άλλα παρόμοια έργα περιορίζουν την εδαφική έκταση. Τα τελευταία 25 χρόνια η οικοδόμηση σε ολόκληρη την Ευρώπη αυξάνει σταθερά και ιδιαίτερα στην δυτική Ευρώπη αυξάνει με ρυθμούς μεγαλύτερους από εκείνους του πληθυσμού. Οι χώρες με τις μεγαλύτερες αναλογίες (16-20%) δομημένων εκτάσεων σε σχέση με τις συνολικές εκτάσεις τους είναι το Βέλγιο, η Δανία και η Ολλανδία. Το πρόβλημα ολοένα αυξάνει και στις παράκτιες μεσογειακές περιοχές εξαιτίας της συγκέντρωσης των πόλεων (το 90% των αστικών περιοχών συγκεντρώνεται στην παράκτια ζώνη – ΕΕΑ-UNEP 2000) αλλά και της τουριστικής ανάπτυξης.

Είναι χαρακτηριστικό ότι στις αναπτυγμένες χώρες σε παγκόσμιο επίπεδο κάθε χρόνο χάνονται περίπου 3000 τετρ. χλμ. γεωργικής γης για επεκτάσεις πόλεων και κατασκευές οδικών δικτύων. Τη δεκαετία 1960-1970 η Ιαπωνία έχασε 7,3% της γεωργικής της γης λόγω αστικής επέκτασης και κατασκευής οδικών δικτύων ενώ την ίδια δεκαετία οι ευρωπαϊκές χώρες έχασαν από 1,5% (Νορβηγία) έως 4,3% (Ολλανδία). Στις Η.Π.Α. επίσης η ανάπτυξη των πόλεων έγινε κατά 80% σε βάρος καλλιεργήσιμων εδαφών. Στο Διάγραμμα 2 φαίνεται η απώλεια περιοχών (φυσικών και αγροτικών) λόγω της αστικοποίησης από τα μέσα του 1950 έως τα τέλη του 1990 για διάφορες ευρωπαϊκές πόλεις.

Η επέκταση των οικισμών και των μεταφορικών δικτύων, έχει βέβαια συνέπειες και στον κατακερματισμό των ενδιαιτημάτων καθώς και τη διατάραξη των διαδρόμων ορισμένων μεταναστευτικών ειδών της πανίδας. (Σαρίδης, 2013)

1.2.Βελτίωση εδάφους

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

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

- Προσωρινές τεχνικές βελτίωσης εδάφους με περιορισμένο χρόνο εφαρμογής, κατά την περίοδο της κατασκευής (ηλεκτρική όσμωση, ψύξη εδάφους κλπ.)

- Μόνιμες (διαρκείς) τεχνικές βελτίωσης εδάφους, που εφαρμόζονται χωρίς την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων (δυναμική συμπίκνωση, μέθοδοι μαζικής δόνησης κλπ.)
- Μόνιμες (διαρκείς) τεχνικές βελτίωσης εδάφους που εφαρμόζονται με την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων (οπλισμένο έδαφος, τσιμεντενέσεις, ενικά ενέσεις με διάφορα ενέματα, βα-θιές μίξεις με διάφορα μίγματα όπως τσιμέντου, ασβέστου, μπεντονίτη κλπ.)

Οι τεχνικές βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους εφαρμόζονται:

- Στα θεμέλια κτιρίων για την μείωση των καθιζήσεων, τον έλεγχο της διαπερατότητας ή την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους
- Σε εργασίες εκσκαφής για καλύτερη πλευρική αύξηση της αντοχής σε σήραγγες ή τάφρους και μείωση της διαπερατότητας
- Στην οδοποιία, στις υποβάσεις δρόμων για αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους, μείωση της διάβρωσης και μείωση του μεταβολών του όγκου
- Σε σταθεροποίηση των πρανών για να αυξηθεί η αντοχή του εδάφους σε διάβρωση, να μειωθεί η διαπερατότητα, να μειωθεί ο δείκτης κενών
- Σε κατασκευές συγκράτησης (αποθήκευσης) ύδατος για την δημιουργία όσο το δυνατόν υδατοστεγανών κατασκευών, όπως φράγματα, κανάλια, δεξαμενές, χωματερές (Χ.Υ.Τ.Α.)
- Στην προστασία περιβάλλοντος, αυξάνοντας την αντίσταση του εδάφους στην φυσική αποσάθρωση από αέρα ή το νερό, περιορίζοντας την μόλυνση του εδάφους με μείωση της μεταφορικής ικανότητας των μολυσμένων ουσιών δημιουργώντας συσσωματώματα που μετατρέπονται σε πολυδυσκίνητες χημικές μορφές (Σταυριδάκης, 2003).

Γενικά, η ενίσχυση εφαρμόζεται ως επί το πλείστον είτε σε μαλακά είτε σε χαλαρά εδάφη όπως χαλαρές άμμους, ιδιαίτερα εάν είναι κορεσμένες, χαλαρές και μέσης πυκνότητας κορεσμένες άμμους και αμμοχάλικα υπό σεισμική φόρτιση και απροφόρτιστες και υποστερεοποιημένες αργίλους και ιλύες (Πλάτης, 2016).

Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα των πρανών στο Hokkaido στην Ιαπωνία. Το 2003, έπειτα από σεισμική δόνηση, το έδαφος υπέστη ρευστοποίηση με αποτέλεσμα να ολισθήσουν τα πρανή στις πλαϊνές άκρες του δρόμου, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικ. 1 Ολίσθηση εδάφους λόγω ρευστοποίησης

2.Βελτίωση και ενίσχυση εδαφών: ιστορία και μέθοδοι

Πολλές υποβαθμισμένες από πλευράς εδαφικών χαρακτηριστικών περιοχές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή έργων είτε λόγω έλλειψης χώρου (περιαστικές περιοχές) είτε λόγω αύξηση των απαιτήσεων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών μεγάλων έργων υποδομής. Για τη χρήση αυτών των εδαφών γίνεται χρήση μεθόδων βελτίωσης και ενίσχυσης των γεωτεχνικών ιδιοτήτων τους. Σκοπός της βελτίωσης και ενίσχυσης των εδαφών είναι η αύξηση της φέρουσας ικανότητάς τους και η μείωση του μεγέθους των αναμενόμενων καθιζήσεων (Πλάτης, 2016).

2.1.Ιστορική αναδρομή

Η ιδέα της βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους, με την ανάμειξη υλικών (τσιμέντου, ασβέστου, πολυμερών υλικών κλπ.) ή την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων (πασσάλων, διαφραγμάτων, γεωφασμάτων, ηλώσεων κλπ.) άρχισε να εφαρμόζεται από αρχαιοτάτων χρόνων, από την περίοδο των Αιγυπτίων, Σουμερίων, Ασσυρίων, Ελλήνων, Κινέζων, Αράβων και Ρωμαίων. Η χρήση της υδρασβέστου (ή αλλιώς αερικής ασβέστου) στη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους ήταν γνωστή στους Κινέζους, πριν 3000 έτη, για βελτίωση των δρόμων (Israel, 1982). Την ίδια χρονική περίοδο επίσης οι Κινέζοι χρησιμοποιούσαν ξύλο ή bamboo για την ενίσχυση του εδάφους, μεθόδους που χρησιμοποιούν ακόμη και σήμερα για την δημιουργία φραγμάτων για προστασία του περιβάλλοντος από λασποροές. Οι αρχαίοι Ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν ηφαιστειακή τέφρα, (ποζολάνες – ο όρος Pozzolan προέρχεται από το χωριό Pozzuoli της Ιταλίας), για διάφορες κατασκευές όπως η Απία Οδός, το Κολοσσαίο, το Πάνθεον, (Israel, 1982). Στη Μεσοποταμία οι κάτοικοι χρησιμοποιούσαν άσφαλτο αναμειγμένη με αμμόδες έδαφος για κατασκευές δρόμων, από το 3200 πχ., (Asphalt Institute, 1965). Η πρώτη σύγχρονη κατασκευή με ασφαλτικό υλικό επικάλυψης σημειώθηκε το 1802 στη Γαλλία. Το τσιμέντο Portland ανακαλύφθηκε το 1824 από τον Άγγλο Joseph Aspdin. Η ονομασία του συνδέθηκε με το χρώμα του που ήταν όμοιο με αυτό του ασβεστολίθου της νήσου Portland κοντά στην Αγγλία. Το 1904 στη περιοχή St Louis (USA) έγινε η πρώτη εφαρμογή σταθεροποίησης εδάφους με τσιμέντο τύπου Portland. Από το 1940 και μετά οι Γερμανοί αργότερα οι Βρετανοί και οι Αμερικανοί κατασκεύαζαν τους αεροδιαδρόμους πολλών πολεμικών αεροδρομίων με την τεχνική εδάφους - τσιμέντου. Την ίδια χρονική περίοδο η τεχνική της σταθεροποίησης εδάφους με διάφορα πρόσθετα (τσιμέντο, ασβέστος, ιπτάμενη τέφρα, χημικές ενώσεις κλπ) επεκτάθηκε στην Αυστραλία, Σκανδιναβία και Ιαπωνία (Σταυριδάκης, 1997). Άλλες τεχνικές σταθεροποίησης και ενίσχυσης μαλακών και συνεκτικών εδαφών είναι η βαθιά μείξης με πρόσθετα (DSM, CDM, κλπ), για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών αυτών (Kamruzzaman et al, 2000). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε από την Ιαπωνία το 1970, Σκανδιναβία, (Σουηδία, Φιλανδία) για εφαρμογές σε κτιριακά συγκροτήματα, θεμελιώσεις γεφυρών, κατασκευές αντιστήριξης, κλπ. Η βασική στρατηγική όλων αυτών των τεχνικών είναι να βρεθεί η πιο κατάλληλη, αποτελεσματική και οικονομική μέθοδος που να βελτιώνει το έδαφος, ώστε οι μηχανικές του ιδιότητες να γίνουν παρόμοιες με αυτές των μαλακών βράχων, αυξάνοντας την ασφάλεια των γεωτεχνικών έργων (Σταυριδάκης, 2003).

2.2. Μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης εδαφών

Μηχανισμός Βελτίωσης	Μέθοδος
Στερεοποίηση	<ul style="list-style-type: none"> - Προφόρτιση - Ηλεκτρική όσμωση
Οπλισμός του εδάφους (χρήση στοιχείων που μπορούν να παραλάβουν δυνάμεις ελκυσμού ή θλίψης)	<ul style="list-style-type: none"> - Λιθοπάσσαλοι - Οπλισμένο έδαφος - Χρησιμοποίηση γεωϕασμάτων - Ριζοπάσσαλοι (Root Piles) - Κάρφωμα εδάφους (Soil nailing)
Συμπύκνωση	<ul style="list-style-type: none"> - Δυναμική συμπύκνωση - Πάσσαλοι συμπύκνωσης - Μέθοδοι μαζικής δόνησης - Εκρήξεις
Σταθεροποίηση με ανάμειξη του εδάφους με άσβεστο ή τσιμέντο (χημική σταθεροποίηση)	<ul style="list-style-type: none"> - Ασβεστοπάσσαλοι - Πάσσαλοι ή διαφράγματα με ανάμειξη εδάφους και τσιμέντου - Υποβάσεις δρόμων - Επικαλύψεις πρανών
Ενέσεις	<ul style="list-style-type: none"> - Ενέσεις διαποτισμού - Ενέσεις εκτόπισης ή συμπύκνωσης
Θερμική δράση	<ul style="list-style-type: none"> - Θέρμανση του εδάφους - Ψύξη του εδάφους

Πιν. 1

Στον Πιν. 1 παρουσιάζονται οι κυριότερες μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους. Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή όλων των περιεχόμενων στον πίνακα μεθόδων.

Στερεοποίηση

- i. Προφόρτιση: Η μέθοδος της προφόρτισης συνίσταται στη συσσώρευση εδαφικού υλικού και την τοποθέτησή του με μορφή σωρών πάνω στην προς βελτίωση έκταση. Άλλοι τρόποι προφόρτισης είναι η τοποθέτηση

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

Συχνά αναφέρεται και η προφόρτιση με τη χρήση αμμοστραγγιστηρίων, η οποία μπορεί να συμπληρώσει ή να ενισχύσει τους υπόλοιπους μηχανισμούς προφόρτισης. Ουσιαστικά, πρόκειται για την κατασκευή κατακόρυφων αμμοστραγγιστηρίων που επιτρέπουν περαιτέρω αποστράγγιση.

- ii. Ηλεκτρική όσμωση: Η μέθοδος συνίσταται στην δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλεί τη ροή υπογείου νερού προς την κάθοδο. Οι κάθοδοι συνήθως αποτελούνται από διάτρητους σιδερένιους σωλήνες που απομακρύνουν το νερό.

Οπλισμός του εδάφους

- a. Λιθοπάσσαλοι ή χαλικοπάσσαλοι: Η μέθοδος συνίσταται στη διάνοιξη κυκλικών οπών στο προβληματικό έδαφος με μήκος σημαντικό και την πλήρωσή τους με χάλικες ή με θραυ-τό υλικό λατομείου. Σ' αυτήν την περίπτωση κρίσιμη είναι η αντοχή του ίδιου του υλικού του πασσάλου και όχι η μεταφορά του φορτίου από τους πασσάλους στο έδαφος.
- b. Οπλισμένο έδαφος: Το έδαφος μπορεί να βελτιωθεί με την εισαγωγή τοπικά στοιχείων οπλισμού. Αυτό μπορεί να γίνει με την εισαγωγή μεταλλικών λωρίδων μέσα στο έδαφος (οπλισμένο έδαφος), με τα γεωϋφάσματα, την εισαγωγή ατσάλινων ράβδων ή με ηλώσεις (soil nailing) ή με την εισαγωγή ριζοπασσάλων.

Συμπύκνωση

- I. Δυναμική συμπύκνωση: Συνίσταται στην επιβολή πτώσης μεγάλων βαρών έως 10 τόννων από ύψος 10m έως 40m (Van Impre, 1989), όπως ακριβώς συμβαίνει στη δοκιμή συμπύκνωσης των εδαφών κατά Proctor. Χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία σε χαλαρά αμμώδη εδάφη.
- II. Μέθοδοι μαζικής δόνησης: Συνίσταται στην εισαγωγή δονητή σε χαλαρά, μη συνεκτικά εδάφη όπου προκαλεί ακτινωτή συμπύκνωση.

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

Σταθεροποίηση του εδάφους με τη χρησιμοποίηση, ασβέστου ή άλλων χημικών πρόσμικτων

- a. Ασβεστοπάσσαλοι: Με ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα διανοίγεται οπή σε αργιλλοίλυδη εδάφη στη συνέχεια το στέλεχος ανασύρεται, ενώ διοχετεύεται στο έδαφος σκόνη άνυδρου ασβέστη (CaO). Ταυτόχρονα το όλο σύστημα “έδαφος – ασβέστος” αναμειγνύεται και σχηματίζεται μία κατακόρυφη στήλη.
- b. Πάσσαλοι ή διαφράγματα με ανάμιξη εδάφους και τσιμέντου: Ο τρόπος κατασκευής των πασ-σάλων και διαφραγμάτων με ανάμιξη εδάφους και τσιμέντου είναι ο ίδιος με τον τρόπο κατασκευής των ασβεστοπασσάλων.

Ενέσεις

Η ένεση είναι η διοχέτευση στα εδάφη, με πίεση, ειδικών ρευστών που σύντομα πήζουν και βελτιώνουν – ενισχύουν τη συμπεριφορά των. Ανάλογα με την ιδιότητα που βασικά επηρεάζεται διακρίνουμε δύο κατηγορίες ενέσεων: τις ενέσεις στεγανοποίησης που προκαλούν κυρίως μείωση διαπερατότητας και χρησιμοποιούνται στην αντιμετώπιση υπογείων ροών και τις ενέσεις σταθεροποίησης που έχουν ως στόχο την αύξηση της αντοχής και τη μείωση της συμπιεστότητας.

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

- i. Ενέσεις διαποτισμού.
- ii. Ενέσεις εκτοπίσεως ή συμπύκνωσης.
- iii. Ενέσεις εγκλωβισμού.
- iv. Ενέσεις πλήρωσης κενών.

Οι συνήθεις τύποι ενεμάτων είναι τα αιωρήματα τσιμέντου (τσιμεντενέσεις) ή μίγματος εδάφους (πχ. μπετονίτη, άμμου) και τσιμέντου ή και μόνο εδαφών σε νερό και τα χημικά διαλύματα συνήθως πυριτικών ή πολυμερών υλικών.

Η χρήση οργανικών σταθεροποιητών ή προσθέτων (ρυθμιστές χρόνου πήξης) α) επιταχυντές β) επιβραδυντές) ή ακόμα και αργιλλικών εδαφών – μπετονίτη είναι αναγκαία σε περιπτώσεις που επιδιώκεται ρύθμιση των ιδιοτήτων των μιγμάτων εδάφους – τσιμέντου, (επιτάχυνση του χρόνου πήξης ή σκλήρυνσης του τσιμέντου, αύξηση των αρχικών αντοχών, μείωση διαπερατότητας), όπως πχ. στην περίπτωση

των τσιμεντενέσεων, (δημιουργία σταθερών διαλυμάτων με τη χρήση αργιλικών εδαφών – μπεντονίτη κλπ.).

Θερμική δράση

- A. Θέρμανση του εδάφους: Η μέθοδος αυτή είναι η λιγότερο οικονομική από τις προηγούμενες και εφαρμόζεται σε χαλαρά εδάφη με μεγάλη διαπερατότητα και συνίσταται στη δημιουργία οπών με καρφίδες και την εισβολή πολύ θερμού μίγματος αέρος και καυσίμου μέσα στο έδαφος. Η πίεση είναι 1,5 μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Η θερμοκρασία κυμαίνεται από 300°C έως 1000°C με αποτέλεσμα τη συμύκνωση λόγω απώλειας του νερού και την αύξηση των ενεργών τάσεων. Σε θερμοκρασίες 550°C η ικανότητα διόγκωσης της αργίλου καταστρέφεται σε 1000°C οι κόκκοι άμμου τήκονται και δημιουργούν τεχνητή τσιμεντοποίηση.
- B. Ψύξη του εδάφους: Η μέθοδος ψύξης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φραγμών από παγωμένο νερό έξω από την επιφάνεια των κατασκευών.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν θα αναλυθούν περαιτέρω οι 4 βασικοί μηχανισμοί βελτίωσης εδαφών, δηλαδή η *συμύκνωση*, η *σταθεροποίηση*, η *στερεοποίηση* και η *όπλιση*, με περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις μεθόδους που περιλαμβάνουν, το λόγο και τον τρόπο που εφαρμόζονται, και τι αποτελέσματα δίνουν.

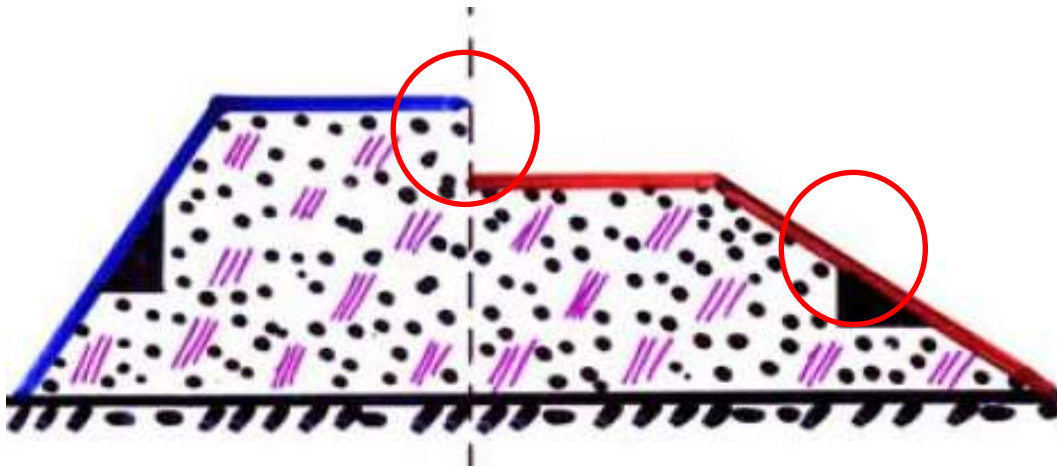
2.3.Μέθοδοι μείωσης φορτίου

Πριν ληφθεί η τελική απόφαση για την εφαρμογή μεθόδων βελτίωσης ή ενίσχυσης του εδάφους, όπου είναι δυνατόν διερευνούνται και οι επιλογές που υπάρχουν για τη μείωση του φορτίου που θα επιβληθεί στο «ασθενές» έδαφος. Δηλαδή, σε κάποιες περιπτώσεις, είναι προτιμότερο αντί να ασχοληθεί κανείς με το έδαφος, να προσπαθήσει να διαφοροποιήσει το φορτίο, και κατ' επέκταση, την καταπόνηση που θα δεχθεί το έδαφος. Αυτό επιλέγεται όταν για παράδειγμα το έδαφος δεν είναι εντελώς ανίκανο να παραλάβει φορτίο και, φυσικά, όταν είναι εφικτό πράγματι να μειωθεί σε κάποιο ποσοστό το επιβαλλόμενο φορτίο, γι' αυτό και

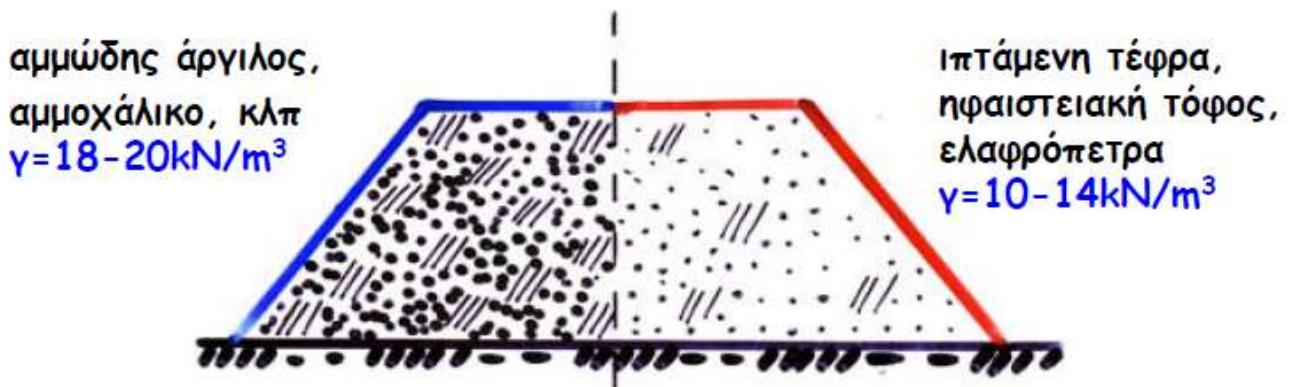
συνήθως η επιλογή αυτή αφορά στη δημιουργία επιχώματων, των οποίων το φορτίο είναι πιο «προσαρμόσιμο» από ότι το φορτίο μιας κατασκευής π.χ. μιας πολυκατοικίας.

Οι τρόποι που μπορεί να επιτευχθεί μια τέτοια λύση είναι οι εξής:

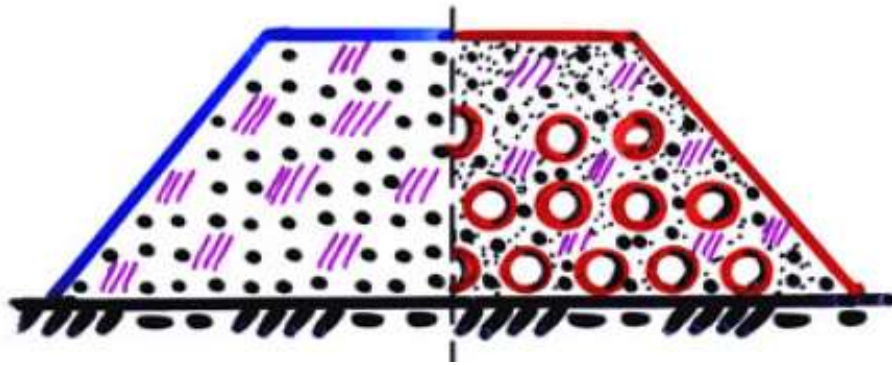
- Μείωση ύψους επιχώματος
- Αύξηση κλίσης πρανών



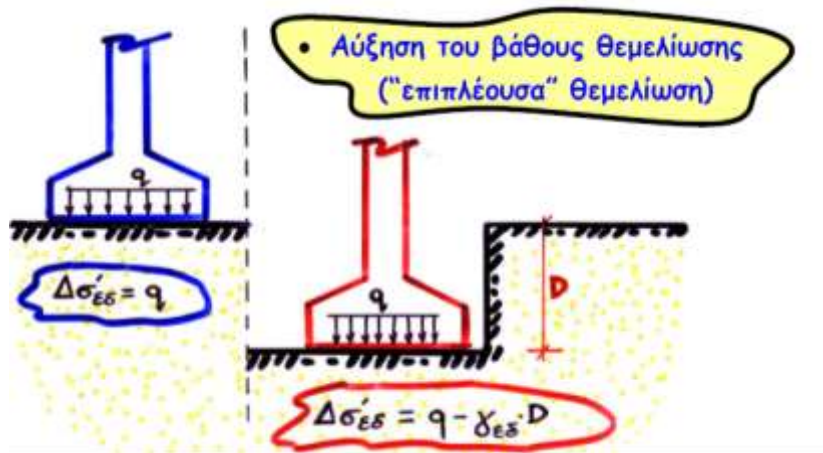
- Χρήση κατά το δυνατό «ελαφρών» υλικών επίχωσης



- Τοποθέτηση σωλήνων εντός του επιχώματος



- Αύξηση του βάθους θεμελίωσης



2.4.Λοιπές μέθοδοι

Στα επόμενα κεφάλαια θα αναλυθούν λεπτομερώς οι 4 βασικές μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης του εδάφους, είναι όμως καλό να αναφερθούν εν τάχει και άλλες μέθοδοι, ώστε να έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα συνολικά των μεθόδων. Εκτός αυτού οι λοιπές μέθοδοι με τον έναν ή τον άλλο τρόπο εμπίπτουν στις 4 βασικές μεθόδους.

2.4.1.Ενέσεις

Η ένεση είναι η διοχέτευση στα εδάφη, με πίεση, ειδικών ρευστών που σύντομα πήζουν και βελτιώνουν – ενισχύουν τη συμπεριφορά τους. Ανάλογα με την ιδιότητα που επηρεάζεται κατά βάση, διακρίνονται δύο κατηγορίες ενέσεων: οι ενέσεις στεγανοποίησης που προκαλούν κυρίως τη μείωση της διαπερατότητας και χρησιμοποιούνται στην αντιμετώπιση υπόγειων ροών και οι ενέσεις σταθεροποίησης που έχουν ως στόχο την αύξηση της αντοχής και τη μείωση της συμπιεστότητας.

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

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

Οι συνήθεις τύποι ενεμάτων είναι τα αιωρήματα τσιμέντου (τσιμεντενέσεις) ή μείγματος εδάφους (π.χ. μπετονίτη, άμμου) και τσιμέντου ή και μόνο εδαφών σε νερό, καθώς και τα χημικά διαλύματα, συνήθως πυριτικών ή πολυμερών υλικών. Σε περίπτωση που επιδιώκεται ρύθμιση των ιδιοτήτων των μειγμάτων εδάφους-τσιμέντου χρησιμοποιούνται σταθεροποιητές ή πρόσθετα, όπως επιταχυντές και επιβραδυντές. Η ενίσχυση με ενέσεις βρίσκει εφαρμογή σε όλο σχεδόν το εύρος των εδαφών (συνεκτικά και μη συνεκτικά) και σε μαλακούς βράχους, υπό τον όρο ότι ο βράχος είναι ρηγματωμένος με τις ρωγμές του να επικοινωνούν. Αντίθετα, δεν είναι δυνατό να εφαρμοστεί σε εδάφη με μικρή διαπερατότητα όπως είναι οι άργιλοι. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου προσμετρώνται η υψηλή ταχύτητα εφαρμογής, το σχετικά χαμηλό κόστος και η απουσία θορύβου και δονήσεων κατά την εφαρμογή. Η επιλογή των ενεμάτων εξαρτάται από το είδος του εδάφους και την κοκκομετρική του διαβάθμιση. Γενικά, η σταθεροποίηση με τσιμέντο παρουσιάζει το ευρύτερο φάσμα εφαρμογής. Στην περίπτωση διαπερατών αμμώδων εδαφών χρησιμοποιούνται αιωρήματα τσιμέντου με υψηλές τιμές του λόγου «τσιμέντο προς νερό», εφόσον επιδιώκεται υψηλή αντοχή, ενώ προτιμώνται χημικά διαλύματα ειδικών πυριτικών ή πολυμερών προϊόντων, όταν η διαπερατότητα είναι μικρότερη, όπως συμβαίνει στα αργιλικά εδάφη. Στις θεμελιώσεις, οι ενέσεις χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις εκσκαφών που βρίσκονται σε επαφή με υφιστάμενα κτίρια, ειδικά όταν οι εκσκαφές είναι μεγάλου βάθους και το έδαφος είναι μαλακό, καθώς και σε περιπτώσεις, κατά τις οποίες κρίνεται αναγκαία η βελτίωση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους θεμελίωσης (εδάφη χαμηλής αρχικής φέρουσας ικανότητας,

προσθήκη ορόφων κτλ). Η αποτελεσματικότητα της τεχνικής εξαρτάται από την ομοιομορφία της διασποράς του ενέματος κάτω από τη θεμελίωση. Σε περιπτώσεις ανομοιογένειας του εδάφους, η ομοιόμορφη διασπορά του ενέματος καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη, ενώ η διείσδυσή του σε μεγάλη έκταση ενδέχεται να έχει σημαντικές οικονομικές συνέπειες. Η επιλογή της σύνθεσης των ενεμάτων, κυρίως ως προς το ιξώδες, απαιτεί γνώση του επιπέδου των ρωγμών του εδάφους, εντός των οποίων θα διεισδύσει.

2.4.2.Ενθέματα μεγάλης δυσκαμψίας

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

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

2.4.2.1.Εδαφοπάσσαλοι (jet grouting)

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



Εικ. 2 Μέθοδος jetgrouting

2.4.2.2. Πάσσαλοι από άοπλο σκυρόδεμα

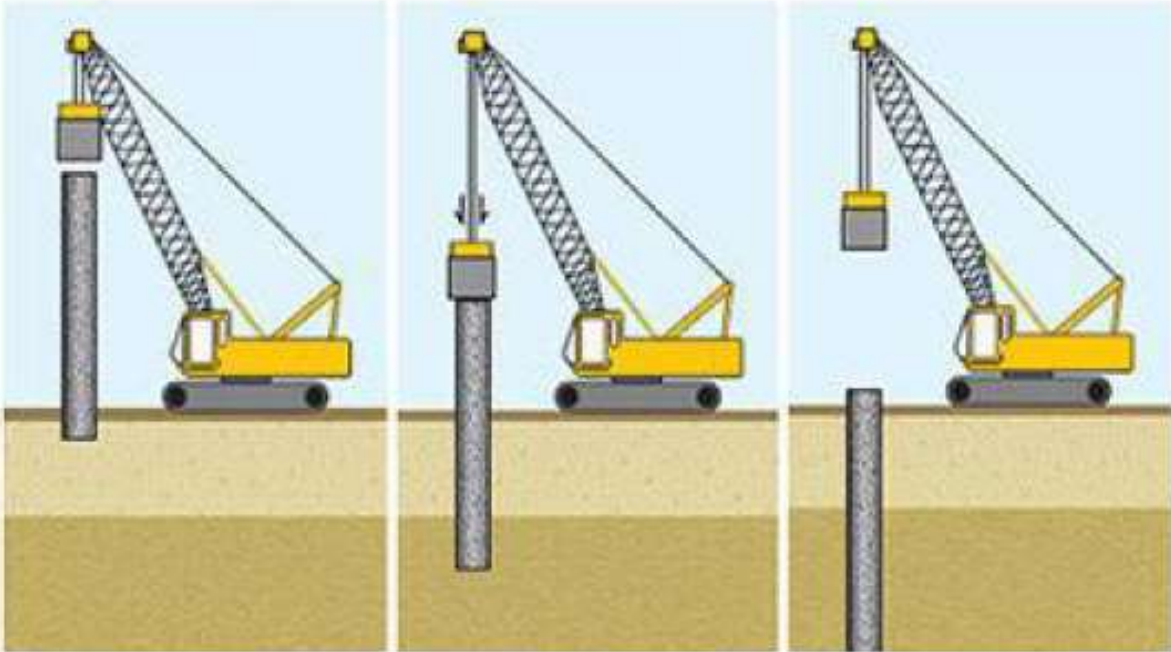
Η ενίσχυση του εδάφους μπορεί να γίνει με έγχυτους πασσάλους κατασκευαζόμενους είτε με εκτόπιση είτε με εκσκαφή του εδάφους. Οι πάσσαλοι με εκτόπιση του εδάφους εκτιμάται ότι μπορεί να είναι διαμέτρου της τάξης των 0,50-0,60 m. Οι πάσσαλοι που κατασκευάζονται με εκσκαφή του εδάφους εκτιμάται ότι μπορεί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

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

2.4.2.3. Προκατασκευασμένοι πάσσαλοι

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

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

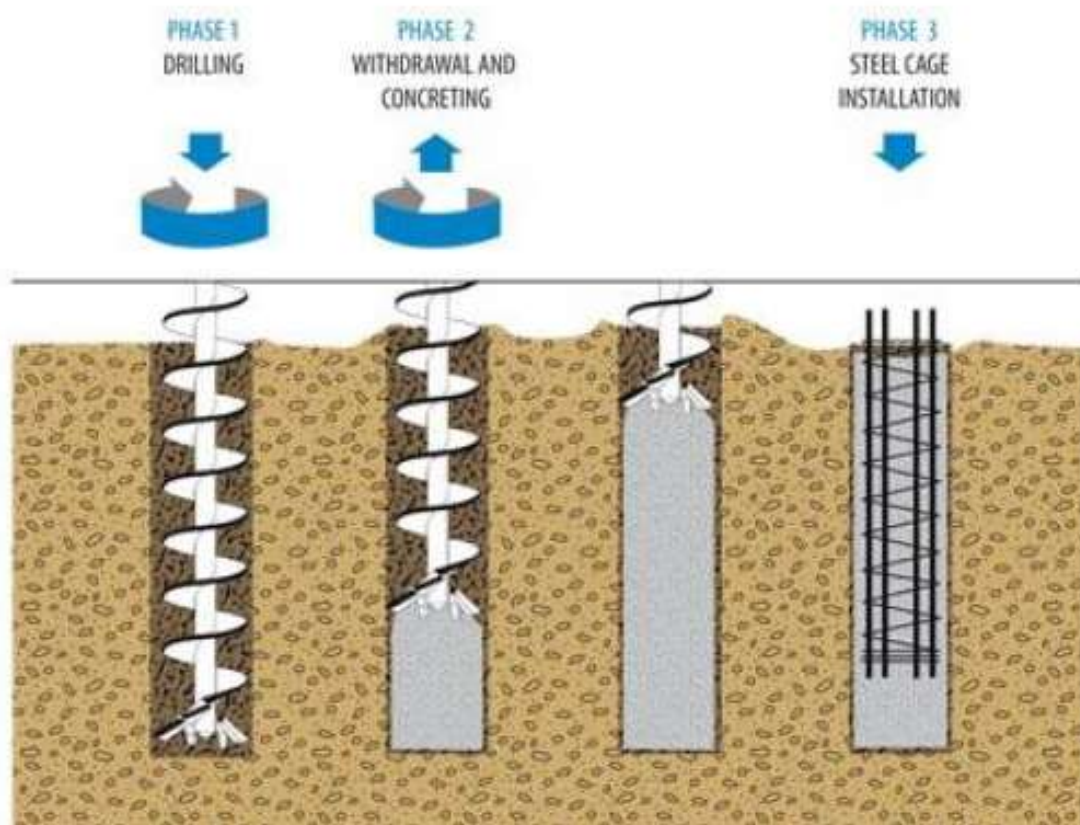


Εικ. 3 Τοποθέτηση προκατασκευασμένων πασσάλων

2.4.2.4. Πάσσαλοι CFA (Continuous Flight Auger)

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

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



Εικ. 4 Δημιουργία πασσάλων CFA

2.4.2.5. Πάσσαλοι πλήρους εκτόπισης FDP (Full Displacement Piles)

Οι πάσσαλοι FDP κατασκευάζονται με ειδικό εξοπλισμό κατασκευής πασσάλων από άοπλο σκυρόδεμα με διάτρηση και εκτόπιση του εδάφους με ειδική ελικοειδή αρίδα επί κοίλου στελέχους μεταβλητής (αυξανόμενης από κάτω προς τα πάνω) διαμέτρου, η βόλτα της οποίας είναι τέτοια ώστε να πιέζει το έδαφος προς τα πλάγια και κάτω καθώς εισέρχεται περιστροφικά εντός αυτού. Η ειδική αυτή αρίδα είναι στερεωμένη στο άκρο του επίσης κοίλου στελέχους διάτρησης και πιέζεται περιστροφικά μέσα στο έδαφος με μεγάλη στρεπτική ροπή και πίεση μέχρι το επιθυμητό βάθος. Όταν η αρίδα φτάσει στο επιθυμητό βάθος, αρχίζει η σκυροδέτηση

του πασσάλου μέσα από το κοίλο στέλεχος διάτρησης και το κοίλο στέλεχος της αρίδας, ενώ παράλληλα γίνεται περιστροφική ανάσχυση της αρίδας. Η ταχύτητα ανάσχυσης και η τροφοδοτούμενη ποσότητα σκυροδέματος ελέγχονται συνεχώς ηλεκτρονικά έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν δημιουργούνται ασυνέχειες στη σκυροδέτηση του πάσσαλου.

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



Εικ. 5 Κατασκευή πασσάλων FDP

2.4.3.Θερμική δράση

2.4.3.1.Θέρμανση του εδάφους

Η μέθοδος αυτή είναι η λιγότερο οικονομική από τις προηγούμενες και εφαρμόζεται σε χαλαρά εδάφη με μεγάλη διαπερατότητα και συνίσταται στη δημιουργία οπών με καρφίδες και την εισβολή πολύ θερμού μείγματος αέρος και

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

2.4.3.2. Ψύξη του εδάφους

Η μέθοδος ψύξης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φραγμών από παγωμένο νερό έξω από την επιφάνεια των κατασκευών. Η ψύξη του εδάφους είναι μια κατασκευαστική τεχνική που χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου πρέπει να σταθεροποιηθεί το έδαφος ώστε να μην καταρρεύσει δίπλα σε εκσκαφές ή να προληφθεί η επιμόλυνση του εδάφους. Να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιείται για τουλάχιστον 100 χρόνια.

Μέσα στο χώμα, τοποθετούνται σωλήνες και στη συνέχεια διοχετεύονται σε αυτούς ψυκτικά υγρά, παγώνοντας έτσι το έδαφος. Το παγωμένο έδαφος μπορεί να είναι τόσο σκληρό όσο και το σκυρόδεμα.



Εικ. 6 Σωλήνες που διαρρέονται από ψυκτικό υγρό

Είναι πολύ σημαντική η παρουσία υπόγειων υδάτων, είτε φυσικών λόγω υψηλού υδροφόρου ορίζοντα είτε τεχνητών. Το παγωμένο νερό γίνεται ο συνδετικό παράγοντας που συγκολλά μεταξύ τους λόγω της πήξης σωματίδια εδάφους ή μάζες βράχου για να αυξηθεί η συνδυασμένη ισχύς τους και να γίνουν αδιαπέρατα από το νερό.

Τυπικές εφαρμογές αυτής της μεθόδου περιλαμβάνουν κάθετα φρεάτια, βαθιές εκσκαφές, τούνελ, έλεγχο υπόγειων υδάτων, κατασκευαστική υποστύλωση και περιορισμό επικίνδυνων αποβλήτων.



Εικ. 7 Ψύξη εδάφους σε βαθιά εκσκαφή

3. Συμπύκνωση εδαφών

3.1. Τι είναι η συμπύκνωση

Με τον όρο συμπύκνωση περιγράφεται η τεχνητή αύξηση της πυκνότητας του εδάφους, με την χρήση μηχανικών μέσων. Δηλαδή γίνεται με τον τρόπο αυτό διευθέτηση των κόκκων του εδαφικού υλικού σε όσο το δυνατόν πυκνότερη διάταξη,

με τη βοήθεια του νερού που δρα σαν «λιπαντικό». Η σημασία της συμπίκνωσης των εδαφών είναι μεγάλη, καθώς αυτά χρησιμοποιούνται στα τεχνικά έργα παρέχοντας μεγαλύτερη ασφάλεια στις κατασκευές.

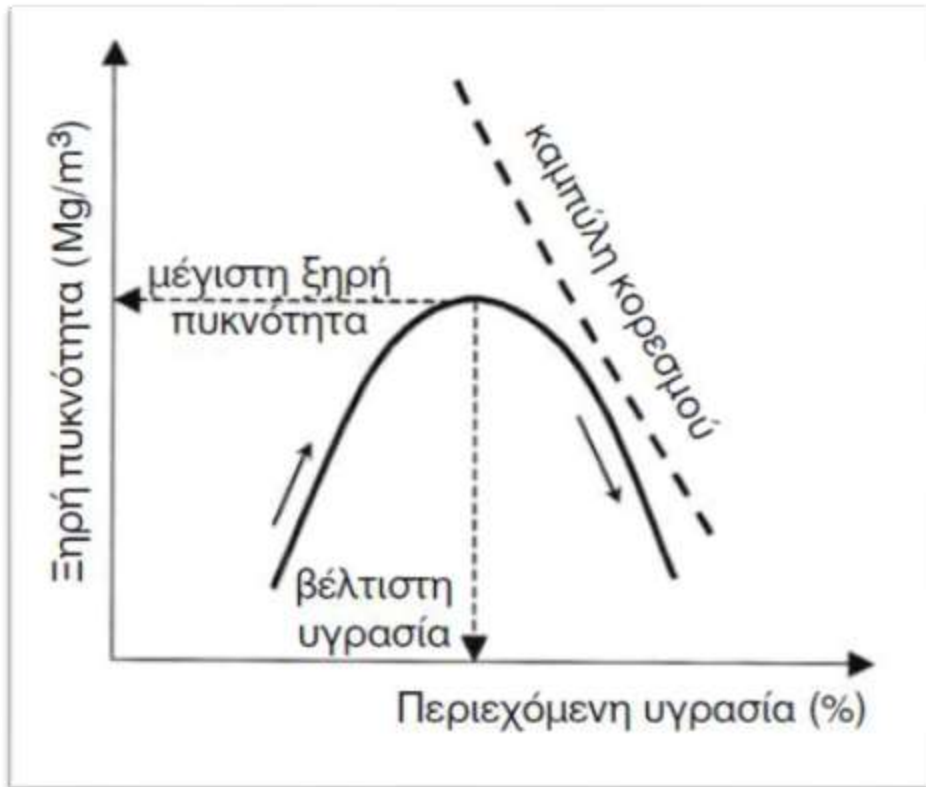
Στα αδιατάρακτα εδάφη, με την πάροδο του χρόνου έχει επιτευχθεί, ως ένα ποσοστό, συμπίκνωση και στερεοποίηση λόγω των πιέσεων που ασκεί το ίδιο το βάρος των ανώτερων εδαφικών στρωμάτων.

Τα διαταραγμένα όμως εδάφη, όπως τα εδαφικά υλικά πλήρωσης εκσκαφών, κατασκευής επιχωμάτων κ.α., βρίσκονται συνήθως σε χαλαρή μορφή, έτσι δεν είναι ικανά να φέρουν το βάρος του κατασκευαζόμενου έργου χωρίς να υποστούν σημαντικές καθιζήσεις προκαλώντας έτσι παραμορφώσεις στο κατασκευαζόμενο έργο.

Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό, τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκε μια τεχνική γρήγορης τεχνητής συμπίκνωσης του εδάφους είτε με χρήση οδοστρωτήρων, είτε με άλλα μηχανήματα όπως δυνητικές πλάκες, μηχανικοί κόπανοι κ.α. Μέσα επίτευξης της συμπίκνωσης (δηλ. της εφαρμογής της μηχανικής ενέργειας) αποτελούν στην πράξη οι οδοστρωτήρες και ο υπόλοιπος εξοπλισμός οδοποιίας, ενώ είναι δυνατή και η δυναμική συμπίκνωση.

Ο Proctor έκανε τις πρώτες συστηματικές μελέτες στο εργαστήριο και προσπάθησε να βρει τη σχέση ανάμεσα στην περιεκτικότητα σε νερό και την ενέργεια συμπίκνωσης. Για τις μελέτες αυτές έκανε δοκιμές στις οποίες το έδαφος συμπίκνώνεται με την ελεύθερη πτώση σφύρας σε κυλινδρική μεταλλική μήτρα. Όπου το δείγμα τοποθετείται σε στρώσεις. Ο βαθμός συμπίκνωσης ενός εδάφους εκφράζεται με την ξηρή πυκνότητα του. Επομένως μεταβολή της τιμής της ξηρής πυκνότητας μετά από συμπίκνωση εκφράζεται με μεταβολή όγκου για το ίδιο ξηρό βάρος, δηλαδή το βαθμό συμπίκνωσης του υλικού. Η μέγιστη συμπίκνωση, δηλαδή η μέγιστη ξηρή πυκνότητα επιτυγχάνεται με την προσθήκη συγκεκριμένης ποσότητας ύδατος που ευνοεί τη μείωση της συνοχής και των τριβών μεταξύ των εδαφικών κόκκων, καθώς και της διατμητικής αντοχής του εδάφους έτσι ώστε να επιτυγχάνεται γρήγορη αναδιάταξη των κόκκων σε πυκνότερη δομή.

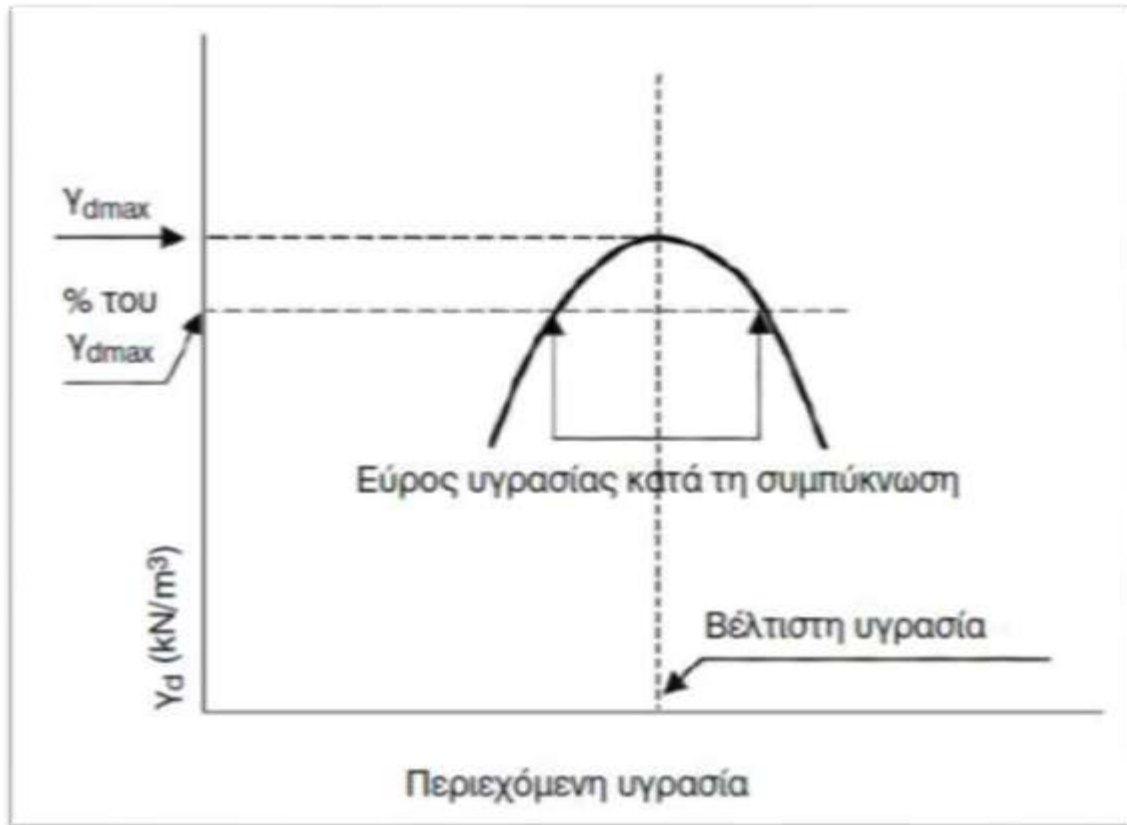
Επομένως, αν μεταβάλλουμε την περιεκτικότητα του εδαφικού δείγματος σε νερό, διατηρώντας σταθερή την ενέργεια συμπίκνωσης (βάρος σφύρας, ύψος πτώσης, αριθμό κτύπων ανά στρώση, διατομή στρώσεων) και κάνουμε διάγραμμα μεταβολής του ξηρού φαινομένου βάρους (γ_d) σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα σε νερό $W(\%)$, τότε παίρνουμε μια καμπύλη που παρουσιάζει μια μέγιστη τιμή του γ_d για μια ορισμένη περιεκτικότητα σε νερό w , που χαρακτηρίζεται σαν βέλτιστη υγρασία W_{opt} κατά Proctor (optimum).



Διαγρ. 1 Καμπύλη υγρασίας – ξηρής πυκνότητας για συγκεκριμένη ενέργεια συμπίκνωσης (από Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)

Σκοπός τη δοκιμής Proctore είναι ο εντοπισμός της βέλτιστης υγρασίας του υπό μελέτη εδάφους. Η «ταύτιση» εργαστηριακής προσέγγισης και επιτόπου συνθηκών συμπίκνωσης, οριοθετούνται με τον καθορισμό του «βαθμού συμπίκνωσης». Ως βαθμός συμπίκνωσης ορίζεται ο λόγος της ξηρής πυκνότητας του εδάφους που επιτυγχάνεται επί τόπου (στο εργοτάξιο) προς αυτήν που έχει υπολογιστεί στο εργαστήριο και εκφράζεται επί τοις εκατό (%). Συνήθως ο επιθυμητός βαθμός συμπίκνωσης είναι 90 με 95% της μέγιστης ξηρής πυκνότητας.

Η μορφή της καμπύλης συμπίκνωσης μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο του εδάφους. Η τιμή της βέλτιστης υγρασίας αυξάνει λογαριθμικά με την αύξηση των λεπτόκοκκων στο έδαφος, ενώ εμφανίζει γενικά γραμμική σχέση με την αύξηση του ποσοστού της λεπτής άμμου.



Διαγρ. 2 Διακύμανση της ξηρής πυκνότητας κοντά στη μέγιστη τιμή της – Επιθυμητός βαθμός συμπύκνωσης (από Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)

Για τη επιτυχή συμπύκνωση του εδάφους σε συνθήκες έργου, δηλαδή στο πεδίο, υπάρχουν κάποιες βασικές απαιτήσεις:

- Η συμπύκνωση πρέπει να γίνει κατά στρώσεις, αφού βέβαια καθοριστεί το πάχος κάθε στρώσης

Το πάχος κάθε στρώσης εξαρτάται από το διαθέσιμο εξοπλισμό και το είδος του υλικού, συνήθως όμως κυμαίνεται από 0.20 – 0.50 μέτρα. Γενικά όσο πιο λεπτόκοκκο το έδαφος, τόσο μικρότερο πάχος στρώσης.

- Πρέπει να επιτευχθεί η «βέλτιστη» υγρασία

Δηλαδή, σε πραγματικές συνθήκες, η υγρασία που θα επιτευχθεί να είναι περίπου ίση με τη «βέλτιστη υγρασία». Εάν είναι μικρότερη τότε δεν γίνεται καλή συμπύκνωση, ενώ εάν είναι μεγαλύτερη, θα προκληθεί «ζύμωση» του εδάφους με αποτέλεσμα τη μείωση της φέρουσας ικανότητάς του

- Απαιτείται η «βέλτιστη» ενέργεια συμπίκνωσης

Εξαρτάται από το είδος του εδάφους που πρέπει να συμπυκνωθεί. Για παράδειγμα, τα αμμοχάλικα απαιτούν τη χρήση δονητικών ή ελαστικοφόρων οδοστρωτήρων, ενώ τα αργιλικά εδάφη απαιτούν τα λεγόμενα «κατσιοκόδαρα» (Κούκης & Σαμπατάκης, 2002)



Εικ. 8 «Κατσιοκόδαρα» μηχανήματα για συμπίκνωση αργιλικών εδαφών

Ουσιαστικά, καλή συμπίκνωση συνεπάγεται καλή πυκνότητα του εδάφους. Αφαιρείται ο αέρας και το έδαφος γίνεται πιο «συμπαγές».

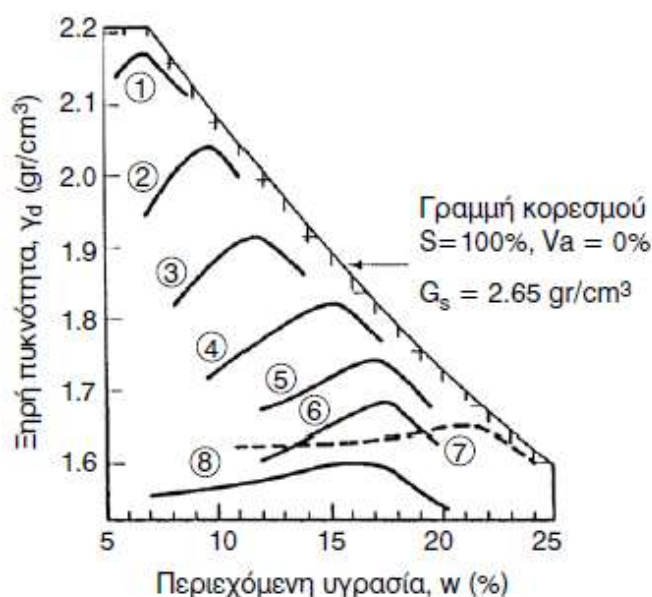
Στη συμπίκνωση του εδάφους επιδρούν οι εξής παράγοντες:

- Φυσικές ιδιότητες του εδάφους: Περιεκτικότητα σε νερό (υγρασία) και κοκκομετρική διαβάθμιση

Όπως αναφέρθηκε πρέπει να υπολογιστεί η βέλτιστη υγρασία για το έδαφος και να επιτευχθεί μέσω μεθόδων συμπύκνωσης που θα αναφερθούν παρακάτω σε αυτό το κεφάλαιο.

Όσον αφορά στην κοκκομετρική διαβάθμιση του εδάφους, η αύξηση του ποσοστού των περιεχομένων στο έδαφος λεπτόκοκκων, συνεπάγεται χειρότερη συμπύκνωση του εδάφους.

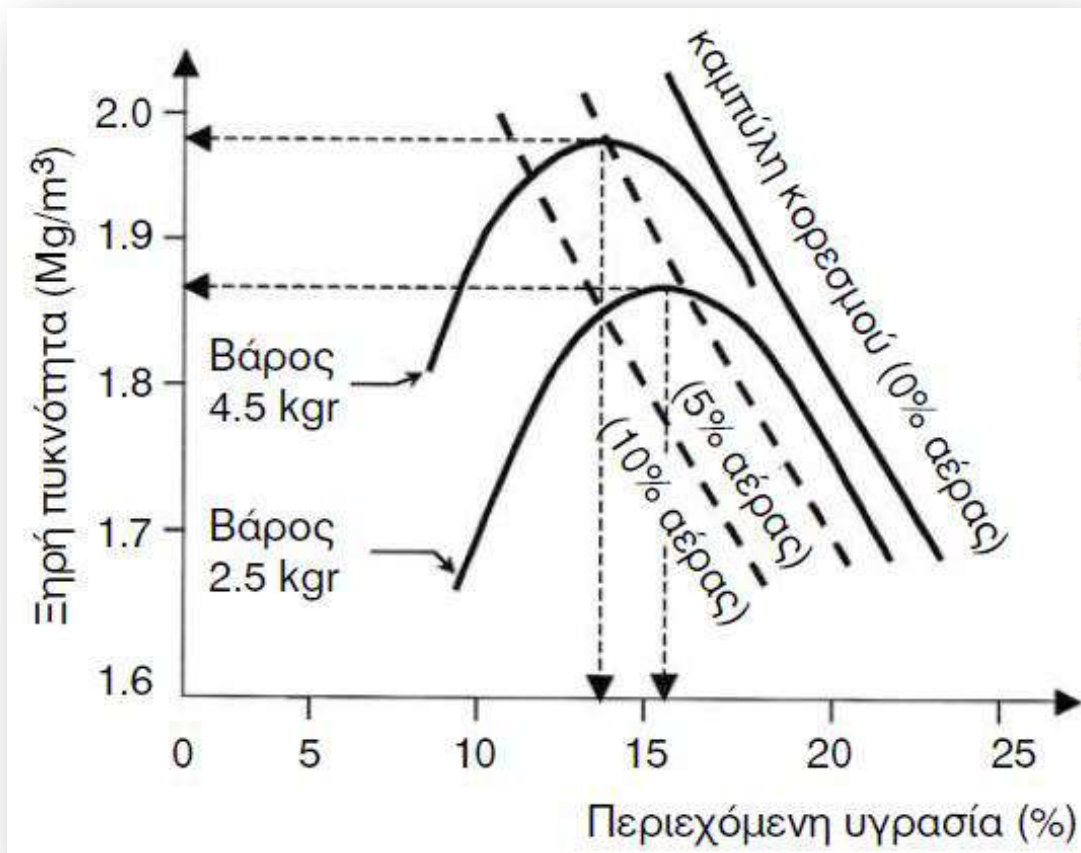
Χαρακτηριστικά υφής και πλαστικότητας των εδαφών						
No	Περιγραφή	Άμμος	Ιλύς	Άργιλος	LL	PI
1	Ιλυώδης άμμος καλής διαβάθμισης	88	10	2	16	NP.
2	Αργιλώδης άμμος καλής διαβάθμισης	72	15	13	16	NP.
3	Αργιλώδης άμμος μέτριας διαβάθμισης	73	9	18	22	4
4	Αμμοιλυώδης άργιλος	32	33	35	28	9
5	Ιλυώδης άργιλος	5	64	31	36	15
6	Ασβεστική ιλύς	5	85	10	26	2
7	Άργιλος υψηλής πλαστικότητας	6	22	72	67	40
8	Φτωχά διαβαθμισμένη άμμος	94	-6-		NP.	-



Εικ. 9 Καμπύλες υγρασίας – ξηρής πυκνότητας διαφορετικών εδαφών που έχουν συμπυκνωθεί με συγκεκριμένη ενέργεια συμπύκνωσης (πρότυπη δοκιμή Proctor) (από Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)

Όπως φαίνεται στην Εικ. 6, όσο μεγαλύτερο ποσοστό λεπτόκοκκων περιέχει το έδαφος, τόσο χαμηλότερη ξηρή πυκνότητα έχει και τόσο μεγαλύτερη υγρασία. Επίσης, διακρίνεται από υψηλότερη πλαστικότητα. Επομένως, τόσο πιο δύσκολο γίνεται να συμπυκνωθούν τέτοια εδάφη.

- Ενέργεια συμπίκνωσης:



Διαγρ. 3 Επίδραση της ενέργειας συμπίκνωσης για συγκεκριμένη ενέργεια συμπίκνωσης στην καμπύλη συμπίκνωσης (από Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002)

Η αύξηση της ενέργειας συμπίκνωσης συνεπάγεται «καλύτερη συμπίκνωση» συγκεκριμένου εδάφους. Είναι εμφανές και από την ανωτέρω εικόνα, ότι για μεγαλύτερο βάρος του κόπανου (άρα και μεγαλύτερη ενέργεια συμπίκνωσης) επιτυγχάνεται χαμηλότερο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας.

3.2.Αποτελέσματα συμπύκνωσης εδάφους

Συγκεκριμένα με την συμπύκνωση του εδάφους επιτυγχάνεται:

- Η αύξηση της διατμητικής αντοχής και της φέρουσας ικανότητας του εδάφους.
- Η μείωση της συμπιεστότητας και επομένως των προκαλούμενων καθιζήσεων του εδάφους σε συνθήκες εξωτερικής φόρτισης.
- Η μείωση της υδροπερατότητας του εδάφους, ιδιότητα πολύ χρήσιμη όταν πρόκειται για υλικά κατασκευής φραγμάτων και επίστρωσης του πυθμένα ταμιευτήρων.
- Η αύξηση της αντίστασης του εδάφους σε αποσάθρωση.
- Η αύξηση της φέρουσα ικανότητας του εδάφους
- Ο περιορισμός των φαινομένων διόγκωσης και συρρίκνωσης

Οι κυριότερες χρήσεις των συμπυκνωμένων εδαφών είναι οι εξής:

- ✓ Σταθεροποίηση εδαφών για θεμελίωση τεχνικών κατασκευών.
- ✓ Ομογενοποίηση του εδάφους έδρασης μιας κατασκευής.
- ✓ Δημιουργία στερεών εδαφών επιχωμάτων για κατασκευή δρόμων, χωμάτινων φραγμάτων κτλ.



Εικ. 10 Φράγμα Ιλαρίωνα Αλιάκμονα– Επιχωματώσεις

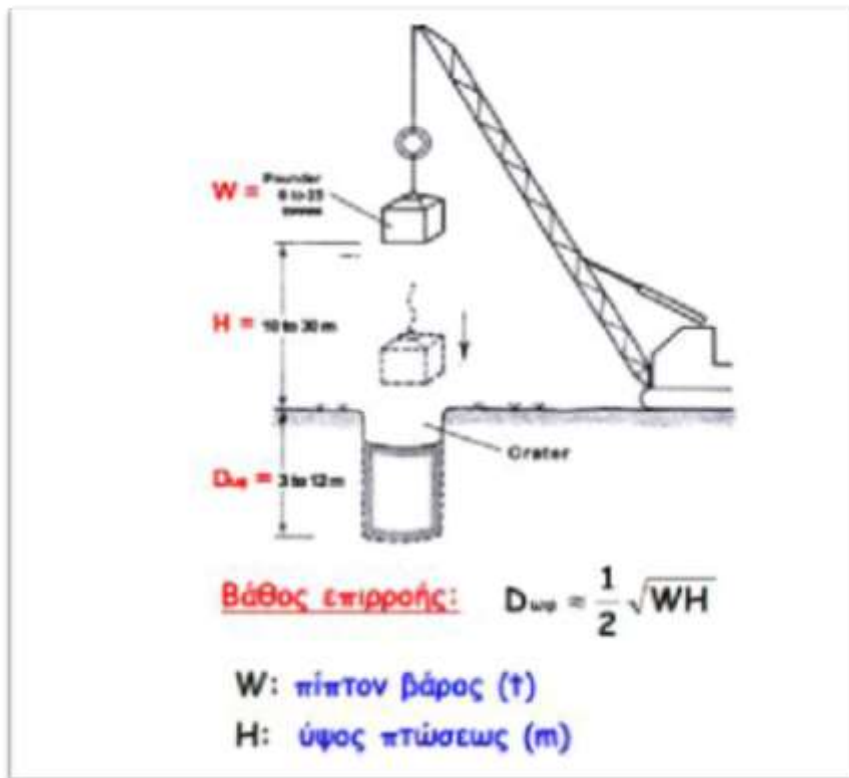
3.3.Μέθοδοι συμπύκνωσης εδάφους

3.3.1.Δυναμική συμπύκνωση

Η δυναμική συμπύκνωση είναι μια μέθοδος βελτίωσης του εδάφους κατά την οποία έχουμε την πτώση ενός μεγάλου βάρους, της τάξης των 5-20tn, από ύψος 15-20m με τη βοήθεια κατάλληλου γερανού. Το βάρος είναι συνήθως τετραγωνικής ή κυκλικής μορφής, κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα ή μεταλλικές πλάκες συγκολλημένες μεταξύ τους. Πριν την έναρξη εφαρμογής της μεθόδου, διαστρώνεται στο χώρο του έργου εξυγιαντική στρώση πάχους 0,30 με 1,00m. Η πτώση του βάρους γίνεται σε τετραγωνικό καννάβο πλευράς 5-10m και περιλαμβάνει 5-10 κρούσεις σε κάθε κορυφή του καννάβου, με διαδοχικά περάσματα από όλες τις κορυφές. Στόχος είναι να δημιουργηθεί σε κάθε κορυφή του καννάβου ένας «κρατήρας» βάθους 0,50-2,00m ο οποίος γεμίζεται μετά από κάθε πέρασμα του βάρους. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την επίτευξη της βελτίωσης του επιθυμητού πάχους. Στην περίπτωση εφαρμογής της δυναμικής συμπύκνωσης, συνήθως προβλέπεται μετά τη συμπύκνωση η διάστρωση εξυγιαντικής στρώσης πάχους τουλάχιστον 1,00m από καλά συμπυκνωμένο θραυστό αμμοχάλικο, για την καλύτερη διανομή των φορτίων (Πλάτης, 2016).

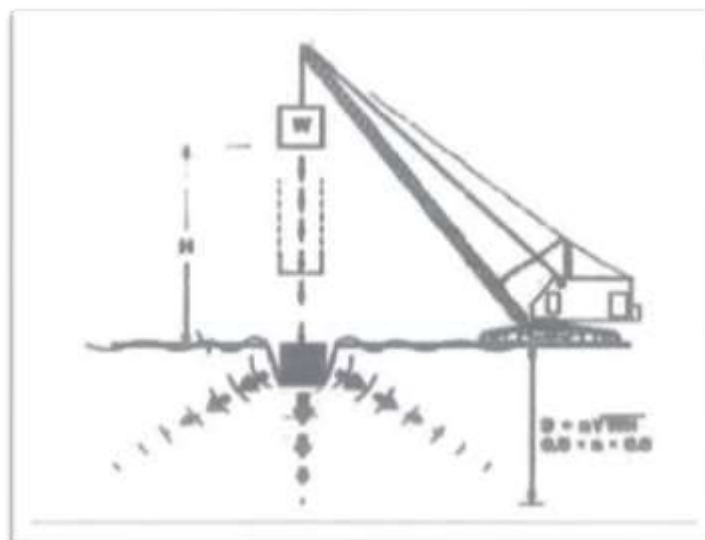


Εικ. 11 Μέθοδος δυναμικής συμπύκνωσης



Εικ. 12 Υπολογισμός μεγεθών δυναμικής συμπίκνωσης

Η μέθοδος προσφέρεται καλύτερα για χαλαρά κοκκώδη εδάφη έως ιλυώδη υλικά και επιχώσεις από μικτά υλικά. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου μειώνεται σημαντικά στην περίπτωση αργίλων μέσης ως υψηλής πλαστικότητας ($LL > 30\%$, $PI > 10\%$, Mitchell, 1981) και στην περίπτωση που ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται σε βάθος μικρότερο από 2,00,m(Mitchell, 1981).



Εικ. 13 Αντίδραση εδάφους κατά τη δυναμική συμπίκνωσή του

Ο αντίκτυπος της ελεύθερης πτώσης δημιουργεί κύματα στρες που βοηθούν στην πύκνωση του εδάφους. Αυτά τα κύματα στρες μπορεί να διεισδύσουν μέχρι 10m. Σε μη συνεκτικά εδάφη, αυτά τα κύματα δημιουργούν υγροποίηση που ακολουθείται από την συμπίεση του εδάφους, και σε συνεκτικά εδάφη, δημιουργούν μια αυξημένη ποσότητα της πίεσης του νερού των πόρων που ακολουθείται από την συμπίεση του εδάφους. Πίεση του νερού πόρου είναι η πίεση του νερού που παγιδεύεται μέσα στα σωματίδια των βράχων και εδαφών.

Ο βαθμός συμπίεσης εξαρτάται από το βάρος της σφύρας, το ύψος από το οποίο το σφυρί πέσει, και την απόσταση των θέσεων στις οποίες η σφύρα πέσει. Η αρχική πτώση του βάρους έχει τον μεγαλύτερο αντίκτυπο, και διεισδύει μέχρι ένα μεγαλύτερο βάθος. Οι ακόλουθες σταγόνες, αν απέχουν πλησιέστερα το ένα στο άλλο, με συμπαγή ρηγά στρώματα και η διαδικασία ολοκληρώνεται με την συμπίεση του εδάφους στην επιφάνεια.

Στην πραγματικότητα, οι περισσότεροι τύποι του εδάφους μπορούν να βελτιωθούν με τη δυναμική συμπίεση. Παλιά γεμίσματα και κοκκώδη εδάφη αντιμετωπίζονται πιο συχνά. Τα εδάφη που βρίσκονται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με προσοχή ώστε να επιτρέψει εκπομπή της υπερβολικής πίεσης του νερού των πόρων που δημιουργείται όταν το βάρος πέφτει πάνω στην επιφάνεια (Σαρίδης, 2013).

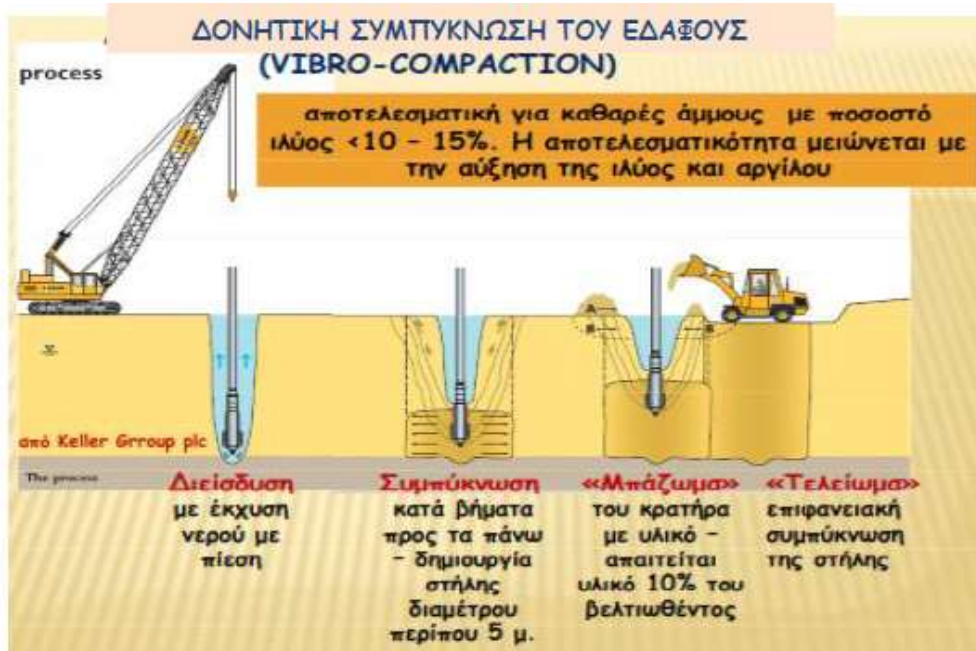
Πλεονεκτήματα της δυναμικής συμπίκνωσης:

- ❖ Μέθοδος ανταγωνιστική σε κόστος
- ❖ Αποτελεσματική
- ❖ Φιλική προς το περιβάλλον
- ❖ Προσαρμόσιμη σε διαφορετικές συνθήκες εδάφους¹

¹<http://www.gtengineering.ro/gr/dynamic-compaction>

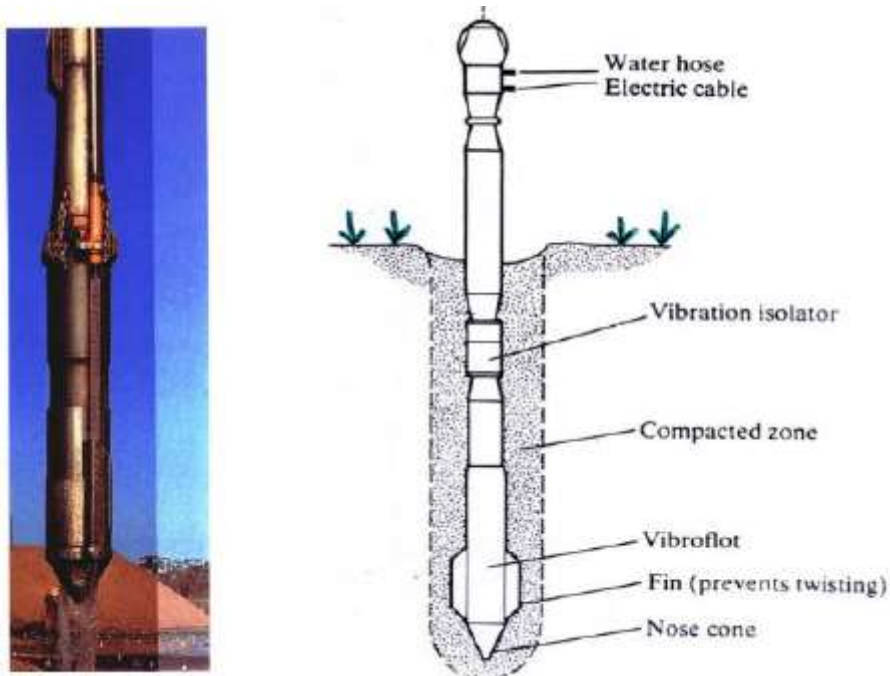
3.3.2. Πάσσαλοι συμπίκνωσης (δονητική συμπίκνωση)

Η δονητική συμπίκνωση συνίσταται στην εισαγωγή δομητή σε χαλαρά, μη συνεκτικά εδάφη, στα οποία προκαλεί ακτινωτή συμπίεση. Η μέθοδος μπορεί να πραγματοποιηθεί με επιβολή κατακόρυφης ή οριζόντιας ταλάντωσης στο έδαφος. Η δονητική συμπίκνωση είναι δυναμικό φαινόμενο και επομένως, το αποτέλεσμα δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της φυγόκεντρου δύναμης και από το στατικό βάρος της μηχανής, αλλά και από τη συχνότητα διέγερσης, τη μορφή και την ίδια συχνότητα του εδάφους. Κατά συνέπεια, τα στοιχεία λειτουργίας (συχνότητα διέγερσης, αντίβαρο, φυγόκεντρη δύναμη και στατικό βάρος συμπακνωτή) πρέπει να προσδιορίζονται με δοκιμές επάνω στο υπό συμπίεση υλικό. Οι μέθοδοι βαθιάς δονητικής συμπίκνωσης είναι αποτελεσματικές για (καθαρές) άμμους με ποσοστό ιλύος $\leq 10-15\%$ και ποσοστό αργίλου $\leq 5\%$. Η αποτελεσματικότητά τους μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό ιλύος και, ιδιαίτερα, το ποσοστό αργίλου. Σε έργα θεμελίωσης η μέθοδος μπορεί να συνδυαστεί με μερική αντικατάσταση του εδάφους από υλικό, το οποίο κατόπιν μπορεί να αποτελέσει τη βάση της θεμελίωσης. Τέτοιες μέθοδοι είναι η μέθοδος της βαθιάς δονητικής συμπίκνωσης (vibro-compaction) και η μέθοδος της βαθιάς δονητικής αντικατάστασης (vibro-replacement) (Πλάτης, 2013).

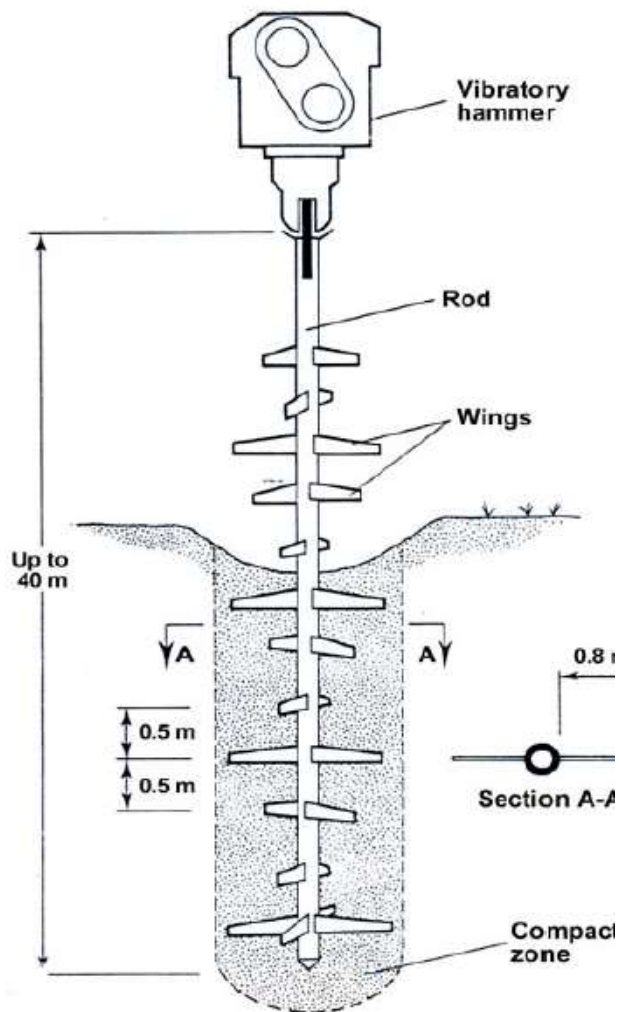


Εικ. 14 Διαδικασία δονητικής συμπίκνωσης

Η διαδικασία συμπίκνωσης με τη μέθοδο της βαθιάς δονητικής συμπίκνωσης είναι η εξής: η δονητική στήλη (που αποτελείται από τη δονητική τορπίλη και στελέχη που απαρτίζονται από απλούς χαλύβδινους σωλήνες) τοποθετείται σε κατακόρυφη θέση με τη βοήθεια με τη βοήθεια ανυψωτικού γερανού στο σημείο όπου πρόκειται να εφαρμοστεί η δονητική συμπίκνωση. Με το ίδιο βάρος της δονητικής στήλης, τη βοήθεια του νερού που εκτοξεύεται από τα ακροφύσια στην αιχμή του δονητή και σε συνδυασμό με τη δόνηση που επιβάλλεται, η δονητική στήλη εισέρχεται στο έδαφος μέχρι το επιθυμητό βάθος, διανοίγοντας διάτρημα σημαντικής διαμέτρου (0,7-0,9m). Η ροή του νερού διατηρεί ανοιχτό το κανάλι κατά μήκος των πλευρών του δονητή, επιτρέποντας στο κοκκώδες υλικό που θα διοχετευτεί από την επιφάνεια να φτάνει στο χείλος και ταυτόχρονα αποτρέπει από το να κολλήσει ο δονητής. Αφού η δονητική στήλη φτάσει στο επιθυμητό βάθος αρχίζει η διαδικασία συμπίκνωσης με ανιόντα βήματα της τάξης των 30 με 60cm μέχρι την επιφάνεια, με μειωμένη παροχή νερού. Οι ταλαντώσεις του δονητή οδηγούν στην καλύτερη συμπίκνωση του εδάφους, ενώ ταυτόχρονα διοχετεύεται με σταθερό ρυθμό κοκκώδες υλικό από την επιφάνεια για την πλήρωση των κενών. Ο ρυθμός ανύψωσης του δονητή εξαρτάται από τον επιδιωκόμενο βαθμό συμπίκνωσης, τον τύπο του εδάφους αλλά και του εξοπλισμού που πρέπει να συμβαδίζει με το ρυθμό παροχής του εισαγόμενου υλικού. Η παραπάνω διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας συμπυκνωμένης εδαφικής στήλης με διάμετρο που κυμαίνεται από 2 έως 4m, αναλόγως των συνθηκών (Μπουκοβάλας, 2009).



Εικ. 15 Δονητική στήλη



Εικ. 16 Βαθιά δονητική συμπίκνωση

3.3.3.Μαζική δόνηση

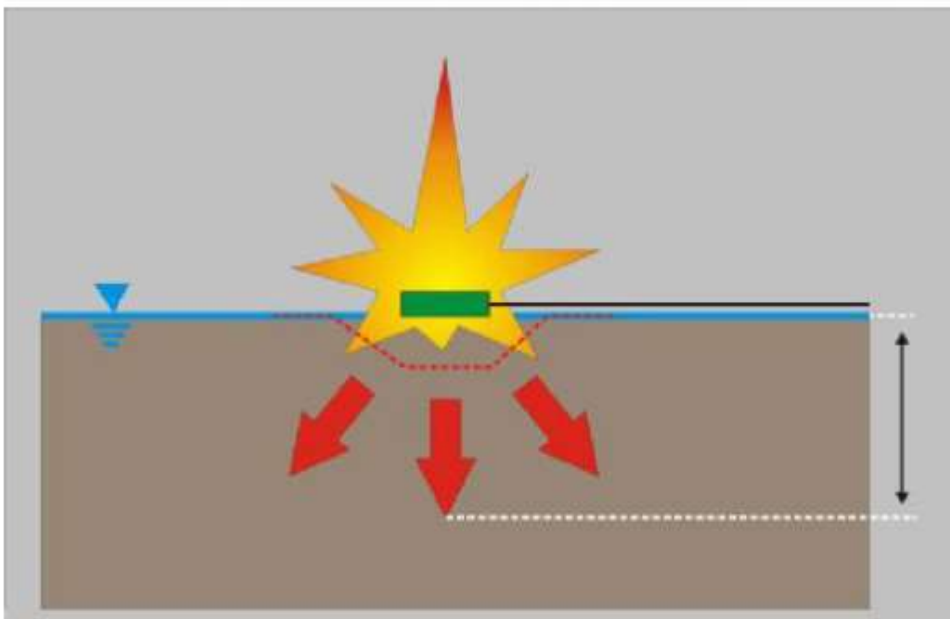
Η μέθοδος μαζικής δόνησης συνίσταται στην εισαγωγή δονητή σε χαλαρά, μη συνεκτικά εδάφη όπου προκαλεί ακτινωτή συμπίκνωση.

3.3.4.Συμπύκνωση με εκρήξεις

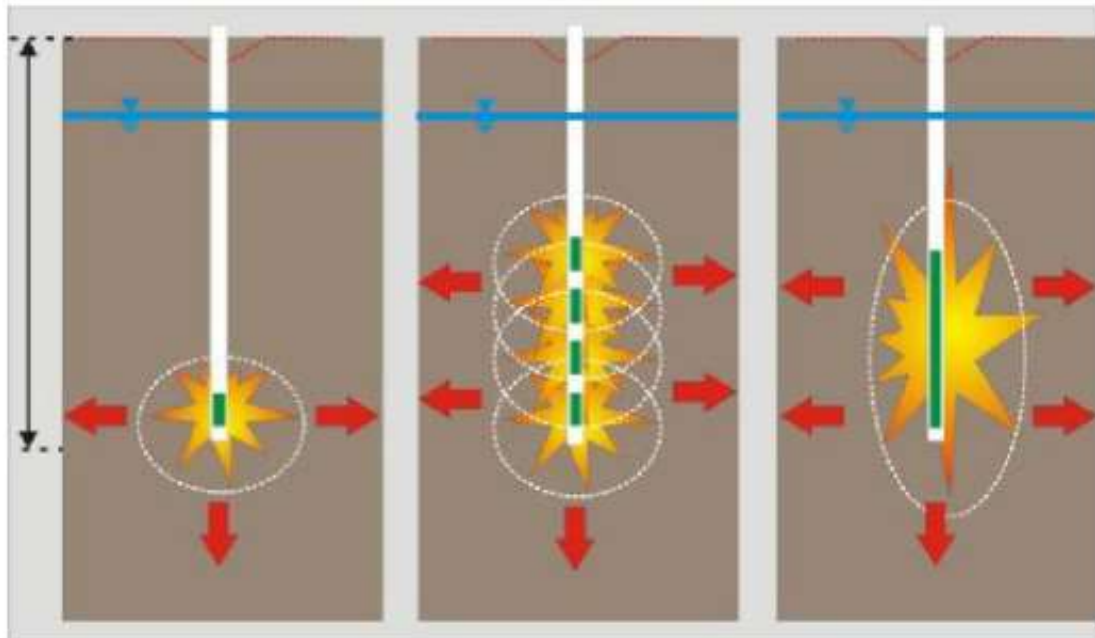
Σε δίκτυο γεωτρήσεων τοποθετείται εκρηκτική ύλη που κατά την έκρηξη δημιουργεί διαμήκη και εγκάρσια κύματα, που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της

πυκνότητας του εδάφους, κάτω από το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων. Η συμπίκνωση με εκρήξεις πραγματοποιείται με πυροδότηση εκρηκτικών μέσα στο έδαφος ή στην επιφάνειά του. Η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορα έργα σε όλο τον κόσμο τα τελευταία 80 χρόνια. Ουσιαστικά, περιλαμβάνει την τοποθέτηση ενός εκρηκτικού φορτίου στο βάθος μιας γεώτρησης σε χαλαρό χώμα (συνήθως σε αργιλώδη άμμο ή άμμο και χαλίκια) και την, εν συνεχεία, πυροδότησή του. Πολλές εκρήξεις πυροδοτούνται μαζί, με καθυστέρηση μεταξύ τους για την ενίσχυση της κυκλικής φόρτισης, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τη μέγιστη επιτάχυνση. Συχνά, τα εκρηκτικά τοποθετούνται κατά στρώσεις σε μία γεώτρηση, οι οποίες διαχωρίζονται με χαλίκι ενδιάμεσα ώστε να προλαμβάνεται το φαινόμενο της συμπαθητικής έκρηξης (δηλαδή η πυροδότηση των εκρηκτικών φορτίων από το κρουστικό κύμα των άλλων εκρήξεων). (Πλάτης, 2013)

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



Εικ. 17 Συμπύκνωση με εκρήξεις στην επιφάνεια του εδάφους



Εικ. 18 Συμπύκνωση με εκρήξεις σε βάθος

Οι περισσότερες εκρηκτικές συμπίεσεις γίνονται για την πρόληψη της ρευστοποίησης και χρησιμοποιούνται σε χαλαρά εδάφη κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα (και σε βάθος περίπου 50m). Ωστόσο, η συμπύκνωση αυξάνει και την ακαμψία του εδάφους και την αντοχή του, επομένως η συμπύκνωση μέσω εκρηκτικών έχει ευρεία εφαρμογή γενικότερα για τη βελτίωση του εδάφους.

4. Σταθεροποίηση

4.1. Τι είναι η σταθεροποίηση

Με τον όρο σταθεροποίηση του εδάφους νοείται η βελτίωση των μηχανικών του ιδιοτήτων σε συγκεκριμένο βάθος, με την ανάμειξή 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.

Οι Ingles και Melcalf (1972) έκαναν μια εκτεταμένη αναφορά για το εύρος και τους τύπους εφαρμογής των τεχνικών σταθεροποίησης. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής συνοψίζουν την χρήση των τεχνικών σταθεροποίησης στα εξής:

- θεμελιώσεις κτιρίων: Η χρήση των μεθόδων σταθεροποίησης έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους κάτω από το κτίριο και τον έλεγχο της διαπερατότητας
- εργασία: εκσκαφής: όπου παρέχεται καλύτερη υποστήριξη στις σήραγγες και τις τάφρους με πλευρική αύξηση αντοχής και έλεγχο της διαπερατότητας
- κατασκευή υποβάσεων δρόμων: όπου δημιουργούνται κατασκευές με μεγαλύτερη αντοχή, καθώς αυξάνεται η φέρουσα ικανότητα του εδάφους και μειώνεται η διάβρωση του. Έτσι προστατεύονται οι κατασκευές από την καιρική διάβρωση και τις μεταβολές του όγκου
- σταθεροποίηση πρανών: σε τεχνητά είτε σε φυσικά πρανή όπου αυξάνεται η αντοχή του εδάφους σε διάβρωση και μεταβάλλεται η διαπερατότητα του εδάφους
- συγκράτηση ύδατος: δημιουργούνται ασφαλείς κατασκευές, όσον αφορά την διάβρωση του εδάφους και την φέρουσα ικανότητα του ειδικότερα σε φράγματα, κανάλια, δεξαμενές κ.α.

4.2.Υλικά σταθεροποίησης

Τα προαναφερθέντα υλικά υπόκεινται σε έλεγχοι και πρέπει να έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Τσιμέντο: θα είναι σύμφωνο με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1/ΙΟΥΝΙΟΥ 2000
2. Υδράσβεστος: θα είναι βιομηχανικής παραγωγής παραδιδόμενη σε χάρτινους σάκους ή σε σιλό (σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 459-1, 459-2, 459-3)
3. Ασβεστούχος ιπτάμενη τέφρα: θα προέρχεται από τους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς της περιοχής Μεγαλόπολης ή Πτολεμαΐδας. Δεδομένου ότι η παραγωγή των σταθμών αυτών δεν είναι σταθερή και δεν υπάρχει μέχρι στιγμής Ελληνικό Πρότυπο για τα υλικά αυτά θα πρέπει κατά τη μελέτη και την προετοιμασία της κατασκευής να εξασφαλισθεί ικανή ποσότητα τέφρας από τον ίδιο σταθμό παραγωγής με σταθερά χαρακτηριστικά. Η ιπτάμενη τέφρα δεν είναι απαραίτητο να είναι κατεργασμένη, αντιθέτως θα πρέπει να επιδιώκεται να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό ελεύθερου CaO, το οποίο είναι και το πλέον δραστικό συστατικό της για τη σταθεροποίηση αργιλωδών εδαφικών υλικών
4. Νερό: θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ-345
5. Έδαφος: τα εδαφικά υλικά τα οποία προσφέρονται για σταθεροποίηση συνήθως είναι λεπτόκοκκα αργιλώδη εδάφη, με σχετικά μεγάλη πλαστικότητα ή διογκωσιμότητα και με μικρή φέρουσα ικανότητα. Η ύπαρξη λίθων μεγαλύτερων των 7,5cm δημιουργεί δυσκολίες στην ανάμειξη και διαμόρφωση της επιφάνειας και προκαλεί φθορές στα αναμεικτικά μηχανήματα. Λίθοι διαμέτρου μεγαλύτερης από 7,5cm πρέπει να απομακρύνονται. Επισημαίνεται ότι όταν το διερχόμενο από το κόσκινο ASTM No 40 υλικό έχει όριο υδαρότητας μεγαλύτερο από 40% και ο δείκτης πλαστικότητας ξεπερνά το 15 (όπως αυτά προδιορίζονται από τις πρότυπες μεθόδους E 105-86/6 και E 105-86/5), η ανάμειξη με τα σταθεροποιητικά υλικά και η θραύση των βόλων παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες. Το γεγονός αυτό θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη στην περίπτωση σταθεροποίησης με υδράσβεστο ή ασβεστούχο ιπτάμενη τέφρα, γιατί πιθανόν να χρειαστεί εκτός από τη χρήση ισχυρότερων μηχανημάτων ανάμειξης και εφαρμογή της σταθεροποίησης σε δύο στάδια (αρχική ανάμειξη και μετά την παρέλευση τουλάχιστον 3 ημερών τελική ανάμειξη και συμπύκνωση). Σημειώνεται ότι στις περιπτώσεις αυτές

δεν μπορεί να γίνει σταθεροποίηση μόνο με τσιμέντο και απαιτείται συνδυασμός υδρασβέστου ή ασβεστούχου ιπτάμενης τέφρας και τσιμέντου (ΠΕΤΕΠ 02-09-01-00 Έκδοση 1.0, 2006).



Εικ. 19 Υδράσβεστος σε σκόνη



Εικ. 20 Τσιμέντο



Εικ. 21 Ιπτάμενη τέφρα

Η αρχή παραγωγής της υδρασβέστου είναι απλή και συνίσταται στην απαγωγή άνθρακα από τον ασβεστόλιθο ή το δολομίτη ώστε να σχηματιστούν οξείδια Ca ή Mg. Η ενυδάτωση των οξειδίων αυτών σχηματίζει υδροξύλια του Ca και Mg, που είναι η υδράσβεστος. Η υδράσβεστος Ca(OH) αντιδρά χημικά με την άργιλο μεταβάλλει τις μηχανικές ιδιότητές της και από πλαστική μετατρέπεται σε ψαθυρή. Παρόλο που ο μηχανισμός της αντίδρασης αυτής εν μέρει έχει διερευνηθεί, η σταθεροποίηση του εδάφους προέρχεται από δύο κύριες διεργασίες:

α) στην πρώτη διεργασία λαμβάνει χώρα μία βασική ανταλλαγή ιόντων: τα ισχυρά και με θετικό φορτίο ιόντα ασβεστίου, αντικαθίστανται τα ασθενέστερα ιόντα του νατρίου, τα οποία βρίσκονται παραταγμένα στην επιφάνεια κάθε αργιλικού κρυστάλλου. Παράλληλα με αυτή την ανταλλαγή, πρόσθετα ιόντα ασβεστίου απορροφούνται μεταξύ των κρυστάλλων και αυξάνεται η πυκνότητά τους στο πλέγμα. Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι ένα έδαφος με χαμηλή ιοντο - ανταλλακτική ικανότητα και χαμηλή δυνατότητα μεταβολής όγκου.

β) κατά την δεύτερη διεργασία, ταυτόχρονα με την ανταλλαγή ιόντων σχηματίζεται ένα ζελέ τσιμεντοποίησης, το οποίο δένει τα μερίδια μεταξύ τους. Η ιδιότητα αυτή για την υδράσβεστο έχει αποδειχθεί εργαστηριακά σε διογκούμενα και μη διογκούμενα εδάφη.²

²<https://www.e-archimedes.gr/faq/item/5739->

Η ιπτάμενη τέφρα αποτελείται από σφαιρικά σωματίδια πυριτίου και αργιλίου αναμειγμένου με σίδηρο, οξειδία ασβεστίου και μαγνησίου και μικρά ποσοστά θείου και άνθρακα. Το ποσοστό οξειδίων ασβεστίου και μαγνησίου ποικίλει από 25% έως 35% και αυτό ακριβώς το τσιμεντοποιητικό στοιχείο, προσδίδει στο υλικό μία άριστη ιδιότητα για να χρησιμοποιηθεί ως σταθεροποιητής εδάφους (Israel, 1982). Τα αποτελέσματα που δίνει στη αύξηση της τιμής της ανεμπόδιστης θλίψης των αργιλικών και ιλυωδών εδαφών επεκτείνονται και στα κοκκώδη εδάφη, ιδιαίτερα αν χρησιμοποιηθεί σε μίγμα με ποσοστά υδρασβέστου. Ο Israel (1982) περιγράφει ότι το αποτέλεσμα είναι παρόμοιο με τη χρήση τσιμέντου. Τα Αμερικανικά Πρότυπα ASTM C-595 και C-618 (1977) περιγράφουν την ποζολάνη ως αργιλοπυριτικό υλικό το οποίο, ενώ περιέχει τσιμεντοποιητικά στοιχεία, δεν αντιδρά με το έδαφος. Εάν όμως αλεστεί και αναμιχθεί, με την βοήθεια της υγρασίας αντιδρούν τα οξειδία που περιέχει και τσιμεντοποιείται το έδαφος στο οποίο αναμειγνύεται.

Το τσιμέντο τύπου Portland ανακαλύφθηκε το 1824 από τον Αγγλο Joseph Aspdin. Ονομάστηκε έτσι διότι το χρώμα του ήταν όμοιο με αυτό του ασβεστόλιθου της νήσου Portland, κοντά στην Αγγλία. Η πρώτη εφαρμογή τσιμέντου τύπου Portland για σταθεροποίηση εδάφους αναφέρεται το 1904 στην περιοχή St. Louis (ΗΠΑ). Κατά τη διάρκεια του χειμώνα συνηθίζεται να αναμειγνύεται τσιμέντο με το χρώμα των δρόμων, ώστε να γίνεται εύκολη η κυκλοφορία των πεζών, των αλόγων και των αμαξών, από τις λάσπες. Επίσης, κατά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο οι μηχανικοί του στρατού των Η.Π.Α., χρησιμοποίησαν τσιμέντο για την σταθεροποίηση του εδάφους στη κατασκευή προχείρων στρατιωτικών αεροδρομίων, οδών και αποθηκών.

Τα προϊόντα της ενυδάτωσης του τσιμέντου τύπου Portland είναι ένυδρες ασβεστο-πυριτικές ενώσεις, ένυδρες ασβεστο-αλλουμινικές ενώσεις και ένυδρο ασβέστιο. Δηλαδή με την ενυδάτωση του τσιμέντου, παράγεται ένα σημαντικό ποσοστό ασβεστίου. Σε αυτό πιστεύεται, ότι οφείλεται η βασική ιδιότητα της αντίδρασης του τσιμέντου με την άργιλο και η τελική δράση του μειώνει το όριο υδαρότητας, τον δείκτη πλαστικότητας και την δυνατότητα μεταβολής όγκου, ενώ αντίστοιχα αυξάνεται το όριο γραμμικής συρρίκνωσης προς την μη ενεργή κατεύθυνση και η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη μεγαλώνει. Μετά το 1960 άρχισε ευρύτατα η εφαρμογή της βελτίωσης του εδάφους με τσιμέντο σε παγκόσμια κλίμακα. Η εφαρμογή συνίσταται κυρίως στη βελτίωση της βάσης και υπόβασης της οδοστρωσίας, σε περιοχές που παρατηρείται έλλειψη αδρανών, θραυστών ή ποταμίσιων υλικών.

Η γνώση για την χρήση του άλατος (NaCl) στην βελτίωση του εδάφους δεν είναι πρόσφατη. Ανασκόπηση σε παλαιά βιβλία φανερώνει ότι μερικούς αιώνες πριν, όταν κατά λάθος χυνόταν αλάτι στους δρόμους των Ρωμαίων είχε παρατηρηθεί ότι η επιφάνεια του δρόμου γινόταν σκληρότερη και οι τροχοί των κάρων δεν σήκωναν σκόνη.

Σε σύγκριση με τα συνήθη υλικά, η σταθεροποίηση με τσιμέντο παρουσιάζει γενικά τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- ✓ Η φέρουσα ικανότητα της σταθεροποιημένης στρώσης είναι σημαντικά μεγαλύτερη της αντίστοιχης στρώσης θραυστού υλικού που έχει σταθεροποιηθεί μηχανικά. Η σταθεροποιημένη στρώση παρουσιάζει σημαντική αντοχή σε θλίψη και αρκετή σε εφελκυσμό, γεγονός που προσδιορίζει σ' αυτή την ικανότητα μίας ομοιόμορφης κατανομής του φορτίου. Στην οδοποιία, η ομαλότερη αυτή κατανομή του φορτίου έχει ως συνέπεια η στρώση αυτή να συμπεριφέρεται σαν ημιεύκαμπτο οδόστρωμα, δηλαδή σαν τύπος μεταξύ των γνωστών εύκαμπτων και άκαμπτων απόσκυρόδεμα οδοστρωμάτων. Αποτέλεσμα της ιδιότητας αυτής είναι η σημαντική μείωση του απαιτούμενου πάχους της στρώσης. Έτσι μια συντηρητική παραδοχή σήμερα είναι ότι το μηχανικά στερεοποιημένο θραυστό υλικό μπορεί να αντικατασταθεί με στρώση σταθεροποιημένη με τσιμέντο, πάχους περίπου ίσου με το 75% ή 60 % του αντίστοιχου πάχους μηχανικά σταθεροποιημένης στρώσης.
- ✓ Η σταθεροποιημένη στρώση αποτελεί μία μονωτική ανθεκτική στρώση πάνω στο φυσικό έδαφος. Η στρώση αυτή παρουσιάζει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες, μικρότερη υδατοπερατότητα και μεγαλύτερη αντίσταση στις ογκομετρικές αλλαγές σε σχέση με μία στρώση από θραυστό υλικό.
- ✓ Μία σταθεροποιημένη στρώση έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από μία στρώση από θραυστό υλικό και αυτό γιατί το θραυστό υλικό είναι δυνατόν να διεισδύσει στο φυσικό έδαφος, με την παρέλευση του χρόνου και την επίδραση των φορτίων, μεταυτόχρονη άνοδο ασταθούς υλικού το οποίο επηρεάζεται καταστρεπτικά από τη νηγερασία και τον παγετό, ή να επιτρέψει την άνοδο υγρασίας προς την επιφάνεια διαμέσου των τριχοειδών.
- ✓ Τέλος η σταθεροποίηση με τσιμέντο προσφέρει μία οικονομική λύση σε πολλές περιπτώσεις, λόγω της δυνατότητας χρησιμοποίησης ευτελέστερου υλικού, που εμφανίζεται στην περιοχή του έργου ή μεταφέρεται από μικρές αποστάσεις και ακόμα επειδή το τσιμέντο είναι οικονομικότερος σταθεροποιητής σε σύγκριση με τους άλλους.

Επίσης, ανάλογα ανάλογα με την ποσότητα ύδατος που περιέχει, δηλαδή του ιξώδους, αλλά ανάλογα και με τη χρήση του μίγματος, το σταθεροποιημένο μίγμα εδάφους-τσιμέντου διακρίνεται στα εξής είδη:

1) Σταθεροποιημένο με τσιμέντο έδαφος. (Συμπυκνωμένο έδαφος-τσιμέντο ή έδαφος τσιμέντο).

Το ποσοστό του ύδατος είναι αυτό που χρειάζεται για την συμπύκνωση του μίγματος (βέλτιστη υγρασία) και την ενυδάτωση του τσιμέντου. Εφαρμογές σε βάσεις δρόμων και αεροδρομίων, σε κατασκευή χώρων στάθμευσης, θεμελίων αποθηκών ύδατος κλπ και γενικά εκεί όπου μπορούν να εργαστούν τα κατάλληλα μηχανήματα.

2) Βελτιωμένο έδαφος με τσιμέντο

Περιέχει τόσο τσιμέντο και ύδωρ όσο χρειάζεται για να βελτιωθούν οι ιδιότητες του εδάφους (π.χ. μείωση της πλαστικότητας, αύξηση της φέρουσας ικανότητας, αύξηση της αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη, αύξηση της αντοχής σε διάτμηση). Το ποσοστό του τσιμέντου και του ύδατος είναι μικρότερο της προηγούμενης κατηγορίας. Χρησιμοποιείται σε βάσεις, υποβάσεις και σε επιχώματα δρόμων.

3) Πλαστικό μίγμα εδάφους τσιμέντου

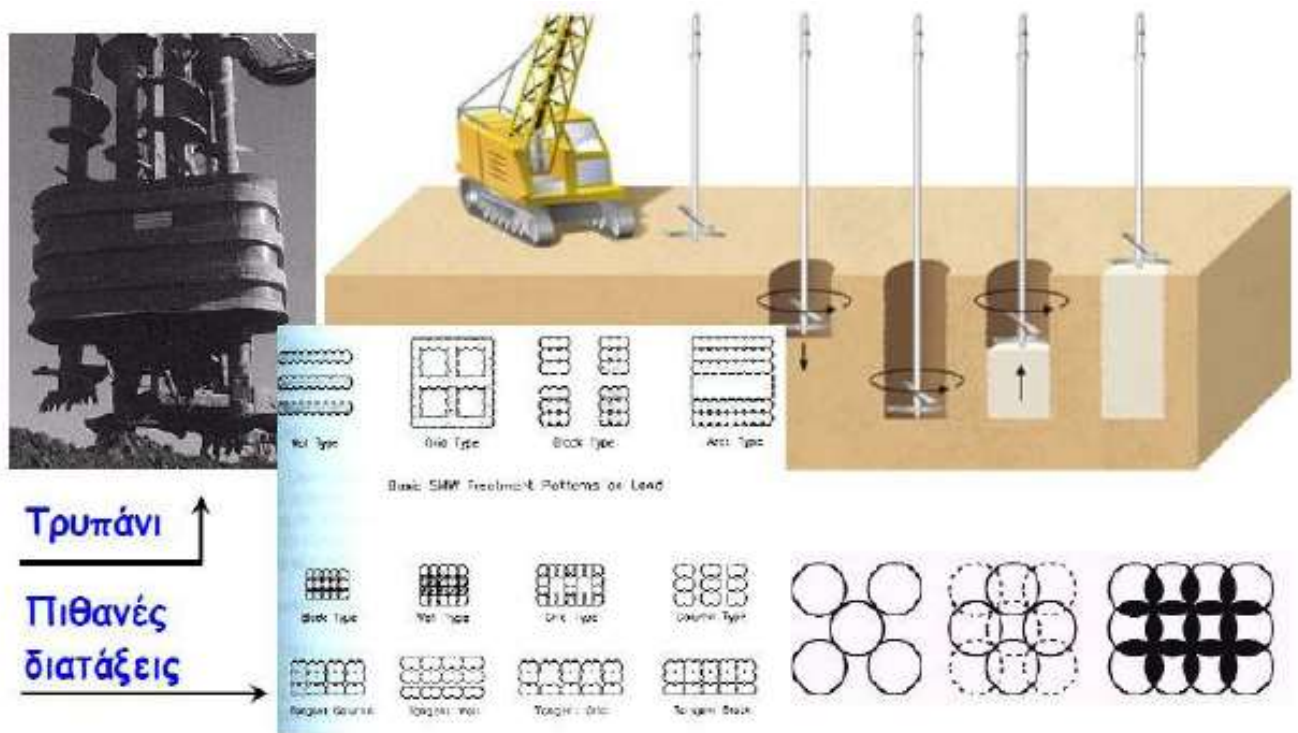
Περιέχει περισσότερο νερό και τσιμέντο από τις προηγούμενες κατηγορίες και γι' αυτό πριν τη σκλήρυνση του εμφανίζει μικρό ιξώδες. Χρησιμοποιείται για επιστρώσεις σε επιφάνειες που έχουν μεγάλες κλίσεις Π.χ. επιφάνειες αρδευτικών τάφρων ή εκεί που δεν μπορούν να εργαστούν τα κατάλληλα μηχανήματα.

4.3.Μηχανισμοί σταθεροποίησης εδάφους

4.3.1.Βαθιά ανάμειξη

Η μέθοδος συνίσταται στη διείδυση περιστροφικά εντός του εδάφους ειδικού στελέχους μέχρι το επιθυμητό βάθος, το οποίο κατά την ανάσυσή του περιστρέφεται και ανεβοκατεβαίνει, παροχετεύοντας στο έδαφος τσιμέντο ή υδράσβεστο, σε υγρή ή ξηρή μορφή, το οποίο αναμειγνύεται με το έδαφος διαμορφώνοντας έτσι κατακόρυφα στοιχεία μεγαλύτερης αντοχής.

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



Εικ. 22 Μέθοδος βαθιάς ανάμειξης



Εικ. 23 Παράδειγμα εδαφο-πασσάλων

4.3.2.Υποβάσεις δρόμων

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

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

Πιν. 2

4.3.3.Επικάλυψη πρανών με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

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

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



Εικ. 24 Εφαρμογή εκτοξευόμενου σκυροδέματος

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

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

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

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

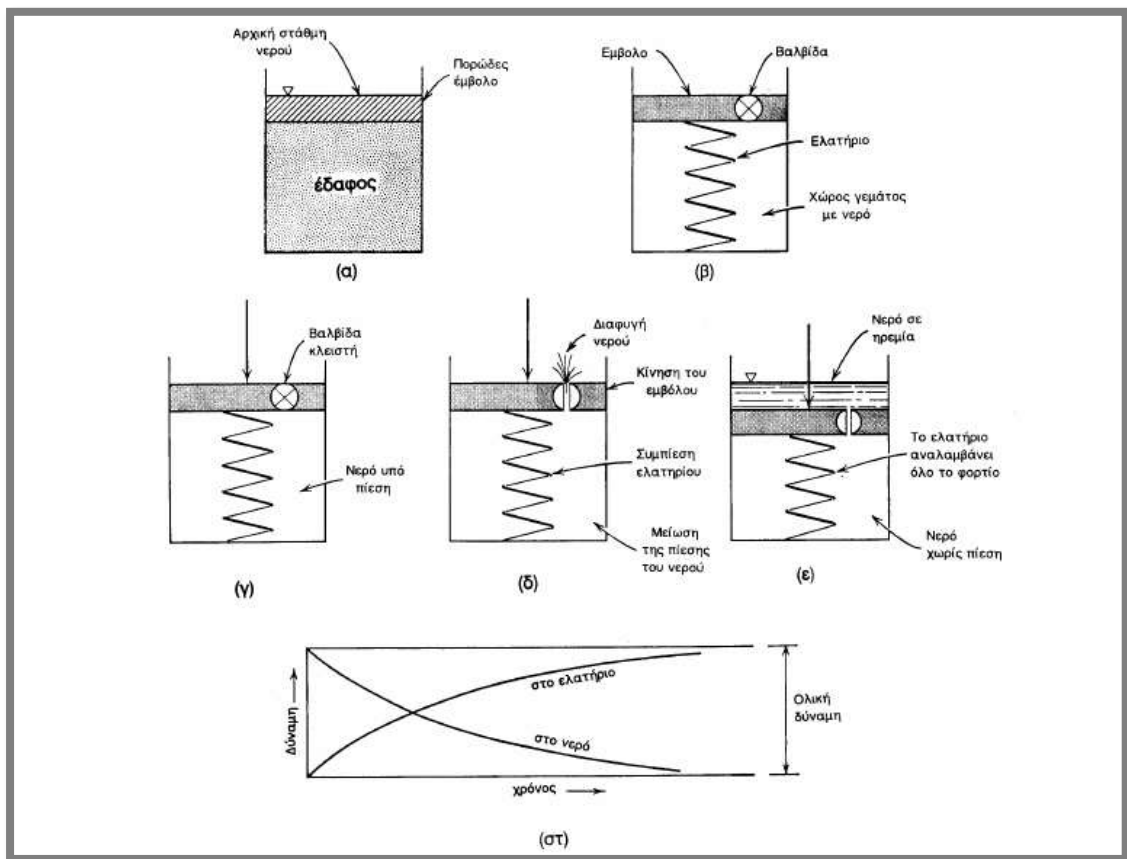


Εικ. 25 Σταθεροποίηση πρανών με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

5.Στερεοποίηση

5.1.Τι είναι η στερεοποίηση

Στερεοποίηση των εδαφικών υλικών ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο τα κορεσμένα εδάφη δεν παρουσιάζουν άμεση απόκριση (δηλαδή παραμόρφωση) στην επιβολή εξωτερικών φορτίων αλλά αντίθετα παραμορφώνονται επί αρκετό χρόνο μετά την επιβολή της φόρτισης. Τούτο συμβαίνει, επειδή οι παραμορφώσεις τους συνδέονται με ταυτόχρονη διαφυγή του νερού των πόρων, η οποία δεν μπορεί να συμβεί ακαριαία. Το φαινόμενο της στερεοποίησης οφείλεται στη μεγάλη διαφορά συμπίεστικότητας μεταξύ του εδαφικού σκελετού και του νερού των πόρων και ερμηνεύεται, ίσως, καλύτερα με το ακόλουθο μηχανικό ανάλογο (Εικ. 23):



Εικ. 26

Ένα δείγμα εδάφους τοποθετείται σε δοχείο με ανένδοτα και αδιαπέρατα τοιχώματα και καλύπτεται με άκαμπτο αλλά πορώδες έμβολο (Σχήμα α). Το

έδαφος είναι κορεσμένο με νερό που φθάνει μέχρι την άνω επιφάνεια του εμβόλου. Το βάρος του εμβόλου αναλαμβάνεται πλήρως από τον εδαφικό σκελετό, επειδή το έμβολο είναι πορώδες και, κατά συνέπεια, το νερό μπορεί να διαφύγει ελεύθερα διαμέσου του εμβόλου. Το σύστημα εδάφους-νερού-εμβόλου προσομοιάζεται με το μηχανικό ανάλογο που φαίνεται στο Σχήμα (β). Το δοχείο είναι γεμάτο με νερό, ο εδαφικός σκελετός έχει αντικατασταθεί με ένα μηχανικό ελατήριο, ενώ το έμβολο, που τώρα είναι αδιαπέρατο, διαθέτει βαλβίδα που μπορεί να ανοίγει και να κλείνει. Εάν, με τη βαλβίδα κλειστή, επιβληθεί μία δύναμη (ΔF) στο έμβολο (Σχήμα γ), τότε η δύναμη αναλαμβάνεται πλήρως από το νερό. Αυτό συμβαίνει, επειδή το νερό είναι πρακτικά ασυμπίεστο και συνεπώς αναλαμβάνει φορτίο με αμελητέα υποχώρηση του εμβόλου, ενώ το ελατήριο δεν αναλαμβάνει φορτίο, επειδή πρακτικά δεν έχει παραμορφωθεί (είναι γνωστό ότι τα ελατήρια αναλαμβάνουν φορτίο ανάλογο της συμπίεσής τους). Εάν, με το φορτίο επί του εμβόλου, ανοιχθεί η βαλβίδα (βλέπε Σχήμα δ), τότε το νερό, λόγω της υπερπίεσής του, θα τείνει να διαφύγει διαμέσου της βαλβίδας. Πράγματι, στην άνω πλευρά της βαλβίδας επικρατεί ατμοσφαιρική πίεση (μηδέν), ενώ στην κάτω πλευρά της βαλβίδας επικρατεί η υδατική υπερπίεση και η διαφορά αυτή προκαλεί ροή προς τα άνω διαμέσου της βαλβίδας. Η διαφυγή νερού διαμέσου της βαλβίδας έχει δύο κύρια χαρακτηριστικά:

1) Λόγω της μικρής διαμέτρου της οπής (βαλβίδας), η διαφυγή του νερού δεν συμβαίνει ακαριαία αλλά διαρκεί για κάποιο χρονικό διάστημα, το οποίο μάλιστα είναι τόσο μεγαλύτερο όσο μικρότερη είναι η διάμετρος της βαλβίδας.

2) Κατά τη διαφυγή του νερού διαμέσου της βαλβίδας, ο όγκος του νερού που βρίσκεται κάτω από το έμβολο μειώνεται και το έμβολο υποχωρεί. Με την υποχώρηση του εμβόλου συμπιέζεται το ελατήριο, που κατ' αυτόν τον τρόπο αναλαμβάνει φορτίο. Ειδικότερα, με την πάροδο του χρόνου και τη συνεχιζόμενη διαφυγή νερού διαμέσου της βαλβίδας, το ελατήριο συνεχίζει να συμπιέζεται και να αναλαμβάνει διαρκώς μεγαλύτερο φορτίο. Εάν $\Delta F'$ είναι το τμήμα του συνολικού φορτίου ΔF που αναλαμβάνεται από το ελατήριο σε κάποια χρονική στιγμή, τότε το υπόλοιπο φορτίο ($\Delta F - \Delta F'$) αναλαμβάνεται από το νερό με την ανάπτυξη υδατικής υπερπίεσης:

$$\Delta u = (\Delta F - \Delta F') A$$

Με την πάροδο του χρόνου και τη συνεχή αύξηση του φορτίου $\Delta F'$ που αναλαμβάνεται από το ελατήριο, η υπερπίεση πόρων διαρκώς μειώνεται, δεδομένου ότι το συνολικό φορτίο ΔF παραμένει σταθερό. Η βαθμιαία διαφυγή νερού διαμέσου της βαλβίδας θα συνεχισθεί έως ότου διαφύγει αρκετή ποσότητα νερού, ώστε το ελατήριο να συμπιεσθεί επαρκώς και να αναλάβει το σύνολο του εξωτερικώς επιβεβλημένου φορτίου (δηλαδή $\Delta F' = \Delta F$), οπότε $\Delta u = 0$ και το νερό παύει να διαφεύγει διαμέσου της βαλβίδας επειδή δεν διαθέτει πλέον την απαραίτητη υπερπίεση (Σχήμα 5.3ε). Η χρονική εξέλιξη της υδατικής υπερπίεσης και της δύναμης στο ελατήριο φαίνονται κατά ποιοτική προσέγγιση στο Σχήμα στ.

Η αναλογία της λειτουργίας του ανωτέρω μηχανικού συστήματος με τα εδαφικά υλικά είναι η εξής: το μηχανικό ελατήριο αντιστοιχεί στον εδαφικό σκελετό, ο οποίος (όπως και το ελατήριο) για να αναλάβει φορτίο (με τη μορφή ενεργών τάσεων) πρέπει να παραμορφωθεί. Το νερό στο εσωτερικό του δοχείου αντιστοιχεί στο νερό που πληροί τους εδαφικούς πόρους και, ως γνωστόν, έχει συμπίεστικότητα πολύ μικρότερη από τη συμπίεστικότητα του εδαφικού σκελετού. Τέλος, η βαλβίδα, που επιτρέπει ή παρεμποδίζει τη διαφυγή του νερού, αντιστοιχεί στους πόρους του εδάφους, οι οποίοι επιτρέπουν μεν τη διέοδο του νερού αλλά με κάποια χρονική υστέρηση λόγω του μικρού τους μεγέθους. Είναι προφανές ότι όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των εδαφικών πόρων (όσο δηλαδή πιο λεπτόκοκκο είναι το εδαφικό υλικό), τόσο περισσότερο παρεμποδίζεται η διέοδος του νερού και καθυστερεί η διαφυγή του, με συνέπεια να καθυστερεί και η συμπίεση του εδάφους.

Το φαινόμενο της βαθμιαίας διαφυγής του νερού των πόρων και συνεπώς της βαθμιαίας συμπίεσης του εδάφους κατά την επιβολή εξωτερικών φορτίων ονομάζεται **στερεοποίηση**. Κατά την εξέλιξη του φαινομένου της στερεοποίησης τα εξωτερικώς επιβεβλημένα φορτία, που αρχικώς αναλαμβάνονται εξ' ολοκλήρου από την υγραφή με τη μορφή υδατικών υπερπίεσεων, βαθμιαίως αναλαμβάνονται από τον εδαφικό σκελετό με την αύξηση των ενεργών τάσεων, την ταυτόχρονη μείωση των υδατικών υπερπίεσεων και τη συνεχιζόμενη παραμόρφωση του εδάφους.

(Καββαδάς, 2006)

Η λογική της στερεοποίησης ως μηχανισμού βελτίωσης του εδάφους, είναι, ουσιαστικά, η επιτάχυνση του φαινομένου της στερεοποίησης το οποίο θα συμβεί ούτως ή άλλως με την πάροδο του χρόνου. Έτσι, αποφεύγεται η ανάπτυξη των καθιζήσεων με το χρόνο, αφού οι καθιζήσεις λόγω στερεοποίησης θα ολοκληρωθούν (σχεδόν) με την επιτάχυνση του φαινομένου.

5.2.Μηχανισμοί στερεοποίησης

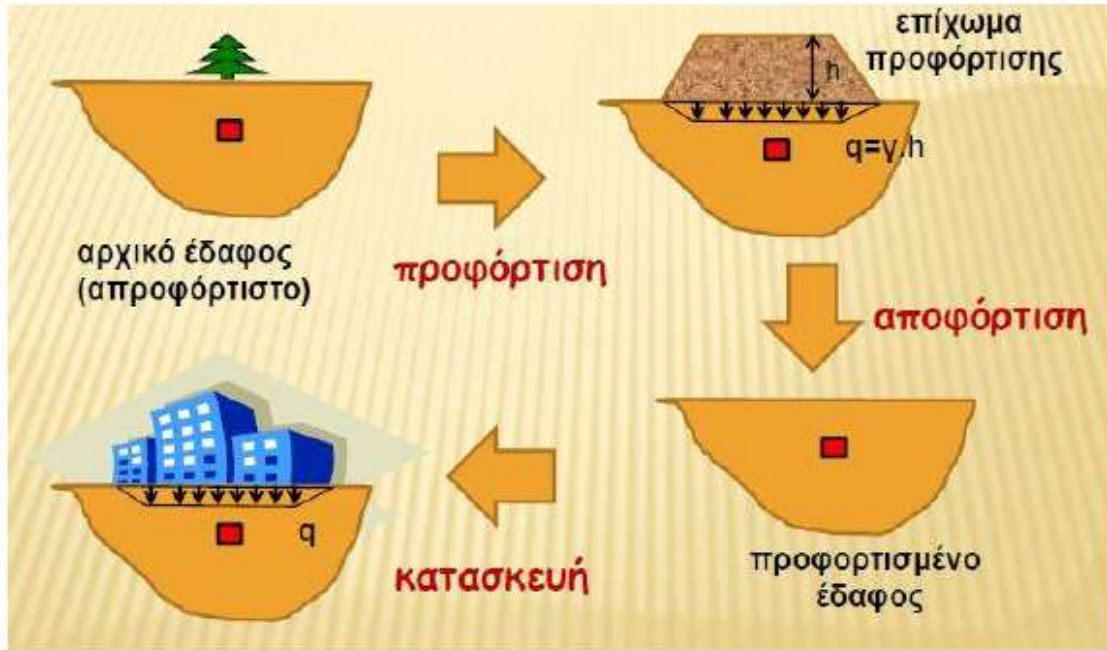
5.2.1.Προφόρτιση

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

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

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

Σε περιορισμένες εκτάσεις, η προφόρτιση μπορεί να εφαρμοστεί με την κατασκευή δεξαμενής και την πλήρωσή της με νερό. Σε γραμμικά έργα μικρού πλάτους η προφόρτιση μπορεί να επιτευχθεί με την τοποθέτηση προκατασκευασμένων στοιχείων. Επίσης, εναλλακτικοί τρόποι προφόρτισης αποτελούν η κατάλληλη άντληση και ο υποβιβασμός της στάθμης του υπογείου νερού, καθώς και η επιφανειακή διαβροχή στεγνών χαλαρών αποθέσεων (Πλάτης, 2013).

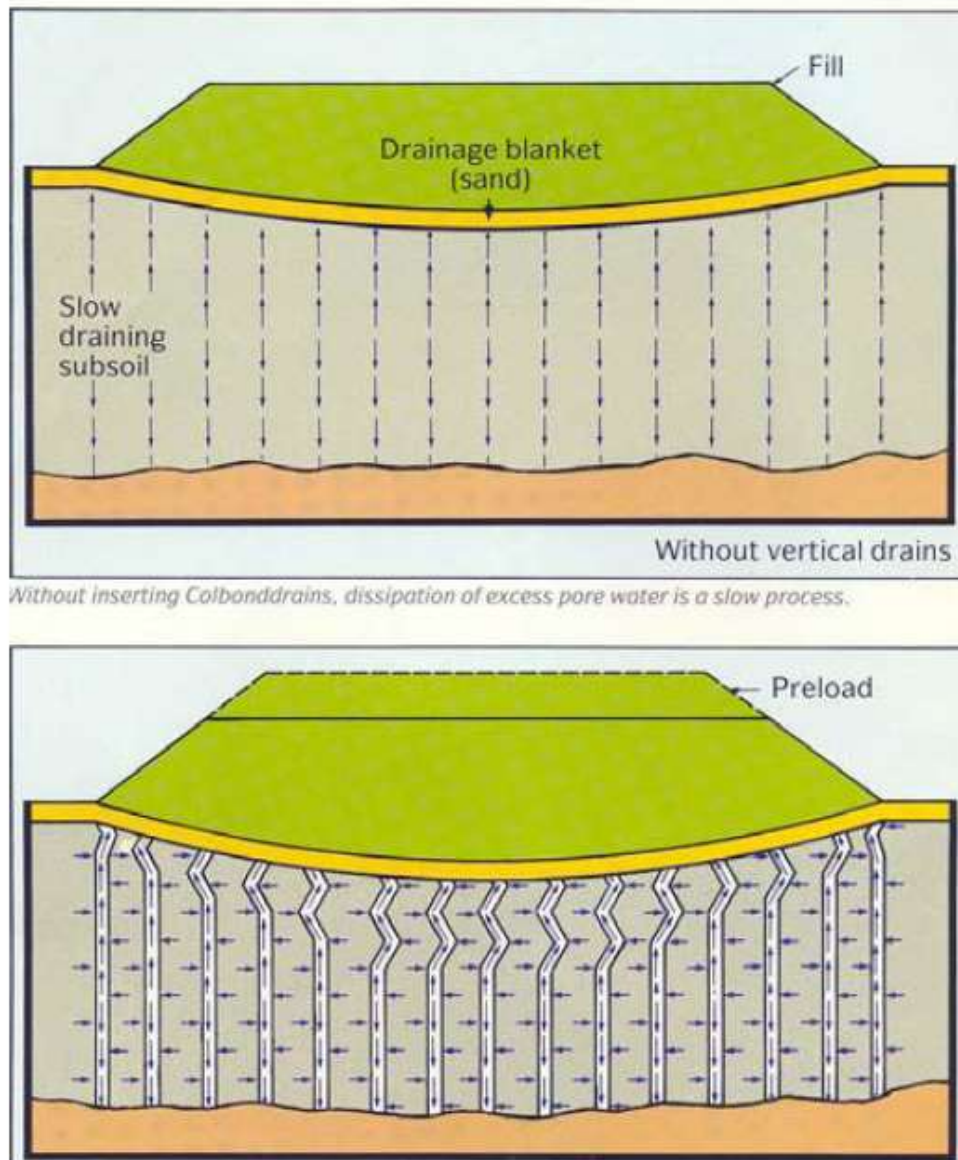


Εικ. 27 Προφόρτιση – Ανάπτυξη μεθόδου

5.2.1.1. Προφόρτιση με αμμοστραγγιστήρια

«Καθίζηση» δεν σημαίνει τίποτα περισσότερο από μείωση του όγκου κενών του εδάφους. Στην περίπτωση κορεσμένου εδάφους, καθίζηση μπορεί να προκύψει μόνο με την απομάκρυνση του νερού που βρίσκεται μέσα στους πόρους του. Λαμβάνοντας υπόψη την πολύ χαμηλή διαπερατότητα των αργιλικών εδαφών αντλαμβάνεται κανείς ότι ο χρόνος που απαιτείται για να στραγγίσει το νερό από τους πόρους του εδάφους και να ολοκληρωθεί το φαινόμενο της στερεοποίησης μπορεί να είναι πολύ μεγάλος (ακόμα και δεκαετίες). Ο χρόνος αυτός είναι ανάλογος του τετραγώνου της απόστασης που πρέπει να διανύσει το νερό για να φτάσει σε ένα ελεύθερα στραγγιζόμενο στρώμα (π.χ. ένα πολύ εκτεταμένο στρώμα άμμου ή στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους). Κατά συνέπεια, ένας τρόπος να μειωθεί δραστικά ο απαιτούμενος χρόνος ολοκλήρωσης της στερεοποίησης (άρα και των καθιζήσεων που οφείλονται σε αυτήν), είναι η μείωση του μήκους της διαδρομής που θα πρέπει να διανύσει το νερό για να απομακρυνθεί από τους πόρους του εδάφους. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί ότι τα περισσότερα εδάφη έχουν μεγαλύτερη διαπερατότητα κατά την οριζόντια διεύθυνση από ότι κατά την κατακόρυφη (συνήθως 2-5 φορές) λόγω της στρωσιγένειας που εμφανίζουν και της παρουσίας πολλών λεπτών ενστρώσεων ιλύος ή λεπτής άμμου. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο καλύτερος τρόπος για να μειωθεί ο χρόνος στερεοποίησης είναι να δοθεί η δυνατότητα στο νερό να

αποστραγγίζει οριζόντια και σε μικρή απόσταση. Αυτό επιτυγχάνεται πολύ αποτελεσματικά με την τοποθέτηση εντός του εδάφους κατακόρυφων στραγγιστηρίων σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, τα οποία επικοινωνούν με ένα οριζόντιο στρώμα μεγάλης διαπερατότητας (π.χ. ένα κοκκώδες στρώμα στην επιφάνεια του εδάφους, κάτω από το επίχωμα προφόρτισης). Έτσι, το νερό των πόρων ρέει οριζόντια προς το πλησιέστερο στραγγιστήριο και από εκεί κατακόρυφα προς τη στρώση αποστράγγισης.



Without inserting Coibondrains, dissipation of excess pore water is a slow process.

Εικ. 28 Προφόρτιση με αμμοστραγγιστήρια

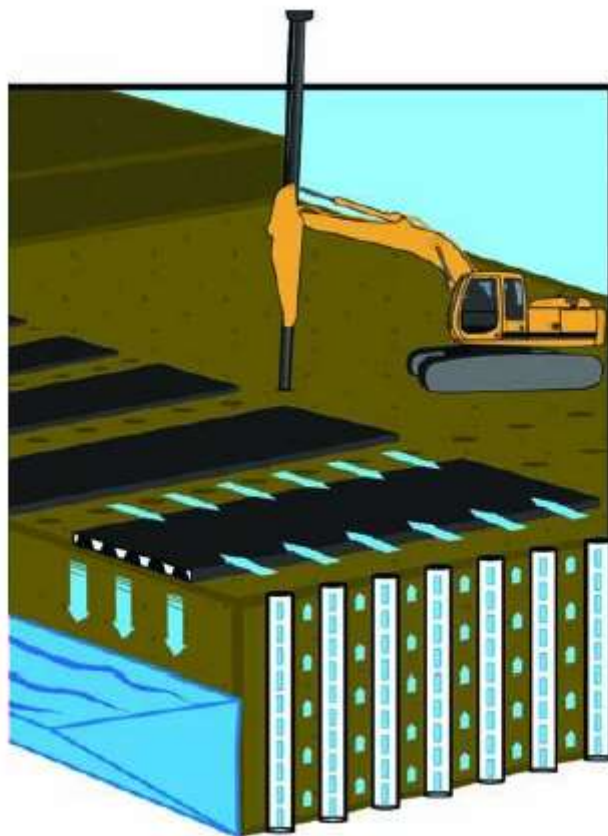
Η μέθοδος εφαρμόζεται σε λεπτόκοκκα αργιλικά εδάφη, στα οποία η καθίζηση από δευτερεύουσα στερεοποίηση δεν είναι σημαντική. Τα στραγγιστήρια μπορεί να αποτελούνται είτε από αμμοπασσάλους ή χαλικοπασσάλους με συνήθη διάμετρο 0,5-1,0 m είτε από τα γεωσύνθετα στραγγιστήρια μορφής λωρίδας με σύνηθες πλάτος 100mm. Τα τελευταία προτιμώνται λόγω των ακόλουθων πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν:

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



Εικ. 29 Τοποθέτηση γεωσύνθετων στραγγιστηρίων

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



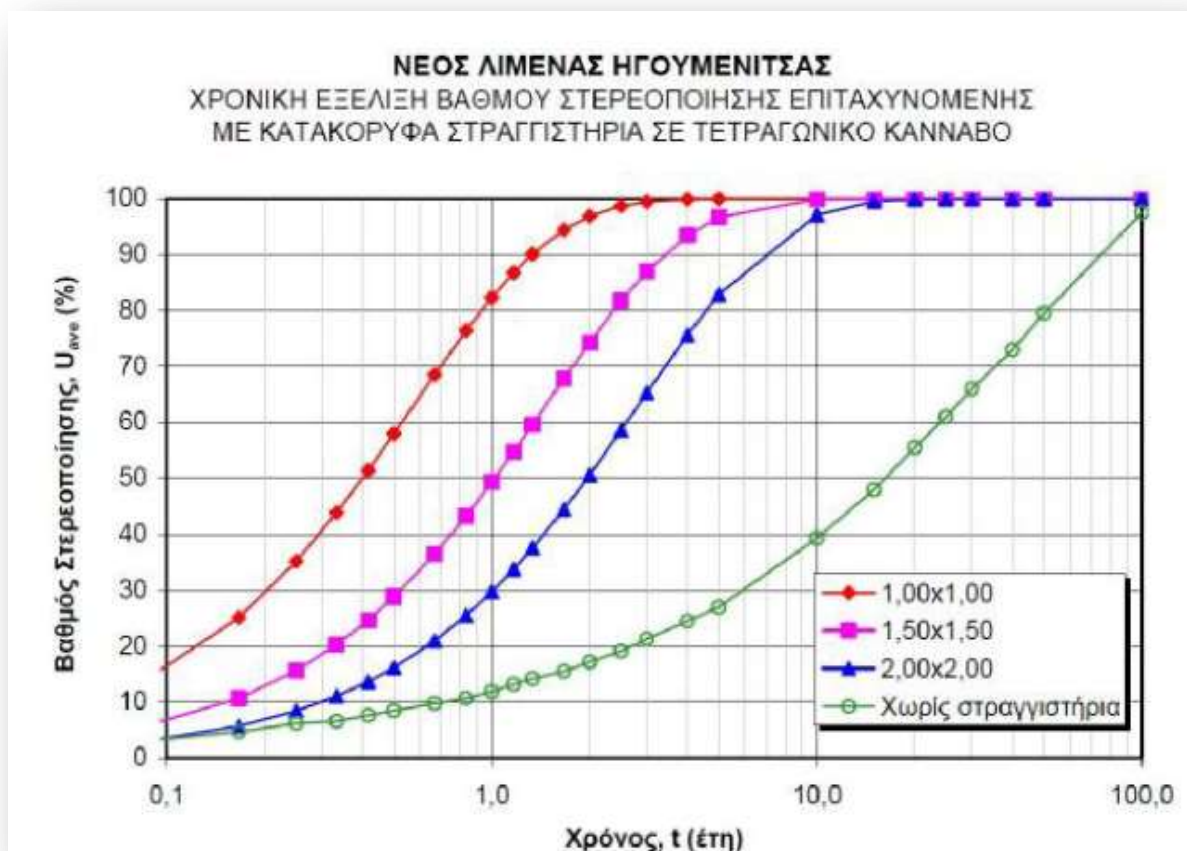
Εικ. 30 Λειτουργία κατακόρυφων σύνθετων στραγγιστηρίων

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

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται μια τυπική περίπτωση της χρονικής εξέλιξης της στερεοποίησης στο νέο λιμένα Ηγουμενίτσας, τόσο χωρίς στραγγιστήριαόσο και με στραγγιστήρια σε τετραγωνικό κάρναβο πλευράς 1,00x1,00-1,50x1,50-2,00x2,00 m. Παρατηρούμε την ιδιαίτερα σημαντική μείωση

του χρόνου που επιτυγχάνεται για την ολοκλήρωση του μεγαλύτερου μέρους του φαινομένου της στερεοποίησης με τη χρήση των στραγγιστηρίων, καθώς και τη σοβαρή επιρροή του καννάβου επί του χρόνου αυτού. Πιο συγκεκριμένα, προκειμένου να ολοκληρωθεί το 80% της στερεοποίησης απαιτούνται:

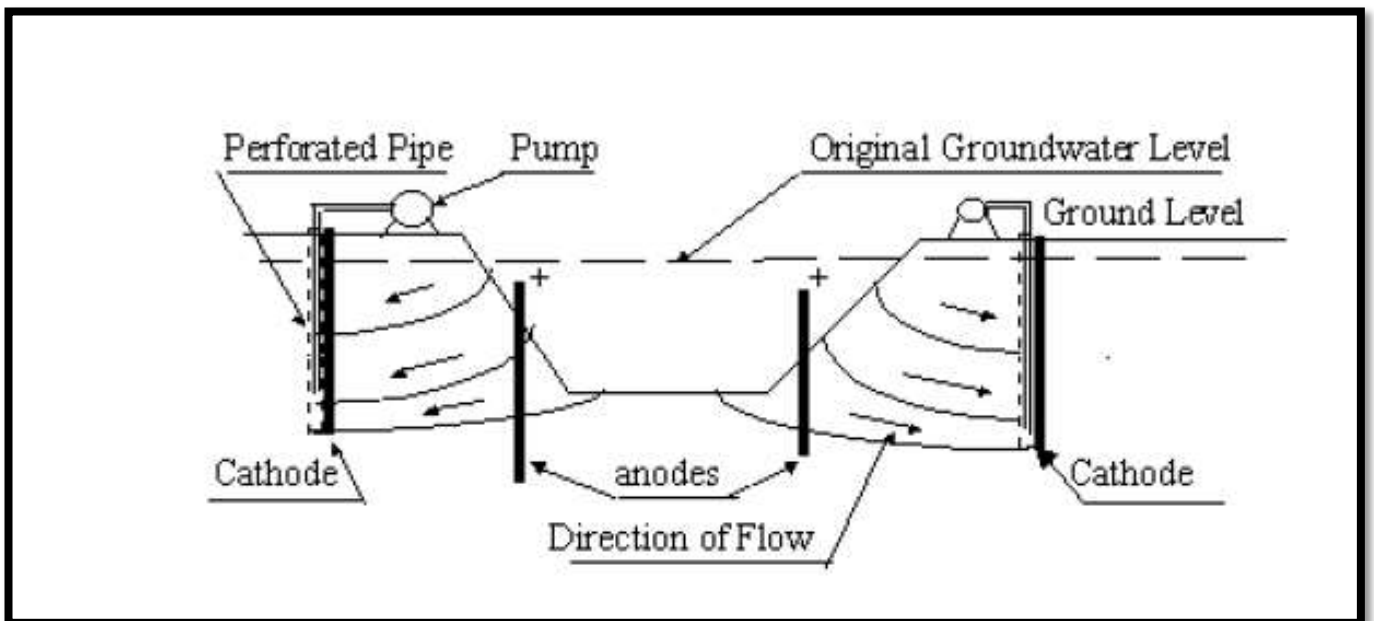
- 50 χρόνια περίπου χωρίς στραγγιστήρια
- 4,5 χρόνια με στραγγιστήρια σε καννάβο 2,00x2,00 m
- 1 χρόνος περίπου με στραγγιστήρια σε καννάβο 1,00x1,00 m



Διαγρ. 4 Χρονική εξέλιξη στερεοποίησης με και χωρίς στραγγιστήρια

5.2.2. Ηλεκτρική όσμωση

Η μέθοδος συνίσταται στη δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλεί τη ροή του υπογείου νερού προς την κάθοδο. Αν μια άνοδος μπηχθεί στο έδαφος πλησίον του ορίου της εκσκαφής και η κάθοδος τοποθετηθεί αρκετά μακριά από αυτήν, το υπόγειο νερό ρέει από την εκσκαφή μακριά. Κοντά στις καθόδους τοποθετούνται διάτρητοι σιδερένιοι σωλήνες που συγκεντρώνουν το νερό, το οποίο διαρρέει από την εκσκαφή προς τον σωλήνα και από εκεί απομακρύνεται με άντληση (Τσότσος, 1987).



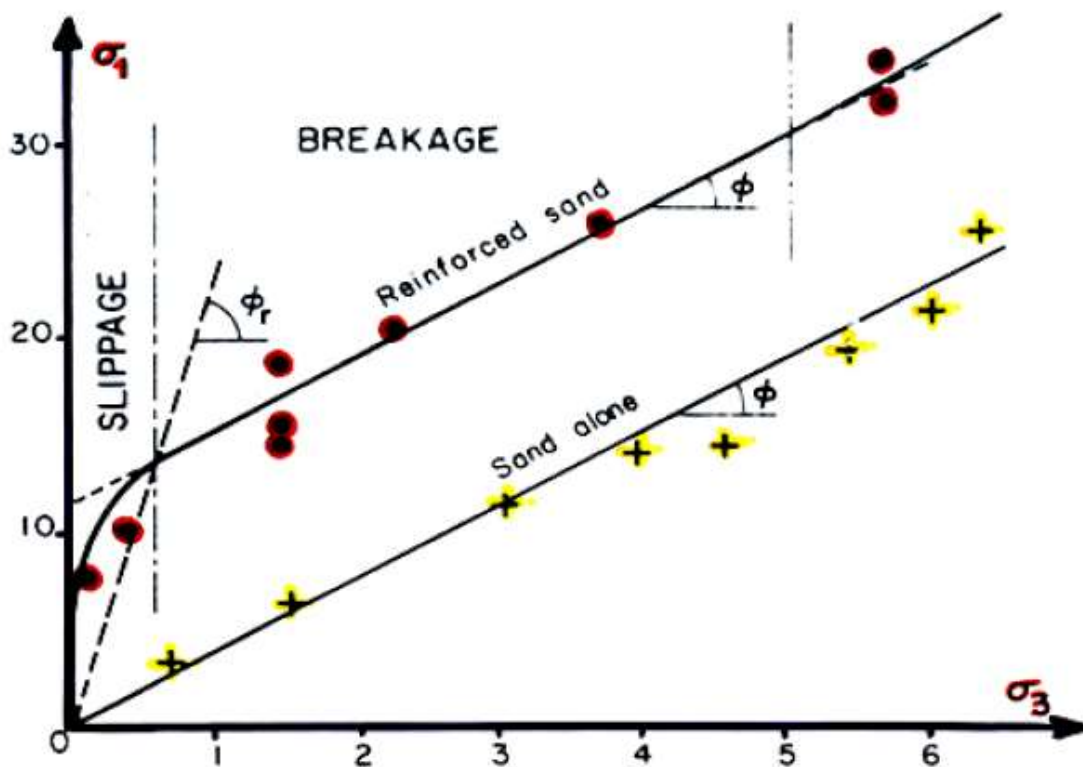
Εικ. 31 Εφαρμογή της ηλεκτρικής όσμωσης

6. Όπλιση

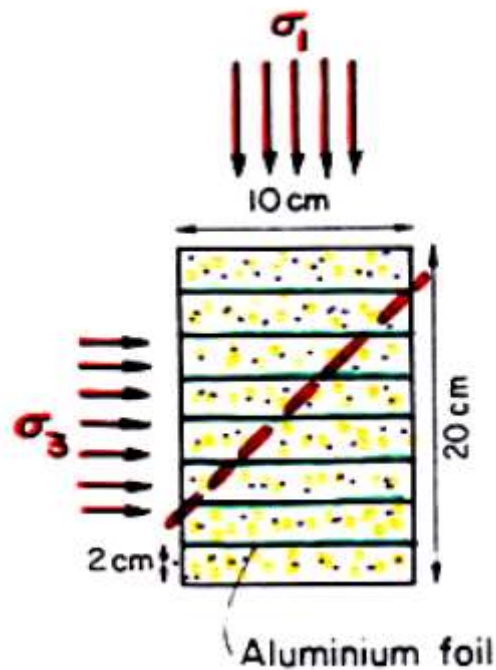
6.1. Τι είναι η όπλιση του εδάφους

Η λογική της όπλισης του εδάφους προέρχεται από το οπλισμένο σκυρόδεμα. Το οπλισμένο σκυρόδεμα ονομάζεται έτσι γιατί φέρει οπλισμό, δηλαδή χαλύβδινες ράβδους που αυξάνουν την αντοχή του σε κάμψη, θλίψη όπως και την πλαστιμότητά του.

Ουσιαστικά, ως όπλιση εδάφους νοείται οποιαδήποτε προσθήκη εδαφικού ή/και μη εδαφικού υλικού σε αυτό, με στόχο τη βελτίωση των μηχανικών του χαρακτηριστικών και γενικά την ενίσχυσή του.



Διαγρ. 5



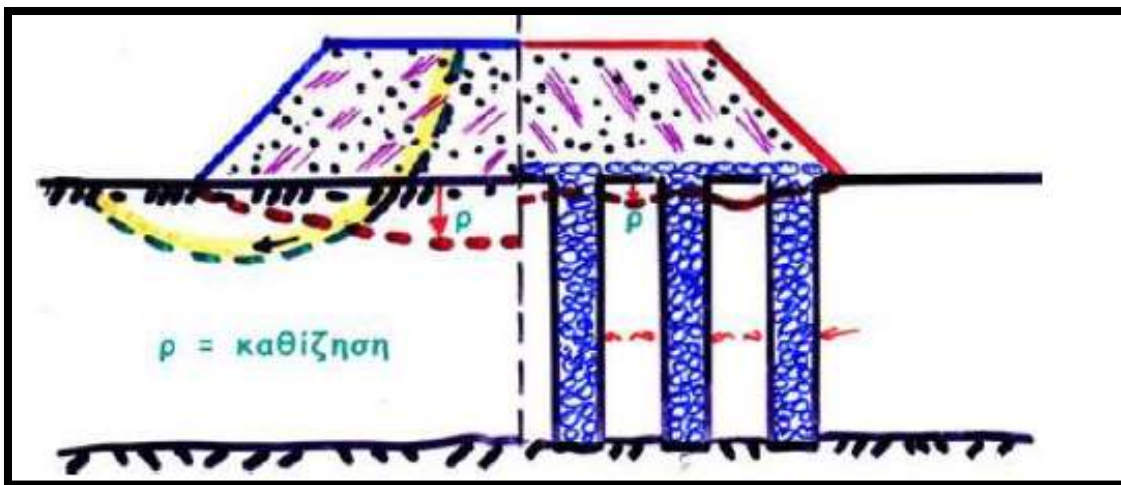
Σχήμα 1

Στο Διαγρ. 1 παρουσιάζεται η συμπεριφορά του δοκιμίου του Σχήματος 1 κάτω από διαξονική φόρτιση (σ_1 και σ_3). Όπως φαίνεται, η αντοχή της οπλισμένης με φύλλα αλουμινίου άμμου είναι κατά πολύ υψηλότερη από αυτήν που θα είχε η άμμος χωρίς τον οπλισμό. Εκτός αυτού, η οπλισμένη άμμος παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά, από την άποψη ότι δεν είναι τόσο ψαθυρή σαν υλικό (καμπύλη στην αρχή του διαγράμματος). Θα έλεγε κανείς ότι είναι σαν ένας κλάδος «κράτυνσης» που συνήθως παρουσιάζουν τα μεταλλικά υλικά στα διαγράμματα εφελκυσμού. Επομένως, τα φύλλα αλουμινίου προσδίδουν μια ολκιμότητα σε ένα κατά τα άλλα αμιγώς ψαθυρό υλικό, πέρα από την απλή αύξηση της αντοχής τους (Κούκης & Σαμπατάκης, 2002).

6.2.Μηχανισμοί όπλισης εδάφους

6.2.1.Λιθοπάσσαλοι ή χαλικοπάσσαλοι

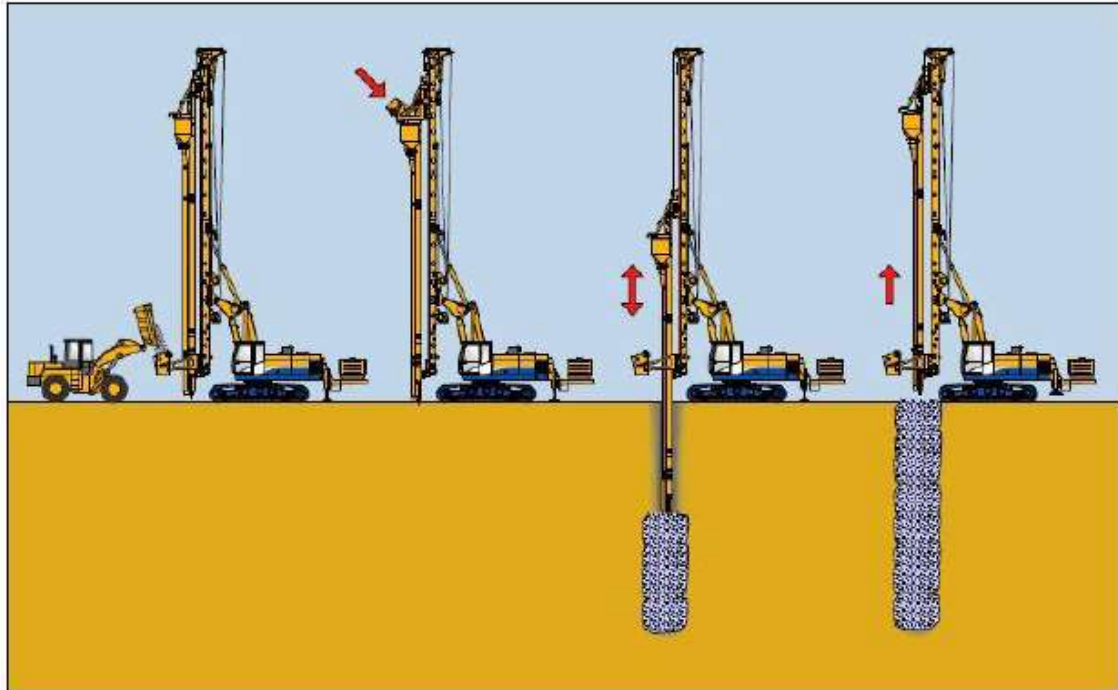
Η μέθοδος συνίσταται στη διάνοιξη κυκλικών οπών στο προβληματικό έδαφος με μήκος σημαντικό και την πλήρωσή τους με χάλικες ή με θραυστό υλικό λατομείου. Σε αυτήν την περίπτωση, κρίσιμη είναι η αντοχή του ίδιου του υλικού του πασσάλου και όχι η μεταφορά του φορτίου από τους πασσάλους στο έδαφος.



Εικ. 32 Χαλικοπάσσαλοι

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

Η μέθοδος περιλαμβάνει την έμπηξη δονητικής τορπίλης, με τη βοήθεια υπό πίεση νερού ή αέρα στην αιχμή της, μέχρι το επιθυμητό βάθος και στην εν συνεχεία ανάσυσή της κατά βήματα και πλήρωση του δημιουργούμενου διατρήματος με θραυστά χαλίκια κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης. Η τροφοδοσία των χαλικιών γίνεται είτε από την αιχμή της βολίδας (bottomfeeddrymethod) είτε από την επιφάνεια με φορτωτή (topfeedwetmethod). Κατά την ανάσυρση γίνεται σταδιακή συμπίκνωση των χαλικιών του χαλικοπασσάλου με μικρές διαδοχικές δονητικές επανεμπηξείς. Η διάμετρος που επιτυγχάνεται εξαρτάται από το χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό και τη φύση και αντοχή του εδάφους, αλλά γενικά κυμαίνεται μεταξύ 0,70-1,00m.



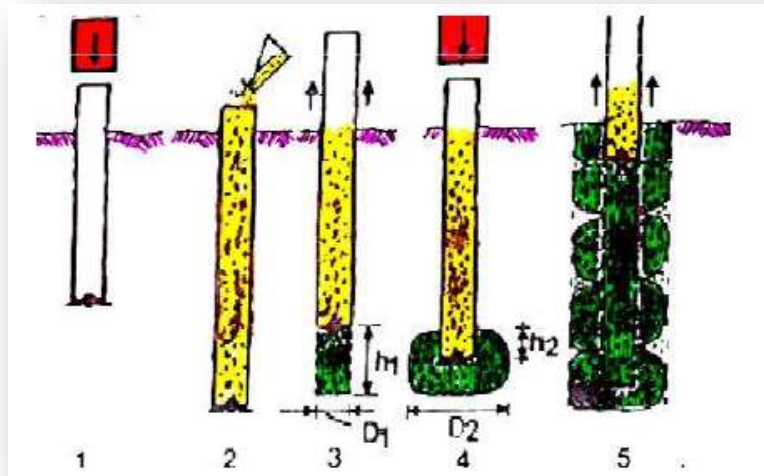
Εκ. 31 Botom feed dry method



Εκ. 33 Topfeed wet method

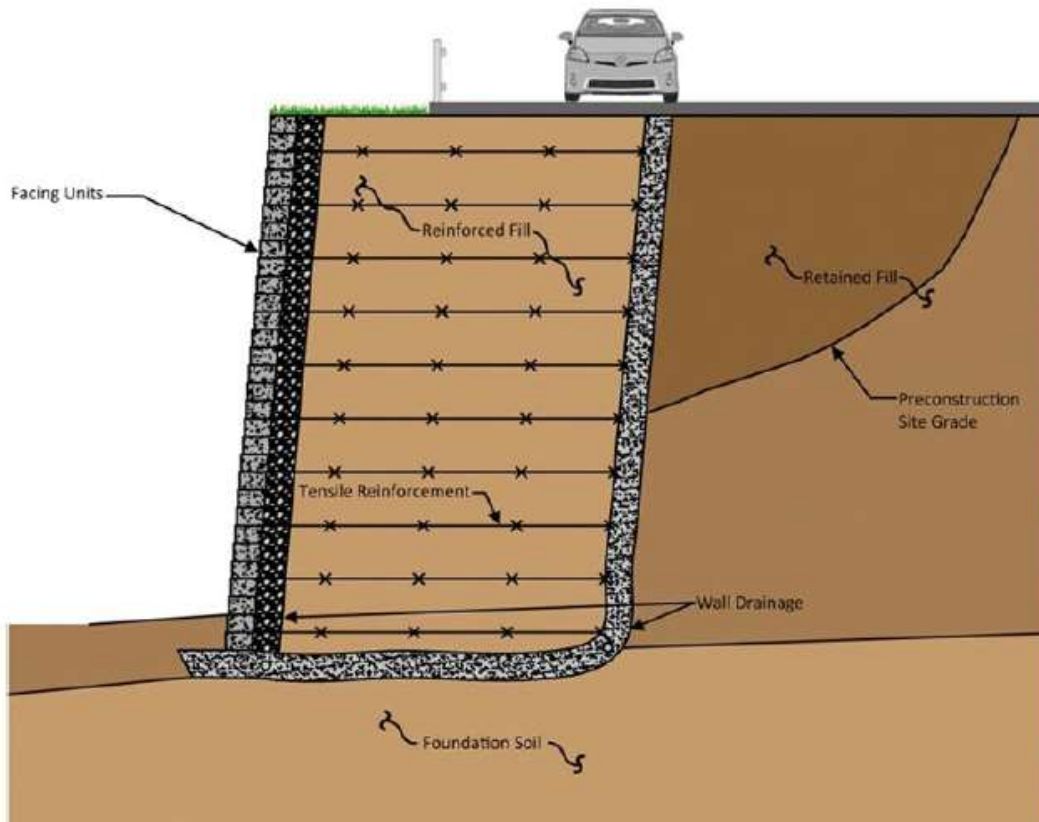
Η κατασκευή χαλικοπασσάλων με την «ελληνική» μέθοδο ή μέθοδο έμπηξης κλειστού σωλήνα εφαρμόζεται στα ίδια εδάφη που εφαρμόζεται και η βαθιά δονητική αντικατάσταση και περιλαμβάνει τις εξής φάσεις εργασιών:

1. Έμπηξη μέσα στο έδαφος ενός άκαμπτου χαλύβδινου σωλήνα εξωτερικής διαμέτρου κατ' ελάχιστο 600mm και πωματισμένου προσωρινά στο κάτω άκρο με ειδικό πώμα. Η τοποθέτηση του σωλήνα γίνεται είτε δονητικά είτε κρουστικά, με κατάλληλο δονητή ή σφυρί. Το πωμάτισμα επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός αρθρωτά συνδεδεμένου και ανοιγόμενου πώματος (κλαπέ), κωνικού ή επίπεδου σχήματος, αποτελούμενο από ένα ή περισσότερα τμήματα, που τοποθετείται μόνιμα στο κάτω άκρο του σωλήνα έμπηξης.
2. Ολοκλήρωση της έμπηξης (μέχρι την τελική στάθμη) και πλήρωση του εσωτερικού του σωλήνα με κοκκώδες υλικό, με τη βοήθεια χοάνης που τοποθετείται στο άνω άκρο του σωλήνα.
3. Ελαφρά ανύψωση του σωλήνα σε προκαθορισμένο τμήμα $h_1 = H/n$, όπου H το συνολικό μήκος έμπηξης και n ακέραιος αριθμός, τέτοιος ώστε η τιμή του κλάσματος H/n να μην υπερβαίνει τα 1,25-1,75 m, γιατί διαφορετικά δεν γίνεται επαρκής συμπύκνωση ή και διεύρυνση. Η ανύψωση στοχεύει στο να ανοίξει το πώμα στην αιχμή του σωλήνα και το κοκκώδες υλικό να πληρώσει το αντίστοιχο τμήμα του διατρήματος, ερχόμενο σε άμεση επαφή με το έδαφος.
4. Στη συνέχεια, λειτουργεί ξανά ο δονητής (ή το σφυρί έμπηξης) προκαλώντας μετατόπιση του σωλήνα προς τα κάτω κατά $h_2 = H/2n$, ούτως ώστε το πώμα να ξανακλείσει. Με την επανέμπηξη του σωλήνα συμπυκνώνεται το κοκκώδες υλικό και διευρύνεται συγχρόνως η διάμετρος του χαλικοπασσάλου από D_1 σε D_2 . Το μήκος ανύψωσης του σωλήνα θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μην υπάρχουν καταπτώσεις των τοιχωμάτων της οπής που μένει χωρίς επένδυση.
5. Εκτελούνται διαδοχικές ανυψώσεις και επανεμπήξεις του σωλήνα, έως ότου γίνει πλήρης ανύψωση του σωλήνα, πλήρωση του διατρήματος του σωλήνα με κοκκώδες υλικό και συμπύκνωσή του (Πλάτης, 2013).



Εικ. 34 «Ελληνική» μέθοδος

6.2.2.Οπλισμένο έδαφος



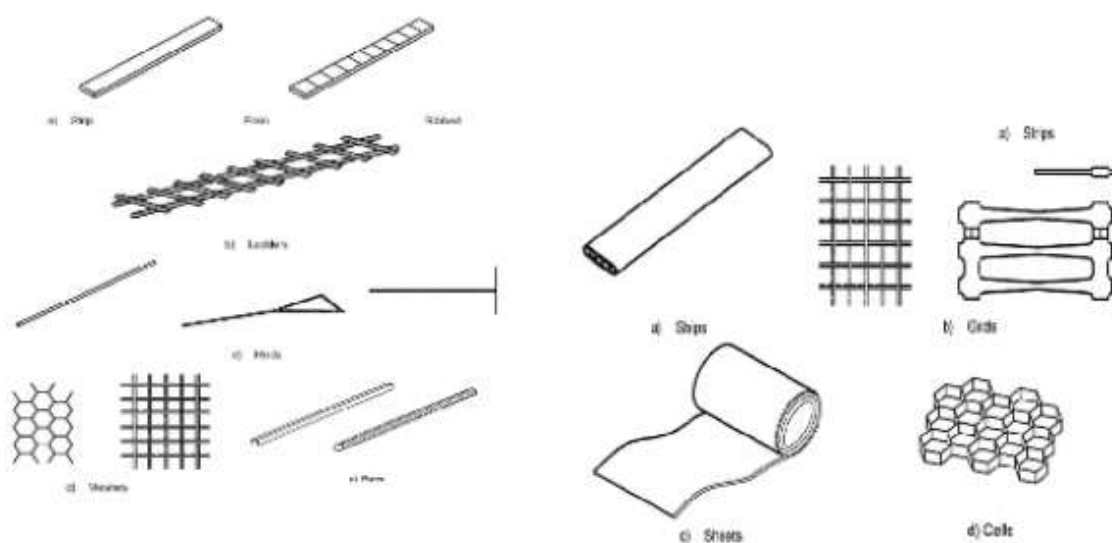
Εικ. 35 Τοίχος αντιστήριξης από οπλισμένη γη

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

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

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

Τα στοιχεία οπλισμού είναι κατασκευασμένα από γαλβανισμένο χάλυβα, ή συνθετικούς τάπητες, με τυπικές οριζόντιες στρώσεις, συνήθως ανά 80cm (Εικ. 34).



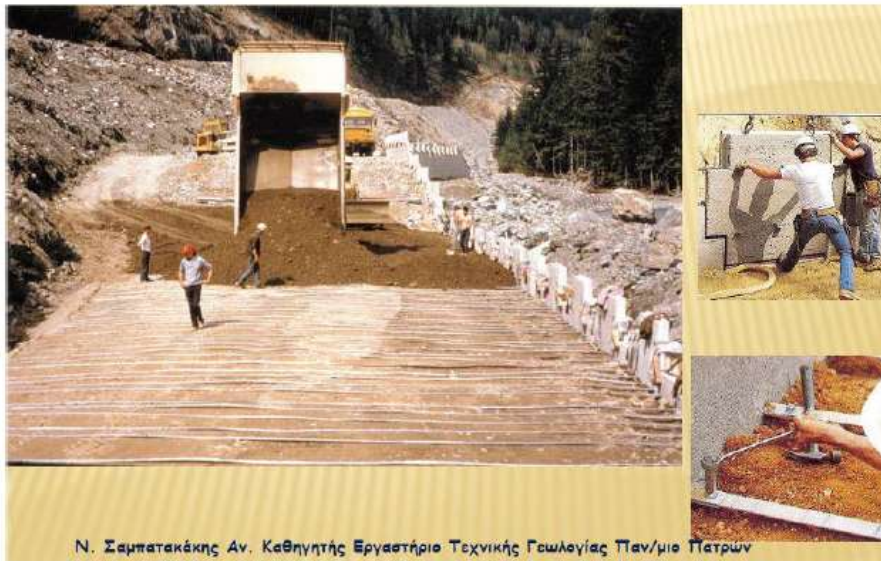
Εικ. 36 Στοιχεία οπλισμού

Για παράδειγμα, τα στοιχεία της πρόσοψης στην Εικ. 35 είναι κατασκευασμένα από σκυρόδεμα, και διαχωρίζονται με αρμούς, προσφέροντας ευελιξία, που είναι και ένας από τους καθοριστικούς παράγοντες για τη χρήση της οπλισμένης γης.



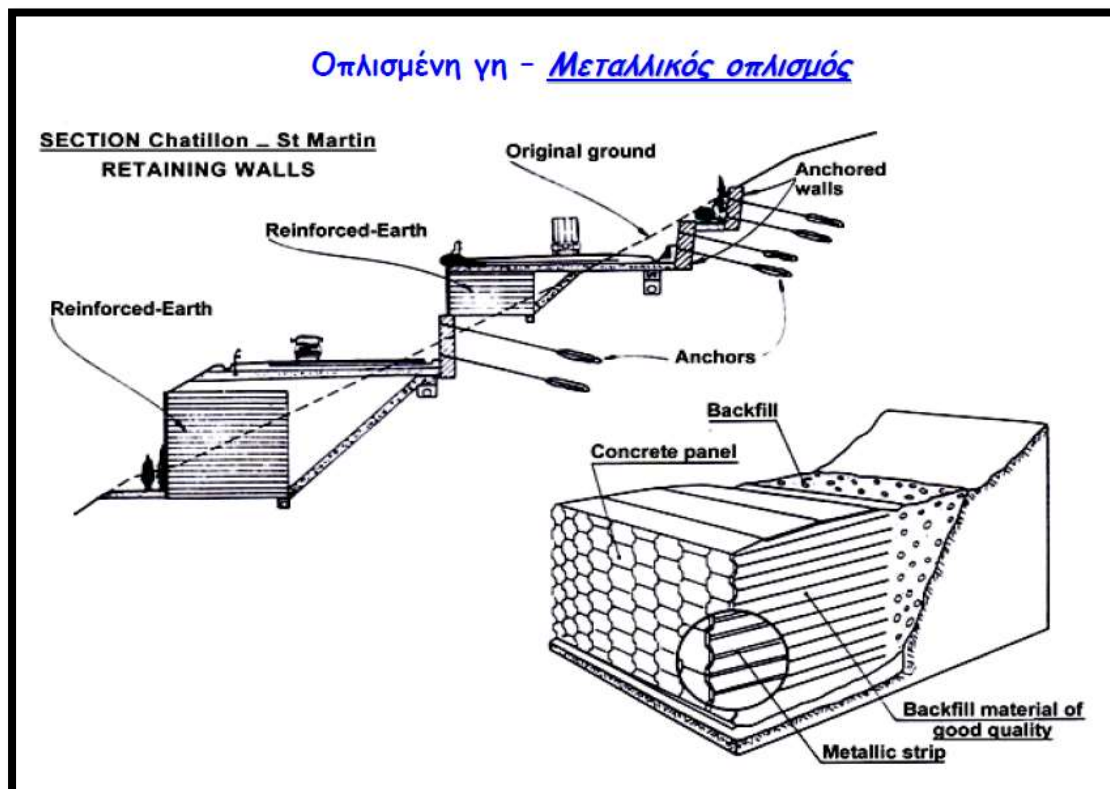
Εικ. 37

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

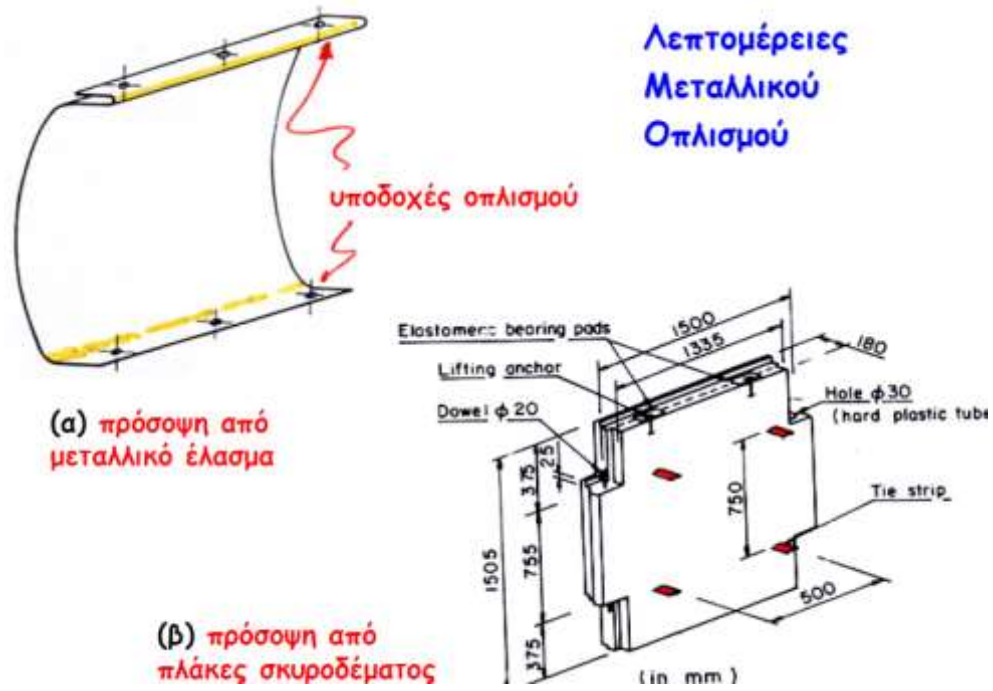


Εικ. 38 Τοποθέτηση μεταλλικών λαμών, πάκτωση στις πλάκες πρόσωσης, επίχωση και συμπίκνωση

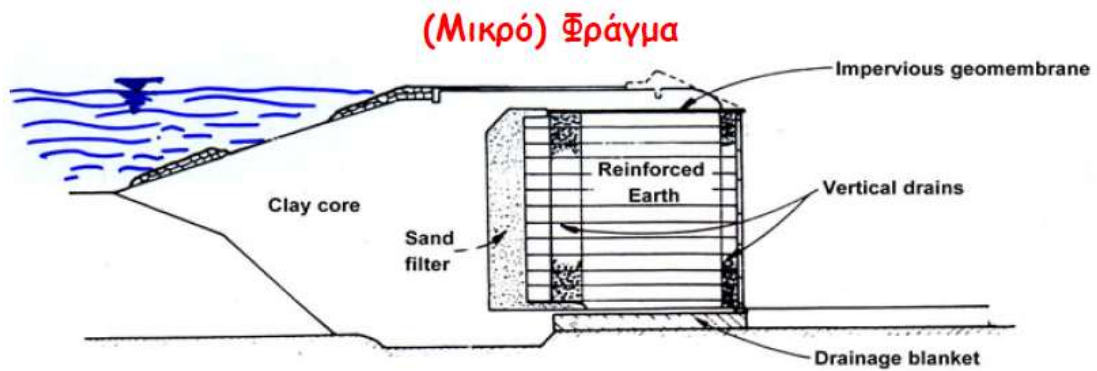
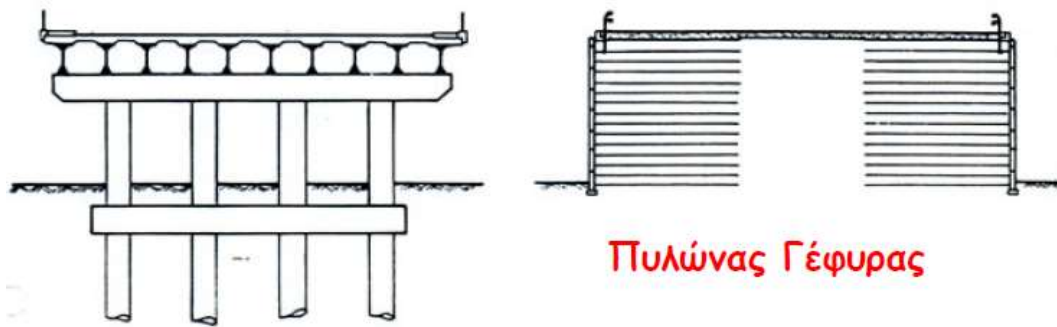
Η εύκολη και σύντομη συναρμολόγηση των κατασκευών οπλισμένης γης οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο γεγονός του ότι δεν χρειάζεται η χρήση οποιουδήποτε τύπου σκαλωσιάς ή καλουπιού. Το κάθε στοιχείο πρόσωσης τοποθετείται μεταξύ άλλων ήδη τοποθετημένων στοιχείων.



Εικ. 39

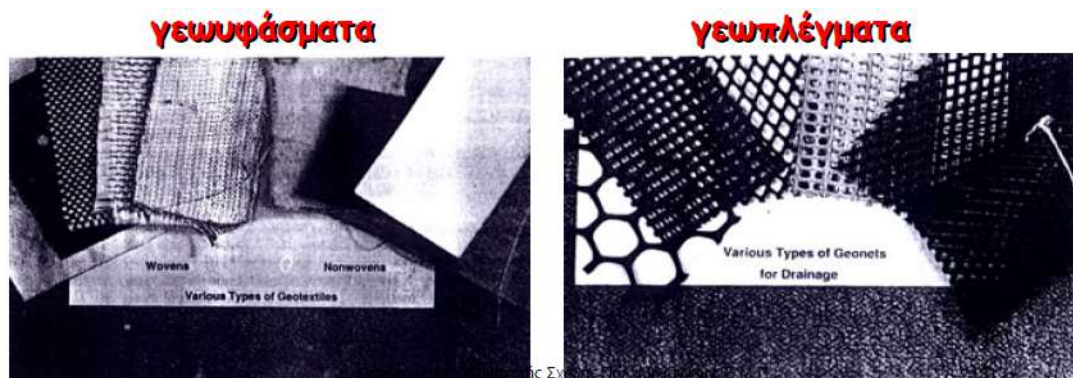


Εικ. 40



Εικ. 41-42 Παραδείγματα κατασκευών με οπλισμένη γη

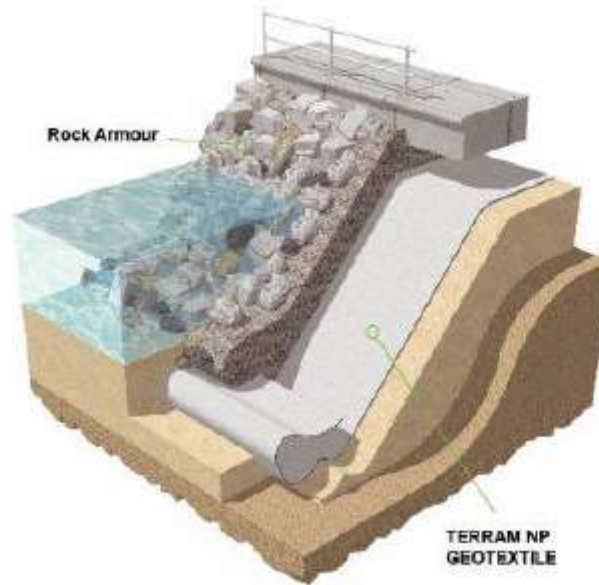
6.2.3.Χρησιμοποίηση γεωϋφασμάτων και γεωπλεγμάτων



Τα γεωϋφάσματα και τα γεωπλέγματα λειτουργούν ως οπλισμός μέσω του μηχανισμού διάτμησης και του μηχανισμού αγκύρωσής τους στο περιβάλλον έδαφος. Τα γεωϋφάσματα κατασκευάζονται από θερμοπλαστικά υλικά όπως πολυαμίδες, πολυαιθυλένιο, πολυεστέρες, πολυπροπυλένιο, χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC) και χλωριούχο πολυαιθυλένιο. Τα γεωπλέγματα κατασκευάζονται από πολυπροπυλένιο ή υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (Sachpazis, 2013).

Τα γεωϋφάσματα χρησιμοποιούνται ως εξής:

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



Εικ. 43 Γεωφάσμα σε κυματοθραύστη



Εικ. 44 Γεώπλεγμα για τη σταθεροποίηση πρανών

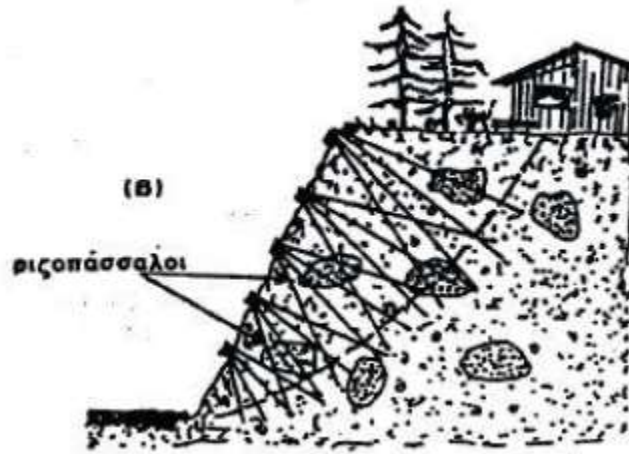
Η σταθεροποίηση εδαφών με τη χρήση δύσκαμπτων διαξονικών γεωπλεγμάτων αποτελεί μια σύγχρονη, γρήγορη και οικονομική μέθοδο, η οποία λαμβάνει χώρα ολοκληρωτικά στην επιφάνεια του ασθενούς εδάφους, χωρίς να απαιτείται η εκσκαφή ή οποιαδήποτε άλλη αναταραχή του υφιστάμενου, «ασθενούς» εδαφικού υλικού. Στρώσεις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



Εικ. 45 Γεωπλέγματα στην επιφάνεια αδύναμου εδάφους

6.2.4. Ριζοπάσσαλοι

Οι ριζοπάσσαλοι εφαρμόζονται σε συνεκτικά εδάφη, συνήθως κατακερματισμένα και χαρακτηρίζονται από υψηλή ταχύτητα κατασκευής. Για τη διασωλήνωση της οπής δεν γίνεται χρήση σωλήνα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται στο σώμα του πασσάλου ανωμαλίες και ριζώματα, στα οποία οι ριζοπάσσαλοι οφείλουν το όνομά τους. Η διάμετρος των πασσάλων κυμαίνεται μεταξύ 75 και 250 mm και ο οπλισμός αποτελείται από μία μόνο κεντρική ράβδο, όταν η διάμετρος είναι μικρότερη των 140 mm, ενώ αποτελείται από κλωβό όταν η διάμετρος είναι μεγαλύτερη (Πλάτης, 2013).



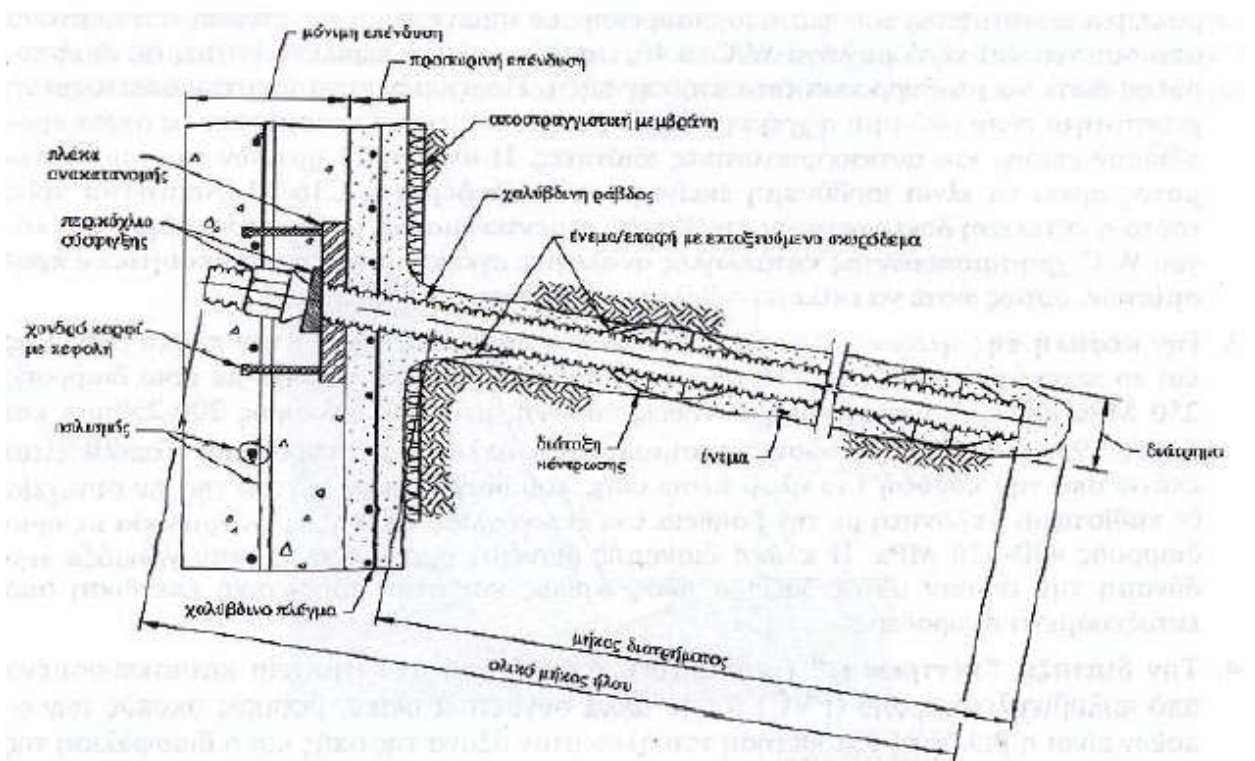
Εικ. 46 Ριζοπάσσαλοι

6.2.5.Εδαφοηλώσεις (soil nailing)

Ως εδαφοήλωση (soilnailing) νοείται η εγκατάσταση ράβδων σε εδαφομάζα με σκοπό την ενίσχυση ή την διατήρηση της ισορροπίας της μέσω ανάληψης εφελκυστικών δυνάμεων και ενδεχομένως διατμητικών δυνάμεων και καμπτικών ροπών. Οι ράβδοι είναι κατά κανόνα χαλύβδινες, μη-προεντεταμένες και έχουν μήκος 1,5 μή μεγαλύτερο, εισάγονται συνήθως στην εδαφομάζα σε προϋπάρχον διάτρημα, πακτώνονται δε σε όλο το μήκος τους με ενεμάτωση τσιμεντενέματος ή ρητινών (drilled-groundnails) σπανιότερα εισάγονται με έμπηξη και δεν ενεματώνονται (drivennails).



Εικ. 47 Εδαφοηλώσεις



Εικ. 48 Τομή εδαφοήλωσης

Ενδεικτικά, ως σημαντικά πλεονεκτήματα των εδαφοηλώσεων αναφέρονται τα ακόλουθα:

- Ολοκλήρωση της εγκατάστασης των ήλων σε σύντομο χρονικό διάστημα και με ικανοποιητικό κόστος
- Απαίτηση εξοπλισμού μικρών διατάσεων (δυνατότητα εγκατάστασης σε περιορισμένο χώρο, σε απόκρημνες περιοχές, κ.λπ.).
- Δυνατότητα άμεσης επένδυσης - αντιδιαβρωτικής προστασίας του μετώπου εκσκαφής.
- Ικανοποιητική συμπεριφορά έναντι εμφάνισης πιθανών τοπικών μετακινήσεων τόσο υπό στατική όσο και υπό σεισμική δράση.

Αντιθέτως η κατασκευή μίας διάταξης εδαφοηλώσεων δεν ενδείκνυται στις περιπτώσεις στις οποίες:

- Απαιτείται ελαχιστοποίηση των μετακινήσεων
- Το προς ενίσχυση έδαφος χαρακτηρίζεται από πολύ μικρή διατμητική αντοχή.
- Συναντάται υψηλός υδροφόρος ορίζοντας.
- Υφίστανται περιορισμοί σε σχέση με το μήκος και τη γωνία τοποθέτησης των ήλων (π.χ. ύπαρξη υφιστάμενων κατασκευών).

7.Σχολιασμός - Συμπεράσματα

ΜΕΘΟΔΟΣ	Βελτίωση-Ενίσχυση	Έδαφος
Προφόρτιση	B	C; S
Αντικατάσταση Εδάφους	B	C (S)
Χαλικοπάσσαλοι	E (B)	C, S
Επιφανειακή Συμπύκνωση	B	(C), S
Βαθιά Δονητική Συμπύκνωση	B	S
Βαθιά Εδαφική Ανάμιξη	Βελτίωση	S
Οπλισμένη γη, γεωυφάσματα κλπ	Ενίσχυση	C, S
(Τσιμεντ)ενέσεις	E	S
Ηλεκτρο-όσμωση	B	C
Κατάψυξη εδάφους	B	S

κ.λ.π.

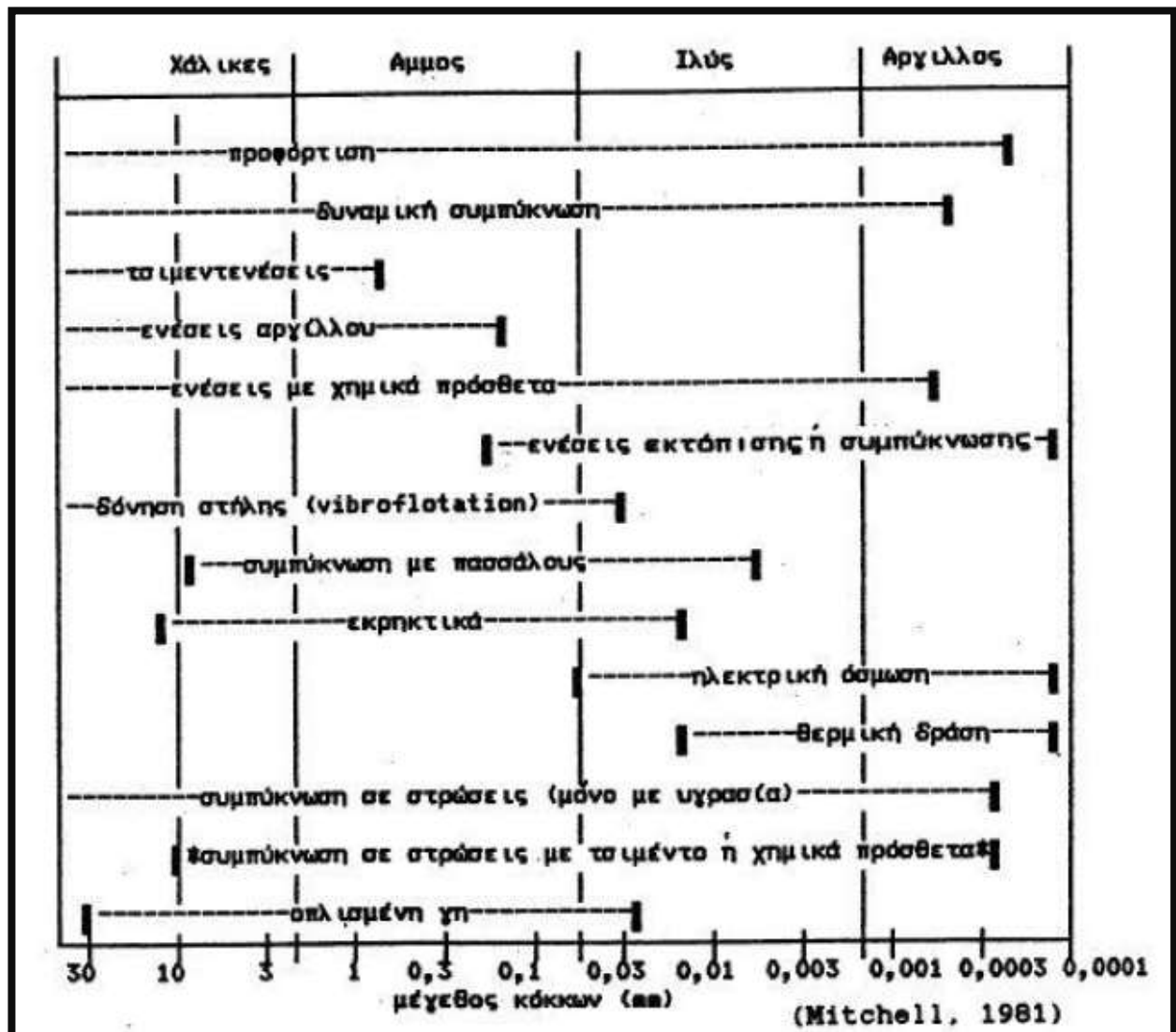
C: άργιλος
S: άμμος

Πιν. 3

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

Στο παρακάτω διάγραμμα (Bell 1975, Mitchell 1981, VanImpe 1989) και στον πίνακα δίνονται τα όρια της κοκκομετρικής διαβάθμισης των εδαφών στα οποία εφαρμόζεται αποτελεσματικά κάθε μία από τις μεθόδους βελτίωσης που

αναφέρθηκαν. Όπως φαίνεται, για κάθε τύπο εδάφους μπορούν να εφαρμοσθούν περισσότερες από μία μέθοδοι βελτίωσης.



Διαγρ. 6

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

Πιν. 4

Βιβλιογραφία

- Bell, F. G., 1975, "Methods of Treatment of Unstable Ground", by A.A. Lilley.
- Ingles and J. B. Metcal, 1972, "Soil stabilization : principles and practice"
- Israel, R. W., 1982, "Soil stabilization and Cold Mix Recycling", Published by Bomac Co., USA
- Mitchell, J. K., 1981, "Soil improvement – State of the Art Report. Proceedings of the Tenth International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering"
- Sachpazis C., «Συμπύκνωση των εδαφών»
- Van, Impe F.W., 1989, "Soil improvement Techniques and their Evolution", AA Bulkema / Rotterdam/ Brookfield
- Καββαδάς Μ., 2009, «Στοιχεία Εδαφομηχανικής», Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
- Κούκης Γ., Σαμπατάκης Ν., 2002, «Τεχνικής γεωλογία», Εκδόσεις Παπασωστηρίου, Αθήνα
- Μαραγκός Ν., 2009, «Εδαφομηχανική» (Κεφάλαιο 1)
- Μπουκοβάλας Γ., 2009, «Γενικά περί μεθόδων βελτίωσης-ενίσχυσης εδαφών»
- Νικολαΐδης Α., 2011, «Οδοποιία: Οδοστρώματα-Υλικά, Έλεγχος ποιότητας», 3^η Έκδοση, Θεσσαλονίκη
- ΠΕΤΕΠ 02-09-01-00 (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές), Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.,
- ΠΕΤΕΠ 11-03-01-00 (Προσωρινές Εθνικές Τεχνικές Προδιαγραφές), Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.,
- Πλάτης Γ., 2016, Διπλωματική εργασία με τίτλο «Γεωτεχνική έρευνα και βελτίωση εδαφών αποθεσιοθαλάμων. Η περίπτωση του ΟΣΔΑ Δυτικής Μακεδονίας», Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας
- Σαρίδης Ν., 2013, Πτυχιακή εργασία με τίτλο «Συμπύκνωση Εδαφών», Α.Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης
- Σταυριδάκης Ε., 2003, «Μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης εδαφών»
- Τσότσος Στ., 1987, «Θέματα εδαφομηχανικής και θεμελιώσεων»
- <http://www.gtengineering.ro/gr/dynamic-compaction>
- <https://www.e-archimedes.gr/faq/item/5739->