

ΒΕΛΤΙΩΣΗ & ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Οι τεχνικές βελτίωσης και ενίσχυσης εδαφών αποτελούν επεμβάσεις με σκοπό την αλλαγή της δομής του προβληματικού εδάφους, ώστε να βελτιωθούν τα μηχανικά του χαρακτηριστικά και να αυξηθεί η φέρουσα ικανότητά του.

Παρουσίαση: ΑΡΓΥΡΗΣ ΚΑΛΤΣΙΟΣ, πολιτικός μηχαν., MSc.

Πολλές υποβαθμισμένες, από πλευράς εδαφικών χαρακτηριστικών, περιοχές χρησιμοποιούνται για την κατασκευή έργων είτε λόγω έλλειψης χώρων (περιαστικές περιοχές) είτε λόγω αύξησης των απαιτήσεων των γεωμετρικών χαρακτηριστικών μεγάλων έργων υποδομής. Για τη χρησιμοποίηση αυτών των εδαφών γίνεται χρήση μεθόδων βελτίωσης και ενίσχυσης των γεωτεχνικών ιδιοτήτων τους.

Σε γενικές γραμμές, η ενίσχυση εφαρμόζεται σε μαλακά - χαλαρά εδάφη όπως:

- χαλαρές άμμους, ιδιαίτερα όταν είναι κορεσμένες,
- χαλαρές και μέσης πυκνότητας κορεσμένες άμμους και αμμοχάλικα υπό σεισμική φόρτιση,
- απροφόρτιστες ή υπο-στερεοποιημένες αργίλους και ιλύς.

Το ευρύ πεδίο εφαρμογών των τεχνικών ενίσχυσης εδαφών περιλαμβάνει έργα θεμελίωσης κτιρίων, εκσκαφής, οδοποιίας, σταθεροποίησης πρανών, κατασκευών συγκράτησης ή αποθήκευσης ύδατος (φράγματα, κανάλια, δεξαμενές, χωματερές κτλ.), καθώς και περιβαλλοντικής προστασίας και περιορισμού της μόλυνσης.

Παράλληλα με την ενίσχυση του εδάφους μπορεί να εφαρμοστούν τεχνικές μείωσης του επιβαλλόμενου φορτίου.

Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται οι εξής:

- Μείωσης του ύψους του επικώματος,
- Αύξησης της κλίσης των πρανών του επικώματος.
- Χρήσης "ελαφρών" υλικών επικωμάτωσης (ιπτάμενης τέφρας, ηφαιστειακής τόφου και ελαφρόπετρας αντί για αμμώδους αργίλου, αμμοχάλικου κτλ.).



- Αύξησης του βάθους θεμελίωσης ("επιπλέοντας" θεμελίωσης).

Η διαδικασία και η μέθοδος εφαρμογής της βελτίωσης και ενίσχυσης των εδαφών εξαρτώνται από τις ειδικές οικονομικοτεχνικές συνθήκες κάθε έργου, οι οποίες καθορίζονται από την ποιότητα του εδάφους, τη φυσική ή χημική ιδιότητα που πρέπει να βελτιωθεί, το είδος και το μέγεθος του γεωτεχνικού έργου, το κόστος κατασκευής κτλ.

Προσωρινές τεχνικές βελτίωσης

Η τεχνική της ηλεκτρικής όσμωσης, η οποία στοχεύει στη στερεοποίηση του εδάφους, συνίσταται στη δημιουργία ηλεκτρικού δυναμικού που προκαλεί τη ροή υπόγειου νερού προς την κάθοδο.

Οι κάθοδοι συνήθως αποτελούνται από διάτρητους σιδερένιους σωλήνες, προορισμένους για την απομάκρυνση του νερού.

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

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

3 Εφαρμογή της μεθόδου δυναμικής συμπίκνωσης, η οποία συνίσταται στη ρίψη όγκων μεγάλου βάρους στο έδαφος.



1

Η θέρμανση του εδάφους αποτελεί δαπανηρή μέθοδο, η οποία εφαρμόζεται σε χαλαρά εδάφη με μεγάλη διαπερατότητα. Συνίσταται στη δημιουργία οπών με καρφίδες και την εισβολή πολύ θερμού μείγματος αέρα και καυσίμου μέσα στο έδαφος. Η πίεση είναι 1,5 φορά μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Η θερμοκρασία κυμαίνεται από 300 έως 1000°C, με αποτέλεσμα τη συμπίκνωση λόγω απώλειας του νερού και την αύξηση των ενεργών τάσεων.

Η μέθοδος της ψύξης του εδάφους δίνει άμεσες βραχυπρόθεσμες λύσεις σε διάφορα μεγάλα τεχνικά έργα (αντιστηρίξεις, θεμελιώσεις, κατασκευή σηράγγων κ.ά.). Λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας, το παγοποιημένο έδαφος παρουσιάζει αυξημένη αντοχή, η οποία είναι ανάλογη με την περιεκτικότητα σε νερό.

Η μέθοδος εφαρμόζεται σε εδάφη με ευπαθή χαρακτηριστικά (ευπαθής υπερκείμενος εδαφικός σχηματισμός, ισχυρή παρουσία υπόγειων υδάτων σε αυξημένη στήλη και ροή, μεγάλη διαπερατότητα του εδάφους κτλ.). Για την εφαρμογή της απαιτείται η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων που αναπτύσσει ο εδαφικός σχηματισμός κατά τη διάρκεια της ψύξης. Η μέθοδος μειονεκτεί ως προς το υψηλό της κόστος και την απουσία εκτενούς πρακτικής εμπειρίας στον ελλαδικό χώρο.

Αντικατάσταση εδάφους

Η αντικατάσταση του "μαλακού" εδάφους με κατάλληλο υλικό (αμμοχάλικο, θραυστό λατομείου κτλ.) μπορεί να πραγματοποιηθεί με ποικίλους τρόπους όπως εκσκαφή και επικωμάτωση, εκτόπιση υπό το ίδιο βάρος της εξυγίανσης ή εκτόπιση με τη βοήθεια εκρηκτικών.

Η μέθοδος της αντικατάστασης είναι συμφέρουσα μόνο όταν το ακατάλληλο έδαφος χαρακτηρίζεται από περιορισμένο βάθος στρώσης.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Μηχανισμός βελτίωσης	Μέθοδος
Στερεοποίηση	- Προφόρτιση - Προφόρτιση με στραγγιστήρια - Ηλεκτρική όσμωση
Οπλισμός του εδάφους (χρήση στοιχείων που μπορούν να παραλάβουν δυνάμεις ελκυσμού ή θλίψης)	- Λιθοπάσσαλοι - Οπλισμένο έδαφος - Γεωυφάσματα - Ριζοπάσσαλοι - Κάρφωμα εδάφους
Συμπύκνωση	- Δυναμική συμπίκνωση - Πάσσαλοι συμπίκνωσης - Μέθοδοι μαζικής δόνησης - Εκρήξεις
Βαθιά εδαφική ανάμειξη (χημική σταθεροποίηση)	- Ασβεστοπάσσαλοι - Πάσσαλοι ή διαφράγματα με ανάμειξη εδάφους & τσιμέντου - Υποβάσεις δρόμων - Επικαλύψεις πρανών
Ενέσεις	- Ενέσεις διαποτισμού - Ενέσεις εκτόπισης ή συμπίκνωσης
Θερμική δράση	- Θέρμανση του εδάφους - Ψύξη του εδάφους

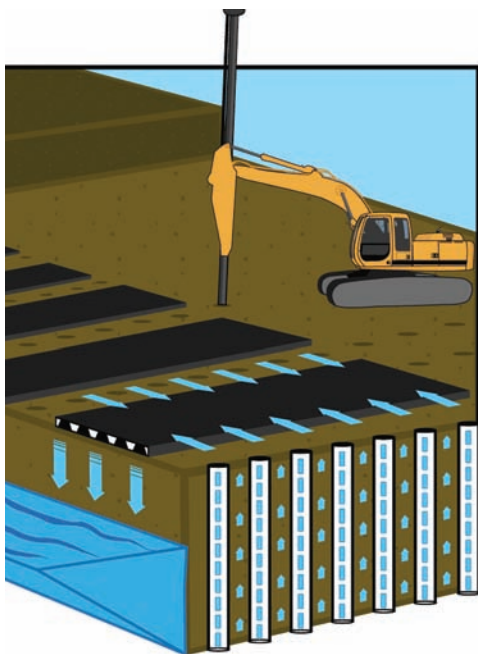
Προφόρτιση

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

Η μέθοδος συνίσταται στη συσσώρευση εδαφικού υλικού (επίκωμα 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 προκατασκευα-



2

σμένων στοιχείων. Επίσης εναλλακτικούς τρόπους προφόρτισης αποτελούν η κατάλληλη άντληση και ο υποβιβασμός της στάθμης του υπόγειου νερού, καθώς και η επιφανειακή διαβροχή στεγνών χαλαρών αποθέσεων. Η προφόρτιση είναι πιο αποτελεσματική όταν συνδυάζεται με τη χρήση **κατακόρυφων στραγγιστηρίων**, η οποία συνίσταται στη δημιουργία κατακόρυφων στηλών αυξημένης διαπερατότητας στο έδαφος, με σκοπό την επιτάχυνση του φαινομένου της στερεοποίησης. Τα στραγγιστήρια επικοινωνούν με ένα οριζόντιο στρώμα μεγάλης διαπερατότητας (π.χ. ένα κοκκώδες στρώμα στην επιφάνεια του εδάφους, κάτω από το επίχωμα προφόρτισης). Μ' αυτόν τον τρόπο το νερό των πόρων ρέει οριζόντια προς το πλησιέστερο στραγγιστήριο και από εκεί κατακόρυφα προς τη στρώση αποστράγγισης. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε λεπτόκοκκα αργιλικά εδάφη, στα οποία η καθίζηση από δευτερεύουσα στερεοποίηση δεν είναι σημαντική. Τα στραγγιστήρια μπορεί να αποτελούνται είτε από αμμοπασσάλους ή χαλικοπασσάλους με συνήθη διάμετρο 0,50 - 1,0 m είτε από γεωσύνθετα στραγγιστήρια μορφής λωρίδας με συνήθες πλάτος 100 mm. Τα τελευταία προτιμώνται λόγω των ακόλουθων πλεονεκτημάτων:

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

Συμπύκνωση εδαφών

Οι μέθοδοι συμπύκνωσης επιφέρουν τη φυσική συμπίεση του εδάφους για τη μείωση των κενών χώρων μεταξύ των κόκκων του υλικού (αέρα ή νερού) και την αύξηση του ειδικού βάρους και της



3

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

Έδαφος / μέγεθος κόκκων	Χάλικες 30 - 2,5 (mm)	Άμμος 2,5 - 0,07 (mm)	Ίλς 0,07 - 0,0017 (mm)	Άργιλος 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)	✗

1 Η χρήση γεωπλεγμάτων αποτελεί μια σύγχρονη, γρήγορη και οικονομική μέθοδο ενίσχυσης και σταθεροποίησης εδαφών.

2 Το γεώφρασμα λειτουργεί ως διαχωριστική στρώση ανάμεσα στο έδαφος και στο θραυστό υλικό.

3 Πολλές μέθοδοι ενίσχυσης περιλαμβάνουν την επιβολή ξένων προς το έδαφος στοιχείων, όπως αγκυριών.



1

ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΕΔΑΦΩΝ ΜΕ ΤΣΙΜΕΝΤΟ, ΑΣΒΕΣΤΟ, ΑΣΦΑΛΤΟ Ή ΑΠΛΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ (ΚΟΛΙΑΣ 1979)

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

φέρουσας αντοχής του εδάφους. Η συμπίκνωση είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε έργα οδοποιίας, στα οποία τα στατικά και δυναμικά φορτία παρουσιάζουν υψηλές τιμές. Τα εδάφη, από άποψη συμπίκνωσης, διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

- Επιφανειακά εδάφη.
- Υγρά εδάφη με οργανικές προσμειξεις με δυσκολία συμπίκνωσης.
- Συνεκτικά εδάφη, όπως είναι η άργιλος και η λάσπη.

- Μη συνεκτικά εδάφη, θραυστά ή φυσικής προέλευσης, όπως είναι η άμμος και τα αδρανή υλικά.
- Βραχώδη εδάφη με χονδρούς κόκκους πέτρας.

Τα υγρά εδάφη με αυξημένο ποσοστό υγρασίας και οργανικές προσμειξεις δεν συμπικνώνονται εύκολα και γι' αυτό είναι ακατάλληλα για χωματουργικά έργα και οδοποιία. Τα υλικά που επιδέχονται συμπίκνωση είναι μείγματα συνεκτικών

και μη συνεκτικών υλικών σε κατάλληλες αναλογίες. Αμιγή συνεκτικά υλικά, άμμος και χάλικες φυσικής προέλευσης του ίδιου περιήπου μεγέθους κόκκου συμπικνώνονται δύσκολα. Αντίθετα, υλικά με καλή διαβάθμιση και ανάμειξη συμπικνώνονται ευκολότερα.

• Δυναμική συμπίκνωση

Η μέθοδος συνίσταται στη ρίψη όγκων με βάρος δεκάδων τόνων στο έδαφος, προκαλώντας τη συμπίκνωση του υπό την επίδραση των κρουστικών δυνάμεων. Οι ρίψεις πραγματοποιούνται από ύψος 10 - 40 m και δημιουργούν βάθος επιρροής 3 - 12 m. Η δυναμική συμπίκνωση πραγματοποιείται σε μεγάλα εργοτάξια και απαιτεί ειδικό βαρύ εξοπλισμό. Η εφαρμογή της μεθόδου αποφεύγεται σε περίπτωση ύπαρξης υφιστάμενων κατασκευών σε απόσταση μικρότερη των 30 m, καθώς οι δονήσεις του εδάφους ενδέχεται να προκαλέσουν ρηγματώσεις. Η δυναμική συμπίκνωση ενδείκνυται ιδιαίτερα για κοκκώδη (χαλαρά αμμώδη) εδάφη· μπορεί όμως να εφαρμοστεί και σε μεικτά εδάφη από κοκκώδη και συνεκτικά υλικά. Στην περίπτωση εφαρμογής της μεθόδου σε αργιλώδη εδάφη με περιορισμένη διαπερατότητα, χρειάζεται να κατασκευαστούν ορύγματα μικρού πλάτους, ώστε να συγκεντρώνεται το εξερχόμενο νερό και να αφαιρείται με άντληση. Επίσης, πριν από την επιβολή των φορτίσεων σε οποιοδήποτε έδαφος, πρέπει να ελέγχεται η ύπαρξη υπόγειων δικτύων εγκατάστασης και να υπολογίζεται η επίδραση των δυναμικών φορτίσεων σ' αυτά.

• Δονητική συμπίκνωση

Η δονητική συμπίκνωση συνίσταται στην εισαγωγή δονητή σε χαλαρά, μη συνεκτικά εδάφη, στα οποία προκαλεί ακτινωτή συμπίκνωση. Η μέθοδος μπορεί να πραγματοποιηθεί με επιβολή κατακόρυφης ή οριζόντιας ταλάντωσης στο έδαφος. Η δονητική συμπίκνωση είναι δυναμικό φαινόμενο και επομένως το αποτέλεσμα δεν ε-



2

ξαρτάται μόνο από το μέγεθος της φυγόκεντρο 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, αντίβαρα, φυγόκεντρα δύναμη και στατικό βάρος συμπίκνωτή) πρέπει να προσδιορίζονται με δοκιμές επάνω στο υπό συμπίκνωση 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.

Δονητική αντικατάσταση (χαλικοπάσσαλοι)

Η κατασκευή χαλικοπασσάλων συνίσταται στη διάνοιξη κυκλικών οπών σημαντικού μήκους στο προβληματικό έδαφος και την πλήρωσή τους με χάλικες ή με θραυστό υλικό λατομείου. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως στους τύπους των εδαφών (όπως στα ιλυώδη και αργιλικά εδάφη), στα οποία η δονητική συμπίκνωση δεν έχει αξιόλογα αποτελέσματα. Χαρακτηρίζεται από σύνθετη δράση καθώς επιτυγχάνει:

- ανάληψη φορτίου,
- αύξηση της ισοδύναμης διατμητικής αντοχής,
- επιτάχυνση των καθιζήσεων σε αργιλικά εδάφη λόγω στερεοποίησης,
- συμπίκνωση αμμωδών εδαφών.

Στη διεθνή πρακτική διακρίνονται διάφορες μέθοδοι κατασκευής χαλικοπασσάλων, μεταξύ των οποίων η επιβολή κατακόρυφης ή οριζόντιας ταλάντωσης στο έδαφος. Η ελληνική μέθοδος κατασκευής χαλικοπασσάλων περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:



3

- Έμπηξη μεταλλικού σωλήνα εντός του εδάφους. Το κάτω άκρο του σωλήνα είναι σφραγισμένο με ειδικό πώμα.
- Πλήρωση του σωλήνα με κοκκώδες υλικό.
- Τμηματική εξόλκευση του σωλήνα σε προκαθορισμένο τμήμα.
- Επανεμπήξη του σωλήνα σε προκαθορισμένο τμήμα, κλείσιμο του ειδικού πώματος και συμπίκνωση του κοκκώδους υλικού. Ακολουθεί η διεύρυνση της αρχικής διαμέτρου.
- Συνεχείς, πολλαπλές εξολκεύσεις και επανεμπήξεις.

Ενίσχυση με οπλισμό

Πρόκειται για τη βελτίωση του εδάφους με την εισαγωγή γεωφασμάτων, γεωπλεγμάτων, χαλύβδινων ράβδων και ηλώσεων ή με την εισαγωγή ριζοπασσάλων. Εφαρμόζεται σε μεγάλα τεχνικά έργα (οδοποιία, κατασκευές Χ.Υ.Τ.Α. κ.ά.), καθώς και σε έργα κατασκευής κτιρίων.

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

Τα **γεωυφάσματα** χρησιμοποιούνται συνήθως:

- σε έργα δικτύων μεταφορών (δρόμους, αεροδρόμια, σιδηροδρομικές γραμμές κ.ά.), στα οποία λειτουργούν ως διαχωριστικά ή/και φίλτρα σε περιοχές που αντιμετωπίζουν κινδύνους από υπόγεια νερά.
- ως βασικά υλικά στη σχεδίαση και στην κατασκευή μιας ποικιλίας θαλάσσιων και υδραυλικών μηχανικών κατασκευών όπως σε επικαλύψεις, ύφαλους και έξαλους κυματοθραύστες,

σωληνοειδείς κατασκευές και κατασκευές απόθεσης οργανικά και χημικά βεβαρυμένης λάσπης.

- ως υλικά στην ενίσχυση κατασκευών, όπως σε τοίχους αντιστήριξης, πηρινή και αναχώματα, στις οποίες παρέχουν ελαστική αντίσταση στο έδαφος, ενισχύοντας τα χαρακτηριστικά του.

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 συμπακνωμένου κοκκώδους υλικού, κατάλληλου μεγέθους και καλής διαβάθμισης.

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

Ενίσχυση με ενέσεις

Η βαθιά εδαφική ανάμιξη περιλαμβάνει την υπό πίεση διοχέτευση ειδικών ρευστών, η πήξη των οποίων οδηγεί στην ενίσχυση των εδαφών. Η επέμβαση πραγματοποιείται με κατασκευή εδαφοπασσάλων και με ελεγχόμενη διοχέτευση ενέματος υψηλής πίεσης. Με ειδικό αυτοκινούμενο μηχάνημα διανοίγεται οπή, κατόπιν το στέλεχος ανασύρεται,

Η κατασκευή εδαφοπασσάλων με ελεγχόμενη διοχέτευση ενέματος υψηλής πίεσης εφαρμόζεται σε όλο σχεδόν το εύρος των εδαφών και σε μαλακούς βράχους.



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

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

Οι συνήθεις τύποι ενεμάτων είναι τα αιωρήματα τσιμέντου (τσιμεντενέσεις) ή μείγματος εδάφους (π.χ. μπετονίτη, άμμου) και τσιμέντου ή και μόνο εδαφών σε νερό, καθώς και τα χημικά διαλύματα, συνήθως πυριτικών ή πολυμερών υλικών. Σε περίπτωση που επιδιώκεται ρύθμιση των ιδιοτήτων των μειγμάτων εδάφους - τσιμέντου χρησιμοποιούνται σταθεροποιητές ή πρόσθετα, όπως επιταχυντές και επιβραδυντές.

Η ενίσχυση με ενέσεις βρίσκει εφαρμογή σε όλο σχεδόν το εύρος των εδαφών (συνεκτικά και μη συνεκτικά) και σε μαλακούς βράχους, υπό τον όρο ότι ο βράχος είναι ρηγματωμένος, με τις ρωγμές του να επικοινωνούν. Αντίθετα, δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε εδάφη με μικρή διαπερατότητα όπως είναι οι άργιλοι.

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου προσμετρώνται η υψηλή ταχύτητα εφαρμογής, το σχετικά χαμηλό κόστος και η απουσία θορύβου και δονήσεων κατά την εφαρμογή. Η επιλογή των ενεμάτων εξαρτάται από το είδος του εδάφους και

την κοκκομετρική του διαβάθμιση.

Γενικά, η σταθεροποίηση με τσιμέντο παρουσιάζει το ευρύτερο φάσμα εφαρμογής. Στην περίπτωση διαπερατών αμμοδών εδαφών χρησιμοποιούνται αιωρήματα τσιμέντου με υψηλές τιμές του λόγου "τσιμέντο προς νερό", εφόσον επιδιώκεται υψηλή αντοχή, ενώ προτιμώνται χημικά διαλύματα ειδικών πυριτικών ή πολυμερών προϊόντων, όταν η διαπερατότητα είναι μικρότερη, όπως συμβαίνει στα αργιλικά εδάφη.

Στις θεμελιώσεις οι ενέσεις χρησιμοποιούνται ως μέθοδοι επέμβασης σε περιπτώσεις που διαπιστώνονται βλάβες. Επίσης χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις εκσκαφών που βρίσκονται σε επαφή με υφιστάμενα κτίρια, ειδικά όταν οι εκσκαφές είναι μεγάλου βάθους και το έδαφος είναι μαλακό, καθώς και σε περιπτώσεις, κατά τις οποίες κρίνεται αναγκαία η βελτίωση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους θεμελίωσης (εδάφη χαμηλής αρχικής φέρουσας ικανότητας, προσθήκη ορόφων κτλ.).

Η αποτελεσματικότητα της τεχνικής εξαρτάται από την ομοιομορφία της διασποράς του ενέματος κάτω από τη θεμελίωση.

Σε περιπτώσεις ανομοιογένειας του εδάφους, η ομοιόμορφη διασπορά του ενέματος καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη, ενώ η 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. ■

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ

- Γ. Δ. Μπουκοβάλας, **Βελτίωση - ενίσχυση εδαφών**, Ε.Μ.Π., 2009.
- Δ. Ατματζίδης - Γ. Αθανασόπουλος, **Βελτιώσεις - ενισχύ-**

σεις εδαφών, εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2006.

- Κ. Α. Αναγνωστόπουλος - Ι. Ν. Γραμματικόπουλος, Α.Π.Θ., **Βελτίωση μηχανικής αντοχής μειγμάτων αργίλου - άμμου με τη μέθοδο της ψύξης**, 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος, 18-20 Μαΐου 2005.
- Ε. Ι. Σταυριδάκης, **Μέθοδοι βελτίωσης και ενίσχυσης εδαφών**, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., 2003.
- W. Ma - X. Chang, **Analyses of strength and deformation of an artificially frozen soil wall in underground engineering**, Cold Regions Science and Technology, 2002.
- Σ. Τσότσος, **Πανεπιστημιακές σημειώσεις ειδικών θεμελιώσεων**, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 2001.
- E. Neufert, **Οικοδομική & αρχιτεκτονική σύνθεση**, εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, 1992.
- F. W. Van Impe, **Soil improvement techniques and their evolution**, AA Bulkema, Rotterdam, 1989.
- Στ. Τσότσος, **Θέματα εδαφομηχανικής και θεμελιώσεων**, Α.Π.Θ., 1987.
- Δ. Θ. Βαλάλας, **Αντιστηρίξεις και θεμελιώσεις**, εκδόσεις Γαρταγάνης, Θεσσαλονίκη, 1979.
- Τεχνικά φυλλάδια Keller.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΤΕΙ ΣΤΑ ΤΕΥΧΗ "ΚΤΙΡΙΟ"

- **Βελτίωση εδαφών & ειδικές θεμελιώσεις**, Τεύχος 96, σελ. 59.
- **Διερεύνηση εδάφους θεμελίωσης**, Τεύχος 134, σελ. 41.
- **Συμπύκνωση εδαφών**, Τεύχος 135, σελ. 55.

ΣΧΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

ΜΠΟΡΕΙΤΕ ΝΑ ΒΡΕΙΤΕ ΣΤΗΝ ΕΙΔΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ Υ - ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ 2012 Επιλογές δομικών υλικών

ή επισκεφθείτε το www.ktirio.gr