



Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Συγκοινωνιακών Έργων και Μεταφορών

Εργαστηριακά Θέματα Οδοποιίας - Οδοστρωμάτων

Χαρακτηριστικά και ιδιότητες του εδάφους [δ]



Συμπύκνωση εδαφών επί του έργου

Η επαρκής συμπύκνωση εδαφικών υλικών αποτελεί βασική προϋπόθεση προς αποφυγή πρόωρης καθίζησης και άλλων αρνητικών επιπτώσεων στο οδόστρωμα.

Επαρκής συμπύκνωση:

Επιβολή κατάλληλης ενέργειας συμπύκνωσης επί του εδαφικού υλικού όταν αυτό έχει τη βέλτιστη υγρασία.

Η επιβολή της αναγκαίας ενέργειας συμπύκνωσης επιτυγχάνεται με τη χρήση κατάλληλου μηχανήματος και εκφράζεται συναρτήσει του αριθμού διελεύσεων, για το συγκεκριμένο βάρος μηχανήματος.

Η βέλτιστη υγρασία καθορίζεται εργαστηριακά από τη δοκιμή Proctor.



Συμπύκνωση με οδοστρωτήρα



Συμπύκνωση εδαφών επί του έργου

Το πάχος της προς συμπύκνωση στρώσης είναι μια καθοριστική παράμετρος για αποτελεσματική και ομοιόμορφη συμπύκνωση σε όλο το βάθος.

Το ενδεικτικό πάχος της προς συμπύκνωση στρώσης είναι συνάρτηση του τύπου μηχανήματος και του εδαφικού υλικού.

- Οδοστρωτήρες λείου κυλίνδρου με δόνηση συμπυκνώνουν μεγαλύτερα πάχη στρώσεων έναντι αντίστοιχων δίως δόνηση.
- Λαστιχοφόροι οδοστρωτήρες χρησιμοποιούνται σε συνεκτικά εδάφη και είναι ακατάλληλοι για κοκκώδη ή μονόκκοκα εδαφικά υλικά.

Η ταχύτητα κυλίνδρωσης επηρεάζει τη συμπύκνωση και στην περίπτωση λαστιχοφόρου οδοστρωτήρα η πίεση των ελαστικών.

Ταχύτητα έως 3km/h | Πίεση ελαστικών σταθερή





Συμπύκνωση εδαφών επί του έργου

Καθορισμός διελεύσεων για συγκεκριμένο πάχος στρώσης ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος και του εδαφικού υλικού που πρόκειται να συμπυκνωθεί.

Δοκιμές επί του έργου και καθορισμός της σχέσης μεταξύ των διελεύσεων και της επιτευχθείσας ξηρής πυκνότητας.

Επαρκής κρίνεται ο αριθμός των διελεύσεων όταν η επιτευχθείσα ξηρή πυκνότητα είναι ίση ή λίγο μικρότερη της μέγιστης ξηρής πυκνότητας που επιτυγχάνεται στο εργαστήριο.

Το εδαφικό υλικό δεν πρέπει να κυλινδρώνεται για πολύ μεγαλύτερο αριθμό διελεύσεων:

- Αντιοικονομικό
- Χρονοβόρο
- Καταστροφή δομής της στρώσης και κατά συνέπεια διατμητικής αντοχής της (συνεκτικά εδάφη)



Αυτοκινούμενη δονητική πλάκα



Συμπύκνωση εδαφών επί του έργου

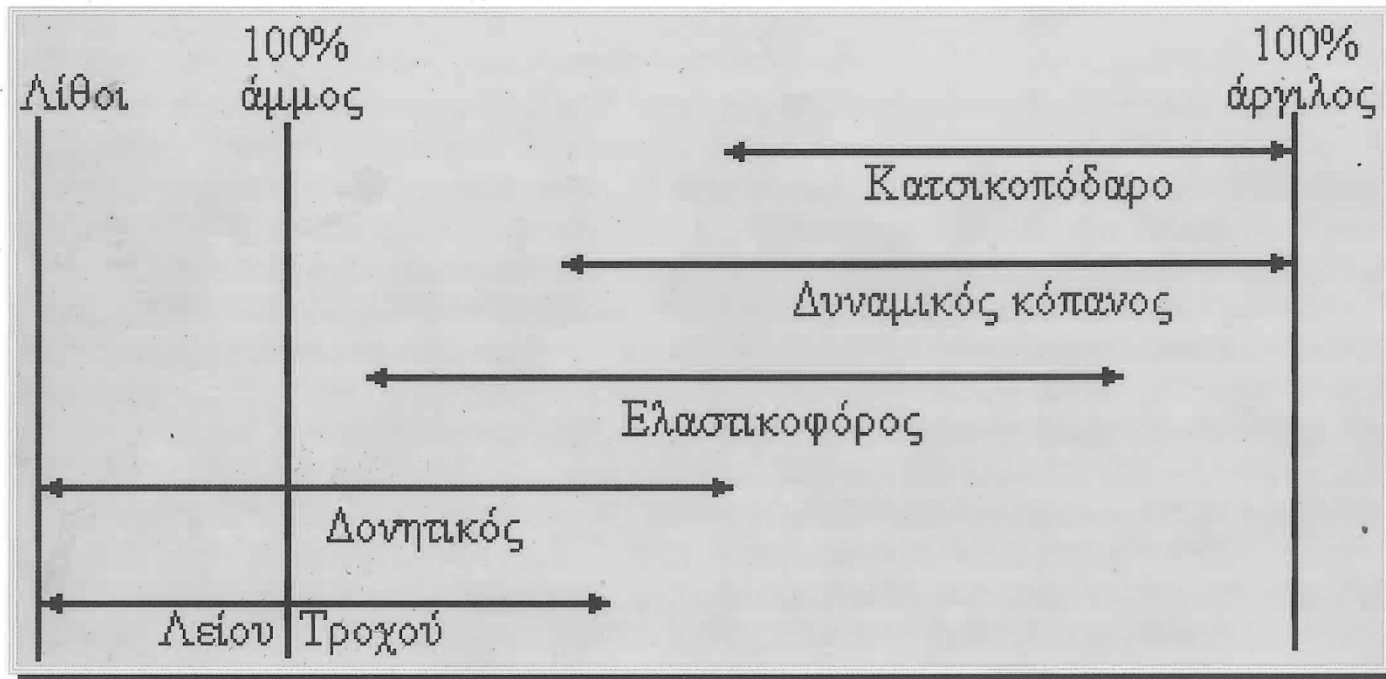


Χαρακτηριστικό	Κατσικο-πόδαρο	Λείος τροχός	Κρουστικός	Ελαστικοφόρος	Δονητικός
Πάχος στρώσης, cm	15	10-15	15	25-30	25-60
Καλύψεις	8-10	8-10	3-6	12-18	3-6
Ταχύτητα, km/h	6,5-10,0	5,0-8,0	13,0-20,0	6,5	3,0

Χαρακτηριστικά εξοπλισμού συμπύκνωσης



Συμπύκνωση εδαφών επί του έργου



Εδαφικά υλικά που συμπυκνώνονται από διάφορους τύπους οδοστρωτήρων



Έλεγχος συμπύκνωσης

Εισαγωγικά

Έπειτα από το πέρας των εργασιών απαιτείται να εξακριβωθεί ο βαθμός της επιτευχθείσας συμπύκνωσης.

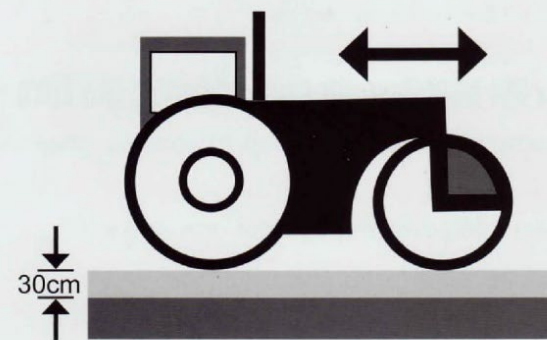
Καθορισμός ξηρής πυκνότητας επί του έργου και σύγκριση της επί της εκατό με τη μέγιστη ξηρή πυκνότητα που επιτυγχάνεται στο εργαστήριο.

Η ξηρή πυκνότητα καθορίζεται από με τη μέθοδο άμμου και κώνου, με τη μέθοδο της ελαστικής μεμβράνης ή με την πυρηνική συσκευή μέτρησης πυκνότητας.

Σε μεγάλα έργα όπως αυτοκινητόδρομοι, αεροδρόμια, χώροι στάθμευσης οχημάτων και σε χονδρόκοκκα υλικά, ο έλεγχος συμπύκνωσης και ο αριθμός των διελεύσεων συσχετίζονται με το μέτρο ελαστικότητας της φορτισμένης πλάκας.



Συμπύκνωση στο Εργαστήριο



Συμπύκνωση στο Εργοτάξιο

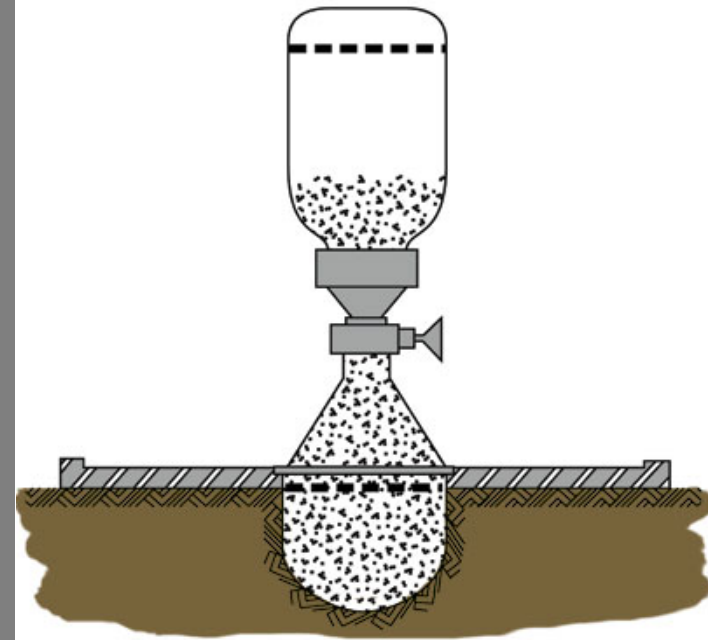


Έλεγχος συμπύκνωσης

Μέθοδος άμμου και κώνου

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ:

- Δημιουργία κυλινδρικής περίπου λακούβας επί της συμπυκνωμένης στρώσης.
 - Ακριβής ζύγιση του εξαχθέντος εδαφικού υλικού.
 - Ακριβής μέτρηση του όγκου της λακούβας που δημιουργήθηκε.
 - Καθορισμός ξηρής πυκνότητας συμπυκνωμένης στρώσης.
-
- ❖ Η μέθοδος συνίσταται σε χονδρόκοκκα εδαφικά υλικά διαμέτρου $< 50\text{mm}$.
 - ❖ Ο όγκος της οπής που δημιουργείται είναι συνάρτηση του μέγιστου κόκκου που περιέχεται στο εδαφικό υλικό:
Για εδάφη με κόκκους $< 4,75\text{mm}$ ο όγκος 700cm^3
Για εδάφη με κόκκους $< 50\text{mm}$ ο όγκος 2800cm^3



Συσκευή άμμου και κώνου

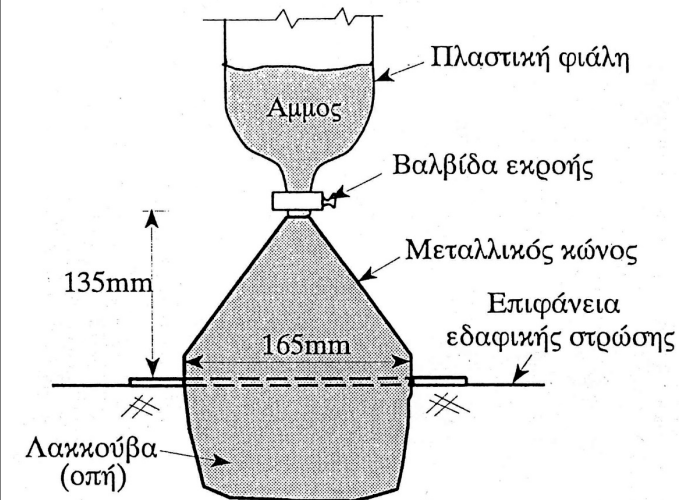


Έλεγχος συμπύκνωσης

Μέθοδος άμμου και κώνου

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ:

- Ζυγίζεται η φιάλη με τον κώνο και την άμμο και καταγράφεται το βάρος.
- Προετοιμάζεται η επιφάνεια όπου θα γίνει η δοκιμή ώστε να είναι επίπεδη.
- Τοποθετείται η πλάκα της συσκευής σταθερά με τη βοήθεια ήλων.
- Σκάβεται η οπή της δοκιμής από την οπή της πλάκας, προσεκτικά ώστε να μη διαταραχθεί το έδαφος που περιβάλλει την οπή.
- Τοποθετείται όλο το εδαφικό υλικό σε σακούλα με προσοχή ώστε να μην έχουμε απώλεια υλικού.
- Τοποθετείται η φιάλη με τον κώνο ανεστραμμένη (με τον κώνο προς τα κάτω) στην οπή της πλάκας και ανοίγεται η οπή της φιάλης ώστε να γεμίσει η οπή της δοκιμής με άμμο.



Συσκευή άμμου και κώνου



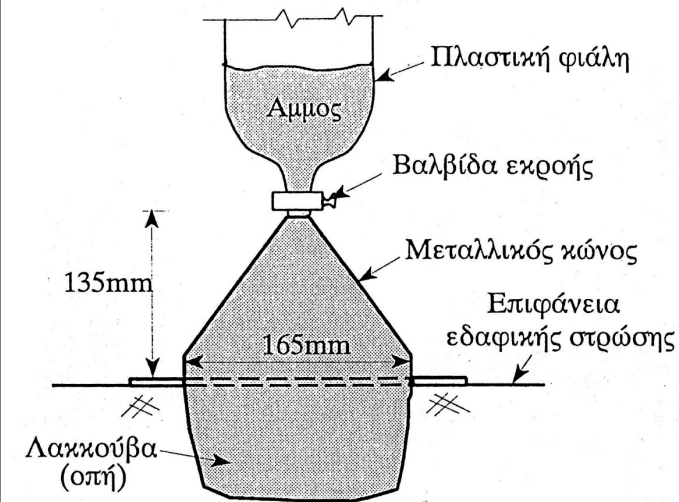
Έλεγχος συμπύκνωσης

Μέθοδος άμμου και κώνου

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ:

- Αφού γεμίσει η οπή της δοκιμής με άμμο κλείνουμε τη βαλβίδα της φιάλης.
- Ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος της φιάλης του κώνου και της εναπομένουσας άμμου.
- Ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος του εδαφικού υλικού.
- Αναμιγνύεται το υλικό καλά και ζυγίζεται αντιπροσωπευτικό δείγμα, με σκοπό τον προσδιορισμό της υγρασίας.
- Ξηραίνεται και ζυγίζεται το δείγμα για τον προσδιορισμό της υγρασίας.

$$\text{Βαθμός συμπύκνωσης (\%)} = \frac{\text{Ξηρή πυκνότητα επί τόπου}}{\text{Μέγιστη ξηρή πυκνότητα στο εργαστήριο}} \times 100$$



Συσκευή άμμου και κώνου



Έλεγχος συμπίκνωσης

Μέθοδος άμμου και κώνου

Όγκος της λακούβας: $V = (W_1 - W_2) / G_{φα}$

Όπου:

W_1 = βάρος άμμου που χρησιμοποιήθηκε (gr)

W_2 = βάρος άμμου μέσα στον κώνο (gr)

$G_{φα}$ = φαινόμενο ειδικό βάρος άμμου (gr/cm³)

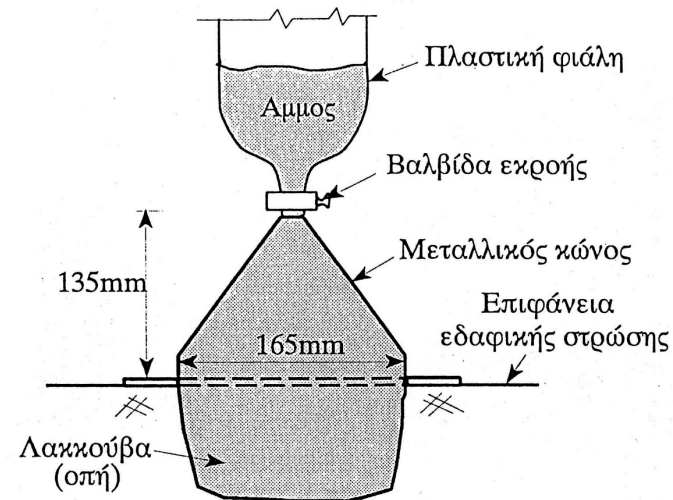
Ξηρή συμπυκν. πυκνότητα: $\rho_d = [W_3 / (1 + w)] / V$

Όπου:

W_3 = βάρος εδαφικού υλικού με υγρασία (gr)

w = ποσοστό υγρασίας (%)

V = Όγκος (cm³)



Συσκευή άμμου και κώνου

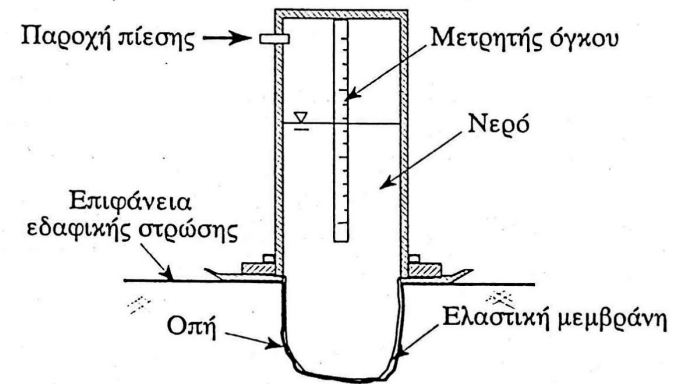


Έλεγχος συμπίκνωσης

Μέθοδος ελαστικής μεμβράνης

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ:

- Δημιουργία κυλινδρικής περίπου λακούβας επί της συμπυκνωμένης στρώσης.
 - Ακριβής ζύγιση του εξαχθέντος εδαφικού υλικού.
 - Ακριβής μέτρηση του όγκου της λακούβας που δημιουργήθηκε από τη διαφορά όγκου στο βαθμολογημένο σωλήνα.
 - Καθορισμός ξηρής πυκνότητας συμπυκνωμένης στρώσης.
-
- ❖ Η μέθοδος δε συνίσταται σε μαλακά εδαφικά υλικά, τα οποία παραμορφώνονται με ελάχιστη πίεση ή όταν τα τοιχώματα της οπής δεν διατηρούνται σταθερά.
 - ❖ Ο όγκος της οπής που δημιουργείται είναι συνάρτηση του μέγιστου κόκκου που εμπεριέχεται στο εδαφικό υλικό – Εδάφη με κόκκους έως 63mm.



Συσκευή ελαστικής μεμβράνης

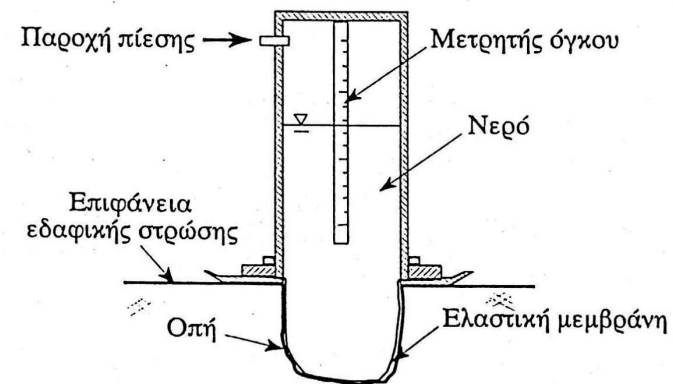


Έλεγχος συμπύκνωσης

Μέθοδος ελαστικής μεμβράνης

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ:

- Προετοιμάζεται η επιφάνεια όπου θα γίνει η δοκιμή ώστε να είναι επίπεδη.
- Τοποθετείται η πλάκα της συσκευής σταθερά με τη βοήθεια ήλων.
- Σκάβεται η οπή της δοκιμής από την οπή της πλάκας, προσεκτικά ώστε να μη διαταραχθεί το έδαφος που περιβάλλει την οπή.
- Τοποθετείται όλο το εδαφικό υλικό σε σακούλα με προσοχή ώστε να μην έχουμε απώλεια υλικού.
- Τοποθετείται η φιάλη ανεστραμμένη (με τη μεμβράνη προς τα κάτω) στην οπή της πλάκας και η ελαστική μεμβράνη παραμορφώνεται καθώς το νερό καταλαμβάνει το διαθέσιμο χώρο.



Συσκευή ελαστικής μεμβράνης



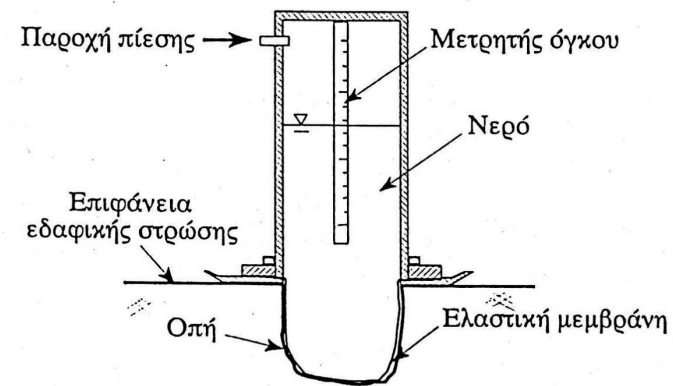
Έλεγχος συμπύκνωσης

Μέθοδος ελαστικής μεμβράνης

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ:

- Ο ογκομετρικός σωλήνας περιέχει νερό με γνωστό όγκο πριν την έναρξη της δοκιμής.
- Ο όγκος της οπής υπολογίζεται από τη διαφορά όγκου στο βαθμολογημένο σωλήνα.
- Ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος του εδαφικού υλικού.
- Αναμιγνύεται το υλικό καλά και ζυγίζεται αντιπροσωπευτικό δείγμα, με σκοπό τον προσδιορισμό της υγρασίας.
- Ξηραίνεται και ζυγίζεται το δείγμα για τον προσδιορισμό της υγρασίας.

$$\text{Βαθμός συμπύκνωσης (\%)} = \frac{\text{Ξηρή πυκνότητα επί τόπου}}{\text{Μέγιστη ξηρή πυκνότητα στο εργαστήριο}} \times 100$$



Συσκευή ελαστικής μεμβράνης



Έλεγχος συμπύκνωσης

Πυρηνική συσκευή μέτρησης πυκνότητας

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ:

- Χρήση μικρής ραδιενεργής πηγής της οποίας η ενέργεια διοχετεύεται στο προς έλεγχο συμπυκνωμένο υλικό.
- Η ραδιενέργεια που μετράται μειώνεται ανάλογα με την πυκνότητα του υλικού που παρεμβάλλεται μεταξύ της πηγής και του δέκτη.
- Η απώλεια ενέργειας καθορίζει την πυκνότητα της στρώσης.

Η συσκευή μετρά τη φαινόμενη (υγρή) πυκνότητα. Για τον προσδιορισμό της ξηρής πυκνότητας πρέπει να είναι γνωστό το ποσοστό υγρασίας της στρώσης ή η συσκευή να διαθέτει ραδιενεργή πηγή η ενέργεια της οποίας απορροφάται από άτομα υδρογόνου.

- ❖ Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται είναι τριών τύπων: απευθείας μετάδοσης – σκέδασης – σκέδασης με διάκενο αέρος, ανάλογα του τρόπου μετάδοσης των ακτινών Γ.



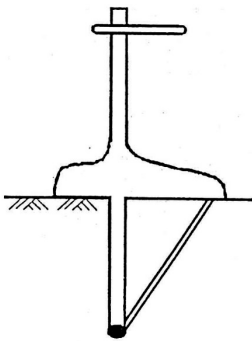
Δοκιμή συμπύκνωσης με πυρηνική συσκευή μέτρησης πυκνότητας



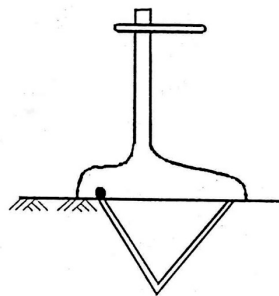
Έλεγχος συμπύκνωσης

Πυρηνικές συσκευές μέτρησης πυκνότητας

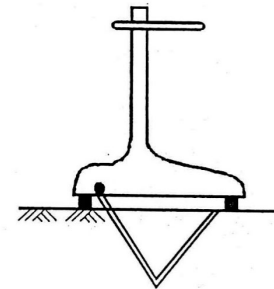
- ❖ Συσκευή απευθείας μετάδοσης: Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα σε βάθος $> 150\text{mm}$. Διάνοιξη μικρής οπής βάθους ίσου με το επιλεγέν βάθος του βραχίονα της συσκευής. Η διάμετρος της οπής δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 3mm της διαμέτρου του βραχίονα.
- ❖ Συσκευή σκέδασης: Αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα σε στρώσεις πάχους $100 - 150\text{mm}$. Περισσότερο διαδεδομένη και εύχρηστη μέθοδος με γρήγορη εξαγωγή αποτελεσμάτων.
- ❖ Συσκευή σκέδασης με διάκενο αέρος: Παραλλαγή της προηγούμενης με σκοπό να μειώσει τα σφάλματα που οφείλονται σε τραχύτητα της επιφάνειας. Καθορισμός βέλτιστου ύψους υπερύψωσης.



Συσκευή απευθείας μετάδοσης



Συσκευή σκέδασης



Συσκευή σκέδασης με διάκενο αέρος



Έλεγχος συμπύκνωσης

Πυρηνική συσκευή μέτρησης πυκνότητας

Ο χρόνος καθορισμού της πυκνότητας με πυρηνικές συσκευές είναι πολύ πιο γρήγορος από τις συμβατικές μεθόδους (< 5min).

Τα αποτελέσματα λαμβάνονται σχεδόν αμέσως και εντοπίζεται η γρήγορα η μη επαρκής συμπύκνωση, διασφαλίζοντας την ποιότητα της κατασκευής.

Οι συσκευές είναι πολύ ακριβότερες των συμβατικών.

Παρότι είναι ακίνδυνες λόγω του συστήματος ασφάλειας που διαθέτουν, πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας εξαιτίας της ύπαρξης ραδιενεργού στοιχείου.



Συσκευή ελέγχου πυκνότητας με πυρηνική μέθοδο



Τέλος ενότητας
Ευχαριστώ για την προσοχή σας!