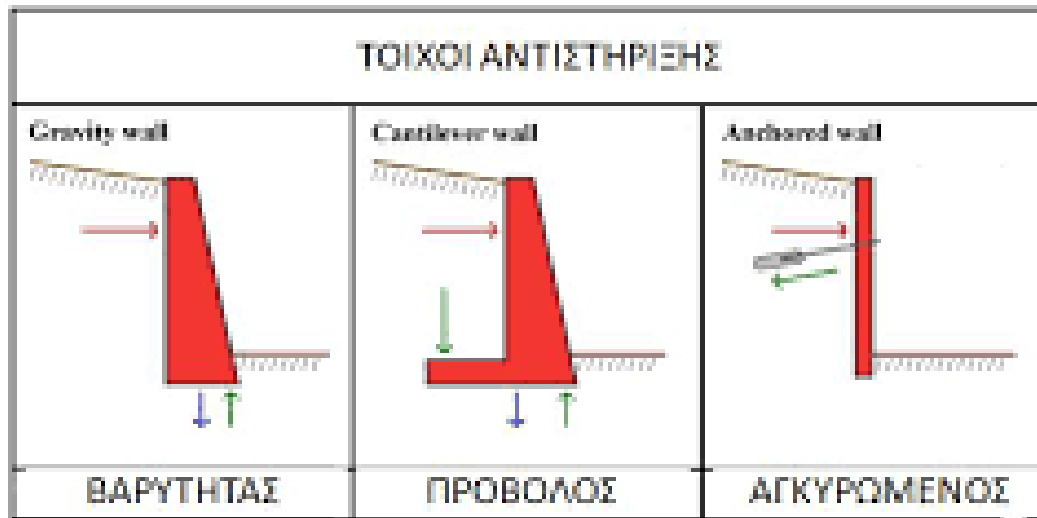


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ-- ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ ΟΔΟΠΟΙΑΣ

4^η ΔΙΑΛΕΞΗ – ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ–

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2020

7. ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ

ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

7.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

- Αποτελούν την πρώτη φάση κατασκευής οδικού έργου.
 - Αρχίζουν με γεωκατασκευές στα πρώτα στάδια και συνεχίζονται μέχρι τα τελευταία (επιχωματώσεις τάφρων –επενδύσεις πρανών κλπ).
 - Σε σημαντικά έργα η διάρκεια ως και πάνω από δύο έτη (βαθιά ορύγματα μεγάλα τεχνικά κλπ).
 - Είναι κατασκευαστικές διαδικασίες με αντικείμενο το έδαφος (γαιώδη-ημιβραχώδη-βραχώδη)
 - Περιλαμβάνουν αποψίλωση-εκχέρσωση(clearing and grubbing)-διάφορες κατηγορίες εκσκαφών –συμπύκνωση-τελικές διαμορφώσεις και επενδύσεις πρανών.
- **Διάκριση Χωματουργικών έργων– Χωματουργικών εργασιών:**
- ❖ Τα έργα είναι το τελικό αποτέλεσμα των περισσότερων εργασιών
 - Τελικώς διαμορφωμένα ορύγματα –επιχώματα, μέτωπα σηράγγων μεταβατικά επιχώματα –**ΔΗΛΑΔΗ ΓΕΩΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ**

7.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

✓ ΚΟΣΤΟΣ: Περίπου το 40% του συνολικού ανάλογα με

- Τύπο οδού και
 - Μορφολογία εδάφους
 - Μικρές οδοί (επαρχιακά δίκτυα κλπ) μικρότερο κόστος
 - Εθνικές οδοί –αυτοκινητόδρομοι μεγαλύτερο κόστος (γεωμετρική άνεση και ασφάλεια επιβάλλουν σημαντικά σε όγκο χωματουργικά.
- Η οικονομική σημασία των χωματουργικών εργασιών δεν εξαντλείται στην φάση της κατασκευής. Η αποπεράτωση ενός οδικού έργου δεν οδηγεί σε μία σταθερή, από πλευράς μηχανικής συμπεριφοράς, κατάσταση, αλλά αντίθετα, διάφορα φαινόμενα που εξελίσσονται μέσα στο χρόνο, όπως:
- η στερεοποίηση του υπεδάφους,
 - ο ερπυσμός,
 - η ρευστοποίηση ψαθυρών υλικών υπό δυναμικές επιπονήσεις και
 - η μεταβολή των υδραυλικών συνθηκών
- είναι σε θέση να οδηγήσουν σε σημαντικές παραμορφώσεις και ρηγματώσεις στην επιφάνεια του οδοστρώματος με επιπτώσεις στη λειτουργικότητα της οδού.

7.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Ένα μεγάλο μέρος από τις φθορές και τις βλάβες οφείλεται σε αστοχία των χωματουργικών έργων όπως:

- καταπτώσεις και κατολισθήσεις πρανών ορυγμάτων,
- καθιζήσεις και ολισθήσεις επιχωμάτων,
- παραμορφώσεις λόγω ανεπάρκειας συμπύκνωσης.

➤ Η αποκατάσταση των βλαβών = σημαντική οικονομική δαπάνη + ιδιαίτερα τεχνικά προβλήματα στην κυκλοφορία.

- Συχνά, αστοχίες χωματουργικών έργων δημιουργούν δυσεπίλυτα τεχνικά προβλήματα (δεν ισχύει στον ίδιο βαθμό, για αστοχίες ασφαλικών έργων ή στοιχείων εξοπλισμού της οδού).

Η ολίσθηση ενός επιχώματος, πχ, δεν μπορεί να αντιμετωπισθεί με τη διάστρωση ενός ασφαλτοτάπητα.

- Η λύση ριζική και υπάρχει πιθανότητα να απαιτηθεί:

- προσωρινή διακοπή της κυκλοφορίας και
- κατασκευή παρακαμπτήριος οδού μέχρι επανακατασκευής επιχώματος και συστήματος επιφανειακής αποστράγγισης και του οδοστρώματος.

□ Αν λοιπόν η σημασία των χωματουργικών εργασιών είναι μεγάλη λόγω του κόστους κατασκευής, γίνεται ακόμη μεγαλύτερη από το γεγονός ότι μια ελαττωματική εκτέλεση προκαλεί τόσο σοβαρές ζημιές στο οδόστρωμα που η αποκατάστασή τους είναι πολύ δαπανηρή και τεχνικά δύσκολη.

7.1 ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

➤ Σε κάθε περίπτωση, (εκτεταμένο και σημαντικό έργο), απαιτείται εκπόνηση μελέτης.

Η μελέτη των χωματουργικών έργων περιλαμβάνει:

- περιγραφή των προς εκτέλεση χωματουργικών εργασιών,
- αναλυτική περιγραφή και λεπτομέρειες της κατασκευαστικής διαδικασίας,
- τεχνικό και χρονικό προγραμματισμό των εργασιών, πρόγραμμα διαχείρισης χωματισμών,
- καθορισμό του αριθμού και της θέσης των μετώπων προσβολής,
- καθορισμό των θέσεων δανειοθαλάμων και αποθεσιοθαλάμων.

Περιλαμβάνει ή και συμπληρώνεται από γεωτεχνική μελέτη (θέματα ευστάθειας):

- θεμελίωσης και μέτρων προστασίας των έργων.

➤ Η μελέτη των χωματουργικών έργων βασίζεται:

- σε υδρολογικά στοιχεία,
- σε δεδομένα γεωλογικής και γεωτεχνικής αναγνώρισης,
- στις αντίστοιχες επιλογές της μελέτης οδοποιίας,
- στις επί τόπου συνθήκες και
- στο χρονοδιάγραμμα του συνόλου του έργου οδοποιίας.

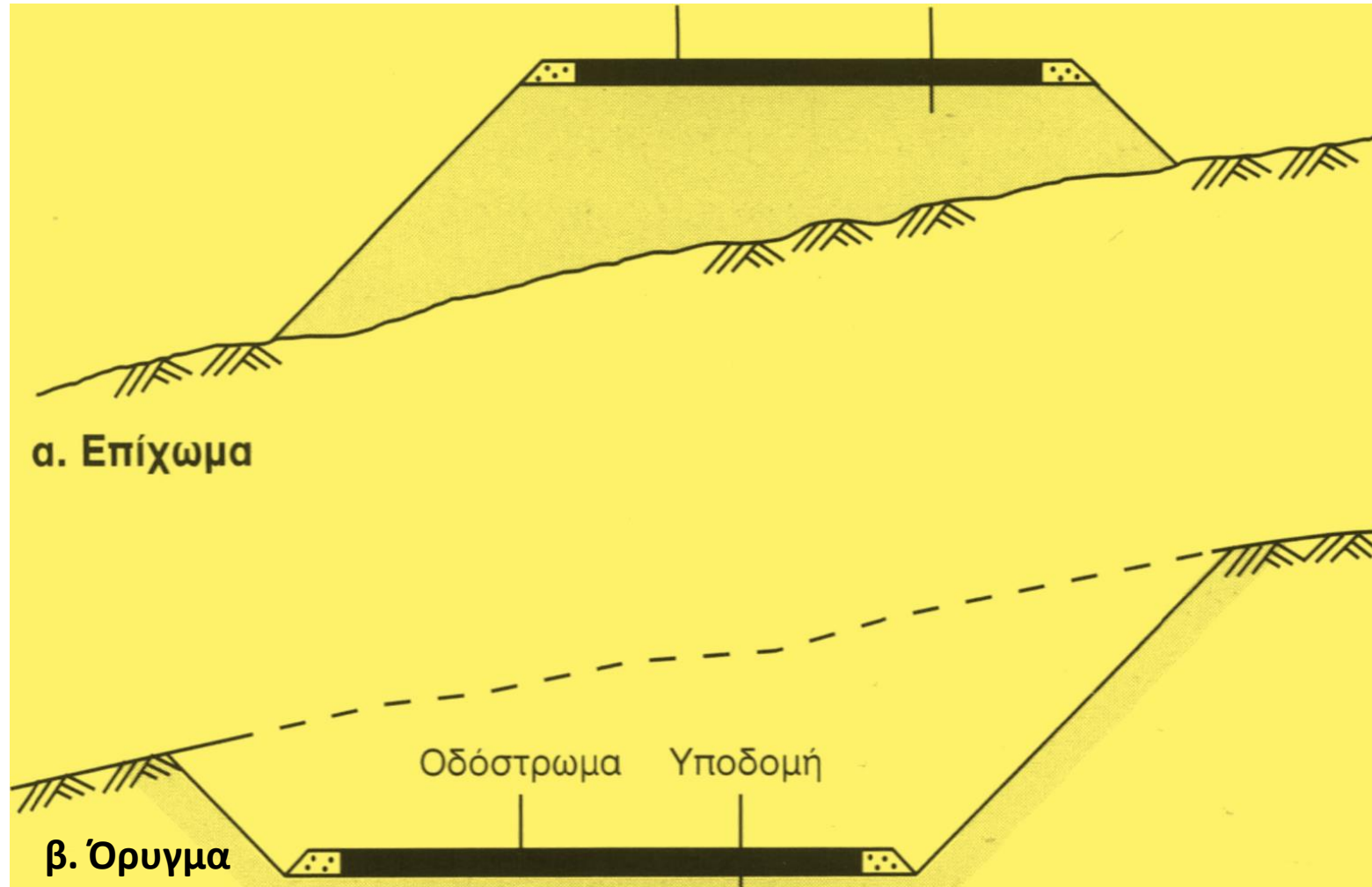
7.2 Διάκριση χωματοργικών εργασιών

- ✓ Οδόστρωμα: Ο βασικός φορέας μιας οδού, (κατανέμει και μεταφέρει τα φορτία των οχημάτων στο έδαφος. Το οδόστρωμα δεν τοποθετείται απευθείας στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους, αλλά επιφάνεια τεχνητή, η σχετική με τον σχεδιασμό της μηκοτομής (διατομής της οδού σε όρυγμα ή επίχωμα).
- ώστε η κίνηση των οχημάτων να είναι ομαλή
- δεν παρουσιάζει τα προβλήματα του φυσικού εδάφους (νερά, βλάστηση, εγκάρσιες κλίσεις) ώστε η κίνηση των οχημάτων να είναι απρόσκοπτη.
- Η τεχνητή αυτή επιφάνεια ονομάζεται σκάφη ή στέψη, αντίστοιχα αν η διατομή ευρίσκεται σε όρυγμα ή επίχωμα και γενικότερα, “στρώση έδρασης οδοστρώματος” (ΣΕΟ).
- Οι χωματοργικές εργασίες είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων που εκτελούνται μέχρις της τελικής επιφάνειας χωματοργικών, δηλαδή της ΣΕΟ, και αποτελούν το στάδιο κατασκευής της υποδομής της οδού.
- Στη συνέχεια τοποθετούνται οι στρώσεις της υπόβασης, της βάσης (οδοστρωσία)
- και οι ασφαλτοτάπητες ή οι πλάκες σκυροδέματος που απαρτίζουν την επιδομή της οδού.
- Βασικό στη διαδικασία των χωματοργικών :
 - να παραμένει άθικτη και απαραμόρφωτη η στρώση έδρασης οδοστρώματος και, κατ’ επέκταση, η επιφάνεια κυκλοφορίας.

7.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Οδόστρωμα

Επίχωμα



Σχήμα 41. *Οδόστρωμα και υποδομή της οδού.*

7.2 Διάκριση χωματοργικών εργασιών

Χωματοργικές εργασίες είναι:

- η εκρίζωση θάμνων και δένδρων που ευρίσκονται μέσα στο εύρος κατάληψης της οδού
- ο καθαρισμός του επιφανειακού στρώματος της φυτικής γης
- οι εκσκαφές διαφόρων τύπων και επιμέρους έργων
- η μεταφορά εδαφικών υλικών
- οι κάθε είδους και έκτασης επιχωματώσεις ή εδαφοπληρώσεις
- οι λιθοπληρώσεις, η κατασκευή λιθορριπής και η τοποθέτηση αποστραγγιστικών κλινών
- οι μορφώσεις πρανών ορυγμάτων και επιχωμάτων
- η συμπύκνωση στρώσεων υπεδάφους, επιχώματος και οδοστρωσίας καθώς και πρανών επιχωμάτων
- οι τελικές εργασίες επένδυσης πρανών και λοιπών επιφανειών γεωκατασκευών.

7.2 Διάκριση χωματουργικών εργασιών

- ✓ Χρονολογικά η σειρά εκτέλεσης των εργασιών είναι προκαθορισμένη:
 - η πρώτη φάση περιλαμβάνει τις προκαταρτικές εργασίες (αποψίλωση, εκχέρσωση),
 - ακολουθούν οι κύριες εργασίες (εκσκαφές, επιχωματώσεις) και
 - στην τελευταία φάση εκτελείται η συμπύκνωση των διαφόρων στρώσεων.
 - Η δυνατότητα μερικής επικάλυψης ορισμένων βάσεων (θέμα μηχανικού- εξοπλισμού του αναδόχου και του μεγέθους του έργου).
- ✓ Σε μικρά έργα, ένας προγραμματισμός, που προβλέπει την αποπεράτωση των εργασιών κάθε φάσης πριν από την έναρξη της επόμενης, ανταποκρίνεται καλύτερα στις πραγματικές συνθήκες.
- ❖ Αντιθέτως, σε μεγάλα και εκτεταμένα έργα, μία πλήρης ανάπτυξη του μηχανικού εξοπλισμού σε περισσότερα μέτωπα εργασίας είναι επιθυμητή ώστε να επιταχυνθεί η κατασκευαστική διαδικασία σε επίπεδο χωματουργικών εργασιών.

7.2 Διάκριση χωματοργικών εργασιών

Εικόνα 13. *Χωματοργικές εργασίες*



7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Αποψίλωση - Εκχέρωση

Στις εργασίες αυτές περιλαμβάνονται:

- η καθαίρεση μικροκατασκευών,
- η απομάκρυνση εμποδίων, φρακτών και λίθων,
- η εκκοπή δένδρων και θάμνων,
- η εκσκαφή του επιφανειακού στρώματος της φυτικής γης σε βάθος 30-50 cm.

❖ Οι εργασίες αυτές γίνονται σε δύο φάσεις.

❖ Πρώτη: ο προωθητής σαρώνει και απομακρύνει εμπόδια μέσα στη ζώνη κατάληψης της οδού.

❖ Στη συνέχεια γίνεται η εκσκαφή των φυτικών γαιών, οι οποίες “αποθηκεύονται. ξεχωριστά ούτως ώστε να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για επένδυση πρανών.

❖ Λόγοι προστασίας του περιβάλλοντος και διατήρησης της οικολογικής ισορροπίας επιβάλλουν την επαναφύτευση ορισμένων δένδρων μετά τη μερική ή ολική εκτέλεση των χωματουργικών.

❖ Η εκσκαφή των φυτικών γίνεται, κατά κύριο λόγο, με προωθητή, αν και, σπανιότερα, ισοπεδωτές και φορτωτές χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό.

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Εκσκαφές

- Οι εκσκαφές κατατάσσονται στις κύριες χωματουργικές εργασίες.
- Σημαντικό στάδιο των χωματουργικών ΕΚΤΕΛΕΣΗ μετά από μελέτη και με μεγάλη προσοχή, ώστε να μην κινδυνεύουν παρακείμενες ή και υποκείμενες κατασκευές.
- Ανάλογα, με την έκταση, το είδος του τεχνικού έργου και την ποιότητα του εδάφους, οι εκσκαφές διακρίνονται σε:
 - εκσκαφές φυτικών
 - γενικές εκσκαφές
 - εκσκαφές βραχωδών σχηματισμών
 - εκσκαφές σηράγγων
 - εκσκαφές θεμελίωσης τεχνικών έργων
 - εκσκαφές τάφρων, φρεατίων, στραγγιστικών πετασμάτων
 - εκσκαφές δανειοθαλάμων, (καθαιρέσεις) αποθεσιοθαλάμων.

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

- Γενικές εκσκαφές : μεγάλη έκταση και βάθος.
- Είναι οι κύριες εκσκαφές για δημιουργία ορυγμάτων.
 - Εκτελούνται, ανάλογα με τη γεωμετρία των διατομών και το είδος του πετρώματος ή του εδάφους, με εκσκαφέα κατά κύριο λόγο, προωθητή ή χωματοσυλλέκτη.
 - Ο προωθητής : για εκσκαφές μικρού βάθους, για κατασκευή μικτών διατομών σε μικρή κλίμακα αλλά και για πολύ σκληρά ημιβραχώδη εδάφη, όπου η λειτουργία του (τύποι D10 και D11) είναι αποτελεσματικότερη από αυτήν του εκσκαφέα.
 - Ο χωματοσυλλέκτης : σε μαλακά εδάφη, αμμοχαλικώδη, αμμοαργιλώδη : πλεονέκτημα η δυνατότητα μεταφοράς των προϊόντων εκσκαφής για περιορισμένες αποστάσεις.
- Στις γενικές εκσκαφές κατατάσσονται και κάποιες ειδικές κατηγορίες εκσκαφών, όπως:
 - η χάραξη βαθμίδων αγκύρωσης,
 - η χάραξη αναβαθμών

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

- Εκσκαφές σε βραχώδη πρανή, και εκσκαφές διάτρησης σηράγγων, ακολουθούν μία ειδική τεχνική:
- προρηγμάτωση και χαλάρωση και
- Μετά εκσκαφή με ειδικό εξοπλισμό, ισχυρούς προωθητές για τα βραχώδη πρανή, διατρητικά σηράγγων (Jumbo) για τις σήραγγες (Εικ. 14).



Εικόνα 14. Διατρητικό μηχάνημα σηράγγων.

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

- Εκσκαφές θεμελίωσης τεχνικών έργων και εκσκαφές έργων αποστράγγισης : σε απόλυτα συγκεκριμένο γεωμετρικό περίγραμμα με τον εκσκαφέα.
- Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για μικρής έκτασης έργα ή σε κατασκευές αστικής οδοποιίας, μικρό εκσκαπτικό (τύπου JCB).
- Οι εκσκαφές δανειοθαλάμων και αποθεσιοθαλάμων προσωρινής απόθεσης υλικών με εκσκαφέα. Σε χαλαρά υλικά, και φορτωτής (πλεονέκτημα της εύκολης μετακίνησης).

Πίνακας 25. Κατηγορίες εκσκαφών οδοποιίας και καταλληλότητα μηχανημάτων

Έργο ή εργασία	Μηχανήματα					
	Εκσκαφέας	Χωματοσυλλέκτης	Προωθητής	Φορτωτής	Διατηρητικά σπράγγων	Μικρό εκσκαπτικό (JCB)
Φυτική γη	—	*	**	(*)	—	—
Γενικές εκσκαφές	**	*	*	(*)	—	(*)
Τάφροι, αυλάκια	**	—	—	—	—	*
Θεμελιώσεις τεχνικών έργων	**	—	—	—	—	*
Σήραγγες	(*)	—	—	(*)	**	—
Δανειοθάλαμοι	**	—	—	*	—	(*)
Βραχώδεις σχηματισμοί	*	—	**	—	—	—

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

➤ Μεταφορά εδαφικών υλικών

❖ Η μεταφορά προϊόντων εκσκαφής, έργου οδοποιίας, αποτελεί ακόμη αντικείμενο ειδικής μελέτης που περιλαμβάνει τη χάραξη των διαγραμμάτων κίνησης γαιών και των γραμμών διανομής.

Σύμφωνα με τις βασικές αρχές των μελετών αυτών:

- οι μικρές αποστάσεις μεταφοράς καλύπτονται από τον προωθητή,
 - οι μεσαίες από το χωματοσυλλέκτη και
 - οι μεγαλύτερες από τα “αυτοκίνητα”, δηλαδή τα ανατρεπόμενα φορτηγά, συμβατικά ή εργοταξιακά. Χωματοσυλλέκτες σπάνια σε εργοτάξια οδοποιίας, στην Ελλάδα αλλά και στην Ευρώπη, και οι προωθητές δεν χρησιμοποιούνται σε κάθε είδους εκσκαφές, : μελέτες κίνησης γαιών έχουν ατονήσει στην πράξη.
- ✓ Διαχείριση -ισοζύγιο των χωματισμών -μεταφοράς των υλικών -σοβαρότατο για κάθε έργο οδοποιίας.

πρέπει να προκαθορισθεί:

- ο όγκος των καταλλήλων προς επίχωση γαιών,
- το χρονοδιάγραμμα εκσκαφών και κατασκευής επιχωμάτων,
- οι χώροι προσωρινής απόθεσης υλικών,
- η διάθεση ή υπό όρους χρησιμοποίηση ακαταλλήλων εδαφικών υλικών,
- η αποθήκευση και επαναχρησιμοποίηση φυτικών.

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

- Βασικά μηχανήματα μεταφοράς υλικών είναι τα ανατρεπόμενα φορτηγά, συμβατικά ή εργοταξιακά (dumpers).
- Παράλληλα, ο προωθητής, ο χωματοσυλλέκτης αλλά και ο φορτωτής μπορούν να χρησιμοποιηθούν (περιορισμένες σε όγκο και απόσταση, κινήσεις μεταφοράς υλικών).
- ✓ Εκτός από τη μεταφορά προϊόντων εκσκαφής, τα μηχανήματα μεταφοράς οδηγούν στους εργοταξιακούς χώρους και άλλα, εδαφικής σύστασης, υλικά:
 - όπως δάνεια, αμμοχάλικα, αδρανή, κροκάλες αλλά
 - και υλικά κατασκευής στρώσεων οδοστρωσίας.

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Επιχωματώσεις

- Οι εργασίες επιχωμάτωσης, : διάσπαση σειραδίων και διάστρωση των εδαφικών υλικών, σε συγκεκριμένο πάχος και επιφάνεια, ανήκουν, στις κύριες χωματουργικές εργασίες. Φορτωτές, προωθητές και κυρίως, ισοπεδωτές χρησιμοποιούνται στη φάση αυτήν.
- Ομογενοποίηση και προεπεξεργασία του υλικού απαιτείται, προ της διάστρωσης.
- Το πάχος της στρώσης προ της συμπύκνωσης : από τα χαρακτηριστικά του υλικού και το βαθμό συμπύκνωσης -προσδιορίζεται προ της έναρξης των εργασιών.

Για κατασκευή οδικών επιχωμάτων και άλλες γεωκατασκευές, απομάκρυνση, στη φάση των επιχωματώσεων, επιβλαβή μη εδαφικά υλικά, οργανικά, ρίζες, κλαδιά και ογκώδη τεμάχια βράχου εκτός προδιαγραφών.

- στη γενική περίπτωση επιχωματώσεων οδικών γεωκατασκευών, ο ισοπεδωτής προτιμάται του προωθητή, επειδή διαθέτει την ικανότητα απάλειψης επιφανειακών ανωμαλιών παράλληλα με τη μετακίνηση.
- Επιπρόσθετα, οι σύγχρονοι ισοπεδωτές είναι εφοδιασμένοι με ειδικά ηλεκτρονικά όργανα για την ακριβή διαμόρφωση της κάθε επιφάνειας χωματουργικών στο επιθυμητό επίπεδο.
- Όταν, πρόκειται για βραχώδη προϊόντα ή γαιώδη υλικά με λίθους, ο προωθητής, ως ισχυρότερο μηχάνημα έχει καλύτερη απόδοση σε εργασίες διάστρωσης.

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Στις επιχωματώσεις συμπεριλαμβάνονται:

- οι εργασίες διάστρωσης εδαφικών υλικών για κατασκευή επιχωμάτων
- οι εργασίες επαναπλήρωσης όπισθεν τοίχων αντιστήριξης
- οι εργασίες κατασκευής μεταβατικών επιχωμάτων μικρών τεχνικών, επίχωσης πτερυγοτοίχων
- οι εργασίες εδαφοπλήρωσης γραμμικών στραγγιστηρίων, τάφρων.

Ανάλογα με φύση, έκταση και υλικό κατασκευής, επιλέγονται τα κατάλληλα μηχανήματα επιχωμάτωσης και συμπύκνωσης. Σε έργα περιορισμένης έκτασης, για την κατασκευή μιας επανεπίχωσης (backfill), χρήση εκσκαφέα : το μηχάνημα επαναπλήρωσης τάφρων στραγγιστηρίων.

Εικόνα 15. Διάστρωση και διαβροχή αμμοχάλικου για κατασκευή επιχώματος



7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Λιθοπληρώσεις, λιθορριπές

➤ Λιθοπληρώσεις, λιθορριπές, στραγγιστικές κλίνες : ειδική κατηγορία επιχωματώσεων με χρήση χονδρόκοκκων αδρανών υλικών.

✓ Τα υλικά είναι συχνά απαλλαγμένα από λεπτόκοκκα συστατικά και προέρχονται από λατομεία ή από διαλογή αμμοχάλικων χειμάρρων.

Οι εργασίες διάστρωσης και κατασκευής γίνονται ανάλογα με την έκταση και το είδος του έργου καθώς και το μέγιστο μέγεθος (και βάρος) του αδρανούς:

- από εργατοτεχνικό προσωπικό (χειρόθετος λιθορριπή)
- από προωθητή (στραγγιστικές κλίνες)
- από εκσκαφέα (φίλτρα πρανούς)
- από συνδυασμό λειτουργίας εκσκαφέα και εργασίας προσωπικού (στραγγιστικά πετάσματα).

➤ Οι εργασίες αυτές συνοδεύονται, τις περισσότερες φορές, από διάστρωση γεφυφασμάτων διαχωρισμού και ολοκληρώνονται, κατά περίπτωση, με διάστρωση διαβαθμισμένου ή ισόκοκκου εδαφικού υλικού (αμμοχάλικο, άμμος, υλικό 3Α).

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Μόρφωση πρανών

- Η πορεία διαμόρφωσης πρανών παρακολουθείται στη φάση των κύριων χωματουργικών εργασιών, εκσκαφών και επιχωματώσεων, όπου και πραγματοποιείται η χονδροειδής μόρφωση των πρανών.
- Άρα η κλίση του κάθε πρανούς, πρέπει να δίδεται είτε στη φάση των εκσκαφών (πρανή ορυγμάτων), είτε στη φάση των επιχωματώσεων (πρανή επιχωμάτων).
- Μετά την ολοκλήρωση των κύριων χωματουργικών εργασιών δύσκολη η ριζική αλλαγή της κλίσης της επιφάνειας του πρανούς.
- Η τελική μόρφωση των πρανών : δευτερεύουσες χωματουργικές εργασίες και ακολουθούν την αρχική χονδροειδή κατασκευή.
- Σε περιπτώσεις πρανών ορυγμάτων, η τελική μόρφωση των πρανών πρέπει να ακολουθεί αμέσως μετά τις εκσκαφές και, απαραίτητως, πριν από τη μετάβαση σε κατώτερο επίπεδο εργασίας.
- Σε περίπτωση κατασκευής ενός επιχώματος, η μόρφωση του πρανούς είναι ακόμη σημαντικότερη εργασία και μπορεί να γίνεται σταδιακά, με την εξέλιξη των εργασιών, ή στο τέλος, εφόσον το ύψος του επιχώματος παραμένει μικρό ($h < 5 \text{ m}$).

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

- Η κλίση των πρανών παρακολουθείται και καταγράφεται είτε με τοπογραφικές μεθόδους είτε με απλό ειδικό όργανο, τη μοδίνα.
- Ανάλογα με την κάθε περίπτωση, το ύψος του πρανούς, τη φύση των υλικών, επιδιώκεται η πλήρης ή μερική εξομάλυνση της επιφάνειας και η οριστική διαμόρφωση πρανών ορυγμάτων και επιχωμάτων.
- Η τελική μόρφωση της επιφάνειας των πρανών γίνεται με την εξωτερική παρειά του κάδου του εκσκαφέα (ανεστραμμένου πτύου, (backhoe).
- Αν οι κλίσεις των πρανών είναι πολύ ήπιες (< 1:2), και ιδιαίτερα σε πρανή επιχωμάτων, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί και προωθητής για μόρφωση των πρανών.
- Η εργασία της οριστικής μόρφωσης των πρανών είναι δυνατό να παραλειφθεί σε μικρότερης σημασίας έργα, ενώ, σε ειδικές περιπτώσεις και σε προσβάσιμα πρανή, οι εργασίες πραγματοποιούνται από εξειδικευμένο προσωπικό.

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

Το θέμα της συμπύκνωσης είναι σοβαρότατο και περιγράφεται αναλυτικά ιδιαίτερο κεφάλαιο (Κεφ. 8).

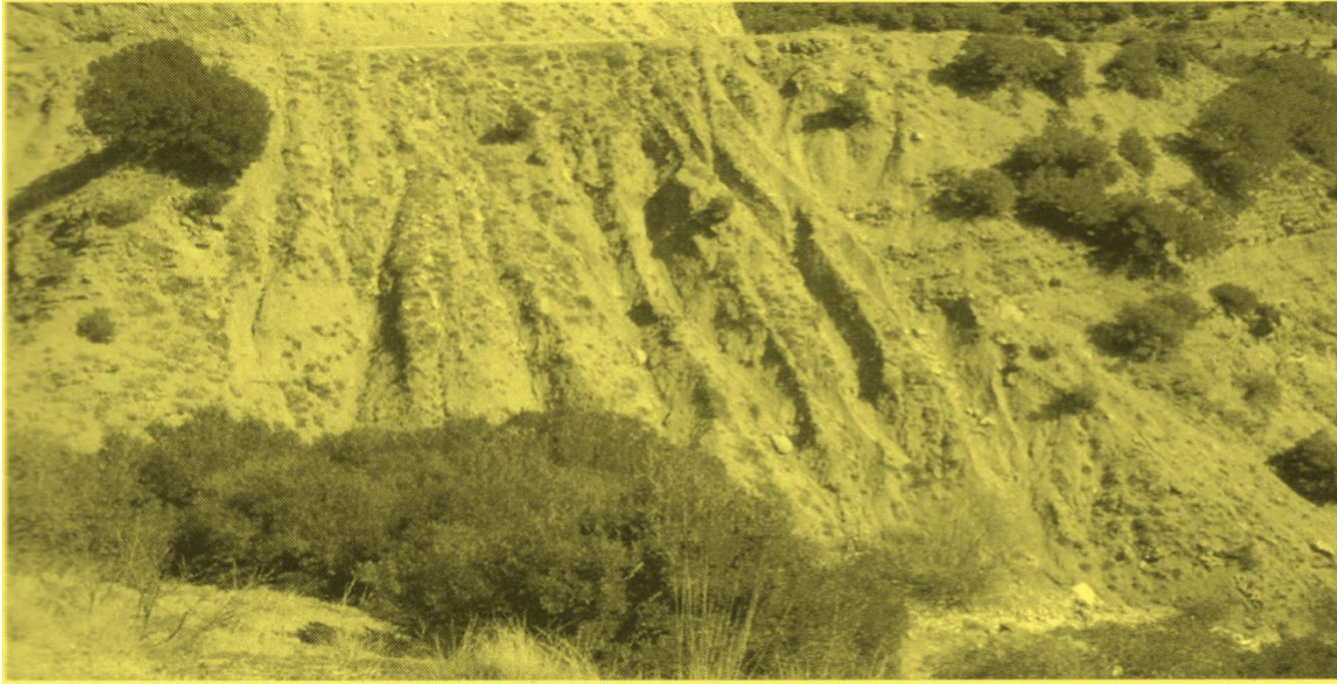
7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Επενδύσεις πρανών

- Οι επενδύσεις πρανών με φυτικά γαιώδη υλικά : το τελικό στάδιο χωματοουργικών εργασιών.
- Στις εργασίες αυτές δεν συμπεριλαμβάνονται μέτρα σταθεροποίησης και ενίσχυσης των πρανών (αγκύρια, ηλώσεις) ούτε διατάξεις αντιστήριξης (τοίχοι οπλισμένου σκυροδέματος, διαφράγματα, κλπ).
- Οι επενδύσεις πρανών προγραμματίζονται, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κατασκευής μεγάλων ορυγμάτων, για να υπάρχει πρόσβαση και δυνατότητα υλοποίησης, είτε σε ενδιάμεση είτε σε τελική φάση χωματοουργικών.
- Η κάλυψη των πρανών με στρώμα φυτικής γης αποτελεί την κλασική επένδυσης γεωκατασκευών οδοποιίας.
- Τη διάστρωση, με κλίση σχετικώς ήπια (< 1:1,5), ακολουθεί ελαφρά συμπύκνωση, ώστε αφενός η επένδυση να μην κινδυνεύει από διάβρωση και αφετέρου να μπορεί να φυτευθεί.
- Εναλλακτικά, σε περισσότερο απότομες κλίσεις πρανών, η επένδυση μπορεί γίνει με συνδυασμό φυτικού γεωπλέγματος και υδροσποράς ή με τοποθέτηση γεωκυψελών και πλήρωση με φυτική γη.
- Όταν αφορά τελική επένδυση, η ενδιάμεση φάση μόρφωσης των πρανών με τον κάδο του εκσκαφέα παραλείπεται.
- ✓ Η επιφάνεια των πρανών πρέπει να παραμένει “άγρια” (με ποικιλόμορφες ανωμαλίες), ώστε η πρόσφυση της τελικής επένδυσης να είναι σταθερή και διαρκής.

7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΧΩΜΑΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

- *Εικόνα 16. Διάβρωση ανεπένδυτων πρανών.*



Εικόνα 17. Επένδυση πρανούς ορύγματος με συρματοκιβώτια

Σε ειδικές περιπτώσεις κινδύνου διάβρωσης, πρανή ορυγμάτων και επιχωμάτων επενδύονται με συρματοκιβώτια σε κατάλληλη διάταξη (Εικ. 17), τα οποία, εκ παραλλήλου, χρησιμεύουν και για αντιστήριξη της εδαφικής μάζας του πρανούς.

7.4 Μηχανήματα

- ✓ Ο σύγχρονος μηχανικός εξοπλισμός σε έργα οδοποιίας, παρουσιάζει μία τεράστια ποικιλία, η οποία διευρύνεται ακόμη περισσότερο με την πάροδο των ετών, στο βαθμό που οι διάφοροι κατασκευαστικοί οίκοι επιδιώκουν να προσφέρουν μηχανήματα με μεγαλύτερη απόδοση και αυξημένη ισχύ.
- ✓ Η αλματώδης αύξηση του μεγέθους και η ποιοτική αναβάθμιση των οδικών έργων οφείλονται,, στις μεγάλες δυνατότητες που παρέχουν τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται σε έργα οδοποιίας.
- ✓ Στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, τα μηχανήματα αυτά έχουν καταγράψει μια ραγδαία εξέλιξη, τόσο ως προς την τεχνολογική διάσταση, όσο και ως προς τα μεγέθη απόδοσης, ανεβάζοντας, ταυτόχρονα, σημαντικά τη δυνατότητα παραγωγής τεχνικού έργου στην οδοποιία.
- Στο πλαίσιο της κατασκευαστικής διαδικασίας ενός έργου οδοποιίας, χρησιμοποιείται μία τεράστια ποικιλία μηχανικού εξοπλισμού, που είναι τόσο μεγαλύτερη και πληρέστερη, όσο σημαντικότερο και περισσότερο εκτεταμένο είναι το έργο.
- Ορισμένα από τα μηχανήματα αυτά δραστηριοποιούνται στη φάση εκτέλεσης των χωματουργικών, ενώ άλλα χρησιμεύουν σε μεταγενέστερες φάσεις του έργου.

7.4 Μηχανήματα

Μία ενδεικτική κατάταξη του μηχανικού εξοπλισμού έργων οδοποιίας, δίδεται στον Πίνακα 26.

<i>Χωματοουργικά</i>	<i>Μεταφοράς</i>	<i>Ασφαλτικά</i>	<i>Σκυροδέματος</i>	<i>Συμπύκνωσης</i>	<i>Διατρητικά</i>
Εκσκαφείς	Φορτηγά	Αναμικτήρες	Αναμικτήρες	Μεταλλικοί κύλινδροι	Περιστροφικά τρυπάνια
Πρωθητές	Ανατρεπόμενα εργοταξίου	Διανομείς ασφάλτου	Αντλίες	Δονητικοί οδοστρωτήρες	Κρουστικά χειροκίνητα
Ισοπεδωτές	Γερανοί	Διαστρωτήρες ασφαλτομίγματος	Κυλιόμενοι μεταλλότυποι	Κρουστικοί οδοστρωτήρες	Μηχανοκίνητα κρουστικά (wagon drill)
Φορτωτές	Μεταφορικοί μάντες	Σάρωθρα	Θραυστήρες αδρανών	Συρόμενοι κύλινδροι	Διατρητικά σηράγγων (Jumbo)
Χωματοσυλλέκτες	Βαρέλες	Ψηφιδιέρες	Διαστρωτήρες οδοστρωμάτων	Ελαστιχοφόροι πολλαπλών τροχών	Αρμοκόφτες
Μικρά εκσκαπτικά	Αρθρωτά φορτηγά	Φρέζες	Διαστρωτήρες τάφρων - στηθαίων	Τυπαδωτοί οδοστρωτήρες	—
Βυτία διαβροχής	—	Διαγραμμιστήρες	Δονητές	Οδοντωτοί οδοστρωτήρες	—

Πίνακας 26. Κατάταξη μηχανικού εξοπλισμού έργων οδοποιίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.4

ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΤΩΝ ΕΠΗΡΕΑΖΕΙ:

- Το κόστος του έργου
- Το χρόνο υλοποίησής του

Την ποιότητα κατασκευής

Την ασφάλεια των εργαζομένων

ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΕΚΣΚΑΦΩΝ

Έργο τους η εκσκαφή του εδάφους και η μετακίνηση ή απόθεσή του σε άλλη θέση.

Συνήθως έχουν 2 μηχανές (1 για κίνηση και 1 για εκσκαφή).

Ως εκσκαπτικά λειτουργούν είτε με υδραυλικό σύστημα είτε με συσματοσχοίνα.

Η κίνησή τους γίνεται είτε με ερπύστριες είτε με ελαστικοφόρους τροχούς.

Διακρίνονται σε '' εκσκαφείς γενικής χρήσης'', ''επίπεδους εκσκαφείς'' και ''φορτωτές''.

ΕΚΣΚΑΦΕΙΣ ΓΕΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

- Κύριο χαρακτηριστικό τους αποτελεί το σύστημα "βραχίονα - κάδου".
- Ο κάδος είναι εξοπλισμένος με σκληρά δόντια ή κοφτερά χείλη που εισχωρούν στο έδαφος και παραλαμβάνουν ποσότητα εδάφους. Ο κάδος προωθείται από τον βραχίονα.
- Ανάλογα με το σύστημα "βραχίονα - κάδου" οι εκσκαφείς διακρίνονται σε:
 - ❖ "εκσκαφείς γενικής χρήσης",
 - ❖ "επίπεδους εκσκαφείς" και
 - ❖ "φορτωτές".

ΕΚΣΚΑΦΕΙΣ ΜΕ ΜΕΤΩΠΙΚΟ ΠΤΥΟ
(ΦΤΥΑΡΙ) ΦΟΡΤΩΣΗΣ
(ΣΟΒΕΛ)



Για εκσκαφή πάνω από το επίπεδο του μηχανήματος.

- ✓ Αποτελούν την αποδοτικότερη λύση γενικών εκσκαφών.
- ✓ Είναι δυνατή η εκσκαφή σκληρών υλικών.

Χρήση σε :

- λατομεία αδρανών υλικών,
- σε εδάφη από αμμοχάλικο ή άργιλο,
- σε έργα οδοποιίας,
- σε βελτιώσεις πρανών και όχθων κ.α.

ΕΚΣΚΑΦΕΙΣ ΜΕ ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟ

ΠΤΥΟ
(ΤΣΑΠΑ)

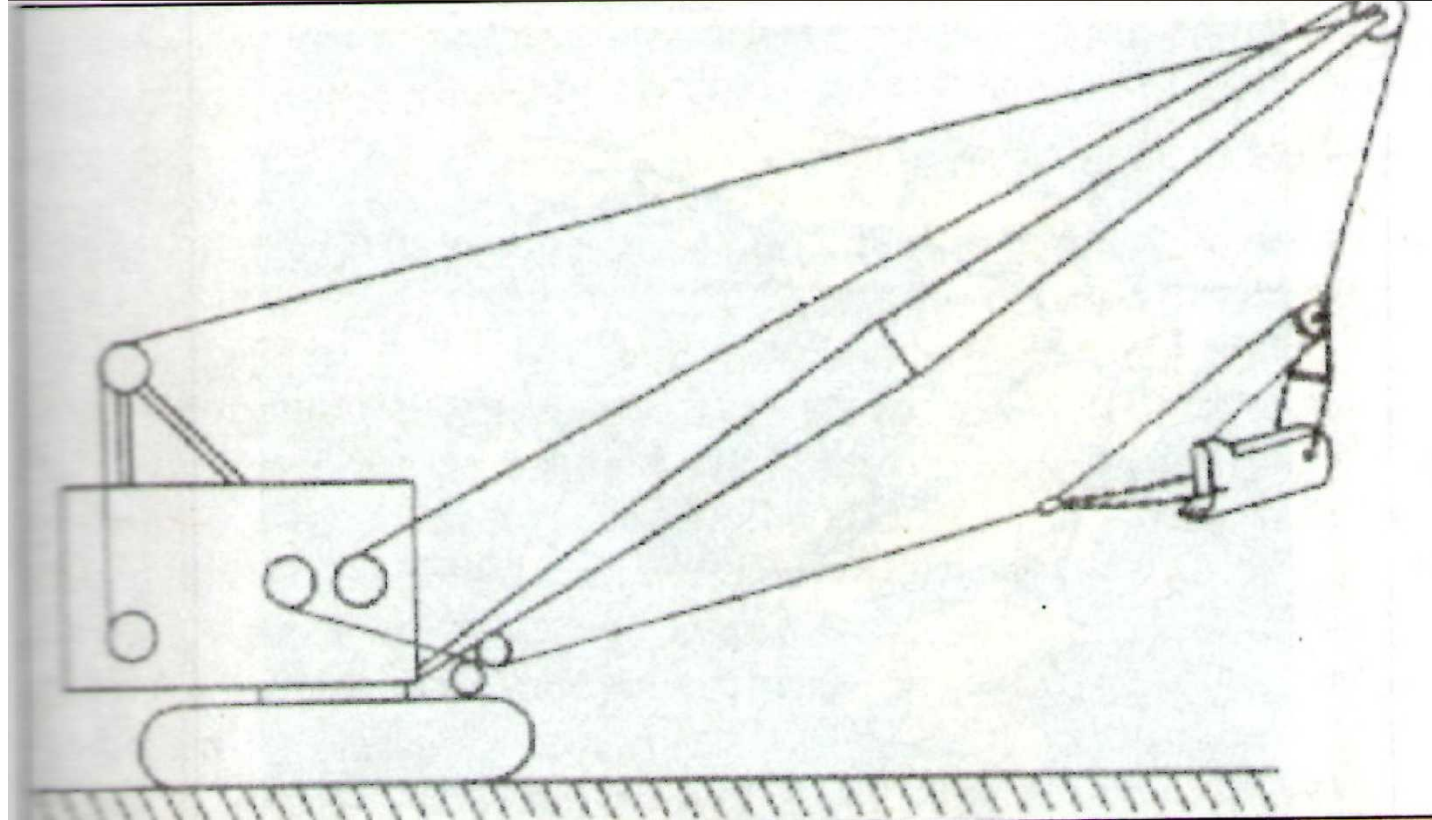


Για εκσκαφή κάτω από το επίπεδο του μηχανήματος.

Δυνατότητα εκσκαφής σε σκληρά εδάφη.

- Χρήση σε
- εκσκαφή τάφρων,
- θεμελίων,
- φυτικών γαιών,
- στον καθαρισμό αρδευτικών τάφρων και
- στη διαμόρφωση πρανών επιχωμάτων.

ΕΚΣΚΑΦΕΙΣ ΜΕ ΣΥΡΟΜΕΝΟ ΚΑΔΟ (ΝΤΡΑΓΚΛΑΪΝ)



Αποτελούνται από 1 κάδο ανοικτό από τη μια πλευρά ο οποίος έλκεται από 1 συρματόσχοινο.

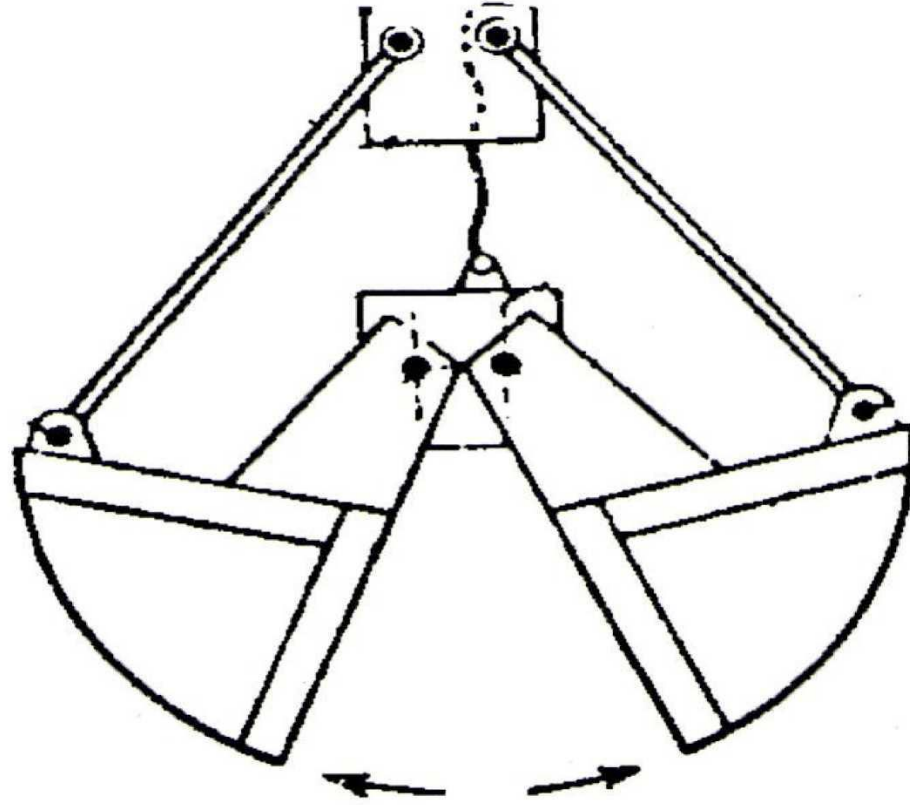
Πλεονέκτημά του το ότι διαθέτει μακρύτερο βραχίονα και έτσι έχουμε μεγαλύτερη ακτίνα δράσης.

Η ταχύτητα του κάδου είναι σχεδόν διπλάσια από τους άλλους εκσκαφείς.

Για χαλαρά υλικά κάτω από την επιφάνεια του μηχανήματος.

Χρήση σε καθαρισμό ταφρών, εκσκαφή κάτω από το επίπεδο του νερού, εκσκαφή διώρυγας και διευθέτηση πρανών από μαλακό έδαφος.

ΕΚΣΚΑΦΕΙΣ ΜΕ ΑΡΠΑΓΗ
(ΚΛΑΜΣΕΡ)



Ίδιος σε Λειτουργία με τον εκσκαφέα με συρόμενο κάδο εκτός από την κατασκευή του κάδου (αρπάγη με σιαγόνες).

Για εργασία πάνω και κάτω από το επίπεδο του μηχανήματος.

Χρήση για εκσκαφές μέσα στο νερό, σε πυραμιδοειδείς χοάνες ή κατακόρυφα και για εκφόρτωση αδρανών υλικών από φορτηγίδες στα λιμενικά έργα.

ΕΚΣΚΑΦΕΙΣ ΓΕΡΑΝΟΙ

ΚΡΕΙΝ)



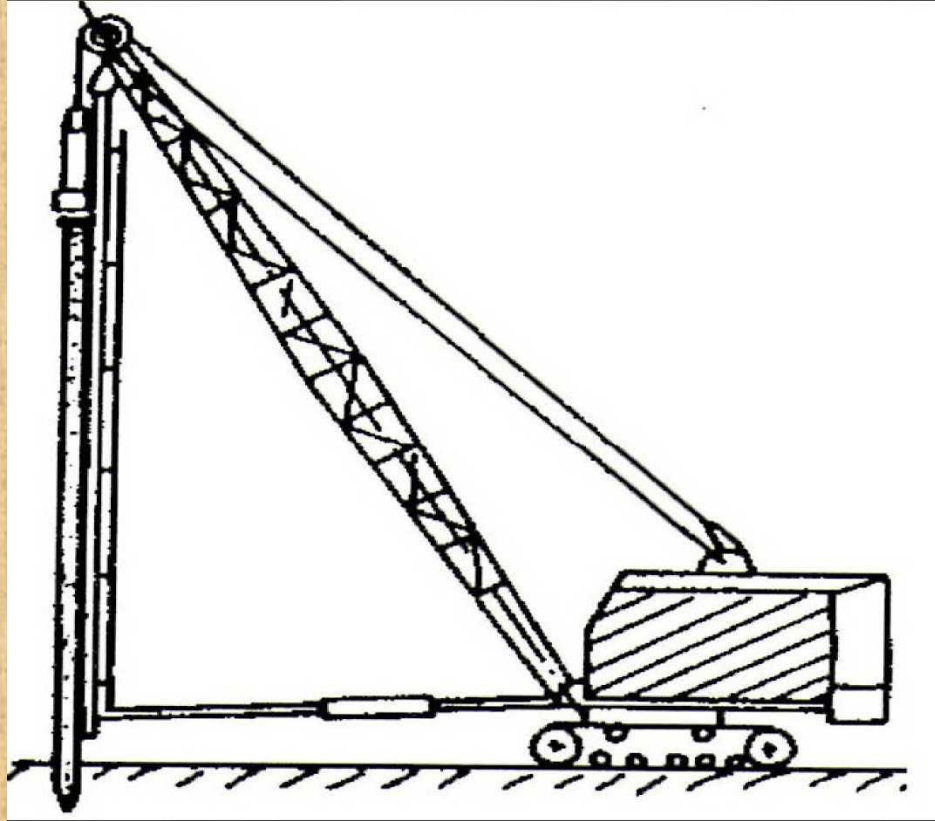
Χρήση για ανύψωση και τοποθέτηση φορτίων σε νέα θέση.

Γενικά εργάζεται σε σταθερή βάση, εκτός και αν το φορτίο είναι πολύ ελαφρύ και τότε μπορεί να κινείται και το μηχάνημα.

Όσο μεγαλύτερη γωνία σχηματίζει ο γερανός με το οριζόντιο επίπεδο, τόσο βαρύτερο φορτίο μπορεί να σηκώσει.

Για ασφάλεια ορίζεται μέγιστη γωνία 70°

ΕΚΣΚΑΦΕΙΣ ΠΑΣΣΑΛΟΜΠΗΚΤΕΣ (ΠΑΪΛ ΝΤΡΑΪΒΕΡ)



Χρήση για την
έμψηξη
πασσάλων με τη
βοήθεια ειδικού
κρουστικού ή
δονητικού
μηχανισμού.

ΕΠΙΠΕΔΟΙ ΕΚΣΚΑΦΕΙΣ

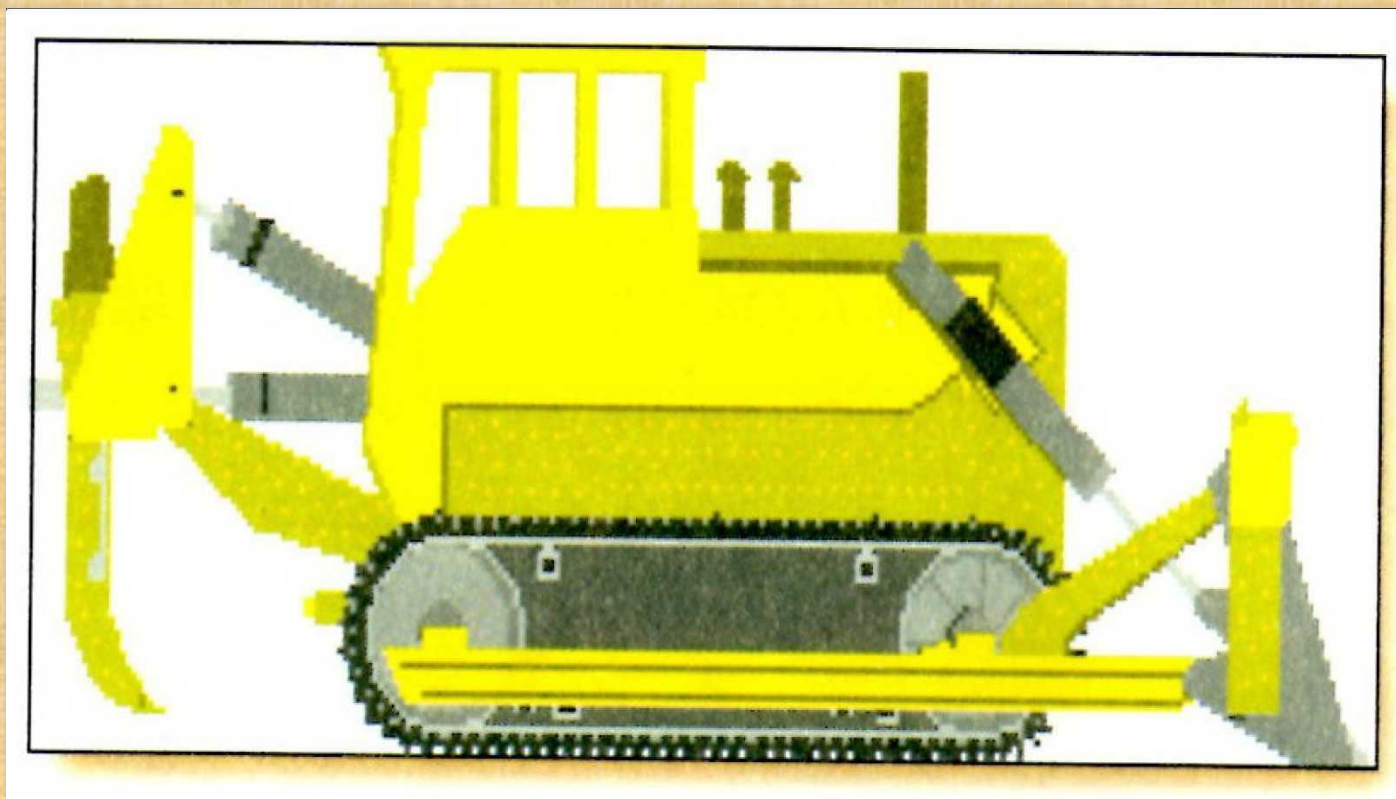
Διακρίνονται σε:

- ❖ προωθητές (μπουλντόζα)
- ❖ ισοπεδωτές (γκρέιντερ)
- ❖ αποξέστες (σκρέιπερ)

ΠΡΟΩΘΗΤΕΣ



ΠΡΩΘΗΤΗΣ ΜΕ
ΑΝΑΜΟΧΛΕΥΤΗΡΑ (ΔΟΝΤΙ)



Ελαστικοφόροι ή ερπυστριοφόροι ελκυστήρες εξοπλισμένοι με λεπίδα στο μπροστινό μέρος (μετωπική ή υπό γωνία).

Η λεπίδα μπορεί να αντικατασταθεί με ειδική λεπίδα εκχιονισμού.

Στο πίσω μέρος μπορούν να προστεθούν εξαρτήματα όπως τσάπα, αναμοχλευτήρας, γερανός κ.ά.

Χρήση για εκσκαφή και μετακίνηση εδάφους, επαναχωμάτωση τάφρων, ισοπέδωση ανώμαλων εδαφών, καθαρισμός από θάμνους και δέντρα κ.ά.

ΙΣΟΠΕΔΩΤΗΣ



- Επίπεδος ελαστικοφόρος εκσκαφέας που διαθέτει λεπίδα ανάμεσα στους μπρός και πίσω τροχούς.
- Δυνατότητα εκσκαφής και μεταφοράς εδαφικού υλικού και ισοπαχής διάστρωση αυτού.
- ✓ Χρήση σε έργα οδοποιίας, διαμόρφωση πρανών, καθαρισμός ταφρών και στους εκχιονισμούς.

ΑΠΟΞΕΣΤΗΣ



- Σκάβει,
- φορτώνει,
- μεταφέρει και
- διαστρώνει εδαφικό υλικό.

Αποτελείται από

κάδο,

κοπτήρα και

ποδιά.

Χρήση σχεδόν αποκλειστικά σε έργα οδοποιίας.

Γενικά σε χωματουργικές εργασίες μεγάλης έκτασης σε ομαλό έδαφος απαλλαγμένο από κορμούς και βράχους.

Αποφεύγεται σε αμμώδη ή αργιλώδη εδάφη.

ΦΟΡΤΩΤΕΣ



❖ Βοηθητικά ελαστικοφόρα ή ερπυστριοφόρα μηχανήματα για να φορτώνουν τα προϊόντα εκσκαφής σε φορτηγά ή άλλα μηχανήματα.

❖ Πρόσθετη χρήση για καθάρισμα του εργοταξίου, μεταφορά υλικών, διαστρώσεις και συμπυκνώσεις εδάφους, περιορισμένο σκάψιμο, ωθήσεις γαιών κ.ά.

ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΤΟΣ

ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΑΔΡΑΝΩΝ



Αποτελείται από τους σπαστήρες και τους ιμάντες μεταφοράς.

Ο σπαστήρας αποτελείται από:

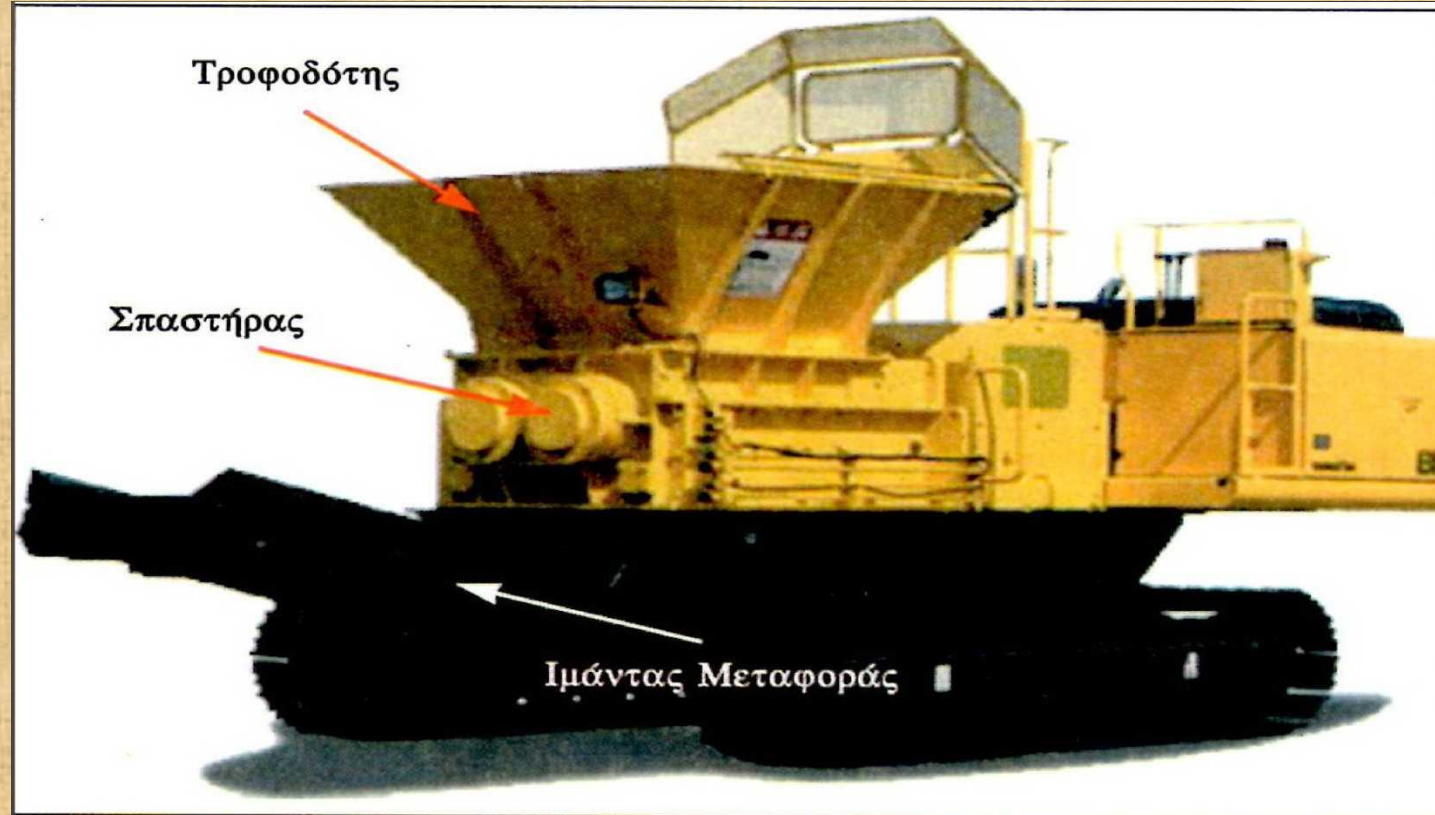
- το προκόσκινο
- το θραυστήρα 1ης βαθμίδας (θραύση κόκκων 50-80 mm)
- το θραυστήρα 2ης βαθμίδας (θραύση κόκκων 5-10 mm)
- το τριβείο (θραύση κόκκων < 1 mm)

Ο ίδιος σπαστήρας, ρυθμιζόμενος διαφορετικά, μπορεί να παράγει διαφορετικούς τύπους αδρανών.

Τα αδρανή μεταφέρονται με τους ιμάντες μεταφοράς.

Συχνά στα συγκροτήματα αυτά συναντάμε και ' 'πλυντήρια αδρανών' '.

ΑΥΤΟΦΕΡΟΜΕΝΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΔΡΑΝΩΝ



ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

□ Το σκυρόδεμα παράγεται με κατάλληλη ανάμειξη αδρανών, τσιμέντου, νερού και πρόσθετων σε σωστές αναλογίες.

✓ Οι πρώτες ύλες αποθηκεύονται προσωρινά σε σιλό.

Μετά προωθούνται μηχανικά σε ειδικές διατάξεις όπου προστίθεται νερό και γίνεται ομογενοποίηση των υλικών.

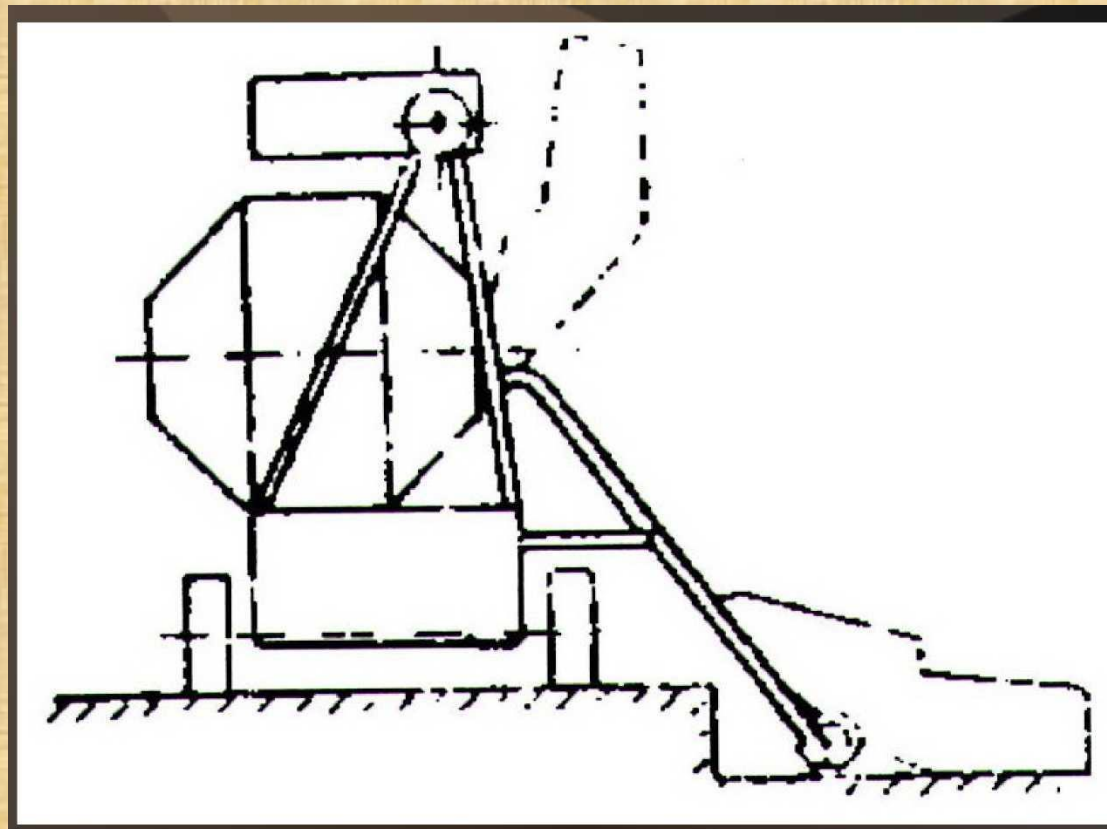
✓ Το παραγόμενο υλικό είναι το νωπό σκυρόδεμα.

□ Η ανάμειξη γίνεται είτε σε βιομηχανικά συγκροτήματα είτε σε αναμεικτήρες.

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



ΑΝΑΜΕΙΚΤΗΡΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



ΟΧΗΜΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΤΟΣ
(ΒΑΡΕΛΑ)



Διαθέτει ειδικό τύμπανο για να διατηρεί το σκηρόδεμα (να μην πήξει), περιστρεφόμενο σε χαμηλές στροφές(4/λεπτό).

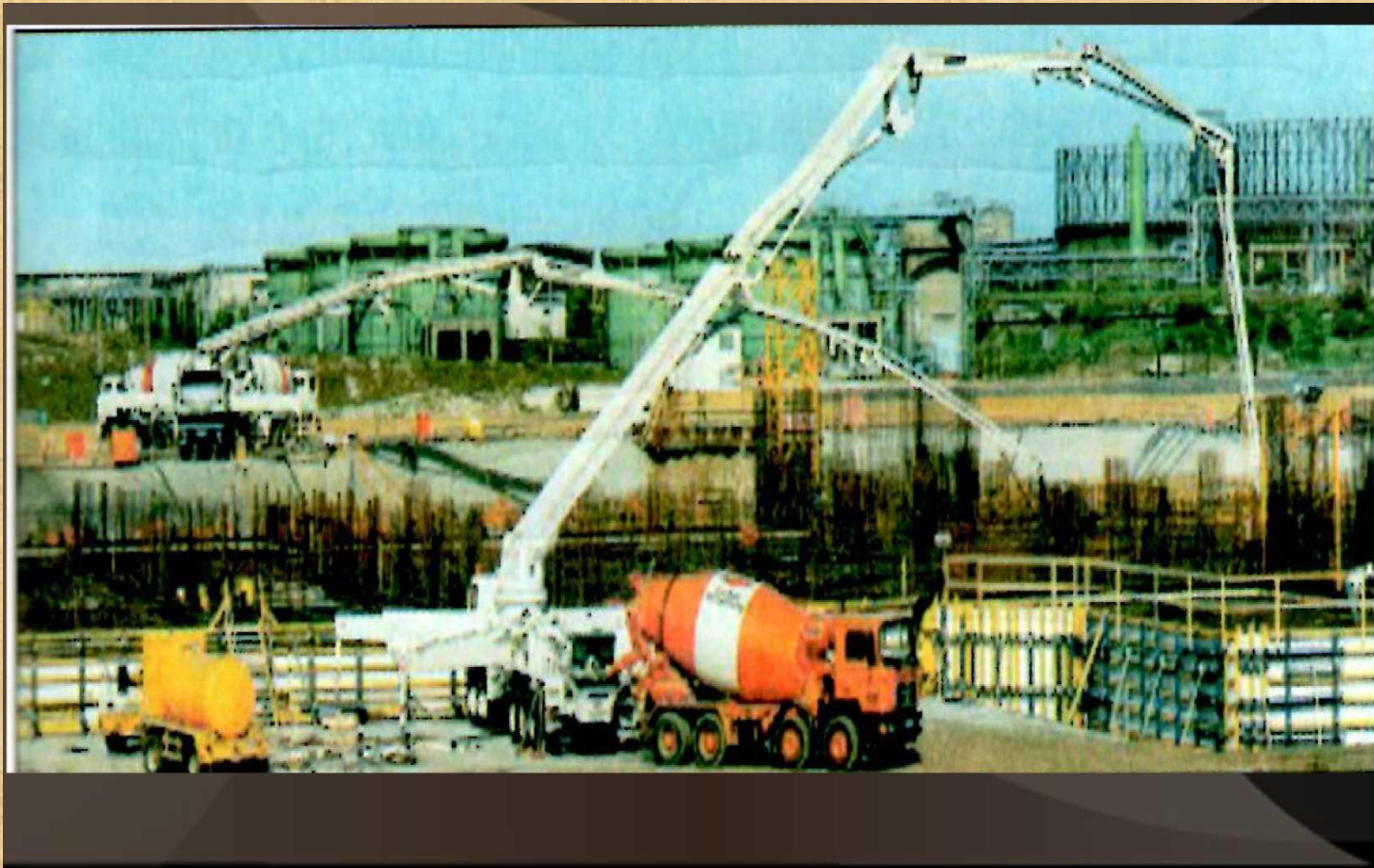
Αν η ανάμειξη γίνεται μέσα στο όχημα, ο κάδος περιστρέφεται γρηγορότερα (16-17/λεπτό).

Διαθέτει επίσης αντλία νερού.

ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΤΟΣ

- Πραγματοποιείται με αντλίες σκυροδέματος υδραυλικής λειτουργίας.
- Αποτελούνται από αρθρωτό σωλήνα.
- Χαρακτηρίζονται από τη δυνατότητα παροχής σκυροδέματος (m^3/h) και την πίεση λειτουργίας τους (bar).
- Μπορεί να συνδυάζονται με οχήματα μεταφοράς ή να αποτελούν αυτοτελή μηχανήματα.





ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΣΦΑΛΤΟΜΕΙΓΜΑΤΟΣ

- Το ασφαλτικό σκυρόδεμα αποτελείται από θερμά και ξηρά αδρανή και θερμή καθαρή άσφαλτο σε σωστές αναλογίες.

Γίνεται πάντα σε μόνιμες εγκαταστάσεις που αποτελούνται από:

Αποθήκη (σιλό) ψυχρών αδρανών

Ξηραντήρα -

Θερμαντήρα αδρανών

Κόσκινα αδρανών

Αποθήκη θερμής ασφάλτου

Διάταξη ζύγισης και ανάμειξης

- Η μεταφορά γίνεται σε απλά φορτηγά με μεταλλική καρότσα.

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

ΟΔΟΣΤΡΩΤΗΡΕΣ

ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ



**ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΗΣ
ΣΤΡΩΣΗΣ**



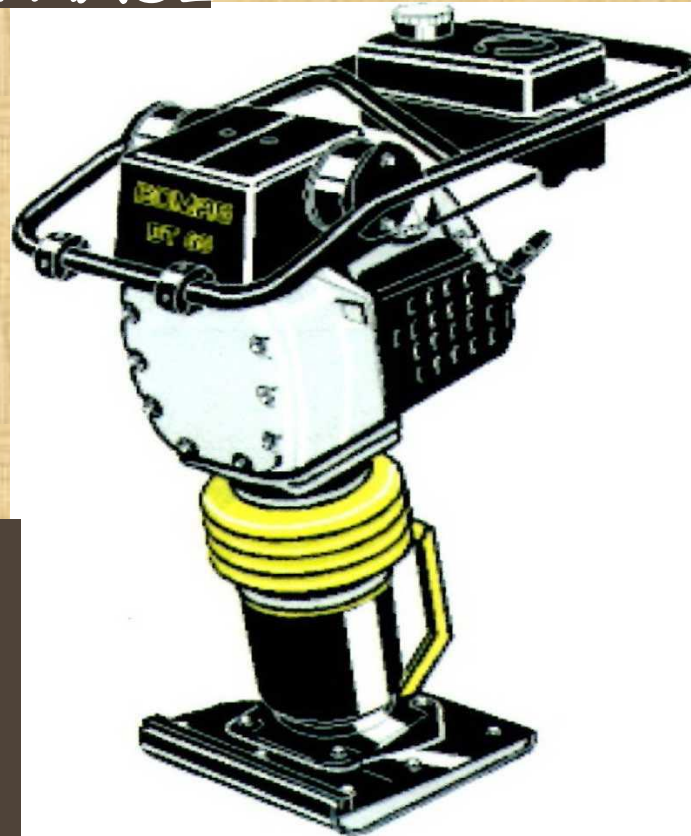
*ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ ΠΡΑΝΟΥΣ
ΕΠΙΧΩΜΑ ΤΟΣ*



ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΚΟΠΑΝΟΙ (ΒΑ ΤΡΑΧΟΙ

Για συμπύκνωση μικρής κλίμακας, σε θέσεις που η χρήση οδοστρωτήρα είναι αδύνατη.

Η συμπύκνωση επιτυγχάνεται μέσω αναπηδήσεων του μηχανήματος.



ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΔΙΑΣΤΡΩΣΗΣ
ΑΣΦΑΛΤΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΤΟΣ
(ΦΙΝΙΣΣΕΡΣ)



7.4 Μηχανήματα

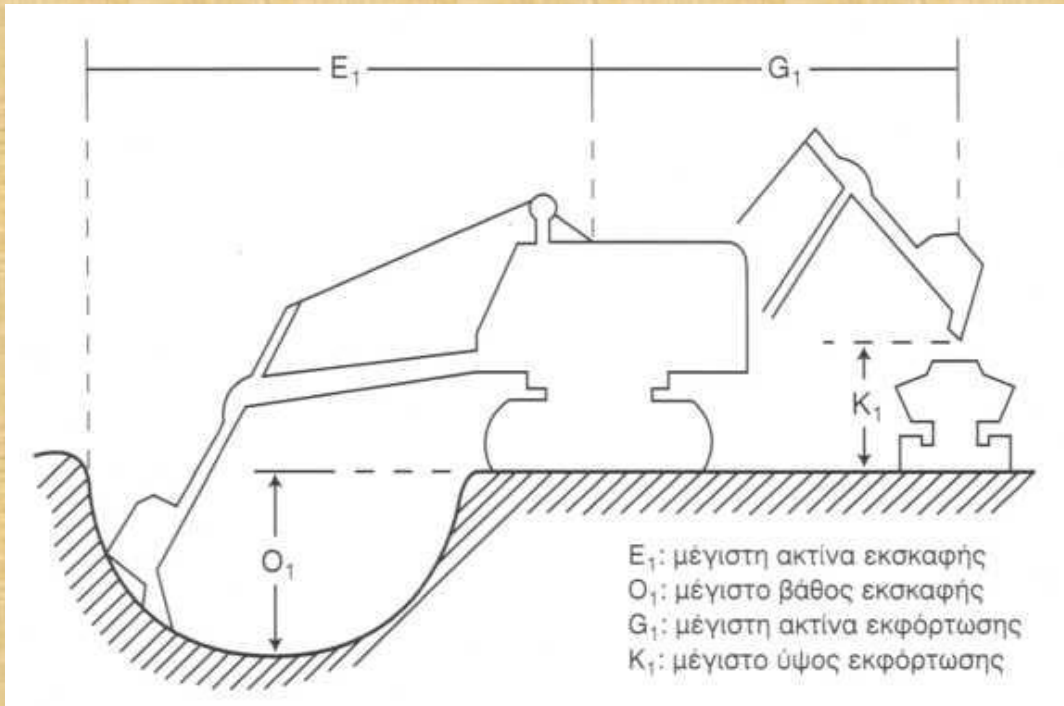
- ✓ Οι εκσκαφείς είναι δομικά μηχανήματα για εκσκαφές γαιών, ημίβραχων και βράχων σε χαλαρή κατάσταση. Με περιστροφή του θαλαμίσκου χειρισμών και του βραχίονος, πραγματοποιούν εκσκαφές σε επίπεδο και μέτωπο που να απέχουν αρκετά από τη δική τους θέση (Σχ. 42).

Ανάλογα με το σύστημα κυλίσεως διακρίνονται σε:

- εκσκαφείς επί ελαστικών τροχών και
- σε ερπυστριοφόρους εκσκαφείς, που αποτελούν και το μεγάλο ποσοστό των μηχανημάτων στην οδοποιία.

Ακόμη, ανάλογα με τη λειτουργία τους και τη γενική τους διαμόρφωση διακρίνονται σε :

- εκσκαφείς μετωπικού πτύου,
- ανεστραμμένου πτύου,
- συρόμενου κάδου, αρπάγης,
- καδοφόρου τροχού και αλύσεως. Μία ειδική κατηγορία εκσκαφέων αποτελούν τα μικρά εκσκαπτικά (τύπου JCB) που προορίζονται κυρίως για αστική οδοποιία και μικρής εμβέλειας δομικά έργα.



Σχήμα 42. Λειτουργία εκσκαφέα ανεστραμμένου τύπου

7.4 Μηχανήματα

- Οι υδραυλικοί εκσκαφείς, με προσαρμογή κατάλληλης διάταξης στο άκρο του βραχίονα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σφύρες, θραυστήρες, πασσαλοπήκτες και γερανοί μεταφοράς δομικών υλικών.
 - Οι εκσκαφείς μετωπικού πτύου προτιμώνται σε περίπτωση που το μέτωπο εκσκαφής ευρίσκεται υψηλότερα της στάθμης έδρασης του μηχανήματος.
 - Αντίθετα η εκσκαφή σε βάθος πραγματοποιείται καλύτερα με εκσκαφείς ανεστραμμένου πτύου. Οι εκσκαφείς αυτού του τύπου καλύπτουν, σήμερα, τη συντριπτική πλειοψηφία των εφαρμογών της οδοποιίας.
 - Ειδικό υδραυλικό εκσκαφείς υπογείων έργων χρησιμοποιούνται, σε συνδυασμό με κατάλληλα διατρητικά μηχανήματα (jumbo, αερόσφυρα) για εκσκαφή σηράγγων. Η χρήση τους, όπως είναι φυσικό, περιορίζεται σε σχετικώς χαλαρά πετρώματα. Οι εκσκαφείς με διάταξη συρόμενου κάδου (drag-line) ματα και σε συνεκτικά αποσαθρωμένα υλικά.
- Χρησιμοποιούνται και για εκσκαφή χαλαρών εδαφών, όταν το μέτωπο εργασίας ευρίσκεται χαμηλότερα της στάθμης έδρασης του μηχανήματος, ενώ ανάλογες εφαρμογές έχουν και οι εκσκαφείς με διάταξη αρπάγης.
- Μικροί εκσκαφείς τέτοιων τύπων χρησιμοποιούνται και στα διάφορα συγκροτήματα παραγωγής σκυροδέματος.

7.4 Μηχανήματα

- Η απόδοση ενός εκσκαφέα εξαρτάται βασικά από το μέγεθος του κάδου του ενώ επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως -είδος του εδάφους-ύψος και απόσταση του μετώπου-γωνία περιστροφής του πύργου και - ικανότητα του χειριστή.

- Η πραγματική απόδοση εκσκαφέα (σε κυβικά μέτρα ανά ώρα) είναι:

$$R = \frac{q \cdot f_a \cdot S_b}{t_0}$$

Οπου:

- t_0 : ο χρόνος κύκλου λειτουργίας του εκσκαφέα
- q : η χωρητικότητα του κάδου (m^3)
- f_a : ο συντελεστής χαλάρωσης του εδάφους
- S_b : συντελεστής ποιότητας εδάφους

7.4 Μηχανήματα

- Ορισμένα ενδεικτικά χαρακτηριστικά των εκσκαφών είναι:

Μέγιστη ισχύς	$P = 750 \text{ PS}$
Βάρος	$G = 30-50 \text{ t}$
Χωρητικότητα κάδου	Μέση = $1,5 \text{ m}^3$
	Μέγιστη = $8,0 \text{ m}^3$
Μέγιστη ταχύτητα	Ερπυστριοφόρου = 5 km/h
	Ελαστιχοφόρου = 20 km/h
Πίεση επί εδάφους	$p = 0,5-1 \text{ kg/cm}^2$



Εικόνα 19. Περιστροφική διάταξη διάσπασης λίθων/συσσωματωμάτων προσαρμοσμένη σε εκσκαφέα

7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

Εικόνα 20. Προωθητής σε εκσκαφή και επίχωση



Οι προωθητές (bulldozers), είναι χωματουργικά μηχανήματα ευρείας χρήσεως

Χρησιμοποιούνται για επιφανειακές εκσκαφές σκληρών εδαφών με παράλληλη μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής σε μικρές αποστάσεις.

Ακόμη χρησιμοποιούνται για ισοπέδωση ανωμαλιών, για διάνοιξη βοηθητικών οδών, για εκρίζωση δένδρων και καθαρισμό επιφανειών.

Ο συνηθέστερος τύπος προωθητή είναι ο ερπυστριοφόρους προωθητής με υδραυλικό σύστημα ανάρτησης της λεπίδας. Το μήκος της λεπίδας κυμαίνεται μεταξύ 2 m και 7 m και το ύψος της μεταξύ 0,5 m και 1,70 m.

Για τη χαλάρωση πολύ σκληρών εδαφών Χρησιμοποιείται ένα ιδιαίτερο σύστημα οδόντων (νύχια) που τοποθετείται στο πίσω μέρος της μηχανής και, έτσι, ο προωθητής λειτουργεί ως οδοντωτός αναμοχλευτής (ripper).

7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

- ✓ Οι τροχοφόροι προωθητές πλεονεκτούν έναντι των ερπυστριοφόρων ως προς τη δυνατότητα μετακίνησης αλλά υστερούν ως προς την εκμετάλλευση ισχύος του κινητήρα, ενώ παράλληλα δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν σε λασπώδη εδάφη, όπου υστερούν ως προς τη δυνατότητα εκτέλεσης ελιγμών, η σε βραχώδη (κίνδυνος για τα ελαστικά)
- ✓ Οι προωθητές έχουν μεγάλη απόδοση σε οδικά έργα για μικρά μεγέθη χωματισμών και επιφανειακές εκσκαφές ενώ η χάραξη περνά από μικτές διατομές.
- Τότε ο προωθητής μπορεί να υποκαταστήσει τον εκσκαφέα αλλά και τον ισοπεδωτή στην εκτέλεση των χωματουργικών εργασιών (Σχ. 43) και να αποτελέσει, ενδεχομένως, το μοναδικό μηχάνημα εκτέλεσης των εργασιών.

7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

- **Εικόνα 21.** Εκσκαφή ημιβραχώδους πρανούς από προωθητή.



Γενικά η απόδοση του προωθητή είναι:

$$R(m^3 / h) = \frac{q \cdot f_a \cdot f_s}{t_0}$$

όπου:

t_0 : ο χρόνος λειτουργίας

q : η χωρητικότητα της λεπίδας

f_a : ο συντελεστής χαλάρωσης του εδάφους

f_s : συντελεστής φόρτωσης.

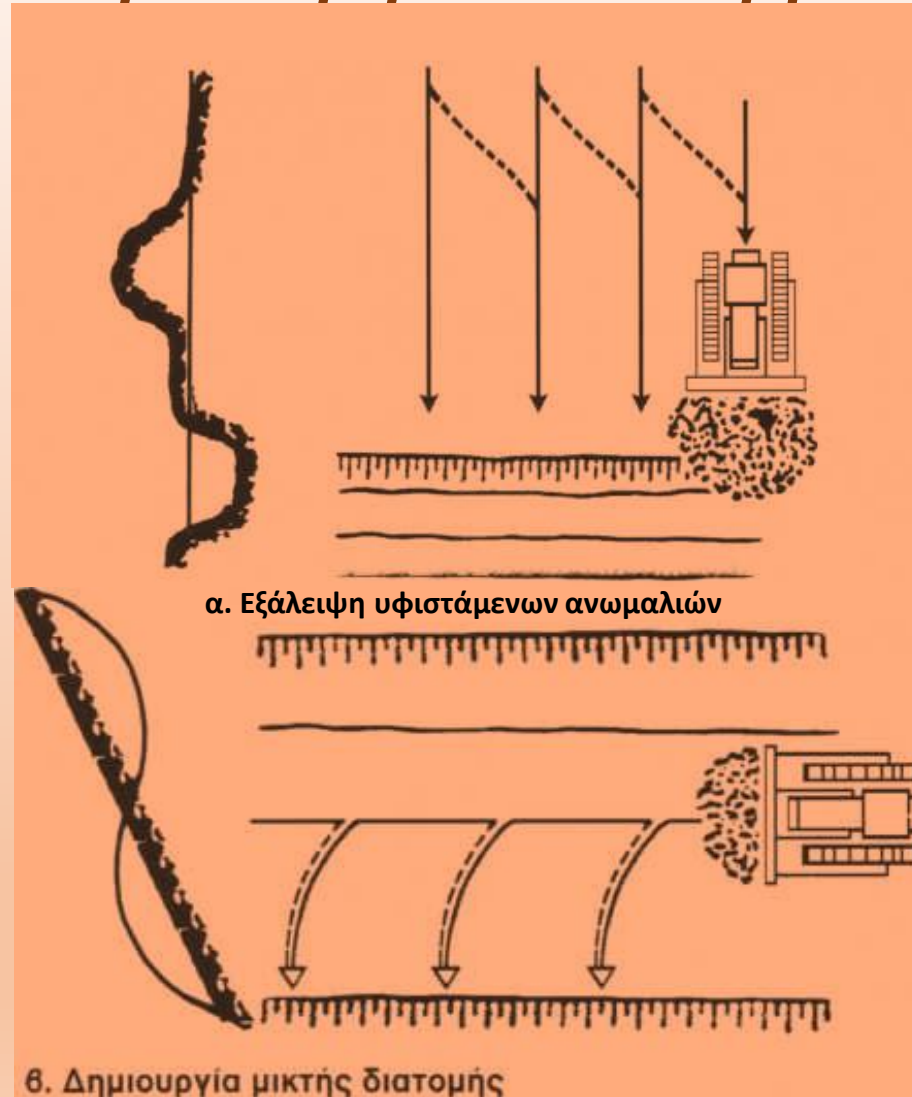
7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

Ο προωθητής είναι μηχάνημα γενικής χρήσεως που μπορεί να πραγματοποιήσει πολλές εργασίες, βοηθητικές και κυρίες, στο πλαίσιο της λειτουργίας ενός εργοταξίου οδοποιίας:

- Εκσκαφή γαιών, ημίβραχων και βράχων
- Εκρίζωση δένδρων, θάμνων
- Εκχέρωση και εκσκαφή φυτικής γης
- Διάνοιξη εργοταξιακών και βοηθητικών οδών
- Μεταφορά γαιών σε μικρές αποστάσεις
- Απόξεση και διαμόρφωση επιφανειών, ισοπέδωση ανωμαλιών
- Κατασκευή επιχωμάτων, επιχωματώσεις ημιβραχωδών και βραχωδών υλικών
- Μεταφορά γαιών σε μικρές αποστάσεις
- Συντήρηση και επαναμόρφωση βοηθητικών οδών
- Διάσπαση σειραδίων και διάστρωση υλικών.

7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

Σχήμα 43. Λειτουργία προωθητή σε οδικά έργα.



7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

- Οι **χωματοσυλλέκτες (scrapers)** : μηχανήματα κατάλληλα για εκσκαφή, μεταφορά και διάστρωση υλικών.
- Η ικανότητα εκσκαφής ενός χωματοσυλλέκτη είναι μικρότερη από εκείνην του προωθητή, ιδιαίτερα σε σκληρά εδάφη, αλλά ο χωματοσυλλέκτης υπερτερεί επειδή έχει δυνατότητα μεταφοράς προϊόντων εκσκαφής σε μεγάλες ποσότητες.
- Χρησιμοποιείται κυρίως για εκσκαφή χαλαρών εδαφών μαζί με μεταφορά και διάστρωση προϊόντων εκσκαφής προς κατασκευή επιχωμάτων. Σε εργοτάξια όπου συναντώνται σκληρά και βραχώδη εδάφη απαιτείται παράλληλη λειτουργία του προωθητή. **Συνηθέστερος τύπος είναι ο αυτοκινούμενος χωματοσυλλέκτης.**

Βασικά χαρακτηριστικά χωματοσυλλεκτών είναι:



Εικόνα 22. Χωματοσυλλέκτης

Ισχύς	P = 100-600 PS
Ίδιο βάρος	G = 15-75 t
Ωφέλιμο φορτίο	g = 11-371
Χωρητικότητα κάδου	Μέση = 15 m ³
	Μέγιστη = 30 m ³
Μεγίστη ταχύτητα λειτουργίας	50 km/h
Ακτίνα λειτουργίας	1.000 m

7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

- Οι διαμορφωτές ή ισοπεδωτές (graders), μηχανήματα διάστρωσης υλικών και διαμόρφωσης επιφανειών σε διάφορα στάδια χωματουργικών εργασιών (έδαφος έδρασης, επίχωμα, σκάφη, οδοστρωσία).
- Το μηχάνημα κινείται επί δύο ή τριών αξόνων επί ελαστικών τροχών και η κύρια λεπίδα είναι τοποθετημένη πίσω από τον πρόσθιο άξονα.
- Το μήκος της λεπίδας κυμαίνεται μεταξύ 2,50 και 5 μέτρων και το ύψος μεταξύ 0,50 και 0,80 m.
- Οι διαμορφωτές διακρίνονται ανάλογα με τον αριθμό των πίσω τροχών (2 ή 4), τη δυνατότητα περιστροφής της κύριας λεπίδας ως προς διάφορους άξονες και την ισχύ τους που κυμαίνεται μεταξύ 150 και 200 PS.
- **Για εκσκαφή χαλαρών εδαφών, μόρφωση πρανών και τάφρων (Εικ. 24). Αποτελούν τα ειδικά μηχανήματα διάστρωσης υλικών Επιχώματος- υπερτερούν έναντι όλων των άλλων μηχανημάτων. Όταν, το υλικό επιχωμάτωσης περιέχει χονδρόκοκκο στοιχεία ($D > 15 \text{ cm}$), η εργασία διάστρωσης και διαμόρφωσης γίνεται καλύτερα από τον προωθητή.**



Εικόνα 24. Μόρφωση επιχώματος από ισοπεδωτή

7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

Συνοπτικά, ο διαμορφωτής μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εργασίες όπως:

- Διάστρωση υλικών, γαιών, σκύρων, αμμοχάλικων
- Διαμόρφωση επιφανειών γαιωδών υλικών
- Απόξεση και εκχέρωση εδάφους
- Ανάμιξη και αναμόχλευση εδαφικών υλικών με κονίες
- Συντήρηση βοηθητικών οδών
- Μόρφωση πρανών ήπιων κλίσεων
- Διάνοιξη και καθαρισμός τάφρων
- Αποχιονισμός οδών.

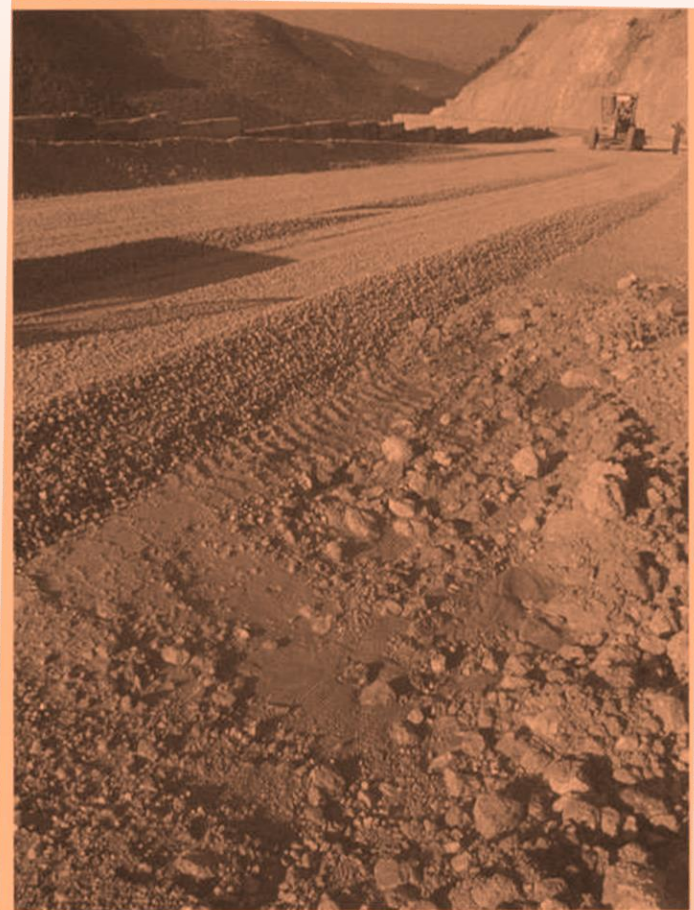


Εικόνα 23. Διάστρωση αργιλοχαλικώδους υλικού από ισοπεδωτή

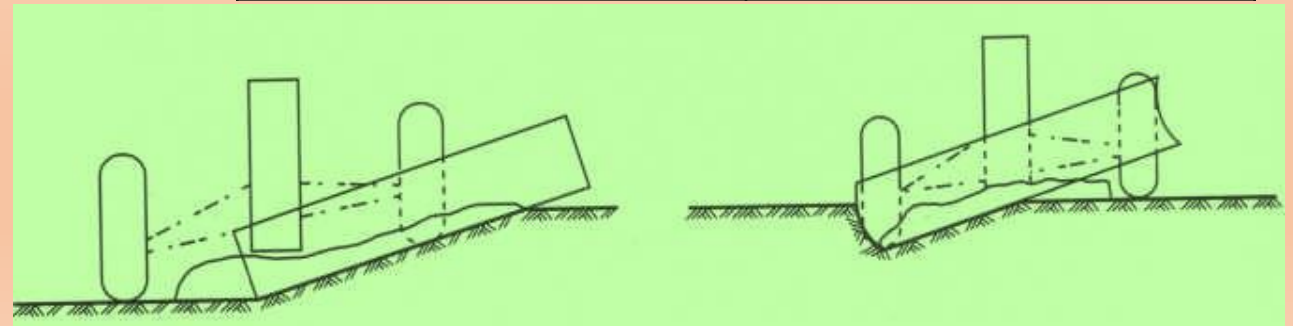
7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

- Οι διαμορφωτές μπορούν να εξοπλιστούν με πρόσθετη λεπίδα προωθητή που επιτρέπει την εκσκαφή και απομάκρυνση φυτικής γης, με λεπίδα εκχιονισμού και άλλες πρόσθετες διατάξεις που καθιστούν ευρύτατο το πεδίο εφαρμογής τους. Οι σύγχρονοι διαμορφωτές είναι εξοπλισμένοι με ειδικά ηλεκτρονικά συστήματα που χρησιμεύουν για τη διαμόρφωση της επιφάνειας εργασίας στο επιθυμητό επίπεδο.
- Ενδεικτικά χαρακτηριστικά διαμορφωτών είναι:

Ισχύς κινητήρα	P = 100-300 PS
Βάρος	G= 15-30t
Λεπίδα	Μήκος = 2,50-5,00 m
	Ύψος = 0,50-0,80 m
Ταχύτητα	Πορείας = 40 km/h
	Λειτουργίας = 5-10 km/h



Εικόνα 25. Διάστρωση υλικών υπόβασης



Σχήμα 44. Μόρφωση πρανούς και τάφρου από ισοπεδωτή

7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

- ✓ Οι φορτωτές (loaders), χωματουργικά μηχανήματα φόρτωσης υλικών ποικίλης ισχύος.
- Σε περιορισμένη έκταση μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεταφορά υλικών στον χώρο του εργοταξίου, για εκσκαφή μαλακών εδαφών αλλά και για συμπύκνωση εδαφικών στρώσεων.
- Διακρίνονται σε ερπυστριοφόρους και επί ελαστικών φορτωτές και χαρακτηρίζονται από το είδος και τη χωρητικότητα του κάδου.
- Ο πίνακας των μηχανημάτων είναι μεγάλος και διαμορφώνεται σε συνδυασμό με τις εξελίξεις της τεχνικής.
- Περιλαμβάνονται οι αναμοχλευτές (rippers), τα μικρά εκσκαπτικά, οι αεροσυμπιεστές, τα οχήματα μεταφοράς καθώς και τα μηχανήματα συμπύκνωσης του εδάφους.
- ✓ Η επιλογή των κατάλληλων μηχανημάτων για την αντιμετώπιση ενός προβλήματος χωματουργικών εργασιών υπόκειται σε ορισμένους κανόνες σχετικά με το είδος των εδαφικών υλικών, τα μέτωπα εργασίας, τα οικονομικά μεγέθη των διαφόρων μηχανημάτων και το χρονοδιάγραμμα κατασκευής του έργου.
- Στο χώρο των Δημοσίων Έργων υπάρχουν και « ανορθόδοξες πρακτικές». Πχ γίνεται χρήση εκσκαφέα μετωπικού πτύου αντί εκσκαφέα ανεστραμμένου πτύου (με μεγαλύτερη απόδοση) η συμπύκνωση με στατικό οδοστρωτήρα αντί δονητικού.
- Αυτό γιατί οι εταιρείες χρησιμοποιούν κατά πρώτο λόγο τα μηχανήματα που έχουν στη διάθεσή τους και στη συνέχεια καταφεύγουν σε εκείνα της εξωτερικής αγοράς.

7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

Πίνακας 27. Πεδίο εφαρμογής χωματουργικών μηχανημάτων

Μηχανήματα	Εκσκαφέας	Προωθητής	Διαμορφωτής	Φορτωτής	Χωματοσυλλέκτης	Ανατρεπόμενο εργοταξίου	Οδοστρωτήρας	Μικρό εκσκαπτικό
Εκσκαφή χαλαρών γαιών	**	**	*	*	**	—	—	*
Εκσκαφή βράχων, ημίβραχων	**	**	—	—	—	—	—	—
Φόρτωση	*	—	—	**	—	—	—	**
Μεταφορά	—	*	—	(*)	**	**	—	(*)
Διάστρωση – Διαμόρφωση	(*)	*	**	(*)	(*)	—	—	(*)
Συμπύκνωση	(*)	(*)	—	(*)	*	*	**	—

7.4 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ

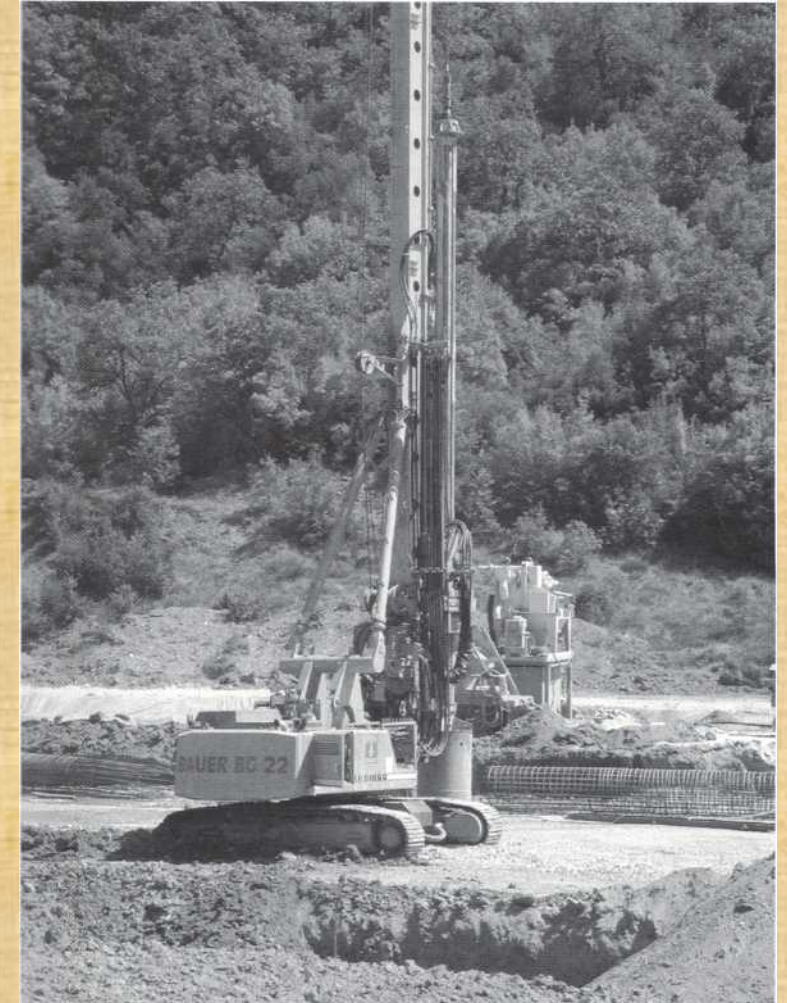
- Το θέμα είναι πιο πολύπλοκο αφού, εκτός από τους θεωρητικούς κανόνες της τεχνικής, υπεισέρχονται για την αντιμετώπιση του και παράγοντες απόσβεσης αλλά και γενικότερα οικονομικά μεγέθη, που στο σύνολό τους συνιστούν ένα αντικείμενο οργάνωσης και διαχείρισης τεχνικών έργων.



Εικόνα 26. Φορτωτής σε εργασίες επιχωμάτωσης.



Εικόνα 27. Φορτωτής επί ελαστικών



Εικόνα 28. Εκτέλεση φρεατοπασσάλων για θεμελίωση τεχνικού έργου

ΠΕΡΙ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΑΠΌ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

8. ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

8.1

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- ❖ Ονομάζεται συμπύκνωση (compaction) η δια μηχανικών μέσων αναδιάταξη του πλέγματος των κόκκων των εδαφικών υλικών σε μια πυκνότερη δομή.
- Η μακροσκοπική φυσική έκφραση του φαινομένου είναι η αύξηση της πυκνότητας του υλικού.
- Ως μέθοδος βελτίωσης των χαρακτηριστικών του εδάφους η συμπύκνωση εντάσσεται, μαζί με τη διόρθωση της κοκκομετρίας εδαφικών και αδρανών υλικών, στις κύριες μεθόδους μηχανικής σταθεροποίησης.
- ✓ Η συμπύκνωση του εδάφους είναι μια διεργασία καθοριστική για την ποιοτική επάρκεια κατασκευών οδοποιίας, αεροδρομίων, έργων υποδομής.
- ✓ Η απαίτηση μηχανικής σταθεροποίησης των εδαφικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενός έργου οδοποιίας, δηλαδή υπεδάφους, επιχώματος και υλικών οδοστρωσίας, πηγάζει από την ανάγκη διατήρησης μιας σταθερής μηχανικής συμπεριφοράς και αποτροπής των κινδύνων εμφάνισης καθιζήσεων και παραμορφώσεων στο σώμα της οδού κατά τη φάση λειτουργίας του έργου.

8.1

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Η συμπύκνωση :η πιο παλιά και η πιο σημαντική μέθοδος σταθεροποίησης και η περισσότερο οικονομική από τις εν χρήσει τεχνικές.
- Τα πλεονεκτήματα της συμπύκνωσης στις εδαφικές δομές, σε σχέση με τη βραχυχρόνια και μακροχρόνια συμπεριφορά τους, είναι πολλά. Η συμπύκνωση αποτελεί πάγια πρακτική για όλες τις γεωκατασκευές οδοποιίας, αλλά και για άλλα έργα υποδομής (φράγματα, αναχώματα), ενώ συγχρόνως συνιστά και ένα κρίσιμο ζήτημα ποιοτικού ελέγχου που συνοδεύεται από μια ποικιλία ως προς τις μεθοδολογίες εφαρμογής.
- Οι κυριότερες ιδιότητες του εδάφους ή μιας εδαφικής μάζας που επηρεάζονται από τη συμπύκνωση είναι:
 - η παραμορφωσιμότητα και η προκαλούμενη καθίζηση
 - η διατμητική αντοχή
 - η διαπερατότητα
 - η πυκνότητα και η τάση μεταβολής όγκου
- η συμπύκνωση προκαλεί μείωση της παραμορφωσιμότητας και της διαπερατότητας και αύξηση της διατμητικής αντοχής. Η δράση αυτή της διαδικασίας συμπύκνωσης : απαραίτητη στο σύνολο των γεωκατασκευών οδοποιίας.
- Η συμπύκνωση δεν επηρεάζει όλα τα εδαφικά υλικά με τον ίδιο τρόπο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η υπερβολική συμπύκνωση είναι ανεπιθύμητη. Για κάποια εδάφη, επί παραδείγματι, η τάση μεταβολής όγκου (διόγκωση), που προκύπτει από υπερσυμπύκνωση μπορεί να είναι σημαντικότερη (και ιδιαίτερα επικίνδυνη) από μια αύξηση της διατμητικής αντοχής.

8.2

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

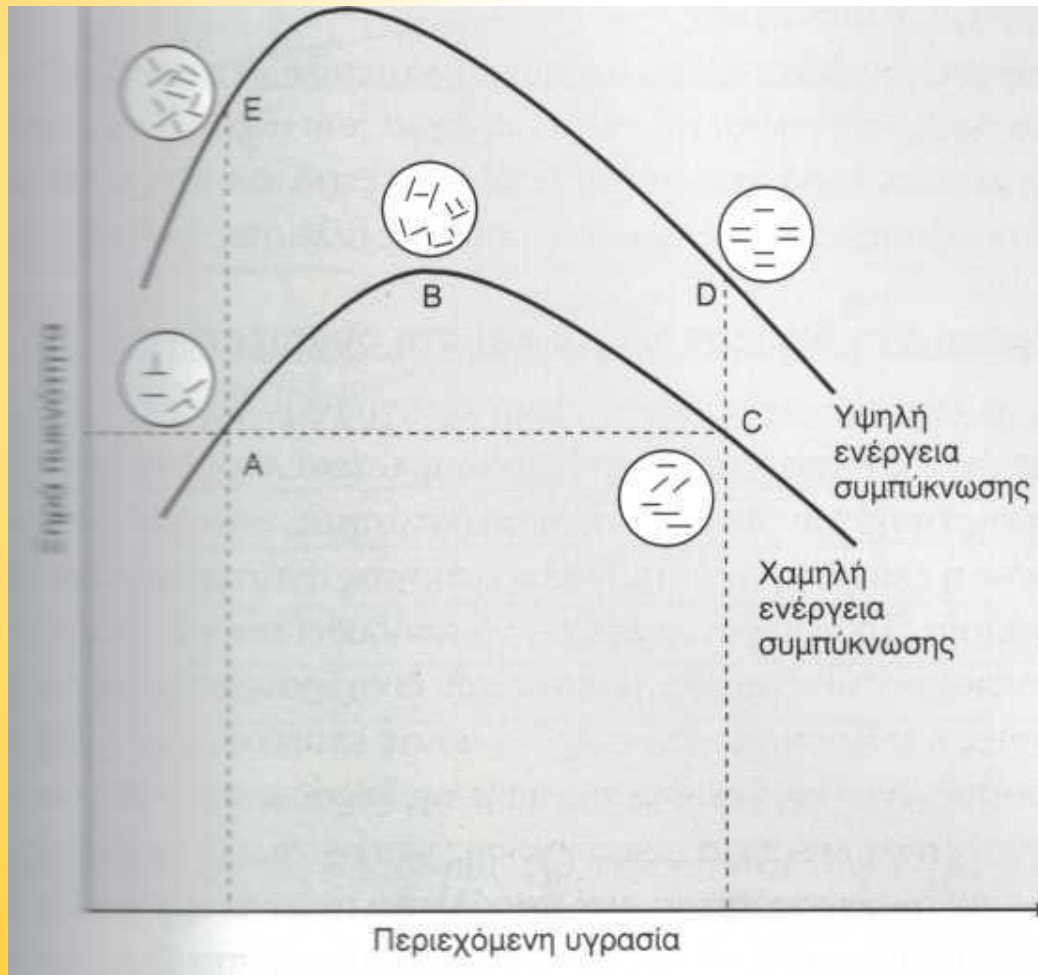
- Για την εκτέλεση της συμπύκνωσης μιας εδαφικής μάζας ο μηχανικός μπορεί να προκαθορίσει, ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα, **τρεις βασικούς παράγοντες**: την περιεχόμενη υγρασία του υλικού, την ενέργεια συμπύκνωσης και τον τρόπο συμπύκνωσης. Κάθε ένας από τους παράγοντες αυτούς επηρεάζει, όπως προαναφέρθηκε, τις ιδιότητες της εδαφικής δομής που υπόκειται σε συμπύκνωση και ιδιαίτερα:
 - α) τη διαπερατότητα,
 - β) τη συμπιεστότητα,
 - γ) την αντοχή και τους νόμους τάσεων-παραμορφώσεων.
- ✓ Ο βέλτιστος συνδυασμός των τριών παραγόντων είναι συνάρτηση της φύσης του εδάφους αλλά και του είδους του έργου.
- ❖ Τα λεπτόκοκκα εδάφη είναι περισσότερο ευαίσθητα στην επίδραση των συνθηκών συμπύκνωσης από ό,τι τα χονδρόκοκκα.
- ✓ Στα σημαντικά οδικά έργα θα πρέπει, κατά το στάδιο της μελέτης, να διερευνάται η επίδραση των συνθηκών συμπύκνωσης στις ιδιότητες των εδαφικών υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν με στόχο την επιλογή των καταλληλότερων μηχανημάτων προς επίτευξη μιας οδικής κατασκευής με άρτια μηχανική συμπεριφορά.

- Καθοριστικό κριτήριο ποιότητας της συμπύκνωσης : η τιμή της ξηράς πυκνότητας γ_d .
- ❖ Η τιμή της ξηράς πυκνότητας του εδαφικού υλικού που υφίσταται συμπύκνωση είναι συνάρτηση της φυσικής υγρασίας.
 - Το διάγραμμα (W, γ_d) έχει τη μορφή μιας καμπύλης που στρέφει τα κοίλα προς τα κάτω (Σχ. 45), ενώ η μέγιστη ξηρά πυκνότητα επιτυγχάνεται για μια συγκεκριμένη τιμή W_{op} της φυσικής υγρασίας.
- Η τιμή ονομάζεται βέλτιστη φυσική υγρασία -για κάθε υλικό είναι συνάρτηση της ενέργειας συμπύκνωσης.
 - Η βέλτιστη φυσική υγρασία : η τιμή της περιεχόμενης υγρασίας για την οποία το υλικό γίνεται αρκετά εργάσιμο ώστε, υποκείμενο σε θλιπτικά φορτία, να οδηγηθεί σε μια πυκνή δομή στερεών κόκκων και σε απομάκρυνση αέρα από τη μάζα του.
 - Για τα περισσότερα εδαφικά υλικά, με εξαίρεση : άμμους, όταν η φυσική υγρασία είναι μικρότερη της βέλτιστης, είναι δύσκολο να συμπυκνωθεί.
- Κατά τη διαδικασία συμπύκνωσης, στόχος είναι η υγρασία του εδαφικού υλικού να είναι κατά το δυνατόν πλησιέστερα στη βέλτιστη.
 - Για τιμές της φυσικής υγρασίας μεγαλύτερες της βέλτιστης, τα περισσότερα εδάφη δεν μπορούν να αποκτήσουν πυκνή δομή, επειδή το νερό εμποδίζει την προσέγγιση των στερεών κόκκων.
 - Η συμπεριφορά ορισμένων εδαφικών υλικών, για τιμές φυσικής υγρασίας μεγαλύτερες της βέλτιστης χαρακτηρίζεται από το σταθερό ποσοστό κενών στη δομή των υλικών ακόμη και όταν αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία.

8.2

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Η ασκούμενη ενέργεια συμπύκνωσης είναι καθοριστική για κάθε υλικό.
- Όσο υψηλότερη είναι η ενέργεια συμπύκνωσης, τόσο αυστηρότερος πρέπει να είναι ο έλεγχος της περιεχόμενης υγρασίας.
- Για την ίδια τιμή φυσικής υγρασίας (σημεία C και D, Σχ. 45), η δυσκολία συμπύκνωσης που παρουσιάζεται στην υψηλή ενέργεια είναι μεγαλύτερη και το υλικό τείνει σε κατάσταση κορεσμού



Σχήμα 45. Διάγραμμα φυσικής υγρασίας-ξηράς πυκνότητας.

8.2

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Η σχέση “πυκνότητας-υγρασίας” (Σχ. 45) είναι χαρακτηριστική και χρησιμεύει για τον προσδιορισμό της κατάλληλης, από πλευράς εργασιμότητας, κατάστασης του εδάφους, μέσα σε ένα πεδίο διαφόρων τιμών υγρασίας.
- Η σχέση αυτή και η σχετική καμπύλη αντιστοιχούν σε προκαθορισμένη ενέργεια συμπίκνωσης, η οποία, στο πλαίσιο του εργαστηριακού ελέγχου είναι, για κάθε μέθοδο, απόλυτα συγκεκριμένη.
- ✓ Έτσι, κατά τον εργαστηριακό έλεγχο ενός εδαφικού υλικού ζητείται να προσδιορισθεί η τιμή της υγρασίας για την οποία επιτυγχάνεται η μέγιστη τιμή της ξηράς πυκνότητας.

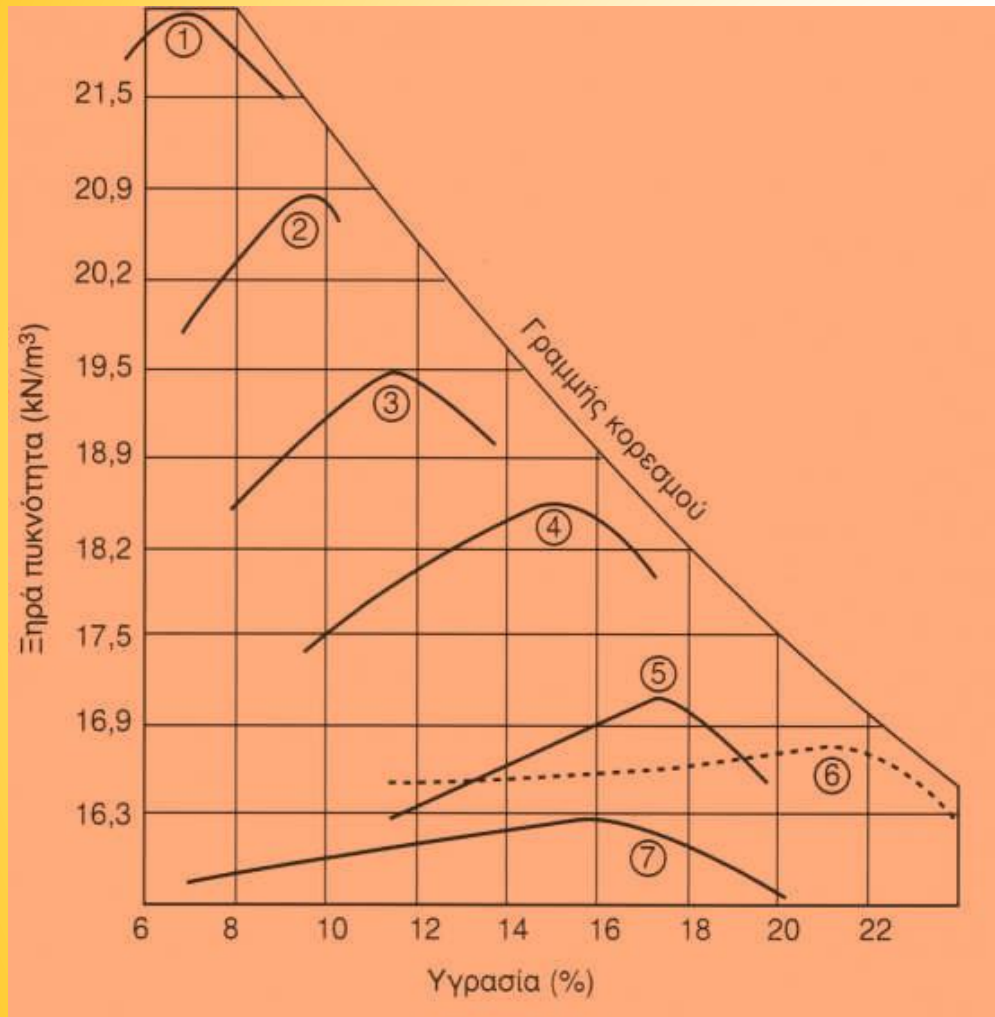
8.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

- Η φύση ενός εδάφους έχει μεγάλη επίδραση στη συμπεριφορά του απέναντι σε ένα εγχείρημα συμπύκνωσης.
- Εδάφη ιδιαίτερα μικρής πυκνότητας (γη διατόμων, ηφαιστιογενείς γαίες) μπορούν να έχουν μέγιστη ξηρά πυκνότητα, για συγκεκριμένη ενέργεια συμπύκνωσης έως και $10 \text{ kN/m}^3 (=1 \text{ t/m}^3)$.
- Υπό την ίδια ενέργεια συμπύκνωσης, μια άργιλος αποκτά μέγιστη ξηρά πυκνότητα $15-17 \text{ kN/m}^3$, ενώ αντίθετα, ένα καλά διαβαθμισμένο αμμοχάλικο φθάνει μια τιμή πυκνότητας 23 kN/m^3 .
- Σχέσεις “πυκνότητας-υγρασίας” για επτά διαφορετικά είδη εδάφους παρουσιάζονται στο Σχήμα 46, για συγκεκριμένη και ενιαία ενέργεια συμπύκνωσης.
- Αν η ενέργεια συμπύκνωσης αυξηθεί, η καμπύλη μετατοπίζεται σχεδόν παράλληλα προς τα άνω και αριστερά, πράγμα που υποδηλώνει υψηλότερη τιμή για τη μέγιστη ξηρά πυκνότητα.
- Η μέγιστη ξηρά πυκνότητα αντιστοιχεί, εδώ, σε μια μικρότερη τιμή της βέλτιστης φυσικής υγρασίας.

8.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ

- Εμπειρίες σε λεπτόκοκκα εδαφικά υλικά κατέγραψαν την επίδραση της συμπύκνωσης επί της διαπερατότητας.
- ❖ Χαρακτηριστικά παρατηρείται μια έντονη μείωση της τιμής του συντελεστή διαπερατότητας, όσο αυξάνει η φυσική υγρασία, ενώ η ελάχιστη τιμή της διαπερατότητας αντιστοιχεί στην βέλτιστη φυσική υγρασία.
- Το φαινόμενο πρέπει να αποδοθεί στην πύκνωση της διάταξης των κόκκων του εδάφους, γεγονός που δυσχεραίνει τη ροή του ύδατος.
- ✓ Στη συνέχεια, η αύξηση της φυσικής υγρασίας επιφέρει μικρή αύξηση της διαπερατότητας λόγω της μείωσης της τιμής της ξηράς πυκνότητας του υλικού.
- ✓ Για μια μεγαλύτερη ενέργεια συμπύκνωσης μειώνονται οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή διαπερατότητας, ενώ παράλληλα αυξάνει η ξηρά πυκνότητα.

8.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ

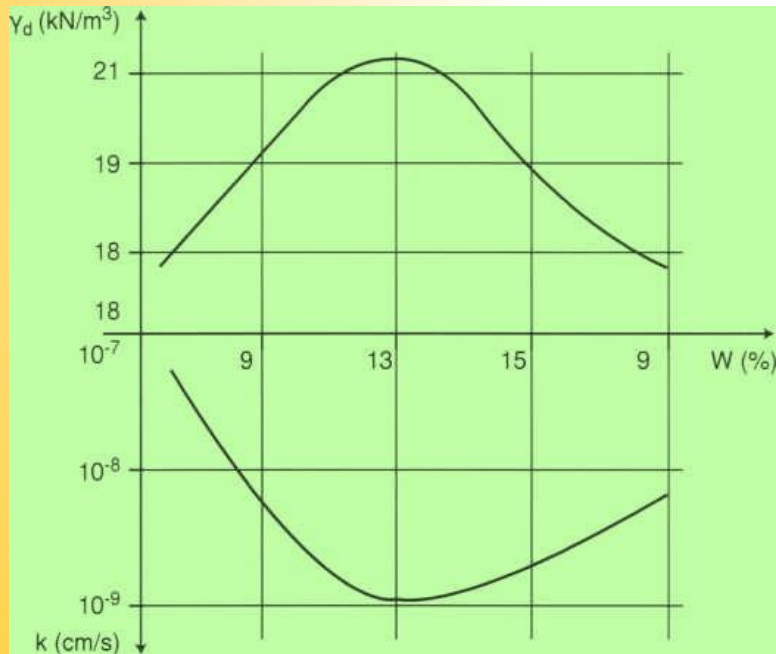


	Περιγραφή	Κατάταξη	WL	IP
1.	Καλά διαβαθμισμένη άμμος	SW	16	NP
2.	Ιλυώδης άμμος	SM	16	NP
3.	Αργιλώδης άμμος	SC	22	4
4.	Ιλυώδης άργιλος	CL	28	9
5.	Ιλύς	ML	26	2
6.	Πλαστική άργιλος	CH	67	40
7.	Ισόκοκκη άμμος	SP	-	NP

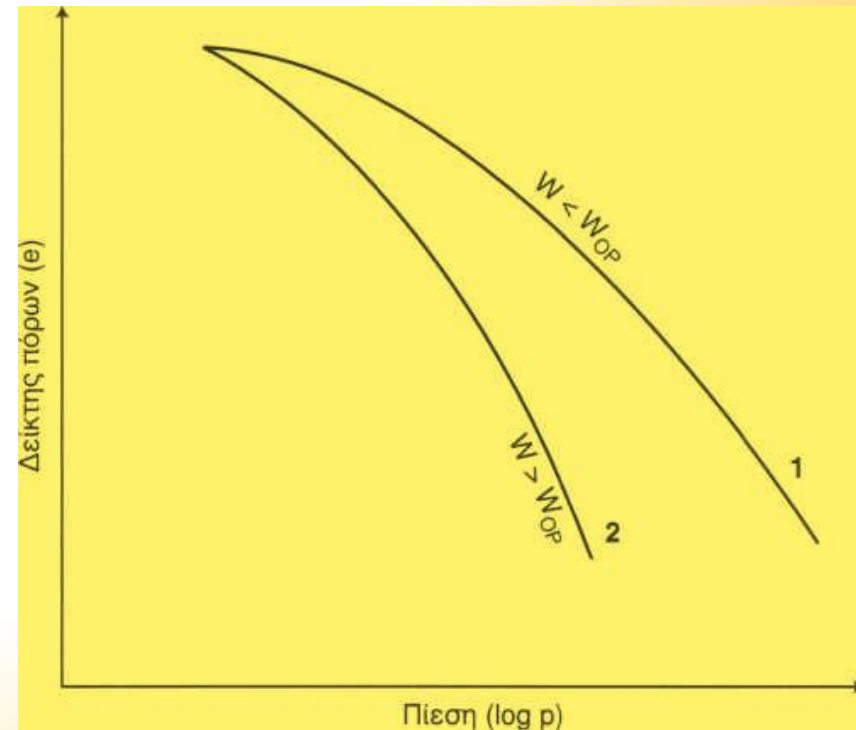
Σχήμα 46. Σχέσεις πυκνότητας-υγρασίας για επτά είδη εδαφών

8.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΟΤΗΤΑ

- Δύο εδαφικά δείγματα που υφίστανται συμπύκνωση στην ίδια ξηρά πυκνότητα αλλά με διαφορετική φυσική υγρασία, το πρώτο (1) αριστερά της βέλτιστης φυσικής υγρασίας και το δεύτερο (2) δεξιά της παρουσιάζουν διαφορετική συμπίεστικότητα.
- Αν τοποθετηθούν σε οιδημετρικές συσκευές ούτως ώστε να ελεγχθεί η σχέση της αναπτυσσόμενης πίεσης p προς τον δείκτη πόρων e , που αποτελεί κριτήριο συμπίεστικότητας, θα παρατηρηθεί ότι το δεύτερο δείγμα «είναι περισσότερο συμπιεστό από το πρώτο (Σχ. 48).
- Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στη μικρότερη συμπίεστικότητα που παρουσιάζουν οι στερεοί κόκκοι οι οποίοι υπάρχουν σε μεγαλύτερη αναλογία στο πρώτο δείγμα.



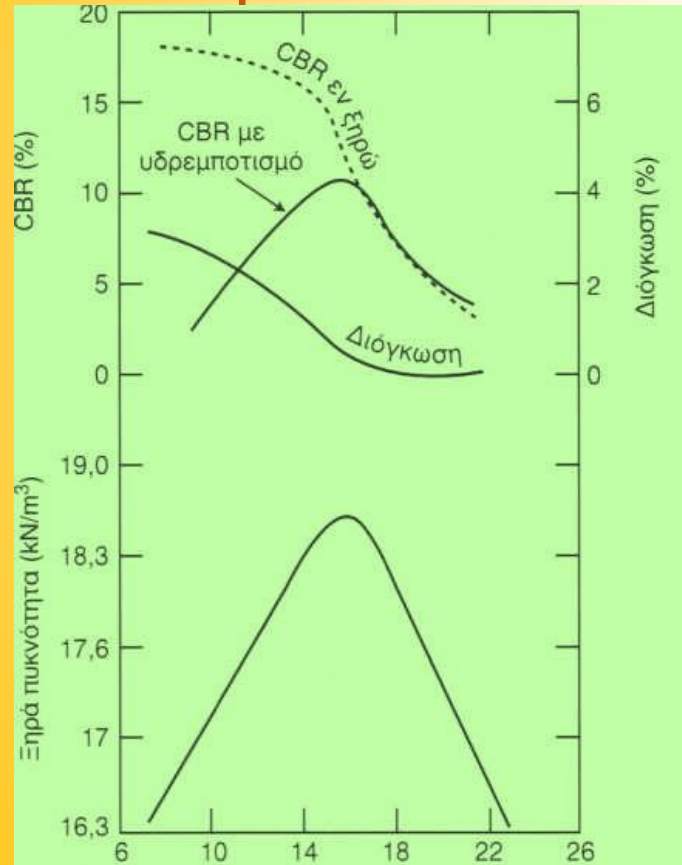
Σχήμα 47. Επίδραση της συμπύκνωσης επί της διαπερατότητας σε αργιλικό έδαφος



Σχήμα 48. Επίδραση της συμπύκνωσης επί της συμπίεστικότητας.

8.5 ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

- Κύριος στόχος της συμπύκνωσης σε έργα οδοποιίας είναι η επίτευξη υψηλών τιμών μηχανικών χαρακτηριστικών στις στρώσεις του υπεδάφους, του επιχώματος και της οδοστρώσας.
- Αν θεωρηθεί ο δείκτης CBR ως παράμετρος αξιολόγησης των μηχανικών χαρακτηριστικών των εδαφικών υλικών οδοποιίας, παρατηρείται ότι η τιμή του μεταβάλλεται με τη φυσική υγρασία και την ξηρά πυκνότητα.



▪ Στα αργιλικά εδάφη [45], ο δείκτης CBR των ξηρών δειγμάτων, σε φυσική κατάσταση, μειώνεται γενικά, όσο η ξηρά πυκνότητα και η φυσική υγρασία προχωρούν κατά μήκος της καμπύλης συμπύκνωσης (Σχ. 49).

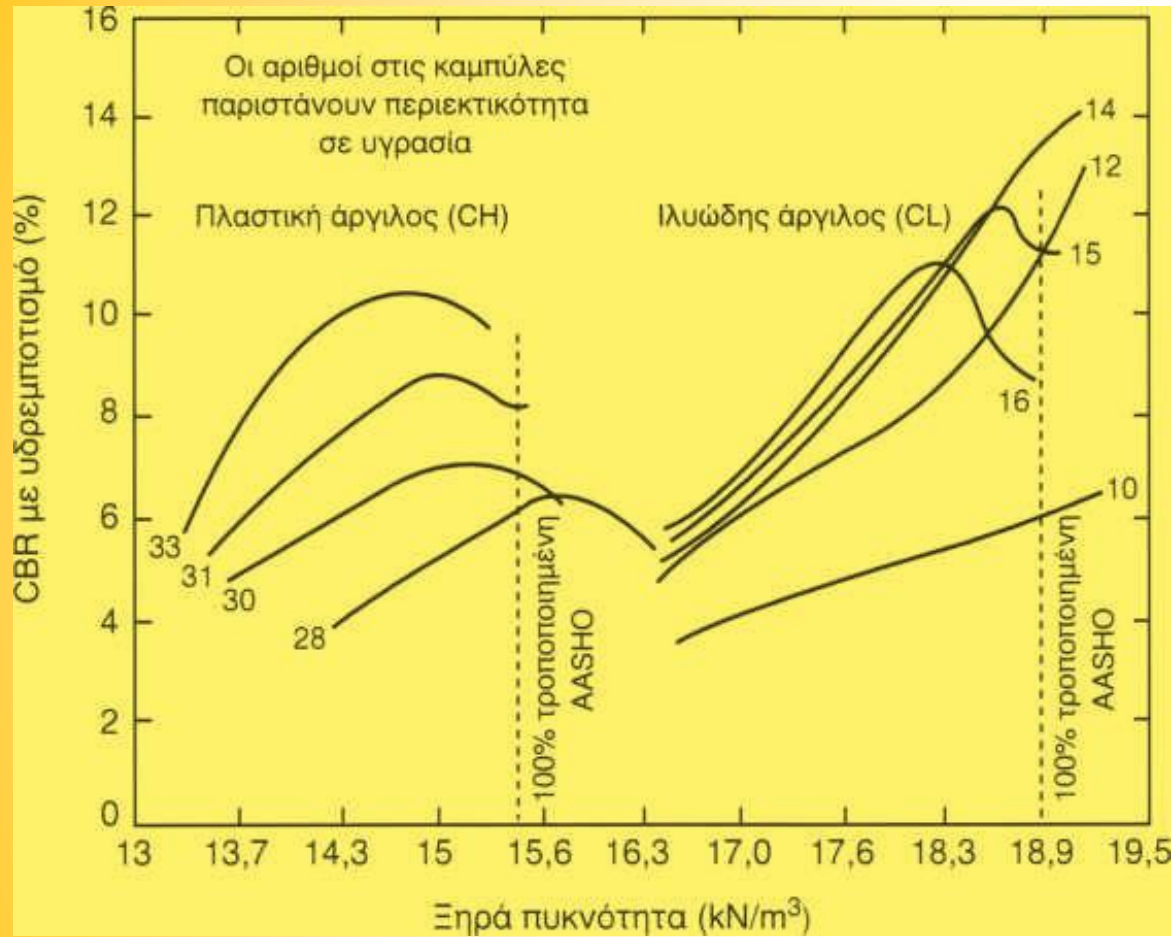
▪ Αν, αντίθετα, τα ίδια δείγματα ελεγχθούν μετά από τη διαδικασία υδρεμοτισμού 4 ημερών, διαγράφεται μία καμπύλη, που παρουσιάζει μία μέγιστη τιμή, ανάλογη της καμπύλης συμπύκνωσης.

▪ Η διαφορά οφείλεται στη διόγκωση του δείγματος κατά τη διαδικασία υδρεμοτισμού με αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής για μικρές τιμές της φυσικής υγρασίας.

▪ Γενικά, τα εδάφη που εμφανίζουν κίνδυνο διόγκωσης πρέπει να συμπυκνώνονται σε τιμή φυσικής υγρασίας ίση ή ελαφρά μεγαλύτερη της βέλτιστης, σε μια περιοχή δηλαδή όπου η συμπεριφορά τους δεν επηρεάζεται σημαντικά από την απορρόφηση ύδατος.

Σχήμα 49. Σχέση μεταξύ CBR και ξηράς πυκνότητας για μια ιλυώδη άργιλο

8.5 ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ



Σχήμα 50. Μεταβολή του δείκτη CBR με την ξηρά πυκνότητα

- Ενδιαφέρον παρουσιάζουν ακόμη οι νόμοι μεταβολής του δείκτη CBR με την ξηρά πυκνότητα.
- Δοκιμές που εκτελέσθηκαν σε εδαφικά δείγματα μιας πλαστικής αργίλου (CH) και μιας ιλυώδους αργίλου (CL) έδειξαν ότι στα ένυγρα δείγματα η τιμή του δείκτη CBR εμφανίζει ένα μέγιστο για μία ορισμένη τιμή της ξηράς πυκνότητας.
- Σε κάθε δείγμα που περιέχει μια συγκεκριμένη φυσική υγρασία, η τιμή αυτή είναι διαφορετική, ενώ η μέγιστη τιμή του δείκτη CBR επιτυγχάνεται για διαφορετικές τιμές της φυσικής υγρασίας στα δύο εδαφικά υλικά (Σχ. 50).

8.6 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ

- ✓ Οι υψηλοί δείκτες λειτουργικότητας των οδών, που αποτελούν πάντοτε στόχο κάθε κατασκευαστικής δραστηριότητας στο χώρο της οδοποιίας, προϋποθέτουν υποδομή και οδόστρωμα με βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά.
- Η εφαρμογή μεθόδων μηχανικής σταθεροποίησης, και ιδιαίτερα της συμπύκνωσης, συνιστά αναγκαία συνθήκη για την επίτευξη αυτού του στόχου.
- ❑ Η συμπύκνωση ωστόσο, δεν είναι σε θέση να δώσει πλήρη απάντηση στο πρόβλημα της φέρουσας ικανότητας
 - Ένα έδαφος ισχνών μηχανικών χαρακτηριστικών βελτιώνεται οπωσδήποτε με τη συμπύκνωση, χωρίς όμως πάντοτε να είναι σε θέση να αποκτήσει τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες, οσοδήποτε και αν συμπυκνωθεί.
- ❖ Η πλαστική άργιλος της προηγούμενης παραγράφου, για παράδειγμα, κάτω από τις καλύτερες συνθήκες συμπύκνωσης φθάνει σε μία τιμή του δείκτη CBR ίση προς 10, που ενδεχομένως, δεν είναι ικανοποιητική για στρώση έδρασης ενός οδοστρώματος βαριάς κυκλοφορίας.
- ✓ Σε μια τέτοια περίπτωση, χημική σταθεροποίηση του υλικού ή εξεύρεση δάνειων υλικών (αμμοχάλικων) αποτελούν ενδεδειγμένες λύσεις.

8.6 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ

Ο ποιοτικός έλεγχος των υλικών των χωματουργικών εργασιών θα πρέπει κατά συνέπεια να διακριθεί σε δύο στάδια:

- επιλογή των καταλλήλων υλικών με βάση τις φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες
 - προσδιορισμό των ιδανικών συνθηκών συμπύκνωσης για κάθε υλικό.
- Στον ελληνικό χώρο ο έλεγχος της συμπύκνωσης εκτελείται σχεδόν αποκλειστικά με βάση την επιτευχθείσα στο έργο τιμή της ξηράς πυκνότητας που προσδιορίζεται κατά τη μέθοδο “κώνου και άμμου”.
- ✓ Αντίστοιχα, η διαδικασία προσδιορισμού των βέλτιστων συνθηκών συμπύκνωσης κινείται με στόχο τον καθορισμό στο εργαστήριο ενός πρότυπου ζεύγους τιμών, ξηράς πυκνότητας γ_d και φυσικής υγρασίας W , προς το οποίο θα πρέπει να προσανατολίζεται η εκτέλεση των εργασιών στο εργοτάξιο.
- ✓ Η μέθοδος που ακολουθείται διεθνώς για την εξεύρεση αυτού του πρότυπου ζεύγους τιμών είναι η μέθοδος Proctor.

8.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑ PROCTOR

Ο έλεγχος της συμπύκνωσης με βάση τη μέθοδο Proctor περιλαμβάνει δύο φάσεις:

- την εκτέλεση της δοκιμής Proctor, προ οποιασδήποτε κατασκευαστικής διαδικασίας. Η δοκιμή συνίσταται σε έναν εργαστηριακό προσδιορισμό της μέγιστης ξηράς πυκνότητας και της βέλτιστης φυσικής υγρασίας για συγκεκριμένη ενέργεια συμπύκνωσης
 - τον εργοταξιακό έλεγχο, μετά το πέρας της κατασκευής της κάθε στρώσης, τον υπολογισμό δηλαδή, της επιτευχθείσης, μετά τη συμπύκνωση, ξηράς πυκνότητας του εδαφικού δείγματος και τη σύγκριση αυτής με τη μέγιστη κατά Proctor.
- Η δοκιμή Proctor (1933) είναι ένας ποιοτικός έλεγχος των υλικών στο εργαστήριο. Είναι ανεξάρτητη της υπόλοιπης διαδικασίας συμπύκνωσης και μπορεί να εκτελεσθεί πριν ακόμη αρχίσει οποιαδήποτε χωματουργική εργασία.
- Σκοπός της είναι να προσδιορίσει για κάθε υλικό, υπό συγκεκριμένη ενέργεια συμπύκνωσης, ένα ζεύγος τιμών (W, γ_d) που θα αποτελέσει σημείο αναφοράς για την εκτέλεση των εργασιών στο εργοτάξιο.

8.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑ PROCTOR

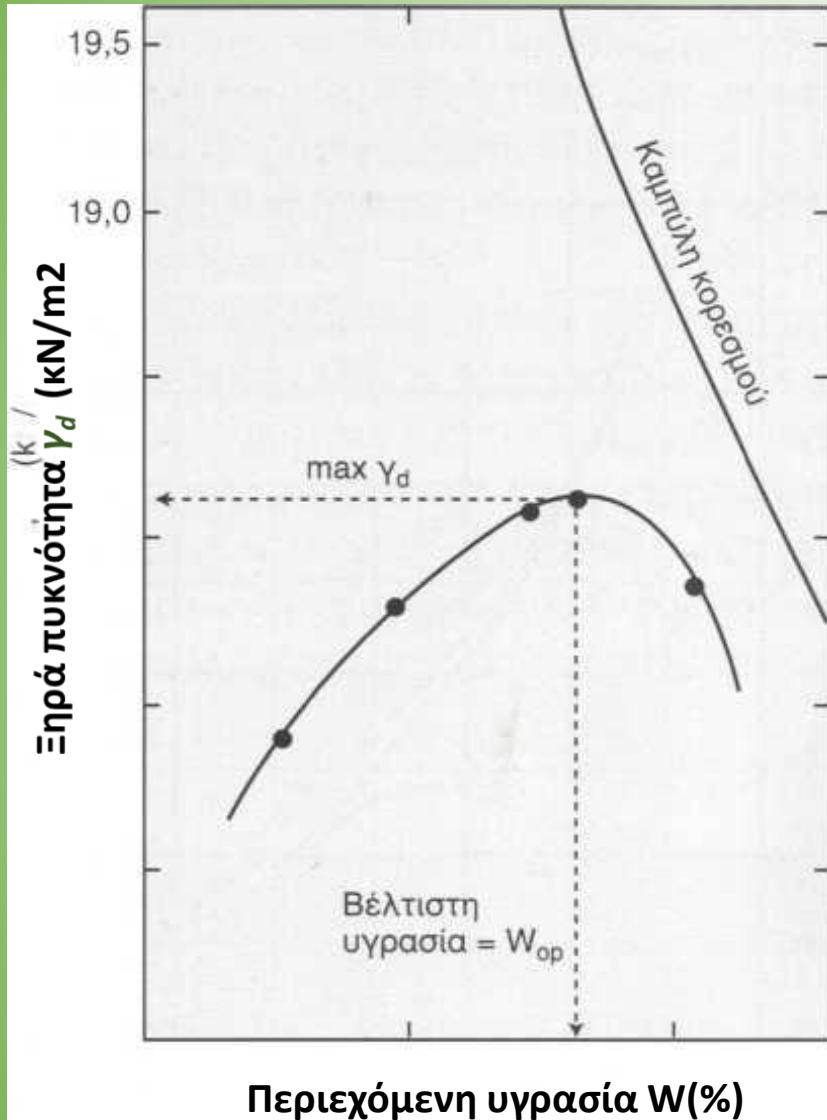
- Από κάθε εδαφικό υλικό, μορφώνονται 4-5 δείγματα τα οποία υφίστανται αποξήρανση και στη συνέχεια διαβρέχονται ούτως ώστε να αποκτήσουν διαφορετική το καθένα περιεκτικότητα σε νερό W .
- Το κάθε δείγμα τοποθετείται κατόπιν στη μήτρα Proctor ($d = 10,1 \text{ cm}$, $h = 11,7 \text{ cm}$) σε 3 ισοπαχείς στρώσεις, όπου κάθε στρώση δέχεται 25 κτύπους από ένα τύπτρο $2,5 \text{ kg}$ που πέφτει από ύψος $30,5 \text{ cm}$.
- Η ενέργεια συμπίκνωσης είναι στην περίπτωση αυτήν 60 kgm/lit .
- Γενικά, η ενέργεια συμπίκνωσης ή ειδική ενέργεια (specific energy), σε περιπτώσεις εργαστηριακών

δοκιμών, προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$E = \frac{N \cdot G \cdot h}{V}$$

- Όπου N : ο αριθμός των κτύπων
- G : το βάρος του τύπτρου
- h : το ύψος πτώσης
- V : ο όγκος των δοκιμών

8.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑ PROCTOR



- Μετά τη δοκιμή λαμβάνεται δείγμα βάρους $G = 50-100$ gr από τη βάση του κυλίνδρου. Το δείγμα υφίσταται αποξήρανση και υπολογίζεται στη συνέχεια το βάρος του G_s . Η φυσική υγρασία του δείγματος και η ξηρά πυκνότητα προσδιορίζονται από τις σχέσεις:

$$W (\%) = \frac{G - G_s}{G_s} \times 100, \gamma_d = \frac{G_s}{V}$$

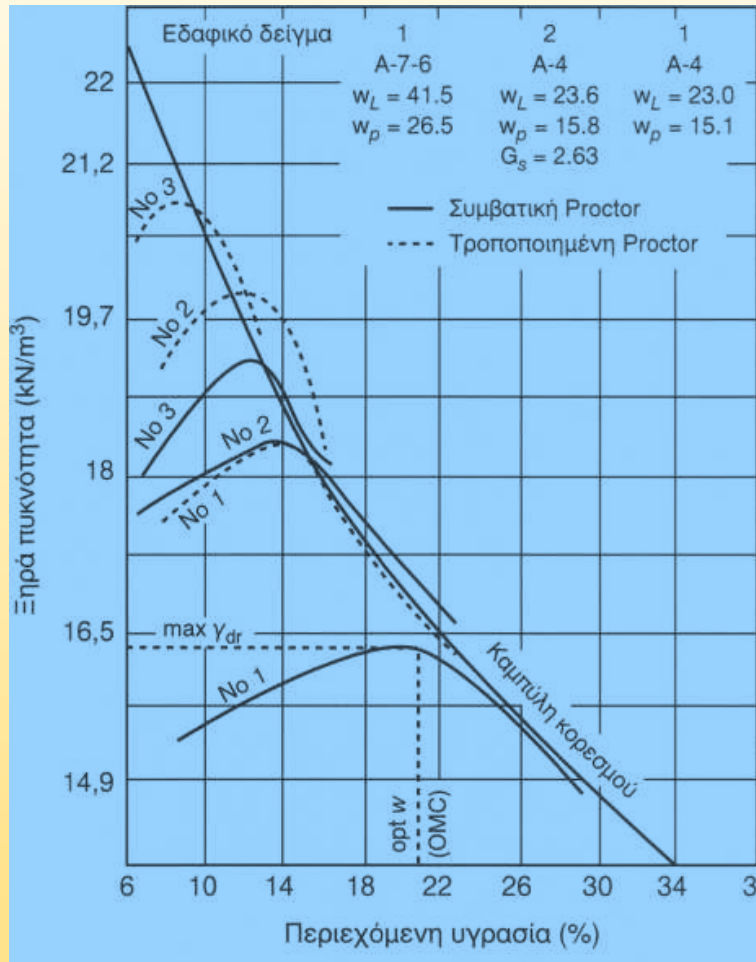
Προκύπτει κατά τον τρόπο αυτόν, ένα ζεύγος τιμών (W, γ_d), για κάθε ένα από τα δείγματα του εδάφους, συνήθως 5 ή 6, και οι τιμές μεταφέρονται σε ένα διάγραμμα (W, γ_d) όπου χαράσσεται η αντίστοιχη χαρακτηριστική καμπύλη που ονομάζεται καμπύλη Proctor (Σχ. 51).

Σχήμα 51. Καμπύλη Proctor

8.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑ PROCTOR

- Επί της καμπύλης ευρίσκεται η μέγιστη τιμή της ξηράς πυκνότητας $\max \gamma_d = \gamma_{OPN} = \gamma_N$
- και η αντίστοιχη βέλτιστη τιμή της φυσικής υγρασίας W_{OPN}
- Το ζεύγος των τιμών αυτών αποτελεί το σημείο αναφοράς προς το οποίο πρέπει να κινηθεί η διαδικασία της συμπύκνωσης στο εργοτάξιο.
- Γενικώς, σε διάφορα έργα οδοποιίας, ανάλογα με το μέγεθος του μεγίστου κόκκου, είναι δυνατόν να επιλεγεί η διάμετρος της μήτρας της δοκιμής.
- Οι ελληνικές προδιαγραφές προβλέπουν τέσσερα (4) είδη δοκιμών Α, Β, Γ και Δ συσχετίζοντας το μέγεθος του μεγίστου κόκκου και τη διάμετρο του υποδοχέα.
- Συνιστάται, πάντως, να χρησιμοποιείται μήτρα Proctor ($d = 10,1 \text{ cm}$) όταν ο μέγιστος κόκκος έχει διάσταση 5 mm (διερχόμενο κλάσμα από το κόσκινο No 4) και μήτρα CBR ($d = 15,2 \text{ cm}$) όταν ο μέγιστος κόκκος έχει διάσταση 20 mm (διερχόμενο κλάσμα από το κόσκινο $3/4''$), δηλαδή οι δοκιμές Α και Δ αντιστοίχως.

8.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑ PROCTOR



Σχήμα 52. Καμπύλες συμπίκνωσης για συμβατική και τροποποιημένη δοκιμή Proctor σε τρία είδη εδαφών

• Όταν τα προς έλεγχο υλικά περιέχουν κλάσμα μεγαλύτερο των 20 mm σε ποσοστό μεγαλύτερο από 30%, τότε η δοκιμή Proctor είναι αδύνατον να εφαρμοστεί.

✓ Ο έλεγχος συμπίκνωσης θα πρέπει να γίνει με μια άλλη μέθοδο, από αυτές που περιγράφονται σε επόμενες παραγράφους.

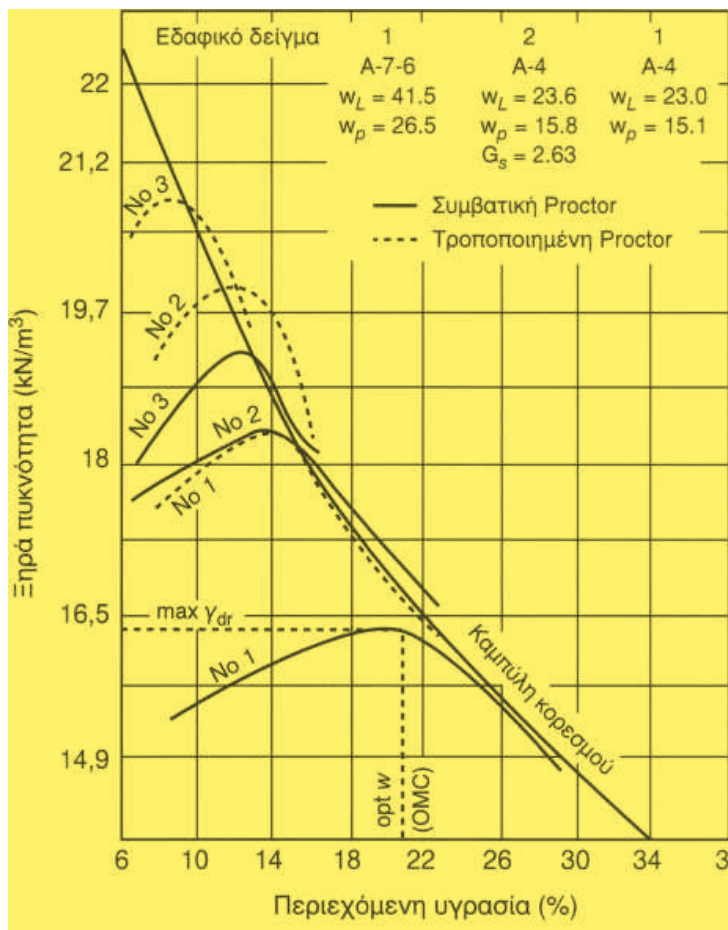
Παραλλαγή της κλασικής δοκιμής Proctor αποτελεί η τροποποιημένη δοκιμή Proctor (modified Proctor, AASHTO T-180), όπου οι μικρές αλλαγές αποσκοπούν στην αύξηση της ενέργειας συμπίκνωσης.

• Οι σύγχρονες ελληνικές αλλά και ξένες προδιαγραφές αναφέρονται, σχεδόν πάντοτε, στην τροποποιημένη μέθοδο Proctor.

• Τα δείγματα παρασκευάζονται κατά τον ίδιο τρόπο και τοποθετούνται σε 5 στρώσεις στη μήτρα Proctor όπου συμπυκνώνονται.

• Μετά την τοποθέτηση του δείγματος στον κύλινδρο κάθε στρώση δέχεται 56 κτύπους από ένα τύπτρο βάρους 4,5 kg από ύψος 46 cm.

8.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑ PROCTOR



Σχήμα 52. Καμπύλες συμπίκνωσης για συμβατική και τροποποιημένη δοκιμή Proctor σε τρία είδη εδαφών

✓ Ο υπολογισμός των τιμών (W, γ_d) για κάθε δείγμα καθώς και η χάραξη της καμπύλης Proctor γίνονται με την ίδια ακριβώς διαδικασία, όπως και στην κλασσική δοκιμή.

• Η καμπύλη που προκύπτει ωστόσο, για το ίδιο υλικό, είναι κάπως μετατοπισμένη στο διάγραμμα (W, γ_d), δίδει μεγαλύτερη τιμή για τη μέγιστη ξηρά πυκνότητα $\max \gamma_d = \gamma_{OPM} = \gamma_M$ μικρότερη για τη βέλτιστη φυσική υγρασία $\gamma_M > \gamma_N, W_{OPM} < W_{OPN}$ πράγμα που σημαίνει αυξημένες απαιτήσεις συμπίκνωσης στο εργοτάξιο.

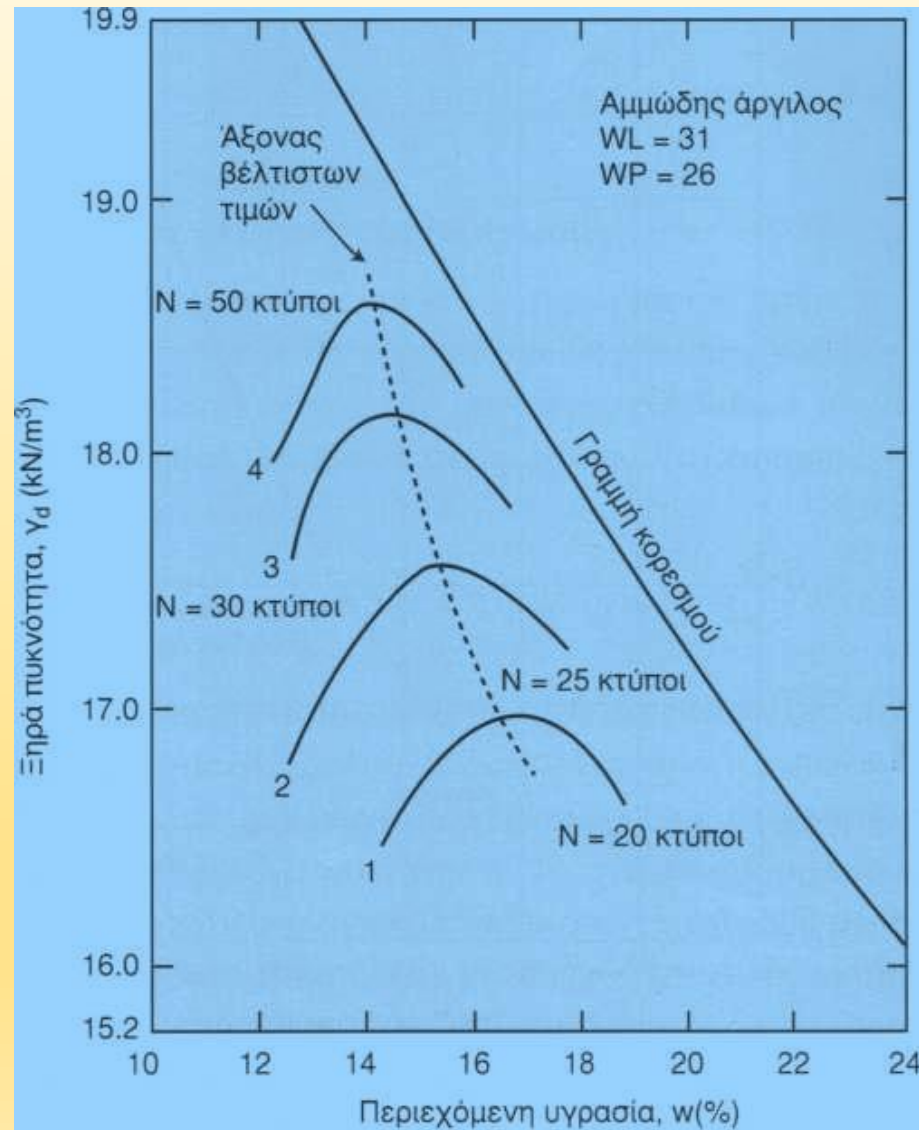
□ Τα διαγράμματα Proctor εδαφικών υλικών που συμπυκνώνονται με διαφορετική ενέργεια συμπίκνωσης (Σχ. 53) δείχνουν ότι:

• για δεδομένο εδαφικό υλικό, η τιμή της μέγιστης πυκνότητας αυξάνει και της βέλτιστης υγρασίας μειώνεται, με την αύξηση της ενέργειας συμπίκνωσης

• για συγκεκριμένη φυσική υγρασία η τιμή της ξηράς πυκνότητας αυξάνει με την ενέργεια συμπίκνωσης μέχρις ότου το έδαφος κορεσθεί $S_r = 100\%$.

8.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑ PROCTOR

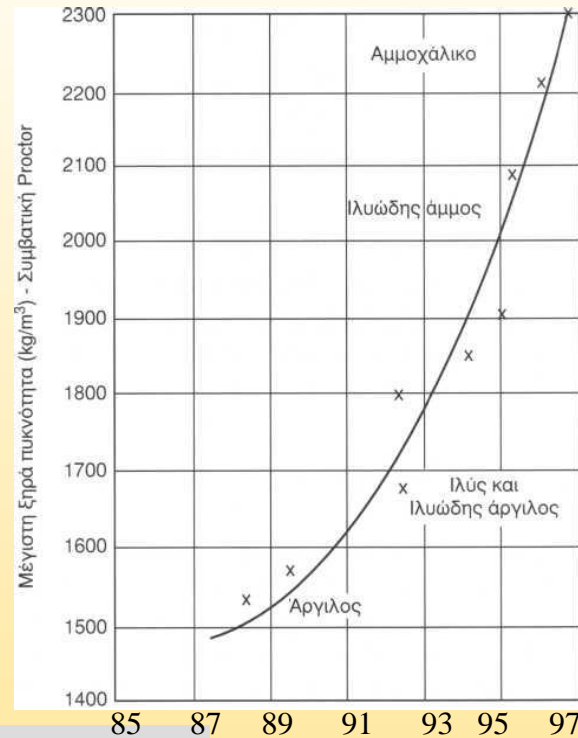
- Οι διάφορες καμπύλες Proctor έχουν ως περιβάλλουσα την καμπύλη κορεσμού



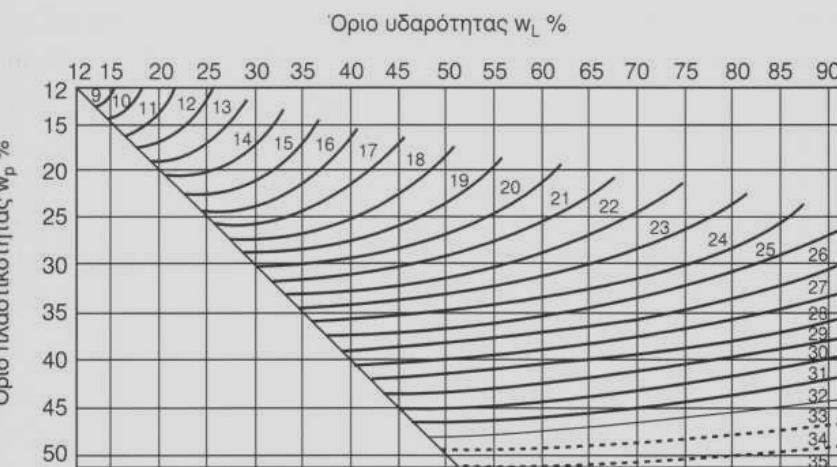
Σχήμα 53. Καμπύλη Proctor και γραμμή κορεσμού.

8.7 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ ΚΑΤΑ PROCTOR

Σχήμα 54. Συσχέτιση τιμών μέγιστης ξηράς πυκνότητας κατά τη συμβατική και την τροποποιημένη μέθοδο Proctor



- Μια συγκριτική μελέτη σε μεγάλο πλήθος εδαφικών δειγμάτων έδειξε ότι η μέγιστη ξηρά πυκνότητα που προσδιορίζεται κατά τη συμβατική (standard) μέθοδο φθάνει σε ποσοστό 85% έως 97% της αντίστοιχης τιμής που προκύπτει από την τροποποιημένη (modified) δοκιμή (Σχ. 54).



Σχήμα 55. Προσδιορισμός βέλτιστης υγρασίας συναρτήσεως των ορίων Atterberg

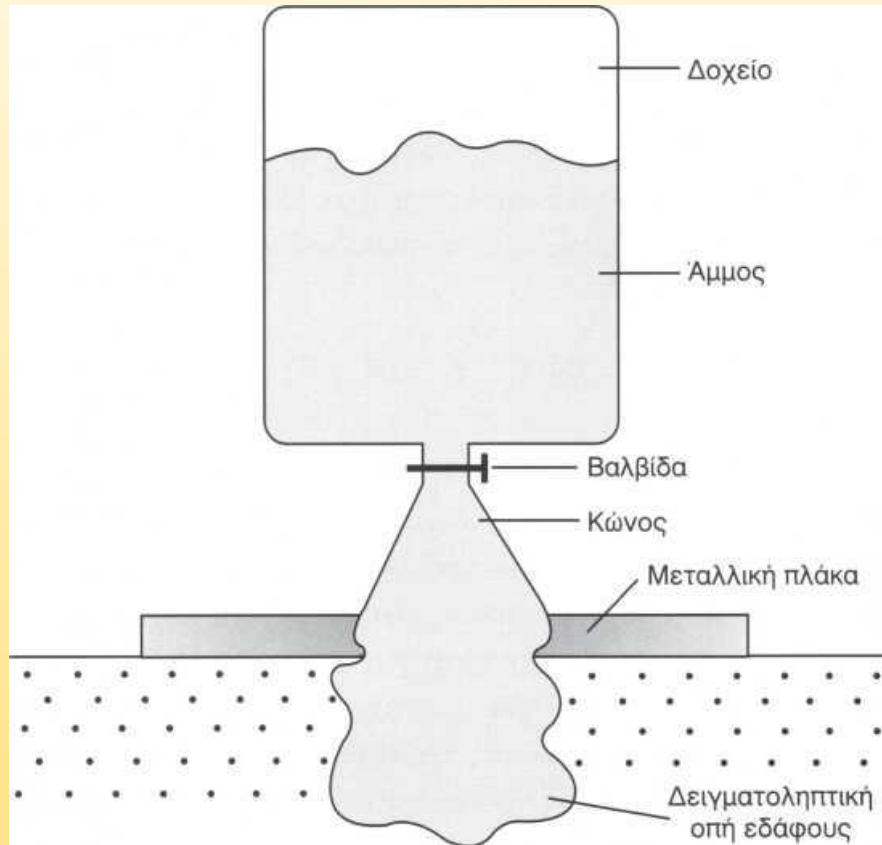
- Η βέλτιστη υγρασία συμπύκνωσης είναι μεγαλύτερη στα συνεκτικά εδάφη και μειώνεται όσο μικραίνει η τιμή του δείκτη πλαστικότητας.
- Προσεγγιστικά, η τιμή της βέλτιστης υγρασίας κατά τη συμβατική μέθοδο Proctor μπορεί να υπολογιστεί από το όριο υδαρότητας και τον δείκτη πλαστικότητας (Σχ. 55).

Σημείωση: Οι αριθμοί μεταξύ των καμπύλων δείχνουν ζώνες βέλτιστης περιεχομένης υγρασίας επί % για ξηρό βάρος.
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:
Δίνονται: Όριο υδαρότητας = 35
Όριο πλαστικότητας = 20
Να βρεθεί: Η μέση τιμή της βέλτιστης υγρασίας
Απάντηση: 16%

8.8 ΕΡΓΟΤΑΞΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Αφού ολοκληρωθεί η διάστρωση και η συμπύκνωση κάθε στρώσης υλικού ακολουθεί ο έλεγχος του βαθμού συμπύκνωσης δια προσδιορισμού της ξηράς πυκνότητας γ_d που επιτεύχθηκε στο εργοτάξιο.
- Ο βαθμός συμπύκνωσης DC(Degree of Compaction) σύμφωνα με τη μέθοδο Proctor, συμβατική ή τροποποιημένη αντίστοιχα, είναι: $DC(\%) = \frac{\gamma_d}{\gamma_N} \times 100$, η $DC(\%) = \frac{\gamma_d}{\gamma_M} \times 100$
- Ο υπολογισμός της ξηράς πυκνότητας του συμπυκνωμένου εδαφικού υλικού είναι δυνατό να γίνει με διάφορες μεθόδους.
- Η σύγχρονη τεχνολογία οδήγησε σε χρήση “ακτινών γ” για τον έλεγχο με γρήγορο ρυθμό των διαφόρων στρώσεων της οδού από πλευράς ξηράς πυκνότητας.
- Τα αντίστοιχα μηχανήματα (gamma- densimetres) γνώρισαν σημαντική επιτυχία αντικαθιστώντας τα παλιότερα μηχανήματα μεμβράνης.
- Εκτιμήθηκε ιδιαίτερα η ακρίβεια των μετρήσεων και ο εύκολος χειρισμός τους και για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιήθηκαν σε πολλά μεγάλα εργοτάξια για τον προσδιορισμό της ξηράς πυκνότητας.
- Σε περίπτωση κατασκευής επιχωμάτων από ομοιογενές εδαφικό υλικό, ο ρυθμός εκτέλεσης του ελέγχου της συμπύκνωσης κατά τη μέθοδο Proctor συνιστάται να έχει ως ελάχιστες τιμές:
- δοκιμές Proctor: $1/5.000 \text{ m}^3$
- υπολογισμός ξηρός πυκνότητας: $1/500 \text{ m}^3$ υλικού.

8.8 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ



Σχήμα 56. Μέθοδος “κώνου και άμμου”.

- Στην Ελλάδα για τον προσδιορισμό της ξηράς πυκνότητας του υλικού εφαρμόζεται η μέθοδος της άμμου ή της ελαστικής μεμβράνης.
- Λαμβάνεται δείγμα από την επιφάνεια κάθε συμπυκνωμένης στρώσης και υπολογίζεται δι’ αποξήρανσης το βάρος των στερεών συστατικών G_s και ο όγκος V του δείγματος.
- Σύμφωνα με τη μέθοδο “κώνου και άμμου”, που είναι η επικρατέστερη, ο προσδιορισμός του όγκου V του υλικού γίνεται στο εργοτάξιο, τοποθετώντας, στη θέση όπου αφαιρέθηκε το δείγμα, άμμο μέχρις ότου καλυφθεί εντελώς το κενό.
- Ο όγκος V ευρίσκεται από τη σχέση $V = G/\gamma_a$ όπου G και γ_a το βάρος και το ειδικό βάρος της άμμου αντίστοιχα.
- Η ξηρά πυκνότητα του δείγματος είναι $\gamma_d = G_s/V$

8.8 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Πίνακας 28. Φυσικές ιδιότητες και χαρακτηριστικές τιμές παραμέτρων Proctor διαφόρων εδαφών

α/α	Έδαφος	Κατάταξη USCS	Όρια Atterberg		Κοκκομετρία ΔΠ (%)				Συμβατική Proctor		Τροποποιη- μένη Proctor	
			WL	IP	3/4"	No4	No40	No200	γ_N	W_{OPN}	γ_M	W_{OPM}
1.	Λεπτόκοκκη άμμος	SP	22	—	100	100	100	5	1,56	17	1,64	15
2.	Μεσόκοκκη άμμος	SW-SM	25	—	100	100	40	10	1,64	15	1,76	12
3.	Χονδρόκοκκη άμμος	SW-SM	20	—	100	100	30	12	1,79	14	1,90	12
4.	Αργιλώδης άμμος	SM-SC	21	7	100	100	55	25	1,85	14	1,94	12
5.	Πυλώδης άμμος	CL-ML	34	12	100	100	70	45	1,61	20	1,74	17
6.	Πλαστική άργιλος	CH	62	36	100	100	96	90	1,38	30	1,54	25
7.	Πλαστική άργιλος	CH	71	35	100	100	96	92	1,32	32	1,51	24
8.	Χονδρόκοκκο αμμοχάλικο (τραχείς χάλικες)	GW-GM	21	6	100	49	21	9	2,12	9	2,20	8
9.	Χονδρόκοκκο αμμοχάλικο (λείοι χάλικες)	GW-GM	21	6	100	47	21	9	2,05	9	2,12	8
10.	Μεσόκοκκο αμμοχάλικο (τραχείς χάλικες)	GM	21	6	100	55	25	18	2,04	10	2,10	9
11.	Μεσόκοκκο αμμοχάλικο (λείοι χάλικες)	GM	21	6	100	55	25	18	2,01	10	2,06	9
12.	Πλαστικό αμμοχάλικο (τραχείς χάλικες)	GW-GC	49	29	100	42	19	9	1,97	12	2,11	9
13.	Πλαστικό λείο αμμοχάλικο (λείοι χάλικες)	GW-GC	49	29	100	42	19	9	1,95	11	2,06	9
14.	Πλαστικό μεσόκοκκο αμμοχάλικο (γωνιώδες)	GC	49	29	100	54	28	18	1,89	13	2,08	8
15.	Πλαστικό μεσόκοκκο αμμοχάλικο (λείο)	GC	49	29	100	54	28	18	1,89	11	2,02	10
16.	Αργιλώδες αμμοχάλικο	SC	38	12	100	72	55	37	1,51	23	1,62	19

8.8 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Ανάλογα με τις συμβατικές υποχρεώσεις η τιμή του βαθμού συμπύκνωσης είναι κατά τις Ελληνικές προδιαγραφές ίση τουλάχιστον προς 90% κατά την τροποποιημένη μέθοδο Proctor (Πίν. 29).
- Αν μετά τον έλεγχο διαπιστωθεί ότι δεν επιτεύχθηκε ο απαιτούμενος βαθμός συμπύκνωσης, οι εργασίες πρέπει να συνεχισθούν με οδοστρωτήρα μεγαλύτερου βάρους.
- Πίνακας 29. **Απαιτούμενος βαθμός συμπύκνωσης γεωκατασκευών**

α/α	Στρώσεις / Κατασκευές	Βαθμός συμπύκνωσης	
		Ελληνικές προδιαγραφές	Διεθνείς προδιαγραφές
1	Βάση οδοστρώματος CBR > 80	DC ≥ 95%	DC = 100%
2	Υπόβαση οδοστρώματος CBR > 20	DC ≥ 95%	DC = 100%
3	Στρώση έδρασης οδοστρώματος, IP < 5	DC ≥ 95%	DC ≥ 90%
4	Τελική χωματουργικών CBR < 20, IP < 5	DC ≥ 95%	DC ≥ 95%
5	Στρώσεις επιχώματος h > 15 m	DC ≥ 95%	DC ≥ 95%
6	Στρώσεις επιχώματος h < 15 m, IP < 5	DC ≥ 90%	DC ≥ 95%
7	Στρώσεις επιχώματος h < 15 m, IP > 5	DC ≥ 90%	DC ≥ 90%
8	Υλικό στραγγιστηρίων σε οδόστρωμα	DC ≥ 95%	DC ≥ 95% (*)
9	Πεζοδρόμια / θραυστό υπόβασης	DC ≥ 90%	DC ≥ 90% (*)
10	Επανεπιχώσεις τεχνικών έργων	DC ≥ 90%	DC ≥ 90% (*)

(*) Οι στρώσεις οι οποίες δεν υπόκεινται σε κυκλοφορία οχημάτων, μπορούν να έχουν βαθμό συμπύκνωσης κατά 5 μονάδες χαμηλότερο από τις τιμές αυτές

8.8 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Ανάλογες μέθοδοι προσδιορισμού του βαθμού συμπύκνωσης μέσω της ξηράς πυκνότητας του υλικού είναι η μέθοδος της ελαστικής μεμβράνης (balloon densometer) η λήψη αδιατάραχτων δειγμάτων (shelby tube), η χρήση πυκνόμετρου “ακτινών γ” (nuclear gauge).
- Αν και η εφαρμογή των μεθόδων αυτών στην Ελλάδα είναι σπάνια, ωστόσο, σκόπιμο είναι να αξιολογηθούν με βάση τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν (Πίν. 30).

	Συσκευή “κώνου και άμμου”	Ελαστική μεμβράνη	Δείγματα “Shelby”	Πυκνόμετρο “ακτινών-γ”
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλο δείγμα • Ακρίβεια 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλο δείγμα • Άμεση ανάγνωση ένδειξης 	<ul style="list-style-type: none"> • Ταχύτητα • Δειγματοληψία σε βάθος 	<ul style="list-style-type: none"> • Ταχύτητα • Επαναληψιμότητα
Μειονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> • Μακρά διάρκεια εξαγωγής αποτελεσμάτων • Βραδύτητα δοκιμής 	<ul style="list-style-type: none"> • Βραδύτητα • Διάρρηξη μεμβράνης 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρό δείγμα • Αδυναμία σε αμμοχάλικα 	<ul style="list-style-type: none"> • Ραδιενεργός ακτινοβολία • Έλλειψη συγκεκριμένου δείγματος
Σφάλματα	<ul style="list-style-type: none"> • Τοπικά κενά • Διογκωσιμότητα άμμου 	<ul style="list-style-type: none"> • Τοπικά κενά • Ανάδυση υλικού 	<ul style="list-style-type: none"> • Υπερδιείσδυση • Πρόσκρουση σε βράχο 	<ul style="list-style-type: none"> • Κακή βαθμονόμηση • Παρεμβολή χονδρόκοκκων
Κόστος	• Χαμηλό	• Μέτριο	• Χαμηλό	• Υψηλό

Πίνακας 30. Χαρακτηριστικά μεθόδων ελέγχου συμπύκνωσης

8.8 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Ο δείκτης CMV (compaction meter value) μετράται μέσω οργάνου επί δονητικού οδοστρωτήρα μετά το πέρας της συμπύκνωσης. Ο δείκτης εκφράζει την δυσκαμψία (stiffness) του συμπυκνωμένου εδαφικού υλικού, με εύρος τιμών CMV = 60-100 για βραχώδη υλικά, 30-80 για αμμοχάλικα, 20-50 για άμμους και 5-30 για λεπτόκοκκα εδάφη.
- Τέλος, ένας απλός έλεγχος της συμπύκνωσης, ως ένδειξη για αναστολή της διέλευσης των οδοστρωτήρων, παρά ως πειστήριο ικανοποιητικής συμπύκνωσης, είναι η διείσδυση χαλύβδινου μάρτυρα. Ο χαλύβδινος μάρτυρας είναι μια μεταλλική τετραγωνική πλάκα 40 x 40 cm, η οποία τοποθετείται σε τυχαία θέση επί της συμπυκνωθείσης επιφάνειας. Ο οδοστρωτήρας που χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση διέρχεται υπεράνω της πλάκας και μέσω τοπογραφικού ταχύμετρου εκτιμάται η βύθιση του μάρτυρα. Ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες προδιαγραφές, το μέγεθος της βύθισης Δz πρέπει να είναι:
 - $\Delta z < 1 \text{ cm}$ $\Delta z < 1/100 \times z_0$ όπου z_0 το πάχος της προς συμπύκνωση στρώσης.
- Σύμφωνα με ελβετικές προδιαγραφές (SNV 670-365), η διέλευση επί της περαιωμένης επιφάνειας ενός τροχού βάρους 5t πρέπει να προκαλεί βύθιση $< 0,3 \text{ cm}$, για στρώσεις έδρασης οδοστρωμάτων και $\Delta z < 0,5 \text{ cm}$ για στρώσεις επιχώματος.
- Σε κάθε περίπτωση, η απλή και προσεγγιστική αυτή μέθοδος θα πρέπει να συμπληρώνεται από μια μέθοδο ακρίβειας, π.χ. τη μέθοδο “κώνου και άμμου”.
- ✓ Ανάλογα με την έκταση της επιφάνειας, η δοκιμή προσδιορισμού του βαθμού συμπύκνωσης επαναλαμβάνεται 3, 6 ή και περισσότερες φορές, με στόχο μια συνολική εκτίμηση της ποιότητας της συμπύκνωσης.

8.9 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Συχνά για τον έλεγχο της συμπύκνωσης χρησιμοποιούνται δοκιμές φορτιζόμενης πλάκας. Στην περίπτωση αυτή η διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής πρέπει να είναι εντελώς συγκεκριμένη ούτως ώστε τα αποτελέσματα να συσχετίζονται με συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς.
- Οι ελληνικές προδιαγραφές ΠΤΠ-Χ-1 προβλέπουν ότι η κλασική διαδικασία ελέγχου συμπύκνωσης, δηλαδή μέσω της μεθόδου “κώνου και άμμου”, δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε χονδρόκοκκο γαιώδη υλικά, που έχουν συγκροτούμενο ποσοστό στο κόσκίνο Νο4 μεγαλύτερο του 60%. **Ακόμη περισσότερο, σε περιπτώσεις βραχωδών και ημιβραχωδών υλικών επιχωμάτων, όταν, δηλαδή, το συγκροτούμενο κλάσμα στο κόσκίνο 1" είναι μεγαλύτερο του 70%, η δοκιμή Proctor και η μέθοδος “κώνου και άμμου” δεν είναι κατάλληλες για έλεγχο της συμπύκνωσης. Η ΠΤΠ-Χ-1 προβλέπει εκτέλεση δοκιμής φορτιζόμενης πλάκας για κάθε στρώση που κατασκευάζεται από τα υλικά αυτά.**
- Οι ελάχιστες επιτρεπόμενες τιμές του μέτρου παραμόρφωσης E_v οι οποίες προκύπτουν από τον δεύτερο κύκλο φόρτισης (§5.6), είναι:

Στρώσεις	Συνεκτικά εδάφη Ομάδες A-4, A-5, A-6, A-7	Μη συνεκτικά εδάφη Ομάδες A-1, A-3, A-2-4, A-2-5
Επίχωμα	$E_2 \geq 300 \text{ kg/cm}^2$	$E_2 \geq 600 \text{ kg/cm}^2$
Τελική χωματουργικών και στρώση έδρασης οδοστρώματος	$E_2 \geq 450 \text{ kg/cm}^2$	$E_2 \geq 1200 \text{ kg/cm}^2$
Διάμετρος πλάκας	$d = 30 \text{ cm}$	$d = 60 \text{ cm}$

8.9 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Η Γερμανική προδιαγραφή (ZTVE-STB 59) προβλέπει δύσκαμπτη πλάκα 30cm και δύο κύκλους φόρτισης για τον προσδιορισμό των μέτρων ελαστικότητας E_{v1} και E_{v2} . Κατά τον πρώτο κύκλο φόρτισης εξασκείται μέγιστη πίεση ούτως ώστε να προκληθεί κατακόρυφη βύθιση 2 mm. Το μέτρο ελαστικότητας

$$E_{v1}, \text{ υπολογίζεται: } E_{v1} = 1,5a \frac{\Delta p}{\Delta z_1}$$

- όπου Δp η διαφορά πίεσης των 3/10 και 7/10 της μέγιστης και Δz_1 η διαφορά των βυθίσεων που αντιστοιχούν στις παραπάνω πιέσεις.
- Κατά το δεύτερο κύκλο η μέγιστη πίεση ισούται με εκείνην του τελευταίου σταδίου του πρώτου κύκλου. Το μέτρο ελαστικότητας E_{v2} (E_2 , κατά την ΠΤΠ Χ-1), υπολογίζεται: $E_{v2} = 1,5a \frac{\Delta p}{\Delta z_2}$
- όπου η διαφορά πίεσης Δp ορίζεται κατά τον ίδιο τρόπο όπως και στον πρώτο κύκλο και Δz_2 η διαφορά της μέγιστης βύθισης κατά τον δεύτερο κύκλο και της παραμένουσας βύθισης του πρώτου κύκλου.
- Οι Γερμανικές προδιαγραφές αναφέρονται στις ελάχιστες τιμές των μέτρων ελαστικότητας E_{v1} και E_{v2} καθώς και στον βαθμό συμπύκνωσης κατά τη συμβατική μέθοδο Proctor (Πίν. 31).

8.9 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Πίνακας 31. Γερμανικές προδιαγραφές συμπίκνωσης

Στρώση	Εδαφικό υλικό	Βαθμός συμπίκνωσης	E_{v2} (kg/cm ²)	E_{v1} (kg/cm ²)
Υπόβαση	Αμμοχάλικα, Άμμος, Ψαθυρά εδάφη με συντ. ομοιομορφίας $U > 7$	103%	1200	500
ΣΕΟ σε πάχος 20 cm	Ψαθυρά εδάφη $U > 7$	103%	1200	550
	Συνεκτικά εδάφη	100%	450	225
Επιχώματα στα ανώτερα 2 m Ζώνη Α	Ψαθυρά εδάφη $U < 7$	100%	600	270
	Ψαθυρά εδάφη $U > 7$	100%	1000	450
	Συνεκτικά εδάφη	97%	300	150
Επιχώματα κάτω των 2 m Ζώνη Β	Ψαθυρά εδάφη $U < 7$	95%	450	200
	Ψαθυρά εδάφη $U > 7$	95%	700	320
	Συνεκτικά εδάφη	92%	200	100
Φυσικό έδαφος στα ανώτερα 0,50 m	Συμπυκνώνεται <ul style="list-style-type: none"> • υπό τις συνθήκες της ζώνης Α στις διατομές σε όρυγμα και κάτω από επιχώματα με $h < 2$ m • υπό τις συνθήκες της ζώνης Β κάτω από επιχώματα με $h > 2$ m 			

- Η μέθοδος της φορτιζόμενης πλάκας για εργοταξιακό έλεγχο της συμπίκνωσης εδαφικών και θραυστών υλικών πρέπει να εφαρμόζεται με προσοχή και κάθε επιφύλαξη.
- Ένα άριστο, από πλευράς ποιότητας, υλικό που εμφανίζει υψηλή τιμή του μέτρου ελαστικότητας δεν είναι απαραίτητως καλά συμπυκνωμένο.
- Ο κίνδυνος να παρουσιάσει παραμορφώσεις μετά το πέρας της κατασκευής είναι μεγάλος.
- Μια “βαθμονόμηση” των ελάχιστων τιμών του μέτρου E_{v2} για κάθε υλικό, σε σχέση με τον βαθμό συμπίκνωσης είναι επιβεβλημένη.

8.9 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- ❑ Οι Γαλλικές προδιαγραφές καθορίζουν, για κάθε εδαφικό υλικό και είδος χρησιμοποιούμενου μηχανήματος συμπύκνωσης, το μέγιστο πάχος της στρώσης στο επίχωμα και την τελική χωματοργικών καθώς και τον λόγο Q/S που αποτελεί κριτήριο για την καλή εκτέλεση της συμπύκνωσης.
- Ο λόγος Q/S αποτελεί εξέλιξη του κλασσικού ελέγχου με βάση τον αριθμό των διελεύσεων.
- Ο λόγος Q/S εκφράζεται σε m^3/m^2 , όπου Q είναι ο όγκος του εδάφους που υφίσταται συμπύκνωση και S η επιφάνεια που έχει καλύψει το μηχάνημα συμπύκνωσης.
- Το ενδιαφέρον που παρουσιάζει η μέθοδος αυτή συνίσταται στο γεγονός ότι η εκτίμηση των δύο αυτών μεγεθών είναι σχετικά απλή.
- Ο όγκος Q μπορεί να εκτιμηθεί ή να επιμετρηθεί μετά τη συμπύκνωση ενώ η επιφάνεια S είναι γινόμενο του πλάτους L του μηχανήματος επί τη διανυθείσα απόσταση D που προσδιορίζεται με έναν χιλιομετρικό μετρητή επί του μηχανήματος.
- ✓ Οι προδιαγραφές περιλαμβάνουν κατάταξη σε κατηγορίες των εδαφικών υλικών και των μηχανημάτων συμπύκνωσης.
- ✓ Στη συνέχεια, για κάθε είδος εδάφους υπάρχει ένας πίνακας ο οποίος δίδει το πάχος e της στρώσης και το μέγιστο του λόγου Q/S για κάθε τύπο μηχανήματος.

8.9 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

✓ Τα μηχανήματα συμπύκνωσης Γαλλικών προδιαγραφών κατατάσσονται ανάλογα με τα φορτία τους ως εξής:

□ Οδοστρωτήρες με ελαστικά επίσωτρα ανάλογα με το φορτίο τροχού:

- P_1 για φορτίο 2,5 ως 4t
- P_2 για φορτίο 4 ως 6t
- P_3 για φορτίο μεγαλύτερο των 6t

▪ Συνήθης ταχύτητα οδοστρωτήρων $v = 3,5 \div 5 \text{ km/h}$

□ Δονητικοί οδοστρωτήρες ανάλογα με το στατικό φορτίο ανά μέτρο πλάτους του κυλίνδρου:

- V_x για φορτίο 15 ως 25 kg/cm
- V_2 για φορτίο 25 ως 35 kg/cm
- V_3 για φορτίο 35 ως 45 kg/cm
- V_4 για φορτίο μεγαλύτερο των 45 kg/cm
- Μέγιστη ταχύτητα των οδοστρωτήρων $v = 3 \text{ km/h}$

□ Δονητικοί οδοστρωτήρες οδοντωτών τροχών και PD₂.

8.9 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Πίνακας 32. Κατάταξη εδαφών κατά τις Γαλλικές προδιαγραφές συμπύκνωσης

Λεπτό-κοκκα εδάφη	D < 50 mm Διερχ. ποσοστό από το Νο 200 > 35%	IP < 10		A ₁	
		10 < IP < 20		A ₂	
		20 < IP < 50		A ₃	
		IP > 50		A ₄	
Αμμώδη και χαλικώδη εδάφη με λεπτόκοκκα ουσιαστικά	D < 50 mm ΔΠ από το Νο 200 μεταξύ 5 και 35%	ΔΠ από το Νο 200 μεταξύ 5 και 12%	ΔΠ από το Νο 10 > 70%	SE > 35	B ₁
				SE < 35	B ₂
		ΔΠ από το Νο 10 < 70%	SE > 25	B ₃	
			SE < 25	B ₄	
		ΔΠ από το Νο 200 μεταξύ 12 και 35%	IP < 10		B ₅
			IP > 10		B ₆
Εδάφη με λεπτόκοκκα και χονδρά στοιχεία	D > 50 mm ΔΠ από το Νο 200 > 5%	Υψηλό ΔΠ από το Νο 200		C ₁	
		Χαμηλό ΔΠ από το Νο 200	D < 250 mm	C ₂	
			D > 250 mm	C ₃	
Εδαφικά και βραχώδη υλικά μη ευαίσθητα στο νερό	ΔΠ από το Νο 200 < 5%	Χαμηλό ΔΠ από το Νο 200	ΔΠ από το Νο 10 > 70%	D ₁	
			ΔΠ από το Νο 10 < 70%	D ₂	
		50 mm < D < 250 mm		D ₃	
		D > 250 mm		D ₄	
Ημίβραχοι	Υψηλή μηχανική αντοχή			E	
Φυτική γη	Περιεκτικότητα σε οργανικά ΜΟ ≥ 10%			F	
D : Μεγίστη διάμετρος κόκκου ΔΠ : Διερχόμενο ποσοστό					

8.9 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Προδιαγραφές Πίνακα 33 για 4 κατηγορίες εδαφών: A₂, B₂, C₂ και D₂ (χρησιμοποιούνται σε στρώσεις επιχώματος).
- Για κάθε τύπο μηχανήματος παρέχει το μέγιστο πάχος στρώσης e και τη μέγιστη τιμή του λόγου Q/S.
- Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει ένα τέτοιο σύστημα προδιαγραφών συμπύκνωσης είναι πολλά:
 - Ο καθορισμός εκ των προτέρων του μεγίστου πάχους της στρώσης e καθώς και της μέγιστης τιμής του λόγου Q/S καθιστά δυνατή την προεκτίμηση, με ακρίβεια, του κόστους εκτέλεσης της συμπύκνωσης καθώς και την επιλογή των καταλληλότερων και περισσότερο οικονομικών οδοστρωτήρων.
 - Ο λόγος Q/S είναι μία παράμετρος της οποίας ο προσδιορισμός και ο έλεγχος μπορούν να πραγματοποιηθούν εύκολα κατά την πρόοδο των εργασιών.
 - Σε σχέση με τον έλεγχο της ξηράς πυκνότητας κατά Proctor ο έλεγχος του λόγου Q/S υπερτερεί επειδή είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί σε οποιοδήποτε έδαφος, είναι περισσότερο ακριβής σε στρώσεις μεγάλου πάχους όπου η πυκνότητα μεταβάλλεται με το βάθος, και τέλος εξασφαλίζει σχετική οικονομία.

8.9 ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Η κατάταξη εδαφών κατά τις Γαλλικές προδιαγραφές βασίζεται, όπως και σύμφωνα με τις Αμερικανικές μεθόδους, σε δοκιμές κοκκομετρικής ανάλυσης και ορίων Atterberg. Το ισοδύναμο άμμου χρησιμοποιείται επίσης σε ορισμένες κατηγορίες εδαφών.
- Υπάρχει για κάθε κατηγορία εδάφους ένας πίνακας, αντίστοιχος προς τον Πίνακα 33 όπου δίδεται, σε κάθε περίπτωση, ανάλογα με το είδος του χρησιμοποιούμενου οδοστρωτήρα, το βέλτιστο πάχος της στρώσης e (m), και ο λόγος Q/S .

Πίνακας 33. Καθορισμός μεγίστου πάχους στρώσεων και ρυθμού συμπύκνωσης

Μηχανήματα Εδάφη		P_1	P_2	P_3	V_1	V_2	V_3	V_4	PD_1	PD_2
A_2	Q/S	0,04	0,07	0,12	0,04	0,08	0,11	0,12	0,08	0,10
	e	0,30	0,40	0,50	0,20	0,40	0,50	0,50	0,30	0,40
B_2	Q/S	0,06	0,10	0,15	0,08	0,10	0,15	0,20	—	—
	e	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50	—	—
C_2	Q/S	0,05	0,08	0,10	0,05	0,10	0,12	0,15	—	—
	e	0,30	0,40	0,50	0,30	0,40	0,50	0,50	—	—
D_2	Q/S	0,07	0,10	0,12	0,10	0,12	0,20	0,23	—	—
	e	0,30	0,50	0,70	0,50	0,70	0,90	0,90	—	—

8.10 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Σε κάθε οδικό έργο ορίζεται, είτε από τις προδιαγραφές, είτε από τα συμβατικά τεύχη, για κάθε χαρακτηριστική στρώση του υλικού, ένας απαιτούμενος βαθμός συμπύκνωσης.
- Συνήθως η τιμή του βαθμού συμπύκνωσης των διακριτών στρώσεων των γεωκατασκευών στον Ελληνικό χώρο είναι 90% ή 95% κατά Proctor, ενώ σε άλλες χώρες οι αντίστοιχες προδιαγραφές απαιτούν περίπτωση και βαθμούς συμπύκνωσης μεγαλύτερους του 100%.
- ❖ Οι διάφορες επιμέρους στρώσεις, στις οποίες είναι δυνατό να αναφέρονται τα συμβατικά τεύχη (Πίν. 29), είναι οι εξής:
 - a) επιφάνεια υπεδάφους
 - b) στρώσεις επιχώματος
 - c) τελική χωματουργικών (ΣΕΟ)
 - d) υπόβαση (από θραυστό ή φυσικό αμμοχάλικο)
 - e) βάση (θραυστό αμμοχάλικο)
 - f) επιχώσεις τεχνικών έργων, τάφρων.

8.10 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- ✓ Οι απαιτήσεις ως προς το βαθμό συμπύκνωσης δεν είναι ίδιες για όλες τις στρώσεις.
- Είναι αυξημένες για τις στρώσεις της μη σταθεροποιημένης βάσης - της τελικής χωματουργικών και μικρότερες για τις ενδιάμεσες στρώσεις - χώματος (Πίν. 29).
- Ένα σημαντικό θέμα, στο πλαίσιο της εκτέλεσης της συμπύκνωσης, είναι η ρύθμιση της υγρασίας του εδαφικού υλικού.
- ❖ Αν το έδαφος είναι λιγότερο υγρό από όσο ορίζει η τιμή της βέλτιστης φυσικής υγρασίας, τότε θα πρέπει να προστεθεί νερό.

Επιμέρους ζητήματα που θα χρειαστεί να αντιμετωπισθούν καταλλήλως είναι:

- η ποσότητα του νερού που απαιτείται
- ο ρυθμός διαβροχής
- η μέθοδος και ο εξοπλισμός διαβροχής
- η επίδραση των κλιματικών συνθηκών.

8.10 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- ✓ η διαβροχή επί τόπου ή σε άλλον ειδικό χώρο, ακόμη και στη θέση του δανειοθαλάμου.
- ✓ Συνήθως προτιμάται η επί τόπου διαβροχή, που για τα χονδρόκοκκα υλικά, δίδει τα καλύτερα αποτελέσματα.
- ❖ Μετά τη διαβροχή θα πρέπει να γίνεται πλήρης ανάμιξη του υλικού, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για λεπτόκοκκα εδάφη ούτως ώστε να επιτυγχάνεται ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας στο σύνολο της εδαφικής μάζας.
- ❑ Η ανάμιξη μπορεί να γίνει με διαμορφωτές αλλά ακόμη και με γεωργικά μηχανήματα.
- ✓ Συχνά ωστόσο, κατά την κατασκευαστική πρακτική, η διαβροχή ακολουθεί τη διάστρωση του υλικού και τη διαμόρφωση της στρώσης.
- Αποτέλεσμα είναι η αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας στην επιφάνεια της στρώσης, όχι όμως και σε όλο το βάθος της.
- Η πρακτική αυτή είναι απόλυτα εσφαλμένη, ιδιαίτερα για τα συνεκτικά εδάφη που παρουσιάζουν μικρή διαπερατότητα.
- ✓ Η εξασφάλιση της ομοιογένειας του υλικού και της σωστής κατανομής της περιεχόμενης υγρασίας είναι βασικές προϋποθέσεις της επιτυχίας της συμπύκνωσης.

8.10 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Η εκτίμηση της συνολικής ποσότητας του νερού και της αναλογίας διαβροχής (ποσότητας ανά τετραγωνικό μέτρο) γίνεται με βάση απλές μαθηματικές προσεγγίσεις αφού ληφθεί υπόψη η περιεχόμενη αρχική υγρασία του υλικού.
- Ο διανομέας του βυτίου διαβροχής θα πρέπει να ρυθμιστεί κατάλληλα, ώστε, σε συνάρτηση και με την ταχύτητα του μηχανήματος, να ψεκάζεται η προβλεπόμενη ποσότητα νερού.
- ❖ Όταν, αντίθετα, η περιεχόμενη υγρασία στο υλικό είναι μεγαλύτερη της βέλτιστης, μια ειδική προεργασία είναι απαραίτητη όπως:
 - Αερισμός,
 - αναμόχλευση και
 - ανάμιξη του υλικού

είναι ενέργειες που πρέπει να προηγηθούν της διάστρωσης.

Σε περιπτώσεις υπερβολικής υγρασίας και δυσμενών καιρικών συνθηκών, η ανάμιξη με υλικά όπως η υδράσβεστος και η ιπτάμενη τέφρα, έχουν ευεργετική επίδραση στη διαδικασία συμπύκνωσης.

8.10 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ



Εικόνα 29. Ψεκασμός από χωματοσυλλέκτη [16].

- Αν και συνήθως η διαβροχή γίνεται μέσω των βυτίων νερού, σε ορισμένες περιπτώσεις και κλασσικά χωματουργικά μηχανήματα χρησιμοποιούνται για τον υδροψεκασμό εδαφικών υλικών (Εικ. 29).
- Τα συνεκτικά εδάφη είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις συνθήκες συμπίκνωσης.
- ✓ Η σωστή αναλογία νερού,
- ✓ η προανάμιξη και
- ✓ διάστρωση,
- οι κατάλληλοι στατικοί οδοστρωτήρες,
- η προβλεπόμενη συνολική ενέργεια συμπίκνωσης απαραίτητες προϋποθέσεις επιτυχημένης συμπίκνωσης.

8.10 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Το πρόβλημα της συμπύκνωσης οριζόντιων στρώσεων κοντά στα πρανή του επιχώματος, όπου δεν υπάρχει η πλευρική αντίσταση λόγω εγκιβωτισμού, είναι σημαντικό για γεωκατασκευές μικρού πλάτους.

- Όταν το έρεισμα είναι πολύ στενό, το μηχάνημα πρέπει να κινηθεί, ουσιαστικά, μέχρι την ακμή του πρανούς, με κίνδυνο να προκαλέσει τοπική αστοχία και κατάρρευση.
- Στις περιπτώσεις αυτές, και με στόχο μια άρτια κατασκευή, σκόπιμο είναι, εφόσον δεν υπάρχουν ζητήματα απαλλοτριώσεων, να διαπλατύνεται το επίχωμα κατά 50 cm τουλάχιστον, ώστε να δημιουργείται ένας στοιχειώδης εγκιβωτισμός στην παρειά της γεωκατασκευής.
- Το επίχωμα διαστρώνεται και διαμορφώνεται, κατά γενικό κανόνα, σε οριζόντιες στρώσεις, εκτός αν η κλίση της ερυθρός είναι μικρή ($< 5\%$), οπότε μπορεί να παρακολουθεί την κλίση αυτήν.
- Η διαμόρφωση εγκάρσιας κλίσης, σε στρώσεις υποκείμενες της τελικής χωματουργικών βοηθά την επιφανειακή αποστράγγιση και την προστασία της γεωκατασκευής.



Σχήμα 57. Συμπύκνωση παρειάς επιχώματος.

8.10 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- ✓ Η συμπύκνωση έχει ως κύριο στόχο την αύξηση της μηχανικής αντοχής της γεωκατασκευής και τη μείωση της παραμορφωσιμότητας.
- Η διαδικασία αυτή, ωστόσο, δεν πρέπει να δημιουργεί πιθανές τοπικές επιφάνειες ολίσθησης στην ολοκληρωμένη κατασκευή, λόγω μικρής διατμητικής αντοχής.
- Τέτοιες επιφάνειες είναι οι επιφάνειες διαχωρισμού των στρώσεων λεπτόκοκκων συνεκτικών υλικών, όπου η δράση των οδοστρωτήρων, κυρίως δονητικών ή λείων κυλίνδρων, δημιουργεί επίπεδα χαμηλής διατμητικής αντοχής, επειδή, κατά την έννοιά τους, η συνοχή είναι πρακτικά μηδενική και η γωνία τριβής πολύ μικρή λόγω κυλίνδρωσης.
- Στις περιπτώσεις αυτές, θα πρέπει μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας συμπύκνωσης και προ της διάστρωσης της υπερκείμενης στρώσης, να αφαιρείται με απόξεση ένα επιφανειακό στρώμα πάχους 5 cm, ώστε να επιτυγχάνεται η πρόσφυση, η αλληλοεμπλοκή των υλικών των διακριτών στρώσεων.

8.10 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

✓ Η επιτυχία μιας διαδικασίας συμπύκνωσης εξαρτάται και από άλλους παράγοντες πλην της ενέργειας συμπύκνωσης και της υγρασίας που ήδη αναφέρθηκαν, όπως η πίεση των ελαστικών και η ταχύτητα του μηχανήματος.

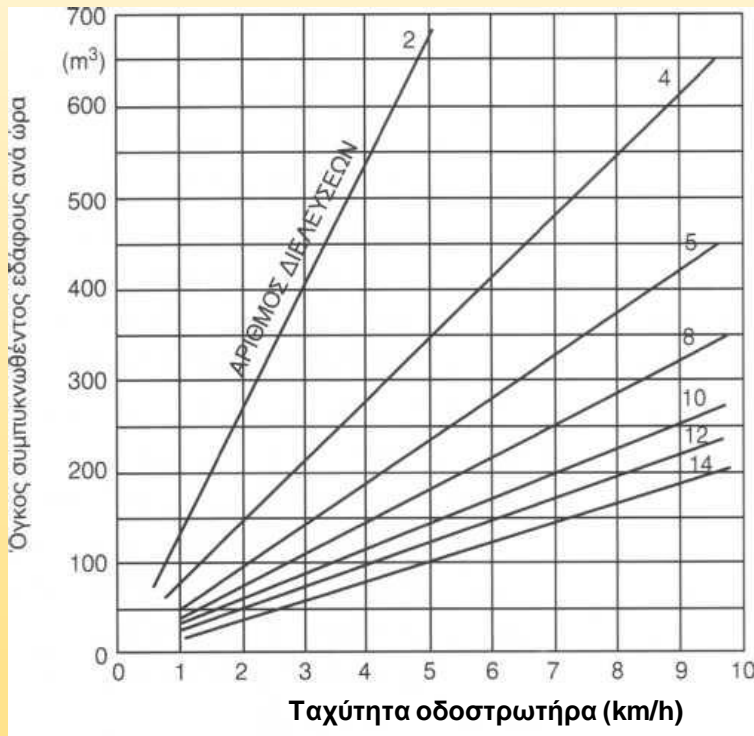
➤ Η ταχύτητα, εξ άλλου, επηρεάζει ουσιαστικά και την απόδοση του μηχανήματος.

• Στο διάγραμμα του Σχήματος 58 δίδεται η σχέση μεταξύ ταχύτητας οδοστρωτήρα, όγκου εδάφους προς συμπύκνωση και αριθμού διελεύσεων για ένα οδοστρωτήρα με μεταλλικούς κυλίνδρους.

• Παρατηρείται ότι η απόδοση, που εκφράζεται σε όγκο συμπυκνωθέντος υλικού ανά ώρα, είναι αυξημένη για μικρό αριθμό διελεύσεων από ένα συγκεκριμένο σημείο.

• Ο αριθμός αυτός για τα συνήθη εδάφη πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6 και 8.

• Η εμπειρία έδειξε ότι η αύξηση του αριθμού των διελεύσεων πέραν ενός ορίου, συνήθως 8 διελεύσεων, δεν προσφέρει ιδιαίτερα στην ποιότητα του τελικού προϊόντος.



Σχήμα 58. Απόδοση οδοστρωτήρα

σε σχέση με την ταχύτητα

8.10 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Γενικά η απόδοση (m^3/h) ενός μηχανήματος συμπύκνωσης δίδεται από τη σχέση:

$$R = k_0 \frac{v \cdot e \cdot L}{N}$$

Όπου v : ταχύτητα μηχανήματος (m/h), e : το πάχος της στρώσης (m)

L : το πλάτος που καλύπτεται σε μια διέλευση, N : ο αριθμός των διελεύσεων, k_0 : ο συντ. απόδοσης ισοσ περίπου με 0,7

Για τους οδοστρωτήρες που φέρουν κυλίνδρους με προεξοχές (οδοντωτοί, τυπαδωτοί), η διαδικασία σταματά όταν τα “δόντια” παύουν να εισχωρούν στη μάζα του εδαφικού υλικού (“walking out”).

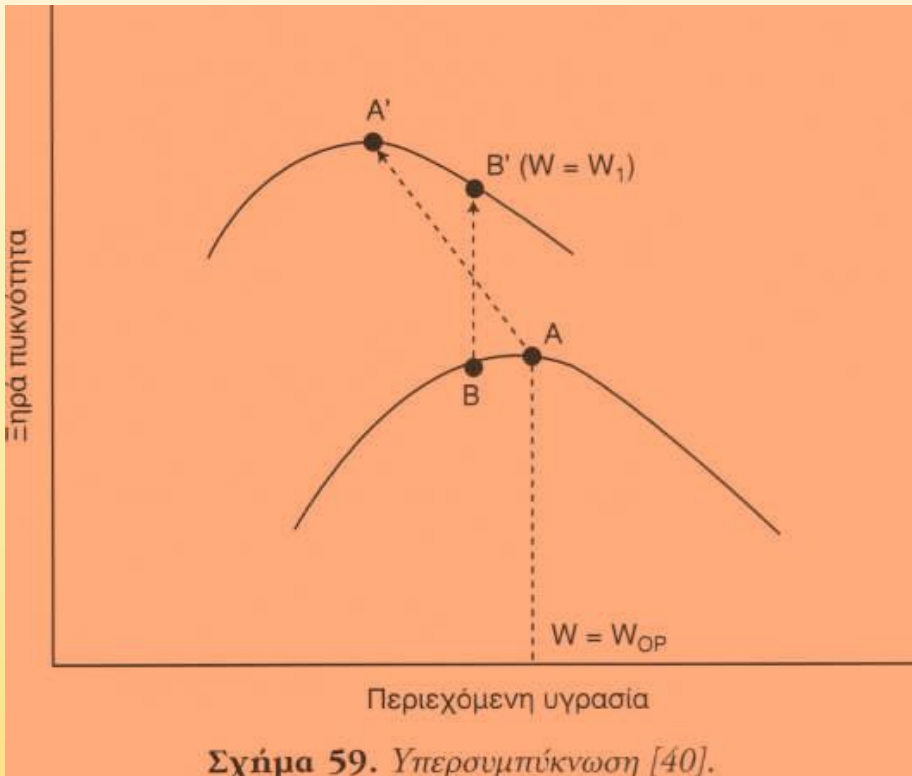
- Για τους υπόλοιπους οδοστρωτήρες, πέραν του αριθμού των διελεύσεων, ο απλός έλεγχος μέσω του χαλύβδινου μάρτυρα προσφέρει αξιόπιστες ενδείξεις για την επιτυχία της κατασκευαστικής διαδικασίας.
- Η συμπύκνωση συνεκτικών εδαφών με οδοντωτούς κυλίνδρους ολοκληρώνεται με τη διέλευση οδοστρωτήρων με λείους, συνήθως μεταλλικούς, κυλίνδρους για να διαμορφωθεί μια επίπεδη επιφάνεια και να μην παραμένει, κατά θέσεις, χαλαρό υλικό.
- ο μόνος λόγος για την τελική κυλίνδρωση με οδοστρωτήρα λείου τυμπάνου είναι η δυνατότητα ποιοτικού ελέγχου επί της διαμορφωμένης επιφάνειας.

8.10 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- ❑ Αντίθετα, για την ευστάθεια της κατασκευής είναι προτιμότερο να παραμείνει η επιφάνεια της στρώσης όπως διαμορφώθηκε από τον οδοντωτό κύλινδρο για να επιτευχθεί καλύτερη συνάφεια με την αμέσως υπερκείμενη στρώση.
- Τα κατά θέσεις χαλαρά υλικά συμπυκνώνονται μαζί με τα υλικά της ανώτερης στρώσης.
- ❑ Εκτός από τη συμπύκνωση των στρώσεων του επιχώματος και της οδοστρωσίας, εκτελείται συμπύκνωση των πρανών των επιχωμάτων προς βελτίωση της ευστάθειας.
- Η εργασία αυτή είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί, ανάλογα με την κλίση και το ύψος του πρανούς και με μικρά μηχανήματα συμπύκνωσης (δονητικές πλάκες, μικροί οδοστρωτήρες του 1,51), ή εναλλακτικά, σε περισσότερο απότομα πρανή, με το πτύο του υδραυλικού εκσκαφέα.

8.11 ΥΠΕΡΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

- Η κατασκευαστική διαδικασία συμπύκνωσης πολύ ευαίσθητη επί της αναπτυσσόμενης και επί τόπου ασκούμενης ενέργειας συμπύκνωσης.
- Υπερβολικά μεγάλη ενέργεια συμπύκνωσης εγκυμονεί κινδύνους υπερσυμπύκνωσης εδαφικού υλικού – καταστροφή ιστού εσωτερικών δεσμών.
- Αν βέλτιστη υγρασία κατά Proctor ενός εδάφους αντιστοιχεί στην κορυφή της αντίστοιχης καμπύλης (σημείο A, Σχ. 59) και η επί τόπου φυσική υγρασία είναι W_p τότε η διαδικασία συμπύκνωσης θα πρέπει να περιορισθεί στην επι-τευχθείσα ξηρά πυκνότητα στο εργοτάξιο.
- Αντιθέτως, αν η διαδικασία συνεχιστεί και η ενέργεια συμπύκνωσης αυξηθεί, η πρότυπη καμπύλη συμπύκνωσης μετατοπίζεται προς τα άνω.
- Η βέλτιστη υγρασία μεταφέρεται στο σημείο A' και η επί τόπου κατάσταση στο σημείο B'. Αν και η ξηρά πυκνότητα είναι μεγαλύτερη, το έδαφος θα έχει ασθενέστερους δεσμούς και μικρότερη αντοχή.



8.11 ΥΠΕΡΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ

- Τα συνεκτικά εδάφη είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο φαινόμενο αυτό ιδιαίτερα όταν περιέχουν πολλή υγρασία.
- Η κατασκευαστική διαδικασία θα πρέπει να εκτελείται με μεγάλη προσοχή, ώστε η ενέργεια συμπίκνωσης να μην είναι υπερβολικά υψηλή.
- Συχνά, το φαινόμενο εκδηλώνεται με μόνιμες παραμορφώσεις (“ζύμωμα”) της προς συμπίκνωση επιφάνειας.
- Αναμόχλευση, αερισμός και, ενδεχομένως, μείωση του αριθμού των διελεύσεων του οδοστρώτηρα είναι τα μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου της υπερσυμπύκνωσης.

8.12 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

❖ Η βελτιστοποίηση της συμπύκνωσης για κάθε εδαφικό υλικό η επιλογή του καταλληλότερου μηχανήματος και του πάχους της στρώσης για το επίχωμα. Για τις στρώσεις επιχώματος, η συνήθης πρακτική προδιαγράφει πάχος 20-30 cm για λεπτόκοκκα εδάφη και 50-60 cm για χονδρόκοκκα υλικά. Για τις στρώσεις βάσης και υπόβασης οι ελληνικοί κανονισμοί προβλέπουν συμπυκνωμένο πάχος 10 cm.

➤ Τα μηχανήματα συμπύκνωσης για έργα οδοποιίας, είναι τα εξής:

- α) Στατικοί οδοστρωτήρες με μεταλλικούς κυλίνδρους, κατάλληλοι για συμπύκνωση εδαφών κάθε κατηγορίας, υπό την προϋπόθεση ότι το πάχος της στρώσης παραμένει μικρό, $e < 20$ cm (λεπτόκοκκα υλικά), $e < 40$ cm (χονδρόκοκκα υλικά). Η χρήση τους σε χωματοουργικά έργα οδοποιίας έχει περιορισθεί σημαντικά.
- β) Στατικοί οδοστρωτήρες με ελαστικά, κατάλληλοι για συμπύκνωση συνεκτικών και ψαθυρών εδαφών, όπου το πάχος της στρώσης είναι δυνατό να ξεπεράσει τα 30 cm ανάλογα με το βάρος του μηχανήματος. Η πίεση των ελαστικών στους οδοστρωτήρες πολλαπλών τροχών κυμαίνεται μεταξύ 3 και 10C kg/cm². -



Εικόνα 30. Οδοστρωτήρας μεταλλικού κυλίνδρου



Εικόνα 30 .Ελαστιχοφόρος Οδοστρωτήρας τροχών

8.12 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- γ) Οδοντωτοί οδοστρωτήρες (κατσικοπόδαρα), κατάλληλοι για συμπύκνωση λεπτόκοκκων εδαφών. Το πάχος της στρώσης κυμαίνεται γύρω στα 30 cm. Η στάθμη της τελικής χωματοουργικών πρέπει απαραίτητα να διαμορφώνεται από ένα οδοστρωτήρα με λείους κυλίνδρους. Το ίδιο ισχύει, όταν πρόκειται να εκτελεσθεί, σε ενδιάμεσες στρώσεις έλεγχος δια της μεθόδου “κώνου και άμμου”. Παραλλαγή των συνήθων οδοντωτών οδοστρωτήρων (sheeps- foot rollers) αποτελούν οι τυπαδωτοί οδοστρωτήρες (padded-foot rollers) και οι οδοστρωτήρες μεταλλικών πλαισίων (grid rollers). Οι τυπαδωτοί οδοστρωτήρες χρησιμοποιούνται για συνεκτικά εδάφη και είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικοί σε εδάφη που έχουν υγρασία περισσότερη από τη βέλτιστη επειδή προκαλούν μικρή αναμόχλευση και αερισμό. Η δράση τους ξεκινά από τον πυθμένα της στρώσης, ενώ στο ανώτερο τμήμα, τα κατά θέσεις “χαλαρά” συμπυκνώνονται με την επόμενη στρώση,
- δ) Δονητικοί οδοστρωτήρες, υψηλής συχνότητας, κατάλληλοι για συμπύκνωση θραυστών υλικών και αμμοχάλικων. Το μέσο πάχος της στρώσης του επιχώματος είναι $e = 40-60$ cm. Αποτελούν τον κανόνα για οδικά επιχώματα που κατασκευάζονται με μη συνεκτικά εδαφικά υλικά,
- ε) Δονητικές πλάκες (tamperers), που είναι αυτοφερόμενες ή τοποθετούνται επί μηχανημάτων με ελαστικά χαμηλής πίεσης. Έχουν μεγάλη απόδοση σε ορισμένα είδη άμμου όπου τα άλλα μηχανήματα είναι ακατάλληλα.
- στ) Κρουστικά μηχανήματα συμπύκνωσης (rammers, impact compactors), κατάλληλα για τεχνικά έργα, τάφρους κλπ. Οι βαρείς κρουστικοί οδοστρωτήρες (impact rollers) φέρονται συνήθως από άλλα μηχανήματα, όπως ελκυστήρες, προωθητές και έχουν την ικανότητα να συμπυκνώνουν ικανοποιητικά διάφορους τύπους εδαφών σε σημαντικό βάθος.

8.12 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Εικόνα 32. Οδοντωτός οδοστρωτήρας με πρόσθετη μετωπική λεπίδα.



Σχήμα 60. Συμπύκνωση τάφρων από κρουστικό μηχάνημα.



8.12 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Η επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος συμπύκνωσης για κάθε περίπτωση δεν είναι εύκολη υπόθεση και σίγουρα επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Ως ενδεικτικός οδηγός για την επιλογή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο Πίνακας 34.
- Στο πλαίσιο της κατασκευαστικής διαδικασίας και πρακτικής, θα πρέπει να είναι σαφής η βασική διάκριση και η αντίστοιχη επιλογή για δονητικά μηχανήματα σε μη συνεκτικά εδάφη, ενώ στατικοί οδοστρωτήρες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνεκτικά εδάφη.
- Η διάκριση οφείλεται, κατά κύριο λόγο, στο γεγονός ότι η δόνηση είναι ανεπιθύμητη σε εδάφη που καλούνται να αναπτύξουν, ακόμη και σε στρώσεις επιχώματος, δεσμούς συνοχής μεταξύ των κόκκων, ώστε να αυξηθεί η διατμητική τους αντοχή.
- Επιπρόσθετα, εκτενέστερες τεχνικές οδηγίες σχετικές με την επιλογή του ενδεδειγμένου πάχους της συμπυκνωμένης στρώσης, του κατάλληλου μηχανήματος και της συνιστώμενης ταχύτητας δίδονται στον Πίνακα 35.
- Στον Πίνακα μπορεί να παρατηρηθεί το σχετικά μικρό πάχος της στρώσης που προτείνουν συγκεκριμένες τεχνικές οδηγίες αμερικανικής προέλευσης. Η επιλογή μεγάλου πάχους στρώσης (> 50 cm), που αποτελεί στην Ελλάδα πάγια πρακτική για λόγους επιτάχυνσης της κατασκευαστικής διαδικασίας αλλά και οικονομίας τον έργου, θα πρέπει να είναι απόλυτα τεκμηριωμένη.
- Σε αντίθετη περίπτωση, και ειδικά σε υψηλά επιχώματα, ο κίνδυνος συνιζήσεων και παραμορφώσεων είναι μεγάλος.

8.12 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

Πίνακας 34. Επιλογή μηχανήματος συμπύκνωσης

Χρήση	Υλικό	Κατάταξη USCS	Κρουστικά μηχανήματα (βάτραχος)	Αυτοκινούμενη δονητική πλάκα	Οδοντωτός οδοστρωτήρας	Δονητικός οδοντωτός	Δονητικός οδοστρωτήρας	Ελαστικά επίσωτρα	Μεταλλ. κύλινδροι
Βάση	Θραυστό αμμοχάλικο	GW	(*)	—	—	—	**	*	(*)
Υπόβαση	Θραυστό με λεπτόκοκκα αργιλικά	GW, GC	(*)	*	—	—	**	*	*
Επίχωμα	Ημίβραχος	GP	—	(*)	—	—	**	—	—
	Άμμος, φυσικό αμμοχάλικο	GW, SW	(*)	(*)	—	*	**	*	*
	Ισόκοκκη άμμος	SP	(*)	—	—	*	**	(*)	(*)
	Πυλώδης άμμος και χαλίκια	SM, GM	(*)	(*)	(*)	*	**	**	*
	Πύς	ML, MH	(*)	*	**	(*)	—	*	*
	Αργιλώδης άμμος	GC, SC	(*)	*	*	(*)	—	**	*
	Άργιλος	CH, CL	—	—	*	**	—	—	(*)

8.12 ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗΣ

- Πίνακας 35. Ενδεικτικές τιμές χαρακτηριστικών συμπύκνωσης

Μηχάνημα	Χαρακτηριστικά	Κατηγορίες εδάφους													
		GW	GP	GM	GC	SW	SP	SM	SC	ML	CL	OL	MH	CH	OH
Οδοντωτός οδοστρωτήρας (κατοικοπόδαρα)	Πάχος συμπ. στρώσης (cm)	—	—	—	15	—	—	—	15	15	15	15	15	15	15
	Ταχύτητα λειτουργίας (km/h)	—	—	—	3	—	—	—	3	3	2	2	2	2	2
	Αριθμός διελεύσεων	—	—	—	10	—	—	—	10	10	12	12	12	14	14
Δονητικός οδοστρωτήρας	Πάχος συμπ. στρώσης (cm)	40	40	30	30	40	40	30	30	20	20	—	—	—	—
	Ταχύτητα λειτουργίας (km/h)(*)	6,5/>1400	6,5/>1400	6,5/1100	6,5/<700	6,5/>1400	6,5/>1400	6,5/1100	5/<700	5/<700	5/<700	—	—	—	—
	Αριθμός διελεύσεων	8	8	6	6	8	8	6	7	7	7	—	—	—	—
Τυπαδωτός οδοστρωτήρας	Πάχος συμπ. στρώσης (cm)	30	30	25	25	30	30	25	25	15	15	15	15	15	15
	Ταχύτητα λειτουργίας (km/h)	16	16	16	13	16	16	16	13	13	6,5	6,5	6,5	5	5
	Αριθμός διελεύσεων	5	5	6	7	5	5	6	6	5	5	5	6	6	6
Ελαστικοφόρος οδοστρωτήρας 13 τροχών	Πάχος συμπ. στρώσης (cm)	15	15	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10	10	10
	Ταχύτητα λειτουργίας (km/h)	8	5	4	4	5	5	4	3	3	3	3	3	2	2
	Αριθμός διελεύσεων	10	10	10	10	10	10	10	12	7	7	7	8	9	9
Ελαστικοφόρος οδοστρωτήρας 9 τροχών	Πάχος συμπ. στρώσης (cm)	15	15	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10	10	10
	Ταχύτητα λειτουργίας (km/h)	10	10	10	8	10	10	10	8	6,5	6,5	6,5	6,5	5	5
	Αριθμός διελεύσεων	6	6	7	7	7	7	8	8	6	6	6	6	6	6
Δονητικό μηχάνημα λείων κυλίνδρων	Πάχος συμπ. στρώσης (cm)	30	30	25	25	30	30	25	25	15	15	—	—	—	—
	Ταχύτητα λειτουργίας (km/h) (*)	6,5/>1400	6,5/>1400	6,5/1100	6,5/<700	6,5/>1400	6,5/>1400	6,5/1100	5/<700	5/<700	5/<700	—	—	—	—
	Αριθμός διελεύσεων	8	8	8	9	8	8	8	10	10	10	—	—	—	—

(*) Για τα δονητικά μηχανήματα συμπύκνωσης, εκτός της μέγιστης ταχύτητας, δίδεται και η συνιστώμενη συχνότητα δόνησης σε κύκλους ανά λεπτό