

Σταθεροποίηση εδάφους

Το φυσικό έδαφος είναι ένα υλικό περίπλοκο και με μεγάλες διακυμάνσεις. Για την επιτυχή κατασκευή επιχωμάτων, σκάφης οδών, υποβάσεων, βάσεων κλπ. τα εδάφη δεν πρέπει να παρουσιάζουν μεταβολές του όγκου τους, είτε αυτές οφείλονται σε μείωση των πόρων του εδαφικού σκελετού, είτε σε διακυμάνσεις της περιεχόμενης υγρασίας, ενώ πρέπει να έχουν μηχανική ευστάθεια, δηλαδή να μην παρουσιάζουν αισθητές υποχωρήσεις κάτω από την επίδραση φορτίων. Συνήθως όμως δεν πληρούνται οι απαιτήσεις για τεχνικά έργα. Πρέπει τότε να αποφασιστεί για το επί τόπου υλικό αν:

- α. θα γίνει αποδεκτό όπως είναι,
- β. θα απομακρυνθεί και θα αντικατασταθεί με ανώτερης ποιότητας υλικό,
- γ. θα μεταβληθούν οι ιδιότητές του ώστε να αποκτηθεί ένα νέο υλικό ικανό να καλύψει τις απαιτήσεις του έργου.

Η τελευταία επιλογή, η τροποποίηση δηλαδή των ιδιοτήτων του εδάφους ώστε να καλύπτει συγκεκριμένες τεχνικές απαιτήσεις, είναι γνωστή ως "σταθεροποίηση του εδάφους".

Σταθεροποίηση εδάφους

Η σταθεροποίηση του εδάφους προσφέρεται για:

- ◆ να βελτιωθούν τόσο η ικανότητα για συμπύκνωσή του, όσο και άλλες ιδιότητες που εξαρτώνται από τη δομή του εδάφους όπως η κοκκομετρική διαβάθμιση, η πλαστικότητα και η περιεχόμενη υγρασία
- ◆ να καταστεί δυνατή η συμπύκνωση με αυξημένη υγρασία
- ◆ να ελαττωθεί μόνιμα η ευπάθεια στις επιδράσεις του νερού και του παγετού
- ◆ να αυξηθεί η φέρουσα ικανότητα και η αντοχή
- ◆ να προστατευτεί το περιβάλλον (αποφυγή αποθέσεων και δανείων χωμάτων)
- ◆ να αυξηθεί η ακαμψία βαριά καταπονούμενων στρώσεων βάσης και υπόβασης από θραυστά λίθινα υλικά.

Σταθεροποίηση εδάφους

Η σταθεροποίηση εδάφους περιλαμβάνει:

- α. τη διάγνωση των ιδιοτήτων ενός δοσμένου εδάφους και την ενίσχυση αυτών των ιδιοτήτων από φυσική, χημική και φυσικοχημική άποψη
- β. συμπληρωματικές απαιτήσεις σε διαθέσιμα υλικά
- γ. τις διαδικασίες ελέγχου και την απόφαση για την επιλογή της μεθόδου στη βάση της οικονομίας, της πρακτικής σκοπιμότητας ή ειδικών θεμάτων (στρατιωτικές εγκαταστάσεις ή άλλη επείγουσα κατασκευή)
- δ. την κατασκευή, δηλαδή την ανάμιξη του εδάφους με σταθεροποιητικό υλικό και τη συμπύκνωση
- ε. οικονομικές αναλύσεις για το συνολικό κόστος, (κόστος των υλικών + κόστος κατασκευής + κόστος συντήρησης στη διάρκεια λειτουργίας της κατασκευής).

Εφαρμογές της σταθεροποίησης

- ◆ Μέτριο υπέδαφος
 - ◆ Οριακά υλικά βάσης
 - ◆ Έλεγχος σκόνης
 - ◆ Έλεγχος υγρασίας
 - ◆ Διάσωση παλαιών οδών
 - ◆ Κατασκευή παλαιών οδών
 - ◆ Κατασκευή ανώτερων βάσεων
-

Επιλογή του σταθεροποιητή

Είδη και αποτελέσματα σταθεροποίησης

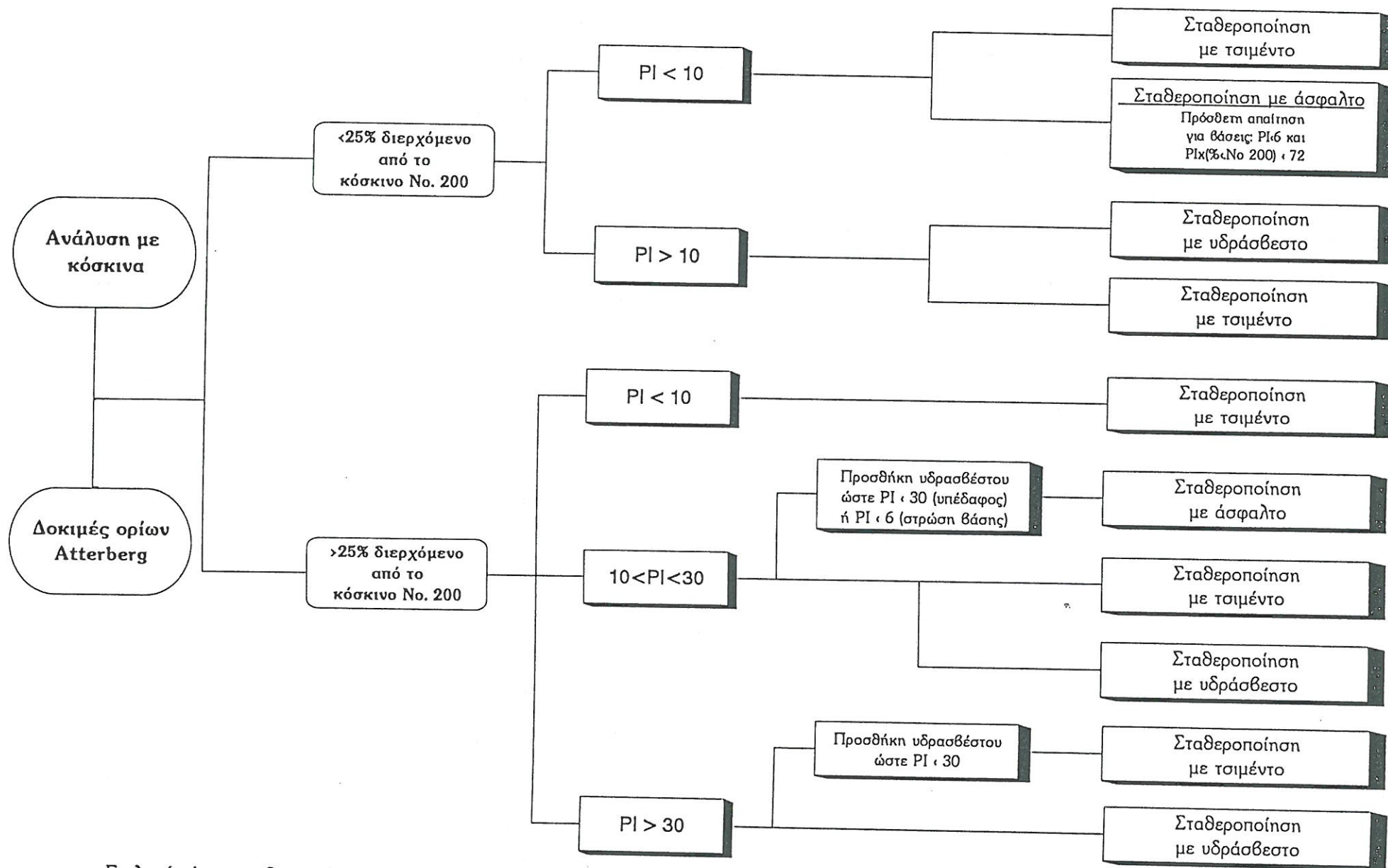
Είδος	Ιδιότητες του εδάφους που επηρεάζονται	Αποτέλεσμα σταθεροποίησης	Στρώση που σταθεροποιείται
Μηχανική	<ul style="list-style-type: none"> - Κοκκομετρική διαβάθμιση - Πλαστικότητα - Περιεχόμενη υγρασία 	Βελτίωση της ικανότητας για συμπύκνωση και άλλες ιδιότητες του μίγματος που εξαρτώνται από τις αρχικές ιδιότητες των αναμιχθέντων υλικών.	Βάση, υπόβαση, υπέδαφος. Ανεπαρκής ως βάση σε οδούς βαριάς Κυκλοφορίας.
Με άσβεστο	<ul style="list-style-type: none"> - Περιεχόμενη υγρασία - Όρια Atterberg - Δομή του εδάφους - Αντοχή 	Δυνατότητα συμπύκνωσης με αυξημένη υγρασία. Μόνιμη ελάττωση της ευπάθειας στην επίδραση του νερού και του παγετού. Αύξηση της αντοχής.	Υπόβαση, υπέδαφος, διαχωριστικές στρώσεις, και σπανιότερα βάση οδών με ελαφρά κυκλοφορία
Με άσφαλτο	<ul style="list-style-type: none"> - Αντοχή - Διαπερατότητα 	Δημιουργία εύκαμπτης στρώσης με αυξημένη φέρουσα ικανότητα, ανθεκτικής σε επιδράσεις νερού και παγετού.	Κυρίως ως βάση και πιο σπάνια ως υπόβαση.
Με τσιμέντο	<ul style="list-style-type: none"> - Αντοχή - Δομή του εδάφους 	Δημιουργία στρώσης με αυξημένη φέρουσα ικανότητα και ανθεκτική σε επιδράσεις του νερού και παγετού. Αύξηση του μέτρου ελαστικότητας για ευρύτερη διανομή του φορτίου.	Βάση, υπόβαση, υπέδαφος. Οδόστρωμα ελαφράς κυκλοφορίας με λεπτή ασφαλτική επίστρωση

Τύπος εδάφους και κατάλληλες μέθοδοι σταθεροποίησης

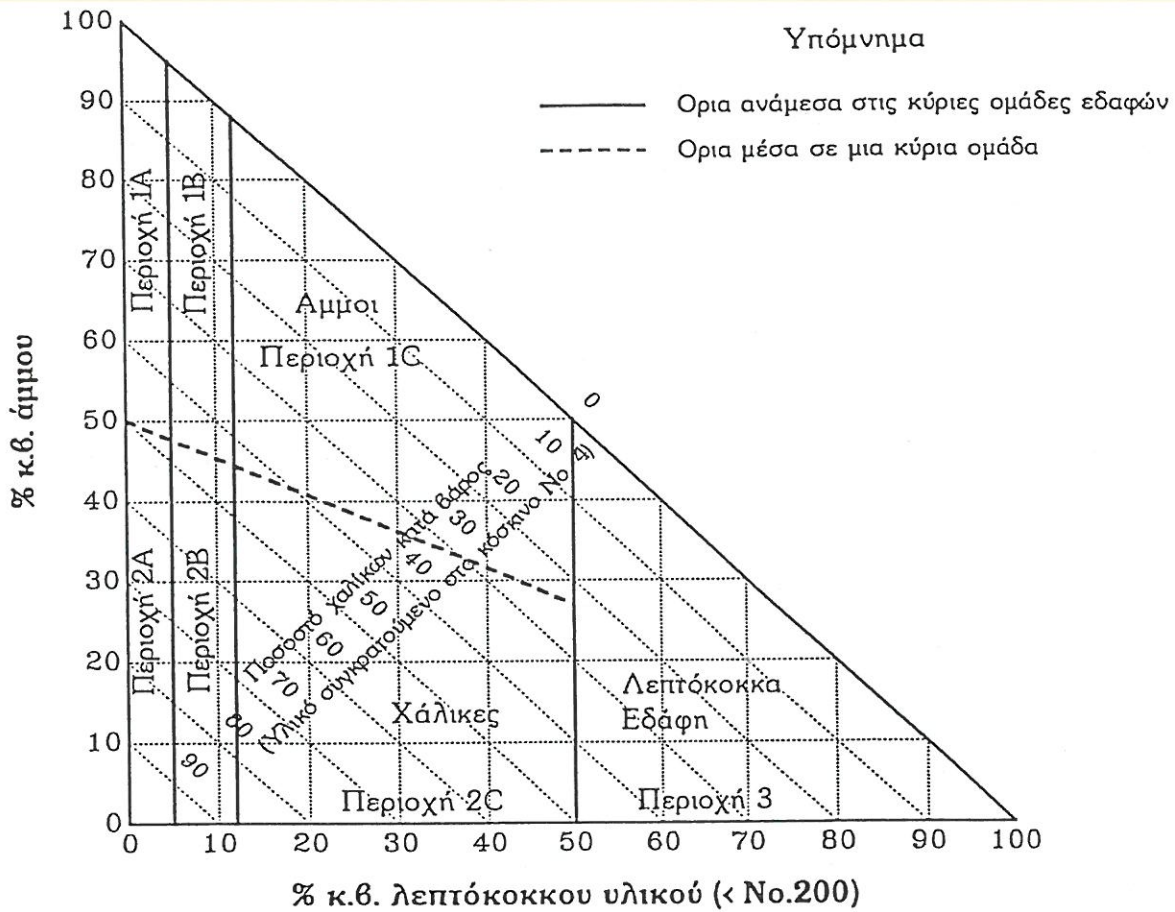
Σκοπός	Τύπος εδάφους	Συνιστώμενες μέθοδοι σταθεροποίησης
Σταθεροποίηση υπόβασης		
Α Υψηλή αντοχή σε φορτία και κατανομή των θλιπτικών τάσεων	χονδρόκοκκο	Μηχανική, με άσφαλτο, με τσιμέντο, συμπύκνωση
	λεπτόκοκκο	Μηχανική, με άσφαλτο, με τσιμέντο, συμπύκνωση
	άργιλος χαμηλού PI	Με τσιμέντο, με υδράσβεστο, συμπύκνωση
	άργιλος υψηλού PI	Με υδράσβεστο
Β Αντοχή σε παγετό	λεπτόκοκκο	Με άσφαλτο, τσιμέντο, υδράσβεστο-ιπτάμενη τέφρα
	άργιλος χαμηλού PI	Με τσιμέντο, άσβεστο, χημικά υδατοστεγανότητας
Γ Υδατοστεγανότητα και επιφανειακή απορροή	άργιλος χαμηλού PI	Με τσιμέντο, άσφαλτο, χημικά υδατοστεγανότητας, υδράσβεστο
Δ Έλεγχος συρρίκνωσης και διόγκωσης	άργιλος χαμηλού PI	Με τσιμέντο, άσβεστο, χημικά υδατοστεγανότητας
	άργιλος υψηλού PI	Με υδράσβεστο
Ε Μείωση ελαστικότητας	ελαστικοί πηλώδεις, μαργαϊκοί σχηματισμοί και άργιλοι	Προσθήκη τσιμέντου
Σταθεροποίηση βάσης		
Α Βελτίωση όσων χαρακτηριστικών είναι κατώτερα από τα προδιαγραφόμενα	λεπτόκοκκο	Με τσιμέντο, άσφαλτο, άσβεστο-ιπτάμενη τέφρα, μηχανική ανάμειξη
	άργιλος χαμηλού PI	Με τσιμέντο, υδράσβεστο
Β Βελτίωση φέρουσας ικανότητας και διανομής των τάσεων	χονδρόκοκκο	Μηχανική ανάμειξη, με τσιμέντο, άσφαλτο, υδράσβεστο-ιπτάμενη τέφρα
	λεπτόκοκκο	Μηχανική ανάμειξη, με τσιμέντο, άσφαλτο, υδράσβεστο-ιπτάμενη τέφρα

Πίνακας Τύπος εδάφους και κατάλληλες μέθοδοι σταθεροποίησης

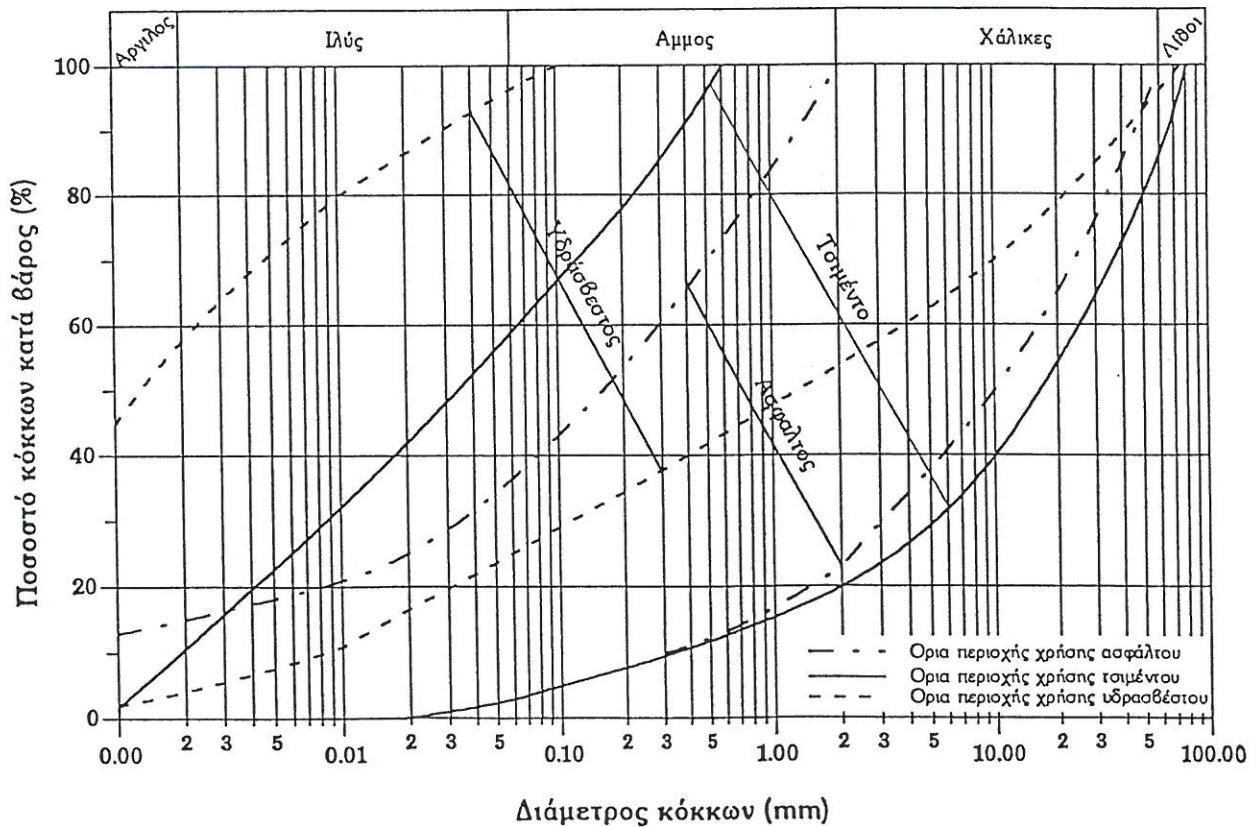
Σκοπός	Τύπος εδάφους	Συνιστώμενες μέθοδοι σταθεροποίησης
Επιφανειακή στρώση		
A Βελτίωση φέρουσας ικανότητας	όλα τα εδάφη	Μηχανική, με άσφαλτο, με τσιμέντο, συμπύκνωση
B Αύξηση διάρκειας ζωής	όλα τα εδάφη	Μηχανική, με άσφαλτο, με τσιμέντο, συμπύκνωση
Γ Υδατοστεγανότητα και επιφανειακή απορροή	πλαστικά εδάφη	Με τσιμέντο, άσβεστο, χημικά υδατοστεγανότητας
Δ Έλεγχος συρρίκνωσης και διόγκωσης	πλαστικά εδάφη	Με τσιμέντο, άσβεστο, χημικά υδατοστεγανότητας
Έλεγχος σκόνης	λεπτόκοκκα εδάφη	Με τσιμέντο, με άσφαλτο, με κλωρίδια
	πλαστικά εδάφη	Με τσιμέντο, με υδράσβεστο, με κλωρίδια
Επένδυση ορυγμάτων	λεπτόκοκκα εδάφη	Με τσιμέντο, με άσφαλτο, με χημικά
	πλαστικά εδάφη	Με τσιμέντο, με χημικά
Διορθώσεις και ανακατασκευή	χονδροκόκκα εδάφη	Μηχανική ανάμειξη, με τσιμέντο, με άσφαλτο, με υδράσβεστο-ιπτάμενη τέφρα



Επιλογή τύπου σταθεροποίησης με τη μέθοδο SSIS



Τριγωνικό διάγραμμα κοκκομετριών για την επιλογή μέσου σταθεροποίησης



Καταλληλότητα σταθεροποιητών ανάλογα με την κοκκομετρική διαβάθμιση

Επιλογή σταθεροποιητή βάσει της μεθόδου του ενοποιημένου συστήματος κατάταξης εδαφών (USCS)

Εδαφική περιοχή	Κατάταξη εδάφους	Συνιστώμενος σταθεροποιητής	Περιορισμοί στα όρια Atterberg	Υλικό <No.200	Παρατηρήσεις
1A	SW ή SP	α) Ασφαλτος β) Τσιμέντο			
1B	SW-SM ή SP-SM ή SW-SC ή SP-SC	α) Ασφαλτος β) Τσιμέντο γ) Υδράσβεστος	PI ≤ 10 PI ≤ 30 PI ≥ 17		
1C	SM ή SC ή SM-SC	α) Ασφαλτος β) Τσιμέντο γ) Υδράσβεστος	PI ≤ 10 $PI \leq 20, \frac{50 - (\% < \text{No.200})}{4} + 10$ PI ≥ 12	≤ 30% κ.β.	
2A	GW ή GP	α) Ασφαλτος β) Τσιμέντο			Μόνο καλά διαβαθμισμένο υλικό Υλικό διερχόμενο από το No. 4 ≥ 45% κ.β.
2B	GW-GM ή GP-GM ή GW-GC ή GP-GC	α) Ασφαλτος β) Τσιμέντο γ) Υδράσβεστος	PI ≤ 10 PI ≤ 30 PI ≥ 12		Μόνο καλά διαβαθμισμένο υλικό Υλικό διερχόμενο από το No. 4 ≥ 45% κ.β.
2C	GM ή GC ή GM-GC	α) Ασφαλτος β) Τσιμέντο γ) Υδράσβεστος	PI ≤ 10 $PI \leq 70, \frac{50 - (\% < \text{No.200})}{4} + 10$ PI ≥ 12	≤ 30% κ.β.	Μόνο καλά διαβαθμισμένο υλικό Υλικό διερχόμενο από το No. 4 ≥ 45% κ.β.
3	CH ή CL ή MH ή ML ή OH ή OL ή ML-CL	α) Τσιμέντο β) Υδράσβεστος	LL < 40 και PI < 20		Οργανικά και όξινα εδάφη αυτής της περιοχής δεν σταθεροποιούνται με συνήθεις μεθόδους

Αποτελεσματικότητα των διαφόρων ειδών σταθεροποίησης
ανάλογα με τη μέγιστη διάσταση κόκκου του εδάφους

	Αργίλος		Ιλύς		Αμμος	
	Λ	X	Λ	X	Λ	X
Διάσταση κόκκου	< 0.0006	0.0006÷0.002	0.002÷0.01	0.01÷0.06	0.06÷0.4	0.4÷2.0
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ						
Με Ασβεστο						
Με Τσιμέντο						
Με Ασφαλτο						
Με Πολυμερή						
Μηχανική						
Με Θερμότητα						
Μεγάλη αποτελεσματικότητα Μεγάλη αποτελεσματικότητα με δύσκολο ποιοτικό έλεγχο						
Λ = Λεπτόκοκκη, X = Χονδρόκοκκη						

Πίνακας

Μέθοδοι δοκιμής Υγρασίας-Πυκνότητας

Μέθοδος	Διαστάσεις μήτρας	Βάρος κόπανου (lbs)	Υψος πτώσης κόπανου (in)	Αριθμός στρώσεων	Κτύποι ανά στρώση
AASHTO - T 99 ASTM - D 698	d=4", h=4.582" d=6", h=4.582"	5.5	12	3	25 ή 56
AASHTO - T 180 ASTM - D 1557	d=4", h=4.582" d=6", h=4.582"	10	18	5	25 ή 56
DIN - 18127	d=100 mm, h=100 mm	5.5 ή 10	12 ή 18	3 ή 5	25
BS - 1377	d=105 mm, h=115.5 mm	5.5 ή 10	12 ή 18	3 ή 5	27
U.S. ARMY STD/621A-100	d=152.4 mm, h=114.3 mm	10	18	5	12, 26 ή 55

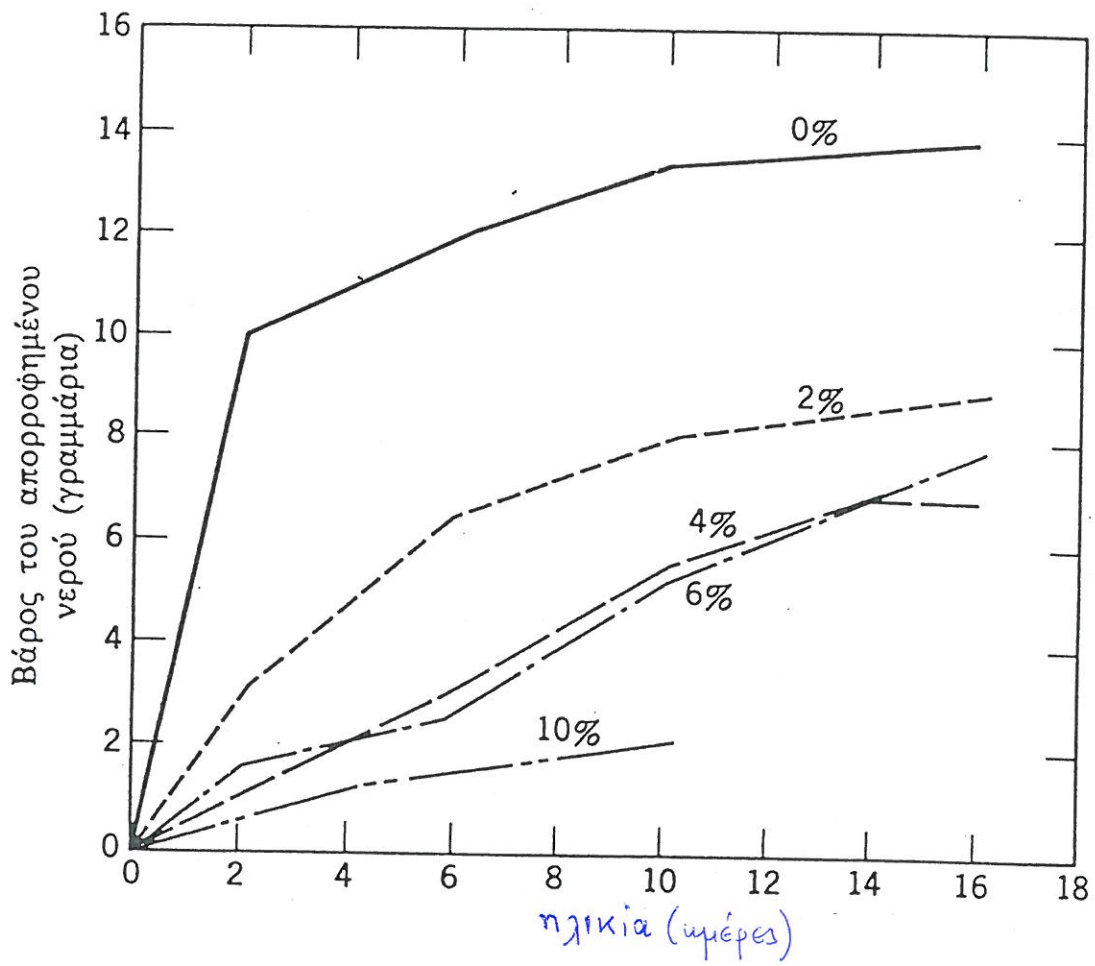
Πίνακας

Κριτήρια ποιότητας σταθεροποιημένων μινμάτων

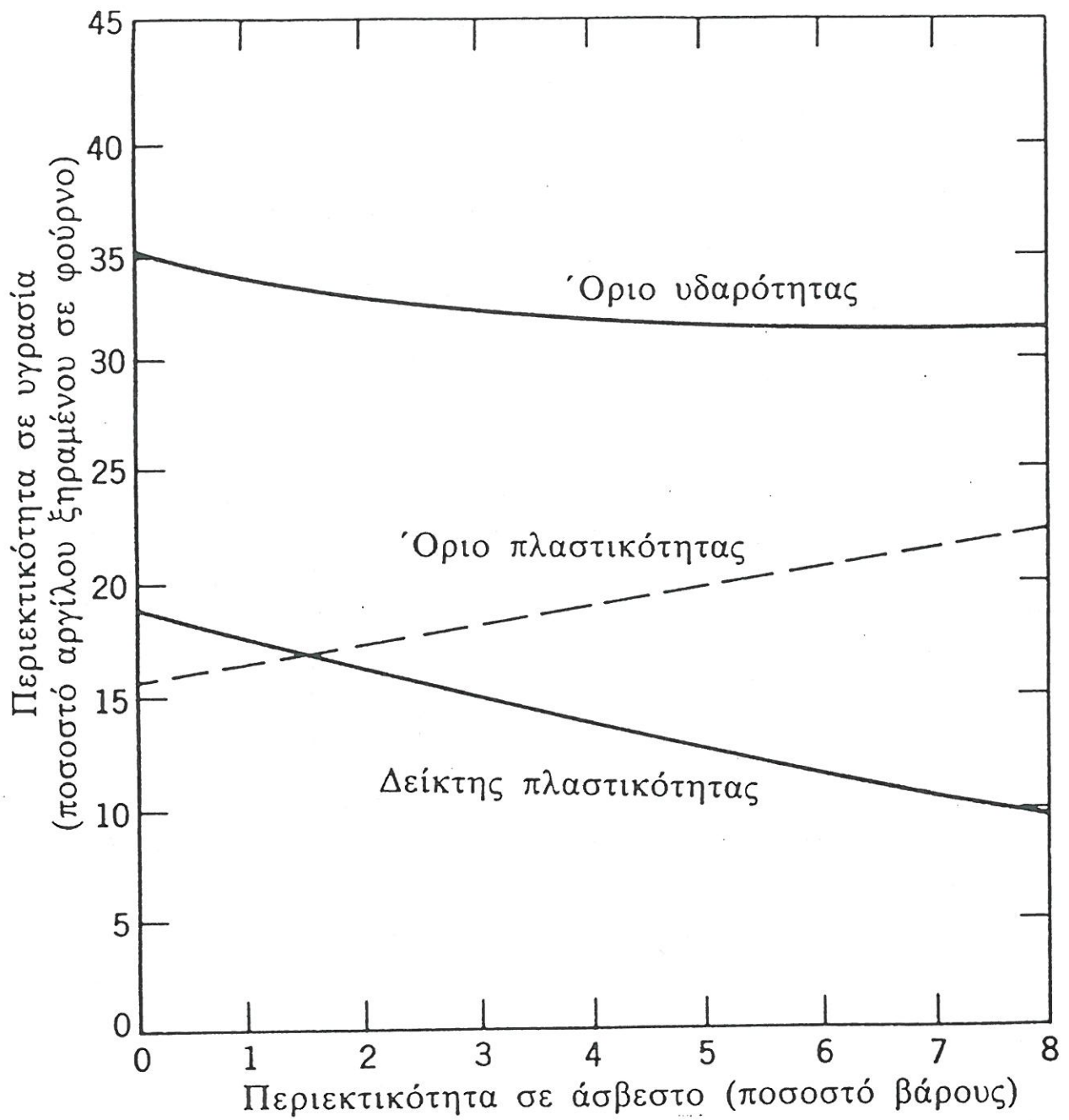
	Ελάχιστη θλιπτική αντοχή σε psi	Ελάχιστη θλιπτική αντοχή σε kPa	Μέγιστη απώλεια βάρους % *
ASTM C593	400	2800	14
Illinois DOT	400	2800	10
Ohio	400	2800	10
FAA	400	2800	14
Pennsylvania **	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	14

* 12 κύκλοι ψύξης-απόψυξης

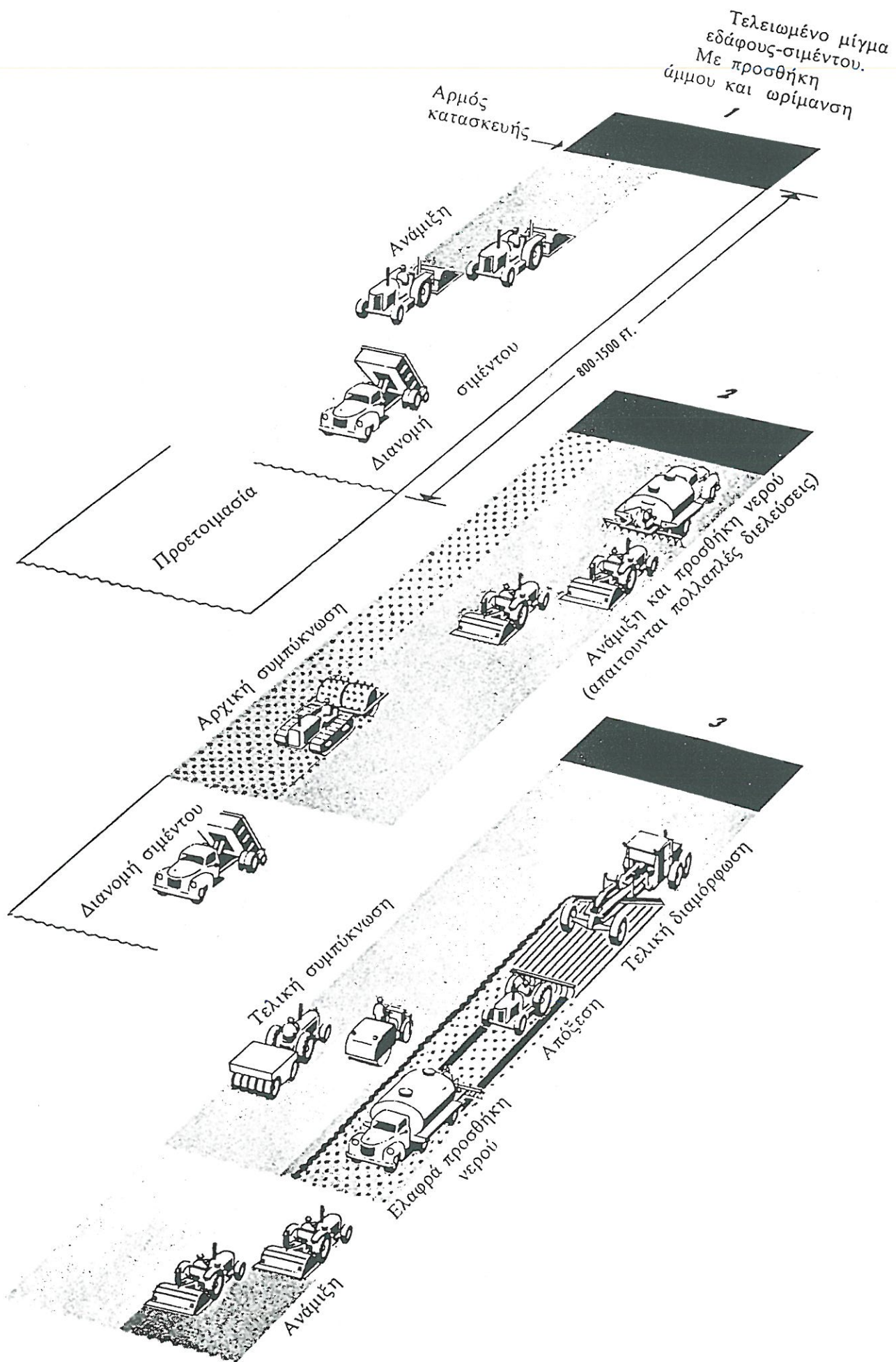
** Το τμήμα μεταφορών της Pennsylvania έχει απαίτηση ανθεκτικότητας, αλλά όχι κριτήριο αντοχής. Η προδιαγραφή για την αντοχή κορεσμού εν κενώ αναφέρει ελάχιστη τιμή 400 psi (2800 kPa).



Απορρόφηση νερού μιας τυπικής αμμώδους αργίλου (SC) με SC-1 πρόσμιξη.



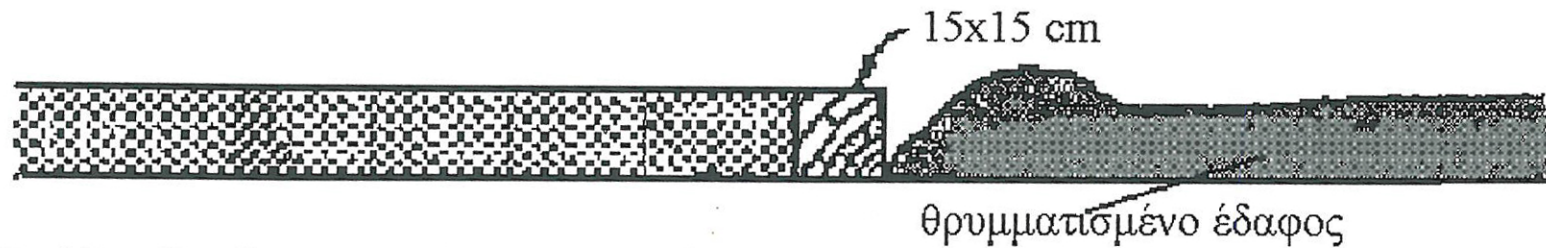
Επίδραση της υδρασβέστου στις φυσικές σταθερές 13 αργιλωδών εδαφών.



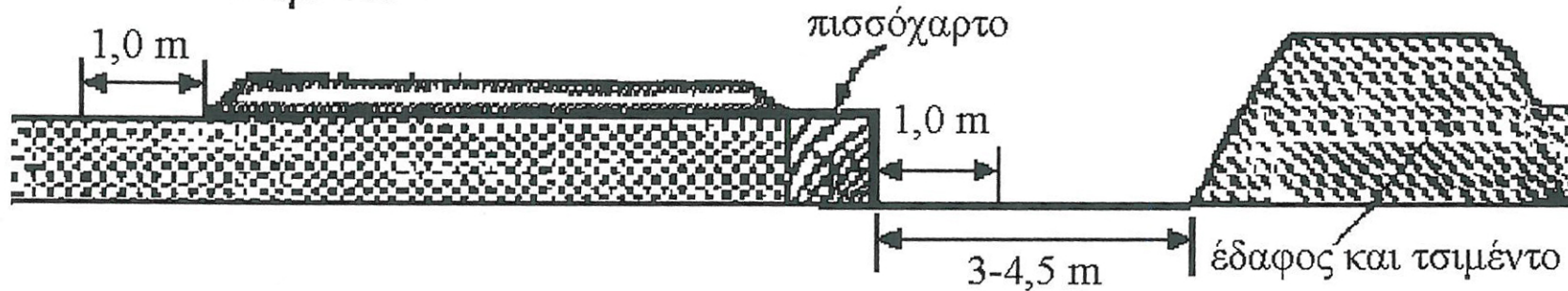
Μέθοδος κατασκευής μίγματος εδάφους σιμέντου με χρήση περιστροφικών αναμικτών (Κατά Ένωση Σιμέντου Portland).

Κατασκευή εγκάρσιου αρμού εργασίας

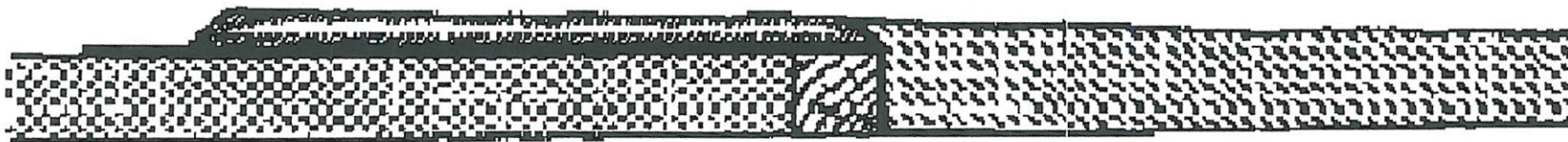
Στάδιο 1: Στο τέλος του έτοιμου τμήματος τοποθετείται ένα χοντρό καδρόνι



Στάδιο 2: Προστατεύεται το καδρόνι με πισσόχαρτο και επικάλυψη εδάφους. Στο θρυμματισμένο έδαφος διανέμεται το απαιτούμενο ποσοστό τσιμέντου



Στάδιο 3: Το θρυμματισμένο έδαφος με το τσιμέντο διαστρώνεται μέχρι τον αρμό και διαβρέγεται με νερό



Αναμόχλευση του παλαιού οδοστρώματος ή του εδάφους για την εφαρμογή της σταθεροποίησης

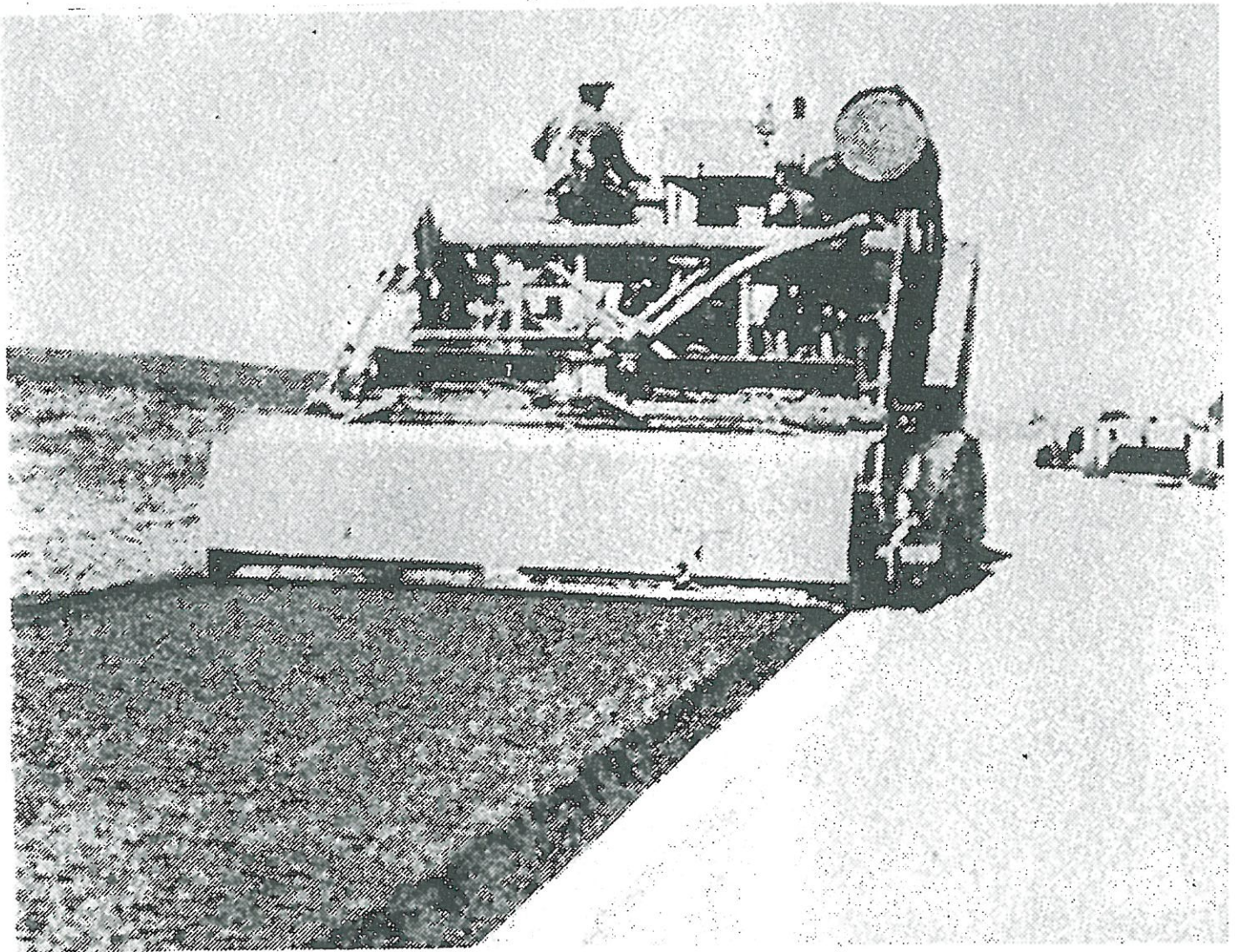


Διανομή τσιμέντου από σάκους τσιμέντου σε κατάλληλες μεταξύ τους αποστάσεις. Στη συνέχεια οι σάκοι σχίζονται, αδειάζεται το τσιμέντο και απομακρύνονται από την οδό. Μια χειροκίνητη σβάρνα διαστρώνει ομοιόμορφα το τσιμέντο.



Διανομή τσιμέντου με ανατρεπόμενο αυτοκίνητο εφοδιασμένο με διανομέα.

Κατάβρεγμα με ταυτόχρονη τελική ανάμιξη.





Έλεγχος του υγρού μίγματος. Ένα μίγμα εδάφους τσιμέντου με τη βέλτιστη υγρασία πρέπει να δίνει ένα συμπαγή βώλο όταν πιεσθεί μέσα στην παλάμη. Μπορεί να θραυστεί σε δύο κομμάτια, χωρίς να θρυμματιστεί.

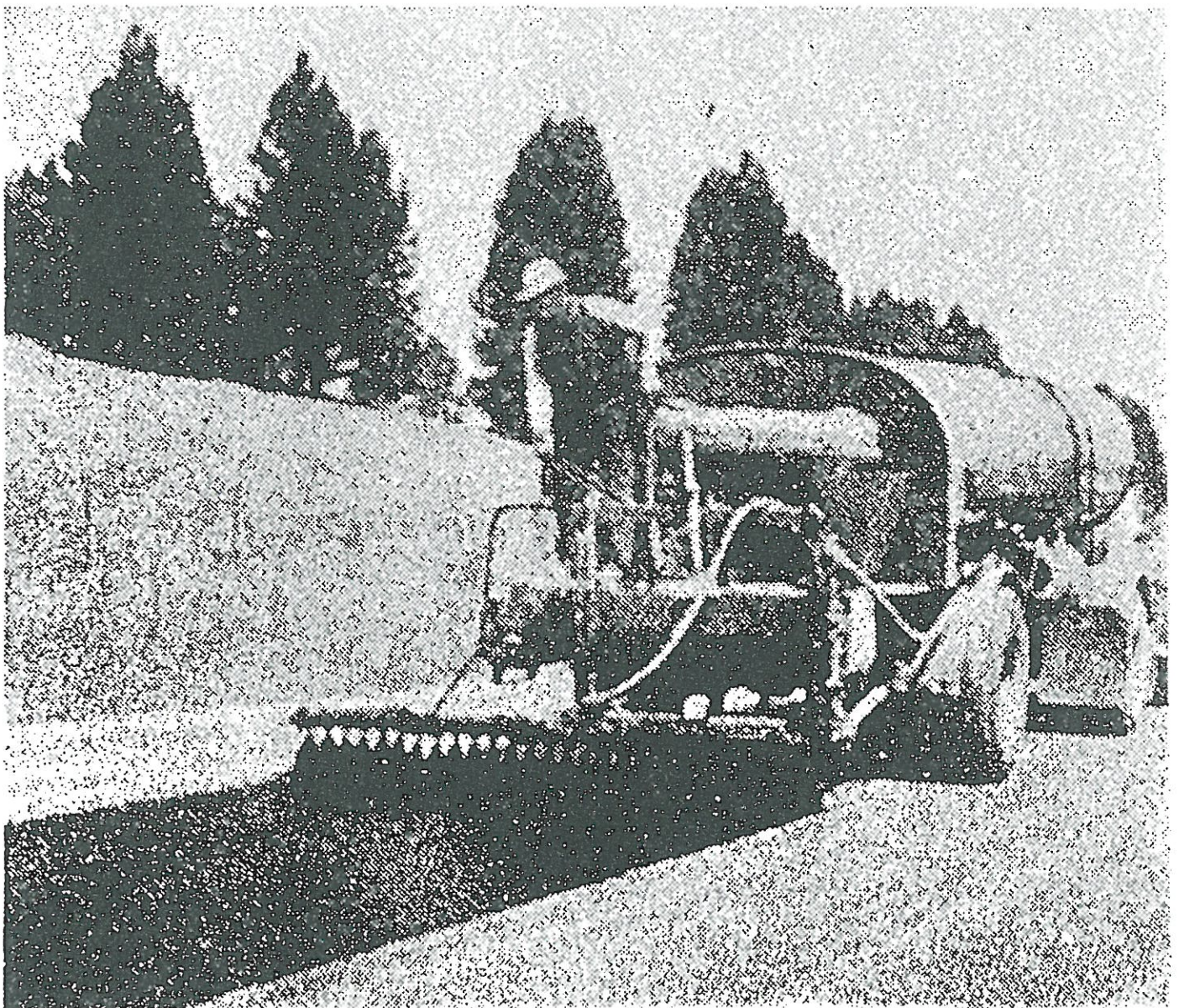
Μετά την αρχική συμπύκνωση, ένα Grader κάνει την τελική μόρφωση του οδοστρώματος

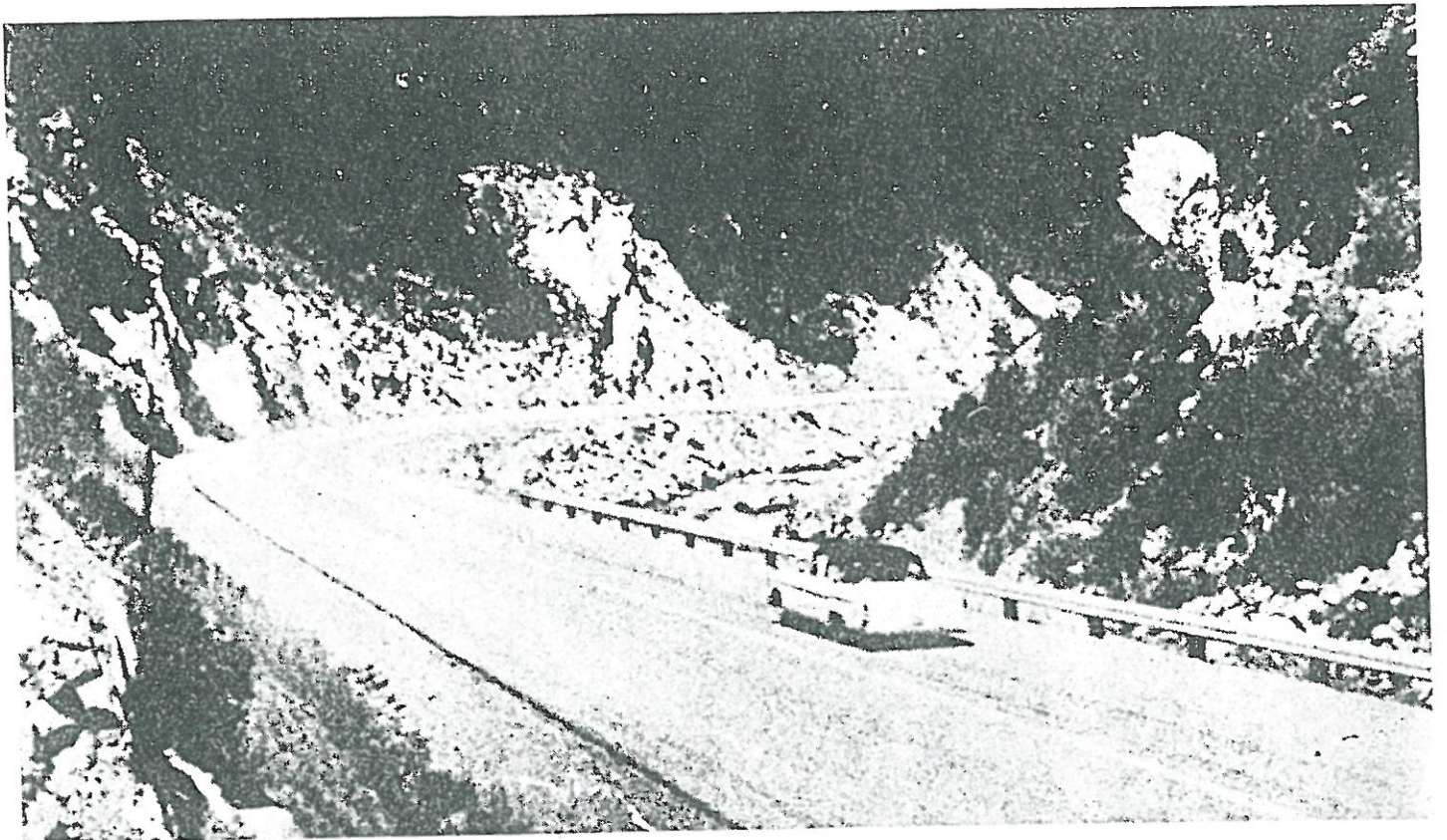


Τελική συμπύκνωση με οδοστρωτήρα



Για τη συγκράτηση της υγρασίας εφαρμόζεται ασφαλιστική επάλειψη. Αν προβλέπεται άμεση κυκλοφορία, η επάλειψη πρέπει να καλυφθεί με άμμο για να αποφευχθεί αποκόλληση.





Φωτογραφία της οδού 15 στην πολιτεία Idaho που κατασκευάστηκε το έτος 1954 με οδόστρωμα σταθεροποιημένου εδάφους με τσιμέντο.