

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΝΕΡΟ, ΕΠΙ ΤΗΣ
ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΕ ΑΣΒΕΣΤΗ
ΔΟΚΙΜΙΩΝ.**

ΕΣΚΙΟΓΛΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
Λέκτορας
Τομέας Δασοτεχνικών και
Υδρονομικών Εργων.
Τμήμα Δασολογίας και
Φυσικού Περιβάλλοντος.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η έρευνα για τον υπολογισμό οικονομικών οδοστρωμάτων επιδιώκει την αναζήτηση και τη δημιουργία νέων δομικών στρώσεων οδών που προκύπτουν από την σταθεροποίηση του εδαφικού υλικού με διάφορα υλικά όπως ασβέστη και τσιμέντο.

Με τη σταθεροποίηση του εδαφικού υλικού με ασβέστη επιδιώκεται η συμπύκνωση του μίγματος εδάφους - ασβέστη με συνθήκες άριστης υδατοχωρητικότητας, με σκοπό την κατασκευή φερόντων στρωμάτων ή τη βελτίωση του υπεδάφους για μια επιφάνεια κυκλοφορίας.

Χαρακτηριστικό της σταθεροποίησης του εδάφους με ασβέστη είναι η χρησιμοποίηση του υπάρχοντος βελτιωμένου ή ιδιαίτερα επιχρωματωμένου δρόμου.

Το πιο συνηθισμένο είδος ασβέστη που χρησιμοποιείται για τη σταθεροποίηση είναι το υδροξείδιο ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$ σε μορφή σκόνης.

Η πουζολανική αντίδραση, κατά την οποία ο ασβέστης αντιδρά με τα ελεύθερα κolloειδή ένυδρα και μη οξειδία του πυριτίου του εδάφους, προς σχηματισμό καινούργιων σταθερών ασβεστοπυριτικών ενώσεων, θεωρήθηκε ο πιο υπεύθυνος φυσικοχημικός μηχανισμός για τη σταθεροποίηση των εδαφών με ασβέστη.

Κατά την ανάμιξη ασβέστη με έδαφος, βελτιώνονται οι ιδιότητες των πλαστικών εδαφών, παρατηρείται μεταβολή των ιδιοτήτων πλαστικότητας και κυρίως μείωση της τιμής του δείκτη πλαστικότητας, μικρή αύξηση της βέλτιστης υγρασίας και μείωση του φαινομένου βάρους.

Η κυριότερη ιδιότητα που παρουσιάζεται στα σταθεροποιημένα εδάφη είναι η αύξηση της αντοχής τους σε δοκιμές θλίψης (μέθοδος ASTM D 1632 και B.S 1924). Στα δασικά εδάφη πειραματίστηκε ο Στεργιάδης (1978) και κατέληξε ότι το ικανοποιητικό ποσοστό του σταθεροποιητή κυμαίνεται μεταξύ 4% και 8% κατά βάρος. Επίσης ο ίδιος ερευνητής κατέληξε σε αριθμητικά αποτελέσματα της μείωσης του δείκτη πλαστικότητας των εδαφών κατόπιν σταθεροποίησής τους με ασβέστη.

Ο Εσκίογλου (1991) βρήκε πως τα εδάφη που επιδέχονται σταθεροποίηση με ασβέστη προέρχονται κυρίως από φλύσχη, ασβεστόλιθο, γαύρο, περιδοτίτη και αργιλικό σχιστόλιθο και είναι κυρίως αργιλώδη, πηλώδη, αμμοαργιλώδη και αμμοπηλώδη. Επίσης απέδειξε ότι οι τιμές της αντοχής των σταθεροποιημένων εδαφών αυξάνονται καθώς αυξάνεται το ποσοστό του περιεχόμενου μοντμοριλλονίτη.

Στην παρούσα εργασία έγινε μια ερευνητική προσπάθεια προσδιορισμού της επίδρασης της εμβάπτισης μέσα σε νερό, επί της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη σταθεροποιημένου με ασβέστη εδάφους.

Οι πειραματικές αυτές εργασίες πρέπει να πραγματοποιούνται διότι τα αποτελέσματά τους συμβαδίζουν με την ανταπόκριση των σταθεροποιημένων εδαφών στις φυσικές συνθήκες (βροχές, χιόνια) και αποτελούν ένα μέτρο σταθερότητας των δειγμάτων στο νερό (Στεργιάδης 1978).

2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η όλη εργασία πραγματοποιήθηκε με βάση τις προδιαγραφές της B.S 1924 : 1957 - Μέθοδος 8.

Η μέθοδος αυτή περιγράφει τον προσδιορισμό της επίδρασης της εμβάπτισης μέσα σε νερό, επί της αντοχής σε θλίψη δοκιμίων σταθεροποιημένου εδάφους, μετά την εμβάπτιση υπό καθορισθείσες συνθήκες.

α. Συλλογή εδαφικών δειγμάτων.

Εδαφικά δείγματα πάρθηκαν από φλύσχη και ασβεστόλιθο περιοχής Περτουλίου και από γρανίτη και ασβεστολιθικό ψαμμίτη από τη Ροδόπη.

Οι θέσεις λήψης δειγμάτων επιλέγησαν με τη μέθοδο της τυχαίας δειγματοληψίας και συνολικά πάρθηκαν 64 εδαφικά δείγματα που κατατάχθηκαν στη συνέχεια σε συγκεκριμένα εδαφικά σχήματα.

β. Προσδιορισμός εδαφικών χαρακτηριστικών.

Για κάθε εδαφικό δείγμα έγινε κοκκομετρική διαβάθμιση του υλικού και υπολογισμός των ορίων Atterberg για την κατάταξη των εδαφών σε ομάδες (Σχ. 1 και σχ. 2).

Διαπιστώθηκε ότι ο φύσχη Περτουλίου έδωσε εδάφη : πηλώδη ML, πηλώδη CL, αργιλώδη CL, πηλώδη SC - CL και αργιλοαμμώδη CL.

Ο ασβεστόλιθος έδωσε εδάφη αργιλώδη CL, ενώ ο γρανίτης Ροδόπης έδωσε εδάφη αμμώδη GC-CL και αμμοαργιλώδη SC - CL και τέλος ο ασβεστολιθικός ψαμμίτης αμμοπηλώδη SC - CL.

γ. Σταθεροποίηση εδαφικών δειγμάτων.

Τα εδαφικά δείγματα, σε υγρασία ίση με τη βέλτιστη, αναμιγνύονται με ποσοστά ασβέστου 4%, 6% και 8%, στη συνέχεια τοποθετούνται σε καλούπια κατά 6 στρώσεις και συμπυκνώνονται με 25 περιφερειακούς κτύπους κατά στρώση. Τα δοκίμια αυτά είναι κυλινδρικά ύψους $h = 20 \text{ cm}$ και διαμέτρου $O = 10 \text{ cm}$, και αφού καλύπτονται 24 ώρες με βρεμένη λινάτσα, ζυγίζονται,

παχυμετρούνται, παραφινώνονται και θραύονται μετά από συντήρηση 7, 28 και 100 ημερών.

Τα δοκίμια που προορίζονται να εμποτισθούν παρασκευάζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο αλλά εδώ υπάρχει ένας επιπλέον εργαστηριακός εξοπλισμός. Αυτός αποτελείται από μια υδατοστεγή δεξαμενή καλά κλεισμένη, εντός της οποίας μπορούν να διατηρηθούν δοκίμια εμβαπτισμένα εντός ύδατος, η πάνω επιφάνεια των οποίων να βρίσκεται 2,5 cm (1 ίντσα) ενός του νερού.

Όταν τα δοκίμια διανύσουν το χρόνο συντήρησης, εμβαπτίζονται πλήρως σε νερό εντός της δεξαμενής και σε θερμοκρασία 25 ± 2 °C επί επτά ημέρες επιπλέον και τότε θραύονται κατά τον ίδιο τρόπο όπως στην περίπτωση μη εμποτισμένων σταθεροποιημένων εδαφών (Φωτ. 1 και Φωτ. 2).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

Τα εδαφικά δείγματα που επεξεργάσθηκαν ήταν συνολικά 180 από τα οποία τα μισά σταθεροποιήθηκαν με ασβέστη σε ποσοστά 4%, 6%, 8% με διάρκεια συντήρησης τις 7, 28 και 100 ημέρες, και τα άλλα μισά στις ίδιες ακριβώς αναλογίες σταθεροποιητή και ημέρες συντήρησης με μόνη διαφορά ότι τα δείγματα αυτά εμποτίστηκαν σε νερό.

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι αναπτυσσόμενες αντοχές θλίψεως των δύο αυτών κατηγοριών δειγμάτων τα οποία όμως έχουν καταταχθεί στα είδη των εδαφών και των πετρωμάτων απ' όπου προέρχονται.

Στο σχήμα 3 δίνεται η σχέση μεταξύ της αντοχής, δειγμάτων σταθεροποιημένων με ασβέστη εμποτισμένων στο νερό και δειγμάτων σταθεροποιημένων χωρίς εμποτισμό.

Τέλος στα σχήματα 4α, β, γ, δ δίνονται οι μεταβολές της αντοχής των δοκιμίων σταθεροποιημένων με ασβέστη, εμποτισθέντων ή όχι σε νερό.

Από τον πίνακα 1 και τα σχήματα 4 διαπιστώνεται ότι η αντοχή των δοκιμίων αυξάνει καθώς αυξάνει το ποσοστό σταθεροποιητή και η διάρκεια συντήρησης των δοκιμίων. Αυτό συμβαίνει τόσο στα δοκίμια τα εμποτισθέντα όσο και σε αυτά που δεν έχουν εμποτισθεί.

- Ο φλύσχος είναι αυτός που δίνει τα εδάφη που ανταποκρίνονται περισσότερο στη σταθεροποίηση με ασβέστη. Το πηλώδες έδαφος της κατηγορίας CL δίνει τις μεγαλύτερες τιμές σε θλίψη ίση με 11.5 Kg/cm^2 για δείγματα μή εμποτισθέντα και τιμή 7.7 Kgr/cm^2 για εμποτισθέντα δείγματα και διάρκεια συντήρησης 100 ημέρες.

- Μικρότερες αντοχές αναπτύσσουν τα αμμώδη εδάφη GC - CL που προέρχονται από γρανίτη και για ποσοστό σταθεροποιητή 4% και διάρκεια συντήρησης 7 ημέρες παρατηρούνται τιμές 4 Kgr/cm^2 και 2.2 Kgr/cm^2 για δοκίμια μή εμποτισθέντα και εμποτισθέντα αντίστοιχα.

- Το αμμοαργιλώδες έδαφος SC - CL που προέρχεται από γρανίτη είναι το έδαφος που παρουσιάζει τη μικρότερη μεταβολή της τιμής της αντοχής του καθώς αυξάνεται το ποσοστό του σταθεροποιητή και η διάρκεια συντήρησης των δοκιμών.

- Έτσι αυξανόμενου του ποσοστού του σταθεροποιητή από 4% στα 8% και αυξανόμενες οι μέρες συντήρησης από 7 στις 100, παρατηρείται αύξηση της αντοχής κατά 0.5% Kgr/cm² ή ποσοστό 18%.

- Αντίθετα στα πηλώδη εδάφη CL που προέρχονται από φλύσχη έχουμε για τις ίδιες μεταβολές και για δείγματα μη εμποτισθέντα, τη μεγαλύτερη αύξηση των τιμών αντοχής θλίψης δηλαδή 4.5 Kgr/cm² ή ποσοστό 64%.

- Όσον αφορά όμως δείγματα εμποτισθέντα, τα αμμοαργιλώδη εδάφη CL του φλύσχη παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μεταβολή της αντοχής δηλαδή 3.7 Kgr/cm² ή ποσοστό 115%.

- Υπάρχουν δοκίμια εδαφών εμποτισθέντων στο νερό (πηλώδες CL, πηλώδες SC - CL, αργιλώδες CH, πηλώδες ML) που αναπτύσσουν αντοχή μεγαλύτερη ενίοτε από αντοχή που αναπτύσσουν ορισμένα εδάφη σταθεροποιηθέντα και μη εμποτισθέντα (αμμώδες GC - CL).

- Η μεγαλύτερη διαφορά αντοχής μεταξύ δοκιμών σταθεροποιημένων μη εμποτισθέντων και εμποτισθέντων παρατηρείται σε πηλώδη, αργιλώδη και αμμοαργιλώδη εδάφη CL φλύσχη ενώ η μικρότερη διαφορά σε αμμώδη εδάφη. Αυτό σημαίνει ότι όσο περισσότερα λεπτά συστατικά υπάρχουν στο σταθεροποιημένο έδαφος, τόσο περισσότερη αντοχή χάνει κατά την εμβάπτιση του σε νερό.

- Από το σχήμα 3 φαίνεται ότι η σύγκριση των τιμών αντοχής των 90 δειγμάτων που εμποτίστηκαν στο νερό με τα δείγματα που δεν υπέστησαν αυτή τη δοκιμασία έδωσε τη σχέση :

$$(Y) \text{ Αντοχή εμποτισθέντων δειγμάτων} = 0.772 X \text{ αντοχή μη εμποτισθέντων δειγμάτων} (X) - 1.041 \quad \text{ή} \quad Y = 0.772 X - 1.041$$

με τιμή συντελεστή συσχέτισης $R = 0.9$.

Για καλύτερη στατιστική ανάλυση και για τη διαπίστωση αν η τιμή R είναι στατιστικώς σημαντική και ταυτόχρονα υπάρχει σημαντική συσχέτιση, υπολογίστηκε το t - κριτήριο που δίνεται από τον τύπο

$$t = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} = \frac{0.9\sqrt{90-2}}{\sqrt{1-(0.9)^2}} = 19.38$$

Την τιμή αυτή συγκρίνουμε με την τιμή $t_{0.5}$ για $n - 2$ βαθμούς ελευθερίας που είναι ίση με $* 1.98$ και επειδή $t > t_{0.5}$ συμπεραίνεται πως υπάρχει γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στις αντοχές των δοκιμίων των 2 κατηγοριών.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα των πειραματικών εργασιών εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

1. Υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των τιμών των αναπτυσσόμενων αντοχών σταθεροποιημένων εμποτισθέντων και μή δοκιμίων.

2. Τόσο η αντοχή των εμποτισθέντων όσο και των μή εμποτισθέντων αυξάνει, όσο αυξάνει το ποσοστό σταθεροποιητή και η διάρκεια συντήρησης των δοκιμίων.

3. Ο φλύσχος δίνει εδάφη, που σταθεροποιούμενα με ασβέστη, είτε εμποτισθούν είτε όχι αναπτύσσουν τη μεγαλύτερη αντοχή θλίψης των δοκιμίων. Αντίθετα ο γρανίτης δεν είναι ιδιαίτερα επιδεκτικός σε σταθεροποίηση των εδαφών του.

4. Αυξανόμενου του ποσοστού των λεπτών συστατικών, μειώνεται η αντοχή των δοκιμίων των εμβαπτισθέντων σε νερό.

5. Δοκίμια σταθεροποιημένα και μή εμποτισθέντα αν προέρχονται από φλύσχη παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη μεταβολή της αντοχής τους καθώς αυξάνεται ο χρόνος συντήρησης και το ποσοστό του σταθεροποιητή.

6. Αντίθετα δοκίμια εδαφών που προέρχονται από γρανίτη για την ίδια μεταβολή των παραγόντων, παρουσιάζουν τη μικρότερη αύξηση της τιμής αντοχής θλίψης τους.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΣΕ ΝΕΡΟ, ΕΠΙ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΜΕ ΑΣΒΕΣΤΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα ερευνητική εργασία έγινε μια προσπάθεια του προσδιορισμού της επίδρασης της εμβάπτισης σταθεροποιημένων δοκιμίων με ασβέστη πάνω στην τιμή αντοχής θλίψης τους. 90 δείγματα εδαφών από φλύσχη, ασβεστόλιθο, γρανίτη και ασβεστολιθικό ψαμμίτη σταθεροποιήθηκαν με ποσοστά ασβέστου 4%, 6% και 8%, συντηρήθηκαν για 7, 28 και 100 ημέρες και μετρήθηκε η αντοχή τους. Ίδια δείγματα ομοίως σταθεροποιηθέντα

εμβαπτίσθηκαν σε δεξαμενή πλήρους ύδατος και στη συνέχεια θραύστηκαν και μετρήθηκε η αντοχή τους.

Οι μετρήσεις έδειξαν ότι η αντοχή των δειγμάτων αυξάνεται όταν αυξάνεται το ποσοστό σταθεροποιητή και η διάρκεια συντήρησης, ενώ τα εμβαπτισθέντα δοκίμια έχασαν σημαντικό ποσοστό από την αντοχή τους, ιδιαίτερα τα δοκίμια των εδαφών που προέρχονται από γρανίτη και ψαμμίτη.

DIE EINWIRKUNG DER EINTAUCHUNG IN WASSER AUF DIE FESTIGKEIT VON MIT KALK STABILISIERTEN BODENPROBEN

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit versuchte man, die Eintauchungseinwirkung von in Kalk stabilisierten Probestücken auf ihren Druckfestigkeitswert festzustellen. Es wurden 90 Bodenproben aus Flysch, Kalkstein, Granit und Sandkalkstein mit Kalkanteilen 4%, 6% und 8% stabilisiert und für 7, 28 und 100

Tage erhalten und ihre Festigkeit gemessen. Ähnliche Probestücke wurden auf der gleichen Weise stabilisiert und in einem Wasserbehälter eingetaucht und in der Folge zerbrochen und ihre Festigkeit gemessen.

Die Messungen haben gezeigt, dass die Festigkeit der Probestücke erhöht wird, wenn auch der Stabilisierungsanteil und die Erhaltungsdauer erhöht werden, während die eingetauchten Probestücke einen wesentlichen Anteil ihrer Festigkeit verloren haben, besonders die Bodenproben aus Granit und Sandstein.

BIBLIOΓΡΑΦΙΑ

1. Εσκίογλου Π. Οικονομικά και ανθεκτικά οδοστρώματα στα ορεινά δάση της Ελλάδας.
Διδακτορική διατριβή. Θεσ/νίκη 1991.

2. Kuonen V. Bodenstabilisierung ETH - Zurich 1979.
3. Μάτης Κ. Δασική Δειγματοληψία. Θεσ/νίκη 1988.
4. Στεργιάδης Γ.Χ., Kuonen V. Σταθεροποίηση εδαφών με ασβέστη. Επ. Επετηρίδα Γ.Δ. Σχολής, Τόμος ΚΔ. Θεσσαλονίκη 1978.
5. Στεργιάδης Γ.Χ. Εδαφομηχανικές συνθήκες και προβλήματα κατασκευής στους δασικούς δρόμους. Θεσσαλονίκη 1985.
6. Στεργιάδης, Γ.Χ. Δασική Οδοποιία II. Κατασκευή δασικών δρόμων. Θεσσαλονίκη 1988.
7. Στεργιάδης Γ.Χ., Εσκίογλου Π. Τα εύκαμπτα οδοστρώματα στη δασική Οδοποιία και ο οικονομικός υπολογισμός των διαστάσεων των στρώσεων τους. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο ευκάμπτων οδοστρωμάτων. Θεσσαλονίκη 1992.