

Έλεγχοι Καταλληλότητας Υλικών Έδρασης Οδοστρωμάτων

Suitability Tests for Pavement Bearing Materials

ΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΥ Δ. Α. Πολιτικός Μηχανικός, Επίκουρη Καθηγήτρια, Δ.Π.Θ.
ΚΟΛΛΑΡΟΣ Α. Γ. Πολιτικός Μηχανικός, Επίκουρος Καθηγητής, Δ.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Τα οδοστρώματα εδράζονται σε εδάφη στη θέση κατασκευής ή σε χώματα εντός της ζώνης διέλευσης στα οποία η πρόσβαση είναι εύκολη. Η ποικιλομορφία των εδαφικών υλικών καθιστά δύσκολη την καθιέρωση προτύπων για τις κατασκευές οδοστρωμάτων. Προσδιορίστηκε εργαστηριακά η ποσότητα λεπτόκοκκου υλικού για μεγάλο αριθμό δειγμάτων και διαπιστώθηκε η ενεργότητά τους. Συσχετίστηκαν τα μεγέθη του ισοδυνάμου άμμου, του PI και της τιμής μπλε του μεθυλενίου, για να ελεγχθεί η καταλληλότητα των υλικών ως υπέδαφος έδρασης οδοστρωμάτων. Ορίστηκαν εμπειρικές σχέσεις που μαζί με την ευκολία εκτέλεσης και την καλή επαναληπτικότητα των δοκιμών θα βοηθήσουν τους μηχανικούς σε προβλήματα με διογκούμενα εδάφη.

ABSTRACT: Pavements are seated on soils located under the construction or on earth materials in the occupation zone and are easily accessible. The variety of soil materials makes it difficult to establish standards for pavement's construction. The quantity of fine material for a number of samples was determined in the laboratory and their activity was established. The sand equivalent, PI and methylene blue value were correlated in order to validate their suitability as pavement's subgrade. Empirical equations have been defined which, along with the ease of performance and the good repeatability of the tests, would help engineers with problems in swelling soils.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα ουσιώδες χαρακτηριστικό των εδαφικών υλικών σε πολλές τεχνικές κατασκευές οδοστρωμάτων, είναι η καταλληλότητα. Η "καταλληλότητα" χαρακτηρίζει την απουσία ανεπιθύμητων στοιχείων. Αυτά τα στοιχεία μπορεί να παρουσιάσουν νοσηρότητα λόγω της λεπτότητάς τους, της φυσικοχημικής τους δραστηριότητας ή λόγω της επίδρασής τους στα συνδετικά υλικά. Πρόκειται για διαλυτά άλατα, υδροξείδια του σιδήρου, οργανικές ύλες, αλλά και αργίλους. Οι πιο επιβλαβείς από άποψη συχνότητας εμφάνισής τους σε αλλουβιακές αποθέσεις και σε πετρώματα, της υδροφιλίας τους, αλλά και των ιδιοτήτων συνάφειας και πλαστικότητας, είναι οι άργιλοι.

Τα διογκούμενα εδάφη προκαλούν σοβαρές φθορές σε κατασκευές οδοστρωμάτων, ενώ, από την άλλη μεριά, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικό επιχώματος οδών. Το δυναμικό διόγκωσης των εδαφών επηρεάζεται

κυρίως από το αργιλικό τους κλάσμα. Για να εξακριβωθεί η ύπαρξη πολύ λεπτού υλικού που διέρχεται από το κόσκινο No. 200 εκτελούνται έλεγχοι οι οποίοι συνίστανται στον καθορισμό της ποσότητας παιπάλης, στον προσδιορισμό του δείκτη πλαστικότητας, του ισοδυνάμου άμμου και της τιμής του μπλε του μεθυλενίου.

Η ποσότητα που διέρχεται από κόσκινο των 0,075 mm (No. 200), εκφρασμένη ως ποσοστό του συνολικού υλικού, καθορίζεται με τη δοκιμή κοκκομετρικής διαβάθμισης, είτε με την ξηρή ή, συνηθέστερα, με την υγρή μέθοδο, σύμφωνα με τα πρότυπα AASHTO T88 ή ASTM D422.

Ο δείκτης πλαστικότητας χρησιμοποιείται για να μετρηθεί ο βαθμός πλαστικότητας των λεπτόκοκκων (υλικό διερχόμενο από το κόσκινο No.40) και ορίζεται ως η διαφορά περιεχόμενης υγρασίας μεταξύ των ορίων υδαρότητας και πλαστικότητας: $PI=LL-PL$. Στον πίνακα 1 δίνεται ο βαθμός πλαστικότητας ως συνάρτηση του PI και τα χαρακτηριστικά εδαφών σε

ξηρή κατάσταση, για την αντίστοιχη περιοχή τιμών του δείκτη πλαστικότητας. Ο PI που είναι μια χρήσιμη τιμή για την αναγνώριση και κατάταξη εδαφών, καθορίζει επίσης την καταλληλότητά τους ως υπέδαφος έδρασης οδών. Εδάφη με υψηλή τιμή PI, όπως τα ιλυώδη, τα αργιλώδη και ορισμένα αμμο-ιλυώδη, είναι ακατάλληλα για την έδραση οδοστρωμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Χαρακτηρισμός εδαφών συναρτήσει του PI

TABLE 1. Soil characterization as a function of PI

PI	Έδαφος	Χαρακτηριστικά σε ξηρή κατάσταση
>35	Υψηλής πλαστικότητας	Υψηλή συνεκτικότητα. Αδύνατος ο θρυμματισμός των σβώλων με το χέρι.
16-35	Πλαστικό	Μέτρια έως υψηλή συνεκτικότητα. Δυσκολία θρυμματισμού των σβώλων με το χέρι.
7-15	Μέτριας πλαστικότητας	Χαμηλή έως μέτρια συνεκτικότητα. Οι σβώλοι θρυμματίζονται με μικρή πίεση.
4-6	Ελαφρώς πλαστικό	Χαμηλή συνεκτικότητα. Εύκολος θρυμματισμός των σβώλων με το χέρι.
0-3	Μη-πλαστικό	Ελάχιστη έως και καθόλου συνεκτικότητα. Οι σβώλοι αποσυντίθενται με την επαφή.

Ο δείκτης πλαστικότητας είναι χρήσιμος για υλικά τα οποία περιέχουν υψηλό ποσοστό ιλύος και αργίλου. Στην περιοχή που δεν καλύπτει ο δείκτης πλαστικότητας, γίνεται χρήση του ισοδύναμου άμμου, SE, καθορίζεται η αναλογία λεπτότατης σκόνης αργιλώδους μορφής. Για τιμή $SE < 20$, πρέπει να προσδιορίζεται ο PI, ενώ, για μεγαλύτερες τιμές, δεν μπορεί να αντικατασταθεί το ισοδύναμο άμμου από το δείκτη πλαστικότητας, ο οποίος δεν προσδιορίζεται στην περιοχή αυτή (Non Plastic).

Η δοκιμή ισοδύναμου άμμου προέκυψε από την ανάγκη για μια γρήγορη ένδειξη της ποιότητας υλικών οδοστρώματος και χρησιμοποιείται για να καθοριστούν οι σχετικές αναλογίες πλαστικών λεπτομερών ή αργιλικών υλικών σε λεπτόκοκκα αδρανή. Υλικό διερχόμενο από το κόσκινο 4,75 mm (No. 4) τοποθετείται σε ογκομετρικό σωλήνα ο οποίος πληρούται με μίγμα νερού και ενός παράγοντα συσσωμάτωσης. Μετά από ανάδευση και παραμονή επί 20 λεπτά ως την ηρεμία, η άμμος διαχωρίζεται από τα αργιλικά λεπτόκοκκα. Μετρείται το ύψος της

άμμου και το συνολικό ύψος άμμου και αργίλου. Ισοδύναμο άμμου είναι ο λόγος των δύο υψών πολλαπλασιασμένος επί 100. Υψηλότερο ισοδύναμο άμμου θα ληφθεί σε περίπτωση καθαρότερου λεπτόκοκκου αδρανούς. Η δοκιμή έχει το πλεονέκτημα της γρήγορης εκτέλεσης, απαιτεί πολύ απλό εξοπλισμό ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την ελάχιστη κατάρτιση ή εμπειρία και έχει δώσει εύλογα καλά αποτελέσματα.

Από σύγκριση των τιμών ισοδύναμου άμμου με αποτελέσματα άλλων δοκιμών έχει βρεθεί ότι τα περισσότερα εδάφη, τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη διόγκωση όταν κορεστούν με νερό, είναι δυνατόν να αναγνωριστούν με την τιμή SE.

Εδάφη επί των οποίων θα κατασκευαστεί οδόστρωμα αναπτύσσουν υπερβολική διόγκωση, με ταυτόχρονη μείωση της φέρουσας ικανότητάς τους σε κατάσταση κορεσμού, εφόσον η τιμή ισοδύναμου της άμμου είναι μικρότερη του 10%. Τα διάφορα λεπτόκοκκα υλικά μπορούν να καταταχτούν όπως φαίνεται στον πίνακα 2, με βάση το ισοδύναμο άμμου σε τρεις κατηγορίες.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Κατάταξη λεπτόκοκκων υλικών συναρτήσει του SE

TABLE 2. Classification of fine-grained materials as a function of SE

Ισοδύναμο Άμμου	Λεπτόκοκκα υλικά
Υψηλές τιμές	Καθαρές μη-συνεκτικές άμμοι
Ενδιάμεσες τιμές	Άμμοι αναμιγμένες με ποσότητες ιλύος και αργίλου
Χαμηλές τιμές	Άργιλοι και ιλυο-αργιλώδη μίγματα

Για να μετρηθεί η νοσηρότητα των άμμων, το LCPC, στη Γαλλία, εξέτασε δύο διαφορετικές μεθόδους. Με την πρώτη τροποποιήθηκε η διαδικασία της δοκιμής του ισοδύναμου της άμμου, ώστε να γίνει περισσότερο συμβατή για την αναγνώριση άμμων πλούσιων σε λεπτόκοκκα. Στο πρότυπο AFNOR NF P 18-597, "Propretés des Sables", έγιναν οι ακόλουθες τροποποιήσεις:

- ▶ λήψη του δείγματος της δοκιμής στο κόσκινο των 2 mm, αντί των 4,75 mm
- ▶ διατήρηση του ποσοστού των στοιχείων που είναι μικρότερα από 0,08 mm σε μια σταθερή τιμή ίση με 10%.

Με τη δεύτερη, συμπληρώνεται η δοκιμή με ένα διαφορετικό μέτρο, την ικανότητα, δηλαδή, να προσροφούν τα αργιλικά συστατικά κάποια βασική βαφή, όπως το μπλε του μεθυλενίου.

Η δοκιμή βασίζεται στην προσθήκη διαδοχικά αυξανόμενων ποσοτήτων πρότυπου υδατικού διαλύματος της χρωστικής ουσίας (μπλε του μεθυλενίου) σε ένα δείγμα έως ότου κορεσθούν με βαφή τα αργιλικά σωματίδια και συστήνεται για να ποσοτικοποιηθεί η ποσότητα επιβλαβών αργίλων της ομάδας του μοντιμοριλλονίτη, οργανικών ουσιών και υδροξειδίων του σιδήρου που υπάρχουν στο λεπτόκοκκα αδρανή. Υιοθετήθηκε στα αδρανή το 1980 και αργότερα προτάθηκε η μέθοδος του μπλε του μεθυλενίου με ανατάραξη (Tran Ngoc Lan, 1984) ώστε να αυξηθεί η ακρίβεια της δοκιμής και να καταστεί δυνατή η μέτρηση σε λιγότερο αργιλικά δείγματα.

Αντιπροσωπευτικό δείγμα στεγνού λεπτόκοκκου αδρανούς κοσκινίζεται στο κόσκινο Νο. 200 και 10 γραμμάρια από το διερχόμενο διαλύονται σε 30 γραμμάρια αποσταγμένου νερού. Ένα γραμμάριο μπλε του μεθυλενίου (MB) διαλύεται σε επαρκές αποσταγμένο νερό, για να παραχθούν 200 ml διαλύματος, έτσι ώστε 1 ml του διαλύματος να περιέχει 5 mg μπλε του μεθυλενίου. Αυτό το διάλυμα MB τροφοδοτείται σταδιακά σε δόσεις 0,5 ml από τον σωληνίσκο στο συνεχώς αναδευόμενο αιώρημα λεπτόκοκκων αδρανών. Μετά από κάθε προσθήκη διαλύματος MB και την ανάδευση του για ένα λεπτό, αποσπάται με γυάλινη ράβδο μια σταγόνα του αιωρήματος του αδρανούς και τοποθετείται σε διηθητικό χαρτί. Η προσθήκη διαλύματος MB επαναλαμβάνεται έως ότου επιτευχθεί το τελικό σημείο. Αρχικά σχηματίζεται ένας καλά καθορισμένος κύκλος της σκόνης βαμμένης με MB και περιβάλλεται από ένα εξωτερικό δαχτυλίδι ή στεφάνη καθαρού νερού. Το τελικό σημείο επιτυγχάνεται όταν παρατηρείται ένας μόνιμος ανοικτογάλαζος χρωματισμός ή όταν παρατηρηθεί μια άλως σε αυτό το δαχτυλίδι καθαρού νερού.

Η τιμή MB ενός συγκεκριμένου κλάσματος λεπτόκοκκου αδρανούς αναφέρεται σε mg του μπλε μεθυλενίου ανά γραμμάριο του κλάσματος π.χ.: MBV=5,3 mg/g, 0/#200. Η τιμή μπλε του μεθυλενίου εκφράζει την ποσότητα του MB που απαιτείται για να καλυφθεί η συνολική επιφάνεια του κλάσματος της αργίλου του δείγματος με μια μονομοριακή στοιβάδα MB. Επομένως, η τιμή μπλε του μεθυλενίου είναι ανάλογη του γινομένου της περιεκτικότητας σε αργίλο επί την ειδική επιφάνεια της αργίλου. Η ειδική επιφάνεια των κόκκων του δείγματος, ASA, υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο:

$$ASA_{107} = \frac{V_d}{c} \times 6,45 \left(\frac{m^2}{g \text{ εδάφους}} \right) \quad (1)$$

όπου

ASA Η φαινόμενη ειδική επιφάνεια της αργίλου
 V_d ο όγκος του τυπικού διαλύματος 0,01M μπλε του μεθυλενίου που απαιτείται για να επέλθει το "τελικό σημείο" και

C Η μάζα εδάφους στο δοχείο δοκιμής σε g
 Η μέση ενεργός επιφάνεια των μορίων της βαφής λαμβάνεται ίση με $A_d=107\text{\AA}^2$. Υπάρχει γραμμική σχέση ανάμεσα στην τιμή του μπλε του μεθυλενίου και την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων ενός εδάφους (Αθανασοπούλου και Κολλάρος, 1995).

Η δοκιμή μπλε του μεθυλενίου είναι απλή και πρακτική, το κόστος της είναι λογικό και συμπληρώνει τις δοκιμές ισοδυναμίου άμμου και ορίων Atterberg, αφού με αυτές καθορίζεται μόνο η ύπαρξη κόκκων με διαστάσεις αργίλου και όχι η παρουσία ενεργών αργιλικών ορυκτών.

2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΕΔΑΦΩΝ

Συλλέχθηκαν εδαφικά δείγματα από σαράντα περιοχές του νομού Ροδόπης, οι οποίες επιλέχθηκαν με κριτήριο την εγγύτητά τους σε οδικά έργα και την πιθανότητα να δημιουργήσουν κατασκευαστικά προβλήματα λόγω της παρουσίας μεγάλου ποσοστού αργίλου.

Οι ιδιότητες των υλικών κυμάνθηκαν στα όρια που εμφανίζονται στον πίνακα 3.

Η κοκκομετρική ανάλυση των εδαφικών δειγμάτων αποκάλυψε ότι τα περισσότερα από αυτά είχαν υψηλή περιεκτικότητα αργίλου (υλικό με διάμετρο κόκκου μικρότερη από 2 μικρά).

Η διογκωσιμότητα των εδαφών επηρεάζεται από το ποσοστό αργιλικού κλάσματος που περιέχουν και από τη σύσταση του κλάσματος αυτού. Ο βαθμός διογκωσης υπολογίστηκε με τη μέθοδο κατάταξης των Holtz και Gibbs η οποία στηρίζεται στο δείκτη πλαστικότητας και την περιεκτικότητα κολλοειδών. Από τα 40 δείγματα, 31 χαρακτηρίζονται από πολύ υψηλό και υψηλό βαθμό διογκωσιμότητας, ενώ μόνο 9 από μέσο και χαμηλό βαθμό διογκωσιμότητας.

Οι δοκιμές των ορίων Atterberg έδωσαν υψηλές τιμές για το δείκτη πλαστικότητας, οι οποίες ξεπέρασαν την τιμή 15 για 26 από τα εδαφικά δείγματα, φτάνοντας μέχρι και την τιμή 39, γεγονός που δείχνει ότι είναι πολύ πλαστικά και σε ξηρή κατάσταση είναι πολύ δύσκολο να θρυμματιστούν οι σβώλοι τους οποίους σχηματίζουν. Για δύο από τα δείγματα δεν ήταν δυνατός ο προσδιορισμός του PI. Εδάφη με τέτοιες τιμές PI είναι ακατάλληλα για την έδραση οδοστρωμάτων.

Πίνακας 3. Ιδιότητες εδαφικών δειγμάτων
Table 3. Properties of soil samples

Ιδιότητα		Διακύμανση τιμών
Φυσική υγρασία	(%)	0,4÷11,46
Ποσοστό διερχόμενο από το κόσκινο No. 200	(%)	2÷30
Όριο Υδαρότητας, LL	(%)	18÷55
Όριο Πλαστικότητας, PL	(%)	7÷31
Δείκτης Πλαστικότητας, PI	(%)	7÷39
Γραμμική Συρρίκνωση, LS	(%)	0,0÷17,14
Ελεύθερη Διόγκωση	(%)	0-75
Ισοδύναμο Άμμου, SE		4-26
Ελεύθερη διόγκωση, ΕΔ	(%)	0-75
Όγκος διαλύματος μπλε του μεθυλενίου, V_d	(ml)	5,5-61,0
Τιμή μπλε του μεθυλενίου, MBV	(mg/gr)	2,75÷30,50
Ενεργότητα (PI/ποσοστό υλικού <2μ)		0,24÷2,43

2.1 Κατάταξη εδαφών

Στο Σχήμα 1 (χάρτης Ενοποιημένου Συστήματος για λεπτόκοκκα εδάφη) τα εδαφικά δείγματα παριστάνονται με σημεία που έχουν συντεταγμένες το όριο υδαρότητας και το δείκτη πλαστικότητας. Τα εξετασθέντα δείγματα βρίσκονται σε μια στενή σχετικά ζώνη που είναι σχεδόν παράλληλη προς τη γραμμή $PI = 0,73$ (LL-20). Σύμφωνα με το Ενοποιημένο Σύστημα, τα εδαφικά δείγματα σε ποσοστό 55% περίπου μπορούν να χαρακτηριστούν σαν "άργιοι με μέση πλαστικότητα (CL)", σε ποσοστό 10% σαν "άργιοι με υψηλή πλαστικότητα (CH)" και σε ποσοστό περίπου 30%, σαν "άργιοι με χαμηλή πλαστικότητα (CL-ML)".

Στο Σχήμα 2 παριστάνονται τα δεδομένα στο χάρτη πλαστικότητας που χρησιμοποιείται από τη μέθοδο κατάταξης εδαφών της AASHTO.

Από το διάγραμμα φαίνεται ότι τα εδαφικά δείγματα σε ποσοστό 65% εμπίπτουν στην ομάδα εδαφών A-6, σε ποσοστό 25% στην ομάδα A-7 (πιο συγκεκριμένα στην A-7-6 με εξαίρεση ένα έδαφος που ανήκει στην A-7-5) και δύο εδαφικά δείγματα κατατάσσονται στην ομάδα A-4.

3. ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΓΕΘΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΩΝ

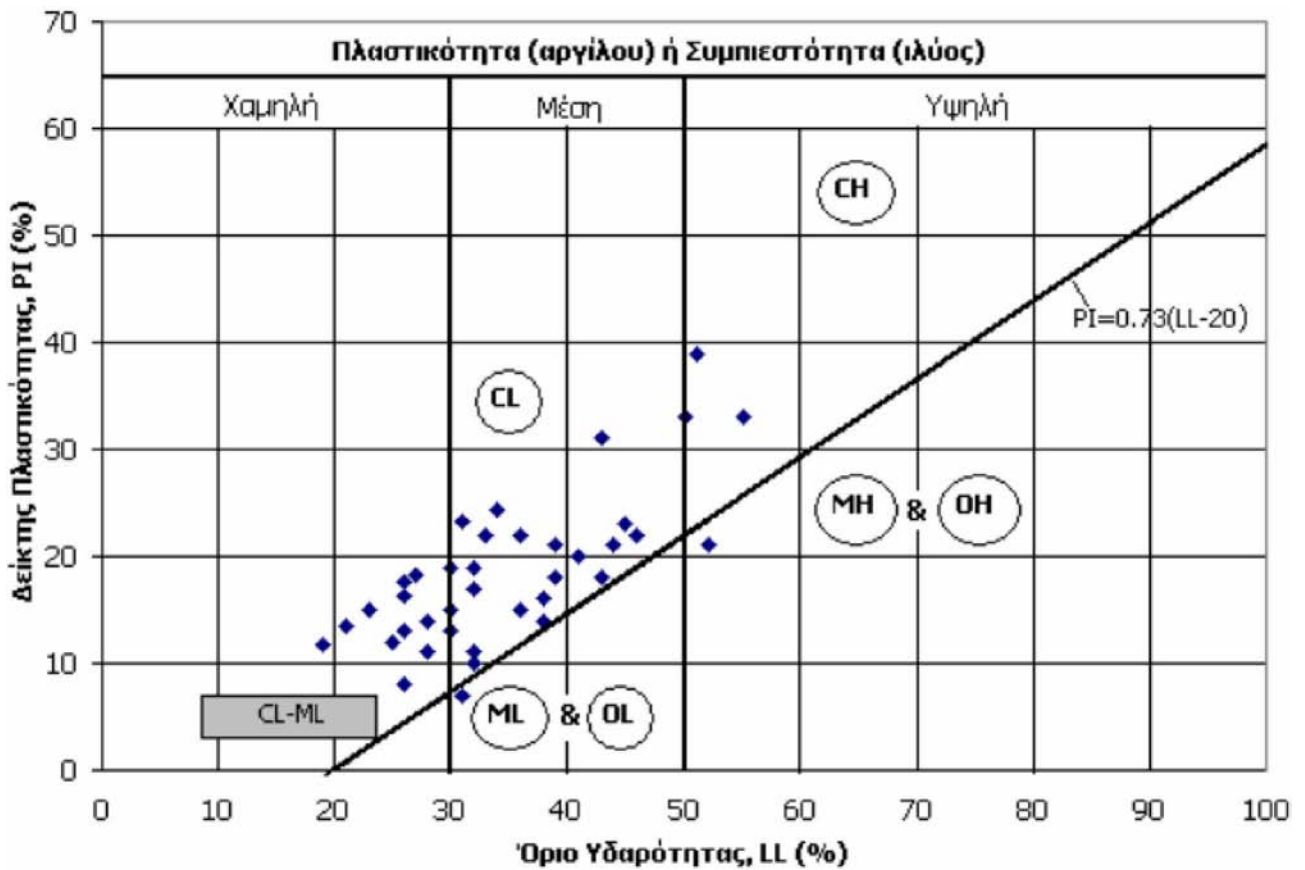
Μετά την ολοκλήρωση των εργαστηριακών δοκιμών, επιχειρήθηκε η συσχέτιση των μεγεθών, μέσω των οποίων καθίσταται δυνατός ο έλεγχος καταλληλότητας των εδαφικών υλικών, όταν αυτά πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως υπεδάφη έδρασης οδοστρωμάτων.

Κατά τη στατιστική επεξεργασία, η προσοχή επικεντρώθηκε κυρίως στα μεγέθη που προκύπτουν από τη δοκιμή προσδιορισμού των αργιλικών συστατικών στα εδάφη με τη μέθοδο του μπλε του μεθυλενίου και στο ισοδύναμο άμμου. Η επιλογή αυτών των μεγεθών εύκολα μπορεί να δικαιολογηθεί από τα υψηλά ποσοστά λεπτόκοκκου υλικού στα δείγματα και τους σχετικά υψηλούς βαθμούς διογκωσιμότητας που αναμένεται να επιδείξουν στο πεδίο, αποτελώντας πηγή κινδύνων για την ακεραιότητα και μακροβιότητα κατασκευών οδοστρώματος. Οι τιμές του ισοδυναμίου άμμου προέκυψαν ως μέσος όρος τριών επαναλήψεων της πρότυπης διαδικασίας για κάθε δείγμα. Στη δοκιμή του μπλε του μεθυλενίου μετρήθηκε ο όγκος της βαφής V_d . Στην ανάλυση χρησιμοποιήθηκε η ειδική επιφάνεια ASA, η οποία αποτελεί χαρακτηριστικό των εδαφικών δειγμάτων.

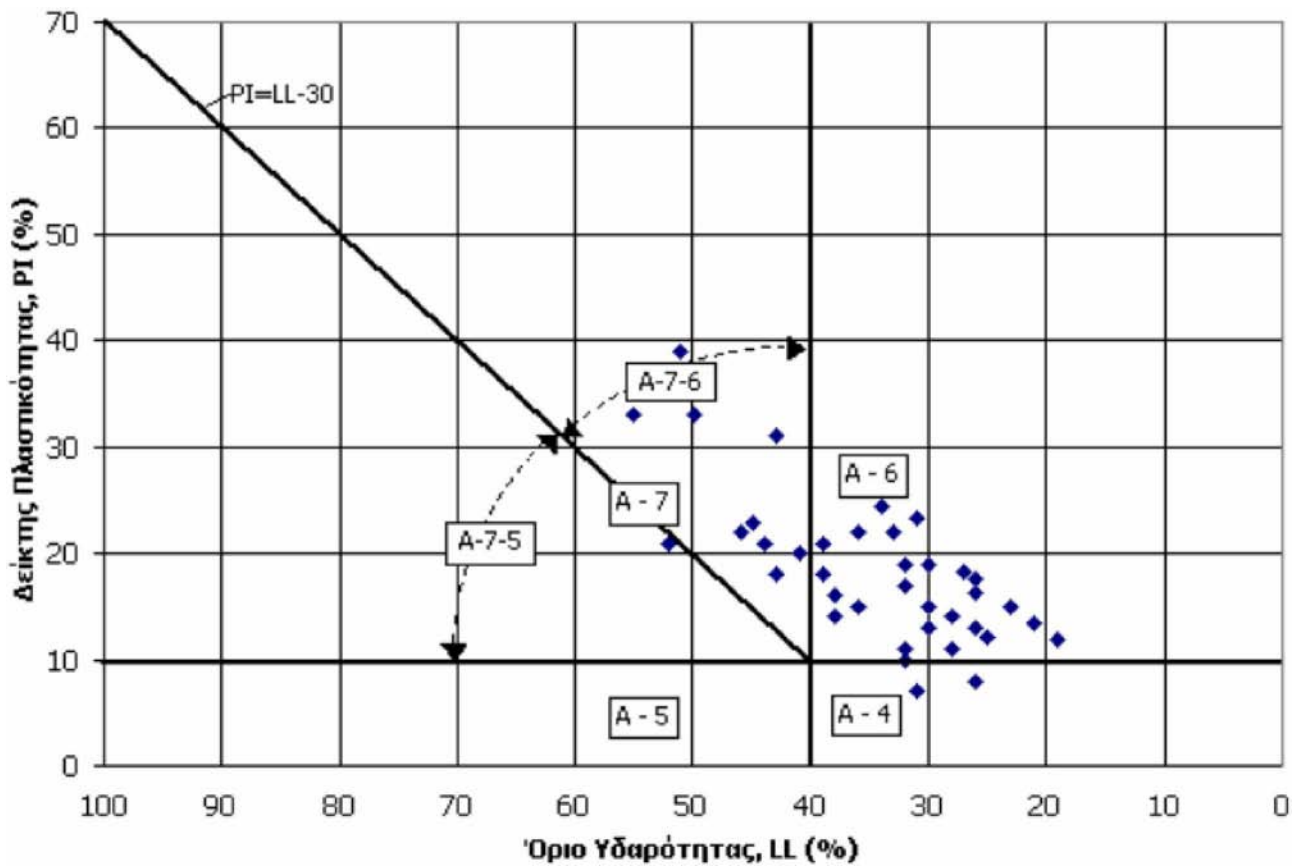
Για τις συσχετίσεις των μεγεθών χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα για τα 40 εδαφικά δείγματα εκτός από την περίπτωση του ορίου πλαστικότητας και του δείκτη πλαστικότητας, όπου στην παλινδρόμηση δεν πάρθηκαν υπόψη οι τιμές των δύο μη πλαστικών εδαφικών δειγμάτων.

Το όριο υδαρότητας LL παρουσίασε καλές συσχετίσεις με όλα τα υπόλοιπα μεγέθη που εξετάστηκαν, εκτός του ποσοστού του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο No. 200 και την τιμή του ισοδυναμίου άμμου.

Το ποσοστό του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο No. 200 δεν συσχετίστηκε ικανοποιητικά με τα άλλα μεγέθη. Σε αρκετές περιπτώσεις οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης ήταν αρνητικοί. Αυτό οφείλεται ίσως στη μικρή διακύμανση των τιμών του.



Σχήμα 1. Κατάταξη εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με το Ενοποιημένο Σύστημα
 Figure 1. Classification of soil samples according to Unified Classification System



Σχήμα 2. Κατάταξη εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με το Σύστημα κατάταξης της AASHTO
 Figure 2. Classification of soil samples according to AASHTO Classification System

Η τιμή του ισοδύναμου άμμου επίσης δεν συσχετίστηκε καλά με κανένα από τα υπόλοιπα μεγέθη αφού οι συντελεστές γραμμικής συσχέτισης αυτού με τα υπόλοιπα μεγέθη ήταν σε όλες τις περιπτώσεις (πλην μίας) αρνητικοί.

Ιδιαίτερα καλός βαθμός συσχέτισης προέκυψε μεταξύ του ορίου υδαρότητας και της γραμμικής συρρίκνωσης. Η εξίσωση η οποία συνδέει τα μεγέθη αυτά έδωσε συντελεστή γραμμικής συσχέτισης r ίσο με 0,83.

$$LL = 19,916 + 1,766 LS \quad (r=0,83) \quad (2)$$

Αυτός είναι και ο υψηλότερος συντελεστής γραμμικής συσχέτισης για τα χαρακτηριστικά μεγέθη των 40 εδαφικών δειγμάτων.

Ο συντελεστής πολυωνυμικής συσχέτισης του ορίου υδαρότητας με τη γραμμική συρρίκνωση ήταν ακόμη μεγαλύτερος και ίσος με 0,84.

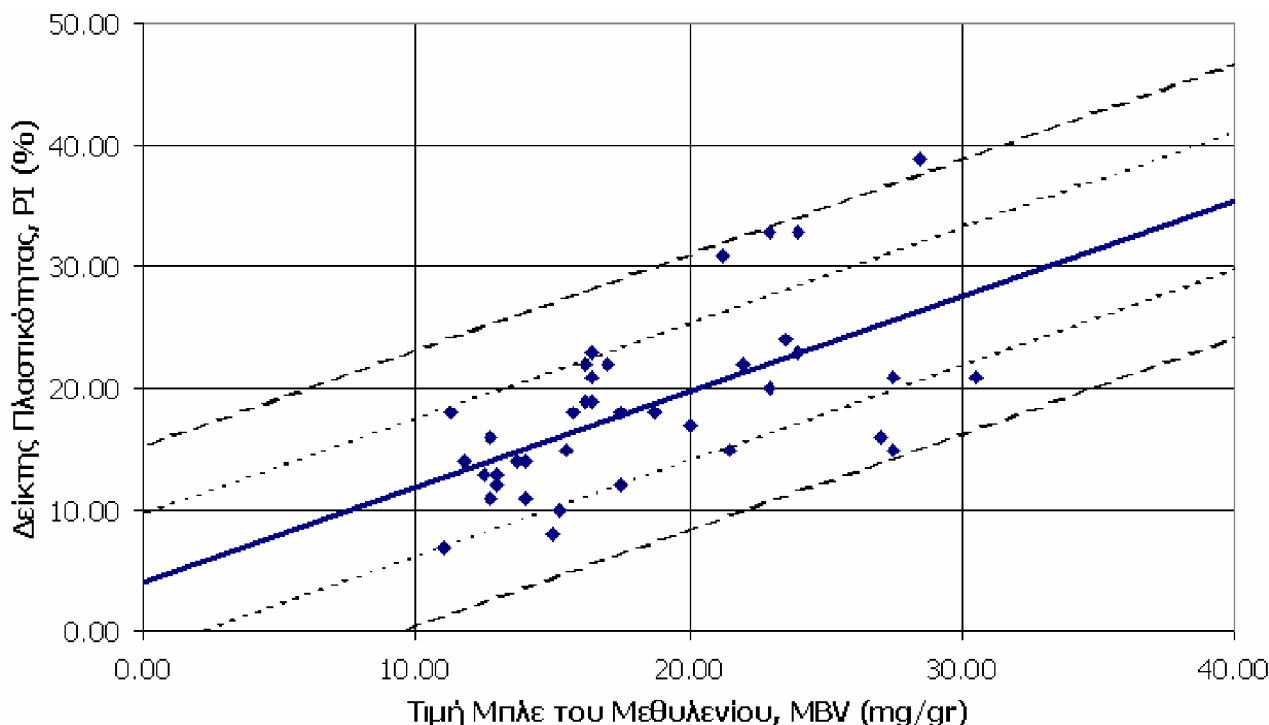
Επίσης σχετικά καλή γραμμική συσχέτιση εμφανίστηκε ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και την ελεύθερη διόγκωση. Ο συντελεστής συσχέτισης της παρακάτω εξίσωσης, η οποία συνδέει τα δύο αυτά μεγέθη, ανήλθε σε 0,72.

$$LL = 18,351 + 0,354 EΔ \quad (r=0,72) \quad (3)$$

Το όριο πλαστικότητας PL των 40 εδαφικών δειγμάτων συσχετίστηκε ικανοποιητικά μόνο με το όριο υδαρότητας. Από τη συσχέτιση αυτή προέκυψε η εξίσωση:

$$PL = 1,459 + 0,428 LL \quad (r=0,63) \quad (4)$$

Γενικά, η κακή συσχέτιση του PL με τα άλλα μεγέθη οφείλεται στις σχετικά μεγάλες ανακρίβειες που υπεισέρχονται στην εκτέλεση της δοκιμής εύρεσης του ορίου πλαστικότητας των εδαφών.



Σχήμα 3. Καμπύλη συσχέτισης του δείκτη πλαστικότητας και τιμής του μπλε του μεθυλενίου
Figure 3. Correlation curve of the Plasticity Index against the methylene blue value

Ο δείκτης πλαστικότητας, PI, έδωσε καλές συσχετίσεις με τη γραμμική συρρίκνωση και το όριο υδαρότητας και λιγότερο καλές, αλλά ικανοποιητικές, με την ελεύθερη διόγκωση και την τιμή του μπλε του μεθυλενίου (εξίσωση 5).

$$PI = 3,968 + 0,785 MBV \quad (r=0,61) \quad (5)$$

Αρκετά καλή γραμμική σχέση βρέθηκε μεταξύ γραμμικής συρρίκνωσης και ελεύθερης διόγκωσης (εξίσωση 6).

$$LS = -0,526 + 0,192 EΔ \quad (r=0,83) \quad (6)$$

Για τη συσχέτιση των ορίων Atterberg με τα μεγέθη της δοκιμής του μπλε του μεθυλενίου έχουν γίνει αρκετές ερευνητικές προσπάθειες (Αθανασοπούλου, 1995). Για τα εξετασθέντα δείγματα, καλή στάθμη συσχέτισης πάρθηκε από τη συσχέτιση του ορίου υδαρότητας με την τιμή του μπλε του μεθυλενίου:

$$LL = 14,23 + 1,12 MBV \quad (r=0,74) \quad (7)$$

Καλές συσχετίσεις ήταν αυτές του PI (Σχήμα 3, $r=0,61$) της γραμμικής συρρίκνωσης και της ελεύθερης διόγκωσης με την τιμή του μπλε του μεθυλενίου.

$$LS = -1,135 + 0,516 MBV \quad (r=0,72) \quad (8)$$

$$ED = 8,892 + 2,001 MBV \quad (r=0,65) \quad (9)$$

Εμπειρικές σχέσεις παρόμοιες με αυτές που προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία των εργαστηριακών αποτελεσμάτων, απαντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία.

Πολύ καλή γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στην ειδική επιφάνεια και το ποσοστό υλικού με διάμετρο $<2\mu$ έχει βρεθεί (Ξειδάκης, 1979) σε οκτώ αργιλικά ορυκτά, περιγραφόμενη από την εξίσωση (10) και με συντελεστή συσχέτισης $r=0,946$.

$$ASA=6,97x(\%υλικού<1\mu)-27,34 \quad (10)$$

Σχετικά μικρότερη συσχέτιση ανάμεσα στα δύο προαναφερθέντα μεγέθη ($r=0,65$) έχει βρεθεί για δεκαεννέα βρετανικά εδάφη (Farrar και Coleman, 1967) τα οποία περιείχαν μικρή ποσότητα μοντμοριλλονίτη.

Για τη συσχέτιση των ορίων Atterberg με τα μεγέθη της δοκιμής και την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, CEC, έχουν γίνει αρκετές έρευνες. Υψηλή στάθμη συσχέτισης ($r=0,80$) πάρθηκε (Taylor, 1985) ανάμεσα στο δείκτη πλαστικότητας και την τιμή του CEC.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα εδάφη των περισσότερων περιοχών δειγματοληψίας είναι δυσμενή ή ακατάλληλα για να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα έργων οδοποιίας. Σε ένα νέο σύστημα κατάταξης, εδάφη με ομοιογενείς μηχανικές ιδιότητες είναι δυνατόν να διακριθούν σε κατηγορίες, οι οποίες θα στηρίζονται στη δραστικότητα της αργιλικής φάσης -πιο συγκεκριμένα στη συνολική ειδική επιφάνεια, δηλαδή στην τιμή του μπλε του μεθυλενίου- σε συνδυασμό με την κοκκομετρική τους διαβάθμιση.

Η συσχέτιση των τιμών των μεγεθών που προέκυψαν από τις δοκιμές στο μπλε του μεθυλενίου με τις αντίστοιχες τιμές των δεικτών από τις δοκιμές Atterberg, την κοκκομετρία του εδάφους (αργιλικό κλάσμα, ποσοστό υλικού διερχόμενου από το κόσκινο No. 200) και με την τιμή του ισοδυνάμου άμμου έδειξε ότι αφ' ενός υφίσταται γραμμικότητα στις σχέσεις αυτές και αφ' ετέρου οι συντελεστές συσχέτισης

είναι ιδιαίτερα υψηλοί. Φυσικά, προκειμένου να τύχουν γενικής εφαρμογής, οι ευρεθείσες σχέσεις πρέπει να επιβεβαιωθούν με την επανάληψη των πειραματικών διαδικασιών σε πολλά ακόμη δείγματα από την περιοχή.

Η ακρίβεια προσέγγισης ενός μεγέθους θα ήταν μεγαλύτερη αν γινόταν μέσω σχέσεων που το συνέδεαν με δύο ή περισσότερα μεγέθη, ιδιαίτερα εάν αυτά είχαν προκύψει από διαφορετικές εργαστηριακές δοκιμές. Η αξιοπιστία των συσχετίσεων θα ήταν επίσης μεγαλύτερη, εάν εξετάζονταν αδιατάρακτα και όχι αναζυμωμένα εδαφικά δείγματα.

Ένα πολύ καλό κριτήριο για τη μελλοντική αξιοποίηση των ευρημάτων αυτής της έρευνας αποτελεί η επαλήθευσή τους από παρόμοιες εργασίες που απαντώνται στη διεθνή βιβλιογραφία.

Οι έλεγχοι καταλληλότητας οι οποίοι στηρίζονται στις εργαστηριακές δοκιμές που χρησιμοποιήθηκαν, λόγω της απλότητάς τους μπορούν να μεταφερθούν και στις επί τόπου δοκιμασίες.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Farrar, D.M. and J.D. Coleman (1967). "The correlation of surface area with other properties of 19 British clay soils", *Journal of Soil Science*, Vol. 18, No.1, pp. 118-124.
- Taylor, R.K. (1985). "Cation exchange in clays and mudrocks by methylene blue", *J. Chem. Tech. Viotechnol.*, 35A, pp. 195-207.
- Tran Ngoc Lan, (1984). "L'essai au bleu de méthylène en turbidimétrique", *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 29, pp. 453-456.
- Αθανασοπούλου, Δ.Α. (1995) "Βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων υλικών που χρησιμοποιούνται σε χωματουργικές εργασίες και οδοστρώματα. Εφαρμογή σε εδάφη που απαντώνται στο χώρο της Θράκης», διδακτορική διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΔΠΘ, Ξάνθη
- Αθανασοπούλου, Δ.Α. και Κολλάρος, Α.Γ. (1995). "Χρησιμοποίηση της δοκιμής του μπλε του μεθυλενίου για την αναγνώριση διογκούμενων εδαφών", Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Οδοποιίας, ΤΕΕ, Λάρισα, σελ. 293-303.
- Ξειδάκης, Σ.Γ. (1979). "Assessment of the engineering and other properties of expansive soils by various methods", *Doctoral Dissertation*, Dept. of Civil Engineering, University of Leeds.

