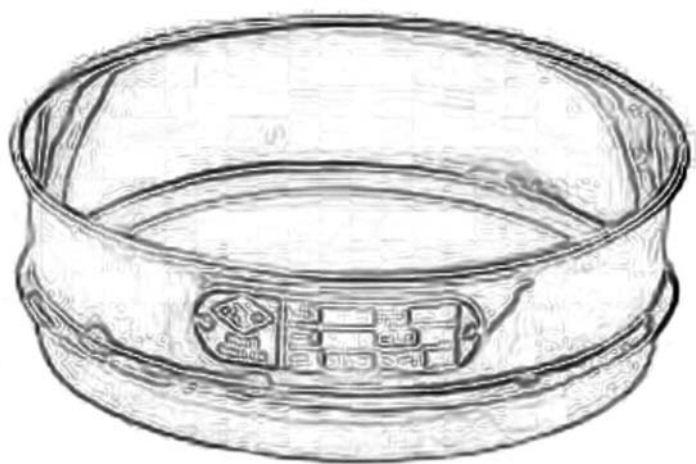


Κεφάλαιο 1

**Το έδαφος:
φυσικές ιδιότητες -
ταξινόμηση εδαφών**
(physical properties -
soil classification)



1.1. Φυσικές ιδιότητες εδαφών

(Εργαστηριακός προσδιορισμός)

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Η δοκιμή αυτή έχει ως σκοπό τη μέτρηση της μάζας του νερού που περιέχεται στο δείγμα του εδαφικού σχηματισμού. Ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του νερού που υπάρχει μέσα στους πόρους (W_w) προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους (W_s), δηλαδή:

$$m = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 (\%)$$

Τρόπος εργασίας (ASTM D-2216/80). Κατά την επιλογή του δοκιμίου για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητάς του σε νερό πρέπει να προσέξουμε αυτό να είναι αντιπροσωπευτικό και να μην έχει υποστεί επιφανειακή ξήρανση. Το ποσό του εδάφους που λαμβάνεται για τον προσδιορισμό της υγρασίας εξαρτάται από τον τύπο του εδαφικού σχηματισμού και τη διατιθέμενη ποσότητα. Γενικά όσο μεγαλύτερο είναι το δοκίμιο τόσο ακριβέστερος είναι ο προσδιορισμός, γιατί τα προσδιοριζόμενα βάρη είναι μεγαλύτερα.

Τα δείγματα για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας σε νερό ζυγίζονται με ακρίβεια (W) όσο το δυνατόν γρηγορότερα μετά την έναρξη της δοκιμής, ώστε να μειωθούν στο ελάχιστο οι επιδράσεις από την επιφανειακή ξήρανση. Στη συνέχεια το δοκίμιο ξηραίνεται στο φούρνο σε θερμοκρασία 105° - 110° C μέχρι σταθερού βάρους. Ο χρόνος ξηράνσεως εξαρτάται από τον τύπο, την ποσότητα και το σχήμα του δοκιμίου. Για να είμαστε σίγουροι ότι το δοκίμιο έχει ξηραθεί εντελώς, συνιστάται χρόνος ξήρανσης μίας ημέρας.

Μετά την απομάκρυνσή του από το φούρνο, το δείγμα ψύχεται και ζυγίζεται εκ νέου (W_s). Η περιεκτικότητα σε νερό υπολογίζεται ως:

$$m = \frac{W - W_s}{W_s} 100(\%)$$

Όταν η μέτρηση αναφέρεται σε δείγμα προερχόμενο από φυσική θέση ονομάζεται φυσική υγρασία.

Κώδικας SPEEDY: Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού της φυσικής υγρασίας γίνεται με τον κώδικα του Speedy και χρησιμοποιείται για *επί τόπου μετρήσεις* στην ύπαιθρο (AASHTO T-217). Η συσκευή αυτή (Εικ.1.1.1) δίνει γρήγορα τιμές φυσικής υγρασίας ικανοποιητικής ακρίβειας στην ύπαιθρο, όπου δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την παραπάνω εργαστηριακή μέθοδο.

Το εδαφικό δείγμα το τοποθετούμε σε μια ειδική ζυγαριά, η οποία μας επιτρέπει τη χρήση συγκεκριμένου βάρους δείγματος. Το τοποθετούμε στον κώδωνα και προσθέτουμε ανθρακασβέστιο, μία υγροσκοπική χημική ουσία για να απορροφήσει το νερό και δύο μεταλλικές μπίλιες. Ανακινούμε το δοχείο για 10'' με παύσεις 20'' και επαναλαμβάνουμε τον κύκλο για 3', έτσι ώστε να ανακατευτεί το περιεχόμενο. Η παραπάνω διαδικασία τροποποιείται ανάλογα με τον τύπο του εδαφικού υλικού που θα χρησιμοποιήσουμε για τον προσδιορισμό της φυσικής του υγρασίας. Κατά τη διαδικασία αυτή εκλύεται ακετυλένιο ($\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{C}_2\text{H}_2$) που ασκεί πίεση στο μανόμετρο που βρίσκεται στη βάση του κυλινδρικού δοχείου. Στη βάση του κώδωνα μπορούμε απ' ευθείας να διαβάσουμε το ποσοστό της φυσικής υγρασίας.



Εικ. 1.1.1. Κώδωνα SPEEDY

ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ

Το φαινόμενο βάρος ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους του εδάφους προς τον όγκο του εδάφους:

$$\gamma = \frac{W}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

όπου W το συνολικό βάρος του δείγματος όπου συμπεριλαμβάνονται και οι πόροι με το περιεχόμενό τους (αέρας + νερό) και V ο συνολικός όγκος του δείγματος (Χρηστάρας, 2006).

Τρόπος εργασίας (AASHTO T-147, ASTM C-29). Γεμίζουμε έναν ογκομετρικό κύλινδρο με απεσταγμένο νερό, καταγράφοντας ακριβώς τη στάθμη του νερού (αρχική ένδειξη). Παίρνουμε εδαφικό δείγμα βάρους περίπου 100 gr και σχήματος τέτοιου που να χωράει εύκολα στον ογκομετρικό σωλήνα. Το ζυγίζουμε με ακρίβεια και στη συνέχεια για να μην διαλυθεί το δείγμα στο νερό και για να μην αλλοιωθεί η φυσική του περιεκτικότητα σε νερό, το εμποτίζουμε σε λειωμένη παραφίνη ώστε να επικαλυφθεί όλη η επιφάνεια του δείγματος με μια λεπτή φλούδα παραφίνης. Έτσι εμποδίζεται η εισχώρηση του νερού στους πόρους του δείγματος. Στη συνέχεια ζυγίζεται παραφινωμένο το δείγμα και εισάγεται με προσοχή μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο. Καταγράφουμε κατόπιν την νέα ένδειξη της στάθμης του νερού (τελική ένδειξη).

Πίνακας 1.1.1. Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους γ

A	Βάρος υγρού εδάφους	(gr)	
B	Βάρος υγρού εδάφους + παραφίνης	(gr)	
Γ	Βάρος παραφίνης (Γ=B-A)	(gr)	
Δ	Ειδικό βάρος παραφίνης	(gr/cm ³)	0.89
E	Όγκος παραφίνης (Γ/Δ)	(cm ³)	
Z	Αρχική ανάγνωση στάθμης ύδατος	(cm ³)	
H	Τελική ανάγνωση στάθμης ύδατος	(cm ³)	
Θ	Όγκος εδάφους + παραφίνης (Θ=H-Z)	(cm ³)	
I	Όγκος εδάφους (I=Θ-E)	(cm ³)	
K	Φαινόμενο βάρος (A/I)	(gr/cm ³)	

Από τη διαφορά της αρχικής και τελικής ένδειξης της στάθμης του νερού μέσα στο σωλήνα, βρίσκουμε τον όγκο του παραφινωμένου δείγματος. Από αυτόν τον όγκο αφαιρούμε τον όγκο της παραφίνης που βρίσκουμε δια διαίρεσης του βάρους της με το ειδικό της βάρος. Έτσι προσδιορίζεται ο όγκος του εδαφικού δείγματος. Με διαίρεση του βάρους του εδάφους με τον όγκο του βρίσκουμε το φαινόμενο βάρος (Πίνακας 1.1.1).

Το φαινόμενο βάρος συνδέεται με τις άλλες φυσικές ιδιότητες των εδαφών με τις σχέσεις:

$$\gamma = \frac{S \cdot \gamma_w \cdot \gamma_s \cdot (1 + m)}{S \cdot \gamma_w + \gamma_s \cdot m} = \gamma_d \cdot (1 + m)$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\gamma_s + e \cdot \gamma_w}{1 + e} = \frac{m + 1}{m + 1/\gamma_s}$$

Το φαινόμενο βάρος βυθισμένου εδάφους γ_{sub} αναφέρεται στην περίπτωση που το έδαφος βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα ($\gamma_{\text{sub}} = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = \gamma_s - \gamma_w / (1+e)$).

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ ΕΔΑΦΩΝ

Το ειδικό βάρος ενός εδάφους είναι ο λόγος του βάρους ορισμένου όγκου κόκκων εδάφους προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου νερού θερμοκρασίας 4° C.

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w}$$

Με δεδομένο ότι το ειδικό βάρος του νερού γ_w , σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας ισούται με 1, το ειδικό βάρος των στερεών συστατικών γ_s ενός εδάφους ισούται αριθμητικά με το λόγο του βάρους της στερεάς ύλης (δηλαδή μόνο το βάρος των κόκκων) προς τον αντίστοιχο όγκο (Χρηστάρας, 2006).

Τρόπος εργασίας (*ASTM D-854/83, AASHTO T-100/75*). Ο ογκομετρικός κύλινδρος καθαρίζεται, ξηραίνεται, ζυγίζεται και το βάρος αυτού αναγράφεται. Στη συνέχεια γεμίζεται με απεσταγμένο νερό πραγματικής θερμοκρασίας δοματίου μέχρι τα 100 ml. Προσδιορίζεται κατόπιν το βάρος του ογκομετρικού κυλίνδρου με το νερό (W_a) και καταγράφεται.

Το έδαφος που θα χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή του ειδικού βάρους μπορεί ή να περιέχει τη φυσική του υγρασία ή να έχει ξηραθεί σε κλίβανο. Το βάρος του δείγματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 25 gr.

Το δείγμα τοποθετείται μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο και στη συνέχεια γεμίζεται με απεσταγμένο νερό μέχρι τα 100 ml. Λαμβάνεται το βάρος W_b του κυλίνδρου με το περιεχόμενό του και η θερμοκρασία T_x του περιεχομένου σε °C.

Παρουσίαση αποτελεσμάτων. Το ειδικό βάρος εδάφους ως προς νερό θερμοκρασίας T_x υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$T_x/T_y \text{ (}^\circ\text{C)} = \frac{W_o}{W_o + (W_a - W_b)}$$

όπου: W_o το βάρος του ξηρού δείγματος εδάφους

W_a το βάρος του δοχείου γεμάτου με απεσταγμένο νερό

W_b το βάρος του δοχείου γεμάτου με το απεσταγμένο νερό και το ξηρό δείγμα σε θερμοκρασία T_x

T_x η θερμοκρασία του περιεχομένου του δοχείου κατά τη μέτρηση του βάρους W_b .

Οι τιμές του ειδικού βάρους στην πράξη αναφέρονται ως προς νερό θερμοκρασίας 20 °C. Η τιμή ως προς νερό 20 °C υπολογίζεται από την τιμή για το νερό στην θερμοκρασία T_y που μετρήθηκε, με τον ακόλουθο τρόπο:

$$\frac{T_x}{T_{20}^\circ\text{C}} = k \cdot \frac{T_x}{T_y} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

όπου k ο αριθμός που προκύπτει από την διαίρεση της σχετικής πυκνότητας

Πίνακας 1.1.2. Σχετική πυκνότητα νερού και συντελεστής αναγωγής K για διάφορες θερμοκρασίες

Θερμοκρασία °C	Σχετική πυκνότητα νερού	Συντελεστής διορθώσεως (αναγωγής) K
18	0.9986244	1.0004
19	0.9984347	1.0002
20	0.9982343	1.0000
21	0.9980233	0.9998
22	0.9978019	0.9996
23	0.9975702	0.9993
24	0.9973286	0.9991
25	0.9970770	0.9989
26	0.9968156	0.9986
27	0.9965451	0.9983
28	0.9962652	0.9980
29	0.9959761	0.9977
30	0.9956780	0.9974

του νερού θερμοκρασίας T_y δια της σχετικής πυκνότητας του νερού στους 20°C και οι τιμές του λαμβάνονται από τον πίνακα 1.1.2.

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού του ειδικού βάρους γίνεται με την συσκευή κενού. Με τη βοήθεια της συσκευής αυτής μετράμε τον όγκο του ξηρού δείγματος (V_s) το οποίο προηγουμένως έχουμε ζυγίσει (W_s). Έτσι από το βάρος του ξηρού δείγματος και τον όγκο του υπολογίζουμε το ειδικό του βάρος.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΚΕΝΟΥ

Πορώδες ονομάζεται ο λόγος του όγκου των κενών V_v ενός δείγματος δια του συνολικού του όγκου V (Χρηστάρας, 2006).

$$n = \frac{V_v}{V} \cdot 100 (\%)$$

Τον ολικό όγκο του δείγματος V τον υπολογίζουμε με τον τρόπο που περιγράφεται παραπάνω για τον υπολογισμό του φαινόμενου βάρους. Με τη

συσκευή κενού μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο των στερεών συστατικών V_s . Από τη σχέση $V_v = V - V_s$ υπολογίζουμε τον όγκο των κενών και επομένως και το πορώδες.

Επίσης μπορεί να υπολογιστεί σε σχέση με τις άλλες φυσικές ιδιότητες με βάση τους παρακάτω τύπους:

$$n = \frac{e}{1 + e} = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}$$

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΟΡΩΝ, ΞΗΡΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ, ΒΑΘΜΟΥ ΚΟΡΕΣΜΟΥ ΚΑΙ ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Δείκτης πόρων. Ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών V_v ενός εδαφικού σχηματισμού προς τον όγκο των στερεών συστατικών V_s :

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1 - n}$$

Επίσης μπορεί να υπολογιστεί σε σχέση με τις άλλες φυσικές παραμέτρους με βάση τους παρακάτω τύπους:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 = \frac{\gamma_s \cdot (1 + m)}{\gamma} - 1$$

Σε συνθήκες κορεσμού ισχύει $e = m \cdot \gamma_s / \gamma_w$, ενώ για μερικά κορεσμένο έδαφος είναι $e = m \cdot \gamma_s / S$.

Ξηρό φαινόμενο βάρος (ξηρή πυκνότητα). Είναι το ξηρό βάρος του υλικού προς τον συνολικό όγκο του δείγματος.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Οι σχέσεις που συνδέουν το ξηρό φαινόμενο βάρος με τις άλλες φυσικές ιδιότητες είναι:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + m} = \frac{\gamma_s}{1 + e} = (1 - n) \cdot \gamma_s$$

Σε συνθήκες κορεσμού: $\gamma_d < \gamma < \gamma_{\text{sat}}$.

Βαθμός κορεσμού. Η σχέση των κενών χώρων (του πορώδους) που είναι γεμάτοι με νερό προς το συνολικό πορώδες χαρακτηρίζει το βαθμό κορεσμού του εδάφους:

$$S_w = \frac{n_w}{n} = \frac{V_w}{V_v} = \frac{\gamma_s \cdot m}{\gamma_w \cdot e}$$

Στην κατάσταση κορεσμού ($S=1$), η περιεκτικότητα σε νερό έχει τη μεγαλύτερη τιμή της.

Σχετική πυκνότητα: Η μηχανική συμπεριφορά των κοκκωδών εδαφών εξαρτάται έντονα από την πυκνότητα της διάταξης των κόκκων που εκφράζεται με το δείκτη σχετικής πυκνότητας D_r .

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \cdot 100$$

Όταν $e=e_{\max}$ τότε $D_r=0$ %, ενώ όταν $e=e_{\min}$ τότε $D_r=100$ %.

1.2. Όρια Atterberg ---

(Εργαστηριακός προσδιορισμός)

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΟΡΙΩΝ ATTERBERG

Ένα έδαφος είναι πλαστικό, όταν τα μικροτεμαχίδια του βρίσκονται κυρίως στην κοκκομετρική περιοχή της αργίλου και της ιλύος και αποτελούνται από πλαστικά ορυκτά που έχουν την ικανότητα να προσλαμβάνουν νερό. Η περιεκτικότητα σε νερό παίζει αποφασιστικό ρόλο στις ιδιότητες αντοχής και στερεότητας του υλικού. Στα κοκκώδη εδάφη η μεταβολή του περιεχόμενου νερού παίζει μικρό ρόλο στην αντοχή του, αλλά στα συνεκτικά εδάφη μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές. Η συμπεριφορά των αργιλικών εδαφών σε σχέση με την περιεκτικότητά τους σε νερό προκύπτει από τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg (Χρηστάρας, 2006).

Όριο υδαρότητας (LL)

Ορίζεται ως η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό κατά την χρονική στιγμή που το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή (ρευστή) κατάσταση. Αυτό προσδιορίζεται με τη συσκευή CASAGRANDE (AASHO T-89/76, ASTM D-4318/83).

Η συσκευή CASAGRANDE (Εικ.1.2.1.) πρέπει να επιθεωρείται για να διαπιστωθεί η καλή κατάσταση λειτουργίας της, ότι δεν έχει επέλθει φθορά στον πείρο που συγκρατεί τη μεταλλική κάψα, ότι είναι σφιγμένοι οι κοχλίες σύνδεσής της και ότι δεν έχει χαραχθεί λόγω μακράς χρήσης.

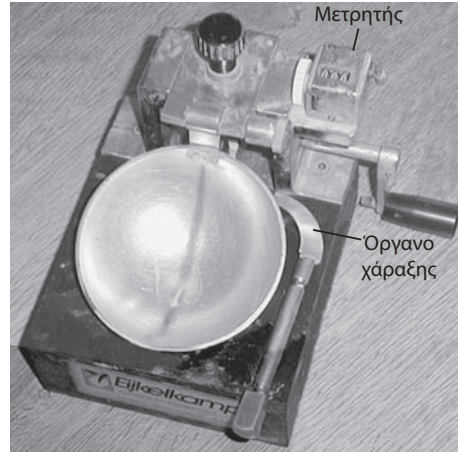
Με τον μετρητή που υπάρχει στο πίσω μέρος του οργάνου χάραξης ρυθμίζουμε το ύψος από το οποίο θα πέφτει η μεταλλική κάψα, ώστε αυτό να εί-

να ακριβώς 1 cm πάνω από τη βάση. Στη συνέχεια σταθεροποιούμε την πλάκα ρύθμισης σφίγγοντας τους κοχλίες και ελέγχουμε την ρύθμιση περιστρέφοντας τον στρόφαλο μερικές φορές. Εάν η ρύθμιση είναι καλή θα ακούγεται ένας ελαφρύς ήχος, όταν η προεξοχή του στρόφαλου εφάπτεται της προεξοχής της κάψας. Εάν η μεταλλική κάψα ανυψώνεται ή δεν ακούγεται ο ελαφρύς ήχος πρέπει να γίνει ξανά η ρύθμιση.

Από το δείγμα μας (περίπου 100 gr) απομακρύνονται με κοσκίνισμα όλα τα τεμάχια που έχουν μέγεθος >0.4 mm (κόσκινο No.40) και το υπόλοιπο μέρος ζυμώνεται με τόσο νερό (περίπου $15-20$ cm³), ώστε να σχηματιστεί μία μαλακή μάζα. Ανακατεύουμε πάρα πολύ καλά με τη σπαθίδα μέχρις ότου κατανεμηθεί ομοιόμορφα το νερό στο δείγμα. Παραπάνω προσθήκη νερού γίνεται σε ποσότητα $1-3$ cm³. Στη συνέχεια παίρνουμε μέρος της ομοιόμορφης πηκτής μάζας και την τοποθετούμε στο κύπελλο της συσκευής και στο μέρος πάνω από το σημείο που ακουμπά η μεταλλική κάψα στη βάση της συσκευής. Απλώνεται το υλικό έτσι ώστε το μεγαλύτερο βάθος του δείγματος να είναι 1 cm. Το εντός του κυπέλλου έδαφος διαιρείται με μια σταθερή διαδρομή του οργάνου χαράξεως κατά μήκος της διαμέτρου που διέρχεται από το μέσο του στηρίγματος του κυπέλλου, έτσι ώστε να σχηματιστεί μία καθαρή και απότομη χαραγή καταλλήλων διαστάσεων.

Προς αποφυγή δημιουργίας σχισμών επί των πλευρών της χαραγής ή ολίσθησης του εδάφους, επιτρέπονται μέχρι έξι τέτοιοι χειρισμοί. Το βάθος της χαραγής πρέπει να αυξάνει με κάθε χειρισμό, στο τέλος δε πρέπει να φαίνεται ο πυθμένας του κυπέλλου.

Αν γυρίσουμε τώρα το στρόφαλο (δύο γύρους/sec) τότε η λεκάνη πέφτει ρυθμικά πάνω στο βάθρο του οργάνου μέχρις ότου η χαραγή κλείσει σε μήκος 12.7 mm περίπου. Αναγράφεται ο αριθμός των κύττων που χρειάστηκαν για να κλείσει η χαραγή. Κατά τη στιγμή αυτή από ένα μέρος του δείγματος προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε νερό. Διεξάγονται για κάθε δείγμα τρεις τουλάχιστον δοκιμές για διαφορετικές περιεκτικότητες νερού και για κτυπήματα >10 και <40 .



Εικ. 1.2.1. Συσκευή Casagrande

Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών μεταφέρονται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα (αριθμός κύππων σε λογαριθμική κλίμακα και περιεχόμενης υγρασίας ως τετημημένη σε δεκαδική κλίμακα), όπου η σύνδεση των σημείων μας δίνει ευθεία γραμμή. Το όριο υδαρότητας LL τότε είναι η περιεκτικότητα σε νερό που προκύπτει από την τομή της ευθείας με την τεταγμένη των 25 κύππων. Το όριο υδαρότητας αναφέρεται σε ακέραιες μονάδες.

Μέθοδος πενετρόμετρου πίπτοντος κώνου

Είναι εργαστηριακή μέθοδος που χρησιμοποιείται συνήθως για λεπτόκοκκα εδάφη. Κατά τη μέθοδο αυτή κωνικό βαρίδιο (Εικ.1.2.2.) συγκεκριμένου βάρους και γωνίας ανοίγματος κρέμεται με την κορυφή του κώνου σε επαφή με το εδαφικό δείγμα. Το βαρίδιο απελευθερούμενο βυθίζεται εντός του εδάφους. Το βάθος διείσδυσης του κώνου, ανάλογα με το βάρος του, σχετίζεται με την διατμητική αντοχή του εδάφους με την παρακάτω σχέση του Hansbo (Hansbo, 1957):

$$C_u = 9.8 \cdot \frac{K \cdot M}{p^2} \text{ (KPa)}$$

όπου M η μάζα του κώνου (gr), p το βάθος διείσδυσης του κώνου μέσα στο έδαφος και K σταθερά που εξαρτάται από τη γωνία ανοίγματος του κώνου (Πίνακας 1.2.1)

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τον υπολογισμό του ορίου υδαρότητας (Leroueil et al., 1985, BNQ-2501-092). Χρησιμοποιείται το κωνικό βαρίδιο με βάρος 60 gr και γωνία 60° και εκτελείται η δοκιμή για διάφορα ποσοστά υγρασίας. Κατασκευάζεται δεκαδικό διάγραμμα «βάθος διείσδυσης (mm)» – «περιεκτικότητα σε νερό (%)» και το όριο υδαρότητας υπολογίζεται από την περιεκτικότητα σε νερό που αντιστοιχεί σε 10 mm βάθους διείσδυσης.

Πίνακας 1.2.1. Τιμές της σταθεράς K σε σχέση με τη γωνία ανοίγματος του πίπτοντος κώνου

Γωνία ανοίγματος κώνου	K, έδαφος αδιατάρακτο	K, έδαφος αναζυμωμένο
30°	1.0	0.8
60°	0.25	0.27



Εικ. 1.2.2. Συσκευή πίπτοντος κώνου

Το βάθος διείσδυσης (z) που αντιστοιχεί στο όριο υδαρότητας εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων του εδαφικού δείγματος και μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση: $z = 6 \cdot C^{0.14}$, όπου C το ποσοστό της αργίλου (*Christaras, 1991*).

Όριο πλαστικότητας (PL)

Το όριο πλαστικότητας αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm χωρίς αυτός να θραύεται (*AASHTO T-90/70, ASTM D-4318/83*).

Αν η περιεκτικότητα του δείγματος σε νερό αρχίσει να ελαττώνεται τότε τα τεμαχίδια του εδάφους πλησιάζουν μεταξύ τους, το υλικό συρρικνώνεται και το έδαφος συμπυκνώνεται. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η συνοχή του εδάφους και μ' αυτή η αντοχή του σε πίεση. Αν εξακολουθήσει να ελαττώνεται η υγρασία του, τότε εισέρχεται μέσα στους πόρους αέρας. Αν το ζυμώσουμε στο χέρι κόβεται σε μικρούς κυλίνδρους. Στο σημείο αυτό έχασε τις πλαστικές του ιδιότητες και προσδιορίζουμε την περιεκτικότητά του σε νερό κατά το όριο πλαστικότητάς υλικού (*Δημόπουλος, 1986*).

Λαμβάνεται ποσότητα εδάφους περίπου 20 gr από υλικό διερχόμενου από το κόσκινο No. 40. Το δείγμα αναμιγνύεται καλά με απεσταγμένο νερό μέχρι που η μάζα καταστεί αρκετά πλαστική ώστε να μορφώνεται σε βώλο. Σαν δείγμα δοκιμής λαμβάνεται μέρος αυτού βάρους περίπου 8 gr.

Η μάζα αυτή κυλινδρώνεται μεταξύ των δακτύλων και της συμριδωμένης γυάλινης πλάκας με την ακριβώς απαιτούμενη πίεση ώστε να κυλινδρωθεί η μάζα σε ραβδίσκο ομοιόμορφου διαμέτρου σε όλο το μήκος του.

Όταν η διάμετρος του ραβδίσκου καταστεί 3 mm, ο ραβδίσκος θραύεται ξανά σε έξι ή οκτώ τεμάχια. Συμπίεζονται τα τεμάχια μεταξύ τους προς ομοιόμορφη μάζα και επαναλαμβάνεται η κυλινδρωση. Η εναλλαγή συνεχίζεται με κυλινδρωση σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm, με συνένωση, με αναζύμωση και επανακυλινδρωση, μέχρι που ο ραβδίσκος θρυμματισθεί με την απαιτούμενη για την κυλινδρωση πίεση και το έδαφος δεν μπορεί πλέον να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο. Ο θρυμματισμός μπορεί να επέλθει όταν ο ραβδίσκος έχει διάμετρο μεγαλύτερη από 3 mm. Αυτό πρέπει να θεωρηθεί ικανοποιητικό σημείο περατώσεως, με τον όρο ότι το έδαφος κυλινδρώθηκε προηγουμένως σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm.

Το όριο πλαστικότητας υπολογίζεται ως περιεχόμενη υγρασία που περιέχεται στους ραβδίσκους των 3 mm και προκύπτει σαν ο μέσος όρος τριών δοκιμών.

Δείκτης πλαστικότητας PI

Ορίζεται ως η περιοχή ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και στο όριο πλαστικότητας ($PI = LL - PL$), όπου το υλικό είναι εύπλαστο. Τα συνεκτικά εδάφη παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό πλαστικότητας, ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος των κόκκων τους (όσο πιο λεπτόκοκκο είναι το έδαφος, τόσο ο δείκτης πλαστικότητας είναι μεγαλύτερος) και από την πετρογραφική τους σύσταση. Με ελαττούμενη περιεκτικότητα σε νερό, τα εδάφη αυτά μεταβαίνουν από τη στερεή δια μέσου της πλαστικής στην ημιστερεή κατάσταση.

Εξαιρέση αποτελούν οι εξής περιπτώσεις:

- Όταν το όριο υδαρότητας ή το όριο πλαστικότητας δεν μπορούν να προσδιοριστούν, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό).
- Όταν το έδαφος είναι εξαιρετικά αμμώδες, η δοκιμή για το όριο πλαστικότητας πρέπει να εκτελείται πριν από το όριο υδαρότητας. Αν το όριο πλαστικότητας δεν μπορεί να προσδιοριστεί, αναφέρονται και το όριο υδαρότητας και το όριο πλαστικότητας σαν NP (μη πλαστικό).
- Όταν το όριο πλαστικότητας είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το όριο υδαρότητας, αναφέρεται ο δείκτης πλαστικότητας σαν NP.

$$\text{Δείκτης υδαρότητας (LI)} \quad LI = \frac{m - PL}{PI} \cdot 100\%$$

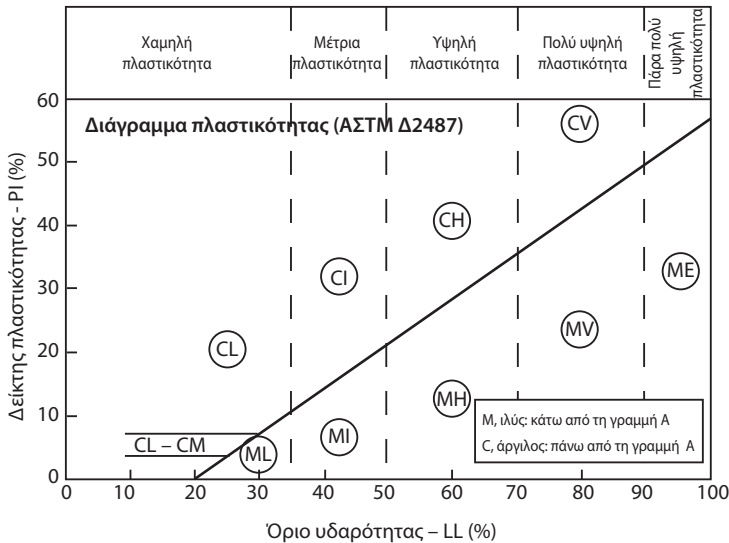
Η συμπεριφορά ενός εδάφους θεμελίωσης εξαρτάται από τη φυσική υγρασία σε σχέση με τα όρια Atterberg και εκφράζεται με το δείκτη υδαρότητας. Όταν $LI=100\%$, το έδαφος βρίσκεται στο όριο υδαρότητας, ενώ όταν $LI=0\%$, το έδαφος βρίσκεται στο όριο πλαστικότητας.

Ενεργότητα

Ο δείκτης PI αποτελεί γραμμική συνάρτηση του % ποσοστού καθαρής αργίλου του εδάφους. Η κλίση της ευθείας καλείται ενεργότητα και ισούται με $PI / \% \text{ αργίλου}$ ($d < 0.002\text{mm}$). Η ενεργότητα αποτελεί κατά κάποιο τρόπο μέτρο της δραστηριότητας του αργιλικού κλάσματος όσον αφορά την ικανότητά του να προσροφήσει νερό. Όταν η ενεργότητα είναι μικρότερη του 0.75 τότε το έδαφος χαρακτηρίζεται ως μη ενεργό, όταν είναι μεταξύ 0.75 και 1.25 ως κανονικό και όταν είναι μεγαλύτερη του 1.25 ως ενεργό.

$$\text{Δείκτης συνεκτικότητας (Ic)} \quad Ic = \frac{LL - m}{PI}$$

Η αντοχή ενός εδάφους θεμελίωσης εξαρτάται από τον Ic του υλικού. Επομένως ο Ic χαρακτηρίζει την διατμητική αντοχή ενός εδάφους η οποία αυξάνει καθώς ο Ic αυξάνει μεταξύ 0 και 1.



Εικ. 1.2.3. Διάγραμμα κατάταξης λεπτόκοκκων εδαφών κατά Casagrande

Είναι $I_c + I_L = 1$. Για $m = LL \Rightarrow I_L = 1$ και $I_c = 0$, ενώ για $m = PL \Rightarrow I_L = 0$ και $I_c = 1$. Όταν ο I_c είναι αρνητικός, η φυσική υγρασία του εδάφους είναι μεγαλύτερη του LL , ενώ όταν ο $I_c > 1$, το έδαφος είναι στην ημιστερεή του κατάσταση.

Πλαστικότητα

Τα λεπτόκοκκα εδάφη διερχόμενα από το κόσκινο No.40 (0.425mm) μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το διάγραμμα κατάταξης λεπτόκοκκων εδαφών κατά Casagrande (ASTM D-2487/83) που χρησιμοποιεί το συνδυασμό "όριο υδαρότητας (LL) - δείκτης πλαστικότητας (PI)". Τα ιλυώδη εδάφη έχουν περιορισμένο εύρος πλαστικότητας ενώ τα αργιλικά είναι εξ ολοκλήρου αργιλικά (πάνω από την ευθεία-A. $[PI = 0.73(LL - 20)]$, Εικ. 1.2.3).

Αντοχή

Με τη μέθοδο του πενετρόμετρου κώνου διατυπώθηκε μαθηματική σχέση (Leroueil et al., 1985) που συνδέει τη *διατμητική αντοχή* διαταραγμένου αναζυμωμένου δείγματος (Cur) με τον δείκτη υδαρότητας (I_L):

$$Cur = \frac{1}{(I_L - 0.21)^2} \text{ (KPa)}$$

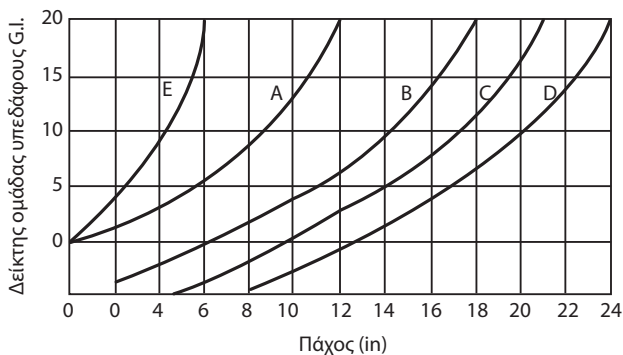
Δείκτης συμπίεσης (Cc)

Είναι η κλίση της καμπύλης $\Delta e - \Delta(\log P)$ του ημιλογαριθμικού διαγράμματος “επιβαλλόμενης πίεσης (P) - δείκτη πόρων (e)” (καμπύλη “ $\log p - e$ ”) που κατασκευάζεται με τα αποτελέσματα της δοκιμής στερεοποίησης. Η καθίζηση οφείλεται αποκλειστικά σε αναδιάταξη των κόκκων με το χρόνο και μείωση του δείκτη πόρων του εδάφους, με απομάκρυνση του νερού των πόρων στην περιοχή της φόρτισης. Ο συντελεστής Cc συνδέεται άμεσα με το όριο υδαρότητας του εδαφικού υλικού σύμφωνα με τη σχέση: $Cc = 0.009 (LL - 10)$.

Δείκτης Ομάδος (GI)

Ο δείκτης ομάδας είναι μια εμπειρική παράμετρος που χρησιμοποιείται κατά αποκλειστικότητα στις γεωτεχνικές μελέτες οδοποιίας για τον υπολογισμό του πάχους του οδοστρώματος (Εικ. 1.2.4). Ο δείκτης ομάδας G.I. υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$G.I. = 0.2 a + 0.005 a c + 0.01 b d$$



Καμπύλη A: Πάχος υπόβασης

Καμπύλη B: Συνολικό πάχος υπόβασης-βάσης και επιφάνειας κύλισης. Ελαφρά κυκλοφορία

Καμπύλη C: Συνολικό πάχος υπόβασης-βάσης και επιφάνειας κύλισης. Μέτρια κυκλοφορία

Καμπύλη D: Συνολικό πάχος υπόβασης-βάσης και στρώσης κύλισης. Βαριά κυκλοφορία

Καμπύλη E: Πάχος συμπληρωματικής βάσης η οποία πιθανόν απαιτείται για την υπόβαση της καμπύλης A

Ελαφρά κυκλοφορία < 50 φορτηγών/ημέρα

Μέτρια κυκλοφορία 50-300 φορτηγών/ημέρα

Βαριά κυκλοφορία > 300 φορτηγών/ημέρα

Εικ. 1.2.4. Διάγραμμα υπολογισμού του πάχους του οδοστρώματος με τη χρήση του δείκτη ομάδας G.I. (Γιαννόπουλος Γ., Τσόχος Γ., 1983)

όπου: α: Ο αριθμός αυτός εκφράζει το % ποσοστό του εδάφους που διέρχεται από το κόσκινο Νο 200, και το οποίο είναι μεγαλύτερο από 35% και όχι παραπάνω από 75%. Είναι θετικός αριθμός ο οποίος παίρνει τιμές από 0-40.

β: Ο αριθμός αυτός εκφράζει το % ποσοστό του εδάφους που διέρχεται από το κόσκινο Νο 200, και το οποίο είναι μεγαλύτερο από 15% και όχι παραπάνω από 55%. Είναι θετικός αριθμός ο οποίος παίρνει τιμές από 0-40.

γ: Ο αριθμός αυτός εκφράζει το όριο υδαρότητας, το οποίο είναι μεγαλύτερο από 40 και όχι παραπάνω από 60. Είναι θετικός αριθμός ο οποίος παίρνει τιμές από 0-20.

δ: Ο αριθμός αυτός εκφράζει τη τιμή του δείκτη πλαστικότητας, ο οποίος είναι μεγαλύτερος από 10 και όχι παραπάνω από 30. Είναι θετικός αριθμός ο οποίος παίρνει τιμές από 0-20.

Ευαισθησία (St)

Η διατάραξη της δομής των αργιλικών εδαφών από οποιοδήποτε μηχανικό ή χημικό λόγο προκαλεί γενικά μείωση της αντοχής του. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «ευαισθησία». Ορίζεται ως ο λόγος της διατμητικής αντοχής αδιατάραχτου αστράγγιστου εδαφικού δείγματος (C_u) προς τη διατμητική αντοχή αναζυμωμένου αστράγγιστου δείγματος (C_{ur}) και δίνεται από τις σχέσεις:

$$St = \frac{C_u}{C_{ur}} \quad St = C_u \cdot (LI - 0.21)^2$$

Μετά την διατάραξη αρχίζει στο έδαφος με το χρόνο μια γενικά αργή διαδικασία μερικής ανάκτησης της αντοχής που καλείται «θιξοτροπία» και οφείλεται σε σταθερότερη αναδιάταξη της δομής και στην ανάπτυξη δεσμών μεταξύ των σωματιδίων οι οποίοι με την πάροδο του χρόνου ισχυροποιούνται (Τσότσος, 1991).

Στις περισσότερες κανονικά στερεοποιημένες αργίλους η αντοχή λόγω αναζύμωσης είναι το 1/5 - 1/10 της αντοχής του αδιατάρακτου δείγματος και επομένως $St = 5-10$. Μερικές άργιλοι έχουν $St=100$ και καλούνται ρέουσες. Οι προφορτισμένες άργιλοι έχουν γενικά ελάχιστη ευαισθησία (μεταξύ 2-4).