



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9
15780 ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΑΘΗΝΑ

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ & ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ

Διδάσκων:

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

ΑΡΧΙΚΕΣ ή ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η εντατική κατάσταση του εδάφους διαμορφώνεται από:

- Το ίδιο βάρος των υπερκείμενων γεωυλικών.
- Τα εξωτερικά φορτία που ασκούνται στην επιφάνεια ή στο εσωτερικό του εδάφους από τις κατασκευές.

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Οι κατακόρυφες γεωστατικές τάσεις, σ_v :

- Υπολογίζονται από το βάρος των υπερκείμενων εδαφικών στρώσεων.

$$\sigma_v = \sum_{i=0}^n \gamma_i h_i$$

- Μεταβάλλονται γραμμικά με το βάθος.

ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΓΕΩΣΤΑΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Οι Οριζόντιες γεωστατικές τάσεις, σ_h , είναι συνάρτηση των κατακόρυφων γεωστατικών τάσεων, σ_v , και του συντελεστή πλευρικών ωθήσεων σε ηρεμία K_0 .

$$\sigma_h = k_0 \sigma_v$$

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΩΘΗΣΕΩΝ ΣΕ ΗΡΕΜΙΑ, K_0

Soil type	Relationship	
Normally consolidated	$K_0 (NC) = 1 - \sin \phi$ (Granular soils) $K_0 (NC) = 0.95 - \sin \phi$ (Clays) $K_0 (NC) = 0.4 + 0.007 PI$ ($PI = 0-40\%$) $K_0 (NC) = 0.64 + 0.001 PI$ ($PI = 40-80\%$)	(Jaky, 1944)
Overconsolidated	$K_0 (OC) = (1 - \sin \phi) OCR^{\sin \phi}$ (Granular soils) $K_0 (OC) = (1 - \sin \phi) OCR^{1/2}$ (Clays)	
Elastic	$K_0 = \nu / (1 - \nu)$	(Terzaghi, 1943)

(Brooker and Ireland, 1965)

Φ : Γωνία Τριβής
NC: Κανονικά Στερεοποιημένα εδάφη
OC: Υπερστερεοποιημένα εδάφη
 ν : Λόγος Poisson
PI: Δείκτης Πλαστικότητας

ΣΤΕΡΕΟΠΟΙΗΣΗ (UC – NC – OC – OCR)

Στερεοποίηση καλείται η διεργασία κατά την οποία λαμβάνει χώρα **μείωση του όγκου** του εδάφους, υπό την επίδραση **στατικής φόρτισης**, εξαιτίας της **απομάκρυνσης του νερού** των πόρων και της αντίστοιχης **μείωσης του πορώδους**.

Εδάφη υπό στερεοποίηση (UC) καλούνται τα εδάφη που έχουν στερεοποιηθεί υπό τη δράση φορτίων, σ_p , μικρότερων από τα υφιστάμενα κατακόρυφα γεωστατικά φορτία, σ_v , ($\sigma_p < \sigma_v$) και κατά συνέπεια εξακολουθούν να βρίσκονται σε καθεστώς στερεοποίησης.

Κανονικά στερεοποιημένα (NC) εδάφη καλούνται τα εδάφη που έχουν στερεοποιηθεί υπό τη δράση φορτίων, σ_p , ίσων με τα υφιστάμενα κατακόρυφα γεωστατικά φορτία, σ_v , ($\sigma_p = \sigma_v$).

Υπερστερεοποιημένα (OC) εδάφη καλούνται τα εδάφη που έχουν στερεοποιηθεί υπό τη δράση φορτίων, σ_p , μεγαλύτερων από τα υφιστάμενα κατακόρυφα γεωστατικά φορτία, σ_v , ($\sigma_p > \sigma_v$).

Δείκτης Υπερστερεοποίησης, OCR, ισούται με το λόγο των φορτίων προστερεοποίησης, σ_p , προς τα υφιστάμενα κατακόρυφα γεωστατικά φορτία, σ_v , ($OCR = \sigma_p / \sigma_v$).

ΣΧΕΣΗ k_o - OCR

Material type	Parameter	Value	k_o for varying overconsolidation ratio (OCR)					
			OCR = 1 (N.C.)	2	3	5	10	20
Sands and gravels	Friction angle	25	0.58	0.77	0.92	1.14	1.53	2.05
		30	0.50	0.71	0.87	1.12	1.58	2.24
		35	0.43	0.63	0.80	1.07	1.60	2.38
		40	0.36	0.56	0.72	1.01	1.57	2.45
		45	0.29	0.48	0.64	0.91	1.49	2.44
Clays	Friction angle	10	0.78	1.10	1.35	1.74	2.46	3.47
		15	0.69	0.98	1.20	1.55	2.19	3.09
		20	0.61	0.86	1.05	1.36	1.92	2.72
		25	0.53	0.75	0.91	1.18	1.67	2.36
		30	0.45	0.64	0.78	1.01	1.42	2.01
Clays	Plasticity index	0 (33)*	0.40	0.57	0.69	0.89	1.27	1.79
		10 (29)	0.47	0.67	0.81	1.05	1.49	2.10
		20 (24)	0.54	0.76	0.94	1.21	1.71	2.42
		30 (20)	0.61	0.86	1.06	1.36	1.93	2.73
		40 (16)	0.68	0.96	1.18	1.52	2.15	3.04
		50 (15)	0.69	0.98	1.20	1.54	2.18	3.09
		60 (14.5)	0.70	0.99	1.21	1.57	2.21	3.13
		70 (14)	0.71	1.00	1.23	1.59	2.25	3.18
80 (13)	0.72	1.02	1.25	1.61	2.28	3.22		

Παρατηρείται **υστέρηση στην εκτόνωση των τάσεων μετά την αφαίρεση των γεωστατικών φορτίων**

* Προσεγγιστική "ισοδύναμη" γωνία τριβής για την εφαρμογή των διαθέσιμων σχέσεων υπολογισμού του k_o .

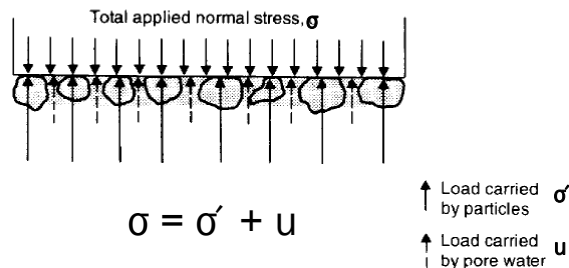
$$k_o(OC) = k_o(NC) OCR^h$$

h: εμπειρικός συντελεστής με τιμή 0,4 – 0,6. (Holtz & Covaks 1981)

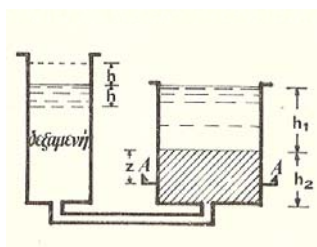
ΕΝΕΡΓΟΣ ΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΙΕΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Οι τάσεις που ενεργούν σε ένα κορεσμένο εδαφικό μέσο (ολικές τάσεις, σ) διακρίνονται :

- Σε αυτές που μεταδίδονται από κόκκο σε κόκκο και παραλαμβάνονται από τον εδαφικό σκελετό (ενεργές τάσεις, σ').
- Σε αυτές που δρουν μέσω του ρευστού υπό τη μορφή της υδροστατικής πίεσης (ουδέτερες τάσεις ή πιέσεις του νερού των πόρων, u).



ΑΠΟΔΕΙΞΗ ΣΧΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΩΝ - ΟΥΔΕΤΕΡΩΝ ΤΑΣΕΩΝ



Ολικές τάσεις στην τομή A-A'

$$\sigma = h_1 \gamma_w + Z \gamma_{sat}$$

Υδροστατικές πιέσεις στην τομή A-A'

$$u = h_1 \gamma_w + Z \gamma_w$$

$$\sigma - u = h_1 \gamma_w + Z \gamma_{sat} - h_1 \gamma_w - Z \gamma_w$$

$$\sigma - u = Z (\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

ΑΡΑ

$$\sigma - u = Z \gamma' = \sigma'$$

ή

$$\sigma = \sigma' + u$$

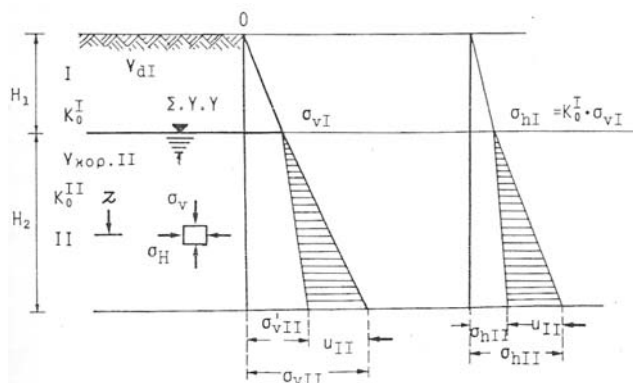
Η ελεύθερη επιφάνεια είναι οριζόντια.

$\sigma'_{v,0} = \sum_{i=1}^n \gamma'_i \cdot h_i$
 $T_{hv}=0, \sigma'_{h,0} = K_0 \cdot \sigma'_{v,0}$

(*) όταν η στρώση βρίσκεται πάνω από την υπόγεια στάθμη, αντί του γ' χρησιμοποιείται το φαινόμενο ειδικό βάρος γ

(Τσότσος Στ., 1991)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ -ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΗΣ ΤΡΙΓΩΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΜΕ ΤΟ ΒΑΘΟΣ



Ολικές τάσεις στη στάθμη H_1+H_2
 $\sigma_v = H_1 \gamma_{dI} + H_2 \gamma_{\text{κορ,II}}$

Ενεργές τάσεις στη στάθμη H_1+H_2
 $\sigma'_v = H_1 \gamma_{dI} + H_2 \gamma_{\text{κορ,II}} - H_2 \gamma_w$
 $\sigma'_h = K_{0II} \sigma'_v$

ΑΡΧΗ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Όλες οι συνέπειες των μεταβολών της εντατικής κατάστασης των εδαφών οφείλονται αποκλειστικά στη μεταβολή των ενεργών τάσεων.

- Όταν σε δύο εδαφικά δείγματα από τον ίδιο σχηματισμό επιδρούν οι ίδιες ενεργές τάσεις, θα λάβουν χώρα και οι ίδιες παραμορφώσεις ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή μη διαφοράς στις απόλυτες τιμές των υδροστατικών πιέσεων και των ολικών τάσεων.
- Όταν παραμένουν σταθερές οι ολικές τάσεις αλλά μεταβάλλονται οι υδροστατικές πιέσεις, εκδηλώνονται παραμορφώσεις λόγω της μεταβολής των ενεργών τάσεων.
- Οι ενεργές τάσεις καθορίζουν τη διατμητική αντοχή και την παραμορφωσιμότητα των εδαφικών υλικών.
- Στα ακόρεστα εδάφη δεν υπάρχει δυνατότητα ανάπτυξης υδροστατικών πιέσεων και οι ολικές είναι ίσες με τις ενεργές τάσεις.
- Όταν μηδενίζονται οι ενεργές τάσεις το εδαφικό υλικό χάνει τη διατμητική του αντοχή καθώς το νερό δεν έχει διατμητική αντοχή.

ΥΠΕΡΠΙΕΣΕΙΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΠÓΡΩΝ

Η μεταβολή της εντατικής κατάστασης των εδαφών προκαλεί την τάση μεταβολής του όγκου τους και έχει σαν συνέπεια την ανάπτυξη υπερπιέσεων του νερού των πόρων.

Διάκριση υπερπιέσεων κατά Skempton (1954).

Υπερπιέσεις, Δu_B , λόγω Ισότροπης φόρτισης, $\Delta \sigma_3$.

$$\Delta u_B = B \Delta \sigma_3$$

Υπερπιέσεις, Δu_A , λόγω Εκτροπικής φόρτισης ($\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3$).

$$\Delta u_A = A B (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)$$

Συνολικές Υπερπιέσεις.

$$\Delta u = B [\Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)]$$

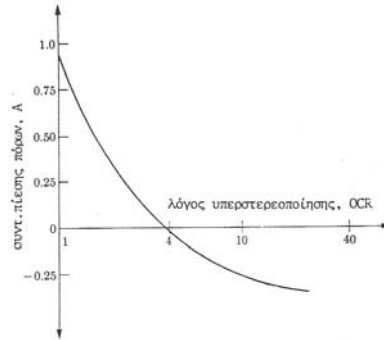
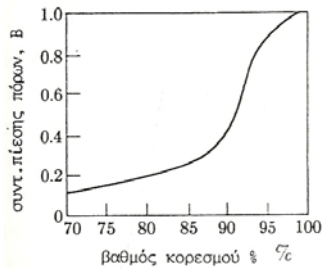
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ B ΚΑΙ A ΚΑΤΑ ΣΚΕΜΡΤΟΝ

$$B = \frac{1}{1 + n \frac{m_n}{m_s}}$$

m_n : Συντελεστής κατ' όγκο συμπιεστότητας των κενών
 m_s : Συντελεστής κατ' όγκο συμπιεστότητας του εδαφικού σκελετού
 n : Πορώδες

Για κορεσμένα εδάφη $m_n = 0$ Άρα $B=1$

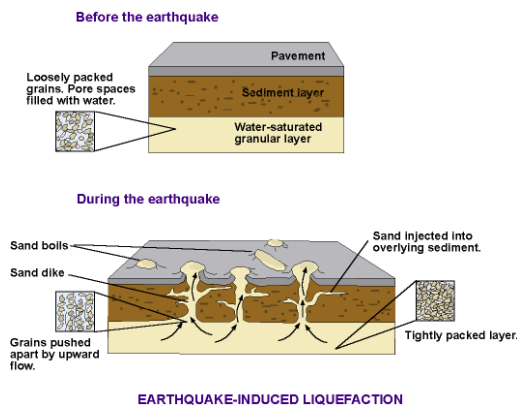
Η παράμετρος A εξαρτάται από τη σχέση της κατ' όγκο συμπιεστότητας και της κατ' όγκο διογκωσιμότητας του εδάφους λόγω μεταβολής των ενεργών τάσεων.



ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Όταν ένας χαλαρός κοκκώδης εδαφικός σχηματισμός υπόκειται σε ανακυκλική δόνηση, όπως στην περίπτωση ενός σεισμού, τότε επιδεικνύει τάση συμύκνωσης δηλαδή μεταβολής του όγκου. Συγκεκριμένα, οι κόκκοι από τους οποίους αποτελείται το εδαφικό υλικό μετακινούνται έχοντας ως στόχο τη μείωση των μεταξύ τους κενών.

Η παρουσία νερού σε αυτά τα κενά, στην περίπτωση κορεσμένων χαλαρών εδαφών σε αστράγγιστες συνθήκες, εμποδίζει αυτή την μετατόπιση. Αυτή η πίεση που μεταφέρεται στο νερό των πόρων, λόγω των αστράγγιστων συνθηκών δεν μπορεί να εκτονωθεί με συνέπεια την απότομη αύξηση της πίεσης των πόρων, u. Η συνεχιζόμενη αύξηση της u αντιστοιχεί σε μείωση των ενεργών τάσεων και κατά συνέπεια και της διατμητικής αντοχής του εδαφικού σχηματισμού έως και τον πλήρη μηδενισμό της (ολική ρευστοποίηση).





ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΚΑΘΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

- > **Γεωλογική ηλικία εδαφικών σχηματισμών** (νεώτερες αποθέσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση από παλιότερες).
- > **Γεωμορφολογικά κριτήρια - περιβάλλον απόθεσης** (ομοιόμορφα ταξινομημένοι σχηματισμοί σε χαλαρή κατάσταση παρουσιάζουν υψηλή επιδεκτικότητα σε ρευστοποίηση).
- > **Στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα** (όσο πιο χαμηλή είναι η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα τόσο μεγαλύτερη αντίσταση θα προβάλλει το συγκεκριμένο εδαφικό στρώμα σε ενδεχόμενη πιθανότητα ρευστοποίησης).
- > **Κοκκομετρική σύσταση των σχηματισμών** (Τα λεπτόκοκκα εδάφη θεωρούνται ικανά να αναπτύξουν τις απαιτούμενες, για τη δημιουργία του φαινομένου, υψηλές πιέσεις πόρων ενώ η παρουσία αργιλικού κλάσματος σε αυτά συντελεί στην ανάπτυξη συνοχής c . Τα χονδρόκοκκα εδάφη είναι πολύ διαπερατά ώστε να διατηρήσουν την απαιτούμενη υπερπίεση του νερού των πόρων μέχρις ότου να προκληθεί ρευστοποίηση).
- > **Σχετική πικνότητα** (Όσο πιο χαλαρή είναι η διάταξη των κόκκων ενός εδάφους τόσο η τιμή του δείκτη πόρων είναι μεγαλύτερη και αντίστοιχα η τιμή της σχετικής πικνότητάς του D_r (%) είναι μικρότερη).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γραμματικόπουλος Γ., Μάνου - Ανδρεάδου Ν., Χατζηγώγος Θ. (1998), Εδαφομηχανική - ασκήσεις και προβλήματα, Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Look B.G. (2007) Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables, Taylor & Francis.
- Παπαδόπουλος Β. (2003), Στοιχεία Γεωτεχνικής, Σημειώσεις ΕΜΠ.
- Smith G.N., Smith I.G.N., (1988) Elements of soil mechanics, Blackwell Science LTD.
- Τσότσος Στ. (1991), Εδαφομηχανική - Θεωρία Μέθοδοι Εφαρμογές, Εκδόσεις Φ. Βερβερίδης & Π. Πολυχρονίδης α.ε., Θεσσαλονίκη.
- Χρηστάρας Β., Δημητρίου Α., Λεμονή Ε., Λουπασάκης Κ., (2002)(β' έκδοση 2006), Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές εδαφομηχανικής, Εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα.