



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

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ

Τα θέματα της υπόγειας υδραυλικής που άπτονται του αντικειμένου της εδαφομηχανικής είναι:

- Ο προσδιορισμός της περατότητας των εδαφικών σχηματισμών (αποστράγγιση, φίλτρα, στεγανότητα, φράγματα κ.α.).
- Ο προσδιορισμός των δυνάμεων διήθησης (ευστάθεια πρανών, ανύψωση πυθμένα εκσκαφών, φαινόμενα διασωλήνωσης κ.α.).
- Η μελέτη του μηχανισμού της στερεοποίησης (εκροή νερού).

ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΝΟΜΟΙ ΤΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΜΕΣΟΥ

- Αρχή της Συνέχειας της Ροής
 - Νόμος Bernoulli
 - Νόμος Darcy

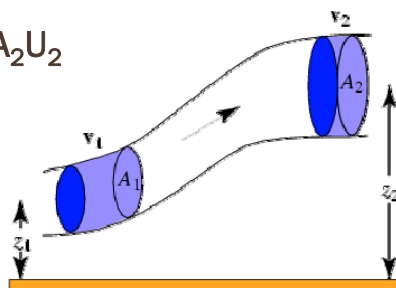
ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΤΗΣ ΡΟΗΣ

Με δεδομένη την ασυμπίεστότητα των υγρών η παροχή παραμένει σταθερή κατά μήκος ενός σωληνωτού αγωγού που διαρρέεται από υγρό. Η συγκεκριμένη αρχή είναι άμεση συνέπεια της αρχής διατήρησης της μάζας.

$$A_1 U_1 = A_2 U_2$$

A_1, A_2 : Εμβαδά των διατομών του αγωγού

U_1, U_2 : Ταχύτητες ροής του υγρού



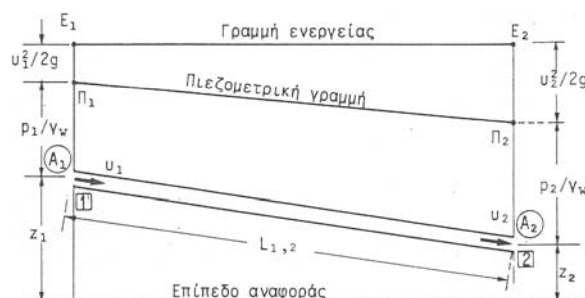
ΝΟΜΟΣ BERNOULLI

Ο Νόμος Bernoulli αποτελεί έκφραση της αρχής διατήρησης της ενέργειας σε κινούμενο υγρό. Σύμφωνα με το νόμο αυτό σε μία μονοδιάστατη ροή το άθροισμα της δυναμικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου, της υδροστατικής πίεσης και της κινητικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου παραμένουν σταθερά. Το άθροισμα καλείται υδραυλικό φορτίο ή δυναμικό (Διαστάσεις Μήκους).

$$Z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{U^2}{2g} = \Phi \text{ (σταθερό)}$$

Κινητική ενέργεια
(Δυναμικό Ταχύτητας)
Υδροστατική πίεση
(Δυναμικό Πίεσης)

Δυναμική ενέργεια ως
προς επίπεδο αναφοράς
(Δυναμικό Θέσης)



➤ Η ροή σε πορώδες εδαφικό υλικό εμφανίζει **απώλειες ενέργειας (ΔΦ)**, επομένως η γραμμή ενέργειας δεν είναι οριζόντια.

➤ Ο λόγος της απώλειας φορτίου, ΔΦ, προς το μήκος, L, καλείται **Υδραυλική Κλίση, i**.

$$i = \frac{\Delta\Phi}{L}$$

➤ Η ροή σε πορώδες εδαφικό υλικό χαρακτηρίζεται από χαμηλές ταχύτητες, επομένως το **Δυναμικό Ταχύτητας** δεν παρουσιάζει ενδιαφέρον.

➤ Το άθροισμα $Z + \frac{u}{\gamma_w} = h$ καλείται **Πιεζομετρικό φορτίο** ή **δυναμικό**.

NOMOS DARCY

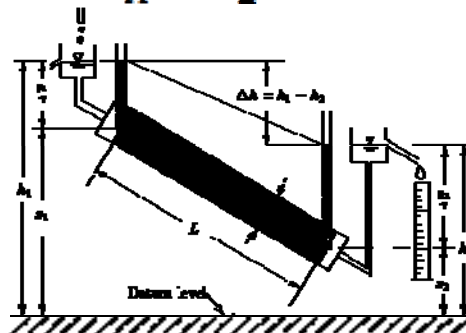
Θεμελιώδης νόμος κίνησης της υπόγειας υδραυλικής που διατυπώθηκε το 1854 από το Darcy. Προέκυψε από την εκτέλεση αλληπάλληλων πειραμάτων σε πρότυπη διάταξη – Πιεζόμετρο Darcy.

$$Q = kA \frac{\Delta h}{L}$$

Επομένως $\frac{Q}{A} = k \frac{\Delta h}{L} \Rightarrow V = ki$

Q: Διηθούμενη παροχή (m³/sec)
k: Πιερατότητα (m²/sec)
A: Εμβαδό διατομής εδαφικού δοκιμίου (m)
Δh = (h₁-h₂): διαφορά στάθμης δεξαμενών (m)
L: Μήκος διαδρομής εδαφικού δοκιμίου (m)

i = Δh/L: Υδραυλική κλίση



ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ & ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Διαπερατότητα είναι η ιδιότητα των υλικών να επιτρέπουν την κίνηση ενός ρευστού διαμέσου της μάζας τους.

Η διαπερατότητα στους **πορώδεις σχηματισμούς** σχετίζεται με:

➤ Το **πορώδες** και την **κοκκομετρική σύσταση**, παράμετροι που καθορίζουν τις διαστάσεις των πόρων (τριχοειδείς ή μη) αλλά και τη μεταξύ τους επικοινωνία.

➤ Οι **βαθμοί στερεοποίησης και διαγένεσης** του πορώδους μέσου, οι οποίου αυξανόμενοι μειώνουν τις τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας.

➤ Δευτερευόντως, **η θερμοκρασία του σχηματισμού και του ρευστού**, η οποία επηρεάζει **το κινηματικό ιξώδες** του ρευστού και **ο όγκος των αέριων εγκλεισμάτων**, που μειώνουν το πορώδες.

Άρα πέρα από το υλικό μέσο (μέγεθος πόρων, βαθμός σύνδεσης των πόρων κλπ) στην περίπτωση της υδραυλικής αγωγιμότητας υπεισέρχονται και οι ιδιότητες του ρευστού (ιξώδες, πυκνότητα κλπ).

Συνεπώς θα πρέπει να διακρίνεται η

εσωτερική ή πραγματική ή Γεωμετρική διαπερατότητα, k ,
η οποία είναι μια ιδιότητα του υλικού μέσου μεταβίβασης του
ρευστού και ανεξάρτητη των ιδιοτήτων του ρευστού που
μεταβιβάζεται ,
από την

Σχετική διαπερατότητα, K ,
η οποία αναφέρεται στη δυνατότητα – ταχύτητα διέλευσης
συγκεκριμένου ρευστού μέσα από ένα κορεσμένο μέσο
και την

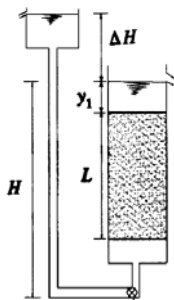
υδραυλική αγωγιμότητα ή υδροπερατότητα, K ,
η οποία αναφέρεται στη δυνατότητα – ταχύτητα διέλευσης νερού
μέσα από ένα κορεσμένο μέσο.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ

- Επιτόπου δοκιμές σταθερού και μεταβλητού φορτίου (Maag, Lefrank, Lugeon).
- Εργαστηριακές δοκιμές με τη χρήση περατομέτρων σταθερού και μεταβλητού φορτίου.

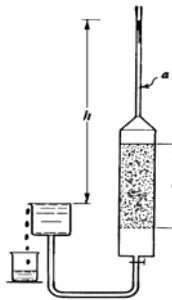
Περατόμετρο σταθερού Φορτίου για χρήση σε σχηματισμούς με υψηλή περατότητα.

$$k = \frac{Q L}{A \Delta h}$$



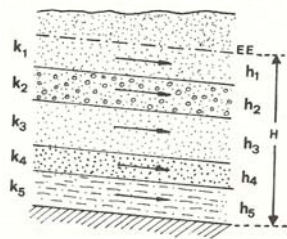
Περατόμετρο μεταβλητού Φορτίου για χρήση σε σχηματισμούς με χαμηλή περατότητα.

$$k = \frac{a L}{t A \Delta h} \ln \left(\frac{h_o}{h} \right)$$



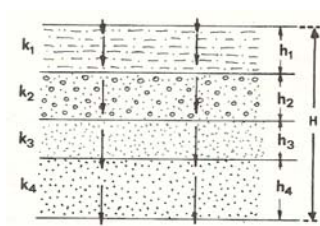
ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΣΤΡΩΣΙΓΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Ροή παράλληλα στις στρώσεις



$$k = \frac{h_1 k_1 + h_2 k_2 + \dots + h_n k_n}{H}$$

Ροή κάθετα στις στρώσεις

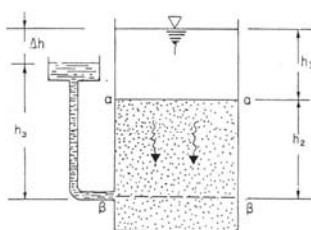


$$k = \frac{H}{\frac{h_1}{k_1} + \frac{h_2}{k_2} + \dots + \frac{h_n}{k_n}}$$

ΟΛΙΚΕΣ – ΕΝΕΡΓΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΥΠΟ ΣΤΑΘΕΡΗ ΡΟΗ

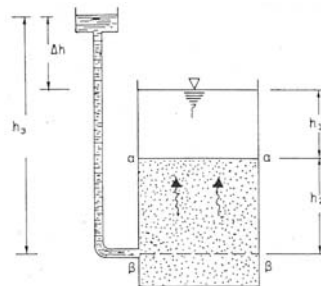
Η πίεση του νερού των πόρων υπολογίζεται από το **Πιεζομετρικό φορτίο** μέσω της εξίσωσης του Bernoulli.

$$Z + \frac{u}{\gamma_w} = h \Rightarrow u = (h - Z)\gamma_w$$



$$u = h_3 \gamma_w$$

Όχι
 $u = (h_1 + h_2)\gamma_w$



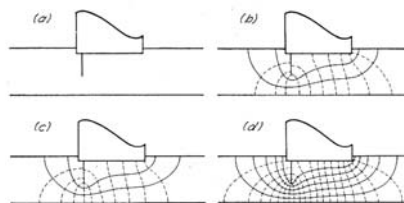
Ροή προς τα κάτω $\Rightarrow$ Μείωση u
 και Αύξηση διατμητικής αντοχής

Ροή προς τα Άνω $\Rightarrow$ Αύξηση u και
 Μείωση διατμητικής αντοχής

ΔΙΔΙΑΣΤΑΤΗ ΡΟΗ

Για τη μελέτη της διδιάστατης ροής είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του **δικτύου ροής**. Το δίκτυο ροής απεικονίζει τις γραμμές ροής καθώς και τις ισοδυναμικές καμπύλες. Αφού προσδιοριστούν οι οριακές συνθήκες (αδιαπέρατα όρια, όρια δεξαμενών κ.α.). Τα δίκτυα σχεδιάζονται με:

- Αριθμητικές μεθόδους
- Μεθόδους σύμμορφης απεικόνισης
- Μεθόδους χρήσης ηλεκτρικού αναλόγου
- Αριθμητικές μεθόδους
- Γραφικές μεθόδους

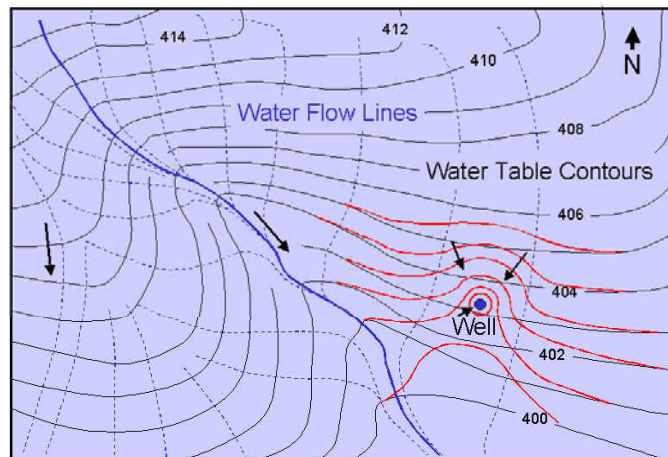


ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΓΡΑΦΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

- α) Σχεδίαση του πλαισίου και των οριακών συνθηκών,
- β) Σχεδίαση επιλεγμένων γραμμών ροής,
- γ) Σχεδίαση επιλεγμένων ισοδυναμικών γραμμών,
- δ) Διόρθωση, επανασχεδιασμός και πύκνωση γραμμών.

Figure 10.10 consists of four diagrams (a, b, c, d) illustrating the design of a weir crest. Each diagram shows a cross-section of a weir with a water level difference of 2m and a crest width of 10m. The diagrams illustrate the flow of water over the crest and the resulting pressure distribution on the crest and the structure below.

- (a) shows a weir crest with a water level difference of 2m and a crest width of 10m. The flow is shown as a single stream over the crest.
- (b) shows a weir crest with a water level difference of 2m and a crest width of 10m. The flow is shown as a single stream over the crest.
- (c) shows a weir crest with a water level difference of 2m and a crest width of 10m. The flow is shown as a single stream over the crest.
- (d) shows a weir crest with a water level difference of 2m and a crest width of 10m. The flow is shown as a single stream over the crest.



ΚΡΙΣΙΜΗ ΤΙΜΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΚΛΙΣΗΣ – ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΔΙΑΣΩΛΗΝΩΣΗΣ

Η τιμή της υδραυλικής κλίσης που προκαλεί μηδενισμό των ενεργών τάσεων και κατά συνέπεια και της διατμητικής αντοχής.

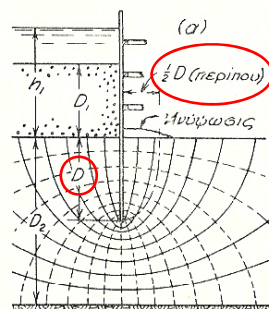
$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

ή

$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w(1+e)}$$

Η κρίσιμη τιμή της διαφοράς του εξωτερικού υδραυλικού φορτίου, Δh , είναι:

$$\Delta h_{cr} = \text{Μήκος γραμμής ροής} \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$



Συντελεστής ασφάλειας έναντι διασώληνωσης

$$SF = \frac{l_{cr}}{l} > 3$$

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.
- Σούλιος Γ. (1986) Γενική Υδρογεωλογία, Τόμος Α, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Terzaghi K., Peck R.B. (1969), Εφαρμοσμένη Εδαφομηχανική, Εκδόσεις Γκιούρδας, Αθήνα.
- Τσότης Στ. (1991), Εδαφομηχανική - Θεωρία Μέθοδοι Εφαρμογές, Εκδόσεις Φ. Βερβερίδης & Π. Πολυχρονίδης α.ε., Θεσσαλονίκη.
- Τολίκας Δ. (1997) Υπόγεια Υδραυλική, Εκδόσεις Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη.