



Υπόγεια Υδραυλική και Υδρολογία

Ενότητα 10: Δύναμη διήθησης

Καθηγητής Κωνσταντίνος Λ. Κατσιφαράκης
Αναπληρωτής Καθηγητής Νικόλαος Θεοδοσίου

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.





Δύναμη διήθησης



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Δύναμη διήθησης (1/3)

Κατά τη ροή του νερού ανάμεσα από τους πόρους του εδάφους, εξασκείται μια δύναμη στους κόκκους, που ονομάζεται δύναμη διήθησης. Αυτή η δύναμη τείνει να μετατοπίσει τους κόκκους του εδάφους και ο υπολογισμός της έχει μεγάλη σημασία στη μελέτη της ευστάθειας των υδραυλικών κατασκευών. Όταν η δύναμη διήθησης υπερβεί μια κρίσιμη τιμή, μπορεί να παρασύρει τους κόκκους του εδάφους και να προκαλέσει έτσι το φαινόμενο της διασωλήνωσης με κίνδυνο να καταστραφεί όλο το έργο.

Πηγή: Δημ. Τολίκας, Υπόγεια Υδραυλική, εκδ. Παρατηρητής, 1997, σελ. 188.



Δύναμη διήθησης (2/3)

Θεωρείται ένας μοναδιαίος όγκος πορώδους υλικού και υπολογίζεται η δύναμη διήθησης ως συνισταμένη όλων των δυνάμεων που εξασκούνται στη στερεά φάση του πορώδους υλικού. Αυτές οι δυνάμεις είναι:

α) Το βάρος \bar{F}_1 της στερεάς φάσης του υλικού. Η δύναμη αυτή είναι:

$$\bar{F}_1 = -(1-n)\gamma_1\bar{k} \quad (9.1)$$

όπου n είναι το πορώδες, γ_1 το ειδικό βάρος της στερεάς φάσης και \bar{k} το μοναδιαίο κατακόρυφο διάνυσμα με κατεύθυνση προς τα πάνω.

β) Η δύναμη \bar{F}_2 , που είναι αποτέλεσμα των υδροστατικών πιέσεων, που εξασκούνται στη στερεά φάση του πορώδους υλικού. Η δύναμη αυτή εύκολα αποδεικνύεται¹ ότι είναι:

$$\bar{F}_2 = -(1-n)\text{grad}P \quad (9.2)$$

γ) Η δύναμη τριβής, που εξασκείται στη στερεά φάση εξαιτίας της κίνησης του νερού. Η δύναμη αυτή είναι ίση και αντίθετη με τη δύναμη αντίστασης που προβάλλει η στερεά φάση στη ροή του νερού. Στο κεφάλαιο που αναφέρεται στην ερμηνεία του εμπειρικού νόμου του Darcy με βάση τις γενικές εξισώσεις κίνησης αποδείχθηκε (σχ. 3.12) ότι, για να ισχύει ο νόμος του Darcy, αυτή η δύναμη αντίστασης που εξασκείται στη μονάδα μάζας του νερού πρέπει να είναι $-\frac{g\bar{u}}{K}$, όπου \bar{u} η ταχύτητα διήθησης και K ο συντελεστής σχετικής διαπερατότητας. Επομένως, η συνολική δύναμη αντίστασης, που ασκείται στο νερό που περιέχεται στο μοναδιαίο όγκο του πορώδους υλικού είναι:

$$\bar{F}_3' = -\frac{n\gamma\bar{u}}{K} \quad (9.3)$$

όπου γ το ειδικό βάρος του νερού.

Επειδή η δύναμη τριβής \bar{F}_3 , που εξασκείται στη στερεά φάση, είναι ίση και αντίθετη με την \bar{F}_3' πρέπει

$$\bar{F}_3 = \frac{n\gamma\bar{u}}{K} \quad (9.4)$$

Πηγή: Δημ. Τολίκας, Υπόγεια Υδραυλική, εκδ. Παρατηρητής, 1997, σελ. 188-190.



Δύναμη διήθησης (3/3)

Η δύναμη διήθησης, η συνισταμένη δηλαδή \bar{F} των τριών δυνάμεων \bar{F}_1 , \bar{F}_2 και \bar{F}_3 που εξασκούνται στη στερεά φάση στη μονάδα όγκου του πορώδους υλικού, είναι

$$\bar{F} = -(1-n)\gamma_1\bar{k} - (1-n)\text{grad}P + \frac{n\gamma\bar{u}}{K} \quad (9.5)$$

Σύμφωνα με το νόμο του Darcy είναι:

$$\text{grad}h = -\frac{\bar{u}}{K}$$

ή

$$\text{grad}\left(\frac{P}{\gamma} + z\right) = -\frac{\bar{u}}{K}$$

απ' όπου προκύπτει ότι:

$$\text{grad}P = -\frac{\gamma\bar{u}}{K} - \gamma\bar{k}$$

Αν η τιμή αυτή για το $\text{grad}P$ αντικατασταθεί στην 9.5, προκύπτει

$$\bar{F} = \frac{\gamma\bar{u}}{K} - (1-n)(\gamma_1 - \gamma)\bar{k} \quad (9.6)$$

Η διανυσματική σχέση 9.6 δίνει τη δύναμη διήθησης σε οποιοδήποτε σημείο του πεδίου ροής ως συνάρτηση της ταχύτητας διήθησης \bar{u} .

Πηγή: Δημ. Τολίκας, ο.π., σελ. 190-191.

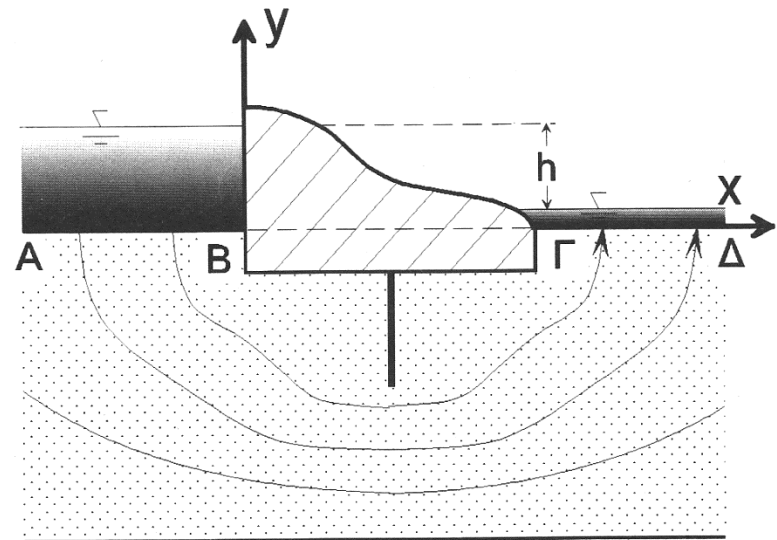


Διασωλήνωση

Όταν η δύναμη διήθησης \bar{F} προκαλεί παράσυρση των κόκκων του εδάφους, τότε δημιουργείται το φαινόμενο της διασωλήνωσης.

Η έναρξη του φαινομένου μπορεί να γίνει μόνο στην επιφάνεια του εδάφους και εκεί όπου η κατεύθυνση του διανύσματος \bar{F} είναι τέτοια, ώστε να ευνοεί την παράσυρση των κόκκων. Π.χ. η πιο ευπαθής θέση για διασωλήνωση στο πεδίο ροής που φαίνεται στο σχήμα 1 είναι το σημείο Γ. Αυτό συμβαίνει, γιατί το Γ είναι το σημείο, όπου μπορεί

να δράσει η μεγαλύτερη σε μέτρο κατακόρυφη δύναμη διήθησης με κατεύθυνση προς τα πάνω.

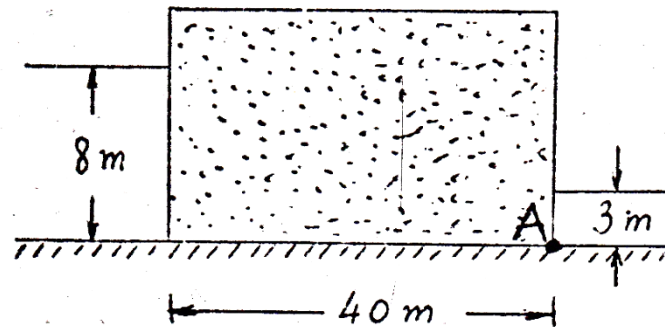


Εικόνα 1: Το φαινόμενο της διασωλήνωσης.
Πηγή: Δημ. Τολίκας, ο.π., σελ. 191-192.



Άσκηση 1^η (1/2)

Να υπολογίσετε τη δύναμη διηθήσεως που αναπτύσσεται στη θέση A του αναχώματος (σχήμα). Δίνεται ότι το ειδικό βάρος της στερεάς φάσεως του αναχώματος είναι $\gamma_1=2,5\text{gr}^*/\text{cm}^3$ και το πορώδες του $n=0,40$.



Σχήμα 1: ανάχωμα.



Άσκηση 1^η (2/2)

Η παροχή q που διηθείται μέσα από το ανάχωμα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$q = K(h_0^2 - h_1^2) / 2l$$

όπου $l = 40\text{m}$, $h_0 = 8\text{m}$ και $h_1 = 3\text{m}$.

Η ταχύτητα στη διατομή A είναι:

$$u_A = q/h_1 = K(h_0^2 - h_1^2) / 2h_1 \text{ και αντικαθιστώντας}$$

$$u_A = 0,23K \text{ (διαστάσεις του K, έστω cm/sec)}$$

$$h_0 = 8\text{m}$$

$$h_1 = 3\text{m}$$

Η δύναμη διηθήσεως υπολογίζεται από την

$$\bar{F} = \gamma \cdot (u_A / K) \cdot i - (1-n)(\gamma_1 - \gamma) \cdot \bar{K} = 0,23 \cdot i - 0,9 \cdot \bar{K}$$

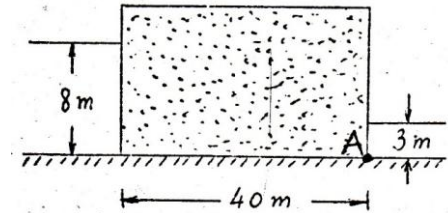
Έτσι:

$$|\bar{F}| = 0,93 \text{ gr}^* / \text{cm}^3 \text{ και}$$

$$\theta = \text{toξ} \text{ tg} [(1-n)(\gamma_1 - \gamma) / \gamma \cdot u_A / K] = -75,66^\circ$$

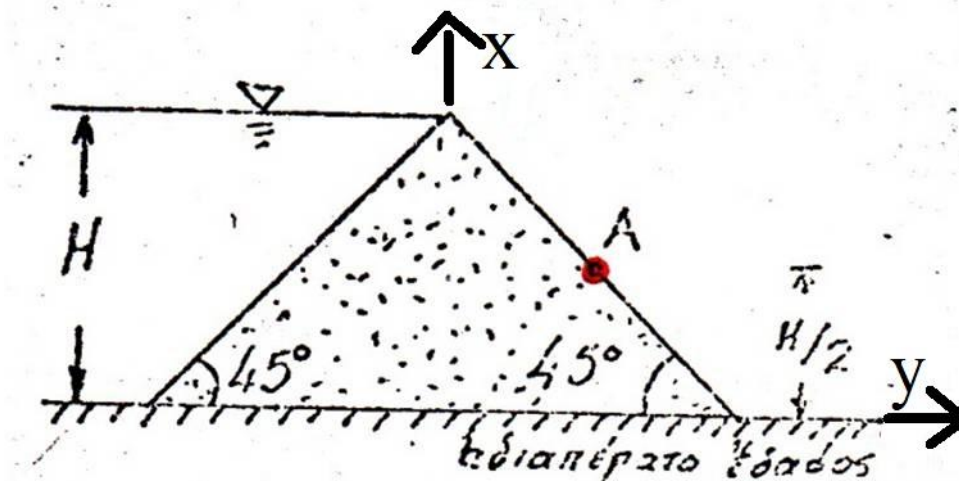
$$|\bar{F}| = \sqrt{0,23^2 + 0,9^2} = \sqrt{0,8629} = 0,93$$

$$\text{tg}\theta = -0,9 / 0,23 = -3,913 \quad \Rightarrow \quad \theta = -75,66^\circ.$$



Άσκηση 2^η (1/2)

Να υπολογίσετε το μέτρο και τη διεύθυνση της δύναμης διηθήσεως που αναπτύσσεται στο σημείο A του φράγματος (σχ.2), όταν το ειδικό βάρος της στερεάς φάσεως του εδάφους είναι $\gamma_1=2,60\text{gr}^*/\text{cm}^3$ και το πορώδες του $n=0,65$.



Σχήμα 2: φράγμα.

Άσκηση 2^η (2/2)

Η δύναμη διηθήσεως υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\bar{F} = \gamma \cdot \bar{u} / K - (1-n)(\gamma_1 - \gamma) \cdot \bar{\kappa} \quad (1)$$

Ο υπολογισμός των συνιστωσών της ταχύτητας για την περίπτωση του φράγματος του Σχ.2 υπάρχει στην Ενότητα 3 (Εξίσωση συνέχειας-Μαθηματικό ομοίωμα).

Έτσι:

$$u = K(1/2 + x/2H), \quad v = -Ky/2H \quad (2)$$

Στο σημείο A ($x=H/2, y=H/2$) οι τιμές των u και v είναι

$$u = K(1/2 + 1/4) = 3/4K$$

$$v = -1/4K \quad (3)$$

Αντικαθιστώντας τις εξ. (3) στην (1) έχουμε:

$$\bar{F} = \gamma / K \cdot (3/4K i - 1/4K j) - (1-n)(\gamma_1 - \gamma) \cdot \bar{\kappa} \quad \text{ή}$$

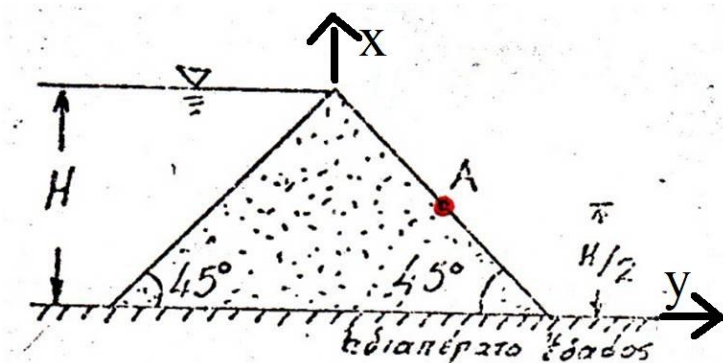
$$\bar{F} = 3/4\gamma i - [(\gamma/4) + (1-n)(\gamma_1 - \gamma)] \bar{\kappa} \quad \text{και με τα δεδομένα}$$

$$\bar{F} = 0,75 i - 0,81 \bar{\kappa}$$

Μέτρο δυνάμεως F :

$$|\bar{F}| = \sqrt{0,75^2 + 0,81^2} = 1,10 \text{ gr}^*/\text{cm}^3$$

Διεύθυνση δυνάμεως $\theta = \text{τοξ } \text{tg}(-0,81/0,75) = -47,20^\circ$ και $47,2 > 45$, άρα δεν υπάρχει κίνδυνος διασωλήνωσης.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Δημήτριος Τολίκας, Κωνσταντίνος Κατσιφαράκης, Νικόλαος Θεοδοσίου. «Υπόγεια Υδραυλική. Ενότητα 9. Δύναμη διήθησης». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS466/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

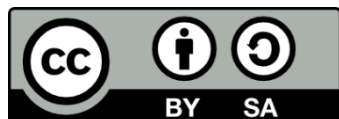
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Ιωάννης Αυγολούπης
Θεσσαλονίκη, <Εαρινό Εξάμηνο 2012-2013>



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

