



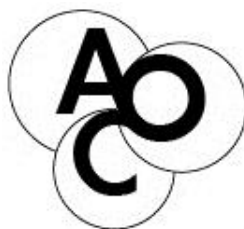
ΕΘΝΙΚΟ  
ΜΕΤΣΟΒΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**Περιβαλλοντική Γεωτεχνική**  
**Θεματική Ενότητα 4 – Υπόγεια Ροή**

Λυμένες ασκήσεις

Χρόνος παραμονής ρύπου σε περατό διάφραγμα

Μ. Πανταζίδου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών



## Άδειες Χρήσης

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



## Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα ΕΜΠ**» 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

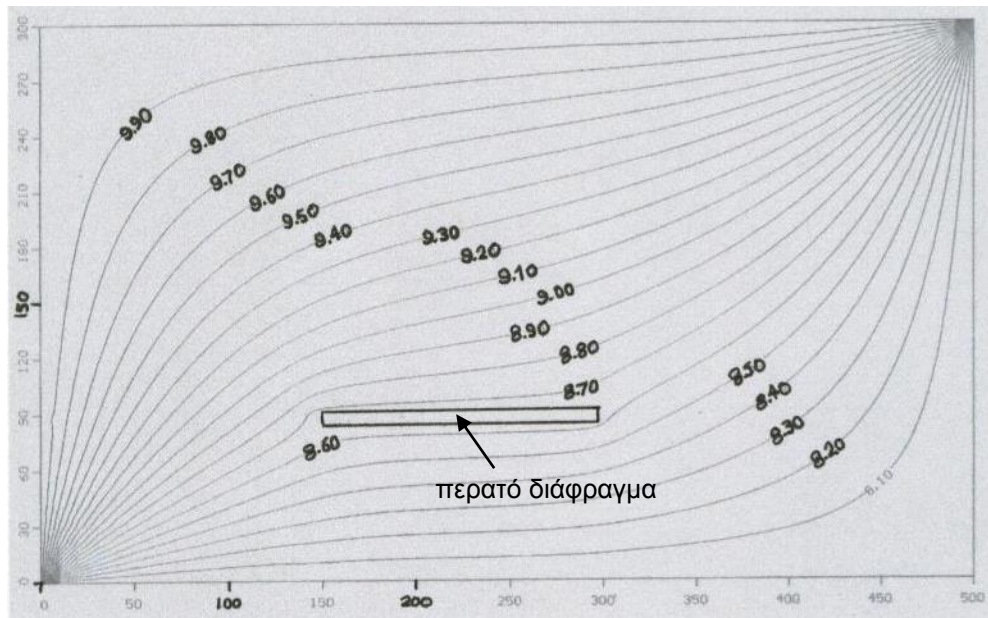
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



## Παράδειγμα: ροή σε πεδίο με περατό διάφραγμα

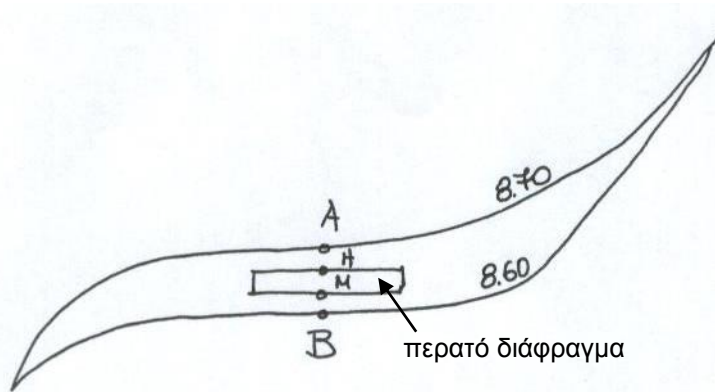
Άσκηση εξάσκησης σε ερωτήματα ροής και σε αποφάσεις μοντελοποίησης

Το Σχήμα 1 απεικονίζει τις γραμμές ίσου υδραυλικού φορτίου (υπό κλίμακα – η μονάδα μέτρησης και για το μήκος και για το υδραυλικό φορτίο είναι το μέτρο) σε εδαφικό σχηματισμό με υδραυλική αγωγιμότητα  $k = 10^{-5}$  cm/s =  $8.64 \times 10^{-3}$  m/ημ και τη θέση ενός περατού διαφράγματος-αντιδραστήρα πάχους 0.5 m με υδραυλική αγωγιμότητα  $k = 10^{-3}$  cm/s = 0.864 m/ημ. Ως υλικό πλήρωσης του περατού διαφράγματος έχει επιλεγεί ένα μίγμα από ρινίσματα σιδήρου και άμμο, για να επιτευχθεί η μείωση της συγκέντρωσης τριχλωροαιθυλενίου που έχει ανιχνευτεί στην περιοχή. Ζητείται να υπολογιστεί ο χρόνος που θα παραμείνει το τριχλωροαιθυλένιο μέσα στο διάφραγμα.



Σχήμα 1: Ισοδυναμικές καμπύλες όπως προκύπτουν από την εγκατάσταση περατού διαφράγματος σε ομοιογενές έδαφος. Προσοχή! - μόνο το μήκος του διαφράγματος δίνεται σωστά από την κλίμακα (σε m), το πάχος του όχι.

Για να βρούμε την υδραυλική κλίση στο περατό διάφραγμα θα μπορούσαμε να ακολουθήσουμε δύο προσεγγίσεις που σχολιάζονται στη συνέχεια με τη βοήθεια του Σχήματος 2, που δίνει ένα σκαρίφημα των ισοδυναμικών καμπυλών που περιβάλλουν το περατό διάφραγμα.



Σχήμα 2: Σημεία στα οποία ενδιαφέρει η τιμή του υδραυλικού φορτίου.

Προσέγγιση I Υποθέτουμε ότι η υδραυλική κλίση στην περιοχή του διαφράγματος (δηλ. μεταξύ H και M) είναι ίδια με τη μέση κλίση μεταξύ των δύο ισοδυναμικών γραμμών (δηλ. μεταξύ A και B). Μπορούμε να στηρίξουμε αυτήν την προσέγγιση αν μπορούμε να επιχειρηματολογήσουμε ότι είτε (α) δίνει αποτελέσματα ικανοποιητικής ακρίβειας ή (β) αν τα αποτελέσματα δεν είναι μεν ακριβή, αλλά η απάντηση είναι υπέρ της ασφάλειας.

Προσέγγιση II Θεωρούμε τη ροή στην περιοχή του περατού διαφράγματος λίγο-πολύ ως μονοδιάστατη, κάτι που μπορεί να υποστηριχτεί από τις χονδρικές παράλληλες ισοδυναμικές γραμμές στην περιοχή του διαφράγματος. Σε αυτήν την περίπτωση, θα λύσουμε ένα πρόβλημα με τρία στρώματα με διαφορετική υδραυλική αγωγιμότητα (AH, HM, MB). Με γνωστές τις υδραυλικές αγωγιμότητες και το υδραυλικό φορτίο στα A και B, θα βρούμε το υδραυλικό φορτίο στα σημεία H και M, όπως ακριβώς στο «παράδειγμα εξάσκησης» με τα τρία στρώματα.

Για λόγους εξάσκησης, αλλά κυρίως σύγκρισης, θα επιχειρήσουμε και τις δύο προσεγγίσεις.

Προσέγγιση I Στην περιοχή του διαφράγματος, οι ισοδυναμικές γραμμές απέχουν (χρησιμοποιούμε την κλίμακα στο Σχήμα 1) 16.7m. Η υδραυλική κλίση στην περιοχή του διαφράγματος δίνεται από τη διαφορά υδραυλικού φορτίου μεταξύ δύο ισοδυναμικών γραμμών δια το μήκος ροής (που εδώ ισούται με την απόσταση) μεταξύ των ισοδυναμικών γραμμών:

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{0.1m}{16.7m} = 0.006$$

Θα βρούμε τον χρόνο παραμονής του ρύπου μέσα στο διάφραγμα, δηλαδή τον χρόνο άφιξης του ρύπου στην κατάντη επιφάνεια του διαφράγματος, υπολογίζοντας τη μέση γραμμική ταχύτητα του νερού μέσα στο διάφραγμα. Ξεκινάμε υπολογίζοντας την ταχύτητα Darcy (φαινόμενη ταχύτητα):

$$v = k_{\text{διαφρ}} \cdot i = 0.864 \frac{m}{\eta\mu} \times 0.006 = 0.0052 \frac{m}{\eta\mu}$$

Υποθέτοντας για το πορώδες του διαφράγματος μια τιμή ίση με  $n=0.4$ , βρίσκουμε τη μέση γραμμική ταχύτητα:

$$\bar{v} = \frac{v}{n} = 0.013 \frac{m}{\eta\mu}$$

και στη συνέχεια τον χρόνο παραμονής του τριχλωροαιθυλενίου στο διάφραγμα:

$$T = \frac{L_{\text{διαφρ}}}{\bar{v}} = \frac{0.5m}{0.013m/\eta\mu} = 38\eta\mu$$

Προσέγγιση II Ακολουθώντας τα βήματα του παραδείγματος των τριών στρωμάτων, υπολογίζουμε το υδραυλικό φορτίο στα σημεία H και M, κι έτσι βρίσκουμε  $h_M = 8.64998m$  και  $h_H = 8.65001m$ . Για αυτές τις τιμές, η υδραυλική κλίση μεταξύ των σημείων H και M είναι 0.00006, εκατό φορές μικρότερη σε σχέση με την προσέγγιση I, και άρα ο χρόνος παραμονής στο διάφραγμα θα είναι εκατό φορές μεγαλύτερος, ξεπερνάει δηλαδή τη μια δεκαετία (3800 μέρες).

Με άλλα λόγια, η προσέγγιση I δεν είναι ακριβής, αλλά είναι υπέρ της ασφαλείας. Βέβαια σε μια πραγματική εφαρμογή, θα καταλήγαμε στο συμπέρασμα ότι επειδή δεν αναμένεται να χρειάζονται τόσο μεγάλοι χρόνοι παραμονής, δεν χρειάζεται να κατασκευαστεί ένα συνεχές διάφραγμα. Για το συγκεκριμένο πρόβλημα, προτείνεται ένα διάφραγμα με εναλλασσόμενα αδιαπέρατα και περατά τμήματα (funnel and gate), έτσι ώστε το νερό να περνάει με μεγαλύτερη ταχύτητα μέσα από τα περατά τμήματα. Το προτέρημα αυτού του εναλλακτικού σχεδιασμού είναι ότι εξοικονομείται υλικό πλήρωσης του περατού διαφράγματος.