



ΕΘΝΙΚΟ  
ΜΕΤΣΟΒΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

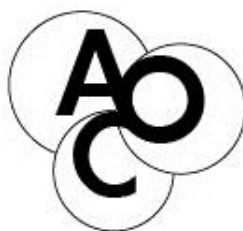
**Περιβαλλοντική Γεωτεχνική**  
**Θεματική Ενότητα 4 – Υπόγεια Ροή**

Λυμένες ασκήσεις

Υπολογισμός χρόνου άφιξης ρύπου

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

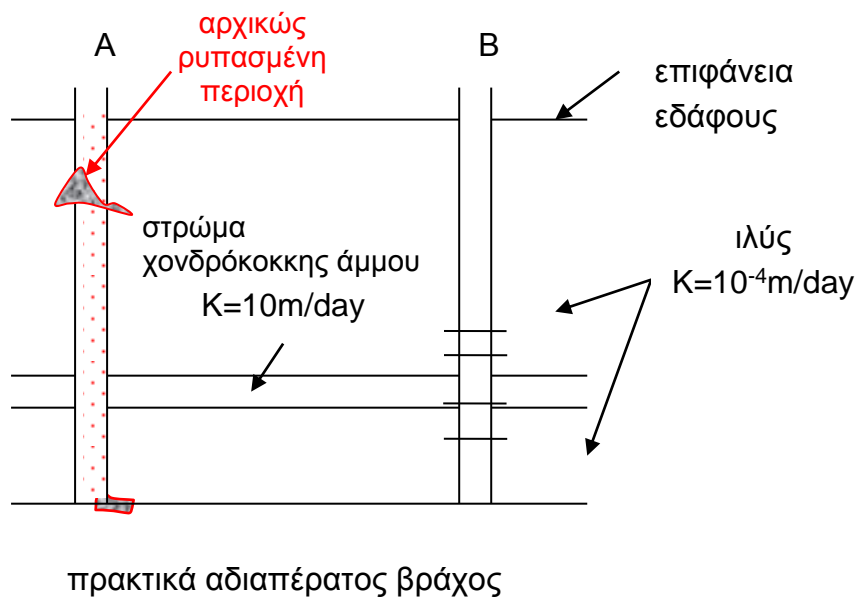
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

## Άσκηση από διαγώνισμα 2007-2008

Στο πιο κάτω σχήμα φαίνεται η διερευνητική γεώτρηση A η οποία διανοίχθηκε από λάθος, όπως αποδείχθηκε εκ των υστέρων, διαμέσου της κορεσμένης ζώνης σε μια περιοχή ρυπασμένη με τριχλωροαιθέριο (trichloroethylene) σε μη υδατική φάση (δηλαδή δεν έχουμε μόνο το τριχλωροαιθέριο διαλυμένο στο νερό). Έτσι το τριχλωροαιθέριο βρήκε, δυστυχώς, μια εύκολη δίοδο μέσα από τη γεώτρηση και διηθήκε έως το βραχώδες στρώμα χαμηλής περατότητας που φαίνεται στο σχήμα. Στα κατάντη της γεώτρησης, ευρίσκεται αρδευτικό πηγάδι B σε απόσταση 500 μέτρων. Σας ζητείται να δώσετε μια συντηρητική (σε αυτό το επίθετο, και σε αυτήν την άσκηση, θα επανέλθουμε όταν θα ξέρουμε περισσότερα) εκτίμηση του χρόνου στον οποίον αναμένεται να επηρεαστεί το πηγάδι B από το τριχλωροαιθέριο που διηθήκε στη γεώτρηση A. Κάποια επιπλέον στοιχεία: ο υδροφόρος ορίζοντας βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, ο υδροφορέας αποτελείται κυρίως από ιλύ όπου παρεμβάλλεται ένα συνεχές στρώμα άμμου, όπως φαίνεται στο σχήμα, η ροή του υπόγειου νερού είναι κυρίως οριζόντια με μέση υδραυλική κλίση 0.001.



Όπως αναφέρει η εκφώνηση, αρχικά το τριχλωροαιθέριο βρισκόταν στην ανώτερη ιλυώδη στρώση και «δυσκολευόταν» να διηθηθεί και προς τις υποκείμενες στρώσεις. Στο εδαφικό νερό της στρώσης αυτής, (το οποίο ερχόταν σε επαφή με τη μη υδατική φάση του τριχλωροαιθενίου) διαλυόταν λίγο-λίγο τριχλωροαιθυλένιο. Το ρυπασμένο αυτό νερό, όμως, δεν μπορούσε να κινηθεί εύκολα προς τις υποκείμενες στρώσεις καθώς η ροή του νερού στην περιοχή είναι κυρίως οριζόντια.

Με τη διάνοιξη όμως της ερευνητικής γεώτρησης A (που κατά κακή μας τύχη διήλθε διαμέσου της ρυπασμένης περιοχής), το τριχλωροαιθέριο μπόρεσε να διηθηθεί βαθύτερα, μέχρι το βραχώδες υπόβαθρο και έτσι να ρυπάνει το υπόγειο νερό σε όλο το βάθος του υδροφορέα, με αποτέλεσμα το ρυπασμένο νερό (που περιέχει διαλυμένο

τριγλωροαιθέριο) να μπορεί πλέον να κινηθεί μέσω και των τριών εδαφικών στρώσεων.

Η άσκηση ζητάει να υπολογίσουμε συντηρητικά τον ελάχιστο χρόνο άφιξης του ρύπου Τ στο αρδευτικό πηγάδι Β (πόσο καιρό έχω για να πάρω μέτρα; Πότε πρέπει να σταματήσω να τραβάω νερό από το αρδευτικό πηγάδι;).

Άρα θα πρέπει να υπολογίσουμε τη μέγιστη μέση γραμμική ταχύτητα  $\bar{v}$  (ή ταχύτητα μεταγωγής, ή ταχύτητα διήθησης) με την οποία διανύει ο ρύπος την απόσταση  $L=500m$  (μήκος ροής). Θα θεωρήσουμε κίνηση μέσω της άμμου, αφού εκεί θα κινηθεί πιο γρήγορα ο ρύπος. Ο χρόνος άφιξης του ρύπου δίνεται από την σχέση:

$$T = \frac{L}{\bar{v}}$$

Η  $\bar{v}$  υπολογίζεται ως το πηλίκο της ταχύτητας Darcy,  $v$ , ως προς το πορώδες. Άρα:

$$\bar{v} = \frac{v}{n}$$

Τέλος, η ταχύτητα Darcy υπολογίζεται ως:

$$v = K \cdot i$$

Έχουμε:

$$i=10^{-3} \text{ (κοινό για όλα τα στρώματα)}$$

$$K_{\text{αμμος}}=10m/d$$

Η εκφώνηση δεν δίνει τιμή για το πορώδες, οπότε υποθέτω μια εύλογη τιμή ίση με 0.40.

Αντικαθιστώντας:

$$\bar{v} = \frac{10m/d \cdot 10^{-3}}{0.4} = 0.025m/d$$

άρα ο χρόνος άφιξης του ρυπασμένου νερού στην αρδευτική γεώτρηση Β θα είναι:

$$T = \frac{500m}{0.025m/d} = 20000days \approx 55\text{χρόνια}$$

Ανακουφιστήκαμε με τον μεγάλο χρόνο; Ή μήπως όχι; Η συνέχεια σε επόμενα μαθήματα.