

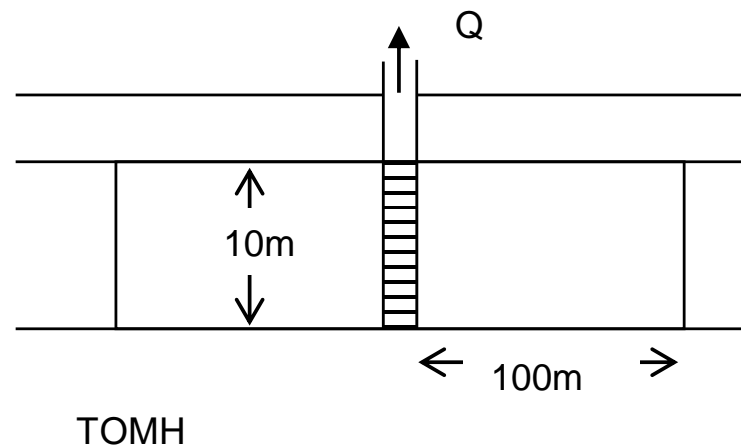
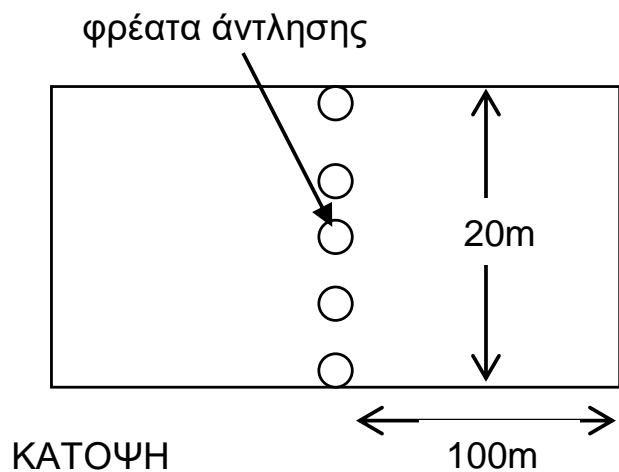
Παραδείγματα μεταφοράς για εφαρμογές αποκατάστασης & σχόλια

Άντληση και επεξεργασία,
φυσική εξασθένιση,
διάλυση κηλίδας NAPL,
περατά διαφράγματα

Σχόλια για άντληση με επεξεργασία

- Δοκιμασμένη τεχνολογία
- Κατ' αρχήν κατάλληλη για κάθε είδος ρύπου (μεγάλο εύρος μεθόδων επεξεργασίας βιομηχανικών αποβλήτων)
- Προβληματική η απομάκρυνση του ρύπου μέσω άντλησης για ανομοιογενή εδάφη
- Πετυχαίνει μείωση της συνολικής μάζας του ρύπου αλλά είναι **δύσκολη η επίτευξη επιτρεπτών ορίων**
- Πρέπει να ληφθεί υπόψη ο συνολικός όγκος του νερού που μπορεί να απομακρυνθεί από τον υδροφορέα
- Απαιτούμενος χρόνος: λίγες δεκαετίες

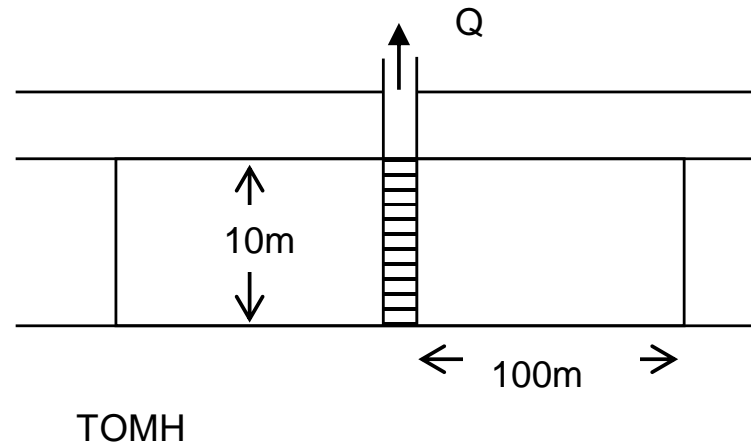
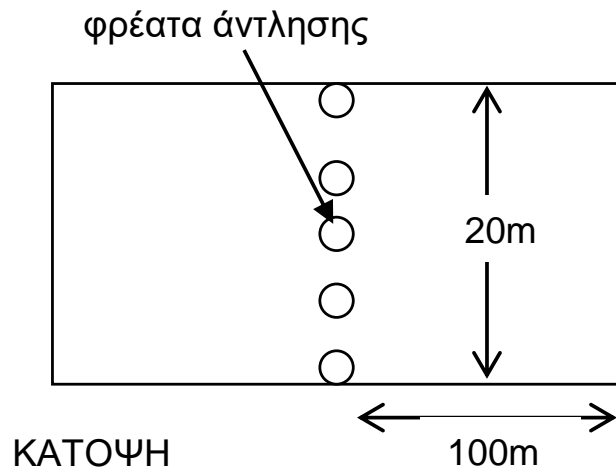
Σε πόσο χρόνο θα μειωθεί σε επιθυμητό όριο συγκέντρωση με τη βοήθεια άντλησης;



Σε πόσο χρόνο θα μειωθεί σε επιθυμητό όριο συγκέντρωση με τη βοήθεια άντλησης;

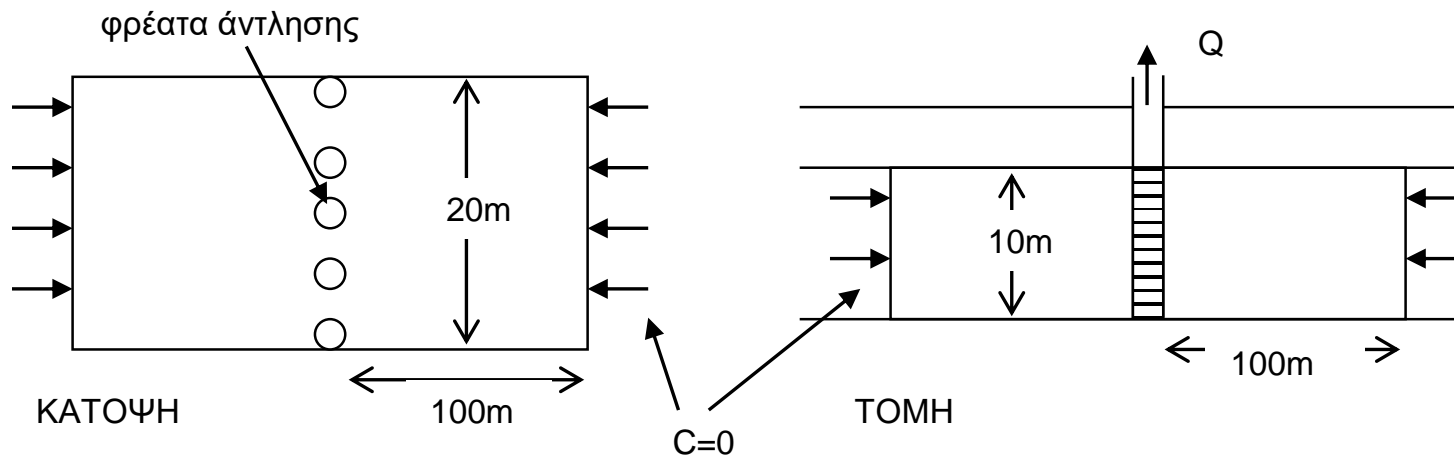
- Πώς μπορώ να φέρω το πρόβλημα σε μορφή που να λυθεί με το χέρι ή με το εκπαιδευτικό λογισμικό;
- Θα θεωρήσω μια μέση συγκέντρωση $C_0 = 1000 \text{ } \mu\text{g/L}$ σε όλη τη ρυπασμένη περιοχή
- Θα θεωρήσω μια απλουστευμένη περίπτωση που η ρυπασμένη περιοχή περιβάλλεται από καθαρό νερό
- Το εκτεταμένο σύστημα φρεάτων άντλησης και επεξεργασίας λειτουργεί σαν μια συνεχής τάφρος άντλησης, η οποία δημιουργεί μονοδιάστατη ροή με ταχύτητα Darcy ίση με $v = 0.70 \text{ m/ημέρα}$
- Με αυτά τα δεδομένα **θα υπολογίσω:**
- (α) **τον απαιτούμενο χρόνο για να μειωθεί η συγκέντρωση σε $C = 2 \text{ } \mu\text{g/L}$**
- (β) τον όγκο νερού που θα έχει αντληθεί μέχρι τότε, τον οποίο θα εκφράσω ως πολλαπλάσιο του συνολικού όγκου των κενών (άρα και του όγκου νερού των πόρων) του υδροφορέα

Τι συμβαίνει εδώ;



Τι συμβαίνει εδώ;

- περιγράψω με σχήμα τις άμεσες συνέπειες του πρόβληματος



Ερώτημα: πότε θα γίνει η συγκέντρωση στα φρέατα άντλησης ίση με $C = 2 \mu\text{g/L}$;

Στρατηγική επίλυσης

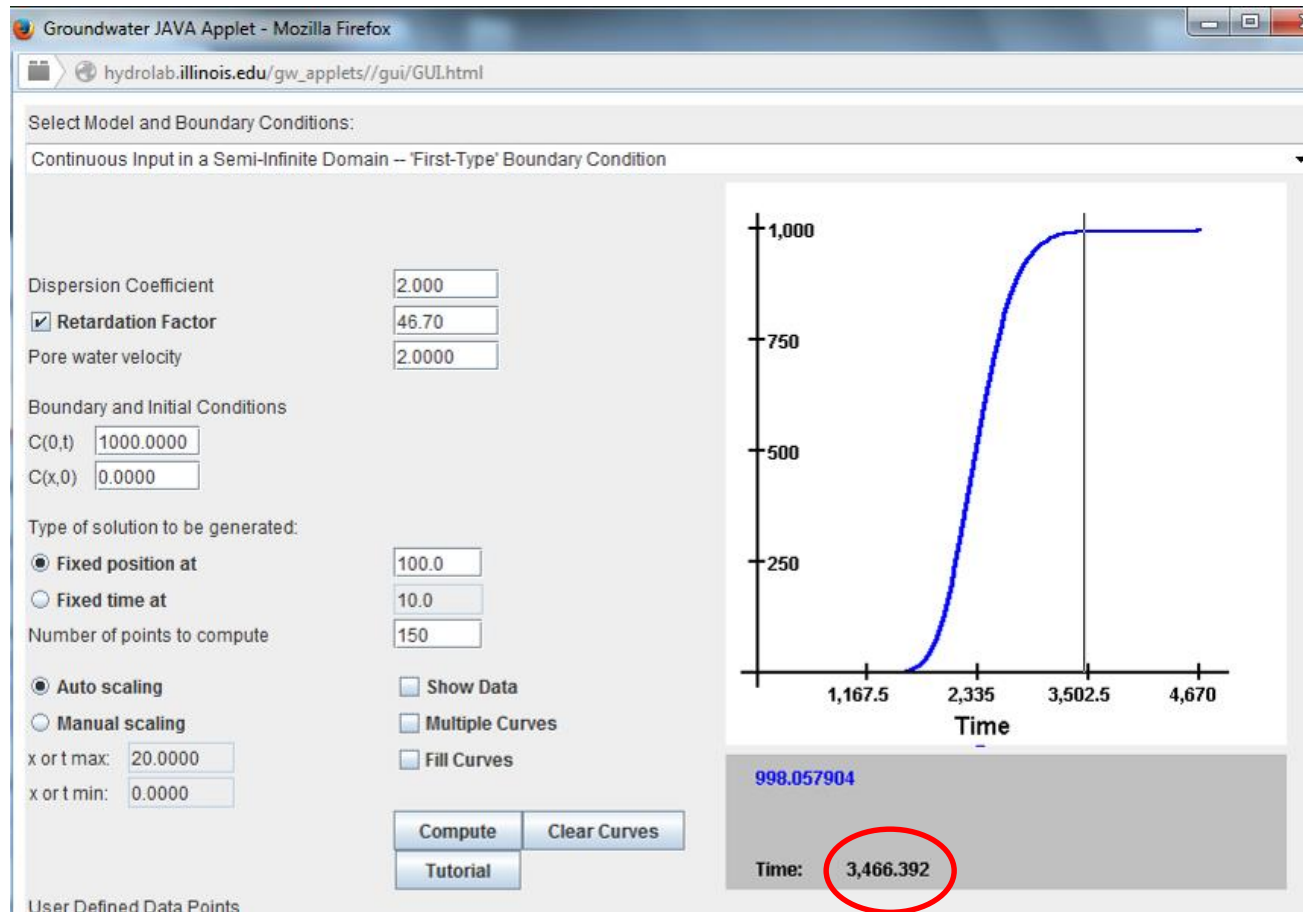
- Το πεδίο μεταφοράς έχει άξονα συμμετρίας τα πηγάδια, θα ασχοληθώ με το ένα ήμισυ
- Η «πραγματικότητα»: σε έναν υδροφορέα με σταθερή αρχική ρύπανση $C_0 = 1000 \mu\text{g/L}$, εισπνέζεται καθαρό νερό
- Βλέπω την εισπίεση καθαρού νερού σε ρυπασμένο υδροφορέα σαν το «αρνητικό» πρόβλημα της εισπίεσης ρυπασμένου νερού σε καθαρό υδροφορέα
- Η μαθηματική προσομοίωση της πραγματικότητας με επαλληλία: δύο λύσεις που όταν αθροίζονται δίνουν τη σωστή εικόνα σε όλο το πεδίο (και βέβαια στην πηγή)
 - Λύση I = η συγκέντρωση παραμένει παντού $C_I = 1000 \mu\text{g/L}$
 - Λύση II = μεταβλητή συγκέντρωση για πηγή στο όριο της ρυπασμένης περιοχής ίση με $C_{II} = -1000 \mu\text{g/L}$ (αρνητική συγκέντρωση!)
 - Στην πηγή, πάντα άθροισμα μηδέν, δηλ. καθαρό νερό!

Επίλυση με το χέρι
ή με το εκπαιδευτικό
λογισμικό!

Δεδομένα εισόδου & τιμές

- Ταχύτητα μεταγωγής: $v = 2\text{m/day}$
- Συντελεστής υδροδυναμικής διασποράς: $D=2\text{m}^2/\text{day}$
- Συντελεστής υστέρησης (για $K_d = 10 \text{ L/kg}$): $R=46.7$
- Συγκέντρωση στην «πηγή»;
 - 1000 $\mu\text{g/L}$ (θυμόμαστε ότι είναι αρνητική)
- Επίλυση για ποια μεταβλητή?
 - επίλυση στον χρόνο για $x = 100 \text{ m}$ (δηλ. στα πηγάδια άντλησης που απέχουν 100 m από την «πηγή» εισπίεσης αρνητικής συγκέντρωσης)

Απάντηση: περίπου 9.5 χρόνια (3466 μέρες)



Συγκέντρωση στα πηγάδια = $1000 \mu\text{g/L} - 998 \mu\text{g/L} = 2 \mu\text{g/L}$

Όγκος αντλούμενου νερού στην χρονική περίοδο αποκατάστασης

- $V_{\text{αντλ}} = Q t = 2 v A t = 2 \times 0.70 \text{ m/ημέρα} \times (20\text{m} \times 10\text{m}) \times 3466 \text{ ημέρες} = 970480\text{m}^3$

- Όγκος νερού πόρων

$$V_w = V n = 200\text{m} \times 20\text{m} \times 10\text{m} \times 0.35 = 14000 \text{ m}^3$$

- Χρειάζεται να αντλήσουμε όγκο ίσο με 69 φορές το περιεχόμενο του υδροφορέα για να μειωθεί η συγκέντρωση από 1000 $\mu\text{g/L}$ σε 2 $\mu\text{g/L}$. Αυτό το μεγάλο πολλαπλάσιο είναι μη ρεαλιστικό!

Φυσική εξασθένιση

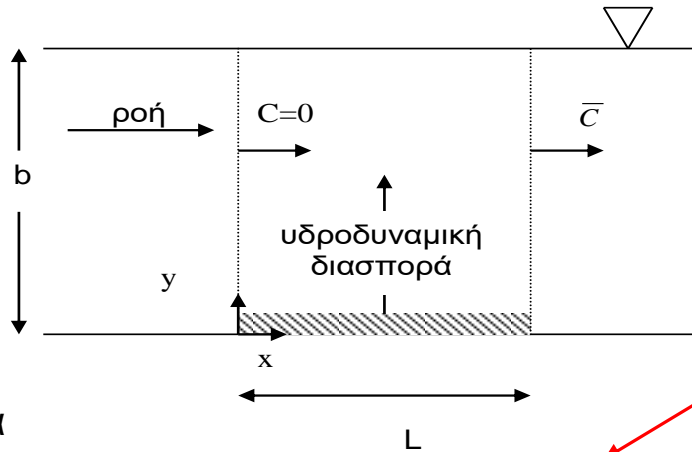
- Συνυπολογίζεται η συμβολή όλων των μηχανισμών μεταφοράς
- Υπολογίσιμα αποτελέσματα όταν ο κύριος μηχανισμός είναι η αποδόμηση
 - Χάρης στην αποδόμηση, η έκταση της ρυττασμένης περιοχής μπορεί να μειωθεί ή, σε περίπτωση σταθερής πηγής (πχ ύπαρξη μη υδατικής φάσης), να σταματήσει να επεκτείνεται
 - Ερώτημα: για σταθερή πηγή, ποια είναι η μέγιστη έκταση της ρυττασμένης περιοχής; (Σημ. η μέγιστη έκταση είναι μέγεθος που σχετίζεται με τον χρόνο ημιζωής.) Πώς μπορώ να διερευνήσω αυτό το ερώτημα με το εκπαιδευτικό λογισμικό;

Σχόλια για την παρουσία μη υδατικής φάσης

- Η ύπαρξη μη υδατικής φάσης αποτελεί μια **σταθερή πηγή ρύπου** (ώσπου αυτή να διαλυθεί εντελώς)
- Ενδεικτικοί υπολογισμοί, που υποστηρίζονται από πειράματα, δείχνουν ότι ο χρόνος που απαιτείται για να διαλυθεί μια κηλίδα NAPL είναι της τάξης των πάρα πολλών δεκαετιών
- Για την αποκατάσταση χώρων όπου ο ρύπος βρίσκεται σε μη υδατική φάση, συχνά χρειάζεται να επέμβουμε ξεχωριστά για την αφαίρεση της μη υδατικής φάσης (εκτοπίζοντάς την με εισπίεση ατμού ή εισπιέζοντας τασιενεργές ουσίες που μειώνουν τις τριχοειδείς δυνάμεις και αυξάνουν τη διαλυτότητα)
- Στη συνέχεια ασχολούμαστε με τον διαλυμένο (+ τον ροφημένο!) ρύπο με τις τεχνολογίες που είδαμε στην επισκόπηση των τεχνολογιών αποκατάστασης

Σε πόσο χρόνο θα διαλυθεί κηλίδα TCE;

Μονοδιάστατη ροή (x), διδιάστατη μεταφορά (y: λόγω υδροδυναμικής διασποράς, x: λόγω μεταγωγής) - συνθήκες μόνιμης μεταφοράς



$$D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \bar{v}_x \frac{\partial C}{\partial x} = 0$$

Βρίσκεται λύση στο σημείο $x = L$, που όταν ολοκληρώνεται σε όλο το βάθος του υδροφορέα b δίνει την μέση συγκέντρωση στα κατάντη της κηλίδας

Εκτιμώμενα
χαρακτηριστικά
κηλίδας:
Μήκος, $L = 2\text{m}$
Πάχος, $t = 5\text{cm}$

$$\frac{\bar{C}(L,b)}{S} = \frac{1 - e^{-w^2}}{w\sqrt{\pi}} + \operatorname{erfc}(w), \quad w = \frac{b}{2\sqrt{D_y L / \bar{v}_x}}, \quad D_y = D_e + \alpha_T \bar{v}_x$$

Σχόλια για περατά διαφράγματα

- **Εκμεταλλεύονται τη φυσική ροή του υπόγειου νερού**
- Εφαρμόσιμα όταν υπάρχει κατάλληλο υλικό πλήρωσης που μπορεί να αποδομήσει τον ρύπο
 - Παράδειγμα: ρινίσματα σιδήρου είναι κατάλληλα για τριχλωροαιθέριο και εξασθενές χρώμιο, καθώς πετυχαίνουν την αναγωγή αυτών των ουσιών.
- Επίσης, μπορούμε να εισπιέσουμε μέσα στην περιοχή του περατού διαφράγματος κατάλληλα πρόσθετα για να επιταχύνουμε βιολογικές διαδικασίες:
 - πχ τα πετρελαιοειδή βιοαποδομούνται σε αερόβιες συνθήκες (προσθήκη οξυγόνου και θρεπτικών ουσιών), αντίθετα το τριχλωροαιθέριο ανάγεται σε αναερόβιες συνθήκες (προσθήκη δότη ηλεκτρονίων και θρεπτικών ουσιών)
- Πιθανά απαραίτητη συντήρηση (αν αντιδρά το υλικό πλήρωσης)
- Απαιτούμενος χρόνος: λίγες δεκαετίες

Ποιο το απαιτούμενο πάχος διαφράγματος;

