## ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ

Οδηγίες και σχόλια για το λογισμικό που θα χρησιμοποιηθεί στο θέμα

(βλέπε και φυλλάδιο «demo»)

# Το πακέτο των εφαρμογών βρίσκεται στην ιστοσελίδα

# http://hydrolab.illinois.edu/gw\_applets/

# Κάτω από τον γενικό τίτλο

# Interactive Models for Groundwater Flow and Solute Transport

Διαδραστικά μοντέλα για προβλήματα υπόγειας ροής και μεταφοράς ρύπων

# Θα ασχοληθούμε με τις εξής εφαρμογές

• Μονοδιάσταστη μεταφορά, για διαφορετικές συνοριακές συνθήκες στην πηγή θεωρώντας ρόφηση όπου η ισορροπία μεταξύ στερεάς και υδατικής φάσης επιτυγχάνεται:

(α) στιγμιαία (εφαρμογή Νο 1: Equilibrium Sorption (ρόφηση ισορροπίας) with solute decay (με αποδόμηση της διαλυμένης ουσίας), για διάφορες συνοριακές συνθήκες στην πηγή), βλέπε και demo

(β) με καθυστέρηση (εφαρμογή Νο 2).

Για να κατανοήσουμε την επίδραση των παραμέτρων, των συνοριακών συνθηκών καθώς και της παραδοχής της στιγμιαίας ισορροπίας υδατικής – στερεάς φάσης.

• Πολυδιάστατη μεταφορά: ρόφηση για στιγμιαία ισορροπία και υποβάθμιση σε δύο (εφαρμογή Νο 3) και τρεις διαστάσεις (εφαρμογή Νο 4).

Για να κατανοήσουμε την επίδραση των διαστάσεων του προβλήματος και της υποβάθμισης του ρύπου.

**Χαρακτηριστικά των εφαρμογών**

Η κάθε εφαρμογή ανοίγει σε δικό της παράθυρο όπου, αφού δώσουμε τιμές για τις παραμέτρους και τις μεταβλητές (όλες στο ίδιο σύστημα μονάδων!!), βλέπουμε γραφικά το αποτέλεσμα της επίλυσης. Για να κάνουμε επανάληψη στο θεωρητικό υπόβαθρο, και ιδίως για να δούμε τη μορφή που έχει η λύση της εξίσωσης, ανοίγουμε το Tutorial, ενώ αν έχουμε κάποια απορία για τις επιλογές και τις δυνατότητες του κάθε προγράμματος, ανοίγουμε το User Interface Tutorial (που συνήθως ανοίγει αφού ανοίξουμε το Tutorial).

Η πιο πρόσφατη εκδοχή του εκπαιδευτικού λογισμικού επιτρέπει να κατεβάσουμε τις εφαρμογές στον υπολογιστή μας ως αρχεία .jar και να τις τρέξουμε στον υπολογιστή μας, ο οποίος πρέπει να έχει java.

**Πώς θα φτιάξουμε τα δικά μας σχήματα με το πρόγραμμα EXCEL**

Για να δούμε τα αριθμητικά αποτελέσματα (δηλ. τα ίδια τα νούμερα, επιπλέον των σχημάτων που ζωγραφίζει «από μόνη της» η εφαρμογή), επιλέγουμε “show data” (βλέπε και demo), και βλέπουμε ότι, μαζί με το σχήμα, η εφαρμογή ανοίγει ξεχωριστό παράθυρο με τα δεδομένα. Για να επιλέξουμε όλα τα δεδομένα, πάμε στο ξεχωριστό τους παράθυρο, τοποθετούμε τον κέρσορα στην αρχή των δεδομένων, και πατάμε μαζί τα πλήκτρα CTRL Shift End. Για να τα αντιγράψουμε, πατάμε CTRL C (copy), και στη συνέχεια τα μεταφέρουμε σε ένα φύλλο EXCEL με CTRL V (paste), για να τα ζωγραφίσουμε.

**Και κάποιες σημειώσεις ορολογίας**

# ♦1D Non-reactive and Reactive Solute Transport: *Μονοδιάστατη μεταφορά χωρίς και με αντίδραση του ρύπου*

→ Equilibrium Sorption without Solute Decay (Εφαρμογή Νο 1): Ρόφηση για στιγμιαία ισορροπία (μεταξύ υδατικής – στερεάς φάσης)

Εδώ έχουμε επιλογή στις συνοριακές συνθήκες και στον τρόπο επίλυσης:

• Instantaneous pulse input in an infinite domain: Στιγμιαία διαρροή μάζας

• Continuous input in a semi-infinite domain: Πηγή συνεχούς διάρκειας στην οποία καθορίζεται:

- είτε η συγκέντρωση (1ου τύπου συνοριακή συνθήκη – 1st type: επιβάλλεται σταθερή συγκέντρωση στην πηγή - η πολύ γνωστή μας εξίσωση μεταγωγής – υδροδυναμικής διασποράς!)

- ή η ροή μάζας (3ου τύπου συνοριακή συνθήκη – 3rd type: επιβάλλεται ροή μάζας στην πηγή)

• Finite duration input in a semi-infinite domain: Πηγή πεπερασμένης διάρκειας στην οποία καθορίζεται:

- είτε η συγκέντρωση (1ου τύπου συνοριακή συνθήκη)

- ή η ροή μάζας (3ου τύπου συνοριακή συνθήκη) – αυτήν η εφαρμογή επιτρέπει προσομοίωση υποβάθμισης (decay) του ρύπου.

→ Mass Transfer Sorption with Solute Decay [Torride, Leij, and van Genuchten] (Εφαρμογή Νο 2): ρόφηση με καθυστέρηση στην επίτευξη ισορροπίας, πηγή μεταβλητής διάρκειας, με υποβάθμιση (ξεχωριστή σταθερά υποβάθμισης πρώτης τάξης (μονάδες Τ-1) για διαλυμένο-ροφημένο ρύπο).

Σημείωση. Στην εφαρμογή Νο 2 εφαρμόζεται το τέχνασμα της παραδοχής δύο τύπων στερεάς φάσης: σε ένα ποσοστό επιτυγχάνεται στιγμιαία ισορροπία μεταξύ υδατικής και στερεάς φάσης, ενώ στο υπόλοιπο η ρόφηση περιγράφεται από μια κινητική σχέση πρώτης τάξης (ίδιου τύπου δηλαδή με την εξίσωση που περιγράφει την αλλαγή συγκέντρωσης λόγω υποβάθμισης). Η εξίσωση που περιγράφει την αλλαγή της ροφημένης μάζας με τον χρόνο χαρακτηρίζεται από μια σταθερά ***α*** (μονάδες Τ-1): όσο μεγαλώνει η σταθερά ***α*** τόσο επιταχύνεται η μετάβαση του ρύπου από τη μία φάση στην άλλη. Πρέπει να τονιστεί ότι η στιγμιαία ή μη επίτευξη της ρόφησης έχει σημαντικές επιπτώσεις στην πράξη, ιδιαίτερα κατά τη φάση αποκατάστασης όπου μας αφορά το φαινόμενο της εκρόφησης.

# ♦Multidimensional Non-reactive and Reactive Solute Transport

→ 2D Equilibrium Sorption with 1st Order Decay [Cleary-Ungs, Domenico] (Εφαρμογή Νο 3): Διδιάστατη στιγμιαία ρόφηση και υποβάθμιση 1ης τάξης

Σημείωση για λύση Cleary-Ungs: Πρόκειται για την ακριβή λύση, η οποία απαιτεί μια αριθμητική ολοκλήρωση. Η διαδικασία της εύρεσης προσεγγιστικής λύσης για το ολοκλήρωμα μπορεί να είναι ασταθής (βλέπε tutorial).

Σημείωση για λύση Domenico: Πρόκειται για προσεγγιστική λύση που βασίζεται σε σειρά παραδοχών – δεν ισχύει για μικρούς χρόνους κοντά στην πηγή (βλέπε tutorial).

→ 3D Equilibrium Sorption with 1st Order Decay [Domenico] (Εφαρμογή Νο 4): Τριδιάστατη στιγμιαία ρόφηση και υποβάθμιση 1ης τάξης

Σημείωση για λύση Domenico: Πρόκειται για προσεγγιστική λύση που βασίζεται σε σειρά παραδοχών – δεν ισχύει για μικρούς χρόνους κοντά στην πηγή (βλέπε tutorial).

**Σύμβολα-όροι (περιέχονται στα περισσότερα tutorials)**

c aqueous-phase solute concentration

συγκέντρωση ρύπου στο νερό

v pore-water velocity

ταχύτητα νερού των πόρων (δηλαδή μέση γραμμική ταχύτητα ή ταχύτητα μεταγωγής)

D hydrodynamic dispersion coefficient

συντελεστής υδροδυναμικής διασποράς [L2/T]

θ soil porosity

πορώδες

ρ soil bulk density [mass soil/volume of porous medium]

πυκνότητα ξηρού εδάφους

ΣΧΟΛΙΟ Δίνεται ο λάθος όρος –θα έπρεπε να είναι soil dry density. Aλλά ο ορισμός είναι σωστός (εξ άλλου, το καταλαβαίνουμε από την έκφραση για τον συντελεστής διαχωρισμού ότι πρόκειται για ξηρή πυκνότητα).

Kd distribution coefficient for linear sorption

συντελεστής διαχωρισμού

R retardation factor

συντελεστής υστέρησης

M total mass of solute input

συνολική μάζα ρύπου

## Για πηγή πεπερασμένης διάρκειας

tp duration of the input pulse

πεπερασμένη διάρκεια πηγής

## Για μη στιγμιαία ρόφηση

se sorbed-phase concentration (equilibrium sites)

συγκέντρωση ροφημένου ρύπου στο ποσοστό της στερεάς φάσης όπου επιτυγχάνεται στιγμιαία ισορροπία

sk sorbed-phase concentration (kinetic sites)

συγκέντρωση ροφημένου ρύπου στο ποσοστό της στερεάς φάσης όπου η ισορροπία ακολουθεί κινητική εξίσωση πρώτης τάξης

f fraction of sorption sites with instantaneous equilibrium

ποσοστό στερεάς φάσης όπου επιτυγχάνεται στιγμιαία ισορροπία

μl decay constant for aqueous-phase solute

σταθερά υποβάθμισης του διαλυμένου ρύπου (συνήθως συμβολίζεται με λ)

μse decay constant for sorbed-phase (equilibrium sites)

σταθερά υποβάθμισης του ροφημένου ρύπου στο ποσοστό της στερεάς φάσης όπου επιτυγχάνεται στιγμιαία ισορροπία

μsk decay constant sorbed-phase (kinetic sites)

σταθερά υποβάθμισης του ροφημένου ρύπου στο ποσοστό της στερεάς φάσης όπου η ισορροπία ακολουθεί κινητική εξίσωση πρώτης τάξης

## Για πολυδιάστατη μεταφορά

αx longitudinal dispersivity (x direction)

συντελεστής διαμήκους μηχανικής διασποράς (κατεύθυνση x) [L]

αy transverse dispersivity (y direction)

συντελεστής εγκάρσιας μηχανικής διασποράς (κατεύθυνση y) [L]

αz transverse dispersivity (z direction)

συντελεστής εγκάρσιας μηχανικής διασποράς (κατεύθυνση z) [L]