

Πρόβλεψη εξέλιξης ρύπανσης

Βασικά ερωτήματα:

Πού θα πάει ο ρύπος;

Πώς θα συμπεριφερθεί;

Τι θα απογίνει;

Τι θα απογίνει ο ρύπος;

- Μηχανισμοί που εμπλέκονται στην εξάπλωση των ρύπων στο έδαφος και στο υπόγειο νερό
 - ο ρύπος **μεταφέρεται** (κύρια επιρροή: ιδιότητες εδάφους & πεδίου ροής, όταν $K_p \uparrow$ επίσης σημαντικό)
 - ο ρύπος **μοιράζεται σε όλες τις φάσεις**: υγρή, αέρια, στερεά (κύρια επιρροή: ιδιότητες ρύπου – για τη στερεά φάση επηρεάζει και το έδαφος)
 - ο ρύπος **διασπάται*** (εξαρτάται από: ιδιότητες ρύπου – γεωβιοχημικές συνθήκες)
- Οι ίδιοι μηχανισμοί εμπλέκονται και στην αποκατάσταση!

* οι οργανικές ενώσεις, πχ TCE, διασπώνται σε απλούστερες ενώσεις, τα ανόργανα στοιχεία, πχ Cr(VI), σχηματίζουν καινούριες ενώσεις και αλλάζουν σθένος

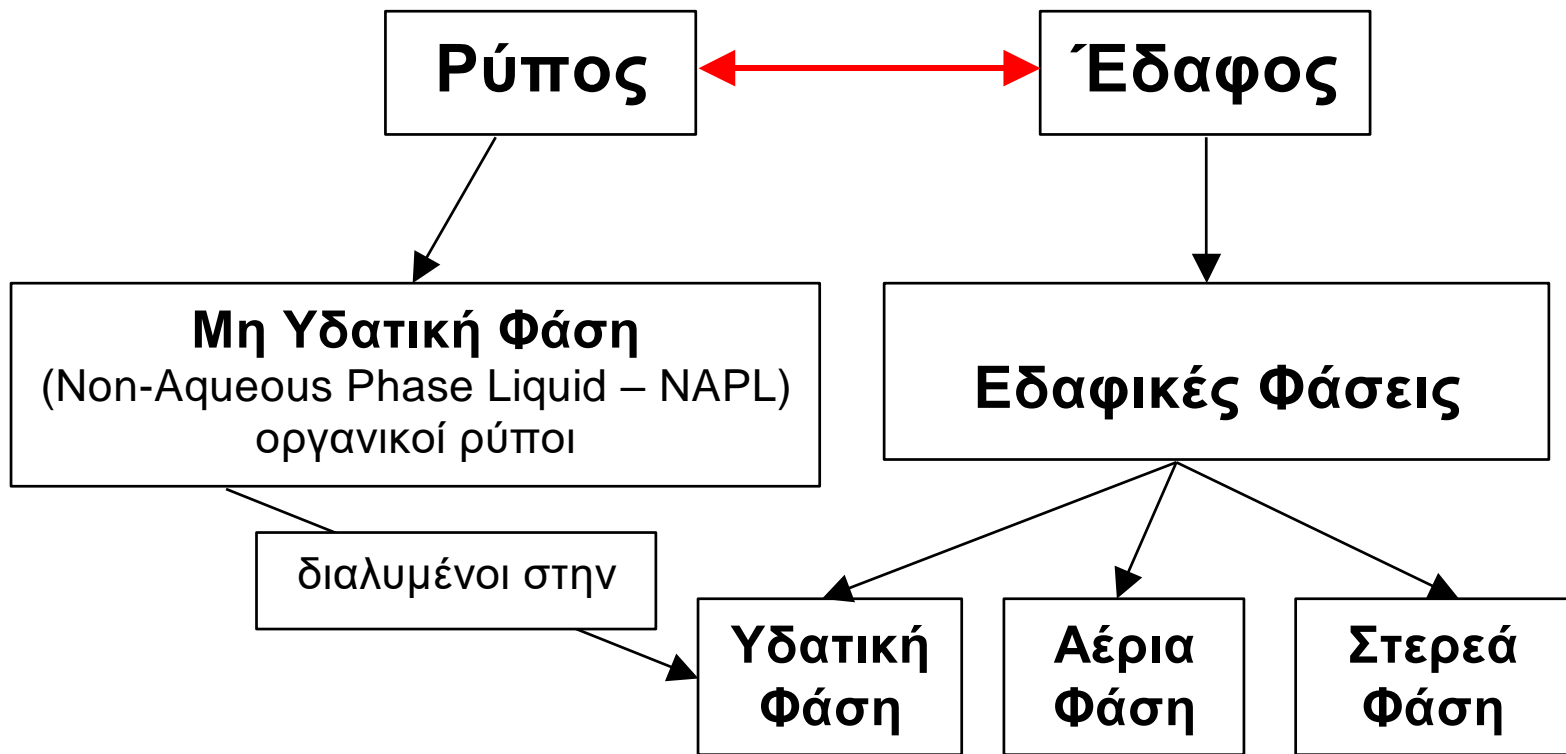
Μεταφορά ρύπων

(ως τώρα έχουμε δει)

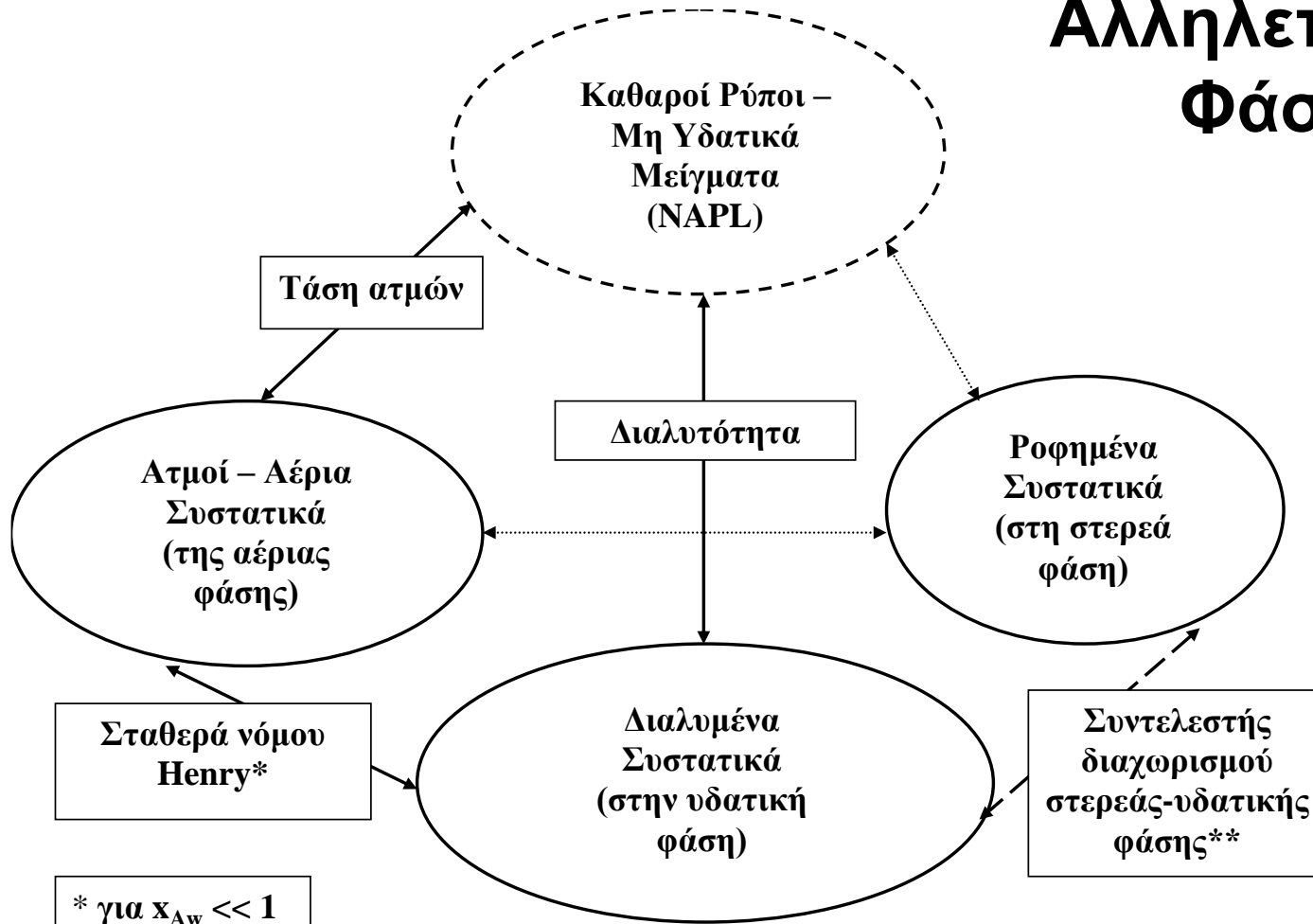
- **Μεταγωγή**: κίνηση με τη μέση ταχύτητα του νερού (ή του αέρα) – πιο σημαντική στα περατά εδάφη
 - **Ταχύτητα υπόγειου νερού** σε περατά εδάφη (άμμοι-χαλίκια): **10-100 m τον χρόνο**ⁱ
- **Διασπορά**: περαιτέρω εξάπλωση λόγω αποκλίσεων από τη μέση ταχύτητα
- **Διάχυση**: εξάπλωση λόγω της τυχαίας κίνησης των μορίων

ⁱ Mackay et al. 1985

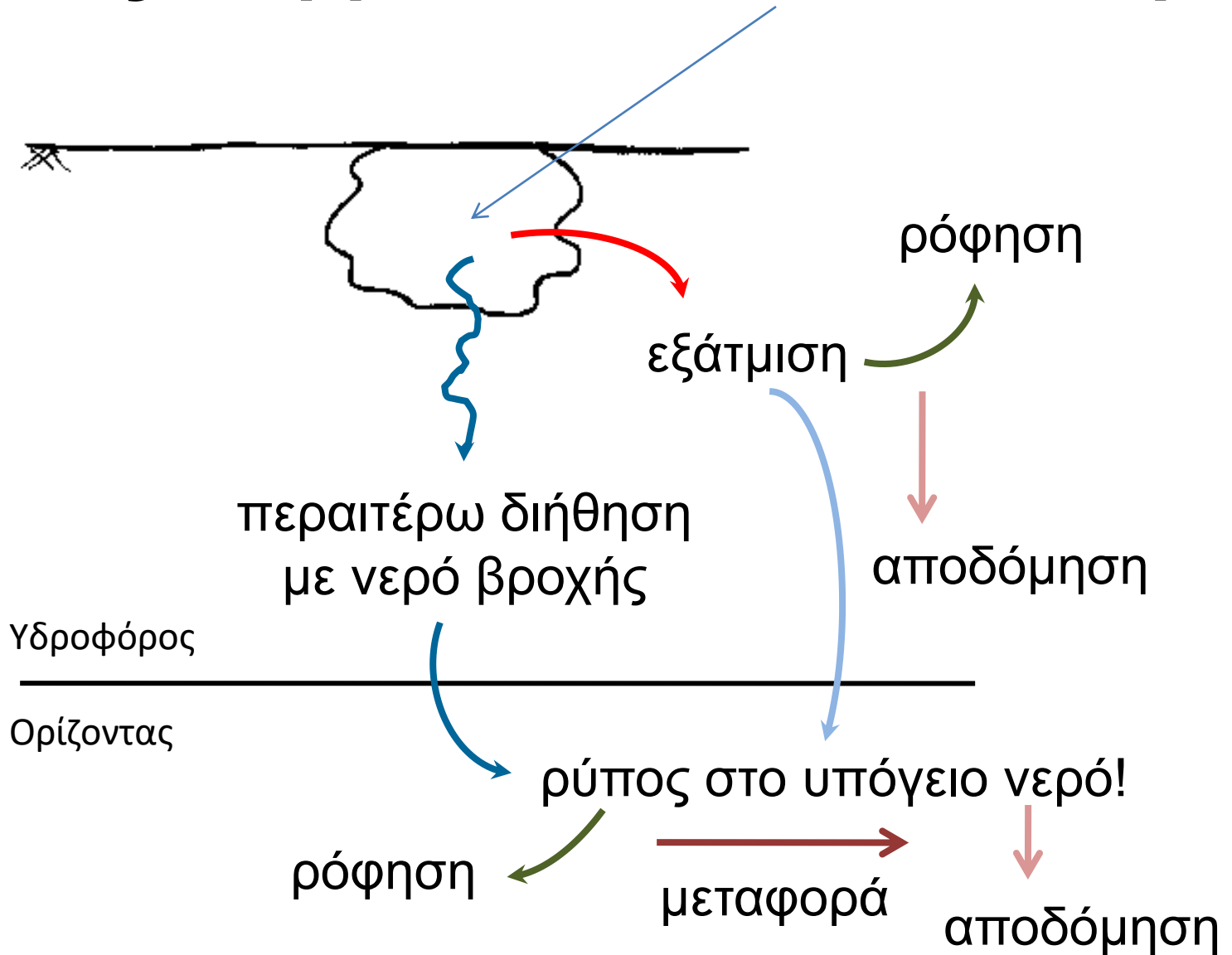
Φάσεις Ρύπων-Εδάφους



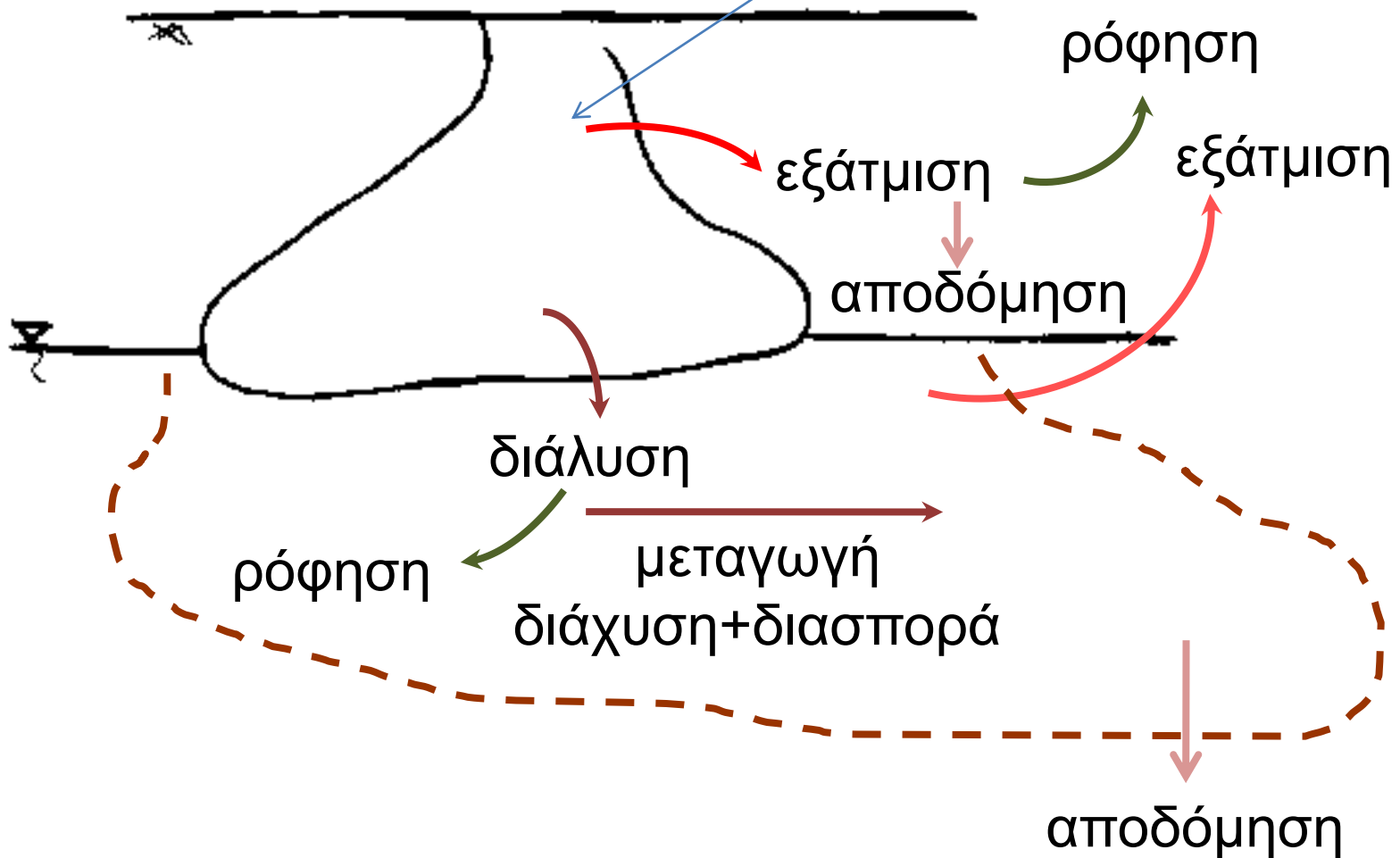
Αλληλεπίδραση Φάσεων



Ρύπος διαρρέει σε υδατικό διάλυμα



Ρύπος διαρρέει ως μη υδατική φάση (ελαφρότερη από το νερό)



Αποδόμηση

- Διάσπαση οργανικών ρύπων – αλλαγή σθένους ανόργανων ρύπων λόγω αβιοτικών ή βιολογικών αντιδράσεων
- Βιολογική αποδόμηση (= με τη μεσολάβηση μικροοργανισμών): δυνατή για περισσότερους ρύπους από ό,τι «περιμέναμε»
 - από την αντίδραση, οι μικροοργανισμοί εξασφαλίζουν ενέργεια, άνθρακα, ή και τα δύο
- Παράμετρος - κλειδί: **χρόνος ημιζωής** (χρόνος που απαιτείται για τη μείωση της συγκέντρωσης του ρύπου στο μισό)
- Τεχνολογίες βιοαποδόμησης: (συχνά) επιταχύνουν ρυθμό φυσικών διαδικασιών

Παράδειγμα: βιολογική αποδόμηση TCE

- Σταδιακή αποδόμηση τριχλωροαιθενίου TCE σε διχλωροαιθένιο DCE → βινυλοχλωρίδιο VC → αιθένιο
- Σε αναερόβιες συνθήκες το κάθε βήμα είναι πιο αργό από το προηγούμενο, γι' αυτό συχνά συσσωρεύονται ενδιάμεσα προϊόντα
 - Συνθήκες ευνοϊκές για αποδόμηση: αναερόβιες για PCE και TCE, αερόβιες για DCE και VC
- Μηχανισμός: η αναγωγή του TCE (δηλ. η αναγωγή των ατόμων άνθρακα στο μόριο του TCE) γίνεται με (α) τη βοήθεια συγκεκριμένων γηγενών μικροοργανισμών που αντλούν ενέργεια από την αντίδραση και (β) την απαραίτητη παρουσία κάποιου δότη ηλεκτρονίων (= κάποιας ένωσης που να διασπάται σε H₂)

Κάποια νούμερα

- Ρύπος \leftrightarrow ατμοί ρύπου: τάση ατμών
 - βενζόλιο: $9.52 \times 10^{+1}$ mm Hg
 - βενζο-α-πυρένιο: 5.6×10^{-9} mm Hg
- Ρύπος διαλυμένος σε νερό \leftrightarrow ατμοί ρύπου: σταθερά νόμου Henry
 - βενζόλιο: 5.5×10^{-1} kPa m³ / mol
 - βενζο-α-πυρένιο: 4×10^{-8} kPa m³ / mol
- Ρύπος διαλυμένος στο νερό \leftrightarrow ρύπος ροφημένος στη στερεά φάση*: συντελεστής διαχωρισμού υδατικής φάσης – οργανικού άνθρακα (K_{oc})
 - βενζόλιο: $8.3 \times 10^{+1}$ l/kg
 - βενζο-α-πυρένιο: $5.5 \times 10^{+6}$ l/kg

* Σύγκριση με συντελεστή διαχωρισμού K_p του μολύβδου (Pb): εύρος μετρημένων τιμών $5 - 10^{+5}$ l/kg, διάμεσος τιμή: $1.6 \times 10^{+4}$ l/kg (USEPA, 2005)

Κάποια νούμερα (συν.)

- Χρόνος ημιζωής, $t_{1/2}$
 - βενζόλιο: 50-100 μέρες
 - βενζο-α-πυρένιο: 220-530 μέρες
 - τριχλωροαιθέριο: 300 μέρες
 - κάποια παρασιτοκτόνα (πχ DDT):
0% σε 7 μέρες
- Σύγκριση ρύπων με $t_{1/2} = 1$ μήνα ή 1 χρόνο
 - Αν σε χρόνο $t=0$ σημειωθεί διαρροή 100 mg/l, η συγκέντρωση θα έχει μειωθεί σε 0.02 mg/l σε 1 ή 12 χρόνια, κ.ο.κ.

Τι θα απογίνει ο ρύπος: **πρακτικές συνέπειες**

- Η πρόβλεψη εξάπλωσης πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες τις φάσεις
- Η αλληλεπίδραση των φάσεων συντελεί στη ρύπανση όλων των εδαφικών φάσεων (στερεά, αέρας, νερό)
- Στη φυσική εξασθένηση λαμβάνουμε υπόψη όλους τους μηχανισμούς (μεταφορά, αλληλεπίδραση φάσεων, αποδόμηση)
- Η αποκατάσταση πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες τις φάσεις

Πηγές

- Fetter, C.W., 1999, Contaminant Hydrogeology, 2nd edition, MacMillan
- Freeze, R.A., and J.A. Cherry, 1979, Groundwater, Prentice Hall
- LaGrega, M., P. L. Buckingham and J. C. Evans, 2001, Hazardous Waste Management 2nd edition, McGraw Hill
- Mackay, D.M., P.V. Roberts and J.A. Cherry, 1985, Transport of organic contaminants in groundwater, *Environmental Science & Technology*, 19:5:384-392.
- Mackay, D.M. and J.A. Cherry, 1989, Groundwater contamination: Pump-and-treat remediation, *Environmental Science & Technology*, 23:6:630-636
- USEPA, 2005, **Partition coefficients for metals in surface water, soil and waste**, by J. D. Allison, T. L. Allison and R. B. Ambrose, EPA/600/R-05/074.