

Επανάληψη  
διακινδύνευσης (το ζουμί)  
&  
υπολογισμοί  
&  
παραδείγματα υπολογισμού

# Τι μας παρακίνησε να μελετήσουμε τη διακινδύνευση;

- Το πρώτο από τα βασικά ερωτήματα της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής
  - Ποιος είναι ο κίνδυνος;
  - Τι γνώσεις πρέπει να έχω για να απαντάω αυτήν την ερώτηση; (σε προβλήματα περιβαλλοντικής γεωτεχνικής)
- Είδαμε ότι πρέπει να ξέρουμε τον κίνδυνο και με τις δύο έννοιες του: 1) ό,τι μας απειλεί, 2) η πιθανότητα δυσάρεστης έκβασης
  - Απόφαση για λήψη μέτρων: βασίζεται στη διακινδύνευση
- Χρησιμοποιούμε ξεχωριστόν όρο για κάθε έννοια: 1) κίνδυνος (hazard), 2) διακινδύνευση (risk)

# Τα βασικά στάδια του υπολογισμού

Εύρεση μέτρου τοξικότητας  $\left\{ \begin{array}{l} \mu\text{-}\kappa: 1/\text{RfD} \\ \kappa: \text{SF} \end{array} \right.$

Υπολογισμός δόσης  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Δόση}_{\mu\kappa} \\ \text{Δόση}_{\kappa} \end{array} \right.$

Υπολογισμός διακινδύνευσης  $\left\{ \begin{array}{l} \mu\text{-}\kappa: \text{Δόση}_{\mu\kappa}/\text{RfD} < 1 \text{ OK} \\ \kappa: \text{Δόση}_{\kappa} \times \text{SF} < 10^{-6} \text{ OK} \end{array} \right.$

$\mu\text{-}\kappa$ : μη καρκινικές,  $\kappa$ : καρκινικές (επιπτώσεις)

# Δόση

$$\text{Δόση} = \frac{\text{μάζα ρύπου σε όλη τη διάρκεια της έκθεσης}}{[\text{σωματικό βάρος}] \times [\text{χρόνος υπολογισμού μέσης δόσης}]}$$

(μέσος όρος)

- Συγκέντρωση στο «ποτήρι» → μάζα ρύπου που ήπια σε όλη τη διάρκεια της έκθεσης → δόση (μέτρο τοξικότητας για κατάποση)
- Συγκέντρωση στα λαχανικά → μάζα ρύπου που κατάπια σε όλη τη διάρκεια της έκθεσης → δόση (μέτρο τοξικότητας για κατάποση)
- Συγκέντρωση στον αέρα → μάζα ρύπου που ανέπνευσα σε όλη τη διάρκεια της έκθεσης → δόση (μέτρο τοξικότητας για εισπνοή)
- κ.λπ.

# Δόση – πόσιμο νερό

συγκέντρωση στο σημείο έκθεσης      ρυθμός έκθεσης      συχνότητα έκθεσης

Δόση = (μέσος όρος) =  $\frac{\text{συγκέντρωση στο ποτήρι} \times \text{όγκος ποτηριών ανά ημέρα} \times \text{ημέρες έκθεσης ανά έτος}}{\text{σωματικό βάρος} \times \text{χρόνος υπολογισμού μέσης δόσης} \times \text{365 μέρες ανά έτος}}$   $\times$  διάρκεια έκθεσης

**μ-κ:** χρόνος υπολογισμού μέσης δόσης = διάρκεια έκθεσης (εξαρτάται από χρήση γης)

**κ:** χρόνος υπολογισμού μέσης δόσης = διάρκεια ζωής (70 χρόνια)

# Διακινδύνευση (μ-κ) για κατάποση

$$\frac{\text{συγκέντρωση στο ποτήρι} \times \text{όγκος ποτηριών ανά ημέρα} \times \text{ημέρες έκθεσης ανά έτος} \times \text{διάρκεια έκθεσης}}{\text{σωματικό βάρος} \times \text{χρόνος υπολογισμού μέσης δόσης} \times 365 \text{ μέρες ανά έτος}} \times \frac{1}{\text{RfD για κατάποση}}$$

# Διακινδύνευση (μ-κ) για εισπνοή

$$\frac{\text{συγκέντρωση στον αέρα} \times \text{όγκος αέρα που αναπνέουμε ανά ημέρα}}{\text{RfD για εισπνοή}}$$

# Συντελεστές Έκθεσης\*

Χρήση γης	Τρόπος έκθεσης	Ημερήσια κατανάλωση	Συχνότητα έκθεσης (ημέρες/έτος)	Διάρκεια έκθεσης (έτη)
Αστική	Πόσιμο νερό	2 L (ενήλικας†) 1 L (παιδί‡)	350	30
	Χώμα-σκόνη (κατάποση)	200 mg (παιδί) 100 mg (ενήλ.)	350	6 24
	Εισπνοή	20 m <sup>3</sup> (ενήλ.) 12 m <sup>3</sup> (παιδί)	350	30
Βιομηχανική και εμπορική	Πόσιμο νερό	1 L	250	25
	Χώμα-σκόνη (κατάποση)	50 mg	250	25
Αγροτική	Εισπνοή	20 m <sup>3</sup>	250	25
	Βρώση ντόπιων οπωροκηπευτικών	42 g (φρούτα) 80 g (λαχανικά)	350	30
Αναψυχή	Βρώση ψαριών της περιοχής	54 g	350	30

†,‡ Για τους ενήλικες και για τα παιδιά υποθέτουμε σωματικό βάρος 70 και 15 kg, αντίστοιχα.

\* συνιστώνται από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (Environmental Protection Agency, 1991, OSWER Directive 9285.6-03) σύμφωνα με τους Kolluru, R.V. et al., 1996, Risk Assessment and Management Handbook, McGraw-Hill.

# Παράδειγμα 1, πόσιμο νερό

- Για το όριο των ΗΠΑ για το αρσενικό στο πόσιμο νερό, που είναι ίσο με 10 μg/l, ρωτάμε:

(α) Σε τι δείκτη κινδύνου αντιστοιχεί;

**Υπολογισμός μέσης ημερήσιας δόσης**

$$\frac{0,01mg / l \times 2l / \eta\mu \times 350\eta\mu / \epsilon\tau\omicron\varsigma \times 30\epsilon\tau\eta}{70kg \times (365\eta\mu / \epsilon\tau\omicron\varsigma \times 30\epsilon\tau\eta)} = 2,7 \times 10^{-4} \frac{mg}{kg \cdot \eta\mu}$$

**Δόση αναφοράς**

(<http://www.epa.gov/iris/>): RfD =  $3 \times 10^{-4}$  mg /kg ημ

**Μη καρκινική διακινδύνευση - δείκτης κινδύνου**

$$\frac{2,7 \times 10^{-4}}{3 \times 10^{-4}} = 0,9$$



# Παράδειγμα 1, πόσιμο νερό (συνέχεια)

(β) Σε ποια πιθανότητα πρόσθετων περιστατικών καρκίνου αντιστοιχεί;

Η ημερήσια δόση θα είναι διαφορετική, γιατί *ο χρόνος αναφοράς* δεν *είναι* η διάρκεια έκθεσης, αλλά *η συνολική διάρκεια ζωής* (70 έτη).

## Υπολογισμός μέσης ημερήσιας δόσης

$$\frac{0,01 \text{ mg} / \text{l} \times 2 \text{ l} / \eta\mu \times 350 \eta\mu / \text{ετος} \times 30 \text{ ετη}}{70 \text{ kg} \times (365 \eta\mu / \text{ετος} \times 70 \text{ ετη})} = 1,2 \times 10^{-4} \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \eta\mu}$$

**Συντελεστής κλίσης για κατάποση** (<http://www.epa.gov/iris/>): = 1,5 kg ημ/ mg

## Καρκινική διακινδύνευση - πιθανότητα πρόσθετων περιστατικών

$$1,2 \times 10^{-4} \frac{\text{mg}}{\text{kg} \cdot \eta\mu} \times 1,5 \frac{\text{kg} \cdot \eta\mu}{\text{mg}} = 1,8 \times 10^{-4}$$

ή ένα πρόσθετο περιστατικό σε περίπου 5600 κατοίκους

# Παράδειγμα 2, έκθεση σε ρυπασμένο έδαφος

- Να υπολογιστεί η ανώτατη επιτρεπτή συγκέντρωση στο έδαφος μείγματος πετρελαιοειδών (mg ουσίας / kg χώματος). Υποθέτουμε βιομηχανική χρήση γης, έκθεση μέσω κατάποσης και δερματικής επαφής και δόση αναφοράς RfD = 0,6 mg / kg ημ (ίδιο για κατάποση και δερματική επαφή).

## Δόση κατάποσης

$$\frac{[C \cdot 50 \text{ mg χώματος / ημ} \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg} \cdot 250 \text{ ημ / έτος} \cdot 25 \text{ έτη}] / [70 \text{ kg} \cdot 25 \text{ έτη} \cdot 365 \text{ ημ / έτος}]}$$

Αλλαγή μονάδας μάζας του χώματος

## Δόση δερματικής επαφής

Χρειαζόμαστε επί πλέον στοιχεία για τον ρυθμό έκθεσης. Θα δεχτούμε ότι είναι ίσος με την επιφάνεια της εκτιθέμενης επιδερμίδας – μπράτσα, χέρια (1960 cm<sup>2</sup>), επί ένα συντελεστή προσκόλλησης (0,5 mg χώματος / cm<sup>2</sup> ημ), επί ένα συντελεστή απορρόφησης (1%) = 9,8 mg χώματος / ημ

$$\frac{[C \cdot 9,8 \text{ mg χώματος / ημ} \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg} \cdot 250 \text{ ημ / έτος} \cdot 25 \text{ έτη}] / [70 \text{ kg} \cdot 25 \text{ έτη} \cdot 365 \text{ ημ / έτος}]}$$

## Παράδειγμα 2, έκθεση σε ρυπασμένο έδαφος (συνέχεια)

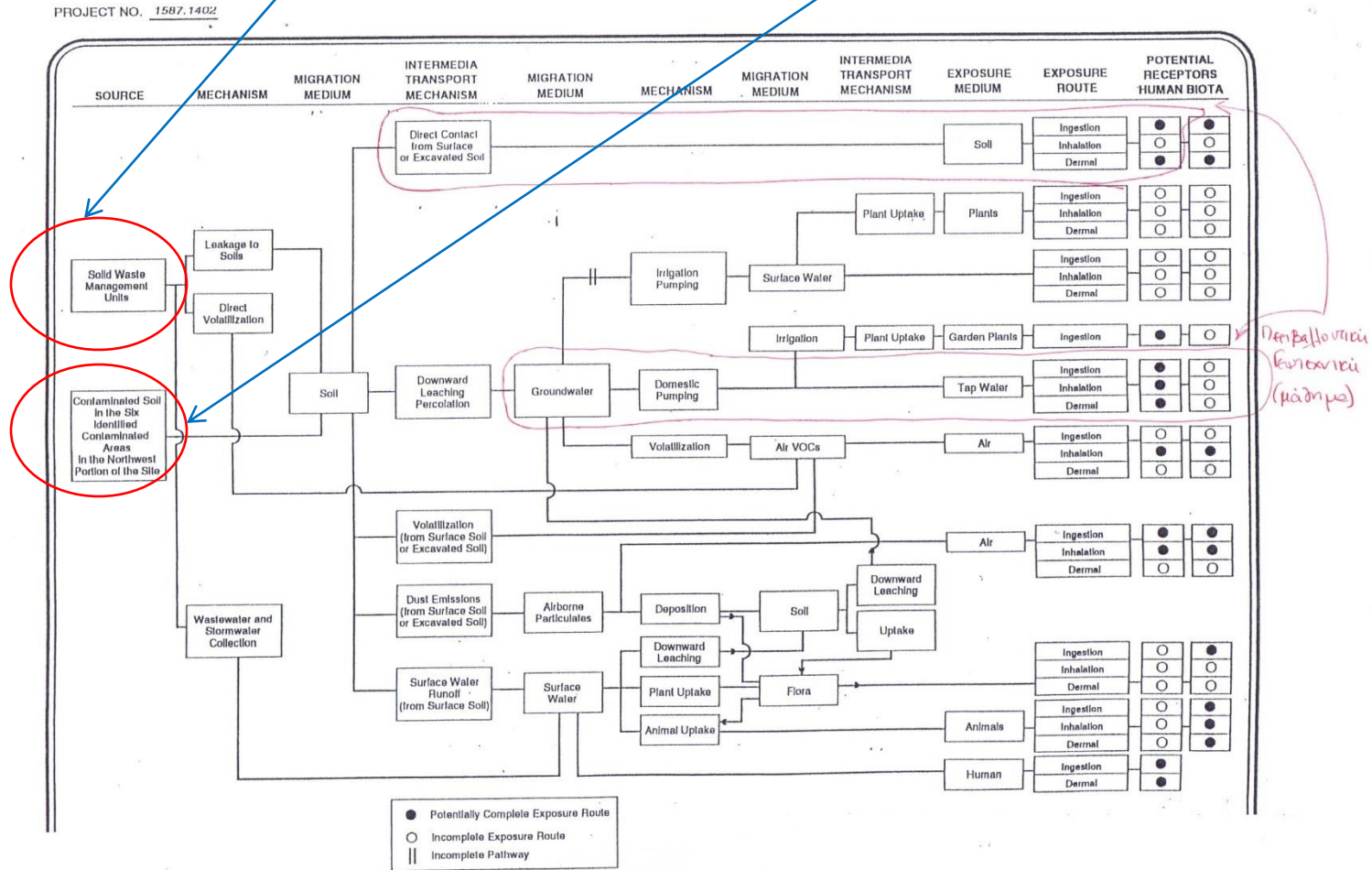
Αποδεκτός δείκτης κινδύνου = 1 = Δόση κατάποσης/ RfD + Δόση  
δερματικής επαφής/ RfD

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{RfD} &= 0,6 \text{ mg / kg ημ} \\ &= C [50+9,8] \text{ mg / ημ} \cdot 10^{-6} \text{ kg/mg} \cdot 250 \text{ ημ / έτος} \cdot 25 \text{ έτη} \\ &\quad / [70 \text{ kg} \cdot 25 \text{ έτη} \cdot 365 \text{ ημ / έτος}] \end{aligned}$$

$$\rightarrow C \approx 1.000.000 \text{ mg ουσίας / kg χώματος}$$

Ας σημειωθεί ότι καταλήξαμε σε μια παράλογα υψηλή τιμή συγκέντρωσης στο έδαφος (λόγος μάζας ρύπου: μάζα στερεών εδάφους 1:1!) γιατί το μείγμα πετρελαιοειδών είχε πολύ υψηλή τιμή RfD. Η απάντηση θα ήταν πολύ διαφορετική αν είχαμε συνυπολογίσει και το βενζόλιο, που συνήθως περιέχεται στα πετρελαιοειδή και το οποίο είναι γνωστό καρκινογόνο.

# Εκτίμηση έκθεσης από μελέτη (χώροι απόθεσης αποβλήτων, ρυπασμένο έδαφος)



Πώς σχετίζονται αυτά που κάνουμε στο μάθημα με την πράξη;