

Αποτίμηση Διακινδύνευσης (Βασικό ερώτημα: Ποιος είναι ο κίνδυνος;)

Βασική ιδέα: The dose makes the poison*
Η **δόση** κάνει** το δηλητήριο

Γι' αυτό **σήμερα** (μόνο σήμερα) **θα μιλάμε για δόση** (ποσότητα που τρώμε, πίνουμε, αναπνέουμε ή απορροφούμε μέσω του δέρματος) **αντί για συγκέντρωση**.

* Κακή χρήση μιας καλής ιδέας: “μικρές δόσεις είναι εντάξει”.

**Μ. Λοΐζος – Λ. Παπαδόπουλος: “Η δουλειά κάνει τους άντρες”, από την ταινία του Γρηγόρη Γρηγορίου “Τρούμπα '67”

Ερώτηση Νο 1

- Συμφωνείτε με την πρόταση «γενικά ανησυχούμε λιγότερο για μια ουσία που βρίσκεται στο υπέδαφος ως αποτέλεσμα φυσικών διεργασιών»;

Ναι

Όχι

Εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (περιγραφική)

- Τρία σημεία από αυτά που εξετάζει μια μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων αναφέρονται στο βιολογικό περιβάλλον
 - Χλωρίδα: αλλαγή στην ποικιλία ειδών, μείωση αριθμού ειδών
 - Πανίδα: αλλαγή στην ποικιλία ειδών, μείωση αριθμού, χειροτέρευση φυσικού περιβάλλοντος
 - **Ανθρώπινη υγεία**: δημιουργία κινδύνου ή πιθανότητας κινδύνου για βλάβη ανθρώπινης υγείας, έκθεση σε πιθανό κίνδυνο

Λήψη αποφάσεων σχετικών με το περιβάλλον

- Με ποια ποσοτικά κριτήρια;
 - Τεχνικές προδιαγραφές, κόστος, ...
- Με ποια ποσοτικά ή ποιοτικά εργαλεία;
 - Διεύρυνση της έννοιας του κόστους (προσοχή στις “κρυφές” παραδοχές!), ..., **αποτίμηση διακινδύνευσης** (παραδοχές!), εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων (παραδοχές!), περιβαλλοντική ηθική
- Ερώτημα – κλειδί: Πού θέτω το σύνορο του προβλήματος που απαιτεί μια απόφαση;

Ορισμοί (από 2012/18/ΕΕ)

- Κίνδυνος

- εγγενής ιδιότητα μιας ουσίας ή μιας κατάστασης η οποία έχει την δυνατότητα να προκαλέσει ζημία στην ανθρώπινη υγεία ή στο περιβάλλον

- Διακινδύνευση

- πιθανότητα μιας συγκεκριμένης επίπτωσης να συμβεί σε ορισμένο χρονικό διάστημα ή κάτω από ορισμένες συνθήκες

Αποτίμηση διακινδύνευσης* (ποσοτική)

- Αναγνώριση κινδύνου (hazard identification)
 - Εντοπίζονται και περιγράφονται αιτίες και επιπτώσεις
- Αποτίμηση διακινδύνευσης (risk assessment)
 - Υπολογίζονται (1) η πιθανότητα να σημειωθούν αρνητικές επιπτώσεις και (2) το μέγεθος των συνεπειών για συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα

* συνώνυμο: Εκτίμηση Επικινδυνότητας

Η ΑΛΗΘΕΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΗΛΙΕΛΑΙΟ

Για ποιο λόγο δεν εντοπίστηκε η επιμόλυνση του ηλιελαίου κατά την είσοδό του στη χώρα μας;

- Σε κανένα τελωνείο, σε καμία από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.), δεν εντοπίστηκε αυτή η επιμόλυνση, διότι δεν προβλέπεται έλεγχος για ορυκτέλαιο. Διακινήθηκε από την Ουκρανία σε Γαλλία, Ιταλία, Ολλανδία, Ισπανία, Αγγλία, Ελβετία, Ελλάδα, Βέλγιο, Γερμανία, Λουξεμβούργο, Μονακό, Νορβηγία, Ουγγαρία, Πορτογαλία, Ρουμανία, Σουηδία, Αλβανία, Τουρκία, Γκάνα και Μαρόκο.

Πότε ενημερώθηκε η Ελλάδα για την ύπαρξη επιμολυσμένου ηλιελαίου στην ελληνική αγορά και τι ενέργειες έγιναν;

- Στα πλαίσια ενημέρωσης όλων των χωρών της Ε.Ε., η Ελλάδα ενημερώθηκε στις 23 Απριλίου για επιμολυσμένο ηλιέλαιο, που εισήχθη σε άλλες χώρες (Ιταλία, Ισπανία, Ολλανδία, Μεγάλη Βρετανία και Μαρόκο) και όχι στη χώρα μας.
- Η Ελλάδα ειδοποιήθηκε επίσημα, από το σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης για τα Τρόφιμα και τις Ζωοτροφές (RASFF), ότι έχει διατεθεί επιμολυσμένο ηλιέλαιο στις αγορές της Ιταλίας, της Τουρκίας και της Ελλάδας με δύο σήματα στις 6 και στις 9 Μαΐου.
- Ο ΕΦΕΤ στις 6 Μαΐου, προχώρησε στις εξής ενέργειες:
 - Εντοπισμού, δέσμευσης και ανάκλησης της επιμολυσμένης παρτίδας.
 - Αποστολής, στο Γενικό Χημείο του Κράτους, δειγμάτων από τις συγκεκριμένες αλλά και από άλλες παρτίδες ηλιελαίου.
 - Ενημέρωσης της κοινής γνώμης για τις εταιρείες που είχαν συσκευασίες ηλιελαίου και ονομασίες που ανακαλούνται.

Γιατί ανακαλέσαμε το σύνολο του εισαγόμενου ηλιελαίου;

- Για προληπτικούς λόγους, αφού σε δείγματα που εξετάστηκαν στο Γενικό Χημείο του Κράτους προέκυψε ότι υπήρχε επιμόλυνση και σε παρτίδες που δεν περιλαμβάνονταν στην ειδοποίηση που έλαβε η Ελλάδα μέσα από το RASFF. Κατόπιν τούτου δεν επιτρέπεται να κυκλοφορούν στην αγορά συσκευασίες ηλιελαίου, μέχρι να ελεγχθούν.

Είναι άμεσα επικίνδυνο για τη δημόσια υγεία;

- **ΟΧΙ.** Η Ε.Ε. υποστηρίζει ότι για τη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει κίνδυνος για τη δημόσια υγεία. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και την EFSA (Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων) θα πρέπει πρακτικά «ένας ενήλικας βάρους 60 κιλών να καταναλώνει 4 κιλά προϊόντων που περιέχουν ηλιέλαιο επιμολυσμένο με ορυκτέλαιο, όταν η επιμόλυνση συνίσταται σε συγκέντρωση ορυκτελαίου πάνω από 0,3 γραμμάρια ανά λίτρο ή κιλό προϊόντος (300 ppm), καθημερινά για όλη του τη ζωή, προκειμένου να υπερβεί το αποδεκτό όριο πρόσληψης».

Εκτός από το συσκευασμένο ηλιέλαιο τι γίνεται με τα διάφορα προϊόντα που για την παρασκευή τους έχει χρησιμοποιηθεί ηλιέλαιο;

- Με βάση τις οδηγίες της Ε.Ε. θα πρέπει να αποσυρθούν προϊόντα που περιέχουν πάνω από 10% επιμολυσμένο ηλιέλαιο και μόνο όταν η επιμόλυνση συνίσταται σε συγκέντρωση ορυκτελαίου πάνω από 0,3 γραμμάρια ανά λίτρο ή κιλό

Αποτίμηση διακινδύνευσης στην καθημερινή μας ζωή!

χαρακτηριστικά εκτιθέμενου πληθυσμού

ρυθμός έκθεσης

Είναι άμεσα επικίνδυνο για τη δημόσια υγεία;

- ΟΧΙ. Η Ε.Ε. υποστηρίζει ότι για τη συγκεκριμένη περίπτωση δεν υπάρχει κίνδυνος για τη δημόσια υγεία. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας και την EFSA (Ευρωπαϊκή Αρχή για την Ασφάλεια των Τροφίμων) θα πρέπει πρακτικά «ένας ενήλικας βάρους 60 κιλών να καταναλώνει 4 κιλά προϊόντων που περιέχουν ηλιέλαιο επιμολυσμένο με ορυκτέλαιο, όταν η επιμόλυνση συνίσταται σε συγκέντρωση ορυκτελαίου πάνω από 0,3 γραμμάρια ανά λίτρο ή κιλό προϊόντος (300 ppm), καθημερινά για όλη του τη ζωή, προκειμένου να υπερβεί το αποδεκτό όριο πρόσληψης».

Δια ταύτα: σύγκριση δόσης με κάποιο μέτρο τοξικότητας

συγκέντρωση στο σημείο έκθεσης

συχνότητα έκθεσης

διάρκεια έκθεσης

Διακινδύνευση (Risk)

- Η διακινδύνευση είναι συνάρτηση
 - της φύσης του κινδύνου, της έκθεσης, και των χαρακτηριστικών των υπό έκθεση πληθυσμών
- Η αποτίμηση της διακινδύνευσης σχετίζεται με
 - ασφάλεια (στιγμιαίος κίνδυνος)
 - ανθρώπινη υγεία (μακροχρόνιος κίνδυνος)
 - περιβάλλον/οικολογία (μακροχρόνιος κίνδυνος)
- Για τη διακινδύνευση της ανθρώπινης υγείας εξετάζουμε επιπτώσεις
 - ξεχωρίζουμε μη καρκινικές και καρκινικές επιπτώσεις επειδή δεχόμαστε διαφορετικά μοντέλα δράσης χημικών ουσιών

Μέθοδος αποτίμησης διακινδύνευσης

- Περιλαμβάνει τέσσερα στάδια
 1. Αναγνώριση κινδύνου
 2. Εκτίμηση δόσης-απόκρισης
 3. Εκτίμηση έκθεσης
 4. Χαρακτηρισμός διακινδύνευσης
 - Ποιες είναι οι πιθανές επιπτώσεις στον εκτιθέμενο πληθυσμό; ←ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

1. Αναγνώριση κινδύνου: αξιολόγηση ρύπων

- Πόσο τοξικοί είναι;
 - Σχέση συγκεντρώσεων – φυσικών τιμών (ανόργανες ουσίες) και επιτρεπτών τιμών
 - Πόσο διαδεδομένοι είναι;
 - Συχνότητα ανίχνευσης (μπορώ να αγνοήσω αν < 5% των δειγμάτων)
 - Πόσο επίμονοι (persistent) – κινητικοί είναι;
 - Επιμονή*: χρόνος ημιζωής
 - Κινητικότητα*: συντελεστής διαχωρισμού στερεάς-υγρής φάσης
- * θα αναπτυχθούν και θα ποσοτικοποιηθούν σε επόμενα μαθήματα της Περιβαλλοντικής Γεωτεχνικής

1. Αναγνώριση κινδύνου: προτεραιότητες

- Παράγοντας διακινδύνευσης R για όλα τα ρυπασμένα μέσα (νερό, έδαφος, αέρας), για κάθε ρύπο i (C_i = συγκέντρωση, T_i = μέτρο τοξικότητας)

$$R = \sum (C_i)(T_i)$$

- Ο ρύπος i μπορεί να αγνοηθεί αν

$$\frac{C_i T_i}{\sum C_i T_i} < 1\%$$

- Στην τελική αξιολόγηση λαμβάνονται υπόψη οι ρύποι στους οποίους οφείλεται τουλάχιστον το $0.95R$

2. Δόση-απόκριση

- **Οξεία έκθεση**

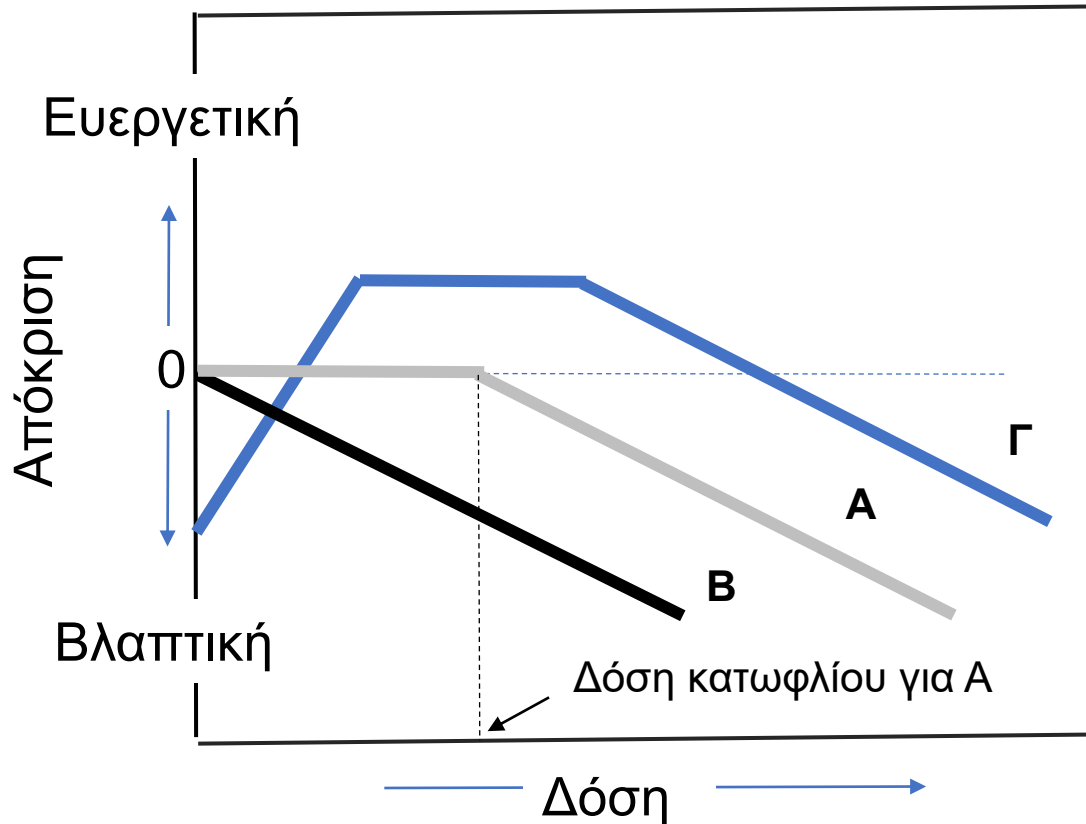
- Δόση για την οποία επιζούν 50% των οργανισμών: LD50, median lethal dose ή LC50, median lethal concentration. Π.χ. LD50 (**mg/kg***) για ποντίκια: μαγειρικό αλάτι (3800), ασπιρίνη (1500), βενζόλιο (930), διοξίνη (0.02-0.05)

- **Χρόνια έκθεση**

- Ανώτατη δόση για την οποία δεν υπάρχουν αρνητικές επιπτώσεις – (No observed adverse effect level) NOAEL (**mg/kg·ημ**)
- Κατώτατη δόση για την οποία βρίσκονται πειραματικά αρνητικές επιπτώσεις – (Lowest observed adverse effect level) LOAEL (**mg/kg·ημ**)

* **mg** ουσίας /**kg** σωματικού βάρους οργανισμού

Δόση-απόκριση, μακροχρόνια έκθεση: περιπτώσεις



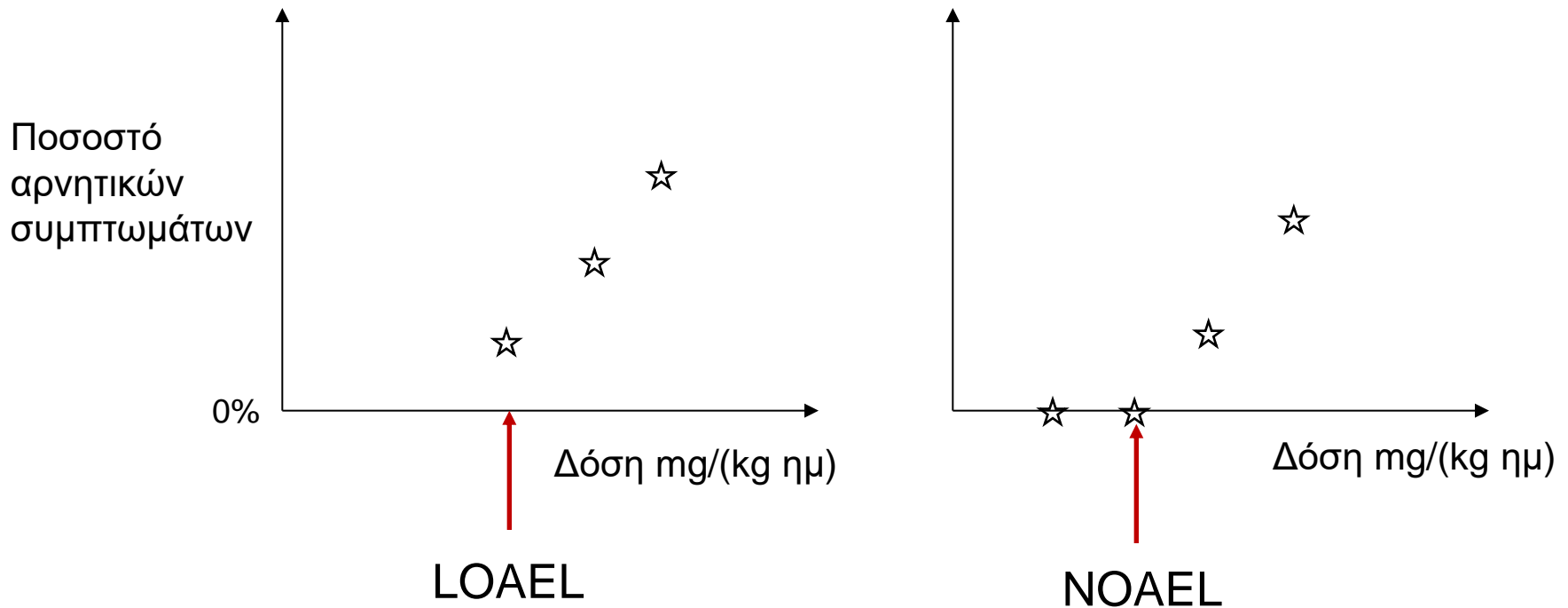
A: μη καρκινικές
επιπτώσεις

B: καρκινικές
επιπτώσεις

Γ: ιχνοστοιχεία,
πχ Zn, Cr³⁺

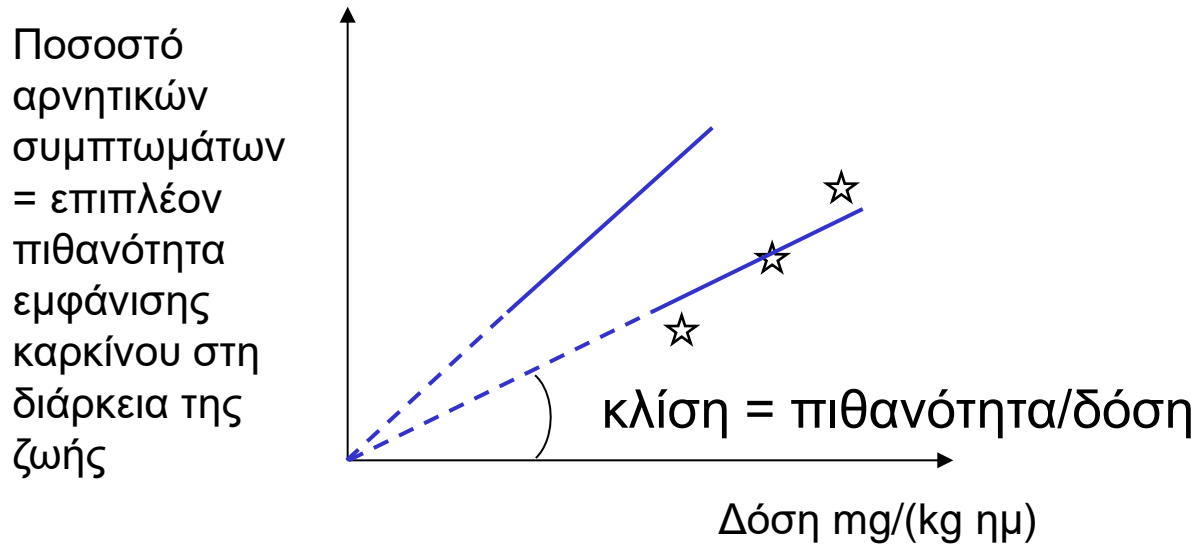
(προσαρμογή από Vesilind & Morgan, 2004)

Μη καρκινικές επιπτώσεις: τιμές κατωφλίου* για τη σχέση δόσης-απόκρισης



* Όμως κάποιοι ρύποι φαίνεται να μην έχουν κατώφλι, πχ μόλυβδος

Καρκινικές επιπτώσεις: το επικρατούν μοντέλο δεν αναγνωρίζει κατώφλι (καμία δόση ασφαλής!)



Σχόλιο: Απλουστευτικό διάγραμμα!! Υπάρχει ολόκληρη θεωρία για την προεκβολή σε μικρές δόσεις

2. Εκτίμηση δόσης-απόκρισης

- Μη καρκινικές επιπτώσεις
 - Δόση αναφοράς (RfD – reference dose): εκτίμηση ημερήσιας δόσης που είναι πιθανό να μην συνδέεται με αρνητικές επιπτώσεις. Π.χ. (για κατάποση) αρσενικό: 3×10^{-4} mg/kg ημ, βινυλοχλωρίδιο: 3×10^{-3} , βενζόλιο: 4×10^{-3} mg/kg ημ
 - $RfD = NOAEL/10 \times 10 \times 10$ ή $= LOAEL/1000 \times 10$
- Καρκινικές επιπτώσεις
 - Συντελεστής κλίσης (SF – slope factor): άνω όριο της πιθανότητας απόκρισης καθ'όλη τη διάρκεια ζωής για μοναδιαία δόση. Π.χ. (για κατάποση) αρσενικό: 1.5 kg ημ/mg, βινυλοχλωρίδιο: 7.2×10^{-1} , βενζόλιο: $1.5-5.5 \times 10^{-2}$ kg ημ/mg
- Μέτρο τοξικότητας (T_i)
 - Μη καρκινικές επιπτώσεις: $T_i = 1/RfD$
 - Καρκινικές επιπτώσεις: $T_i = SF$

$$R = \sum C_i T_i$$

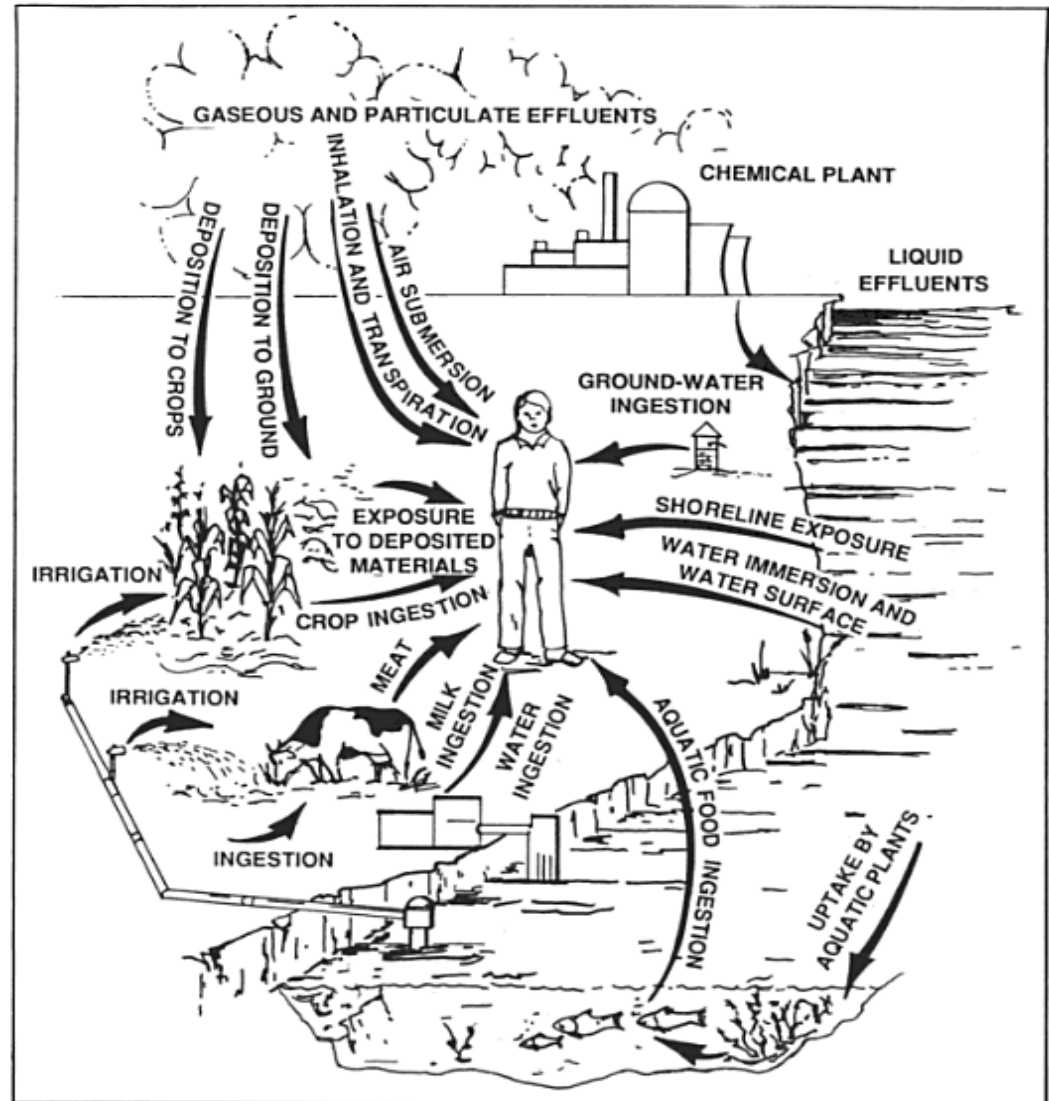
Ερώτηση Νο 2

- Για να εξηγήσετε τη διαφορά στις μονάδες της δόσης (α) για την οποία επιζούν 50% των οργανισμών (LD50), mg/kg, και (β) της δόσης αναφοράς (RfD), mg/(kg·ημ), θα λέγατε ότι (τσεκάρετε όλα όσα θα θέλατε να πείτε):
 - ο χρόνος δεν υπεισέρχεται στην μέτρηση της παραμέτρου LD50
 - η παράμετρος RfD συνδέεται με αρνητικές επιπτώσεις που προκύπτουν ως αποτέλεσμα μακροχρόνιας έκθεσης
 - κάτι άλλο

3. Εκτίμηση έκθεσης

- πολλοί πιθανοί τρόποι!
- κύριες οδοί έκθεσης
 - εισπνοή αέρα
 - κατάποση τροφής και νερού
 - δερματική επαφή (απορρόφηση)

(NRC, 1991)



3. Παράδειγμα εκτίμησης έκθεσης

- Υπολογίζω **ημερήσια δόση**, I (ανά κιλό σωματικού βάρους): 1.1×10^{-3} mg/kg ημ

$$I = \frac{\text{συγκέντρωση στο σημείο έκθεσης } 0.09 \text{ mg/l} \times \text{ρυθμός έκθεσης } 2 \text{ l/ημ} \times \text{συχνότητα έκθεσης } 350 \text{ ημ/χ} \times \text{διάρκεια έκθεσης } 30 \text{ χ}}{\text{σωματικό βάρος } 70 \text{ kg} \times \text{χρόνος αναφοράς}^* \times 365 \text{ ημ/χ}}$$

καθοριστικό!

ποικίλλουν ανάλογα με χρήση γης!

* για μη καρκινικές επιπτώσεις χρόνος αναφοράς = διάρκεια έκθεσης (30 χ για αστική χρήση γης)

4. Χαρακτηρισμός διακινδύνευσης

- Γενική ιδέα: **Ημερήσια δόση** × **Μέτρο τοξικότητας**
- Μη καρκινικές επιπτώσεις = (Ημερήσια δόση) / (Δόση αναφοράς = RfD)
 - Όροι: Hazard Quotient (HQ_{ij}): για ρύπο i, μονοπάτι έκθεσης j, Hazard Index (HI_j): άθροισμα ρύπων για μονοπάτι j, HI_{tot}: όλοι οι ρύποι, όλα τα μονοπάτια έκθεσης
 - Αποδεκτή διακινδύνευση αν < 1
- Καρκινικές επιπτώσεις = πρόσθετα περιστατικά καρκίνου = (Ημερήσια δόση) × (Συντελεστής κλίσης = SF).
 - Όροι: Carcinogenic Risk, R_{cij}, R_{cj}, R_{tot}
 - Συνήθως θεωρούμε αποδεκτή την εμφάνιση ενός πρόσθετου περιστατικού σε 1,000,000 έως 10,000 κατοίκους. Η αντίστοιχη αποδεκτή διακινδύνευση εκφρασμένη ως πιθανότητα είναι 10⁻⁶ έως 10⁻⁴.

Τα 4 στάδια με παράδειγμα

1. Αναγνώριση κινδύνου

- βενζόλιο (γνωστό καρκινογόνο) στο υπόγειο νερό σε συγκέντρωση 90 $\mu\text{g/l}$ ($> 1\mu\text{g/l} = \text{όριο πόσιμου νερού}$)

όριο
ΕΕ

2. Εκτίμηση δόσης-απόκρισης

- δόση αναφοράς: $\text{RfD} = 4 \times 10^{-3} \text{ mg/kg ημ}$
- πιθανότητα απόκρισης για μοναδιαία δόση:
 $\text{SF} = 5.5 \times 10^{-2} \text{ kg ημ/mg}$

βάσεις
δεδομένων

3. Εκτίμηση έκθεσης

- ημερήσια δόση ενήλικα: $2.5 \times 10^{-3} \text{ mg/kg ημ (μ-κ)}$
 $1.1 \times 10^{-3} \text{ mg/kg ημ (κ)}$

4. Χαρακτηρισμός διακινδύνευσης

- $2.5 \times 10^{-3} \text{ mg/kg ημ} / 4 \times 10^{-3} \text{ mg/kg ημ} = 0.63 < 1$
- πρόσθετα περιστατικά καρκίνου: $1.1 \times 10^{-3} \text{ mg/kg ημ} \times 5.5 \times 10^{-2} \text{ kg ημ/mg} = 6 \times 10^{-5} \leftarrow \text{ΑΠΟΦΑΣΗ}$
(6 περιστατικά για μια πόλη 100 000 κατοίκων)

Στοιχεία για την επίδραση ουσιών στην ανθρώπινη υγεία

- Πώς τα αποκτάμε;
 - Τοξικολογία (toxicology)
 - με πειραματόζωα
 - με πειράματα σε επίπεδο κυττάρου
 - Επιδημιολογία (epidemiology)
 - δεδομένα από ατυχήματα, έκθεση σε εργασιακό περιβάλλον (πχ βινυλοχλωρίδιο → καρκίνος του ήπατος, βενζόλιο → κάποιοι τύποι λευχαιμίας)
- Πού ψάχνουμε;
 - Βάσεις δεδομένων

Βάσεις δεδομένων

- Υπηρεσία Περιβάλλοντος των ΗΠΑ
 - IRIS (Integrated Risk Information System):
<https://www.epa.gov/iris>
 - A to Z list of IRIS substances
- Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας:
Intergovernmental Forum on Chemical Safety
 - <https://www.who.int/initiatives/intergovernmental-forum-on-chemical-safety/>

Ερωτήματα διακινδύνευσης*

- Γιατί ανησυχούμε για 50 ppm βενζολίου στο υπόγειο νερό 20m κάτω από τα πόδια μας, αλλά όχι για 2000 ppm στο ρεζερβουάρ του αυτοκινήτου μας;
- Γιατί ανησυχούμε για 20 ppb φαινόλης στο πόσιμο νερό, αλλά όχι για 14 000 ppm φαινόλης σε φάρμακο-σπρέι για τον πονόλαιμο;

* Nyer & Clarkson, 2006, Risk 101 and remediation design, Ground Water Monitoring & Remediation, 26:3:38-44

Μέθοδος αποτίμησης διακινδύνευσης

- Τέσσερα βασικά στάδια
 1. Αναγνώριση κινδύνου \Leftarrow ίδιο
 2. Εκτίμηση δόσης-απόκρισης
 3. Εκτίμηση έκθεσης
 4. Χαρακτηρισμός \Leftarrow διαφορετικό
διακινδύνευσης

Διακινδύνευση & Μέτρα αποκατάστασης

- Γιατί ανησυχούμε για 50 ppm βενζολίου στο υπόγειο νερό 20m κάτω από τα πόδια μας, αλλά όχι για 2000 ppm στο ρεζερβουάρ του αυτοκινήτου μας;
 - Γιατί δεν υπάρχει τρόπος έκθεσης στο βενζόλιο του ρεζερβουάρ
- Γιατί ανησυχούμε για 20 ppm φαινόλης στο πόσιμο νερό αλλά όχι για 14 000 ppm φαινόλης σε φάρμακο-σπρέι για τον πονόλαιμο;
 - Γιατί η έκθεση στο σπρέι είναι πολύ σύντομη

Το «διά ταύτα»

- Για την Περιβαλλοντική Γεωτεχνική: Η απόφαση αν χρειάζεται να ληφθούν μέτρα αποκατάστασης λαμβάνεται με βάση τη διακινδύνευση και όχι με βάση τον κίνδυνο.
- Για την αγωγή του πολίτη (και γενικότερα τη ζωή): ορθολογικά, ο φόβος μπορεί να βασίζεται μόνο στη διακινδύνευση (όχι στον κίνδυνο).

Πηγές σχημάτων

Σημείωση: το μη πρωτογενές υλικό αυτής της παρουσίασης είναι διαθέσιμο στο διαδίκτυο (πχ πρακτική των ΗΠΑ για μελέτες κλπ δημόσιων οργανισμών) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κατάλληλη αναφορά (attribution).

Διαφάνεια 19. National Research Council (NRC), 1991, *Frontiers in Assessing Human Exposures to Environmental Toxicants*, National Academy Press.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Διαφάνεια 14. Vesilind, P.A. & S.M. Morgan, 2004, *Introduction to Environmental Engineering*, 2nd Ed., Brooks-Cole-Thomson Learning, Belmont, CA, USA.

Διαφάνεια 25. Nyer E. & P. Clarkson, 2006, Risk 101 and remediation design, *Ground Water Monitoring & Remediation*, 26:3:38-44