



Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος – Αρχές Αειφορίας

Ενότητα 14: Εκτίμηση και διαχείριση επικινδυνότητας

Μουσιόπουλος Νικόλαος
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Περιεχόμενα ενότητας

- Επικινδυνότητα και λήψη αποφάσεων
- Ποσοτικοποίηση κινδύνου.
- Εκτίμηση επικινδυνότητας.



Σκοποί ενότητας

- Επικινδυνότητα και λήψη αποφάσεων.
- Ποσοτικοποίηση κινδύνου.
- Εκτίμηση επικινδυνότητας.



Επικινδυνότητα και λήψη αποφάσεων

- Ο ρόλος της εκτίμησης επικινδυνότητας και της διαχείρισης επικινδυνότητας στη λήψη αποφάσεων, άρχισε να γίνεται αποδεκτός, μόλις στη δεκαετία του '80 και αυτό όταν ξεκίνησε να αναγνωρίζεται το πρόβλημα των τοξικών αποβλήτων και να αναζητούνται λύσεις.
- Για πολλές τοξικές ουσίες υπάρχει η υποψία ότι είναι καρκινογόνες και άρα ακόμη και μικρή έκθεση σε αυτές προκαλεί κάποιο κίνδυνο.
- Εάν λοιπόν οποιαδήποτε έκθεση σε κάποια ουσία προκαλεί κίνδυνο, γεννάται το ερώτημα σχετικά με τη μεθοδολογία προσδιορισμού ορίων ποιότητας αέρα και νερών σε σχέση με αυτή την ουσία.



Σχέση κόστους - οφέλους

- Σε κάποιο στάδιο της διαδικασίας καθαρισμού των τοξικών ουσιών μπορεί ο υπολειπόμενος κίνδυνος για την υγεία και το περιβάλλον να μην δικαιολογεί τις συνεχόμενες δαπάνες και από πλευράς επικινδυνότητας μπορεί να συμφέρει περισσότερο την κοινωνία εάν τα έξοδα αυτά γίνουν για κάποιο άλλο σκοπό.
- Η επίτευξη μηδενικού ρίσκου απαιτεί άπειρο κόστος και άρα λοιπόν οι λήπτες αποφάσεων αντιμετωπίζουν διαρκώς το δίλημμα της ανεκτής σχέσης επικινδυνότητας - κόστους διαχείρισης.



Περιορισμένη γνώση γύρω από ασθένειες

- Σε συνδυασμό με τα ελάχιστα δεδομένα που υπάρχουν γύρω από τις δεκάδες χιλιάδες συνθετικές χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα καθίσταται τελικά πολύ δύσκολος ο καθορισμός κατωφλίου για μία χημική ένωση, κάτω από το οποίο δεν παρατηρούνται αρνητικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία ή σε άλλους αποδέκτες.



Εκτίμηση – Διαχείριση επικινδυνότητας

- Εκτίμηση επικινδυνότητας ορίζεται ως η συλλογή δεδομένων για την περιγραφή της σχέσης δόσης - επίπτωσης, ώστε σε συνδυασμό με την εκτίμηση της έκθεσης, να προκύπτει τελικά η επικινδυνότητα.
- Διαχείριση επικινδυνότητας είναι η λήψη αποφάσεων, υπό συνθήκες αβεβαιότητας, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη κατανομή πόρων με σκοπό την προστασία της δημόσιας υγείας και του περιβάλλοντος.



Ποσοτικοποίηση κινδύνου (1/2)

- Ορθολογικές αποφάσεις για τη χρήση πρώτων υλών και την προστασία του περιβάλλοντος προϋποθέτουν ότι οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων έχουν στη διάθεσή τους τις αναγκαίες πληροφορίες στην κατάλληλη μορφή.
- Με τη διεξαγωγή συστηματικών μετρήσεων και την παρακολούθηση του περιβάλλοντος, το επίπεδο γνώσης βελτιώνεται βαθμιαία, με αποτέλεσμα να καθίσταται δυνατή η ποσοτική εκτίμηση της επικινδυνότητας.
- Ανεξάρτητα από το πόσο προσεκτικά σχεδιάζονται και διενεργούνται οι οποιεσδήποτε μετρήσεις ή πειράματα, τα παραγόμενα στοιχεία εξαρτώνται και από την αναπόφευκτη τυχαία απόκλιση των μετρήσεων.



Ποσοτικοποίηση κινδύνου (2/2)

- Η παρατήρηση της αλήθειας επηρεάζεται πάντοτε από σχετική, αλλά αρκετές φορές ποσοτικοποιήσιμη, αβεβαιότητα.
- Για μια αποτελεσματική περιβαλλοντική διαχείριση απαιτείται συνεπώς χρήση της Περιβαλλοντικής Στατιστικής.
- Οι στατιστικές αναλύσεις αποτελούν εργαλείο ώστε η διαδικασία της συλλογής ποσοτικής γνώσης να καταστεί διαχειρίσιμη και αποτελεσματική.



Αντιμετώπιση του προβλήματος της εκτίμησης επικινδυνότητας

- Ερώτηση:
 - Πώς, χρησιμοποιώντας τη βοήθεια της Περιβαλλοντικής Στατιστικής, θα λυθεί το υπό μελέτη πρόβλημα ποσοτικοποίησης κινδύνου και ποιες τεχνικές είναι αναγκαίο να χρησιμοποιηθούν;
- Πολλά διαφορετικά προβλήματα προκύπτουν και πολλές διαφορετικές τεχνικές στατιστικής ανάλυσης υπάρχουν, που ποικίλουν από την παραγωγή απλών σχέσεων ποσοτικοποίησης ή και διαγραμμάτων των διαθέσιμων στοιχείων, μέχρι τη δημιουργία προτύπων παλινδρόμησης και την εκτίμηση παραμέτρων και αβεβαιότητας.



Απλές σχέσεις ποσοτικοποίησης

- Κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα συνεπάγεται κάποιιο κίνδυνο και αφού όλοι πεθαίνουμε, ο κίνδυνος θανάτου από οποιαδήποτε αιτία κατά τη διάρκεια της ύπαρξης μας είναι 1,00 ή 100%.
- Στην Ελλάδα από τους συνολικούς θανάτους που ήταν 113.000 το 2002, περίπου 6.000 προήλθαν από καρκίνο του πνεύμονα. Μη λαμβάνοντας υπ' όψιν τον παράγοντα της ηλικίας θα λέγαμε ότι κατά μέσο όρο το ρίσκο ή η πιθανότητα να πεθάνει ένας από καρκίνο είναι περίπου 5,3%.
- Στις Η.Π.Α. θεωρείται ότι το κάπνισμα προκαλεί περίπου 400.000 θανάτους από τους συνολικούς 2.177.000 σε ετήσια βάση. Άρα κατά μέσο όρο η πιθανότητα θανάτου εξαιτίας του καπνίσματος είναι περίπου 18% ($400.000/2.177.000=0,18$).



Στατιστικές κατανομές

- Εκθετική κατανομή (π.χ. μοντελοποίηση του χρόνου εμφάνισης μιας σπάνιας ασθένειας).
- Κατανομή Γ.
- Κανονική κατανομή.
- Λογαριθμική - κανονική κατανομή.
- Παρατήρηση από τον Box (1979):
 - «... όλα τα μοντέλα κάνουν λάθος, αλλά μερικά είναι χρήσιμα».



Λογαριθμική - κανονική κατανομή

- Οι μετρήσεις περιβαλλοντικών μεγεθών ακολουθούν μία κατανομή με μεγάλη κύρτωση που εκφράζει την απόκλιση της κατανομής από τη συμπεριφορά της κανονικής κατανομής.
- Περιγράφει πολλαπλασιαστικά φαινόμενα.
- Τα φαινόμενα βασίζονται στη συνέργεια πολλών ανεξάρτητων παραγόντων/ενδεχομένων.
- Η λογαριθμική - κανονική κατανομή αποτελεί τη βάση για την ανάλυση της αβεβαιότητας σε προβλήματα εκτίμησης και διαχείρισης επικινδυνότητας.

Πηγή: ExternE (2005).



Σχετικός κίνδυνος (Relative Risk - RR)

- Βασίζεται σε συγκεκριμένες επιδημιολογικές μελέτες.
- Ισοδυναμεί με τα πρόσθετα περιστατικά ανά μοναδιαία αύξηση έκθεσης προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν οι αρνητικές επιδράσεις.
- Οι περισσότερες επιδημιολογικές μελέτες αναφέρουν τα αποτελέσματά τους με όρους σχετικού κινδύνου.
- Το RR αποτελεί την αναλογία της επίπτωσης που παρατηρείται σε δυο διαφορετικά επίπεδα έκθεσης και δίνει:
 - το ποσοστό μεταβολής του κινδύνου ανά μονάδα μεταβολής των επιπέδων μιας χημικής ουσίας που χαρακτηρίζεται ως ρύπος και
 - την εκτίμηση του αριθμού των αποδοτέων περιστατικών στον πληθυσμό των αποδεκτών που εξετάζεται.



Προσδιορισμός κατωφλίου ανοχής προσθέτου κίνδυνου

- Ο Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος της Αμερικής (EPA, Environment Protection Agency), έχει καθορίσει κατώφλια ανοχής για τοξικές ουσίες σε τέτοιο επίπεδο που ο προσθετός κίνδυνος παρουσίασης καρκίνου στα πιο εκτεθειμένα μέλη του συνόλου (καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους) εξ αιτίας των ουσιών αυτών, να είναι από:
 - 10^{-6} (ένας επιπρόσθετος καρκίνος ανά ένα εκατομμύριο άτομα) έως
 - 10^{-4} (100 επιπρόσθετοι καρκίνοι ανά ένα εκατομμύριο άτομα).

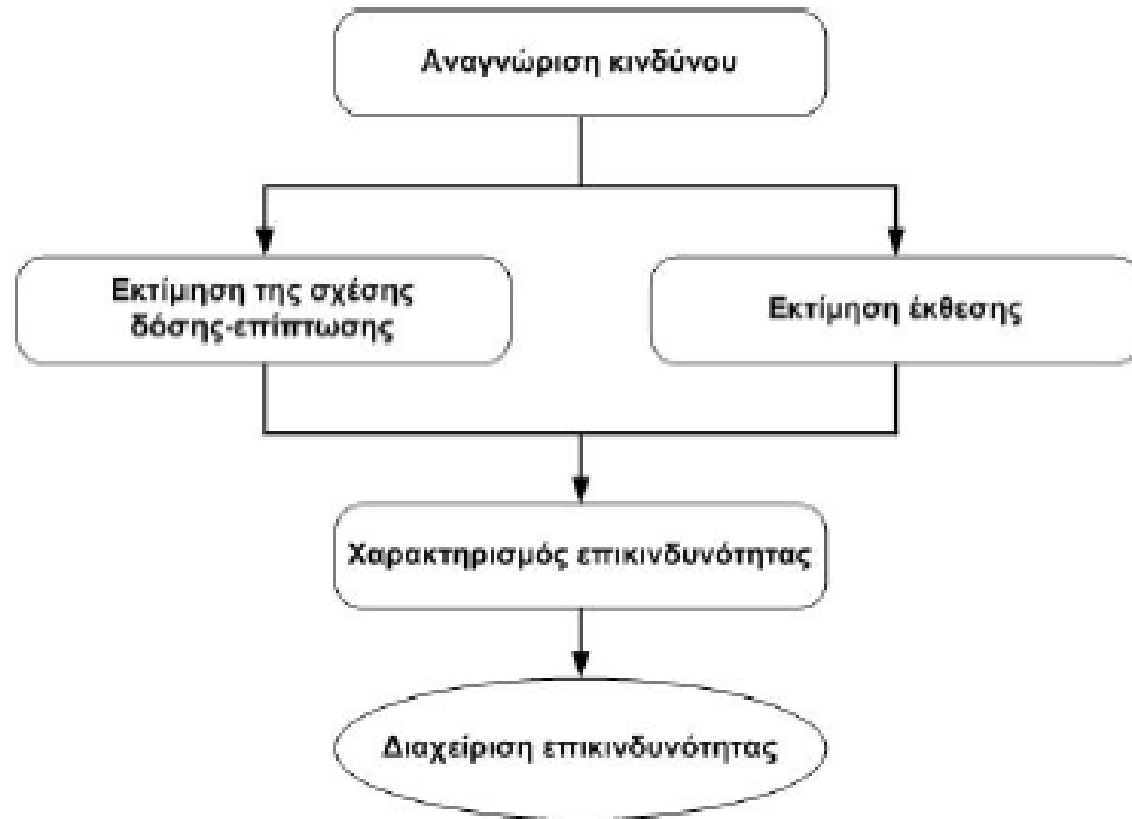


Εκτίμηση επικινδυνότητας

- Ο Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος της Αμερικής (EPA, Environment Protection Agency), έχει καθορίσει κατώφλια ανοχής για τοξικές ουσίες σε τέτοιο επίπεδο που ο προσθετός κίνδυνος παρουσίασης καρκίνου στα πιο εκτεθειμένα μέλη του συνόλου (καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους) εξ αιτίας των ουσιών αυτών, να είναι από:
 - 10^{-6} (ένας επιπρόσθετος καρκίνος ανά ένα εκατομμύριο άτομα) έως
 - 10^{-4} (100 επιπρόσθετοι καρκίνοι ανά ένα εκατομμύριο άτομα).



Στάδια εκτίμησης επικινδυνότητας και διαχείριση



Πηγή:

http://eclass.auth.gr/modules/document/file.php/MENG218Σημειώσεις%20Μαθήματος%20ΤΠΠ/Ch.14_2015.pdf,
04/09/2015.



Αναγνώριση κινδύνου

- Είναι η διαδικασία καθορισμού του εάν και κατά πόσο μια συγκεκριμένη χημική ουσία προκαλεί συγκεκριμένες επιπτώσεις στην υγεία, όπως καρκίνο ή γενετικές ανωμαλίες.
- Μια τοξική ουσία μπορεί να εισέλθει στον οργανισμό με 3 τρόπους: με απορρόφηση μέσω φαγητού ή ποτού, μέσω της αναπνοής ή με εξωτερική επαφή. Στη συνέχεια, αποθηκεύεται, αποβάλλεται, ή μετατρέπεται σε κάποια άλλη ουσία (βιομεταλλαγή).
- Ένας τρόπος μέτρησης της τοξικότητας είναι η ποσότητα δόσης που απαιτείται για να προκληθεί οξεία αντίδραση του οργανισμού, όπως καταστροφή βασικών οργάνων, κώμα, ή ακόμη και θάνατος.
- Οι καμπύλες δόσης - επίπτωσης, δείχνουν το ποσοστό του πληθυσμού που προσβάλλεται συναρτήσει της δόσης.
- Η εκτίμηση επικινδυνότητας έχει ως αντικείμενο τη μελέτη των αντιδράσεων σε χρόνια έκθεση σε τοξικές ουσίες.
- Αν κριθεί απαραίτητο τότε διεξάγονται τα λεγόμενα πειράματα μικρής ή μεγάλης διάρκειας.



Εκτίμηση της σχέσης δόσης – επίπτωσης (1/3)

- Είναι ο χαρακτηρισμός της σχέσης μεταξύ της χορηγούμενης δόσης μιας ουσίας και της εμφάνισης αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία.
- Χρησιμοποιούνται οι καμπύλες δόσης - επίπτωσης για χρόνια έκθεση σε τοξική ουσία:
 - Ο άξονας x είναι η δόση, συνήθως σε mg ουσίας ανά kg σωματικού βάρους, ανά ημέρα.
 - Ο άξονας y είναι το ρίσκο αρνητικής επίδρασης στην υγεία.
- Μέθοδος προεκβολής:
 - Από τις υψηλές δόσεις που χορηγούνται στα πειραματόζωα, στις χαμηλές δόσεις στις οποίες είναι πιθανόν να εκτίθεται ο άνθρωπος.



Εκτίμηση της σχέσης δόσης – επίπτωσης (2/3)

- Η καμπύλη δόσης - επίπτωσης που προκύπτει έχει τον επιπρόσθετο κίνδυνο στον άξονα y και την μέση ημερήσια δόση (καθ' όλη τη διάρκεια ζωής) στον άξονα x και αφού για μικρές δόσεις η καμπύλη θεωρείται ευθεία, η γωνία κλίσης της ευθείας δίνεται από την σχέση:

$$\frac{\text{επιπρόσθετος κίνδυνος παρουσίασης καρκίνου}}{\text{χρόνια ημερήσια δόση (mg / kg x μέρα)}} = \text{Συντελεστής εν δυνάμει καρκινογένεσης (POT)}$$

- Εάν γνωρίζουμε τη χρόνια ημερήσια δόση (CDI) και το συντελεστή εν δυνάμει καρκινογένεσης, μπορούμε να βρούμε την επιπρόσθετη πιθανότητα παρουσίασης καρκίνου (καθ' όλη τη διάρκεια ζωής):

$$\text{επιπρόσθετος κίνδυνος παρουσίασης καρκίνου} = \text{CDI} \times \text{POT}$$



Εκτίμηση της σχέσης δόσης – επίπτωσης (3/3)

- Σχετικά με τις μη καρκινογόνες ουσίες, η βασική υπόθεση που γίνεται συνήθως είναι ότι υπάρχει ένα κατώφλι έκθεσης και οποιαδήποτε έκθεση μικρότερη από την έκθεση κατωφλίου δεν οδηγεί σε αύξηση των αρνητικών επιπτώσεων, πέρα από τις φυσικές τιμές υποβάθρου.
- Για να γίνει σύγκριση μεταξύ της πραγματικής έκθεσης, και της δόση αναφοράς, ορίζεται ο μερικός δείκτης κινδύνου (Hazard Quotient, HQ), ο οποίος κρίνει την ασφάλεια της δόσης.

$$\text{(μερικός δείκτης κινδύνου)} = (\text{μέση}) \text{ ημερήσια δόση} / \text{RfD}$$

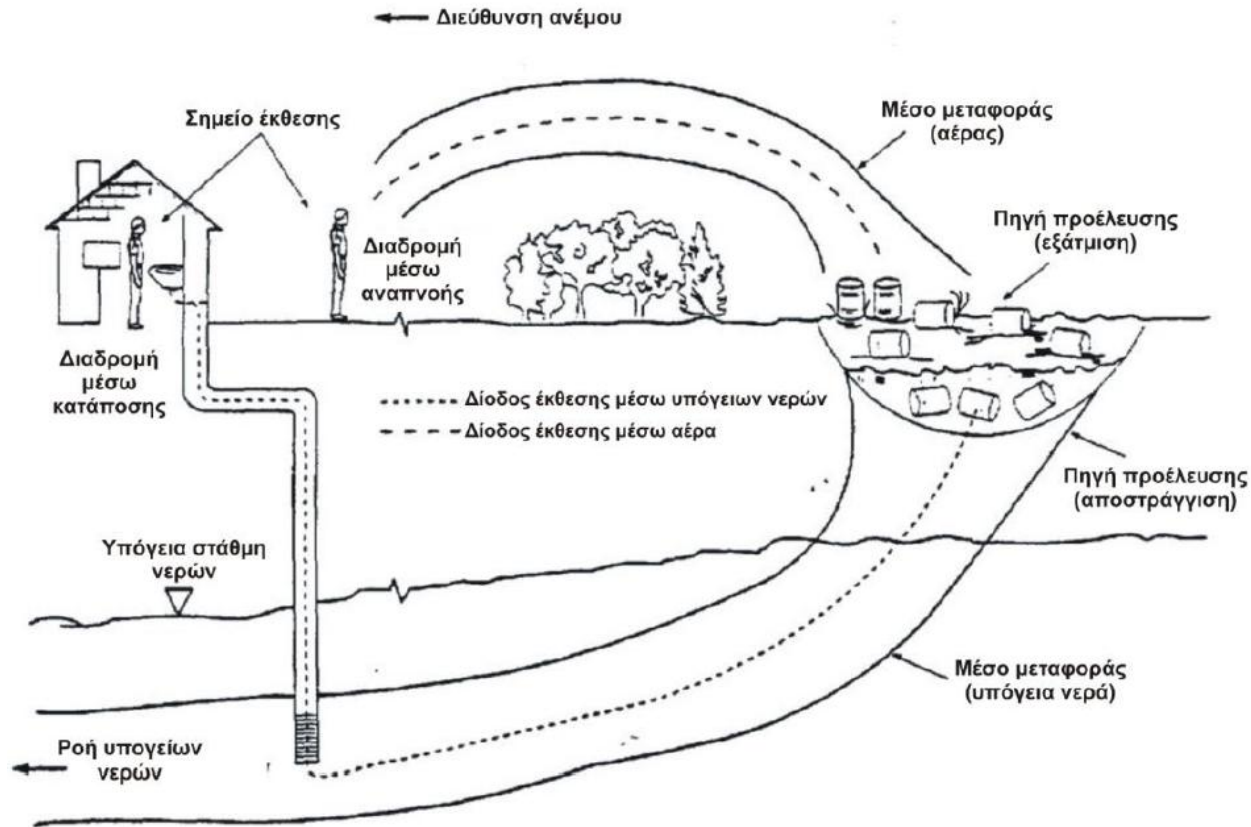
RfD: Οι μονάδες της δόσης αναφοράς [mg/(kg x μέρα)].

Για περισσότερες από μία χημικές ουσίες, ορίζεται ο συνολικός δείκτης:

$$\text{συνολικός δείκτης} = \Sigma(\text{HQ})$$



Δίοδοι μέσω των οποίων μεταφέρονται οι τοξικές ουσίες



Πηγή:

http://eclass.auth.gr/modules/document/file.php/MENG218/Σημειώσεις%20Μαθήματος%20ΤΠΠ/Ch.14_2015.pdf, 07/09/2015.



Εκτίμηση έκθεσης

- Απαιτείται σε πρώτο στάδιο να καθοριστούν οι δίοδοι μέσω των οποίων οι τοξικές ουσίες μεταφέρονται από τη πηγή προέλευσης στο μέρος όπου γίνεται η επαφή με τον άνθρωπο και έπειτα να υπολογιστεί ο χρόνος επαφής με την ουσία.
- Για να γίνει εκτίμηση της επαφής με τη χημική ουσία, πρέπει επίσης να ληφθούν υπ' όψιν για παράδειγμα πόσα λίτρα αέρα καταναλώθηκαν, πόσο νερό, φαγητό κ.ο.κ.
- Ειδικά για τα ψάρια, έχει οριστεί ένας τρόπος μέτρησης της βιοσυγκέντρωσης, δηλ. της τάσης μίας ουσίας να συγκεντρώνεται στο βιολογικό ιστό του ψαριού.



Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας - Ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν

- Ποιες πληθυσμιακές ομάδες πρέπει πρωταρχικά να προστατευτούν και ποιές παρέχουν την πιο σημαντική έκφραση της επικινδυνότητας για την υγεία;
- Ποιες εκτιμήσεις δόσης – επίπτωσης και εκτιμήσεις έκθεσης πρέπει να χρησιμοποιηθούν για τους υπό εξέταση πληθυσμούς;
- Ποιες είναι στατιστικές αβεβαιότητες στην εκτίμηση του μεγέθους των επιπτώσεων στην υγεία;
- Ποιες είναι οι βιολογικές αβεβαιότητες; Πού οφείλονται; Πώς θα εκτιμηθούν; Τι επίδραση έχουν στις ποσοτικές εκτιμήσεις;
- Πώς θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα και οι αβεβαιότητες στους λήπτες αποφάσεων και τους πολίτες;



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

- Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:
 - Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες:
 - ExternE: Externalities of Energy (2005), Methodology 2005 Update. Published by European Commission, Directorate-General for Research, Sustainable Energy Systems, Office of Publications for the European Communities, Luxembourg.
 - http://eclass.auth.gr/modules/document/file.php/MEN_G218Σημειώσεις%20Μαθήματος%20ΤΠΠ/Ch.14_2015.pdf, 04/09/2015.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Μουσιόπουλος Νικόλαος. «Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος – Αρχές Αειφορίας. Εκτίμηση και διαχείριση επικινδυνότητας». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS420/>



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: <Περκουλίδης Γιώργος>
Θεσσαλονίκη, <Εαρινό Εξάμηνο 2014-2015>



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

