

5. Υδροσφαιρα & υδατική ρύπανση

Εισαγωγή

Βασική χρήση του νερού από τον ανθρώπινο πολιτισμό: για την απομάκρυνση των αποβλήτων (κατ' αντιστοιχία με το αίμα και το κυκλοφοριακό σύστημα!)

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ➤ Ενδεικτική αύξηση χρήσης νερού στον σύγχρονο δυτικό πολιτισμό: **4** φορές περισσότερη από ότι στις αρχές του αιώνα (ΗΠΑ)!

Επισκόπηση ρύπανσης των υδάτων

Οικιακές χρήσεις

☞ αστικά λύματα & απόβλητα

Βιομηχανία

☞ απομάκρυνση χημικών ρύπων

☞ ψύξη (απομάκρυνση θερμότητας)

Γεωργία

☞ 40% των συνολικών αναγκών σε νερό (ΗΠΑ)

Οι μοναδικές φυσικές & χημικές ιδιότητες του νερού

➤ Χαμηλό σημείο πήξης (0°C) & υψηλό σημείο βρασμού (100°C)

➤ Υψηλή θερμοχωρητικότητα

➤ Υψηλή θερμότητα εξάτμισης

➤ Άριστη διαλυτική ικανότητα ("The universal solvent")

Εξάτμιση: καθαρό νερό

Κατά την βροχόπτωση: νόθευση με αέρια (dissolved gases) & σωματίδια (particulates)

Στην επιφάνεια της γης: διάλυση π.χ. ασβεστίου (calcium), μαγνησίου (magnesium), σιδήρου (iron), ψευδαργύρου (zinc)

➤ Πολύ υψηλή επιφανειακή τάση & ικανότητα διαβροχής

➤ Πάγος ελαφρότερος νερού (μέγιστη πυκνότητα στους 4°C)

Εξάπλωση του νερού

Επιφανειακά ύδατα

Υπόγεια ύδατα

Υδροφόρος ορίζοντας

Προβλήματα υδάτινων πόρων

➤ Έλλειψη νερού

➤ Αφθονία νερού

➤ Νερό σε μεγάλη απόσταση

➤ Μολυσμένο νερό

Εξασφάλιση πόσιμου νερού

Επιφανειακά ύδατα

Υπόγεια ύδατα

Αφαλάτωση (desalination)

Σπορά νεφών

Παγόβουνα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ➔ Ποιοτικά όρια στην Ελλάδα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ➔ Εμφιαλωμένο νερό

Υδατική ρύπανση

Φυσική ρύπανση

- ☞ λάσπη & ιζήματα από εδαφική διάβρωση
- ☞ διαρροές υπεδάφινων κοιτασμάτων πετρελαίου
- ☞ οργανικά υλικά, π.χ. φύλλα

Ανθρωπογενής ρύπανση

- ☞ Πετρέλαιο (παράκτιες περιοχές πολιτείας Texas, πολιτείας Massachusetts, Χιλή)
- ☞ Ανεπεξέργαστα λύματα (ποταμός Ohio)
- ☞ Λιπάσματα & ζιζανιοκτόνα (ποταμός Missouri)
- ☞ Φωσφορικά άλατα απορρυπαντικών (λίμνη Erie)
- ☞ Όξινη απορροή ορυχείων (ρέμα Blacklick πολιτείας Pennsylvania)
- ☞ Υδράργυρος (λιμένες Ιαπωνίας)
- ☞ Ίνες αμιάντου (λίμνη Superior πολιτείας Minnesota)
- ☞ Θερμά νερά ψυκτικών πύργων σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Seward πολιτείας Pennsylvania)

Πηγές υδατικής ρύπανσης

Σημειακές πηγές (point sources)

- ☞ σωλήνες, αγωγοί, οχετοί
- ☞ τάφροι, χαντάκια, ορύγματα
- ☞ αυλάκια, κανάλια, διώρυγες

Μη σημειακές πηγές (nonpoint sources)

- ☞ οδοί
- ☞ αστικές περιοχές
- ☞ αγροτικές εκτάσεις

Κατηγορίες υδατικών ρύπων

❶ Φυσιικοί ρύποι

◆ Θερμότητα

Νερό: υψηλή θερμοχωρητικότητα, άρα ιδανικό ψυκτικό μέσο
➤ **80%** του συνολικού νερού που τίθεται σε βιομηχανικές χρήσεις χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο (ΗΠΑ), π.χ. παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Θερμότητα → θερμοκρασία νερού

Όρια ανοχής (tolerance range) ζώντων οργανισμών: πιο στενά σε δεδομένο στάδιο της ζωής κάθε είδους (π.χ. κατά την επώαση)

Αύξηση θερμοκρασίας → ταχύτερος μεταβολισμός → αναστάτωση συνολικής χημείας ζωντανών οργανισμών
Επιρροή διαλυτότητας ουσιών

- ↑ Αύξηση διαλυτότητας ορισμένων χημικών
- ↓ Μείωση διαλυτότητας αερίων

Περιβαλλοντικές επιδράσεις:

- ✘ στρωματοποίηση νερών (π.χ. λίμνες)
- ✘ μείωση συγκέντρωσης διαλυμένου οξυγόνου με αυξανόμενη θερμοκρασία
- ✘ αύξηση μεταβολισμού με την αύξηση θερμοκρασίας → επιτάχυνση αποσύνθεσης
- ✘ πληθυσμιακές εκρήξεις κυανοπράσινων μικροφυκών (blue-green algae) → εκρίσεις τοξινών

♦ **Επιπλέοντα στερεά & υγρά**

☞ λάδια, πετρέλαια, γράσα

Περιβαλλοντικά προβλήματα:

- ✘ αισθητική
- ✘ μείωση διείσδυσης ηλιακού φωτός
- ✘ ανάφλεξη
- ✘ απαίτηση σε διαλυμένο οξυγόνο (BOD)
- ✘ ίδια τοξικότητα & συγκέντρωση άλλων τοξινών (π.χ. πετρέλαιο που σπάει σε σταγόνες με το κύμα δύναται να συσσωρεύσει τοξίνες όπως το DDT τις οποίες μεταδίδει σε στρείδια & μύδια)

♦ **Ιζήματα & αιωρούμενα στερεά**

Μέτρηση: ολικά στερεά & ηλεκτρική αγωγιμότητα

Πηγές ιζηματικής ρύπανσης:

- ☞ επιφανειακή απορροή
- ☞ γεωργία
- ☞ βιομηχανία, π.χ. κατασκευαστικές εργασίες, κατασκευή πορσελάνης & χάλυβας

Περιβαλλοντικά προβλήματα:

- ✘ αύξηση θολερότητας νερού, με συνεπαγόμενη μείωση της διείσδυσης του ηλιακού φωτός
- ✘ βούλωμα φυσικών αγωγών, τεχνητών οχετών νερού & φραγμάτων
- ✘ προβλήματα σε οργανισμούς που αναπνέουν με βράγχια (ψάρια) και τρέφονται φιλτράροντας το νερό (μαλάκια)
- ✘ συσσώρευση μετάλλων & τοξικών ουσιών, π.χ. φυτοφαρμάκων, με προσρόφηση (adsorption) & άλλες φυσικοχημικές διεργασίες

♦ **Απόχρωση**

☞ κοκκινοκίτρινα χρώματα προερχόμενα από οξειδία του σιδήρου και θειικά άλατα της όξινης απορροής μεταλλείων (acid mine drainage)

☛ Η συγκεκριμένη μορφή ρύπανσης προκαλεί την έντονη αντίδραση του κοινού επειδή είναι ορατή (αν & οι προκαλούντες την απόχρωση χημικές ουσίες δύναται να έχουν άλλες αρνητικές επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον)

Περιβαλλοντικά προβλήματα:

- ✘ αποθάρρυνση χρήσεων αναψυχής (π.χ. κολύμβηση, ιστιοπλοΐα)

♦ Αφρίζοντα χημικά

☞ έντονα προβλήματα στην δεκαετία 1960 – 1970 λόγω της χρήσης μη βιοαποικοδομήσιμων απορρυπαντικών

☛ Όπως & με την απόχρωση, η συγκεκριμένη μορφή ρύπανσης προκαλεί την έντονη αντίδραση του κοινού επειδή είναι ορατή

Περιβαλλοντικά προβλήματα:

✘ αποθάρρυνση χρήσεων αναψυχής (π.χ. κολύμβηση, ιστιοπλοΐα)

② Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Φυσική & χημική ρύπανση – βιολογική μόλυνση

Παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών σε μολυσμένα νερά

Βακτηρίδια (bacteria)

- ☞ χολέρα (*Vibrio cholera* – δονάκιο της χολέρας)
- ☞ τύφος (*Salmonella typhi*)
- ☞ δυσεντερία (*Shigella dysenteriae*)
- ☞ εντερίτιδα (*E. coli*)
- ☞ ασθένεια των λεγεωνάριων (*Legionella*)

Ιούλιος 1976, συνέδριο μελών Αμερικάνικης Λεγεώνας, Philadelphia (το βακτήριο επέζησε & μεταδόθηκε μέσω της υγρασίας του συστήματος κλιματισμού!)

Πρωτόζωα (protozoans)

- ☞ αμοιβαδική δυσεντερία (*Entamoeba histolytica*)
- ☞ λαμβλίαση (*Giardia lamblia*)

Έλμινθες (helminths)

- ☞ σχιστοστομίαση
- ☞ αγκυλοστομίαση (hookworm – αγκυλόστομο)
- ☞ ασκαρίαση (*Ascaris* ή roundworm – νηματώδης σκώληκας)
- ☞ bilharziasis

Ιοί (viruses)

- ☞ ηπατίτιδα
- ☞ πολιομυελίτιδα
- ☞ αδενίτιδα
- ☞ διάρροια
- ☞ λοιμώξεις του αναπνευστικού συστήματος

Επιτρεπόμενα όρια υδατικών ρύπων

Ποιότητα νερών κολύμβησης

Κατηγορίες ακτών

③ Χημικές ουσίες που προκαλούν ευτροφισμό (eutrophication)

☛ Οργανικά απόβλητα που οξειδώνονται από αποικοδομητές (decomposers) για λήψη ενέργειας & θρεπτικών ουσιών με αποτέλεσμα την μείωση της συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου

Διαλυμένο οξυγόνο (O₂)

Μεταβολή διαλυτότητας με θερμοκρασία

Βιοχημική απαίτηση οξυγόνου (BOD)

Χημική απαίτηση σε οξυγόνο (COD)

Ολικός οργανικός άνθρακας (TOC)

► **Υδατοδιαλυτές ανόργανες θρεπτικές ουσίες** που συνήθως ελέγχουν την αύξηση των φυτικών οργανισμών

Νιτρικές ενώσεις (nitrates)

Φωσφορικές ενώσεις (phosphates)

Απορρυπαντικά

Λιπάσματα

Έλεγχος **ευτροφισμού**

Ευτροφικές μεταβολές

Περικοπή τροφικών αλυσίδων: εξάλειψη ανωτέρω τροφικών επιπέδων

Μείωση βιοποικιλότητας

Ενδεικτικοί οργανισμοί

Πρωτόζωα (protozoans)

Σκουλήκια Tubifex

Αύξηση βιομάζας

Μέτρα πρόληψης

Μέθοδοι εξυγίανσης

④ **Ανόργανες ουσίες** (εκτός αυτών που προκαλούν ευτροφισμό)

Άλατα

☞ άλατα ασβεστίου (calcium)

☞ άλατα μαγνησίου (magnesium)

Σκληρότητα νερού (δυσκολία άφρισης με χρήση σαπουνιού)

Περιβαλλοντικά προβλήματα:

✘ δυσκολία άφρισης με χρήση σαπουνιού

✘ εναπόθεση ιζήματος (πουρι) σε σωλήνες & λοιπό εξοπλισμό μεταφοράς νερού → έξοδα συντήρησης

✘ προβλήματα με βαφές στην κλωστούφαντουργία

✘ ειδικά προβλήματα στην βιομηχανία μπύρας

✘ απειλές στην ανθρώπινη υγεία

☞ το θειικό μαγνήσιο δρα σαν καθαρτικό, προκαλώντας χρόνια διάρροια

Οξέα & βάσεις

Πηγές οξέων:

☞ μεταλλουργία

☞ όλες οι συνιστώσες του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος (συμπεριλαμβανομένης της βιομηχανίας) που ευθύνονται για την όξινη βροχή

Πηγές βάσεων:

☞ σαπωνοποιία

☞ υφαντουργία

☞ βυρσοδεψεία

Ενεργός οξύτητα & κλίμακα pH

☛ Όρια ανοχής ζώντων οργανισμών: 4.5 με 9.5 περίπου)

☛ Εύρος τιμών βιομηχανικών αποβλήτων: 2 με 11

Περιβαλλοντικά προβλήματα:

- ✘ αλλαγή του υδατικού pH → αλλαγή διαλυτότητας αβιοτικών χημικών ουσιών (π.χ. βαρέων μετάλλων)
- ✘ άμεση επιρροή χημείας ζώντων οργανισμών με την αλλαγή μορφής & λειτουργίας ουσιωδών κυτταρικών μορίων

5 Χημικά δηλητήρια

Βαρέα μέταλλα & τοξικές ουσίες

Παραδείγματα

- ☞ Αρσενικό (από εντομοκτόνα)
- ☞ Κάδμιο (από επιμετάλλωση)
- ☞ Χρωμικά άλατα (βιομηχανία)
- ☞ Κυανιούχα άλατα
- ☞ Μόλυβδος
- ☞ Σελήνιο
- ☞ Χαλκός
- ☞ Ψευδάργυρος
- ☞ Χρώμιο

Βιολογική μεγέθυνση (**biological magnification**) κατά μήκος της τροφικής αλυσίδας

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ → Υδράργυρος (mercury) & κόλπος Minimata, Ιαπωνία, 1950s

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ → Πολυχλωριωμένα διφενύλια (Polychlorinated biphenyls ή PCBs)

6 Ραδιενεργές ουσίες

Πηγές:

- ☞ επεξεργασία μεταλλεύματος ουρανίου
- ☞ απόβλητα πυρηνικών αντιδραστήρων
- ☞ ραδιενεργά κατάλοιπα από δοκιμές πυρηνικών όπλων
- ☞ νοσοκομειακά απόβλητα (από διαγνωστικές & θεραπευτικές μεθόδους)
- ☞ πλύσιμο μολυσμένων με ραδιενέργεια ρούχων (π.χ. εργαστηριακές στολές)

Απόβλητα χαμηλής περιεκτικότητας (νοσοκομεία & εργαστήρια) μπορούν να μολύνουν (υπόγεια ή επιφανειακά) σώματα νερού με έκπλυση (**leaching**)

Προέλευση υδατικής ρύπανσης

Αστικά λύματα

Αγροτική ρύπανση

Βιομηχανική ρύπανση

Επεξεργασία φρούτων & λαχανικών

Χαρτοπολτός

Παραγωγή ηλεκτρισμού

Εξόρυξη & αξιοποίηση άνθρακα

Όξινη απορροή ορυχείων

Απόβλητα από τον φυσικό καθαρισμό του άνθρακα

Παραγωγή, μεταφορά & χρήση πετρελαίου

Επιπτώσεις πετρελαιοκηλίδων

Αποκατάσταση θαλασσίου περιβάλλοντος

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Το ατύχημα του τάνκερ *Echxon Valdez*, Αλάσκα, Μάρτιος 1989

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Μεσόγειος θάλασσα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Ρύπανση βενθικών ιζημάτων στον Ευβοϊκό κόλπο

Μηχανισμοί αυτοκαθαρισμού υδατικών ρύπων

Εντομοκτόνα

Υδρογονάνθρακες

Αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες

Συνθετικά πολυμερή

Λιπάσματα

Άζωτο

Φώσφορος

Ρύπανση φυσικών υδατικών συστημάτων

Επιφανειακά νερά

Ποταμοί, ρέματα & χείμαρροι

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ Προσομοίωση ελλείμματος διαλυμένου οξυγόνου κατά *Streeter-Phelps*

Λίμνες

Μέθοδοι ελέγχου **ευτροφισμού**

Πρόληψη

- ☞ τριτοβάθμια επεξεργασία λυμάτων
- ☞ όρια φωσφορικών ενώσεων στα απορρυπαντικά
- ☞ έλεγχος χρήσεων γης & αγροτικής ρύπανσης
- ☞ προστασία παράκτιων & χερσαίων υδροβιοτόπων

Αποκατάσταση

- ☞ βυθοκόριση βενθικών ιζημάτων
- ☞ αφαίρεση πλεοναζόντων ζιζανίων
- ☞ χρήση ζιζανιοκτόνων & φυτοκτόνων
- ☞ άντληση αέρα για ενίσχυση επιπέδων διαλυμένου οξυγόνου

Θάλασσες

Μέθοδοι πρόληψης ρύπανσης επιφανειακών νερών

- ☞ εξάλειψη διάθεσης ανεπεξέργαστων λυμάτων
- ☞ απαγόρευση απόρριψης λυματικής ιλύος & επικίνδυνων αποβλήτων στις ανοικτές θάλασσες
- ☞ αντικατάσταση παντορροϊκών από χωριστά υδραυλικά δίκτυα (όμβριων & ακαθάρτων)
- ☞ μείωση διάθεσης τοξικών αποβλήτων
- ☞ ίδρυση θεσμικού πλαισίου για ορθολογική χρήση γης με στόχο την μείωση της απορροής από μη σημειακές πηγές
- ☞ πλήρης προστασία ευαίσθητων παράκτιων περιοχών με έλεγχο παράκτιας οικονομικής ανάπτυξης

- ➡ προσανατολισμός ενεργειακής πολιτικής προς μείωση της εξάρτησης από το πετρέλαιο
- ➡ απαγόρευση γεωτρήσεων για άντληση πετρελαίου σε οικολογικά ευαίσθητες θαλάσσιες περιοχές
- ➡ εγκατάσταση διπλού κύτους στα πετρελαιοφόρα
- ➡ αύξηση οικονομικής ευθύνης εταιρειών πετρελαίου για καθαρισμό διαρροών πετρελαίου
- ➡ δρομολόγηση πετρελαιοφόρων μακριά από οικολογικά ευαίσθητων περιοχών
- ➡ αύξηση μέτρων ασφαλείας κατά την προσέγγιση & αναχώρηση πετρελαιοφόρων σε λιμένες
- ➡ απαγόρευση πλύσης πετρελαιοφόρων, απόρριψης έρματος & απορριμμάτων στην θάλασσα (με αυστηρά πρόστιμα για τους παραβάτες)
- ➡ ενημέρωση του κοινού για αποφυγή οικιακών επικίνδυνων ουσιών
- ➡ διαχείριση νοσοκομειακών αποβλήτων ώστε να αποφεύγεται εντελώς η ρύπανση υδάτων

Υπόγεια νερά

Μέθοδοι πρόληψης ρύπανσης υπογείων υδάτων

- ➡ απαγόρευση επιφανειακής & υπεδάφιας ταφής επικίνδυνων (στερεών & υγρών) αποβλήτων
- ➡ παρακολούθηση ποιότητας νερού υδροφορέων σε επικίνδυνες περιοχές
- ➡ έλεγχος χρήσης λιπασμάτων & φυτοφαρμάκων
- ➡ υιοθέτηση αυστηρών κριτηρίων ρύπανσης υπογείων υδάτων