



Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε το σύνδεσμο: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

# ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Ι

*Ποιότητα νερού*

Δρ. Βασίλης Μπέλλος

# Ορισμός

- **Κατάσταση του νερού σε σχέση**
  - Ενέργεια: θερμότητα ή ραδιενεργή ακτινοβολία
  - Αιωρούμενα ή διαλυμένα υλικά
  - Οργανισμούς που περιέχονται στον όγκο
- **Παράμετροι**
  - Ουσίες ή ομάδες ουσιών
  - Χαρακτηριστικά του νερού: οργανοληπτικά, φυσικοχημικά και βιολογικά

# Καλή η κακή ποιότητα;

- **Εξαρτάται από τη χρήση**
- **Υπερκάθαρο αποσταγμένο νερό**
  - Κατάλληλο για ιατρική/φαρμακευτική χρήση
  - Ακατάλληλο για ύδρευση και άρδευση
- **Ρυπασμένο νερό**
  - Ακατάλληλο για ύδρευση και άρδευση
  - Ουδέτερο όσον αφορά την ψύξη ενός θερμοηλεκτρικού σταθμού
  - Ακατάλληλο για τη διάθεση στον αποδέκτη

# Πηγές ρύπανσης

- Αστικές
- Βιομηχανικές
- Γεωργικές
- Φυσικές

# ΑΣΤΙΚΕΣ

- **Υγρά απόβλητα**
  - Αποχέτευση
  - Επιφανειακή απορροή
- **Αποχετευτικό σύστημα**
  - Όμβρια
  - Ακάθαρτα
  - Παντοροϊκό

# Βιομηχανικές

- **Ψύξη βιομηχανικών εγκαταστάσεων**
  - Θερμική ρύπανση: ο μεγάλος όγκος
- **Πλύσιμο πρώτων υλών, προϊόντων και χώρων παραγωγής**
  - Αιωρούμενα υλικά και ειδικοί ρύποι: ο δεύτερος μεγάλος ρυπαντής
- **Υγιεινή των εργαζομένων**
  - Αποχέτευση
- **Παραγωγική διαδικασία**
  - Απαιτείται επεξεργασία πριν τη διάθεση
- **Επιφανειακή απορροή**
  - Αποχέτευση ομβρίων

# Γεωργικές

- **Ρυπαντές**

- Χημικά λιπάσματα
- Φυτοφάρμακα
- Παράγωγα καλλιεργειών
- Απόβλητα ζώων

- **Μηχανισμός**

- Επιφανειακή ροή λόγω βροχόπτωσης
- Στραγγιστικά δίκτυα
- Υδρογραφικό δίκτυο
- Υπόγειο υδροφορέας
- Τελικοί αποδέκτες

# Φυσικές

- Υγροτοπικά περιβάλλοντα
- Έκπλυση ποσοτήτων οργανικού και ανόργανου υλικού
- Έλη και βάλτοι: υψηλή συγκέντρωση
  - Χρώματος
  - Χαμηλό pH
  - Διαλυμένο Οξυγόνο
- Χαμηλές ροές στα υδατορέματα
  - Αύξηση αλατότητας



# Ταξινόμηση: τρόπος παροχέτευσης

- **Σημειακές πηγές: Έξοδος υπονόμων ή στραγγιστικών αγωγών**
  - Αστικά λύματα
  - Θερμοηλεκτρικά εργοστάσια
  - Βιομηχανίες
  - Λύματα ζώων στις κτηνοτροφικές μονάδες
- **Μη σημειακές πηγές: διάσπαρτοι ρύποι στο έδαφος που μεταφέρονται με την επιφανειακή απορροή και την υπόγεια ροή**
  - Επιφανειακή και υπόγεια στράγγιση εδαφών
  - Επιφανειακή απορροή στον αστικό ιστό
  - Μεταλλεία

# Ταξινόμηση: Αποικοδομησιμότητα

- **Συντηρητικοί ρύπτοι**

- Η χημική σύσταση της ουσίας δε μεταβάλλεται στο χρόνο
- Μεταβολή της συγκέντρωσης στο χώρο
- Δεν αποσυντίθεται: απομακρύνεται

- **Μη συντηρητικοί ρύπτοι: αυτοκαθαρισμός**

- Φυσικές διεργασίες
- Χημικές διεργασίες
- Βιολογικές διεργασίες

*Μεταβολή στο χρόνο και στο χώρο*

# Ταξινόμηση: Διαλυτότητα

- **Διαλυτές**

- Κάτω από μία διάμετρο
- Χαρακτηριστικό του νερού

- **Μη διαλυτές**

- Πάνω από μία διάμετρο
- Φερτά υλικά
- Στερεά απόβλητα

# Ταξινόμηση: Επιρροή στο πεδίο ροής

- **Παθητικοί**
  - Δεν έχουν επιρροή στην κατανομή πυκνότητας στο πεδίο ροής
- **Ενεργητικοί**
  - Έχουν επιρροή στην κατανομή πυκνότητας στο πεδίο ροής
  - Ζεστό νερό

# Ταξινόμηση μεταβλητών

- **Οργανοληπτικές παράμετροι**

- Γίνονται αντιληπτές από τις αισθήσεις του ανθρώπου: όραση, αφή, γεύση, οσμή

- **Φυσικοχημικές παράμετροι**

- Θερμοκρασία, pH, αγωγιμότητα
- Δείκτες: σκληρότητα
- ...

- **Βιολογικές παράμετροι**

- Υδρόβια χλωρίδα και πανίδα: μακρόφυτα, έντομα, ιχθυοπανίδα, ...
- Μικροοργανισμοί: βακτήρια, μύκητες, ιοί, ...

# Οργανοληπτικές παράμετροι

- **Θολότητα και αιωρούμενα στερεά**
  - Οπτική ιδιότητα του δείγματος να προκαλεί διάχυση του φωτός και απορρόφηση, χωρίς να επιτρέπει τη διέλευσή του: αιωρούμενα στερεά μικρής διαμέτρου (<25 mg/L)
  - Μονάδες θολότητας: NTU
  - Αισθητικοί λόγοι, αλλά και λόγοι υγείας
  - Φυσικές διεργασίες: διάβρωση και αποσάθρωση πετρωμάτων, βιολογικές διεργασίες (φύκη και βακτήρια)
  - Ανθρωπογενείς διεργασίες: βιομηχανικές και αγροτικές δραστηριότητες

# Οργανοληπτικές παράμετροι

- **Χρώμα**

- Δείκτης παρουσίας διαλυμένων και αιωρούμενων στερεών
- Διάχυση φωτός στο νερό: απώλεια ενέργειας
- Ευτροφισμός: οργανικό υλικό από νεκρά φύκη και ζώα
- Οργανικά συστατικά (αραιωμένο τσάι, κονιάκ): αυτόχθονο και αλλόχθονο υλικό
- Αποτίμηση χρώματος: μονάδες πλουτωνίου (βαλτώδη νερά > 300 Pt)

# Οργανοληπτικές παράμετροι

- **Γεύση και οσμή**

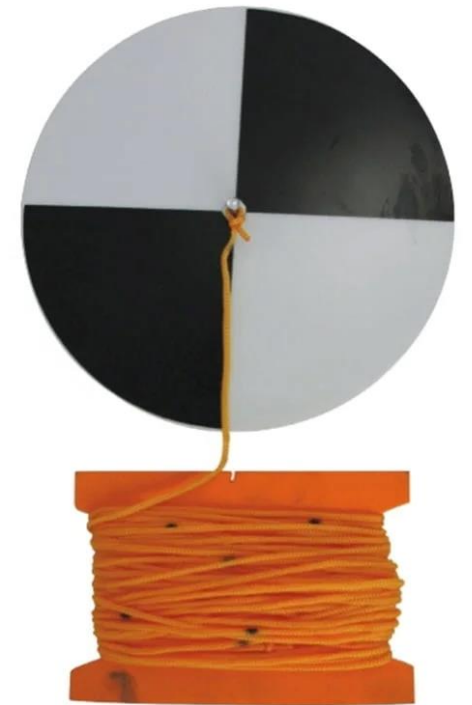
- Αισθητικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά
- Προέλευση νερού, μέθοδος επεξεργασίας, δίκτυο ύδρευσης
- Μέταλλα (Fe, Cu, Mn, Zn), διαλυμένα άλατα (TDS) → γεύση
- TDS < 1200 mg/L ή TDS < 500 mg/L
- Ύδρευση: χλωρίωση ιδιαίτερα όταν αντιδρά το χλώριο με τα οργανικά συστατικά του νερού (για ουδέτερο pH: όριο 0.2 mg/L)
- Επιφανειακά νερά: αποικοδόμηση φυτικών υλικών & προϊόντα μεταβολισμού
- Υπόγεια νερά: υδρόθειο (>0.1 mg/L)



# Οργανοληπτικές παράμετροι

- **Φως**

- Η ζωή στο νερό εξαρτάται από τα μικροσκοπικά φύκη: φωτοσυνθέτουν και παράγουν διαλυμένο οξυγόνο
- Ηλιακή ακτινοβολία: μέγιστη πηγή ενέργειας και κινητήρια δύναμη παραγωγικότητας στα υδάτινα οικοσυστήματα
- Μέτρηση διείσδυσης του φωτός στο νερό: δίσκος Secchi
- Όσο πιο καθαρό είναι το νερό: μεγάλο βάθος του δίσκου Secchi



# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Θερμοκρασία**
  - Κυριότερος αβιοτικούς παράγοντες
  - Νερό: υψηλή θερμοχωρητικότητα → η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι λιγότερο δραστική σε σχέση με τα έμβια όντα στην ξηρά
  - Θερμοκρασία: καθορίζει τη μεταβολική διαδικασία → αναπαραγωγή, ανάπτυξη, μετακίνηση, μετανάστευση, διαλυτότητα οξυγόνου
  - Ετερογένεια πεδίου: οριζόντια και κατακόρυφα
  - Λίμνες: Επιλίμνιο, Μεταλίμνιο, Υπολίμνιο
  - Ποτάμια: μεγαλύτερη δυναμική συμπεριφορά

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Ενεργός οξύτητα pH**

- Μέτρο συγκέντρωσης ιόντων υδρογόνου ή πρωτονίων στο νερό
- Ποτάμια και λίμνες: ελαφρά αλκαλικό μέχρι ελαφρά όξινο
- Μεγαλύτερα βάθη: το νερό γίνεται πιο όξινο λόγω της αύξησης του CO<sub>2</sub>
- Φωτοσύνθεση → δέσμευση CO<sub>2</sub> → αύξηση pH
- Πόσιμο νερό: 6.5-8.5 pH
- Διαβίωση οργανισμών: 5.5-9.0 pH
- Όξινση υδάτων: αποθέσεις (όξινη βροχή, οξειδία θείου και αζώτου)
- Τοξικές συνθήκες

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Δυναμικό οξειδαναγωγής Redox Eh**
  - Συγκέντρωση ηλεκτρονίων στο νερό: μετριέται με ηλεκτρόδιο → μονάδες τάσης ρεύματος (mV)
  - $Eh > 0$  → αερόβιες συνθήκες → οξείδωση
  - $Eh < 0$  → αναερόβιες συνθήκες → αναγωγικές διεργασίες
  - Δείκτης για την ποιότητα του νερού
  - -600 mV (έντονα αναγωγικό): βαθύτερα στρώματα του νερού
  - +1400 mV (έντονα οξειδωτικό): ρηχότερα στρώματα του νερού

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού  $E_{sw}$  και αλατότητα**
  - Στερεά υλικά που διαλύονται
  - Αγωγιμότητα ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) για γλυκό νερό
  - Αλατότητα ( $\text{‰}$ ) στο θαλασσινό νερό)
  - Άλατα χλωρίου, φθορίου, νατρίου, ασβεστίου, μαγνησίου
  - Υψηλή: ρύπανση + μεγαλύτερη βιολογική παραγωγικότητα
  - Άρδευση:  $<200 \mu\text{S}/\text{cm} \rightarrow$  έκπλυση ελευθέρων αλάτων
  - Άρδευση:  $>700 \mu\text{S}/\text{cm} \rightarrow$  πρόσληψη νερού από τα φυτά
  - Ύδρευση:  $<2500 \mu\text{S}/\text{cm}$

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Διαλυμένες χημικές ενώσεις**
  - Ανόργανες
  - Οργανικές
  - Αέρια

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Ανόργανες χημικές ενώσεις**

- Κατιόντα νατρίου
- Κατιόντα μαγνησίου
- Κατιόντα καλίου
- Ανιόντα χλωρίου
- Θεϊικά
- Όξινα ανθρακικά

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Οργανικές χημικές ενώσεις**
  - Πηγή προέλευσης: αποικοδόμηση υλικών φυτικής/ζωικής προέλευσης, ανθρωπογενής δραστηριότητα
  - Συγκέντρωση: 0-~10 mg/L
  - Λίμνες: τα πιο ευάλωτα συστήματα
  - Φυτοφάρμακα
  - Πτητικές οργανικές ενώσεις, αλογονωμένοι υδρογονάνθρακες, καύσιμα, ψυκτικά υγρά



# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Διαλυμένα αέρια**
  - Διαλυμένο οξυγόνο
  - Διοξείδιο του άνθρακα
  - Μεθάνιο
  - Υδροθείο

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Διαλυμένο οξυγόνο**

- Εισέρχεται από ατμόσφαιρα και βιόκοσμο
- Βασικό στοιχείο ύπαρξης ζωής:  $>8 \text{ mg/L}$
- Ποσότητα οξυγόνου: εξαρτάται από το βάθος και την κυκλοφορία → στα ανώτερα στρώματα νερού υπάρχει περίσσεια
- Οξυγόνο κορεσμού: μέγιστη ποσότητα οξυγόνου που μπορεί να διαλυθεί στο νερό (εξαρτάται από θερμοκρασία, πίεση, υψόμετρο, αλατότητα)
- Στις λίμνες:  $\text{minC/day}=5 \text{ ppm}$  (πιθανότητα μη υπέρβασης 95%)

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Απαίτηση οξυγόνου: μέτρο για το βαθμό ρύπανσης**
  - Βιοχημική απαίτηση οξυγόνου (BOD): η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για να ολοκληρώσουν οι μικροοργανισμοί την αερόβια διάσπαση των οργανικών ουσιών και την οξείδωση των ενώσεων
  - Χημική απαίτηση οξυγόνου (COD): ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών ουσιών + διάσπαση των βιομηχανικών αποβλήτων

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Επαναερισμός υδατικού συστήματος**
  - Ρυθμός διάλυσης → ανάλογα με το έλλειμμα οξυγόνου
  - Ρυθμός διάχυσης → ανάλογα με τη διαφορά συγκεντρώσεων
  - Θερμοκρασία νερού

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Θρεπτικά στοιχεία**
  - Άνθρακας
  - Άζωτο
  - Φώσφορος

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Άνθρακας**

- Αέρια μορφή (π.χ.  $\text{CO}_2$ ) ή οργανικές ενώσεις
- ~10% του διαλυμένου άνθρακα είναι διαθέσιμο στα βακτήρια
- Διαλυμένος ανόργανος άνθρακας (DIC)
- Διαλυμένος οργανικός άνθρακας (DOC)
- Σωματιδιακός οργανικός άνθρακας (POC)

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Άζωτο**

- $\text{maxC}=50 \text{ mg/L NO}_3^-$  ή  $10 \text{ mg/L NO}_3\text{-N}$
- Νιτρικά ιόντα  $\rightarrow$  νιτρώδη και αμμωνιακά: κύκλος του αζώτου
  - Δέσμευση
  - Νιτροποίηση
  - Διαφυγή αέριας αμμωνίας
  - Αφομοίωση αζώτου
  - Απονιτροποίηση
  - Αμμωνιοποίηση-ανοργανοποίηση

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Φώσφορος**

- Βασικό στοιχείο για τη ζωή: αποθήκευση και μεταφορά γενετικής πληροφορίας, κυτταρικός μεταβολισμός
- Μεγάλες ποσότητες φωσφόρου → μεγάλη ανάπτυξη χλωρίδας → πολυάριθμοι μικροοργανισμοί → κατανάλωση πολύ οξυγόνου → ανεπάρκεια → νεκροί οργανισμοί → αποσύνθεση → κατανάλωση οξυγόνου → στρες
- Ευτροφισμός: φυσικές και τεχνητές λίμνες
- Ολιγοτροφικές λίμνες:  $<0.01$  mg/L
- Μεσοτροφικές λίμνες:  $0.01-0.035$  mg/L
- Ευτροφικές λίμνες:  $0.035-0.1$  mg/L
- Υπερευτροφικές λίμνες:  $>0.1$  mg/L
- Φόρτιση σε δασική έκταση:  $10$  kg P/km<sup>2</sup>/year
- Φόρτιση σε πόλη:  $100$  kg P/km<sup>2</sup>/year



# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Τοξικές ουσίες**

- Βιομηχανικά απόβλητα
- Δευτερευόντως: οικιακά και γεωργικά απόβλητα
- Βαρέα μέταλλα (Cu, Pb, Zn, As, Hg, ...)
- Παράλυση του κεντρικού νευρικού συστήματος

- **Ραδιενεργές ουσίες**

- Ενέργεια από ακτινοβολίες Α (πυρήνες ηλίου), Β (ηλεκτρόνια), Γ (ηλεκτρομαγνητικά κύματα)
- Αυστηρό πλαίσιο

# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Θερμική ρύπανση**

- Διοχέτευση νερού διαφορετικής θερμοκρασίας από το σύνηθες
- Βιομηχανική δραστηριότητα: ψύξη και εκροή θερμού νερού
- Υδροηλεκτρικά έργα: εκροή ψυχρού νερού λόγω άντλησης από μεγαλύτερα βάθη

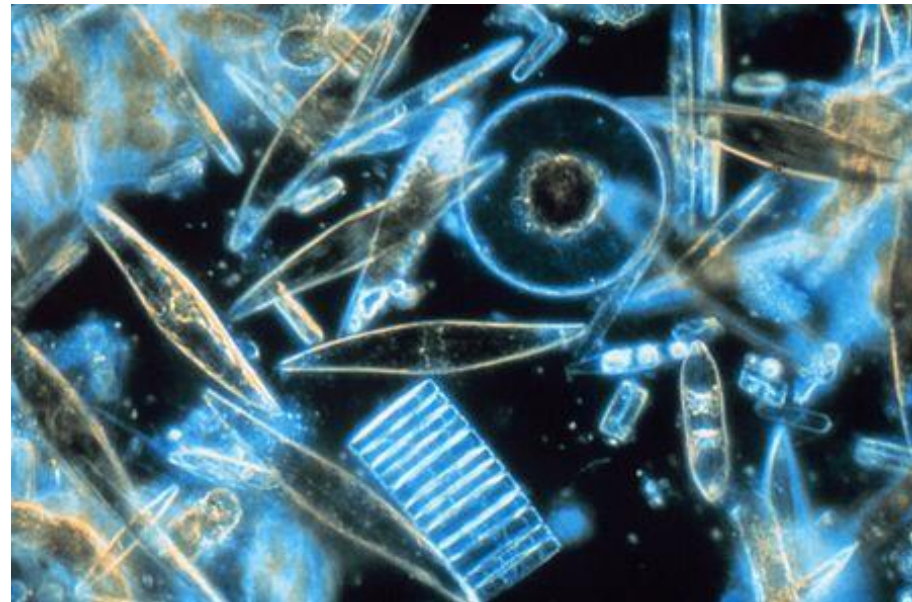
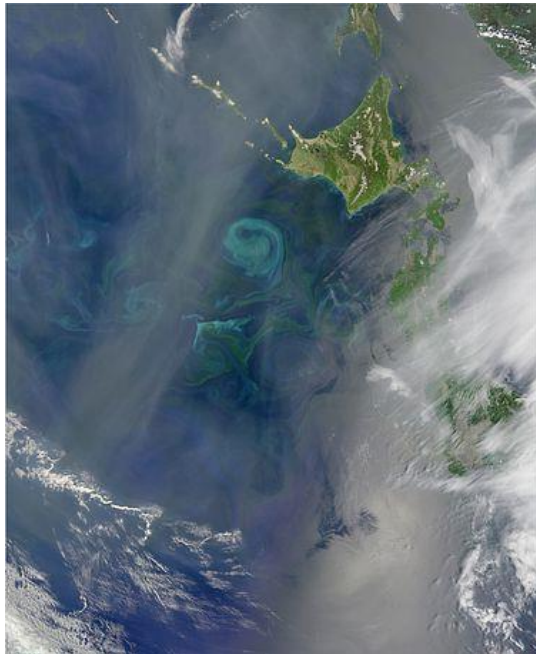
# Φυσικοχημικές παράμετροι

- **Δείκτες ποιότητας νερού**

- Σκληρότητα: περιεκτικότητα νερού σε πολυσθενή κατιόντα
- Ολικά διαλυμένα στερεά: όλα τα ιόντα που είναι σε διάλυση
- Ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού
- Σχέση προσροφημένου νατρίου: δείκτης που είναι συνάρτηση με τις συγκεντρώσεις νατρίου, ασβεστίου και μαγνησίου → μέτρο για την εκτίμηση αλατότητας και διηθητικότητας

# Βιολογικές παράμετροι

- Φυτοπλανκτόν: φωτοσυνθετικοί μικροοργανισμοί (προκαρυωτικούς και ευκαρυωτικούς)



# Βιολογικές παράμετροι

- **Μακρόφυτα και Φυτοβένθος: παρόχθια ζώνη των ποταμών ή παράκτια ζώνη των λιμνών**
  - Υπερυδατικά
  - Εφυδατικά
  - Υφυδατικά

# Βιολογικές παράμετροι

- **Υδρόβια έντομα: δείκτες ποιότητας της οικολογικής κατάστασης**
  - Εφημερόπτερα
  - Πλεκόπτερα
  - Τριχόπτερα
  - Δίπτερα
  - Κολεόπτερα
  - Ημίπτερα
  - Μεγαλόπτερα
  - Οδοντόγναθα

# Βιολογικές παράμετροι

- **Ζωοπλαγκτόν**
  - Κωτήποδα
  - Κλαδοκερωτά
  - Τροχόζωα
  - Βλεφαριδωτά

# Βιολογικές παράμετροι

- Αμφίβια

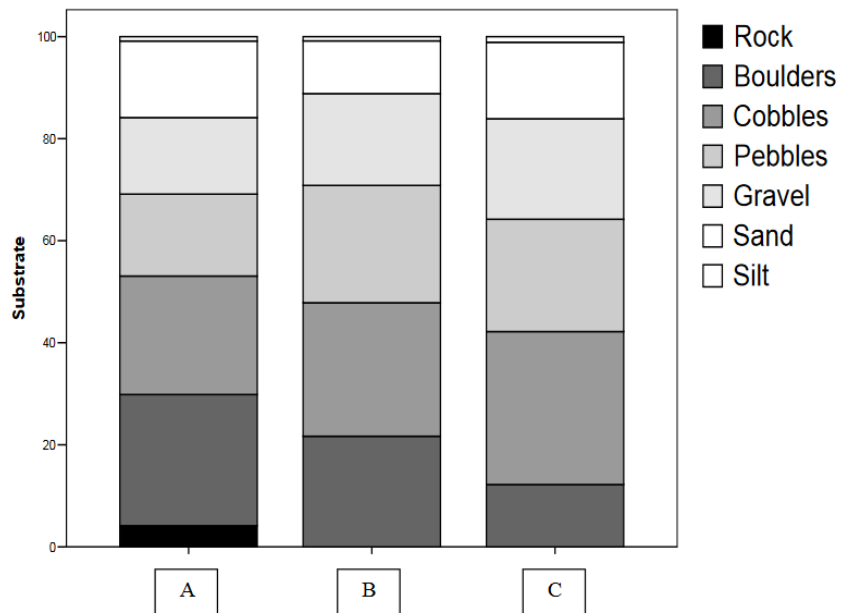




# Βιολογικές παράμετροι

## • Ιχθυοπανίδα

- Τρεις βιοτικοί τύποι: A, B, C
- Σύσταση υποστρώματος (κοκκομετρία εδάφους)



**Πηγή:** Οικονόμου Α.Ν., Ζόγκαρης Σ., Χατζηνικολάου Γ., Τάχος Β.Α., Γιακουμή Σ., Κομματάς Δ., Κούτσικος Ν., Βαρδάκας Λ., Blasel K., Dussling U. (2007). Δημιουργία Ιχθυολογικού Πολυπαραμετρικού Δείκτη για την Εκτίμηση της Οικολογικής Κατάστασης Ορεινών Ρεμάτων και Ποταμών. ΕΛΚΕΘΕ – Ινστιτούτο Εσωτερικών Υδάτων. Υπουργείο Ανάπτυξης, Δ/ση Υδατικού Δυναμικού & Φυσικών Πόρων. Κύριο Τεύχος 117 σελ. - Παραρτήματα 189 σελ.

# Ευτροφισμός

- Επιβάρυνση με οργανικό και ανόργανο φορτίο: αυξάνεται η παραγωγικότητα και μειώνεται όγκος της λίμνης
- Υπερβολική συγκέντρωση θρεπτικών ουσιών: υποβάθμιση ποιότητας νερού



# Θεσμικό πλαίσιο

- ΚΥΑ 46399/1352/1986
- Οδηγία 98/83/ΕΚ & ΚΥΑ Υ2/2600/2001
- Οδηγία 2000/60
- Νόμος 3199/2003
- Οδηγία 2006/118/ΕΕ & ΚΥΑ 39626/2208/2009
- ΥΑ ΗΠ 51354/2641/Ε103/2010
- Οδηγία 2007/60 & ΚΥΑ 31822/1542/Ε103/2010

# Θεσμικό πλαίσιο

- **ΚΥΑ 46399/1352/1986**
  - Πόσιμο νερό
  - Κολύμβηση
  - Διαβίωση ψαριών σε γλυκό νερό
  - Καλλιέργεια και αλιεία οστρακοειδών
  - Ευτροφισμός
- **Οδηγία 98/83/ΕΚ & ΚΥΑ Υ2/2600/2001**
  - Ποιότητα του νερού ανθρώπινης κατανάλωσης
- **Οδηγία 2006/118/ΕΕ & ΚΥΑ 39626/2208/2009**
  - Κριτήρια για την καλή κατάσταση των υπογείων υδάτων
  - Εντοπισμός και αναστροφή ανοδικών τάσεων
  - Σημεία εκκίνησης για την αναστροφή των τάσεων
- **ΥΑ ΗΠ 51354/2641/Ε103/2010**
  - Συγκεντρώσεις ρύπων στα επιφανειακά ύδατα
- **Οδηγία 2007/60**
  - Οδηγία για τις πλημμύρες

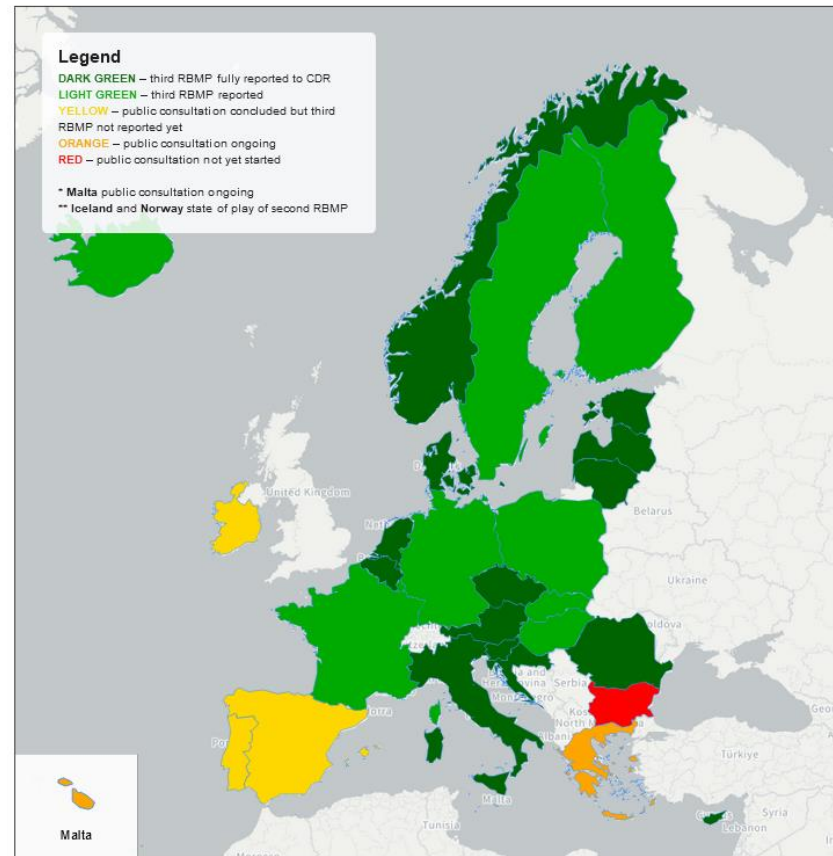
# Οδηγία 2000/60

- Καλή κατάσταση των υδάτων
- Ολιστική: αφορά όλα τα είδη υδάτων (εσωτερικά, υπόγεια, μεταβατικά, παράκτια, θαλάσσια)
- Προστασία νερού: ποσοτικά, ποιοτικά, κοινωνικά, οικονομικά, θεσμικά
- Ποιότητα νερού
  - Οικολογική διάσταση: βιολογικές, υδρομορφολογικές και φυσικοχημικές παράμετροι
  - Χημική διάσταση: ουσίες προτεραιότητας

# Κατάρτιση ΣΔΛΑΠ

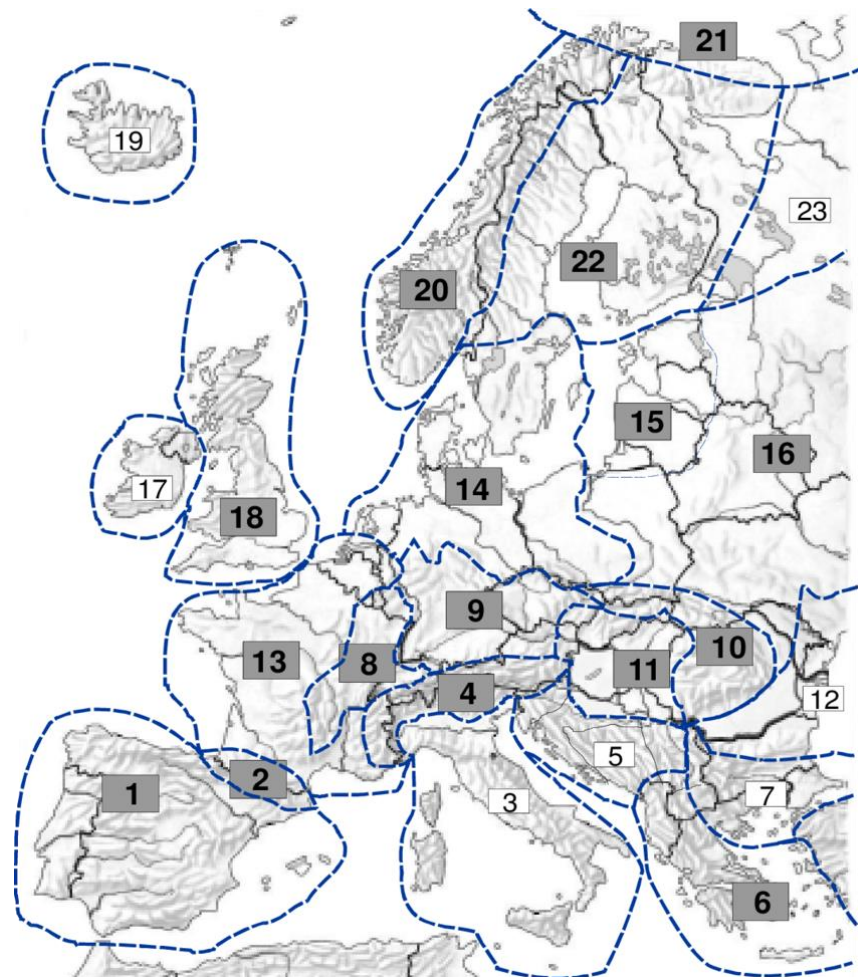
State of play of 3rd RBMP adoption in EU 27

last update: 20 December 2023



Πηγή: <https://environment.ec.europa.eu>

# ΟΙΚΟΤΕΡΙΟΧΕΣ



**Πηγή:** *Noble, Richard & Cowx, Ian & Backx, Joost & Barbieri, Roberta & Beier, Ulrika & Bergquist, B. & Böhmer, Jürgen & Breine, Jan & Buijse, T. & Degerman, Erik. (2004). Development, Evaluation & Implementation of a Standardised Fish-based Assessment Method for the Ecological Status of European Rivers - A Contribution to the Water Framework Directive (FAME).*

# Οδηγία 2000/60

- Κατάταξη κατάστασης υδάτων
  - Άριστη
  - Καλή
  - Μέτρια
  - Ελλιπής
  - Κακή



# Μέτρα αντιμετώπισης

- **Μέτρα εξυγίανσης (εξωλίμνια)**
  - Περιορισμός ρύπων: αστικά λύματα, βιομηχανικά απόβλητα, όμβρια, στερεά απόβλητα
  - Έλεγχος: κτηνοτροφίας, γεωργίας
- **Μέτρα επαναφοράς (εσωλίμνια)**
  - Απομάκρυνση φωσφόρου εντός και εκτός
  - Επεξεργασία ιζήματος εντός και εκτός
  - Τεχνητός αερισμός
  - Τεχνητή ανάμιξη
  - Αλλαγή μορφολογίας (εκβάθυνση)
  - Απομάκρυνση νερού βυθού με αντλία
  - Αραίωση με καθαρό νερό
  - Διαχείριση υδρόβιας βλάστησης
  - Επέμβαση στην τροφική αλυσίδα

# Θεωρητικό πλαίσιο

# Μεταβλητές

- Παροχή **Q**: όγκος νερού που περνάει από μία διατομή σε μία μονάδα χρόνου [ $M^0L^3T^{-1}$ ] ή [ $m^3/s$ ]
- Συγκέντρωση **C**: *Mass/Volume* [ $M^1L^{-3}T^0$ ] ή [ $mg/L$  ή  $kg/m^3$ ]
- Φορτίο διαλυμένης ουσίας: **W=Q × C** [ $M^1L^0T^{-1}$ ] ή [ $kg/day$ ]
- Συγκέντρωση μάζας **C<sub>m</sub>**: ο λόγος της μάζας προς το λόγο του μείγματος [ $mg/Kg$  ή  $ppm$ ]
- Αραίωση **S**: το αντίστροφο της συγκέντρωσης μάζας [-]

# Μετάθεση

- Η ουσία μεταφέρεται με τη ροή χωρίς να παρατηρείται κάποια διεργασία που να μεταβάλλει τη συγκέντρωσή της
- Διατήρηση μάζας

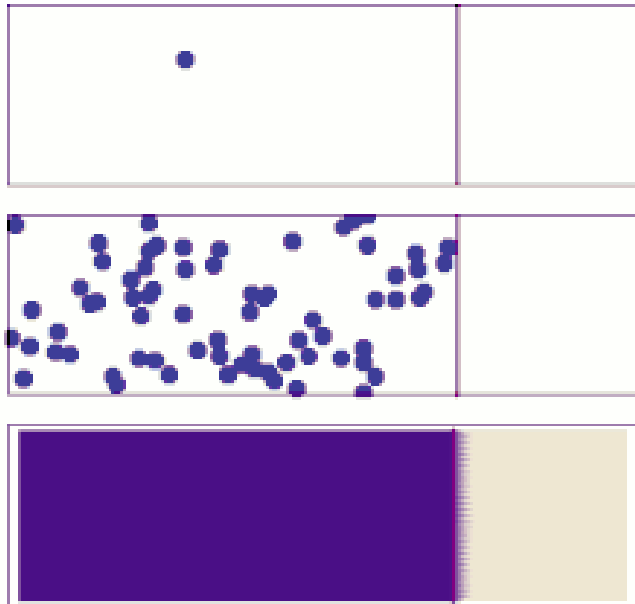
$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0$$

$C \rightarrow$  συγκέντρωση ρύπου

$q \rightarrow$  ρυθμός μεταφοράς μάζας

# Μοριακή διάχυση

- Νόμος του Fick



Πηγή: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

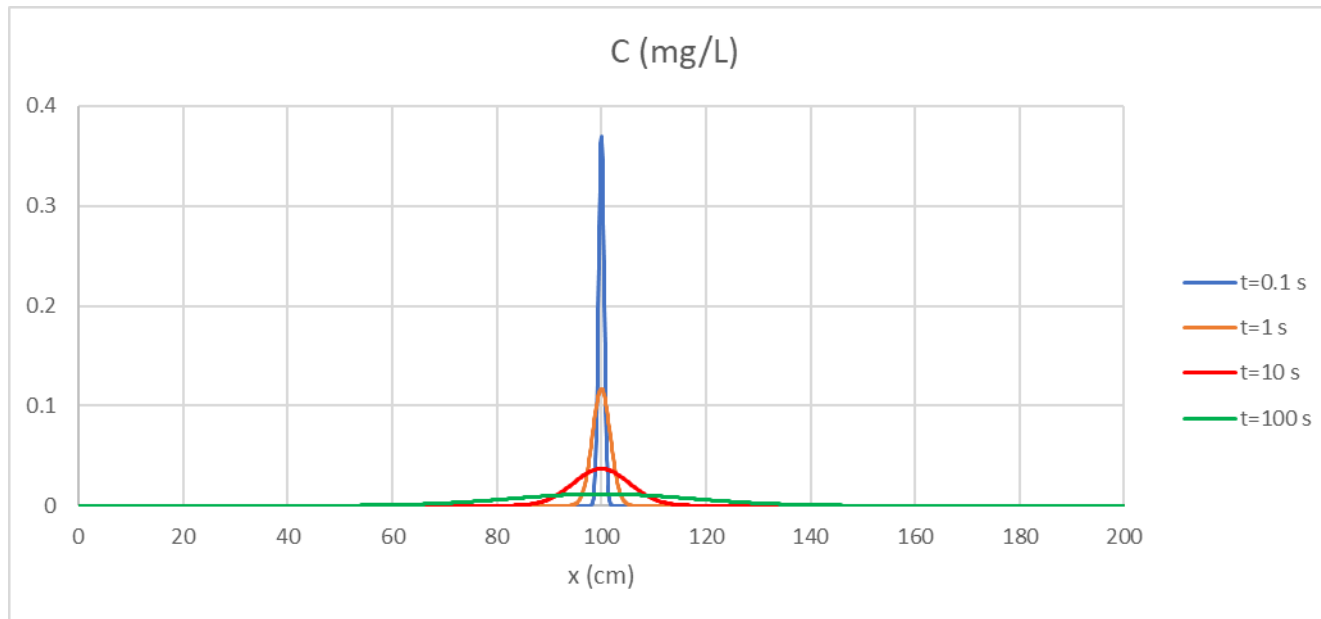
$$q = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

$D \rightarrow$  συντελεστής μοριακής διάχυσης ( $10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ )

Παράμετρος	0 °C	10 °C	20 °C
O <sub>2</sub>	1.00	1.46	1.91
CO <sub>2</sub>	0.84	1.22	1.60
H <sub>2</sub> S	0.92	1.34	1.75
H <sup>+</sup>	5.17	6.60	8.01
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.93	1.29	1.66
OH <sup>-</sup>	2.46	3.48	4.47

# Στιγμιαία διάχυση μάζας $M$

$$C(x, t) = \frac{M}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left[-\frac{(x - x_0)^2}{4Dt}\right], \text{ για } t > 0$$



$$M = 1 \text{ gr}$$

$$D = 0.673 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$$

# Μεταφορά

- Η ουσία μεταφέρεται με τη ροή του νερού και διαχέεται ταυτόχρονα

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V \frac{\partial C}{\partial x} - D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0$$

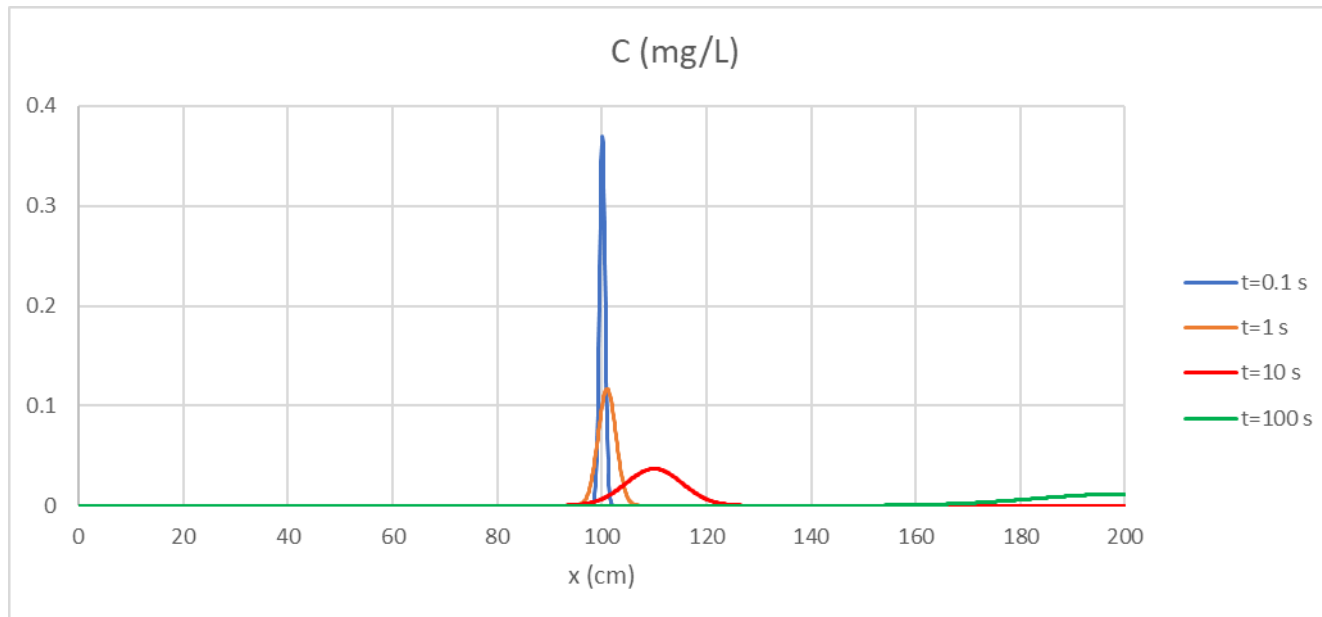
$C \rightarrow$  συγκέντρωση ρύπου

$V \rightarrow$  ταχύτητα μεταφοράς

$D \rightarrow$  συντελεστής μοριακής διάχυσης

# Στιγμιαία διάχυση μάζας $M$ και μεταφορά

$$C(x, t) = \frac{M}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp \left[ -\frac{(x - (x_0 + Vt))^2}{4Dt} \right], \text{ για } t > 0$$



$$M = 1 \text{ gr}$$

$$D = 0.673 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$V = 1 \text{ cm/s}$$



# Τυρβώδης ροή

- Η ίδια σχέση μόνο που ο συντελεστής μοριακής διάχυσης  $D$  αντικαθίσταται με το συντελεστή τυρβώδους διάχυσης  $\varepsilon$  ( $\varepsilon \gg D$ )

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V \frac{\partial C}{\partial x} - \varepsilon \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0$$

$C \rightarrow$  συγκέντρωση ρύπου

$V \rightarrow$  ταχύτητα μεταφοράς

$\varepsilon \rightarrow$  συντελεστής τυρβώδους διάχυσης

# Μη συντηρητικός ρύπος

- Προστίθεται ο ρυθμός μείωσης

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V \frac{\partial C}{\partial x} - \varepsilon \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + kC = 0$$

$C \rightarrow$  συγκέντρωση ρύπου

$V \rightarrow$  ταχύτητα μεταφοράς

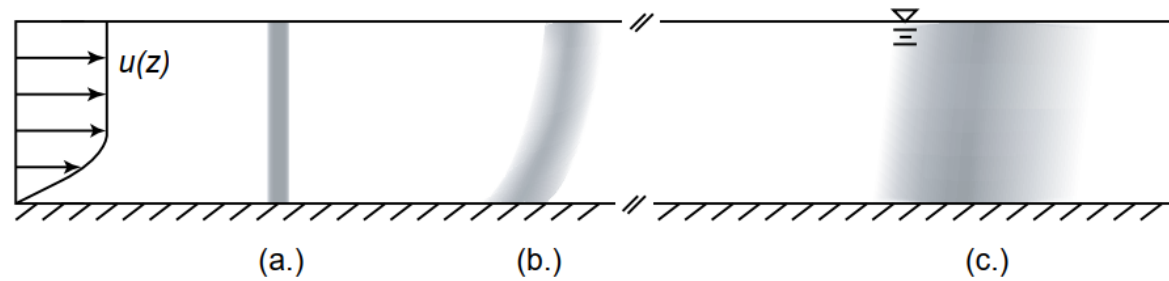
$\varepsilon \rightarrow$  συντελεστής τυρβώδους διάχυσης

$k \rightarrow$  ρυθμός μείωσης

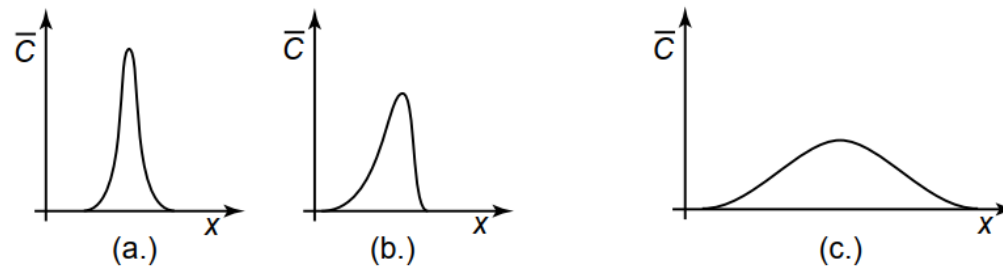
# Διασπορά

- Διατμητικό προφίλ ταχύτητας
- Μετάθεση + Κατακόρυφη διάχυση = Διασπορά

Side view of river:

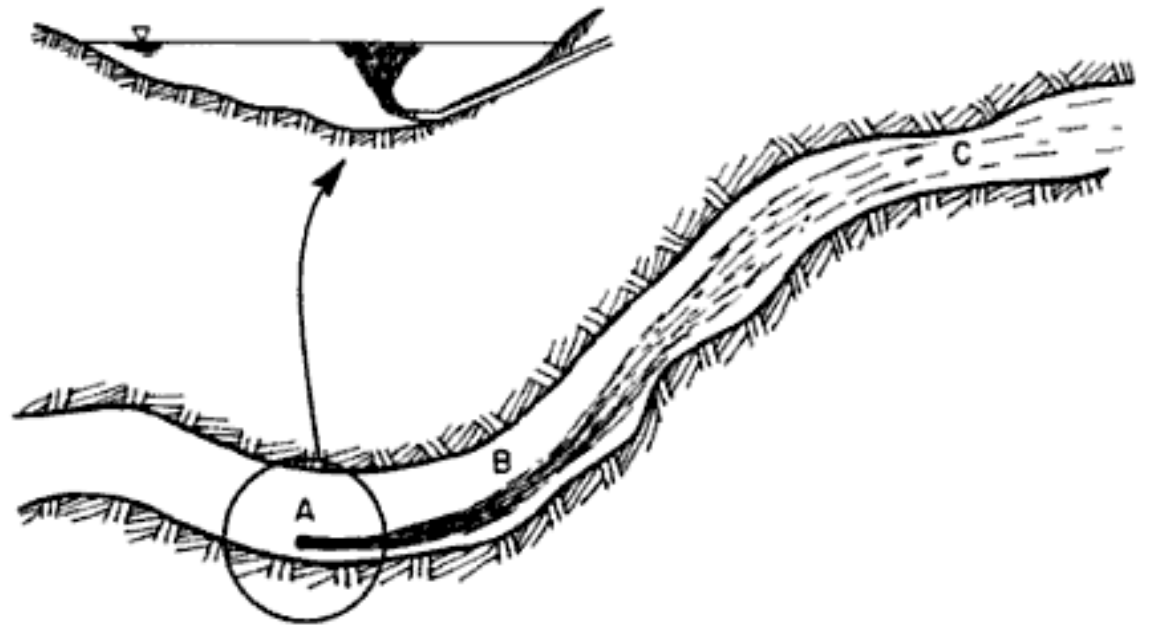


Depth-average concentration distributions:



# Στάδια ανάπτυξης

- **Στάδιο 1:** Η αρχική ορμή και άνωση καθορίζουν το ρυθμό διάχυσης
- **Στάδιο 2:** κυριαρχεί η τυρβώδης διάχυση
- **Στάδιο 3:** Κατά μήκος διασπορά



# Φλέβες/πλούμια

- **Φλέβες:** εκροή ρυπαντή σε αποδέκτη ίδιας πυκνότητας
- **Πλούμια:** ροή λόγω διαφοράς πυκνότητας μεταξύ ρυπαντή και αποδέκτη



# ΜΔΕ Θερμότητας

$$\frac{\partial T}{\partial t} + V \frac{\partial T}{\partial x} - \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\phi}{\rho c_w D}$$

$T \rightarrow$  θερμοκρασία

$V \rightarrow$  ταχύτητα μεταφοράς

$\alpha \rightarrow$  συντελεστής διασποράς

$\phi, c_w \rightarrow$  παράμετροι

$\rho \rightarrow$  πυκνότητα νερού

$D \rightarrow$  υδραυλικό βάθος

# Ισοζύγιο

- Μεταφορά (εισροή/εκροή)
- Συσσώρευση
- Μετατροπή
- Εξωτερικοί παράγοντες



$$\text{Συσσώρευση} = \text{Εισροή} - \text{Εκροή} \pm \text{Αποικοδόμηση} \pm \text{Εξωτερικοί παράγοντες}$$

# Συντηρητικός ρυπαντής σε μόνιμη ροή

- Μόνιμη ροή (ποσοτικά & ποιοτικά)
- Αποικοδόμηση = 0
- Εξωτερικοί παράγοντες = 0
- $Q_{in}=Q_{out}$     $C_{in}=C_{out}$     $W_{in}=W_{out}$     $Q_{in} \times C_{in} = Q_{out} \times C_{out}$
- Συσσώρευση  $dV/dt=0$



# Συντηρητικός ρυπαντής σε μη μόνιμη ροή

- Εξωτερικοί παράγοντες = 0
- Αποικοδόμηση = 0
- $Q_{in} \neq Q_{out}$     $C_{in} = C_{out}$
- Συσσώρευση  $dV/dt = Q_{in} - Q_{out}$
- $Q_{in} > Q_{out}$     $\rightarrow$    όγκος ελέγχου αυξάνεται
- $Q_{in} < Q_{out}$     $\rightarrow$    όγκος ελέγχου μειώνεται
- Αν υπάρχει διαλυμένη ουσία στον όγκο ελέγχου
- $Q_{in} > Q_{out}$     $\rightarrow$     $C_{in} < C_{out}$
- $Q_{in} < Q_{out}$     $\rightarrow$     $C_{in} > C_{out}$

# Συντηρητικός ρυπαντής σε μόνιμη ροή με εξωτερικό παράγοντα

- Μάζα ρυπαντών  $\rightarrow$  σταθερή
- Αποικοδόμηση = 0
- Εξωτερικοί παράγοντες:  $Q_{in} + Q_w = Q_{out}$
- Εξίσωση συνέχειας:  $W_{in} + W_w = W_{out} \rightarrow Q_{in} \times C_{in} + Q_w \times C_w = Q_{out} \times C_{out}$
- Συσσώρευση  $dV/dt = V \times dC/dt$
- Συσσώρευση = Εισροή – Εκροή  $\pm$  Εξωτερικοί παράγοντες
- $V \times dC/dt = Q_{in} \times C_{in} - Q_{out} \times C_{out} + Q_w \times C_w$   $C_{out} = \frac{Q_{in} \cdot C_{in} + Q_w \cdot C_w}{Q_{out}}$

# Μη συντηρητικός ρυπαντής σε μόνιμη ροή

- Μόνιμη ροή
- Αποικοδόμηση  $\neq 0$
- Συσσώρευση μάζας νερού = 0
- Συσσώρευση = Εισροή – Εκροή  $\pm$  Εξωτερικοί παράγοντες  $\pm$  Αποικοδόμηση
- $V \times dC/dt = -K \times C \times V$
- $V \times dC/dt = Q_{in} \times C_{in} + Q_w \times C_w - Q_{out} \times C_{out} - K \times C \times V$

# Εφαρμογή I

- Ποταμός εκβάλλει σε λίμνη με παροχή  $100 \text{ m}^3/\text{day}$  και δε φέρει ρυπαντική ουσία. Πόσο είναι το μέγιστο φορτίο ενός συντηρητικού ρύπου που μπορεί να διοχετευθεί στη λίμνη από έναν εξωτερικό παράγοντα έτσι ώστε κατά την εκροή του νερού από τη λίμνη (συνθήκες μόνιμης ροής) η συγκέντρωση της ουσίας να μην υπερβαίνει τα  $5 \text{ mg/L}$ ;

# Εφαρμογή II

- Ενεργά χημικά απόβλητα από βιομηχανία ρίχνονται με παροχή 400 L/S και με συγκέντρωση ουσίας 30 mg/L σημειακά σε ποτάμι ορθογωνικής διατομής που έχει παροχή 5 m<sup>3</sup>/s και συγκέντρωση της ίδιας ουσίας ίση με 2 mg/L. Αν ο ρυθμός αποικοδόμησης της ουσίας είναι  $K=0.5 \text{ d}^{-1}$ , το μέσο βάθος ροής κατάντη του σημείου ρίψης είναι 1.5 m και το πλάτος του αγωγού 24 m, να βρεθεί σε ποιο σημείο θα σταματήσει η ουσία να επηρεάζει τον αποδέκτη.