



Τμήμα Περιβάλλοντος
Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Εαρινό Εξάμηνο 2025-2026

Μηχανική Περιβάλλοντος

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΥΛΗΣ

Δρ. Ελένη Γκριλλα
Μηχανικός Περιβάλλοντος

e-mail. elen.grilla@gmail.com

Ισοζύγιο Μάζας

Πως ένας ρύπος διαχέεται στο περιβάλλον

Αρχή Διατήρησης Μάζας:

Η ύλη ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται



Μόνο μεταφέρεται ή μετατρέπεται

Καθορισμός ορίων συστήματος: Χώρος, χρόνος και χημικό είδος



$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} + \text{Συσσωρεύσεις} + \text{Μετατροπές}$$

Αν σε ένα σύστημα επικρατούν:

- σταθερές συνθήκες (συσσώρευση μηδενική) και
- μη μετατρέψιμα χημικά είδη (μετατροπή μηδενική)

Τότε:

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} + \text{Συσσωρεύσεις} + \text{Μετατροπές}$$

Ισοζύγιο Μάζας – Σταθερά συστήματα



Αν σε ένα σύστημα επικρατούν:

- σταθερές συνθήκες (συσσώρευση μηδενική) και
- μετατρέψιμα χημικά είδη

Τότε:

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} + \text{Συσσωρεύσεις} + \text{Μετατροπές}$$

Η μετατροπή ενός μετατρέψιμου χημικού είδους συχνά θεωρείται ότι ακολουθεί **κινητική πρώτης τάξης**.

$$C = C_0 e^{-Kt}$$

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} + \text{Μετατροπές}$$

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} \pm KCV$$

$$\frac{d(CV)}{dt} = V \times \frac{dC}{dt}$$

Ισοζύγιο Μάζας – Μη σταθερά συστήματα



Αν σε ένα σύστημα επικρατούν:

- Μη σταθερές συνθήκες και
- Η συγκέντρωση του αυξάνεται ή μειώνεται με το χρόνο

Τότε:

Εισροές = Εκροές + Συσσωρεύσεις + Μετατροπές

$$(Q \times C_{in}) = (Q \times C) + \left(V \times \frac{dC}{dt} \right) + (K \times C \times V)$$

$$C_t = C_\infty + (C_0 - C_\infty) e^{-(K+Q/V)t}$$

Σε μόνιμη κατάσταση $C_\infty = \frac{(Q \times C_{in})}{(Q + KV)}$

Ισοζύγιο Μάζας – Ασκήσεις

1. Χείμαρρος με παροχή $10 \text{ m}^3/\text{min}$ και συγκέντρωση οργανικής ένωσης ίση με $2 \text{ }\mu\text{g/L}$ καταλήγει σε λίμνη με όγκο νερού ίσο με 10^5 m^3 . Στη λίμνη καταλήγει επίσης αγωγός λυμάτων με παροχή $1 \text{ m}^3/\text{min}$ και συγκέντρωση οργανικής ένωσης ίση με $20 \text{ }\mu\text{g/L}$. Η συγκεκριμένη οργανική ένωση θεωρείται μετατρέψιμος ρύπος και ο συντελεστής μετατροπής της ισούται με $0,01 \text{ 1/min}$.

A) Θεωρώντας ότι στη λίμνη επικρατούν σταθερές συνθήκες και η μίξη νερού-αποβλήτων είναι πλήρης, να υπολογιστεί η συγκέντρωση της οργανικής ένωσης στη λίμνη και να συγκριθεί με το όριο που θέτει η νομοθεσία και το οποίο ισούται με 50 ng/L .

B) Ένας δεύτερος αγωγός λυμάτων αποφασίζεται να μεταφέρει κι αυτός λύματα στη λίμνη με παροχή $2 \text{ m}^3/\text{min}$ και συγκέντρωση της ίδιας οργανικής ένωσης ίσης με $10 \text{ }\mu\text{g/L}$. Να υπολογιστεί αν στη λίμνη θα παρατηρείται υπέρβαση του ορίου της νομοθεσίας για τη συγκεκριμένη οργανική ουσία, 1 ώρα και 24 ώρες μετά την έναρξη λειτουργίας του δεύτερου αγωγού.

Ισοζύγιο Μάζας – Ασκήσεις

2. Με τι παροχή καθαρού νερού θα πρέπει να αραιωθούν λύματα παροχής $1 \text{ m}^3/\text{min}$ που διοχετεύονται σε λίμνη όγκου 10^3 m^3 ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση μη μετατρέψιμου ρύπου κατά 50% (υποθέστε ότι επικρατούν συνθήκες πλήρους μίξης και το νερό που χρησιμοποιείται για την αραιώση περιέχει μηδενική συγκέντρωση του μη μετατρέψιμου ρύπου). Υπολογίστε την απαιτούμενη παροχή καθαρού νερού για την περίπτωση που ο ρύπος είναι μετατρέψιμος με $k=0.0005 \text{ 1/min}$.

Ισοζύγιο Ενέργειας

Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος

Για κάθε σύστημα ισχύει:

$$\text{Εισρέουσα } E = \text{Εκρέουσα } E + \text{Μεταβολή αποθηκευμένης } E$$

Σε περιβαλλοντικά συστήματα η αποθηκευμένη ενέργεια περιλαμβάνει:

- εσωτερική ενέργεια (θερμοκρασία)
- δυναμική ενέργεια
- κινητική ενέργεια

$$\Delta E_{\text{εσωτ}} = m c \Delta T$$

$\Delta E_{\text{εσωτ}}$: μεταβολή $E_{\text{εσωτ}}$

m : μάζα (kg)

c : ειδική θερμότητα (kcal/kg °C)

ΔT : μεταβολή θερμοκρασίας (°C)

Η ενέργεια ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται, αλλά αλλάζει μορφές.

Ισοζύγιο Ενέργειας

Συστήματα στα οποία παρατηρείται μεταφορά ενέργειας και μάζας θεωρούνται *ανοικτά συστήματα*, ενώ συστήματα στα οποία πραγματοποιείται μόνο μεταφορά ενέργειας θεωρούνται *κλειστά συστήματα*.

Στα ανοικτά συστήματα η εξίσωση μετατρέπεται ως εξής:

$$\Delta^{\circ}E_{\varepsilon\sigma\omega\tau} = m^{\circ} c \Delta T$$

$\Delta^{\circ}E_{\varepsilon\sigma\omega\tau}$: ο ρυθμός μεταφοράς ενέργειας (J/s ή W)

m° : ο ρυθμός μεταφοράς μάζας στο σύστημα (kg/s)

c : ειδική θερμότητα ($kcal/kg$ $^{\circ}C$)

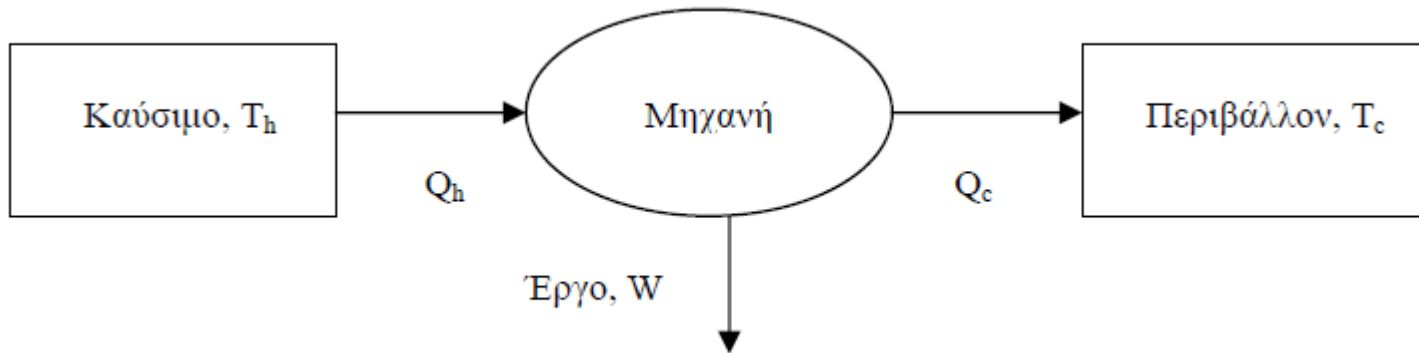
ΔT : μεταβολή θερμοκρασίας ($^{\circ}C$)

Ισοζύγιο Ενέργειας

Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος

Καμία μετατροπή ενέργειας δεν είναι απόλυτα αποδοτική, αλλά πάντα υπάρχουν απώλειες ενέργειας

Απώλεια ενέργειας αναφερόμαστε στη μετατροπή της σε μορφές ενέργειας “χαμηλότερης ποιότητας”, όπως για παράδειγμα σε θερμική ενέργεια που απελευθερώνεται στο περιβάλλον.



Η απόδοση της συγκεκριμένης μηχανής, n ισούται με το λόγο του έργου που παράχθηκε, W προς το ποσό της θερμικής ενέργειας που προσφέρθηκε από την πηγή υψηλής θερμότητας, Q_h

$$n = \frac{W}{Q_h} = \frac{(Q_h - Q_c)}{Q_h} = 1 - \frac{Q_c}{Q_h}$$

Ισοζύγιο Ενέργειας

Μεταφορά Θερμότητας

Όταν δύο αντικείμενα έχουν διαφορετική θερμοκρασία μεταφέρεται θερμότητα από το θερμότερο στο ψυχρότερο. Η μεταφορά θερμότητας μπορεί να γίνει α) *μέσω επαφής*, όταν υπάρχει φυσική επαφή των δύο αντικειμένων, β) *μέσω ακτινοβολίας* και γ) *δια μέσου* του υγρού ή αέριου μέσου που παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο αντικειμένων.

Για τον υπολογισμό του συνολικού ρυθμού μεταφοράς θερμότητας χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$q = \frac{A(T_i - T_o)}{R}$$

Όπου:

q = ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας (W)

A = η επιφάνεια μεταφοράς (m^2)

T_i = η θερμοκρασία στη μία πλευρά της επιφάνειας ($^{\circ}C$)

T_o = η θερμοκρασία στην άλλη πλευρά της επιφάνειας ($^{\circ}C$)

R = η ολική θερμική αντίσταση ($m^2 \text{ }^{\circ}C/W$)

Ισοζύγιο Ενέργειας

Μεταφορά θερμότητας *μέσω ακτινοβολίας*

Για τον υπολογισμό της μέγιστης ενέργειας εκπομπής από μέλαν σώμα χρησιμοποιείται ο νόμος των Stefan – Boltzmann:

$$E_{\max} = \sigma A T^4$$

Όπου:

E_{\max} = ο μέγιστος ρυθμός εκπομπής ενός μέλαν σώματος (W)

σ = η σταθερά Stefan – Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

T = η απόλυτη θερμοκρασία του αντικειμένου (K)

A = η επιφάνεια του αντικειμένου (m^2)

Για τον υπολογισμό του μήκους κύματος, λ_{\max} όπου παρατηρείται η μέγιστη εκπομπή ενός μέλαν σώματος χρησιμοποιείται ο κανόνας του Wien.

Στη συγκεκριμένη εξίσωση το μήκος κύματος υπολογίζεται σε μm και η θερμοκρασία σε Kelvin.

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}$$

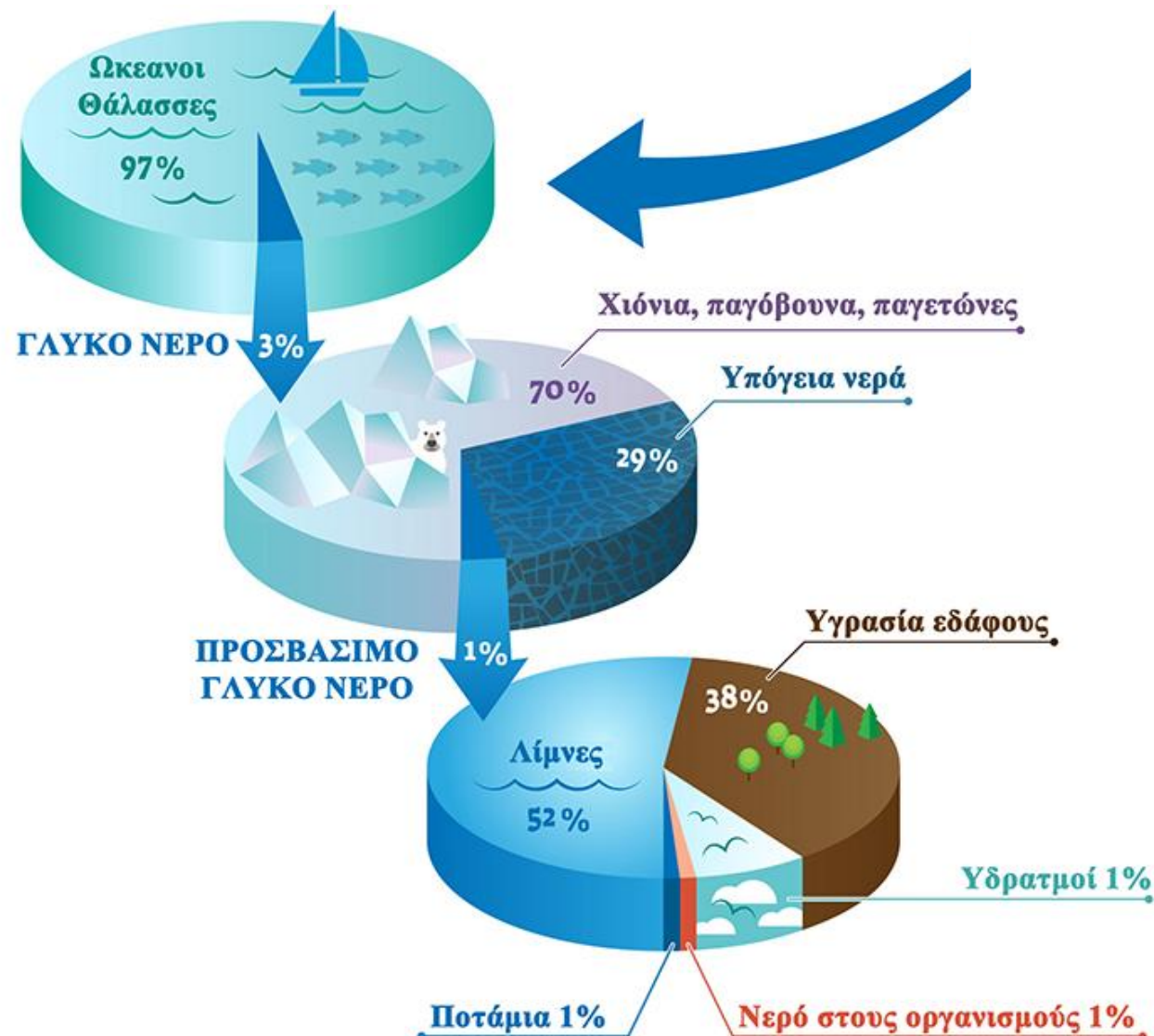
Ισοζύγιο Ενέργειας – Ασκήσεις

3. Μία λάμπα φθορισμού 15 W παράγει την ίδια ποσότητα φωτός με μία λάμπα πυρακτώσεως 60 W, ενώ χρησιμοποιεί μόνο το $\frac{1}{4}$ της ισχύος της. Αν αντικατασταθεί η λάμπα πυρακτώσεως με τη λάμπα φθορισμού, να υπολογιστεί η μείωση των εκπομπών C, SO₂ και σωματιδίων που θα επιτευχθεί στις 9000 ώρες ζωής της λάμπας φθορισμού. Θεωρείστε ότι κατά την παραγωγή 1 KWhr ηλεκτρικού ρεύματος απελευθερώνονται 280 g C, 18 g SO₂ και 45 g τέφρας.

Κατανομή Νερού

Το νερό καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της Γης, όμως μόνο το 2,5% είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε άλατα (πόσιμο).

- Από αυτό το **2,5%**:
 - το 79% περίπου είναι παγωμένο,
 - το 20% είναι υπόγειο και
 - το 1% περίπου είναι άμεσα προσβάσιμο (επιφανειακό).



Ρυπαντικές Παράμετροι

Οργανοληπτικές

- Χρώμα
- Θολερότητα
- Οσμή
- Γεύση

Φυσικοχημικές

- Σκληρότητα
- Ολικά Διαλυμένα Στερεά (TDS)
- Αγωγιμότητα –Αλατότητα
- Σχέση Προσοφημένου Νατρίου (SAR)
- Οξύτητα –Αλκαλικότητα (pH)

Χημικές

- Διάφορα κατιόντα (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+)
- Διάφορα ανιόντα (NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , Cl^-)
- Θρεπτικά συστατικά (N, P, S, Si)
- Αέρια (Υδροθείο, Μεθάνιο, Αμμωνία)
- Ιχνοστοιχεία
- Βαρέα μέταλλα
- Ολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)

Ανεπιθύμητες & Τοξικές ουσίες

- Παρασιτοκτόνα
 - Εντομοκτόνα
 - Ζιζανιοκτόνα
 - Διοξίνες
- Χλωριωμένοι HC
 - Φαινόλες–Χλωροφαινόλες
- Πολυχλωριωμένα διφαινύλια (PCB)
- Πολυκυκλικοί Αρωματικοί HC(PAH)

Χημικά Χαρακτηριστικά – Οργανικά Συστατικά

Η απαιτούμενη ποσότητα οξυγόνου εκφράζεται με τις παρακάτω παραμέτρους οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν ως δείκτες για τη ποσότητα των οργανικών ουσιών που υπάρχουν στο νερό:

- Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD)
- Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (COD)
- Θεωρητικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Thod)
- Συνολικός Οργανικός Άνθρακας (TOC)

➤ Λόγος BOD/COD

Ο λόγος BOD/COD βοηθάει να δοθεί μια εικόνα για το οργανικό φορτίο των αποβλήτων. Ο λόγος αυτός κυμαίνεται από 0.3-0.8 για αστικά υγρά απόβλητα.

- > 0.5 → εύκολα βιοαποδομήσιμα (καλά για βιολογικό καθαρισμό)
- $0.3 - 0.5$ → μέτρια βιοαποδομήσιμα
- < 0.3 → δύσκολα βιοαποδομήσιμα (πιθανώς βιομηχανικά ή τοξικά συστατικά στα απόβλητα)

Άσκηση Διάθεσης Λυμάτων

4. Μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποβάλλει $1 \text{ m}^3/\text{s}$ επεξεργασμένων αποβλήτων συγκέντρωσης BOD ίσης με 40 mg/l , σε χείμαρρο που ρέει με παροχή $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Η συγκέντρωση του BOD στον χείμαρρο σε σημείο ανάντη της θέσης αποβολής των λυμάτων είναι 3.0 mg/l . Η σταθερά αποξυγόνωσης k_d ισούται με $0.22/\text{day}$.

A) Υποθέτοντας πλήρη και άμεση μίξη νερού και λυμάτων, να υπολογιστεί η τιμή του BOD κατάντη του σημείου εκροής των αποβλήτων.

B) Υποθέτοντας ότι η διατομή του ποταμού ισούται με 55 m^2 , ποια συγκέντρωση BOD αναμένεται να ανιχνευτεί 10 km κατάντη του σημείου αποβολής των λυμάτων.

Γ) Θεωρώντας ότι η συγκέντρωση του DO των αποβλήτων είναι 4.0 mg/l , ενώ η συγκέντρωση του DO του ποταμού 8.0 mg/l . Να υπολογιστεί το αρχικό έλλειμμα σε οξυγόνο του μίγματος νερού-λυμάτων. Η θερμοκρασία του νερού και των λυμάτων θεωρείται ότι είναι $15 \text{ }^\circ\text{C}$, άρα $\text{DO}_{\text{κορεσμού}} = 10.08 \text{ mg/L}$.

Άσκηση Διάθεσης Λυμάτων

5. Η μοναδική πηγή BOD σε ποτάμι είναι τα μη επεξεργασμένα απόβλητα παρακείμενης κονσερβοποιίας. Η συγκέντρωση του DO ακριβώς πριν το σημείο διάθεσης των αποβλήτων είναι 10 mg/l και ισούται με τη συγκέντρωση κορεσμού, ενώ στο κρίσιμο σημείο η συγκέντρωση του DO είναι 3 mg/l. Δεδομένου ότι η ταχύτητα ροής του ποταμού είναι 60 Km/day και οι σταθερές k_r και k_d 0.8/day και 0.2/day, αντίστοιχα.

A) Σε ποια απόσταση από το σημείο εκβολής των λυμάτων αναμένεται η χαμηλότερη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου.

B) Ποια συγκέντρωση ολικού BOD (L_0) του μίγματος ποταμού και αποβλήτων στο σημείο διάθεσης των λυμάτων προκαλεί συγκέντρωση DO στο κρίσιμο σημείο ίση με 5 mg/l.

Άσκηση Διάθεσης Λυμάτων

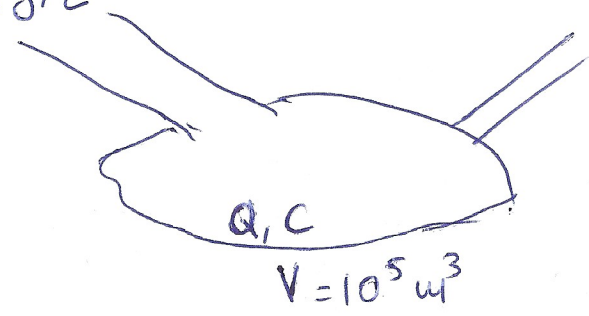
6. Απόβλητα αποβάλλονται σε ένα ποτάμι. Υπολογίστε τη συγκέντρωση του DO, 5 Km κατάντη του σημείου μίξης αποβλήτων και ποταμού. Θεωρείστε ότι στο σημείο μίξης ισχύει παροχή = $0.63 \text{ m}^3/\text{s}$, DO = 4.75 mg/l και $L_0 = 26.7 \text{ mg/l}$. Υπολογίστε επίσης την κρίσιμη συγκέντρωση DO και το κρίσιμο σημείο. Δίνονται $k_r=0.0476 \text{ d}^{-1}$, ταχύτητα ποταμού 0.03 m/s , θερμοκρασία $20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{DO}_{\text{κορεσμού}}=9.1 \text{ mg/l}$ και $k_d=0.03442 \text{ d}^{-1}$.

Επαναληπτικές

(1)

1/ $Q_x = 10 \text{ m}^3/\text{min}$
 $C_x = 2 \text{ } \mu\text{g/L}$

$Q_d = 1 \text{ m}^3/\text{min}$
 $C_d = 20 \text{ } \mu\text{g/L}$



Μεταφερέσιμος ρύπος, $K_d = 0.01 \text{ 1/min}$

A) Σταθερές συνθήκες, η αήρως ήγη νερού - αναβλύσεων
 $C = ?$
 όριο $C = 50 \text{ } \mu\text{g/L}$

Ισορροπία μάζας : Είσοδος = Έξοδος + $K_d V$

$$Q_x \cdot C_x + Q_d \cdot C_d = Q \cdot C + K_d \cdot V$$

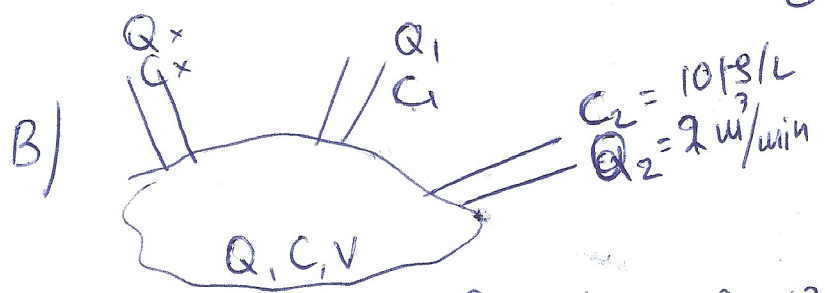
$$\Rightarrow 10 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot 2 \frac{\mu\text{g}}{\text{L}} + 1 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot 20 \frac{\mu\text{g}}{\text{L}} = (10+1) \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot C + 0.01 \frac{1}{\text{min}} \cdot 10^5 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot C$$

$$\Rightarrow 20 \frac{\mu\text{g}}{\text{L}} + 20 \frac{\mu\text{g}}{\text{L}} = 11 C + 0.01 \cdot 10^5 C$$

$$\Rightarrow 40 \mu\text{g/L} = 1000 C \Rightarrow C = 0.040 \mu\text{g/L}$$

$$1 \mu\text{g/L} = 1000 \text{ ng/L} \Rightarrow C = 40 \text{ ng/L} < 50 \text{ } \mu\text{g/L}$$

$C = 40 \text{ ng/L} < 50 \text{ } \mu\text{g/L}$
 Δεν υπάρχει υπέρβαση.



$Q = Q_1 + Q_2 + Q_x = 10 + 1 + 2 = 13 \text{ m}^3/\text{min}$

Το C 6m πριν καταβραση, σύμφωνα το $C_{\infty} =$ (2)

$$Q_x \cdot C_x + Q_1 \cdot C_1 + Q_2 \cdot C_2 = Q \cdot C + k \cdot C \cdot V$$

$$\rightarrow 10 \cdot 2 + 1 \cdot 20 + 2 \cdot 10 = 13 \cdot C + 0.01 \cdot 10^5 C$$

$$\rightarrow 20 + 20 + 20 = 13C + 1000C$$

$$\rightarrow 60 = 1013C \quad \rightarrow C = 0.059 \mu\text{g/L} = 59 \text{ ng/L}$$

Η νέα συγκέντρωση υπέρβαση το όριο

Στη μεταβολή με το χρόνο έχουμε:

$$\text{Είσοδος} = \text{Εξοδος} + \text{Συγκομιδή} + \text{Μεταβολή}$$

$$Q \cdot C_{in} = Q \cdot C + V \cdot \frac{dC}{dt} + k \cdot C \cdot V$$

$$\rightarrow C_t = C_{\infty} + (C_0 - C_{\infty}) e^{-(k + Q/V) \cdot t}$$

Για $t = 1 \text{ ώρα} = 60 \text{ min}$.

$$C_{60} = 59 + (40 - 59) e^{-\frac{0.01013}{0.545} \cdot 60} = 59 + (-19) \cdot 0.545 = 48.6 \text{ ng/L} < 50 \text{ ng/L}$$

Δεν υπάρχει υπέρβαση

Για $t = 24 \text{ ώρες} = 1440 \text{ min}$

$$C_{1440} = 59 + (40 - 59) e^{-\frac{0.01013}{0.000000462} \cdot 1440} = 59 - 0.00000878 = 58.99 \text{ ng/L} > 50 \text{ ng/L}$$

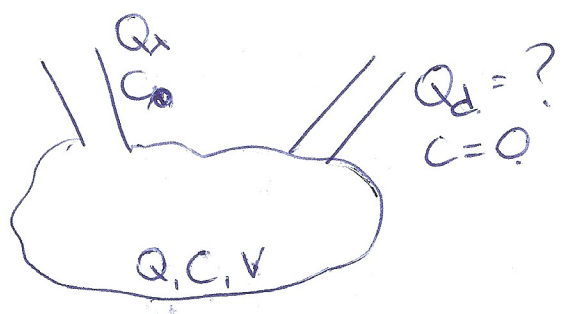
Υπάρχει υπέρβαση.

2

$$Q_A = 1 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$V = 10^3 \text{ m}^3$$

$$C = 50\% \cdot C_0$$



- μη μετατρέψιμος ρύπος
- πλήρους ρίξης

Παροχή καθαρού νερού, Q_d

- Για μη μετατρέψιμο ρύπο :

$$\text{Είσοδος} = \text{Έκποδα} \Rightarrow Q_A \cdot C_0 + Q_d \cdot C_0 = (Q_A + Q_d) \cdot C$$

$$\Rightarrow Q_A \cdot C_0 = (Q_A + Q_d) \cdot C$$

$$\Rightarrow 1 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot C_0 = (1 + Q_d) \cdot \frac{1}{2} C_0$$

$$\Rightarrow 2 = 1 + Q_d \Rightarrow \underline{Q_d = 1 \text{ m}^3/\text{min}}$$

Αν ο ρύπος είναι μετατρέψιμος, $K_d = 0.0005 \text{ 1/min}$

$$\text{Είσοδος} = \text{Έκποδα} + \text{Μετατροπή}$$

$$\Rightarrow Q_A \cdot C_0 = (Q_A + Q_d) \cdot C + K_d \cdot C \cdot V$$

$$\Rightarrow 1 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \cdot C_0 = (1 + Q_d) \cdot \frac{1}{2} C_0 + 0.0005 \cdot \frac{1}{2} C_0 \cdot 10^3 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$\Rightarrow 1 = \frac{1 + Q_d}{2} + 0.25 \Rightarrow 0.75 = \frac{1 + Q_d}{2}$$

$$\Rightarrow 1.5 = 1 + Q_d \Rightarrow \underline{Q_d = 0.5 \text{ m}^3/\text{min}}$$

3 / Λάμπνα φθορισμού 15 W \rightarrow 1/4 τωσ ιβχύοσ
 Λάμπνα πυρακτώβτωσ 60 W

9000 ώρτω ζωήσ

1 kWh \rightarrow 280 g C, 18 g SO₂, 45 g τέρρωσ.

$$E_{\text{πυρ}} = 60 \text{ W} \times 9000 \text{ h} = 540.000 \text{ Wh} = 540 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{φθ}} = 15 \text{ W} \times 9000 \text{ h} = 135.000 \text{ Wh} = 135 \text{ kWh}$$

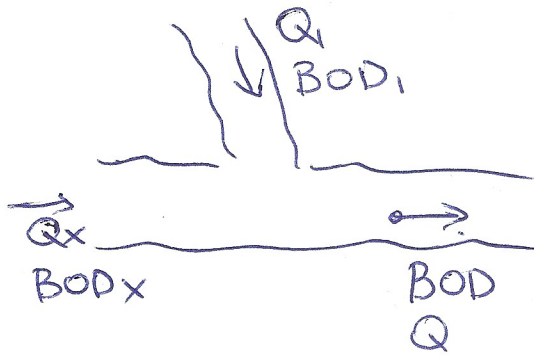
$$\Delta E = 540 - 135 = 405 \text{ kWh} \text{ εφωικονόμηση}$$

$$\text{C} : 405 \text{ kWh} \cdot 280 \text{ g C/kWh} = 113400 \text{ g} = 113,4 \text{ kg C}$$

$$\text{SO}_2 : 405 \text{ kWh} \cdot 18 \text{ g/kWh} = 7290 \text{ g} = 7,29 \text{ kg SO}_2$$

$$\text{Τέρρωσ} : 405 \text{ kWh} \cdot 45 \text{ g/kWh} = 18225 \text{ g} = 18,22 \text{ kg τέρρωσ}$$

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= 1 \text{ m}^3/\text{s} \\
 \text{BOD}_1 &= 40 \text{ mg/L} \\
 Q_x &= 10 \text{ m}^3/\text{s} \\
 \text{BOD}_x &= 3 \text{ mg/L} \\
 k_d &= 0.22 \text{ 1/d}
 \end{aligned}$$



A) Πλήρης και άμεση ήξη νερού και άφαιρων.

$$\text{BOD} = ?$$

Είσοδος = Έκδοση.

$$Q_x \cdot \text{BOD}_x + Q_1 \cdot \text{BOD}_1 = Q \cdot \text{BOD}$$

$$\Rightarrow 10 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 3 \frac{\text{mg}}{\text{L}} + 1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 40 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = (1 + 10) \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \text{BOD}$$

$$\Rightarrow 70 \frac{\text{mg}}{\text{L}} = 11 \cdot \text{BOD} \Rightarrow \underline{\underline{\text{BOD} = 6.36 \text{ mg/L}}}$$

B) Διατομή = $55 \text{ m}^2 = A$
 BOD = ? σε 10 km.

$$Q = Q_x + Q_1 = 11 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$u = \frac{Q}{A} = \frac{11 \text{ m}^3/\text{s}}{55 \text{ m}^2} = 0.2 \text{ m/s}$$

$$x = 10 \text{ km} = 10.000 \text{ m}$$

$$\Rightarrow t = \frac{x}{u} = \frac{10.000 \text{ m}}{0.2 \text{ m/s}}$$

$$\Rightarrow t = 50.000 \text{ s} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}}$$

$$\Rightarrow t = 0,58 \text{ d}$$

$$\text{BOD}_t = \text{BOD}_0 \cdot e^{-k_d t} = 6.36 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot e^{-0.22 \text{ 1/d} \cdot 0,58 \text{ d}} = 5,6 \text{ mg/L}$$

0.88

$DO_{\text{απ.}} = 4 \text{ mg/L}$
 $DO_{\text{ποτ.}} = 8 \text{ mg/L}$

Έκθετα, $D = ;$

Ισοζύγιο μάζας για DO μεταξύ των τμημ.

Είσοδος = Έξοδος

$\rightarrow Q_{\text{ποτ.}} DO_{\text{ποτ.}} + Q_{\text{απ.}} DO_{\text{απ.}} = Q \cdot DO$

$\rightarrow 10 \cdot 8 + 1 \cdot 4 = (10 + 1) \cdot DO$

$\rightarrow 80 + 4 = 11 \cdot DO \rightarrow DO = \frac{84}{11} = 7,64 \text{ mg/L}$

$D = DO_{\text{κόρ.}} - DO = 10,08 - 7,64 = 2,44 \text{ mg/L}$

5/



$DO = 10 \text{ mg/L} = DO_{\text{κόρ.}}$

$DO_c = 3 \text{ mg/L}$ κριτικό βάθος

$u = 60 \text{ km/d}$

$k_r = 0,8 \text{ /d}$, $k_d = 0,2 \text{ /d}$

Αρα $D = 10 - 3 = 7 \text{ mg/L}$

► Πριν των απορρίψεων ~~αλλά~~ το ποτάμι είναι οξυγμένο, άρα το αρχικό έκθετα είναι 0
 Συνθήκη $DO = 0$

Εξίσωση Streeter - Phelps

$$D_t = \frac{k_d \times L_0}{k_r - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_r t}) + D_0 e^{-k_r t}$$

Επίσης, ο χρόνος βρο κριτικό βάθος :

$$t_c = \frac{1}{k_r - k_d} \ln \left\{ \frac{k_r}{k_d} \left[1 - \frac{D_0 (k_r - k_d)}{k_d \cdot L_0} \right] \right\} = \frac{1}{k_r - k_d} \ln \left(\frac{k_r}{k_d} \right)$$

Εξίσωση Streeter-Phelps

$$D(t) = \frac{k_d \cdot L_0}{k_r - k_d} (e^{-k_d t} - e^{-k_r t}) + D_0 e^{-k_r t}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow D_{1.93} &= \frac{0.03442 \cdot 26.7}{0.0476 - 0.03442} \left(e^{\overset{\uparrow 0.936}{-0.03442 \cdot 1.93}} - e^{\overset{\uparrow 0.912}{-0.0476 \cdot 1.93}} \right) + \\ &\quad + 4.35 \cdot e^{\overset{\uparrow 0.912}{-0.0476 \cdot 1.93}} \\ &= \frac{0.919}{0.01318} \cdot 0.024 + 3.9672 \\ &= 5.64 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Αρα η συγκέντρωση στα 5 km του DO

θα είναι $DO = DO_{\text{κορ}} - D_{5 \text{ km}} = 9.1 - 5.64 = 3.46 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$