



Μηχανική Περιβάλλοντος

Ενότητα 5: Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Δρ. Ελένη Γκριλλα
Μηχανικός Περιβάλλοντος

e-mail. elen.grilla@gmail.com

Νερό

Το νερό αποτελεί το κύριο συστατικό των οργανισμών του πλανήτη μας.

Τα εσωτερικά ή αλλιώς γλυκά νερά είναι ζωτική υπόθεση και πολλές φορές προϋπόθεση για αμέτρητες ανθρώπινες δραστηριότητες.

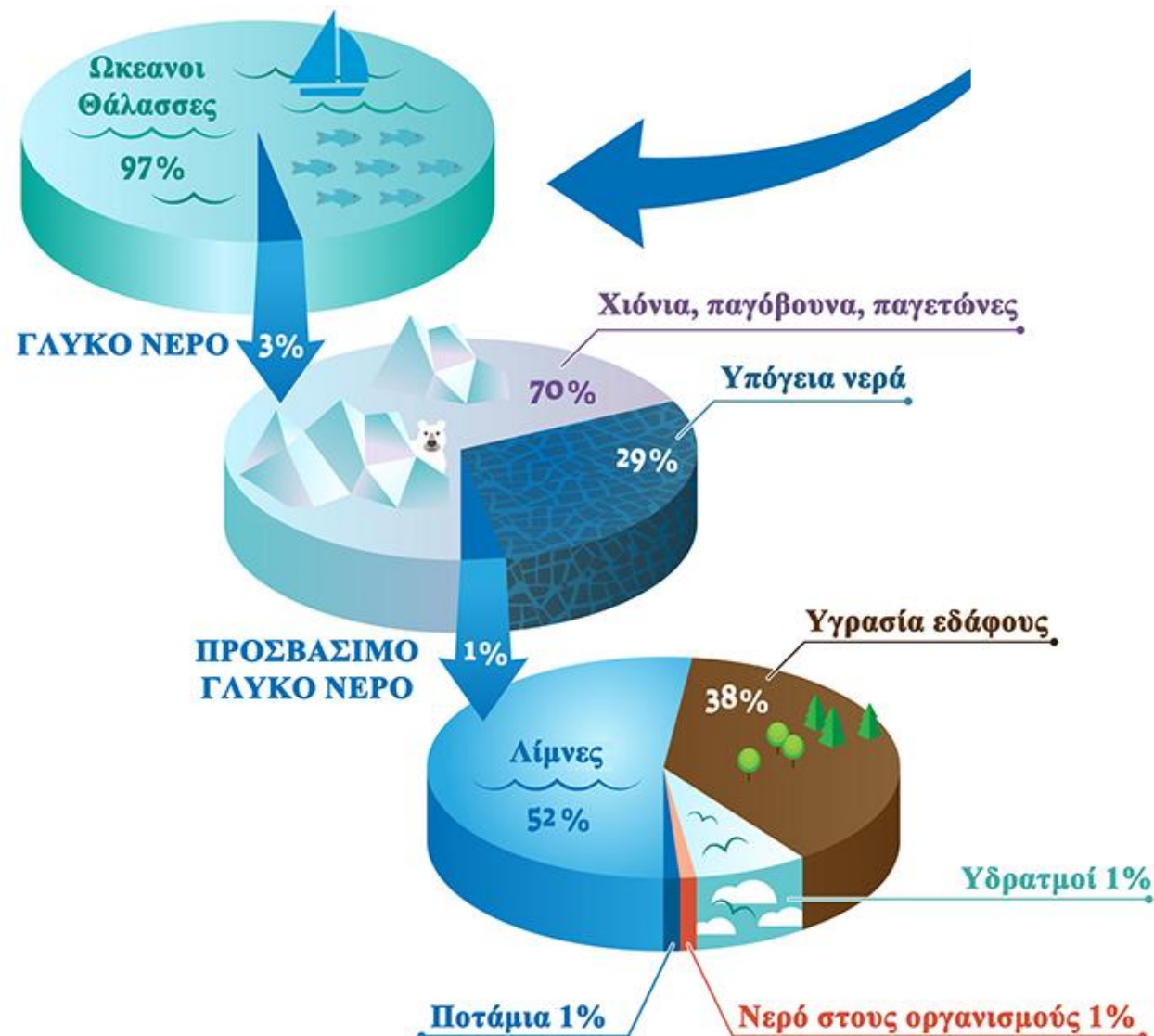
- Καλύπτει 71% της επιφάνειας της γης
- Υπολογίζεται σε 1.4 δισεκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα.



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).



Κατανομή Νερού

Περίπου το 0,5% του συνολικού νερού της Γης είναι πόσιμο και εκμεταλλεύσιμο και το 0,025% είναι πόσιμο και άμεσα προσβάσιμο.

Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού

Μορφή Νερού	Όγκος νερού (Km ³)	Γλυκό νερό (%)	Συνολικό νερό (%)
Ωκεανοί, Θάλασσες & Κόλποι	1.338.000.000	--	96,5
Παγόβουνα, Παγετώνες & Μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1,74
Υπόγειο Νερό	23.400.000	--	1,7
Γλυκό	10.530.000	30,1	0,76
Αλμυρό	12.870.000	--	0,94
Εδαφική Υγρασία	16.500	0,05	0,001
Εδαφικός πάγος & Μόνιμα παγωμένο έδαφος	300.000	0,86	0,022
Λίμνες	176.400	--	0,013
Γλυκές	91.000	0,26	0,007
Αλμυρές	85.400	--	0,006
Ατμόσφαιρα	12.900	0,04	0,001
Έλη	11.470	0,03	0,0008
Ποταμοί	2.120	0,006	0,0002
Βιολογικό Νερό	1.120	0,003	0,0001
Σύνολο	1.386.000.000	-	100

Υδρολογικός Κύκλος

Περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της Γης, κάτω και πάνω απ' αυτή.

- Η διαδικασία περιλαμβάνει τη μεταφορά της υγρασίας από τη θάλασσα στην ατμόσφαιρα και πίσω στη γη.
- Η συνολική ποσότητα του νερού στον πλανήτη μας είναι **σταθερή**, αλλά η διαθεσιμότητά του μεταβάλλεται.
- Το νερό βρίσκεται σε **συνεχή μετακίνηση** και μπορεί να θεωρηθεί ότι διακινείται μέσα σε ένα **κλειστό κύκλωμα**.
- Η **ηλιακή ακτινοβολία** επηρεάζει πολύ την ένταση και τη συχνότητα του κύκλου τα οποία εξαρτώνται από την γεωγραφία και το κλίμα της κάθε περιοχής.
- Ο κύκλος δύναται να επηρεαστεί από **ανθρώπινες παρεμβάσεις** (πχ. Αποψίλωση δασών, υδραυλικά έργα).

Υδρολογικός Κύκλος

Εξίσωση της μάζας νερού στον Υδρολογικό Κύκλο

$$\Delta S = \Sigma(\text{Εισροών}) - \Sigma(\text{Εκροών})$$

Η απλούστερη ισότητα που περιγράφει το κύκλο του νερού στη ξηρά είναι η εξής:

$$P = R + E$$

Όπου,

P = κατακρήμνιση, μεταφορά νερού από ατμόσφαιρα στη γη, mm/έτος

E = εξατμισοδιαπνοή, απομάκρυνση νερού από υγρές επιφάνειες και από φύλλα φυτών, mm/έτος

R = επιφανειακή απορροή, νερό που μεταφέρεται επιφανειακά προς τη θάλασσα, mm/έτος

Υδρολογικός Κύκλος

Εξίσωση ισοζυγίου σε λίμνη

$$\Delta S = \Sigma(\text{Εισροών}) - \Sigma(\text{Εκροών})$$

$$\Delta S = P + Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} - E$$

Όπου,

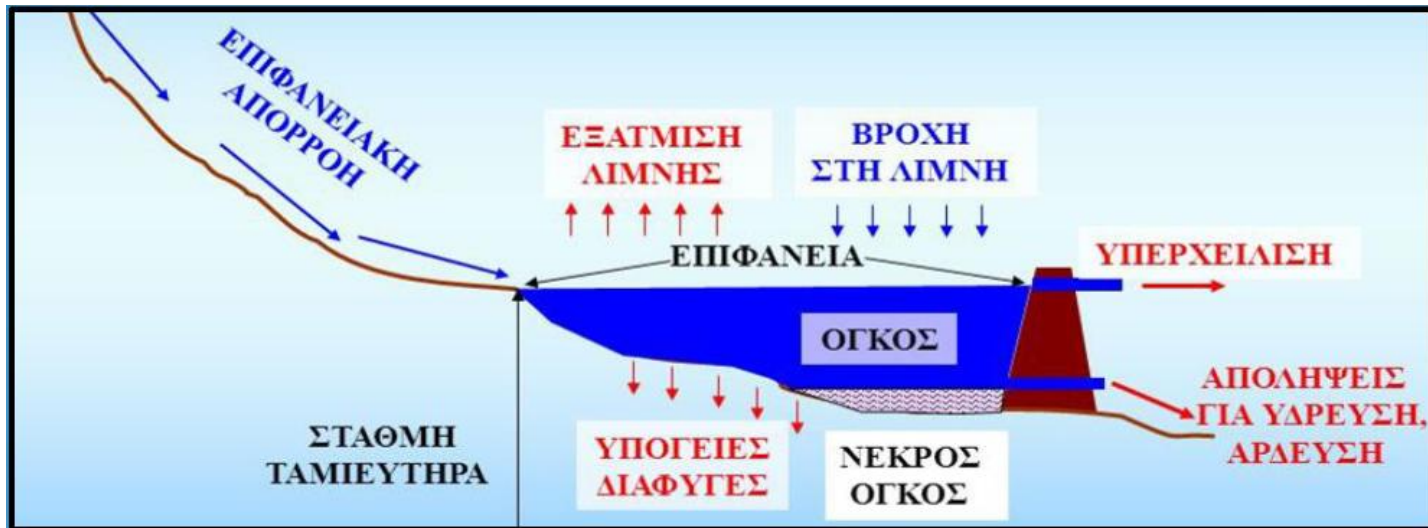
P: βροχή πάνω στη λίμνη

Q_{in} : νερό που μπαίνει (ποτάμια κ.λπ.)

Q_{out} : νερό που φεύγει

E: εξάτμιση (φεύγει προς την ατμόσφαιρα)

ΔS : πόσο αυξήθηκε ή μειώθηκε το νερό στη λίμνη



Άσκηση 1

Βροχόπτωση έντασης 5 mm/h έπεσε σε λεκάνη απορροής έκτασης 4 km^2 για 6 ώρες. Στην έξοδο της λεκάνης μετρήθηκε απορροή κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ίση με $70\,000 \text{ m}^3$.

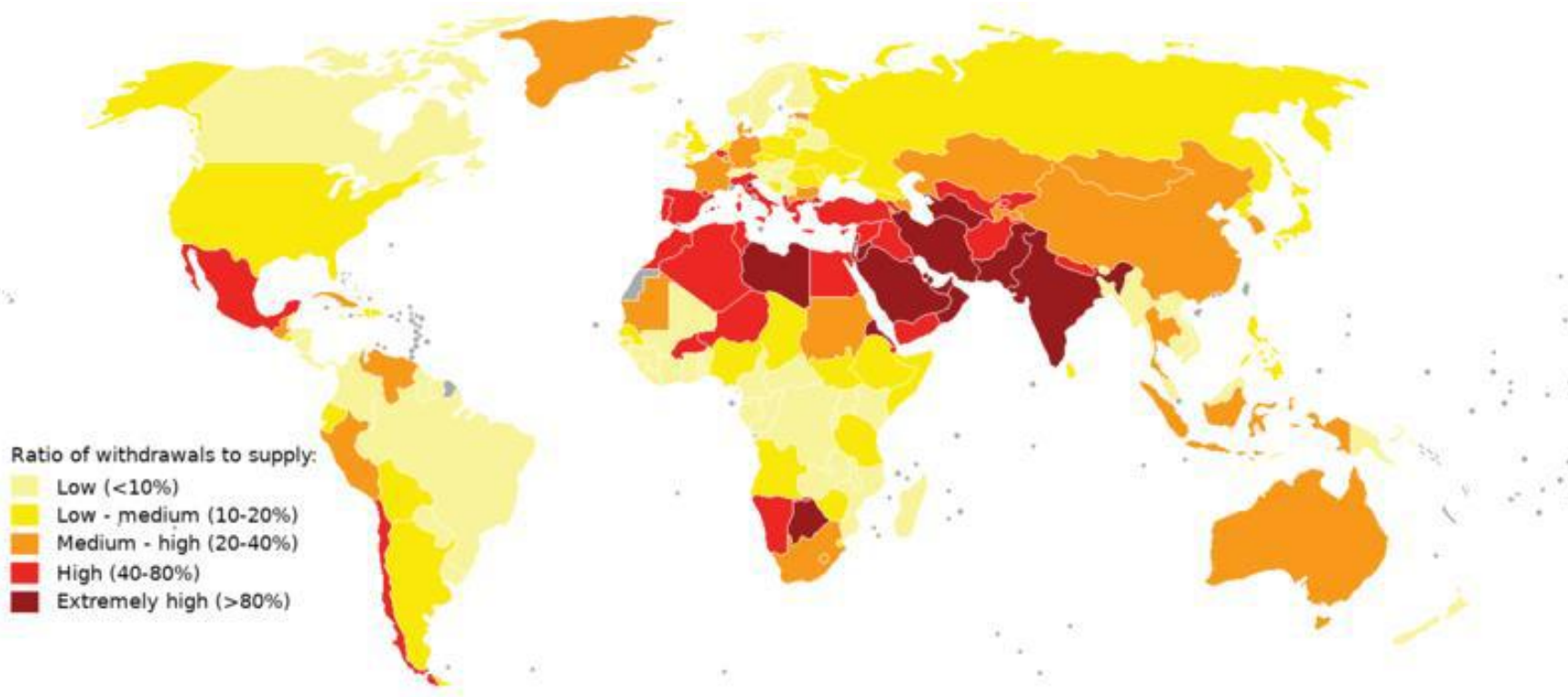
(α) Πόση από την ποσότητα της βωρης βροχόπτωσης μετατράπηκε σε υδρολογικές απώλειες; Να θεωρηθεί ότι η μεταβολή της επιφανειακής αποθήκευσης του νερού είναι αμελητέα.

(β) Ποιος ο ρυθμός απωλειών σε μονάδες ισοδύναμου ύψους νερού ανά επιφάνεια και ανά χρόνο;

Άσκηση 2

Λίμνη σταθερής επιφάνειας 1.11 km^2 έχει σε δεδομένο μήνα εισροή απορροής $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$, αντίστοιχη εκροή $0.36 \text{ m}^3/\text{s}$ και αύξηση του αποθέματος νερού στη λίμνη 19.800 m^3 . Ένας βροχογράφος που είναι εγκατεστημένος δίπλα στη λίμνη μέτρησε για τον εν λόγω μήνα συνολική βροχόπτωση 27 mm . Αν υποτεθεί ότι οι διαφυγές από τη λίμνη είναι ασήμαντες, να προσδιοριστεί η συνολική μηνιαία εξάτμιση της λίμνης.

Λειψυδρία



Έως το 2050, πάνω από το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού αναμένεται να ζει σε περιοχές που αντιμετωπίζουν υδατική έλλειψη τουλάχιστον έναν μήνα τον χρόνο.

Εκτιμάται ότι 4,8–5,7 δισεκατομμύρια άνθρωποι μπορεί να βιώνουν σοβαρή έλλειψη νερού περιοδικά μέσα στο έτος.

Χρήσεις Νερού

Γεωργική Χρήση (70%)

Περιλαμβάνει την κτηνοτροφία, τη γεωργία και την αλιεία, τομείς όπου η ποιότητα του νερού παίζει σημαντικό ρόλο.

Βιομηχανική Χρήση (23%)

Κάθε βιομηχανία η οποία χρησιμοποιεί νερό είτε σαν πρώτη ύλη στην παραγωγή (π.χ. φάρμακα, καλλυντικά, αναψυκτικά κλπ.) είτε σαν μέσο λειτουργίας βοηθητικού εξοπλισμού (θέρμανση, ψύξη κλπ.). Εδώ ανήκουν και οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί παραγωγής ρεύματος.

Οικιακή Χρήση (7%)

Περιλαμβάνει το πόσιμο νερό, το νερό ατομικού καθαρισμού και το νερό μαγειρέματος.

Δημόσια Χρήση: Περιλαμβάνει το νερό ποτίσματος των δημόσιων χώρων, την τοπική διανομή νερού για σκοπούς πυρόσβεσης κλπ.



Ρύπανση Υδατικών Πόρων



Ρύπανση Υδατικών Πόρων

1. Βιομηχανική δραστηριότητα:

Υγρά και στερεά χημικά απόβλητα.

- Ρύπανση με οργανικά (βιομηχανίες τροφίμων).
- Ρύπανση με θρεπτικά που οδηγεί σε ευτροφισμό (βιομηχανίες λιπασμάτων).
- Ρύπανση με βαρέα μέταλλα (χημικές βιομηχανίες)
- Θερμική ρύπανση από νερά ψύξης

2. Γεωργοκτηνοτροφική δραστηριότητα:

- Απόβλητα και λύματα γεωργικών μονάδων.
- Απορροή και έκπλυση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στο έδαφος.

3. Αστική και οικιακή δραστηριότητα:

- Υγρά και στερεά οικιακά λύματα.
- Διαφυγές χωματερών (στραγγίσματα).

Ρύπανση Επιφανειακών Υδάτων

Οι χημικές ενώσεις και ουσίες που ανιχνεύονται στα επιφανειακά νερά διακρίνονται ως:



Αιωρούμενα
υλικά



Διαλυμένες
ουσίες



Επιπλέουσες
(λίπη, αφροί)



Κύριες πηγές ρύπανσης θαλασσών

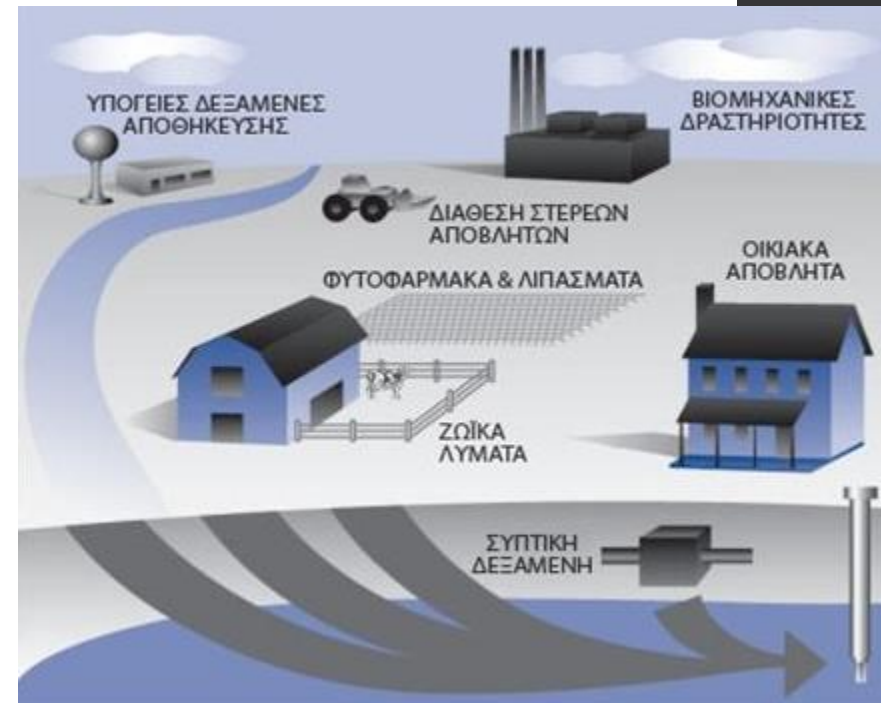
- Απόρριψη λυμάτων και αποβλήτων
- Διαρροές πετρελαίου

Ρύπανση Υπόγειων Υδάτων

- Υψηλής συγκέντρωση τοξικών ουσιών.
- Τα τοξικά οργανικά χημικά δεν διυλίζονται στη διάρκεια της κατείδουσής τους.
- Η απομάκρυνσή τους όταν καταλήξουν σε υπόγεια ύδατα καθίστανται δυσχερής ή αδύνατη.

Κύριες πηγές επικίνδυνων ουσιών

- Χώροι απόθεσης βιομηχανικών αποβλήτων
- Χωματερές και άλλες υπόγειες αποθηκεύσεις
- Αγροκτήματα
- Διάθεση αστικών λυμάτων



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)

Οργανοληπτικές Παράμετροι

Χρώμα

Τα νερά δεν θα πρέπει να είναι χρωματισμένα. Μερικές φορές παρατηρείται χρωματισμός κίτρινος ή υποπράσινος, και ακόμα πιο σπάνια σκοτεινός ή μαύρος

- **Φαινόμενο Χρώμα:** Οφείλεται τόσο στην απορρόφηση, όσο και στη διάθλαση φωτός.
- **Αληθινό Χρώμα:** Εξαρτάται από το είδος και την ποσότητα των διαλυμένων στο νερό ουσιών.

Η διαφορά ανάμεσα σε φαινόμενο και αληθινό χρώμα σχετίζεται άμεσα με τη θολερότητα του νερού.

Μονάδα μέτρησης: Χρωματικές μονάδες κλίμακας Κοβαλτίου-Λευκοχρύσου Pt/Co (mgPt-Co/ L). Δεκτό θεωρείται το όριο των **20** βαθμών.

Για να χαρακτηριστεί το νερό πόσιμο θα πρέπει να είναι τελείως διαυγές.

Οργανοληπτικές Παράμετροι

Θολότητα

Η οπτική ιδιότητα ενός υγρού δείγματος να προκαλεί διάχυση φωτός και απορρόφηση, χωρίς να επιτρέπει τη διέλευση του.

Η θολότητα είναι αρνητικό χαρακτηριστικό του νερού όχι μόνο για αισθητικούς λόγους, αλλά και για παράγοντες που σχετίζονται με την υγεία.

Τα **αιωρούμενα σωματίδια** που δημιουργούν τη θολότητα μπορούν να συμβάλουν στην ανάπτυξη και μεταφορά μικροοργανισμών.

Μονάδα Μέτρησης: Νεφελομετρικές Μονάδες Θολότητας, NTU
(Nephelometric Turbidity Unit) $1 \text{ NTU} = 1 \text{ mg SiO}_2 / \text{L}$

(Θολερότητα ενός διαλύματος που περιέχει $1 \text{ mg} / \text{L}$ διοξείδιο του πυριτίου)



Οργανοληπτικές Παράμετροι

Οσμή

Προβλήματα στην οσμή μπορεί να σχετίζονται με την πηγή προέλευσης του νερού, τη μέθοδο που ακολουθείται στην επεξεργασία του και με το δίκτυο διανομής του.

Μερικές βασικές αιτίες που προκαλούν οσμή:

- **Επιφανειακά νερά:** Αποικοδόμηση φυτικής ύλης και προϊόντα μεταβολισμού από:
 - Νηματοειδή βακτήρια
 - Ακτινομύκητες
 - Πράσινο-μπλε άλγη
- **Υπόγεια νερά:**
 - Βακτήριο *desulfonibrio desulfuricans*
 - Παραγωγή Υδρόθειου (> 0,1 mg/L αβγουλίλα!)

Μονάδα Μέτρησης:
Συγκέντρωση συστατικών που
προκαλούν οσμή (mg/L)



Οργανοληπτικές Παράμετροι

Γεύση

Προβλήματα στη γεύση μπορεί να σχετίζονται με την πηγή προέλευσης του νερού, τη μέθοδο που ακολουθείται στην επεξεργασία του και με το δίκτυο διανομής του.

Κύρια συστατικά που προκαλούν γεύση:

- Χλώριο προερχόμενο από χλωρίωση νερού δικτύου ύδρευσης. Η αντίδραση του με τα οργανικά συστατικά του νερού προκαλεί γεύση και οσμή. Όριο γεύσης: 0,2 mg /L (σε pH = 7), 0,5 mg /L (σε pH = 9
- Διαλυμένα Άλατα (TDS): Αποδεκτό Όριο < 1200 mg/L
- Μέταλλα : Fe, Cu, Zn

Μονάδα Μέτρησης:

Συγκέντρωση συστατικών που προκαλούν γεύση (mg/L)

Φυσικοχημικές Παράμετροι

Σκληρότητα

Η σκληρότητα εκφράζει την περιεκτικότητα του νερού σε πολυσθενή κατιόντα (κυρίως άλατα Ca^{2+} και Mg^{2+}). Παράμετρος που δείχνει την τάση για σχηματισμό ανθρακικών και άλλων επικαθίσεων.

Στις βιομηχανικές χρήσεις νερού η σκληρότητα παρακολουθείται συστηματικά ώστε να αποφευχθούν οι δαπανηρές βλάβες σε λέβητες, ψυκτικούς πύργους και άλλον εξοπλισμό.

- Οι επικαθίσεις αλάτων προκαλούν προβλήματα σε σωληνώσεις, οικιακές συσκευές, φθορές σε επιφάνειες.
- Αφήνουν λευκά αποθέματα πουριού στην επιφάνεια των οικιακών συσκευών, βραστήρες και θερμοσίφωνες.

Μονάδα Μέτρησης:
Συγκέντρωση συστατικών **ppm**
 CaCO_3

ppm	$\mu\text{S/cm}$	f (γαλλικοί βαθμοί)	Χαρακτηρισμός νερού
0-70	0-140	0-7	Πολύ μαλακό νερό
70-150	140-300	7-15	Μαλακό νερό
150-250	300-500	15-25	Κάπως σκληρό νερό
250-320	500-640	25-32	Αρκετά σκληρό νερό
320-420	640-840	32-42	Σκληρό νερό
>420	>840	>42	Πολύ σκληρό νερό

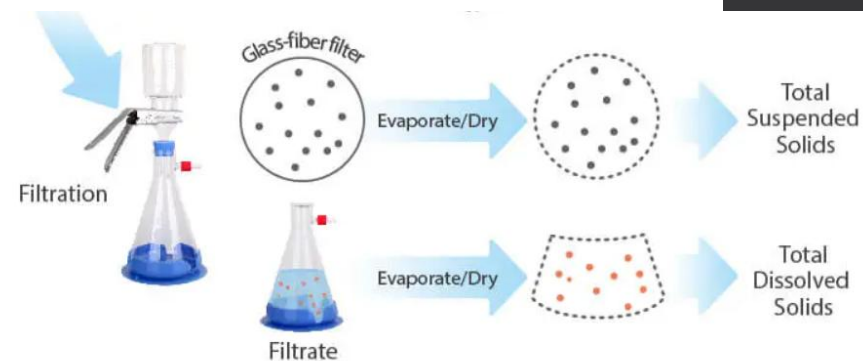
Φυσικοχημικές Παράμετροι

Ολικά Διαλυμένα Στερεά

Τα Ολικά Διαλυμένα Στερεά (Total dissolved solids, TDS) είναι μια μέτρηση όλων των ιόντων που υπάρχουν σε διάλυση.

Μέθοδος μέτρησης:

- i. Διήθηση των στερεών που πρέπει να είναι αρκετά μικρά για να περάσουν μέσα από φίλτρο.
- ii. Εξάτμιση του διηθήματος.
- iii. Ζύγιση του στερεού υπολείμματος.



Τα ολικά διαλυμένα στερεά κανονικά εξετάζονται μόνο για συστήματα γλυκού νερού, επειδή η αλατότητα περιλαμβάνει μερικά από τα ιόντα που αποτελούν τον ορισμό των TDS.

Μονάδα Μέτρησης: Συγκέντρωση συστατικών **mg/L**

Συνιστώμενη συγκέντρωση στο πόσιμο νερό: 500mg/L

Φυσικοχημικές Παράμετροι

Αγωγιμότητα

Η Ειδική Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (ΗΑ) δηλώνει την ευκολία διέλευσης των ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων από τη μάζα του νερού. Οφείλεται στην παρουσία ηλεκτρολυτών, δηλαδή ενώσεων που διαλυμένα στο νερό δίστανται αποδίδοντας θετικά φορτισμένα κατιόντα και αρνητικά φορτισμένα ανιόντα.

Η ΗΑ είναι ανάλογη της αλατότητας.

Εξαρτάται από:

- την παρουσία ιόντων κατ' επέκταση αλάτων
- τη συγκέντρωση των ιόντων
- την ευκινησία των ιόντων
- το σθένος των ιόντων
- τη θερμοκρασία του διαλύματος

Μονάδα Μέτρησης: **Siemens**
($\mu\text{S}/\text{cm}$)



Αγωγιμότητα νερών σε $\mu\text{S}/\text{cm}$

Αποσταγμένο νερό=	0,1 – 4
Νερό βροχής=	20 – 100
Επιφανειακό γλυκό νερό=	100 - 1000
Υπόγειο νερό=	200 – 1500
Θάλασσα=	40000-50000

Φυσικοχημικές Παράμετροι

Οξύτητα - Αλκαλικότητα

Η μέτρηση της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου σε ένα υδατικό διάλυμα. Στο καθαρό νερό γίνεται ιονισμός σε κατιόντα υδρογόνου (H^+) και ανιόντα υδροξυλίου (OH^-).

Με τον όρο οξύτητα (pH) ορίζεται «ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των κατιόντων υδρογόνου» ($pH = -\log[H^+]$).

Μονάδα Μέτρησης: **pH (0 -14)**



Καταλληλότερες τιμές
φυσικών νερών: $pH = 6.5-8$

Στο νερό, το pH εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- Η θερμοκρασία
- Η αλατότητα
- Η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα και οξυγόνου
- Η μεταβολική δραστηριότητα υδρόβιων οργανισμών και η αποσύνθεση οργανικών ουσιών

Φυσικοχημικές Παράμετροι

Σχέση Προσοφημένου Νατρίου (SAR)

Η σχέση προσοφημένου νατρίου είναι κριτήριο τοξικότητας του νατρίου στο νερό άρδευσης. Οι τιμές SAR είναι αντιστρόφως ανάλογες της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας.

Μονάδα Μέτρησης: **SAR (meq/L)**

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\left\{ \frac{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}{2} \right\}^{1/2}}$$

Κατηγορίες τιμών SAR για νερά ηλεκτρικής αγωγιμότητας 750 $\mu\text{S/cm}$

Κατηγορία	Τιμή SAR	Κίνδυνος
1	< 6	Μικρός
2	6 – 12	Μέσος
3	12 – 18	Μεγάλος
4	> 18	Πολύ μεγάλος

Φυσικοχημικές Παράμετροι

Διαλυμένο Οξυγόνο (DO)

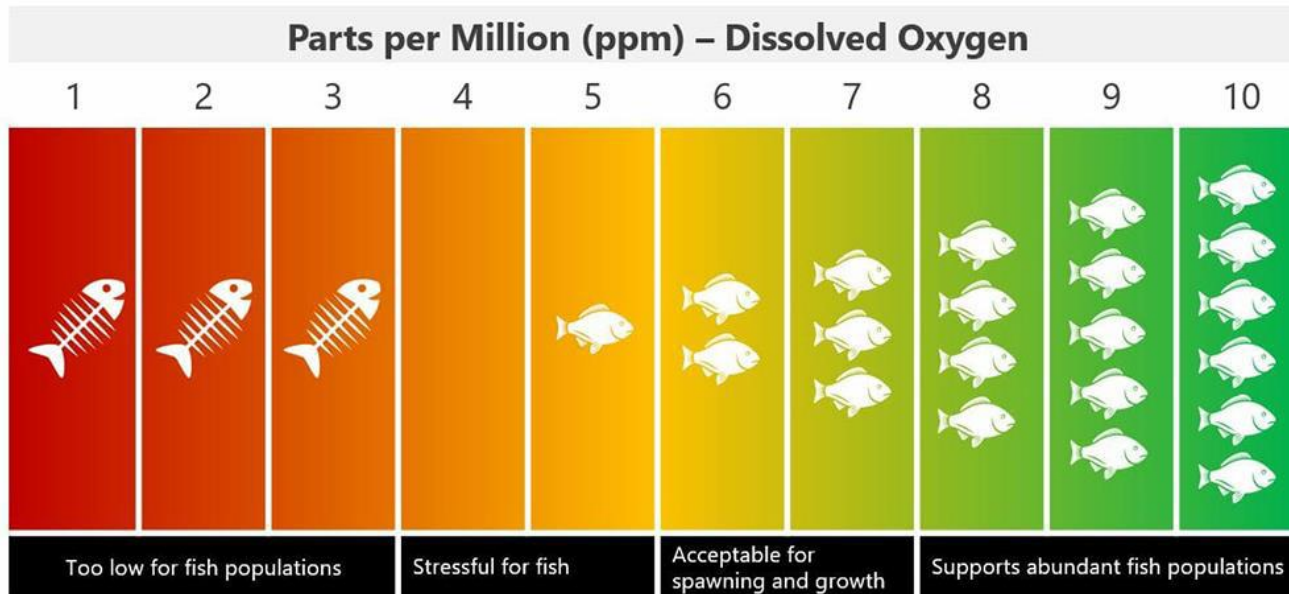
Η ποσότητα οξυγόνου που υπάρχει διαθέσιμο στο νερό, επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως η ηλιοφάνεια, η θερμοκρασία, το περιεχόμενο σε μικροοργανισμούς, η περιεκτικότητα σε ανόργανα άλατα και οργανικές ουσίες κ.ά.

Η τιμή που μετράται αφορά τον κορεσμό του νερού σε οξυγόνο και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέτρο για την κατάσταση των επιφανειακών υδάτων.

DO = 8-15 mg/L (εξάρτηση από θερμοκρασία, αλατότητα)

DO_{min} = 5 mg/L (επιβίωση ψαριών)

DO = 0 mg/L (οσμές, ύπαρξη βακτηρίων)



Φυσικοχημικές Παράμετροι

Τα νερά κατά τη διαδρομή τους μέσα στην ατμόσφαιρα και το έδαφος εμπλουτίζονται με διάφορα συστατικά τα οποία μεταβάλλουν διάφορα χαρακτηριστικά τους όπως:

- pH
- Συγκέντρωση οξυγόνου
- Σκληρότητα
- Ρυθμιστική ικανότητα (διατήρηση του pH σε σταθερές τιμές)
- Συγκέντρωση σιδήρου, μαγγανίου κλπ.

Χημική Ανάλυση Τύπων Νερού

Ζάκυνθος

- *Νάτριο (Na^+): 969 mg/L με ανώτατο νομοθετικό όριο το 200 mg/L*
- *Χλωριούχα (Cl^-): 1780 mg/L με ανώτατο νομοθετικό όριο 250 mg/L*
- *Αγωγιμότητα : 5510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ με ανώτατο νομοθετικό όριο 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$*

mg/L	Θαλασσινό	Βρόχινο	Πόσιμο
Na^+	10500	0,50	10-150
K^+	350	0,10	0-5
Ca^{+2}	400	0,70	20-150
Mg^{+2}	1350	0,15	5-50
HCO_3^-	150	5	150-450
Cl^-	19000	0,6	10-100
SO_4^{-2}	2700	1	5-100
NO_3^-	0,10	0,2	1-50
pH	7,1	5,5-6,5	7-8
Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	55×10^3	10-20	500-1500

Ανεπιθύμητες ουσίες, τοξικές, βιολογικές παράμετροι υδάτων

Ένας ρύπος χαρακτηρίζεται τοξικός όταν έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει σοβαρή βλάβη ή θάνατο σε ανθρώπους ή ζώα.

Στοιχεία που θεωρούνται πολύ επικίνδυνα για τη δημόσια υγεία αν βρεθούν σε μεγαλύτερες ποσότητες από τις αποδεχτές στο νερό:

- Μόλυβδος
- Αρσενικό
- Κάδμιο
- Χρώμιο
- Κυανιόντα
- Παρασιτοκτόνα
- Εντομοκτόνα
- Ζιζανιοκτόνα
- Διοξίνες
- Χλωριωμένοι Η/Σ
- Φαινόλες – Χλωροφαινόλες
- Πολυχλωριωμένα διφαινύλια(PCB)
- Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Η/Σ(PAH)

Βαρέα
Μέταλλα

Πηγές τοξικών οργανικών ενώσεων

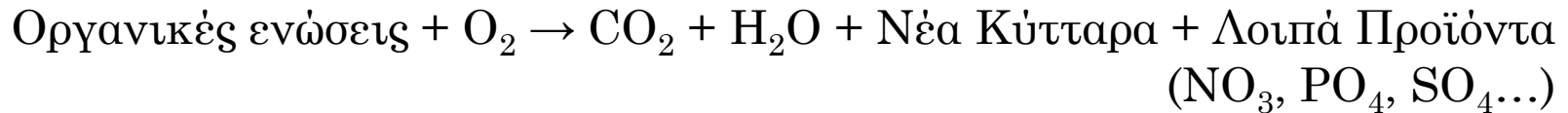
- Γεωργία
- Μεταφορές
- Βιομηχανία
- Παραγωγή Ενέργειας

Οργανικές
ενώσεις

Οργανικές Ενώσεις

Σε περιπτώσεις που εύκολα βιοδιασπώμενες οργανικές ενώσεις απελευθερώνονται σε ένα υδάτινο σώμα, οι μικροοργανισμοί που τρέφονται με αυτές τις ουσίες, τις διασπούν σε απλούστερες οργανικές και ανόργανες ενώσεις.

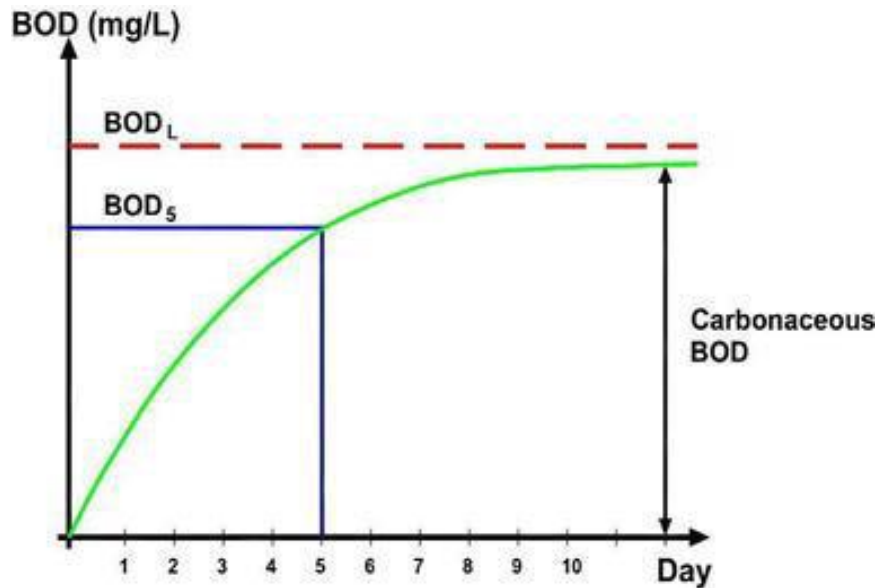
Όταν η αποδόμηση γίνεται υπό αερόβιες συνθήκες παράγονται προϊόντα όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), θειικά (SO_4), ορθοφωσφορικά (PO_4) και νιτρικά (NO_3) σύμφωνα με την αντίδραση:



Το ποσό του οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την αερόβια οξείδωση των οργανικών ενώσεων καλείται *βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο* (BOD) και εκφράζεται συνήθως ως mg O_2 που απαιτούνται ανά λίτρο αποβλήτων (mg/l).

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

Η πειραματική διαδικασία αυτή είναι σχετικά αργή και ολοκληρώνεται πρακτικά σε 20 ημέρες οπότε το προσδιοριζόμενο απαιτούμενο οξυγόνο καλείται τελικό BOD_L .



BOD_L : Η ποσότητα οξυγόνου που χρησιμοποιείται σε έναν καθορισμένο όγκο νερού για την πλήρη αποσύνθεση ή τη σταθεροποίηση όλων των βιοαποδομήσιμων οργανικών ουσιών

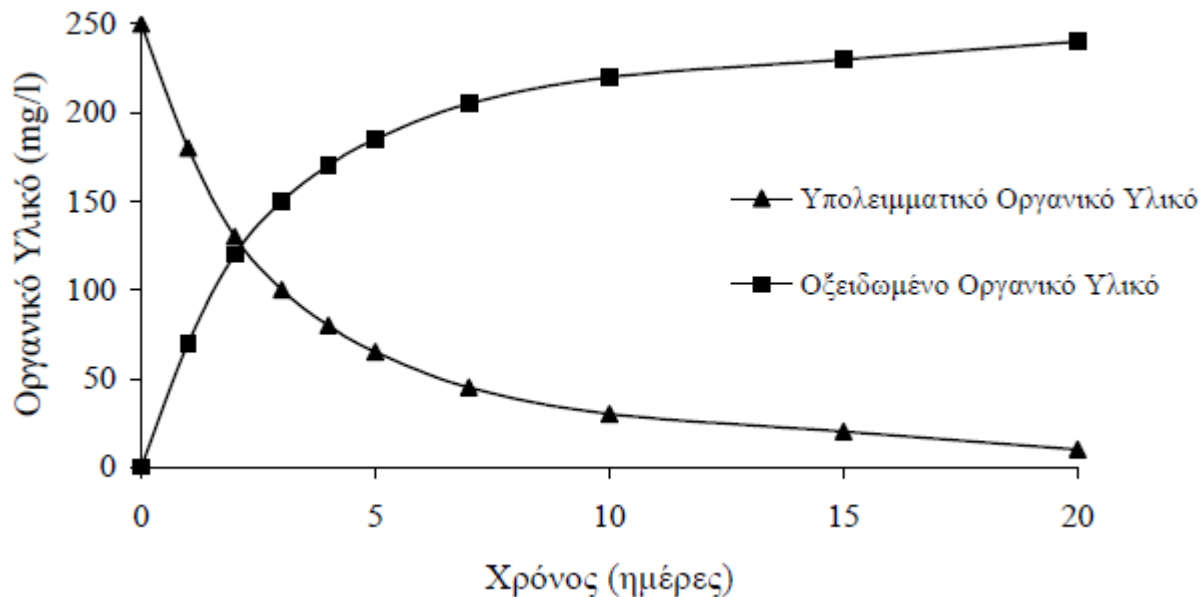
BOD_5 : ποσό O_2 που καταναλώνεται από μικροοργανισμούς τις πρώτες 5 ημέρες της βιοαποδόμησης

Μέθοδος Μέτρησης: Σε πωματισμένη σκουρόχρωμη φιάλη μέτρηση του DO στην αρχή ($t=0$ ημέρες) και τέλος του πειράματος ($t=5$ ημέρες) ($\theta = 20^\circ C$).

$$BOD_5 = DO_{(t=0)} - DO_{(t=5)}$$

Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (BOD)

- Καθώς τα βακτήρια οξειδώνουν τα απόβλητα, το ποσό του οργανικού υλικού που παραμένει στη φιάλη μειώνεται με το χρόνο.
- Παράλληλα το ποσό του οργανικού υλικού που οξειδώνεται αυξάνεται με το χρόνο.



Μεταβολή συγκέντρωσης οργανικού υλικού σε φιάλη BOD5.

Οργανικές Ενώσεις

Κινητική 1^{ης} τάξης

Θεωρούμε ότι ο ρυθμός αποδόμησης του οργανικού υλικού είναι ανάλογος με το ποσό του υπολειμματικού οργανικού υλικού που παραμένει στη φιάλη. Αν παραστήσουμε με L_t την υπολειμματική απαίτηση σε οξυγόνο μετά από χρόνο t , τότε θεωρώντας κινητική 1^{ης} τάξης προκύπτει ότι:

$$\frac{dL_t}{dt} = -kL_t$$

$$L_t = L_0 e^{-kt}$$

k = η σταθερά αντίδρασης BOD, υποδεικνύει την ταχύτητα βιοαποδόμησης των αποβλήτων (t^{-1})

L_0 = η ολική απαίτηση ανθρακογενούς οξυγόνου ή το ολικό ποσό οξυγόνου που απαιτείται από τους μικροοργανισμούς για την πλήρη οξείδωση του ανθρακογενούς κλάσματος των λυμάτων (mg/l)

L_t = η απαίτηση σε οξυγόνο για την οξείδωση του ανθρακογενούς οργανικού υλικού που παραμένει στη φιάλη μετά από χρόνο t (mg/l)

$$\text{BOD}_t = L_0 (1 - e^{-kt})$$

Άσκηση 3

Αστικά απόβλητα όγκου 5 ml προστίθενται σε φιάλη BOD και ο υπόλοιπος όγκος της συμπληρώνεται με νερό (τελικός όγκος φιάλης 300 ml). Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στη φιάλη κατά την 1^η ημέρα του τεστ ήταν 8,5 mg/l, ενώ την 5^η ημέρα είχε μειωθεί σε 2,5 mg/l. Να προσδιοριστεί η συγκέντρωση του BOD_5 στα απόβλητα. Αν η σταθερά ταχύτητας αντίδρασης k ισούται με $0,22 \text{ d}^{-1}$. Να υπολογιστεί η τιμή του ολικού ανθρακογενούς BOD, L_0 και να υπολογιστεί η υπολειμματική απαίτηση σε οξυγόνο, L_t μετά από τις 5 ημέρες.

Άσκηση 4

Τα εισερχόμενα λύματα μονάδας επεξεργασίας αστικών αποβλήτων έχουν BOD_5 ίσο με 200 mg/l , ενώ κατά την επεξεργασία τους επιτυγχάνεται μείωση του οργανικού φορτίου κατά 90% . Πρόκειται να πραγματοποιηθεί τεστ BOD_5 στα επεξεργασμένα λύματα. Θεωρώντας ότι η αρχική συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου είναι 9.2 mg/l , να υπολογιστεί: Α) ποιος ο μέγιστος όγκος των επεξεργασμένων λυμάτων που θα πρέπει να προστεθεί στη φιάλη BOD, ώστε η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στο τέλος του τεστ να μην είναι μικρότερη των 2 mg/l (όγκος φιάλης BOD, 300 ml). Β) Αν κατά την έναρξη του τεστ, ο μισός όγκος της φιάλης BOD πληρωθεί με επεξεργασμένα λύματα και ο υπόλοιπος με νερό, να υπολογιστεί η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου που αναμένεται μετά από 5 ημέρες.

Άσκηση 5

Μονάδα επεξεργασίας υγρών αστικών αποβλήτων απορρίπτει επεξεργασμένα λύματα συγκέντρωσης 50 mg/l ως BOD και παροχής $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ σε χειμάρρο. Η παροχή του χειμάρρου και η συγκέντρωση του BOD ανάντη του σημείου εκβολής είναι $8,7 \text{ m}^3/\text{s}$ και 6 mg/l , αντίστοιχα. Θεωρώντας ότι πραγματοποιείται πλήρης και άμεση μίξη νερού και λυμάτων (δεν υπάρχει μετατροπή του ρύπου) να υπολογιστεί η συγκέντρωση του BOD στο σημείο εκβολής. Αν η ταχύτητα του χειμάρρου είναι σταθερή και ίση με $0,3 \text{ m/s}$ να υπολογιστεί το υπολειμματικό BOD σε μία απόσταση 3000 m από το σημείο εκβολής των λυμάτων. Να θεωρηθεί ότι η σταθερά k , ισούται με $0,2 \text{ d}^{-1}$.

Άσκηση 6

Τεστ BOD_5 πραγματοποιείται σε φιάλη που πληρώνεται με τέσσερα (4) μέρη νερού και ένα (1) μέρος αποβλήτων. Η αρχική συγκέντρωση του DO στη φιάλη είναι 9.0 mg/l , ενώ μετά από πέντε ημέρες 1.0 mg/l . Ποια είναι η τιμή του BOD_5 ;

Άσκηση 7

Τα παρακάτω δεδομένα αποκτήθηκαν κατά την πραγματοποίηση τεστ BOD που πραγματοποιήθηκε για να εκτιμηθεί η απόδοση λειτουργίας μονάδας επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Τι ποσοστό του BOD απομακρύνεται από τη μονάδα επεξεργασίας των αποβλήτων; Αν η μονάδα έχει σχεδιαστεί να λειτουργεί με απόδοση 85%, να απαντηθεί κατά πόσον εκπληρώνεται το συγκεκριμένο κριτήριο σχεδιασμού.

	Αρχικό DO (mg/l)	Τελικό DO (mg/l)	Όγκος αποβλήτων (ml)	Όγκος νερού (ml)
Εισερχόμενα Δύματα	6.0	2.0	5	295
Επεξεργασμένα Δύματα	9.0	4.0	15	285