



Πανεπιστήμιο  
Αιγαίου

Ανοικτά  
Ακαδημαϊκά  
Μαθήματα



# ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ

ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΣΤΑΣΙΝΑΚΗΣ



# Άδειες Χρήσης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, διαγράμματα, κείμενα, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.



## ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 2

1. Ένας ποταμός με συγκέντρωση 400 ppm αλάτων (μη μετατρέψιμο χημικό είδος) και παροχή  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  δέχεται ρεύμα αποβλήτων παροχής  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  και συγκέντρωσης 2000 mg/l αλάτων. Μία πόλη που βρίσκεται κατάντη του σημείου απόρριψης των αποβλήτων, αντλεί νερό από τον ποταμό και το αναμιγνύει με ποσότητα νερού που προέρχεται από γεώτρηση και η οποία έχει μηδενική συγκέντρωση αλάτων. Ποιος θα πρέπει να είναι ο λόγος μίξης νερού από γεώτρηση προς νερό από ποταμό, ώστε η συγκέντρωση των αλάτων στο νερό που καταλήγει στα σπίτια να μην ξεπερνά τα 500 ppm.

2. Μία δεξαμενή σχεδιάζεται με στόχο να δέχεται  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  αποβλήτων που περιέχουν ρύπο συγκέντρωσης 30 mg/l. Ο ρύπος θεωρείται μετατρέψιμο χημικό είδος και η σταθερά αντίδρασης K ισούται με 0,2/ημέρα. Τα εξερχόμενα απόβλητα της δεξαμενής έχουν συγκέντρωση 10 mg/l. Αν θεωρηθεί ότι στη δεξαμενή πραγματοποιείται πλήρης μίξη, ποιος θα πρέπει να είναι ο όγκος της δεξαμενής;

3. Δεξαμενή όγκου  $1200 \text{ m}^3$  δέχεται συνεχώς απόβλητα με παροχή  $100 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$ . Στα απόβλητα υπάρχει ρύπος που θεωρείται μη μετατρέψιμο χημικό είδος και έχει συγκέντρωση 10 mg/l. Θεωρώντας ότι το σύστημα έχει φτάσει σε κατάσταση ισορροπίας και σε αυτό επικρατούν συνθήκες πλήρους μίξης να υπολογιστεί η συγκέντρωση του ρύπου στα εξερχόμενα απόβλητα. Αν η συγκέντρωση του ρύπου στα εισερχόμενα απόβλητα αυξηθεί στα 100 mg/l, ποια θα είναι η συγκέντρωσή του στην έξοδο της δεξαμενής 7 ημέρες αργότερα; Αν ο ρύπος θεωρηθεί μετατρέψιμο χημικό είδος με  $K=0,2/\text{ημέρα}$ , ποια θα είναι η συγκέντρωσή του στην έξοδο της δεξαμενής 7 ημέρες αργότερα;

4. Σε λέσχη σμηνιτών που έχει διαστάσεις  $4 \times 7 \times 2,5 \text{ m}$  βρίσκονται 8 καπνιστές που καπνίζουν 3 τσιγάρα ανά ώρα. Κάθε τσιγάρο εκπέμπει 1,4 mg φορμαλδεΐδης (HCHO). Η φορμαλδεΐδη μετατρέπεται σε  $\text{CO}_2$  με ταχύτητα αντίδρασης, K που ισούται με 0,4/ώρα. Φρέσκος αέρας εισέρχεται στη λέσχη με ρυθμό  $200 \text{ m}^3$  ανά ώρα και εξέρχεται με τον ίδιο ρυθμό. Υποθέτοντας καθεστώς πλήρους μίξης, να υπολογιστεί η συγκέντρωση της φορμαλδεΐδης στο χώρο σε σταθερές συνθήκες. Αν η συγκέντρωση ερεθισμού των ματιών είναι 0,05 ppm, να διερευνήσετε αν θα προκληθεί ερεθισμός των ματιών των σμηνιτών (θερμοκρασία  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  και πίεση 1 atm). Αν υποθεθεί ότι στις 20:00 που ανοίγει η λέσχη ο αέρας είναι τελείως καθαρός, ποια θα είναι η συγκέντρωση της φορμαλδεΐδης στο χώρο

στις 21:00, 22:00, 23:00 και 24:00; Να παρασταθεί γραφικά η μεταβολή της συγκέντρωσης της φορμαλδεΐδης με το χρόνο.

5. Υποθέστε ότι η μέση συγκέντρωση του  $\text{SO}_2$  στην ατμόσφαιρα μίας πόλης ανέρχεται σε  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  στους  $20^\circ\text{C}$  και πίεση  $1 \text{ atm}$ . Ξεπερνά αυτή η τιμή το όριο της νομοθεσίας των  $0.14 \text{ ppm}$ ? Δίνεται ότι το MB του  $\text{SO}_2$  ισούται με 64.

6. Χείμαρρος με παροχή  $5000 \text{ m}^3/\text{day}$  και συγκέντρωση οργανικής ένωσης ίση με  $5 \text{ mg}/\text{l}$  καταλήγει σε λίμνη με όγκο νερού ίσο με  $10^5 \text{ m}^3$ . Στη λίμνη καταλήγει επίσης αγωγός λυμάτων με παροχή  $1000 \text{ m}^3/\text{day}$  και συγκέντρωση οργανικής ένωσης ίση με  $200 \text{ mg}/\text{l}$ . Η συγκεκριμένη οργανική ένωση θεωρείται μετατρέψιμος ρύπος και ο συντελεστής μετατροπής της ισούται με  $0,1/\text{ημέρα}$ . Α) Θεωρώντας ότι στη λίμνη επικρατούν σταθερές συνθήκες και η μίξη νερού-αποβλήτων είναι πλήρης, να υπολογιστεί η συγκέντρωση της οργανικής ένωσης στη λίμνη και σε χείμαρρο που εξέρχεται από αυτή. Β) Αποφασίζεται να κατασκευαστεί φράγμα στις πηγές του χειμάρρου με σκοπό την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, η παροχή του χειμάρρου που φθάνει στη λίμνη μειώνεται κατά  $50\%$ , ενώ η συγκέντρωση της οργανικής ένωσης στο χείμαρρο παραμένει ίση με  $20 \text{ mg}/\text{l}$ . Να υπολογιστεί ποια θα είναι η συγκέντρωση της οργανικής ένωσης στη λίμνη, μία εβδομάδα μετά την έναρξη λειτουργίας του φράγματος.

7. Χείμαρρος με παροχή  $10 \text{ m}^3/\text{min}$  και συγκέντρωση οργανικής ένωσης ίση με  $2 \text{ mg}/\text{l}$  καταλήγει σε λίμνη με όγκο νερού ίσο με  $10^5 \text{ m}^3$ . Στη λίμνη καταλήγει επίσης αγωγός λυμάτων με παροχή  $1 \text{ m}^3/\text{min}$  και συγκέντρωση οργανικής ένωσης ίση με  $20 \text{ mg}/\text{l}$ . Η συγκεκριμένη οργανική ένωση θεωρείται μετατρέψιμος ρύπος και ο συντελεστής μετατροπής της ισούται με  $0,01/\text{min}$ . 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  $50 \text{ ng}/\text{l}$ . Β) 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  $10 \text{ mg}/\text{l}$ . Να υπολογιστεί αν στη λίμνη θα παρατηρείται υπέρβαση του ορίου της νομοθεσίας για τη συγκεκριμένη οργανική ουσία,  $1 \text{ ώρα}$  και  $24 \text{ ώρες}$  μετά την έναρξη λειτουργίας του δεύτερου αγωγού.

8. Με τι παροχή καθαρού νερού θα πρέπει να αραιωθούν λύματα παροχής  $1 \text{ m}^3/\text{min}$  που διοχετεύονται σε λίμνη όγκου  $10^3 \text{ m}^3$  ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση μη μετατρέψιμου

ρύπου κατά 50% (υποθέστε ότι επικρατούν συνθήκες πλήρους μίξης και το νερό που χρησιμοποιείται για την αραίωση περιέχει μηδενική συγκέντρωση του μη μετατρέψιμου ρύπου). Υπολογίστε την απαιτούμενη παροχή καθαρού νερού για την περίπτωση που ο ρύπος είναι μετατρέψιμος με  $k=0.0005/\text{min}$ .

### ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 3

1. Ένας ηλεκτρικός θερμοσίφωνας διατηρείται στους 140 °F, βρισκόμενος σε δωμάτιο με μέση θερμοκρασία 40 °F. Όταν αγοράστηκε η ολική θερμική του αντίστασή R ήταν ίση με 5 ft<sup>2</sup> °F ώρα/Btu. Μετά την προσθήκη μονωτικού υλικού συνολικού εμβαδού 25 ft<sup>2</sup>, η ολική θερμική του αντίστασή R αυξήθηκε σε 15 ft<sup>2</sup> °F ώρα/Btu. Υποθέτοντας μηδενικές απώλειες κατά τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε ζεστό νερό, να υπολογιστεί πόση ενέργεια (σε KWhr) θα εξοικονομείται κάθε χρόνο. Αν το ηλεκτρικό ρεύμα κοστίζει 0,08 Ευρώ ανά KWhr, πόσα χρήματα θα εξοικονομούνται ετησίως.
2. Μία λάμπα φθορισμού 15 W παράγει την ίδια ποσότητα φωτός με μία λάμπα πυρακτώσεως 60 W, ενώ χρησιμοποιεί μόνο το ¼ της ισχύος της. Αν αντικατασταθεί η λάμπα πυρακτώσεως με τη λάμπα φθορισμού, να υπολογιστεί η μείωση των εκπομπών C, SO<sub>2</sub> 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 SO<sub>2</sub> και 45 g τέφρας.
3. Το πετρέλαιο που τροφοδοτεί μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιέχει 20 Kg C ανά 10<sup>9</sup> J εισερχόμενης ενέργειας. Αν η απόδοση της μονάδας είναι 40%, να βρεθούν οι εκπομπές C ανά KWhr ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται, υποθέτοντας ότι το σύνολο του C εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με τη νέα νομοθεσία, οι εκπομπές SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> περιορίζονται στα 86 mg SO<sub>2</sub> και 130 mg NO<sub>x</sub> ανά MJ εισερχόμενης ενέργειας. Να εκτιμηθεί η μέγιστη επιτρεπόμενη εκπομπή SO<sub>2</sub> και NO<sub>x</sub> ανά KWh.
4. Τα αντικείμενα δεν εκπέμπουν μόνο ενέργεια μέσω ακτινοβολίας, αλλά και απορροφούν. Η καθαρή ποσότητα ενέργειας που εκπέμπει ένα αντικείμενο θερμοκρασίας T<sub>1</sub> σε περιβάλλον που έχει θερμοκρασία T<sub>2</sub> δίνεται από τον τύπο:  $E_{net} = \sigma A [(T_1)^4 - (T_2)^4]$
5. Υποθέστε ότι ένα ανθρώπινο σώμα έχει συνολική επιφάνεια 1,35 m<sup>2</sup>, μέση θερμοκρασία 36,6 °C και βρίσκεται σε δωμάτιο που έχει θερμοκρασία 15 °C. Θεωρώντας το ανθρώπινο σώμα ως μέλαν σώμα, να βρεθεί η καθαρή απώλεια θερμότητας από ακτινοβολία (σε Watt).
6. Σε έναν ηλιακό συλλέκτη με εμβαδόν επιφανείας 4×8 ft, ρέει νερό με παροχή 1 gal/min, ενώ προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία έντασης 300 Btu/ft<sup>2</sup> h. Το 50% της ηλιακής ακτινοβολίας δεσμεύεται στο συλλέκτη και θερμαίνει το νερό που ρέει μέσα σε αυτόν.

Ποια θα είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού που εξέρχεται από το συλλέκτη. Δίνεται ότι 1 gal νερού έχει μάζα ίση με 8,34 lb.

7. Ένας ατμοηλεκτρικός σταθμός χρησιμοποιεί 1000 Mg κάρβουνου την ημέρα. Το ενεργειακό περιεχόμενο του κάρβουνου είναι 28000 KJ/Kg. Αν ο σταθμός παράγει  $2.8 \cdot 10^6$  KWh ηλεκτρικής ενέργειας την ημέρα, ποια είναι η απόδοσή του?



## ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 4 & 5

1. Ο πληθυσμός της γης πριν από 10000 χρόνια ήταν 5.000.000 κάτοικοι. Αν το 1850 ο πληθυσμός είχε αυξηθεί σε 1.000.000.000 κατοίκους να υπολογιστεί ο εκθετικός ρυθμός αύξησης που συνέβαλε στη συγκεκριμένη αύξηση του πληθυσμού. Αν ο συγκεκριμένος ρυθμός αύξησης συνέχιζε να υφίσταται να υπολογιστεί ποιος θα ήταν ο πληθυσμός της γης το 2000.

2. Υποθέστε ότι η έκταση της γης που καλλιεργείται εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες.

$$Γη = (Γη/Τροφή) \times (Τροφή/Kcal) \times (Kcal/Άτομο) \times (Πληθυσμός)$$

Αν οι ετήσιοι ρυθμοί αύξησης για καθέναν από τους παραπάνω παράγοντες είναι: α) γη που απαιτείται ανά μονάδα παραγόμενης τροφής (-1%), β) ποσό της τροφής που παράγεται ανά θερμίδα τροφής που καταναλώνεται από τον άνθρωπο (+ 0,5%), γ) κατανάλωση θερμίδων ανά άτομο (+0,1%) και δ) μέγεθος του πληθυσμού (+1,5%). Αν ισχύουν οι παραπάνω ετήσιοι ρυθμοί αύξησης, πόσος χρόνος χρειάζεται για να διπλασιαστεί η έκταση της απαιτούμενης καλλιεργούμενης γης.

3. Υποθέστε ότι η καμπύλη Gauss χρησιμοποιείται για να περιγράψει την παραγωγή χρωμίου. Αν η μέγιστη παραγωγή που μπορεί να επιτευχθεί είναι εξαπλάσια του σημερινού ρυθμού των  $2 \times 10^6$  τόνων ανά έτος, πόσος χρόνος θα απαιτηθεί για να φθάσουμε τι μέγιστη παραγωγή, εφόσον η συνολική ποσότητα του χρωμίου που μπορεί να εξαχθεί είναι  $2 \times 10^9$  τόνοι. Πόσος χρόνος απαιτείται για να καταναλωθεί το 80% των συνολικών αποθεμάτων. Θεωρείστε ότι σύμφωνα με την καμπύλη Gauss το 80% της συνολικής παραγωγής θα έχει εξορυχθεί σε χρόνο  $\pm 1.3\sigma$  από τη χρονική στιγμή της μέγιστης παραγωγής ( $t_m$ ).

4. Το βισμούθιο-210 έχει χρόνο ημίσειας ζωής 4,85 ημέρες. Αν η αρχική του ποσότητα τώρα είναι 10 g, τι ποσότητα θα έχει παραμείνει σε 7 ημέρες;

5. Υποθέστε ότι ο ανθρώπινος πληθυσμός αυξάνεται από  $6.3 \times 10^9$  κατοίκους το 2000 σε έναν τελικό πληθυσμό των  $14.0 \times 10^9$  κατοίκων ακολουθώντας τη λογιστική καμπύλη. Θεωρώντας ότι ο ρυθμός αύξησης το 2000 ήταν 1.5%, τότε ο πληθυσμός θα φθάσει τα  $9 \times 10^9$  κατοίκους;

6. Υποθέστε ότι απόβλητα που ρίπτονται σε ένα χείμαρρο αποδομούνται με ρυθμό K ίσο με 0,2 / ημέρα. Ποιος θα είναι ο χρόνος ημίσειας ζωής των αποβλήτων; Τι μέρος των αποβλήτων θα παραμένει στο ποτάμι μετά από 5 ημέρες;

7. Οι εκπομπές C μπορούν να υπολογιστούν με τη βοήθεια της παρακάτω εξίσωσης:

$$\text{Εκπομπές C (Kg C/έτος)} = \text{Πληθυσμός} \times \frac{\text{Ενέργεια(KJ / έτος)}}{\text{Άτομο}} \times \frac{\text{C(KgC)}}{\text{Ενέργεια(KJ)}}$$

Χρησιμοποιώντας τις παρακάτω εκτιμήσεις για τις Η.Π.Α και θεωρώντας ότι οι ρυθμοί αύξησης παραμένουν σταθεροί, υπολογίστε α) το ρυθμό εκπομπής C το 2020 β) την ποσότητα C που θα εκλυθεί στο περιβάλλον μεταξύ 1990-2020, γ) την ολική απαίτηση σε ενέργεια το 2020 και το ρυθμό εκπομπής C ανά άτομο το 2020.

	Πληθυσμός	(KJ/έτος)/Άτομο	Kg C/KJ
<b>Ποσότητες το 1990</b>	$250 \times 10^6$	$320 \times 10^6$	$15 \times 10^{-6}$
<b>Ρυθμός αύξησης, r (%/έτος)</b>	0,6	0,5	-0,3

## ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 7

1. Τα εισερχόμενα λύματα μονάδας επεξεργασίας αστικών αποβλήτων έχουν BOD<sub>5</sub> ίσο με 200 mg/l, ενώ κατά την επεξεργασία τους επιτυγχάνεται μείωση του οργανικού φορτίου κατά 90%. Πρόκειται να πραγματοποιηθεί τεστ BOD<sub>5</sub> 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.

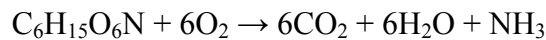
2. Τεστ BOD<sub>5</sub> πραγματοποιείται σε φιάλη που πληρώνεται με τέσσερα (4) μέρη νερού και ένα (1) μέρος αποβλήτων. Η αρχική συγκέντρωση του DO στη φιάλη είναι 9.0 mg/l, ενώ μετά από πέντε ημέρες 1.0 mg/l. Ποια είναι η τιμή του BOD<sub>5</sub>;

3. 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)
<b>Εισερχόμενα Λύματα</b>	6.0	2.0	5	295
<b>Επεξεργασμένα Λύματα</b>	9.0	4.0	15	285

4. Ένα τεστ BOD πραγματοποιείται με τη μίξη 100 ml επεξεργασμένων αποβλήτων και 200 ml νερού. Η αρχική συγκέντρωση DO στο μίγμα είναι 9.0 mg/l. Πέντε ημέρες μετά την έναρξη του τεστ, η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου είχε μειωθεί σε 4.0 mg/l. Ένα μεγάλο διάστημα μετά την έναρξη του τεστ, η συγκέντρωση του DO είχε πέσει στην τελική τιμή των 2.0 mg/l. Θεωρώντας ότι η νιτροποίηση είχε παρεμποδιστεί και ως εκ τούτου η μοναδική απαίτηση σε BOD ήταν η ανθρακογενής, να υπολογιστεί: Α) Η τιμή του BOD<sub>5</sub> στα απόβλητα, Β) Η ολική απαίτηση σε BOD, Γ) Ποια ήταν η τιμή του υπολειμματικού BOD πέντε ημέρες μετά την έναρξη του τεστ, Δ) Να εκτιμηθεί η ταχύτητα της αντίδρασης k (ημέρες<sup>-1</sup>).

5. Λίμνη περιέχει άλγη που αναπαρίστανται από την χημική ένωση C<sub>6</sub>H<sub>15</sub>O<sub>6</sub>N σε συγκέντρωση 10 mg/l. Χρησιμοποιώντας τις παρακάτω αντιδράσεις:



A) Να υπολογιστεί η θεωρητική ανθρακογενής απαίτηση σε οξυγόνο.

B) Να υπολογιστεί η θεωρητική ολική (ανθρακογενής και νιτρογενής) απαίτηση σε οξυγόνο.

6. Θεωρείστε λίμνη με εμβαδόν επιφανείας  $100 \times 10^6 \text{ m}^2$  για την οποία η μοναδική πηγή φωσφόρου είναι τα επεξεργασμένα λύματα μονάδας επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Η παροχή των συγκεκριμένων λυμάτων είναι  $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$  και η συγκέντρωση του φωσφόρου σε αυτά  $10 \text{ mg/l}$ . Στη λίμνη καταλήγει επίσης χείμαρρος με παροχή  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  και μηδενική συγκέντρωση φωσφόρου. Αν ο ρυθμός καθίζησης του φωσφόρου εκτιμάται σε  $10\text{m}/\text{έτος}$ , να υπολογιστεί η μέση συγκέντρωση του φωσφόρου στη λίμνη. Για να επιτευχθεί συγκέντρωση φωσφόρου στη λίμνη ίση με  $0.01 \text{ mg/l}$ , ποια ποσοστιαία απομάκρυνση φωσφόρου θα πρέπει να επιτυγχάνεται στη μονάδα επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων;

## ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 8

1. Μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων αποβάλλει  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  επεξεργασμένων αποβλήτων συγκέντρωσης BOD ίσης με  $40 \text{ mg/l}$ , 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  $3.0 \text{ mg/l}$ . 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  $55 \text{ m}^2$ , ποια συγκέντρωση BOD αναμένεται να ανιχνευτεί  $10 \text{ km}$  κατάντη του σημείου αποβολής των λυμάτων.

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

2. Τα αστικά λύματα των Τρικάλων με BOD ίσο με  $240 \text{ mg/l}$  οδηγούνται σε μονάδα επεξεργασίας αστικών αποβλήτων όπου απομακρύνεται κατά τη διεργασία το 50% του BOD. Τα επεξεργασμένα λύματα στην συνέχεια καταλήγουν στον ποταμό Πηνειό, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου σε αυτόν να μεταβάλλεται σύμφωνα με το παρακάτω γράφημα. Η ταχύτητα ροής του ποταμού είναι  $30 \text{ Km/day}$ .

A) Αν λόγω βλάβης διακοπή η λειτουργία της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων και τα λύματα καταλήγουν ανεπεξέργαστα στον ποταμό, να κατασκευαστεί το νέο γράφημα μεταβολής του οξυγόνου και να επισημανθεί η θέση του κρίσιμου σημείου.

B) Να κατασκευαστεί το γράφημα μεταβολής του οξυγόνου τέσσερις (4) μέρες μετά τη διακοπή λειτουργίας της μονάδας επεξεργασίας λυμάτων.

3. 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  $10 \text{ mg/l}$  και ισούται με τη συγκέντρωση κορεσμού, ενώ στο κρίσιμο σημείο η συγκέντρωση του DO είναι  $3 \text{ mg/l}$ . Δεδομένου ότι η ταχύτητα ροής του ποταμού είναι  $60 \text{ Km/day}$  και οι σταθερές  $k_r$  και  $k_d$   $0.8/\text{day}$  και  $0.2/\text{day}$ , αντίστοιχα.

- A) Σε τι ποσοστό θα πρέπει να μειωθεί η συγκέντρωση του BOD των αποβλήτων, ώστε η συγκέντρωση του DO σε κανένα σημείο του ποταμού να μην είναι χαμηλότερη των 5 mg/l.
- B) Σε ποια απόσταση από το σημείο εκβολής των λυμάτων αναμένεται η χαμηλότερη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου.
- Γ) 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.
- Δ) Να φτιαχτεί το γράφημα της μεταβολής του DO για τις περιπτώσεις διάθεσης ανεπεξέργαστων και επεξεργασμένων αποβλήτων.

4. Πόλη πληθυσμού 200.000 κατοίκων απορρίπτει 40000 m<sup>3</sup> λυμάτων ανά ημέρα συγκέντρωσης BOD 28 mg/l και DO 1.8 mg/l σε ποτάμι που έχει παροχή 300000 m<sup>3</sup> ανά ημέρα και ταχύτητα ροής ίση με 1.5 m<sup>3</sup>/s. Ανάντη του σημείου διάθεσης των λυμάτων η συγκέντρωση BOD του ποταμού είναι 3.6 mg/l, ενώ η συγκέντρωση του DO ίση με 7.6 mg/l. Η συγκέντρωση κορεσμού του DO ισούται με 8.5 mg/l. Η σταθερά αποξυγόνωσης,  $k_d$  είναι ίση με 0.61/day, ενώ ο συντελεστής επαναερισμού,  $k_r$  0.76/day. Υποθέτοντας πλήρη μίξη αποβλήτων και ποταμού να βρεθεί:

- A) Το αρχικό έλλειμμα σε οξυγόνο και η συγκέντρωση του BOD κατάντη του σημείου διάθεσης των λυμάτων.
- B) Ο απαιτούμενος χρόνος και η απόσταση για να επιτευχθεί η ελάχιστη συγκέντρωση DO.
- Γ) Η ελάχιστη συγκέντρωση του DO.
- Δ) Η συγκέντρωση του DO που αναμένεται 10 km κατάντη του σημείου διάθεσης των λυμάτων.

5. 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 m<sup>3</sup>/sec, DO = 4.75 mg/l και  $L_0 = 26.7$  mg/l. Υπολογίστε επίσης την κρίσιμη συγκέντρωση DO και το κρίσιμο σημείο. Δίνονται σταθερά επαναερισμού 0.0476 d<sup>-1</sup>, ταχύτητα ποταμού 0.03 m/s, θερμοκρασία 20 °C και σταθερά αποξυγόνωσης 0.03442 d<sup>-1</sup>.

6. Σε έναν χειμάρρο η σταθερά αποξυγόνωσης ισούται με 0.4 day<sup>-1</sup> και η ταχύτητα του με 0.85 m/s. Στο σημείο του χειμάρρου που εκβάλλει ο αγωγός λυμάτων, η συγκέντρωση του DO ισούται με 10 mg/l (αρχικό έλλειμμα οξυγόνου = 0). Η ολική απαίτηση σε οξυγόνο στο σημείο του ποταμού που εκβάλλει ο αγωγός ισούται με 20 mg/l και η σταθερά

αποξυγόνωσης με  $0.2 \text{ d}^{-1}$ . Ποια θα είναι η συγκέντρωση του DO 48.3 Km κατάντη του αγωγού εκβολής?

## ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 9 & 10

1. Μία ορθογωνική δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης σχεδιάζεται για να δέχεται απόβλητα με παροχή  $2000 \text{ m}^3$  ανά ημέρα. Το επιφανειακό της φορτίο ισούται με  $32 \text{ m}^3/\text{m}^2$ -ημέρα, το βάθος της και το πλάτος της 2,4 και 4 m, αντίστοιχα. Να υπολογιστεί το μήκος της δεξαμενής και ο υδραυλικός χρόνος παραμονής σε αυτή.

2. Σε μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων καταλήγουν λύματα με παροχή  $39000 \text{ m}^3/\text{d}$ . Το BOD στην είσοδο και την έξοδο της μονάδας ισούται αντίστοιχα με 210 και  $10 \text{ mg/l}$ . Ο χρόνος παραμονής των λυμάτων στη δεξαμενή αερισμού ισούται με 8 ώρες, ο λόγος παροχής ανακυκλοφορούσας ιλύς προς παροχή εισερχόμενων λυμάτων με 0,3 και το φορτίο ιλύος με 0,25. Θεωρώντας ότι πριν τη δεξαμενή αερισμού υπάρχει δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης, όπου απομακρύνεται το 30% του  $\text{BOD}_{\text{in}}$  να υπολογιστεί η απόδοση της δεξαμενής αερισμού ως προς BOD, ο όγκος της δεξαμενής αερισμού και η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στη δεξαμενή αερισμού.

3. Σε πόλη με πληθυσμό 50000 κατοίκους πρόκειται να κατασκευαστεί μονάδα επεξεργασίας υγρών αποβλήτων. Αν θεωρήσουμε ότι ο όγκος των παραγόμενων αποβλήτων ανά κάτοικο ισούται με  $200 \text{ l}/\text{ημέρα}$ , το BOD των αποβλήτων στο αποχετευτικό δίκτυο με  $350 \text{ mg/l}$  να υπολογιστούν ο όγκος και η επιφάνεια της ορθογωνικής ΔΠΚ, η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στη δεξαμενή αερισμού, ο όγκος της ΔΑ, η ηλικία ιλύος και το φορτίο ιλύος. Δίνονται επιφανειακό φορτίο ΔΠΚ,  $20 \text{ m}^3/\text{ημέρα}$  και  $\text{m}^2$ , υδραυλικός χρόνος παραμονής στη ΔΠΚ, 2 ώρες, απόδοση ΔΠΚ ως προς BOD, 40%, παροχή ανακυκλοφορούσας ιλύος,  $0,5 Q_{\text{in}}$ , παροχή αποβαλλόμενης ιλύος,  $0,05 Q_{\text{in}}$ , συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στην ανακυκλοφορούσα και αποβαλλόμενη ιλύ,  $7000 \text{ mg/l}$ , συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στα επεξεργασμένα απόβλητα,  $20 \text{ mg/l}$ , μηδενική συγκέντρωση αιωρούμενων στερεών στα εισερχόμενα απόβλητα και υδραυλικός χρόνος παραμονής στη ΔΑ, 10 ώρες.

4. Μία ΜΕΥΑ αποτελείται από δεξαμενή πρωτοβάθμιας καθίζησης και σύστημα ενεργού ιλύος. Η παροχή των εισερχόμενων λυμάτων ισούται με  $24000 \text{ m}^3/\text{day}$ , ενώ η συγκέντρωση του BOD και των SS σε αυτά ισούται με  $200 \text{ mg/l}$  και  $180 \text{ mg/l}$ , αντίστοιχα. Στην ΔΠΚ απομακρύνεται το 60% των αιωρούμενων στερεών και το 30% του BOD. Το σύστημα της ενεργού ιλύος απομακρύνει το 95% του BOD που δέχεται. Η συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στην έξοδο της μονάδας είναι  $20 \text{ mg/l}$ , ενώ ο συντελεστής



μετατροπής BOD σε αιωρούμενα στερεά ισούται με 0.5 Kg TSS/Kg BOD. Βρείτε την ποσότητα της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας λάσπης που παράγεται στη μονάδα/

5. Σε μία δεξαμενή καθίζησης η τιμή της υδραυλικής φόρτισης ισούται με  $24 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ day}$ . Αν το βάθος της δεξαμενής είναι 2 m, υπολογίστε τον υδραυλικό χρόνο παραμονής.

## ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 11 & 12

1. Θεωρείστε ότι για τη συλλογή των απορριμμάτων σε μία πόλη χρειάζονται 20 min για τη μετακίνηση του απορριμματοφόρου από το χώρο στάθμευσης στο χώρο συλλογής, 20 min για τη μετακίνηση του απορριμματοφόρου από το χώρο συλλογής στο χώρο διάθεσης, 15 min για το άδειασμα του απορριμματοφόρου στο χώρο διάθεσης, 15 min για τη μετακίνηση του απορριμματοφόρου από το χώρο διάθεσης στο χώρο στάθμευσης, 40 min ημερησίως για διάλειμμα των εργαζομένων στο απορριμματοφόρο, 0,5 min για μετακίνηση του απορριμματοφόρου από το έναν κάδο στον επόμενο και 1 min για το άδειασμα του κάδου στο απορριμματοφόρο. Θεωρείστε επίσης ότι ο όγκος του απορριμματοφόρου είναι  $25 \text{ m}^3$ , ο συντελεστής συμπίεσης των απορριμμάτων που επιτυγχάνεται ισούται με 4, ο όγκος των απορριμμάτων που αποτίθενται σε κάθε κάδο ισούται με  $0,2 \text{ m}^3/\text{δημότη}$ , ενώ κάθε κάδος εξυπηρετεί 4 δημότες. α) Να υπολογίσετε πόσες ώρες την ημέρα θα πρέπει να εργάζεται το προσωπικό του απορριμματοφόρου εάν θεωρήσουμε ότι το απορριμματοφόρο γεμίζει δύο (2) φορές κατά τη διάρκεια της ημέρας. β) Αν το απορριμματοφόρο χρησιμοποιείται πέντε ημέρες την εβδομάδα και τα απορρίμματα κάθε δημότη συλλέγονται μία φορά εβδομαδιαίως πόσοι δημότες εξυπηρετούνται από το απορριμματοφόρο.

2. Υποθέστε ότι κάθε δημότης παράγει  $0,25 \text{ m}^3$  απορριμμάτων εβδομαδιαίως. Το απορριμματοφόρο χρειάζεται 0,4 min για να συλλέξει τα απορρίμματα κάθε δημότη και ο συντελεστής συμπίεσης των απορριμμάτων που επιτυγχάνει ισούται με 4. Στη συγκεκριμένη πόλη είναι διαθέσιμα δύο απορριμματοφόρα που παρουσιάζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Διαδρομές ανά ημέρα στο χώρο διάθεσης	2	3
Όγκος απορριμματοφόρου ( $\text{m}^3$ )	27	15
Λειτουργικό κόστος απορριμματοφόρου (Ευρώ/έτος)	120.000	70.000
Συνολικός χρόνος που απαιτείται για κίνηση απορριμματοφόρου, άδειασμα, διάλειμμα εργαζομένων (min/ημέρα)	160	215

α) Αν θεωρήσουμε ότι το απορριματοφόρο κινείται 5 ημέρες την εβδομάδα και η συλλογή των απορριμμάτων κάθε δημότη γίνεται μία φορά την εβδομάδα, πόσους δημότες θα εξυπηρετεί το κάθε απορριματοφόρο.

β) Πόσες ώρες την ημέρα θα πρέπει να εργάζεται το προσωπικό ώστε να γεμίζουν τα απορριματοφόρα κάθε μέρα.

γ) Αν το κόστος του προσωπικού είναι 40 Ευρώ την ώρα, ποιο θα είναι το συνολικό κόστος κάθε συστήματος (λειτουργικό + κόστος προσωπικού). Να υπολογίσετε το ετήσιο κόστος ανά δημότη και να πείτε η χρήση ποιου από τα δύο απορριματοφόρα είναι η πλέον συμφέρουσα.

3. Υποθέστε ότι μία πόλη 50.000 κατοίκων παράγει 40.000 τόνους απορριμμάτων ανά έτος. Αν το ποσοστό ανακύκλωσης των απορριμμάτων είναι 22% και το υπόλοιπο καταλήγει σε Χ.Υ.Τ.Α. να υπολογίσετε την απαιτούμενη επιφάνεια του Χ.Υ.Τ.Α. ανά έτος. Θεωρείστε ότι η πυκνότητα των απορριμμάτων στο Χ.Υ.Τ.Α. ισούται με  $0,6 \text{ τόνους}/\text{m}^3$ , το ύψος κάθε κυψέλης με 3 m και ότι μόνο το 80% της κάθε κυψέλης αποτελείται από απορρίμματα.

4. Στην Ελλάδα παράγονται ετησίως  $3,5 \times 10^6$  τόνοι απορριμμάτων. Αν υποθέσουμε ότι το σύνολο των απορριμμάτων θα πρέπει να οδηγείται σε Χ.Υ.Τ.Α., τι έκταση θα απαιτείται ετησίως αν θεωρήσουμε ότι η πυκνότητα των απορριμμάτων στο Χ.Υ.Τ.Α. ισούται με  $600 \text{ Kg}/\text{m}^3$ , το ύψος κάθε κυψέλης με 3 m και το 20% της κάθε κυψέλης αποτελείται από χώμα. Διερευνήστε τις περιπτώσεις κατασκευής ενός και δύο ταμπανίων.