Λύσεις Ασκήσεων

Μηχανική Περιβάλλοντος

1. Εισαγωγή

Άσκηση 1

Πόσος χρόνος χρειάζεται για να ζεσταθεί το νερό ηλεκτρικού θερμοσίφωνα, όγκου 40 γαλονιών, από τους 10 ^{0}C στους 60 ^{0}C, αν η ισχύς της αντίστασης είναι 5 KW. Θεωρείστε ότι όλη η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική, ενώ η ενέργεια που προσδίδεται στο δοχείο και οι απώλειες θερμότητας είναι αμελητέες. Δίνεται ότι c=1 Kcal/Kg ^{0}C.

Λύση:

Σύμφωνα με τον Ά νόμο της θερμοδυναμικής ισχύει ότι:

$$\text{Εισερχόμενη E} = \text{Εξερχόμενη E} + \Delta E_{\varepsilon\sigma\omega\tau}$$

Ο υπολογισμός της Εισερχόμενη E γίνεται πολλαπλασιάζοντας την ισχύ του θερμοσίφωνα με το χρόνο που λειτουργίας του. Δηλαδή:

$$\text{Εισερχόμενη E} = \text{Ισχύς x t} = 5 \text{ KW} \times t = 5 \times 10^3 \text{ (J/s)} \times t$$

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν απώλειες ενέργειας από τη δεξαμενή, η εξερχόμενη ενέργεια είναι μηδενική. Η μεταβολή της αποθηκευμένης ενέργειας δίνεται από την εξίσωση:

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

Όπου:

$m = 40$ γαλόνια $\times$ 3,75 L/γαλόνι $\times 10^3$ g/L = 150 $\times 10^3$ g

$c = 1$ Kcal/Kg ^{0}C = 4,184 J/g ^{0}C

$\Delta T = 60 - 10 = 50\ ^0$C

Άρα με αντικατάσταση στην πρώτη εξίσωση προκύπτει:

$$5 \times 10^3 \text{ (J/s)} \times t = (150 \times 10^3 \text{ g}) \text{ x } (4{,}184 \text{ J/g } ^0\text{C}) \text{ x } (50\ ^0\text{C}) \Rightarrow$$

$$t = 6276 \text{ s x } (1 \text{ h}/ 3600 \text{ s}) = 1{,}74 \text{ h}$$

Άσκηση 2

Σε έναν ατμοηλεκτρικό σταθμό παραγωγής ενέργειας η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται αποτελεί το 1/3 της θερμικής ενέργειας του καυσίμου. Η ηλεκτρική ισχύς της μονάδας είναι 1000 MW. Το υπόλοιπο της ενέργειας χάνεται στο περιβάλλον ως θερμότητα. Το 15% της αποβαλλόμενης θερμότητας απομακρύνεται μέσω των απαερίων, ενώ το υπόλοιπο 85% μέσω των νερών ψύξης που λαμβάνονται από παρακείμενο ποτάμι. Το συγκεκριμένο ποτάμι έχει παροχή 100 m3/s και θερμοκρασία 20 0C. Αν η θερμοκρασία του νερού ψύξης επιτρέπεται να αυξηθεί μόνο κατά 10 0C, τι παροχή νερού απαιτείται από το ποτάμι; Ποια θα είναι η θερμοκρασία του ποταμού μετά την απόρριψη σε αυτό του νερού ψύξης;

Λύση:

Καθώς τα 1000 MW ισούται με το 1/3 της εισερχόμενης ενέργειας στο εργοστάσιο, τότε αυτή θα ισούται με:

Εισερχόμενη Ενέργεια = Εξερχόμενη Ενέργεια /0,333 => Εισερχόμενη Ενέργεια = 1000 MW / 0,333 = 3000 MW

Άρα οι Απώλειες = 3000 – 1000 = 2000 MW

Δεδομένου ότι το 15% της αποβαλλόμενης θερμότητας απομακρύνεται μέσω των απαερίων, η ενέργεια που χάνεται είναι 0,15 x 2000 MW = 300 MW
Και η ενέργεια που χάνεται στο νερό ψύξης είναι 0,85 x 2000 MW = 1700 MW.

A) Για να βρεθεί η παροχή του νερού ψύξης (V^o) που απαιτείται για να απομακρυνθεί ενέργεια ίση με 1700 MW χρησιμοποιούμε πρώτα την παρακάτω εξίσωση (1 MW = 10^6 J/s):

$$\text{Ρυθμός μεταφοράς της αποθηκευμένης ενέργειας} = m^o\, c\, \Delta T \Rightarrow$$
$$1700 \times 10^6 \text{ J/s} = m^o \times 4184 \text{ J/Kg } ^0\text{C} \times 10\ ^0\text{C} \Rightarrow$$
$$m^o = 40{,}63 \times 10^3 \text{ Kg/s}$$

Από το τύπο της πυκνότητας, και δεδομένου ότι η πυκνότητα του νερού είναι 1000 Kg/m^3, βρίσκω το V^o:

$$\rho = m^o / V^o \Rightarrow V^o = (40{,}63 \times 10^3 \text{ Kg/s}) / (1000 \text{ Kg/m}^3) = 40{,}63 \text{ m}^3/\text{s}$$

B) Για τον υπολογισμό της νέας θερμοκρασίας του ποταμού χρησιμοποιείται πάλι η ίδια εξίσωση χρησιμοποιώντας ως $m^o = (100 \text{ m}^3/\text{s}) \times (1000 \text{ Kg/ m}^3)$:

$$\text{Ρυθμός μεταφοράς της αποθηκευμένης ενέργειας} = m^o\, c\, \Delta T \Rightarrow$$

$$1700 \text{ MW} \times (10^6 \text{ J/sec / MW}) = 100 \text{ m}^3/\text{sec} \times 10^3 \text{ Kg/m}^3 \times 4184 \text{ J/Kg } ^0\text{C} \times \Delta T \Rightarrow$$

$$\Delta T = 4{,}1\ ^0\text{C}$$

Άρα η θερμοκρασία του ποταμού θα αυξηθεί κατά 4,1 ^{0}C, δηλαδή θα φθάσει τους 24,1 ^{0}C.

2. Μονάδες Μέτρησης και Ισοζύγια Μάζας

Άσκηση 1

Σε ένα χαλυβουργείο τα απόβλητα των δύο γραμμών παραγωγής απορρίπτονται σε μία δεξαμενή και από εκεί με συνεχή ροή οδηγούνται για επεξεργασία. Τα απόβλητα της γραμμής 1 έχουν παροχή 0,5 m^3/s και συγκέντρωση σε χρώμιο (Cr) ίση με 10 mg/l, ενώ τα απόβλητα της γραμμής 2 έχουν παροχή 1,5 m^3/s και συγκέντρωση σε χρώμιο (Cr) ίση με 2 mg/l. Να βρεθεί η συνολική παροχή και η συγκέντρωση Cr στα απόβλητα που εξέρχονται από τη δεξαμενή. Θεωρείστε ότι επικρατούν σταθερές συνθήκες και το χρώμιο αποτελεί μη μετατρέψιμο χημικό είδος.

Λύση:

Το σύστημα στο οποίο αναφερόμαστε είναι η δεξαμενή του χαλυβουργείου, ενώ η ουσία που μας ενδιαφέρει είναι το χρώμιο.

Δεδομένου ότι επικρατούν σταθερές συνθήκες (μηδενικές συσσωρεύσεις) και το χρώμιο αποτελεί μη μετατρέψιμο χημικό είδος (μηδενικές μετατροπές), ισχύει το ισοζύγιο:

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές}$$

$$(Q_1 \times C_1) + (Q_2 \times C_2) = Q \times C$$

Όπου,

Q_1, C_1 = παροχή και συγκέντρωση, αντίστοιχα, γραμμής 1

Q_2, C_2 = παροχή και συγκέντρωση, αντίστοιχα, γραμμής 2

Q, C = παροχή και συγκέντρωση χρωμίου στην έξοδο της δεξαμενής

Η παροχή στην έξοδο της δεξαμενής, Q ισούται με το άθροισμα των Q_1 και Q_2, δηλαδή με 2 m^3/s.
Άρα η συγκέντρωση στην έξοδο της δεξαμενής ισούται με:

$$(0{,}5\ m^3/s \times 10\ mg/\ L) + (1{,}5\ m^3/s \times 2\ mg/\ L) = (0{,}5 + 1{,}5)\ m^3/s \times C \Rightarrow$$

$$C = 4\ mg/L$$

Άσκηση 2

Χείμαρρος που ρέει με παροχή 0,5 m^3/s ενώνεται με ποταμό παροχής 10 m^3/s. Η συγκέντρωση των χλωριόντων ανάντη του σημείου τομής ποταμού – χειμάρρου είναι 20 mg/l, ενώ η συγκέντρωση των χλωριόντων στο χείμαρρο 40 mg/l. Θεωρώντας ότι επικρατούν σταθερές συνθήκες και ότι τα χλωριόντα αποτελούν μη μετατρέψιμο χημικό είδος, να υπολογιστεί η συγκέντρωση των χλωριόντων κατάντη του σημείου τομής.

Λύση:

Το σύστημα στο οποίο αναφερόμαστε αποτελείται από τον ποταμό και το χείμαρρο, ενώ η ουσία που μας ενδιαφέρει είναι τα χλωριόντα.

Δεδομένου ότι επικρατούν σταθερές συνθήκες (μηδενικές συσσωρεύσεις) και τα χλωριόντα αποτελούν μη μετατρέψιμο χημικό είδος (μηδενικές μετατροπές), ισχύει το ισοζύγιο μάζας:

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} \Rightarrow$$

$$(Q_\alpha \times C_\alpha) + (Q_\chi \times C_\chi) = Q \times C$$

Όπου,

Q_α, C_α = παροχή και συγκέντρωση ποταμού,

Q_χ, C_χ = παροχή και συγκέντρωση χειμάρρου,

Q, C = παροχή και συγκέντρωση κατάντη του σημείου τομής

Η παροχή κατάντη του σημείου τομής, Q ισούται με το άθροισμα των $Q_α$ και $Q_χ$. Άρα η συγκέντρωση κατάντη του σημείου τομής ισούται με:

$$(10\ m^3/s \times 20\ mg/L) + (0{,}5\ m^3/s \times 40\ mg/\ L) = (10 + 0{,}5)\ m^3/s \times C \Rightarrow$$
$$C = 20{,}95\ mg/L$$

Άσκηση 3

Ένας ποταμός με συγκέντρωση 400 ppm αλάτων (μη μετατρέψιμο χημικό είδος) και παροχή 25 m^3/s δέχεται ρεύμα αποβλήτων παροχής 5 m^3/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.

Λύση:

Δεδομένου ότι επικρατούν σταθερές συνθήκες (μηδενικές συσσωρεύσεις) και τα άλατα αποτελούν μη μετατρέψιμο χημικό είδος (μηδενικές μετατροπές), ισχύει το ισοζύγιο μάζας:

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} \Rightarrow$$
$$(Q_π \times C_π) + (Q_α \times C_α) = Q \times C \Rightarrow$$
$$(25\ m^3/s \times 400\ mg/L) + (5\ m^3/s \times 2000\ mg/\ L) = (25 + 5)\ m^3/s \times C \Rightarrow$$
$$C = 666.7\ mg/\ L$$

Θα πρέπει να βρω το λόγο παροχής από γεώτρηση, $Q_γ$ και παροχή από ποταμό, Q, έστω ότι C αλάτων στο νερό που καταλήγει στο σπίτι είναι 500 ppm = 500 mg/L.

Άρα υπολογίζω νέο ισοζύγιο που αφορά τη πόλη, όπου C αλάτων στη γεώτρηση είναι μηδέν:

$$(Q \times C) + (Q_γ \times C_γ) = Q_{πόλης} \times C_{πόλης} \Rightarrow$$
$$(Q\ m^3/s \times 666.7\ mg/L) + (Q_γ\ m^3/s \times 0\ mg/\ L) = (Q + Q_γ)\ m^3/s \times 500\ mg/L \Rightarrow$$
$$Q_γ/Q = (666.7 - 500)/500 = 1/3$$

Άρα ο λόγος μίξης θα πρέπει να είναι ένα μέρος από τη γεώτρηση και 3 μέρη νερό από το ποταμό.

Άσκηση 4

Υποθέστε ότι η μέση συγκέντρωση του SO_2 στην ατμόσφαιρα μίας πόλης ανέρχεται σε 500 μg/m^3 στους 20 ^{0}C και πίεση 1 atm. Ξεπερνά αυτή η τιμή το όριο της νομοθεσίας των 0.14 ppm; Δίνεται ότι το MB του SO_2 ισούται με 64.

Λύση:

Για να γίνει μετατροπή συγκέντρωσης από μg/m^3 σε ppm, χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$1\ ppm = \frac{M}{22.4}\frac{1\ atm\ \cdot 273\ K}{1\ atm\ \cdot (273+T)K}\frac{mg}{m^3} = \frac{64}{22.4}\frac{1\cdot 273}{1\cdot(273+20)}\frac{mg}{m^3} = 2.662\ \frac{mg}{m^3}$$

Εφόσον τα 500 μg/m^3 = 0,5 mg/m^3 τότε 0,5/2.662 ppm = 0.188 ppm > 0.14 ppm.

Άσκηση 5

Σε λίμνη με όγκο νερού 10×10^6 m^3 πέφτει ρυπασμένος χείμαρρος με παροχή 5 m^3/s και συγκέντρωση ρύπου ίση με 10 mg/l. Στη λίμνη καταλήγει επίσης αγωγός λυμάτων με παροχή 0,5 m^3/s και συγκέντρωση ρύπου ίση με 100 mg/l. Ο συντελεστής μετατροπής του ρύπου ισούται με 0,2 1/ημέρα. Θεωρώντας ότι στη λίμνη επικρατούν σταθερές συνθήκες, η μίξη νερού και αποβλήτων είναι πλήρης, ενώ δεν υπάρχουν απώλειες του ρύπου, να βρεθεί η συγκέντρωση του ρύπου στον χείμαρρο που εξέρχεται της λίμνης.

Λύση:

Δεδομένου ότι επικρατούν σταθερές συνθήκες (μηδενικές συσσωρεύσεις) και ο ρύπος αποτελεί μετατρέψιμο χημικό είδος ισχύει η εξίσωση:

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

$$\text{Εισροές} = (Q_\alpha \times C_\alpha) + (Q_\chi \times C_\chi) \Rightarrow$$

$$\text{Εισροές} = [(0{,}5 \text{ m}^3/\text{s} \times 100 \text{ mg/l}) + (5 \text{ m}^3/\text{s} \times 10 \text{ mg/l})] \times 1000 \text{ L/m}^3 = 10^5 \text{ mg/s}$$

$$\text{Εκροές} = (Q \times C) = (5{,}5 \text{ m}^3/\text{s} \times C \text{ mg/L}) \times 1000 \text{ l/m}^3 = 5{,}5 \times 10^3 \text{ C mg/s}$$

$$\text{Μετατροπές} = KCV = [(0{,}2/\text{ημέρα} \times C \text{ mg/L} \times 10 \times 10^6 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ L/m}^3)]/(24 \text{ ώρες / ημέρα} \times 3600 \text{ s/ώρα}) = 23{,}1 \times 10^3 \text{ C mg/s}$$

Αντικαθιστώντας στο ισοζύγιο μάζας:

10^5 mg/s = $5{,}5 \times 10^3$ C mg/s +$23{,}1 \times 10^3$ C mg/s => C = 3,5 mg/L

Άσκηση 6

Σε ένα bar με όγκο 500 m^3 βρίσκονται 50 καπνιστές που καπνίζουν 2 τσιγάρα ανά ώρα. Κάθε τσιγάρο εκπέμπει 1,4 mg φορμαλδεΰδης (HCHO). Η φορμαλδεΰδη μετατρέπεται σε CO_2 με ταχύτητα αντίδρασης, K που ισούται με 0,4/ώρα. Φρέσκος αέρας εισέρχεται στο bar με ρυθμό 1000 m^3 ανά ώρα και εξέρχεται με τον ίδιο ρυθμό. Υποθέτοντας καθεστώς πλήρους μίξης, να υπολογιστεί η συγκέντρωση της φορμαλδεΰδης στο χώρο σε σταθερές συνθήκες. Αν η συγκέντρωση ερεθισμού των ματιών είναι 0,05 ppm, να διερευνήσετε αν θα προκληθεί ερεθισμός των ματιών των πελατών (θερμοκρασία 25 ^{0}C και πίεση 1 atm).

Λύση:

Δεδομένου ότι επικρατούν σταθερές συνθήκες (μηδενικές συσσωρεύσεις) και ο ρύπος αποτελεί μετατρέψιμο χημικό είδος ισχύει η εξίσωση:

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

Εσωτερικές πηγές ρύπανσης = 50 καπνιστές × 2 τσιγάρα / καπνιστή × 1,4 mg HCHO /τσιγάρο = 140 mg / ώρα

Εισροές = (Q × Cin) + Εσωτερικές πηγές ρύπανσης = 1000 m^3/ώρα × 0 mg/m^3 + 140 mg/ώρα = 140 mg / ώρα

Εκροές = Q × C = 1000 m^3/ώρα × C mg/m^3 = 1000 C mg/ώρα

Μετατροπές = KCV = 0,4 / ώρα × C mg/m^3 × 500 m^3 = 200 C mg/ώρα

Αντικαθιστώντας στο ισοζύγιο μάζας:

140 mg / ώρα = 1000 C mg/ώρα + 200 C mg/ώρα => C =0,117 mg/m^3

Για τη μετατροπή της συγκέντρωσης σε ppm, δεδομένου ότι το ΜΒ της φορμαλδεΰδης είναι 30 τότε προκύπτει: HCHO = 0,095 ppm

Η συγκεκριμένη συγκέντρωση είναι σχεδόν διπλάσια της συγκέντρωσης που προκαλεί ερεθισμό στα μάτια.

Άσκηση 7

Μία δεξαμενή σχεδιάζεται με στόχο να δέχεται 0,1 m^3/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;

Λύση:

Δεδομένου ότι επικρατούν σταθερές συνθήκες (μηδενικές συσσωρεύσεις) και ο ρύπος αποτελεί μετατρέψιμο χημικό είδος ισχύει η εξίσωση:

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές} + KCV \Rightarrow$$

$$(Q_0 \times C_0) = (Q \times C) + KCV \xRightarrow{Q_0=Q}$$

$$(Q_0 \times C_0) - (Q_0 \times C) = KCV \Rightarrow$$

$$(0.1\ m^3/s \times 30\ mg/l) - (0.1\ m^3/s \times 10\ mg/l) = 0.2/\text{ημέρα} \times (1/24) \times (1/3600\ s) \times 10\ mg/l \times V \Rightarrow$$

$$V = 86580\ m^3$$

Άσκηση 8

Στο bar της Άσκησης 6 που έχει όγκο 500 m^3 εισέρχεται φρέσκος αέρας με ρυθμό 1000 m^3 ανά ώρα. Υποθέστε ότι στις 22:00 που ανοίγει το bar ο αέρας είναι καθαρός. Αν η φορμαλδεΰδη εκπέμπεται από τον καπνό του τσιγάρου με ρυθμό 140 mg/ώρα, ποια θα είναι η συγκέντρωση της φορμαλδεΰδης στο χώρο στις 23:00. Υποθέστε ότι επικρατούν συνθήκες πλήρους μίξης και η φορμαλδεΰδη μετατρέπεται σε CO_2 με ταχύτητα αντίδρασης, K που ισούται με 0,4/ώρα.

Λύση:

Το σύστημα που μελετούμε δεν βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση, αλλά η συγκέντρωση του αυξάνεται με το χρόνο. Επιπλέον, ο ρύπος αποτελεί μετατρέψιμο χημικό είδος, οπότε ισχύει η εξίσωση:

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

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης C_∞ όταν επικρατήσουν σταθερές συνθήκες χρησιμοποιούμε τη συγκέντρωση από την άσκηση 6, όπου C =0,117 mg/m^3

Στη συνέχεια, με την αρχική εξίσωση υπολογίζουμε τη συγκέντρωση C_t μία ώρα μετά το άνοιγμα του bar:

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

$C_t = 0,117\ mg/m^3 + (0 - 0,117\ mg/m^3)\, e^{-(0,4/\text{ώρα} + 1000\ m3/\text{ώρα} / 500\ m3)\ 1\ \text{ώρα}} \Rightarrow C_{1\text{ώρα}} = 0,1064\ mg/m^3$

Άσκηση 9

Θεωρείστε τη λίμνη της Άσκησης 5 ($V=10 \times 10^6$ m^3), στην οποία βρέθηκε ότι η συγκέντρωση του ρύπου σε σταθερές συνθήκες ισούται με 3,5 mg/l. Ο ρύπος θεωρείται μετατρέψιμος με K=0,2/ημέρα. Επειδή η συγκεκριμένη συγκέντρωση του ρύπου θεωρείται πολύ υψηλή αποφασίζεται να διακοπεί η απόρριψη λυμάτων σε αυτόν. Ως αποτέλεσμα στη λίμνη πλέον καταλήγει μόνο ο χείμαρρος που έχει παροχή ίση με 5 m^3/s και συγκέντρωση του ρύπου ίση με 10 mg/l. Θεωρώντας συνθήκες πλήρους μίξης να βρεθεί η συγκέντρωση του ρύπου στη λίμνη μία εβδομάδα μετά τη διακοπή απόρριψης των λυμάτων.

Λύση:

Το σύστημα που μελετούμε δεν βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση, αλλά η συγκέντρωση του μειώνεται με το χρόνο. Επιπλέον, ο ρύπος αποτελεί μετατρέψιμο χημικό είδος, οπότε ισχύει η εξίσωση:

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

Για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης C_∞ όταν επικρατήσουν σταθερές συνθήκες χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$C_\infty = \frac{Q \times C_{in}}{Q + KV}$$

Όπου:

$Q = 5$ $m^3/s \times 3600$ s/ώρα $\times$ 24 ώρες / ημέρα $= 43{,}2 \times 10^4$ m^3/ημέρα

Άρα, $C_\infty = (43{,}2 \times 10^4$ m^3/ημέρα $\times 10$ mg/L)/($43{,}2 \times 10^4$ m^3/ημέρα+0,2/ημέρα$\times 10{,}0 \times 10^6$ m^3) =>

$C\infty = 1{,}776$ mg/L

Μετά από 7 ημέρες:

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

$C_7 = 1{,}8$ mg/L + (3,5 mg/L - 1,8 mg/L) $e^{-(0,2/\text{ημέρα}+43,2 \times 104\ m3/\text{ημέρα}\ /10,0 \times 10\ 6\ m3)\ 7\ \text{ημέρες}}$ => $C_7 = 2{,}09$ mg/L

Άσκηση 10

Δεξαμενή όγκου 1200 m^3 δέχεται συνεχώς απόβλητα με παροχή 100 m^3/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/ημέρα, ποια θα είναι η συγκέντρωσή του στην έξοδο της δεξαμενής 7 ημέρες αργότερα;

Λύση:

- Δεδομένου ότι επικρατούν σταθερές συνθήκες (μηδενικές συσσωρεύσεις) και ο ρύπος δεν αποτελεί μετατρέψιμο χημικό είδος ισχύει η εξίσωση:

Εισροές = Εκροές =>

$$(Q_0 \times C_0) = (Q \times C) \xRightarrow{Q_0 = Q} C = C_0 = 10 \text{ mg/L}$$

- Αν C_0=100 mg/L και θέλω να βρω μεταβολή στο χρόνο τότε το ισοζύγιο μάζας γίνεται:

Εισροές = Εκροές + Συσσώρευση =>

$$(Q_0 \times C_0) = (Q \times C) + V\, dC/dt \xRightarrow{Q_0=Q}$$
$$dC/dt = (Q/V) \times (C_0\text{-}C) \Rightarrow$$
$$C(t) = C_0 + (C(0) - C_0)\, e^{-Qt/V} \Rightarrow$$
$$C(7) = 100 \text{ mg/L} + (10 \text{ mg/L} - 100 \text{ mg/L})\, e^{-(100 \text{ m3/d} \times 7 \text{ d})/1200 \text{ m3}} \Rightarrow C(7) = 49.78 \text{ mg/L}$$

- Αν ο ρύπος είναι μετατρέψιμος, τότε το ισοζύγιο γίνεται:

Εισροές = Εκροές + Συσσώρευση + Μετατροπή

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

Όπου $C_0 = [(100 \text{ m}^3/\text{d}) \times (10 \text{ mg/L})] / (100 \text{ m}^3/\text{d} + 0.2 \text{ 1/d} \times 1200 \text{ m}^3) = 2.94 \text{ mg/L}$

Και $C_\infty = [(100 \text{ m}^3/\text{d}) \times (100 \text{ mg/L})] / (100 \text{ m}^3/\text{d} + 0.2 \text{ 1/d} \times 1200 \text{ m}^3) = 29.41 \text{ mg/L}$

Άρα στις 7 ημέρες η συγκέντρωση θα είναι:

$C(7) = 29.41 \text{ mg/L} + (2.94 \text{ mg/L} - 29.41 \text{ mg/L})\, e^{-[0.2 \text{ 1/d} + (100 \text{ m3/d})/(1200 \text{ m3})] \times 7 \text{ d}} = 25.77 \text{ mg/L}$

3. Ισοζύγια Ενέργειας

Άσκηση 1

Ατμοηλεκτρικός σταθμός παραγωγής ενέργειας καίει κάρβουνο που έχει ενεργειακό περιεχόμενο 24 KJ/g και μέσω περιεχόμενο σε άνθρακα 62%. Το συγκεκριμένο καύσιμο περιέχει επίσης 2% S και 10% τέφρα. Η νομοθεσία που ισχύει για τις εκπομπές αερίων ρύπων επιτρέπει την εκπομπή 260 g SO_2 (130 g S) και 13 g αιωρούμενων σωματιδίων ανά 10^6 KJ θερμικής ενέργειας που εισέρχονται στον ατμοηλεκτρικό σταθμό. Υποθέστε ότι για την παραγωγή μίας μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται τρεις μονάδες θερμικής ενέργειας. Επίσης, το 70% της τέφρας απελευθερώνεται ως ιπτάμενη τέφρα, ενώ το 30% κατακρημνίζεται και καταλήγει στο έδαφος. Α) Να βρεθούν οι επιτρεπόμενες εκπομπές SO_2 και αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα ανά κιλοβατώρα ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται. Β) Να υπολογιστούν οι εκπομπές C στην ατμόσφαιρα αν υποτεθεί ότι όλος ο C απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Γ) Να υπολογιστούν οι εκπομπές σε SO_2. Δ) Να υπολογιστούν οι εκπομπές τέφρας. Το 70 % της τέφρας απελευθερώνεται ως ιπτάμενη τέφρα, ενώ το 30 % κατακρημνίζεται και καταλήγει στο έδαφος. Ε) Να παρασταθεί γραφικά το ισοζύγιο μάζας και ενέργειας στο συγκεκριμένο ατμοηλεκτρικό σταθμό για την παραγωγή 1 KWhr ηλεκτρικής ενέργειας. Θεωρείστε ότι το 85% της αποβαλλόμενης θερμότητας απομακρύνεται με το νερό ψύξης, ενώ το υπόλοιπο 15% με τα απαέρια.

Λύση:

Α) Καθώς οι 3 μονάδες θερμικής ενέργειας παράγουν μία μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας ισχύει ότι για την παραγωγή 1 KWhr ηλεκτρικής ενέργειας απαιτούνται 3 KWhr θερμότητας. Όπου:

$$3 \text{ KW ανά ώρα} \times 1 \text{ (KJ/s)/KW} \times 3600 \text{ s/ώρα} = 10800 \text{ KJ}$$

Σύμφωνα με τη νομοθεσία οι εκπομπές του SO^2 θα πρέπει να είναι 260 g SO_2 ανά 10^6 KJ θερμικής ενέργειας, άρα στα 10800 KJ που απαιτούνται για την παραγωγή 1 KWhr ηλεκτρικής ενέργειας, θα πρέπει να εκπέμπονται:

$$(260 \text{ g } SO_2 / 10^6 \text{ KJ}) \times (10800 \text{ KJ/KWhr}) = 2{,}8 \text{ g } SO_2 / \text{KWhr}$$

Ομοίως για τα αιωρούμενα σωματίδια:

$$(13 \text{ g αιωρ. σωματιδίων} / 10^6 \text{ KJ}) \times (10800 \text{ KJ/KWhr}) = 0{,}14 \text{ g αιωρ. σωματιδίων / KWhr}$$

Β) Δεδομένου ότι το ενεργειακό περιεχόμενο του καυσίμου είναι 24KJ/g, τότε για την παραγωγή 1 KWhr ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνονται 10800 KJ / 24 KJ/g = 450 g καυσίμου. Εφόσον το καύσιμο περιέχει κατά 62% C, τότε:

$$\text{Εκπομπές C} = 0{,}62 \text{ g C / g καυσίμου} \times 450 \text{ g καυσίμου/KWhr} = 280 \text{ g C/KWhr}$$

Γ) Εφόσον το καύσιμο περιέχει 2% S, τότε για την παραγωγή 1 KWhr ηλεκτρικής ενέργειας απελευθερώνονται:

$$\text{Εκπομπές S} = 0{,}02 \text{ g S / g καυσίμου} \times 450 \text{ g καυσίμου/KWhr} = 9 \text{ g S ή } 18 \text{ g } SO_2\text{/KWhr}$$

Δ) Εφόσον το καύσιμο περιέχει 10 % τέφρα, τότε για την παραγωγή 1 KWhr ηλεκτρικής ενέργειας απελευθερώνονται:

$$\text{Εκπομπές τέφρας} = 0{,}1 \text{ g τέφρας / g καυσίμου} \times 450 \text{ g καυσίμου/KWhr} = 45 \text{ g τέφρας/KWhr}$$

Από τη συγκεκριμένη ποσότητα τέφρας το 70% απελευθερώνεται ως ιπτάμενη τέφρα στην ατμόσφαιρα, δηλαδή ποσότητα ίση με:

$$0{,}7 \times 45 \text{ g τέφρας/KWhr} = 31{,}5 \text{ g τέφρας/KWhr}$$

Ε) Συνολική θερμική που εισέρχεται = 10800 kJ

Απόδοση μετατροπής σε ηλεκτρική είναι 1/3

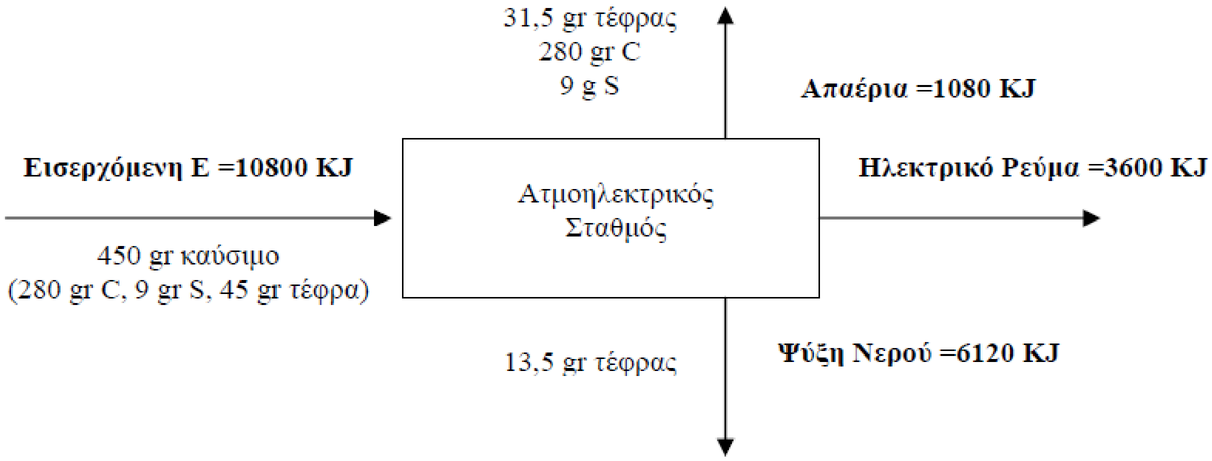
Άρα $E_{ηλεκτρικής}$ = 10800 / 3 = 3600 kJ

Από ισοζύγιο: $E_{αποβαλλόμενης}$ = 10800 – 3600 = 7200 kJ

85 % x $E_{αποβαλλόμενης}$ = 6120 kJ

15 % x $E_{αποβαλλόμενης}$ = 1080 kJ

Γραφικά φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Άσκηση 2

Το πετρέλαιο που τροφοδοτεί μία μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας περιέχει 20 Kg C ανά 10^9 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_2 και NO_x περιορίζονται στα 86 mg SO_2 και 130 mg NO_x ανά MJ εισερχόμενης ενέργειας. Να εκτιμηθεί η μέγιστη επιτρεπόμενη εκπομπή SO_2 και NO_x ανά KWh.

Λύση:

Γνωρίζουμε πως, 1 kWh = 1 kJ/s x 3600 s = 3600 kJ = 3.6 x 10^6 J

Αν η απόδοση της μονάδας είναι 40 %, τότε $E_{ηλεκτρικής}$ = 40 % $E_{θερμικής}$ => $E_{θερμικής}$ = (3.6 x 10^6 J)/0.4 = 9 x 10^6 J

Άρα απαιτούνται 9 x 10^6 J για την παραγωγή 1 kWh.

Άρα το σύνολο του C εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα θα είναι:

$$(20 \text{ kg C}/ 10^9 \text{ J}) \times (9 \times 10^6 \text{ J}) = 0.18 \text{ kg C}$$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη εκπομπή SO_2 θα είναι:

$$(86 \text{ mg } SO_2/ 10^6 \text{ J}) \text{ x } (9 \text{ x } 10^6 \text{ J}) = 774 \text{ mg } SO_2/\text{kWh}$$

Η μέγιστη επιτρεπόμενη εκπομπή NO_x θα είναι:

$$(130 \text{ mg } NO_x / 10^6 \text{ J}) \text{ x } (9 \text{ x } 10^6 \text{ J}) = 1170 \text{ mg } NO_x /\text{kWh}$$

Άσκηση 3

Ένα διαμέρισμα βρίσκεται σε περιοχή όπου για 8 μήνες το έτος επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες (40 ^{0}F), με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η λειτουργία του καλοριφέρ, ώστε να διατηρείται θερμοκρασία ίση με 70 0F εντός του διαμερίσματος. Προτείνεται στον ιδιοκτήτη να ξοδέψει 1000 Ευρώ για να βελτιώσει τη μόνωση της οροφής, αυξάνοντας την ολική θερμική αντίστασή της από 11 σε 40 ft^2 ^{0}F ώρα/Btu. Αν θεωρηθεί ότι η οροφή έχει εμβαδόν 1500 ft^2 και το διαμέρισμα θερμαίνεται με ηλεκτρικό ρεύμα που κοστίζει 0,08 Ευρώ/ kWh, σε πόσα χρόνια θα αποσβεσθεί η επένδυση; Αν υποτεθεί ότι 1.000.000 σπίτια που τροφοδοτούνται ηλεκτρικά από τη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος βελτιώνουν τη μόνωση της οροφής τους, όπου κατά την παραγωγή 1 kWh ηλεκτρικού ρεύματος εκπέμπονται τελικά 0,14 g τέφρας, 2.8 g SO_2 και 280 g C. Να εκτιμηθεί η ετήσια μείωση σε εκπομπές SO_2, σωματιδίων και C.

Λύση:

Η απώλεια θερμότητας από την οροφή, όταν δεν υπάρχει επιπλέον μόνωση:

$$q = \frac{A(T_i - T_0)}{R}$$

$$q = 1500 \text{ ft}^2 \times (70 - 40)\ ^0\text{F}/ 11 \text{ ft}^2\ ^0\text{F ώρα/Btu} = 4091 \text{ Btu/ώρα}$$

Μετά την προσθήκη του μονωτικού υλικού, η απώλεια θερμότητας υπολογίζεται σε:

$$q = 1500 \text{ ft}^2 \times (70 - 40)\ ^0\text{F}/ 40 \text{ ft}^2\ ^0\text{F ώρα/Btu} = 1125 \text{ Btu/ώρα}$$

Άρα μετά την προσθήκη του μονωτικού υλικού εξοικονομούνται 4090-1125 = 2965 Btu/ώρα, δηλαδή 2965 × 8 × 30 × 24 = 17078400 Btu /έτος = 5006 KWh/έτος. Δεδομένου ότι 1 KWh κοστίζει 0,08 Ευρώ, τότε κάθε χρόνο εξοικονομούνται 400 Ευρώ. Εφόσον το κόστος του μονωτικού υλικού είναι 1000 Ευρώ, η απόσβεσή του θα γίνει σε 2,5 χρόνια.

Αν 1000000 σπίτια βάλουν επιπλέον μόνωση στην οροφή, τότε σε ένα χρόνο θα εξοικονομηθεί ποσό ενέργειας ίσο με: 5006 KWh/έτος × 1000000 = 5006 x 10^6 KWh/έτος.

Οι εκπομπές της τέφρας, του SO_2 και του C θα είναι μειωμένες κατά:

- τέφρα: 0,14 g τέφρα/KWh × 5006 x10^6 KWh/έτος = 0,7×10^9 g τέφρα/ έτος
- SO_2: 2,8 g SO_2 /KWh × 5006 x 10^6 KWh/έτος = 14×10^9 g SO_2 / έτος
- C: 280 g C/KWh × 5006 x10^6 KWh/έτος = 1400×10^9 g C/ έτος

Άσκηση 4

Θεωρείστε τη γη ως μέλαν σώμα με μέση θερμοκρασία 15 ^{0}C και εμβαδόν 5,1 × 10^{14} m^2. Να βρεθεί ο ρυθμός με τον οποίο εκπέμπεται ενέργεια από τη γη και το μήκος κύματος στο οποίο ακτινοβολείτε η μέγιστη ποσότητα ενέργειας. Συγκρίνετε το συγκεκριμένο μήκος κύματος με το μήκος κύματος που εκπέμπεται η μέγιστη ακτινοβολία από τον ήλιο (θερμοκρασία ηλίου, 5800 K).

Λύση:

Για τον υπολογισμό του ρυθμού εκπομπής ενέργειας χρησιμοποιείται η εξίσωση:

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

$$E_{max} = 5{,}67 \times 10^{-8}\ W/m^2\ K^4 \times 5{,}1 \times 10^{14}\ m^2 \times (15\ K + 273\ K)^4 \Rightarrow$$

$$E_{max} = 2 \times 10^{17}\ W$$

Για τον υπολογισμό του μήκους κύματος στο οποίο η γη ακτινοβολεί τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$\lambda_{max} = 2898 / T \Rightarrow$$

$$\lambda_{max} = 2898 / (15+273) \Rightarrow$$

$$\lambda_{max} = 10.1\ \mu m$$

Για τον υπολογισμό του μήκους κύματος στο οποίο ο ήλιος ακτινοβολεί τη μέγιστη ποσότητα ενέργειας χρησιμοποιείται πάλι η εξίσωση:

$$\lambda_{max} = 2898 / T \Rightarrow$$

$$\lambda_{max} = 2898 / 5800 \Rightarrow$$

$$\lambda_{max} = \mathbf{0{,}48\ \mu m}$$

Άσκηση 5

Υποθέστε ότι ένα ανθρώπινο σώμα έχει συνολική επιφάνεια 1.35 m^2, μέση θερμοκρασία 36.6 ^{0}C και βρίσκεται σε δωμάτιο που έχει θερμοκρασία 15 ^{0}C. Θεωρώντας το ανθρώπινο σώμα ως μέλαν σώμα, να βρεθεί η καθαρή απώλεια θερμότητας από ακτινοβολία (σε Watt).

Λύση:

Σύμφωνα με το νόμο του Boltzmann:

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

Η καθαρή ποσότητα ενέργειας που εκπέμπει ένα αντικείμενο θερμοκρασίας T_1 σε περιβάλλον που έχει θερμοκρασία T_2 δίνεται από τον τύπο:

$$E_{net} = \sigma\ A\ [(T_1)^4 - (T_2)^4]$$

$E_{max} = 5{,}67 \times 10^{-8}\ W/m^2\ K^4 \times 1.35\ m^2 \times (309.6^4 - 288^4) = 176.8\ W$

5. Διαχείριση Υδατικών Πόρων

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 70000 m^3.
(α) Πόση από την ποσότητα της 6 ωρης 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;

Λύση:
(α) Οι συνολικές εκροές κατά τη διάρκεια της βροχόπτωσης θα είναι:
Εισροές = 0.005 m/h x 6 h x 4 x 10^6 m^2 = 0.12 x 10^6 m^3 = 120000 m^3

Οι εκροές δίνονται ότι είναι 70000 m^3.
Επομένως, οι απώλειες θα είναι:
Απώλειες = Εισροές – Εκροές = 50000 m^3.

(β) Για τον υπολογισμό των ρυθμό απωλειών στη λεκάνη θα χρησιμοποιήσω τις απώλειες προς την έκταση και τον χρόνο βροχόπτωσης, δηλαδή:

$$Ρυθμός\ απωλειών = \frac{50000\ m^3}{4 \cdot 10^6\, m^2 \cdot 6\ h} = 0.0021 \frac{m}{h} = 2.1 \frac{mm}{h}$$

Άσκηση 2

Λίμνη σταθερής επιφάνειας 1.11 km^2 έχει σε δεδομένο μήνα εισροή απορροής 0.42 m^3/s, αντίστοιχη εκροή 0.36 m^3/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.

Λύση:
Από το ισοζύγιο για το νερό στη λίμνη έχουμε την εξίσωση:

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

Όπου,
P: βροχή πάνω στη λίμνη = 27 mm x 10^{-3} m/mm x 1.11 x 10^6 m^2 = 29970 m^3
Q_{in}: νερό που μπαίνει (ποτάμια κ.λπ.) = 0.42 m^3/s x 3600 s/h x 24 h/d x 30 d/month = 1088640 m^3/month
Q_{out}: νερό που φεύγει = 0.36 m^3/s x 3600 s/h x 24 h/d x 30 d/month = 933120 m^3/month
E: εξάτμιση (φεύγει προς την ατμόσφαιρα)
ΔS: πόσο αυξήθηκε ή μειώθηκε το νερό στη λίμνη = 19800 m^3

Από τα παραπάνω προκύπτει πως η μηνιαία εξάτμιση της λίμνης είναι:
$E = P + Q_{in} - Q_{out} - \Delta S$ = 165690 m^3

Το ύψος της εξάτμισης θα είναι: h = E/A = 165690 m^3/ 1.11 x 10^6 m^2 = 0.149 m = 149 mm

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 1η ημέρα του τεστ ήταν 8,5 mg/l, ενώ την 5η 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 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.

Λύση:

Η συγκέντρωση του BOD_5 στη φιάλη (στο μίγμα αποβλήτων και νερού) υπολογίζεται με την βοήθεια της εξίσωσης:

$$BOD_5 = DO_{(t=0)} – DO_{(t=5)} = 8,5 – 2,5 = 6 \text{ mg/l}$$

Δεδομένου ότι τα απόβλητα είχαν αραιωθεί κατά την πραγματοποίηση του τεστ, ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του BOD_5 στα απόβλητα γίνεται με τη βοήθεια του νόμου της αραίωσης:

$$C_1V_1 = C_2V_2 \Rightarrow C_1 \times 5 \text{ ml} = 6,0 \text{ mg/l} \times 300 \text{ ml} \Rightarrow C_1 = 360 \text{ mg/l}$$

Η ολική ποσότητα οξυγόνου που απαιτείται για την αποδόμηση του ανθρακογενούς κλάσματος των αποβλήτων υπολογίζεται επιλύνοντας την εξίσωση ως προς L_0:

$$L_0 = BOD_5 /(1-e^{-kt}) = 360/(1-e^{-0,22\times 5}) \Rightarrow L_0 = 545 \text{ mg/l}$$

Πέντε ημέρες μετά την έναρξη του τεστ, τα 360 mg/l από τα 545 mg/l θα έχουν χρησιμοποιηθεί. Ως αποτέλεσμα η υπολειμματική απαίτηση σε οξυγόνο θα είναι σύμφωνα με την εξίσωση:

$$L_t = L_0 – BOD_5 = 545 - 360 \text{ mg/l} \Rightarrow L_t = 185 \text{ mg/l}$$

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.

Λύση:

Εφόσον έχω 90 % απομάκρυνση, το BOD5 στην εκροή θα είναι 200 x 0.1 = 20 mg/l

Η συγκέντρωση του BOD_5 στη φιάλη υπολογίζεται με την βοήθεια της εξίσωσης:

$$BOD_5 = DO_{(t=0)} – DO_{(t=5)} = 9.2 – 2= 7.2 \text{ mg/l}$$

(α) Από το νόμο της αραίωσης βρίσκω τον όγκο των επεξεργασμένων λυμάτων:

$$C_1V_1 = C_2V_2 \Rightarrow 20 \text{ mg/l} \times V_1 = 7.2 \text{ mg/l} \times 300 \text{ ml} \Rightarrow V_1 = 108 \text{ ml}$$

(β) Ο μισός όγκος της φιάλης BOD πληρωθεί με επεξεργασμένα λύματα και ο υπόλοιπος με νερό, αυτό σημαίνει ότι $V_{δείγματος}$ = 150 ml.
Χρησιμοποιώντας ξανά τον νόμο της αραίωσης:

$$C_1V_1 = C_2V_2 \Rightarrow 20\ mg/l \times 150\ ml = C_2 \times 300\ ml \Rightarrow C_1 = 10\ mg/l > DO_{(t=0)}$$

Που σημαίνει ότι δεν φτάνει το οξυγόνο να αποδομήσει το οργανικό φορτίο των αποβλήτων, απαιτείται αραίωση.

Άσκηση 5

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

Λύση:

Το BOD στο σημείο εκβολής υπολογίζεται με τη βοήθεια του ισοζυγίου, εφόσον έχουμε σταθερό σύστημα χωρίς μετατροπές:

$$\text{Εισροές} = \text{Εκροές}$$
$$C_1Q_1 + C_2Q_2 = C_{τελ}Q_{τελ} \Rightarrow$$
$$(50\ mg/l \times 1.1\ m^3/s) + (6\ mg/l \times 8.7\ m^3/s) = C_{τελ} \times 9.8\ m^3/s \Rightarrow$$
$$C_{τελ} = 10.9\ mg/l$$

Δεδομένου ότι η ταχύτητα του χειμάρρου είναι 0.3 m/s, η απόσταση των 3000 m θα καλυφθεί σε χρόνο ίσο με:

$$t = \frac{x}{u} = \frac{3000\ m}{0.3\ m/s} = 10000\ s = 0.116\ d$$

Από την εξίσωση για το υπολειμματικό BOD:
$L_t = L_0\ e^{-kt} \Rightarrow L_t = 10{,}9\ mg/l \times e^{-(0{,}2/d\ \times\ 0{,}116\ d)} \Rightarrow L_t = 10.65\ mg/l$ BOD

6. Διαχείριση Υδατικών Πόρων ΙΙ

Άσκηση 1

Αστικά λύματα περιέχουν συγκέντρωση 30 mg/l αζώτου ως NH_3. Θεωρώντας ότι δεν χρησιμοποιείται άζωτο για την κυτταρική σύνθεση, να βρεθεί η νιτρογενής απαίτηση σε οξυγόνο, NBOD. Δίνονται τα ατομικά βάρη του αζώτου (AB:14), του υδρογόνου (AB:1) και του οξυγόνου (AB:16).

Λύση:

Συνδυάζοντας τις χημικές αντιδράσεις που περιγράφουν την νιτροποίηση προκύπτει η παρακάτω αντίδραση:

$$NH_3 + 2O_2 \rightarrow NO_3^- + H^+ + H_2O$$

Όπου 1 mol NH_3 (Mr = 14 + 3 = 17 g/mol) απαιτεί 2 mol O_2 (Mr = 32 g/mol).

Άρα χρησιμοποιώντας το τύπο n=m/Mr βρίσκω τις μάζες:

Τα 17 g NH_3 όπου περιέχουν 14 g N απαιτούν 64 g O_2

Τα 30 mg/L N πόσο οξυγόνο απαιτούν;

NBOD = (64 g x 30 mg/L) / 14 g = 137 mg/L O_2

Άσκηση 2

Τα επεξεργασμένα λύματα μιας μονάδας επεξεργασίας αστικών λυμάτων εκβάλλουν σε ένα ποτάμι Το ολικό τελικό BOD του ποταμού αμέσως μετά την ανάμιξη των λυμάτων είναι 10 mg/L και το διαλυμένο οξυγόνο 7 mg/L Να υπολογιστεί το διαλυμένο οξυγόνο στο ποτάμι μετά από 1 ημέρα, ο χρόνος στον οποίο θα παρατηρηθεί η ελάχιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου και η ελάχιστη τιμή διαλυμένου οξυγόνου στο ποτάμι. Δίνονται k_d=0.1 d^{-1}, k_r=0.3 d^{-1}, διαλυμένο οξυγόνο κορεσμού DO_s = 9 mg/L.

Λύση:

Το έλλειμμα του διαλυμένου οξυγόνου μετά από 1 ημέρα υπολογίζεται από την εξίσωση Streeter-Phelps:

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

Όπου, L_0 = 10 mg/l

$D_0 = DO_s - DO = 9 - 7 = 2$ mg/l

t = 1 d

k_d=0.1 d^{-1} και k_r=0.3 d^{-1}

Επομένως, αντικαθιστώντας στην παραπάνω εξίσωση, D = 2.30 mg/l.

Άρα η τιμή του διαλυμένου οξυγόνου (DO) μετά από 1 ημέρα θα είναι:

$$DO = DO_s - D = 9 - 2.3 = 6.7 \text{ mg/l}$$

Ο χρόνος που θα παρατηρηθεί η ελάχιστη συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου, είναι ο χρόνος στο κρίσιμο σημείο, υπολογίζεται από την εξίσωση:

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

Αντικαθιστώντας, υπολογίζω $t_c = 2.94$ d.

Για να βρω το μέγιστο έλλειμμα χρησιμοποιώ ξανά τον πρώτο τύπο, όπου $t = t_c = 2.94$ d. Άρα, $D_c = 2.48$ mg/l.

Επομένως, η ελάχιστη τιμή διαλυμένου οξυγόνου θα είναι:

$$DO = DO_s - D_c = 9 - 2.48 = 6.52 \text{ mg/l}$$