



Μηχανική Περιβάλλοντος

Ενότητα 2: Μονάδες Μέτρησης και Ισοζύγια Μάζας

Δρ. Ελένη Γκριλλα
Μηχανικός Περιβάλλοντος

e-mail. elen.grilla@gmail.com

Σύστημα και Περιβάλλον

Σύστημα → Περιοχή που επιλέγουμε να μελετήσουμε

Περιβάλλον → Ό,τι βρίσκεται έξω από τα όρια του συστήματος

Ένα σύστημα μπορεί να ανταλλάσσει με το περιβάλλον:

- Μάζα
- Ενέργεια (θερμότητα, έργο)
- Ορμή
- Ηλεκτρικό φορτίο

Σύστημα και Περιβάλλον



Ανοικτό

Κλειστό

Ανταλλάσσει **μάζα** και **ενέργεια**

Ανταλλάσσει **ενέργεια**

Η λίμνη είναι ανοικτό ή κλειστό σύστημα;

Παραδείγματα:

- Ποταμός
- Λίμνη με εισροές
- Αντιδραστήρας CSTR (πλήρους ανάμιξης)

Παραδείγματα:

- Δεξαμενή χωρίς ροές
- Batch αντιδραστήρας

Αν υπάρχει έστω μία ροή μάζας που διασχίζει τα όρια → είναι ανοικτό.

Σύστημα και Περιβάλλον

- Ένας ποταμός με παροχή $5 \text{ m}^3/\text{s}$ και συγκέντρωση ρύπου 10 mg/L εκβάλλει στη θάλασσα πιο είναι το ημερήσιο φορτίο ρύπου που εισέρχεται στη θάλασσα;

Αν ο όγκος ρέει ανά μονάδα χρόνου, τότε η μάζα επίσης ρέει ανά μονάδα χρόνου.

Φορτίο ρύπου: $M = Q \cdot C = 5 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 10 \text{ mg/L} = 4320 \text{ kg/d} = 4.32 \text{ tn/d}$

Βασικές μονάδες μέτρησης

Διάσταση	Μονάδες Μέτρησης
Μήκος	m, mm, μm , cm, km, ft
Μάζα	kg, g, mg, μg , ton(t), lb
Χρόνος	s, min, h, day, yr
Θερμοκρασία	$^{\circ}\text{C}$, K, F
Όγκος	m^3 , L, mL, dm^3
Μοριακότητα	mol

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273$$

$$1 \text{ d} = 24 \text{ h}$$

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min}$$

$$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$$

$$1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ L}$$

Factor	Name	Symbol	Factor	Name	
10^{24}	yotta	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	zetta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	exa	E	10^{-3}	milli	m
10^{15}	peta	P	10^{-6}	micro	μ
10^{12}	tera	T	10^{-9}	nano	n
10^9	giga	G	10^{-12}	pico	p
10^6	mega	M	10^{-15}	femto	f
10^3	kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^2	hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10^1	deka	da	10^{-24}	yocto	y

Μετατροπές μονάδων μέτρησης

Παράμετρος	Μονάδες	Συντελεστής Μετατροπής	Μονάδες
Μήκος	m	3,2808	ft
Μάζα	Kg	2,2046	lb
Θερμοκρασία	$^{\circ}\text{C}$	$1,8(^{\circ}\text{C})+32$	$^{\circ}\text{F}$
Θερμοκρασία	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C} + 273,15$	$^{\circ}\text{K}$
Εμβαδόν	m^2	10,7639	ft^2
Όγκος	m^3	35,3147	ft^3
Όγκος	l	0,2667	gal
Ενέργεια	KJ	0,9478	Btu
Ισχύς	W	3,4121	Btu/ώρα
Ισχύς	W	1	J/s
Ταχύτητα	m/s	2,2369	mi/ώρα
Παροχή	m^3/s	35,3147	ft^3/s
Πυκνότητα	Kg/m^3	0,06243	lb/ft^3

Βασικές εξισώσεις και μονάδες μέτρησης

- Επιφάνεια = [μήκος]²
- Όγκος = [μήκος]³
- Πυκνότητα = [μάζα] / [όγκος] = [μάζα] / [μήκος]³
- Ταχύτητα = [μήκος] / [χρόνος]
- Δύναμη = [μάζα] x [επιτάχυνση] = [μάζα] x [μήκος]/[χρόνος]²
- Ενέργεια = [δύναμη] x [μήκος]
- Ισχύς = [ενέργεια] / [χρόνος]

Δύναμη	N	(Νιούτον)	kg · m/s ²
Ενέργεια	J	(Τζάουλ)	N · m
Ισχύς	W	(Βατ)	J/s
Πίεση	Pa	(Πασκάλ)	N/m ²
Πυκνότητα			kg / m ³
Ταχύτητα			m/s
Επιτάχυνση			m/s ²
Θερμοχωρητικότητα			J/(kg)(°K)

Κάθε όρος μιας εξίσωσης πρέπει να έχει τις ίδιες διαστάσεις και μονάδες με κάθε όρο που προστίθεται αφαιρείται ή εξισώνεται.

Μονάδες Μέτρησης – Συγκεντρώσεις Ουσιών στο Νερό

Συγκέντρωση = μάζα ουσίας ανά μονάδα όγκου του διαλύματος

- mg/l, μg/l, ppm, ppb, ppt

1 ppm: 1 μέρος σε 10⁶ μέρη

Σχέση mg/l με ppm = ?

$$1 \text{ mg/l} \Rightarrow 10^{-3} \text{ g ουσίας σε } 10^3 \text{ gr νερού} \Rightarrow 1 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ μg/l} \Rightarrow 10^{-6} \text{ g ουσίας σε } 10^3 \text{ gr νερού} \Rightarrow 1 \text{ ppb}$$

$$1 \text{ ng/l} \Rightarrow 10^{-9} \text{ g ουσίας σε } 10^3 \text{ gr νερού} \Rightarrow 1 \text{ ppt}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{νερού}} &\approx 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &\approx 1000 \text{ g/L} \\ &\approx 1 \text{ kg/L}\end{aligned}$$

Μονάδες Μέτρησης – Συγκεντρώσεις Ουσιών στο Έδαφος

Συγκεντρώσεις ουσιών στο έδαφος ή άλλο ξηρό υλικό:

“μάζα ουσίας ανά μονάδα μάζας του ξηρού υλικού”

$1 \text{ mg/Kg} \Rightarrow 10^{-3} \text{ g ουσίας σε } 10^3 \text{ gr ξηρού υλικού} \Rightarrow 1 \text{ ppm}$

$1 \text{ } \mu\text{g/Kg} \Rightarrow 10^{-6} \text{ g ουσίας σε } 10^3 \text{ gr ξηρού υλικού} \Rightarrow 1 \text{ ppb}$

$1 \text{ ng/Kg} \Rightarrow 10^{-9} \text{ g ουσίας σε } 10^3 \text{ gr ξηρού υλικού} \Rightarrow 1 \text{ ppt}$

Μονάδες Μέτρησης – Συγκεντρώσεις Ουσιών στον Αέρα

Συγκεντρώσεις ουσιών σε αέριο:

“μάζα ουσίας ανά μονάδα όγκου αέρα”

1 mg ουσίας / m³ αέρα

Μετατροπή ppm σε mg/m³

1 µg ουσίας / m³ αέρα

$$1 \text{ ppm} = \frac{M}{22.4} \cdot \frac{P_1 T_0}{P_0 T_1} \cdot \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

1 ng ουσίας / m³ αέρα

όπου:

- M: Μοριακό βάρος αερίου, g/mol
- T₀, P₀: κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, atm και K
- T₁, P₁: δεδομένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, atm και K
- Μοριακός όγκος αερίου, 22.4 L/mol, σε πρότυπες συνθήκες P και T (1 atm και 0 °C)

Παραδείγματα

Άσκηση 3

Μετατρέψτε τα παρακάτω όταν τα αέρια δίνονται σε 1 atm και σε θερμοκρασία 25 °C.

(α) CO₂ 5000 ppm σε mg/m³

(β) Φορμαλδεΐδη CH₂O, 3,6 mg/m³ σε ppm

Λύση

$$(\alpha) [CO_2] = \frac{M}{22.4} \cdot \frac{P_1 T_0}{P_0 T_1} \cdot \frac{mg}{m^3} = \frac{44 \frac{g}{mol}}{22,4 \frac{L}{mol}} \cdot \frac{1 \cdot 273}{1 \cdot (273+25)} \cdot 5000 = 8998 \text{ mg/m}^3$$

$$(\beta) [CH_2O] = \frac{22.4 \frac{L}{mol}}{30 \frac{g}{mol}} \cdot \frac{1 \cdot (273 + 25)}{1 \cdot 273} \cdot 3,6 = 2,93 \text{ ppm}$$

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



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

- **Εκροές:** μέρος ουσίας που απομακρύνεται αμετάβλητο
- **Συσσωρεύσεις:** μέρος ουσίας που συσσωρεύεται (π.χ. σε λίμνη μέρος του εισερχόμενου φωσφόρου κατακρημνίζεται)
- **Μετατροπές:** μέρος της ουσίας μετατρέπεται σε μία άλλη (CO σε CO₂)

Ισοζύγιο Μάζας – Σταθερά συστήματα



Αν σε ένα σύστημα επικρατούν:

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

Τότε:

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

Ισοζύγιο Μάζας - Παράδειγμα

- 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 $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ και συγκέντρωση σε χρώμιο (Cr) ίση με 10 mg/l , ενώ τα απόβλητα της γραμμής 2 έχουν παροχή $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ 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.

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

Ισοζύγιο Μάζας - Άσκηση

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

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

Ισοζύγιο Μάζας - Άσκηση

- Ένας ποταμός με συγκέντρωση 400 ppm αλάτων (μη μετατρέψιμο χημικό είδος) και παροχή 25 m³/s δέχεται ρεύμα αποβλήτων παροχής 5 m³/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.

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

Μετατροπή Μονάδων - Άσκηση

- Υποθέστε ότι η μέση συγκέντρωση του SO_2 στην ατμόσφαιρα μίας πόλης ανέρχεται σε $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ στους 20°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 .

$$1 \text{ ppm} = \frac{M}{22.4} \cdot \frac{P_1 T_0}{P_0 T_1} \cdot \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Ισοζύγιο Μάζας – Σταθερά συστήματα



Αν σε ένα σύστημα επικρατούν:

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

Τότε:

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

Πολλοί ρύποι συμμετέχουν σε χημικές, βιολογικές και πυρηνικές αντιδράσεις με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η μορφή τους (μετατρέψιμα χημικά είδη).

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

Ισοζύγιο Μάζας – Σταθερά συστήματα

Κινητική πρώτης τάξης

$$\frac{dC}{dt} = -KC \Rightarrow$$

$$\int \frac{dC}{C} = \int (-K)dt \Rightarrow$$

$$\ln(C) - \ln(C_0) = -Kt \Rightarrow$$

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -Kt \Rightarrow$$

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

Όπου:

K = η σταθερά της αντίδρασης (χρόνος⁻¹)

C = η συγκέντρωση της ουσίας (mg/l)

C_0 = η αρχική συγκέντρωση της ουσίας (mg/l)

Η ταχύτητα μεταβολής μίας ουσίας που κατανέμεται **ομοιόμορφα** σε όγκο V (συνθήκες πλήρους μίξης) δίνεται από την εξίσωση:

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

Εισροές = Εκροές + Μετατροπές

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

Ισοζύγιο Μάζας - Παράδειγμα

- Σε λίμνη με όγκο νερού $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ πέφτει ρυπασμένος χείμαρρος με παροχή $5 \text{ m}^3/\text{s}$ και συγκέντρωση ρύπου ίση με 10 mg/l . Στη λίμνη καταλήγει επίσης αγωγός λυμάτων με παροχή $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ και συγκέντρωση ρύπου ίση με 100 mg/l . Ο συντελεστής μετατροπής του ρύπου ισούται με $0,2 \text{ 1/ημέρα}$, 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.

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

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

Ισοζύγιο Μάζας - Παράδειγμα

- Σε ένα bar με όγκο 500 m^3 βρίσκονται 50 καπνιστές που καπνίζουν 2 τσιγάρα ανά ώρα. Κάθε τσιγάρο εκπέμπει $1,4 \text{ mg}$ φορμαλδεΐδης (HCHO). Η φορμαλδεΐδη μετατρέπεται σε CO_2 με ταχύτητα αντίδρασης, K που ισούται με $0,4/\text{ώρα}$. 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 φορμαλδεΐδης στο χώρο σε σταθερές συνθήκες. Αν η συγκέντρωση ερεθισμού των ματιών είναι $0,05 \text{ ppm}$, να διερευνήσετε αν θα προκληθεί ερεθισμός των ματιών των πελατών (θερμοκρασία $25 \text{ }^\circ\text{C}$ και πίεση 1 atm).

$$1 \text{ ppm} = \frac{M}{22.4} \cdot \frac{P_1 T_0}{P_0 T_1} \cdot \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Εισροές = Εκροές + Συσσωρεύσεις + Μετατροπές

Εισροές = Εκροές ± KCV

Ισοζύγιο Μάζας - Άσκηση

- 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 $0,2 \text{ 1/ημέρα}$. 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;

Εισροές = Εκροές + Συσσωρεύσεις + Μετατροπές

Εισροές = Εκροές ± KCV

Ισοζύγιο Μάζας – Μη σταθερά συστήματα



Αν σε ένα σύστημα επικρατούν:

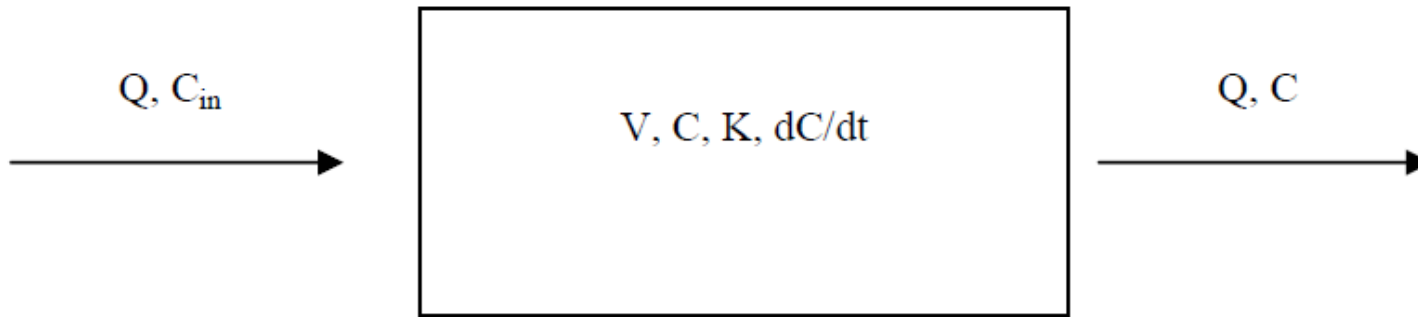
- Μη σταθερές συνθήκες και
- Η συγκέντρωση του αυξάνεται ή μειώνεται με το χρόνο

Τότε:

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

Ισοζύγιο Μάζας – Μη σταθερά συστήματα

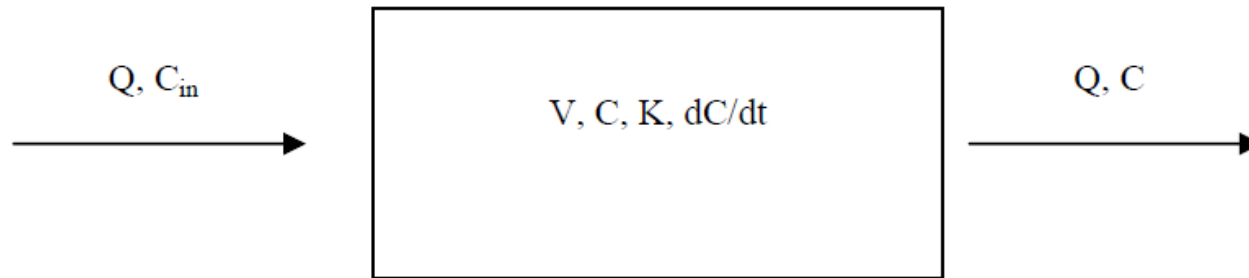
Στον παρακάτω αντιδραστήρα επικρατούν **συνθήκες πλήρους μίξης (CSTR)**, δηλαδή η συγκέντρωση του ρύπου μέσα σε αυτόν ισούται με τη συγκέντρωση του ρύπου στο ρεύμα που τον εγκαταλείπει (C).



Η συνολική μάζα του ρύπου μέσα στον αντιδραστήρα είναι $V \times C$ και η ταχύτητα αύξησης της συγκέντρωσης του ρύπου στον αντιδραστήρα ισούται με:

$$V \cdot \frac{dC}{dt}$$

Ισοζύγιο Μάζας – Μη σταθερά συστήματα



Αν ο ρύπος θεωρείται μετατρέψιμος και ακολουθεί κινητική πρώτης τάξης με σταθερά αντίδρασης K , τότε:

Εισροές = Εκροές + Συσσωρεύσεις + Μετατροπές

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

Όπου,

Q : παροχή (L/h)

C_{in} : συγκέντρωση ρύπου στο εισερχόμενο ρεύμα αποβλήτων (mg/L)

C : συγκέντρωση ρύπου στον αντιδραστήρα/εξερχόμενο ρεύμα (mg/L)

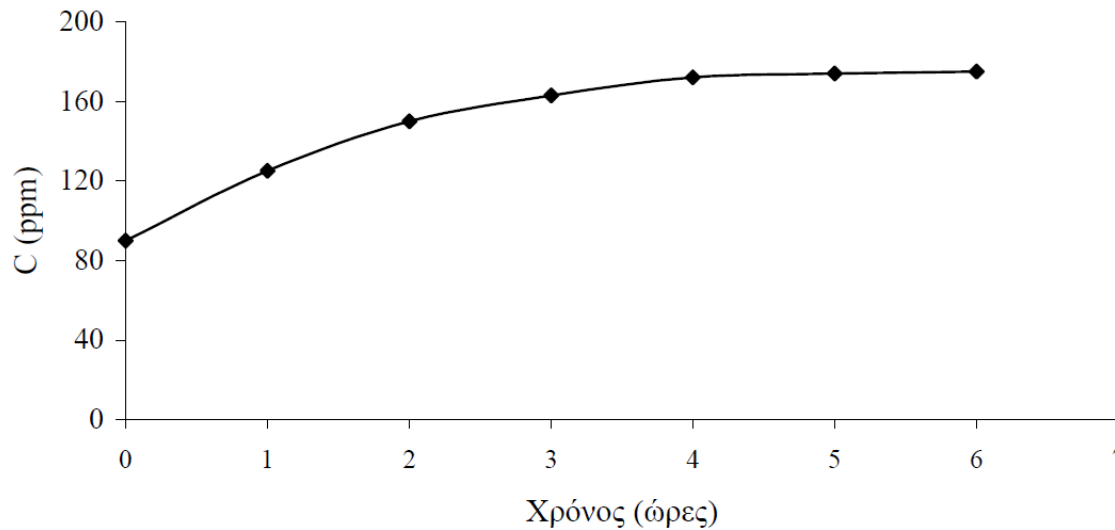
V : όγκος αντιδραστήρα (L)

K : σταθερά αντίδρασης (h^{-1})

Ισοζύγιο Μάζας – Μη σταθερά συστήματα

Για να υπολογίσουμε τη συγκέντρωση C , προκύπτει η εξίσωση:

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



Σε μόνιμη κατάσταση

Όταν στον αντιδραστήρα επικρατήσουν σταθερές συνθήκες ($t = \infty$), τότε $dC/dt = 0$ και η συγκέντρωση C_∞ προκύπτει ότι είναι ίση με:

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

Ισοζύγιο Μάζας - Παράδειγμα

- Σε ένα bar με όγκο 500 m^3 βρίσκονται 50 καπνιστές που καπνίζουν 2 τσιγάρα ανά ώρα. Κάθε τσιγάρο εκπέμπει $1,4 \text{ mg}$ φορμαλδεΐδης (HCHO). Φρέσκος αέρας εισέρχεται στο bar με ρυθμό 1000 m^3 ανά ώρα και εξέρχεται με τον ίδιο ρυθμό. Υποθέστε ότι στις 22:00 που ανοίγει το bar ο αέρας είναι καθαρός. Αν η φορμαλδεΐδη εκπέμπεται από τον καπνό του τσιγάρου με ρυθμό 140 mg/ώρα , ποια θα είναι η συγκέντρωση της φορμαλδεΐδης στο χώρο στις 23:00. Υποθέστε ότι επικρατούν συνθήκες πλήρους μίξης και η φορμαλδεΐδη μετατρέπεται σε CO_2 με ταχύτητα αντίδρασης, K που ισούται με $0,4/\text{ώρα}$.

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

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

Εισροές = Εκροές + Συσσωρεύσεις + Μετατροπές

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

Ισοζύγιο Μάζας - Παράδειγμα

- Θεωρείστε τη λίμνη του προηγούμενου παραδείγματος ($V=10 \times 10^6 \text{ m}^3$), στην οποία βρέθηκε ότι η συγκέντρωση του ρύπου σε σταθερές συνθήκες ισούται με $3,5 \text{ mg/l}$. Ο ρύπος θεωρείται μετατρέψιμος με $K=0,2/\text{ημέρα}$. 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 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 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.

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

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

Εισροές = Εκροές + Συσσωρεύσεις + Μετατροπές

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

Ισοζύγιο Μάζας - Άσκηση

- Δεξαμενή όγκου 1200 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;

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

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

Εισροές = Εκροές + Συσσωρεύσεις + Μετατροπές

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