



ΙΔΕΠ

Ινστιτούτο
Χημικών
Διεργασιών και
Ενεργειακών
Πόρων

Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Σχεδιασμός Χημικών Εγκαταστάσεων I

Ισοζύγια μάζας

Καλογιάννης Κων/νος, kkalogia@cperi.certh.gr

Θερινό εξάμηνο 2019-2020

Κύριοι στόχοι μαθήματος

Στόχος του μαθήματος είναι η συστηματική ανασκόπηση σε θέματα διαμόρφωσης και επίλυσης προβλημάτων με ισοζύγια μάζας.

Συνοπτικά επιμέρους στόχοι είναι:

- Η κατανόηση θεμελιωδών αρχών και τεχνικών της χημικής μηχανικής.
- Κατανόηση διαγραμμάτων ροής απλών και σύνθετων διεργασιών/συστημάτων.
- Δυνατότητα κατάστρωσης εξισώσεων που διέπουν μια διεργασία σε μόνιμη και μη μόνιμη κατάσταση.
- Εμβάθυνση σε ισοζύγια μάζας σε απλές φυσικές ή/και χημικές διεργασίες.

Κύριοι στόχοι μαθήματος

	Περιγραφή
1	Εισαγωγή: εισαγωγικές έννοιες, μονάδες, μετατροπή
2	Ισοζύγια μάζας: με ή χωρίς αντίδραση
3	Ιδανικά και πραγματικά αέρια/ ισορροπία πολυφασικών μιγμάτων
4	Ισοζύγια Ενέργειας
5	Ψυχρομετρία
6	Ανάλυση Βαθμών Ελευθερίας
7	Μη μόνιμη κατάσταση

Κύριοι στόχοι μαθήματος

Ο Χημικός Μηχανικός (ή μηχανικός διεργασιών) εφαρμόζει τις αρχές των χημικών, φυσικών, μαθηματικών, οικονομικών και τεχνικών επιστημών, σε πεδία που ανάγονται σε διεργασίες ροής των υλικών, μετασχηματισμού της ύλης και εγκαταστάσεις διεξαγωγής διεργασιών όπου η ύλη υποβάλλεται σε κατεργασία ή επεξεργασία κατά τον ωφελιμότερο τρόπο από κάθε άποψη (τεχνική, οικονομική, κοινωνική).

Έργο του Χημικού Μηχανικού στην πράξη είναι η έρευνα - ανάπτυξη - βελτίωση προϊόντων, μεθόδων και εγκαταστάσεων, η μελέτη - κατασκευή - λειτουργία - τεχνική εξυπηρέτηση χημικών εγκαταστάσεων, και ο σχεδιασμός - παραγωγή - έλεγχος - διάθεση - εφαρμογές των παραγόμενων προϊόντων και υλικών.

<https://www.chemeng.ntua.gr>

Διαστάσεις - Μονάδες

Στόχοι:

- Κατανόηση συστήματος μονάδων
- Μετατροπές μονάδων
- Διαστασιολόγηση
- Μανομετρική εξίσωση
- Moles/MB

Διαστάσεις - Μονάδες

ΒΑΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

Βασικές διαστάσεις:

- Μήκος (cm, m, km, ft, έτη φωτός)
- Μάζα (g, kg, tn, lb)
- Χρόνος (s, min, h, day)
- Θερμοκρασία (K, °C, °R, °F)

Παραγόμενες διαστάσεις:

- Ταχύτητα = μήκος/χρόνος
- Πυκνότητα = μάζα/όγκο
- Ενέργεια = δύναμη x μήκος
- Επιφάνεια = μήκος²
- Όγκος = μήκος³
- Δυναμη = μάζα x επιτάχυνση

Διαστάσεις - Μονάδες

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΟΝΑΔΩΝ

Διάσταση	SI	CGS	UK	US
Μήκος	m	Cm	ft	ft
Μάζα	kg	g	slug	lbm
Χρόνος	s	s	s	s
Δύναμη	N	dyn	lbw	lbf
Ενέργεια	J	erg, J, cal	BTU	BTU

Διαστάσεις - Μονάδες

ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ-ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ

ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ

Exa	E	10^{18}	deci	d	10^{-1}
Peta	P	10^{15}	centi	c	10^{-2}
Tera	T	10^{12}	milli	m	10^{-3}
Giga	G	10^9	micro	μ	10^{-6}
Mega	M	10^6	nano	n	10^{-9}
Kilo	k	10^3	pico	p	10^{-12}
Hecto	h	10^2	femto	f	10^{-15}
Deca	da	10^1	atto	a	10^{-18}

Διαστάσεις - Μονάδες

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

Παραδείγματα:

- Μήκος: $1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$, $1 \text{ m} = 3,28 \text{ ft} \approx 3,3 \text{ ft}$
- Μάζα: $1 \text{ lb} = 0,454 \text{ kg}$
- Δύναμη: $1 \text{ kg} = 1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N}$, $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$
- Ενέργεια: $1 \text{ kcal} = 3,966 \text{ Btu} = 4,184 \text{ kJ} = 0,001163 \text{ kWh}$
- Ισχύς: $1 \text{ kcal/h} = 0,001163 \text{ kW} = 0,00156 \text{ HP}$. (Ενέργεια/χρόνο = ισχύς)

Διαστάσεις - Μονάδες

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

ΜΗΚΟΣ

ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΕΣ ΜΟΝΑΔΩΝ ΜΗΚΟΥΣ

	μέτρο	ίντσα	πόδι	μίλι
μέτρο	1	39.37	3.2808	6.214×10^{-4}
ίντσα	2.54×10^{-2}	1	8.333×10^{-2}	1.58×10^{-5}
πόδι	0.3048	12	1	1.8939×10^{-4}
μίλι	1.61×10^3	6.336×10^4	5280	1

	m ³	l	ft ³	barrel*	gal*
m ³	1	1000	35,315	6,2898	264,17
l	0,001	1	0,03532	0,00629	0,2642
ft ³	0,02832	28,317	1	0,1781	7,4805
barrel*	0,15899	158,987	5,6146	1	42
gal*	0,003785	3,7854	0,1337	0,02381	1

* πετρελαίου

Διαστάσεις - Μονάδες

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

ΠΙΕΣΗ

	bar	atm	psi	kPa
bar	1	0,9869	14,5	100
atm	1,013	1	14,7	101,3
psi	0,06895	0,06805	1	6,895
kPa	0,01	0,009869	0,145	1

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

	F	°C	K	R
F	1	$\frac{9}{5} \text{ } ^\circ\text{C} + 32$	$\frac{9}{5} \text{ K} - 459,67$	$\text{R} - 459,67$
°C	$\frac{5}{9} (\text{F} - 32)$	1	$\text{K} - 273,15$	$\frac{5}{9} (\text{R} - 491,67)$
K	$\frac{5}{9} (\text{F} + 459,67)$	$^\circ\text{C} + 273,15$	1	$\frac{5}{9} \text{ R}$
R	$\text{F} + 459,67$	$\frac{9}{5} \text{ } ^\circ\text{C} + 491,67$	$\frac{9}{5} \text{ K}$	1

Διαστάσεις - Μονάδες

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

ΕΝΕΡΓΕΙΑ

	kJ	BTU	kcal	kWh	toe
kJ	1	0,9478	0,2388	0,000278	$2,38 \cdot 10^{-8}$
BTU	1,0551	1	0,252	0,000293	$2,52 \cdot 10^{-8}$
kcal	4,187	3,9683	1	0,001163	10^{-7}
kWh	3600	3411	859,84	1	0,000086
toe	$4,187 \cdot 10^7$	$3,9683 \cdot 10^7$	10^7	11630	1

ΙΣΧΥΣ

	kW	BTU/h	kcal/h	HP
kW	1	3,412	860	1,341
BTU/h	0,000293	1	0,252	0,000393
kcal/h	0,001163	3,9683	1	0,00156
HP	0,7457	2,544	641,19	1

Διαστάσεις - Μονάδες

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΜΟΝΑΔΩΝ

ΠΡΟΣΟΧΗ

Ίδιες διαστάσεις:

- Και στα δύο μέλη εξισώσεων (όχι απαραίτητο αλλά σωστή πρακτική)
- Σε όρους που προσθαιρούνται (υποχρεωτικά)
- * Οι μονάδες και οι τιμές τους υψώνονται στην ίδια δύναμη

Παράδειγμα:

- $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$. $1^2 \text{ m}^2 = 100^2 \text{ cm}^2$. $1 \text{ m}^3 = 1000000 \text{ cm}^3$
- Ενέργεια: $1 \text{ kcal} = 3,966 \text{ Btu} = 4,184 \text{ kJ} = 0,001163 \text{ kWh}$
- Ισχύς: $1 \text{ kcal/h} = 0,001163 \text{ kW} = 0,00156 \text{ HP}$. (Ενέργεια/χρόνος = ισχύς)

Διαστάσεις - Μονάδες

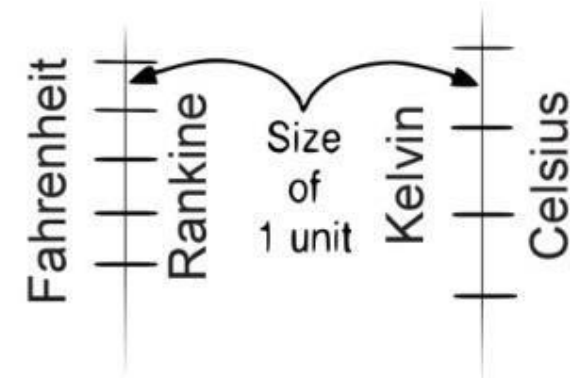
ΣΤΡΟΓΓΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΚΑΔΙΚΩΝ

Αριθμός	Στρογγύλεμα αριθμού στο ψηφίο			
	3 ^ο δεκαδικό	2 ^ο δεκαδικό	1 ^ο δεκαδικό	μονάδες
22,3456...	22,346	22,35	22,3	22
22,34850	22,348	22,35	22,3	22
54,3546...	54,355	54,35	54,4	54
54,5643...	54,564	54,56	54,6	54
55,5643...	55,564	55,56	55,6	56
98,7650	98,765	98,76	98,8	99
99,9555	99,956	99,96	100,0	100

Διαστάσεις - Μονάδες

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

212	672	Σημείο βρασμού του νερού στα 760 mm Hg	373	100
180				100
32	492	Σημείο πήξεως του νερού	273	0
0	460		255	-18
-40	420	$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C}$	233	-40
-460	0	Απόλυτο μηδέν	0	-273

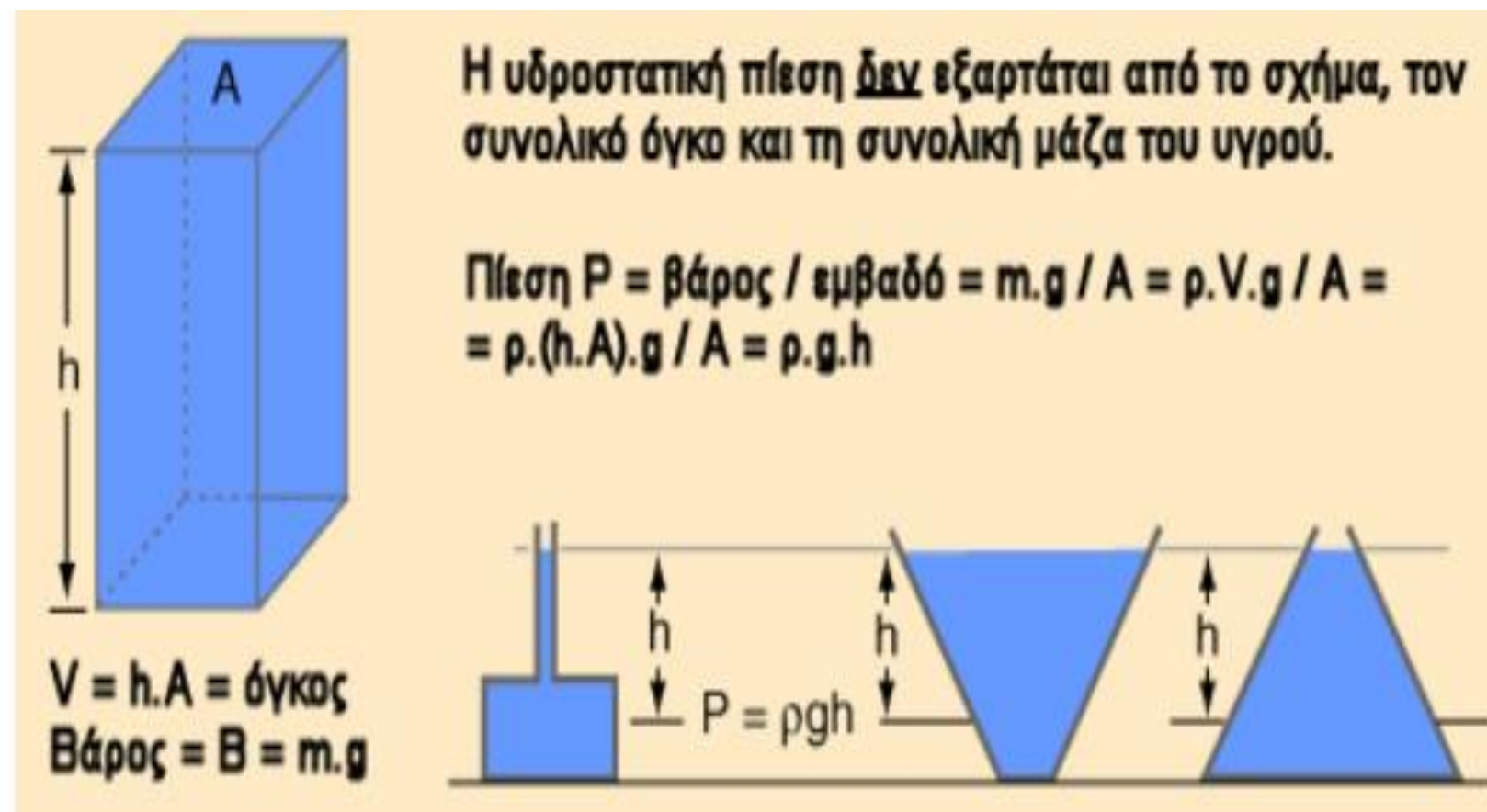


- $T(^{\circ}\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$
- $T(^{\circ}\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67$
- $T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 T(^{\circ}\text{C}) + 32$
- $T(^{\circ}\text{R}) = 1.8 T(^{\circ}\text{K})$

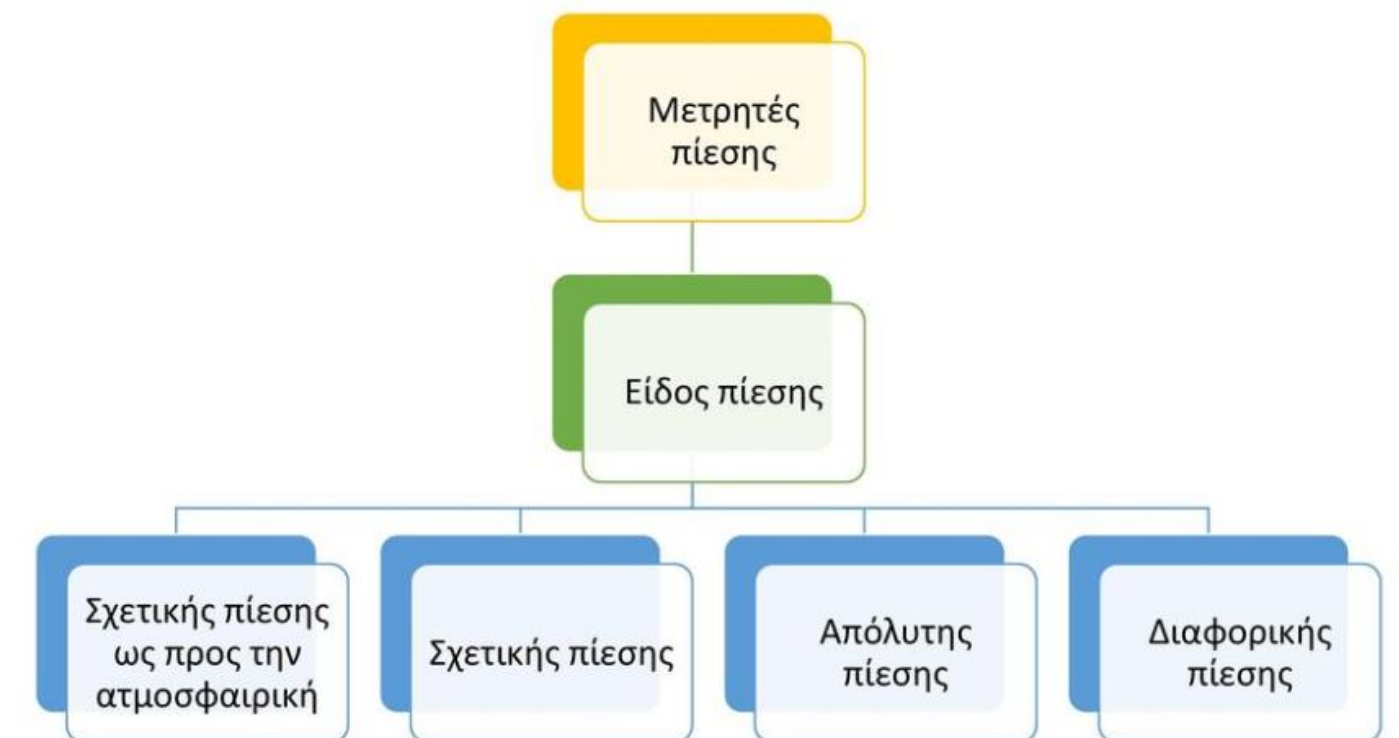
Διαστάσεις - Μονάδες

ΠΙΕΣΗ

- Ατμοσφαιρική πίεση είναι η πίεση που ασκείται από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της θάλασσας (=1 atm).
- Σχετική πίεση ως προς την ατμοσφαιρική πίεση.
- Απόλυτη πίεση ως προς τη μηδενική πίεση (κενό).



ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΙΕΣΗΣ



Διαστάσεις - Μονάδες

MOLES ΚΑΙ ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ

- Η έννοια του mole (γραμμομόριο) χρειάζεται κυρίως στη στοιχειομετρία των αντιδράσεων για να γίνονται οι μετατροπές από μάζα σε αριθμό μορίων και αντίστροφα.
- Mole είναι η ποσότητα ενός στοιχείου ή χημικής ένωσης που ζυγίζει τόσα γραμμάρια όσα είναι το μοριακό της βάρος.
- Μοριακό βάρος ουσίας: προκύπτει από το άθροισμα των ατομικών βαρών των συστατικών του.
- Υπάρχει επίσης kg mole (kmol) ή lb mole.

Διαστάσεις - Μονάδες

ΣΥΣΤΑΣΗ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

- Μοριακό κλάσμα $y_A = \frac{mol_A}{mol_m}$
- Κλάσμα μάζας $x_A = \frac{μάζα_A}{μάζα_m} = \frac{m_A}{m_m}$
- Κλάσμα όγκου $v_A = \frac{όγκος_A}{όγκος_m} = \frac{V_A}{V_m}$

Ένα μίγμα αερίων έχει σύσταση (κατά μάζα): O₂ 16%, CO 4%, CO₂ 17%, N₂ 63%.

- Μοριακό κλάσμα (y) των επιμέρους αερίων =?
- Κλάσμα όγκου (v) των επιμέρους αερίων =?

Διαστάσεις - Μονάδες

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ

- Μάζα ανα μονάδα όγκου
- Moles ανα μονάδα όγκου
- Κλάσμα μάζας
- Γραμμομοριακό κλάσμα
- ppm / ppb

Διαστάσεις - Μονάδες

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ

- Πυκνότητα = μάζα/όγκος
- Ειδικός όγκος = $1/\text{πυκνότητα}$
- Ειδικό βάρος = πυκνότητα μιας ουσίας/πυκνότητα ουσίας αναφοράς
- Φαινόμενη πυκνότητα = ολική μάζα στερεών/ολικός όγκος κενού χώρου

Διαστάσεις - Μονάδες

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

$$\frac{10 \text{ meters}}{1 \text{ sees}} \times \frac{60 \text{ sees}}{1 \text{ min}} = \frac{600 \text{ meters}}{1 \text{ min}}$$

$$\frac{600 \text{ meters}}{1 \text{ min}} \times \frac{60 \text{ mins}}{1 \text{ hour}} = \frac{36,000 \text{ meters}}{1 \text{ hour}}$$

$$\frac{36,000 \text{ meters}}{1 \text{ hour}} \times \frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ meters}} = \frac{36 \text{ km}}{1 \text{ hour}}$$

Starting amount	Equal amounts	End Amount
24 inches	1 foot	= feet
	12 inches	
24 inches	1 foot	= 2 feet
	12 inches	

Ισοζύγια Μάζας

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ

Κατανόηση των:

- Έννοια ισοζυγίων μάζας
- Ανοιχτό-κλειστό σύστημα
- Μόνιμη – μη μόνιμη κατάσταση
- Ανάπτυξη στρατηγικής για επίλυση προβλημάτων ισοζυγίων μάζας

Ισοζύγια Μάζας

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ

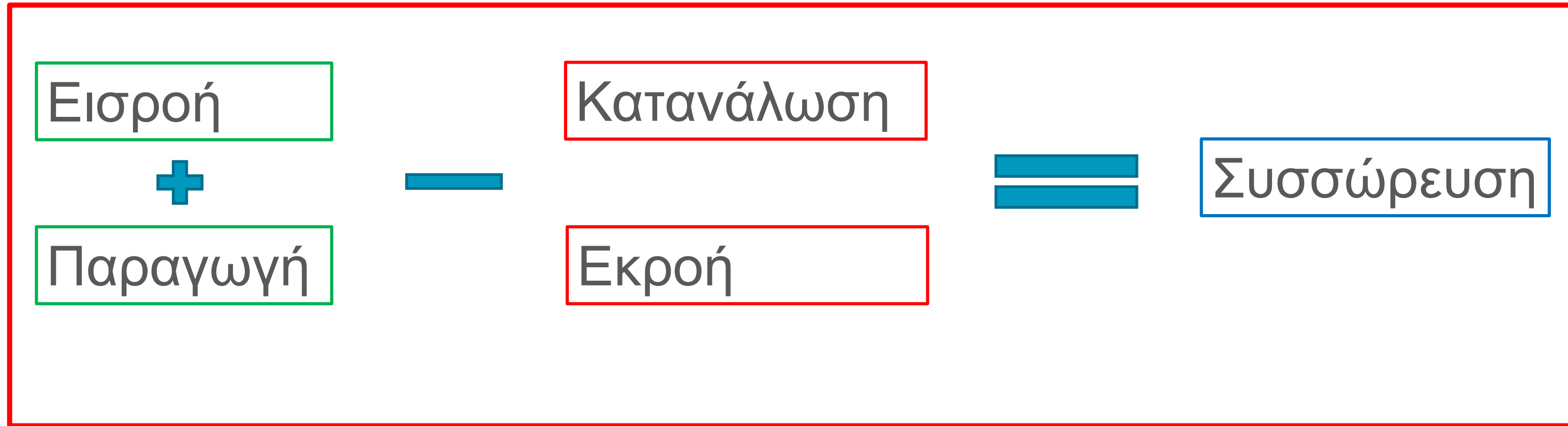
- Βάση: Αρχή διατήρησης μάζας (+ ενέργειας)
- Αρχή Lavoisier: Μάζα (+Ενέργεια) δεν δημιουργείται ούτε καταστρέφεται
- Δεν υπάρχει απόδειξη:
**η απόδειξη είναι αρνητικής μορφής, ήτοι:
δεν υπάρχει διεργασία που να παραβιάζει την αρχή αυτή.
Διεργασία = φυσική ή χημική αλλαγή σε κάποιο υλικό.**

Ισοζύγια Μάζας

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ

- Εφαρμογή διατήρησης μάζας = Ισοζύγιο υλικών – μάζας
- Ισοζύγιο ποσοτήτων που διέρχονται (ρέουν) σε ένα σύστημα και υφίστανται (φυσικές – χημικές) αλλαγές (διεργασίες)
- Απλό ισοζύγιο: Εισερχόμενα = Εξερχόμενα
 - χωρίς χημικές αντιδράσεις
 - με σταθερές Ροές
- Ισοζύγιο με αντίδραση: εισερχόμενα-εξερχόμενα + παραγωγή – κατανάλωση = 0 (σε σταθερή κατάσταση)

Γενικό Ισοζύγιο Μάζας



→ Σε μόνιμη κατάσταση ο όρος συσσώρευσης είναι μηδενικός

$$\boxed{\text{ΕΙΣΡΟΗ}} + \boxed{\text{ΠΑΡΑΓΩΓΗ}} - \boxed{\text{ΕΚΡΟΗ}} - \boxed{\text{ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ}} = 0$$

→ Χωρίς χημική αντίδραση οι όροι παραγωγής και κατανάλωσης είναι μηδενικοί.

$$\boxed{\text{ΕΙΣΡΟΗ}} - \boxed{\text{ΕΚΡΟΗ}} = \boxed{\text{ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ}}$$

■ Ιδιαίτερα, σε μόνιμη κατάσταση ισχύει:

$$\boxed{\text{ΕΙΣΡΟΗ}} = \boxed{\text{ΕΚΡΟΗ}}$$

Ισοζύγια Μάζας

ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Διεργασίες

- Ασυνεχείς (διαλείποντος) / ημιδιαλείποντος (ημισυνεχείς) έργου/ συνεχείς
- Μόνιμη κατάσταση (Steady State, SS)
 - Οι μεταβλητές δεν μεταβάλλονται με το χρόνο/ σύστημα σε ισορροπία
- Μη μόνιμη κατάσταση (Unsteady State, US)
 - Μεταβολή με το χρόνο

Ισοζύγια Μάζας

ΟΡΟΛΟΓΙΑ

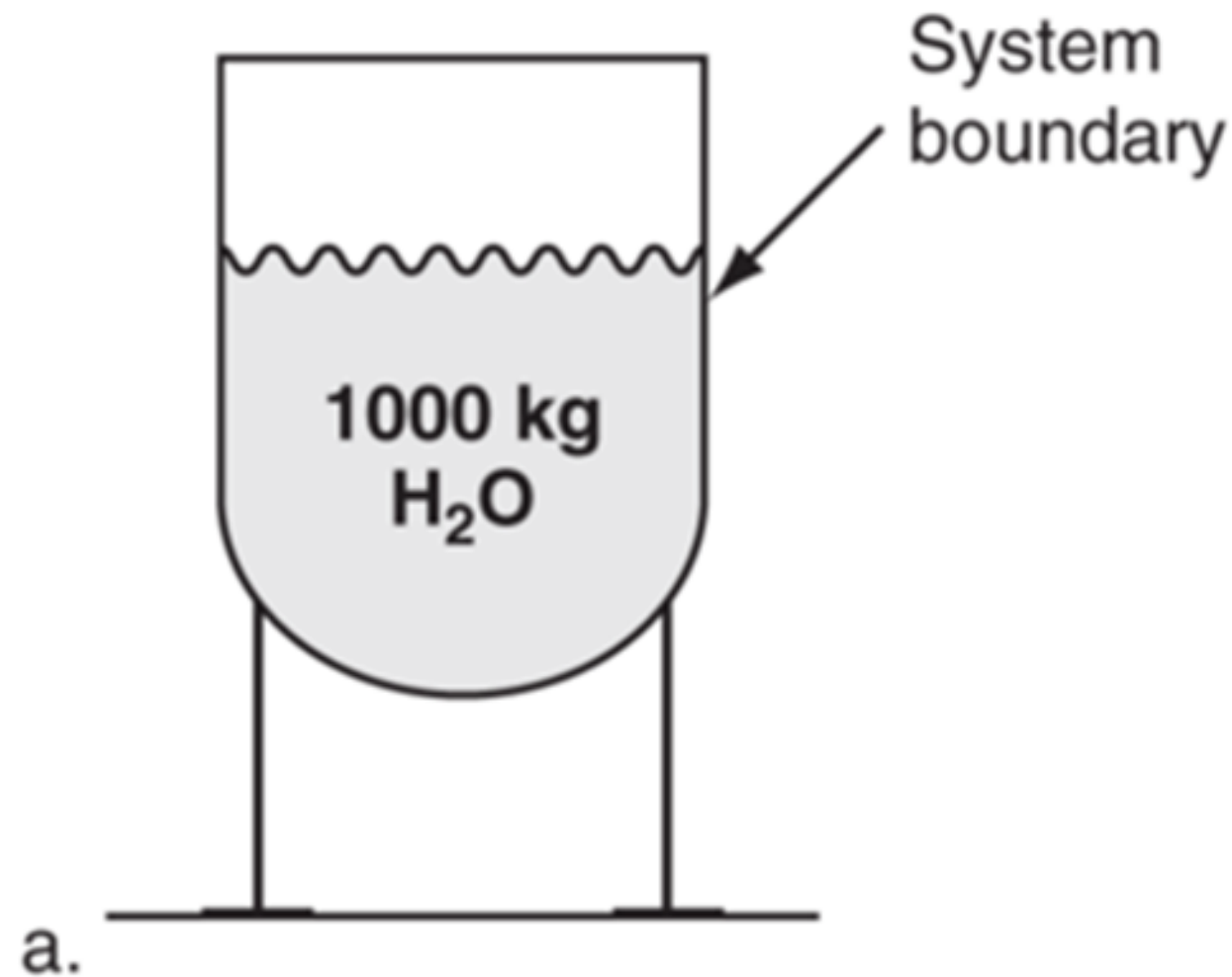
Ισοζύγια μάζας

- **Σύστημα:** Τμήμα διεργασίας ή όλη η διεργασία που επιλέγεται (αυθαίρετα) για ανάλυση. Ένας αντιδραστήρας, ένα σημείο ανάμιξης κλπ
- **Όρια συστήματος:** Νοητά όρια που περικλείουν το υπό εξέταση σύστημα
- **Ανοικτό σύστημα:** Υπάρχει ροή μάζας δια μέσου των ορίων του συστήματος (εισροή, εκροή)
- **Κλειστό σύστημα:** Δεν υπάρχει ροή μάζας δια μέσου των ορίων

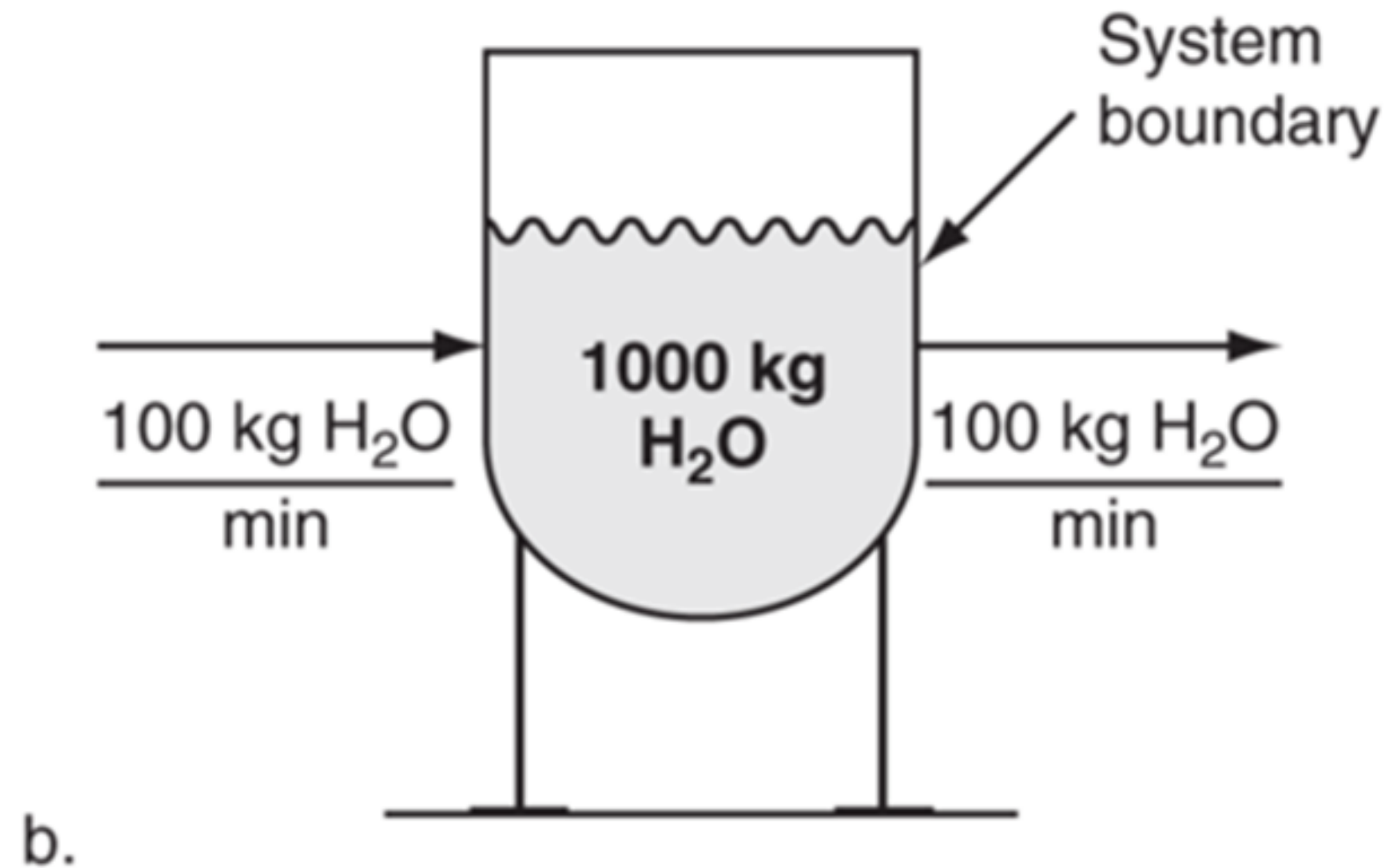
Ισοζύγια Μάζας

ΚΛΕΙΣΤΟ / ΑΝΟΙΧΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Closed system: No material enters or leaves the system

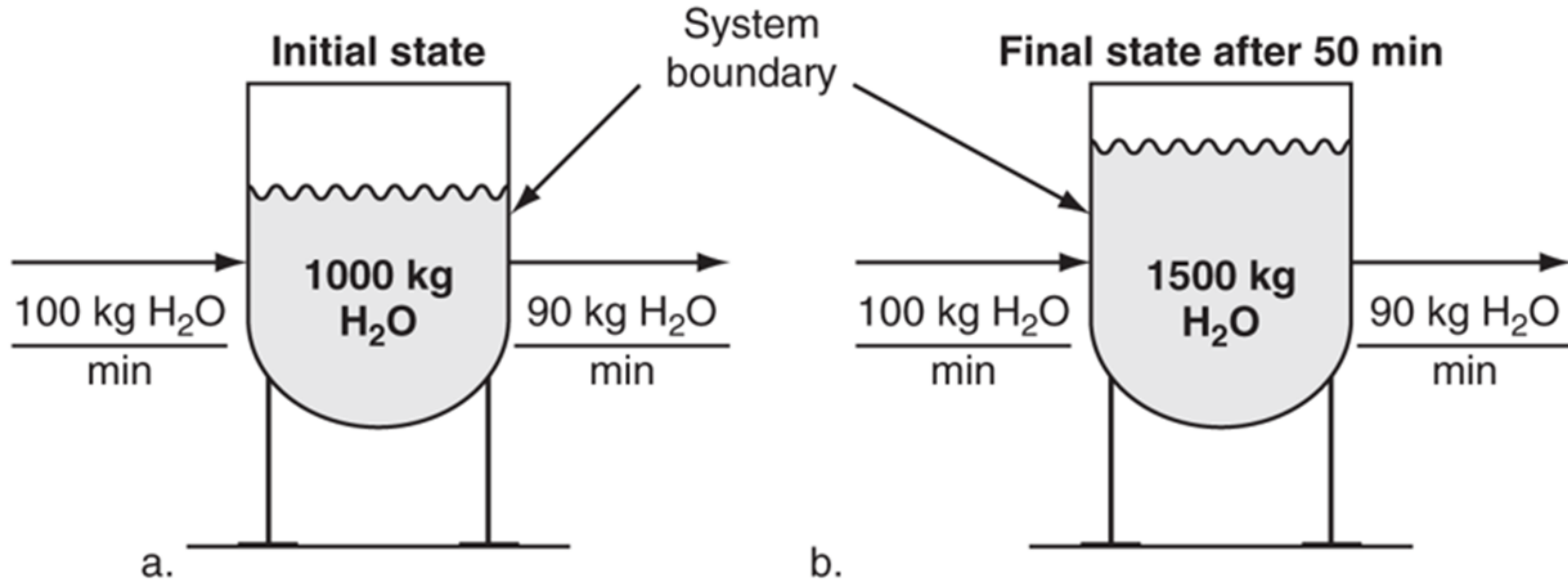


Open system (also called a flow system): Material enters and leaves the system



Ισοζύγια Μάζας

ΣΤΑΘΕΡΗΣ / ΑΣΤΑΘΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ



Ισοζύγια Μάζας

ΟΡΟΛΟΓΙΑ – ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Μεταβλητές διεργασίας

Οι εντατικές μεταβλητές (ή εντατικές ιδιότητες) είναι ανεξάρτητες από το μέγεθος και την ποσότητα

- Θερμοκρασία
- Πίεση
- Πυκνότητα
- Συγκέντρωση
- Σύσταση (κλάσμα βάρους, μοριακό κλάσμα)

Οι εκτατικές μεταβλητές εξαρτώνται από την ποσότητα

- Μάζα
- Όγκος
- Ρυθμός ροής

Ισοζύγια Μάζας

ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ

- Βαθμοί ελευθερίας = Άγνωστοι – Ανεξάρτητες εξισώσεις
- $Df > 0$ τότε χρειαζόμαστε και άλλες εξισώσεις (υπο-καθορισμένο)
- $Df < 0$ τότε το σύστημα είναι υπερ-καθορισμένο, υπάρχουν συνήθως πολλές λύσεις
- $Df = 0$ μονοσήμαντη λύση

$$Df = na - neq$$

Ισοζύγια Μάζας

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

- Ισοζύγια μάζας
- Χαρακτηριστικά διεργασίας (πχ αναλογίες μαζών ή ροών)
- Φυσικοί περιορισμοί (πχ κλάσματα μάζας αθροίζονται στη μονάδα)
- Στοιχειομετρικές σχέσεις
- Καταστατικές σχέσεις (πχ νόμος ιδανικών αερίων κτλ)

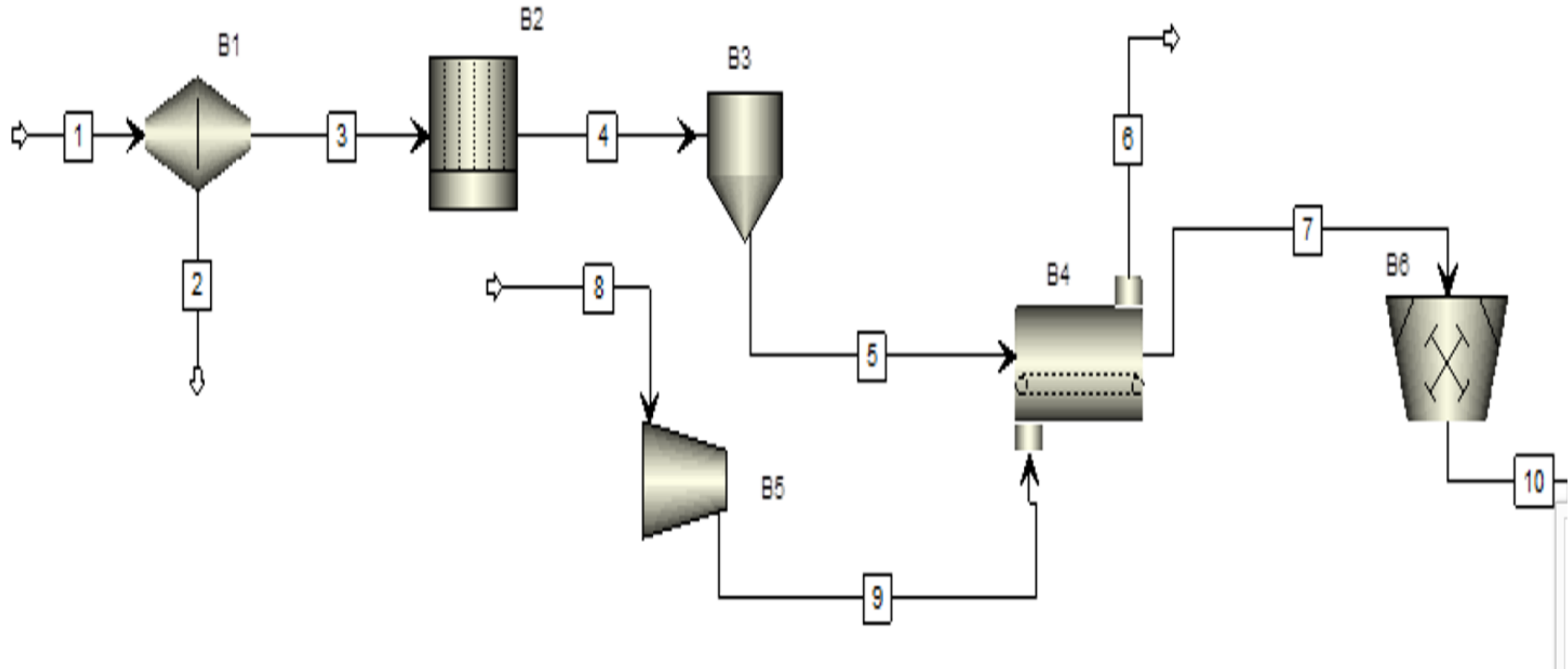
Ισοζύγια Μάζας

ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ

- Τοποθέτηση των τιμών των γνωστών μεταβλητών στο διάγραμμα ροής (ροές, συστάσεις)
- Έλεγχος Df, αν >0 πρέπει να βρεθεί και άλλη εξίσωση
- Σε μια διεργασία χωρίς χημική εξίσωση μπορούν να γραφούν τόσα ανεξάρτητα ισοζύγια μάζας όσα είναι και τα συστατικά που συμμετέχουν στη διεργασία
- Τα ισοζύγια μάζας αφορούν ροές μάζας ή mol
- Μετατροπές: (Όγκος \leftrightarrow Μάζα \leftrightarrow mol)
- Αν έχουμε κλάσματα μάζας και μοριακά κλάσματα τα μετατρέπουμε όλα σε κοινή βάση
- Ξεκινάμε από την επίλυση εξισώσεων με ένα άγνωστο

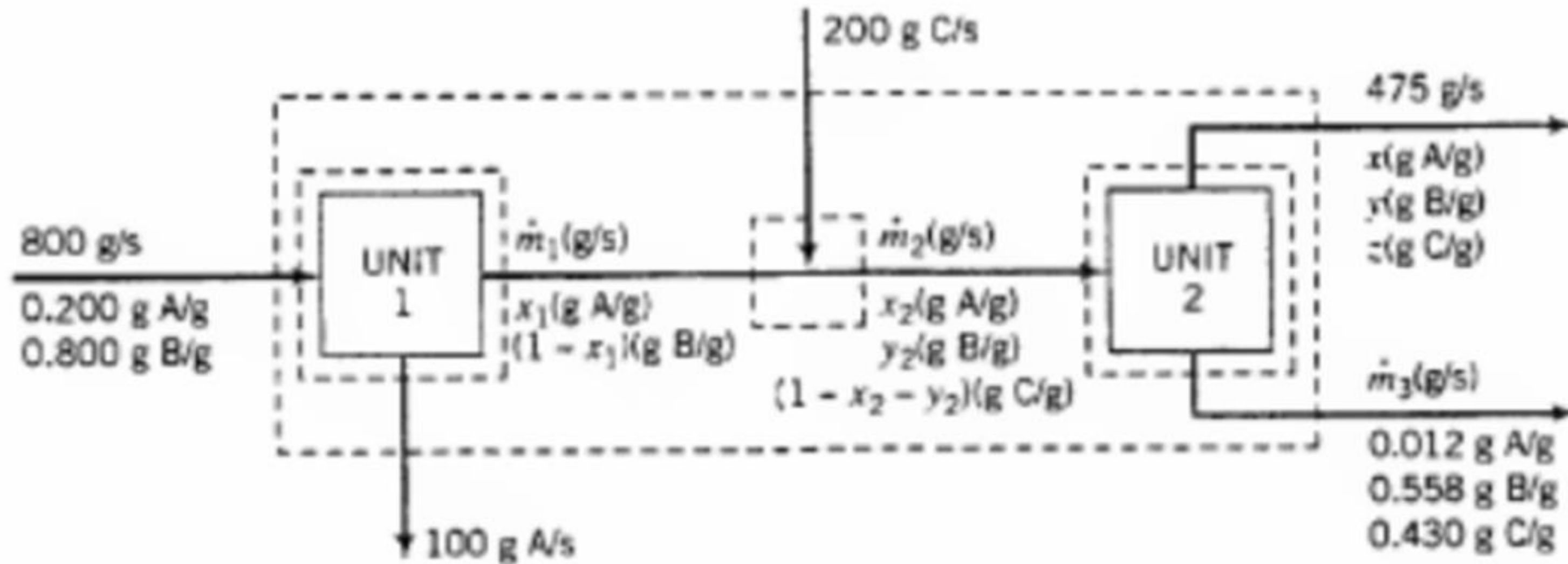
Ισοζύγια Μάζας

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ



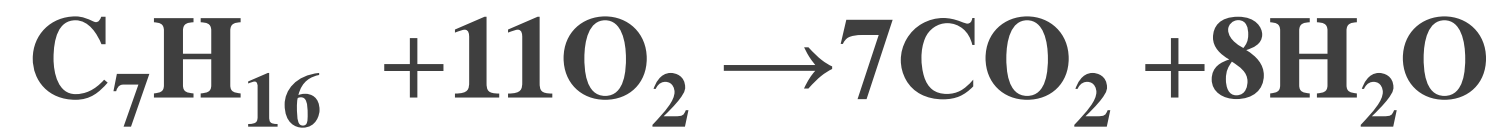
Ισοζύγια Μάζας

ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



Ισοζύγια Μάζας

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΑΣ



- 1 gmol C_7H_{16} αντιδρά με 11 gmoles O_2 και παράγονται 7 gmoles CO_2 και 8 gmoles H_2O
- Συνολικά, από 12 gmoles \rightarrow παράγονται 15 gmoles
- Αντίστοιχα 1×100 g C_7H_{16} αντιδρούν με $11 \times 32 = 352$ g O_2 και παράγονται $7 \times 44 = 308$ g CO_2 και $8 \times 18 = 144$ g H_2O
- Συνολικά, από 452 g αντιδρώντων παράγονται 452 g προϊόντων

Ισοζύγια Μάζας

ΟΡΙΣΜΟΙ-ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΑΣ

- Περιοριστικό αντιδρών: το αντιδρών σε ποσότητα μικρότερη της στοιχειομετρικής
- Αντιδρών σε περίσσεια: αντιδρών σε ποσότητα μεγαλύτερη από το περιοριστικό
- % περίσσεια: mol συστατικού i σε περίσσεια/mol i που απαιτούνται από το περιοριστικό αντιδρών, πχ 10% περίσσεια αέρος στην καύση σημαίνει 10% επιπλέον του στοιχειομετρικά απαιτούμενου=1,1x(στοιχειομετρικού).

Ισοζύγια Μάζας

ΟΡΙΣΜΟΙ-ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΑΣ

- **Βαθμός μετατροπής:** % ή κλάσμα τροφοδοσίας που μετατρέπεται σε προϊόν-π.χ. 25% β. μ. =25 mol συστατικού A από τα 100 σύνολο μετατρέπονται σε προϊόν B (αντίδραση $A \rightarrow B$)
- **Εκλεκτικότητα:** επιθυμητού προϊόντος ως προς το σύνολο των προϊόντων ή κάποιου άλλου προϊόντος
- **Απόδοση:** Βάρος προϊόντος/αρχικό βάρος αντιδρώντος

Ισοζύγια Μάζας

ΕΚΤΑΣΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ

- Για μια ένωση ή στοιχείο που συμμετέχει σε μια χημική αντίδραση ισχύει:

$$n_i = n_{i,0} + N_i * \xi$$

Όπου n_i : mol της ένωσης στο τέλος της αντίδρασης

$n_{i,0}$: mol της ενώσης πριν την αντίδραση

ξ : η έκταση της αντίδρασης (mol)

N_i : συντελεστής στοιχειομετρίας της αντίδρασης για το συστατικό n_i

- Η έκταση της αντίδρασης ξ (mol) λαμβάνει θετικές τιμές για τα προϊόντα και αρνητικές τιμές για τα αντιδρώντα.

Ισοζύγια Μάζας

ΙΣΟΤΗΤΑ ΕΙΣΕΡΧ./ΕΞΕΡΧ. ΥΛΙΚΩΝ (ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ)

Τύπος Ισοζυγίου	Χωρίς Χημική Αντίδραση	Με Χημική Αντίδραση
Ολικό Ισοζύγιο Μάζας	Ναι	Ναι
Ολικό Ισοζύγιο mol	Ναι	Όχι
Μερικό ισοζύγιο Μάζας ένωσης	Ναι	Όχι
Μερικό ισοζύγιο mol ένωσης	Ναι	Όχι
Μερικό ισοζύγιο μάζας ατόμων στοιχείου	Ναι	Ναι
Μερικό ισοζύγιο mol ατόμων στοιχείου	Ναι	Ναι

Ισοζύγια Μάζας

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

- Βασικά απαιτούμενα στοιχεία (παράμετροι –άγνωστοι του προβλήματος)
 - Μάζα ρευμάτων (στην είσοδο-έξοδο και μέσα στο σύστημα): 1 άγνωστος
 - Σύσταση ρευμάτων (εισ.-εξ. και μέσα στο σύστημα) (n άγνωστοι=αριθμός συστατικών)
- Παρουσία χημικής αντίδρασης, απαιτείται και:
 - εξίσωση της αντίδρασης
 - βαθμός μετατροπής
- Καθορισμός συστήματος
- Καθορισμός τρόπου λειτουργίας συστήματος:
 - συνεχούς λειτουργίας
 - διαλείποντος έργου (ασυνεχούς λειτουργίας)

Άρα κάθε ρεύμα μάζας χαρακτηρίζεται από $n+1$ αγνώστους

Ισοζύγια Μάζας

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Για κάθε σύστημα:

- Ένα ολικό ισοζύγιο μάζας, (1 εξίσωση)
- Ένα μερικό ισοζύγιο μάζας για κάθε συστατικό, (n εξισώσεις)
- $n+1$ εξισώσεις/σύστημα

Για ένα σύστημα n συστατικών έχουμε:

- $n+1$ εξισώσεις ισοζυγίων Μάζας (1 ολικό + n μερικά)
- Οι n είναι ανεξάρτητες
- Ο βαθμός ελευθερίας των ανεξαρτήτων εξισώσεων είναι $n =$ αριθμό συστατικών
- Σε κάθε πρόβλημα πρέπει: αριθμός εξισώσεων = αριθμό αγνώστων
- Η λύση γίνεται με χρήση οιουδήποτε από τα ολικά και μερικά ισοζύγια

*Παρουσία χημικής αντίδρασης μπορεί να γραφεί το ολικό
I.M. και I.M. για κάθε ατομικό στοιχείο ή ένωση*

Ισοζύγια Μάζας

ΣΥΝΘΕΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ ΜΑΖΑΣ

Για κάθε σύστημα:

- Γράφονται τα ισοζύγια μάζας-(ολικό-μερικά), για κάθε συσκευή, για κάθε κόμβο και για όλη τη διεργασία
- Χρήση συμβόλων για τις άγνωστες ποσότητες
- Κάθε άγνωστος να αντιστοιχεί σε μια εξίσωση → μία λύση του προβλήματος
- Προσδιορισμός των ανεξαρτήτων εξισώσεων

Ισοζύγια Μάζας

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΜΕ ΣΥΝΔΕΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ

Για κάθε σύστημα:

- Συνδετικό συστατικό: το υλικό που περνά μεταξύ ρευμάτων ή διεργασιών χωρίς ποσοτική ή ποιοτική αλλαγή
- Παράδειγμα το N_2 του αέρα στην καύση
- Η χρήση του συνδετικού συστατικού διευκολύνει συχνά τα ΙΜ
- Διαίρεση ρευμάτων σε περισσότερα χωρίς παρεμβολή εξοπλισμού διαχωρισμού: τα ρεύματα έχουν την ίδια σύσταση
- Διαίρεση ρευμάτων σε περισσότερα με παρεμβολή εξοπλισμού διαχωρισμού: τα ρεύματα έχουν διαφορετική σύσταση
- Ανάμιξη ρευμάτων: το νέο ρεύμα έχει διαφορετική σύσταση

Ισοζύγια Μάζας

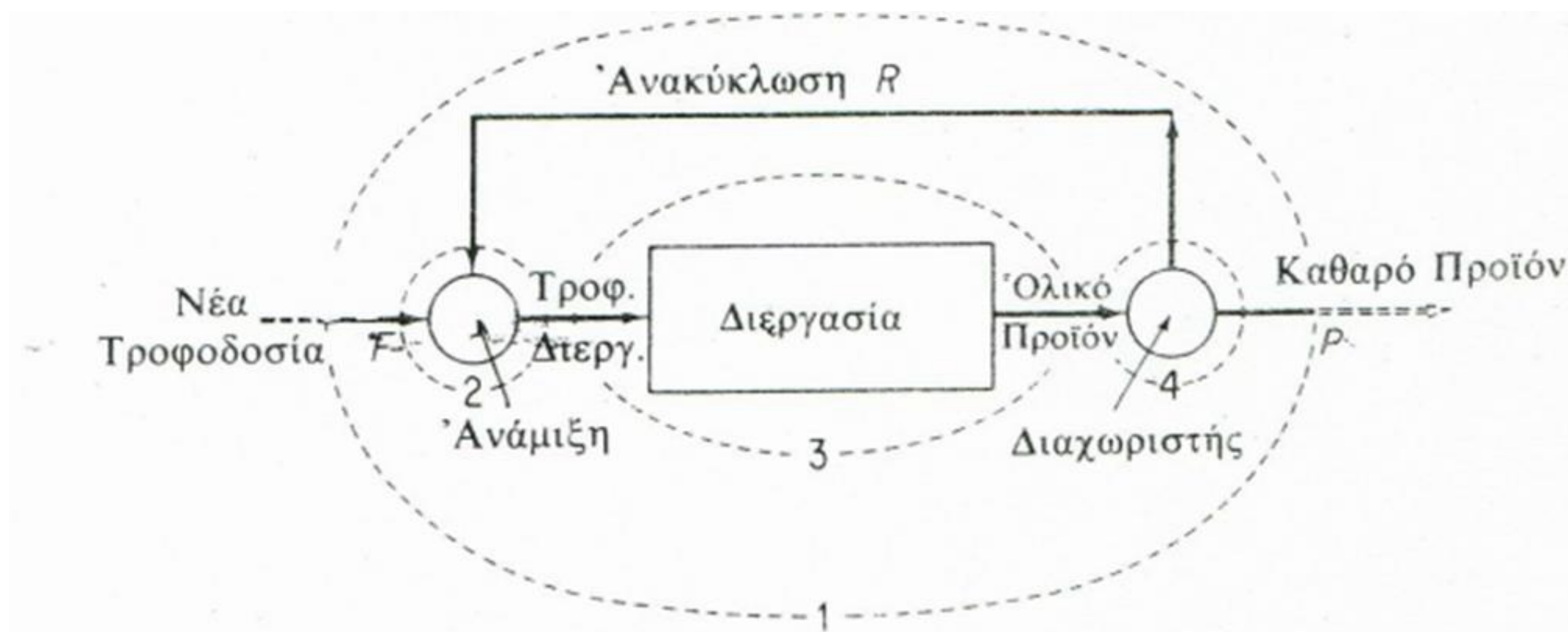
ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Για κάθε σύστημα:

- Ένα μέρος του προϊόντος επαναδιοχετεύεται στην τροφοδοσία
- Μπορεί να υπάρξει διαχωρισμός ή μη του προϊόντος το οποίο επιστρέφει καθαρό ή μη, και αναμιγνύεται με την φρέσκια τροφοδοσία

Παραδείγματα:

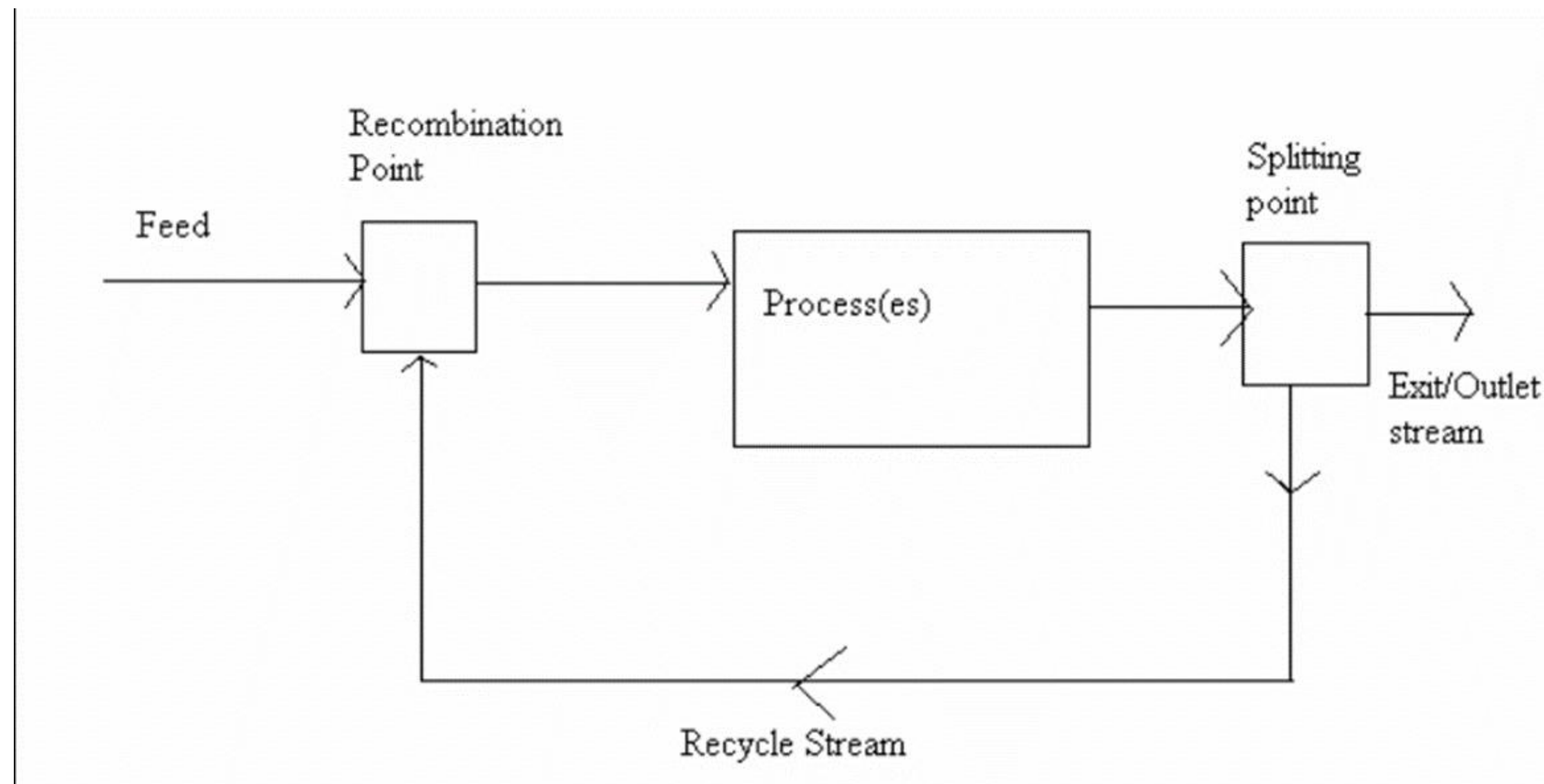
- Χημικές αντιδράσεις για αύξηση της απόδοσης
- Στήλες απόσταξης για έλεγχο των συνθηκών και ποιότητας του προϊόντος



Ισοζύγια Μάζας

ΡΕΥΜΑΤΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

- Χρειάζεται ξεχωριστό ισοζύγιο μάζας στο σημείο ανακύκλωσης (διαχωρισμό με προϊόν ή και ανάμειξη με τροφοδοσία)
- Οι ιδιότητές του ρεύματος ανακύκλωσης δεν προκύπτουν από το συνολικό ισοζύγιο



Ισοζύγια Μάζας

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

- Σε διεργασίες σε μόνιμη κατάσταση – όχι απώλεια ή συσσώρευση υλικού

Ισοζύγια που μπορούν να γίνουν:

1. Ένα για ολόκληρη τη διεργασία, 1
2. Ανάμιξη, 2
3. Διαχωρισμός, 4
4. Μόνο διεργασία, 3

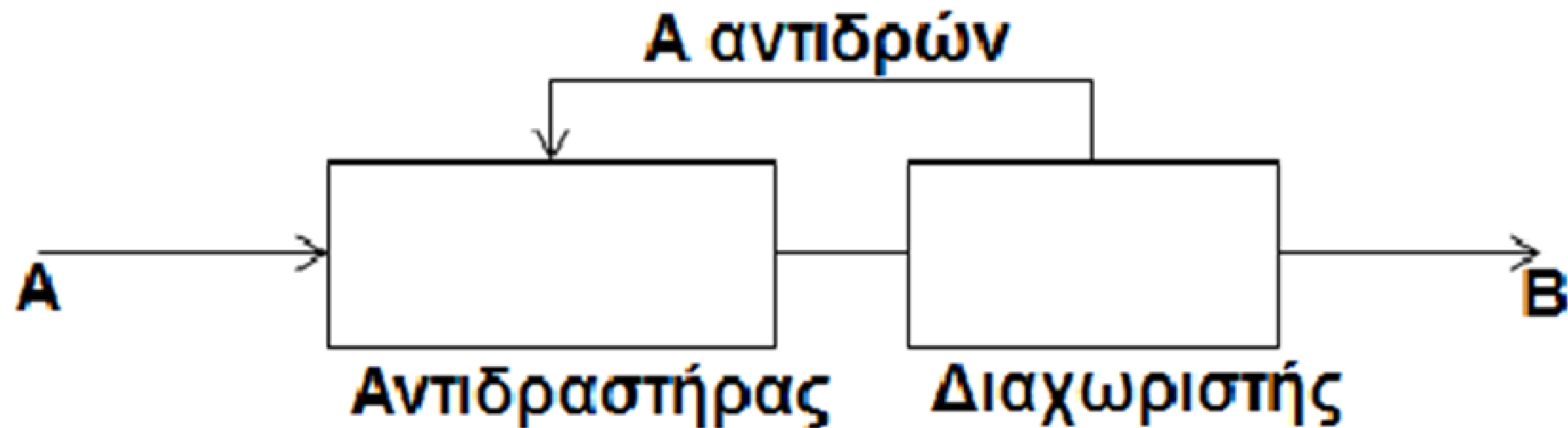
Μόνο τα 3 είναι ανεξάρτητα; Λύση κατά τα γνωστά



Ισοζύγια Μάζας

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

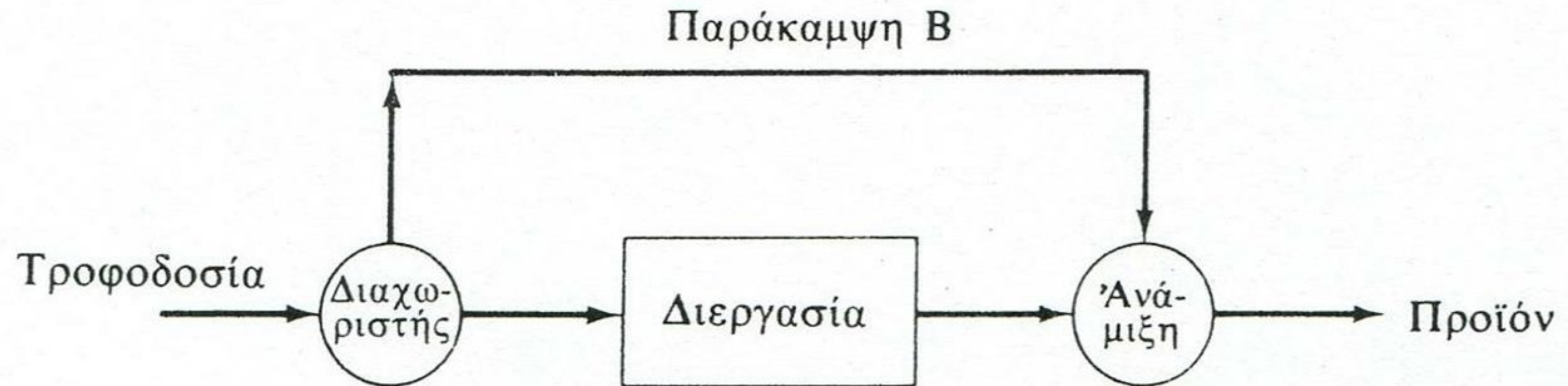
- Παράδειγμα: κλασικό σε χημικούς αντιδραστήρες: ανακυκλώνεται το αντιδρών που δεν αντέδρασε αφού διαχωριστεί από το προϊόν. Αντίδραση $A \rightarrow B$



Ισοζύγια Μάζας

ΠΑΡΑΚΑΜΨΗ

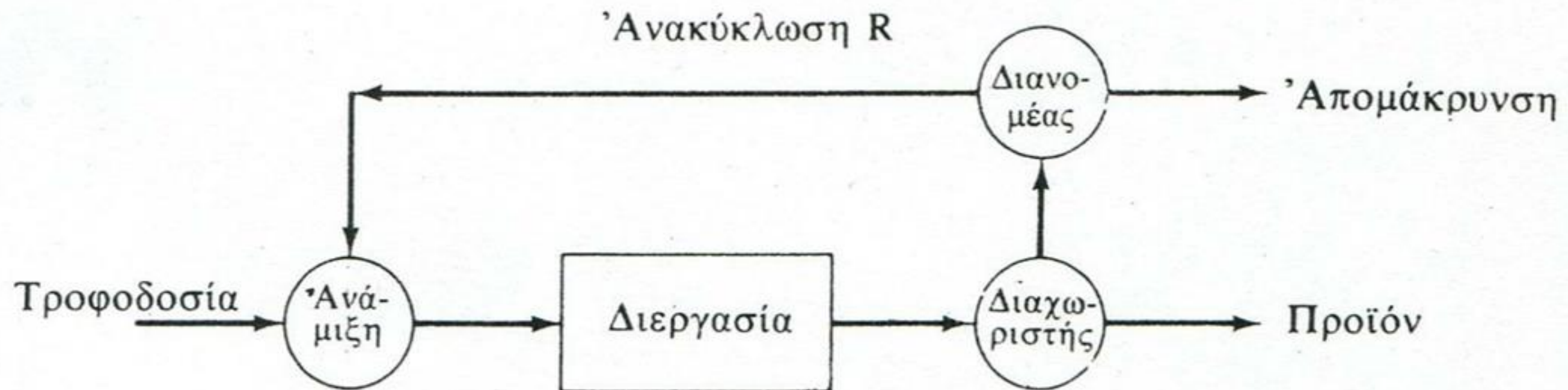
- Παράδειγμα: Παρακάμπτονται ένα ή περισσότερα στάδια της διεργασίας



Ισοζύγια Μάζας

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ

- Παράδειγμα: Για να αποφευχθεί συσσώρευση αδρανών ή ανεπιθύμητων συστατικών



Ισοζύγια Μάζας

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Παράδειγμα:

- Αντίδραση $A \rightarrow B + \Gamma$
- Ολικός βαθμός μετατροπής του A 90%
- Βαθμός μετατροπής στον αντιδραστήρα 45% (=10/200)

Στους χημικούς αντιδραστήρες θα πρέπει πάντα να δίδονται:

- Ο βαθμός μετατροπής
- Η στοιχειομετρία της αντίδρασης
- Το περιοριστικό αντιδρών

Ισοζύγια Μάζας

ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ

Όλα τα προηγούμενα σχήματα αντιμετωπίζονται καταστρώνοντας τα ισοζύγια μάζας και επιλύοντας, όπως και σε κάθε άλλο σύστημα.

Ισοζύγια Μάζας

ΕΠΙΛΥΣΗ ΙΣΟΖΥΓΙΩΝ - ΣΥΜΒΟΥΛΕΣ

- Διαβάστε και κατανοείστε την εκφώνηση
- Απεικονίστε σχηματικά τη διεργασία και καθορίστε τα όρια του συστήματος
- Ονομάστε τις άγνωστες μεταβλητές και τις τιμές των αγνώστων στο σχήμα
- Αποκτήστε τα απαιτούμενα δεδομένα που δεν αναφέρονται
- Επιλέξτε μια βάση υπολογισμού
- Προσδιορίστε τον αριθμό των αγνώστων
- Ανάλυση βαθμών ελευθερίας
- Διατυπώστε τις εξισώσεις που πρέπει να επιλυθούν
- Επίλυση εξισώσεων
- Έλεγχος απαντήσεων