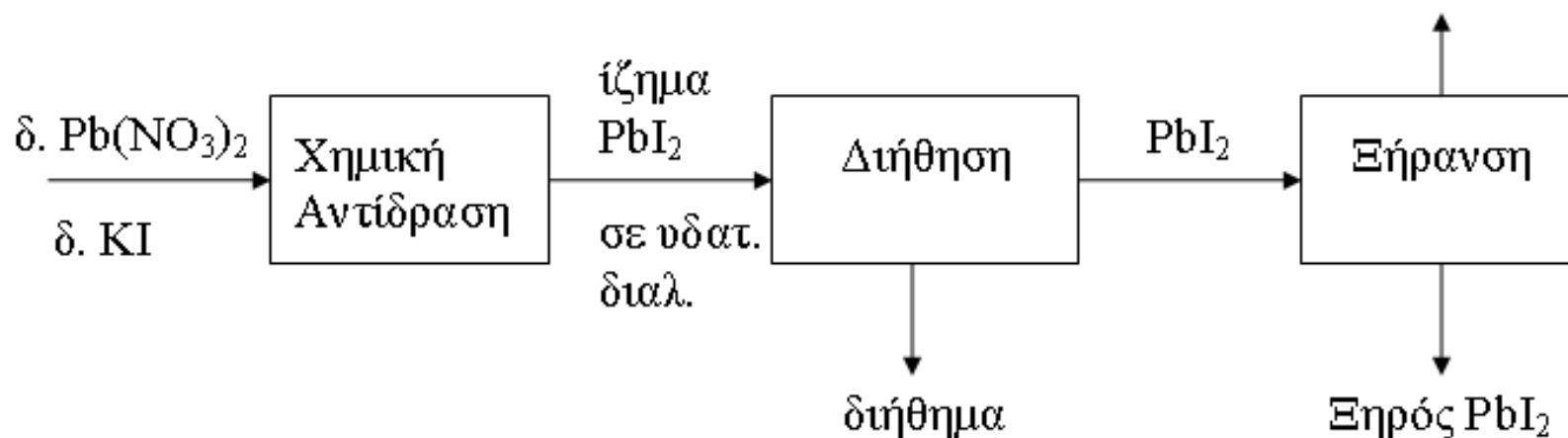


2. ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ (χωρίς αντίδραση)

ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ

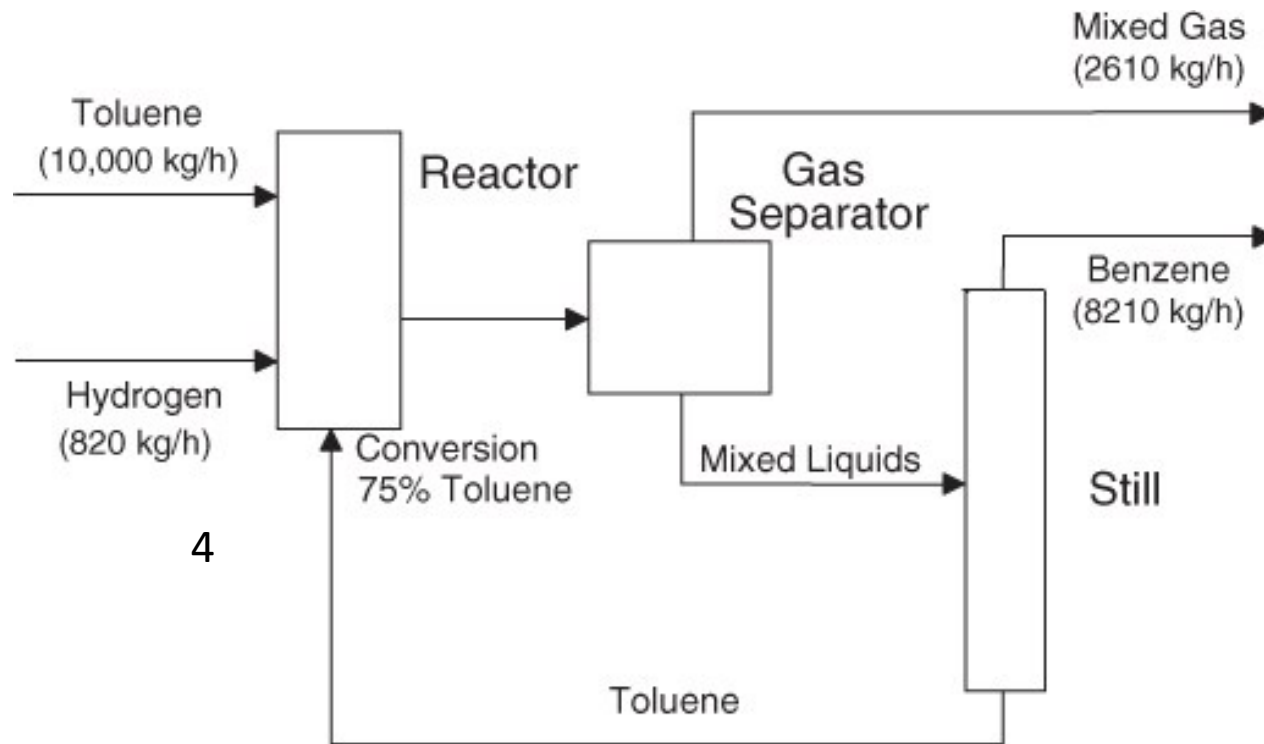
- **Διεργασία:** περιγράφει οποιαδήποτε μετατροπή της ύλης (φυσική ή χημική ή βιολογική)
- Στις διεργασίες περιγράφονται τα **εισερχόμενα** ρεύματα (**τροφοδοσία**) και **εξερχόμενα** ρεύματα (**προϊόντα**)
- **Διάγραμμα ροής διεργασίας (flowsheet)**
 - ❑ Προετοιμασία: Συμπύεση, θέρμανση, ψύξη, εξάτμιση, διάλυση
 - ❑ Αντιδράσεις: Καταλυτικοί (Ομογενείς-ετερογενείς), Βιοαντιδραστήρες
 - ❑ Διαχωρισμός: Απόσταξη, Εξάτμιση, Διάλυση, Κρυστάλλωση-Διήθηση

ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ – Διάγραμμα βαθμίδων



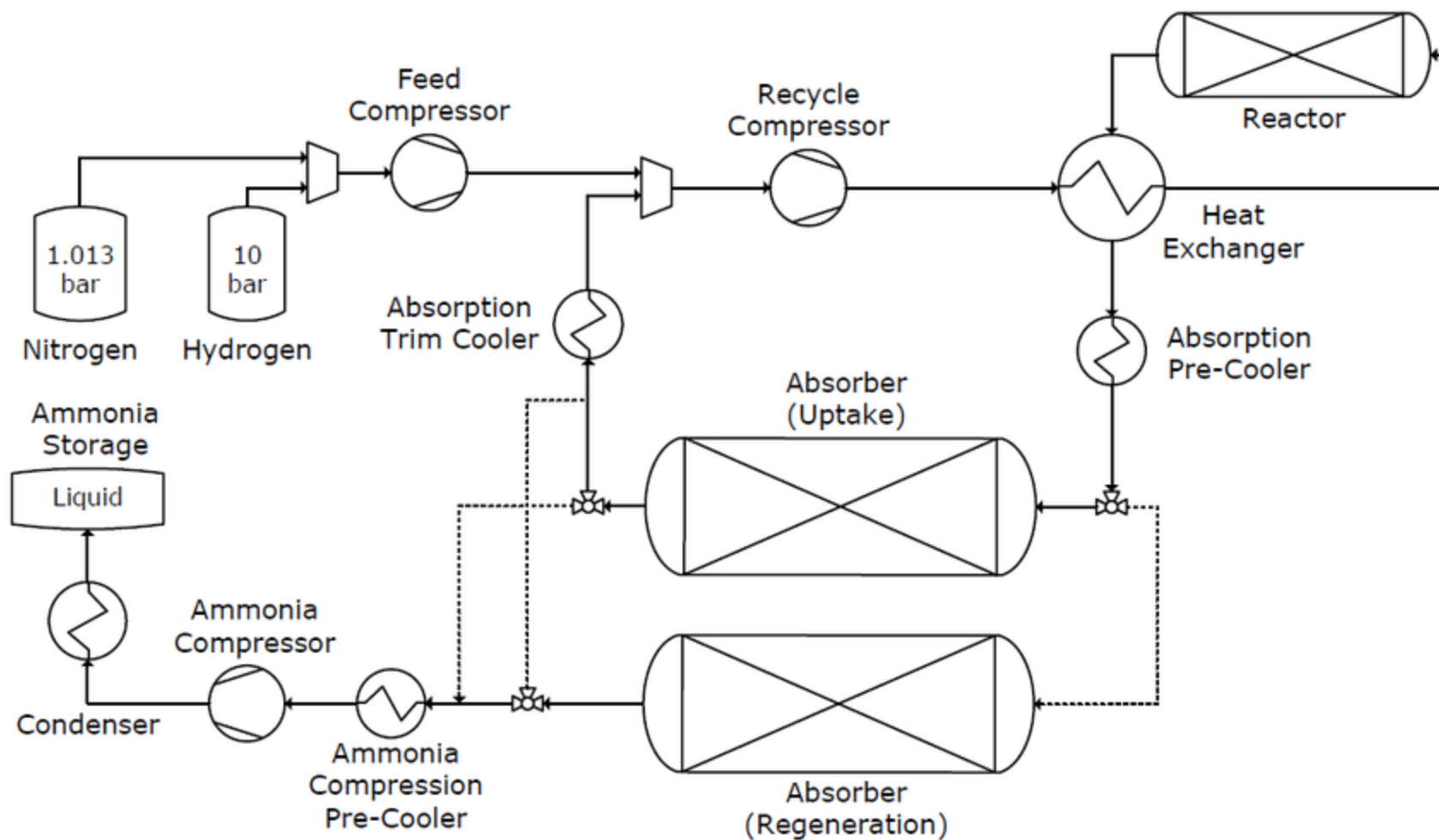
Διάγραμμα βαθμίδων-Block Diagram

ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ – Διάγραμμα βαθμίδων

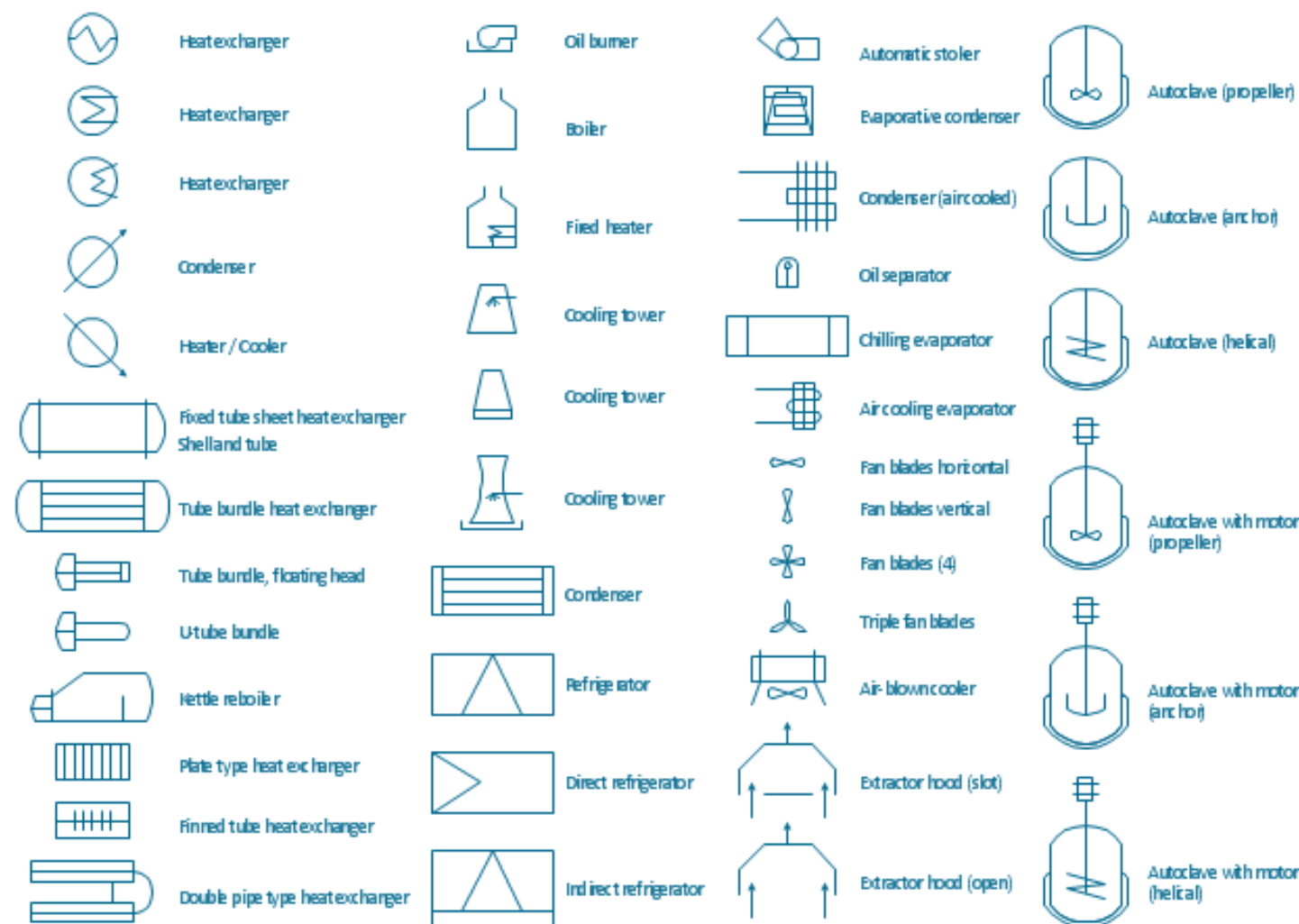


Διάγραμμα βαθμίδων-Block Diagram

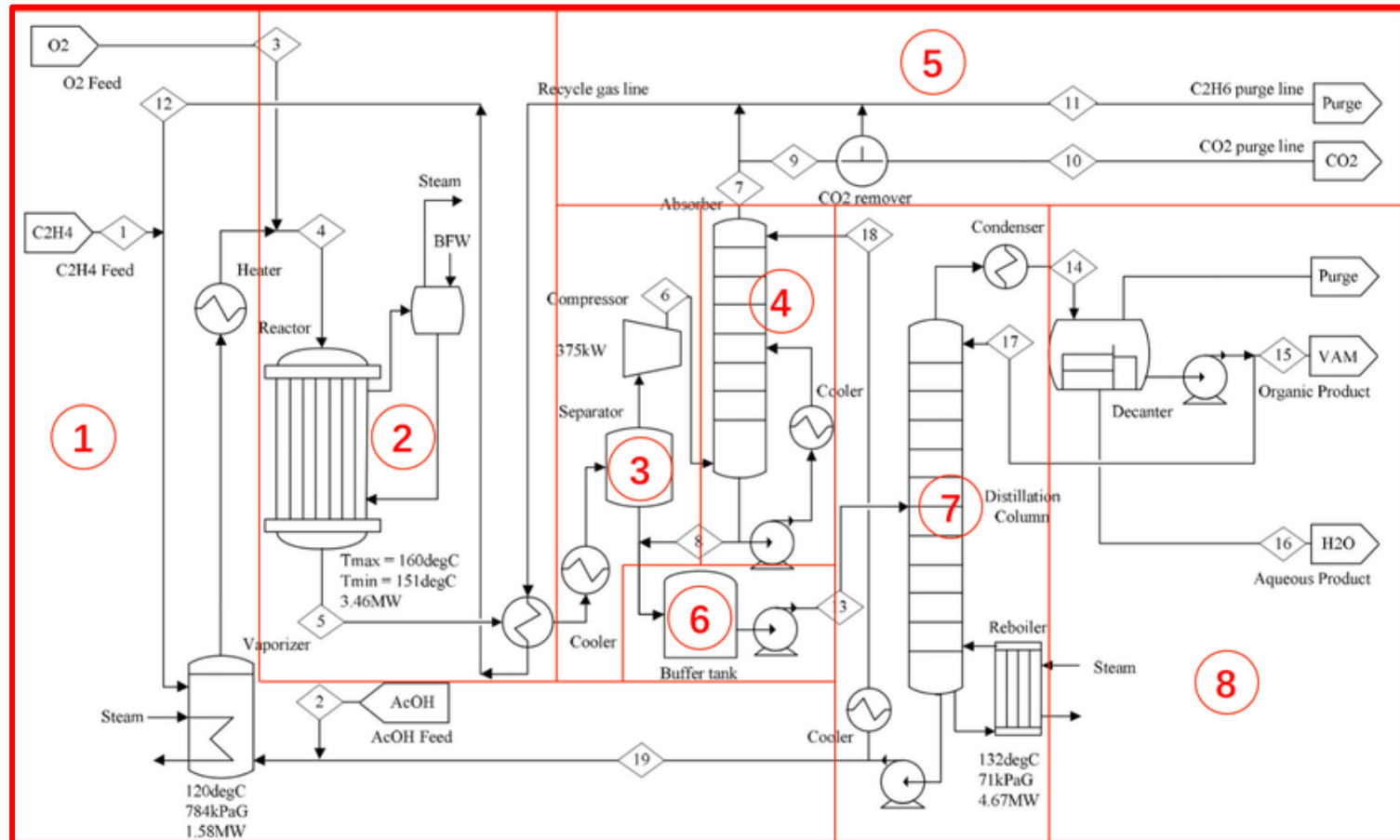
ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ – Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα ροής Διεργασίας – Process Flow Diagram



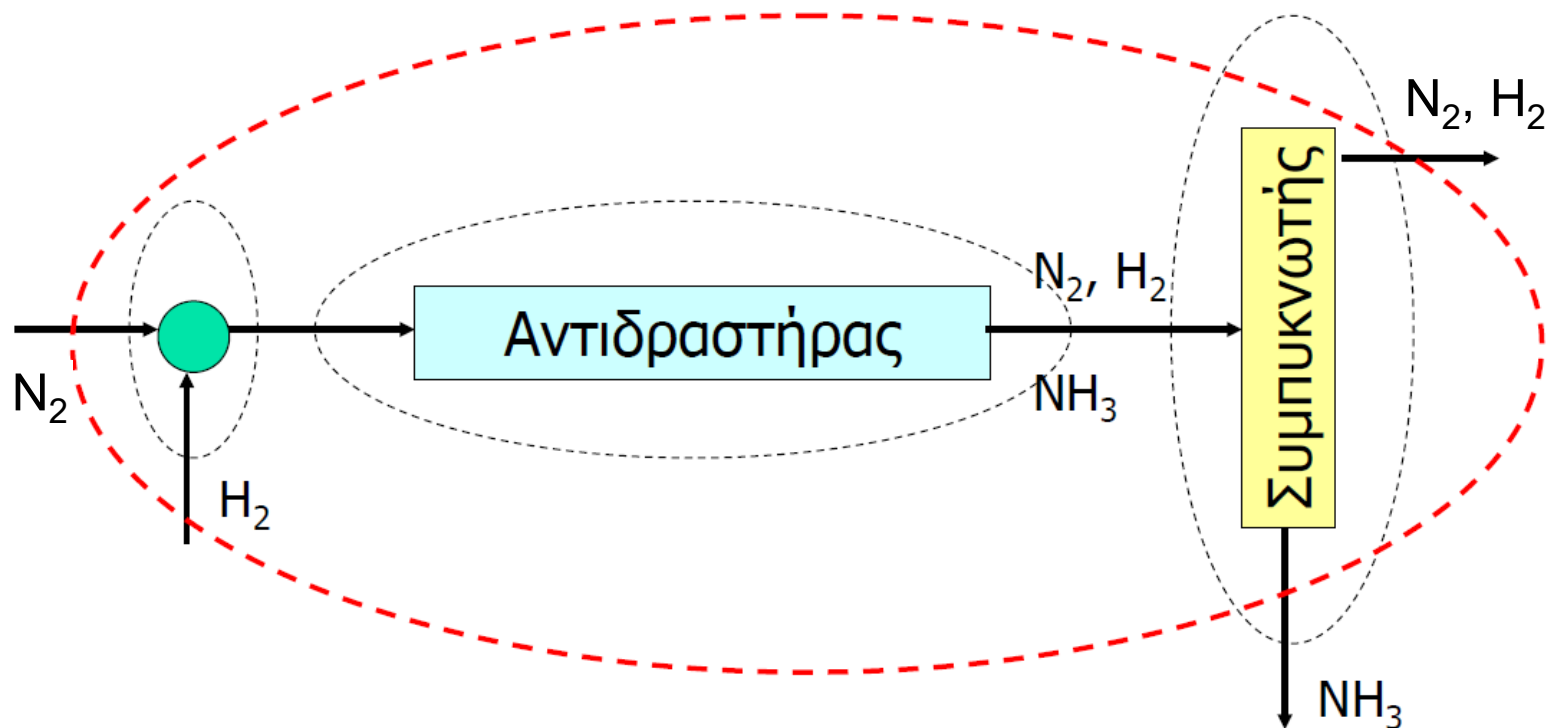
ΣΥΣΤΗΜΑ



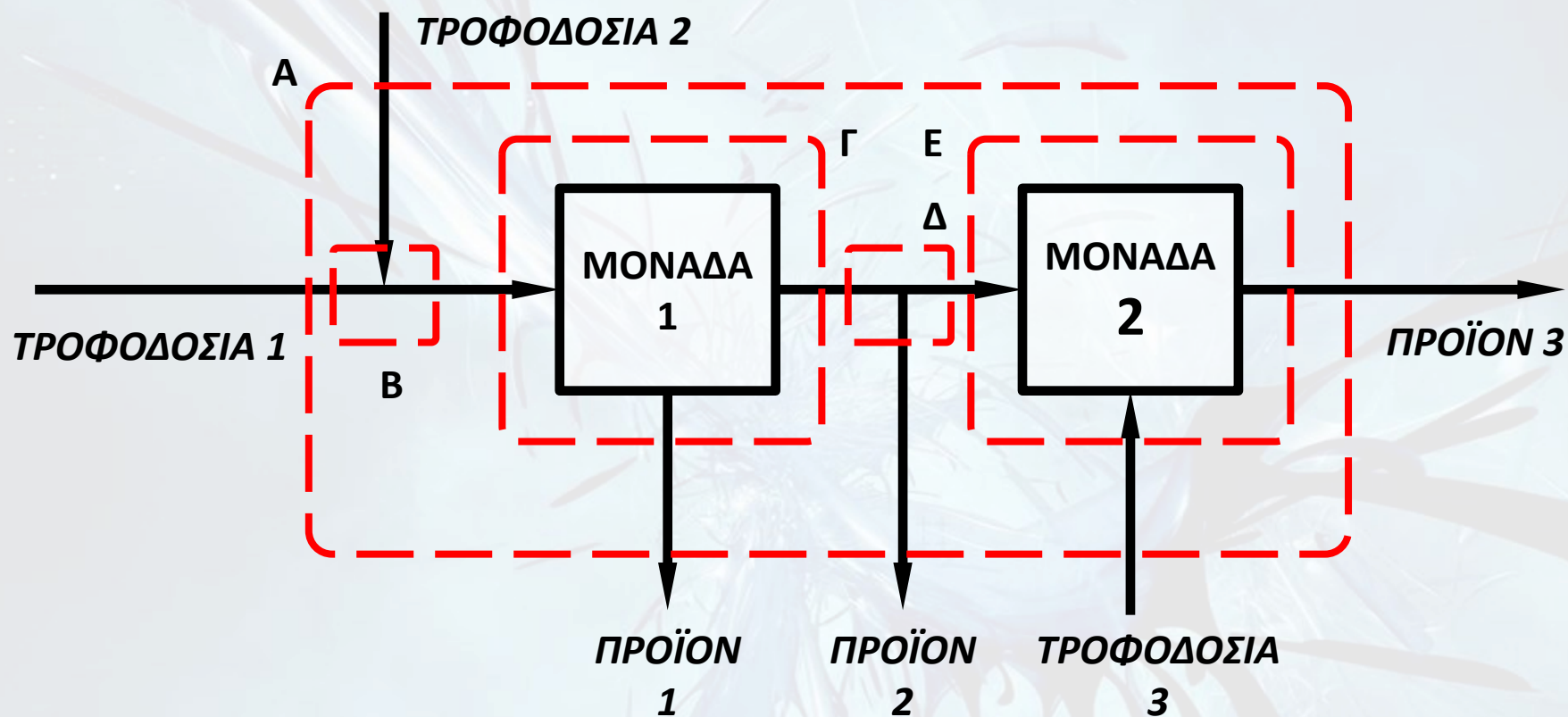
Γενικό Ισοζύγιο

- **ΣΥΣΤΗΜΑ:** 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 ύλης/ενέργειας δια μέσου των ορίων του συστήματος (εισροή, εκροή)
- **Κλειστό** σύστημα: Δεν υπάρχει ροή ύλης/ενέργειας δια μέσου των ορίων του συστήματος στο χρονικό διάστημα μελέτης του συστήματος.

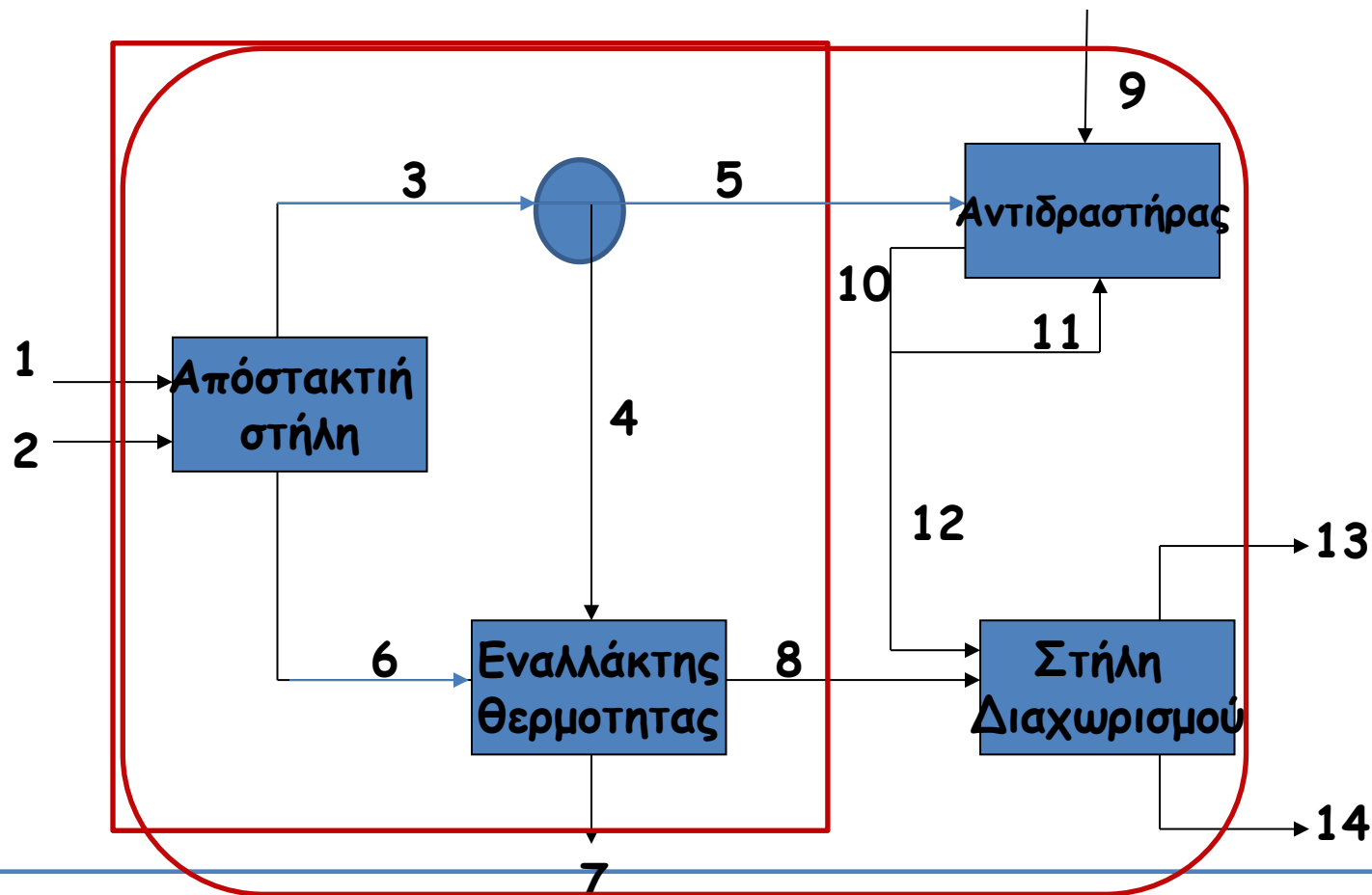
ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ - ΣΥΣΤΗΜΑ



ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

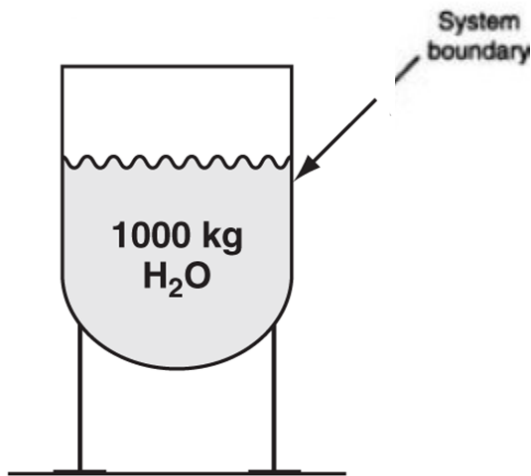


Γενικό Ισοζύγιο

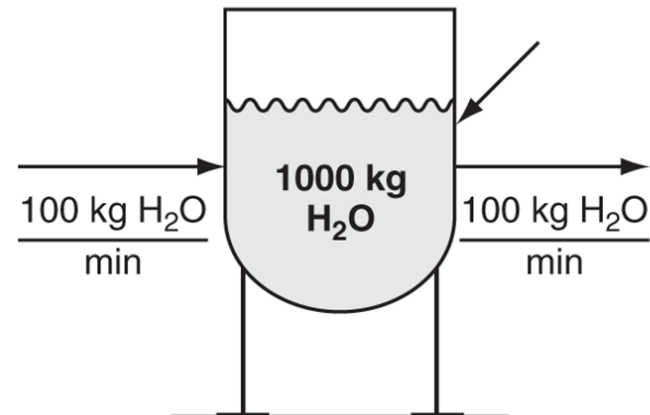


$$\text{ΕΙΣΡΟΗ} + \text{ΠΑΡΑΓΩΓΗ} - \text{ΕΚΡΟΗ} - \text{ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ} = \text{ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ}$$

ΤΑΞΙΝΟΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



Κλειστό σύστημα



Ανοικτό σύστημα

Μεταβλητές διεργασίας

- **Μεταβλητές** : χαρακτηρίζουν τις εισροές και εκροές καθώς και την ίδια τη διεργασία
- 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

ΤΑΞΙΝΟΜΙΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

Α. Είδη διεργασιών

- BATCH-ΔΙΑΛΕΙΠΟΝΤΟΣ ΕΡΓΟΥ-ΑΣΥΝΕΧΟΥΣ
- ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΡΓΟΥ
- ΗΜΙ-ΑΣΥΝΕΧΟΥΣ (SEMI-BATCH)

Β. ΣΥΝΘΗΚΕΣ-METABΛΗΤΕΣ-ΧΡΟΝΟΣ

- MONIMH KATASTASH (ΣΥΝΕΧΟΥΣ)
ΑΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΕΣ!!
- ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ Ή ΜΗ ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
(BATCH, SEMI-BATCH, ΣΥΝΕΧΟΥΣ)

❖ **Ασυνεχούς ή διαλειπόντος έργου (Batch)**

- Η τροφοδοσία μπαίνει στην αρχή και τα προϊόντα απομακρύνονται στο τέλος της διεργασίας

❖ **Συνεχούς έργου (Continuous)**

- Η τροφοδοσία και τα προϊόντα είναι σε συνεχή ροή στη διάρκεια της διεργασίας

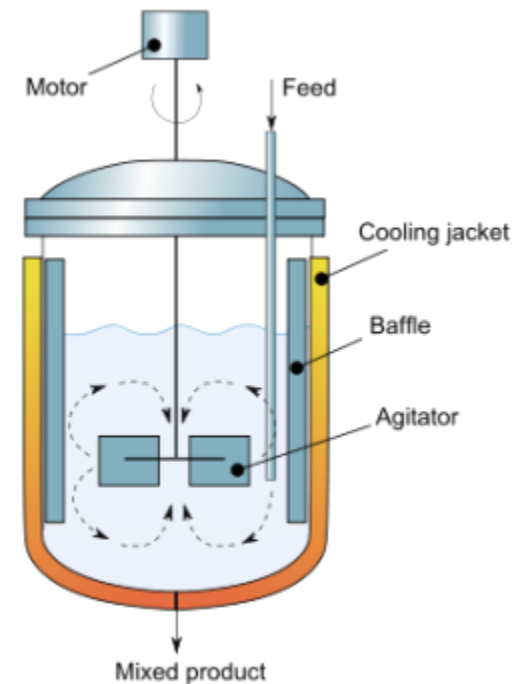
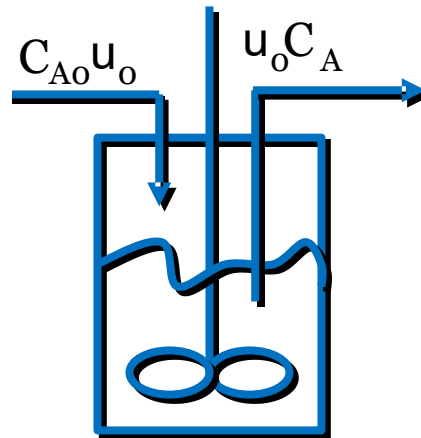
❖ **Ημι-συνεχούς έργου (Semi batch)**

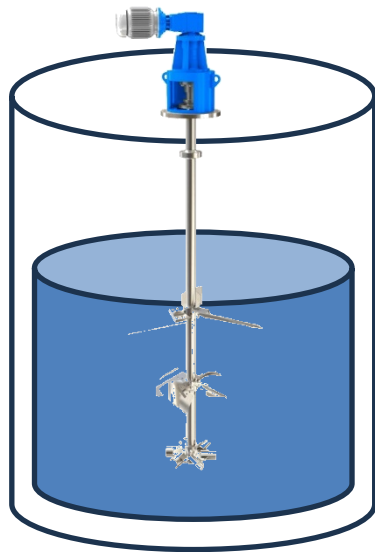
- Ο,τι δεν μπορεί να ταξινομηθεί στις δύο προηγούμενες κατηγορίες

ΤΑΞΙΝΟΜΙΑ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

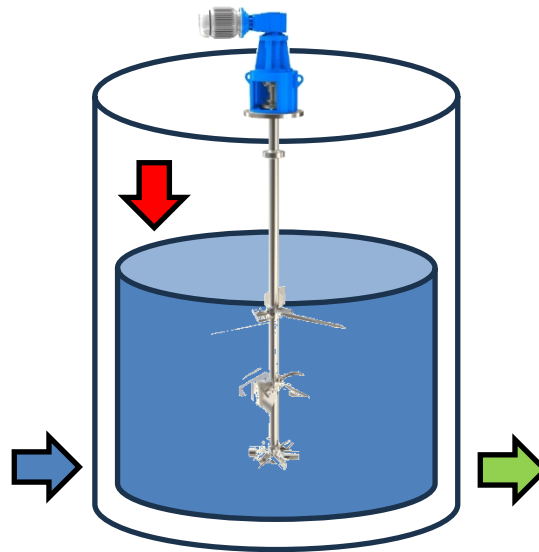
Ε. Παυλάτου, 2025-26

- BATCH-ΔΙΑΛΕΙΠΟΝΤΟΣ ΕΡΓΟΥ-ΑΣΥΝΕΧΟΥΣ
- ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΕΡΓΟΥ -Continuous State
- ΗΜΙ-ΑΣΥΝΕΧΟΥΣ - SEMIBATCH

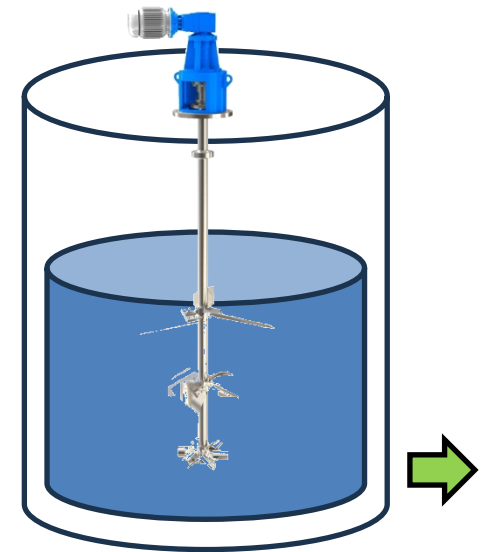




m, v, n
Ασυνεχούς έργου
(παρτίδες)



m', v', n'
Συνεχούς έργου

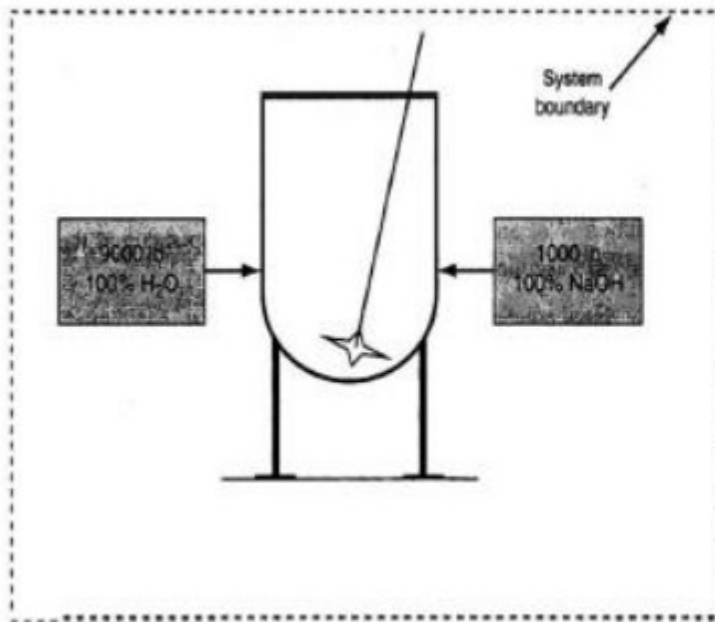


m', v', n'
Ημισυνεχούς έργου

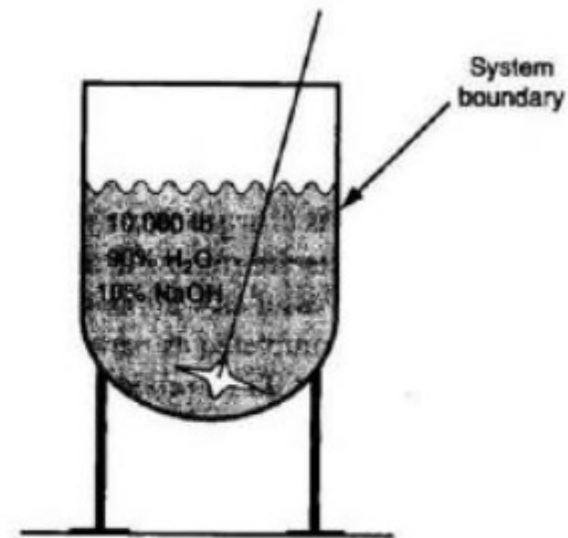
Διαλείποντος έργου-Batch



Χωρίς αντίδραση



$t \text{ (αρχικό)} = 0$

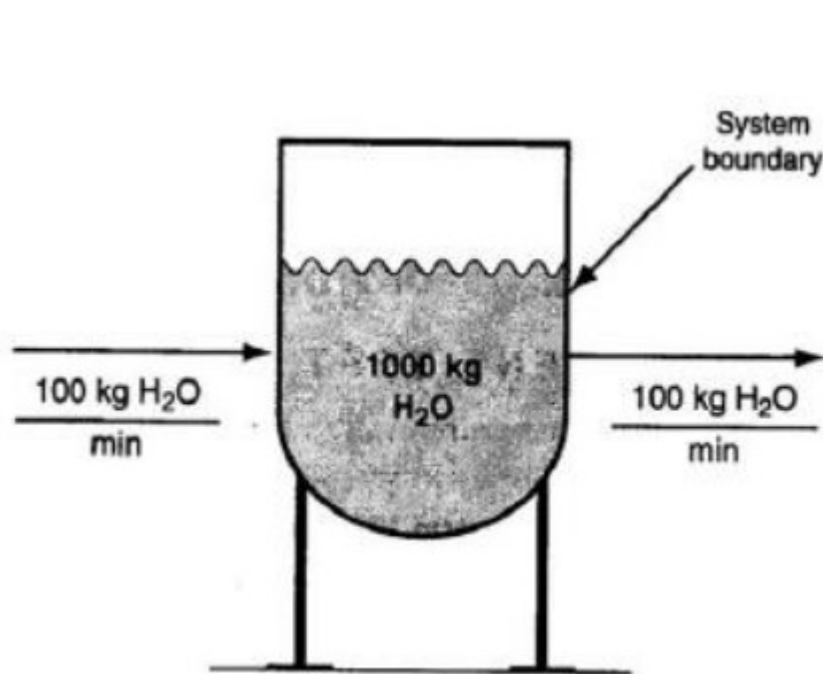


$t = \text{τελικό}$

Είσοδος = Έξοδος
(Αρχική) (Τελική)

Ε. Παυλάτου, 2025-26

Συνεχούς έργου- Μόνιμη κατάσταση



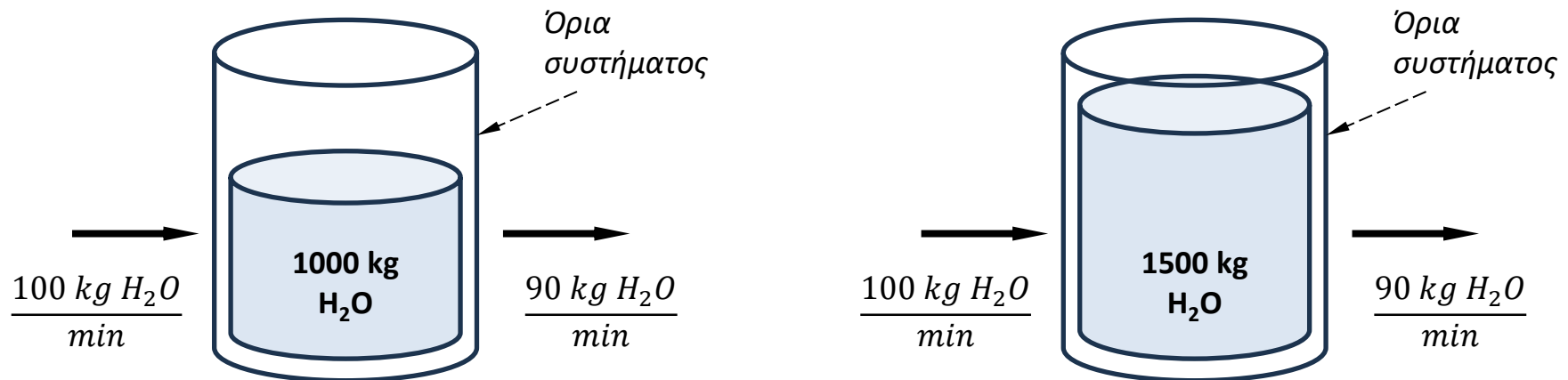
Χωρίς αντίδραση

Είσοδος = Έξοδος

Συνεχούς έργου - Μη μόνιμη κατάσταση

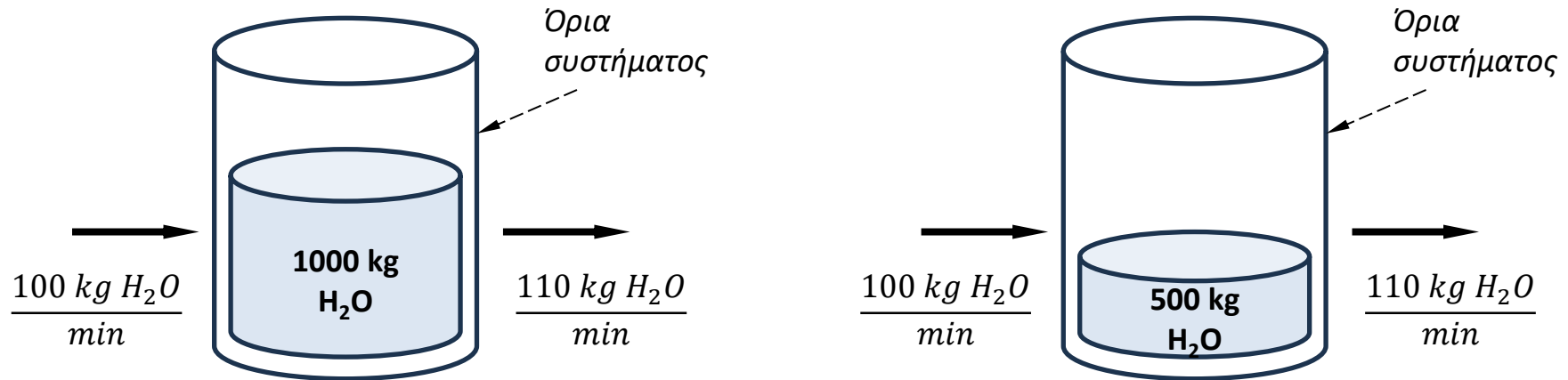


(χωρίς αντίδραση)



Είσοδος – Έξοδος = Συσσώρευση

$\text{Είσοδος} > \text{Έξοδος}$

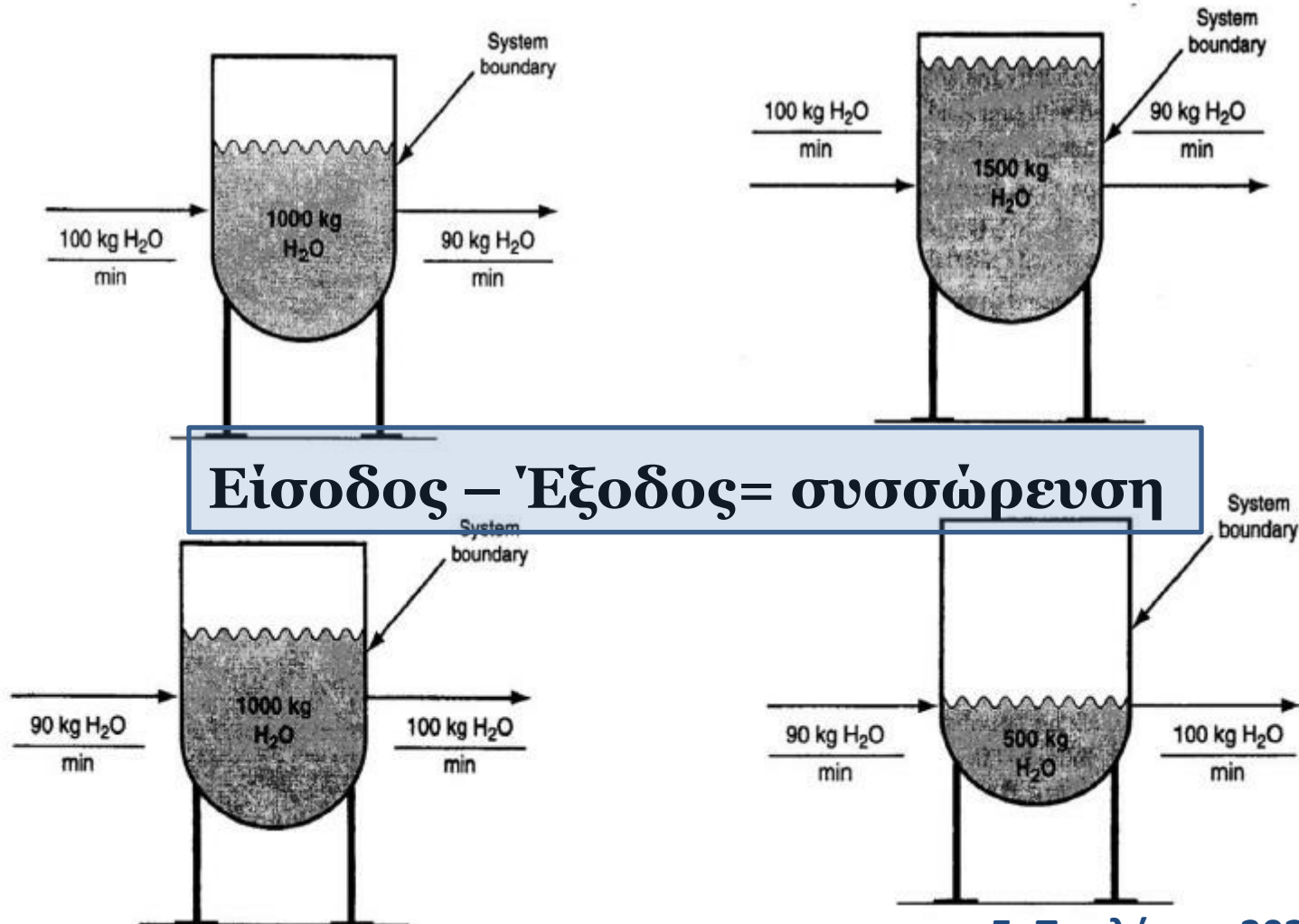
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ βάσει συνθηκών λειτουργίας**Μη μόνιμη κατάσταση**
(χωρίς αντίδραση)

$$\text{Είσοδος} - \text{Έξοδος} = \text{Συσώρευση}$$

$$\text{Είσοδος} < \text{Έξοδος}$$

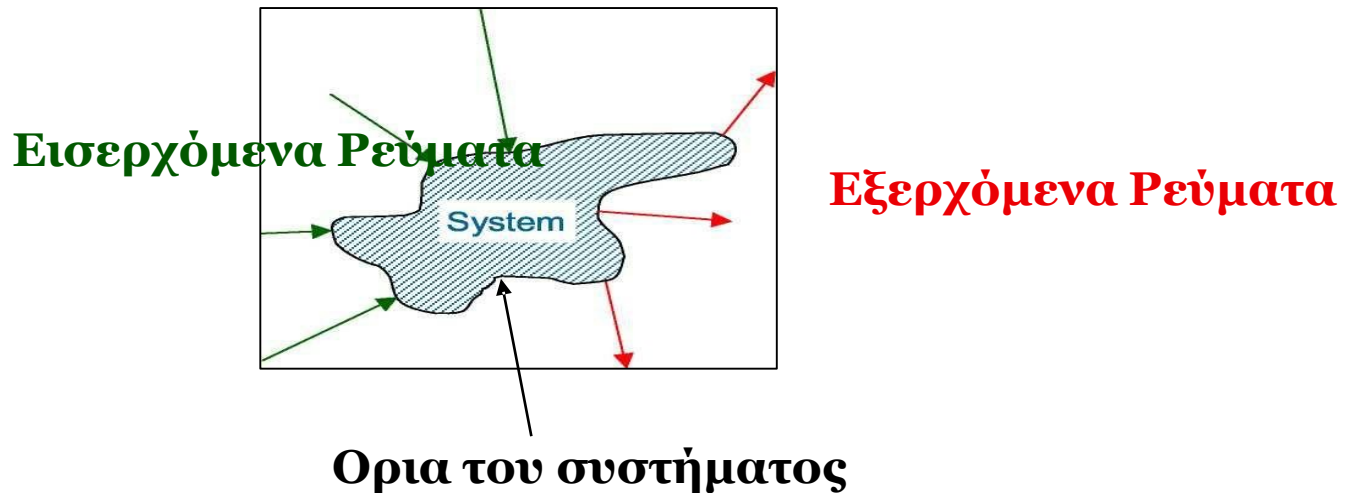
Μη μόνιμη κατάσταση-Συνεχούς

Χωρίς αντίδραση



Εἰσόδος – Ἐξόδος = συσσώρευση

Εφαρμογή Ισοζυγίου Μάζας

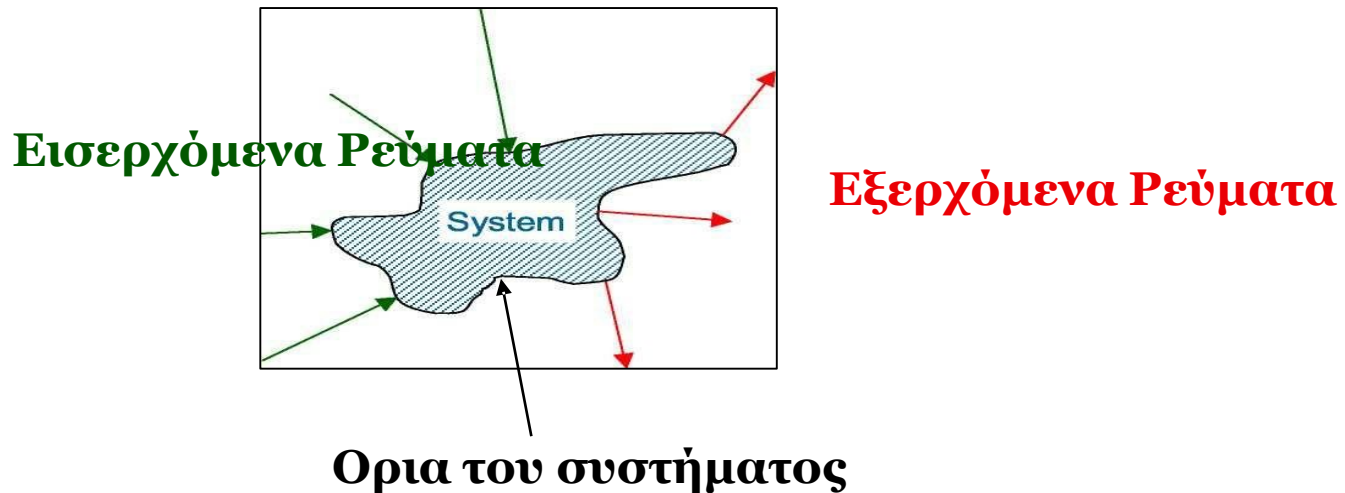


1. Ολική Μάζα
2. Ολικά gmol ή kmol ή lbmol
3. Μάζα **Στοιχείων**
4. mol **Στοιχείων**
5. Μάζα Χημικών Ενώσεων
6. gmol Χημικών Ενώσεων



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

Γενικό Ισοζύγιο Μάζας



**Ρυθμός
Εισόδου**
Μάζας Εντός
των ορίων του
Συστήματος

=

**Ρυθμός
Εξόδου** Μάζας
από τα όρια
του
Συστήματος

-

**Ρυθμός
Παραγωγής**
Μάζας Εντός
του Συστήματος

+

**Ρυθμός
Κατανάλωσης**
Μάζας Εντός
του
Συστήματος

Ολικό Ισοζύγιο Μάζας

Ρυθμός Εισόδου	+	Ρυθμός Παραγωγής	=	Ρυθμός Εξόδου	+	Ρυθμός Κατανάλωσης
---------------------------	---	-----------------------------	---	--------------------------	---	-------------------------------

ΣΥΝΕΧΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΣΕ **ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ**

Ολικό Ισοζύγιο Μάζας

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

Χωρίς χημική αντίδραση οι όροι παραγωγής και κατανάλωσης είναι μηδενικοί

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

Σε μόνιμη κατάσταση (με αντίδραση) ο όρος συσσώρευσης είναι μηδενικός

$$\text{ΕΙΣΡΟΗ} + \text{ΠΑΡΑΓΩΓΗ} = \text{ΕΚΡΟΗ} + \text{ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ}$$

Σε μόνιμη κατάσταση, χωρίς χημική αντίδραση:

$$\text{ΕΙΣΡΟΗ} = \text{ΕΚΡΟΗ}$$



Γενικό Ισοζύγιο Μάζας-Διαφορικό



Αν $M_{in} \rightarrow$ μάζα ευστατικού Α στην είσοδο.

$$M_{in} = \dot{m}_{in} * \Delta t \text{ [kg].}$$

$$M_{out} = \dot{m}_{out} * \Delta t$$

$$M_{\text{παρ}} = \dot{r}_{\text{παρ}} * \Delta t, \quad M_{\text{κατ}} = \dot{r}_{\text{κατ}} * \Delta t$$

Το γενικό ισοζύγιο είναι: Συσώρευση = Είσοδ + Παρ - Εξ - Καταν $\Rightarrow$

$$\Delta M = (\dot{m}_{in} + \dot{r}_{\text{παρ}} - \dot{m}_{out} - \dot{r}_{\text{κατ}}) * \Delta t$$

Αν $\Delta t \rightarrow 0$

$$\boxed{\frac{dM}{dt} = \dot{m}_{in} + \dot{r}_{\text{παρ}} - \dot{m}_{out} - \dot{r}_{\text{κατ}}}$$

Διαφορικό
Ισοζύγιο (1)



Γενικό Ισοζύγιο Μάζας-Ολοκληρωτικό

Αν έχω ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ $\frac{dM}{dt} \rightarrow 0$

Αν έχω ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ $dM/dt \neq 0$, οπότε χρειαζομαι συνοριακή συνθήκη $t=0$
 $M = \dots$

$$(1) \Rightarrow \int_{t_0}^{t_f} dM = M(t_f) - M(t_0) = \int_{t_0}^{t_f} \dot{m}_{in} dt + \int_{t_0}^{t_f} \dot{m}_{\alpha p} dt - \int_{t_0}^{t_f} \dot{m}_{at} dt - \int_{t_0}^{t_f} \dot{m}_{\kappa \alpha \tau} dt$$

batch. $\Rightarrow$

$$\cancel{M(t_0) + \int_{t_0}^{t_f} \dot{m}_{\alpha p} dt} = \cancel{M(t_f) + \int_{t_0}^{t_f} \dot{m}_{\kappa \alpha \tau} dt}$$

Ολοκληρωτικό batch (κλειστό)

Χωρίς
αντίδραση?

Ο ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΧΡΟΝΟΣ

Αν έχω ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ $\frac{dM}{dt} \neq 0$, απαιτείται συνοριακή συνθήκη, $t = 0$, $M = \dots$

$$(1) \Rightarrow \int_{t_o}^{t_f} dM = M(t_f) - M(t_o) = \int_{t_o}^{t_f} \dot{m}_{in} dt + \int_{t_o}^{t_f} \dot{r}_{\pi\alpha\rho} dt - \int_{t_o}^{t_f} \dot{m}_{out} dt - \int_{t_o}^{t_f} \dot{r}_{\kappa\alpha\tau} dt$$

$$\Rightarrow M(t_f) = M(t_o) + \int_{t_o}^{t_f} \dot{m}_{in} dt + \int_{t_o}^{t_f} \dot{r}_{\pi\alpha\rho} dt - \int_{t_o}^{t_f} \dot{m}_{out} dt - \int_{t_o}^{t_f} \dot{r}_{\kappa\alpha\tau} dt$$

$$\Rightarrow M(t_o) + \int_{t_o}^{t_f} \dot{r}_{\pi\alpha\rho} dt = M(t_f) + \int_{t_o}^{t_f} \dot{r}_{\kappa\alpha\tau} dt \quad \left. \vphantom{\int_{t_o}^{t_f}} \right\} \begin{array}{l} \text{Ολοκληρωτικό Batch (κλειστό)} \\ \dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = 0 \end{array}$$

$$\Rightarrow M(t_o) = M(t_f) \quad \left. \vphantom{\int_{t_o}^{t_f}} \right\} \begin{array}{l} \text{Ολοκληρωτικό Batch} \\ \text{χωρίς αντίδραση} \end{array}$$



Γενικό Ισοζύγιο Μάζας

Διαφορικά ισοζύγια

- Σε διεργασίες μόνιμης κατάστασης
- Τι γίνεται μια συγκεκριμένη στιγμή στο σύστημα
- Οι όροι των ισοζυγίων είναι **ροές**

Ολοκληρωτικά ισοζύγια

- Σε διεργασίες **μη μόνιμης κατάστασης**
- Τι γίνεται μεταξύ δύο χρονικών στιγμών στο σύστημα
- Οι όροι των ισοζυγίων είναι **ποσότητες**.

• **Ισοζύγια μάζας καταστρώνονται για κάθε συστατικό που συμμετέχει στη διεργασία καθώς και για το σύνολο αυτών!!!**



Επιλύεται το πρόβλημα??

Γενικό Ισοζύγιο Μάζας- Βαθμοί ελευθερίας

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Βαθμοί} \\ \hline \text{ελευθερίας} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Άγνωστες} \\ \hline \text{μεταβλητές} \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline \text{Ανεξάρτητες} \\ \hline \text{εξισώσεις} \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline \text{ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ} \\ \hline \text{/ΣΧΕΣΕΙΣ} \\ \hline \end{array}$$

BE ή df = Αρ. Αγνώστων – Αρ. Ανεξ. Εξισώσεων – (περιορισμοί-σχέσεις)

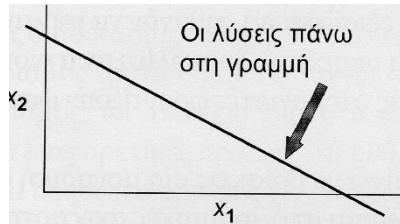
- Το ισοζύγιο έχει μοναδική (μονοσήμαντη) λύση όταν **df=0**
- **Αν $nx-neq > 0$** τότε το σύστημα είναι **υπο-καθορισμένο** (άπειρες λύσεις). Για να λυθεί μονοσήμαντα πρέπει να βρεθούν κι άλλες ανεξάρτητες εξισώσεις ή να δώσουμε τιμή σε κάποιες άγνωστες μεταβλητές.
- **Αν $nx-neq < 0$** τότε το σύστημα είναι **υπερκαθορισμένο**.

• Λαμβάνουμε υπόψη ως εξισώσεις και τους πιθανούς περιορισμούς και δεδομένα σχέσεων, αναλογιών κ.ά

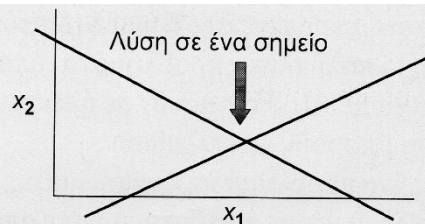


Ε. Παυλάτου, 2025-26

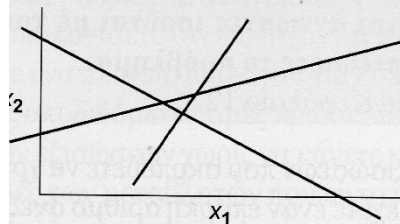
Γενικό Ισοζύγιο Μάζας- Βαθμοί ελευθερίας



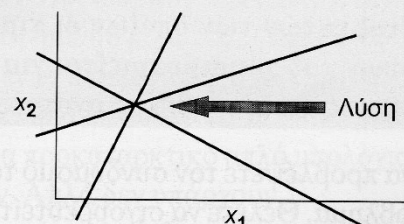
2 μεταβλητές, 1 ανεξάρτητη εξίσωση.
Δεν υπάρχει μοναδική λύση (άπειρες λύσεις)



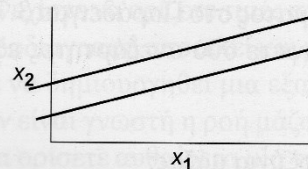
2 μεταβλητές, 2 ανεξάρτητες εξισώσεις.
Υπάρχει μια μοναδική λύση



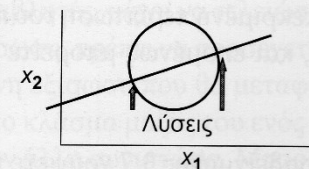
2 μεταβλητές, 3 ανεξάρτητες εξισώσεις.
Δεν υπάρχει μοναδική λύση



2 μεταβλητές, 3 εξισώσεις.
Υπάρχει μια μοναδική λύση,
γιατί μόνο 2 από τις εξισώσεις
είναι ανεξάρτητες



2 μεταβλητές, 2 εξισώσεις.
Δεν υπάρχει μοναδική λύση
επειδή οι εξισώσεις δεν είναι
ανεξάρτητες μεταξύ τους



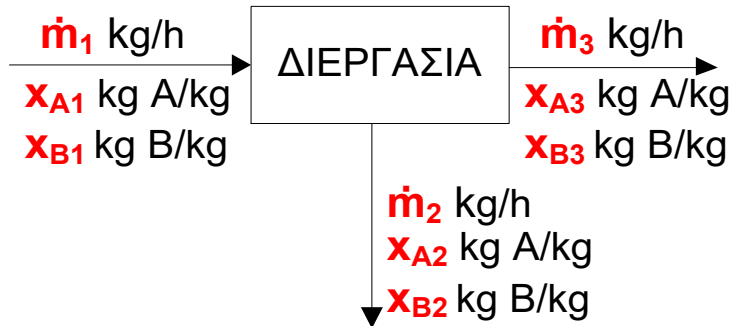
2 μεταβλητές, 2 ανεξάρτητες εξισώσεις.
Δεν υπάρχει μοναδική λύση
(υπάρχουν πολλαπλές λύσεις, διότι μία
εξίσωση είναι μη γραμμική, ο κύκλος)

ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ



Σε μια διεργασία χωρίς χημική αντίδραση, μπορούν να γραφούν **τόσα ανεξάρτητα ισοζύγια μάζας** (εξισώσεις δηλαδή) **όσα είναι και τα συστατικά** που συμμετέχουν στη διαδικασία

Παράδειγμα
2 συστατικά A και B



$$\text{Ισοζύγιο A: } \dot{m}_1 \cdot x_{A1} = \dot{m}_2 \cdot x_{A2} + \dot{m}_3 \cdot x_{A3} \quad (1)$$

$$\text{Ισοζύγιο B: } \dot{m}_1 \cdot x_{B1} = \dot{m}_2 \cdot x_{B2} + \dot{m}_3 \cdot x_{B3} \quad (2)$$

$$\text{Συνολικό ισοζύγιο: } \dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \quad (3)$$

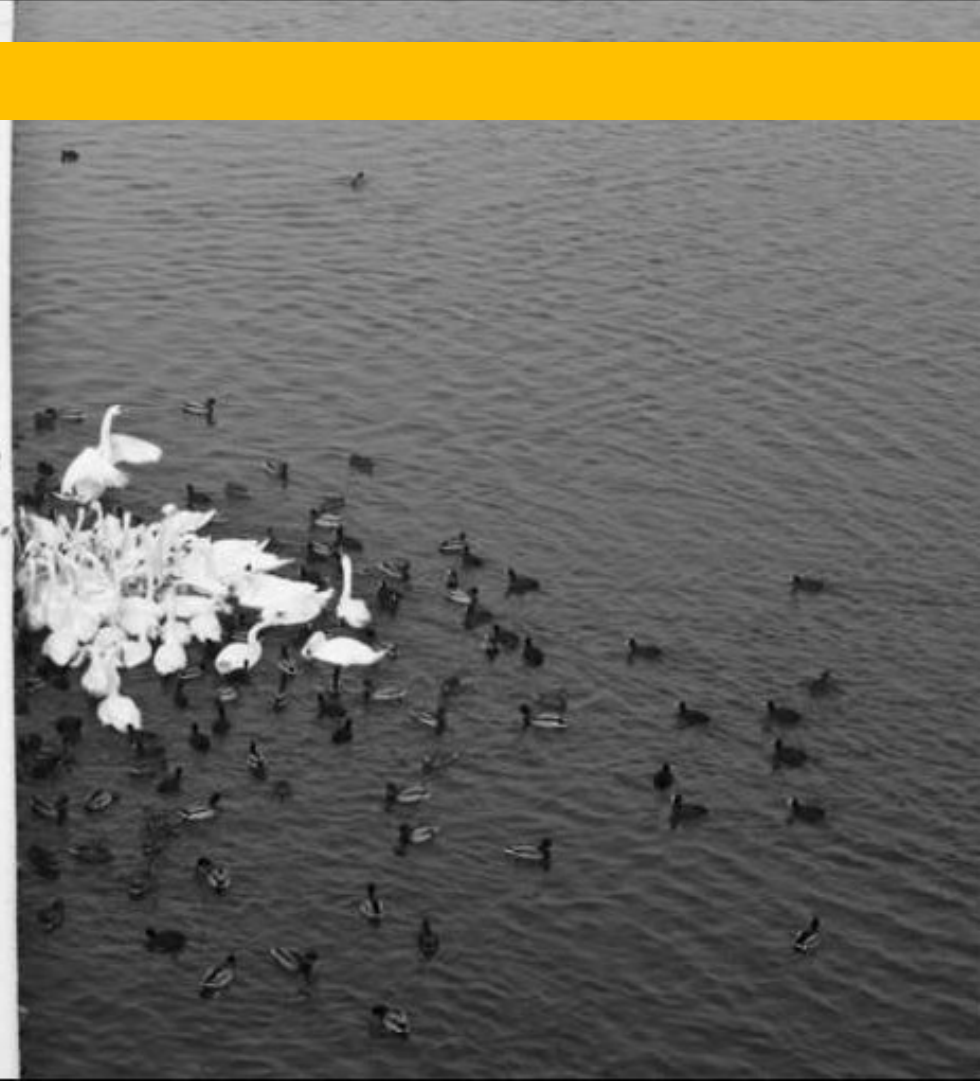
Η (3) δεν είναι ανεξάρτητη εξίσωση, αφού προκύπτει από την άθροιση των (1) και (2) μιας και $x_{Ai} + x_{Bi} = 1$

ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ

- ➔ Σε ένα ρεύμα με **n συστατικά**, οι **συστάσεις των $n-1$ συστατικών είναι ανεξάρτητες** μεταξύ τους:
 - ⇒ Ισχύει η εξίσωση $x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1$ για τις συστάσεις. Αν είναι γνωστές $n-1$ συστάσεις, τότε η n -οστή προκύπτει από τις υπόλοιπες
- ➔ **Εκμετάλλευση άμεσου υπολογισμού μεταβλητών** (βάζουμε τις υπολογιζόμενες τιμές απ' ευθείας στο διάγραμμα ροής).
- ➔ Τα ισοζύγια μάζας αφορούν ροές μάζας ή mol. Αν δίνονται ή ζητούνται ογκομετρικές μεταβλητές χρησιμοποιούμε την πυκνότητα ή και το M_i .
 - ⇒ Μετατροπές: Όγκος $\xLeftrightarrow{\rho}$ Μάζα $\xLeftrightarrow{M_i}$ mol
- ➔ Αν έχουμε **κλάσματα μάζας και μοριακά κλάσματα** τότε τα μετατρέπουμε όλα σε **κοινή βάση**

ΧΡΗΣΙΜΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ

- ➡ Αν $df > 0$ κάποια εξίσωση έχουμε ξεχάσει!!!!
- ➡ Για την **επίλυση του συστήματος εξισώσεων ξεκινάμε από τα προφανή** (εξισώσεις με έναν άγνωστο) και αντικαθιστούμε στις επόμενες.



Κατάσטרωση εξισώσεων

- **Φυσικοί περιορισμοί** : Κλάσματα μάζας ή μοριακά κλάσματα (αθροίζουν στο 100%)
- **Χαρακτηριστικά διεργασίας** (Πιθανές σχέσεις, αναλογίες μεταξύ ροών)
- **Στοιχειομετρικές σχέσεις- αντιδράσεις**
- **Φυσικές ιδιότητες και νόμοι** (Πυκνότητες, καταστατικές εξισώσεις αερίων)
- **Ισοζύγια μάζας**



ΠΡΟΣΟΧΗ!!!

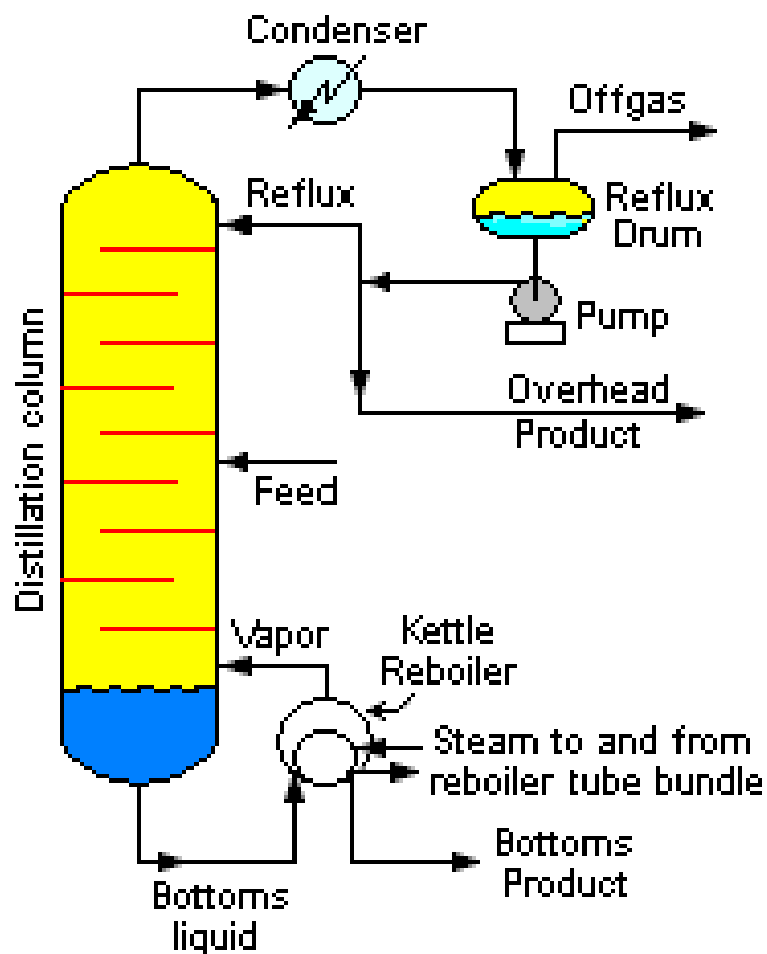
BE ή $df = \text{Αρ. Αγνώστων} - \text{Αρ. Ανεξ. Εξισώσεων} - (\text{περιορισμοί-σχέσεις})$

Μεθοδολογία προβλήματος

1. Προσεκτική ανάγνωση του προβλήματος
2. Κατασκευή **διαγράμματος ροής**
3. Τοποθέτηση των τιμών των γνωστών μεταβλητών στο διάγραμμα ροής (ροές, συστάσεις)-**Περιορισμοί**
4. Τοποθέτηση των άγνωστων μεταβλητών με σύμβολα
5. **Επιλογή βάσης υπολογισμών (Δεδομένο άσκησης ή επιλογή του λύτη)**
6. Απαρίθμηση εξισώσεων που περιγράφουν το σύστημα
7. Προσδιορισμός βαθμών ελευθερίας (df)
8. Αν $df = 0$ τότε επίλυση συστήματος για τον προσδιορισμό των άγνωστων μεταβλητών δηλαδή ξεκινάμε την επίλυση των ισοζυγίων **από το σύστημα που έχει 0 βαθμούς ελευθερίας, αν έχουμε πολλαπλό σύστημα!**
9. Αντικαθιστούμε τις υπολογιζόμενες μεταβλητές (ροές, συστάσεις) στα άλλα (άλυτα) συστήματα και συνεχίζουμε μέχρι να υπολογιστούν όλες οι μεταβλητές των ρευμάτων.



Αποστακτική στήλη - διαχωρισμός





ΑΠΟΣΤΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗΛΗ-Συνεχής διεργασία

1000 kg/h μίγματος βενζολίου (B) και τολουολίου (T) που περιέχει **50% B w/w** εισέρχεται σε αποστακτική στήλη για να διαχωριστεί σε **2 κλάσματα**. Το άνω ρεύμα (κορυφής) έχει παροχή **450 B kg/h** ενώ το κάτω (πυθμένα) **475 T kg/h**.

Σχεδιάστε το διάγραμμα ροής της διεργασίας.

Καταστρώστε τα ισοζύγια και υπολογίστε τις άγνωστες ροές.

? Πόσοι άγνωστοι

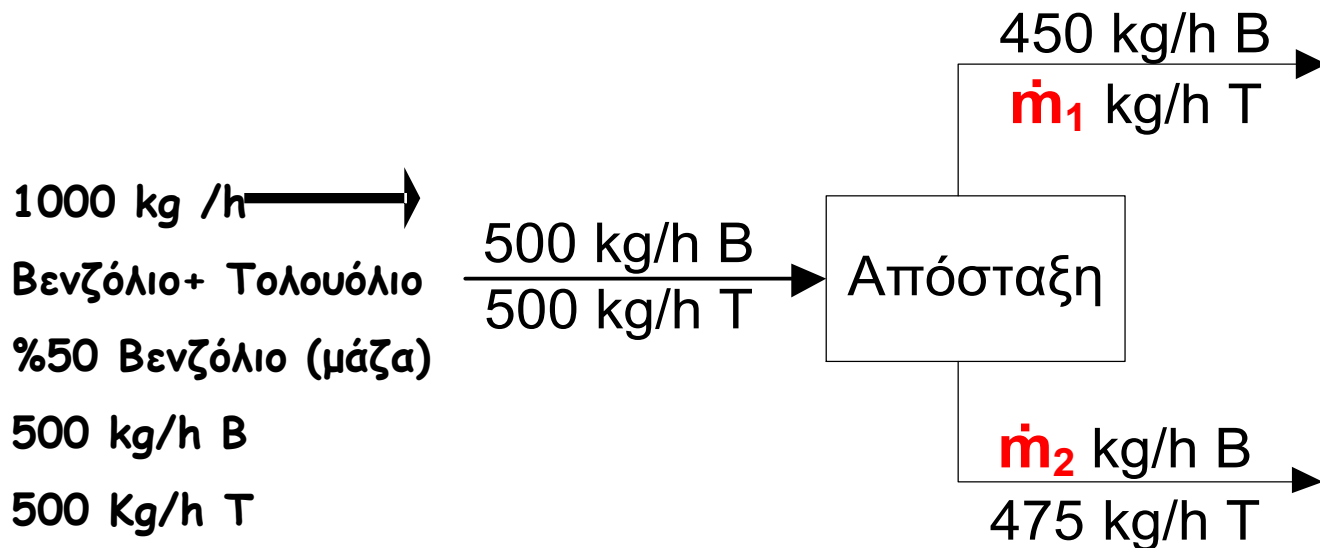
? Πόσες ανεξάρτητες εξισώσεις

? Περιορισμοί, δεδομένες σχέσεις



ΑΠΟΣΤΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗΛΗ-Συνεχής διεργασία

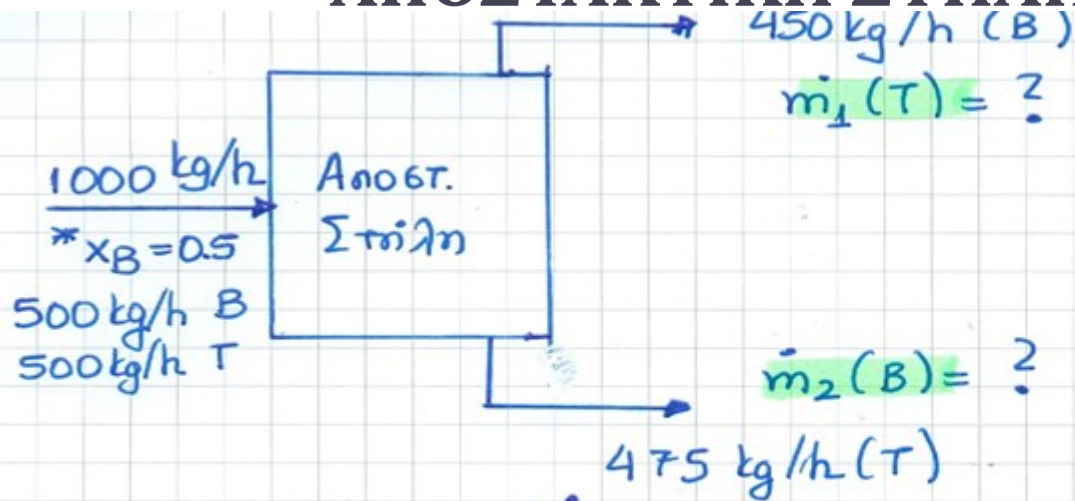
1000 kg/h μίγματος βενζολίου (B) και τολουολίου (T) που περιέχει **50% B w/w** εισέρχεται σε αποστακτική στήλη για να διαχωριστεί σε 2 κλάσματα. Το άνω ρεύμα (κορυφής) έχει παροχή **450 B kg/h**, ενώ το κάτω (πυθμένα) **475 T kg/h**. Η διεργασία είναι σε **μόνιμη κατάσταση**. Κατασκευάστε το διάγραμμα ροής της διεργασίας- Καταστρώστε τα ισοζύγια και υπολογίστε τις άγνωστες ροές.



$$\dot{m}_1 = 25 \text{ kg/h T}$$

$$\dot{m}_2 = 50 \text{ kg/h B}$$

ΑΠΟΣΤΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗΛΗ-Συνεχής διεργασία



Βαθμοί ελευθερίας?

Ε. Παυλάτου, 2025-26

$$* x_B = 0.5 = \frac{\dot{m}_B}{\dot{m}_{01}} \Rightarrow \dot{m}_B = x_B * \dot{m}_{01} \Rightarrow \dot{m}_B = 0.5 * 1000 = 500 \text{ kg/h}$$

Ισοζύγιο μάζας συνολικό/μερικό

Είσοδος + παραγωγή - έξοδος - κατανάλωση = συσώρευση.

Είσοδος = έξοδος (1)

Συνολικό ισοζύγιο: (1) $\Rightarrow 1000 [\text{kg/h}] = 450 + \dot{m}_1 + 475 + \dot{m}_2 [\text{kg/h}]$ (2)

Μερικό ισοζύγιο:

Βενζόλιο: (1) $500 = 450 + \dot{m}_2 \Rightarrow \boxed{\dot{m}_2 = 50 \text{ kg/h B}}$

Τολουόλιο: (1) $500 = 475 + \dot{m}_1 \Rightarrow \boxed{\dot{m}_1 = 25 \text{ kg/h T}}$

Οι τιμές πρέπει να ικανοποιούν την εξ. (2) (?)



ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΕΡΙΩΝ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ

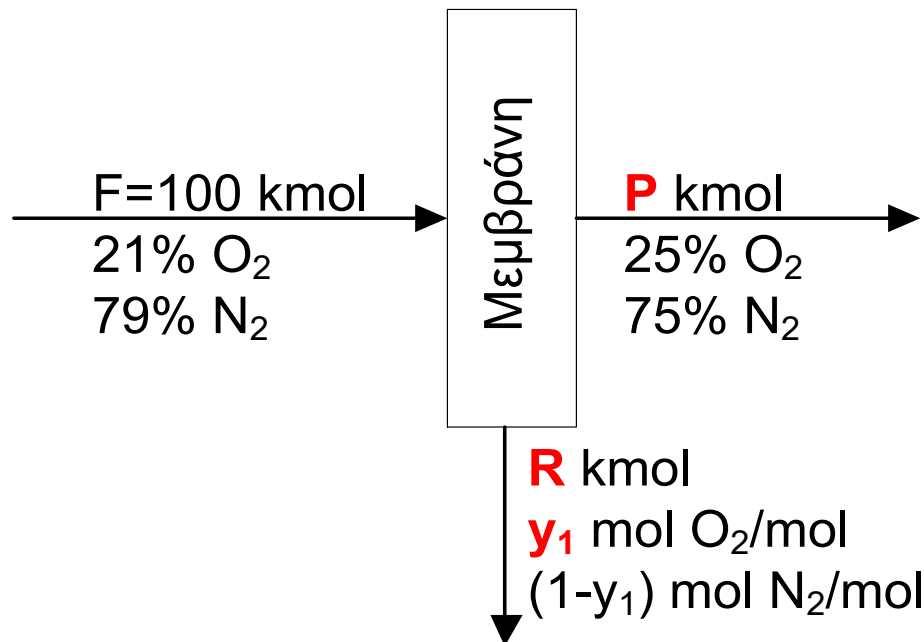
Με την τεχνολογία των μεμβρανών μπορούμε να εμπλουτίσουμε σε O_2 τον αέρα. Ο ατμοσφαιρικός αέρας **εισέρχεται** στη μεμβράνη με μολαρική σύσταση 21% O_2 και 79% N_2 , ενώ **εξέρχεται** με 25% O_2 και 75% N_2 . Υπάρχει κι ένα ρεύμα **απόρριψης** (πλούσιο σε N_2) το οποίο αποτελεί το 80% της τροφοδοσίας. Ποια είναι η σύστασή του;

Βάση Υπολογισμού!!!!



ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΕΡΙΩΝ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ

Βάση: $F=100$ Kmol



$$\begin{aligned} P &= 20 \text{ kmol} \\ R &= 80 \text{ kmol} \\ y_1 &= 0.20 \text{ mol } O_2/\text{mol} \end{aligned}$$



ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΕΡΙΩΝ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΗ

Ανοιχτή και μόνιμη κατάσταση – σχετικές τιμές

Βάση Υπολογισμού: $F = 100 \text{ kmol}$

Δεδομένο $\rightarrow$ περιορισμός $R = 0.8 * F \Rightarrow \underline{R = 80 \text{ kmol}} \quad (1)$

Συνολικό Ισοζύγιο

$E_{i6} + \cancel{\text{Παραγ.}} - \cancel{E_{f7}} - \cancel{\text{καταν.}} = \cancel{\text{Συσσωρευση}}$

$E_{i6} = E_{f7} \quad (2)$

οπότε $100 = P + R \xRightarrow{(1)} \underline{P = 20 \text{ kmol}} \quad (3)$

Βαθμοί

ελευθερίας?

Μερικό Ισοζύγιο O_2 : Ισχύει η (2)

$E_{i6, O_2} = E_{f7, O_2}$

$0.21 * F = 0.25 * P + y_1 * R \xRightarrow{(1)}$

$0.21 * 100 = 0.25 * 20 + y_1 * 80 \xRightarrow{(3)}$

$\underline{y_1 = 0.2 \frac{\text{mol } O_2}{\text{mol μίγματος}}}$

ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ: Μερικό Ισοζύγιο N_2

Ισχύει η $(2) \Rightarrow \underbrace{0.79 * 100}_{79} = \underbrace{0.75 * 20}_{75} + \underbrace{0.80 * 80}_{80}$



ΑΝΑΜΕΙΞΗ-BATCH ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ

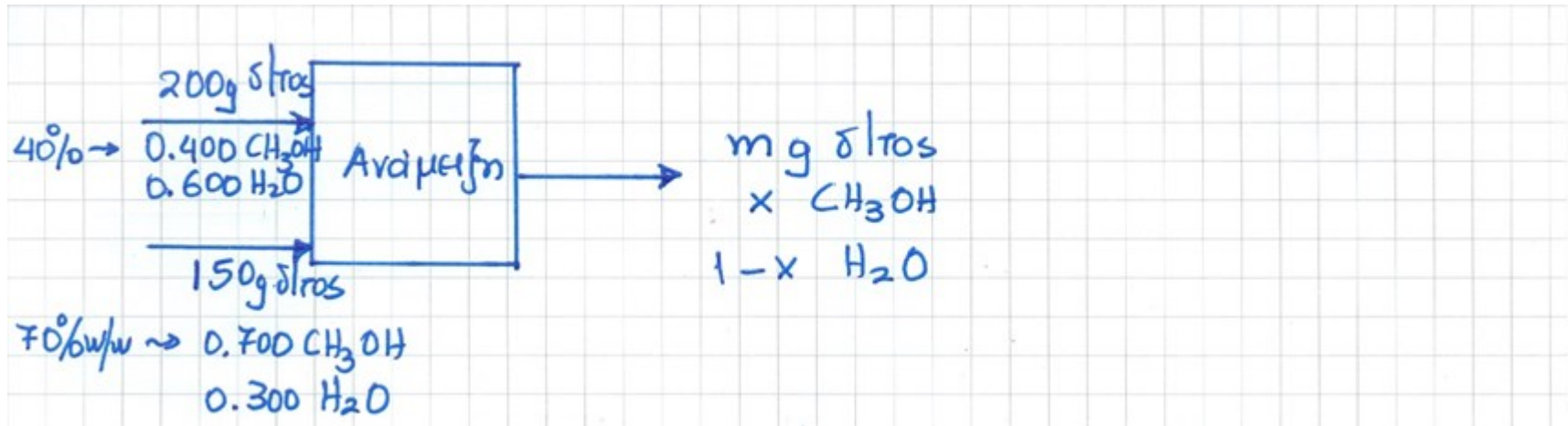
- Διατίθενται 2 μίγματα μεθανόλης-νερού σε ξεχωριστές δεξαμενές. Η πρώτη περιέχει 40.0 w/w % σε μεθανόλη και η δεύτερη 70.0% w/w. 200 g από την πρώτη δεξαμενή αναμιγνύονται με 150 g από τη δεύτερη δεξαμενή.

Σχεδιάστε το διάγραμμα ροής της διεργασίας ανάμειξης.
Υπολογίστε τη μάζα και τη σύσταση εξόδου – προϊόντος.



ΑΝΑΜΕΙΞΗ-BATCH ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ

Ε. Παυλάτου, 2025-26



Γενικό ισοϋγίο: Συσσώρευση = Είσοδος + Παραγωγή - Εξόδος + Κατανάλωση

Συσσώρευση = Τελική πμή εξόδου - Αρχική πμή εξόδου ⇒

Αρχική πμή εισόδου + Παραγωγή = Τελική πμή εξόδου + Κατανάλωση

ΟΧΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ: (1) ΑΡΧΙΚΗ ΤΙΜΗ ΕΙΣΟΔΟΥ = ΤΕΛΙΚΗ ΤΙΜΗ ΕΞΟΔΟΥ
BATCH

ΟΧΙ ΡΟΕΣ!!



ΑΝΑΜΕΙΞΗ-BATCH ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ

$$\text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ: (1)} \Rightarrow 200\text{g} + 150\text{g} = m \Rightarrow \text{(2)} \quad \underline{m = 350\text{g δ/τος}}$$

$$\text{ΜΕΡΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ CH}_3\text{OH (1)} \Rightarrow 200\text{g δ/τος} \left| \frac{0.400\text{g CH}_3\text{OH}}{1\text{g δ/τος}} \right| + 150\text{g δ/τος} \left| \frac{0.700\text{g CH}_3\text{OH}}{1\text{g δ/τος}} \right| =$$

$$= m * x \frac{\text{g CH}_3\text{OH}}{\text{g δ/τος}} \quad \begin{matrix} m=350\text{g} \\ \Rightarrow \\ \text{(2)} \end{matrix} \quad x = 0.52\text{g CH}_3\text{OH}$$

$$1 - x = 0.4471 \text{ H}_2\text{O}$$

ΜΕΡΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ H_2O

(επαλήθευση)

$$\text{: (1)} \Rightarrow 200 * 0.600 + 150 * 0.3 = 350 * (1 - x) \Rightarrow$$

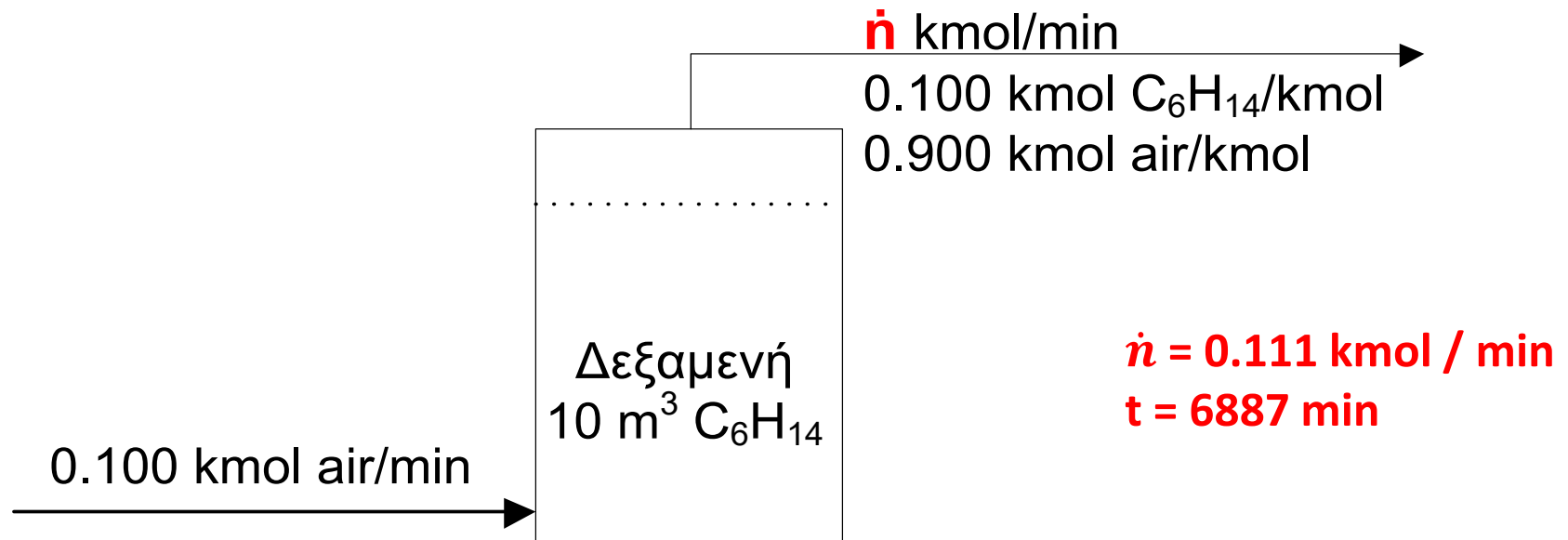
$$165\text{g H}_2\text{O} = 165\text{g H}_2\text{O}.$$



SEMI- BATCH ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ

- Αέρας εισέρχεται με παροχή **0.100 kmol/min** σε δοχείο που περιέχει υγρό εξάνιο (C_6H_{14}). Το **αέριο ρεύμα εξόδου** περιέχει **10% mole ατμών εξανίου** και θεωρείται ότι ο **αέρας είναι αδιάλυτος στο εξάνιο** (ϵ εξανίου=0.659, $M_i=86.2$ g/gmol).

Χρησιμοποιώντας **το ολοκληρωτικό ισοζύγιο**, υπολογίστε τον χρόνο που απαιτείται για την εξάτμιση **10.0 m³** υγρού. (εξανίου).



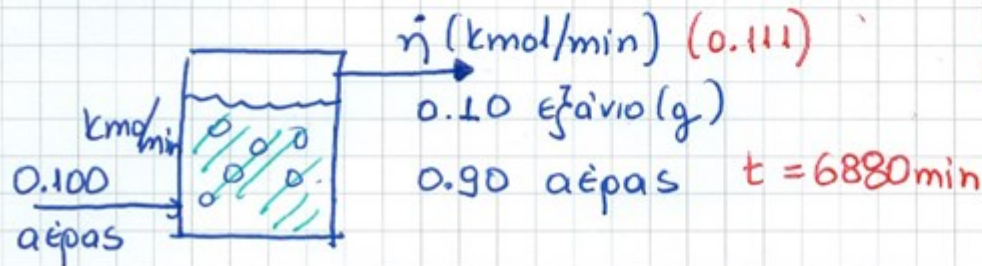


SEMI-BATCH ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ

Ε. Παυλάτου, 2025-26

(Semi-batch)

Αέρας διέρχεται από υγρό εζάνιο με ρυθμό 0.100 kmol/min . Το αέριο ρεύμα που εξέρχεται από τη βύθην περιέχει $10.0\% \text{ mol}$ αέριο εζάνιο. Ο αέρας δεν διαλύεται (αναμεμύεται) στο υγρό εζάνιο. Χρησιμοποιήστε το ολοκληρωτικό ισοζύγιο για να προσδιορίσετε τον χρόνο για να εξατμιστεί 10.0 m^3 του υγρού.



Δίνεται $E = 0.659$

$M_r = 86.2$

Έχω 2 βυστατικά, αέρας + εζάνιο
Αέρας: $\frac{dM}{dt} = \dot{m}_{in} + \dot{m}_{\text{αεζ}} - \dot{m}_{\text{αεζ}} - \dot{m}_{out}$
 $\rightarrow 0$ (δεν αναμεμύεται) $\rightarrow 0$ (αντιδρ.) $\rightarrow 0$ (αντιδρ.)

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \Rightarrow$$

$$0.100 \frac{\text{kmol αεζ}}{\text{min}} = \frac{\dot{n} (\text{kmol μίχμ})}{\text{min}} \left| \frac{0.900 \text{ kmol αεζ}}{1 \text{ kmol μίχμ}} \right. \Rightarrow$$

$$\dot{n} = 0.111 \text{ kmol/min μίχμ.}$$



SEMI- BATCH ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ

Εξάνο: $\frac{dM}{dt} = \overset{\text{ο(δεν έχω) } 0}{\cancel{\dot{m}_{in}}} + \overset{\text{ο(δεν έχω) } 0}{\cancel{\dot{m}_{rap}}} - \overset{\text{ο(δεν έχω) } 0}{\cancel{\dot{m}_{κατ}}} - \dot{m}_{out} \Rightarrow$

$$\boxed{\frac{dM}{dt} = -\dot{m}_{out}} \Rightarrow \int_{M_{in}}^{M_{out}} dM = \int_{t=0}^{t=t_{τελ}} \dot{m}_{out} dt \quad \text{①}$$

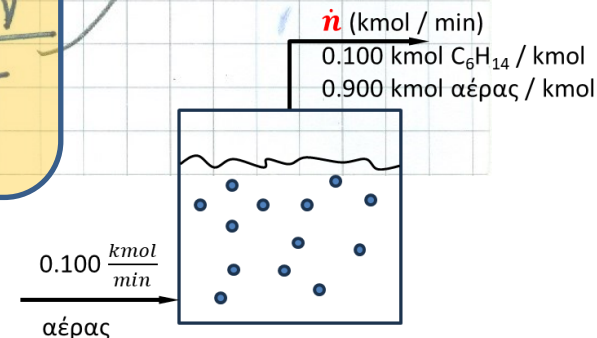
moles $\Delta \eta^* = \eta_{τελ} - \eta_{αρχ} = -10.0 \text{ m}^3 \times 0.659 \frac{\text{kg}}{\text{L}} \left| \frac{10^3 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \right| \frac{1 \text{ kmol}}{86.2 \text{ kg}} = -76.45 \text{ kmol εξ.}$

① $\Rightarrow -76.45 \text{ kmol εξ.} = -\dot{\eta} (t_{τελ} - 0) * 0.1$
 $-76.45 \text{ kmol εξ.} = -\dot{\eta} t_{τελ} \Rightarrow \boxed{t_{τελ} = 6887.39 \text{ min.}}$

$68.9 * 10^2$

* $E = 0.6 = \frac{\rho_{εξ}}{\rho_{H_2O}} \Rightarrow \rho_{εξ} = 0.6 * 1$

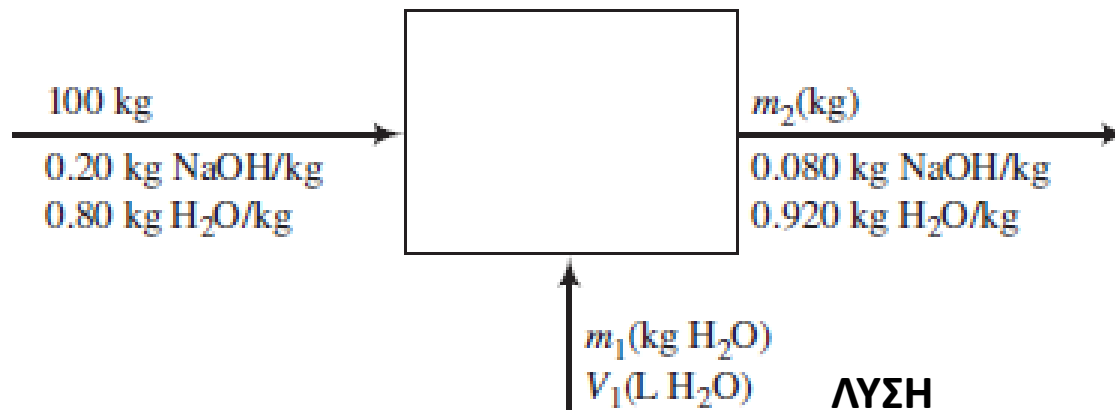
$$\left. \begin{aligned} m &= \rho * V \\ \eta &= \frac{m}{M_r} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \eta = \frac{\rho * V}{M_r}$$





Ανάμειξη

Υδατικό διάλυμα NaOH **20.0% w/w** χρησιμοποιείται για την παρασκευή **8.0 % w/w** διαλύματος που προκύπτει **με αραίωση καθαρού νερού**. Υπολογίστε τους λόγους L H₂O /kg τροφοδοσίας και kg προϊόντος /kg τροφοδοσίας. **Βάση υπολογισμού τα 100 kg τροφοδοσία**. Υπολογίστε τους βαθμούς ελευθερίας. $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1.0 \text{ kg/L}$



ΛΥΣΗ

$$\frac{V_1}{100} \left(\frac{L}{\text{kg}_{\text{τροφ}}} \right) = 1.5 \text{ L} / \text{kg}_{\text{τροφ}}$$

$$\frac{m_2}{100} \left(\frac{\text{kg}_{\text{προιοντος}}}{\text{kg}_{\text{τροφ}}} \right) = 2.5 \text{ kg}_{\text{προιο}} / \text{kg}_{\text{τροφ}}$$



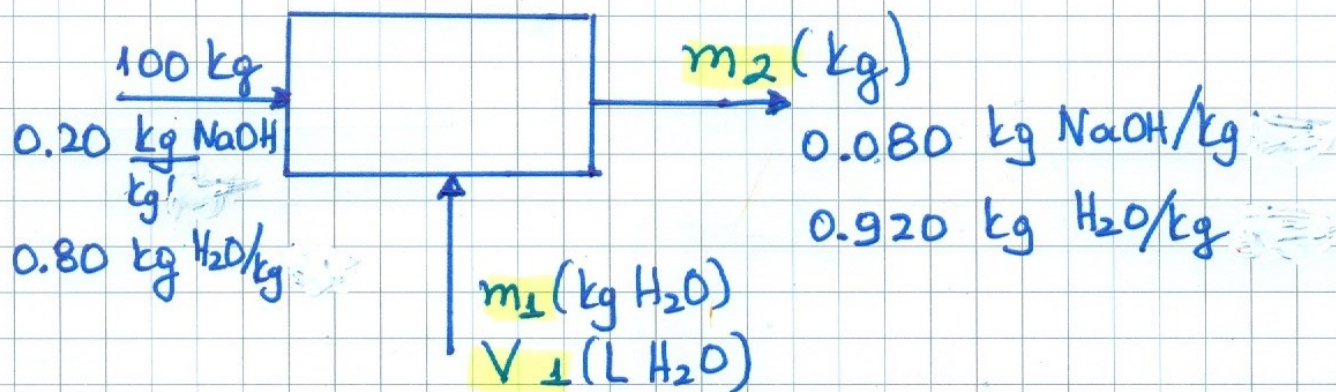
Ανάμειξη

Ε. Παυλάτου, 2025-26

Λύση

* Ζητάει λόγο!

- ① Διαλέγω βάση υπολογισμού $\rightarrow$ 100 kg τροφοδοσία 20% w/w
- ② Σχεδιάζω διάγραμμα ροής με τις παραμέτρους



- ③ Ζητούμενες ποσότητες $\frac{V_1}{100} \left(\frac{\text{L}}{\text{kg τροφ}} \right)$, $\frac{m_2}{100} \left(\frac{\text{kg ηρ.}}{\text{kg τροφ}} \right)$ ή
 $\rightarrow V_1 = ?$ $m_2 = ?$



Ανάμειξη

Ε. Παυλάτου, 2025-26

④ Βαθμοί ελευθερίας

- Άγνωστοι: m_1, m_2, V_1
- Εξισώσεις: 2 ισορ. μάζας $\begin{matrix} \nearrow \text{NaOH} \\ \searrow \text{H}_2\text{O} \end{matrix}$ ή $\begin{matrix} \nearrow \text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ} \\ \searrow \text{NaOH} \end{matrix}$
- Δεδομένα, ηερ.: Πυκνότητα $\rho = m/V$

$$B.E = 3 - 2 - 1 = 0 \rightarrow \text{ΛΥΝΕΤΑΙ.}$$

Αρχική τιμή = Τελική τιμή

⑤ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΜΑΖΑΣ $\Rightarrow E_i = E_f \Rightarrow 100 + m_1 = m_2 \quad (1)$

$$\text{ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΜΑΖΑΣ NaOH} \Rightarrow 100 \text{ kg τροφ} * 0.20 \frac{\text{kg NaOH}}{\text{kg τροφ}} = 0.080 * m_2$$

$$\Rightarrow m_2 = 250 \text{ kg}$$

$$(1) \Rightarrow m_1 = 150 \text{ kg H}_2\text{O}$$

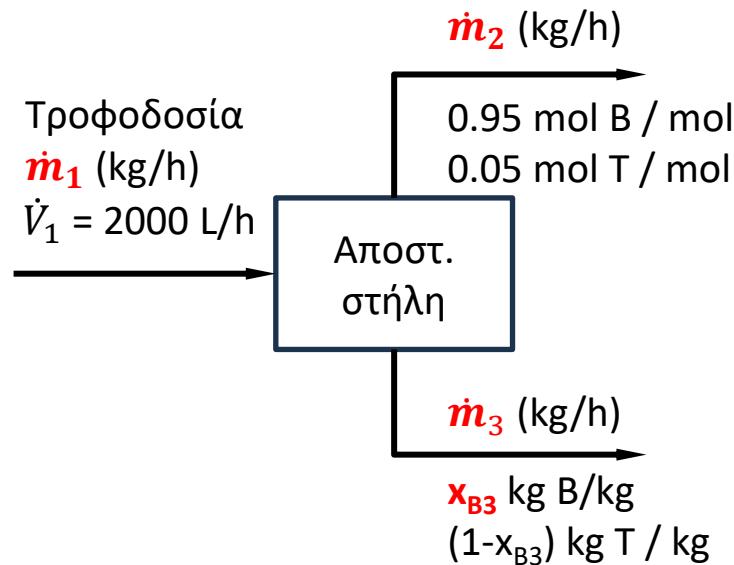
$$\rho = \frac{m_1}{V_1} \Rightarrow V_1 = 150 \text{ kg} * 1.00 \text{ L/kg} = 150 \text{ L}$$

Επομένως: $V_1/100 = 1.50 \text{ L H}_2\text{O/kg τροφ}, m_2/100 = 250 \text{ kg προϊόν/kg τροφ.}$



ΑΠΟΣΤΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗΛΗ -2

Μίγμα βενζολίου και τολουολίου εισέρχεται σε αποστακτική στήλη με σύσταση **45% w/w B** και **55% T w/w**. Το ρεύμα **κορυφής** περιέχει **μολαρική σύσταση 95.0 % B** και του **πυθμένα είναι 8.0% B (κλάσμα μάζας) της τροφοδοσίας**. Η ογκομετρική παροχή της τροφοδοσίας ήταν **2000 L/h** και το ειδικό βάρος της είναι **0.872**. Καθορίστε τις **μαζικές ροές των 2 ρευμάτων εξόδου** καθώς και τη **μαζική σύσταση του κάτω ρεύματος (ρεύματος πυθμένα)**. Να υπολογίσετε τους βαθμούς ελευθερίας



Επίλυση

$$\dot{m}_1 = 1744 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_2 = 766 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_3 = 978 \text{ kg/h}$$

$$x_{B3} = 0.065 \text{ kg B/kg}$$

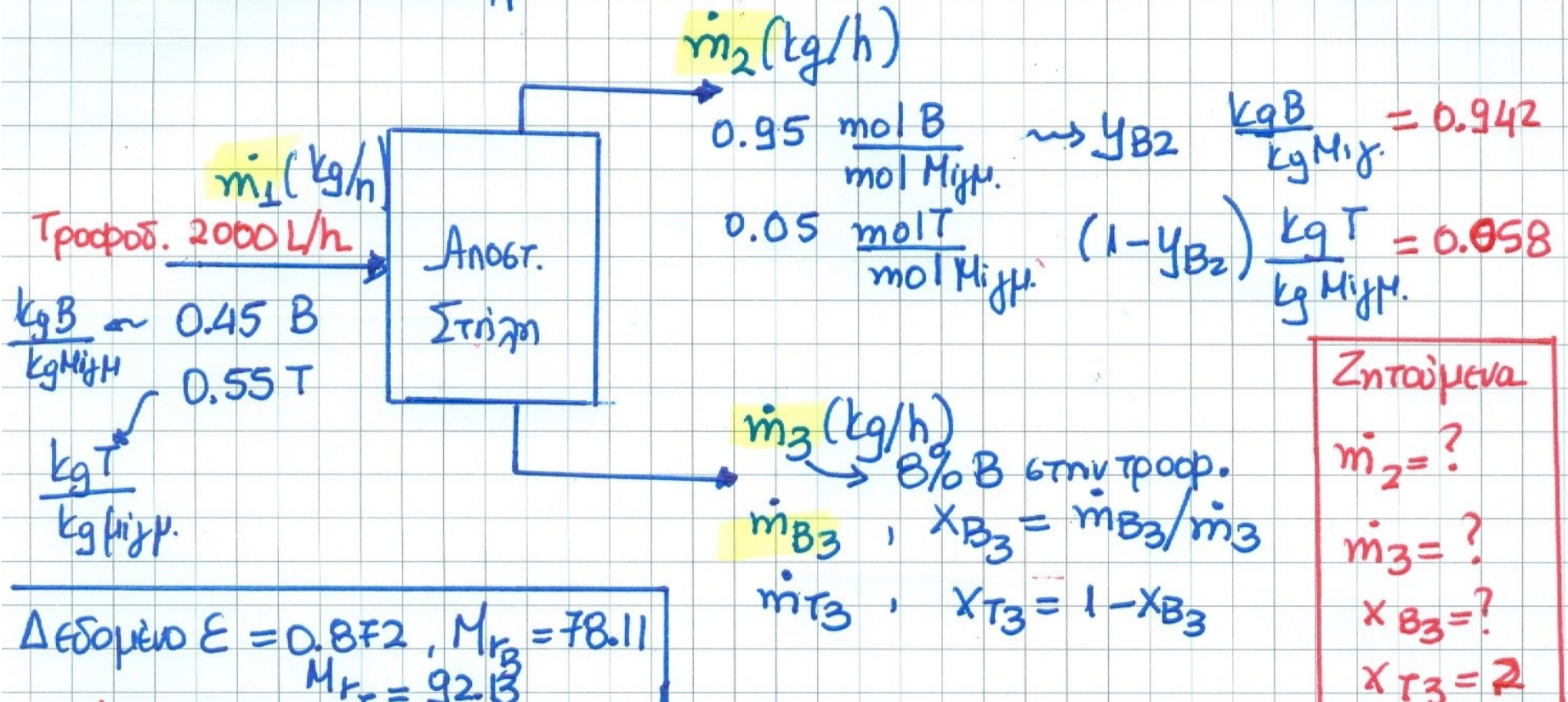
$$\varepsilon = 0.872, \rho = 0.872 \text{ kg/L}, M_{r,B} = 78.11, M_{r,T} = 92.13$$

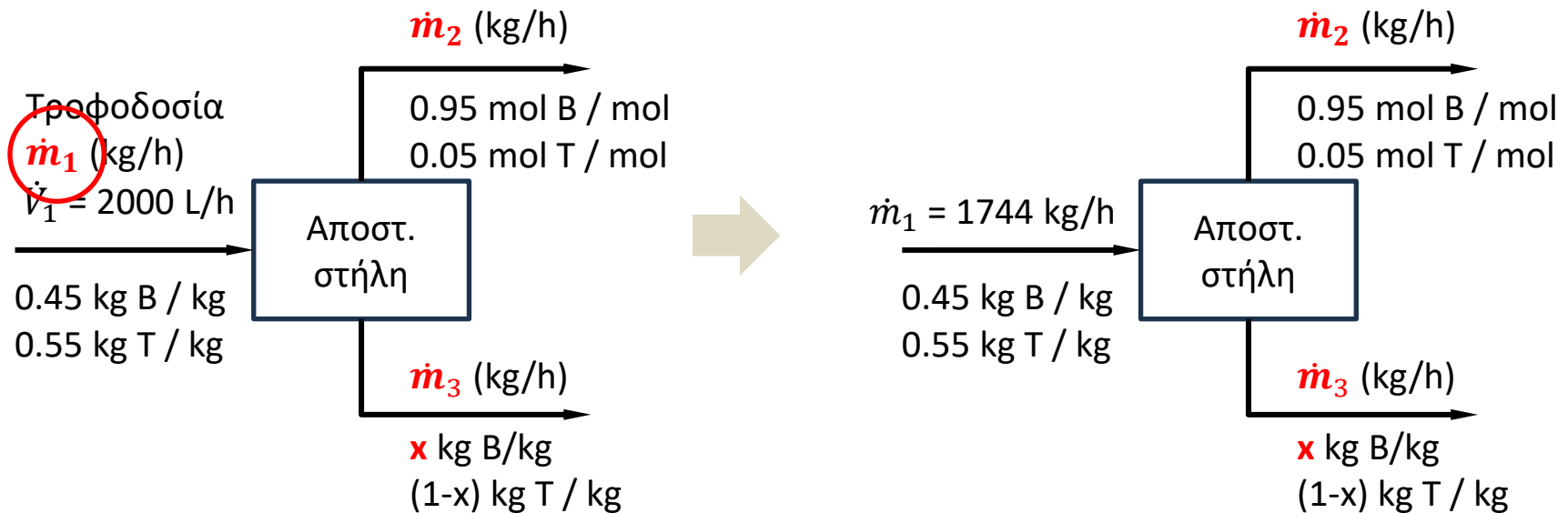


ΑΠΟΣΤΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗΛΗ-2

Ε. Παυλάτου, 2025-26

Αποστακτική στήλη



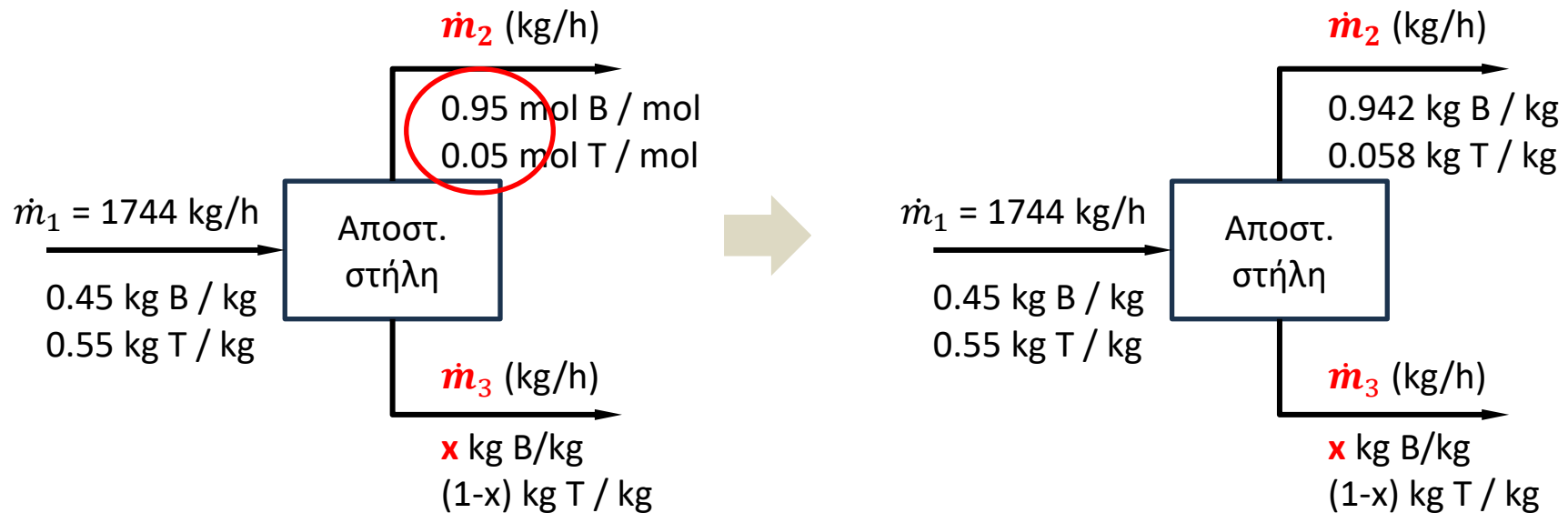


1^ο βήμα: Ομοιομορφία δεδομένων για να εφαρμοστούν τα ισοζύγια: L/h $\rightarrow$ kg/h

Υπολογίζουμε την $\dot{m}_1$ (εξ ου και δεν είναι άγνωστη) μέσω του $\dot{V}_1$

$$\dot{m}_1 = \rho \cdot \dot{V}_1 = 0.872 \text{ kg/L} \cdot 2000 \text{ L/h} = 1744 \text{ kg/h}$$

$$\varepsilon = 0.872, \rho = 0.872 \text{ kg/L}, M_{r,B} = 78.11, M_{r,T} = 92.13$$



2° βήμα: Ομοιομορφία δεδομένων για να εφαρμοστούν τα ισοζύγια: γραμμομοριακά κλάσματα $\rightarrow$ κλάσματα μάζας

$$0.95 \text{ mol B} \cdot 78.11 \text{ g B/mol B} = 74.2 \text{ g B}$$

$$0.05 \text{ mol T} \cdot 92.13 \text{ g T/mol T} = 4.6 \text{ g T}$$

Σύνολο μάζας ανά mol μίγματος $74.2 + 4.6 = 78.8 \text{ g μίγματος}$

Άρα: $X_{B,2}$: $74.2/78.8 = \mathbf{0.942 \text{ kg B / kg}}$ και $x_{T,2}$: $4.6 / 78.8 = \mathbf{0.058 \text{ kg T/kg}}$



ΑΠΟΣΤΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗΛΗ-2

Ε. Παυλάτου, 2025-26

- ① Διαλέγω τη βάση Υπολογισμού $\rightarrow$ 2000 L/h τροφοδοσία
- ② Φτιάχνω διάγραμμα ροής (όλες οι μεταβλητές)
- ③ Ποιές οι ζητούμενες ποσότητες;
 $\dot{m}_2, \dot{m}_3, x_{B_3}$ (ή x_{T_3}) ή $\dot{m}_2, \dot{m}_{B_3}, \dot{m}_{T_3}$.
- ④ Σχέσεις - Δεδομένα

Πάνω ρεύμα $\rightarrow$ ρεύμα κορυφής

Στα 100 kmol μίγματος 95.0 kmol B 5.00 kmol T.

οπότε υπολογίζουμε τα μαζικά κλάσματα

$$\text{Βενζόλιο: } 95.0 \text{ kmol B} * 78.11 \frac{\text{kg B}}{\text{kmol}} = 7420 \text{ kg B}$$

$$\text{Τολουόλιο: } 5.0 \text{ kmol T} * 92.13 = 461 \text{ kg T.}$$

$$\text{Μίγμα: } 7420 + 461 = 7881 \text{ kg} \quad \Rightarrow y_{B_2} = \frac{7420}{7881} \Rightarrow$$

$$y_{B_2} = 0.942, \quad 1 - y_{B_2} = 0.058$$



ΑΠΟΣΤΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗΛΗ-2

Ε. Παυλάτου, 2025-26

⑤ Ανάλυση βαθμών ελευθερίας

- Αγνωστοί $\rightarrow \dot{m}_1, \dot{m}_2, \dot{m}_{B3}, \dot{m}_{T3} \sim 4$
- Εξισώσεις $\rightarrow 2$ ισόζυγια μάζας ~ 2
- Δεδομένα/Περιορισμοί $\rightarrow 2$ (ε , 8% τροφοῦ Β) ~ 2

$$B.Eq. = \cancel{\phi}$$

ΛΥΝΕΤΑΙ!

⑥ Περιορισμοί - Δεδομένα

α) Τροφοδοσία $\rightarrow$ Δίνεται $\varepsilon = 0.872 \Rightarrow \rho = 0.872 \frac{kg}{L}$

$$\dot{m}_1 = 2000 \frac{L}{h} * 0.872 \frac{kg}{L} = 1744 \frac{kg}{h}$$

β) Πυθμένας $\rightarrow$ Βενθόγιο 8% τροφοδοσίας

$$\dot{m}_{B3} = 0.08 * [0.45 * \dot{m}_1] = 62.8 \frac{kg}{h}$$



ΑΠΟΣΤΑΚΤΙΚΗ ΣΤΗΛΗ

Ε. Παυλάτου, 2025-26

⑦ Ισοζύγιο μάζας

$$E_{i6} - E_{f7} + \cancel{\text{Παραγ}} - \cancel{\text{κατ}} = \cancel{\text{Συνοψ}} \Rightarrow$$

$$E_{i6} = E_{f7} \quad (1)$$

Ισοζύγιο Βενζολίου

$$(1) \Rightarrow 0.45 * \dot{m}_1 = \dot{m}_2 y_{B2} + \dot{m}_{B3}$$

Ισοζύγιο Τολουολίου

$$(1) \Rightarrow 0.55 * \dot{m}_1 = (1 - y_{B2}) \dot{m}_2 + \dot{m}_{T3}$$

όμως $\dot{m}_1 = 1744 \text{ kg/h}$

$$\dot{m}_2 = 776 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{T3} = 915 \text{ kg/h}$$

⑧ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

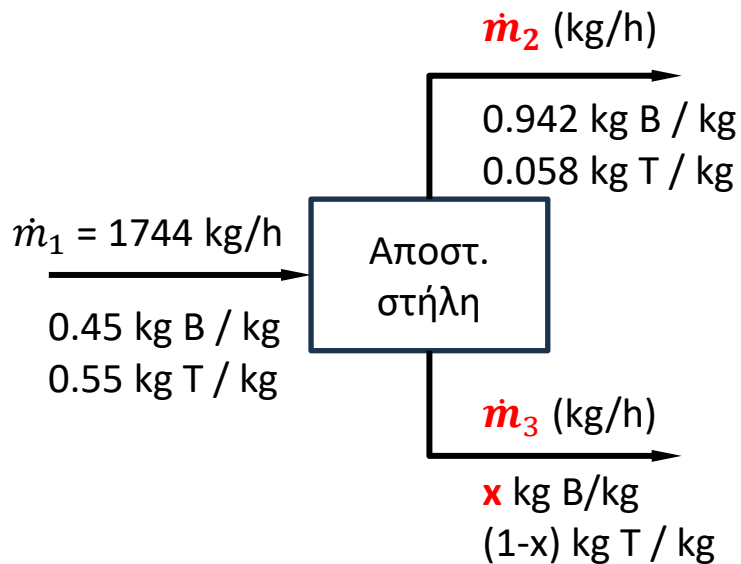
$$(1) \Rightarrow \dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_{B3} + \dot{m}_{T3} \Rightarrow 1744 = 1744 \text{ (OK)}$$

Οπότε

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_{B3} + \dot{m}_{T3} = 62.8 + 915 = 978 \text{ kg/h}$$

$$x_{B3} = \frac{\dot{m}_{B3}}{\dot{m}_3} = \frac{62.8}{978} = 0.064 \text{ kg B/kg μίχμ.}$$

$$x_{T3} = 1 - x_{B3} = 0.936 \text{ kg T/kg μίχμ.}$$



2 ΙΣΟΖΥΓΙΑ:

Συνολικό:

$$1744 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \quad (1)$$

Ισοζύγιο B:

$$0.45 \cdot 1744 = 0.942 \cdot \dot{m}_2 + x \cdot \dot{m}_3 \quad (2)$$

ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ

“Το ρεύμα του πυθμένα περιέχει το 8.0% κ.β. του B που περιέχεται στην τροφοδοσία (επομένως το 92% του B στην τροφοδοσία πάει στο ρεύμα κορυφής)”

$$\Rightarrow 0.942 \cdot \dot{m}_2 = 0.92 \cdot (0.45 \cdot 1744) \quad (3)$$

$$\text{ή } x \cdot \dot{m}_3 = 0.08 \cdot (0.45 \cdot 1744) \quad (3')$$

Επίλυση

Από την (3) $\dot{m}_2 = 766 \text{ kg/h}$

Από την (1) $\dot{m}_3 = 978 \text{ kg/h}$

Από την (2) $x = 0.065 \text{ kg B/kg}$



ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗΣ

Ε. Παυλάτου, 2025-26

Ρεύμα υγρού αέρα εισέρχεται σε συμπυκνωτή από τον οποίο συμπυκνώνεται το **95% των υδρατμών**. Η έξοδος του συμπυκνωτή της **υγρής φάσης έχει ροή 225 L/h**. Θεωρείστε ότι ο ξηρός αέρας έχει **σύνσταση 21% mol O₂ και 79% N₂**.

Να υπολογίσετε τον ρυθμό εκροής του **εξερχόμενου αέριου** ρεύματος και τα μοριακά κλάσματα O₂, N₂, H₂O σε αυτό το ρεύμα.

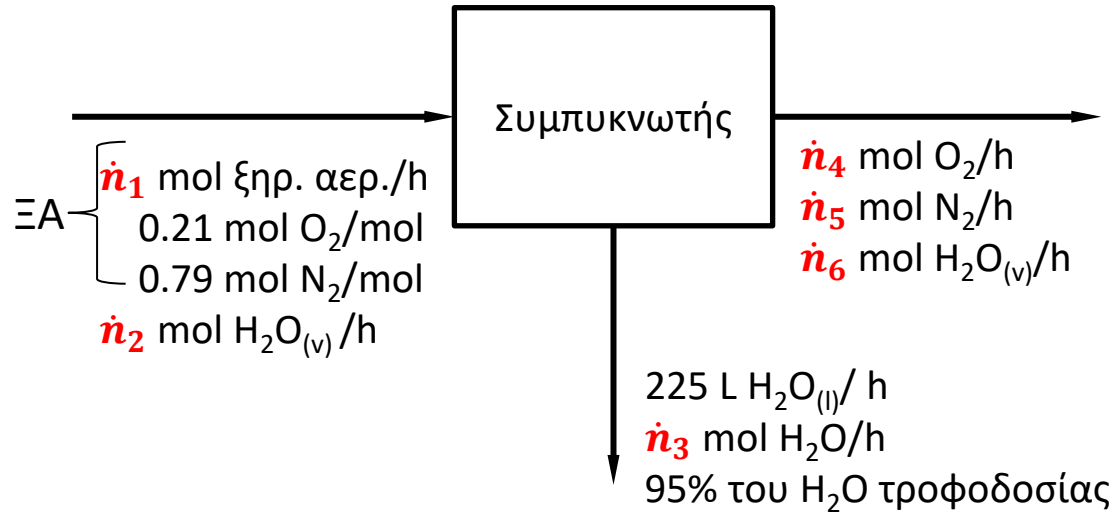
(α) Να διερευνήσετε **αν μπορεί να επιλυθεί η άσκηση**.

(β) Αν ο εισερχόμενος αέρας έχει **10.0 mol% H₂O** να προσδιορίσετε τις παραπάνω μεταβλητές.

Δίνονται για το νερό **$\rho = 1 \text{ g/cm}^3$, $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g/gmol}$** .

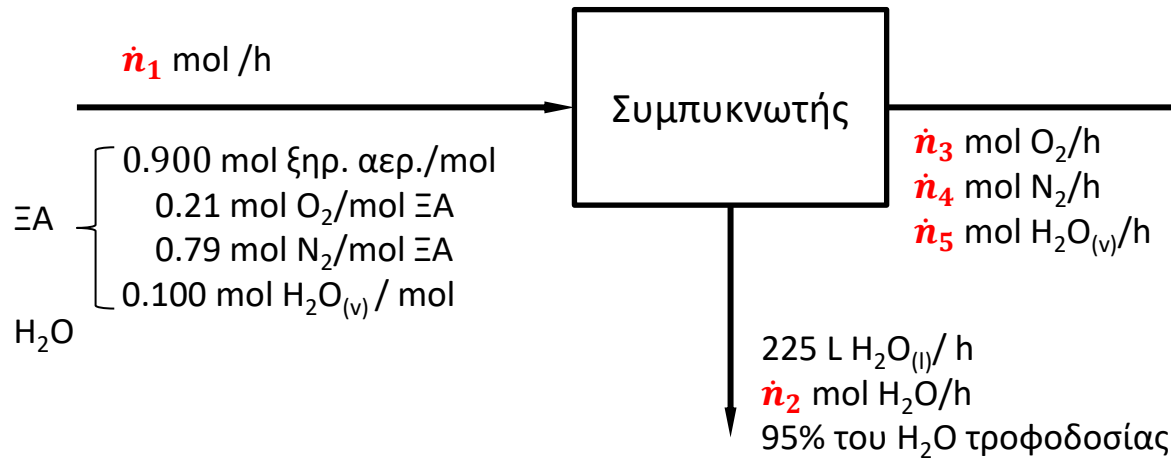


(α)



Ανάλυση βαθμών ελευθερίας

Άγνωστοι : 6 ($\dot{n}_1, \dot{n}_2, \dot{n}_3, \dot{n}_4, \dot{n}_5, \dot{n}_6$)Ισοζύγια μάζας: 3 (O_2, N_2, H_2O)Σχέσεις : 1 $\dot{n}_3 = 0.95\dot{n}_2$ Περιορισμοί : 1 $\rho = \frac{m}{V}$ $df = 6 - 3 - 2 = 1 > 0$ Υποκαθορισμένο!



Αγνωστοί: 5
 Ισοφ: 3
 Περιορ: 2
 Σχέσεις } $df=0$

① Πυκνότητα

$$\dot{n}_2 = 225 \frac{\text{L}}{\text{h}} \cdot \frac{1.00 \text{ kg}}{\text{L}} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{18.0 \cdot 10^{-3} \text{ kg}} = 12,500 \text{ mol/h H}_2\text{O (l)}$$

② Σχέση: $\dot{n}_2 = 0.95 \cdot \{0.1 \cdot \dot{n}_1\}$ $\Rightarrow \dot{n}_1 = 132 \cdot 10^3 \text{ mol/h}$

$E_{i6} = E_{\xi}$

Ισοβύθιο μάζας O₂: $\dot{n}_1 \cdot 0.90 \cdot 0.21 = \dot{n}_3 \Rightarrow \dot{n}_3 = 24.9 \cdot 10^3 \text{ mol/h}$

" " N₂: $\dot{n}_1 \cdot 0.90 \cdot 0.79 = \dot{n}_4 \Rightarrow \dot{n}_4 = 93.9 \cdot 10^3 \text{ mol/h}$

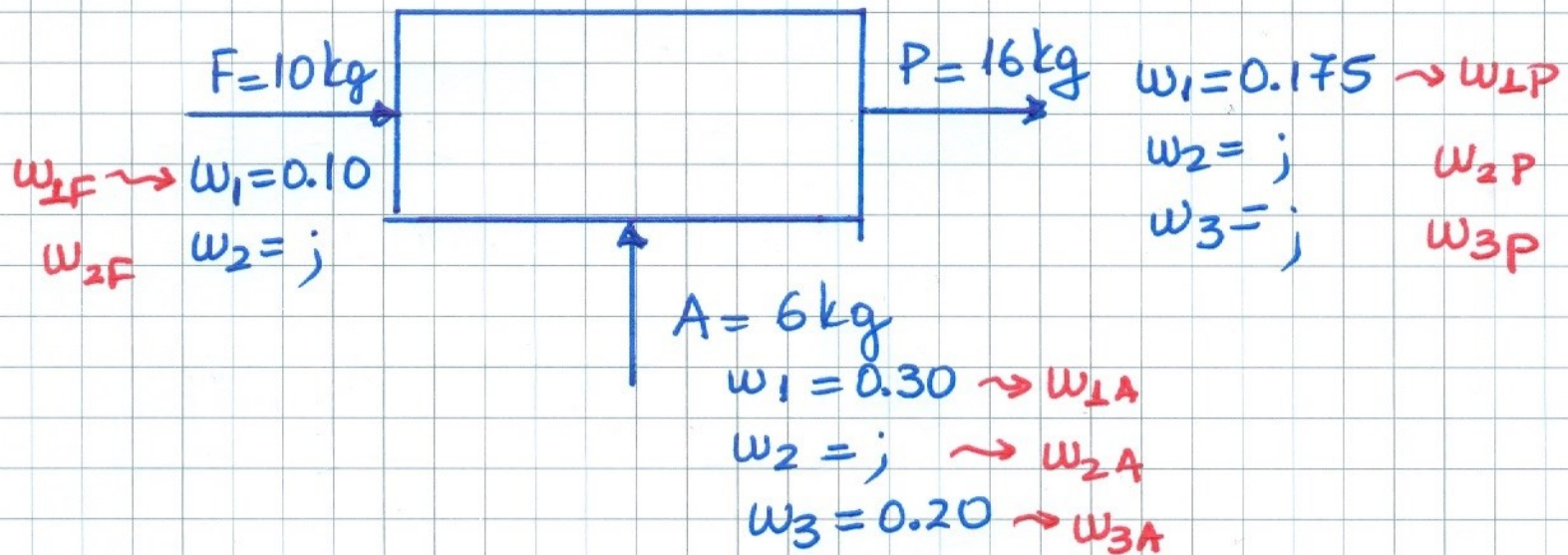
" " H₂O: $\dot{n}_1 \cdot 0.100 = \dot{n}_2 + \dot{n}_5 \Rightarrow \dot{n}_5 = 700 \text{ mol/h}$

$\dot{n}_{O_2} = \dot{n}_3 + \dot{n}_4 + \dot{n}_5 \Rightarrow y_{O_2} = \dot{n}_3 / \dot{n}_{O_2} = 0.208$

$\dot{n}_a = 119,5 \cdot 10^3 \text{ mol/h}$ $y_{N_2} = \dot{n}_4 / \dot{n}_{O_2} = 0.786$ $y_{H_2O} = 1 - y_{O_2} - y_{N_2} = 0.006$



3.2.8 Για τη διεργασία μόνιμης κατάστασης του παρακάτω σχήματος, προσδιορίστε αν υπάρχει μοναδική λύση για την τιμή των μεταβλητών. Να δείξετε τους υπολογισμούς, όπου w_i είναι το κλάσμα μάζας του συστατικού i .





Άγνωστες μεταβλητές: (4) ($w_{2F}, w_{2A}, w_{2P}, w_{3P}$)

Ισοβύγια μάζας για 3 συστατικά

$$(1) F * 0.10 + A * 0.30 = P * 0.175$$

$$w_{1F} + w_{2F} + w_{3F} = 1$$

$$10 * 0.1 + 6 * 0.30 = 16 * 0.175 (!)$$

$$(2) F * w_{2F} + A * w_{2A} = P * w_{2P}$$

$$w_{1A} + w_{2A} + w_{3A} = 1$$

$$\eta \quad 10 * w_{2F} + 6 * w_{2A} = 16 * w_{2P}$$

$$(3) F * \phi + A * w_{3A} = P * w_{3P}$$

$$w_{1P} + w_{2P} + w_{3P} = 1$$

$$\eta \quad 10 * \phi + 6 * 0.20 = 16 * w_{3P}$$

Εχω (2) ανεξάρτητα ισοβύγια μάζας

Εχω (3) σχέσεις κλασμάτων

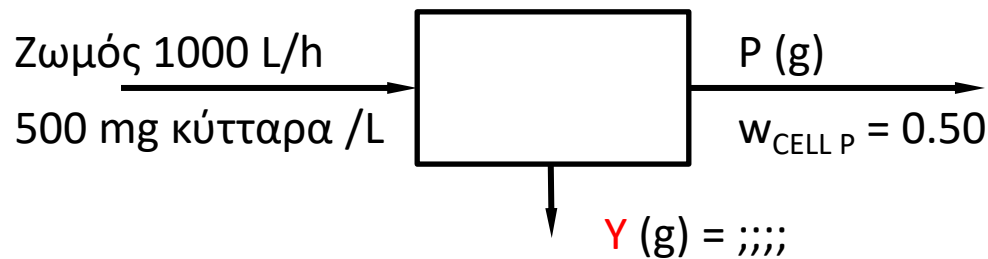
$$df = 4 - 5 = -1 \quad \text{ΥΠΕΡΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΟ!}$$



ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΣΗ

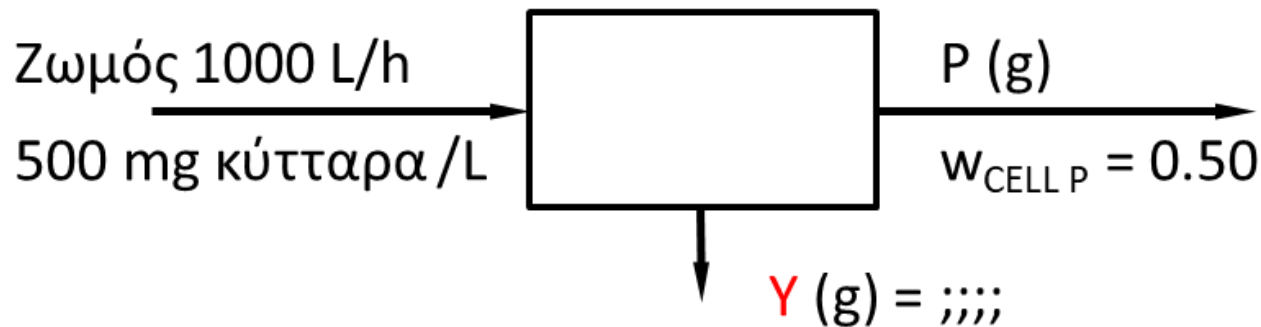
Κύτταρα ζύμης παραλαμβάνονται από υγρό μίγμα που περιέχει κύτταρα με τη βοήθεια φυγοκέντρου.

Προσδιορίστε την ποσότητα του Υπολείμματος σε g που δεν περιέχει κύτταρα και απομακρύνεται κάθε 1 h αν η τροφοδοσία είναι **1000L/h** και περιέχει **500mg κύτταρα /L**, ενώ το ρεύμα παραγωγής περιέχει 50%κ.β. κύτταρα. Υποθέστε ότι η τροφοδοσία έχει $d=1g/cm^3$.



$$Y=999,000 \text{ g}$$

Βάση υπολογισμού 1 h



Ισοζύγιο κυττάρων:

Τροφοδοσία = Έξοδος (συμπύκνωμα) + Υπόλειμμα

$$1000 L \cdot \left| \frac{500 \text{ mg κύτταρα}}{1 L \text{ τροφοδοσία}} \right| \frac{1 g}{1000 \text{ mg}} = \frac{0.50 g \text{ κύτταρα}}{1 g} \cdot P \quad \Rightarrow P = 1000 g \text{ (συμπύκνωμα)}$$

Ισοζύγιο ρευστού

Τροφοδοσία = Έξοδος (συμπύκνωμα) + Υπόλειμμα

$$w_{fluid F} \cdot 1000 L \cdot \left| \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 L} \right| \frac{1 g}{1 \text{ cm}^3} = \frac{0.50 g \text{ ρευστό}}{1 g} \cdot P + Y$$

$$\text{Τροφοδοσία } 1000 L = 1000 L \cdot \left| \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 L} \right| \frac{1 g}{1 \text{ cm}^3} = 10^6 g$$

από αυτήν: 500 g κύτταρα

999.500 g ρευστό

$$\left. \begin{array}{l} \text{από αυτήν: } 500 \text{ g κύτταρα} \\ 999.500 \text{ g ρευστό} \end{array} \right\} w_{fluid F} = 0.9995$$

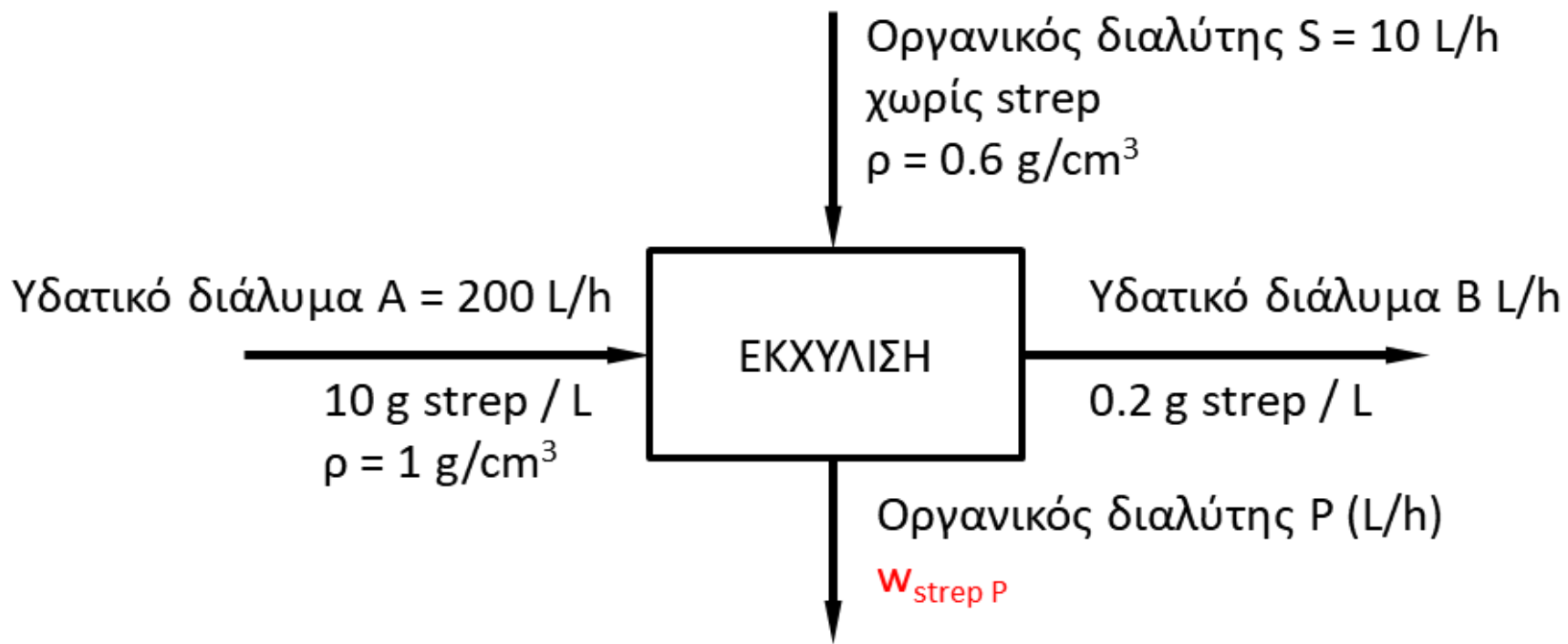
$$\Rightarrow Y = 999000 g$$



ΕΚΧΥΛΙΣΗ

Η στρεπτομυκίνη ανακτάται με διεργασία εκχύλισης με χρήση **οργανικού διαλύτη**. Να προσδιορίσετε το **κλάσμα της στρεπτομυκίνης** στο εξερχόμενο υλικό υποθέτοντας ότι ο οργανικός διαλύτης **δεν έχει καθόλου νερό** και το υδατικό διάλυμα δεν **έχει διαλύτη**. Η πυκνότητα του υδατικού διαλύματος είναι **1g/cm³** και του οργανικού διαλύτη **0.6 g/cm³**. Υποθέστε ότι οι ρυθμοί ροής των εισερχόμενων είναι ίσες με τις εξερχόμενες. Βάση υπολογισμού **200L/min**.

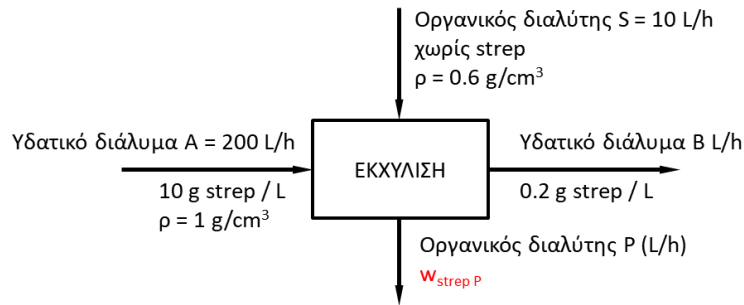
Κλάσμα μάζας strep=0.246



- Λόγω των χαμηλών συγκεντρώσεων στρεπτομυκίνης στα υδατικά και οργανικά ρεύματα θεωρούμε **ότι οι πυκνότητες εισόδου και εξόδου στα αντίστοιχα ρεύματα παραμένουν σταθερές**
- Καθώς «ο οργανικός διαλύτης δεν έχει καθόλου νερό και το υδατικό διάλυμα δεν έχει διαλύτη», αυτό σημαίνει ότι $A = B = 200 \text{ L/h}$ και $S = P = 10 \text{ L/h}$
- Προσοχή, δεν σημαίνει ότι οι μάζες των $A \rightarrow B$ και $S \rightarrow P$ είναι οι ίδιες!

Πόσα συστατικά έχουμε και που;

- Στρεπτομυκίνη (strep) στα ρεύματα A , B και P
- Νερό στα ρεύματα A και B
- Διαλύτη στα ρεύματα S και P



Μερικό Ισοζύγιο μάζας Strep

$$10 \frac{\text{g strep}}{\text{L υδατ διαλυμ}} \cdot 200 \text{ L} + 0 = 0.2 \frac{\text{g strep}}{\text{L υδατ διαλυμ}} \cdot 200 \text{ L} + m_{\text{strep P}}$$

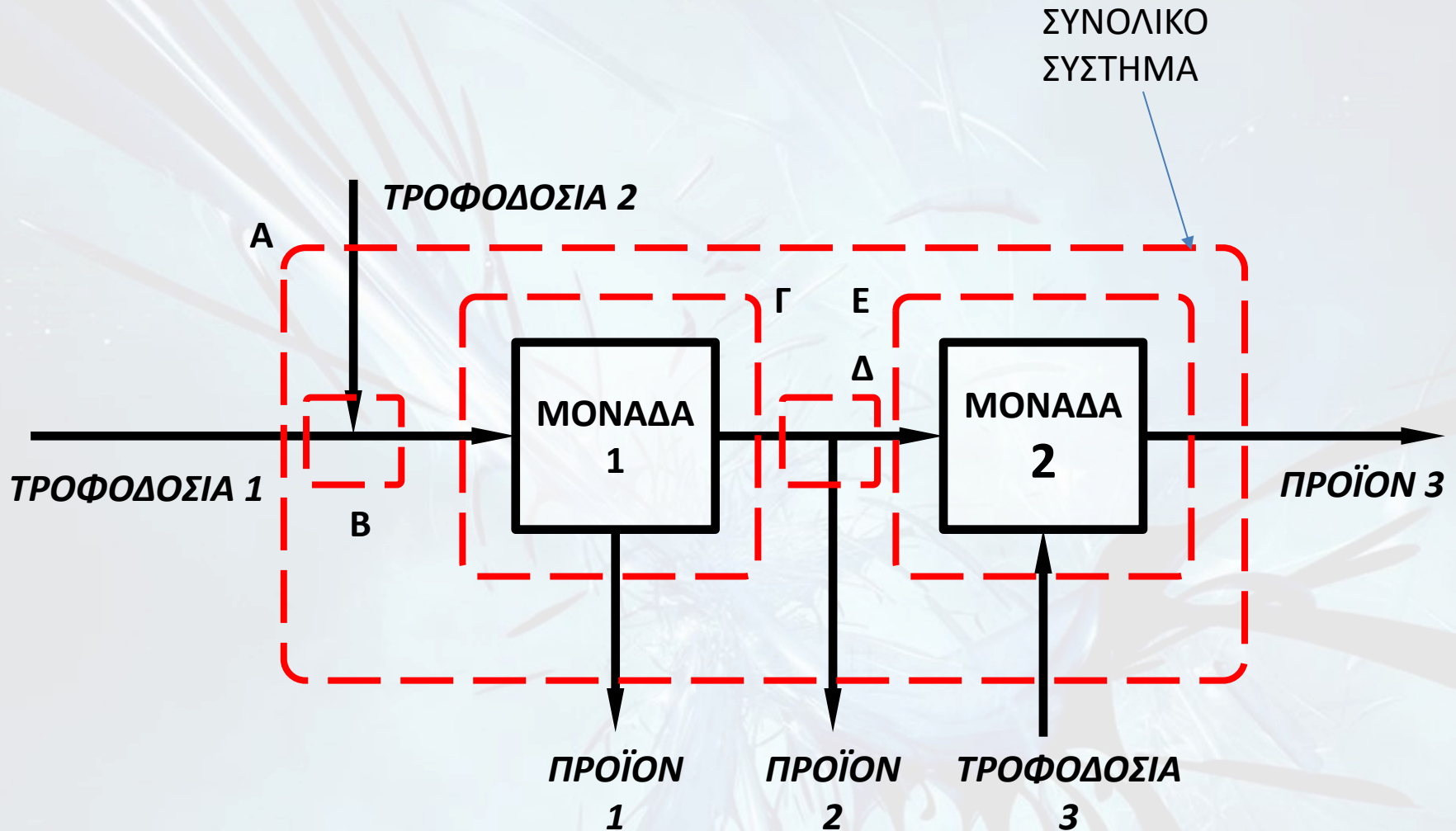
$$\Rightarrow 2000\text{g} + 0 = 40\text{g} + m_{\text{strep P}} \Rightarrow m_{\text{strep P}} = 1960 \text{ g (/h)}$$

Για τον υπολογισμό του $w_{\text{strep P}} = \frac{m_{\text{strep P}}}{m_{\text{strep P}} + m_{\text{org solvent P}}}$ χρειάζεται απλά να υπολογίσουμε τη ποσότητα (μαζικό ρυθμό) του οργανικού διαλύτη στο ρεύμα P. Όμως, όλος ο οργανικός διαλύτης προέρχεται αποκλειστικά από το ρεύμα S.

$$m_{\text{org solvent S}} = m_{\text{org solvent P}} = 10 \text{ L} \cdot \frac{600 \text{ g}}{\text{L}} = 6000 \text{ g}$$

$$\Rightarrow w_{\text{strep P}} = \frac{1960 \text{ (g)}}{1960 + 6000 \text{ (g)}} = 0.246$$

ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

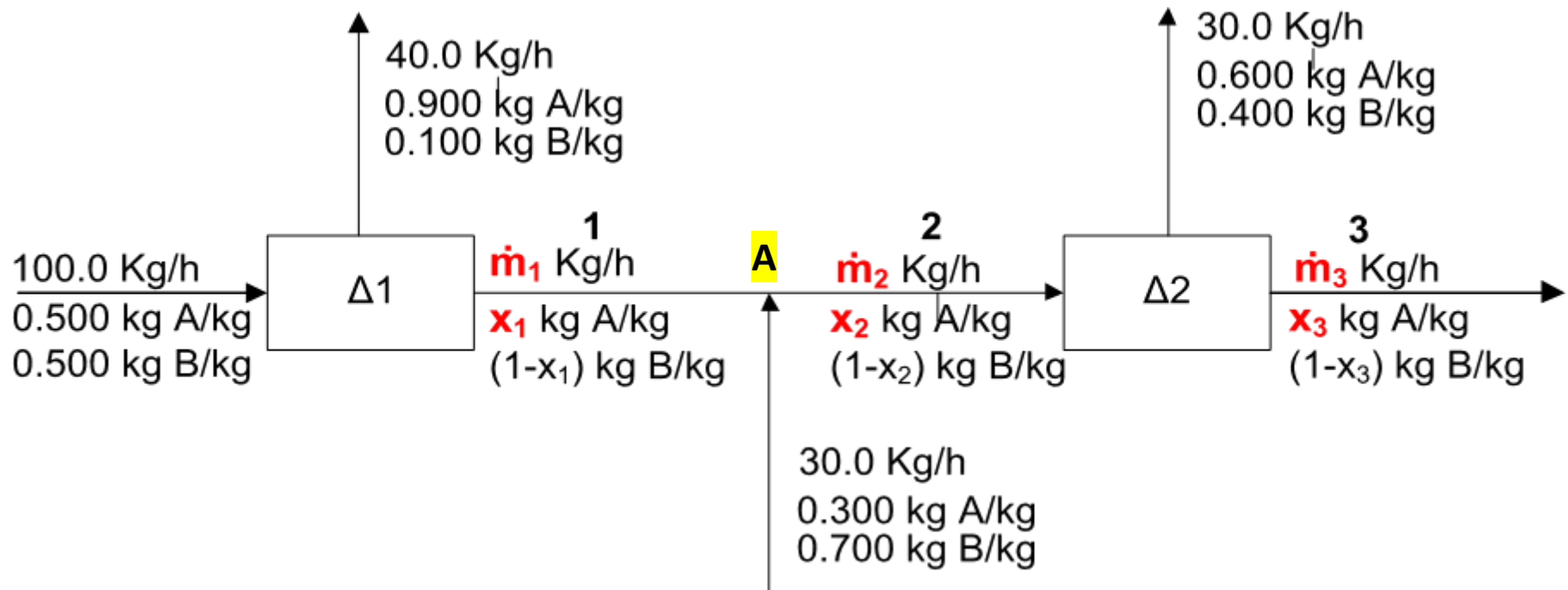


ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

- ✓ Σχεδιάζουμε το διάγραμμα ροής και απεικονίζουμε όλες τις μεταβλητές (γνωστές και άγνωστες) πάνω σε αυτό.
- ✓ Εξετάζουμε τα σχετικά συστήματα (συνολική διεργασία, επιμέρους διεργασίες, σημεία ανάμιξης, σημεία διαχωρισμού κλπ) και βρίσκουμε τους βαθμούς ελευθερίας κάθε συστήματος ξεχωριστά.
- ✓ **Ξεκινάμε την επίλυση των ισοζυγίων από το σύστημα που έχει 0 βαθμούς ελευθερίας.**
- ✓ Αντικαθιστούμε τις υπολογιζόμενες μεταβλητές (ροές, συστάσεις) στα άλλα (άλυτα) συστήματα και συνεχίζουμε μέχρι να υπολογιστούν όλες οι μεταβλητές των ρευμάτων.



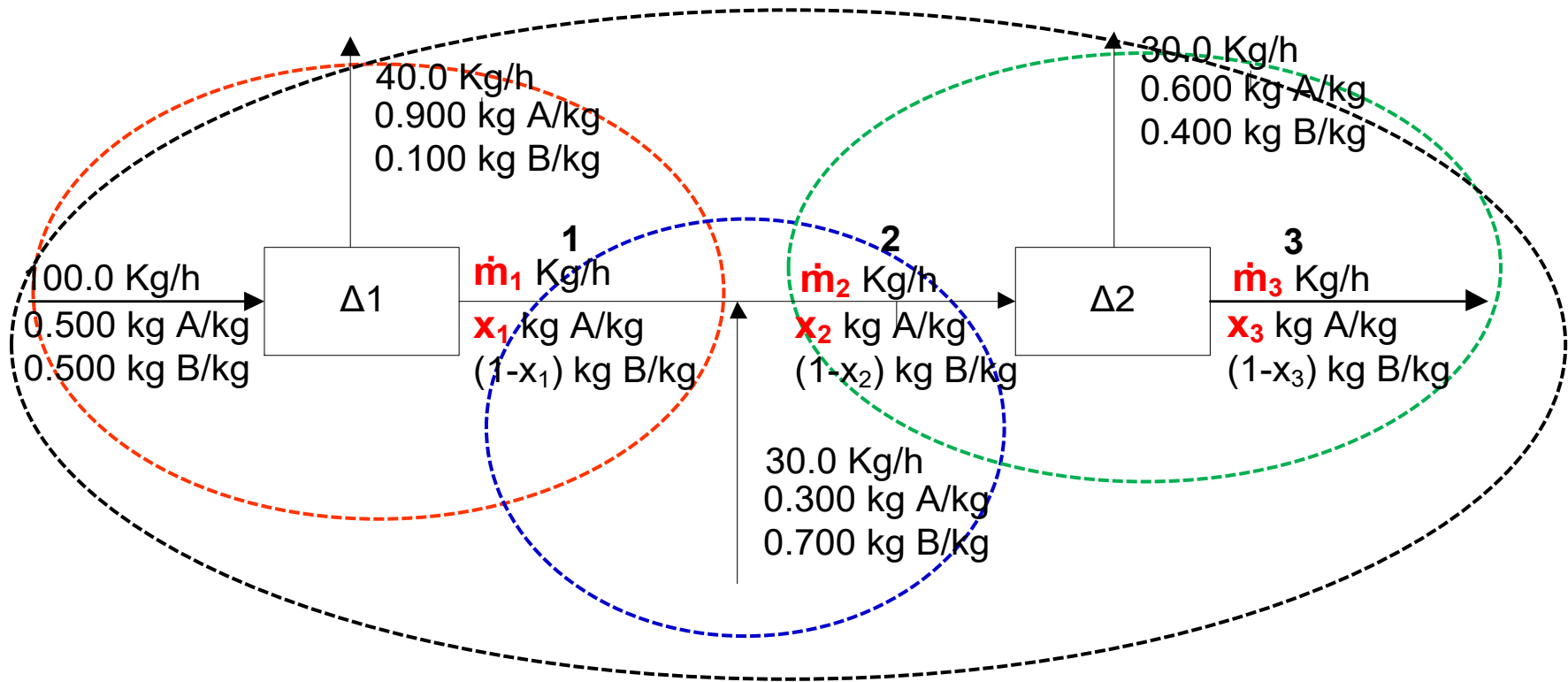
ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



Δίνεται μια **συνολικά συνεχής διεργασία μόνιμης κατάστασης** που αποτελείται από 2 μονάδες, όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Καθορίστε τους βαθμούς ελευθερίας σε κάθε σύστημα και στη συνέχεια καθορίστε τις άγνωστες μεταβλητές.

ΑΣΚΗΣΗ (συνέχεια)

Επιμέρους συστήματα



ΑΣΚΗΣΗ (συνέχεια)

Επίλυση

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΑΓΝΩΣΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ	ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ
Σύνολο	2 ($\dot{m}_3, x_3$)	2	0
Διεργασία Δ1	2 ($\dot{m}_1, x_1$)	2	0
Σημείο ανάμιξης Α	4 ($\dot{m}_1, x_1, \dot{m}_2, x_2$)	2	2
Διεργασία Δ2	4 ($\dot{m}_2, x_2, \dot{m}_3, x_3$)	2	2

Σειρά επίλυσης ισοζυγίων μάζας

1. Σύνολο: ($\dot{m}_3, x_3$) = (60 kg/h, 0.083 kg A/kg)
2. Διεργασία Δ1 ($\dot{m}_1, x_1$) = (60 kg/h, 0.233 kg A/kg)
3. Σημείο ανάμιξης $\dot{m}_2, x_2$ = (90 kg/h, 0.253 kg A/kg)

ΠΟΡΕΙΑ: ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ $\rightarrow$ Μονάδα 1 $\rightarrow$ Σημείο Ανάμειξης

$(\dot{m}_3, x_3)$ $(\dot{m}_1, x_1)$ $(\dot{m}_2, x_2)$
 ① ② ③

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΜΑΖΑΣ: ΕΙΣΟΔΟΣ = ΕΞΟΔΟΣ (1)

① ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ: $(100.0 + 30.0) \frac{\text{kg}}{\text{h}} = (40.0 + 30.0) + \dot{m}_3 \Rightarrow$
 (1) $\Rightarrow$
 $\dot{m}_3 = 60.0 \text{ kg/h}$

Μερικό Ισοζύγιο A: $0.500 * 100.0 + 0.300 * 30.0 = 0.900 * 40.0 +$
 $+ 0.600 * 30.0 + x_3 * 60.0 \Rightarrow$ $x_3 = 0.0833 \frac{\text{kg A}}{\text{kg}}$

② Μονάδα 1

Συνολικό Ισοζύγιο Μονάδα 1

$100.0 = 40.0 + \dot{m}_1 \Rightarrow$ $\dot{m}_1 = 60.0 \text{ kg/h}$

Μερικό Ισοζύγιο συστ. A: $0.500 * 100.0 = 0.900 * 40.0 + x_1 * 60.0 \Rightarrow$
 $x_1 = 0.233 \frac{\text{kg A}}{\text{kg}}$

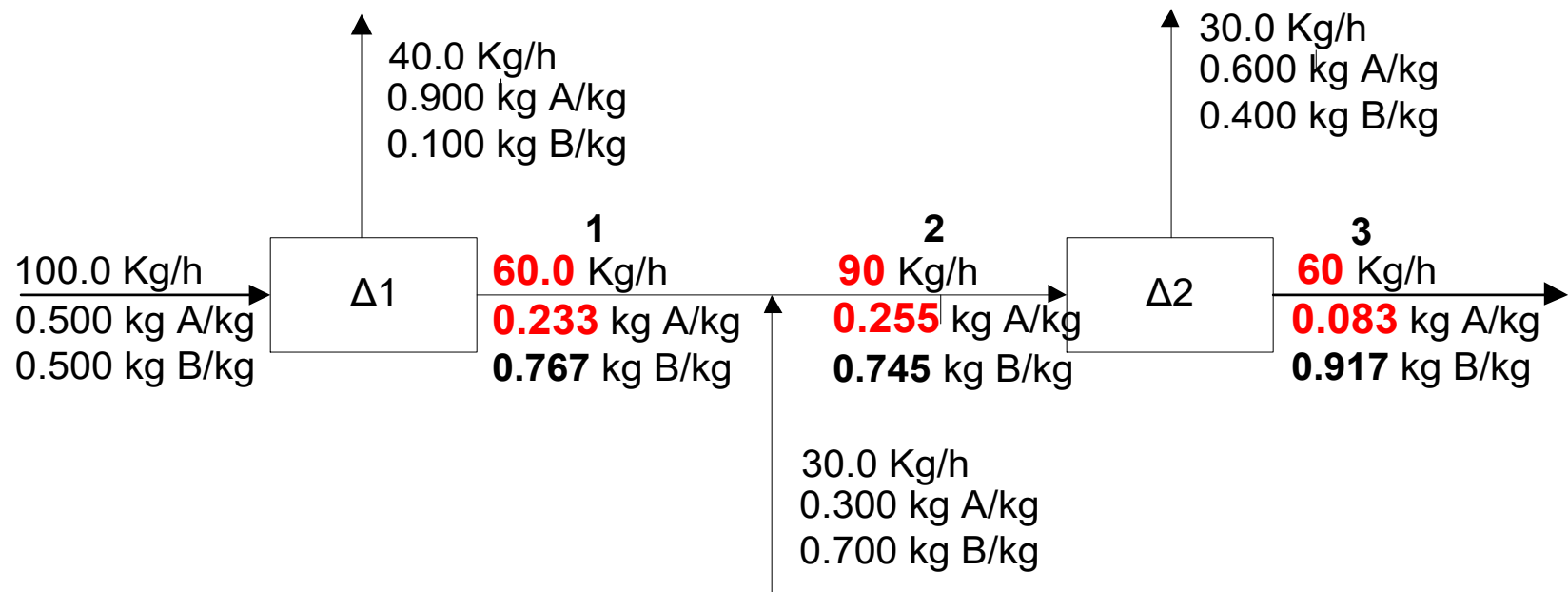
③ Ανάμειξη A

Συνολικό Ισοζύγιο: $\left. \begin{array}{l} \dot{m}_1 + 30.0 = \dot{m}_2 \\ \dot{m}_1 = 60.0 \end{array} \right\} \Rightarrow$ $\dot{m}_2 = 90.0 \text{ kg/h}$

Μερικό Ισοζύγιο συστ. A: $x_1 * \dot{m}_1 + 30.0 * 0.3 = \dot{m}_2 * x_2 \Rightarrow$
 $x_2 = 0.255 \frac{\text{kg A}}{\text{kg}}$

ΑΣΚΗΣΗ (συνέχεια)

Λυμένο διάγραμμα ροής





ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ε. Παυλάτου, 2025-26

Ένα μίγμα υγρού που περιέχει **30.0 mole % βενζόλιο (B)**, **25.0% (T)** και το υπόλοιπο ξυλένιο (X) εισάγεται σε μία αποστακτική στήλη. Τα προϊόντα πυθμένα περιλαμβάνουν **98.0 % mol X**, **καθόλου B** και το **96% του X** που υπάρχει στην τροφοδοσία ανακτάται στο ρεύμα αυτό.

Το ρεύμα κορυφής εισέρχεται σε δεύτερη αποστακτική στήλη.

Το ρεύμα κορυφής της 2^{ης} στήλης περιέχει **97.0 % του B της τροφοδοσίας της.**

Η σύσταση του ρεύματος αυτού είναι **94.0 mole % B** και το υπόλοιπο **T**.

(i) Σχεδιάστε το διάγραμμα ροής και υπολογίστε τους βαθμούς ελευθερίας έτσι ώστε να διαπιστώσετε ότι οι μεταβλητές μπορούν να προσδιοριστούν.

Δώστε τη σειρά υπολογισμών χωρίς να τους εκτελέσετε.

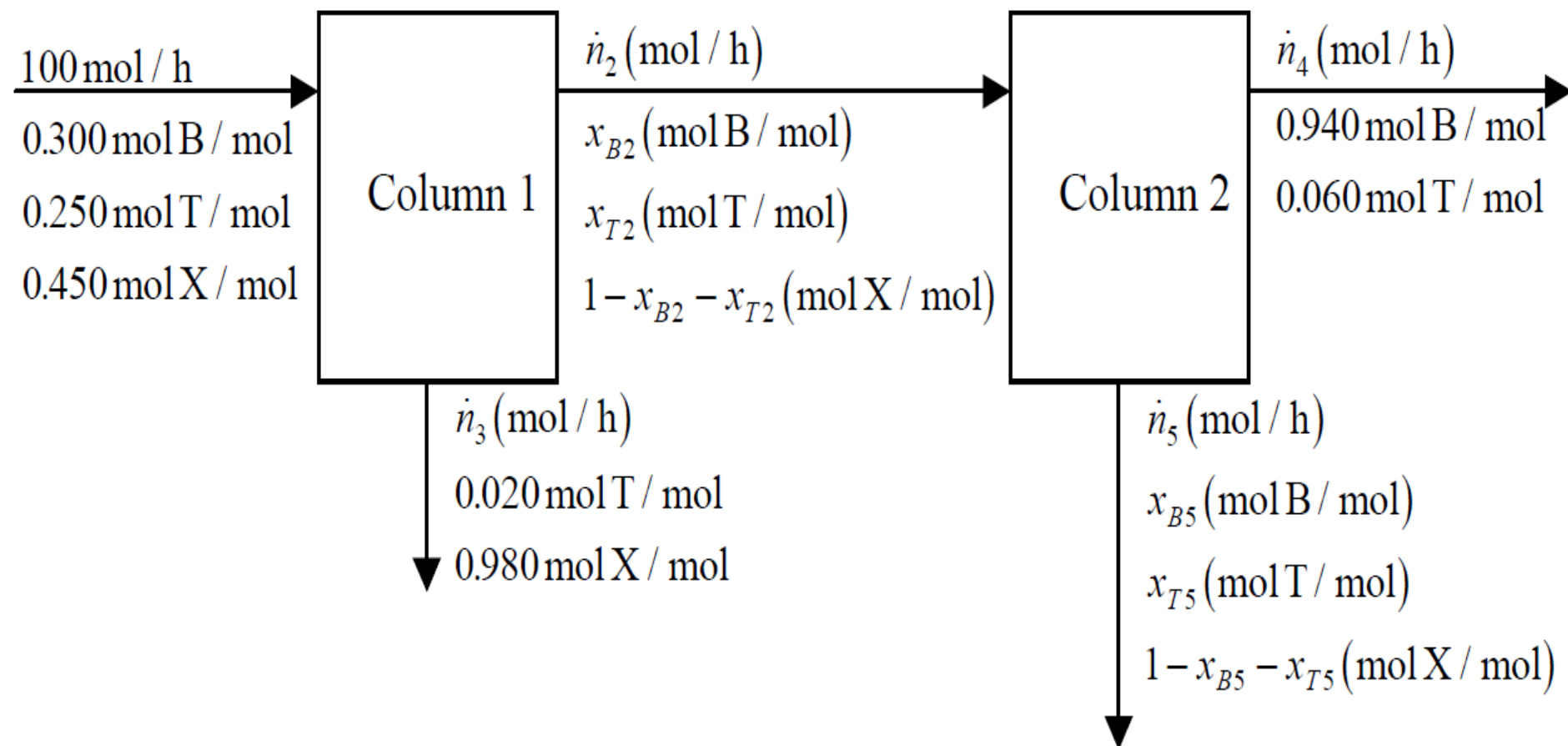
(ii) Υπολογίστε το **ποσοστό του βενζολίου** που εξέρχεται από το ρεύμα κορυφής της 2^{ης} στήλης σε σχέση με την τροφοδοσία της 1^{ης} στήλης.

(iii) Υπολογίστε το **ποσοστό τολουολίου** εξέρχεται από το ρεύμα πυθμένα της 2^{ης} στήλης σε σχέση με την τροφοδοσία της 1^{ης} στήλης.



ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Βάση υπολογισμού: τροφοδοσία 100 mol/h





ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ανάμνηση Βαθμών Ελευθερίας

Μετά από
επίλυση
στήλης 1

Στήλη 1

Άγνωστοι : 4 ($\dot{n}_2, \dot{n}_3, x_{B2}, x_{T2}$)

Ισοϋγία : 3 (B, T, X)

Περ. Σχέσης : 1 (96% τροφ)

$$df = 4 - 3 - 1 = 0$$

Στήλη 2

Άγνωστοι : 4 ($\dot{n}_4, \dot{n}_5, x_{B5}, x_{T5}$)

Ισοϋγία : 3

Περ. Σχ : 1 (97% τροφ)

$$df = 4 - 3 - 1 = 0$$

Στήλη 1

$$\text{Περιορισμός : } 0.96 * (100 * 0.450) = 0.98 * \dot{n}_3 \Rightarrow \dot{n}_3 = 44.1 \text{ mol/h} \quad (1)$$

$$\text{ΓΕΝΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ : } \dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$$

$$\text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ : } 100 = \dot{n}_2 + \dot{n}_3 \Rightarrow \dot{n}_2 = 55.9 \text{ mol/h} \quad (2)$$

$$\text{ΜΕΡΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ B : } 0.3 * 100 = x_{B2} * \dot{n}_2 \Rightarrow x_{B2} = 0.536 \quad (3)$$

$$\text{" " T : } 0.250 * 100 = x_{T2} * \dot{n}_2 \Rightarrow x_{T2} = 0.431 \quad (4)$$



ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Στήλη 2

Περιορισμός: $0.97 * (x_{B2} * \dot{n}_2) = 0.94 * \dot{n}_4 \Rightarrow \dot{n}_4 = 30.95 \text{ mol/h}$ ⑤

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ: $\dot{n}_2 = \dot{n}_4 + \dot{n}_5 \xrightarrow[\text{⑤}]{\text{②}} \dot{n}_5 = 24.96 \text{ mol/h}$ ⑥

ΜΕΡΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ Β: $x_{B2} * \dot{n}_2 = 0.940 * \dot{n}_4 + x_{B5} * \dot{n}_5 \xrightarrow[\text{⑤, ⑥}]{\text{②, ③}}$

$$x_{B5} = 0.036$$

ΜΕΡΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ Τ: $x_{T2} * \dot{n}_2 = 0.06 * \dot{n}_4 + x_{T5} * \dot{n}_5 \Rightarrow x_{T5} = 0.892$

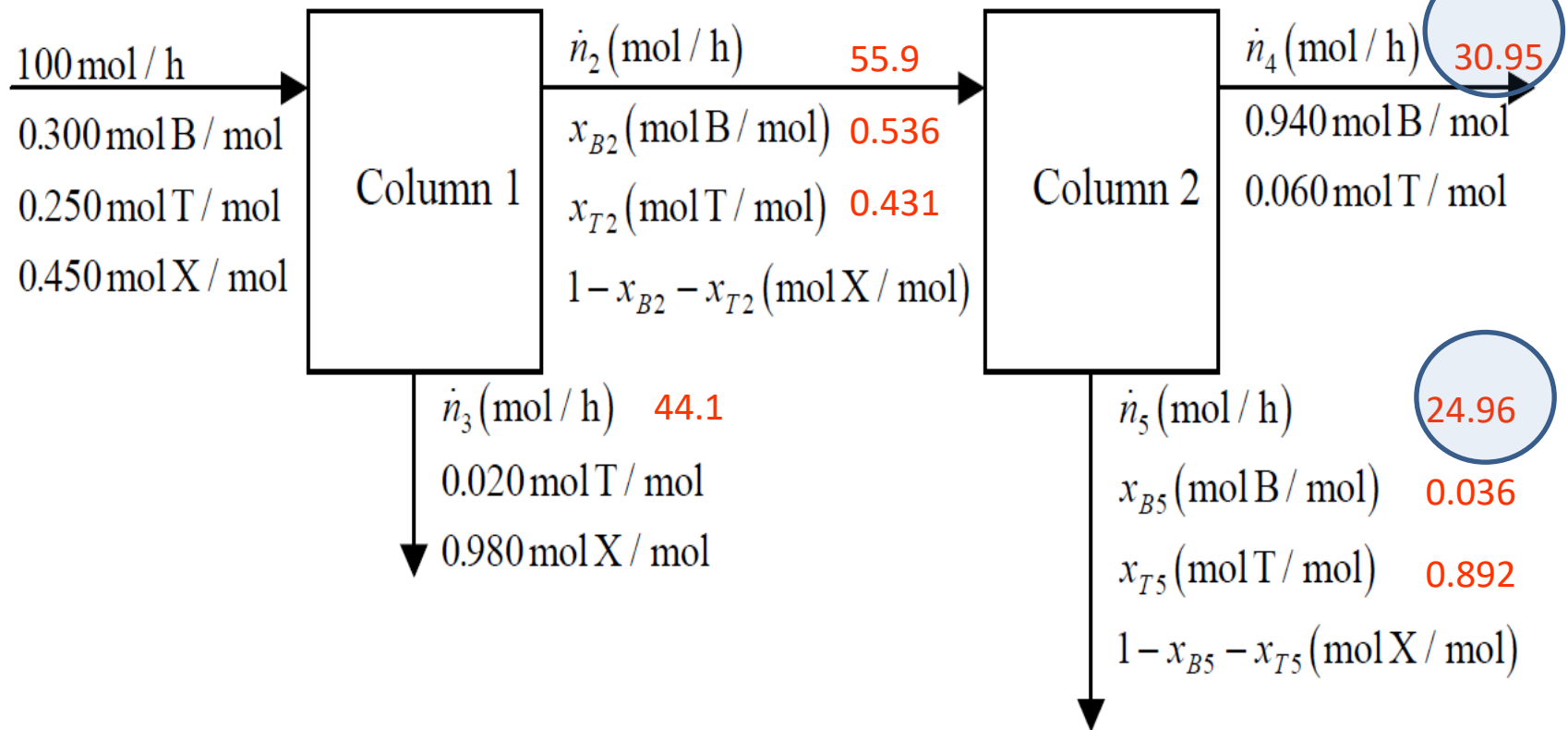
ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ: $\% B (\text{στην κορυφή}) = \frac{\text{Έξοδος B (2η στήλη)}}{\text{Είσοδος 1η στήλη}} = \frac{0.940 * 30.95}{0.30 * 100} = 97\%$

$\% T (\text{στην πυθμένα}) = \frac{0.892 * 24.96}{0.25 * 100} = 89\%$

ΑΣΚΗΣΗ

Λυμένο διάγραμμα ροής

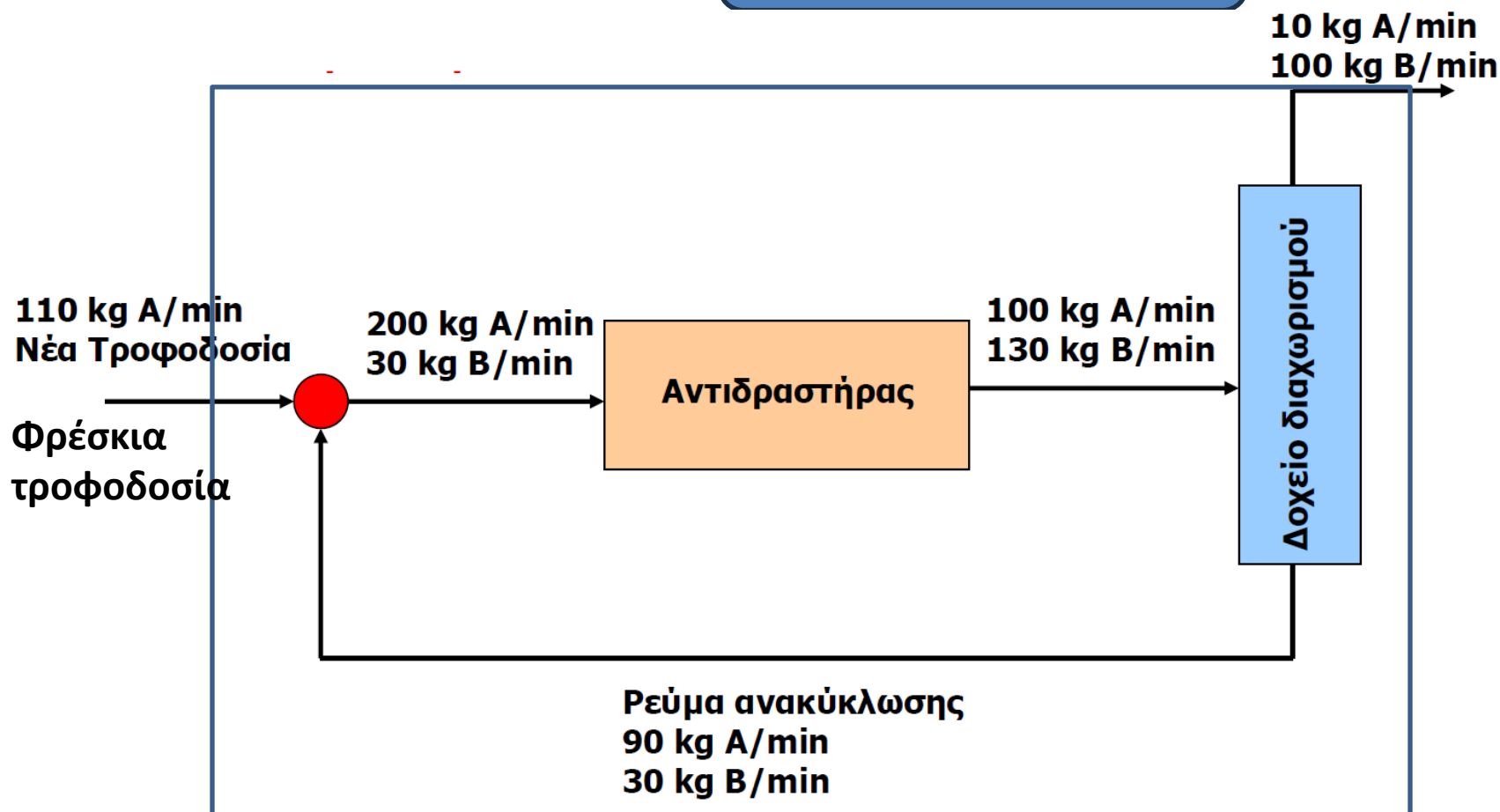
Στο ρεύμα 4
περιέχεται το
97% του B που
υπάρχει στην
τροφοδοσία της
διεργασίας
αυτής



ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΜΕ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

Με χημική αντίδραση: $A \rightarrow B$

Συνεχούς λειτουργία-
Μόνιμη κατάσταση

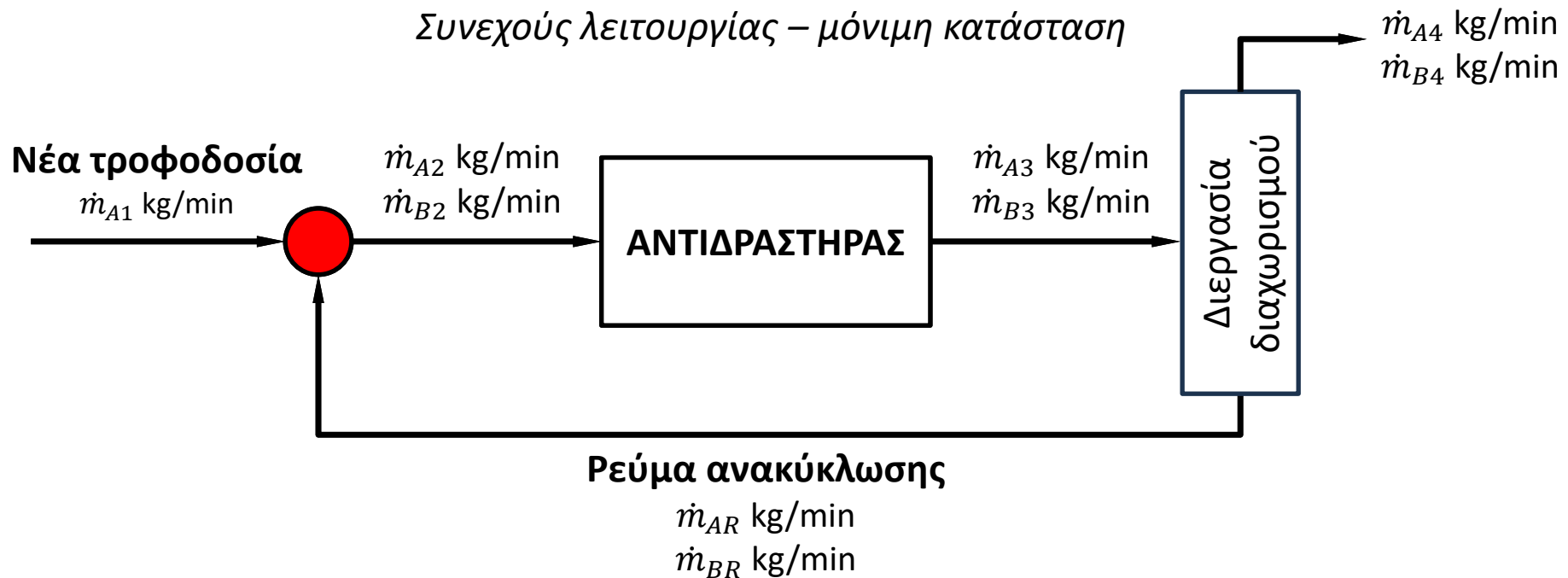


Λόγος Ανακύκλωσης $R = (\text{Ρεύμα ανακύκλωσης}) / (\text{Νέα τροφοδοσία})$

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Με χημική αντίδραση (π.χ. $A \rightarrow B$)

Συνεχούς λειτουργίας – μόνιμη κατάσταση

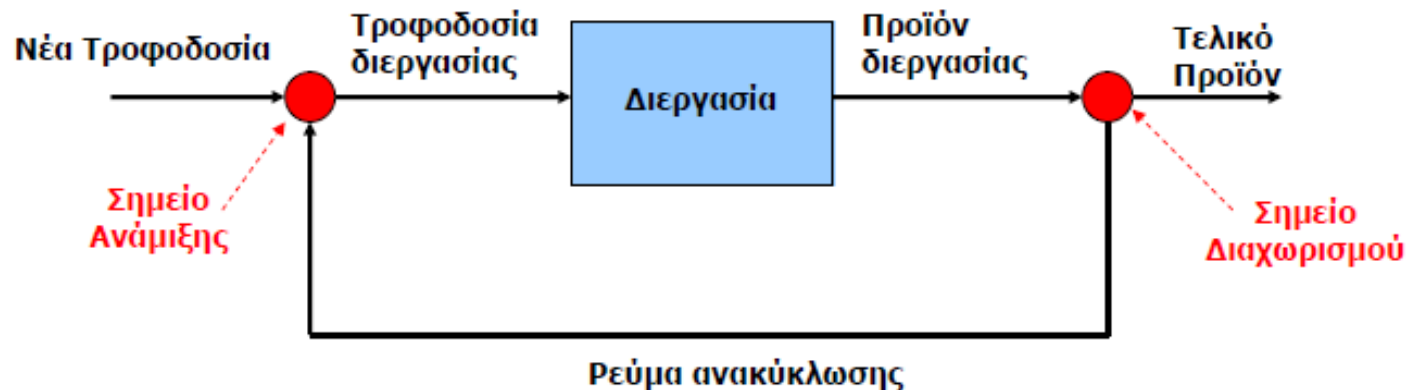


$$\text{Λόγος Ανακύκλωσης } \Sigma R = \frac{\text{Ρεύμα Ανακύκλωσης}}{\text{Νέα Τροφοδοσία}}$$



ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΧΩΡΙΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

- Οι ιδιότητες των ρευμάτων ανακύκλωσης δεν προκύπτουν από το συνολικό ισοζύγιο μάζας
- Χρειάζεται και ισοζύγιο μάζας στο **σημείο διαχωρισμού** προϊόντος ή/και **στο σημείο ανάμιξης** με τη **νέα τροφοδοσία**.
- Πολλές φορές στα προβλήματα ζητείται ο **λόγος του ρεύματος φρέσκιας ανακύκλωσης ως προς το ρεύμα του τελικού προϊόντος ή νέας τροφοδοσίας**

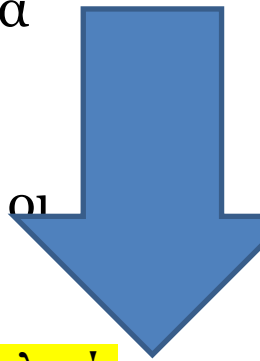




ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

ΔΕΝ ΑΛΛΑΖΕΙ Ο ΤΡΟΠΟΣ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ
ΙΣ.ΜΑΖΑΣ!!

- ✓ Κατασκευάζουμε το **διάγραμμα ροής** και απεικονίζουμε όλες τις μεταβλητές (γνωστές και άγνωστες) πάνω σε αυτό.
- ✓ Εξετάζουμε τα **σχετικά συστήματα** (συνολική διεργασία, σημεία ανάμιξης, σημεία διαχωρισμού κλπ) και βρίσκουμε τους βαθμούς ελευθερίας κάθε συστήματος ξεχωριστά.
- ✓ Ξεκινάμε την επίλυση των ισοζυγίων από το σύστημα που **έχει ο βαθμούς ελευθερίας** (συνήθως είναι το συνολικό σύστημα
- ✓ Αντικαθιστούμε τις υπολογιζόμενες μεταβλητές (ροές, συστάσεις) στα επόμενα και συνεχίζουμε μέχρι να υπολογιστούν όλες οι μεταβλητές των ρευμάτων.
- ✓ Οι μεταβλητές των ρευμάτων ανακύκλωσης **δεν προκύπτουν από το συνολικό ισοζύγιο μάζας**. Χρειάζεται και **ισοζύγιο μάζας στο σημείο διαχωρισμού προϊόντος** ή/και **στο σημείο ανάμιξης** με τη νέα τροφοδοσία.



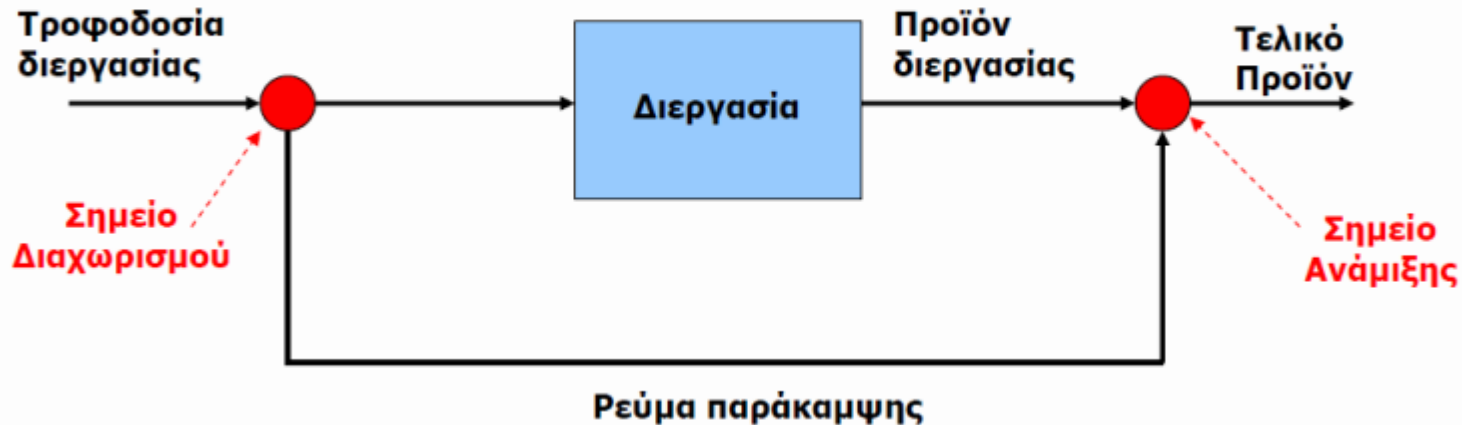


ΡΕΥΜΑ ΠΑΡΑΚΑΜΨΗΣ

Ρεύμα παράκαμψης

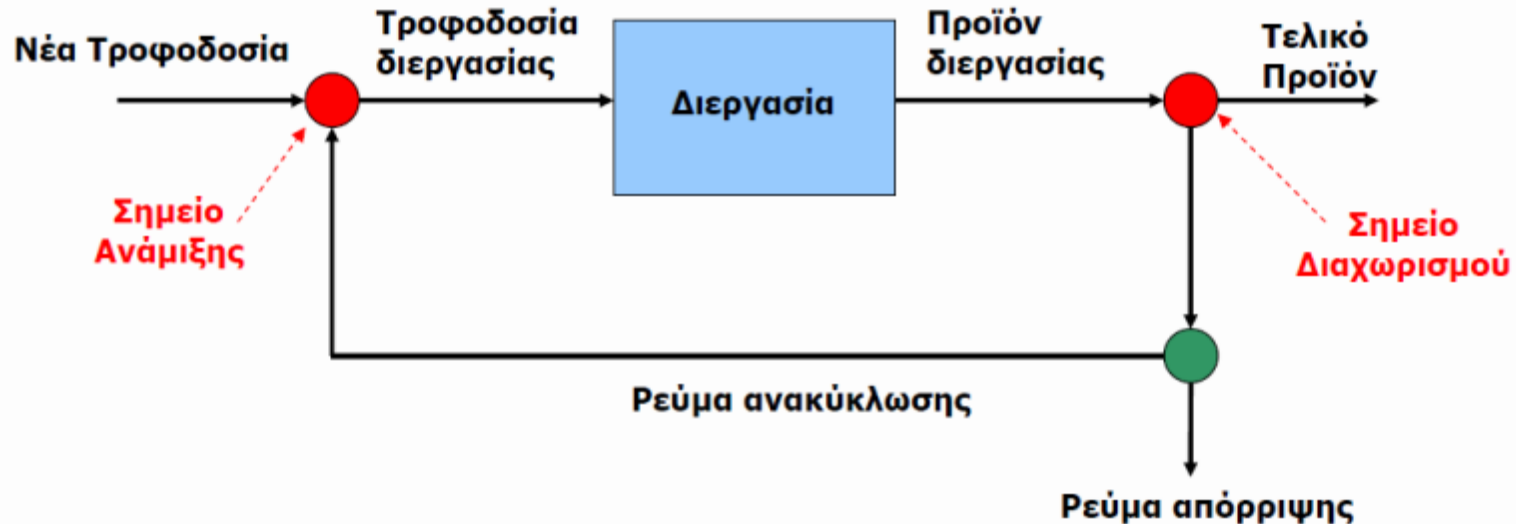
Ε. Παυλάτου, 2025-26

Χρησιμοποιείται κυρίως για να ρυθμίζεται η σύσταση προϊόντος.





ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΑΠΟΡΡΙΨΗ

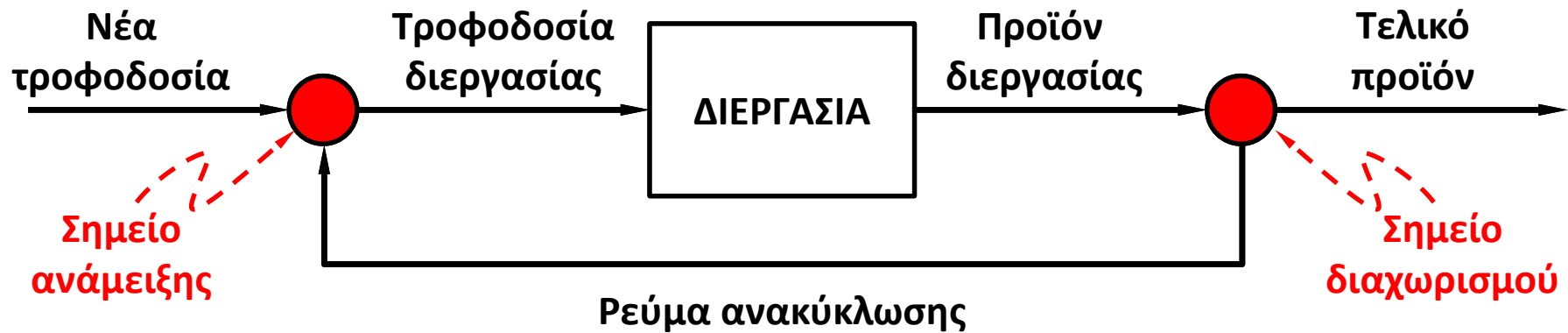


Ρεύμα απόρριψης (απομάκρυνσης)

Βοηθάει στην αποτροπή της συσσώρευσης αδρανών ή ανεπιθύμητων ουσιών στο σύστημα

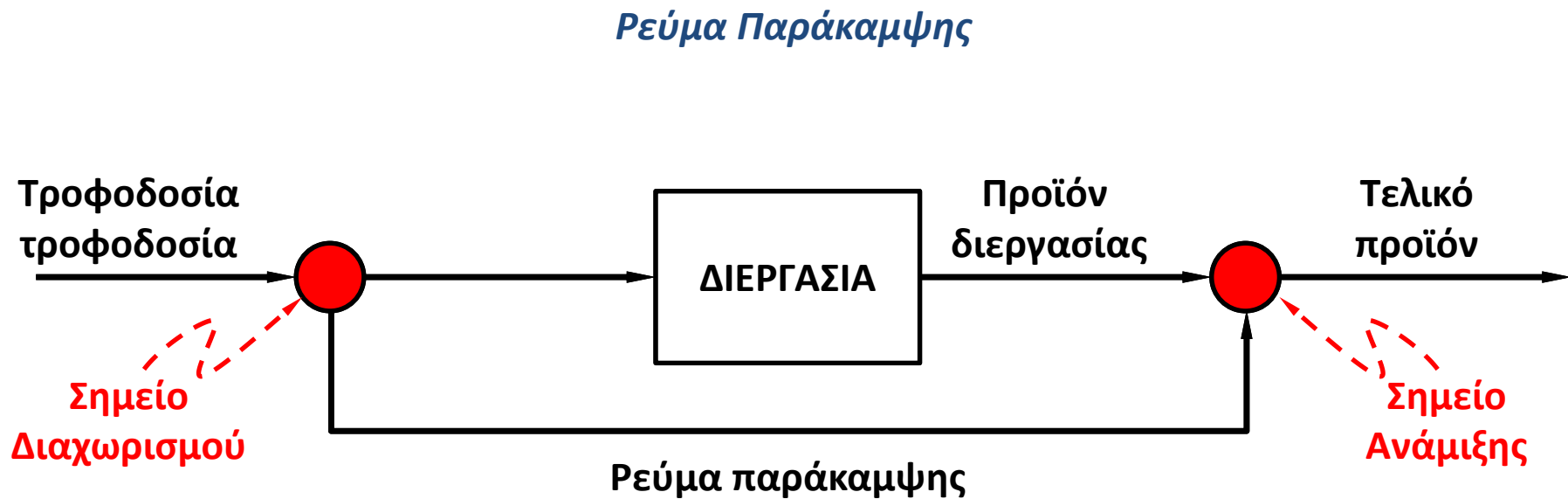
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Χωρίς χημική αντίδραση



$$\text{Λόγος Ανακύκλωσης } \Sigma R = \frac{\text{Ρεύμα Ανακύκλωσης}}{\text{Νέα Τροφοδοσία}}$$

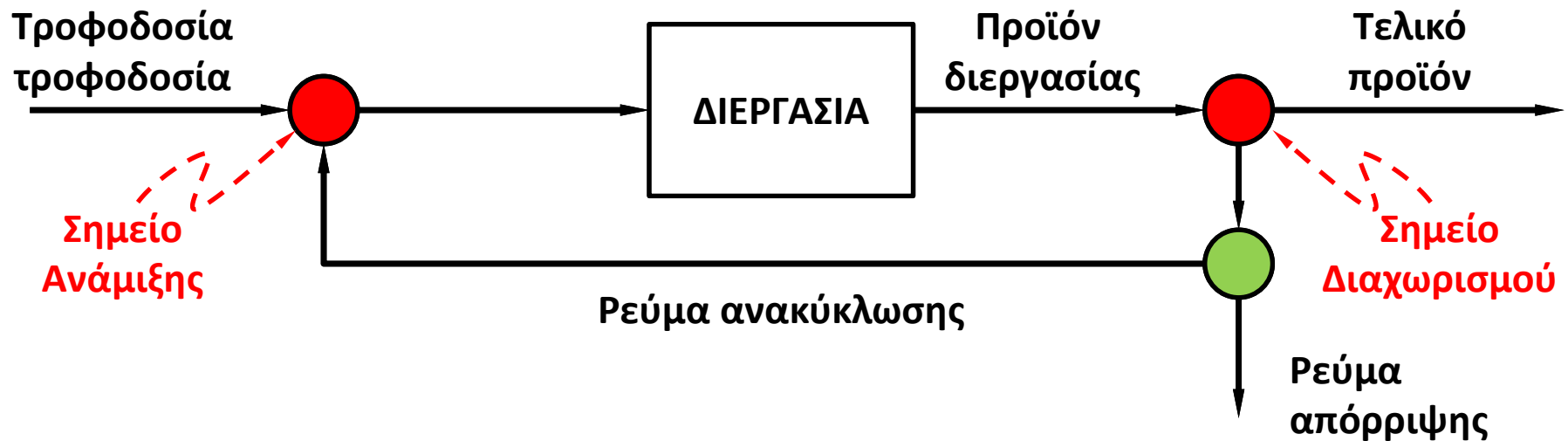
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

**Ρεύμα παράκαμψης:**

Χρησιμοποιείται κυρίως για να ρυθμίζεται η σύσταση προϊόντος.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ανακύκλωση-απορριψη

Ανακύκλωση - Απόρριψη



Ρεύμα απόρριψης (απομάκρυνσης)

Βοηθάει στην αποτροπή της συσσώρευσης αδρανών ή ανεπιθύμητων ουσιών στο σύστημα



ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΟ- ΑΦΥΓΡΑΝΤΗΡΑΣ

Φρέσκος αέρας περιέχει **4% υγρασία** ($\text{H}_2\text{O}(\text{v})$), ο οποίος πρέπει να ψυχθεί και να αφυγρανθεί σε ποσοστό **1.70 mol%**. Ο φρέσκος αέρας πριν το κλιματιστικό αναμιγνύεται με **ρεύμα ανακύκλωσης** που περιλαμβάνει αφυγρασμένο αέρα (**1.70% υγρασία**) που έχει περάσει ήδη από το κλιματιστικό. Το ρεύμα εισόδου ή τροφοδοσία στο κλιματιστικό έχει υγρασία **2.3% (mole)**.

Στο κλιματιστικό, μέρος της υγρασίας συμπυκνώνεται και απομακρύνεται **ως υγρό**. Μέρος του ρεύματος εξόδου αέρα ανακυκλώνεται και το υπόλοιπο διοχετεύεται στο δωμάτιο εγκατάστασης.

1) Να σχεδιάσετε το διάγραμμα ροής.

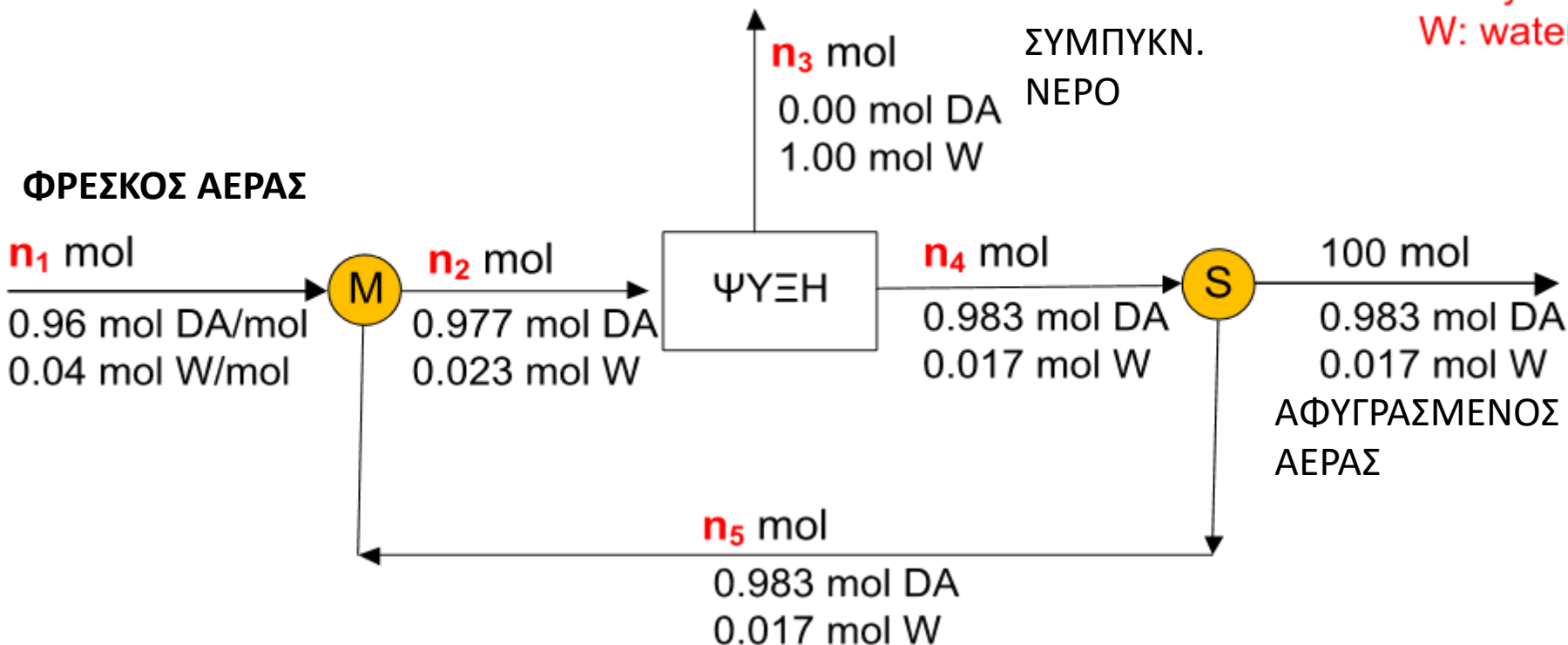
2) Έχοντας βάση υπολογισμού **100 mol αφυγρασμένου προς το δωμάτιο**

υπολογίστε *mol φρέσκου αέρα* , *mol του συμπυκνωμένου νερού*, *mol ανακυκλούμενου αέρα*??? Καθορίστε όλες τις ροές!



ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – AIR CONDITIONER

DA: Dry air
W: water



ΒΑΣΗ 100 mol αέρα στην έξοδο= ΠΡΟΙΟΝ

$$n_1 = ?$$

$$n_3 = ?$$

$$n_5 = ?$$

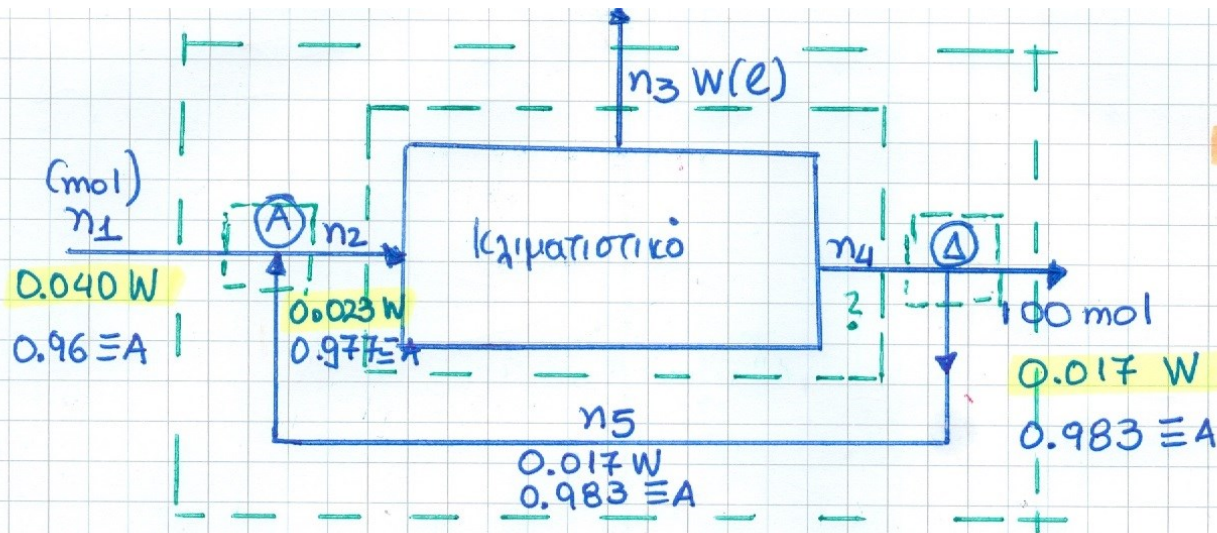
Βάση υπολογισμού:

έξοδος/προϊόν 100 mol αφυγρασμένος αέρας



ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ - AIR CONDITIONER

Ε. Παυλάτου, 2025-26



Ζητούμενα

$$n_1 = ?$$

$$n_3 = ?$$

$$n_5 = ?$$

$$n_4 = ?$$

Ανάλυση βαθμών ελευθερίας

ΣΥΝ. ΣΥΣΤΗΜΑ	ΣΗΜΕΙΟ Α	ΚΛΙΜΑΤΙΣΤΙΚΟ	ΣΗΜΕΙΟ Δ
ΑΓΝΟΣΤΟΙ	2 (n_1, n_2)	3 (n_2, n_3, n_4)	2 (n_4, n_5)
ΙΣΟΖΥΓΙΑ	2	2	1 *!
ΠΕΡΙΩΡ/ΣΧ.	∅	∅	∅
Β. Ε	∅	1	1

Επομένως γράφουμε ισοζύγια με τη σειρά

ΣΥΝ. ΣΥΣΤΗΜΑ → ΣΗΜΕΙΟ Α

, ΒΑΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ 100 mol

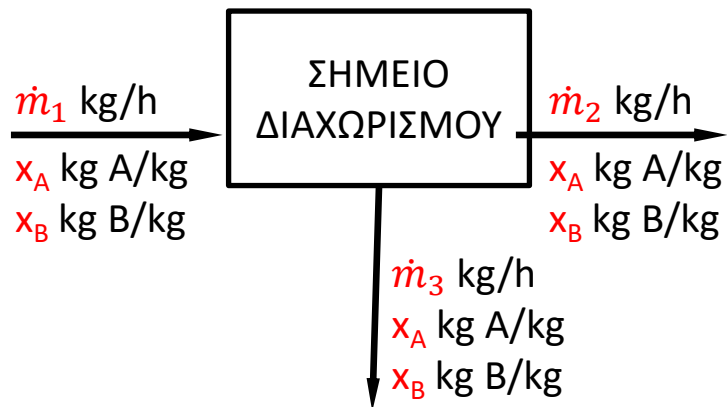
ΕΞΟΔΟΣ!

ΠΡΟΣΟΧΗ!!!!

Σε μια διεργασία όπου όλα τα ρεύματα έχουν την ίδια σύσταση (πχ. όταν 1 ρεύμα διαμοιράζεται σε 2 ή και περισσότερα ρεύματα), **μπορεί να γραφτεί ένα (1) μόνο ανεξάρτητο ισοζύγιο μάζας**, ανεξάρτητα από τον αριθμό των συστατικών που συμμετέχουν στη διεργασία.

Παράδειγμα:

Διαμοιρασμός ρεύματος (split) δύο συστατικών A και B σε δυο ρεύματα ίδιας σύστασης



$$\text{Συν. ισοζύγιο: } \dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \quad (1)$$

$$\text{Ισοζύγιο A: } x_A \cdot \dot{m}_1 = x_A \cdot \dot{m}_2 + x_A \cdot \dot{m}_3 \quad (2)$$

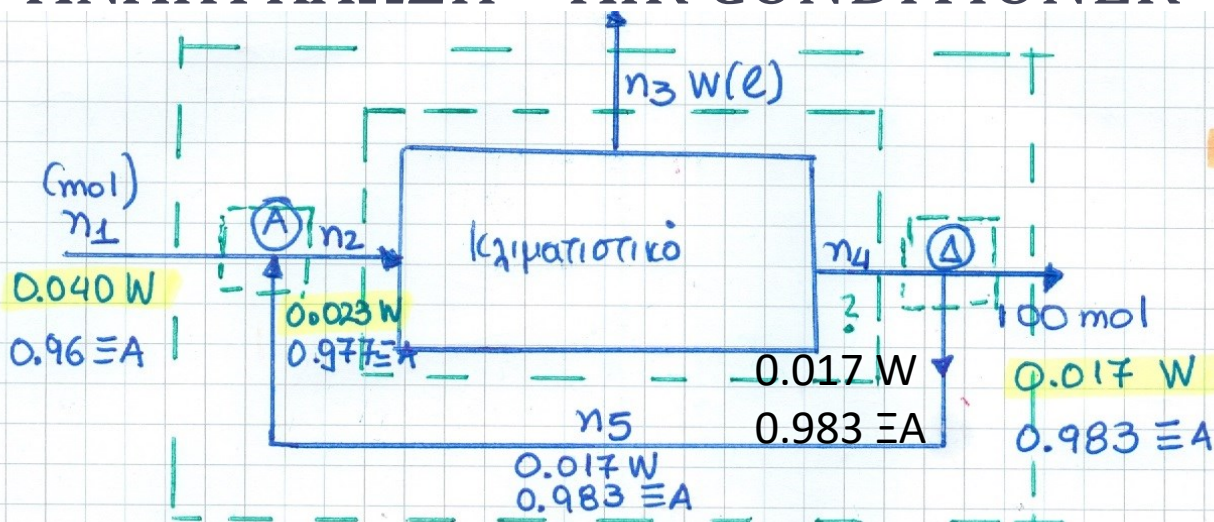
$$\text{Ισοζύγιο B: } x_B \cdot \dot{m}_1 = x_B \cdot \dot{m}_2 + x_B \cdot \dot{m}_3 \quad (3)$$

- **Μόνο η (1) είναι ανεξάρτητη!**
- Οι (2) και (3) προκύπτουν από την (1) με πολλαπλασιασμό με x_A και x_B αντίστοιχα



ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – AIR CONDITIONER

Ε. Παυλάτου, 2025-26



Ζητούμενα

$$n_1 = ?$$

$$n_3 = ?$$

$$n_5 = ?$$

ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ: ΕΙΣΟΔΟΣ = ΕΞΟΔΟΣ.

ΣΥΝ. ΣΥΣΤΗΜΑ: Μερικό ισοζύγιο ΞΑ: $0.960 * n_1 = 0.983 * 100 \Rightarrow n_1 = 102.4 \text{ mol}$

ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ: $n_1 = n_3 + 100 \Rightarrow n_3 = 2.4 \text{ mol}$
 $\text{H}_2\text{O}(l)$

ΦΡΕΣΚΟΣ
ΑΕΡΑΣ.

ΣΗΜΕΙΟ Α: Σύνολο ισοζύγιο: $n_1 + n_5 = n_2 \Rightarrow n_2 = 102.4 + n_5$ (1)

Μερικό ισοζύγιο W: $0.040 * n_1 + 0.017 * n_5 = 0.023 n_2$ (2)

(1), (2) $\Rightarrow n_2 = 392.5 \text{ mol}$, $n_5 = 290.1 \text{ mol}$ Ανακύκλ.

Λόγος $\frac{\text{Εξόδος (προϊόν)}}{\text{Ανακύκλωση}} = \frac{100}{290.1} \approx \frac{1}{3}$

$n_4 = 390.1 \text{ mol}$



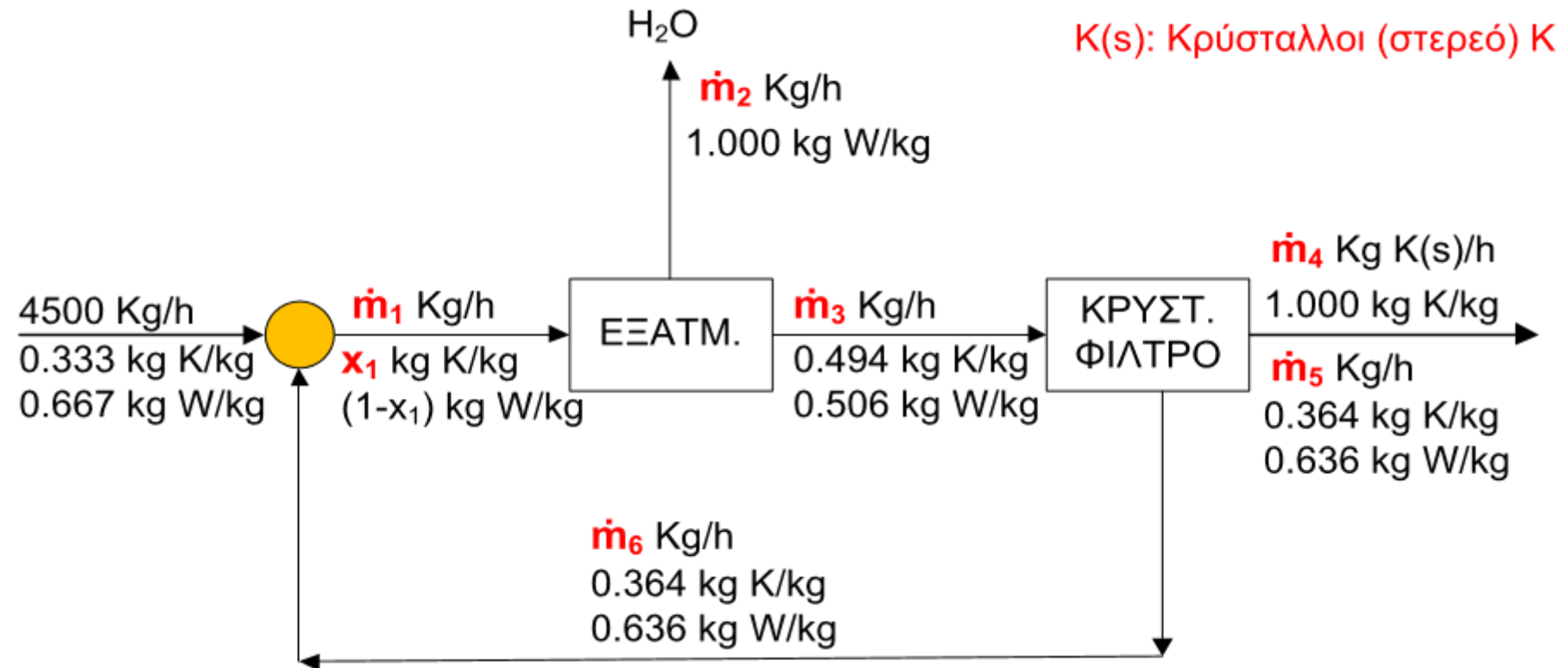
ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ

Θέλουμε να ανακτήσουμε **στερεό K_2CrO_4** από αρχικό υδατικό του διάλυμα περιεκτικότητας **33.3% w/w σε K_2CrO_4** σε μια συνεχή διεργασία ανάκτησης. Το διάλυμα αυτό ρέει με **ρυθμό 4500 kg/h** (φρέσκια τροφοδοσία) και ενώνεται με **ρεύμα ανακύκλωσης που περιέχει διάλυμα 36.4% w/w σε K_2CrO_4** . Το προκύπτον ρεύμα εισέρχεται σε **εξατμιστήρα**. Το πυκνό διάλυμα που εξέρχεται από τον εξατμιστήρα περιέχει διάλυμα **49.4% w/w K_2CrO_4** . Το διάλυμα αυτό **ψύχεται στη συνέχεια** σε ένα κρυσταλλωτήρα και φιλτράρεται. **Το νωπό φίλτρο (προϊόν ως ίζημα) αποτελείται από στερεό κρυσταλλικό K_2CrO_4 , που αποτελεί το 95% της ολικής μάζας του φίλτρου και το υπόλοιπο (5%) από διάλυμα 36.4% w/w σε K_2CrO_4** . Το διάλυμα που περνάει από το φίλτρο (διήθημα) περιέχει επίσης διάλυμα **36.4% w/w σε K_2CrO_4 και ανακυκλώνεται.**

- Να γίνει το διάγραμμα ροής. Να υπολογίσετε τους βαθμούς ελευθερίας.
- Υπολογίστε τον ρυθμό εξάτμισης, τον ρυθμό παραγωγής του στερεού κρυσταλλικού K, την τροφοδοσία του εξατμιστήρα και κρυσταλλωτήρα καθώς και τον ρυθμό ανακύκλωσης (μάζα ανακύκλωσης/μάζα νέας τροφοδοσίας)
- Αν δεν υπάρχει ρεύμα ανακύκλωσης υπολογίστε το ποσό του στερεού K_2CrO_4 που απορρίπτεται σε σχέση με το τελικό προϊόν κρυσταλλικού K_2CrO_4 .



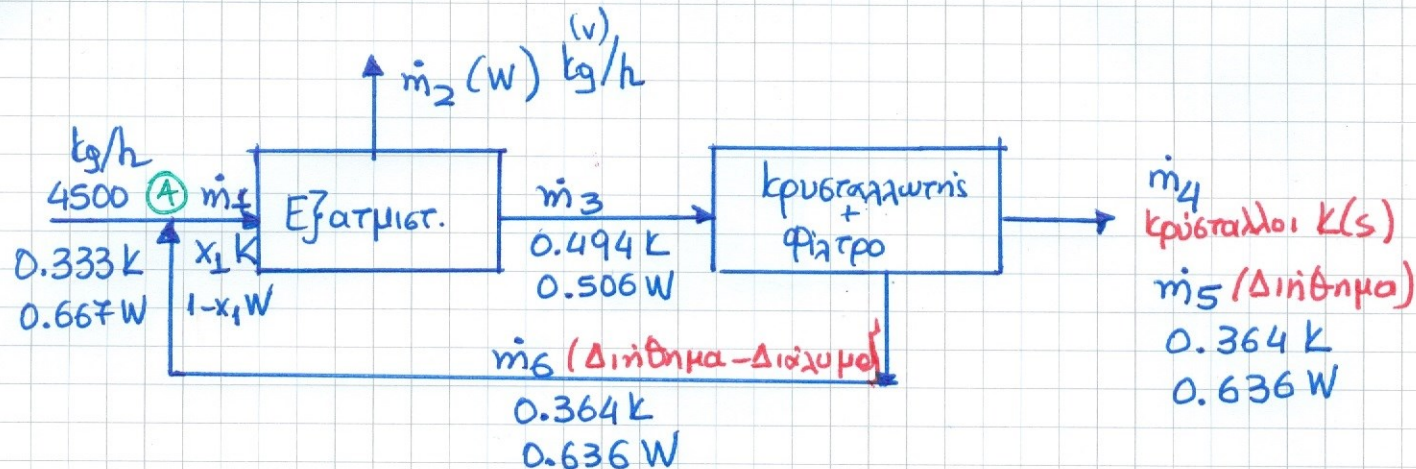
ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ



Βάση υπολογισμού:
Νέα/Φρέσκια τροφοδοσία 4500 mol/h

Ζητούμενα:

- ρυθμός εξάτμισης $\dot{m}_2$
- ρυθμός παραγωγής κρυστ. K_2CrO_4 $\dot{m}_4$
- τροφοδοσία εξατμιστήρα $\dot{m}_4$
- τροφοδοσία κρυσταλλωτήρα $\dot{m}_3$
- ρυθμός ανακύκλωσης $\dot{m}_6/4500$



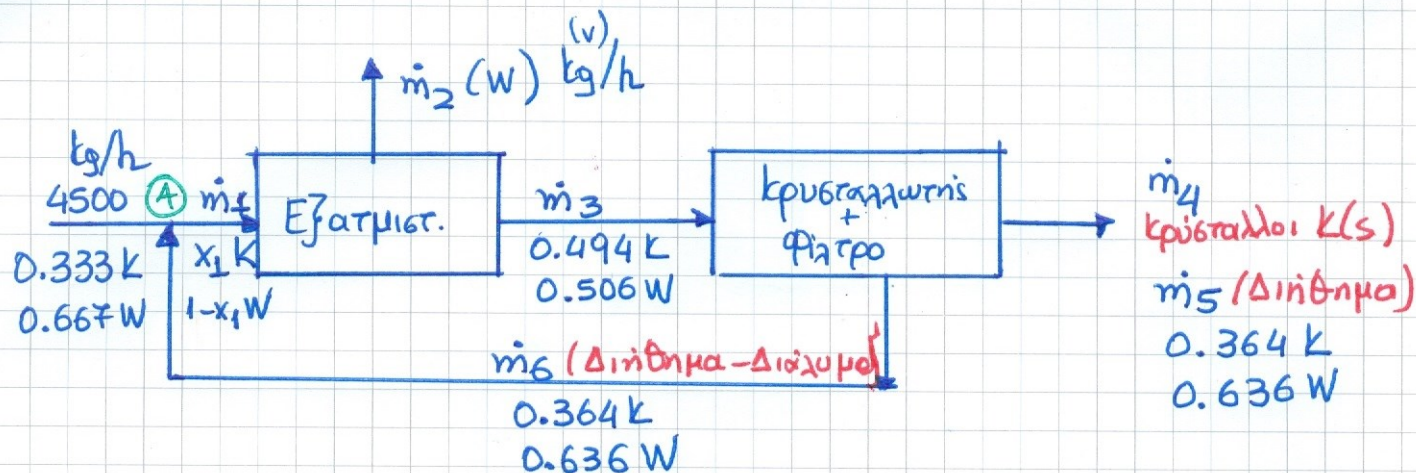
Ζητούμενα: $\dot{m}_2(W)$, $\dot{m}_4$ (κρύσταλλοι K), $\dot{m}_1$, $\dot{m}_3$, $\dot{m}_6/\text{νεα τροφ} = ?$

① Ανάλυση B.E.

Σύστημα	Συνολικό Σύστημα	Ανάμειξη A	Εξατμιστής	Κρυσταλ + Φίλτρο
Αρ. Αρχικών Ισορροπ. Αν.	3 ($\dot{m}_2, \dot{m}_4, \dot{m}_5$)	3 ($\dot{m}_6, \dot{m}_1, x_1$)	4 ($\dot{m}_1, \dot{m}_2, \dot{m}_3, x_1$) (3)	4 ($\dot{m}_3, \dot{m}_4, \dot{m}_5, \dot{m}_6$) (2)
Περιορ.	1 ($0.1 \dot{m}_6 = \dot{m}_4$)	0	0	0
B.E	0	1	2 (1)	2 (0)

Επομένως η σειρά ενέργειας Ισορροπιών είναι

Συνολικό Σύστημα $\rightarrow$ κρυσταλλ + φίλτρο $\rightarrow$ Ανάμειξη A



Ζητούμενα: $\dot{m}_2(W)$, $\dot{m}_4$ (κρύσταλλοι K), $\dot{m}_1$, $\dot{m}_3$, $\dot{m}_6$ / ΝΕΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ = ?

② Βάση Υπολογισμού: 4500 kg/h (ΝΕΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ)

Περιορισμός: Η δυναμική μάζα εξόδου κρυσταλ + φίλτρου = $\dot{m}_4 + \dot{m}_5 = m_{01}$

Περιορισμός:

Το ίζημα (νωπό φίλτρο – filter cake) που παρακρατείται στο φίλτρο αποτελείται κατά 95% από κρυστάλλους (στερεό) K_2CrO_4 και το υπόλοιπο (5%) από διάλυμα 36.4% σε K_2CrO_4

$$\dot{m}_4 = 0.95 * m_{01} \Rightarrow \dot{m}_4 = 0.95 (\dot{m}_4 + \dot{m}_5) \Rightarrow$$

$$\dot{m}_5 = 0.05263 \dot{m}_4 \quad (1)$$

$$\frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_4 + \dot{m}_5} = 0.95$$

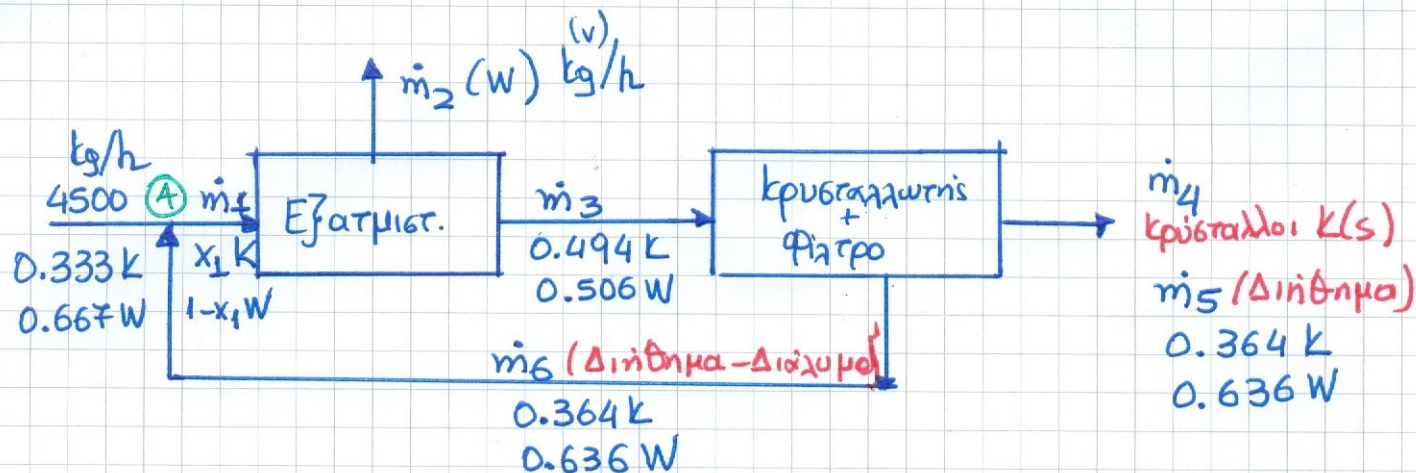
③ Γενική εξίσωση: Είσοδος = Έξοδος (2)

Συνολικό βύστημα:

$$\text{ΜΕΡΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ } K(K_2CrO_4): 0.333 * 4500 = \dot{m}_4 + 0.364 * \dot{m}_5 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \dot{m}_4 = 1472.5 \frac{kg}{h} (s) K. \quad (1) \Rightarrow \dot{m}_5 = 77.5 \frac{kg}{h} \text{ Διάλυμα}$$

$$\text{ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ: } 4500 = \dot{m}_2 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5 \Rightarrow \dot{m}_2 = 2950 \frac{kg}{h} W(v)$$



Ζητούμενα: $\dot{m}_2(W)$, $\dot{m}_4(\text{κρύσταλλοι } K)$, $\dot{m}_1$, $\dot{m}_3$, $\dot{m}_6/\text{Ν.Τροφ.} = ?$

κρυσταλλ. + φίλτρο

$$\begin{aligned} \text{Συνολικό ισοζύγιο (2)} \Rightarrow \left. \begin{aligned} \dot{m}_3 &= \dot{m}_6 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5 \\ \dot{m}_4 &= 1472.5 \\ \dot{m}_5 &= 77.5 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \dot{m}_3 = 1550 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + \dot{m}_6 \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Μερικό ισοζύγιο W (2)} \Rightarrow \left. \begin{aligned} 0.506 * \dot{m}_3 &= 0.636 * \dot{m}_6 + 0.636 * \dot{m}_5 \\ \dot{m}_5 &= 77.5 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \dot{m}_3 = 97.4 + 1.257 \dot{m}_6 \quad (4)$$

$$(3), (4) \Rightarrow \dot{m}_3 = 7200 \text{ kg/h} \quad (\text{τροφοδοσία κρυσταλλ.})$$

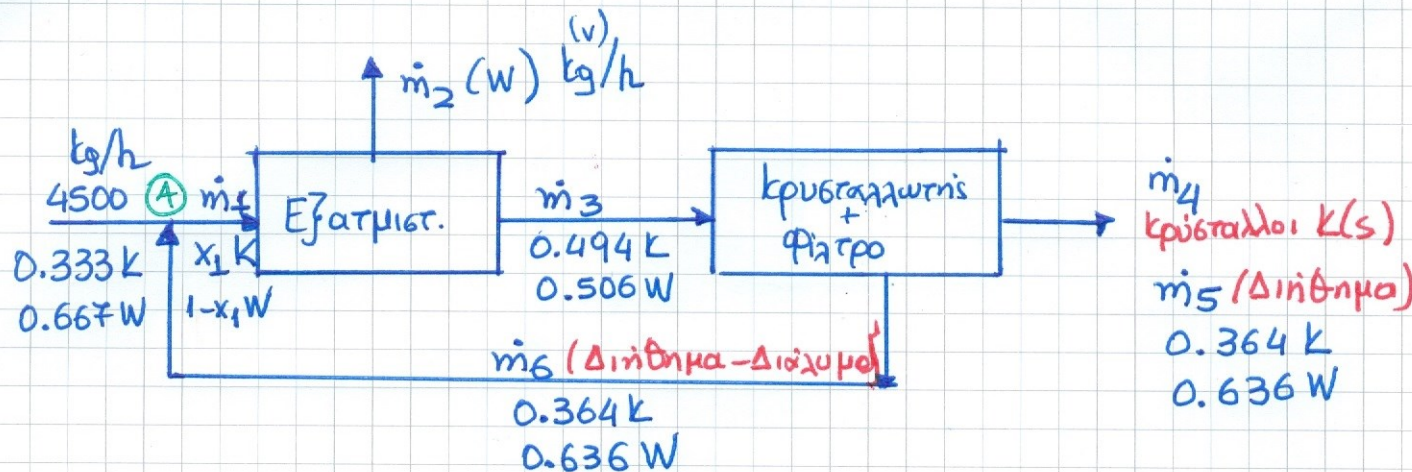
$$\dot{m}_6 = 5650 \text{ kg/h} \quad (\text{ανακύκλωση})$$

Οπότε

$$\frac{\dot{m}_6(\text{αναρ.})}{4500(\text{Ν.Τροφ.})} = 1.26$$



ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ



Ζητούμενα: $\dot{m}_2$ (W), $\dot{m}_4$ (κρύσταλλοι K), $\dot{m}_1$, $\dot{m}_3$, $\dot{m}_6$ / νέα τροφή = ?

Σημείο αναμείξεως A

$$\begin{aligned} \text{Συνολικό ισοζύγιο (2)} &\Rightarrow 4500 + \dot{m}_6 = \dot{m}_1 \\ \text{όμως } \dot{m}_6 &= 5650 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Συνολικό ισοζύγιο (2)} &\Rightarrow 4500 + \dot{m}_6 = \dot{m}_1 \\ \text{όμως } \dot{m}_6 &= 5650 \end{aligned}} \right\} \dot{m}_1 = 10,150 \text{ kg/h} \quad (\text{τροφοδ. εξατμ.})$$

Ισοζύγιο K:

$$0.333 \cdot 4500 + 0.364 \cdot \dot{m}_6 = x_1 \cdot \dot{m}_1 \Rightarrow$$

$$0.333 \cdot 4500 + 0.364 \cdot 5650 = x_1 \cdot 10.150 \Rightarrow$$

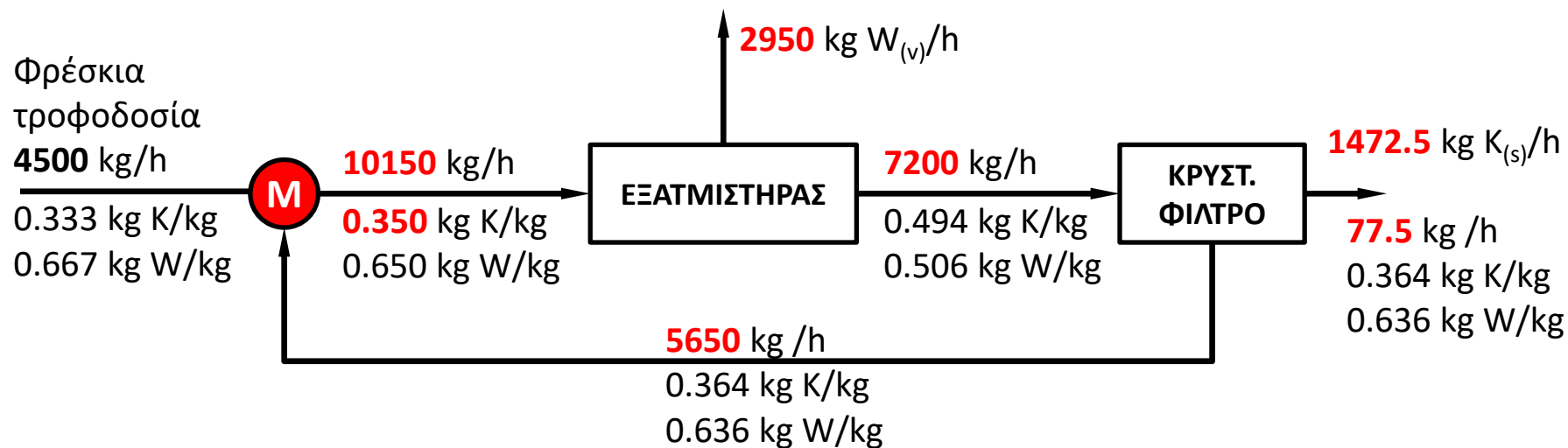
$$\mathbf{x_1 = 0.35}$$

(Σημ. Το x₁ δεν ζητείται, οπότε τυπικά δεν χρειάζεται να το υπολογίσουμε!)



ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ

Λυμένο διάγραμμα ροής



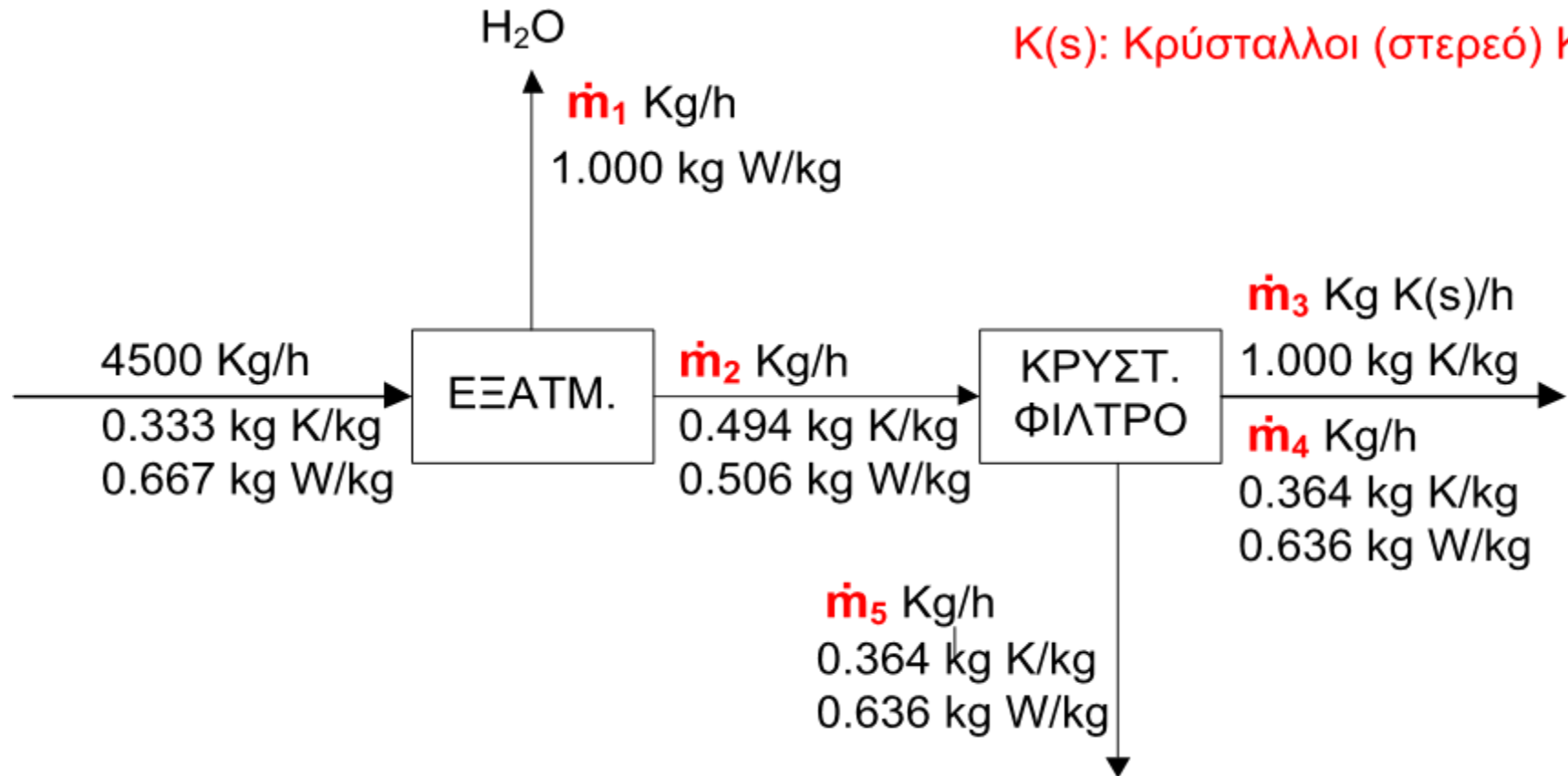
K : K_2CrO_4 $K_{(s)}$: κρύσταλλοι (στερεό) K_2CrO_4

W : Νερό σε διάλυμα ή ως ατμός (v)



ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ

$K(s)$: Κρύσταλλοι (στερεό) K

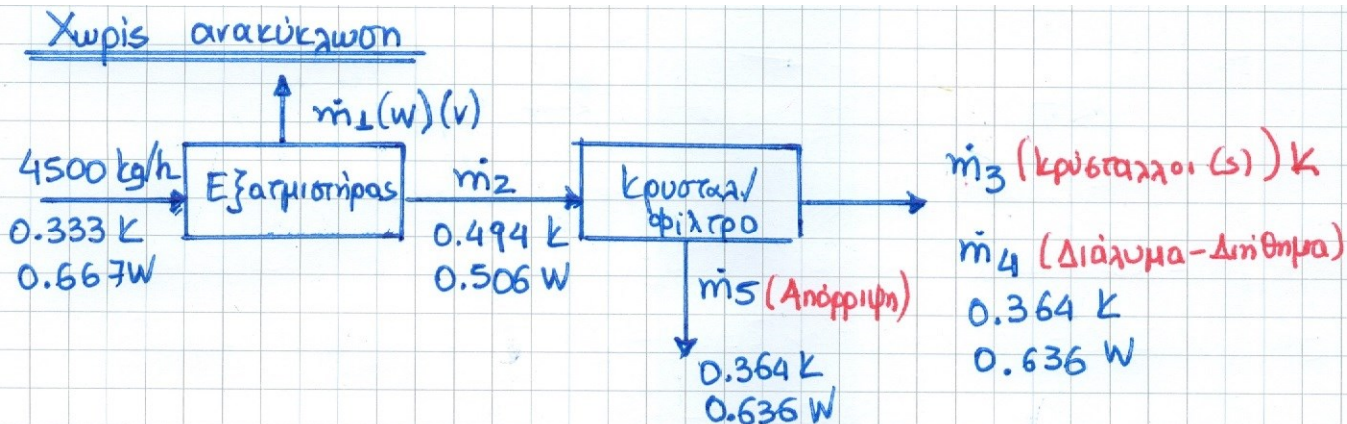


ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ!!!





ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ



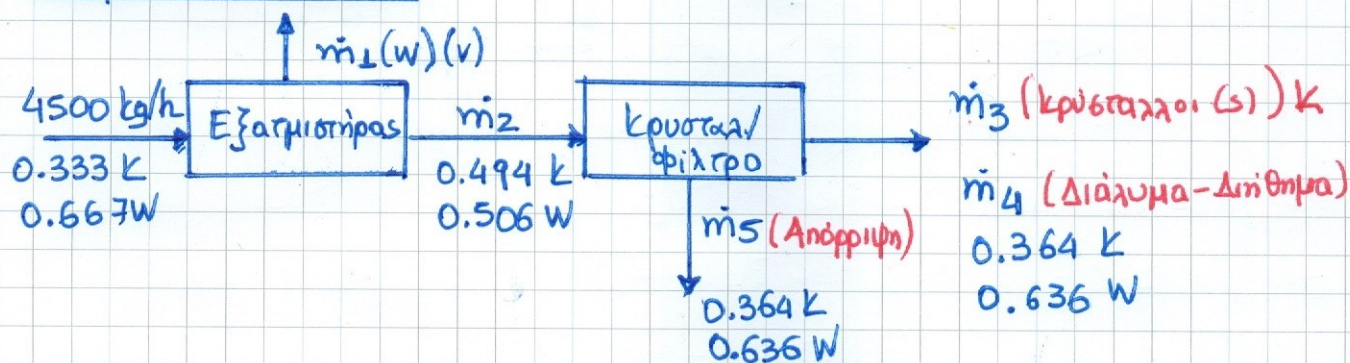
Ανάλυση B.E.

Σύστημα	Συνολικό Σύστημα	Εξατμιστ.	Κρυσταλ. Φίλτρο
Αρ. Αγνωστών	4 ($\dot{m}_1, \dot{m}_3, \dot{m}_4, \dot{m}_5$)	2 ($\dot{m}_1, \dot{m}_2$)	4 ($\dot{m}_2, \dot{m}_3, \dot{m}_4, \dot{m}_5$)
Ισοφ. Ανεξ.	2.	2	2
Περιορισμοί	1 (95% m_{cr})	-	- (1)
B.E	1	$\emptyset$	2. $\emptyset$

Ξεκινώ από Εξατμιστήρα ! Μετά Κρυστ. ή Ζ.Σ !



Χωρίς ανακύκλωση



Εξαρμιστήριο.

Συνολικό ισοζύγιο: $4500 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2$ οπότε $\Rightarrow \dot{m}_1 = 1466.6 \text{ kg/h}$

Μερικό ισοζύγιο K: $4500 \times 0.333 = \dot{m}_2 \times 0.494 \Rightarrow \dot{m}_2 = 3033.40 \text{ kg/h}$

Ενισχύοντας όλα τα ισοζύγια

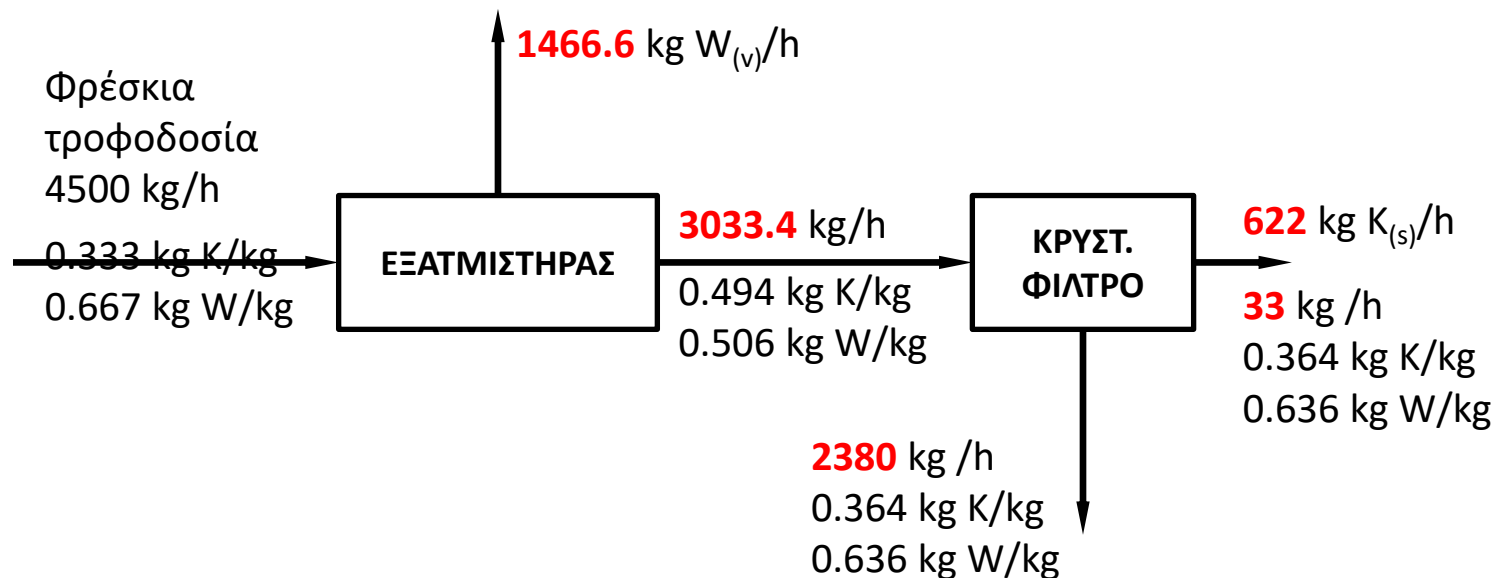
$\dot{m}_3 = 622 \text{ kg/h}$ 6 τερέο με ανακύκλωση $\dot{m}_4 = 1472.5 \text{ kg/h}$!

$\dot{m}_5 = 2380 \text{ kg/h}$ διάλυμα απορρίπτεται που περιέχει
 $0.364 + 2380 = 866 \text{ kg/h K}$!!

Επομένως απορρίπτεται περισσότερο K από το κρυσταλλικό K που είναι το προϊόν της διεργασίας !! ΑΣΥΜΦΟΡΟ ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ!

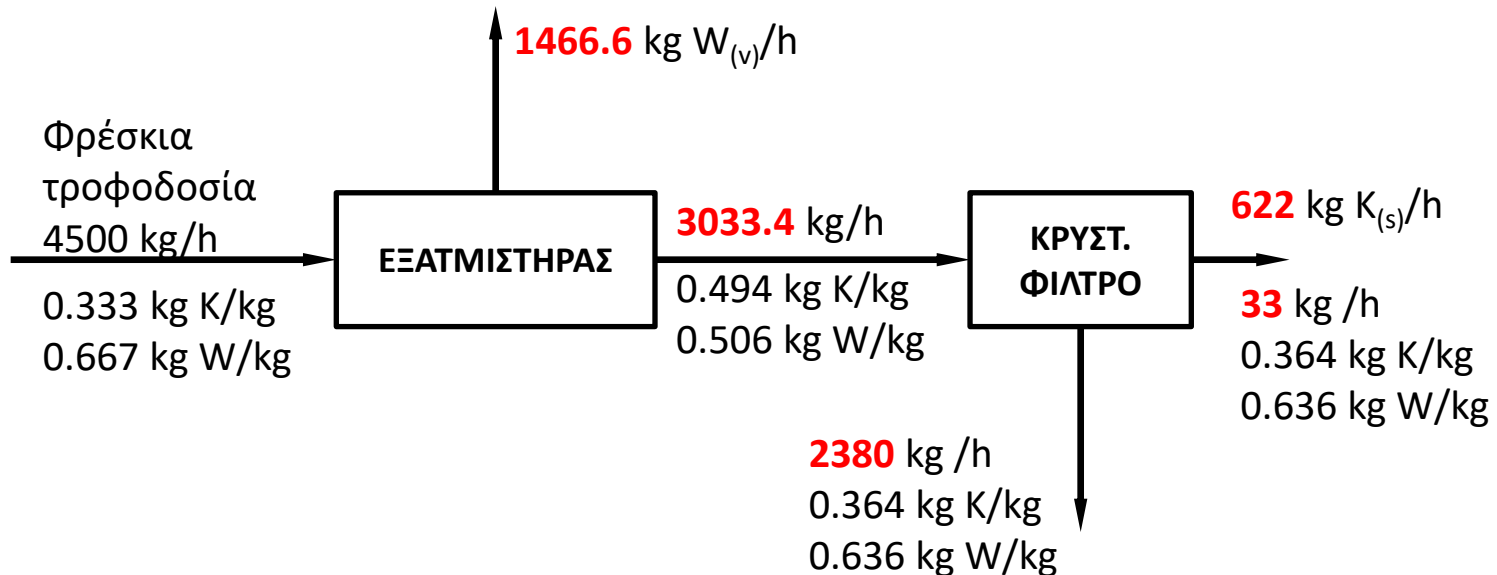
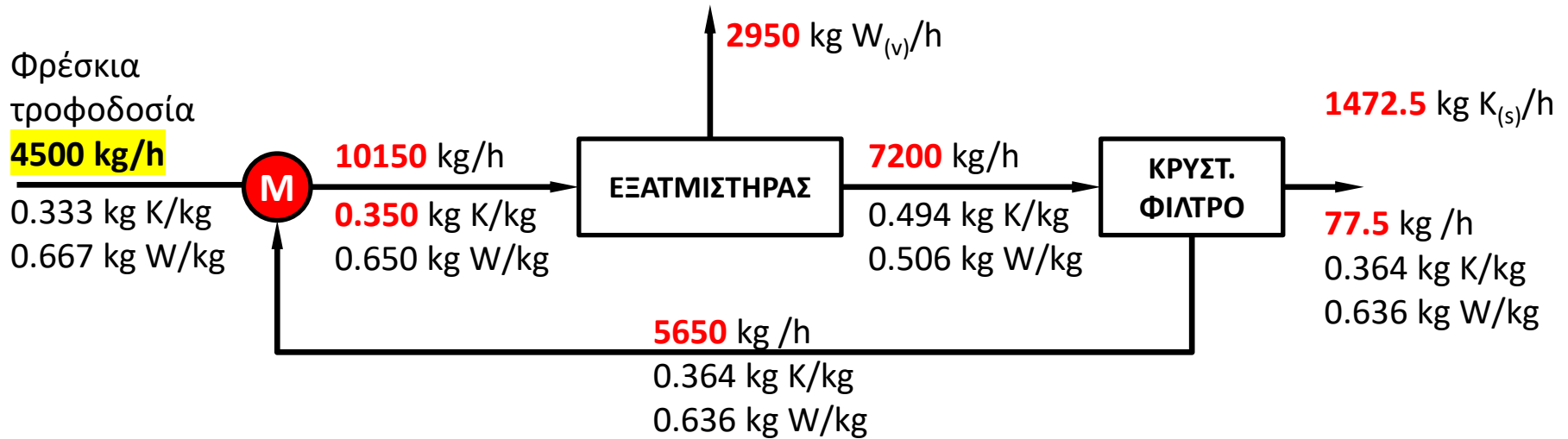
ΧΩΡΙΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ – ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΚΑΙ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ

Λυμένο διάγραμμα ροής



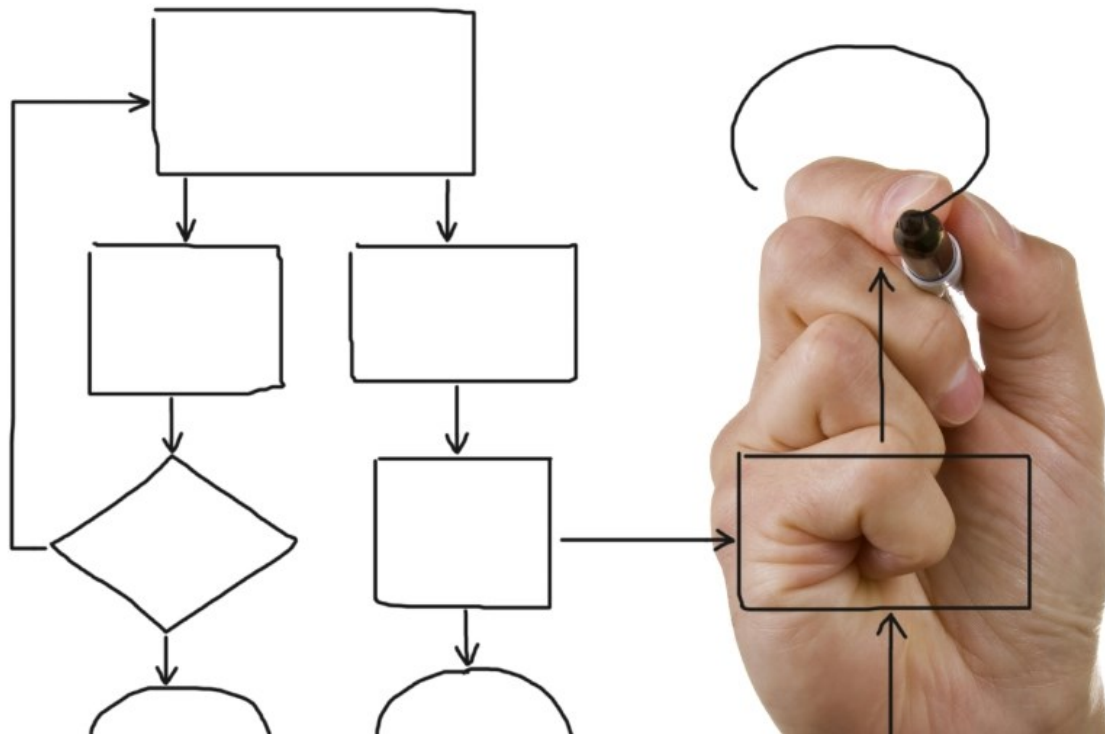
Χωρίς ανακύκλωση χάνουμε $2380 \cdot 0.364 = 866 \text{ kg/h}$ K_2CrO_4 , περισσότερο δηλαδή από όσο παραλαμβάνουμε !!!

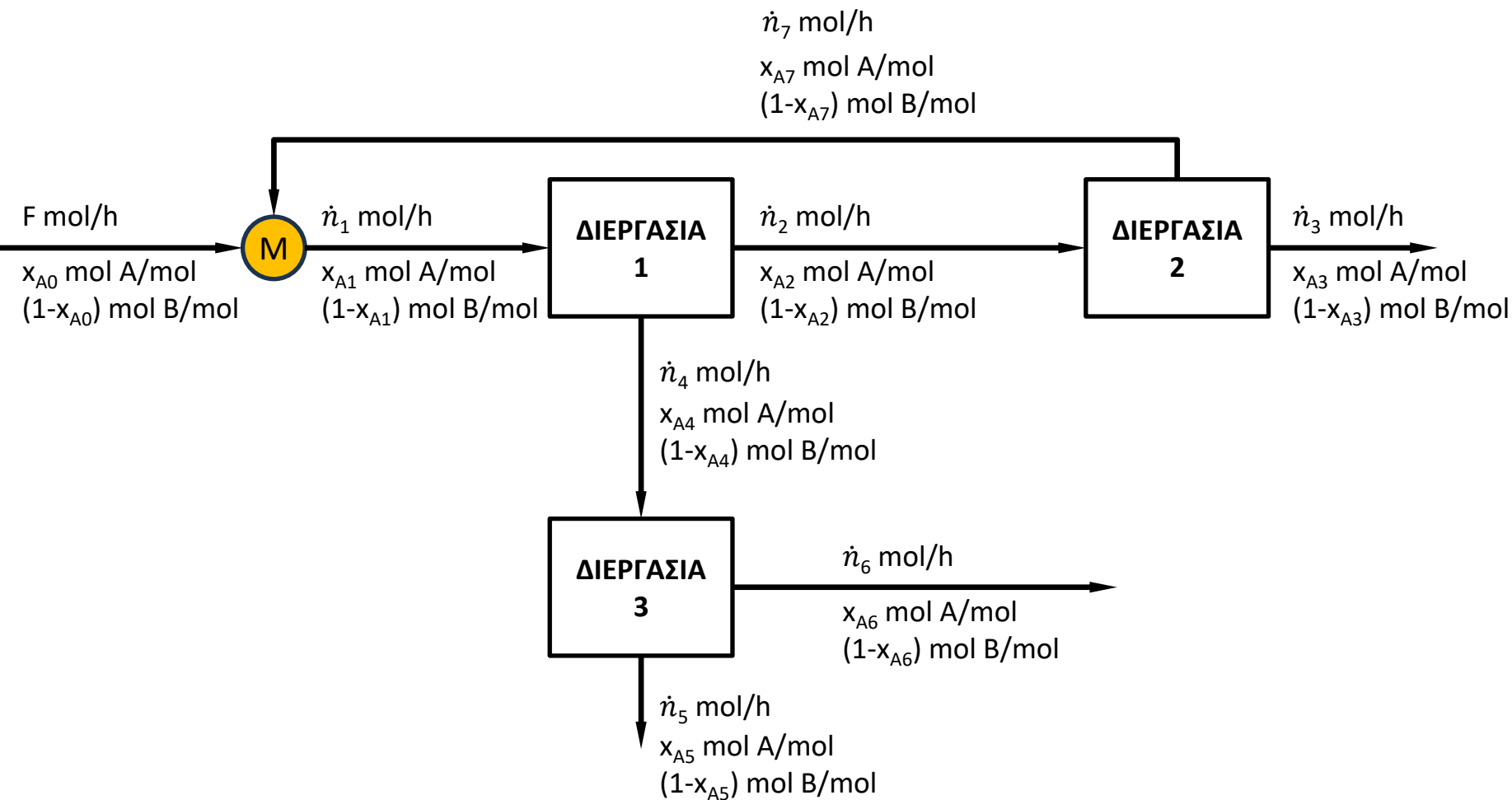
Σύγκριση με ανακύκλωση και χωρίς ανακύκλωση

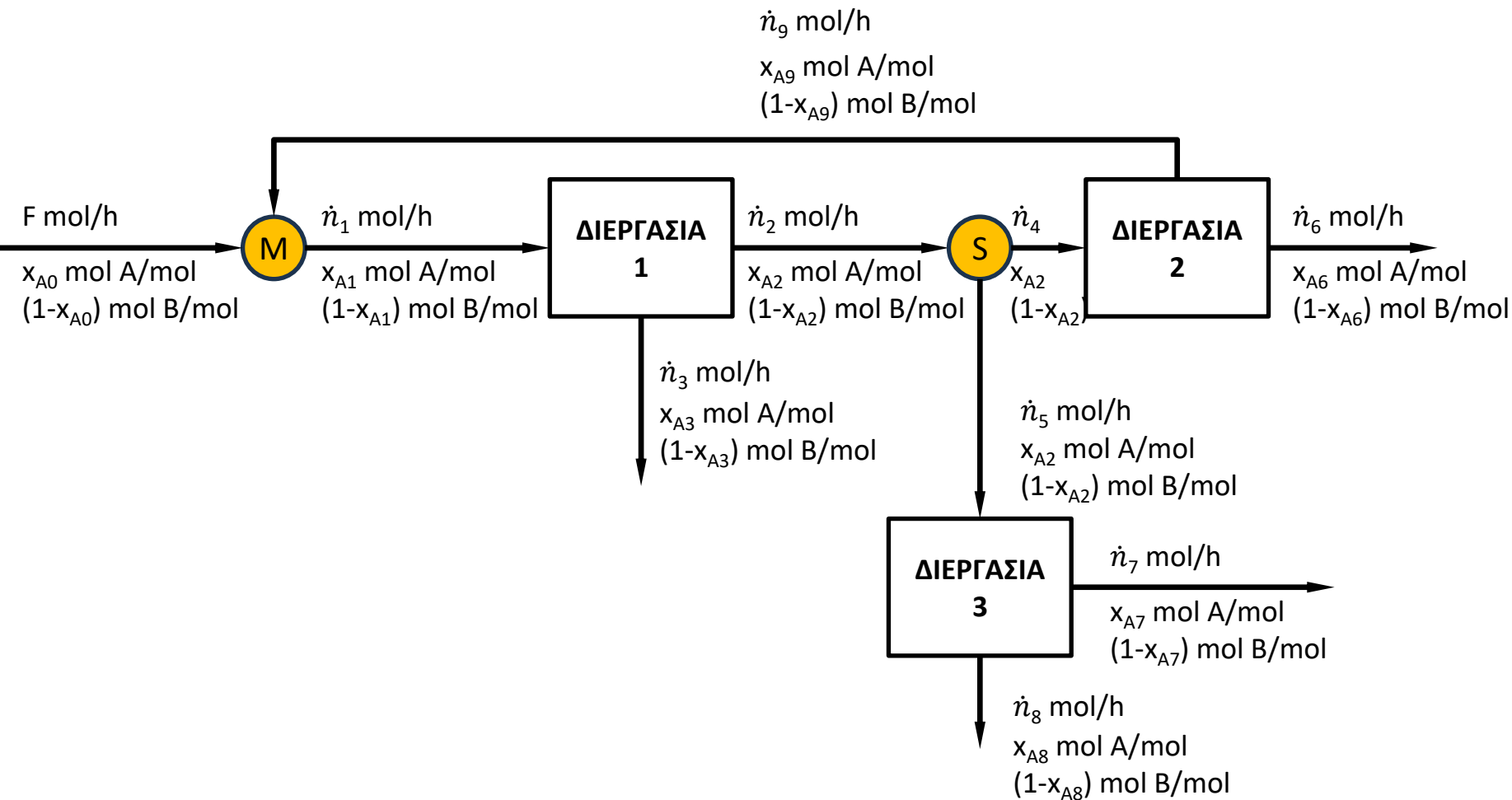


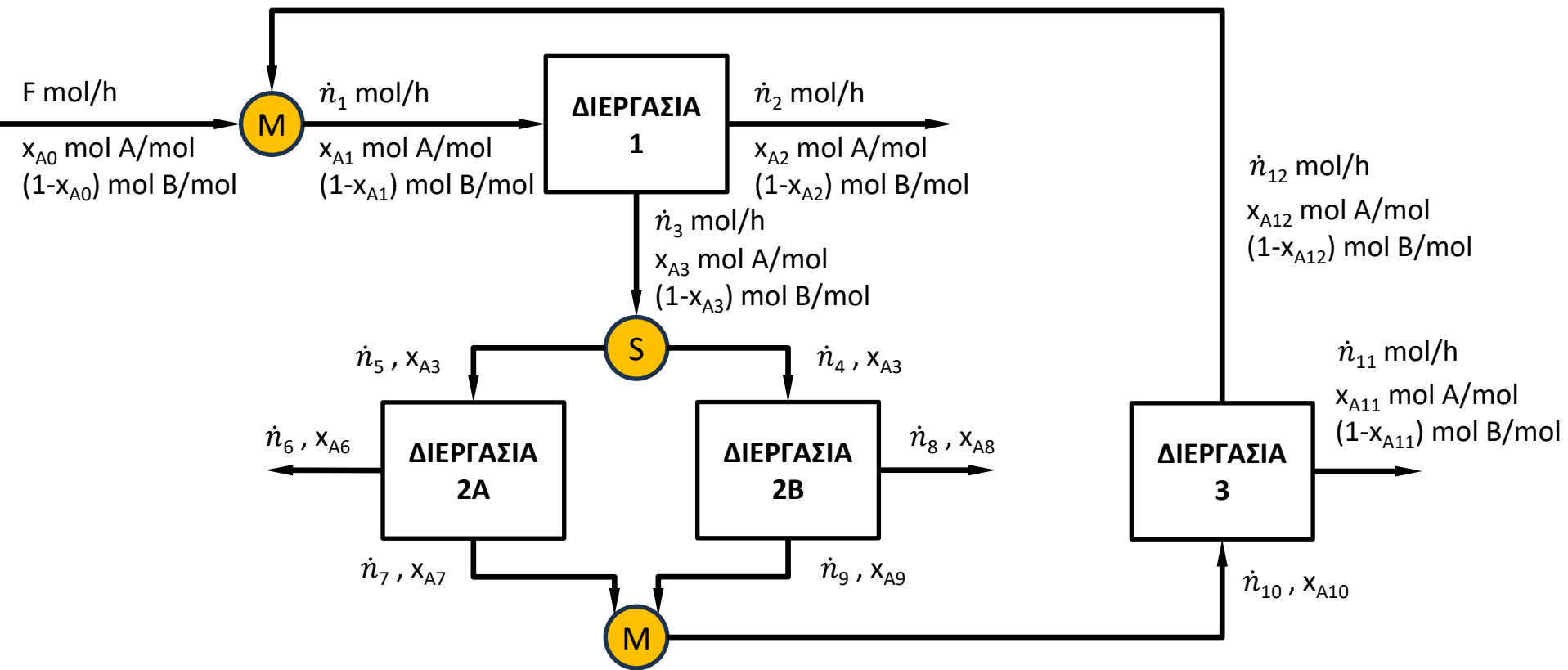
ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ – ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΡΟΗΣ – ΦΤΙΑΧΝΟΝΤΑΣ ΜΙΑ ΑΣΚΗΣΗ

Στα ακόλουθα παραδείγματα διαγραμμάτων ροής, καθορίστε τον ελάχιστο αριθμό μεταβλητών που απαιτούνται για να είναι εφικτή η επίλυσή τους

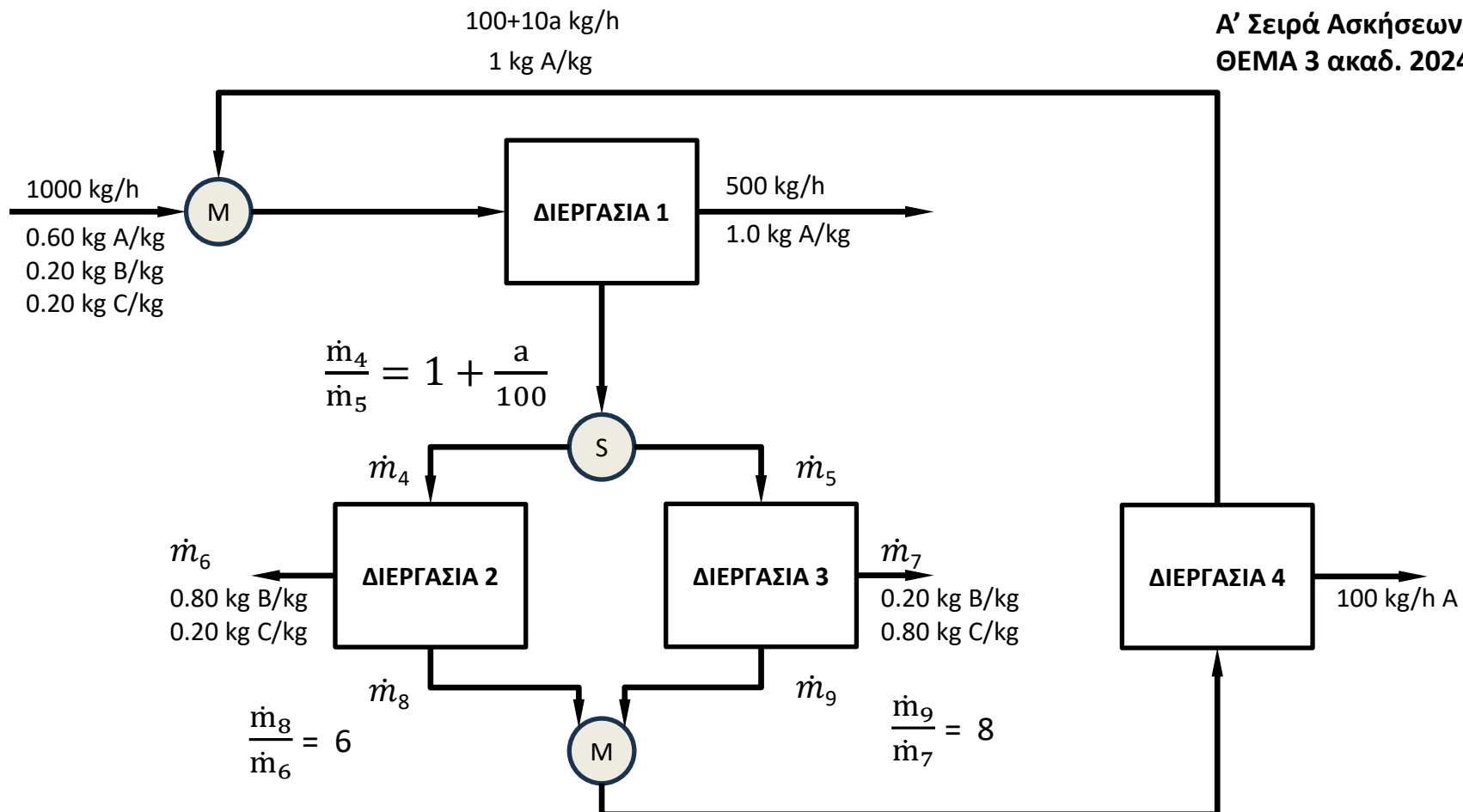


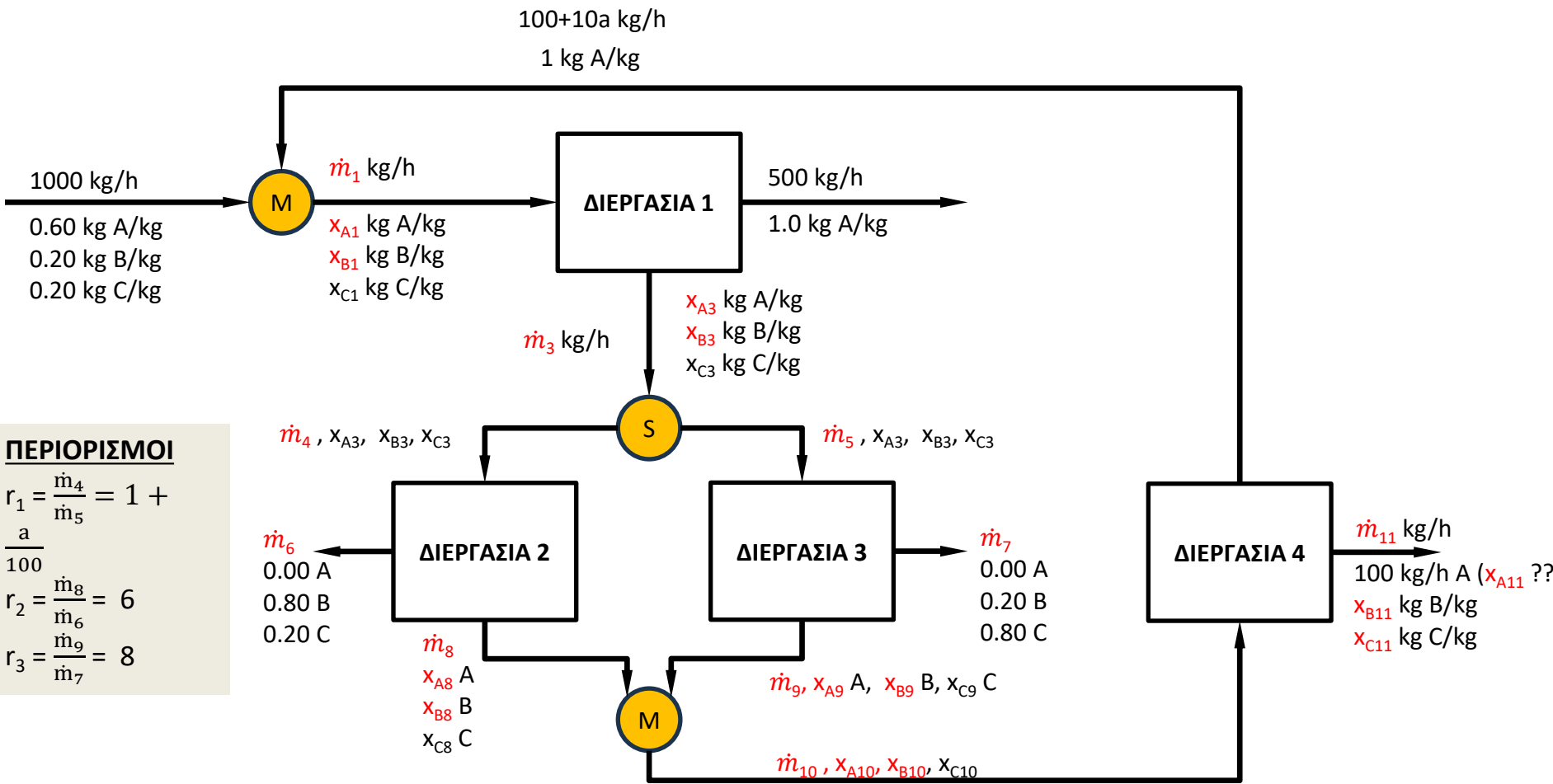






Α' Σειρά Ασκήσεων
ΘΕΜΑ 3 ακαδ. 2024-25





ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

$$r_1 = \frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_5} = 1 + \frac{a}{100}$$

$$r_2 = \frac{\dot{m}_8}{\dot{m}_6} = 6$$

$$r_3 = \frac{\dot{m}_9}{\dot{m}_7} = 8$$