



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Χημικών Μηχανικών

# Εισαγωγή στη Χημική Μηχανική

*Ισοζύγια μάζας χωρίς αντίδραση*

Επ. Καθ. Κυριάκος Λαμπρόπουλος

Η **διεργασία** περιγράφει τη μετατροπή της ύλης  
(φυσική, χημική ή βιολογική)

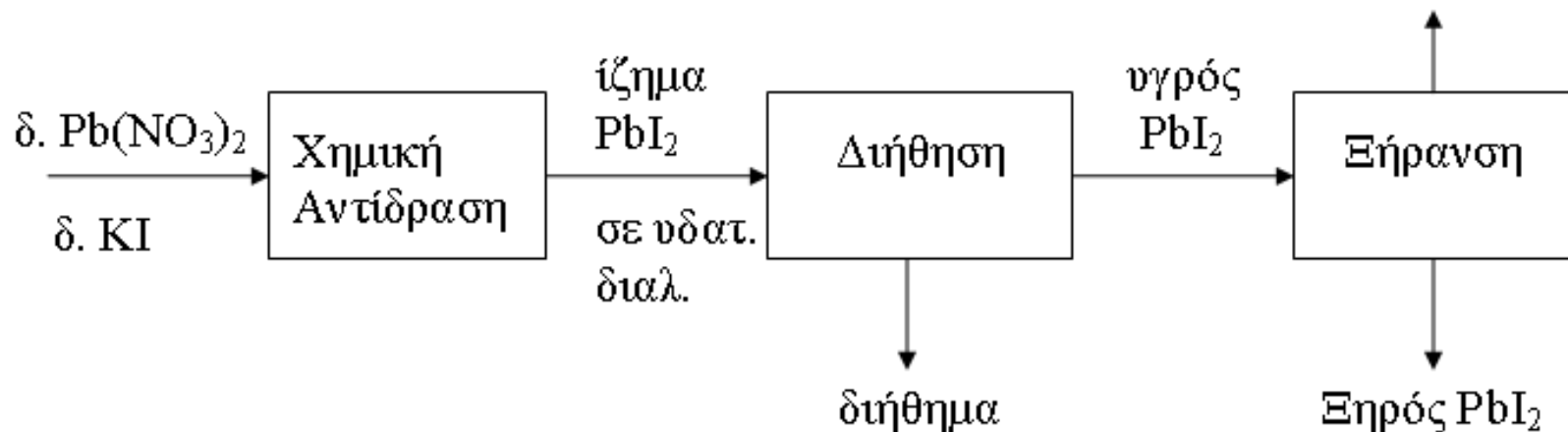
Στις διεργασίες περιγράφονται:

- τα εισερχόμενα ρεύματα (**τροφοδοσία**)
- τα εξερχόμενα ρεύματα (**προϊόντα**).

**Διάγραμμα ροής διεργασίας (flowsheet).**

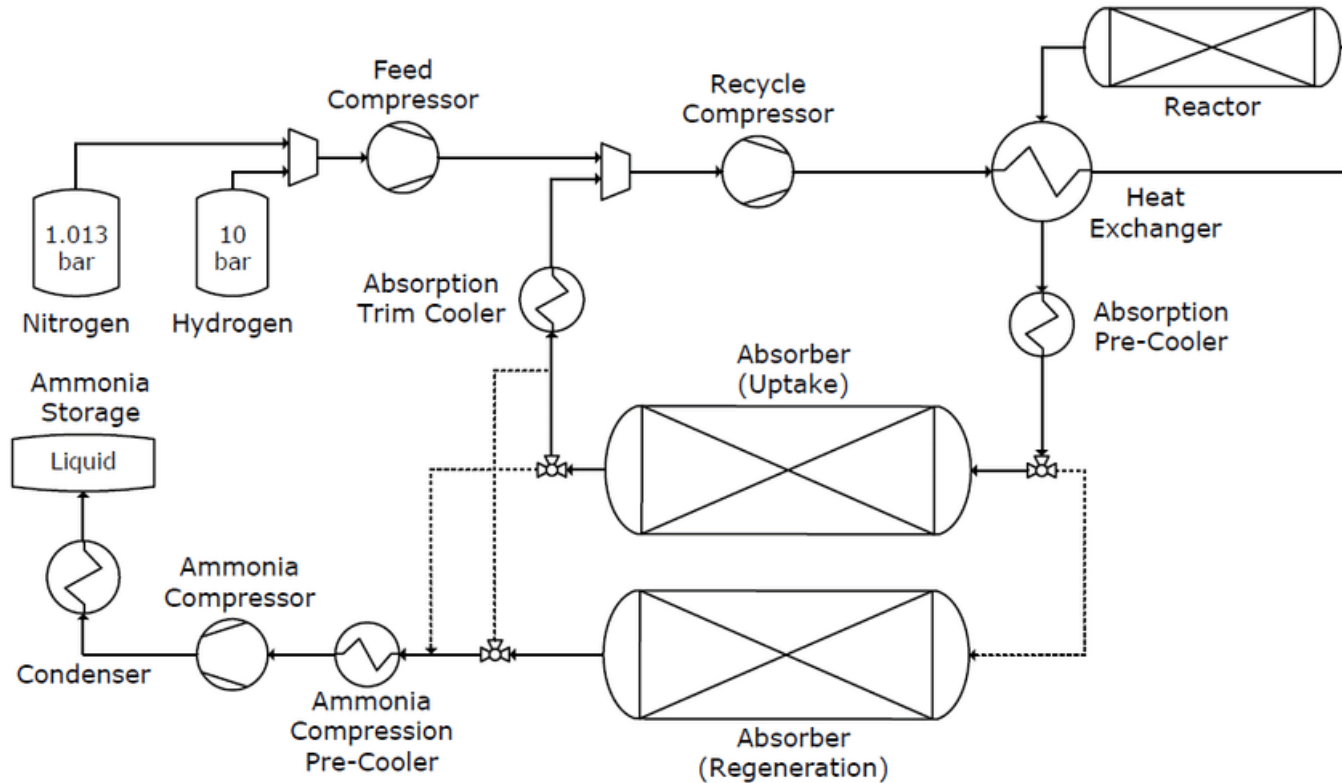
**Βασικές διεργασίες:**

- Προετοιμασία: Συμπύεση, θέρμανση, ψύξη, εξάτμιση, διάλυση
- Αντιδράσεις: Καταλυτικές (ομογενείς-ετερογενείς), βιοαντιδραστήρες
- Διαχωρισμός: Απόσταξη, εξάτμιση, διάλυση, κρυστάλλωση-διήθηση



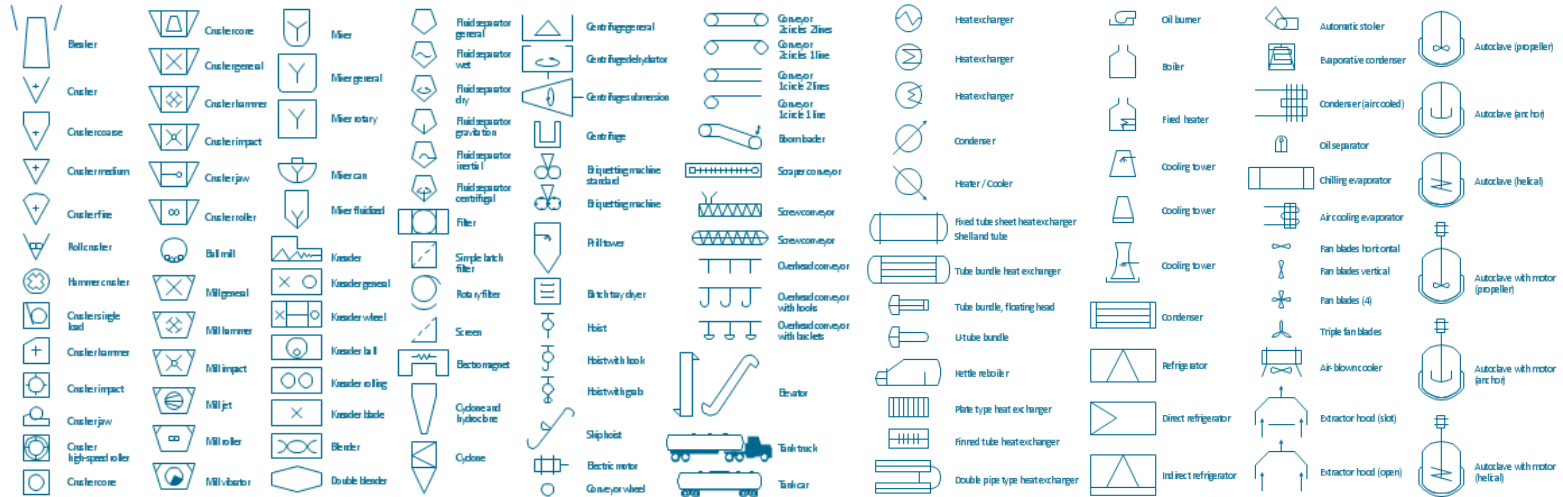
Διάγραμμα βαθμίδων-Block Diagram

## ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ – Διάγραμμα ροής διεργασίας

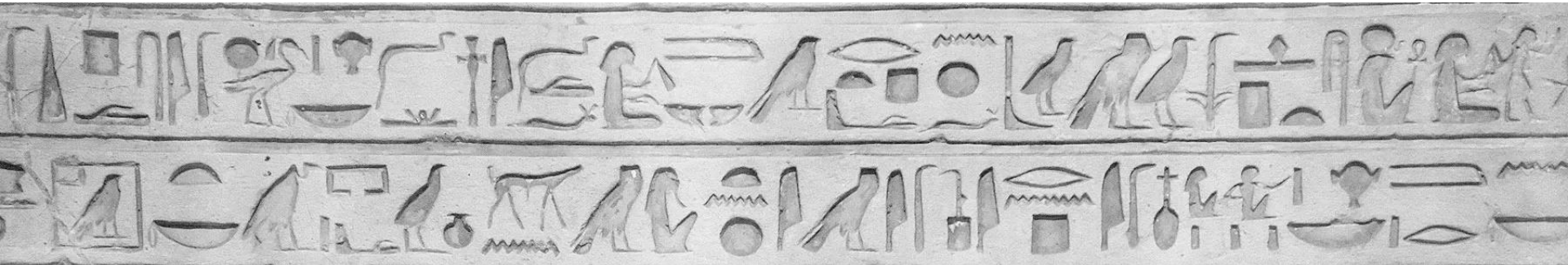


Διάγραμμα ροής διεργασίας – Process flow diagram

# ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ – Διάγραμμα ροής διεργασίας



κλπ.



### ΣΥΣΤΗΜΑ:

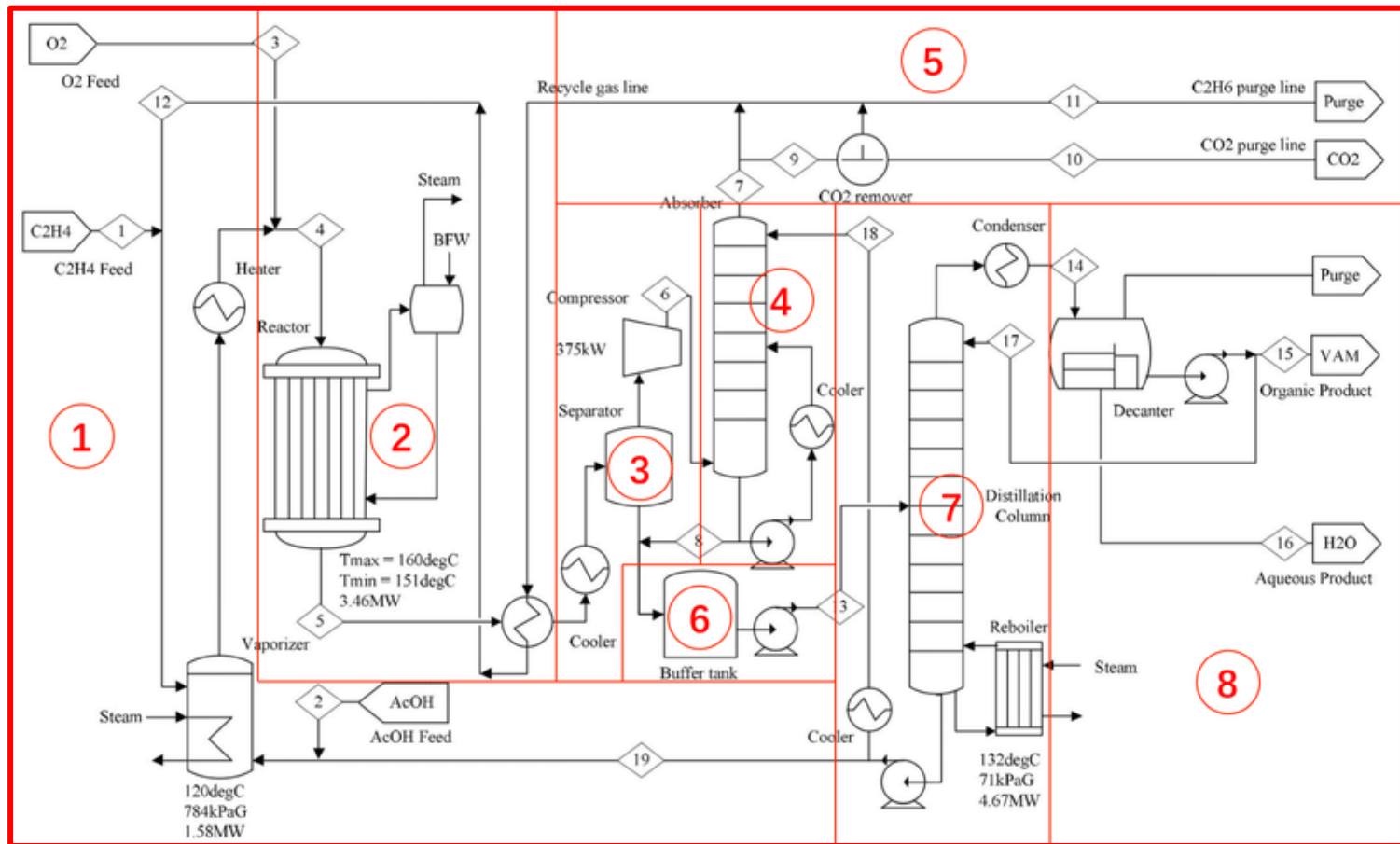
**Οποιαδήποτε αυθαίρετα θεωρούμενη διεργασία ή τμήμα της διεργασίας που θα αναλύσουμε**

*Παράδειγμα: Ένας αντιδραστήρας, ένας ξηραντήρας, ένα σημείο ανάμιξης, ή ακόμα και ολόκληρη η βιομηχανική εγκατάσταση*

### ΟΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ:

**Νοητά όρια που περικλείουν το υπό εξέταση σύστημα**

# ΣΥΣΤΗΜΑ

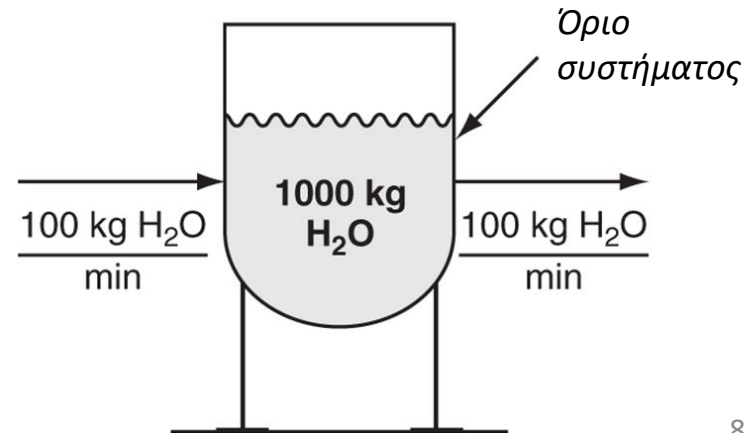
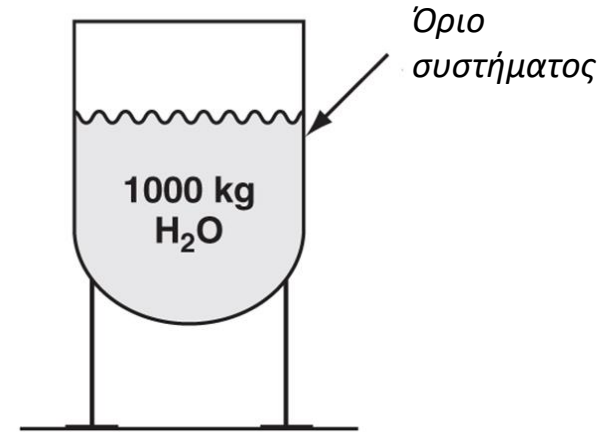


### Κλειστό σύστημα:

Δεν υπάρχει ροή μάζας δια μέσου των ορίων του συστήματος στο χρονικό διάστημα μελέτης του συστήματος.

### Ανοικτό σύστημα:

Υπάρχει ροή μάζας δια μέσου των ορίων του συστήματος (εισροή, εκροή)





### ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ:

Χαρακτηρίζουν τις εισροές και εκροές καθώς και την ίδια τη διεργασία

**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*

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

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

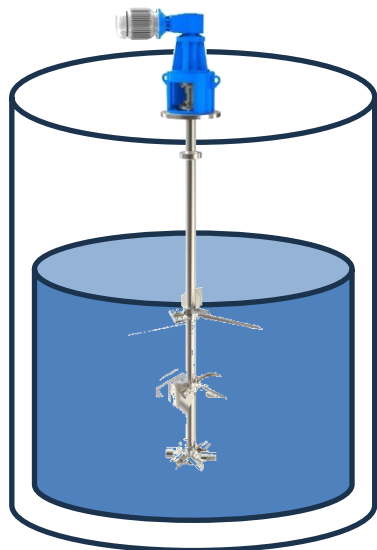
### ❖ **Συνεχούς έργου (Continuous)**

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

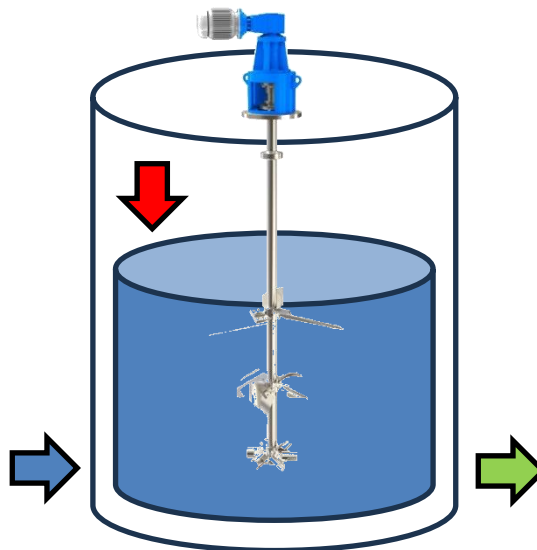
### ❖ **Ημι-συνεχούς έργου (Semi batch)**

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

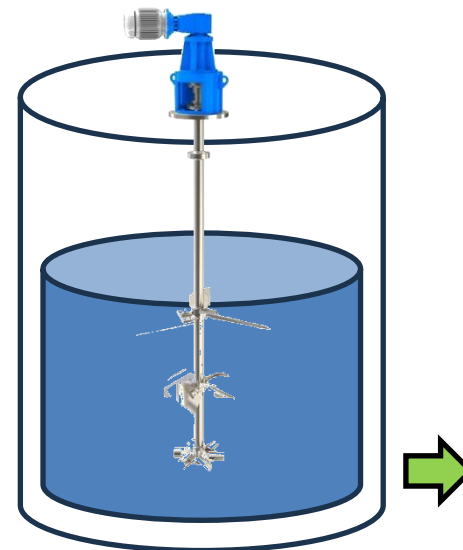
# ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ



$m, v, n$   
Ασυνεχούς έργου  
(παρτίδες)



$m', v', n'$   
Συνεχούς έργου



$m', v', n'$   
Ημισυνεχούς έργου

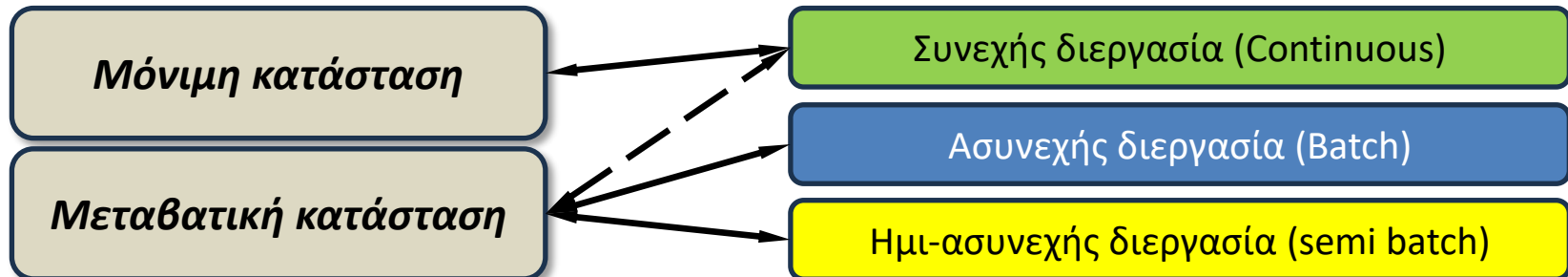
## ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ – ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ vs. ΧΡΟΝΟΣ (t)

### Μόνιμη κατάσταση (Steady state)

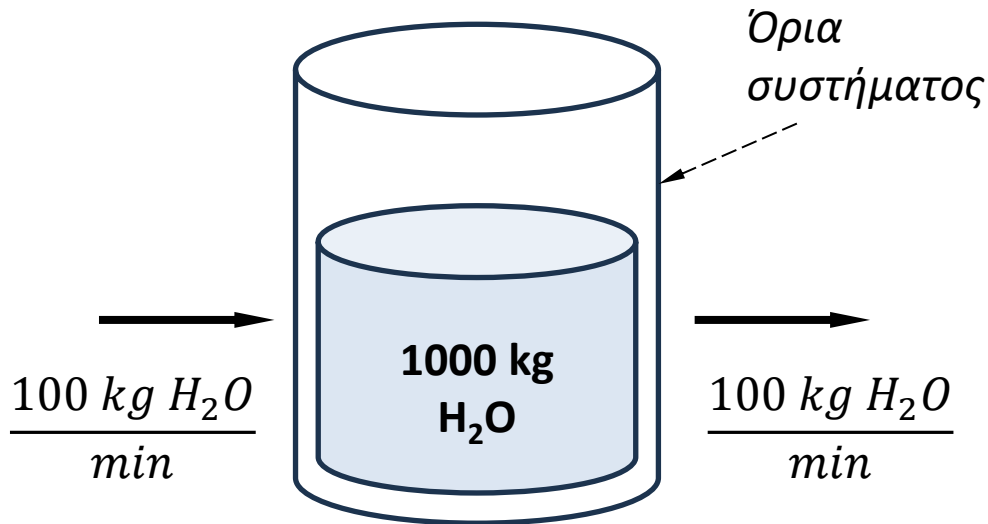
- Οι μεταβλητές της διεργασίας ( $T, P, \dot{m}, \rho, x_A, \dots$ ) ΔΕΝ μεταβάλλονται με το χρόνο (t)
- Το σύστημα είναι σε σταθερή κατάσταση (ισορροπία)

### Μη μόνιμη ή μεταβατική κατάσταση (unsteady state)

- Κάποιες από τις μεταβλητές της διεργασίας μεταβάλλονται με το χρόνο (t)

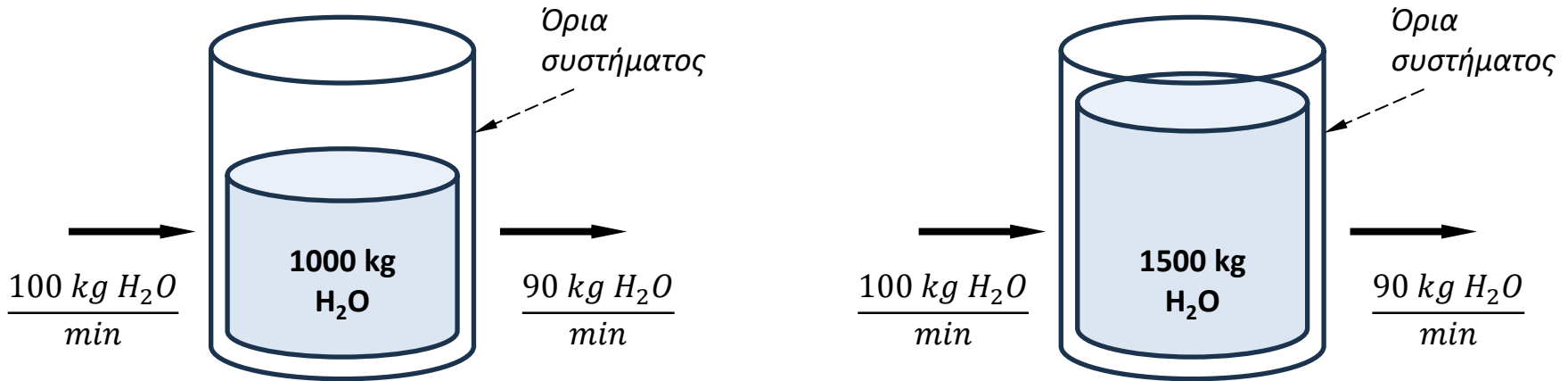


## Συνεχούς έργου – Μόνιμη κατάσταση (χωρίς αντίδραση)



**Είσοδος = Έξοδος**

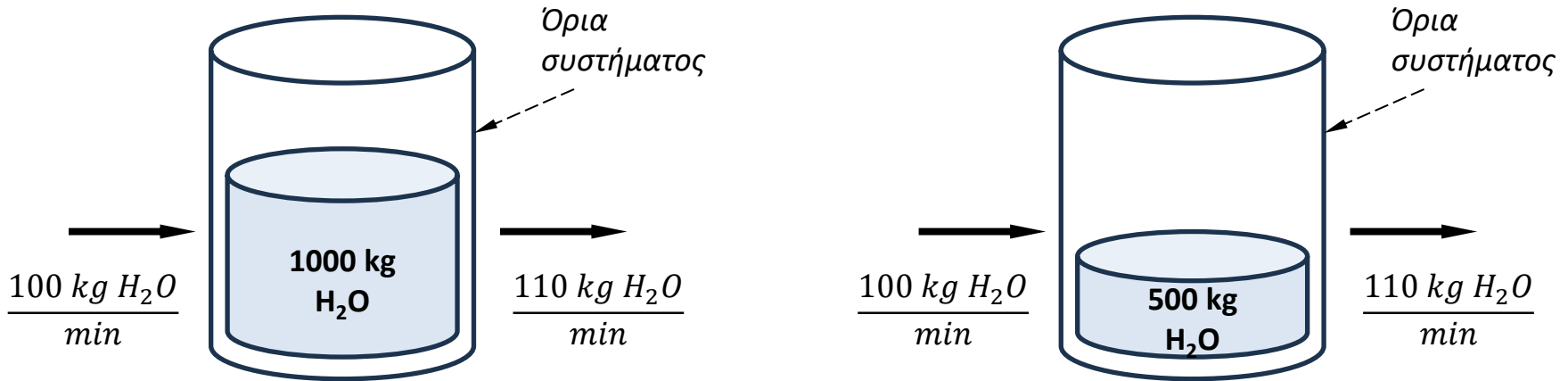
## Μη μόνιμη κατάσταση (χωρίς αντίδραση)



**Είσοδος – Έξοδος = Συσσώρευση**

*Είσοδος > Έξοδος*

## Μη μόνιμη κατάσταση (χωρίς αντίδραση)

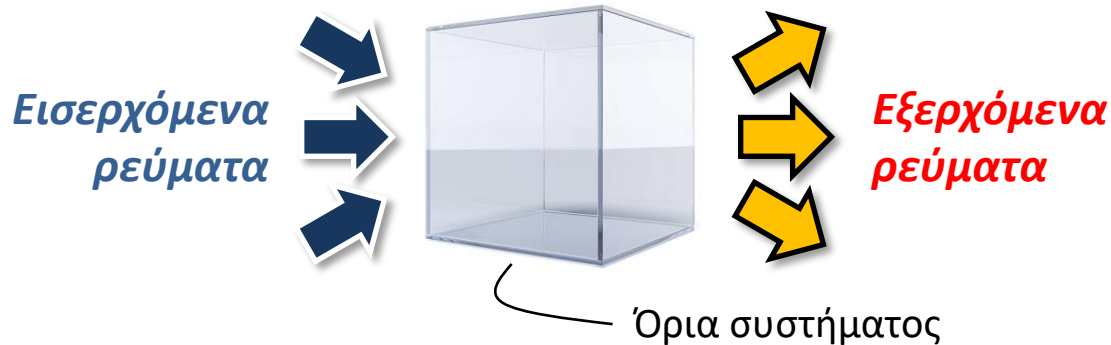


**Είσοδος – Έξοδος = Συσσώρευση**

*Είσοδος < Έξοδος*

# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΜΑΖΑΣ

Ισοζύγια μάζας μπορούμε να γράψουμε για κάθε συστατικό που συμμετέχει στη διεργασία καθώς και για το σύνολο



Εφαρμογή ισοζυγίου μάζας για τον προσδιορισμό συγκεκριμένων μεταβλητών των διεργασιών

- Ολική μάζα
  - Ολικά γραμμομοles
  - Μάζα στοιχείων
  - Γραμμομοles στοιχείων
  - Μάζα χημικών ενώσεων
  - Γραμμομοles χημ. ενώσεων
- 
- Ροές
  - Συστάσεις

ΕΙΣΡΟΗ

+

ΠΑΡΑΓΩΓΗ

-

ΕΚΡΟΗ

-

ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ

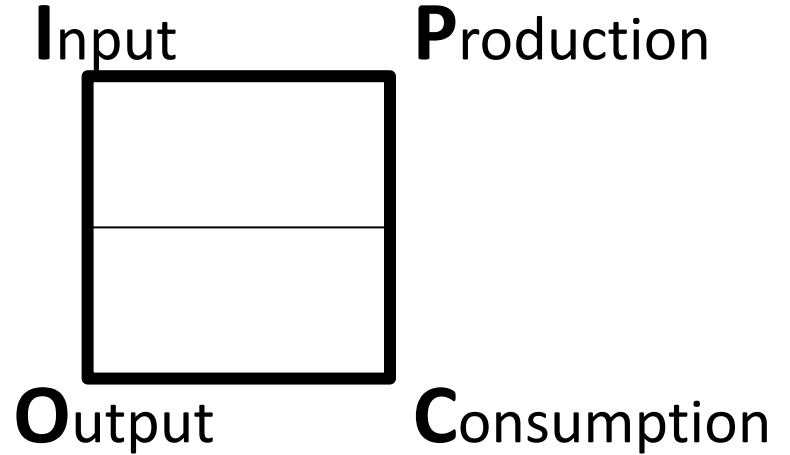
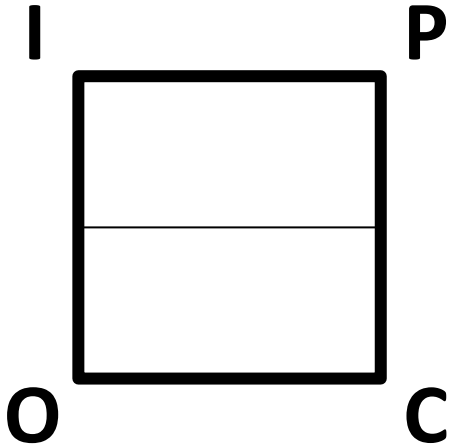
=

ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ



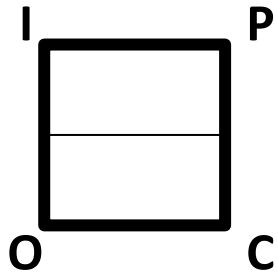
# ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΜΑΖΑΣ

*Εύκολος τρόπος να θυμάστε την βασική εξίσωση ισοζυγίου μάζας*

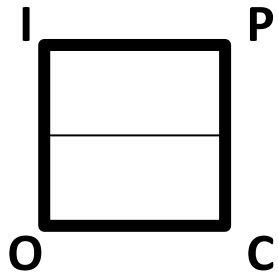
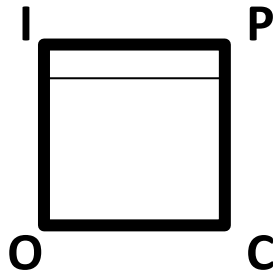
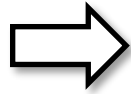


$$\text{ΕΙΣΡΟΗ} + \text{ΠΑΡΑΓΩΓΗ} - \text{ΕΚΡΟΗ} - \text{ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ} = \text{ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ}$$

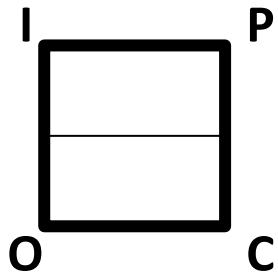
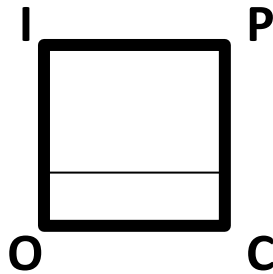
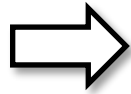
## ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΜΑΖΑΣ



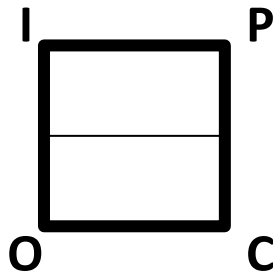
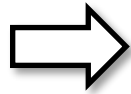
$$\frac{I + P}{O + C} > 1$$



$$\frac{I + P}{O + C} < 1$$



$$\frac{I + P}{O + C} = 1$$



Όταν το άθροισμα των όρων εισροής και παραγωγής είναι ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ του αθροίσματος των όρων εκροής και κατανάλωσης, η συσσώρευση είναι θετική

Όταν το άθροισμα των όρων εισροής και παραγωγής είναι ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ του αθροίσματος των όρων εκροής και κατανάλωσης, η συσσώρευση είναι αρνητική

Όταν το άθροισμα των όρων εισροής και παραγωγής είναι ΙΣΟ με το άθροισμα των όρων εκροής και κατανάλωσης, η συσσώρευση είναι μηδενική

## Ολικό Ισοζύγιο Μάζας

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

Χωρίς χημική αντίδραση οι όροι παραγωγής και κατανάλωσης είναι μηδενικοί

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

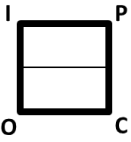
Σε μόνιμη κατάσταση (με αντίδραση) ο όρος συσσώρευσης είναι μηδενικός

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

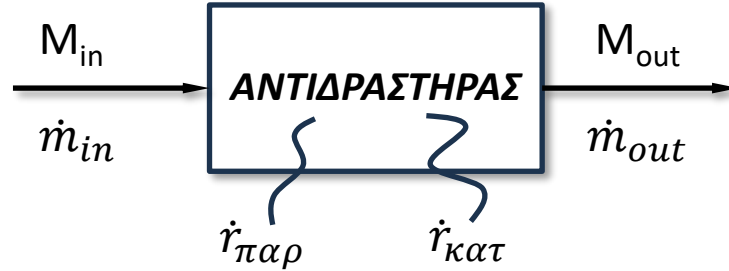
Σε μόνιμη κατάσταση, χωρίς χημική αντίδραση:

$$\text{ΕΙΣΡΟΗ} = \text{ΕΚΡΟΗ}$$

## Ο ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΧΡΟΝΟΣ



$M_{in/out}$  = μάζα συστατικού Α  
στην είσοδο/έξοδο  
[=] kg



$$M_{in} = \dot{m}_{in} \cdot \Delta t$$

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

$$M_{\pi\alpha\rho} = \dot{r}_{\pi\alpha\rho} \cdot \Delta t$$

$$M_{\kappa\alpha\tau} = \dot{r}_{\kappa\alpha\tau} \cdot \Delta t$$

Γενικό Ισοζύγιο:

**Εισ + Παρ – Εξ – Καταν = Συσσώρευση**

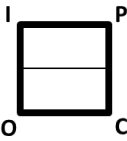
$$(\dot{m}_{in} + \dot{r}_{\pi\alpha\rho} - \dot{m}_{out} - \dot{r}_{\kappa\alpha\tau}) \cdot \Delta t = \Delta M$$

Αν  $\Delta T \rightarrow 0$

$$\frac{dM}{dt} = \dot{m}_{in} + \dot{r}_{\pi\alpha\rho} - \dot{m}_{out} - \dot{r}_{\kappa\alpha\tau}$$

**Διαφορικό  
Ισοζύγιο (1)**

## Ο ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΧΡΟΝΟΣ



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

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

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

$$\Rightarrow M(t_f) = M(t_0) + \int_{t_0}^{t_f} \dot{m}_{in} dt + \int_{t_0}^{t_f} \dot{r}_{\pi\alpha\rho} dt - \int_{t_0}^{t_f} \dot{m}_{out} dt - \int_{t_0}^{t_f} \dot{r}_{\kappa\alpha\tau} dt$$

$$\Rightarrow M(t_0) + \int_{t_0}^{t_f} \dot{r}_{\pi\alpha\rho} dt = M(t_f) + \int_{t_0}^{t_f} \dot{r}_{\kappa\alpha\tau} dt$$

$$\Rightarrow M(t_0) = M(t_f)$$

Ολοκληρωτικό Batch (κλειστό)  
 $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} = 0$

Ολοκληρωτικό Batch  
χωρίς αντίδραση

### Διαφορικά ισοζύγια (differential balances)

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

### Ολοκληρωτικά ισοζύγια (integral balances)

- 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*

## ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ – Ανάλυση αν ένα πρόβλημα μπορεί να επιλυθεί

Βαθμοί  
ελευθερίας

=

Άγνωστες  
μεταβλητές

-

Ανεξάρτητες  
εξισώσεις

$$df = n_x - n_{eq}$$

- Το ισοζύγιο έχει μοναδική (μονοσήμαντη) λύση όταν  $df=0$
- Αν  $n_x - n_{eq} > 0$  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  $n_x - n_{eq} < 0$  τότε το σύστημα είναι υπερκαθορισμένο (συνήθως καμία λύση).

## «Πηγές» εξισώσεων

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

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



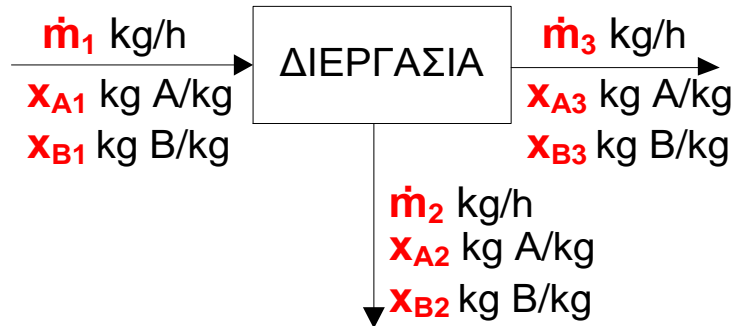


1. Προσεκτική ανάγνωση του προβλήματος
2. Κατασκευή **διαγράμματος ροής**
3. Τοποθέτηση των **τιμών των γνωστών μεταβλητών** στο διάγραμμα ροής (ροές, συστάσεις) και **των περιορισμών**
4. Τοποθέτηση των άγνωστων μεταβλητών με σύμβολα
5. **Επιλογή βάσης υπολογισμών (Δεδομένο άσκησης ή την επιλέγετε εσείς)**
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.  
Αν έχουμε πολλαπλό σύστημα:
  - Ξεκινάμε **την επίλυση ισοζυγίων από εκείνο το σύστημα που 0 βαθμούς ελευθερίας**
  - Αντικαθιστούμε τις υπολογιζόμενες μεταβλητές (ροές, συστάσεις) στα άλλα (άλυτα) συστήματα, **συνεχίζουμε μέχρι να υπολογιστούν όλες οι μεταβλητές των ρευμάτων**
9. Επαλήθευση αποτελεσμάτων

➔ 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



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

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

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

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

- ➔ 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.B.
  - ⇒ Μετατροπές: Όγκος  $\overset{\rho}{\Leftrightarrow}$  Μάζα  $\overset{\text{M.B.}}{\Leftrightarrow}$  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.



### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1



**1000 kg/h** μίγματος βενζολίου (B) και τολουολίου (T) το οποίο 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**.

1. Σχεδιάστε το διάγραμμα ροής της διεργασίας.
2. Καταστρώστε τα ισοζύγια και υπολογίστε τις άγνωστες ροές.

Hint:

- Ξαναδιαβάστε την εκφώνηση του προβλήματος
- Σχεδιάστε ένα διάγραμμα ροής της διεργασίας, βοηθάει αφάνταστα στο να δείτε τι δεδομένα έχετε και τι σας λείπουν
- Αναγνωρίστε τις άγνωστες ροές
- Πόσες και ποιες είναι εντέλει οι ανεξάρτητες εξισώσεις;
- Υπάρχουν περιορισμοί ή / και δεδομένες σχέσεις;

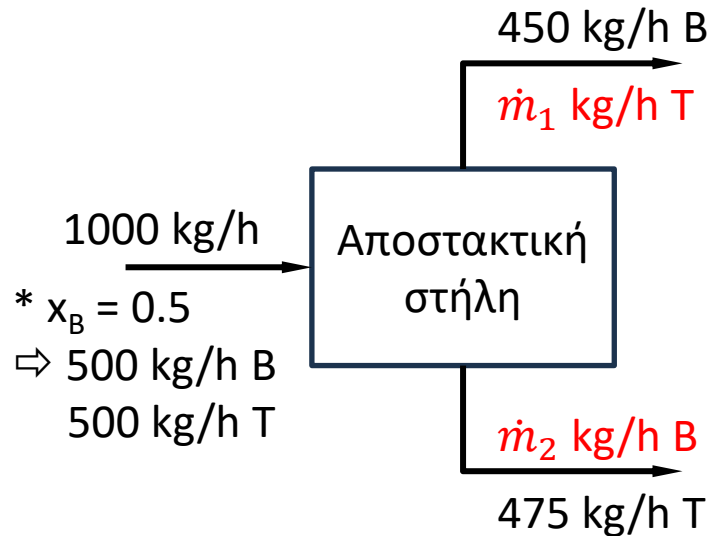


## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

### ΛΥΣΗ

1000 kg/h μίγματος βενζολίου (B) και τολουολίου (T) το οποίο 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.

1. Σχεδιάστε το διάγραμμα ροής της διεργασίας.
2. Καταστρώστε τα ισοζύγια και υπολογίστε τις άγνωστες ροές.



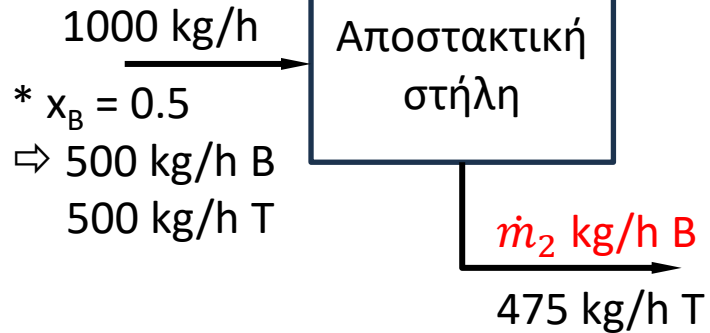
### ΛΥΣΗ

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

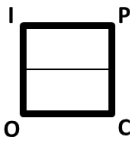
$$\dot{m}_2 = 50 \text{ kg/h B}$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

### ΛΥΣΗ



### Ισοζύγια μάζας (συνολικό / μερικά)



Είσοδος + Παραγωγή – Έξοδος – Κατανάλωση  
= Συσσώρευση

$\Rightarrow$  Είσοδος = Έξοδος

Check 1: Βαθμοί ελευθερίας df;

Συνολικό ισοζύγιο:

$$1000 \text{ [kg/h]} = 450 + \dot{m}_1 + \dot{m}_2 + 475 \text{ [kg/h]} \quad (1)$$

Μερικά ισοζύγια:

$$\text{Βενζόλιο} \quad 500 = 450 + \dot{m}_2 \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_2 = 50 \text{ kg / h B}$$

$$\text{Τολουόλιο} \quad 500 = \dot{m}_1 + 475 \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_1 = 25 \text{ kg / h T}$$

Επαλήθευση με συνολικό ισοζύγιο:

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2



HIM. 4.2



Με την τεχνολογία των μεμβρανών μπορούμε να εμπλουτίσουμε σε  $O_2$  τον αέρα. Ο ατμοσφαιρικός αέρας **εισέρχεται** στη μεμβράνη με μοριακή σύνθεση 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 σύσταση του;

Hint:

- Ξαναδιαβάστε την εκφώνηση του προβλήματος (προσοχή στους όρους, π.χ. εισέρχεται, εξέρχεται, απόρριψη κλπ)
- Σχεδιάστε το διάγραμμα ροής της διεργασίας, για να δείτε τι δεδομένα έχετε και τι σας λείπουν
- Αναγνωρίστε τις άγνωστες ροές. Σε ποιο ρεύμα αναφέρεται το ερώτημα περί σύστασης;
- Ποια βάση υπολογισμού θα ήταν χρήσιμη;

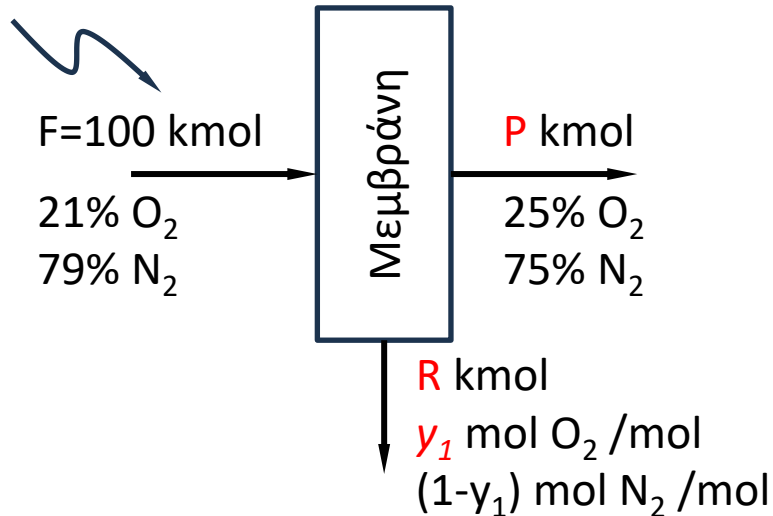


## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

### ΛΥΣΗ

Με την τεχνολογία των μεμβρανών μπορούμε να εμπλουτίσουμε σε  $O_2$  τον αέρα. Ο ατμοσφαιρικός αέρας **εισέρχεται** στη μεμβράνη με μοριακή σύνθεση 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 σύσταση του;

Βάση υπολογισμού



### ΛΥΣΗ

$$P = 20 \text{ kmol}$$

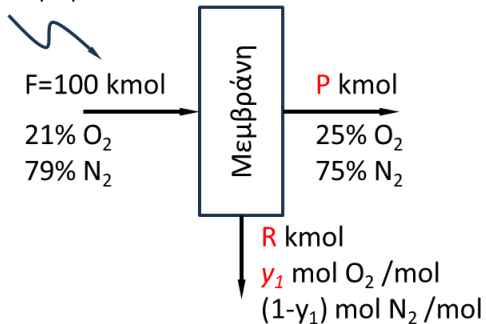
$$R = 80 \text{ kmol}$$

$$y_1 = 0.20 \text{ mol } O_2 / \text{mol}$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

### ΛΥΣΗ

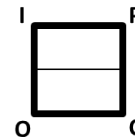
Βάση υπολογισμού



Check βαθμοί ελευθερίας  $df$ ;  
(συμπ. περιορισμών)

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

Περιορισμός  $R = 0.8 \cdot F \Rightarrow R = 80 \text{ kmol}$



### Ισοζύγια (συνολικό / μερικά)

Είσοδος + Παραγωγή - Έξοδος - Κατανάλωση = Συσσώρευση  
 $\Rightarrow$  **Είσοδος = Έξοδος** (1)

### Συνολικό ισοζύγιο:

Είσοδος = Έξοδος  $\Rightarrow 100 = P + R = P + 80 \Rightarrow P = 20 \text{ kmol}$

### Μερικό ισοζύγιο $\text{O}_2$ :

Είσοδος = Έξοδος  $\Rightarrow 0.21 \cdot F = 0.25 \cdot P + y_1 \cdot R \Rightarrow$   
 $\Rightarrow 0.21 \cdot 100 = 0.25 \cdot 20 + y_1 \cdot 80 \Rightarrow$

$$y_1 = 0.20 \frac{\text{mol O}_2}{\text{mol μιγματος}}$$

Επαλήθευση: Μερικό ισοζύγιο  $\text{N}_2$

Είσοδος = Έξοδος  $\Rightarrow 0.79 \cdot 100 = 0.75 \cdot 20 + 0.80 \cdot 80$

$$\underbrace{79}_{79} = \underbrace{15}_{15} + \underbrace{64}_{64}$$

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3



Διατίθενται 2 μίγματα μεθανόλης - νερού σε ξεχωριστές δεξαμενές. Η πρώτη περιέχει **40.0 w/w %** σε μεθανόλη και η δεύτερη **70.0% w/w. 2000 kg** από την πρώτη δεξαμενή αναμιγνύονται με **1500 kg** από τη δεύτερη δεξαμενή.

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

Hint:

- Ξαναδιαβάστε την εκφώνηση του προβλήματος (*Batch, άρα μιλάμε με όρους ποσοτήτων!*)
- Σχεδιάστε το διάγραμμα ροής της διεργασίας: Δεν χρειάζεται να σχεδιάσετε τις δυο δεξαμενές τροφοδοσίας!! Ασχολούμαστε μόνο με την δεξαμενή ανάμιξης

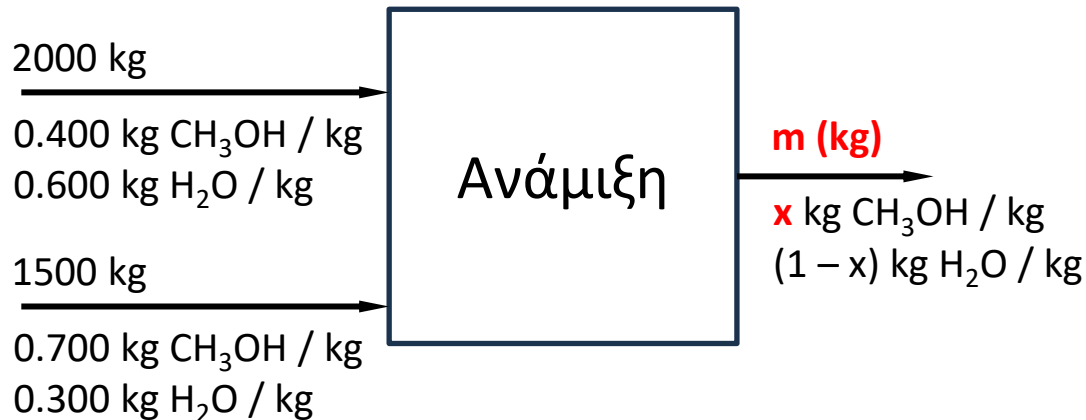


### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

#### ΛΥΣΗ

Διατίθενται 2 μίγματα μεθανόλης - νερού σε **ξεχωριστές δεξαμενές**. Η πρώτη περιέχει **40.0 w/w %** σε μεθανόλη και η δεύτερη **70.0% w/w**. **2000 kg** από την πρώτη δεξαμενή αναμινύονται με **1500 kg** από τη δεύτερη δεξαμενή.

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



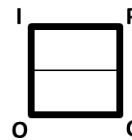
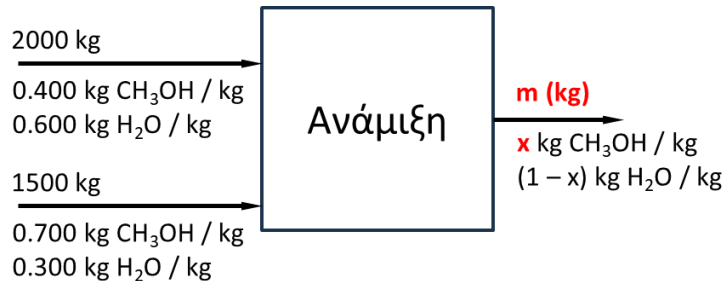
#### ΛΥΣΗ

$$m = 3500 \text{ kg}$$

$$x = 0.529 \text{ kg CH}_3\text{OH} / \text{kg}$$

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3

### ΛΥΣΗ



### Ισοζύγια (συνολικό / μερικά)

Είσοδος + Παραγωγή – Έξοδος – Κατανάλωση = Συσσώρευση  $\Rightarrow$  **Είσοδος = Έξοδος** (1)

### Συνολικό ισοζύγιο:

$$\text{Είσοδος} = \text{Έξοδος} \Rightarrow 2000 + 1500 = m \Rightarrow \mathbf{m = 3500 \text{ kg διαλύματος}}$$

### Μερικό ισοζύγιο CH<sub>3</sub>OH:

$$2000 \text{ kg } \delta/\text{τος} \cdot \left| \frac{0.400 \text{ kg CH}_3\text{OH}}{1 \text{ kg } \delta/\text{τος}} \right| + 1500 \text{ kg } \delta/\text{τος} \cdot \left| \frac{0.700 \text{ kg CH}_3\text{OH}}{1 \text{ kg } \delta/\text{τος}} \right| = m \cdot x \frac{\text{kg CH}_3\text{OH}}{\text{kg } \delta/\text{τος}} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \mathbf{x = 0.529 \text{ kg CH}_3\text{OH / kg}}$$

### Επαλήθευση (μερικό ισοζύγιο H<sub>2</sub>O):

$$\underbrace{2000 \cdot 0.600}_{1200} + \underbrace{1500 \cdot 0.300}_{450} = \underbrace{3500 \cdot (1 - 0.529)}_{\sim 1650}$$

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4



Αέρας εισέρχεται με παροχή **0.100 kmol/min** σε δοχείο που περιέχει εξάνιο ( $C_6H_{14}$ ). Το αέριο ρεύμα εξόδου περιέχει **10.0% mole ατμών εξανίου** και θεωρείται ότι **ο αέρας είναι αδιάλυτος στο εξάνιο** ( $\epsilon C_6H_{14} = 0.659 \text{ kg/L}$ ,  $M_r C_6H_{14} = 86.2$ ).

Χρησιμοποιώντας το ολοκληρωτικό ισοζύγιο, υπολογίστε το χρόνο (t) που απαιτείται για την εξάτμιση **10.0 m<sup>3</sup> υγρού εξανίου**.

Hint:

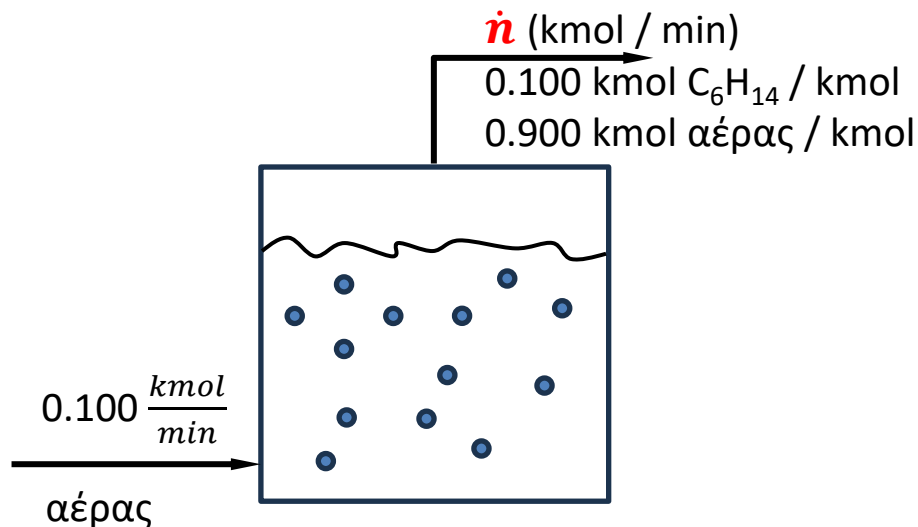
- Ξαναδιαβάστε την εκφώνηση του προβλήματος (Αναφερόμαστε σε ροές kmol / min)
- Πουθενά δεν δίνονται όγκοι, παρόλα αυτά μας ζητείται χρόνος για εξάτμιση όγκου υγρού (εξάνιο)
- Αφού δίνονται πυκνότητες και μοριακά βάρη, μάλλον θα χρειαστούν σε μετατροπές σε kmol.
- Προσοχή στη μετατροπή μονάδων (L, m<sup>3</sup> κλπ)



#### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

#### ΛΥΣΗ

Αέρας εισέρχεται με παροχή **0.100 kmol/min** σε δοχείο που περιέχει εξάνιο ( $C_6H_{14}$ ). Το αέριο ρεύμα εξόδου περιέχει **10.0% mole ατμών εξανίου** και θεωρείται ότι ο **αέρας είναι αδιάλυτος στο εξάνιο**. ( $\epsilon_{C_6H_{14}} = 0.659 \text{ kg/L}$ ,  $M_r C_6H_{14} = 86.2$ ). Χρησιμοποιώντας το ολοκληρωτικό ισοζύγιο, υπολογίστε το χρόνο ( $t$ ) που απαιτείται για την εξάτμιση **10.0 m<sup>3</sup> υγρού εξανίου**.



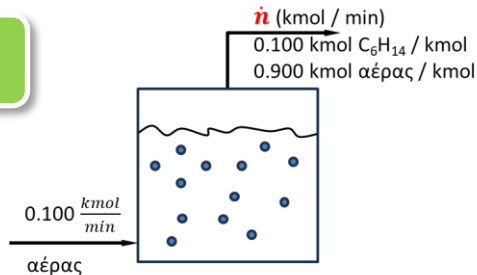
#### ΛΥΣΗ

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

$$t = 6880 \text{ min}$$

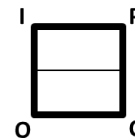
## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

### ΛΥΣΗ



*Hint:*

Αφού δεν συσσωρεύεται αέρας (αδιάλυτος στο εξάνιο) αλλά ούτε έχουμε αντίδραση (όροι παραγωγής και κατανάλωσης μηδενικοί) ως ξεκινήσουμε με το μερικό διαφορικό ισοζύγιο του αέρα για να βρούμε την ροή εξόδου



### Μερικό διαφορικό Ισοζύγιο για τον αέρα

Είσοδος + Παραγωγή – Έξοδος – Κατανάλωση = Συσσώρευση  $\Rightarrow$

$$\frac{dM}{dt} = \dot{m}_{in} + \dot{r}_{\pi\alpha\rho} - \dot{m}_{out} - \dot{r}_{\kappa\alpha\tau} \Rightarrow \dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$$

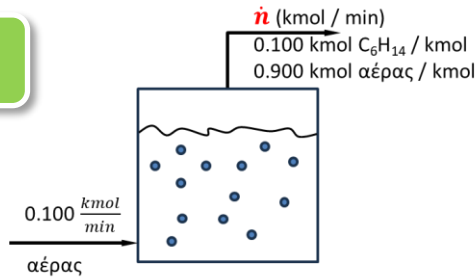
$$0.100 \frac{kmol \text{ αερας}}{min} = \dot{n} \frac{kmol \text{ μιγμα}}{min} \left| \frac{0.900 kmol \text{ αερας}}{kmol \text{ μιγμα}} \right. \Rightarrow \dot{n} = 0.111 kmol/min \text{ μίγματος}$$

$$\Rightarrow \dot{n}_{\alpha\epsilon\rho\alpha} = 0.100 \frac{kmol \text{ αερας}}{min} \quad \text{και} \quad \dot{n}_{\epsilon\xi\alpha\nu} = \dot{n} - \dot{n}_{\alpha\epsilon\rho\alpha} = 0.011 \frac{kmol \text{ εξαν}}{min}$$



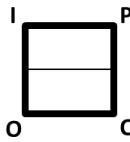
## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4

### ΛΥΣΗ



*Hint:*

Στην περίπτωση του εξανίου η συσσώρευση ΔΕΝ είναι μηδενική (μεταβατική κατάσταση → ολοκληρωτικό ισοζύγιο  $t_o \rightarrow t_f$ ).



### Μερικό διαφορικό ισοζύγιο για εξάνιο

$$\frac{dM}{dt} = \cancel{\dot{m}_{in}} + \cancel{\dot{r}_{\pi\alpha\rho}} - \dot{m}_{out} - \cancel{\dot{r}_{κατ}} = -\dot{m}_{out}$$

$$\Rightarrow \int_{M_{in}}^{M_{out}} dM = - \int_{t=0}^{t=t_{\tau\epsilon\lambda}} \dot{m}_{out} dt$$

$$\Delta n = n_{\tau\epsilon\lambda} - n_{\alpha\rho\chi} = - \frac{V \cdot \rho}{Mr} = -10 m^3 \cdot 0.659 \frac{kg}{L} \left| \frac{1000 L}{m^3} \cdot \frac{1 kmol}{86.2 kg} \right. = -76.45 \text{ kmol εξανίου}$$

$$\Rightarrow -76.45 \text{ kmol } C_6H_{14} = -\dot{n}_{εξαν} \cdot (t_f - 0)$$

$$\Rightarrow -76.45 \text{ kmol } C_6H_{14} = - \overbrace{0.100 \text{ kmol } C_6H_{14} / \text{kmol} \cdot 0.111 \text{ kmol} / \text{min}} \cdot (t_f - 0)$$

$$\Rightarrow \mathbf{t_f = 6880 \text{ min}}$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5



Υδατικό διάλυμα NaOH 20.0% κ.β. χρησιμοποιείται για την παρασκευή διαλύματος NaOH 8.0% κ.β. με αραίωση του πυκνού διαλύματος με καθαρό νερό. Υπολογίστε τον λόγο (λίτρα νερού / kg τροφοδοσίας) και τον λόγο (μάζα (kg) προϊόντος / kg τροφοδοσίας).

Βάση υπολογισμού 100 kg τροφοδοσία,  $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kg/L}$

Hint:

- Ξαναδιαβάστε την εκφώνηση του προβλήματος. Τα περισσότερα δεδομένα είναι κ.β. άρα μάλλον θα υπολογίζουμε kg. Ακόμα και ο όγκος του νερού που ζητείται, εύκολα μετατρέπεται σε kg
- Είναι **batch**, άρα μιλάμε με όρους ποσοτήτων
- Δίνεται η βάση υπολογισμού. Έτσι και αλλιώς μάλλον την ίδια θα επιλέγαμε

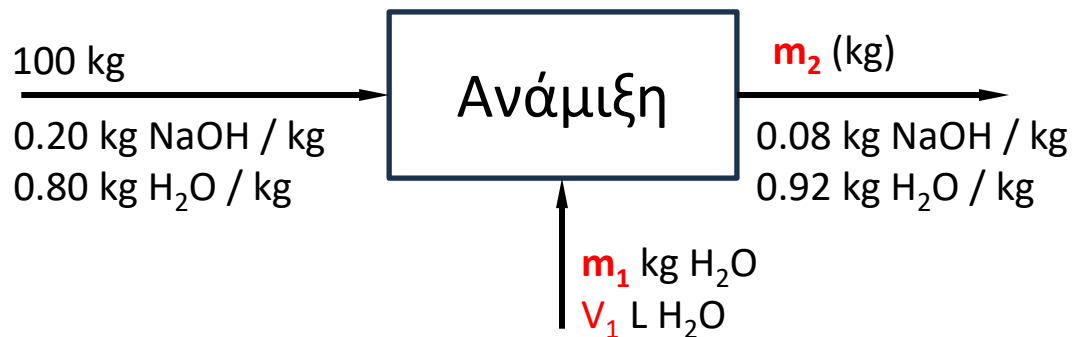


## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

### ΛΥΣΗ

Υδατικό διάλυμα NaOH 20.0% κ.β. χρησιμοποιείται για την παρασκευή διαλύματος NaOH 8.0% κ.β. με αραιώση του πυκνού διαλύματος με καθαρό νερό. Υπολογίστε τον λόγο (λίτρα νερού / kg τροφοδοσίας) και τον λόγο (μάζα (kg) προϊόντος / kg τροφοδοσίας).

**Βάση υπολογισμού 100 kg τροφοδοσία,  $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kg/L}$**



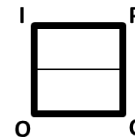
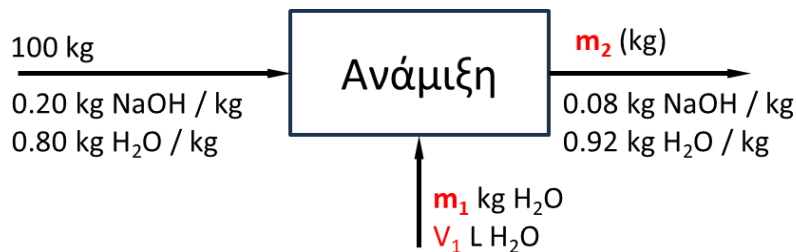
### ΛΥΣΗ

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

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

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5

### ΛΥΣΗ



Check βαθμούς ελευθερίας

⇒ B.E. = 3 - 2 - 1 = 0 άρα επιλύεται

- Άγνωστοι:  $m_2$ ,  $m_1$ ,  $V_1$
- Εξισώσεις: 2 ισοζύγια μάζας NaOH & H<sub>2</sub>O ή Συνολικό & NaOH
- Δεδομένα, περιορισμοί: Πυκνότητα  $\rho = m/V$

### Συνολικό ισοζύγιο μάζας

$$\text{Είσοδος} = \text{Έξοδος} \Rightarrow 100 + m_1 = m_2 \quad (1)$$

### Ισοζύγιο μάζας για NaOH

$$\text{Είσοδος}_{\text{NaOH}} = \text{Έξοδος}_{\text{NaOH}} \Rightarrow 0.20 \frac{\text{kg NaOH}}{\text{kg}_{\text{τροφ}}} \cdot 100 \text{ kg}_{\text{τροφ}} + 0 = 0.08 \frac{\text{kg NaOH}}{\text{kg}_{\text{τροφ}}} \cdot m_2 \text{ kg}_{\text{τροφ}}$$

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

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

$$\Rightarrow V_1 = m_1 / \rho = 150 \text{ kg} \cdot 1 \text{ L/kg} = 150 \text{ L H}_2\text{O}$$

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

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

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6



Μίγμα βενζολίου (B) και τολουολίου (T) εισέρχεται σε αποστακτική στήλη με σύσταση **45% w/w B** και **55% w/w T**. Το ρεύμα κορυφής έχει **μολαρική σύσταση 95.0% B**. 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). Η **ογκομετρική παροχή της τροφοδοσίας είναι 2000 L/h** και το ειδικό βάρος της είναι **0.872**.

*Υπολογίστε τις μαζικές ροές των 2 ρευμάτων εξόδου.*

*Υπολογίστε τη μαζική σύσταση του κάτω ρεύματος (ρεύματος πυθμένα).*

$(\epsilon_{\text{τροφ}} = 0.872, \rho_{\text{τροφ}} = 0.872 \text{ kg/L}, M_{r,B} = 78.11, M_{r,T} = 92.13)$

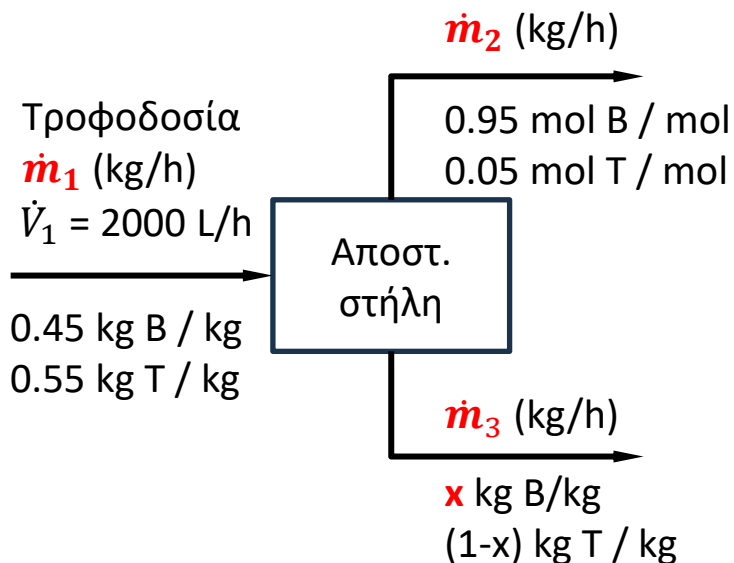


- Ξαναδιαβάστε την εκφώνηση του προβλήματος, χωρίς κραυγές....
- Είναι συνεχής (χωρίς συσσώρευση), άρα μιλάμε με όρους ρυθμών
- Δίνεται η βάση υπολογισμού, 2000 L/h αν και μάλλον είναι το μόνο νούμερο όγκου. Δεν πειράζει, γνωρίζουμε πυκνότητα άρα μετατρέπεται αμέσως σε ρυθμό μάζας.

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6

### ΛΥΣΗ

Μίγμα βενζολίου (B) και τολουολίου (T) εισέρχεται σε αποστακτική στήλη με σύσταση **45% w/w B** και **55% w/w T**. Το ρεύμα κορυφής έχει **μολαρική σύσταση 95.0% B**. 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).  $V_1' = 2000 \text{ L/h}$  και  $\epsilon_{\text{τροφ}} = 0.872$ .



### Ζητούμενα:

$\dot{m}_2, \dot{m}_3, x$

Σημ. το  $\dot{m}_1$  δεν ζητείται, μοιάζει με άγνωστο, αλλά πρακτικά δεν είναι καθώς ξέρουμε το  $\dot{V}_1'$

Check βαθμοί ελευθερίας:

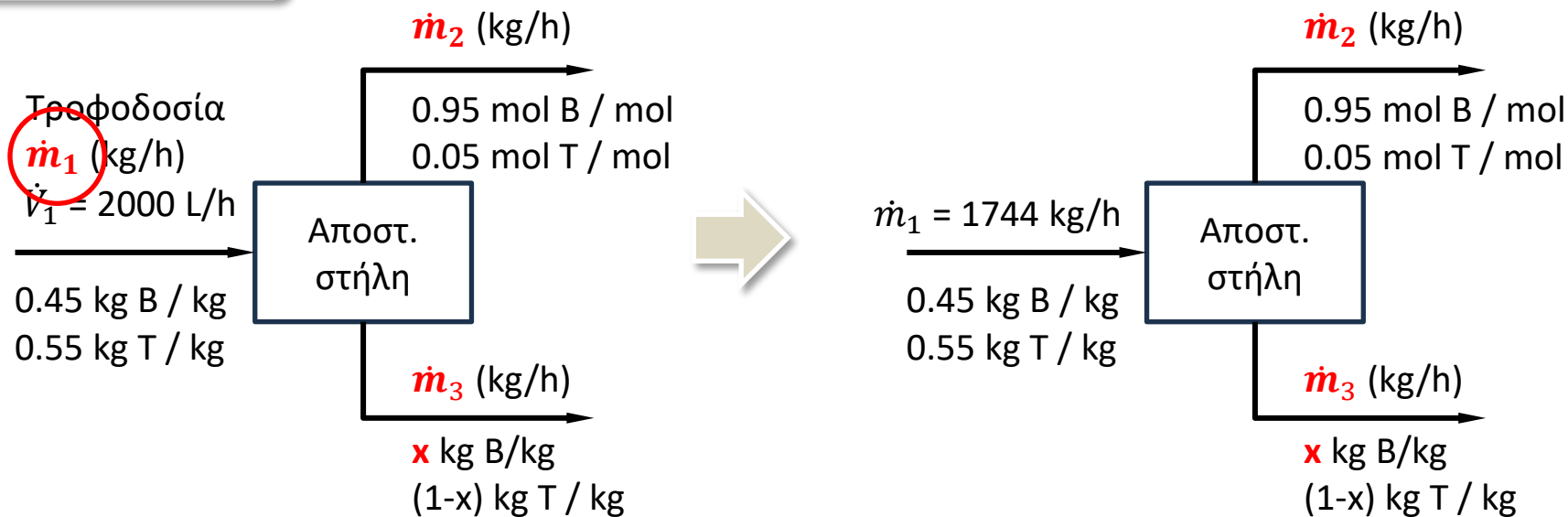
Άγνωστοι: 3

Εξισώσεις: 2 ισοζύγια μάζας

Δεδομένα / περιορισμοί: (8% τροφοδ. B) = 1

Άρα B.E = 0 άρα ΛΥΝΕΤΑΙ

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6

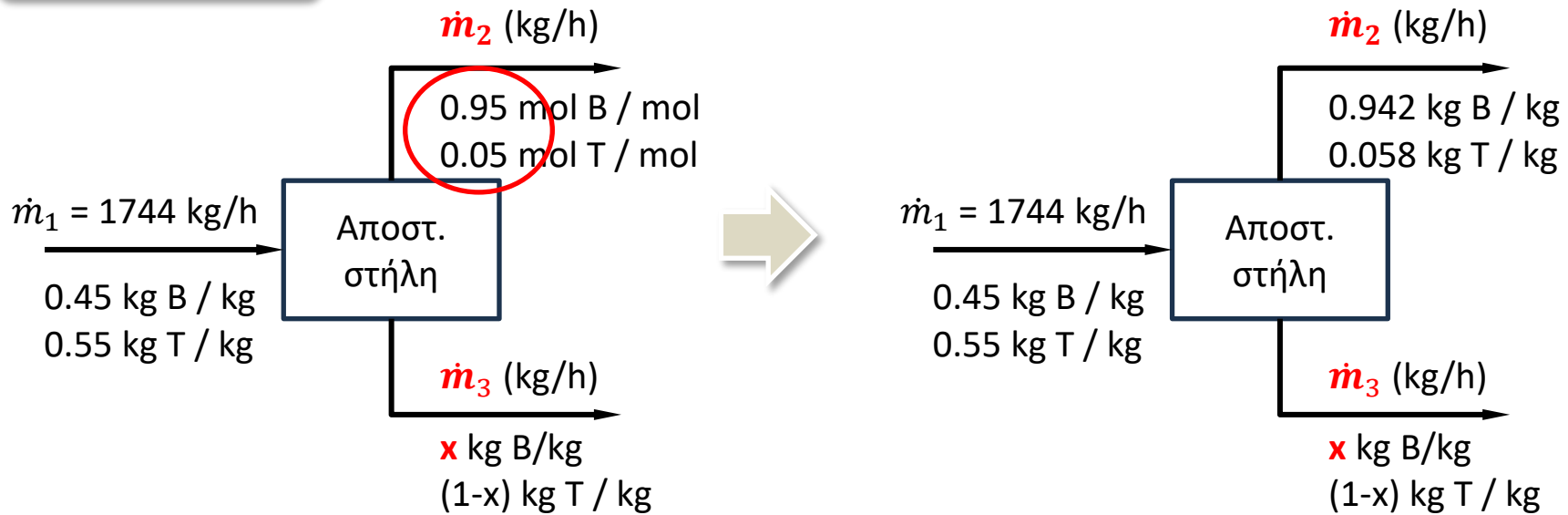


**1<sup>ο</sup> βήμα:** Ομοιομορφία δεδομένων για να εφαρμοστούν τα ισοζύγια: L/h  $\rightarrow$  kg/h

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

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

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6



**2<sup>ο</sup> βήμα:** Ομοιομορφία δεδομένων για να εφαρμοστούν τα ισοζύγια: γραμμομοριακά κλάσματα  $\rightarrow$  κλάσματα μάζας

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

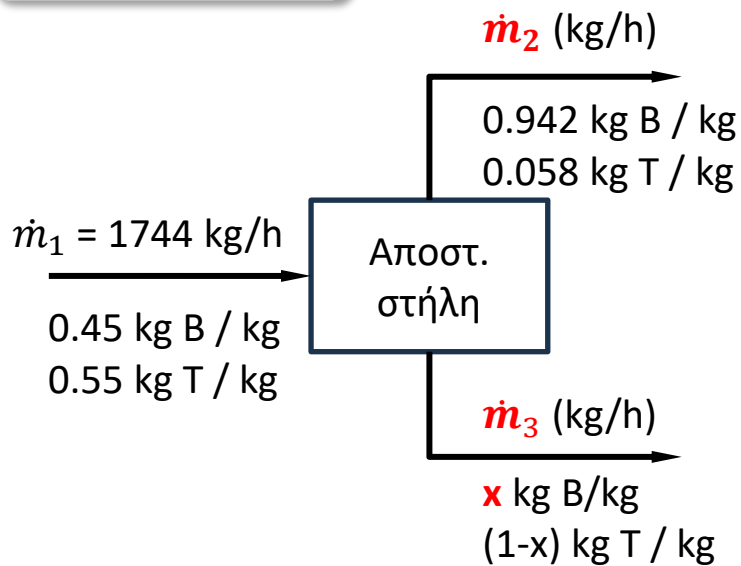
$$0.05 \text{ mol T} \cdot 92.13 \text{ g T/mol T} = 4.6 \text{ g T}$$

-----  
 Σύνολο μάζας ανά mol μίγματος  $74.2 + 4.6 = 78.8 \text{ g μίγματος 2}$

Άρα:  $X_{B_2}: 74.2/78.8 = \mathbf{0.942 \text{ kg B / kg}}$  και  $x_{T_2}: 4.6 / 78.8 = \mathbf{0.058 \text{ kg T/kg}}$



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 6



### 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)”

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

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

### Επίλυση

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

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

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



### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7



Ένα 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 σύσταση **21% mol O<sub>2</sub>** και **79% N<sub>2</sub>**. Να υπολογίσετε τον ρυθμό εκροής του εξερχόμενου αέριου ρεύματος και τα μολαρικά κλάσματα O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O σε αυτό το ρεύμα.

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

(β) Αν ο εισερχόμενος αέρας έχει 10.0 mol% H<sub>2</sub>O να προσδιορίσετε τις παραπάνω μεταβλητές.

Δίνονται για το νερό  $\rho=1 \text{ g/cm}^3$ ,  $M_{r_{H_2O}}=18 \text{ g/gmol}$

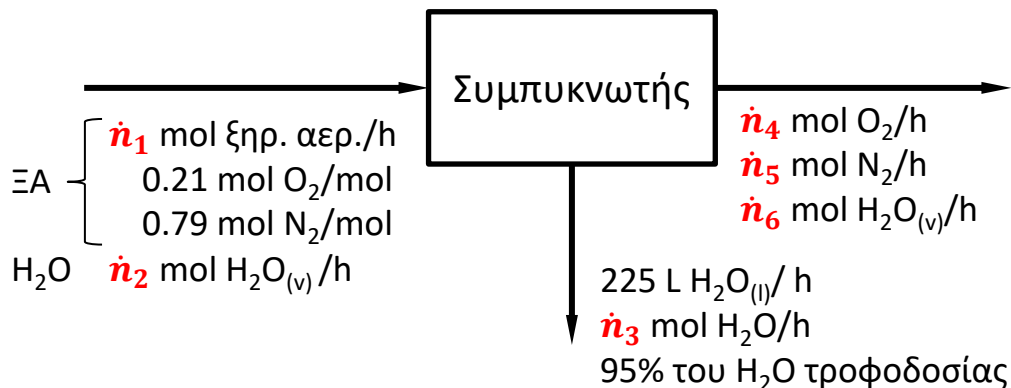


- Ξαναδιαβάστε την εκφώνηση του προβλήματος.
- Είναι συνεχής (χωρίς συσσώρευση), άρα μιλάμε με όρους ρυθμών
- Επειδή μάλιστα ζητάει ρυθμό εκροής και μολαρικά κλάσματα, προφανώς και οι ρυθμοί θα αναφέρονται σε mol/h
- Δύο έξοδοι (νερό και αφυγρασμένος αέρας)

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7

### ΛΥΣΗ (α)

Ένα 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 σύσταση 21% mol O<sub>2</sub> και 79% N<sub>2</sub>. Να υπολογίσετε τον ρυθμό εκροής του εξερχόμενου αέριου ρεύματος και τα μοριακά κλάσματα O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O σε αυτό το ρεύμα. (α) Να διερευνήσετε αν μπορεί να επιλυθεί η άσκηση. (β) Αν ο εισερχόμενος αέρας έχει 10.0 mol% H<sub>2</sub>O να προσδιορίσετε τις παραπάνω μεταβλητές.  $\rho_{H_2O} = 1 \text{ g/cm}^3$ ,  $M_{r_{H_2O}} = 18 \text{ g/gmol}$



### (α) Check βαθμοί 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<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)

Σχέσεις: 1  $\dot{n}_3 = 0.95 \cdot \dot{n}_2$

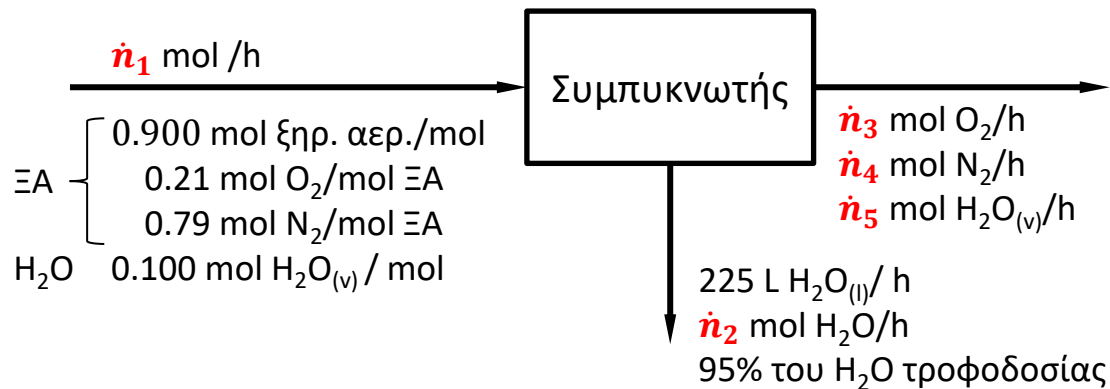
Περιορισμοί: 1  $\rho = m/V$

B.E.  $df = (6-3-2) = 1 > 0$  άρα **υποκαθορισμένο**

Σημ. Ακόμα και αν λαμβάναμε υπόψη μας το αυτονόητο, ήτοι ότι η  $\dot{n}_3$  δεν είναι και τόσο «άγνωστη», αφού γνωρίζουμε τον όγκο, άρα πολύ εύκολα μετατρέπεται σε mol, πάλι  $df = 1 > 0$ , καθώς ναι μεν φεύγει ένας άγνωστος, αλλά χάνουμε και τον περιορισμό

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7

### ΛΥΣΗ (β)



### (β) Check B.E:

Άγνωστοι: 5

Ισοζύγια μάζας: 3

Σχέσεις – Περ.: 2

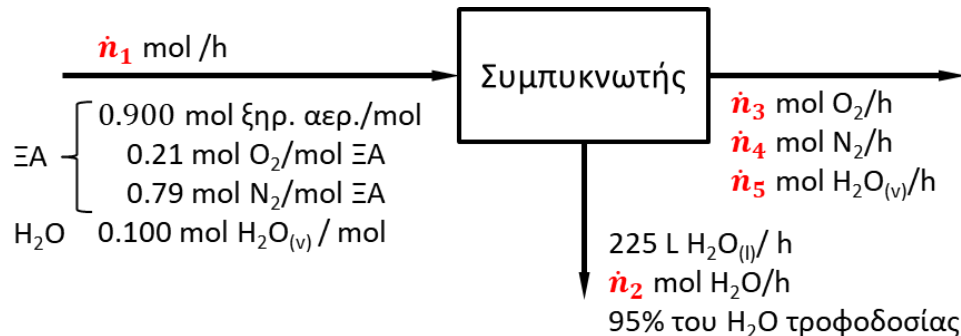
} df = 0 άρα επιλύεται

### Σημείωση:

Θα μπορούσαμε, εναλλακτικά, να διατηρήσουμε την αρίθμηση για τα εξερχόμενα ρεύματα και να «ενοποιήσουμε» μόνο το εισερχόμενο

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 7

### ΛΥΣΗ (β)



#### (1) Πυκνότητα (περιορισμός)

$$\dot{n}_2 = 225 \frac{L}{h} \left| \frac{1.00 \text{ kg}}{1 L} \right| \frac{1 \text{ mol}}{18 \times 10^{-3} \text{ kg}} = 12.5 \times 10^3 \text{ mol/h H}_2\text{O (liquid)}$$

#### (2) Σχέση 95% τροφοδοσίας

$$\dot{n}_2 = 0.95 \cdot (0.100 \cdot \dot{n}_1) \Rightarrow \dot{n}_1 = 132 \times 10^3 \text{ mol/h}$$

#### (3) Ισοζύγια

$$\begin{array}{ll} \text{O}_2 & (0.21 \cdot 0.900) \cdot \dot{n}_1 = \dot{n}_3 \Rightarrow \dot{n}_3 = 24.9 \times 10^3 \text{ mol/h} \\ \text{N}_2 & (0.79 \cdot 0.900) \cdot \dot{n}_1 = \dot{n}_4 \Rightarrow \dot{n}_4 = 93.9 \times 10^3 \text{ mol/h} \\ \text{H}_2\text{O} & 0.100 \cdot \dot{n}_1 = \dot{n}_2 + \dot{n}_5 \Rightarrow \dot{n}_5 = 700 \text{ mol/h} \end{array}$$

$$\dot{n}_{\text{EE}} = \dot{n}_3 + \dot{n}_4 + \dot{n}_5 = 119,5 \times 10^3 \text{ mol/h}$$

$$Y_{\text{O}_2} = \dot{n}_3 / \dot{n}_{\text{EE}} = 0.208$$

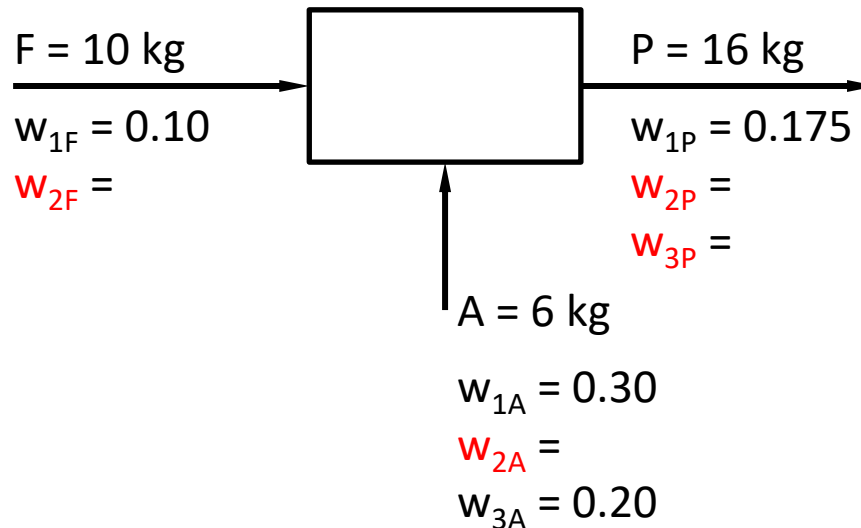
$$Y_{\text{N}_2} = \dot{n}_4 / \dot{n}_{\text{EE}} = 0.786$$

$$Y_{\text{H}_2\text{O}} = \dot{n}_5 / \dot{n}_{\text{EE}} = 1 - Y_{\text{O}_2} - Y_{\text{N}_2} = 0.006$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 8

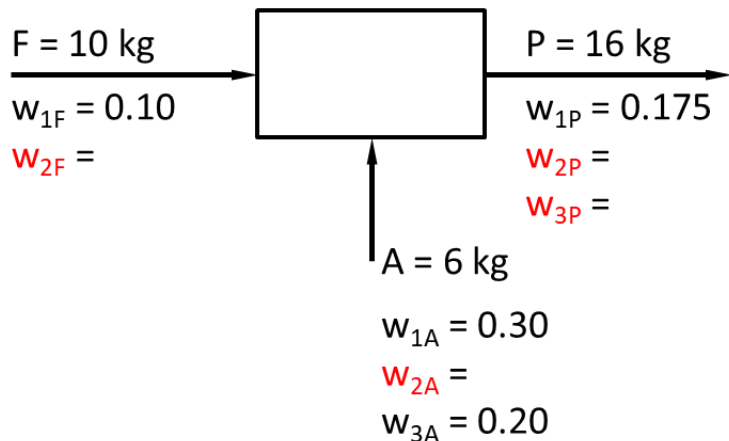
### 3.2.8 HIM

Για τη διεργασία μόνιμης κατάστασης του ακόλουθου σχήματος, προσδιορίστε αν υπάρχει μοναδική λύση για την τιμή των μεταβλητών. Να δείξετε τους υπολογισμούς.  $w_{iX}$  είναι το κλάσμα μάζας του συστατικού  $i$  στο ρεύμα  $X$ .



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 8

### ΛΥΣΗ



4 άγνωστες μεταβλητές  
2 ανεξάρτητα ισοζύγια  
3 σχέσεις κλασμάτων

$$\left. \begin{array}{l} 4 \text{ άγνωστες μεταβλητές} \\ 2 \text{ ανεξάρτητα ισοζύγια} \\ 3 \text{ σχέσεις κλασμάτων} \end{array} \right\} df = 4 - 2 - 3 = -1 \text{ ΥΠΕΡΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΟ}$$

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

Ισοζύγια μάζας για 3 συστατικά

$$(1) w_{1F} \cdot F + w_{1A} \cdot A = w_{1P} \cdot P \Leftrightarrow \\ 0.10 \cdot 10 + 0.30 \cdot 6 = 0.175 \cdot 16$$

$$(2) w_{2F} \cdot F + w_{2A} \cdot A = w_{2P} \cdot P \Leftrightarrow \\ w_{2F} \cdot 10 + w_{2A} \cdot 6 = w_{2P} \cdot 16$$

$$(3) 0 \cdot F + w_{3A} \cdot A = w_{3P} \cdot P \Leftrightarrow \\ 0 \cdot 10 + 0.20 \cdot 6 = w_{3P} \cdot 16$$

Προσοχή: Μόνο 2 ανεξάρτητα ισοζύγια μάζας

**Κλάσματα ανά ρεύμα**

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

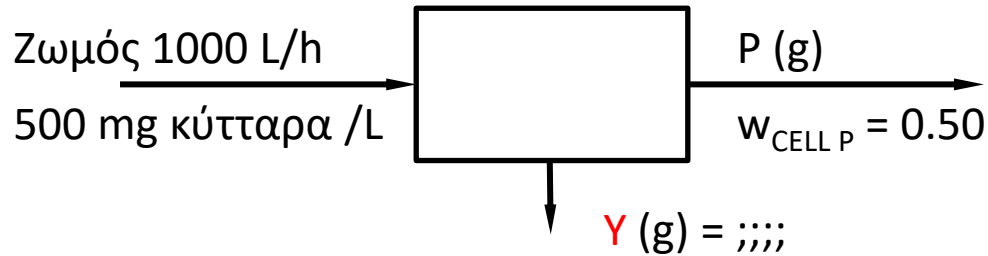
$$w_{1A} + w_{2A} + w_{3A} = 1$$

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

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 9

### 3.4 ΗΙΜ

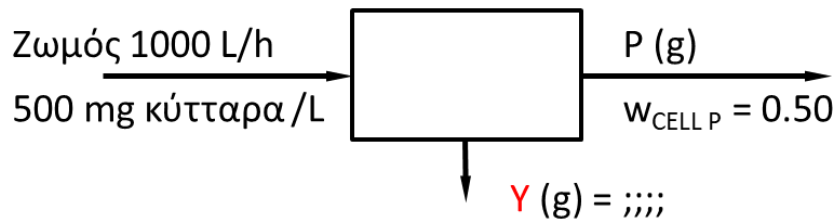
Κύτταρα ζύμης παραλαμβάνονται από υγρό μίγμα που περιέχει κύτταρα με τη βοήθεια φυγοκέντρου. Προσδιορίστε την **ποσότητα του υπολείμματος σε g** η οποία δεν περιέχει κύτταρα και απομακρύνεται κάθε 1 h, αν η τροφοδοσία είναι 1000L / h και περιέχει 500 mg κύτταρα/L, ενώ το ρεύμα παραγωγής (συμπυκνωμένα κύτταρα) περιέχει 50 % w/w κύτταρα. Θεωρείστε ότι η τροφοδοσία έχει  $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$





## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 9

### ΛΥΣΗ



Βάση  
υπολογισμού 1 h

### Ισοζύγιο κυττάρων:

Τροφοδοσία = Έξοδος (συμπύκνωμα) + Υπόλειμμα

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

### Ισοζύγιο ρευστού

Τροφοδοσία = Έξοδος (συμπύκνωμα) + Υπόλειμμα

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

Βασικά, πρέπει να υπολογίσουμε το κλάσμα μάζας του ρευστού στην τροφοδοσία

(σημ. στον ΗΙΜ αυτό δεν γίνεται εξ ου και το cross check συνολικό ισοζύγιο ροών δεν βγάζει νόημα!!!)

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

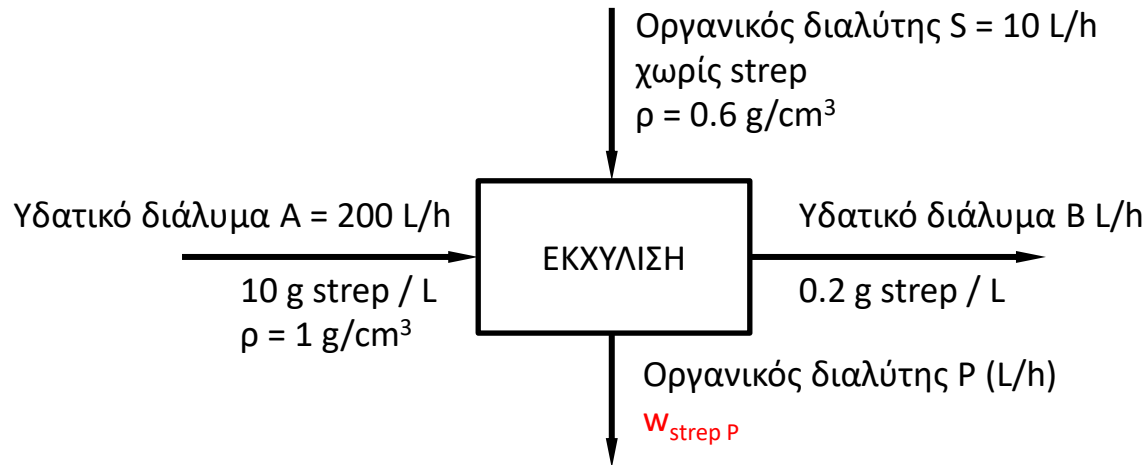
$$\left. \begin{array}{l} \text{από αυτήν: } 500 g \text{ κύτταρα} \\ 999.500 g \text{ ρευστό} \end{array} \right\} w_{fluid F} = 0.9995$$

$$\Leftrightarrow Y = 999000 g$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10

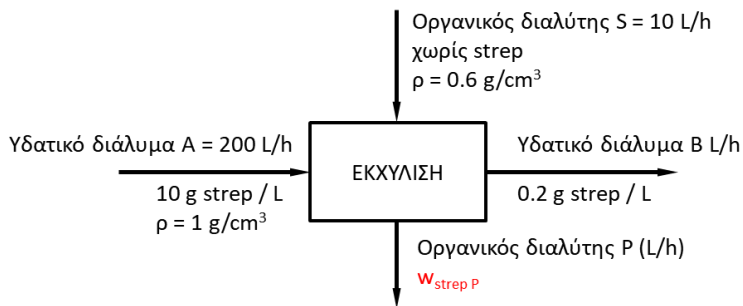
## 4.1 ΗΜ

Η στρεπτομυκίνη ανακτάται με διεργασίας 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  $1\text{g/cm}^3$  και του οργανικού  $0.6\text{g/cm}^3$ . Υποθέστε ότι οι ρυθμοί ροής των εισερχόμενων είναι ίσες με τις εξερχόμενες. Βάση  $200\text{L/h}$ .



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10

### ΛΥΣΗ



### ΒΗΜΑ 1:



### ΒΗΜΑ 2:

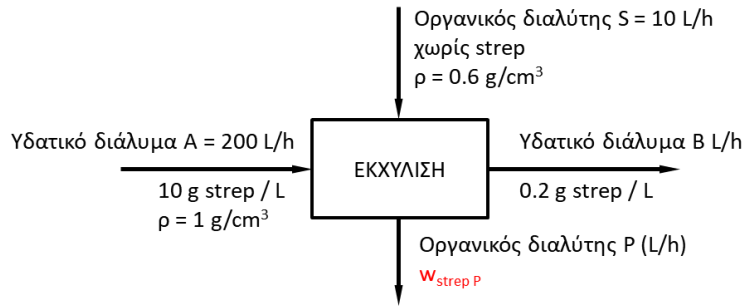
- Λόγω των χαμηλών συγκεντρώσεων στρεπτομυκίνης στα υδατικά και οργανικά ρεύματα θεωρούμε ότι οι πυκνότητες εισόδου και εξόδου στα αντίστοιχα ρεύματα παραμένουν σταθερές
- Καθώς «ο οργανικός διαλύτης δεν έχει καθόλου νερό και το υδατικό διάλυμα δεν έχει διαλύτη», αυτό σημαίνει ότι  $A = B = 200 \text{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

### ΒΗΜΑ 3: 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

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10

### ΛΥΣΗ



### ΒΗΜΑ 4: Ισοζύγιο μάζας Strep

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

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

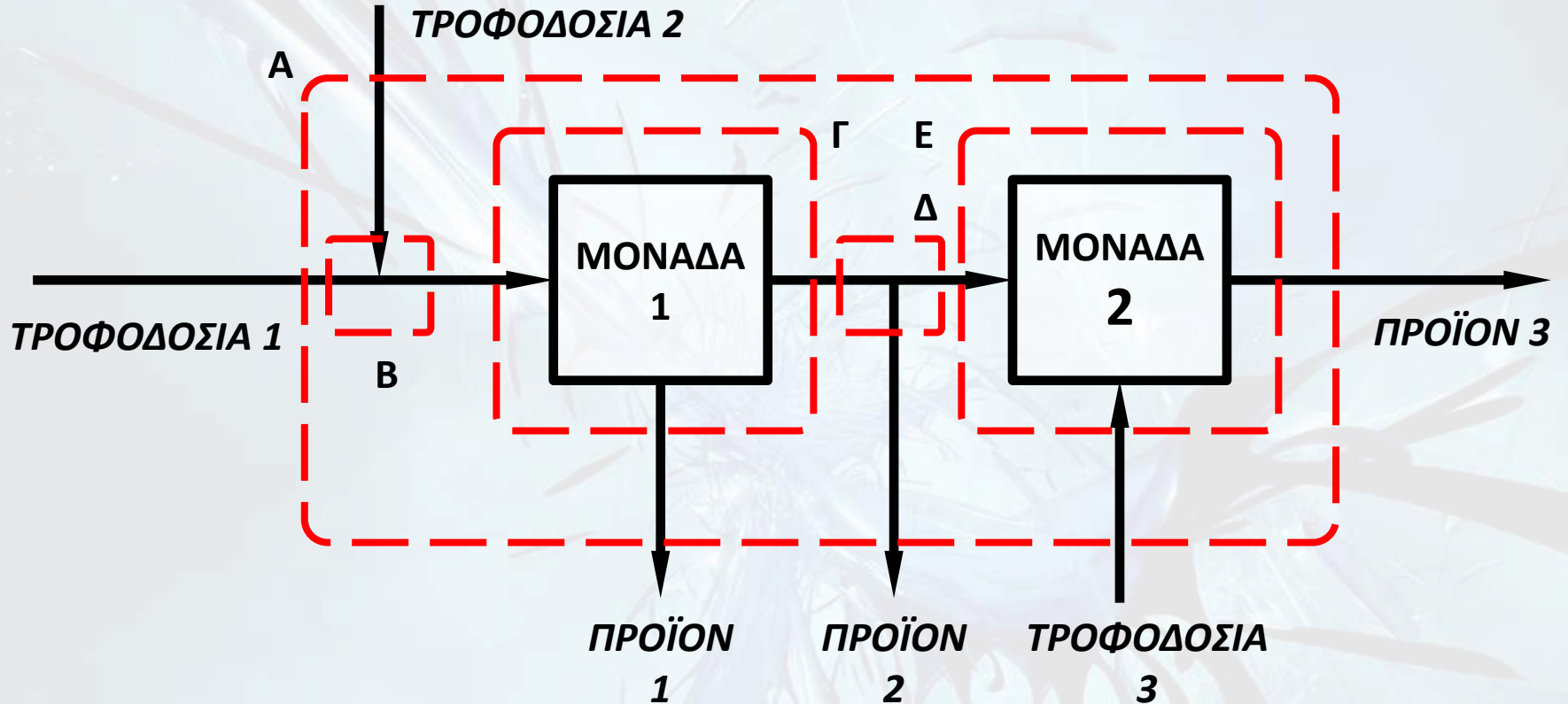
Για τον υπολογισμό του  $w_{\text{strep P}} = \frac{m_{\text{strep P}}}{m_{\text{strep P}} + m_{\text{org solvent P}}}$  χρειάζεται απλά να υπολογίσουμε τη ποσότητα (μαζικό ρυθμό) του οργανικού διαλύτη στο ρεύμα P. Όμως, όλος ο οργανικός διαλύτης προέρχεται αποκλειστικά από το ρεύμα S.

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

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

**ΗΘΙΚΟ ΔΙΔΑΓΜΑ:** Δεν χρειάζεται να πανικοβαλλόμαστε. Μπορεί η λύση να είναι απλά ένα ισοζύγιο μάζας!

# ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



1. Σχεδιάζουμε το διάγραμμα ροής και απεικονίζουμε όλες τις μεταβλητές (γνωστές και άγνωστες) πάνω σε αυτό.
2. Εξετάζουμε τα σχετικά συστήματα (συνολική διεργασία, επιμέρους διεργασίες, σημεία ανάμιξης, σημεία διαχωρισμού κλπ) και βρίσκουμε τους βαθμούς ελευθερίας κάθε συστήματος ξεχωριστά.
  - Σε κάθε σύστημα συμπεριλαμβάνουμε μόνο τα ρεύματα που τέμνουν τα όρια του συστήματος
  - Μπορεί να χρειαστεί να θεωρήσουμε ως σύστημα ένα υποσύνολο της συνολικής διεργασίας που αποτελείται από δύο ή περισσότερες επιμέρους διεργασίες
3. **Ξεκινάμε την επίλυση των ισοζυγίων από το σύστημα που έχει 0 βαθμούς ελευθερίας.**
4. Αντικαθιστούμε τις υπολογιζόμενες μεταβλητές (ροές, συστάσεις) στα άλλα (άλυτα) συστήματα και συνεχίζουμε μέχρι να υπολογιστούν όλες οι μεταβλητές των ρευμάτων.

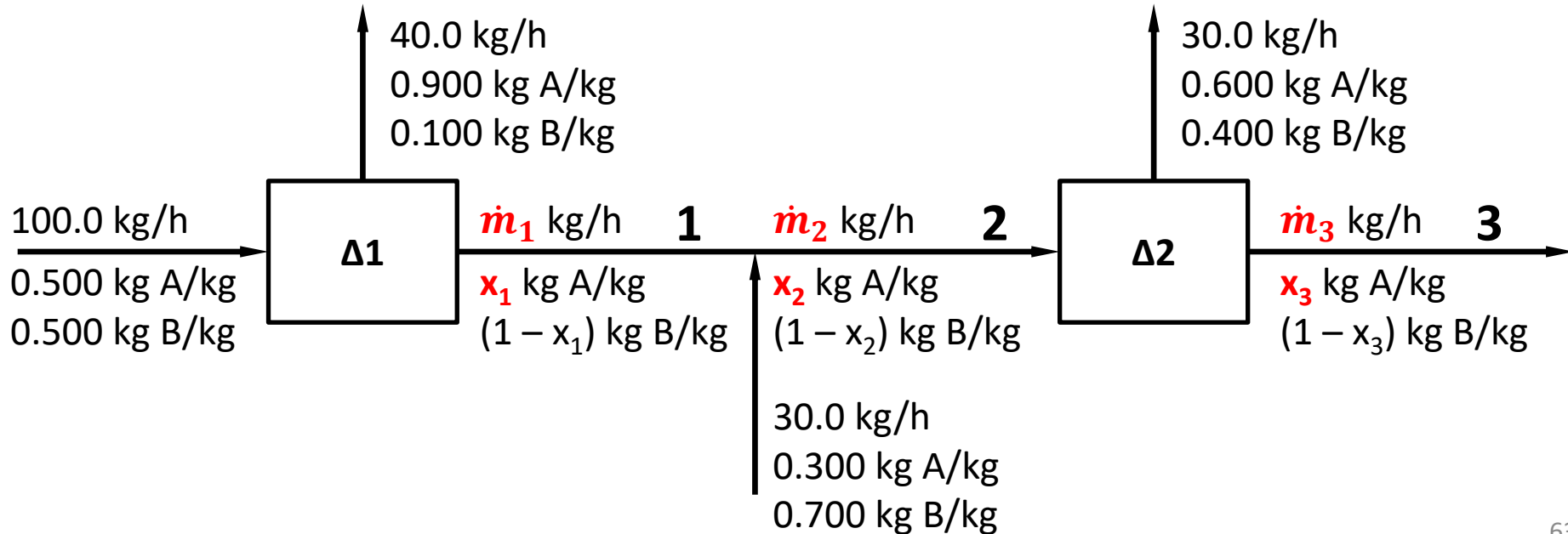


# ΠΟΛΛΑΠΛΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11

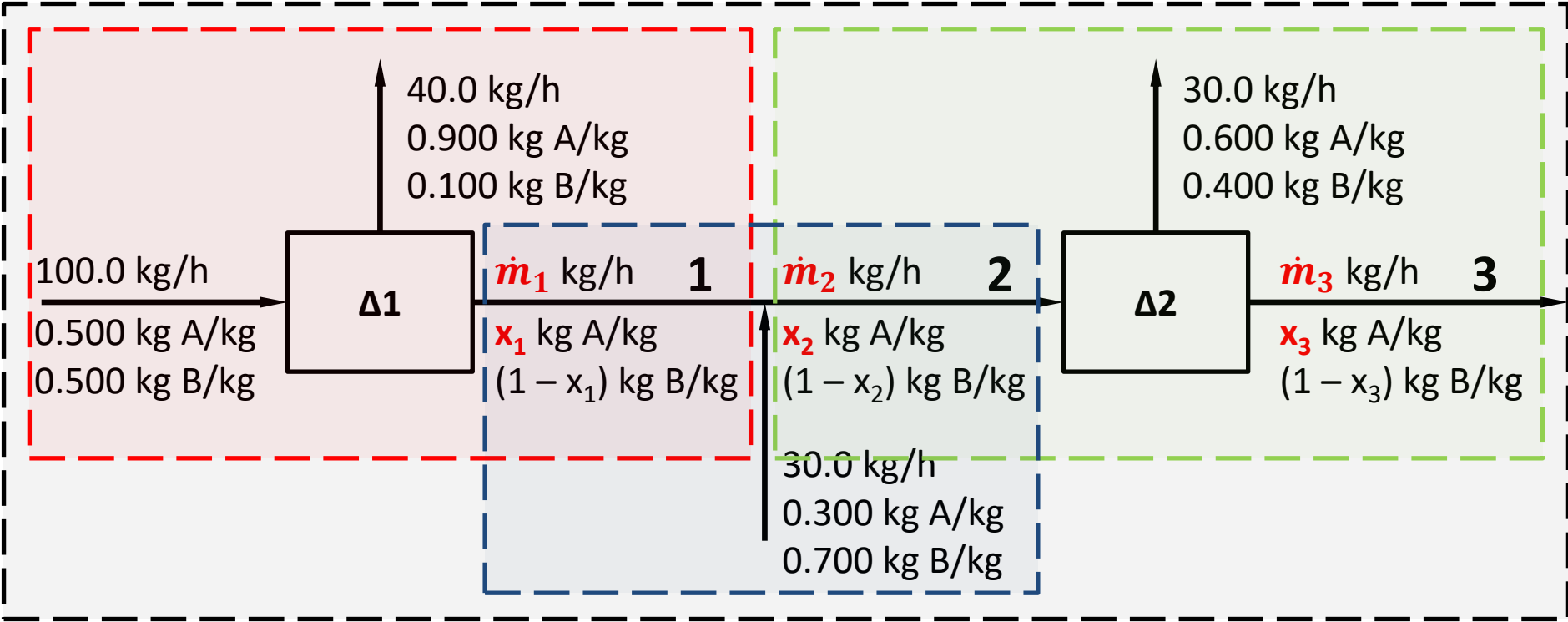


Δίνεται η ακόλουθη συνολική συνεχής διεργασία που αποτελείται από 2 μονάδες. Κάθε ροή περιέχει δύο συστατικά A, B σε διαφορετικές αναλογίες. Να υπολογισθούν οι μαζικές ροές στα ρεύματα 1, 2 και 3 καθώς και οι συστάσεις τους.



**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11**

**ΒΗΜΑ 1:**  
**Καθορισμός επιμέρους συστημάτων**



--- Σύνολο

--- Σημείο ανάμειξης

--- Διεργασία  $\Delta 1$

--- Διεργασία  $\Delta 2$



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11

### ΒΗΜΑ 2:

### Καθορισμός βαθμών ελευθερίας επιμέρους συστημάτων

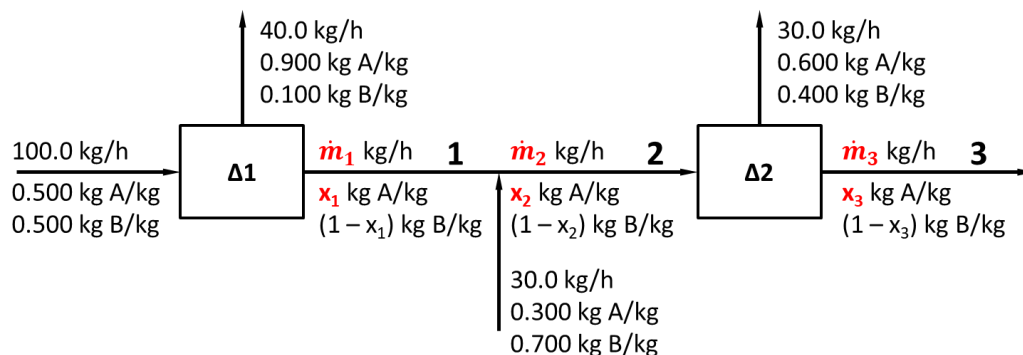
ΣΥΣΤΗΜΑ	ΑΓΝΩΣΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ	ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ
Σύνολο	2 ( $\dot{m}_3, x_3$ )	2	0
Διεργασία Δ1	2 ( $\dot{m}_1, x_1$ )	2	0
Σημείο ανάμιξης	4 ( $\dot{m}_1, x_1, \dot{m}_2, x_2$ )	2	2
Διεργασία Δ2	4 ( $\dot{m}_2, x_2, \dot{m}_3, x_3$ )	2	2

### Σειρά επίλυσης ισοζυγίων μάζας

1. Διεργασία Δ1 →  $\dot{m}_1, x_1$
2. Σημείο ανάμιξης →  $\dot{m}_2, x_2$
3. Δ2 (ή Σύνολο) →  $\dot{m}_3, x_3$

#### (Εναλλακτικά)

1. Σύνολο: →  $\dot{m}_3, x_3$
2. Διεργασία Δ1 →  $\dot{m}_1, x_1$
3. Σημείο ανάμιξης →  $\dot{m}_2, x_2$



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11

### ΒΗΜΑ 2:

### Καθορισμός βαθμών ελευθερίας επιμέρους συστημάτων

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΑΓΝΩΣΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ	ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ
Δ1 & Ανάμιξη	2 ( $\dot{m}_2, x_2$ )	2	0
Ανάμιξη & Δ2	4 ( $\dot{m}_1, x_1, \dot{m}_3, x_3$ )	2	2

(Εναλλακτικές) σειρές επίλυσης ισοζ. μάζας με αξιοποίηση των παραπάνω «διπλών» συστημάτων

1. Δ1 & Ανάμιξη →  $\dot{m}_2, x_2$

2. Σύνολο: →  $\dot{m}_3, x_3$

3. Διεργασία Δ1 →  $\dot{m}_1, x_1$

ή

1. Δ1 & Ανάμιξη →  $\dot{m}_2, x_2$

2. Σύνολο: →  $\dot{m}_3, x_3$

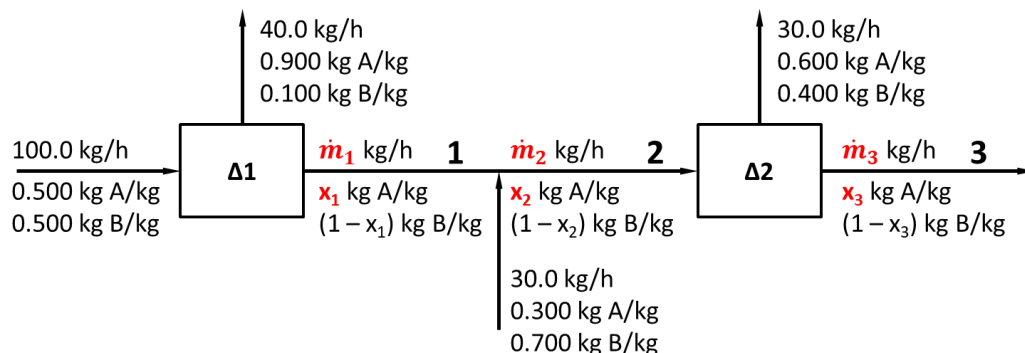
3. Σημείο ανάμιξης →  $\dot{m}_1, x_1$

ή

1. Δ1 & Ανάμιξη →  $\dot{m}_2, x_2$

2. Σύνολο: →  $\dot{m}_3, x_3$

3. Ανάμιξη & Δ2 →  $\dot{m}_1, x_1$



**ΒΗΜΑ 2:**

**Καθορισμός βαθμών ελευθερίας επιμέρους συστημάτων**

ΣΥΣΤΗΜΑ	ΑΓΝΩΣΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ	ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ
<b>Δ1 &amp; Ανάμιξη</b>	2 ( $\dot{m}_2, x_2$ )	2	0
<b>Ανάμιξη &amp; Δ2</b>	4 ( $\dot{m}_1, x_1, \dot{m}_3, x_3$ )	2	2

(Εναλλακτικές) σειρές επίλυσης ισοζ. μάζας με αξιοποίηση των παραπάνω «διπλών» συστημάτων

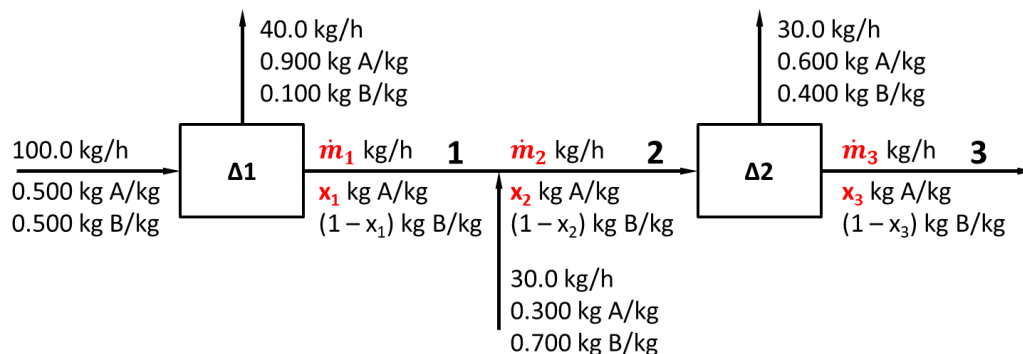
- 1. Σύνολο:  $\rightarrow \dot{m}_3, x_3$
- 2. Ανάμιξη & Δ2  $\rightarrow \dot{m}_1, x_1$
- 3. Σημείο ανάμιξης  $\rightarrow \dot{m}_2, x_2$

ή

- 1. Σύνολο:  $\rightarrow \dot{m}_3, x_3$
- 2. Ανάμιξη & Δ2  $\rightarrow \dot{m}_1, x_1$
- 3. Δ1 & Ανάμιξη  $\rightarrow \dot{m}_2, x_2$

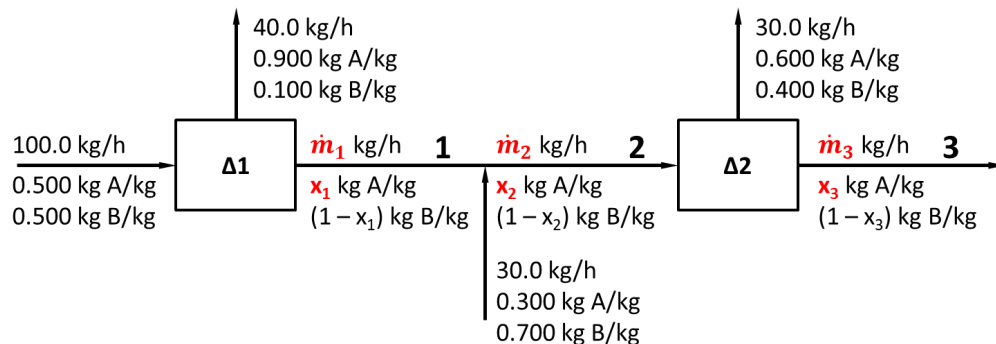
ή

- 1. Δ1 & Ανάμιξη  $\rightarrow \dot{m}_2, x_2$
- 2. Σημείο ανάμιξης  $\rightarrow \dot{m}_1, x_1$
- 3. Ανάμιξη & Δ2  $\rightarrow \dot{m}_3, x_3$



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11

### ΒΗΜΑ 3: Επίλυση ισοζυγίων



#### Διεργασία Δ1

Συνολικό ισοζύγιο:  $100 \text{ (kg/h)} = 40 + \dot{m}_1 \text{ (kg/h)} \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_1 = 60 \text{ kg/h} \quad (1)$

Ισοζύγιο A:  $0.500 \text{ (kg A/kg)} \cdot 100 \text{ (kg/h)} = 0.900 \text{ (kg A/kg)} \cdot 40 \text{ (kg/h)} + x_1 \text{ (kg A/kg)} \cdot \dot{m}_1 \text{ (kg/h)} \quad (2)$

όμως  $\dot{m}_1 = 60 \text{ kg/h} \quad \Rightarrow \quad x_1 = 0.233 \text{ kg A/kg}$

#### Σημείο Ανάμιξης

Συνολικό ισοζύγιο:  $\dot{m}_1 + 30 \text{ (kg/h)} = \dot{m}_2 \text{ (kg/h)} \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_2 = 90 \text{ kg/h} \quad (3)$

Ισοζύγιο A:  $x_1 \text{ (kg A/kg)} \cdot \dot{m}_1 \text{ (kg/h)} + 0.300 \text{ (kg A/kg)} \cdot 30 \text{ (kg/h)} = x_2 \text{ (kg A/kg)} \cdot \dot{m}_2 \text{ (kg/h)} \quad (4)$

όμως  $\dot{m}_1, x_1$  και  $\dot{m}_2 = \text{γνωστά} \quad \Rightarrow \quad x_2 = 0.255 \text{ kg A/kg}$

#### Διεργασία Δ2

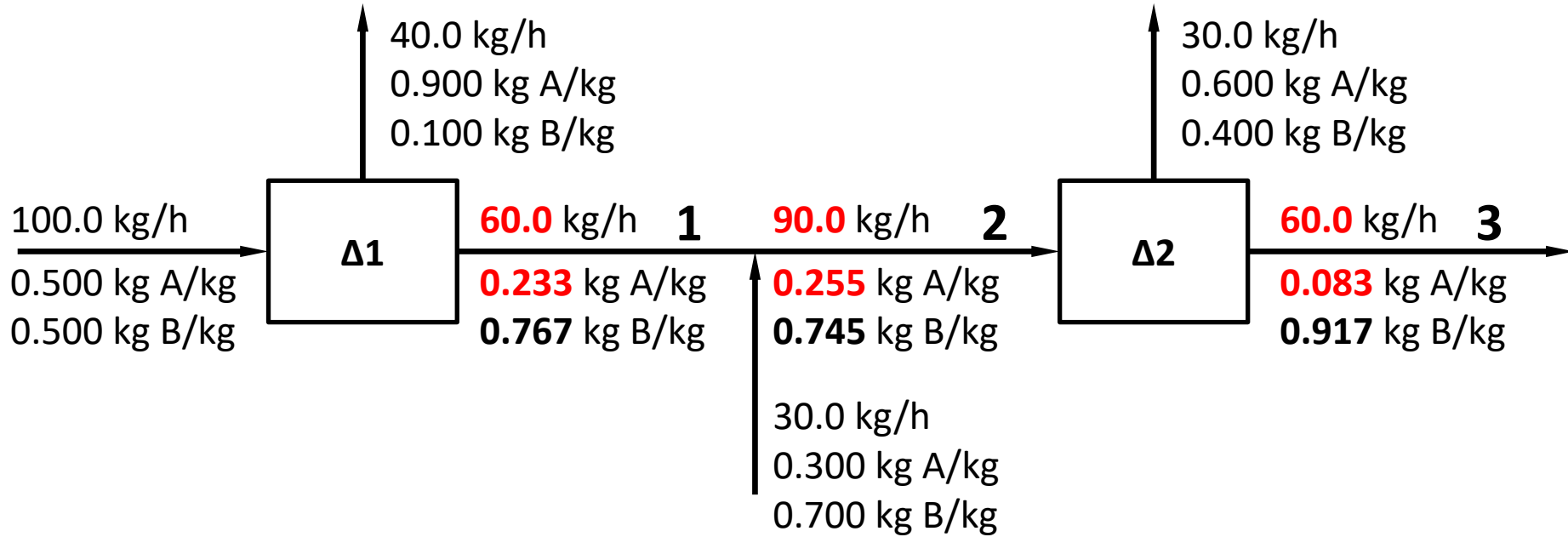
Συνολικό ισοζύγιο:  $\dot{m}_2 \text{ (kg/h)} = 30 + \dot{m}_3 \text{ (kg/h)} \quad \Rightarrow \quad \dot{m}_3 = 60 \text{ kg/h} \quad (5)$

Ισοζύγιο A:  $x_2 \text{ (kg A/kg)} \cdot \dot{m}_2 \text{ (kg/h)} = 0.600 \text{ (kg A/kg)} \cdot 30 \text{ (kg/h)} + x_3 \text{ (kg A/kg)} \cdot \dot{m}_3 \text{ (kg/h)} \quad (6)$

όμως  $\dot{m}_2, x_2$  και  $\dot{m}_3 = \text{γνωστά} \quad \Rightarrow \quad x_3 = 0.083 \text{ kg A/kg}$

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 11**

**ΒΗΜΑ 4:**  
**Λυμένο διάγραμμα ροής**



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 12



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



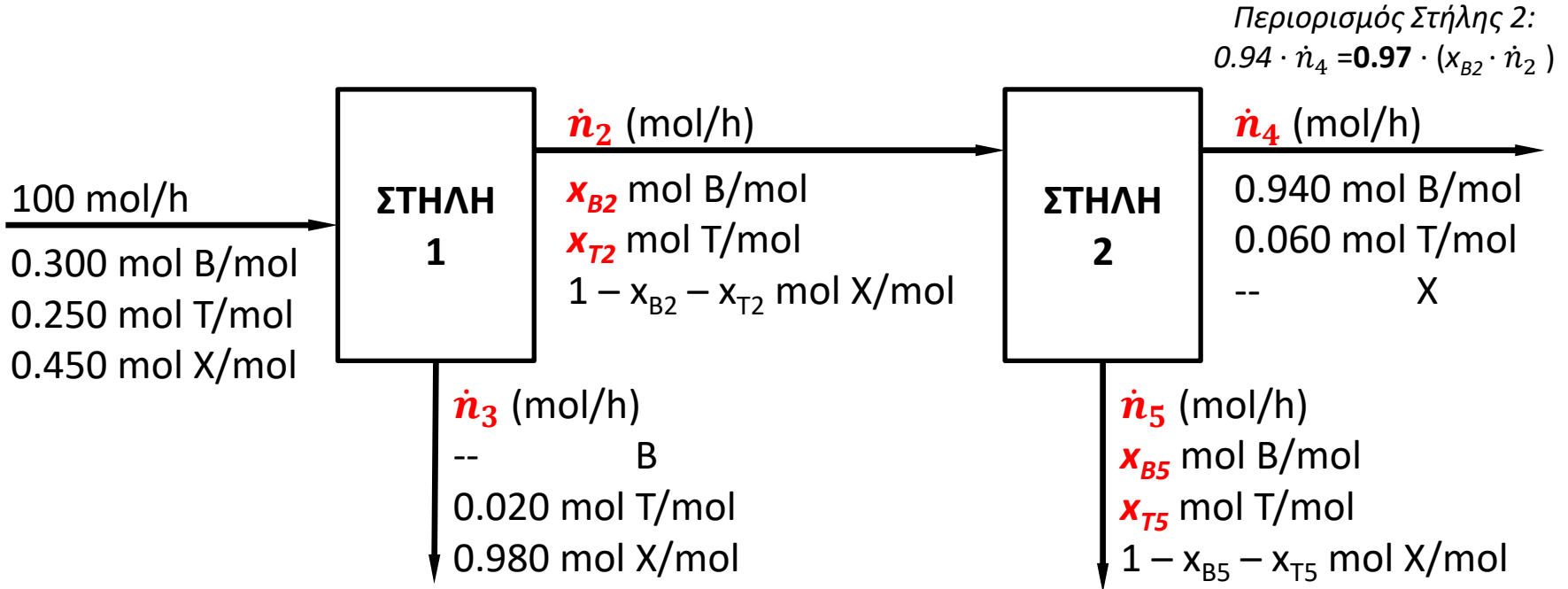
- Ξαναδιαβάστε την εκφώνηση του προβλήματος.
- Πολλαπλό σύστημα με δύο αποστακτικές στήλες

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 12**

**ΒΗΜΑ 1:**

Σχεδιασμός διαγράμματος ροής

Βάση υπολογισμού: Τροφοδοσία 100 mol/h

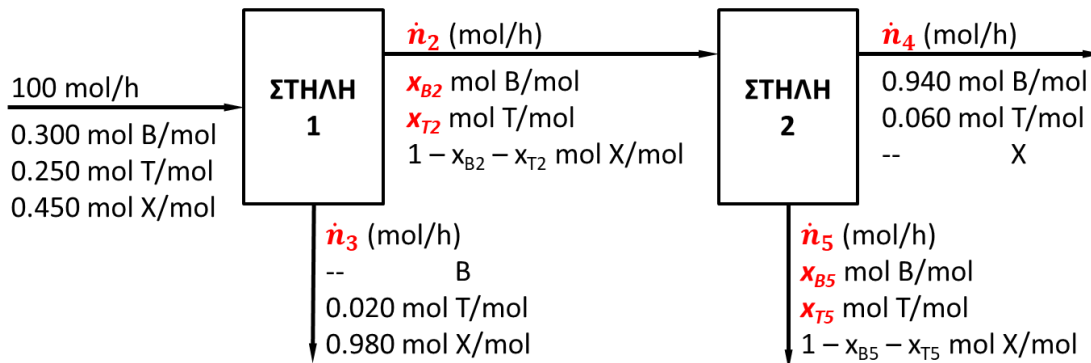


Περιορισμός Στήλης 1:  
 $0.98 \cdot \dot{n}_3 = 0.96 \cdot (0.450 \cdot 100)$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 12

### ΒΗΜΑ 2:

### Ανάλυση βαθμών ελευθερίας



#### Στήλη 1

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

Ισοζύγια: 3 (B, T, X)

Περ. & σχέσεις: 1 (96% τροφοδοσίας)

$$Df = 4 - 3 - 1 = 0$$

#### Συνολικό

Άγνωστοι: 5 ( $\dot{n}_3$ ,  $\dot{n}_4$ ,  $\dot{n}_5$ ,  $x_{B5}$ ,  $x_{T5}$ )

Ισοζύγια: 3 (B, T, X)

Περ. & σχέσεις: 1 (96% τροφοδοσίας)

$$Df = 5 - 3 - 1 = 1$$

#### Στήλη 2: (αρχικά)

Άγνωστοι: 7 ( $\dot{n}_2$ ,  $x_{B2}$ ,  $x_{T2}$ ,  $\dot{n}_4$ ,  $\dot{n}_5$ ,  $x_{B5}$ ,  $x_{T5}$ )

Ισοζύγια: 3 (B, T, X)

Περ. & σχέσεις: 1 (97% τροφοδοσίας)

$$Df = 7 - 3 - 1 = 3$$



#### Στήλη 2: (μετά από επίλυση της στήλης 1)

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

Ισοζύγια: 3 (B, T, X)

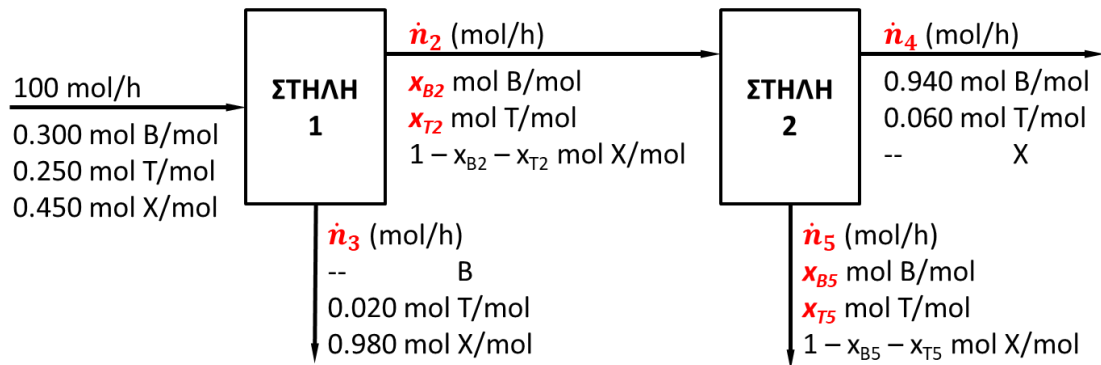
Περ. & σχέσεις: 1 (97% τροφοδοσίας)

$$Df = 4 - 3 - 1 = 0$$



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 12

### ΒΗΜΑ 3: Επίλυση



#### Στήλη 1

Περιορισμός:  $0.980 \cdot \dot{n}_3 = 0.96 \cdot (0.450 \cdot 100) \Rightarrow \dot{n}_3 = 44.1 \text{ mol/h}$  (1)

Γεν. ισοζύγιο (συνεχής χωρίς συσσώρευση & παραγωγή / κατανάλωση): Είσοδος = Έξοδος

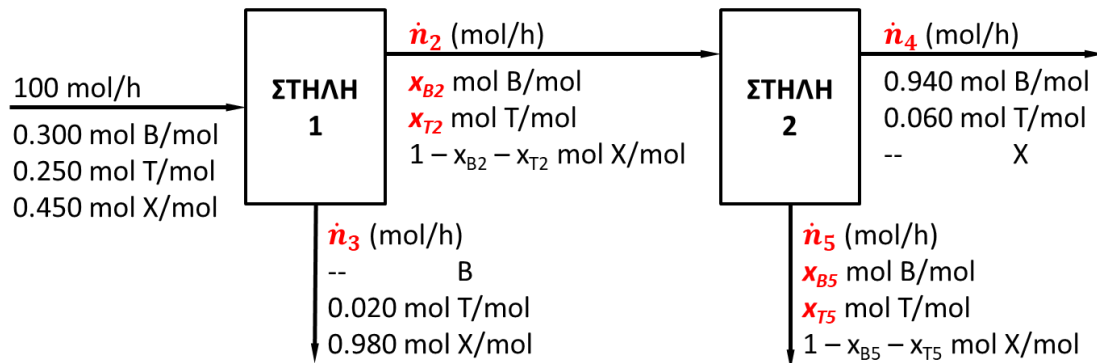
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ:  $100 \text{ (mol/h)} = \dot{n}_2 + \dot{n}_3 \text{ (mol/h)} \Rightarrow \dot{n}_2 = 55.9 \text{ mol/h}$  (2)

ΜΕΡΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ Β:  $0.3 \cdot 100 \text{ (mol B/h)} = 0 + x_{B2} \cdot \dot{n}_2 \text{ (mol B/h)} \Rightarrow x_{B2} = 0.536$  (3)

ΜΕΡΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ Τ:  $0.25 \cdot 100 \text{ (mol T/h)} = x_{T2} \cdot \dot{n}_2 + 0.02 \cdot \dot{n}_3 \text{ (mol T/h)} \Rightarrow x_{T2} = 0.431$  (4)

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 12

### ΒΗΜΑ 3: Επίλυση



### Στήλη 2

Περιορισμός:  $0.940 \cdot \dot{n}_4 = 0.97 \cdot (x_{B2} \cdot \dot{n}_2) \Rightarrow \dot{n}_4 = 30.95 \text{ mol/h}$  (5)

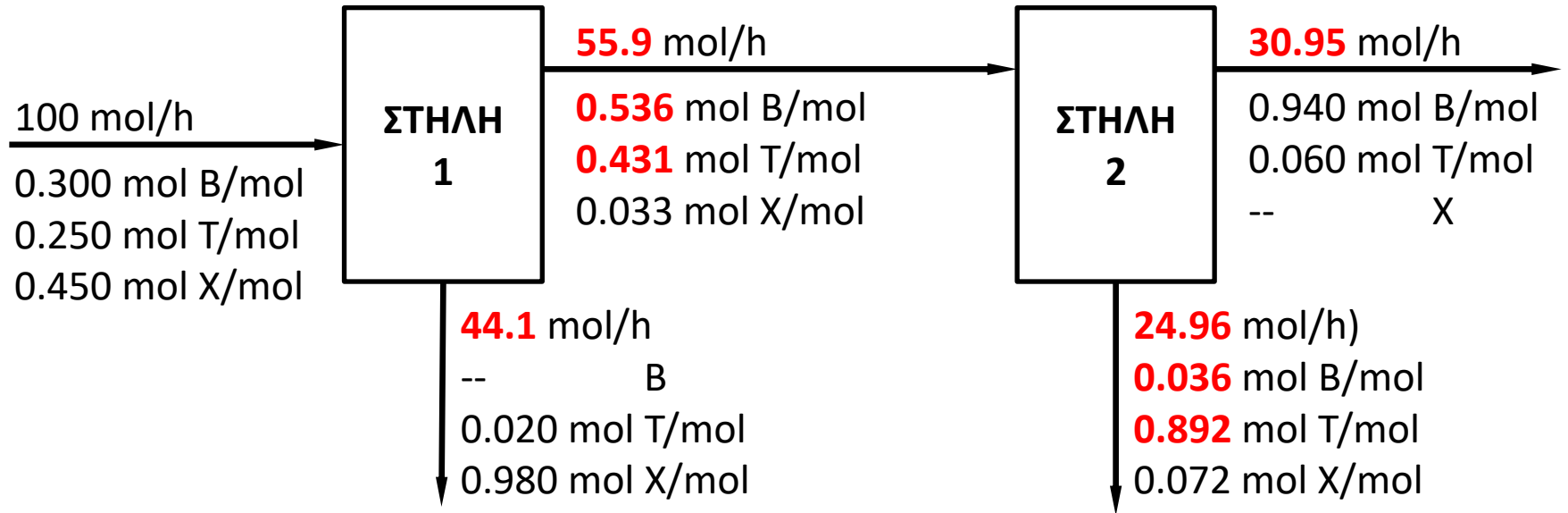
ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ:  $\dot{n}_2 \text{ (mol/h)} = \dot{n}_4 + \dot{n}_5 \text{ (mol/h)} \Rightarrow \dot{n}_5 = 24.96 \text{ mol/h}$  (6)

ΜΕΡΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ Β:  $x_{B2} \cdot \dot{n}_2 \text{ (mol B/h)} = 0.940 \cdot \dot{n}_4 + x_{B5} \cdot \dot{n}_5 \text{ (mol B/h)} \Rightarrow x_{B5} = 0.036$  (7)

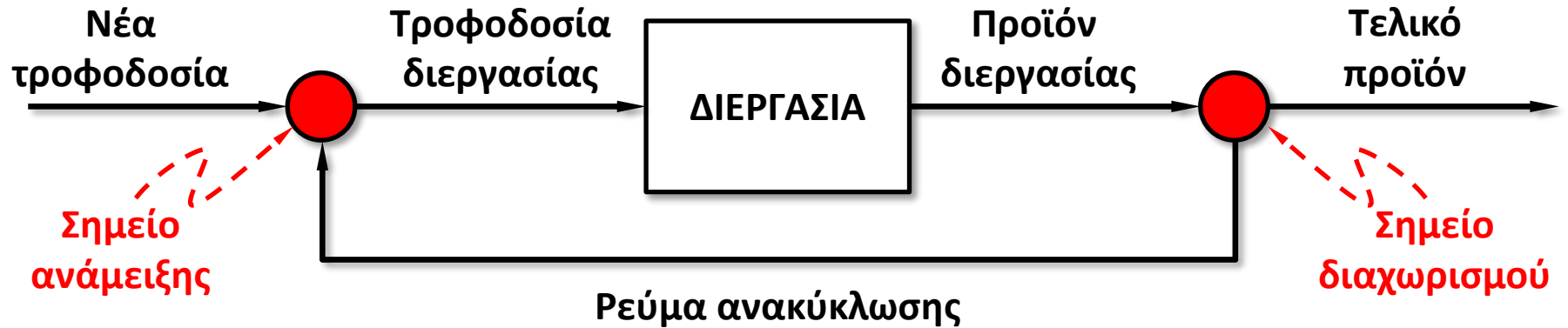
ΜΕΡΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ Τ:  $x_{T2} \cdot \dot{n}_2 \text{ (mol T/h)} = 0.060 \cdot \dot{n}_4 + x_{T5} \cdot \dot{n}_5 \text{ (mol T/h)} \Rightarrow x_{T5} = 0.892$  (8)

**ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ:** % B (ως προς τροφοδοσία Β) =  $\frac{\text{Κορυφή Β στηλη 2}}{\text{Εισοδος Β στηλη 1}} = \frac{0.940 \cdot 30.95}{0.300 \cdot 100} = 97\%$

% T (ως προς τροφοδοσία Τ) =  $\frac{\text{Πυθμένας Τ στηλη 2}}{\text{Εισοδος Τ στηλη 1}} = \frac{0.892 \cdot 24.96}{0.250 \cdot 100} = 89\%$

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 12****ΒΗΜΑ 4:**  
**Λυμένο διάγραμμα ροής**

*Χωρίς χημική αντίδραση*

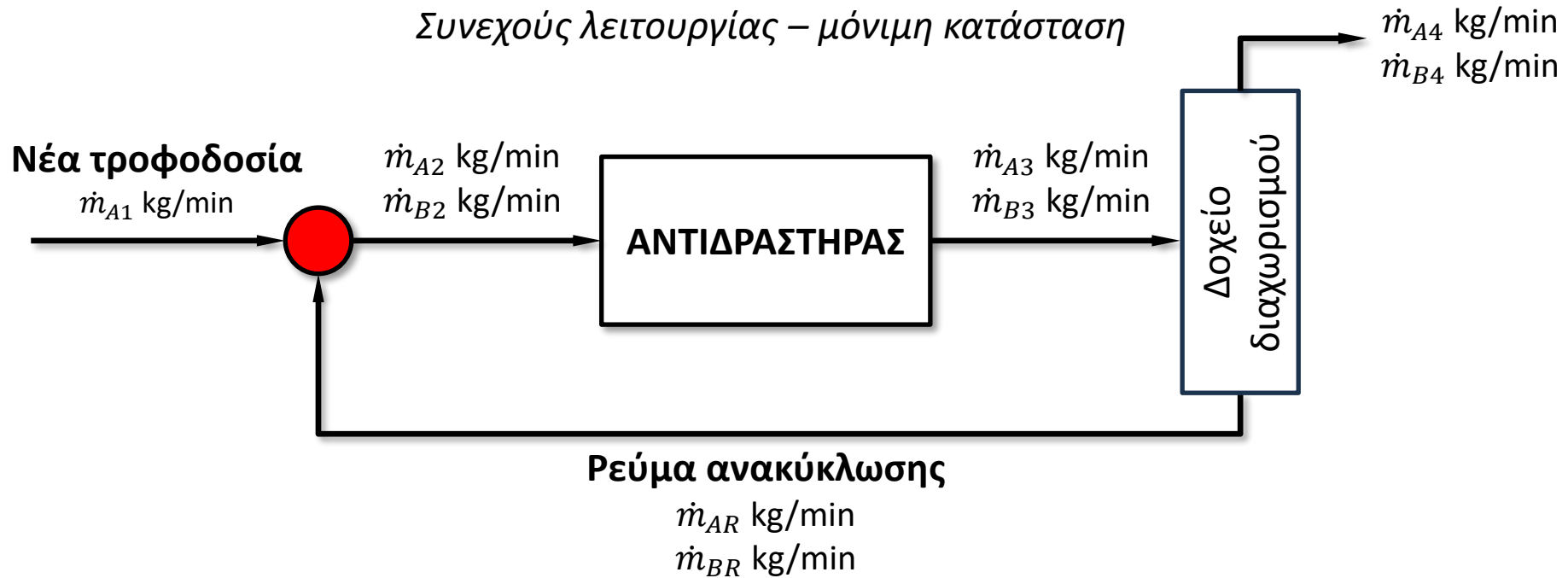


- Οι ιδιότητες των ρευμάτων ανακύκλωσης δεν προκύπτουν από το συνολικό ισοζύγιο μάζας (γιατί είναι εσωτερικές ροές του συστήματος).
- Χρειάζεται και ισοζύγιο μάζας στο **σημείο διαχωρισμού προϊόντος** ή/και στο **σημείο ανάμιξης με τη νέα τροφοδοσία**.
- Συχνά ζητείται ο **λόγος του ρεύματος ανακύκλωσης** ως προς το ρεύμα του τελικού προϊόντος ή της νέας τροφοδοσίας

## ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

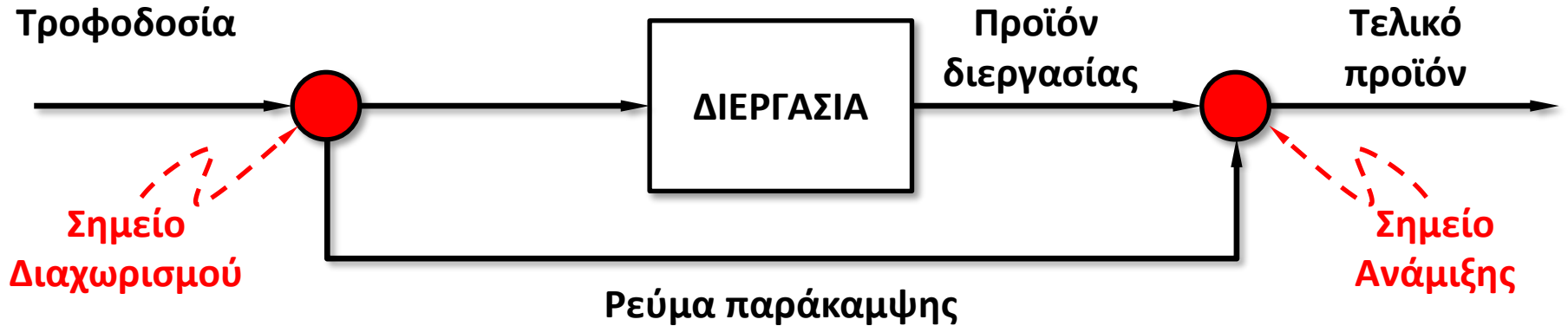
Με χημική αντίδραση (π.χ.  $A \rightarrow B$ )

Συνεχούς λειτουργίας – μόνιμη κατάσταση



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

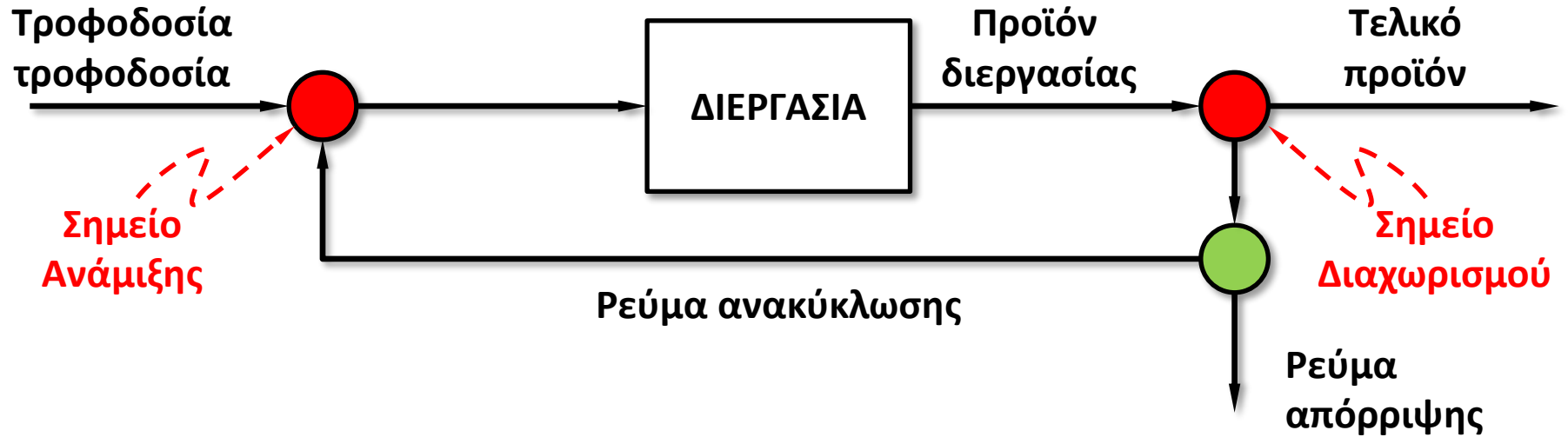
## Ρεύμα Παράκαμψης



### Ρεύμα παράκαμψης:

Χρησιμοποιείται κυρίως για να ρυθμίζεται η σύσταση προϊόντος.

## Ανακύκλωση - Απόρριψη



### Ρεύμα απόρριψης (απομάκρυνσης)

Βοηθάει στην αποτροπή της συσσώρευσης αδρανών ή ανεπιθύμητων ουσιών στο σύστημα

### ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

- ❖ Βελτίωση αποδοτικότητας διατάξεων
- ❖ Εξοικονόμηση πόρων (ενέργεια, υλικά)
- ❖ Προστασία περιβάλλοντος

### *Φυσικές διεργασίες*

- Ανάκτηση διαλύτη
- Ανακύκλωση κυκλοφορούντος ρευστού (π.χ. ψυκτικός κύκλος)
- Κλασσικό παράδειγμα: απόσταξη

### *Χημικές διεργασίες*

- Ανάκτηση αντιδρώντων που δεν αντέδρασαν
- Ανάκτηση καταλύτη



- 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.

***Με άλλα λόγια, δεν αλλάζει ο τρόπος υπολογισμού των ισοζυγίων μάζας!***

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13



**Φρέσκος αέρας** που περιέχει **4% υγρασία**  $\text{H}_2\text{O}(\nu)$ , ψύχεται και αφυγραίνεται ώστε να περιέχει **1.7% υγρασία** (mol %). Ο φρέσκος αέρας πριν την κλιματιστική μονάδα αναμιγνύεται με ένα **ρεύμα ανακύκλωσης** που περιλαμβάνει αφυγραθέντα αέρα (1.7% υγρασία). **Ο αέρας που τροφοδοτείται στο κλιματιστικό έχει υγρασία 2.3%**. Στο κλιματιστικό μέρος της υγρασίας συμπυκνώνεται και απομακρύνεται ως υγρό.

- Να γίνει το διάγραμμα ροής.
- Να υπολογιστούν οι ροές όλων των ρευμάτων παίρνοντας ως **βάση 100 mol αφυγραθέντος αέρα που απομακρύνεται από τη διεργασία** (όλες οι συστάσεις είναι κατά mole), δηλ. υπολογίστε τα mol φρέσκου αέρα, mol συμπυκνωμένου νερού, mol ανακυκλούμενου αέρα

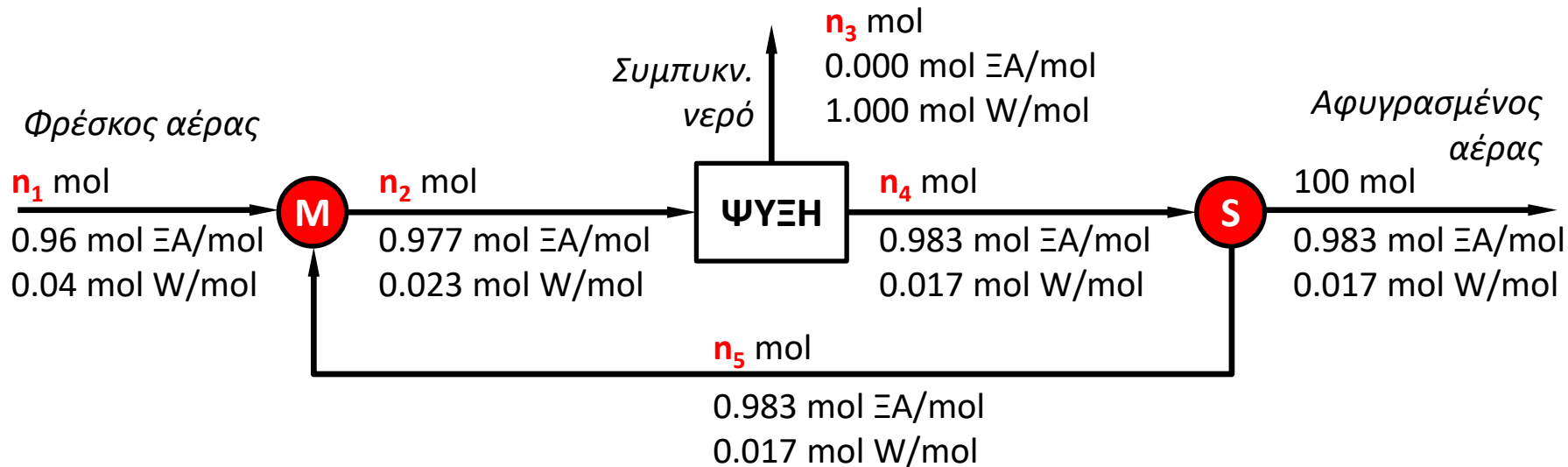


- Ξαναδιαβάστε την εκφώνηση του προβλήματος. Stay “cool”....
- Σύστημα με ανακύκλωση, χωρίς αντίδραση. Άρα θα περιέχει ρεύμα ανακύκλωσης και κάπου μπαίνει αναμικτήρας και διαχωριστήρας
- Η βάση υπολογισμού είναι η έξοδος!
- Οι ροές είναι σε mol όχι σε mol/χρόνος

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13**

**ΒΗΜΑ 1:**

**Σχεδιασμός διαγράμματος ροής - Βάση υπολογισμού: Έξοδος 100 mol**



Σημ.

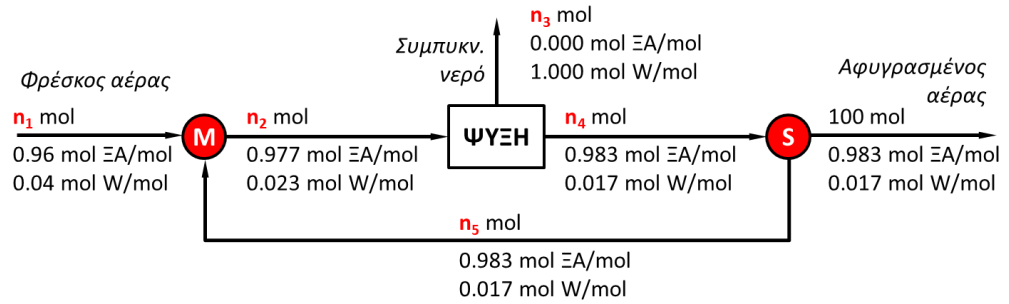
$\Xi A$ : Ξηρός αέρας

$W$ : Νερό (είτε με την μορφή υγρασίας είτε ως συμπύκνωμα/υγρό)

Ζητούνται τα  $n_1$ ,  $n_3$  και  $n_5$  αλλά προφανώς κατά την διάρκεια υπολογισμών θα βρούμε και τα  $n_2$  και  $n_4$

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13**

**ΒΗΜΑ 2:  
Βαθμοί ελευθερίας**



ΣΥΣΤΗΜΑ	ΑΓΝΩΣΤΟΙ	ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ	ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ
Σύνολο	2 ( $n_1, n_3$ )	2	0
Σημείο ανάμιξης (M)	3 ( $n_1, n_2, n_5$ )	2	1
Ψύξη	3 ( $n_2, n_3, n_4$ )	2	1
Σημείο διαμοιρασμού (S)	2 ( $n_4, n_5$ )	<b>1</b>	1

**Σειρά επίλυσης:**  
 ΣΥΝ → M → Ψύξη  
 ή ΣΥΝ → Ψύξη → M

Ερωτ.: Γιατί μόνο ένα ανεξάρτητο ισοζύγιο;  
 Απ.: Γιατί δεν υπάρχει αλλαγή σύστασης (βλ. επόμενη διαφάνεια)

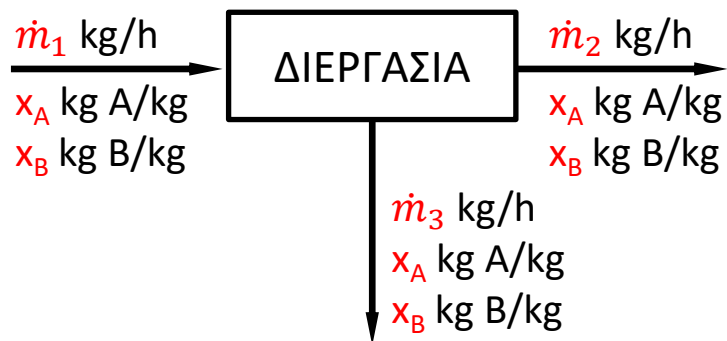
## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13

### ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΚΡΙΝΗΣΗ

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 δύο συστατικών  
A και B σε δυο ρεύματα ίδιας σύστασης



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

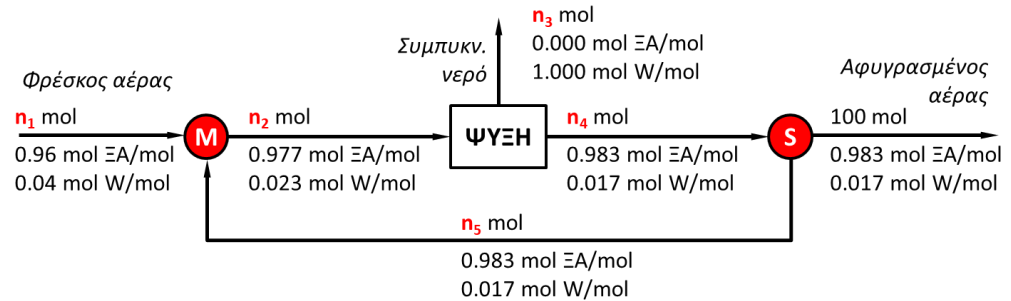
$$\text{Ισοζύγιο A: } x_A \cdot \dot{m}_1 = x_A \cdot \dot{m}_2 + x_A \cdot \dot{m}_3 \quad (2)$$

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

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

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 13

### ΒΗΜΑ 2: Βαθμοί ελευθερίας



### Συνολικό σύστημα

$$\text{Συνολ. Ισοζύγιο: } n_1 = n_3 + 100 \quad (1)$$

$$\text{Ισοζύγιο } \Xi A: \quad 0.96 \cdot n_1 = 0 \cdot n_3 + 0.983 \cdot 100 \quad (2)$$

$$\Rightarrow n_1 = 102.4 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} (1) \\ \Rightarrow n_3 = 2.4 \text{ mol} \end{aligned}$$

### Σημείο Μίξης (M)

$$\text{Συνολ. Ισοζύγιο: } n_1 + n_5 = n_2 \quad (3)$$

$$\text{Ισοζύγιο } \Xi A: \quad 0.96 \cdot n_1 + 0.983 \cdot n_5 = 0.977 \cdot n_2 \quad (4)$$

$$(3) \ \& \ (4) \Rightarrow n_2 = 392.5 \text{ mol} \text{ και } n_5 = 290.1 \text{ mol}$$

$$\text{Λόγος } \frac{\text{Αφυγρασμένος αερας}}{\text{Ανακύκλωση}} = \frac{100}{290.1} \approx \frac{1}{3}$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14



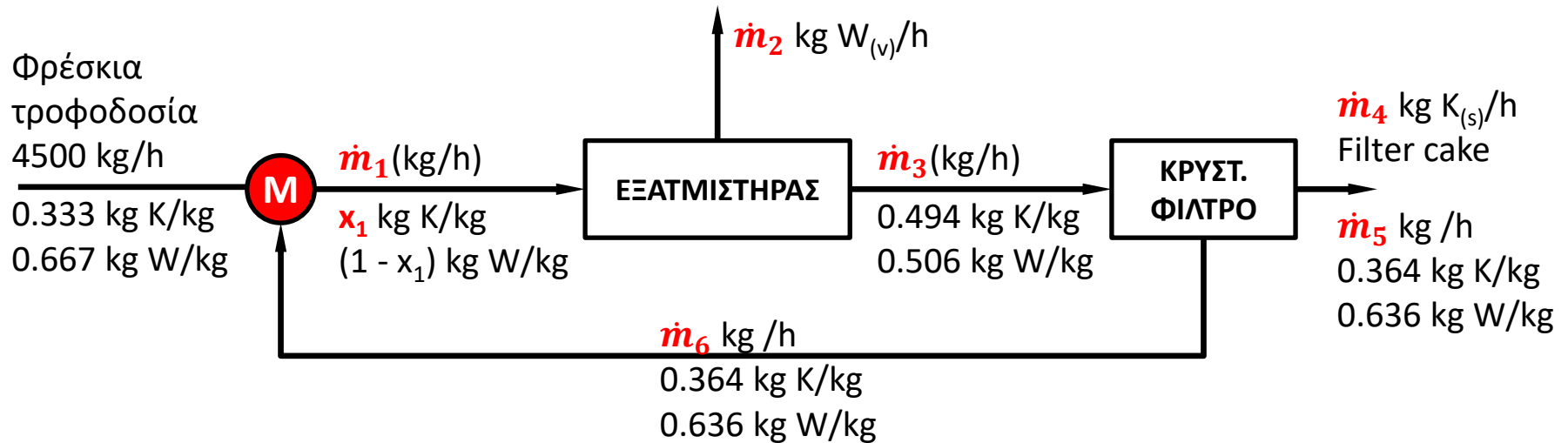
Θέλουμε να ανακτήσουμε στερεό  $K_2CrO_4$  από υδατικό του διάλυμα περιεκτικότητας **33.3% w/w σε  $K_2CrO_4$** . Το διάλυμα αυτό ρέει με **ρυθμό 4500 kg/h (φρέσκια τροφοδοσία)** και ενώνεται με **ρεύμα ανακύκλωσης** που είναι διάλυμα **36.4% σε  $K_2CrO_4$** . Το **προκύπτον ρεύμα εισέρχεται σε εξατμιστήρα**. Το **πυκνό διάλυμα** που εξέρχεται από τον εξατμιστήρα περιέχει **49.4%  $K_2CrO_4$** . Το διάλυμα αυτό ψύχεται στη συνέχεια σε ένα κρυσταλλωτήρα (οπότε και κρύσταλλοι  $K_2CrO_4$  εξέρχονται του διαλύματος) και φιλτράρεται. 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  $K_2CrO_4$ . Το διάλυμα που περνάει από το φίλτρο περιέχει επίσης διάλυμα 36.4% σε  $K_2CrO_4$  και ανακυκλώνεται.

- Να γίνει το διάγραμμα ροής και βαθμούς ελευθερίας
- Υπολογίστε τον ρυθμό εξάτμισης, τον ρυθμό παραγωγής του κρυσταλλικού  $K_2CrO_4$ , 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  $K_2CrO_4$ .

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14**

**ΒΗΜΑ 1:**

Σχεδιασμός διαγράμματος ροής - Βάση υπολ. 4500 kg/h φρ. τροφοδ.



Σημ.

K: K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> K<sub>(s)</sub>: κρύσταλλοι (στερεό) K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>

W: Νερό σε διάλυμα ή ως ατμός (v)

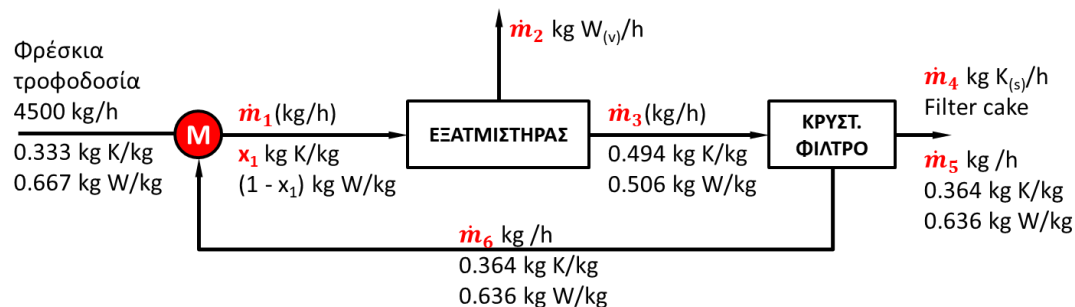
**Ζητούμενα:**

- ρυθμός εξατμίσσης  $\dot{m}_2$
- ρυθμός παραγωγής κρυστ. K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>  $\dot{m}_4$
- τροφοδοσία εξατμιστήρα  $\dot{m}_1$
- τροφοδοσία κρυσταλλωτήρα  $\dot{m}_3$
- ρυθμός ανακύκλωσης  $\dot{m}_6/4500$



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14

### ΒΗΜΑ 2: Ανάλυση Β.Ε.



ΣΥΣΤΗΜΑ	ΑΓΝΩΣΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ	ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ
Σύνολο	3 ( $\dot{m}_2, \dot{m}_4, \dot{m}_5$ )	2	1	0
Σημείο ανάμιξης M	3 ( $\dot{m}_1, x_1, \dot{m}_6$ )	2	-	1
Εξατμιστήρας	4 ( $\dot{m}_1, x_1, \dot{m}_2, \dot{m}_3$ )	2	-	2
Κρυστ. Φίλτρο	4 ( $\dot{m}_3, \dot{m}_4, \dot{m}_5, \dot{m}_6$ )	2	1	1

### Σειρά επίλυσης ισοζυγίων μάζας

1. Σύνολο  $\rightarrow \dot{m}_2, \dot{m}_4, \dot{m}_5$
2. Κρυστ. Φίλτρο  $\rightarrow \dot{m}_3, \dot{m}_6$
3. Σημείο ανάμιξης:  $\rightarrow \dot{m}_1, x_1$

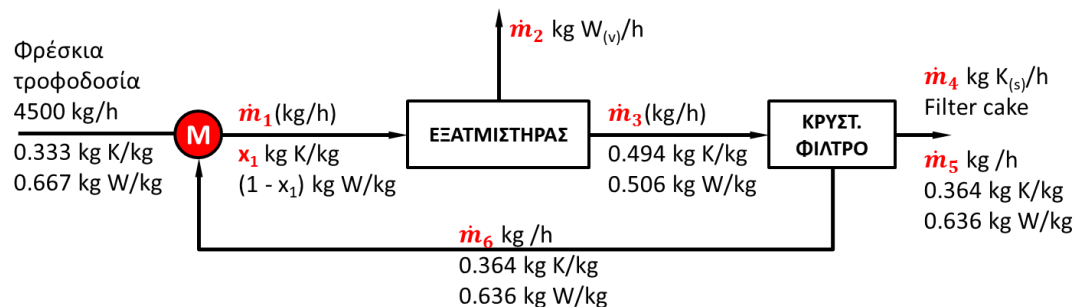
#### Περιορισμός:

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  $K_2CrO_4$

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

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14

### ΒΗΜΑ 3: Επίλυση



### Συνολικό σύστημα

Συνολ. Ισοζύγιο:  $4500 = \dot{m}_2 + \dot{m}_4 + \dot{m}_5$  (1)

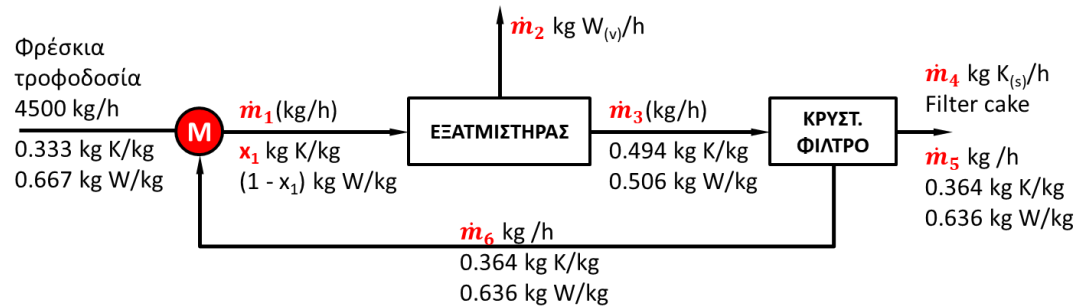
Ισοζύγιο Κ:  $0.333 \cdot 4500 = 0 + \dot{m}_4 + 0.364 \cdot \dot{m}_5$  (2)

Περιορισμός  $\frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_4 + \dot{m}_5} = 0.95 \Rightarrow \dot{m}_4 = \frac{0.95}{0.05} \dot{m}_5 \Rightarrow \dot{m}_4 = 19 \cdot \dot{m}_5$  (3)

$\Rightarrow \dot{m}_5 = 77.5 \text{ kg/h}, \dot{m}_4 = 1472.5 \text{ kg/h}, \dot{m}_2 = 2950 \text{ kg/h}$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14

### ΒΗΜΑ 3: Επίλυση



### Κρυστ. φίλτρο

Συνολ. Ισοζύγιο:  $\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_5 + \dot{m}_6 \Leftrightarrow$

$$\dot{m}_3 = 1472.5 + 77.5 + \dot{m}_6 \quad (4)$$

Ισοζύγιο Κ:  $0.494 \cdot \dot{m}_3 = 1 \cdot \dot{m}_4 + 0.364 \cdot \dot{m}_5 + 0.364 \cdot \dot{m}_6 \Leftrightarrow$

$$0.494 \cdot \dot{m}_3 = 1472.5 + 0.364 \cdot 77.5 + 0.364 \cdot \dot{m}_6 \quad (5)$$

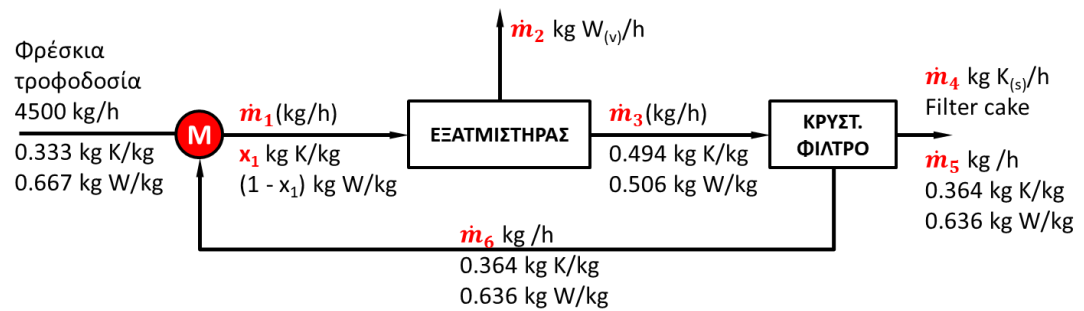
Περιορισμός (σημ. δεν χρησιμοποιείται καθώς πλέον τα  $\dot{m}_4 + \dot{m}_5$  είναι γνωστά)

$\Rightarrow \dot{m}_6 = 5654 \text{ kg/h}, \dot{m}_3 = 7204 \text{ kg/h}$

ρυθμός ανακύκλωσης  $\dot{m}_6/4500$  (νέα τροφοδοσία) =  $5654 / 4500 = 1.26$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14

### ΒΗΜΑ 3: Επίλυση



### Σημείο ανάμιξης

Συνολ. Ισοζύγιο:  $4500 + \dot{m}_6 = \dot{m}_1 \Leftrightarrow$

$$4500 + 5654 = \dot{m}_1 \Leftrightarrow \quad (6)$$

$$\dot{m}_1 = 10.154 \text{ kg/h}$$

Ισοζύγιο Κ:

$$0.333 \cdot 4500 + 0.364 \cdot \dot{m}_6 = x_1 \cdot \dot{m}_1 \Leftrightarrow \quad (7)$$

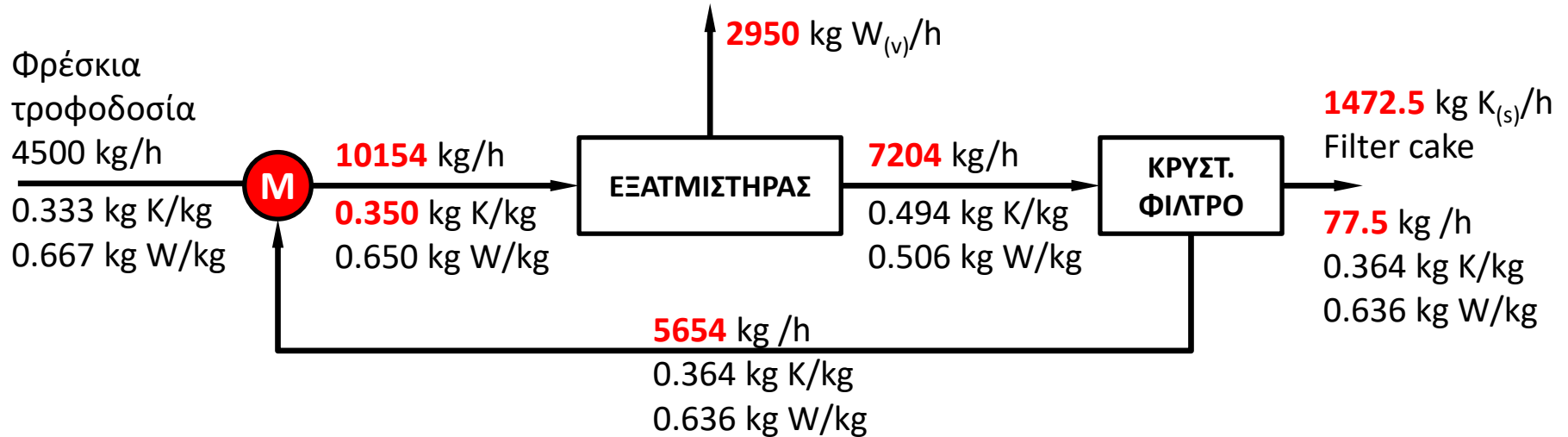
$$0.333 \cdot 4500 + 0.364 \cdot 5654 = x_1 \cdot 10.154 \Leftrightarrow$$

$$x_1 = 0.35$$

(Σημ. Το  $x_1$  δεν ζητείται, οπότε τυπικά δεν χρειάζεται να το υπολογίσουμε!)

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14**

**ΒΗΜΑ 4:**  
**Λυμένο διάγραμμα ροής**



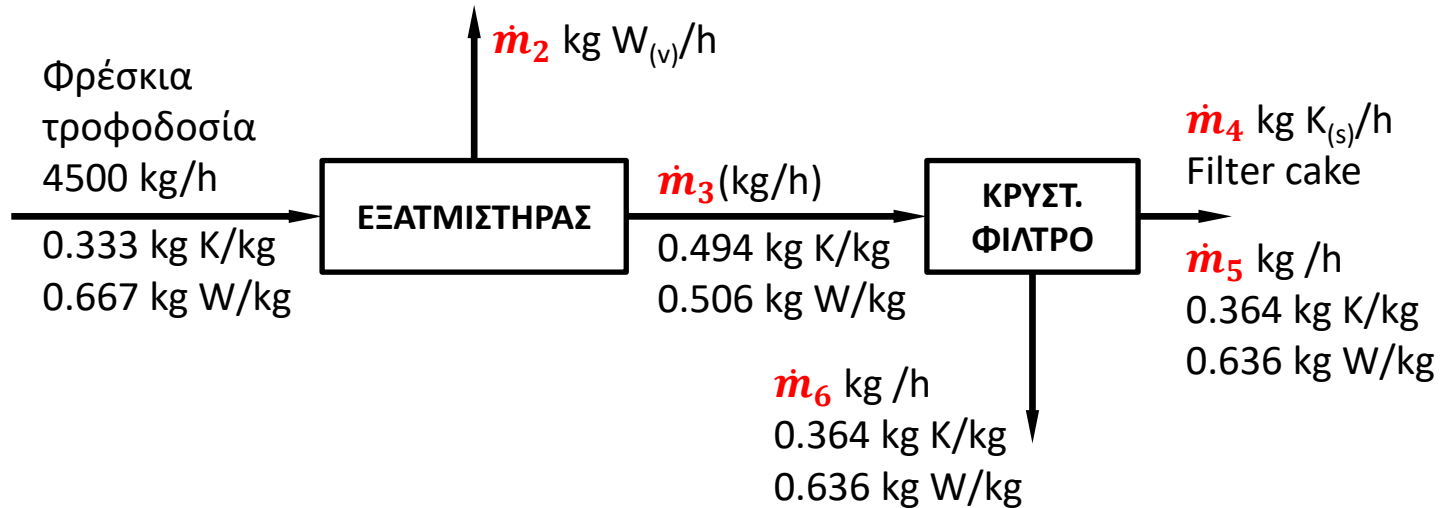
Σημ.

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

$W$ : Νερό σε διάλυμα ή ως ατμός ( $v$ )

## ΒΗΜΑ 5:

## Σχεδιασμός διαγράμματος ροής – Χωρίς ανακύκλωση



Σημ.

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

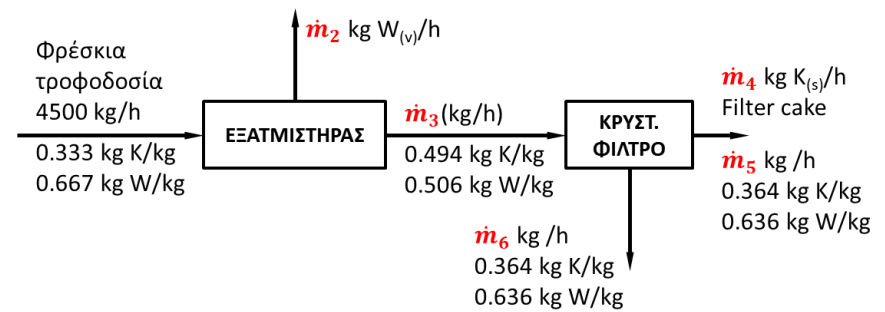
W: Νερό σε διάλυμα ή ως ατμός (v)

Παρατήρηση:

Μιας και είναι συνέχεια του προηγούμενου ερωτήματος, δεν υπάρχει κάποιος ιδιαίτερος λόγος να επανεκκινήσουμε την αρίθμηση, αλλά «αφαιρούμε» τους δείκτες του ρεύματος 1.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14**

**ΒΗΜΑ 2:  
Ανάλυση Β.Ε.**



ΣΥΣΤΗΜΑ	ΑΓΝΩΣΤΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ	ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ
Σύνολο	4 ( $\dot{m}_2, \dot{m}_4, \dot{m}_5, \dot{m}_6$ )	2	1	1
Εξατμιστήρας	2 ( $\dot{m}_2, \dot{m}_3$ )	2	-	0
Κρυστ. Φίλτρο	4 ( $\dot{m}_3, \dot{m}_4, \dot{m}_5, \dot{m}_6$ )	2	1	1

**Σειρά επίλυσης ισοζυγίων μάζας**

- Εξατμιστήρας →  $\dot{m}_2, \dot{m}_3$
- Σύνολο →  $\dot{m}_4, \dot{m}_5, \dot{m}_6$

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  $K_2CrO_4$

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

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14

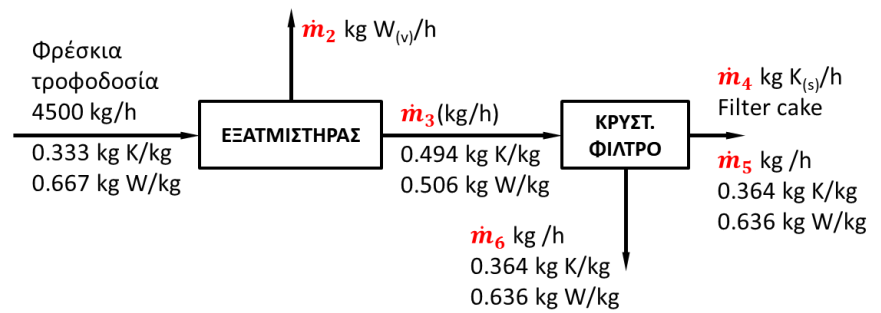
### ΒΗΜΑ 3: Επίλυση

#### Εξατμιστήρας

Συνολ. Ισοζύγιο:  $4500 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$

Ισοζύγιο Κ:  $0.333 \cdot 4500 = 0 + 0.494 \cdot \dot{m}_3$

$\Rightarrow \dot{m}_3 = 3036 \text{ kg/h}, \dot{m}_2 = 1464 \text{ kg/h}$



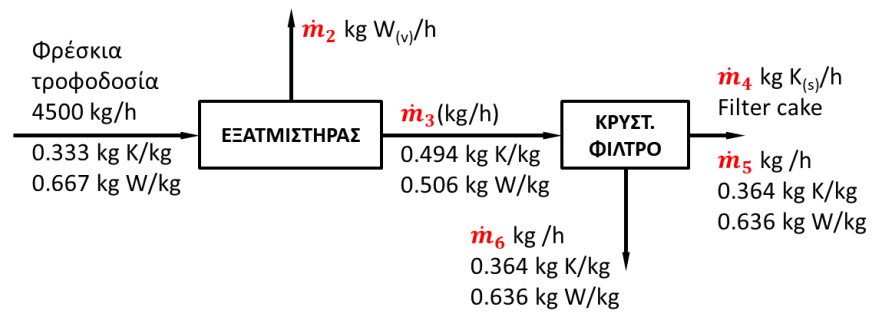
(1)

(2)



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14

### ΒΗΜΑ 3: Επίλυση



### Κρυστ. Φίλτρο

Συνολ. Ισοζύγιο:  $\dot{m}_3 = \dot{m}_4 + \dot{m}_5 + \dot{m}_6 \Leftrightarrow$

$$3036 = \dot{m}_4 + \dot{m}_5 + \dot{m}_6 \quad (3)$$

Ισοζύγιο Κ:  $0.494 \cdot \dot{m}_3 = \dot{m}_4 + 0.364 \cdot \dot{m}_5 + 0.364 \cdot \dot{m}_6 \Leftrightarrow$

$$0.494 \cdot 3036 = \dot{m}_4 + 0.364 \cdot \dot{m}_5 + 0.364 \cdot \dot{m}_6 \quad (4)$$

Περιορισμός  $\frac{\dot{m}_4}{\dot{m}_4 + \dot{m}_5} = 0.95 \Leftrightarrow \dot{m}_4 = \frac{0.95}{0.05} \dot{m}_5 \Leftrightarrow \dot{m}_4 = 19 \cdot \dot{m}_5 \quad (5)$

$\Leftrightarrow \dot{m}_5 = 33 \text{ kg/h}, \dot{m}_4 = 627 \text{ kg/h}, \dot{m}_6 = 2376 \text{ kg/h}$

Ζητούμενο:

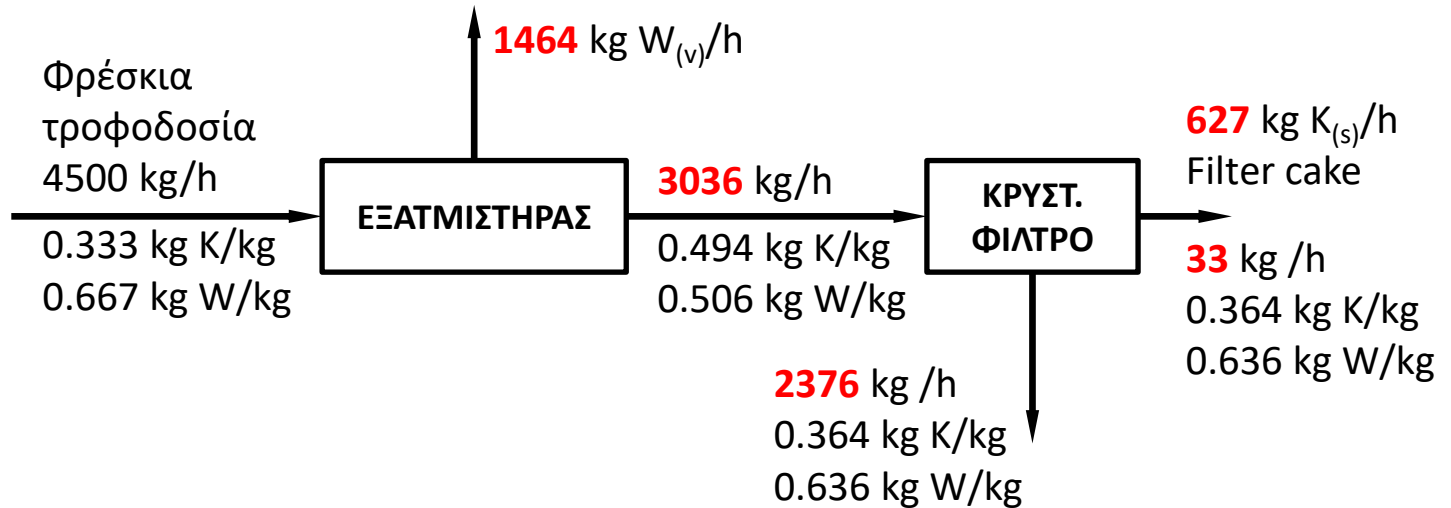
Απορρίπτεται  $0.364 \cdot 2376 = 865 \text{ kg/h K}$

*Δηλαδή απορρίπτεται περισσότερο Κ από το κρυσταλλικό Κ που είναι το προϊόν της διεργασίας = ΑΣΥΜΦΟΡΟ*

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 14**

**ΒΗΜΑ 5:**

**Λυμένο διάγραμμα ροής – Χωρίς ανακύκλωση**



Σημ.

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

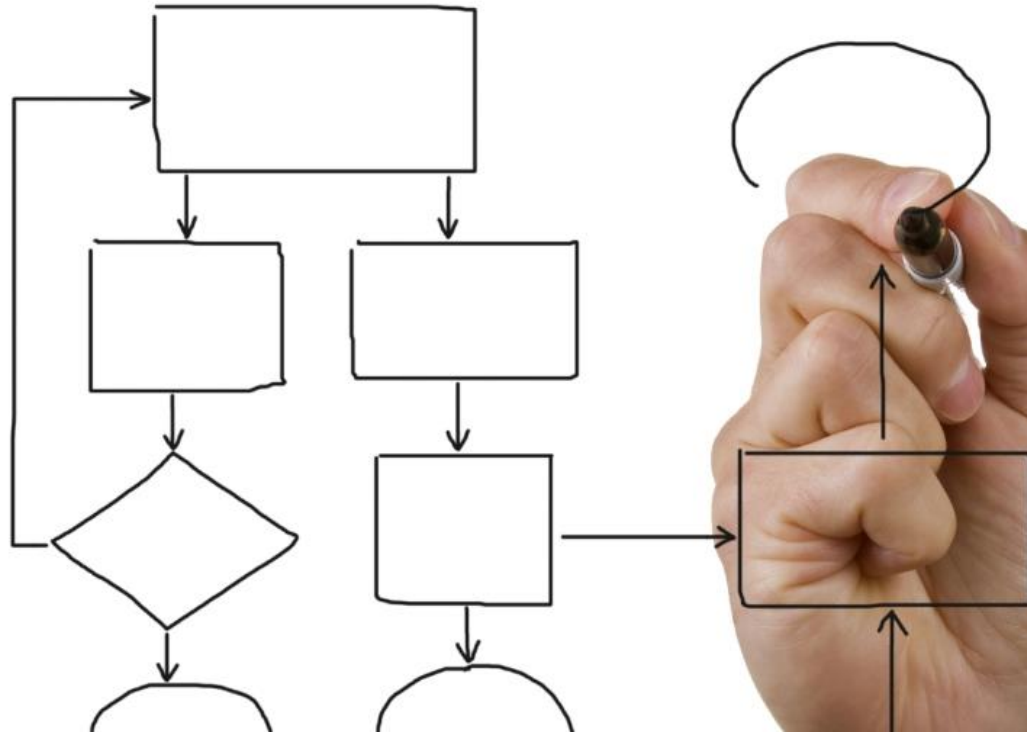
$W$ : Νερό σε διάλυμα ή ως ατμός ( $v$ )

# ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ – ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΡΟΗΣ – ΦΤΙΑΧΝΟΝΤΑΣ ΜΙΑ ΑΣΚΗΣ

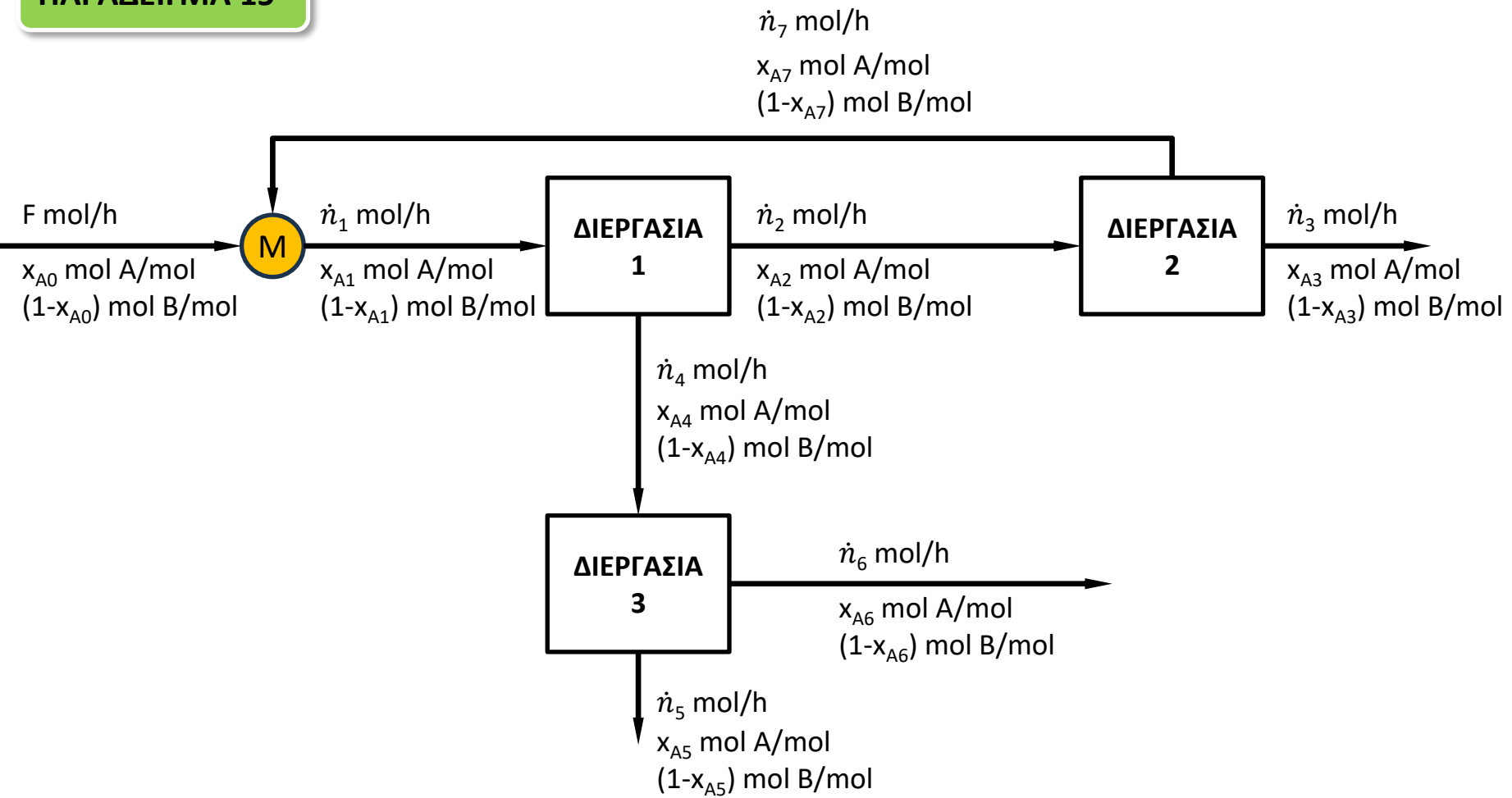
## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 15



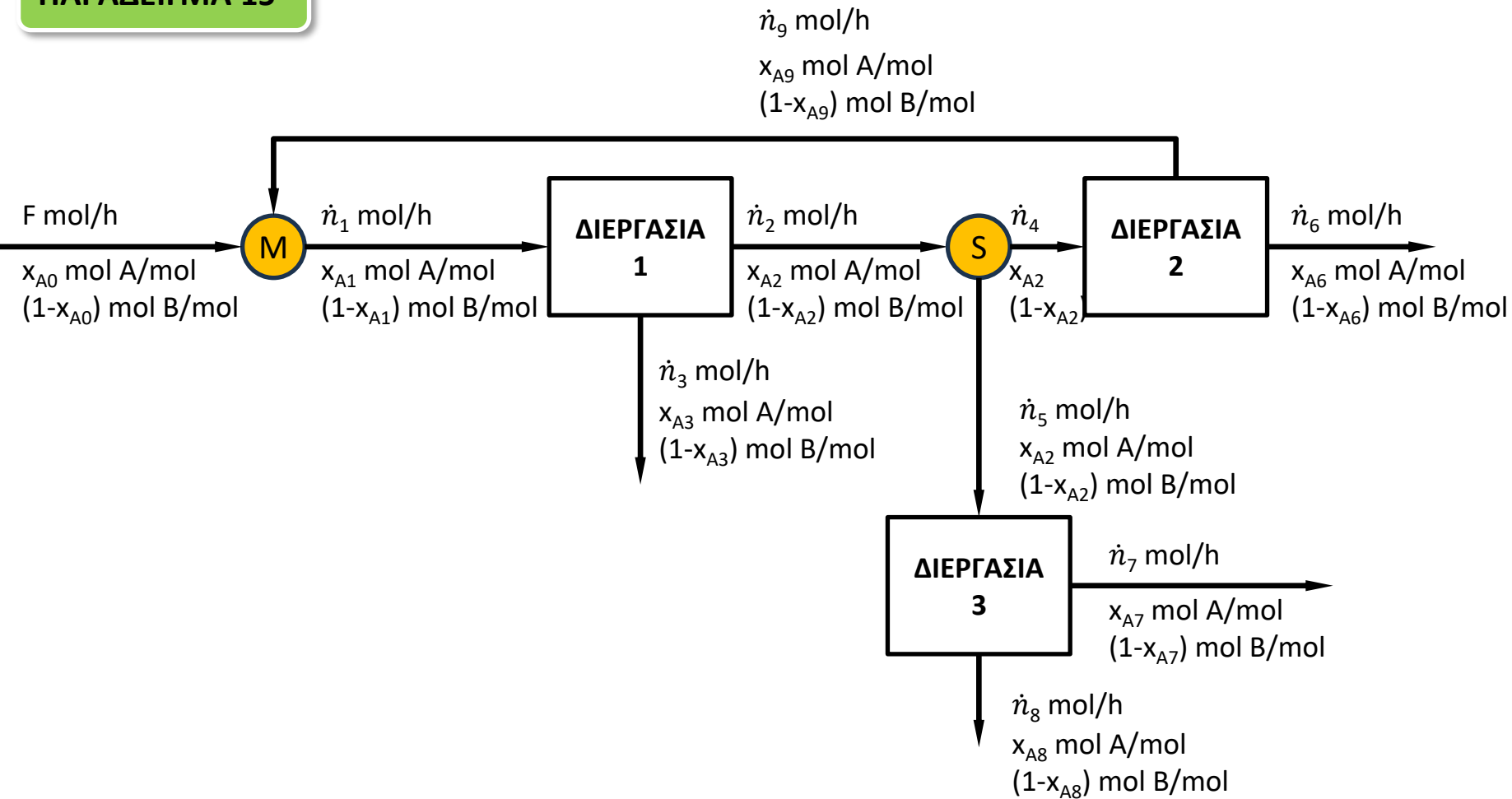
Στα ακόλουθα παραδείγματα διαγραμμάτων ροής, καθορίστε τον ελάχιστο αριθμό μεταβλητών που απαιτούνται για να είναι εφικτή η επίλυσή τους



**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 15**



**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 15**



**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 15**

