



**Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**  
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

# Χημική και Περιβαλλοντική Τεχνολογία

## Διάλεξη 3<sup>η</sup>: Ισοζύγια Μάζας (Με & Χωρίς Χημική Αντίδραση)

**Νικόλαος Γ. Σαββάκης**

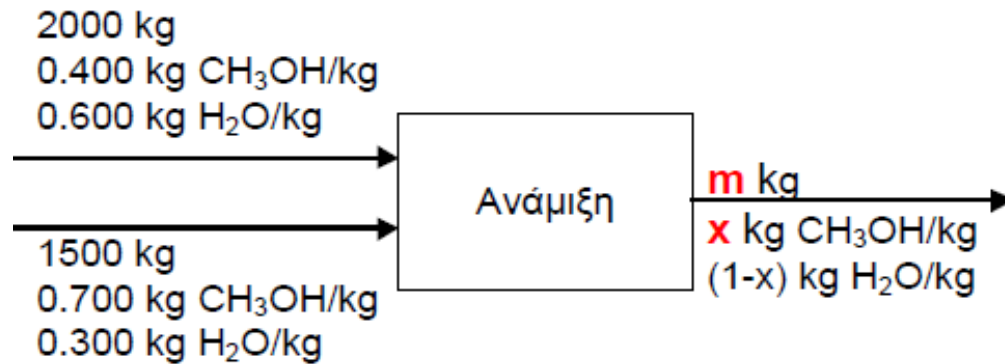
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΕΛΜΕΠΑ

Ακαδημαϊκό Έτος 2023-2024

# Ισοζύγια Μάζας - Ασκήσεις

**ΑΣΚΗΣΗ 4:** 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. Σχεδιάστε το διάγραμμα ροής της διεργασίας. Υπολογίστε τη μάζα και τη σύσταση εξόδου – προϊόντος

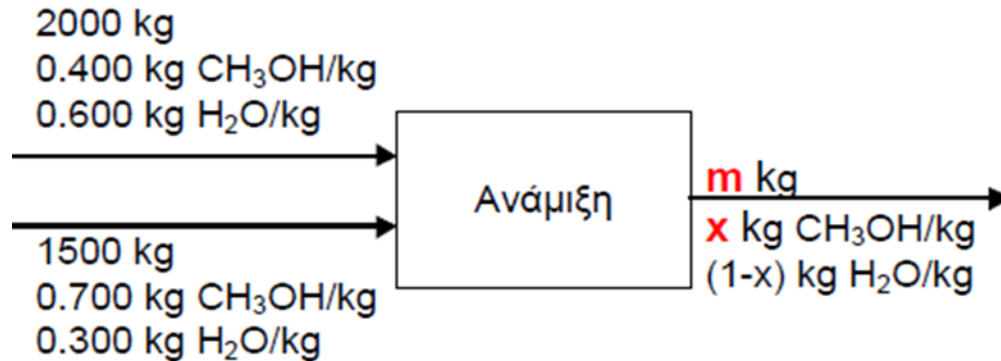


▪ **ΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ :**  $2000 \text{ kg} + 1500 \text{ kg} = m \rightarrow m = 3500 \text{ kg}$  (1)

▪ **ΙΣΟΖΥΓΙΟ CH<sub>3</sub>OH:**  $2000 \text{ kg} * \frac{0,400 \text{ kg CH}_3\text{OH}}{1 \text{ kg}} + 1500 \text{ kg} * \frac{0,700 \text{ kg CH}_3\text{OH}}{1 \text{ kg}} =$

$3500 \text{ kg} * \frac{x \text{ kg CH}_3\text{OH}}{1 \text{ kg}} \Rightarrow 3500 * x = 1850 \Rightarrow x = 0,529 \frac{\text{kg CH}_3\text{OH}}{\text{kg}}$  (2)

# Ισοζύγια Μάζας - Ασκήσεις



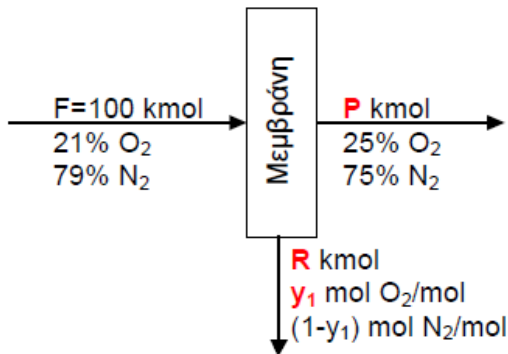
■ **ΕΛΕΓΧΟΣ - ΙΣΟΖΥΓΙΟ H<sub>2</sub>O:**  $2000 \text{ kg} * \frac{0,600 \text{ kg H}_2\text{O}}{1 \text{ kg}} + 1500 \text{ kg} * \frac{0,300 \text{ kg H}_2\text{O}}{1 \text{ kg}} =$

$$3500 \text{ kg} * (1 - 0,529) \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg}} \quad (2)$$

# Ισοζύγια Μάζας - Ασκήσεις

**ΑΣΚΗΣΗ 5:** 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:  $F=100$  Kmol**



**Από την εκφώνηση:**  $R = 80\% F = 0,8 * F \Rightarrow \underline{R=80 \text{ kmol}}$

**Ισοζύγιο  $O_2$ :**  $0,21 * F = 0,25 * P + y_1 * 0,8$  (1)

**Συνολικό Ισοζύγιο:**  $100 \text{ kmol} = P + R \Rightarrow \underline{P=20 \text{ kmol}}$

**Από την (1):**  $0,21 * 100 \text{ kmol} = 0,25 * 20 \text{ kmol} + y_1 * 0,8 \Rightarrow$

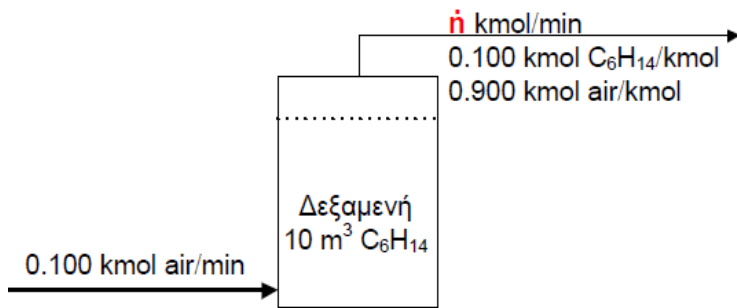
$\underline{y_1=0,2 \text{ mol } O_2/\text{mol}}$

**ΕΛΕΓΧΟΣ - ΙΣΟΖΥΓΙΟ  $N_2$ :**  $0,79 * 100 \text{ kmol} = 0,75 * 20 \text{ kmol} + (1-y_1) * 80 \text{ kmol} \Rightarrow \underline{79=79}$

→ Ισχύει ✓

# Ισοζύγια Μάζας - Ασκήσεις

**ΑΣΚΗΣΗ 6:** 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 ( $\rho_{C_6H_{14}}=0.659$  kg/L,  $MB_{C_6H_{14}}=86.2$ ). Υπολογίστε το χρόνο (t) που απαιτείται για την εξάτμιση  $10.0\text{ m}^3$  υγρού εξανίου.



- **Ισοζύγιο Αέρα:**

$$\frac{0,100\text{ kmol air}}{1\text{ min}} = \dot{n} * \frac{0,900\text{ kmol air}}{1\text{ kmol}} \Rightarrow \dot{n} = 0,111 \frac{\text{kmol μγμ.}}{\text{min}}$$

- $\dot{n}_{C_6H_{14}} = \dot{n} * 0,100 \frac{\text{kmol } C_6H_{14}}{\text{kmol μγμ.}} = 0,111 \frac{\text{kmol μγμ.}}{\text{min}} * 0,100 \frac{\text{kmol } C_6H_{14}}{\text{kmol μγμ.}} \Rightarrow \dot{n}_{C_6H_{14}} = 0,0111 \frac{\text{kmol}}{\text{min}}$

- $\dot{v}_{C_6H_{14}} = 0,0111 \frac{\text{kmol}}{\text{min}} * \frac{86,2\text{ kg}}{\text{kmol}} * \frac{L}{0,659\text{ kg}} * \frac{1\text{ m}^3}{1000\text{ L}} = 1,452 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$

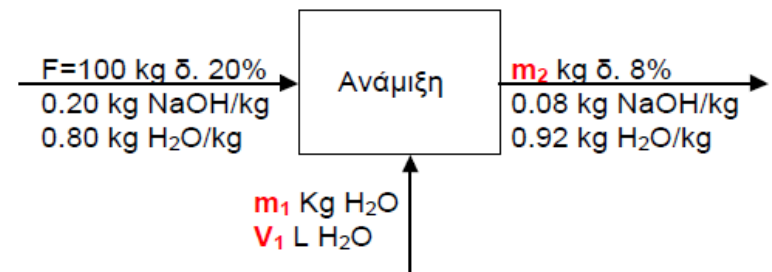
- $t = \frac{V}{\dot{v}} = \frac{10\text{ m}^3}{1,452 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}}} = 6887\text{ min}$

# Ισοζύγια Μάζας - Ασκήσεις

**ΑΣΚΗΣΗ 7:** 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 τους λόγους L H<sub>2</sub>O/kg τροφοδοσίας και kg προϊόντος/kg τροφοδοσίας. Βάση υπολογισμού 100 kg τροφοδοσία.

- **Άγνωστοι:**  $m_2, m_1, L$  (3)
- **Ανεξάρτητες εξισώσεις** (μίγμα 2 συστατικών): 2 (2 ισοζύγια μάζας, επιλογή από NaOH, H<sub>2</sub>O, Συνολικό)
- **3-2=1** μας λείπει 1 εξίσωση για να υπάρχει 1 μόνο λύση
- Η εξίσωση αυτή είναι  $\rho = m_1/V_1$  (φυσικές ιδιότητες και νόμοι)

**Βάση: 100 kg δ. NaOH 20% w/w**

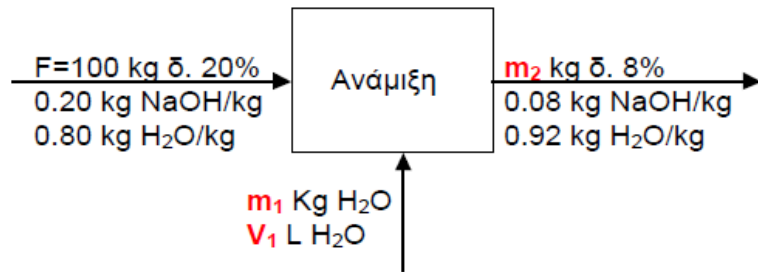


**Παρατήρηση:** θα μπορούσε το  $V_1$  να μην είχε μπει στο διάγραμμα ροής

- **Ισοζύγιο NaOH:**  $100 \text{ kg } \delta. * 0,2 \frac{\text{kg NaOH}}{1 \text{ kg}} = m_2 * 0,080 \frac{\text{kg NaOH}}{1 \text{ kg}} \Rightarrow m_2 = 250 \text{ kg } \delta. \rightarrow \frac{250 \text{ kg προϊόντος}}{100 \text{ kg τροφοδοσίας}} = 2,5 \frac{\text{kg προϊόντος}}{\text{kg τροφοδοσίας}}$
- **Συνολικό Ισοζύγιο:**  $100 \text{ kg } \delta. + m_1 = 250 \text{ kg } \delta. \Rightarrow m_1 = 150 \text{ kg } \delta.$

# Ισοζύγια Μάζας - Ασκήσεις

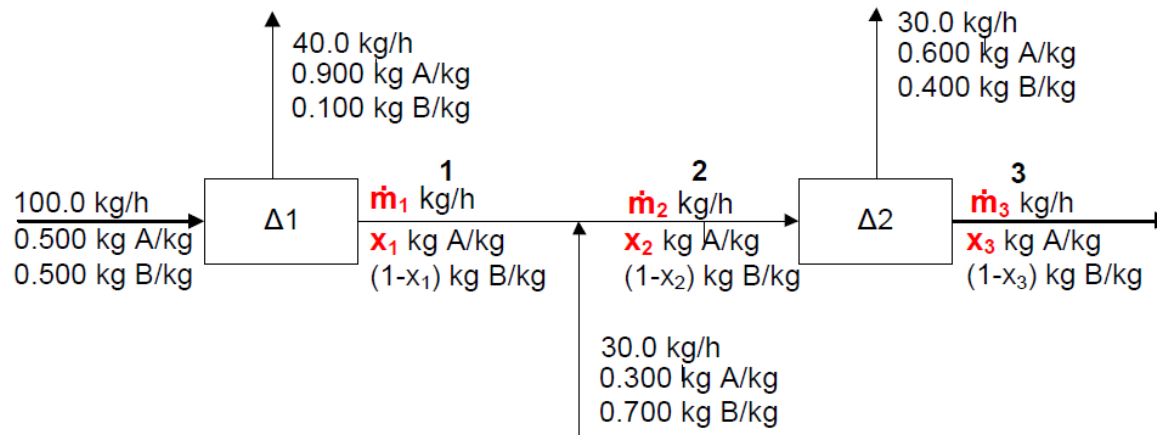
**Βάση: 100 kg δ. NaOH 20% w/w**



- $$V_1 = \frac{m_1}{\rho} = \frac{150 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} = 150 \text{ L}, \text{ άρα}$$
$$\frac{L_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg τροφοδ.}} = \frac{150 \text{ L}}{100} = 1,5 \frac{L_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg τροφοδ.}}$$

# Ισοζύγια Μάζας - Ασκήσεις

- Να υπολογισθούν οι μαζικές ροές στα ρεύματα 1, 2 και 3 καθώς και οι συστάσεις του



- Διεργασία  $\Delta 1$ :

**Συνολικό Ισοζύγιο :**  $100 \text{ kg/h} = 40 \text{ kg/h} + \dot{m}_1$  (1)

**Ισοζύγιο A:**  $100 \text{ kg/h} * 0,500 \text{ kg A/kg} = 40 \text{ kg/h} * 0,900 \text{ kg A/kg} + \dot{m}_1 * x_1$  (2)

$\Rightarrow$   $\dot{m}_1 = 60 \text{ kg/h}$   
 $x_1 = 0,233 \text{ kg A/ kg}$

- Σημείο Ανάμιξης:

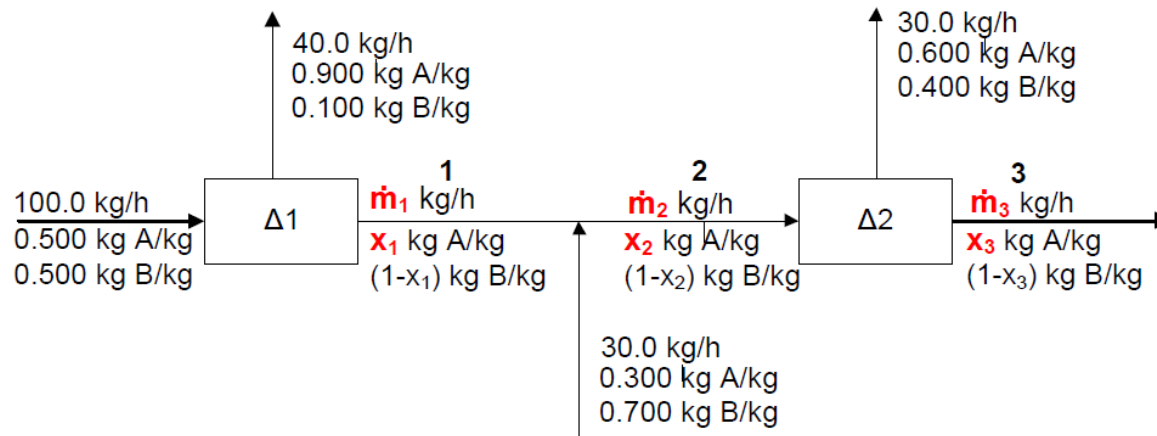
**Συνολικό Ισοζύγιο :**  $\dot{m}_1 + 30 \text{ kg/h} = \dot{m}_2$  (3)

**Ισοζύγιο A:**  $\dot{m}_1 * x_1 + 30 \text{ kg/h} * 0,300 \text{ kg A/kg} = \dot{m}_2 * x_2$  (4)

$\Rightarrow$   $\dot{m}_1 = 90 \text{ kg/h}$   
 $x_1 = 0,255 \text{ kg A/ kg}$

# Ισοζύγια Μάζας - Ασκήσεις

- Να υπολογισθούν οι μαζικές ροές στα ρεύματα 1, 2 και 3 καθώς και οι συστάσεις του



- Διεργασία Δ2:

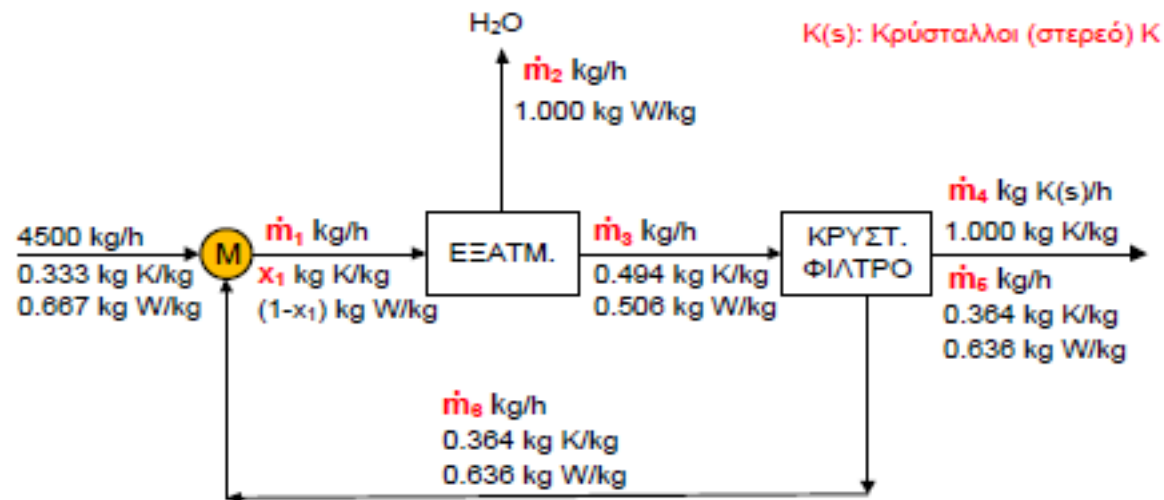
**Συνολικό Ισοζύγιο :**  $\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + 30 \text{ kg/h}$  (5)

**Ισοζύγιο A:**  $\dot{m}_2 \cdot x_2 = \dot{m}_3 \cdot x_3 + 30 \text{ kg/h} \cdot 0,600 \text{ kg A/kg}$  (6)

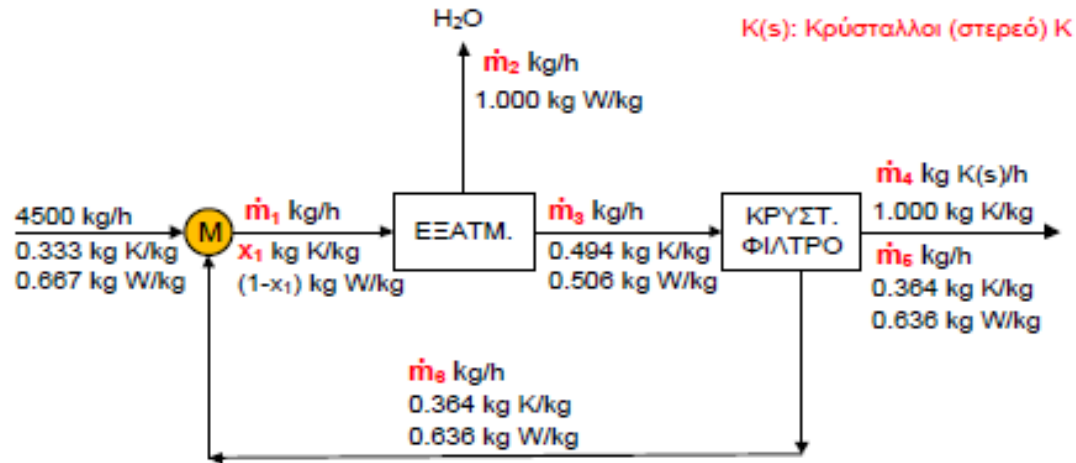
$$\left. \begin{array}{l} (5) \\ (6) \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \dot{m}_3 = 60 \text{ kg/h} \\ x_3 = 0,083 \text{ kg A/kg} \end{array}$$

# Ισοζύγια Μάζας – Ασκήσεις (Ανακύκλωση)

- Θέλουμε να ανακτήσουμε στερεό  $K_2CrO_4$  από υδατικό του διάλυμα περιεκτικότητας 33.3% 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 προκύπτουν 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 και φιλτράρεται. Το ίζημα 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.



# Ισοζύγια Μάζας - Ασκήσεις



# Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)

## ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΑ

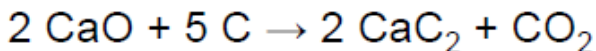
- Από τη χημική αντίδραση προκύπτουν ποιοτικές και ποσοτικές πληροφορίες



- Η στοιχειομετρία (1, 11, 7, 8) ασχολείται με τις ποσότητες των στοιχείων ή των ενώσεων που αντιδρούν.
- Οι ποσοτικές πληροφορίες αναφέρονται σε **mol** και **όχι g**.
- Μετατρέπουμε τη μάζα σε mol και εφαρμόζουμε τη στοιχειομετρία

---

Το καρβίδιο του ασβεστίου ( $\text{CaC}_2$ ) παρασκευάζεται κατά τη θέρμανση οξειδίου του ασβεστίου ( $\text{CaO}$ ) και άνθρακα ( $\text{C}$ ) σε υψηλή θερμοκρασία.



Διατίθενται 1150 kg  $\text{CaO}$ . Πόσα kg  $\text{C}$  απαιτούνται για την πλήρη αντίδραση του  $\text{CaO}$  και πόσα kg  $\text{CaC}_2$  θα παραχθούν;

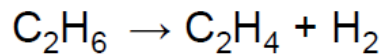
MB:  $\text{CaO}$  56,  $\text{CaC}_2$  64

**616.1 kg C, 1314 kg  $\text{CaC}_2$**

# Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)

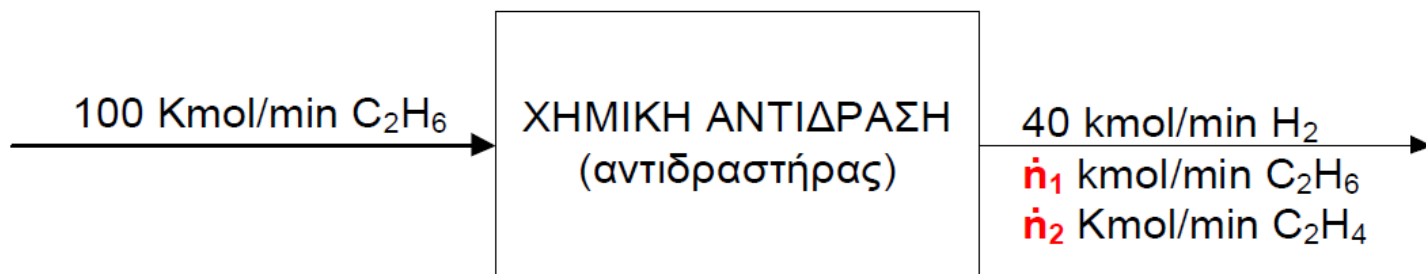
## ΑΣΚΗΣΗ

100 kmol/min αιθάνιο εισάγεται σε αντιδραστήρα αφυδρογόνωσης με στόχο την παραγωγή αιθυλενίου.

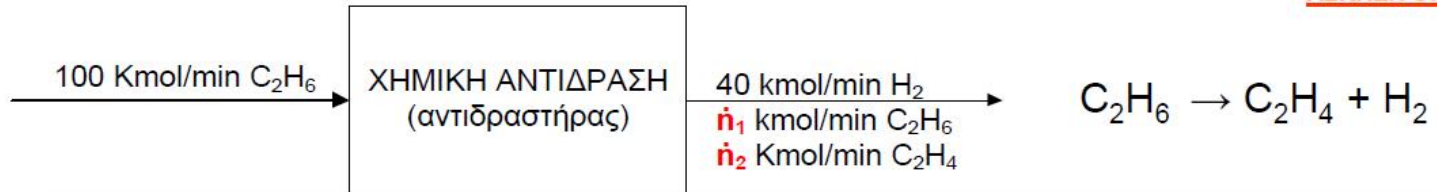


Η ροή  $\text{H}_2$  στην έξοδο είναι 40 kmol/min.

Καθορίστε τους βαθμούς ελευθερίας και επιλύστε το σχετικό διάγραμμα ροής: α) με ατομικά ισοζύγια, β) με χρήση της έκτασης της αντίδρασης και γ) με μοριακά ισοζύγια



# Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)



## Ατομική (στοιχειακή) βάση

### Υπολογισμός βαθμών ελευθερίας

- + Άγνωστες μεταβλητές + 2 ( $\dot{n}_1, \dot{n}_2$ )
- Ατομικά ισοζύγια μάζας (αντιδρώντων συστατικών) - 2 (C, H)
- Ισοζύγια μη αντιδρώντων (αδρανών) συστατικών - 0
- Άλλες εξισώσεις - 0

**Βαθμοί ελευθερίας** +2-2-0-0=0

ΑΤΟΜΙΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ : Γενικός κανόνας : Είσοδος = Εξοδος

$$C : C_{IN} = C_{out} \Rightarrow 100 \frac{\text{kmol } C_2H_6}{\text{min}} + \frac{2 \text{ kmol } C}{\text{kmol } C_2H_6} = (n_1 * 2 + n_2 * 2) \text{ kmol } C$$

$$\Rightarrow 200 = 2n_1 + 2n_2 \quad (1)$$

$$H : H_{IN} = H_{out} \Rightarrow 100 * 6 = 40 * 2 + n_1 * 6 + n_2 * 4$$

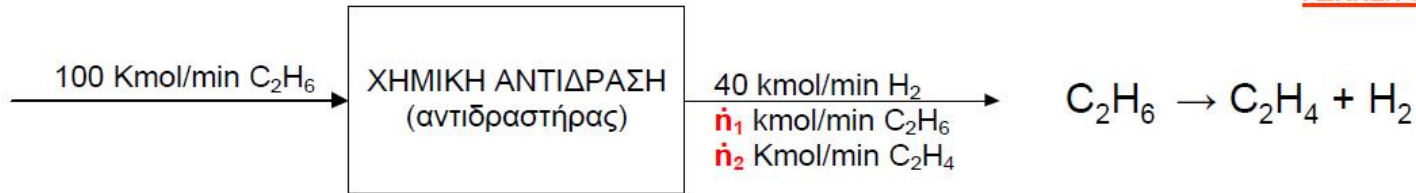
$$\Rightarrow 520 = 6n_1 + 4n_2 \quad (2)$$

Από (1) και (2)  $\Rightarrow$   $\left\{ \begin{array}{l} n_1 = 60 \frac{\text{kmol } C_2H_6}{\text{min}} \\ n_2 = 40 \frac{\text{kmol } C_2H_4}{\text{min}} \end{array} \right.$

ΒΑΣΗ 1 min

# Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)

ΑΣΚΗΣΗ σ. 95



## Μοριακή βάση

### Υπολογισμός βαθμών ελευθερίας

- + Άγνωστες μεταβλητές + 2 ( $\dot{n}_1, \dot{n}_2$ )
- + Χημικές αντιδράσεις (ανεξάρτητες) + 1
- Μοριακά ισοζύγια μάζας (αριθμός διαφορετικών μορίων) - 3 ( $\text{C}_2\text{H}_6, \text{C}_2\text{H}_4, \text{H}_2$ )
- Άλλες εξισώσεις - 0

**Βαθμοί ελευθερίας** +2+1-3-0=0

ΜΟΡΙΑΚΑ ΙΣΟΖΥΓΙΑ : ΓΕΝΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΑΣ : Είσοδος + παραγωγή - εμροή - κατανάλωση = 0  
 (ή χημικών ενώσεων) ΕΙΣ ΠΑΡ ΕΚ ΚΑΤ

$$\text{H}_2 : \underset{\text{0}}{\text{ΕΙΣ}} + \underset{\text{40}}{\text{ΠΑΡ}} - \underset{\text{0}}{\text{ΕΚ}} - \underset{\text{0}}{\text{ΚΑΤ}} = 0 \Rightarrow \text{H}_{2,\text{ΠΑΡ}} = 40 \text{ kmol/min} \quad (1)$$

$$\text{C}_2\text{H}_6 : \underset{\text{100}}{\text{ΕΙΣ}} + \underset{\text{0}}{\text{ΠΑΡ}} - \underset{\text{n}_1}{\text{ΕΚ}} - \underset{\text{0}}{\text{ΚΑΤ}} = 0 \Rightarrow 100 - n_1 - 40 = 0 \quad (2)$$

$\text{H}_{2,\text{ΠΑΡ}} \cdot \left( \frac{1 \text{ kmol C}_2\text{H}_6}{1 \text{ kmol H}_2} \right) = 40$

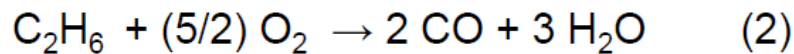
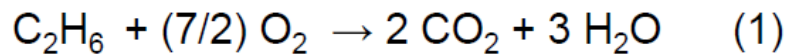
$$\text{C}_2\text{H}_4 : \underset{\text{0}}{\text{ΕΙΣ}} + \underset{\text{0}}{\text{ΠΑΡ}} - \underset{\text{n}_2}{\text{ΕΚ}} - \underset{\text{0}}{\text{ΚΑΤ}} = 0 \Rightarrow 40 - n_2 = 0 \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{H}_{2,\text{ΠΑΡ}} &= 40 \text{ kmol/min} \\ n_1 &= 60 \text{ kmol/min} \\ n_2 &= 40 \text{ kmol/min} \end{aligned} \right\}$$

# Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)

## ΑΣΚΗΣΗ – ΚΑΥΣΗ ΑΙΘΑΝΙΟΥ

Αιθάνιο καίγεται σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



### ΔΕΔΟΜΕΝΑ

50% περίσσεια αέρα

Βαθμός μετατροπής αιθανίου: 90%

Το 25% του αιθανίου μετατρέπεται σε CO και το υπόλοιπο σε CO<sub>2</sub>.

### ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ

α) Να σχεδιαστεί το διάγραμμα ροής

β) Καθορίστε τους βαθμούς ελευθερίας και επιλύστε το σχετικό διάγραμμα ροής

γ) Μολαρική σύσταση εξόδου (καυσαερίων) σε υγρή βάση

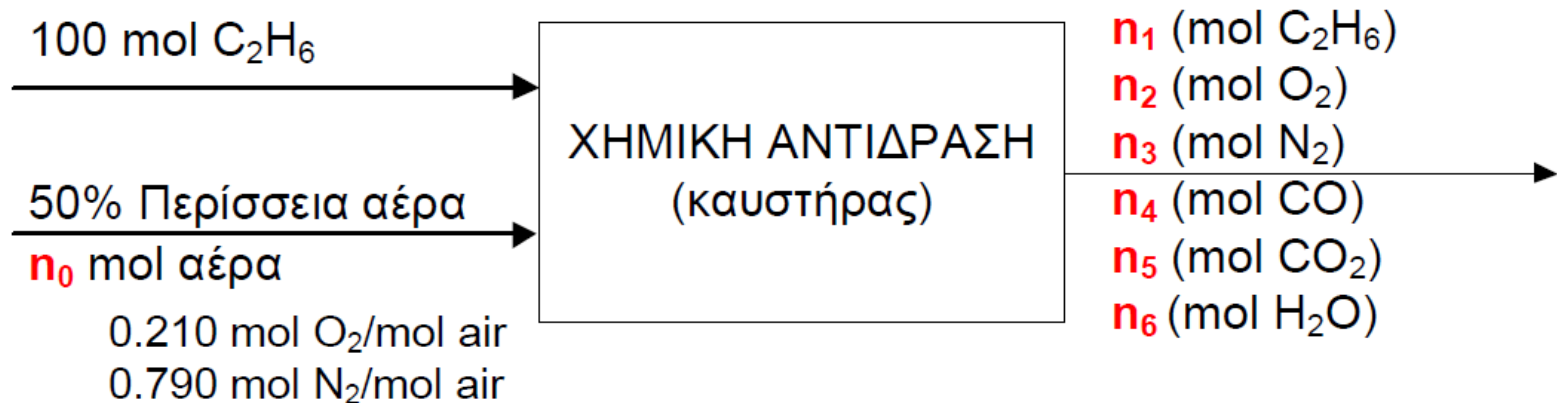
δ) Μολαρική σύσταση εξόδου (καυσαερίων) σε ξηρή βάση

ε) Λόγος mol νερού προς mol ξηρών καυσαερίων

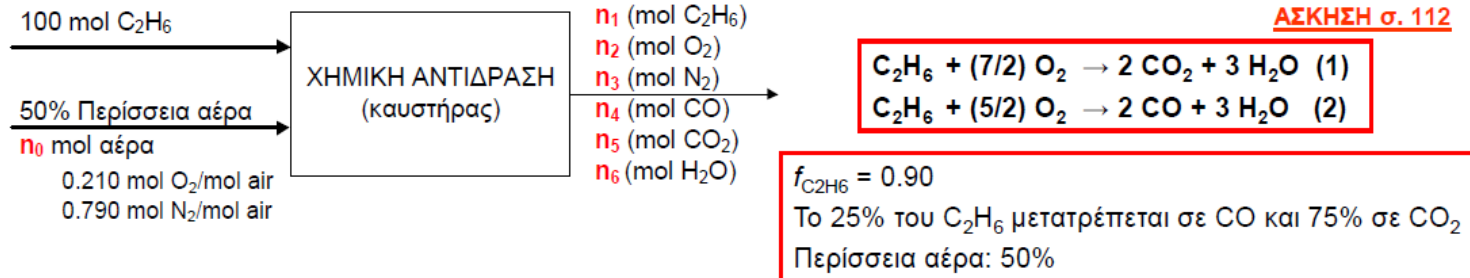
# Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)

## ΑΣΚΗΣΗ – ΚΑΥΣΗ ΑΙΘΑΝΙΟΥ

ΒΑΣΗ: Τροφοδοσία 100 mol C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>



# Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)



## ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ)

$$f_{C_2H_6} = 0.90 \Rightarrow f_{C_2H_6} = \frac{mol_{reacted}}{mol_{fed}} = \frac{100 - n_1}{100} = 0.900 \quad (1)$$

$$n_5 = 3n_4 \quad (2)$$

$$n_{air, st} = 100 \cdot (7/2) \cdot (100/21) = 1667 \text{ mol} \Rightarrow \text{Περίσσεια} = (n_{feed} - n_{st})/n_{st} \Rightarrow$$

$$(n_0 - 1667)/1667 = 0.500 \quad (3)$$

## Υπολογισμός βαθμών ελευθερίας - Ατομική (στοιχειακή) βάση

- + Άγνωστες μεταβλητές +7 ( $n_0, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6$ )
  - Ατομικά ισοζύγια μάζας (αντιδρώντων συστατικών) - 3 (C, H, O)
  - Ισοζύγια μη αντιδρώντων (αδρανών) συστατικών - 1 (N)
  - Άλλες εξισώσεις - 3 (εξισώσεις 1-3)
- Βαθμοί ελευθερίας** + 7 - 3 - 1 - 3 = 0

**ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ** Ισοζύγιο C:  $100 \cdot 2 = n_1 \cdot 2 + n_4 \cdot 1 + n_5 \cdot 1 \Rightarrow$

$$2n_1 + n_4 + n_5 = 200 \quad (4)$$

Ισοζύγιο H:  $100 \cdot 6 = n_1 \cdot 6 + n_6 \cdot 2 \Rightarrow$

$$6n_1 + 2n_6 = 600 \quad (5)$$

Ισοζύγιο O:  $n_0 \cdot 0.21 \cdot 2 = n_2 \cdot 2 + n_4 \cdot 1 + n_5 \cdot 2 + n_6 \cdot 1 \Rightarrow$

$$0.42n_0 - 2n_2 - n_4 + 2n_5 - n_6 = 0 \quad (6)$$

Ισοζύγιο N<sub>2</sub>:  $n_0 \cdot 0.79 = n_3 \Rightarrow$

$$0.79n_0 - n_3 = 0 \quad (7)$$

- ΕΠΙΛΥΣΗ:** Από (1) προκύπτει  $n_1 = 10 \text{ mol C}_2\text{H}_6$ , από (3):  $n_0 = 2500 \text{ mol αέρα}$ , από (7):  $n_3 = 1975 \text{ mol N}_2$ ,  
 από (5):  $n_6 = 270 \text{ mol H}_2\text{O}$ , από (2) & (4):  $n_4 = 45 \text{ mol CO}$ ,  $n_5 = 135 \text{ mol CO}_2$ ,  
 από (6)  $n_2 = 232 \text{ mol O}_2$