



Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο

Χημική και Περιβαλλοντική Τεχνολογία

Διάλεξη 3^η: Ισοζύγια Μάζας (Με & Χωρίς Χημική Αντίδραση)

Νικόλαος Γ. Σαββάκης

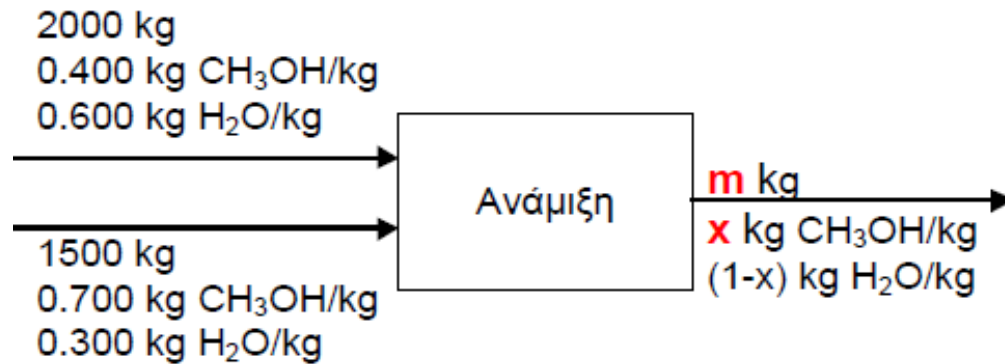
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΕΛΜΕΠΑ

Ακαδημαϊκό Έτος 2022-2023

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

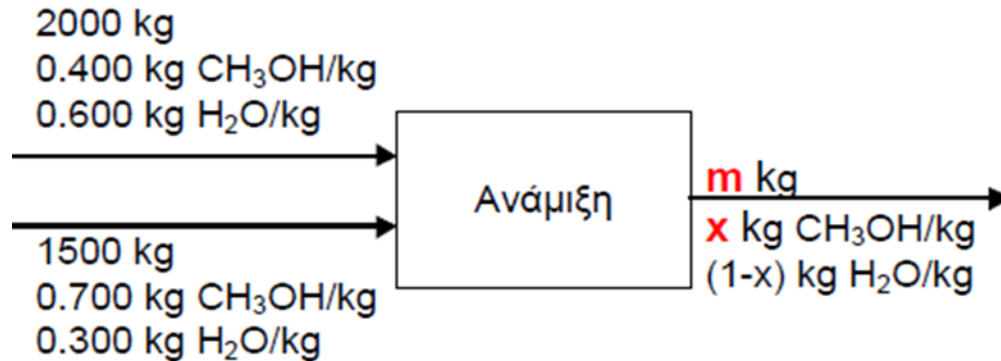


▪ **ΟΛΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ :** $2000 \text{ kg} + 1500 \text{ kg} = m \rightarrow m = 3500 \text{ kg}$ (1)

▪ **ΙΣΟΖΥΓΙΟ CH₃OH:** $2000 \text{ kg} * \frac{0,400 \text{ kg CH}_3\text{OH}}{1 \text{ kg}} + 1500 \text{ kg} * \frac{0,700 \text{ kg CH}_3\text{OH}}{1 \text{ kg}} =$

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

Ισοζύγια Μάζας - Ασκήσεις



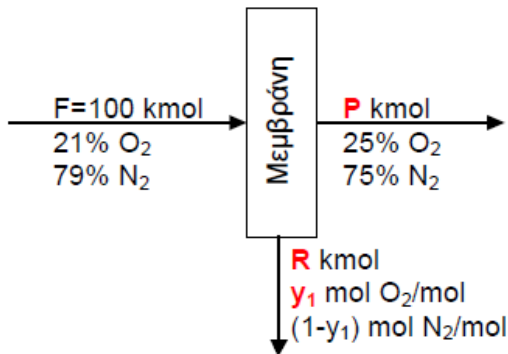
■ **ΕΛΕΓΧΟΣ - ΙΣΟΖΥΓΙΟ H₂O:** $2000 \text{ kg} * \frac{0,600 \text{ kg H}_2\text{O}}{1 \text{ kg}} + 1500 \text{ kg} * \frac{0,300 \text{ kg H}_2\text{O}}{1 \text{ kg}} =$

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

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

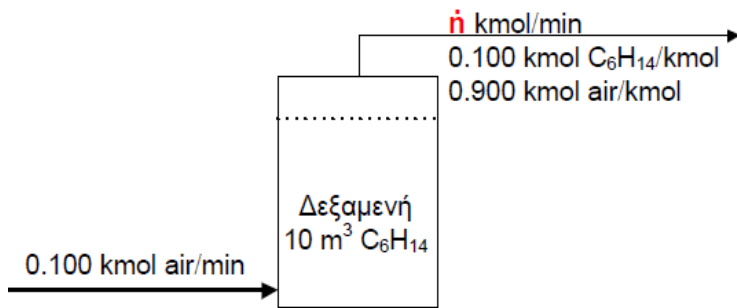
$\underline{y_1=0,2 \text{ mol } O_2/\text{mol}}$

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 m^3 υγρού εξανίου.



- **Ισοζύγιο Αέρα:**

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

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

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

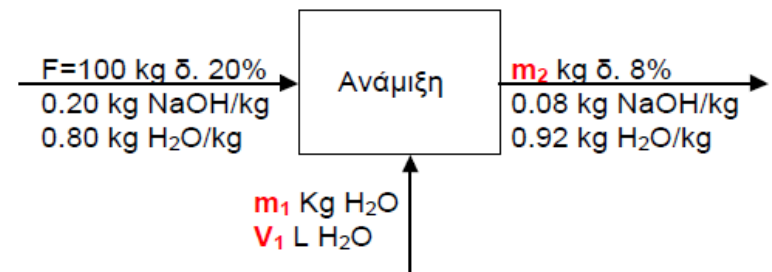
- $t = \frac{V}{\dot{v}} = \frac{10\text{ m}^3}{1,452 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{min}}} = 6887\text{ min}$

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 H₂O/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, H₂O, Συνολικό)
- **3-2=1** μας λείπει 1 εξίσωση για να υπάρχει 1 μόνο λύση
- Η εξίσωση αυτή είναι η: $\rho = m_1/V_1$ (φυσικές ιδιότητες και νόμοι)

Βάση: 100 kg δ. NaOH 20% w/w

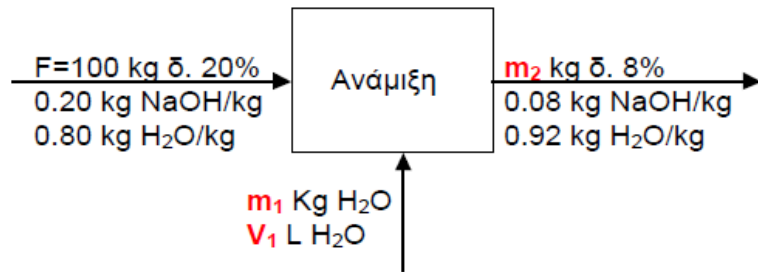


Παρατήρηση: θα μπορούσε το V_1 να μην είχε μπει στο διάγραμμα ροής

- **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

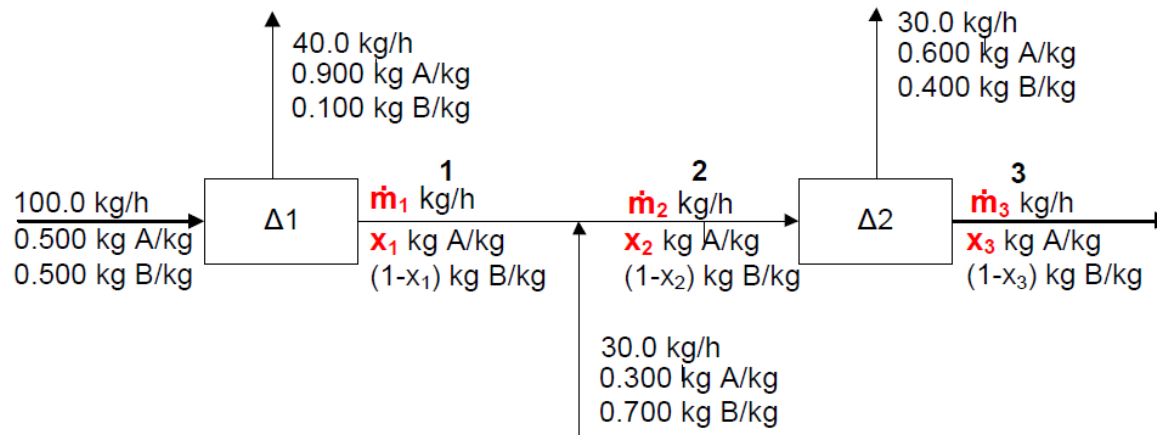
Βάση: 100 kg δ. NaOH 20% w/w



$$\bullet V_1 = \frac{m_1}{\rho} = \frac{150 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} = 150 \text{ L}, \text{ \acute{\alpha}\rho\alpha}$$
$$\frac{L_{H_2O}}{\text{kg τροφοδ.}} = \frac{150 \text{ L}}{100} = 1,5 \frac{L_{H_2O}}{\text{kg τροφοδ.}}$$

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:

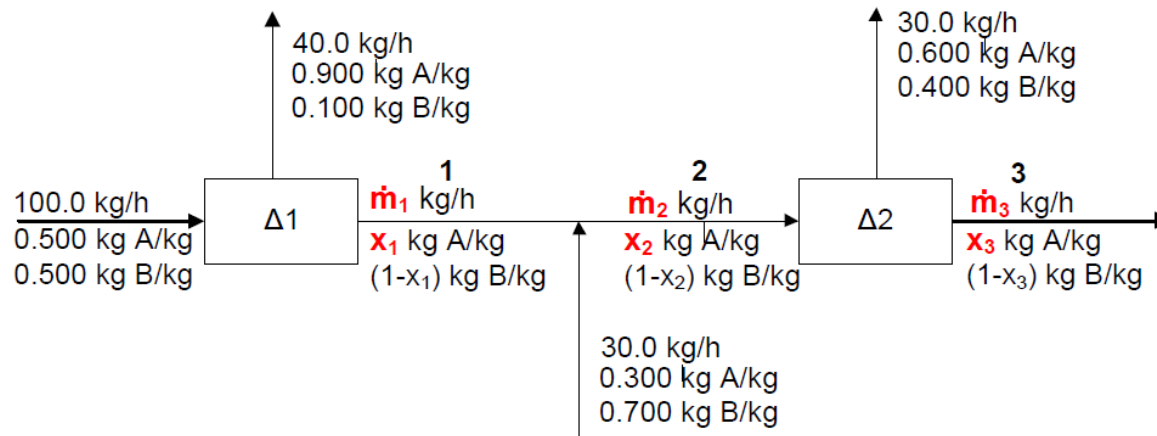
Συνολικό Ισοζύγιο : $\dot{m}_1 + 30 \text{ kg/h} = \dot{m}_2$ (3)

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:

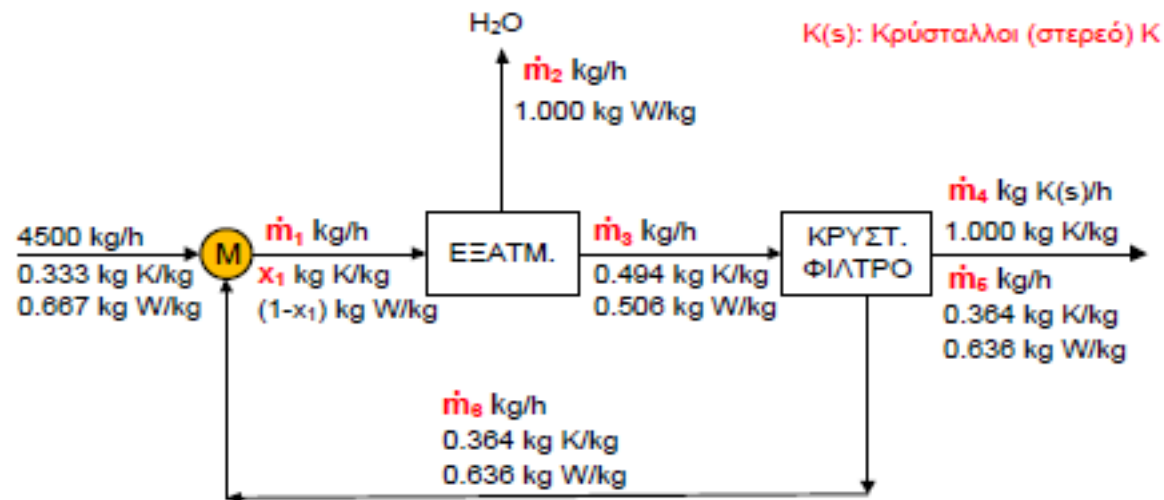
Συνολικό Ισοζύγιο : $\dot{m}_2 = \dot{m}_3 + 30 \text{ kg/h}$ (5)

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)

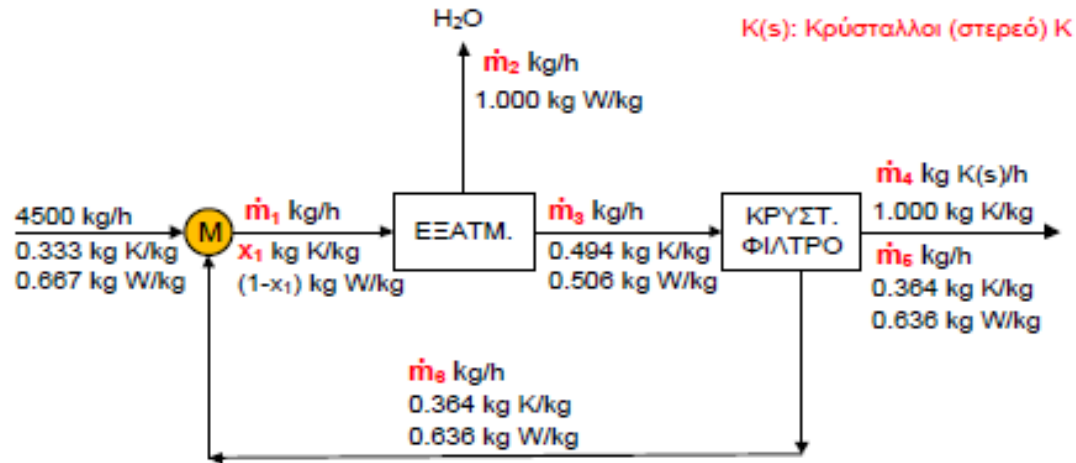
$$\left. \begin{array}{l} \text{(5)} \\ \text{(6)} \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \dot{m}_3 = 60 \text{ kg/h} \\ x_3 = 0,083 \text{ kg A/ kg} \end{array}$$

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)

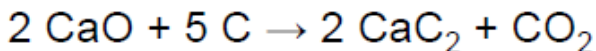
ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΑ

- 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 (CaC_2) παρασκευάζεται κατά τη θέρμανση οξειδίου του ασβεστίου (CaO) και άνθρακα (C) σε υψηλή θερμοκρασία.



Διατίθενται 1150 kg CaO . Πόσα kg C απαιτούνται για την πλήρη αντίδραση του CaO και πόσα kg CaC_2 θα παραχθούν;

MB: CaO 56, CaC_2 64

616.1 kg C, 1314 kg CaC_2

Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)

ΜΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ

- Στην πράξη σπάνια χρησιμοποιούνται τα αντιδρώντα στις στοιχειομετρικές τους αναλογίες.
- **Περιοριστικό αντιδρών:** Το αντιδρών που είναι στοιχειομετρικά στη μικρότερη ποσότητα
- **Αντιδρών σε περίσσεια:** Το αντιδρών που είναι στοιχειομετρικά σε μεγαλύτερη ποσότητα από το περιοριστικό αντιδρών.

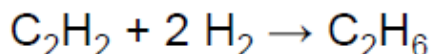
$$\text{Περίσσεια} = (n_{\text{feed}} - n_{\text{st}})/n_{\text{st}}$$

Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)

ΜΗ ΣΤΟΙΧΕΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΟΓΙΕΣ

Ασκήσεις

20.0 kmol/h ακετυλενίου (C_2H_2) και 50.0 kmol/h H_2 τροφοδοτούνται σε ένα αντιδραστήρα:



Ποιο είναι το περιοριστικό αντιδρών;

C_2H_2

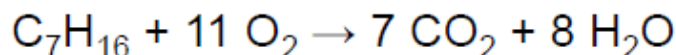
Ποιο είναι το αντιδρών σε περίσσεια;

H_2

Περίσσεια %;

25%

80 g C_7H_{16} αντιδρούν με 480 g O_2 σύμφωνα με την αντίδραση:



Ποιο είναι το περιοριστικό αντιδρών;

C_7H_{16}

Ποιο είναι το αντιδρών σε περίσσεια;

O_2

Περίσσεια %;

70.5%

Για πλήρη αντίδραση, πόσα g CO_2 και H_2O θα παραχθούν και τι υπάρχει (mol %) στο προϊόν;

246.4 g CO_2 , 115.2 g H_2O

34.1% O_2 , 30.8% CO_2 , 35.2% H_2O

Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)

ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ – ΑΠΟΔΟΣΗ - ΕΚΛΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

- **Βαθμός μετατροπής** είναι το κλάσμα της τροφοδοσίας (ή ενός υλικού της τροφοδοσίας) που μετατρέπεται σε προϊόντα.

$$f = \frac{mol_{reacted}}{mol_{fed}}$$

Όταν ο βαθμός μετατροπής αναφέρεται σε περιοριστικό αντιδρών, τότε ορίζεται ως **βαθμός μετατροπής της αντίδρασης**.

- **Απόδοση:** Υπάρχουν πολλοί ορισμοί.

Ο λόγος των moles (ή της μάζας) του επιθυμητού τελικού προϊόντος προς τα moles (ή τη μάζα) του βασικού αντιδρώντος (**έχει τη μεγαλύτερη εφαρμογή**).

Ο λόγος των moles (ή της μάζας) του επιθυμητού τελικού προϊόντος προς τα moles (ή τη μάζα) του βασικού αντιδρώντος που καταναλώνεται (**είναι ο λόγος των στοιχειομετρικών συντελεστών**).

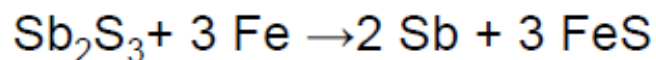
Ο λόγος των moles (ή της μάζας) του επιθυμητού τελικού προϊόντος που λαμβάνεται προς τη θεωρητική ποσότητα που θα λαμβανόταν για 100% μετατροπή (**ουσιαστικά είναι ο βαθμός μετατροπής της αντίδρασης – μικρότερη εφαρμογή**).

- **Ως εκλεκτικότητα** ορίζεται το κλάσμα των moles ενός συγκεκριμένου προϊόντος προς τα moles ενός άλλου προϊόντος (συνήθως μη επιθυμητού – παραπροϊόν).

Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)

Άσκηση

Το αντιμόνιο (Sb) παράγεται με θέρμανση αντιμονίτη (Sb_2S_3) με σκραπ σιδηρού και απομάκρυνση του λιωμένου Sb από τον πυθμένα του αντιδραστήρα:

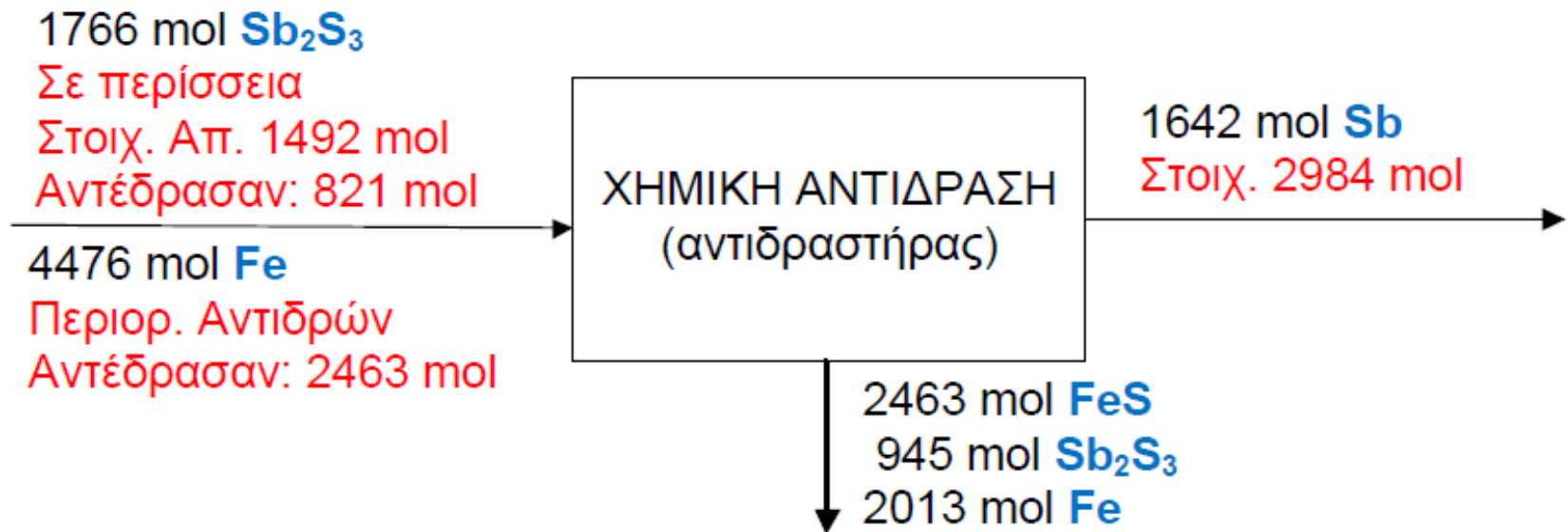
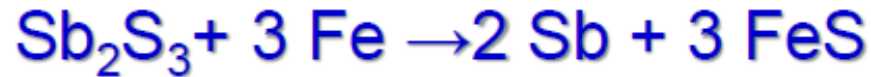


Θερμαίνονται μαζί 600 kg Sb_2S_3 και 250 kg Fe και παράγονται 200 kg Sb.

- (α) Περιοριστικό αντιδρών;
- (β) Αντιδρών σε περίσσεια;
- (γ) % περίσσεια του αντιδρώντος σε περίσσεια;
- (δ) Βαθμός μετατροπής αντίδρασης;
- (ε) Βαθμός μετατροπής με βάση το Sb_2S_3 ;
- (ζ) Απόδοση σε kg Sb/kg Sb_2S_3 της τροφοδοσίας του αντιδραστήρα;

AB: Sb 121.76, S 32.07, Fe 55.85

Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)



Μαύρα στοιχεία: Ότι πραγματικά τροφοδοτήθηκε – εξήλθε από τον αντιδραστήρα

Κόκκινα στοιχεία: Πληροφοριακά στοιχεία

Ισοζύγια Μάζας (με Χημική αντίδραση)

$$\text{Περίσσεια Sb}_2\text{S}_3 = \frac{(1766-1492)}{1492} = 0.184 \text{ ή } 18.4\%$$

$$\text{Βαθμός μετατρ. αντίδρ. (ΠΑ, Fe} \rightarrow \text{Sb)} = f = \frac{\text{mol}_{\text{reacted}}}{\text{mol}_{\text{fed}}} = \frac{2463}{4476} = 0.550$$

$$\text{Βαθμός μετατροπής (Sb}_2\text{S}_3 \rightarrow \text{Sb)} = f = \frac{\text{mol}_{\text{reacted}}}{\text{mol}_{\text{fed}}} = \frac{821}{1766} = 0.465$$

Απόδοση

1) mol (ή kg) Sb προς mol Sb_2S_3 που τροφοδοτήθηκαν
 $1642/1766 = 0.93 \text{ mol Sb / mol Sb}_2\text{S}_3$
 $(1642 \cdot 121.8)/(1766 \cdot 339.7) = 0.333 \text{ kg Sb / kg Sb}_2\text{S}_3$

2) mol (ή kg) Sb προς mol Sb_2S_3 που καταναλώθηκαν
 $1642/821 = 2.0 \text{ mol Sb / mol Sb}_2\text{S}_3$
 $(1642 \cdot 121.8)/(821 \cdot 339.7) = 0.717 \text{ kg Sb / kg Sb}_2\text{S}_3$

Εκλεκτικότητα = mol Sb προς mol FeS = $1642 \text{ mol Sb} / 2463 \text{ mol FeS} = 0.666 \text{ mole Sb / mole FeS}$