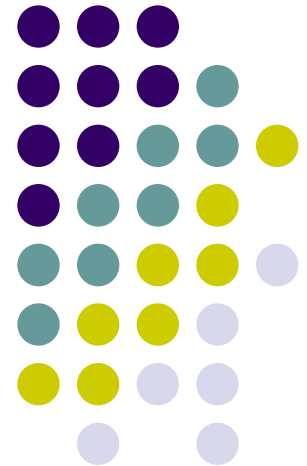


# Συστήματα Βιομηχανικών Διεργασιών

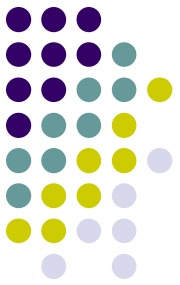
6ο εξάμηνο

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης  
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης

5<sup>ο</sup> μάθημα



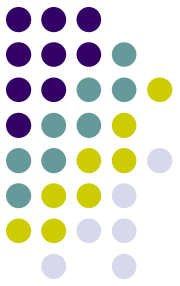
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10



## ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΥΝ ΧΗΜΙΚΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ

**Κεφ. 5. Ισοζύγια Μάζας που περιλαμβάνουν αντίδραση  
Παράγραφοι 5.3, 5.4, 5.5**

# Διεργασίες που περιλαμβάνουν μια απλή αντίδραση



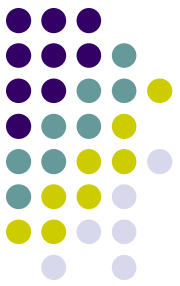
$$\frac{\text{είσοδος}}{\text{μονάδα χρόνου}} = \frac{\text{έξοδος}}{\text{μονάδα χρόνου}}$$

$$\frac{\text{συσσώρευση}}{\text{μονάδα χρόνου}} = \frac{\text{είσοδος}}{\text{μονάδα χρόνου}} - \frac{\text{έξοδος}}{\text{μονάδα χρόνου}}$$

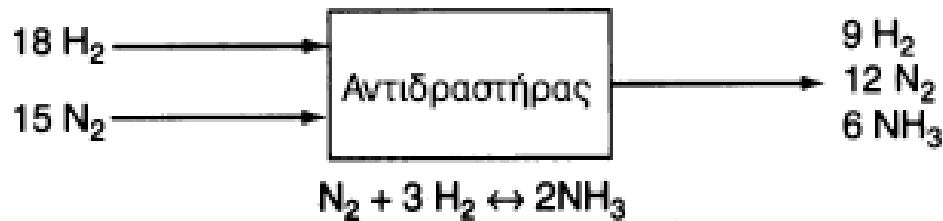
$$\left\{ \begin{array}{l} \text{συσσώ-} \\ \text{ρευση} \\ \text{στο} \\ \text{σύστημα} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{είσοδος δια} \\ \text{μέσου των} \\ \text{ορίων του} \\ \text{συστήματος} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{έξοδος δια} \\ \text{μέσου των} \\ \text{ορίων του} \\ \text{συστήματος} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{παραγωγή} \\ \text{μέσα} \\ \text{στο} \\ \text{σύστημα} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{κατανάλωση} \\ \text{μέσα} \\ \text{στο} \\ \text{σύστημα} \end{array} \right\}$$

# Ισοζύγια μάζας χημικών ειδών

## Διεργασίες που περιλαμβάνουν μια απλή αντίδραση

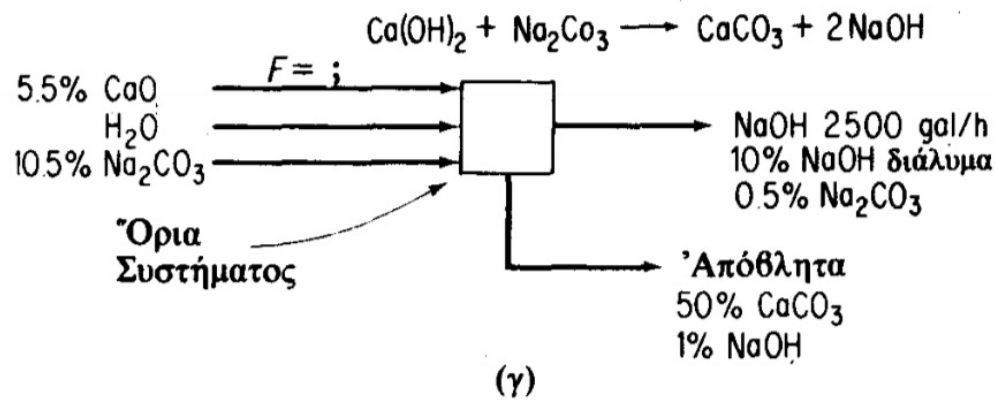
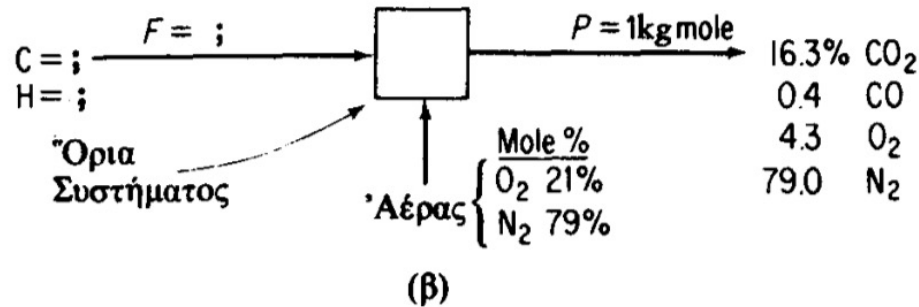
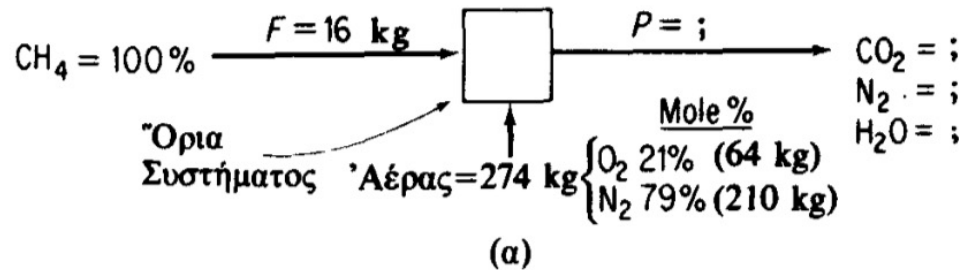


$$\left\{ \begin{array}{l} \text{moles} \\ \text{του } i \text{ σε} \\ \text{χρόνο} \\ t_2 \text{ στο} \\ \text{σύστη-} \\ \text{μα} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{moles} \\ \text{του } i \text{ σε} \\ \text{χρόνο} \\ t_1 \text{ στο} \\ \text{σύστη-} \\ \text{μα} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{moles του } i \\ \text{που απομα-} \\ \text{κρύνονται από} \\ \text{το σύστημα} \\ \text{μεταξύ } t_2 \\ \text{και } t_1 \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{moles του } i \\ \text{που απομα-} \\ \text{κρύνονται από} \\ \text{το σύστημα} \\ \text{μεταξύ } t_2 \\ \text{και } t_1 \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{moles του } i \\ \text{που σχηματί-} \\ \text{ζονται από} \\ \text{την αντίδρα-} \\ \text{ση μεταξύ } t_2 \\ \text{και } t_1 \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{moles του } i \\ \text{που κατανα-} \\ \text{λώνονται} \\ \text{στην αντίδρα-} \\ \text{ση μεταξύ} \\ t_2 \text{ και } t_1 \end{array} \right\}$$



NH <sub>3</sub> (σχηματισμός)	:	6 - 0 = 6 g mol
H <sub>2</sub> (κατανάλωση)	:	9 - 18 = -9 g mol
N <sub>2</sub> (κατανάλωση)	:	12 - 15 = -3 g mol

Τυπικά  
προβλήματα  
ισοζυγίων μάζας  
με  
χημική αντίδραση

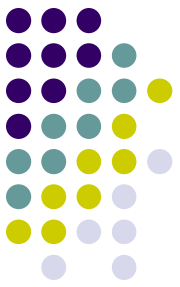


Παράμετροι			
Γνωστές		Άγνωστες	
Μάζα	Σύστ.	Μάζα	Σύστ.
2	8 <sup>†</sup>	1	3 <sup>*</sup>
1	9 <sup>†</sup>	2	2 <sup>*</sup>
1	δλα	2	0

\* Τό ποσοστό του τρίτου συστατικού υπολογίζεται από τη διαφορά.

† Συστατικά που δεν αναφέρονται, βρίσκονται σε περιεκτικότητα 0%.

# Στρατηγική λύσης προβλημάτων ισοζυγίων υλικών



1. Να σχεδιασθεί ένα διάγραμμα της διεργασίας
2. Να σημειωθούν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα στο σχήμα
3. Να προσδιορισθεί ποιες συστάσεις είναι γνωστές ή μπορούν να υπολογισθούν αμέσως για κάθε ρεύμα
4. Να εντοπισθεί ποιες μάζες είναι γνωστές ή μπορούν εύκολα να βρεθούν για κάθε ρεύμα (μία μάζα μπορεί να ληφθεί σαν βάση)
5. Να εκλεγεί μία κατάλληλη βάση αναφοράς για τούς υπολογισμούς. Κάθε πρόσθεση ή αφαίρεση πρέπει πάντοτε να γίνεται με το υλικό αναφερόμενο στην ίδια βάση
6. Να επιβεβαιωθεί ότι το σύστημα είναι πλήρως καθορισμένο

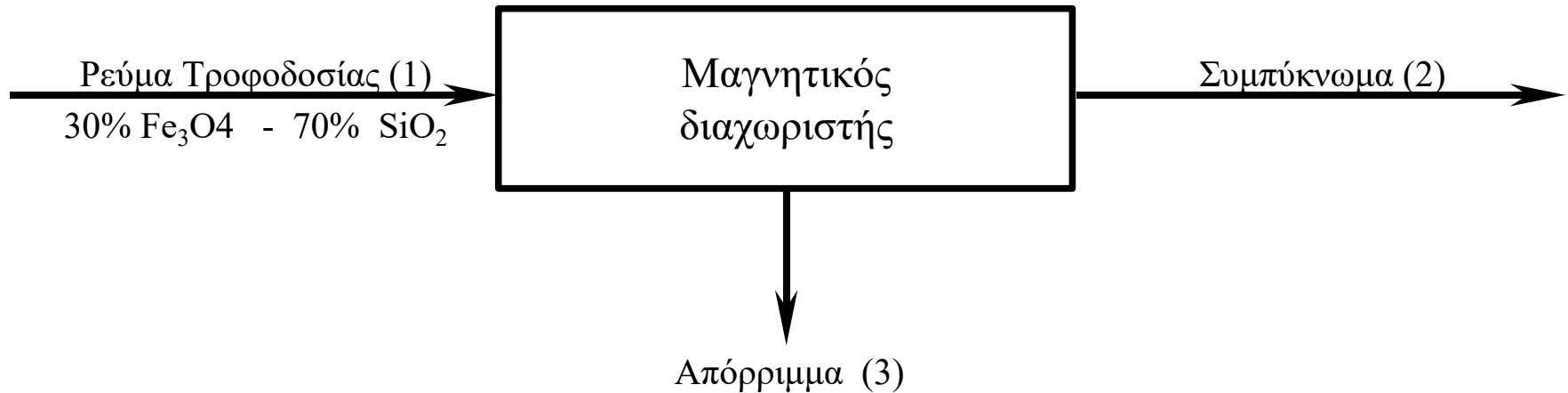
Αφού γίνουν όλα αυτά, μπορούν να καταστρωθούν οι απαραίτητες εξισώσεις των ισοζυγίων υλικών:

- (α) Ένα ολικό ισοζύγιο μάζας
- (β) Ένα ισοζύγιο μάζας για κάθε συστατικό του συστήματος

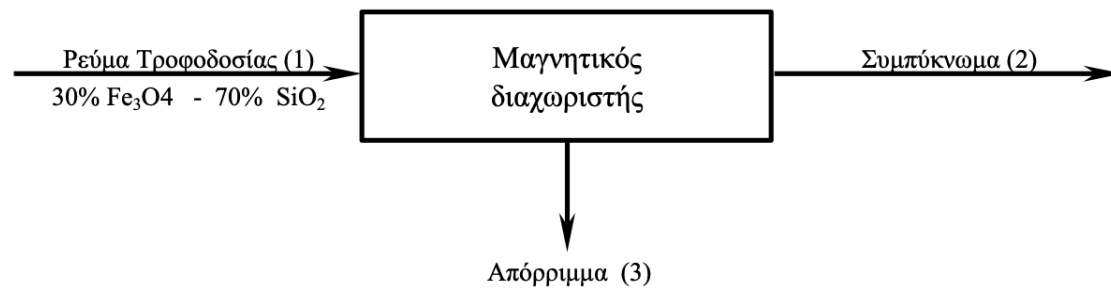


# Παράδειγμα (διαχωρισμός)

Μετάλλευμα που περιέχει  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  και  $\text{SiO}_2$  διαχωρίζεται με μαγνητικό διαχωριστή σε δύο ρεύματα: στο συμπύκνωμα του μαγνητίτη ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) και στα στείρα. Πόσες ανεξάρτητα ισοζύγια μάζας μπορούν να γραφούν;



# Λύση



Στο σύστημα περιέχονται τρία στοιχεία: Fe, Si και O. Όμως η συγκέντρωση των τριών αυτών στοιχείων δεν είναι ανεξάρτητη, επειδή συγκεκριμένη ποσότητα οξυγόνου συνδέεται με τον Fe και το Si.

Άρα, για το συγκεκριμένο σύστημα μπορούν να γραφούν μόνο δύο ανεξάρτητα ισοζύγια (του Fe και του Si ή του  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  και του  $\text{SiO}_2$ ). Επιπρόσθετα βέβαια, μπορεί να γραφεί το ολικό ισοζύγιο μάζας:

$$W_1 = W_2 + W_3$$

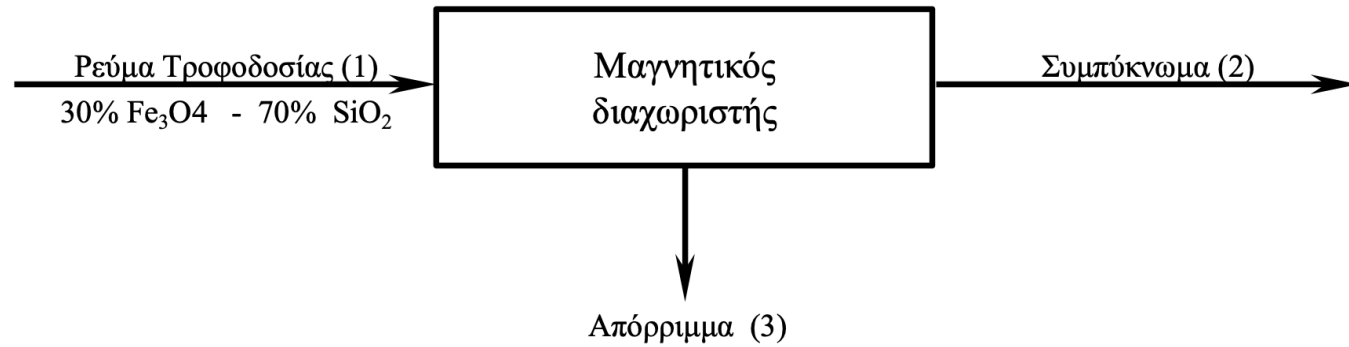
Το ποιο ισοζύγιο θα επιλεγεί εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα άλλων δεδομένων.

Για παράδειγμα, αν το ισοζύγιο γίνεται κατά το στάδιο σχεδιασμού τότε συνήθως η ανάλυση των ρευμάτων δεν είναι διαθέσιμη ενώ αντίθετα είναι γνωστός ο συντελεστής διαχωρισμού π.χ. 90% του  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  που βρίσκεται στο ρεύμα τροφοδοσίας καταλήγει στο συμπύκνωμα.

Αν η σύσταση του ρεύματος τροφοδοσίας είναι γνωστή, π.χ. 30%  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  και η παροχή του ρεύματος τροφοδοσίας είναι 1000 kg/h, τότε τα διαθέσιμα στοιχεία παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:



# Λύση (συνέχεια)



Δεδομένα	Ρεύμα		
	(1)	(2)	(3)
Μάζα ρευμάτων	X	-	-
Μάζα Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	X	X	X
Μάζα SiO <sub>2</sub>	X	-	-

Όπως προαναφέρθηκε στο σύστημα μπορούν να γραφούν μόνο δύο ανεξάρτητα ισοζύγια μάζας:

Ολικό ισοζύγιο:  $1000 = W_2 + W_3$

Ισοζύγιο Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> :  $[(0.3)(1000)]_1 = [(0.9)(0.3)(1000)]_2 + [(0.1)(0.3)(1000)]_3$

$$300 = 270 + 30$$

ή  $W_2 = 270 + W_{SiO_2,2}$  στο ρεύμα (2)

και  $W_3 = 30 + W_{SiO_2,3}$  στο ρεύμα (3)

# Λύση (συνέχεια)

$$\text{Ολικό ισοζύγιο:} \quad 1000 = W_2 + W_3$$

$$\text{Ισοζύγιο Fe}_3\text{O}_4 : [(0.3)(1000)]_1 = [(0.9)(0.3)(1000)]_2 + [(0.1)(0.3)(1000)]_3$$

$$300 = 270 + 30$$

$$\text{ή} \quad W_2 = 270 + W_{\text{SiO}_2,2} \quad \text{στο ρεύμα (2)}$$

$$\text{και} \quad W_3 = 30 + W_{\text{SiO}_2,3} \quad \text{στο ρεύμα (3)}$$

Με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα, δεν μπορεί να επιλυθεί το σύστημα.

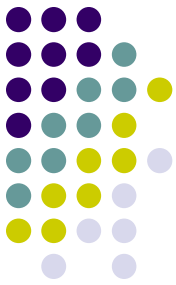
Μπορεί επίσης να γραφεί το ισοζύγιο του  $\text{SiO}_2$ , αλλά και πάλι δεν μπορεί να επιλυθεί το σύστημα.

Αν υποθεθεί ότι είναι γνωστή η σύσταση του ρεύματος (2) πχ. περιέχει 20%  $\text{SiO}_2$ , τότε μπορεί να επιλυθεί το σύστημα:

$$W_2 = 270 / 0.8 = 337.5 \text{ kg}$$

$$W_3 = 1000 - 337.5 = 662.5 \text{ kg}$$

$$\text{και} \quad W_{\text{SiO}_2,2} = 67.5 \text{ kg}, \quad W_{\text{SiO}_2,3} = 632.5 \text{ kg}.$$



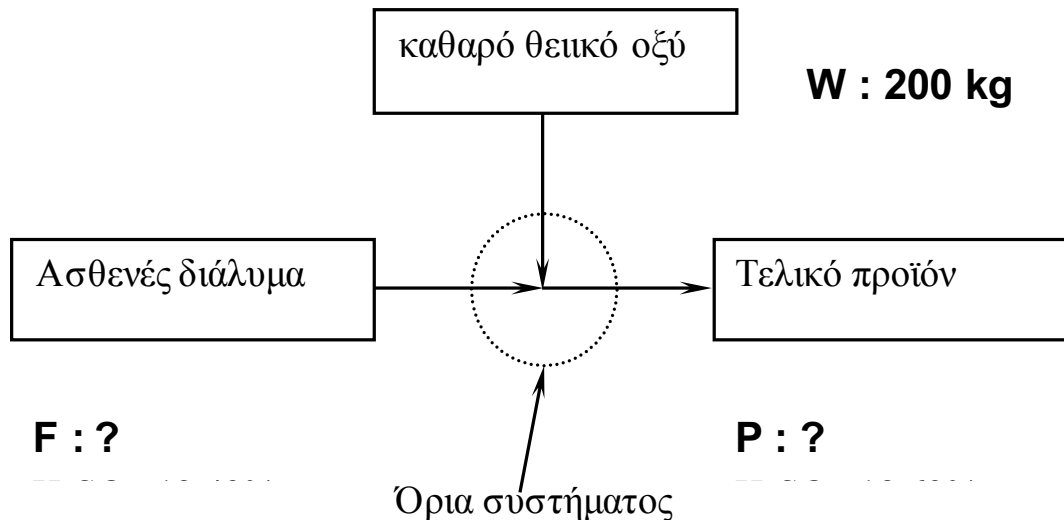
# Παράδειγμα (ανάμιξη)



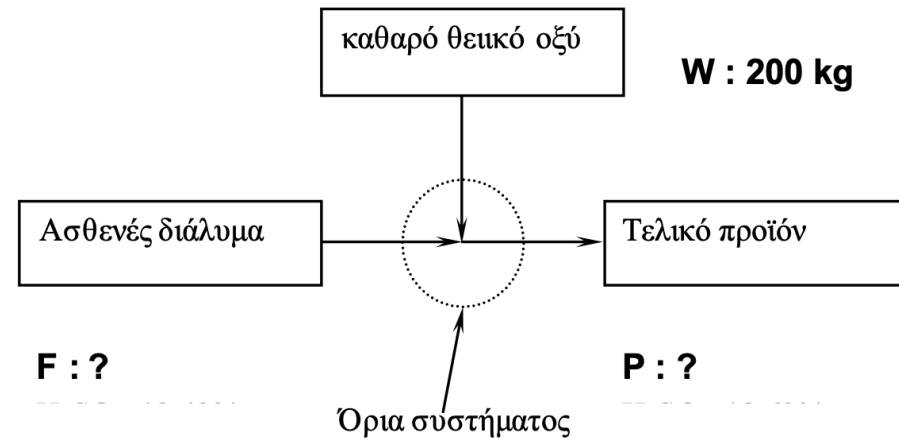
Φορτισμένες μπαταρίες που αποθηκεύονται σε ξηρή κατάσταση μπορούν να ενεργοποιηθούν με προσθήκη αραιού θεικού οξέος. Ζητείται η παρασκευή μιας ποσότητας οξέος ως εξής:

Ένα δοχείο με παλιό ασθενές διάλυμα οξέος μπαταρίας ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) περιέχει 12.43 %  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (το υπόλοιπο είναι καθαρό  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Αν 200 kg θεικού οξέος περιεκτικότητας 77% σε  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , προστεθούν στο δοχείο και το τελικό διάλυμα περιέχει 18.63%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , πόσα kg οξέος μπαταρίας θα έχουν παραχθεί;



# Λύση



Ρεύματα : 3  
Συστατικά : 2 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  και νερό)

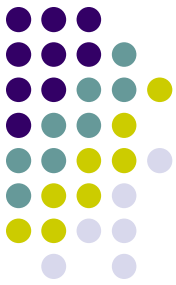
Επομένως μπορούν να γραφούν δύο μόνο ανεξάρτητα ισοζύγια. Με δεδομένο ότι είναι γνωστές όλες οι συστάσεις, υπάρχουν δύο άγνωστοι στο σύστημα: η μάζα των ρευμάτων F και P. Επομένως, το σύστημα μπορεί να επιλυθεί.

Βάση : 200 kg διαλύματος καθαρού θειϊκού οξέος

Ισοζύγια:

<u>Ολικό:</u>	$F + 200 = P$
<u>Θειϊκού οξέος</u>	$F (0.1243) + 200 (0.777) = P (0.1863)$

Από τα οποία προκύπτει:  $P = 2110$  kg οξέος και  $F = 1910$  kg οξέος.

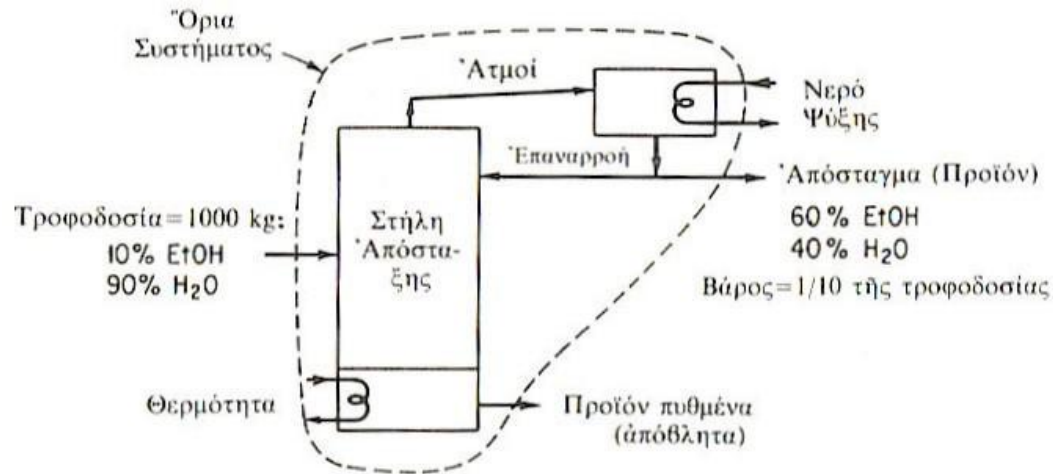


**Παράδειγμα. Απόσταξη**

Ένας λαθρέμπορος ποτών έχει πρόβλημα με την αποστακτική του στήλη που η λειτουργία της φαίνεται στο Σχήμα.

Συγκεκριμένα, παρατήρησε ότι χάνει πολύ αλκοόλη στο άχρηστο υπόλειμμα του πυθμένα.

- Υπολογίστε :
1. τη σύσταση του υπολείμματος,
  2. το βάρος της αλκοόλης στο υπόλειμμα του πυθμένα



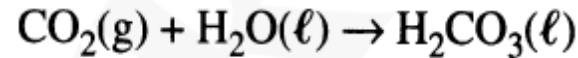
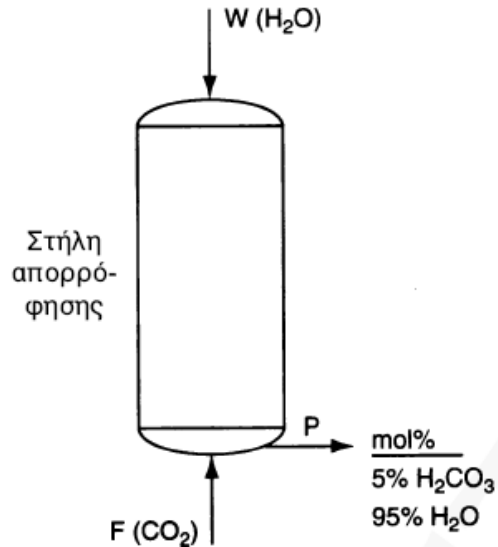
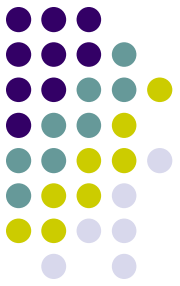
**Βάση : 1000 kg τροφοδοσίας**

		εἴσοδος			ἐξοδος	
		Συστατικό	% κ.θ.	kg	Ἀπόσταγμα (kg)	Υπόλειμμα (kg) (μέ ἀφαίρεση)
ἰσοζύγιο μάζας	{	EtOH	10	100	60	40 *
		H <sub>2</sub> O	90	900	40	860
		Σύνολο	100	1000	100	900

\* Χαμένη αλκοόλη

# Στοιχειακά ισοζύγια μάζας

(ισοζύγια μάζας με τη χρήση χημικών στοιχείων)



$$C : W (0) + F (1) = 0.05 P (1)$$

$$H : W (2) + F (0) = [0.05 (2) + 0.95 (2)]P = 2P$$

$$O : W (1) + F (2) = [0.05 (3) + 0.95 (1)]P = 1.10P$$

Σχηματικό διάγραμμα στήλη απορρόφησης  $CO_2$   
3 άγνωστοι (W, F, P)

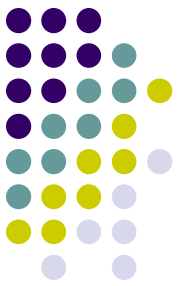
3 χημικά στοιχεία (C, H, O)

Τα 3 στοιχειακά ισοζύγια δεν είναι ανεξάρτητα

(γιατί το  $H_2CO_3$  προκύπτει σαν  $H_2O + CO_2$  στο οποίο οι ακριβείς αναλογίες H/O και C/O αποτρέπουν την ανεξαρτησία του ισοζυγίου του O από τα ισοζύγια των H και C)

# Στοιχειακά ισοζύγια μάζας

## (ισοζύγια μάζας με τη χρήση χημικών στοιχείων)



---

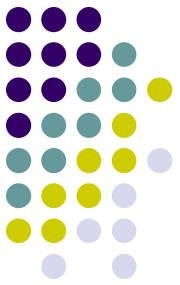
---

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10.6 Χρήση των Στοιχειακών Ισοζυγίων κατά την Επίλυση ενός Προβλήματος Καταλυτικής Πυρόλυσης Πετρελαίου

Η καταλυτική πυρόλυση πετρελαίου, είναι πολύ σημαντική και χρησιμοποιείται κατά την μετατροπή βαρέων κλασμάτων χαμηλής αξίας σε χαμηλότερου μοριακού βάρους υδρογονάνθρακες μεγαλύτερης αξίας. Πραγματοποιείται με υδρογόνωση της τροφοδοσίας, παρουσία ζεόλιθου σαν καταλύτη σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Ερευνητές που ασχολούνται με το πεδίο αυτό μελετούν την διάσπαση με τη μέθοδο αυτή καθαρών συστατικών όπως το οκτάνιο ( $C_8H_{18}$ ), ώστε να κατανοήσουν την συμπεριφορά των αντιδράσεων πυρόλυσης. Σε ένα τέτοιο πείραμα για το οκτάνιο, τα προϊόντα είχαν την εξής σύσταση σε mole %:  $C_3H_8$  19.5 %,  $C_4H_{10}$  59.4 % και  $C_5H_{12}$  21.1 %. Σας ζητείται να υπολογίσετε την γραμμομοριακή αναλογία του υδρογόνου που καταναλώθηκε προς το οκτάνιο που αντέδρασε για την διεργασία αυτή.

# Στοιχειακά ισοζύγια μάζας

(ισοζύγια μάζας με τη χρήση χημικών στοιχείων)



F ( $C_8H_{18}$ )

G ( $H_2$ )

Βάση:  $P = 100 \text{ g mol}$

Τα στοιχειακά ισοζύγια μετά από την εισαγωγή των προδιαγραφών και της βάσης είναι:

$$C: F(8) + G(0) = 100[(0.195)(3) + (0.594)(4) + (0.211)(5)]$$

$$H: F(18) + G(2) = 100[(0.195)(8) + (0.594)(10) + (0.211)(12)]$$

Προϊόν P  
19.5%  $C_3H_8$   
59.4%  $C_4H_{10}$   
21.1%  $C_5H_{12}$

Και η λύση είναι

$$F = 50.2 \text{ g mol} \quad G = 49.8 \text{ g mol}$$

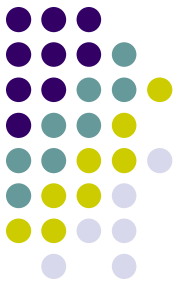
Η αναλογία

$$\frac{H_2 \text{ που καταναλώθηκε}}{C_8H_{18} \text{ που αντέδρασε}} = \frac{49.8 \text{ g mol}}{50.2 \text{ g mol}} = 0.992 = 0.992$$

Εργαστηριακός  
αντιδραστήρας

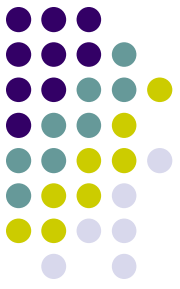


# Ισοζύγια μάζας που περιλαμβάνουν καύση

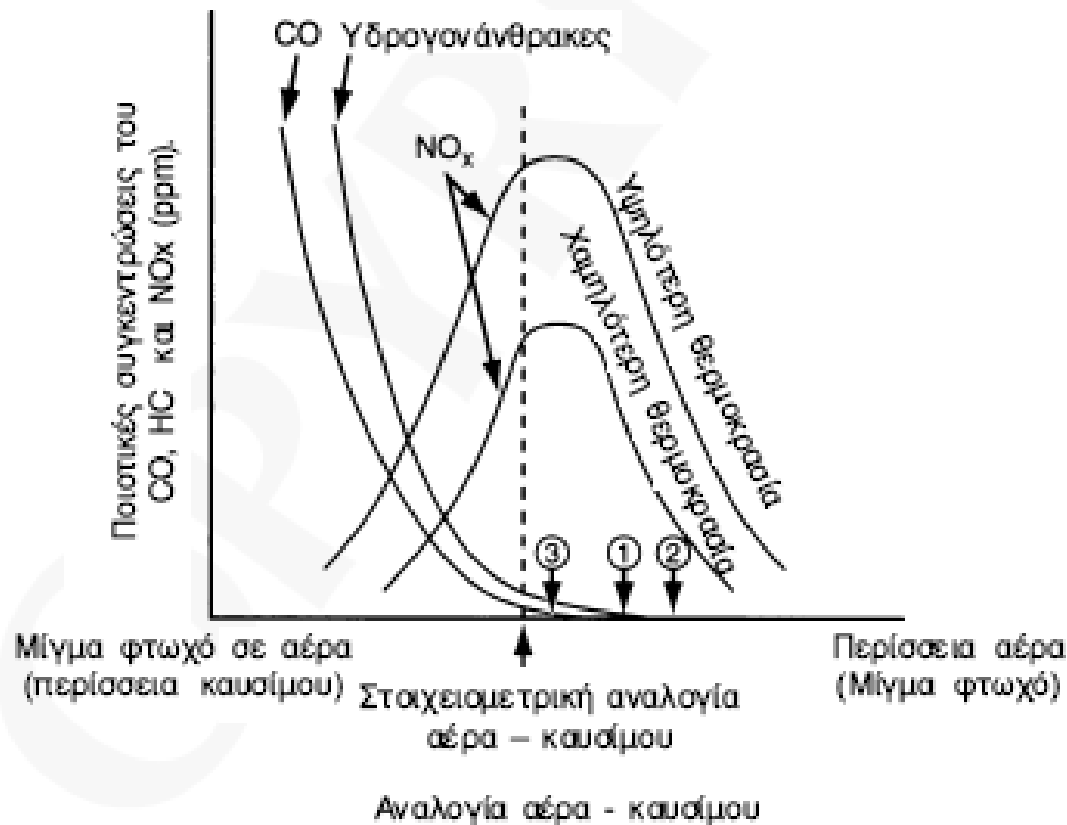
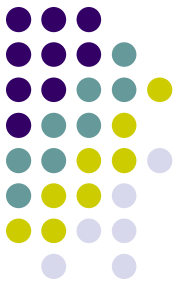


**Σχήμα.** Καύση κάρβουνου, πετρελαίου, φυσικού αερίου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς.

# Ισοζύγια μάζας που περιλαμβάνουν καύση



- Καύση: αντίδραση μιας ένωσης με το  $O_2$
- Αποτέλεσμα: Έκλυση ενέργειας και σχηματισμός αέριων προϊόντων ( $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $SO_2$ )
- Αέρας: 79%  $N_2$ , 21%  $O_2$ ,  $MB = 29$



**Σχήμα 10.3** Οι ρυπαντές που προκύπτουν από την καύση, μεταβάλλονται ανάλογα με την αναλογία αέρα / καυσίμου και την θερμοκρασία της καύσης. Το καύσιμο είναι το φυσικό αέριο. Οι υδρογονάνθρακες και το CO αυξάνουν με ελάττωση της περιεκτικότητας αέρα. Η απόδοση ελαττώνεται με μεγάλη περίσσεια αέρα, αλλά το ίδιο συμβαίνει και με τα NO<sub>x</sub>. (1) Κανονική κατάσταση λειτουργίας. (2) Κατάσταση λειτουργίας που καθορίζεται από τα όρια των NO<sub>x</sub>. (3) Ελάχιστη περίσσεια O<sub>2</sub> για την παραγωγή CO.

# Ισοζύγια μάζας που περιλαμβάνουν καύση



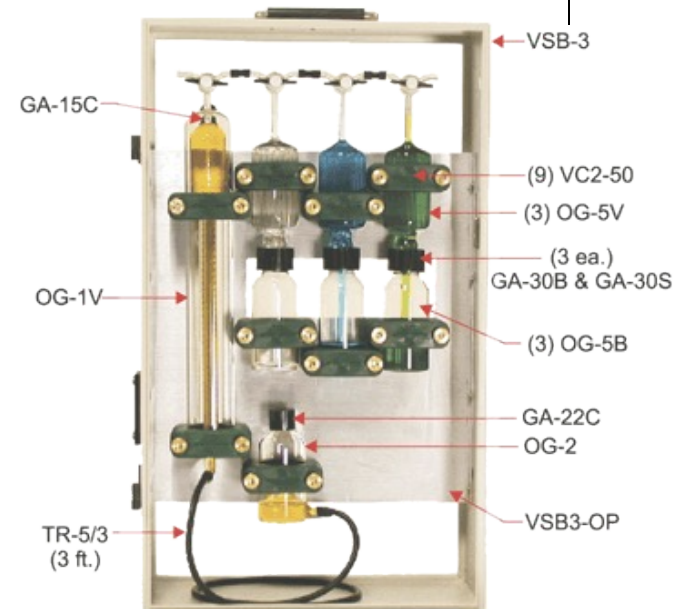
Πίνακας. Σύγκριση διαφόρων διεργασιών καύσης ως προς τις εκπομπές ρύπων

Ρύπος	Ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί (g/kg καυσίμου)			Καύση απορριμμάτων (g/kg απορρίμματος)		Μη-ελεγχόμενες εκπομπές αυτοκινήτων (g/kg καυσ.)	
	στερεά καύσιμα	υγρά καύσιμα	αέρια καύσιμα	ελεύθερη καύση	κλειστή καύση	βενζίνη	πετρέλαιο
CO	0	0	0	50	0	165	0
SO <sub>2</sub>	20xS*	20xS	16xS	1.5	1.0	0.8	7.5
NO <sub>2</sub>	0.43	0.68	0.16	2.0	1.0	16.5	16.5
αλδεΐδες κετόνες	0	0.003	0.001	3.0	0.5	0.8	1.6
ολικοί HC	0.43	0.05	0.005	7.5	0.5	33.0	30.0
σωματίδια	75xΣ*	2.8xΣ	0	11	11	0.05	18.0

\* S= % περιεκτικότητα θείου στο καύσιμο, και  
Σ=% περιεκτικότητα στάχτης στο καύσιμο.

# Ορολογία καύσης

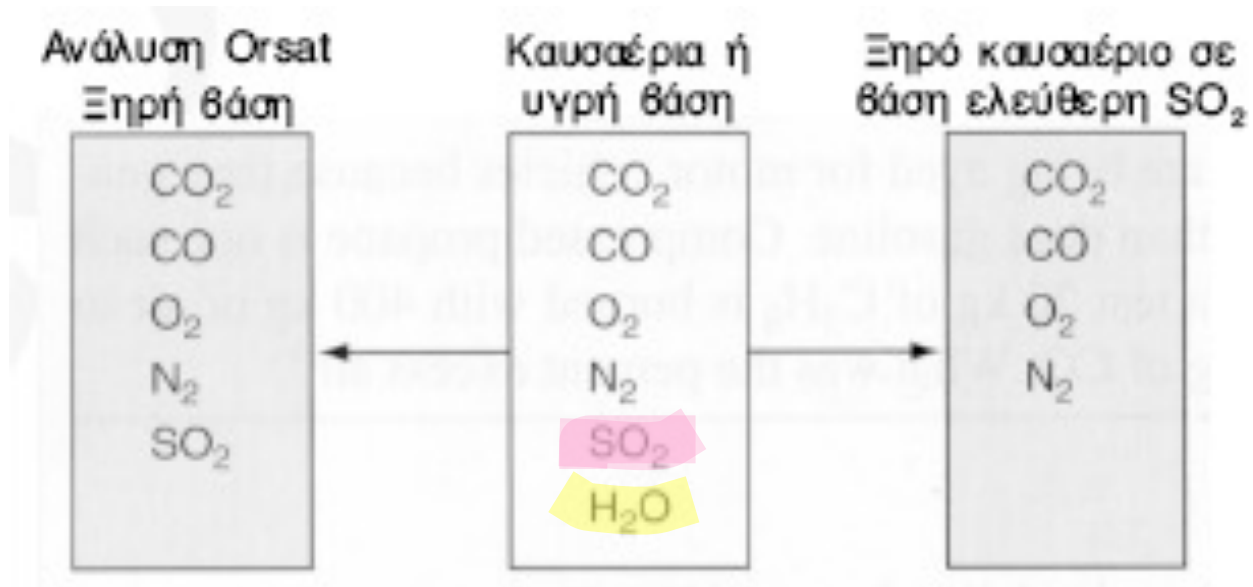
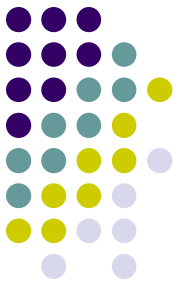
- Καυσαέρια (υγρή/ξηρή βάση)
- Ανάλυση Orsat ή σε ξηρή βάση
- Πλήρης ( $\text{CO}_2$ ) / Μερική καύση ( $\text{CO}$ )
- Θεωρητικός αέρας (οξυγόνο)
- Περίσσεια αέρα (οξυγόνου)

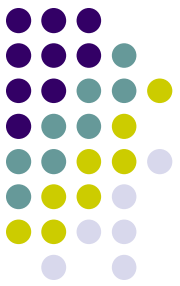


## Βασική Υπόθεση:

Το ποσό περίσσειας αέρα που υπολογίζεται δεν εξαρτάται από την ποσότητα του υλικού που καίγεται αλλά **από την ποσότητα που μπορεί να καεί**

# Σύγκριση της ανάλυσης αερίων σε διαφορετικές βάσεις





# Περίσσεια αέρα

$$\% \text{ περίσσεια αέρα} = 100 \frac{\cancel{O_2} \text{ περίσσεια αέρα}}{\cancel{O_2} \text{ που απαιτείται}} = 100 \frac{\text{περίσσεια } O_2 / 0.21}{\text{απαιτούμενο } O_2 / 0.21}$$

$$\% \text{ περίσσεια αέρα} = 100 \frac{O_2 \text{ που εισέρχεται στην διεργασία} - O_2 \text{ που απαιτείται}}{O_2 \text{ που απαιτείται}}$$

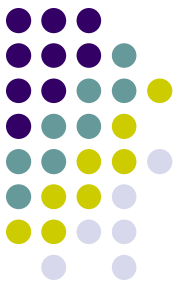
$$\% \text{ περίσσεια αέρα} = \frac{100 \text{ περίσσεια } O_2}{\text{εισεχόμενο } O_2 - \text{περίσσεια } O_2}$$



## Τυπικές τιμές περίσσειας αέρα για κοινά καύσιμα

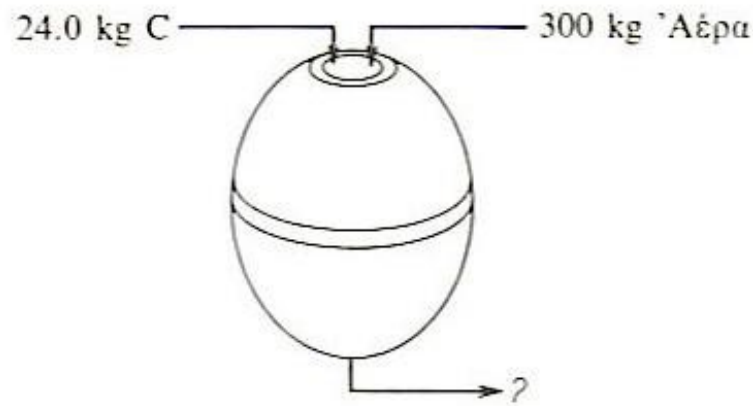
Fuel	Excess of Air (%)
Anthracite	40
Coke oven gas	5 - 10
Natural Gas	5 - 10
Coal, pulverized	15 - 20
Coal, stoker	20 - 30
Oil (No. 2 and No. 6)	10 to 20





## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ      Ίσοζύγια μάζας

- (α) Ἐάν 300 kg ἀέρα καί 24.0 kg ἄνθρακα εἰσέρχονται σ' ἓναν ἀντιδραστήρα (βλέπε Σχῆμα)      στούς 315 °C καί μετὰ ἀπό πλήρη καύση δέν παραμένει καθόλου ὑλικό στόν ἀντιδραστήρα, πόσα kg ἄνθρακα θά ἐξέλθουν; Πόσα kg ὀξυγόνου; Πόσα kg συνολικά;
- (β) Πόσα mole ἄνθρακα καί ὀξυγόνου εἰσέρχονται; Πόσα ἐξέρχονται ἀπό τόν ἀντιδραστήρα :
- (γ) Πόσα mole εἰσέρχονται συνολικά στόν ἀντιδραστήρα καί πόσα ἐξέρχονται ἀπ' αὐτόν :





## ΛΥΣΗ

Ισχύει  $\rightarrow$  Μάζα αντιδρώντων = Μάζα προϊόντων

Δεν ισχύει  $\rightarrow$  Moles αντιδρώντων  $\neq$  Moles προϊόντων

$$\frac{300 \text{ kg αέρα}}{29 \text{ kg αέρα}} \left| \frac{1 \text{ Kg-mole αέρα}}{100 \text{ kg-mole αέρα}} \right| = 2,18 \text{ kg-mole O}_2$$

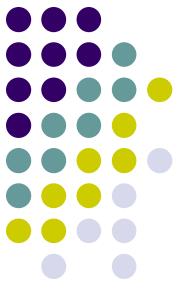
$$\frac{24 \text{ kg C}}{12 \text{ kg C}} \left| \frac{1 \text{ Kg-mole C}}{12 \text{ kg C}} \right| = 2,00 \text{ kg-mole C}$$

$2,18 - 2,00 = 0,18 \text{ kg-mole O}_2$  που δεν χρησιμοποιήθηκαν και εξέρχονται

$$\frac{230 \text{ kg N}_2}{28,2 \text{ kg N}_2} \left| \frac{1 \text{ Kg-mole N}_2}{28,2 \text{ kg N}_2} \right| = 8,20 \text{ kg-mole N}_2$$

Συνοψίζοντας :

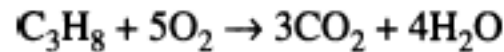
Στοιχείο/ Συστατικό	Είσοδος		Στοιχείο/ Συστατικό	Έξοδος	
	Kg	Kg-moles		Kg	Kg-moles
<b>O<sub>2</sub></b>	70	2,18	<b>O<sub>2</sub></b>	6	0.18
<b>N<sub>2</sub></b>	230	8,20	<b>N<sub>2</sub></b>	230	8.20
<b>C</b>	24	2,00	<b>CO<sub>2</sub></b>	88	2.00
<b>Total</b>	324	12,38	<b>Total</b>	324	10.38



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10.7 Περίσσεια Αέρα

Η χρήση καυσίμων εκτός της βενζίνης στα οχήματα, φαίνεται να είναι προτιμότερη επειδή προκαλούν τον σχηματισμό αέριων ρύπων σε χαμηλότερα επίπεδα. Το συμπιεσμένο προπάνιο είναι ένα τέτοιο καύσιμο. Έστω ότι σε μία δοκιμή 20 Kg  $C_3H_8$  καίγονται με 400 kg αέρα με αποτέλεσμα τον σχηματισμό 44 kg  $CO_2$  και 12 Kg  $CO$ . Πόσο ήταν το ποσοστό της περίσσειας αέρα;

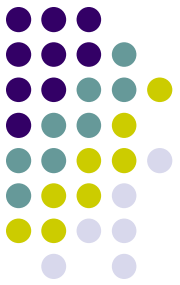
## Λύση



Βάση: 20 kg  ~~$CO_2$~~   $C_3H_8$

Αφού το ποσοστό της περίσσειας αέρα βασίζεται στην *πλήρη καύση* του  $C_3H_8$  προς  $CO_2$  και  $H_2O$ , το γεγονός ότι η καύση δεν είναι πλήρης δεν έχει καμία επίδραση στον υπολογισμό της “περίσσειας αέρα”. Το απαιτούμενο  $O_2$  είναι:

# Λύση (συνέχεια)



$$\frac{20 \text{ kg C}_3\text{H}_8}{1} \left| \frac{1 \text{ kg mol C}_3\text{H}_8}{44.09 \text{ kg C}_3\text{H}_8} \right| \frac{5 \text{ kg mol O}_2}{1 \text{ kg mol C}_3\text{H}_8} = 2.27 \text{ kg mol O}_2$$

Το  $\text{O}_2$  που εισάγεται είναι:

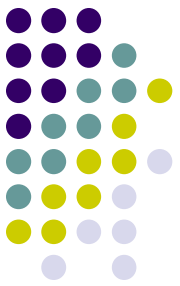
$$\frac{400 \text{ kg αέρα}}{1} \left| \frac{1 \text{ kg mol αέρα}}{29 \text{ kg αέρα}} \right| \frac{21 \text{ kg mol O}_2}{100 \text{ kg mol αέρα}} = 2.90 \text{ kg mol O}_2$$

Το ποσοστό της περίσσειας αέρα είναι:

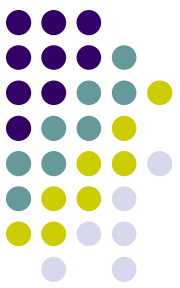
$$100 \times \text{O}_2 \text{ περίσσεια αέρα} = 100 \times \frac{\text{O}_2 \text{ που εισέρχεται στην διεργασία} - \text{O}_2 \text{ που απαιτείται}}{\text{O}_2 \text{ που απαιτείται}}$$

$$\% \text{ περίσσεια αέρα} = \frac{2.90 \text{ lb mol O}_2 - 2.27 \text{ lb mol O}_2}{2.27 \text{ lb mol O}_2} \left| \frac{100}{1} \right| = 28\%$$

# Τι γίνεται όταν ... ;

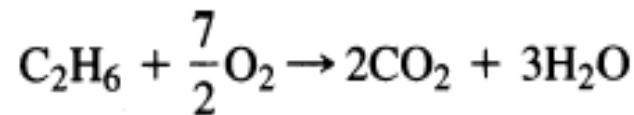


Κατά τον υπολογισμό της ποσότητας της περίσσειας του αέρα, να θυμάστε ότι η περίσσεια είναι η ποσότητα του αέρα που εισάγεται στην διεργασία της καύσης που είναι μεγαλύτερη από αυτήν που απαιτείται για πλήρη καύση. Έστω ότι υπάρχει κάποια ποσότητα οξυγόνου στο υλικό που καίγεται. Για παράδειγμα, έστω ότι ένα αέριο που περιέχει 80 %  $C_2H_6$  και 20 %  $O_2$  καίγεται σε μία μηχανή με περίσσεια αέρα 200 %. Το 80 % του αιθανίου μετατρέπεται σε  $CO_2$ , 10 % σε  $CO$  και το 10 % παραμένει άκαυστο. Ποιο είναι το ποσό της περίσσειας αέρα ανά 100 moles αερίου;



## Τι γίνεται όταν ... ;

Αρχικά, μπορείτε να αγνοήσετε τις πληροφορίες για το CO και το άκαυστο αιθάνιο γιατί η βάση του υπολογισμού της περισσειας αέρα είναι η *πλήρης καύση*. Συγκεκριμένα ο C μετατρέπεται σε CO<sub>2</sub>, το S σε SO<sub>2</sub>, το H<sub>2</sub> σε H<sub>2</sub>O, το CO σε CO<sub>2</sub> κ.τ.λ. Το οξυγόνο όμως που υπάρχει στο καύσιμο δεν μπορεί να αγνοηθεί. Σύμφωνα με την αντίδραση



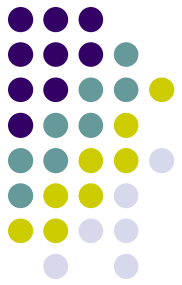
80 moles C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> απαιτούν 3.5(80) = 280 moles O<sub>2</sub> για πλήρη καύση. Ωστόσο, το αέριο περιέχει 20 moles O<sub>2</sub>, έτσι ώστε μόνο 280 – 20 = 260 moles O<sub>2</sub> του εισερχόμενου αέρα, να απαιτούνται για πλήρη καύση. Έτσι, το απαιτούμενο O<sub>2</sub> είναι 260 moles, και ο υπολογισμός της περισσειας 200 % του O<sub>2</sub> (αέρα) γίνεται με βάση τα 260 και όχι τα 280 moles του O<sub>2</sub>.

<u>Εισερχόμενα μαζί με τον αέρα</u>	<u>moles O<sub>2</sub></u>
Απαιτούμενο O <sub>2</sub> :	260
Περίσσεια O <sub>2</sub> (2)(260):	<u>520</u>
Ολικό O <sub>2</sub> (3)(260):	780

Ένα είδος συνθετικού καυσίμου που παράγεται από άνθρακα έχει την ακόλουθη σύσταση:

- CO<sub>2</sub>: 7,2%
- CO : 24,3%
- H<sub>2</sub> : 14,1%
- CH<sub>4</sub>: 3,5%
- N<sub>2</sub> : 50,9%

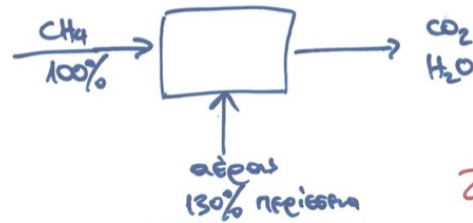
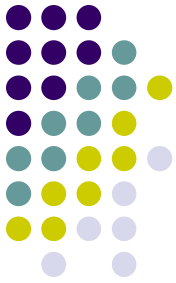
Υπολογίστε την απαραίτητη ποσότητα αέρα για την καύση 1 m<sup>3</sup> αυτού του συνθετικού καυσίμου με περίσσεια 150%.



②

<table border="0"> <tr><td>CO<sub>2</sub></td><td>0,072</td></tr> <tr><td>CO</td><td>0,243</td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub></td><td>0,141</td></tr> <tr><td>CH<sub>4</sub></td><td>0,035</td></tr> <tr><td>N<sub>2</sub></td><td>0,509</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: center;">1,000</td></tr> </table>	CO <sub>2</sub>	0,072	CO	0,243	H <sub>2</sub>	0,141	CH <sub>4</sub>	0,035	N <sub>2</sub>	0,509	1,000			<table border="0"> <tr><td>CO<sub>2</sub></td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub>O</td></tr> <tr><td>N<sub>2</sub></td></tr> <tr><td>O<sub>2</sub></td></tr> </table>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>																														
CO <sub>2</sub>	0,072																																															
CO	0,243																																															
H <sub>2</sub>	0,141																																															
CH <sub>4</sub>	0,035																																															
N <sub>2</sub>	0,509																																															
1,000																																																
CO <sub>2</sub>																																																
H <sub>2</sub> O																																																
N <sub>2</sub>																																																
O <sub>2</sub>																																																
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <table border="0"> <tr><td>O<sub>2</sub></td><td>0,21</td></tr> <tr><td>N<sub>2</sub></td><td>0,79</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: center;">1,00</td></tr> </table> </td> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <table border="0"> <tr><td>Ανάγκη mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td>CO + 1/2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub></td><td>12,15</td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub> + 1/2 O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</td><td>7,15</td></tr> <tr><td>CH<sub>4</sub> + 2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O</td><td>7,0</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">26,3 mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">125,2 mole αέρα</td></tr> </table> </td> </tr> </table>	<table border="0"> <tr><td>O<sub>2</sub></td><td>0,21</td></tr> <tr><td>N<sub>2</sub></td><td>0,79</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: center;">1,00</td></tr> </table>	O <sub>2</sub>	0,21	N <sub>2</sub>	0,79	1,00		<table border="0"> <tr><td>Ανάγκη mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td>CO + 1/2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub></td><td>12,15</td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub> + 1/2 O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</td><td>7,15</td></tr> <tr><td>CH<sub>4</sub> + 2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O</td><td>7,0</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">26,3 mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">125,2 mole αέρα</td></tr> </table>	Ανάγκη mole O <sub>2</sub>	CO + 1/2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	12,15	H <sub>2</sub> + 1/2 O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	7,15	CH <sub>4</sub> + 2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	7,0	26,3 mole O <sub>2</sub>		125,2 mole αέρα		<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <table border="0"> <tr><td>Συστατικό</td><td>m<sup>3</sup> / mole</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub></td><td>7,2</td></tr> <tr><td>CO</td><td>24,3</td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub></td><td>14,1</td></tr> <tr><td>CH<sub>4</sub></td><td>3,5</td></tr> <tr><td>N<sub>2</sub></td><td>50,9</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: center;">100,0</td></tr> </table> </td> <td style="width: 50%; text-align: center;"> <table border="0"> <tr><td>Αντίδραση</td><td>Αναγκαίον mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td>CO + 1/2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub></td><td>12,15</td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub> + 1/2 O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</td><td>7,15</td></tr> <tr><td>CH<sub>4</sub> + 2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O</td><td>7,0</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">26,3 mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">125,2 mole αέρα</td></tr> </table> </td> </tr> </table>	<table border="0"> <tr><td>Συστατικό</td><td>m<sup>3</sup> / mole</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub></td><td>7,2</td></tr> <tr><td>CO</td><td>24,3</td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub></td><td>14,1</td></tr> <tr><td>CH<sub>4</sub></td><td>3,5</td></tr> <tr><td>N<sub>2</sub></td><td>50,9</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: center;">100,0</td></tr> </table>	Συστατικό	m <sup>3</sup> / mole	CO <sub>2</sub>	7,2	CO	24,3	H <sub>2</sub>	14,1	CH <sub>4</sub>	3,5	N <sub>2</sub>	50,9	100,0		<table border="0"> <tr><td>Αντίδραση</td><td>Αναγκαίον mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td>CO + 1/2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub></td><td>12,15</td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub> + 1/2 O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</td><td>7,15</td></tr> <tr><td>CH<sub>4</sub> + 2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O</td><td>7,0</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">26,3 mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">125,2 mole αέρα</td></tr> </table>	Αντίδραση	Αναγκαίον mole O <sub>2</sub>	CO + 1/2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	12,15	H <sub>2</sub> + 1/2 O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	7,15	CH <sub>4</sub> + 2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	7,0	26,3 mole O <sub>2</sub>		125,2 mole αέρα	
<table border="0"> <tr><td>O<sub>2</sub></td><td>0,21</td></tr> <tr><td>N<sub>2</sub></td><td>0,79</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: center;">1,00</td></tr> </table>	O <sub>2</sub>	0,21	N <sub>2</sub>	0,79	1,00		<table border="0"> <tr><td>Ανάγκη mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td>CO + 1/2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub></td><td>12,15</td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub> + 1/2 O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</td><td>7,15</td></tr> <tr><td>CH<sub>4</sub> + 2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O</td><td>7,0</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">26,3 mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">125,2 mole αέρα</td></tr> </table>	Ανάγκη mole O <sub>2</sub>	CO + 1/2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	12,15	H <sub>2</sub> + 1/2 O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	7,15	CH <sub>4</sub> + 2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	7,0	26,3 mole O <sub>2</sub>		125,2 mole αέρα																															
O <sub>2</sub>	0,21																																															
N <sub>2</sub>	0,79																																															
1,00																																																
Ανάγκη mole O <sub>2</sub>																																																
CO + 1/2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	12,15																																															
H <sub>2</sub> + 1/2 O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	7,15																																															
CH <sub>4</sub> + 2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	7,0																																															
26,3 mole O <sub>2</sub>																																																
125,2 mole αέρα																																																
<table border="0"> <tr><td>Συστατικό</td><td>m<sup>3</sup> / mole</td></tr> <tr><td>CO<sub>2</sub></td><td>7,2</td></tr> <tr><td>CO</td><td>24,3</td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub></td><td>14,1</td></tr> <tr><td>CH<sub>4</sub></td><td>3,5</td></tr> <tr><td>N<sub>2</sub></td><td>50,9</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: center;">100,0</td></tr> </table>	Συστατικό	m <sup>3</sup> / mole	CO <sub>2</sub>	7,2	CO	24,3	H <sub>2</sub>	14,1	CH <sub>4</sub>	3,5	N <sub>2</sub>	50,9	100,0		<table border="0"> <tr><td>Αντίδραση</td><td>Αναγκαίον mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td>CO + 1/2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub></td><td>12,15</td></tr> <tr><td>H<sub>2</sub> + 1/2 O<sub>2</sub> → H<sub>2</sub>O</td><td>7,15</td></tr> <tr><td>CH<sub>4</sub> + 2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O</td><td>7,0</td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">26,3 mole O<sub>2</sub></td></tr> <tr><td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; text-align: right;">125,2 mole αέρα</td></tr> </table>	Αντίδραση	Αναγκαίον mole O <sub>2</sub>	CO + 1/2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	12,15	H <sub>2</sub> + 1/2 O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	7,15	CH <sub>4</sub> + 2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	7,0	26,3 mole O <sub>2</sub>		125,2 mole αέρα																						
Συστατικό	m <sup>3</sup> / mole																																															
CO <sub>2</sub>	7,2																																															
CO	24,3																																															
H <sub>2</sub>	14,1																																															
CH <sub>4</sub>	3,5																																															
N <sub>2</sub>	50,9																																															
100,0																																																
Αντίδραση	Αναγκαίον mole O <sub>2</sub>																																															
CO + 1/2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	12,15																																															
H <sub>2</sub> + 1/2 O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	7,15																																															
CH <sub>4</sub> + 2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	7,0																																															
26,3 mole O <sub>2</sub>																																																
125,2 mole αέρα																																																
<p>ΑΠΑ για 1 m<sup>3</sup> καυσίμου → 1,25 m<sup>3</sup> αέρα</p>		<p>26,3 × <math>\frac{100}{21}</math> = 125,2 mole αέρα</p>																																														
<p>× 2,5 περίσσεια = 3,125 m<sup>3</sup> αέρα</p>																																																

# ΑΣΚΗΣΗ ΠΕΡΙΣΣΕΙΑΣ ΑΕΡΑ (I)



Ζητείται: Η % περιεκτικότητα των θαναλαφίρων σε CO<sub>2</sub>

Λύση

ΒΑΣΗ: 1 mole CH<sub>4</sub>



$2 \text{ mole O}_2 \times \frac{1}{0,21} \times 230\% = 21,9 \text{ mole αέρα}$   
 4,6  $\Rightarrow$  O<sub>2</sub>  
 17,3  $\Rightarrow$  N<sub>2</sub>

Ποσείτ	Είσοδος	Εξόδος
CH <sub>4</sub>	1	0
O <sub>2</sub>	4,6	2,6
CO <sub>2</sub>	0	1
H <sub>2</sub> O	0	2
N <sub>2</sub>	17,3	17,3
		22,9

$$\frac{22,9}{100} \times 1 = x\%$$

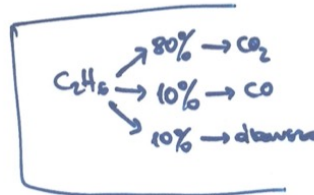
$x = 4,4\% \text{ CO}_2$



# ΑΣΚΗΣΗ ΠΕΡΙΣΣΕΙΑΣ ΑΕΡΑ (2)



1.  $CO_2$
2.  $CO$
3.  $C_2H_6$
4.  $N_2$
5.  $O_2$
6.  $H_2O$



ΒΑΣΗ : 100 kg-mole καυσίμων



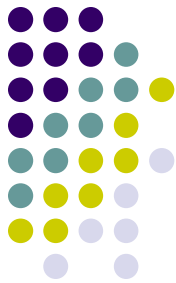
$C_2H_6 + \frac{7}{2}O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O$	$C_2H_6 + \frac{5}{2}O_2 \rightarrow 2CO + 3H_2O$
64    224    128    192 kg-mole	8    20    16    24 kg-mole

Για να 100 kg-mole καυσίμων αναμειχθούν 80 kg-mole  $C_2H_6$  απαιτούνται  $80 \times \frac{7}{2} = 280$  kg-mole  $O_2$   
 έχω ήδη 20 kg-mole  $O_2$   
260 kg-mole  $O_2$

(περίσσεια 200%)  $\Rightarrow \times 3 \rightarrow = 780$  kg-mole  $O_2$   
 $(780 \times \frac{79}{21}) = 2930$  kg-mole  $N_2$

Συστατικό	Καύσιμο Αέρας	Καυσαέρια	%
$C_2H_6$	80	8	0,2
$O_2$	20	$(780+20) - (224+20) = 556$	14,4
$N_2$		2930	76,0
$CO_2$		128	3,3
$CO$		16	0,4
$H_2O$		$192+24 = 216$	5,6
Total		3854	100,0

Σε kg-mole  
 x 418 σε kg



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 10.9 Καύση Λιγνίτη

Σε μία τοπική επιχείρηση καίγεται λιγνίτης με την ακόλουθη σύσταση, σε ξηρή βάση. (Σημειώστε ότι η παρακάτω στοιχειακή ανάλυση λιγνίτη διευκολύνει τους υπολογισμούς μας, αλλά δεν είναι απαραίτητα ο μοναδικός τύπος ανάλυσης λιγνίτη που υπάρχει. Μερικά είδη ανάλυσης περιέχουν πολύ λιγότερες πληροφορίες για το κάθε στοιχείο.)

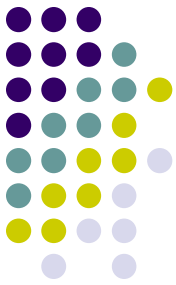
Συστατικό	Ποσοστό
C	83.05
H	4.45
O	3.36
N	1.08
S	0.70
Τέφρα	7.36
Ολικά	100.0

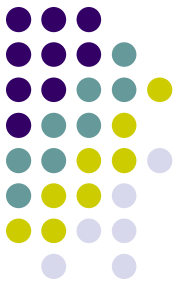
Η μέση ανάλυση Orsat των καυσαερίων κατά τη διάρκεια ελέγχου 24 ωρών ήταν

Συστατικό	Ποσοστό
CO <sub>2</sub> + SO <sub>2</sub>	15.4
CO	0.0
O <sub>2</sub>	4.0
N <sub>2</sub>	80.6
Ολικά	100.0

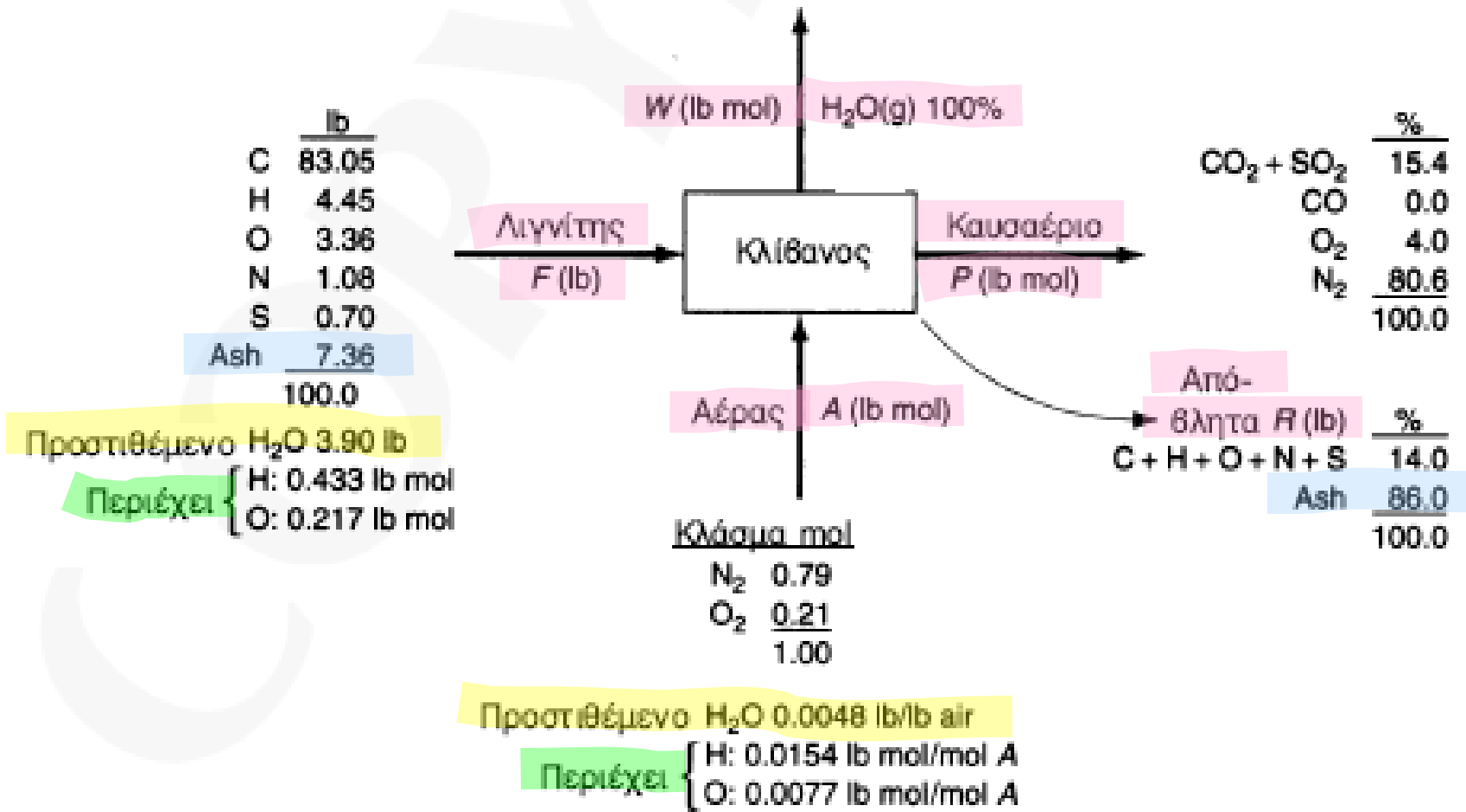
Το ποσοστό της υγρασίας στο καύσιμο ήταν 3.90 %, ενώ ο αέρας περιείχε κατά μέσο όρο 0.0048 lb H<sub>2</sub>O/ lb ξηρού αέρα. Τα απόβλητα περιείχαν 14.0 % άκαυστο λιγνίτη ενώ το υπόλοιπο ήταν τέφρα.

Σας ζητείται να ελέγξετε την συνέπεια των δεδομένων πριν αυτά αποθηκευτούν σε βάση δεδομένων. Σας φαίνεται η συνέπεια αυτή ικανοποιητική; Πόσο ήταν το μέσο ποσοστό της περισσειας του αέρα που χρησιμοποιήθηκε;





# Λύση (Βάση: $F=100$ lb)



H<sub>2</sub>O στο κάρβουνο:

$$\frac{3.90 \text{ lb H}_2\text{O}}{18 \text{ lb H}_2\text{O}} \left| \frac{1 \text{ lb mol H}_2\text{O}}{18 \text{ lb H}_2\text{O}} \right| \frac{2 \text{ lb mol H}}{1 \text{ lb mol H}_2\text{O}} = 0.433 \text{ lb mol H}$$

(με 0.217 lb mol O)

H<sub>2</sub>O στον αέρα:

$$\frac{0.0048 \text{ lb H}_2\text{O}}{\text{lb αέρα}} \left| \frac{29 \text{ lb αέρα}}{1 \text{ lb mol αέρα}} \right| \frac{1 \text{ lb mol H}_2\text{O}}{18 \text{ lb H}_2\text{O}} = 0.0077 \frac{\text{lb mol H}_2\text{O}}{\text{lb mol αέρα}}$$

(με 0.0154 lb mol H/ lb mol A)  
(με 0.0077 lb mol O/ lb mol A)

ισοζύγιο τέφρας (lb): 7.36 = 0.86 (R)

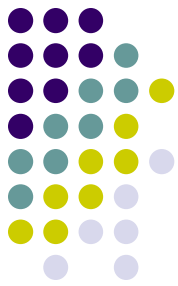
$$R = 8.56 \text{ lb}$$

Ο άκαυστος λιγνίτης στα απόβλητα είναι

$$8.56(0.14) = 1.20 \text{ lb}$$

Ίδια αναλογία χωρίς  
την τέφρα

Συστατικό	μάζα %	lb	lb mol
C	89.65	1.076	0.0897
H	4.80	0.058	0.0537
O	3.63	0.0436	0.0027
N	1.17	0.014	0.0010
S	0.76	0.009	0.0003
	100.00	1.20	0.1474



Τα στοιχειακά ισοζύγια σε moles έχουν ως εξής:

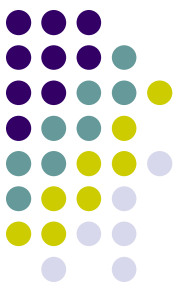
	Είσοδος			Εξοδος		
	F	A	W	P	R	
C + S:	$\frac{83.05}{12.0} + \frac{0.70}{32.0}$	0	= 0	+ P(0.154)	+ 0.0897+0.0003	
H:	$\frac{4.45}{1.008} + 0.433$	+ 0.0154 A	= 2W	+ 0	+ 0.0537	
O:	$\frac{3.36}{16.0} + 0.217$	+ 0.21A(2)+0.007A	= W	+ 2P(0.154+0.040)	+ 0.0027	
N:	$\frac{1.08}{14.0}$	+ 2(0.79A)	= 0	+ 2P(0.806)	+ 2(0.001)	

Επιλύστε τις εξισώσεις σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ή με το χέρι με την εξής σειρά: από το C+S υπολογίζετε το ρεύμα P, από το N υπολογίζετε το ρεύμα A και από το H το ρεύμα W. Οι τιμές αυτές είναι (σε moles) P = 44.5, A = 45.4 και W = 2.747.

Χρησιμοποιήστε το στοιχειακό ισοζύγιο του O για να ελέγξετε τα αποτελέσματα

$$19,8 = 20,3 \quad (\text{διαφορά } 1\% \text{ λόγω πραγματικών μετρήσεων, τυχαία και πιθανά σφάλματα δεδομένων, στρογγυλοποίηση, διαρροές, κτλ.})$$





Για τον υπολογισμό της περίσσειας του αέρα, λόγω του οξυγόνου του λιγνίτη και της ύπαρξης των άκαυστων υλικών, θα υπολογίσουμε το ολικό οξυγόνο της εισόδου και το απαιτούμενο οξυγόνο:

$$\% \text{ περίσσεια αέρα} = 100 \times \frac{\text{O}_2 \text{ που εισέρχεται στην διεργασία} - \text{O}_2 \text{ που απαιτείται}}{\text{O}_2 \text{ που απαιτείται}}$$

Έστω ότι η τέφρα δεν απαιτεί οξυγόνο. Το απαιτούμενο οξυγόνο είναι:

Συστατικό	Αντίδραση	lb	lb mol	Απαιτούμενο O <sub>2</sub> (lb mol)
C	C + O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	83.05	6.921	6.921
H	H <sub>2</sub> + 1/2O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	4.45	<del>4.45</del> 2,2	1.104
O	—	3.36	<del>0.210</del> 0,1	(0.105)
N	—	—	—	—
S	S + O <sub>2</sub> → SO <sub>2</sub>	0.70	0.022	<u>0.022</u>
				7.942

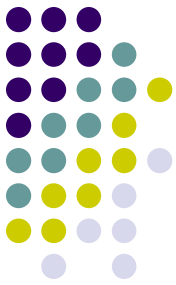
Το οξυγόνο που εισέρχεται στον αέρα είναι (45.35)(0.21) = 9.524 lb mol

$$\% \text{ περίσσεια αέρα} = 100 \times \frac{9.524 - 7.942}{7.942} = 19.9\%$$

Έχετε ένα συνθετικό καύσιμο με την παρακάτω σύσταση:

$$\text{CO}_2 : (10-\alpha)\%, \quad \text{CO} : 30\%, \quad \text{H}_2 : 20\%, \quad \text{CH}_4 : \alpha\%, \quad \text{N}_2 : 40\%$$

- α) Υπολογίστε τον θεωρητικά απαιτούμενο όγκο αέρα για 1 m<sup>3</sup> αυτού του καυσίμου,  
 β) Αν για 1 m<sup>3</sup> αυτού του καυσίμου χρησιμοποιούνται 3 m<sup>3</sup> αέρα με πόσο % περίσσεια αέρα πραγματοποιείται η καύση



Συστατικό	m <sup>3</sup> /mole	Αντίδραση	Απαιτ. mole O <sub>2</sub> ή m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub>	10-α		
CO	30	CO + 1/2 O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	15
H <sub>2</sub>	20	H <sub>2</sub> + 1/2 O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	10
CH <sub>4</sub>	α	CH <sub>4</sub> + 2O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	2α
N <sub>2</sub>	40		
	100		(25 + 2α) mole O <sub>2</sub>

ή  $\frac{100}{21} (25 + 2\alpha)$  mole αέρα

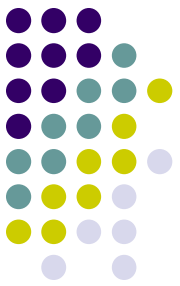
Άρα για 100 m<sup>3</sup> καυσίμων απαιτούνται  $\frac{100}{21} (25 + 2\alpha)$  m<sup>3</sup> αέρα  
 για 1 m<sup>3</sup> καυσίμων →  $\frac{25 + 2\alpha}{21}$  m<sup>3</sup> αέρα

Για 1 m<sup>3</sup> καυσίμων για α=0 1,19 m<sup>3</sup> αέρα  
 α=9 2,05 m<sup>3</sup> αέρα

Περίσσεια για α=0 δηλ. 1,19 m<sup>3</sup> αέρα  $\frac{3 - 1,19}{1,19} \times 100 = 152\%$

για α=9 δηλ. 2,05 m<sup>3</sup> αέρα  $\frac{3 - 2,05}{2,05} \times 100 = 46\%$

# Πρόβλημα



Τα προϊόντα και παραπροϊόντα από την καύση του λιγνίτη μπορούν να προκαλέσουν περιβαλλοντικά προβλήματα αν δεν επεξεργαστούν κατάλληλα. Το αφεντικό σας, σας ζητάει να κάνετε μία ανάλυση της καύσης του λέβητα Νο.6. Εκτελείτε την εργασία με τον υπάρχοντα εξοπλισμό και παίρνετε τα παρακάτω δεδομένα:

Ανάλυση καυσίμου (λιγνίτης): 74% C, 14 % H, και 12 % τέφρα.

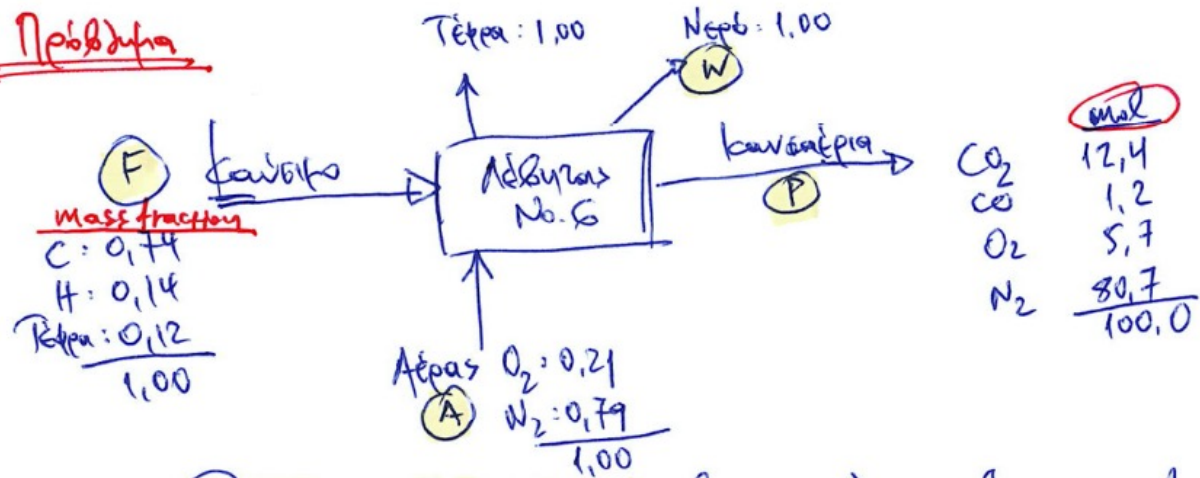
Ανάλυση καυσαερίων σε ξηρή βάση: 12.4 % CO<sub>2</sub>, 1.2 % CO, 5.7% O<sub>2</sub> και 80.7 % N<sub>2</sub>.

Τι θα αναφέρετε στο αφεντικό σας;



# Λύση

## Πρόβλημα



Βάση  $P = 100 \text{ mol}$  Θα κάνω όλα τα 100 μόρια 6ε moles

60]. C  $\frac{F(0,14)}{12} = 12,4 + 1,2 = 13,6 \Rightarrow F = 220,5 \text{ mol}$

60].  $N_2$   $A(0,79) = 80,7 \Rightarrow A = 102,2 \text{ mol}$

60].  $H_2$   $\frac{F(0,14)}{2} = W \Rightarrow W = 15,4 \text{ mol}$

60].  $O_2$   $A(0,21) = \frac{W(1,00)}{2} + 12,4 + \frac{1,2}{2} + 5,7 \Rightarrow 21,5 = 26,4$   
 $A = 102,2$   
 $W = 15,4$   
 Υπάρχει διαφορά

Συμπέρασμα: Είτε είναι λάθος η χημική ανάλυση των καυσίμων  
 είτε είναι λάθος οι τερμίδες των καυσαερίων  
 (no no no no)