

ΘΕΜΑ 1 (5 μονάδες = 1.0 + 1.0 + 3.0)

Σε μια μονάδα παραγωγής αποξηραμένων φρούτων, τα χρησιμοποιούμενα φρούτα (φρέσκια τροφοδοσία) αποτελούνται από 60.0% w/w ξηρά φρούτα (ΞΦ) και 40.0% νερό (υγρασία – W). Το ρεύμα αυτό τροφοδοτείται σε έναν 1^ο ξηραντήρα (Ξ1) και το εξερχόμενο ρεύμα περιέχει 85.0% w/w ΞΦ και 15.0% w/w W. Το ρεύμα αυτό χωρίζεται σε δύο μέρη, από τα οποία το πρώτο τροφοδοτείται σε έναν 2^ο ξηραντήρα (Ξ2) και το δεύτερο ανακυκλώνεται για να αναμειχθεί με τη φρέσκια τροφοδοσία. Με την ανακύκλωση ρυθμίζεται η υγρασία της τροφοδοσίας στον 1^ο ξηραντήρα Ξ1 να είναι 25.0% w/w, ώστε να λειτουργεί αποτελεσματικά ο ξηραντήρας. Από τον δεύτερο ξηραντήρα Ξ2 παραλαμβάνεται το τελικό προϊόν της όλης διαδικασίας που αποτελείται από 95.0% ΞΦ και 5.0% w/w W.

Η φρέσκια τροφοδοσία ανέρχεται σε 1000 kg/h, ενώ η μονάδα λειτουργεί σε μόνιμη κατάσταση και δεν πραγματοποιείται κάποια χημική αντίδραση.

- (α) Σχεδιάστε το διάγραμμα ροής της μονάδας παραγωγής αποξηραμένων φρούτων.
 (β) Προσδιορίστε τους βαθμούς ελευθερίας σε όλα τα διακριτά συστήματα στα οποία μπορούν να εφαρμοστούν ισοζύγια μάζας.
 (γ) Επιλύστε το διάγραμμα ροής, δηλαδή υπολογίστε τη ροή (kg/h) και τη σύσταση (σε ΞΦ και W) όλων των ρευμάτων του διαγράμματος ροής.
 Αποτυπώστε τα αποτελέσματα στο διάγραμμα ροής.

ΘΕΜΑ 2 (5 μονάδες = 1.0 + 1.0 + 2.5 + 0.5)

Μεθανόλη (CH₃OH) παράγεται από CO και H₂ σε κατάλληλο αντιδραστήρα. Η τροφοδοσία του αντιδραστήρα περιέχει CO και H₂ σε στοιχειομετρική αναλογία και εισάγεται στον αντιδραστήρα στους 25°C με παροχή 27.35 m³(ΚΣ-STP)/h και απόλυτη πίεση 5.0 atm. Το εξερχόμενο από τον αντιδραστήρα αέριο ρεύμα έχει θερμοκρασία 300°C και απόλυτη πίεση 5.0 atm. Ο βαθμός μετατροπής της αντίδρασης είναι 0.880.

- α) Σχεδιάστε το διάγραμμα ροής και υπολογίστε τους βαθμούς ελευθερίας.
 (β) Υπολογίστε όλες τις άγνωστες ροές (mol/h).
 (γ) Υπολογίστε το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας από τον αντιδραστήρα (σε kW).
 (δ) Υπολογίστε την ογκομετρική ροή στην έξοδο του αντιδραστήρα (m³/h).

Δεδομένα:

- Στον επισυναπτόμενο πίνακα δίνεται η ειδική ενθαλπία για ορισμένα αέρια ως συνάρτηση της θερμοκρασίας.
- Πρότυπη θερμότητα σχηματισμού: $\Delta H_{f,CO}^{\circ} = -110.5 \text{ kJ/mol}$, $\Delta H_{f,CH_3OH,g}^{\circ} = -201.2 \text{ kJ/mol}$.
- Θερμοχωρητικότητα μεθανόλης (c_p): $42.9 \times 10^{-3} \text{ kJ/(mol } ^{\circ}\text{C)}$.
- Θεωρείστε τα αέρια ως ιδανικά.

Table B.8 Specific Enthalpies of Selected Gases: SI Units

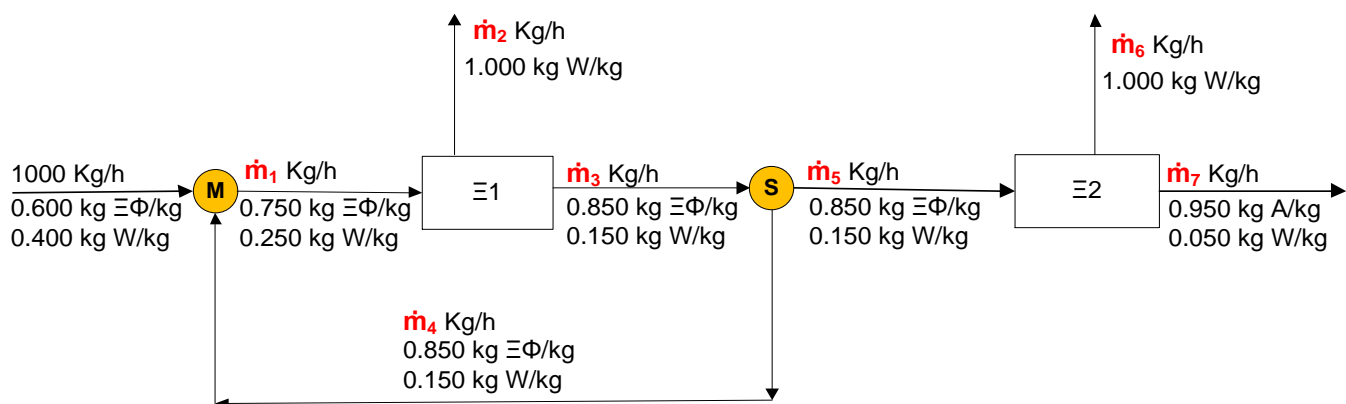
T	\hat{H} (kJ/mol)						
	Air	O ₂	N ₂	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ O
0	-0.72	-0.73	-0.73	-0.72	-0.73	-0.92	-0.84
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	2.19	2.24	2.19	2.16	2.19	2.90	2.54
200	5.15	5.31	5.13	5.06	5.16	7.08	6.01
300	8.17	8.47	8.12	7.96	8.17	11.58	9.57
400	11.24	11.72	11.15	10.89	11.25	16.35	13.23
500	14.37	15.03	14.24	13.83	14.38	21.34	17.01
600	17.55	18.41	17.39	16.81	17.57	26.53	20.91
700	20.80	21.86	20.59	19.81	20.82	31.88	24.92
800	24.10	25.35	23.86	22.85	24.13	37.36	29.05
900	27.46	28.89	27.19	25.93	27.49	42.94	33.32
1000	30.86	32.47	30.56	29.04	30.91	48.60	37.69
1100	34.31	36.07	33.99	32.19	34.37	54.33	42.18
1200	37.81	39.70	37.46	35.39	37.87	60.14	46.78
1300	41.34	43.38	40.97	38.62	41.40	65.98	51.47
1400	44.89	47.07	44.51	41.90	44.95	71.89	56.25
1500	48.45	50.77	48.06	45.22	48.51	77.84	61.09

ΔΙΑΡΚΕΙΑ: 2 h

ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ

ΘΕΜΑ 1

(α)



(β)

Σύστημα	Άγνωστες μεταβλητές	Ανεξάρτητα ισοζύγια (εξισώσεις)	Βαθμοί ελευθερίας
Συνολικό	$\dot{m}_2 - \dot{m}_6 - \dot{m}_7$ (3)	2	1
M	$\dot{m}_1 - \dot{m}_4$ (2)	2	0*
Ξ1	$\dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3$ (3)	2	1
S	$\dot{m}_3 - \dot{m}_4 - \dot{m}_5$ (3)	1	2
Ξ2	$\dot{m}_5 - \dot{m}_6 - \dot{m}_7$ (3)	2	1

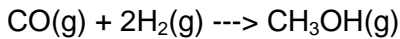
*: Η επίλυση του διαγράμματος ροής θα ξεκινήσει από τη διεργασία της ανάμιξης (M).

(γ)

M	$1000 + \dot{m}_4 = \dot{m}_1$	Συνολικό ισοζύγιο μάζας	$\dot{m}_1 = 2500$ kg/h
	$1000 \cdot 0.600 + \dot{m}_4 \cdot 0.850 = \dot{m}_1 \cdot 0.750$	Ισοζύγιο ΞΦ	$\dot{m}_4 = 1500$ kg/h
Ξ1	$2500 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3$	Συνολικό ισοζύγιο μάζας	$\dot{m}_2 = 294$ kg/h
	$2500 \cdot 0.750 = \dot{m}_3 \cdot 0.850$	Ισοζύγιο ΞΦ	$\dot{m}_3 = 2206$ kg/h
S	$2206 = 1500 + \dot{m}_5$	Συνολικό ισοζύγιο μάζας	$\dot{m}_5 = 706$ kg/h
Ξ2	$706 = \dot{m}_6 + \dot{m}_7$	Συνολικό ισοζύγιο μάζας	$\dot{m}_6 = 74$ kg/h
	$706 \cdot 0.850 = \dot{m}_7 \cdot 0.950$	Ισοζύγιο ΞΦ	$\dot{m}_7 = 632$ kg/h

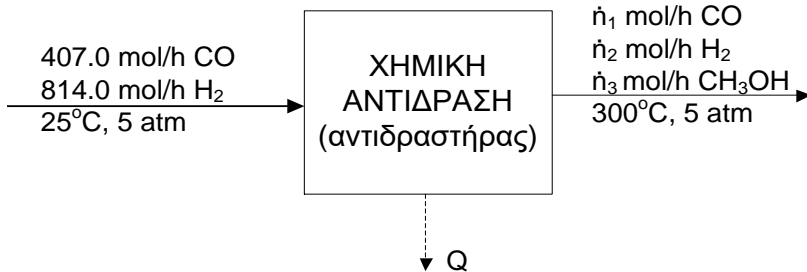
ΘΕΜΑ 2

(α)



Τροφοδοσία (\dot{n}_F) = $27.35 \text{ m}^3(\text{ΚΣ-STP})/\text{h} / (22.4 \text{ L/mol}) = 1221 \text{ mol/h}$

Το CO και το H₂ είναι σε αναλογία 1:2 και επομένως η μοριακή ροή CO και H₂ στην τροφοδοσία είναι 407.0 και 814.0 mol/h αντίστοιχα.



Υπολογισμός βαθμών ελευθερίας (ατομική βάση)

Άγνωστες μεταβλητές: 3 ($\dot{n}_1, \dot{n}_2, \dot{n}_3$)

Ατομικά ισοζύγια μάζας (αντιδρώντων συστατικών): 2 (C, H)

Άλλες εξισώσεις: 1 (μετατροπή του CH₃OH)

Βαθμοί ελευθερίας = 3-2-1 = 0

(β)

Μετατροπή CO: $f_{\text{CO}} = 0.880 \Rightarrow (407 - \dot{n}_1)/407 = 0.880 \Rightarrow \dot{n}_1 = 48.84 \text{ mol/h}$

Ισοζύγιο C: $407 = \dot{n}_1 + \dot{n}_3 \Rightarrow \dot{n}_3 = 407 - 48.84 \Rightarrow \dot{n}_3 = 358.2 \text{ mol/h}$

Ισοζύγιο H: $2 \cdot 814 = 2 \cdot \dot{n}_2 + 4 \cdot \dot{n}_3 \Rightarrow \dot{n}_2 = (1628 - 4 \cdot 358.2)/2 \Rightarrow \dot{n}_2 = 97.60 \text{ mol/h}$

(γ)

Πίνακας ενθαλπίας (κατάσταση αναφοράς: 25°C, 1 atm)

Συστατικό	Είσοδος *		Έξοδος #	
	mol/h	Ενθαλπία (kJ/mol)	mol/h	Ενθαλπία (kJ/mol)
CO	407	$\hat{H}_1 = \Delta H_f^0 = -110.5$	48.84	$\hat{H}_2 = \Delta H_f^0 + \hat{H}_{300\text{C}}$ $= -110.5 + 8.17 = -102.3$
H ₂	814	0	97.60	$\hat{H}_3 = \hat{H}_{300\text{C}} = 7.96$
CH ₃ OH	-	-	358.2	$\hat{H}_4 = \Delta H_f^0 + c_p \cdot \Delta T =$ $= -201.2 + 42.9 \times 10^{-3} \cdot (300 - 25) = -201.2 + 11.80 = -189.4$

*: 25°C, #: 300°C

$$\dot{Q} = \dot{H}_{\text{out}} - \dot{H}_{\text{in}} =$$

$$= (48.84 \frac{\text{mol}}{\text{h}}) * (-102.3 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}) + (97.60 \frac{\text{mol}}{\text{h}}) * (7.96 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}) + (358.2 \frac{\text{mol}}{\text{h}}) * (-189.4 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}) - (407 \frac{\text{mol}}{\text{h}}) * (-110.5 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}) = 27091 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$\dot{Q} = 27091 \text{ kJ/h} * (1/3600 \text{ h/s}) = \mathbf{7.525 \text{ kW}}$$

(δ)

Η ροή στην έξοδο του αντιδραστήρα είναι (ερώτημα α):

$$\dot{n}_{\text{out}} = \dot{n}_1 + \dot{n}_2 + \dot{n}_3 = (48.84 + 97.60 + 358.2) \text{ mol/h} = 504.6 \text{ mol/h.}$$

Η ογκομετρική παροχή \dot{V}_{out} στην έξοδο του αντιδραστήρα είναι:

$$\dot{V}_{\text{out}} = \frac{\dot{n}_{\text{out}} RT}{P} = 504.6 \frac{\text{mol}}{\text{h}} * \frac{0.08206 \text{ L} * \text{atm}}{\text{mol} * \text{K}} * (300 + 273) \text{ K} * \frac{1}{5 \text{ atm}} = 4745 \text{ L/h} \text{ ή } \mathbf{4.745 \text{ m}^3/\text{h.}}$$