ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΑΕΡΙΩΝ

Κ. Μάτης

Πρόβλημα 1. Ένα μίγμα αερίων που περιέχει 65% του A, 25% B, 8% C και 2% D βρίσκεται σε ισορροπία μ' ένα υγρό στους 350 K και 300 kN/m^2. Αν η τάση ατμών των καθαρών συστατικών στους 350 K είναι 1000, 500, 425 και 100 kN/m^2 αντίστοιχα, να υπολογισθεί η σύσταση του υγρού στην ισορροπία.

Λύση:

Η μερική πίεση ισορροπίας P_e λαμβάνεται από το γινόμενο του κλάσματος του όγκου (δηλ. κλάσμα mole) και της ολικής πίεσης. Έτσι για το συστατικό A:

$$P_{eA} = 0{,}65 \text{ x } 300 = 195 \text{ kN/m}^2$$

Όμοια

$$P_{eB} = 0{,}25 \text{ x } 300 = 75 \text{ kN/m}^2$$
$$P_{eC} = 0{,}08 \text{ x } 300 = 24 \text{ kN/m}^2$$
$$P_{eD} = 0{,}02 \text{ x } 300 = 6 \text{ kN/m}^2$$

$$\Sigma P_e = 300 \text{ kN/m}^2$$

Ως γνωστό για τα ιδανικά διαλύματα υγρών ισχύει ο νόμος του Raoult:

$$P_e = P^o \,.\, x$$

που δίνει τη μερική πίεση σε ισορροπία αέριου μίγματος-διαλύματος με το μοριακό κλάσμα στο διάλυμα και την τάση του ατμού του ίδιου συστατικού.

Άρα το κλάσμα mole του καθενός συστατικού στο υγρό παίρνεται από αυτή την εξίσωση, ως $x = P_e / P^o$ και

$$x_A = 195 / 1000 = 0{,}195$$
$$x_B = 75 / 500 = 0{,}150$$
$$x_C = 24 / 425 = 0{,}056$$
$$x_D = 6 / 100 = 0{,}060$$

$$\Sigma x = 0{,}461$$

Το παραμένον υγρό έχει σύσταση 1,0 – 0,461 = 0,539 (κλάσμα mole).

Πρόβλημα 2. Βενζόλιο πρόκειται να απορροφηθεί από ένα μίγμα βενζολίου-αερίου με τη χρήση ενός μη πτητικού ελαιώδους υδρογονάνθρακος. Το εισερχόμενο αέριο περιέχει 2,5% κατ' όγκο βενζολίου και η συγκέντρωση της εξόδου θα είναι 0,01%. Η λειτουργία του πύργου (με το πληρωτικό υλικό) θα γίνει στην ατμοσφαιρική πίεση και η ολική παροχή της αέριας τροφοδοσίας είναι 0,2 kg/s. Αν ο ελαιώδης διαλύτης εισέρχεται στον πύργο καθαρός, να υπολογισθούν η ελάχιστη απαραίτητη ροή ελαίου για να επιτευχθεί το έργο της απορρόφησης, καθώς και η σύσταση του ελαίου στην έξοδο. Το σύστημα μπορεί να υποτεθεί ιδανικό. Η πίεση του ατμού του βενζολίου στη μέση θερμοκρασία του πύργου είναι 13,33 kN/m^2 και τα μοριακά βάρη του αέρα, βενζολίου και ελαίου είναι 29, 78 και 250 kg/kmol αντίστοιχα.

Λύση:

Το σύστημα απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα (Fig. 8.3).

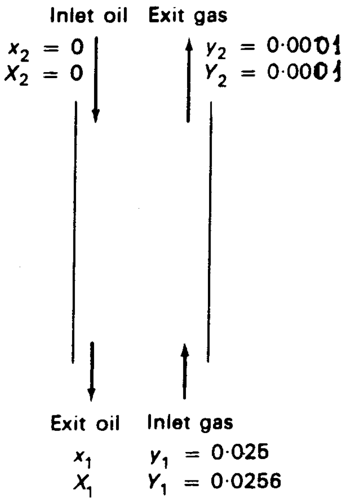


Fig. 8-3

Έστω ότι η παροχή μάζας του βενζολίου είναι α kg/s, τότε η παροχή του αέρα θα είναι (0,2 – α) kg/s. Τώρα η σύσταση εισόδου του αερίου είναι 0,025, δηλαδή

$$0{,}025 = (\alpha/78) / [(\alpha/78) + ((0{,}2-\alpha)/29)]$$

απ' όπου βρίσκεται η παροχή του βενζολίου, α, να είναι 0,0129 kg/s και του αέρα 0,1871 kg/s.

Έτσι η μοριακή ροή του βενζολίου είναι

$$0{,}0129/78 = 0{,}000165 \text{ kmol/s}$$

και του αέρα 0,1871/29 = 0,00645 kmol/s.

Η αναλογία των mole, δηλ. kmol βενζολίου / kmol αέρα, στην είσοδο και έξοδο λαμβάνονται γενικά από τη σχέση

$$y = Y / (1+Y)\text{ , όπου y το μοριακό κλάσμα}$$

$$\text{ή τη}\quad Y = y / (1-y)$$

$Y_1 = 0{,}025 / (1-0{,}025) = 0{,}0256$ και $Y_2 = 0{,}0001$ αντίστοιχα.

Ένα ισοζύγιο μάζας για το βενζόλιο στη στήλη δίνει

$$L\,(X_1 - X_2) = G\,(Y_1 - Y_2) \qquad \text{(i)}$$

Όπου L, G είναι οι μοριακές ροές του πετρελαίου και αέρα αντίστοιχα.

Η ελάχιστη ροή του πετρελαιοειδούς L_{min} συμβαίνει όταν το υγρό ρεύμα εξόδου είναι σε ισορροπία με το εισερχόμενο αέριο, δηλ. όταν τα x_1 και y_1 είναι σε ισορροπία - βλ. σχήμα (Fig. 8.4).

$$y_1 = 0{,}025 = (13{,}33 / 101{,}3)\, x_1$$

από όπου $\qquad x_1 = 0{,}19$ και

$$X_1 = 0{,}19 \,/\, (1 - 0{,}19) = 0{,}235$$

και $X_2 = 0$ (ελεύθερο διαλυτής ουσίας).

Άρα

$$L_{min}\,(0{,}235 - 0) = 0{,}00641\,(0{,}0256 - 00001)$$

από όπου $L_{min} = 0{,}0007$ kmol/s = 0,175 kg/s

Το σχήμα δείχνει τη σημασία της εξίσωσης (i) σε σχέση με την τιμή $(L/G)_{min}$ και την πραγματική κλίση της γραμμής λειτουργίας

$$(L/G) > (L/G)_{min}$$

Η πραγματική αναλογία υγρού / αέριο είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη κατά 10 – 100% και η επιλογή αυτής της αναλογίας είναι αποτέλεσμα οικονομικής ανάλυσης του συστήματος.

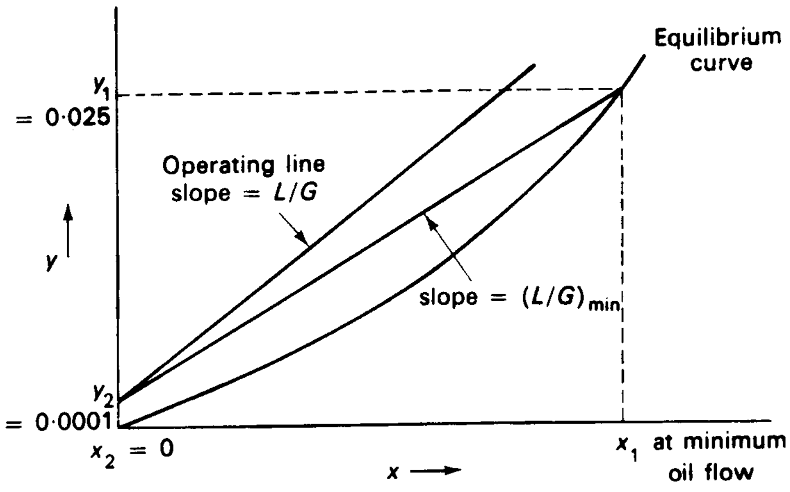


Fig. 8-4

<u>Πρόβλημα 3</u>. Οι μέσες συνθήκες ροής που υπάρχουν σε πύργο, με πληρωτικό υλικό μεταλλικούς δακτύλιους Pall 38 mm, είναι οι εξής:

	Ατμός	*Υγρό*
Μοριακή ροή	$G_m = 0{,}01$ kmol/s	$L_m = 0{,}005$ kmol/s
Πυκνότητα	$\rho_G = 4{,}23$ kg/m^3	$\rho_L = 1036$ kg/m^3
Μοριακή μάζα	$M_G = 100$ kg/kmol	$M_L = 150$ kg/kmol
Ιξώδες	-	$\mu_L = 1{,}61 \times 10^{-3}$ N.s/m^2

Ο παράγοντας πλήρωσης F, όπως προκύπτει από πίνακες, για το πληρωτικό υλικό είναι 28 και η επιτρεπτή πτώση πίεσης είναι 40 mm H_2O/m της πλήρωσης. Να υπολογισθεί η διάμετρος της στήλης.

Λύση:

Στους πύργους με πληρωτικό υλικό η διάμετρος του πύργου επιλέγεται έτσι ώστε κατά το σχεδιασμό οι ταχύτητες του ατμού να είναι 60 – 80% της ταχύτητας για πλημμύριση (flooding). Σε λειτουργία υπό κενό η πτώση πίεσης είναι ο κύριος παράγοντας.

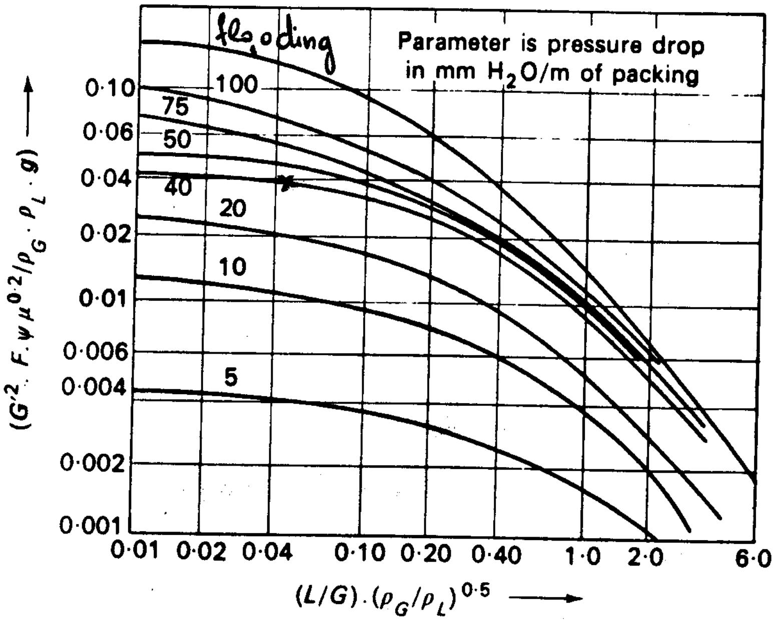


Fig. 8-5

Η γενικευμένη σχέση της πτώσης πίεσης δίνεται στο σχήμα (Fig. 8.5) και πρώτα υπολογίζονται για αυτό η τεταγμένη και η τετμημένη:

$$(L/G)(\rho_G/\rho_L)^{0,5} = (\frac{0{,}005x150}{0{,}01x100})(\frac{4{,}23}{1036})^{0,5} = 0{,}048$$

όπου L και G οι παροχές μάζας

και, αν G' είναι η ροή του ατμού σε kg/s m^2, τότε

$$G'^2.F.\psi.\mu_L{}^{0,2} / \rho_G.\rho_L.g =$$

$$= G'^2.28.\frac{1000}{1036}(1{,}61x10^{-3})^{0,2} / 4{,}23x1036x9{,}81)$$

$$= 0{,}000174\ G'^2$$

Εδώ το ψ είναι ο λόγος της πυκνότητας του νερού προς την πυκνότητα του υγρού (και g η επιτάχυνση της βαρύτητας).

Για πτώση πίεσης 40 mm/m και $(L/G)(\rho_G/\rho_L)^{0,5} = 0,048$, που βρήκαμε, από το σχήμα προκύπτει ότι

$$0,000174\ G'^2 \approx 0,04$$

Άρα

$$G' = 15,2\ kg\ /s\ m^2$$

Επομένως η επιφάνεια της στήλης (= πd^2 /4) είναι

$$G/G' = 0,01x100\ /\ 15,2 = 0,066\ m^2$$

και η διάμετρος είναι

$$\sqrt{\frac{0,066x4}{\pi}} = 0,29\ \text{m}$$

<u>Σημείωση</u>: Ο παράγοντας F για την πλήρωση υπολογίζεται, συνήθως από πίνακες (βλ. Table 4-6), από τον τύπο του υλικού. Ο F παίρνει μεγαλύτερες τιμές καθώς μειώνεται το μέγεθος του πληρωτικού υλικού και για λιγότερο αποδοτική πλήρωση.
Πχ. για δακτύλιους (rings) Pall με ονομαστικό μέγεθος 16 mm, F = 70
Έναντι του προβλήματος για μέγεθος 38 mm, F = 28

Οι δακτύλιοι Raschig (λιγότερο αποδοτικοί), ίδιου μεγέθους 38 mm, έχουν F = 83. Στην τελευταία περίπτωση θα βρίσκαμε διάμετρο στήλης 0,375 m.

TABLE 4–6. PHYSICAL CHARACTERISTICS OF PALL RINGS

Materials	*Nominal size* in.	[mm]	*Wall thickness* in.	*Number* pieces/ft³	[pieces/m³]	*Weight* lb/ft³	[kg/m³]	*Surface area* ft²/ft³	[m²/m³]	*Free space* %	*Packing factor* *F*
Stoneware	1	25	0.12	1400	49 300	40	642	67	220	73	
	1½	40	0.18	420	14 800	36	578	47	154	76	
	2	50	0.20	170	5 990	34	546	38	124	78	
	3⅛	80	0.30	43	1 510	30	482	23	75.4	80	
	4	100	0.38	16	564	26	417	17	55.7	82	
Carbon	1	25	0.16	1400	49 300	36	578	69	226	73	
	1⅜	35	0.18	510	18 000	33	530	51	167	76	
	2	50	0.25	164	5 780	27	434	37	121	79	
Metal*	⅝	16	0.016	5950	209 000	37	594	104	341	93	70
	1	25	0.024	1400	49 300	30	482	63	207	94	48
	1½	40	0.032	375	13 200	24	385	39	128	95	28
	2	50	0.040	170	6 000	22	353	31	101	96	20
Plastic†	⅝	16	0.03	6050	213 000	7.0	112	104	341	87	97
	1	25	0.04	1440	50 800	5.5	88.4	63	207	90	52
	1½	40	0.04	390	13 700	4.75	76.2	39	128	91	32
	2	50	0.06	180	6 340	4.25	68.2	31	101	92	25
	3½	90	0.06	33	1 160	4.00	64.2	26	85.2	92	16

* See footnote to Table 4–2.
† See footnote to Table 4–5

Πρόβλημα 4. Ένας πύργος με διάτρητους δίσκους εξετάζεται για τη διεργασία του Προβλήματος 3. Αν πρόκειται ο πύργος να λειτουργεί με το 80% της ταχύτητας για να πλημμυρίσει, να υπολογισθεί η διάμετρος της στήλης.

Λύση:

Στην περίπτωση αυτή (βλ. Fig. 8.6) υπολογίζουμε τις ποσότητες στους άξονες του σχήματος.

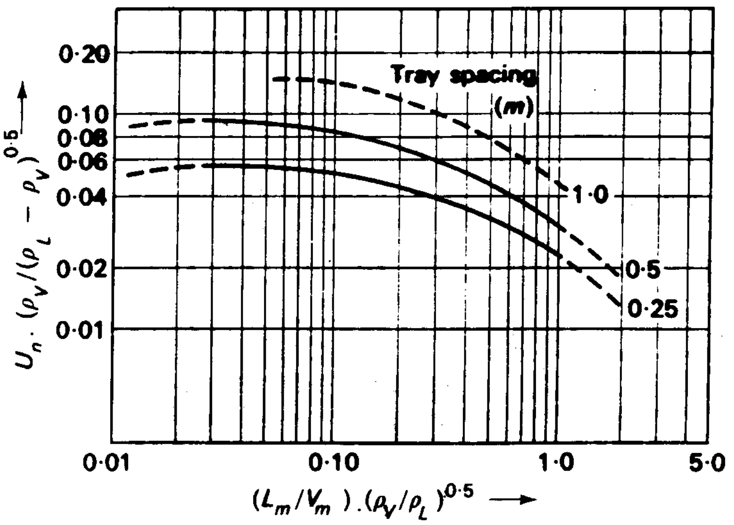


Fig. 8-6

Έχουμε

$$(L_m / V_m)(\rho_V / \rho_L)^{0,5} = \frac{0,005}{0,01}(\frac{4,23}{1036})^{0,5} = 0,032$$

όπου σημειώνεται, για αποφυγή πιθανής σύγχισης, ότι το V (vapour, ατμός) χρησιμοποιείται μερικές φορές αντί του G (gas, αέριο)

και $$U_n[\rho_V /(\rho_L - \rho_V]^{0,5} = U_n(\frac{4,23}{1036 - 4,23})^{0,5} = 0,0641 U_n$$

όπου U_n (m/s) είναι η ταχύτητα του ατμού, υπολογισμένη για την καθαρή επιφάνεια του δίσκου (χωρίς το σωλήνα καθόδου).

Σε αυτό το στάδιο πρέπει να υποτεθεί ένα ύψος μεσοδιαστήματος (spacing) για τους δίσκους. Έστω, για τη διεργασία αυτή ότι ξεκινάμε υποθέτοντας ύψος 0,5 m. Οι παρακάτω υπολογισμού σχεδιασμού θα το επιβεβαιώσουν (ή όχι).

Για ενδιάμεση απόσταση δίσκων ίση με 0,5 m και για

$(L_m / V_m)(\rho_V / \rho_L)^{0,5} = 0,032$, που βρήκαμε, από το σχήμα προκύπτει

$$0,0641 \ U_n = 0,09$$

από την οποία έχουμε ότι $U_n = 1,40$ m/s.

Σε πλημμύριση 80%, η ταχύτητα του ατμού είναι

$$1,40 \times 0,80 = 1,12 \text{ m/s}$$

Η ογκομετρική παροχή του ατμού στο πρόβλημα είναι

$$0,01 \times 100 / 4,23 = 0,236 \text{ m}^3\text{/s}$$

άρα η επιφάνεια του πύργου είναι

$$0,236 / 1,12 = 0,211 \text{ m}^2$$

και η διάμετρος βρίσκεται να είναι 0,52 m.

Επομένως, αν αυτή τη συγκρίνουμε με τη διάμετρο που βρέθηκε στο προηγούμενο πρόβλημα (0,29 m), θα καταλήξουμε ότι είναι προτιμότερος ένας πύργος με πληρωτικό υλικό.

Πρόβλημα 5. Ένα διαλυτό αέριο είναι να απορροφηθεί κατ' αντιρροή σε ένα πύργο με πληρωτικό υλικό με καθαρό υγρό. Η σχέση ισορροπίας δίνεται από τη $y_e = mx$. Να βρείτε μια έκφραση για τον αριθμό των μονάδων μεταφοράς, αν οι συστάσεις του αερίου στην είσοδο και έξοδο είναι αντίστοιχα y_1 και y_2. Αν επιθυμείται μια ανάκτηση 90% της διαλυτής ουσίας και η ταχύτητα του υγρού είναι 1,5 φορές της ελάχιστης, να υπολογισθεί ο απαιτούμενος αριθμός μονάδων μεταφοράς και να συγκριθεί με τη γενική γραφική μέθοδο.

Λύση:

Με αναφορά στο σχήμα (Fig. 8-7), ένα ισοζύγιο μάζας στο

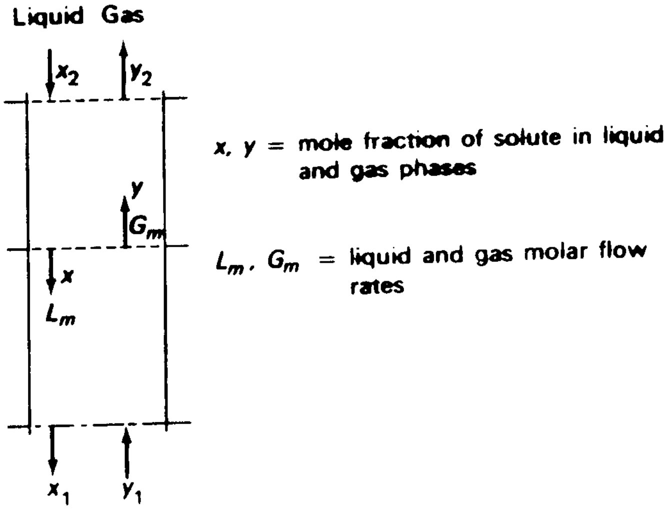


Fig. 8-7

πάνω τμήμα της στήλης δίνει:

$$G_m(y - y_2) = L_m(x - x_2)$$

Αν ο διαλύτης στην είσοδο είναι "ελεύθερος" της διαλυτής ουσίας, $x_2 = 0$ και

$$x = (G_m / L_m)(y - y_2)$$

Η εξίσωση της γραμμής λειτουργίας είναι

$$y = (L_m / G_m)x + y_2$$

Η εξίσωση της γραμμής ισορροπίας είναι

$$y_e = mx = (mG_m / L_m)y - (mG_m / L_m)y_2$$

Εξ ορισμού ο αριθμός των μονάδων μεταφοράς είναι για αραιές συνθήκες:

$$N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} dy/(y - y_e)$$

Άρα $$N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{y - \frac{mG_m}{L_m}.y + \frac{mG_m}{L_m}.y_2}$$

$$= \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(1 - \frac{mG_m}{L_m})y + \frac{mG_m}{L_m}.y_2} = \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{(1-\lambda)y + \lambda y_2}$$

θέτοντας $\lambda = m\,G_m / L_m$. Αν ολοκληρώσουμε έχουμε

$$N_{OG} = \frac{1}{1-\lambda} \ln[(1-\lambda)\frac{y_1}{y_2} + \lambda] \qquad \text{(ii)}$$

Στο πρόβλημα αυτό

$$y_1 / y_2 = 10, \quad L_m / G_m = 1,5\ (L_m / G_m)_{min}, \quad x_2 = 0$$

Τώρα

$$(L_m / G_m)_{min} = (y_1 - y_2)/(x_{e1} - x_2)$$

όπου x_{e1} είναι η σύσταση του υγρού σε ισορροπία με την y_1 (βλ. το Πρόβλημα 2), έτσι

$$(L_m / G_m)_{\min} = (y_1 - y_2)/(y_1 / m) = (1 - \frac{y_2}{y_1})m = 0,9\ \mathrm{m}$$

και $L_m/G_m = 1,5(L_m/G_m)_{min} = 1,5 \times 0,9\ m = 1,365\ m$ και

$m\ G_m / L_m = 0,74 = \lambda$

Άρα από την εξίσωση (ii)

$$N_{OG} = \frac{1}{1-0,74} x 2,303 \log[(1-0,74)10 + 0,74] = 4,63$$

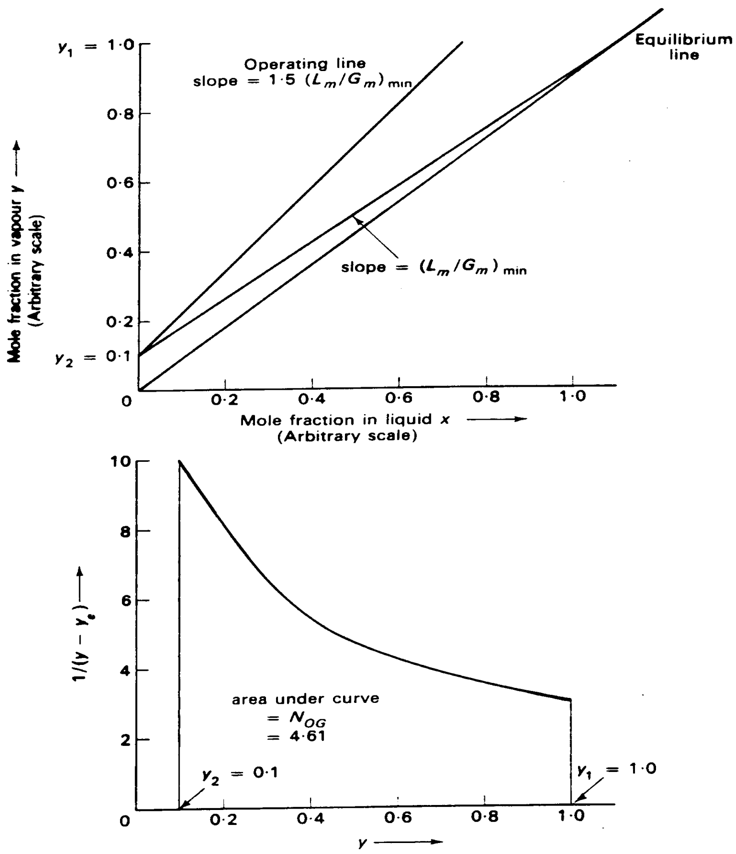


Fig. 8-8

Αφού

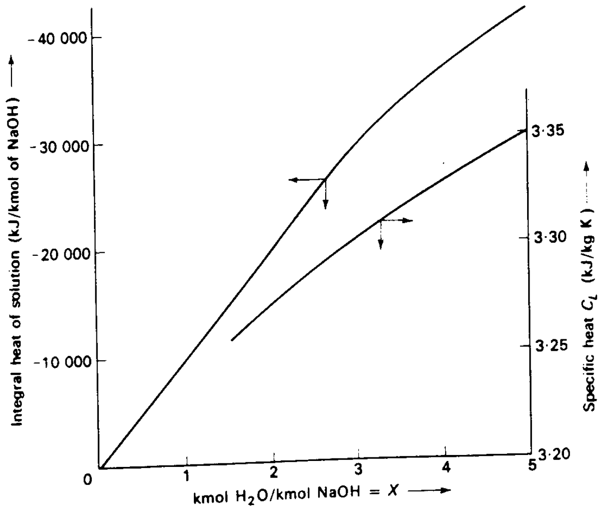
$$N_{OG} = \int_{y_2}^{y_1} dy/(y - y_e)$$

από το σχήμα παίρνουμε τιμές για το y και τις αντίστοιχες y_e.
Η επιφάνεια κάτω από την καμπύλη του $1/(y - y_e)$ έναντι του y ανάμεσα στα όρια y_1 και y_2 δίνει το N_{OG}, ως γνωστό.
Από το σχήμα μπορεί να γίνει ένας Πίνακας με τις τιμές του y να ακολουθούν μια αυθαίρετη κλίμακα. Η καμπύλη του σχήματος με όρια y = 0,1 και y = 1,0 έχει επιφάνεια N_{OG} = 4,61.

y	y_e	$(y - y_e)$	$1/(y - y_e)$
0·1	0	0·10	10·0
0·2	0·08	0·12	8·33
0·3	0·15	0·15	6·67
0·4	0·21	0·19	5·26
0·5	0·29	0·21	4·76
0·6	0·37	0·23	4·35
0·7	0·44	0·26	3·85
0·8	0·52	0·28	3·57
0·9	0·60	0·30	3·33
1·0	0·67	0·33	3·03

Σημείωση: Η έκφραση του N_{OG} που αναπτύχθηκε σε αυτό το πρόβλημα έχει ισχύ όταν οι γραμμές ισορροπίας και λειτουργίας είναι ευθείες.

Πρόβλημα 7. Υγρός αέρας πρόκειται να ξηραθεί χρησιμοποιώντας ένα υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου 50%. Και τα δυο ρεύματα εισέρχονται σ' ένα πύργο με πληρωτικό υλικό στους 293 K και την ατμοσφαιρική πίεση. Το περιεχόμενο υγρασίας του αέρα θέλουμε να μειωθεί από 0,015 kg νερού/kg ξηρού αέρα σε 0,001 kg/kg. Να κατασκευασθεί η καμπύλη αδιαβατικής ισορροπίας για τη διεργασία αυτή. Οι ιδιότητες του υδατικού υδροξειδίου του νατρίου δίνονται στο σχήμα.



Λύση:

Η πλήρης θερμότητα του διαλύματος αναφέρεται στο στερεό υδροξείδιο του νατρίου και το υγρό νερό. Ως θερμοκρασία αναφοράς t_0 επιλέγονται οι 293 K και στην υγρή φάση διαλύτης θεωρείται εδώ το υδροξείδιο του νατρίου και διαλυτή ουσία το νερό.

Βάση υπολογισμών: η ροή διαλυτής ουσίας L_s = 1,0 kmol/s.

Γράφοντας το ισοζύγιο μάζας για αδιαβατική διεργασία με Q = 0:

$$H_L.L - H_{L2}.L_2 = H_G.G - H_{G2}.G_2 = G_s(H_G^{'} - H_{G2}^{'}) \qquad \text{(a)}$$

όπου G_s είναι η παροχή της διαλυτής ουσία στο αέριο (kmol/s) και $H_G^{'}$ η ενθαλπία του αερίου (kJ/kmol ξηρού αέρα).

Καθώς υποτίθεται ότι το αέριο βρίσκεται στη θερμοκρασία βάσης t_0 = 293 K, η ενθαλπία του περιλαμβάνει μόνο τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης στους 293 K, η οποία ισούται με 44200 kJ/kg. Έτσι, η ενθαλπία του αέριου ρεύματος που περιέχει Y kmol νερού/kmol ξερού αέρα = 44200 Y = $H_G^{'}$

Έτσι $\quad G_s(H_G^{'} - H_{G2}^{'}) = G_s.44200(Y - Y_2)$

Ένα ισοζύγιο μάζας στο νερό δίνει

$$G_s(Y - Y_2) = L_s(X - X_2) = 1{,}0(X - X_2) \qquad \text{και άρα}$$

$$G_s(H_G^{'} - H_{G2}^{'}) = (X - X_2)44200$$

Στην κορυφή του πύργου

$$Y_2 = 0{,}001(29/18) = 0{,}0016 \text{ kmol } H_2O \text{ /kmol αέρα}$$

$$X_2 = (50/50)(40/18) = 2{,}22 \text{ kmol } H_2O \text{ /kmol NaOH}$$

Επομένως

$$G_s(H_G^{'} - H_{G2}^{'}) = 44200(X - 2{,}22) = 44200X - 98120$$

Τα δεδομένα θερμότητας του διαλύματος παρουσιάζονται ως kJ/kmol NaOH κι αυτός ο αριθμός θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με 1/(1+X) για να πάρουμε kJ/kmol διαλύματος.

Καθώς το υγρό εισέρχεται στον πύργο στη θερμοκρασία αναφοράς, η αισθητή θερμότητα είναι μηδέν. Η ολική παροχή του υγρού L_2 δίνεται από τη:

$$L_2 = L_s(1+X_2) = 1{,}0(1+2{,}22) = 3{,}22 \text{ kmol/s} \qquad \text{και}$$

$$H_{L2} = \Delta H_s.1/(1+X_2) = -22800/(1+2{,}22) = -7080 \text{ kJ/kmol διαλύματος}$$

Το ισοζύγιο θερμότητας γράφεται:

$$H_L.L - H_{L2}.L_2 = 44200X - 98120$$

Οι τιμές H_{L2} και L_2 έχουν υπολογισθεί άρα

$$H_L.L - (-7080x3{,}22) = 44200X - 98120$$

Η εξίσωση αυτή συσχετίζει τις συνθήκες στην κορυφή με αυτές που επικρατούν στο χαμηλότερο επίπεδο του πύργου όπου το X θα είναι μεγαλύτερο από το X_2 και η θερμοκρασία του υγρού t_L είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εισόδου t_0 = 293 K. Θα υποτεθεί μια τιμή για το X και θα υπολογισθούν τιμές για τα L, H_s και H_L για μια νέα θερμοκρασία t_L.

Έστω ότι X = 2,3 kmol H_2O/kmol NaOH, τότε

$L = L_s(1+X) = 1{,}0(1+2{,}3) = 3{,}3$ kmol/s διαλύματος και το ΔH_s για τα παρεχόμενα δεδομένα στο X = 2,3 είναι = -22600 kJ/kmol NaOH, το ΔH_s για το διάλυμα = -22600.1/(1+2,3) =

= -6850 kJ/kmol διαλύματος

Τώρα

$$H_L = C_L(t_L - t_0)M_{av} + H_s \text{ kJ/kmol,}$$

$$M_{av} = [(2{,}3x18) + (1{,}0x40)]/3{,}3 = 24{,}67 \text{ kg/kmol}$$

και C_L για τα δεδομένα = 3,282 kJ/kg K

Άρα

$$H_L = 3{,}282(t_L - 293)24{,}67 - 6850 = 81{,}0t_L - 30600$$

Αντικαθιστώντας τα H_L και L στο ισοζύγιο θερμότητας (Εξ. a)

$$(81{,}0t_L - 30600)3{,}3 - (-7080x3{,}22) = 44200x2{,}3 - 98120$$

από όπου t_L = 305,7 K.

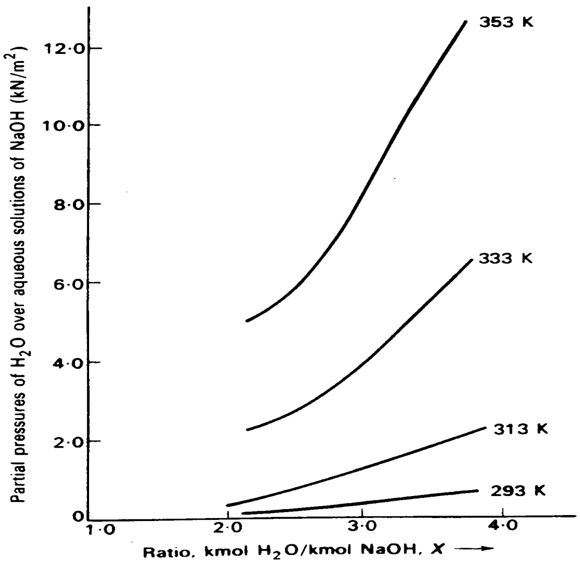


Fig. 8-12

Για να τοποθετήσουμε τη συνθήκη στην κορυφή και το σημείο που μόλις υπολογίσαμε σε ένα διάγραμμα X – Y, από δεδομένα όπως αυτά που δείχνει το σχήμα (Fig. 8-12), εκτιμάται η μερική πίεση του νερού:

$$\text{στο } X = 2{,}3,\ t_L = 305{,}7 \text{ K},\ P_e = 0{,}35 \text{ kN/m}^2$$

Άρα

$$Y^* = 0{,}35/(101{,}3-0{,}35) = 0{,}00347 \text{ kmol } H_2O/\text{kmol αέρα}$$

Στο X = 2,22, t = 293 K, P_e = 0,12 και

$$Y^* = 0{,}12/(101{,}3-0{,}12)=0{,}00119$$

Τα σημεία αυτά μπορούν να τοποθετηθούν στο απαιτούμενο διάγραμμα X – Y. Οι συνθήκες στον πύργο που υπολογίσθηκαν φαίνονται στο παρακάτω σχήμα (Fig. 8-13).

Μόλις υπολογίσαμε τις συνθήκες στο επίπεδο α και με όμοιο τρόπο θα βρούμε τις συνθήκες στο επίπεδο β.

Τα ισοζύγια θερμότητας ανάμεσα στα επίπεδα α και β (υποθέτοντας ότι το αέριο παραμένει στην ίδια θερμοκρασία) γίνεται

$$H_{Lb}.L_b - H_{La}.L_a. = 44200X - 98120$$

Επιλέγουμε X = 2,35 , τότε

$$L_b = L_s(1+X) = 1{,}0(1+2{,}35) = 3{,}35 \text{ kg/s}$$

Στο X = 2,35 ΔH_{sb} = -23000 kJ/kmol NaOH

= -23000/(1+2,35)

= -6780 kJ/kmol διαλύματος

Επίσης

$$M_{avb} = [(2{,}35x18)+(1x40)]/3{,}35 = 24{,}57$$

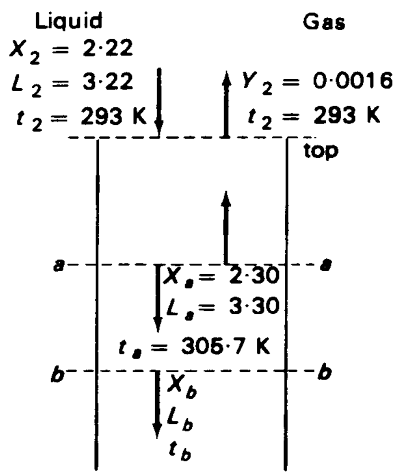


Fig. 8-13

$$C_{Lb} = 3{,}284 \text{ kJ/kg K και}$$

$$H_{Lb} = 3{,}284(t_L - 293)24{,}57 - 6870 = (80{,}69t_b - 30510)$$

Άρα

$$(80{,}69t_b-30510)3{,}35-(81{,}0x305{,}7-30600)3{,}30$$
$$= 44200x2{,}35-98120$$

Από όπου t_b = 328,1 K

Στο X = 2,35, t_b = 328,1 K, P_e = 2,0 kN/m², επομένως

$$Y_b^* = 2{,}0 / (101{,}3-2{,}0) = 0{,}020$$

Η αδιαβατική καμπύλη ισορροπίας σχεδιάζεται στο σχήμα (Fig. 8-14) και για σύγκριση μπορεί να υπολογισθεί η ισόθερμη καμπύλη ισορροπίας στους 293 K.

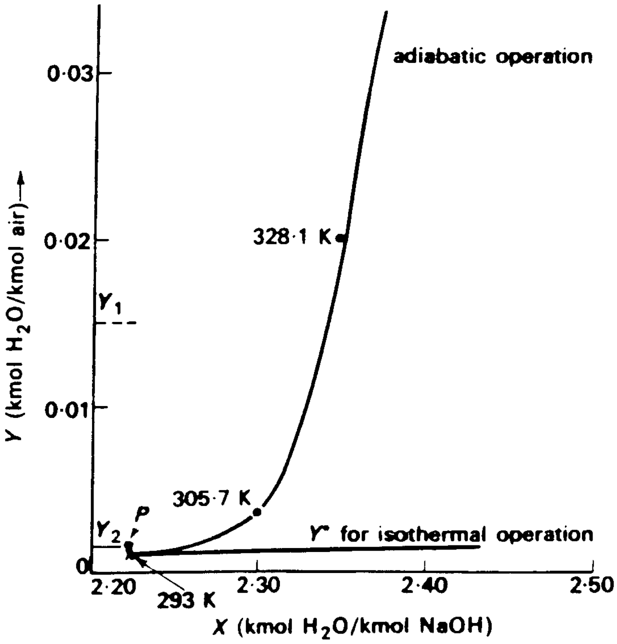


Fig. 8-14

Στο X = 2,4, P_e = 0,15 kN/m^2, άρα

$$Y^* = 0{,}00148$$

Η γραμμή ισορροπίας έτσι σχεδιάζεται, έχοντας υπόψη ότι η γραμμή λειτουργίας θα τραβηχτεί από το σημαίο P (στην κορυφή του πύργου) προς το Y_1 της τεταγμένης. Μπορούμε τώρα να δούμε την εντυπωσιακή επίδραση της αδιαβατικής λειτουργίας.