

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΛΥΜΕΝΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:

**«Συστήματα ενός συστατικού και δύο φάσεων (τάση
ατμών). Συστήματα δύο φάσεων αερίων-υγρών
(κορεσμός, συμπύκνωση, εξάτμιση, μερικός
κορεσμός, υγρασία)»**

**Διδάσκοντες:
Γκαϊντατζής Γεώργιος
Δούναβης Αθανάσιος**

Ξάνθη, Εαρινό Εξάμηνο 2025

Παράδειγμα 8.1 Εφαρμογή του Κανόνα των Φάσεων

Υπολογίστε τον αριθμό των βαθμών ελευθερίας (πόσες ακόμη εντατικές ιδιότητες πρέπει να καθοριστούν ώστε να προσδιοριστεί το σύστημα) με βάση τον κανόνα των φάσεων για τα παρακάτω υλικά σε ισορροπία:

- (α) Καθαρό υγρό βενζόλιο
- (β) Μίγμα πάγου και νερού
- (γ) Μίγμα υγρού βενζολίου, ατμών βενζολίου, και αέριου ηλίου
- (δ) Μίγμα άλατος και νερού σχεδιασμένο ώστε να επιτευχθεί μία καθορισμένη τάση ατμών.

Ποιες μεταβλητές πρέπει να καθοριστούν σε κάθε περίπτωση;

Λύση

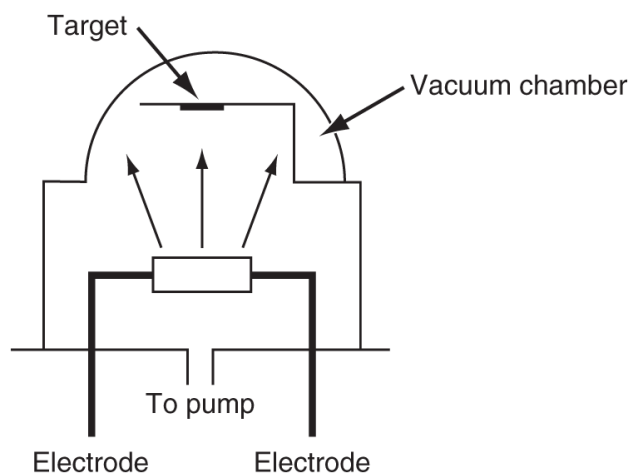
- (α) $P = 1$ και $C = 1$, οπότε $F = 2 - 1 + 1 = 2$. Η θερμοκρασία και η πίεση πρέπει να καθοριστούν στο διάστημα στο οποίο το βενζόλιο παραμένει υγρό.
- (β) $P = 2$ και $C = 1$, οπότε $F = 2 - 2 + 1 = 1$. Αν καθοριστεί είτε η θερμοκρασία είτε η πίεση, καθορίζονται και οι άλλες εντατικές ιδιότητες.
- (γ) $P = 2$ και $C = 2$, οπότε $F = 2 - 2 + 2 = 2$. Μπορεί να προσδιοριστεί ένα ζεύγος από τις ιδιότητες θερμοκρασία, πίεση ή γραμμομοριακό κλάσμα.
- (δ) $P = 2$ και $C = 2$, οπότε $F = 2 - 2 + 2 = 2$. Επειδή πρέπει να επιτευχθεί μία ορισμένη πίεση, θα ρυθμίζατε την συγκέντρωση του άλατος και την θερμοκρασία του διαλύματος.

Στις περιπτώσεις (α) και (β) θα ήταν πιθανή η ύπαρξη μιας φάσης ατμών, αυξάνοντας το P κατά 1 και ελαττώνοντας το F κατά 1.

Παράδειγμα 8.2 Ατμοποίηση Μετάλλων για Εναπόθεση Λεπτών Υμενίων

Οι τρεις μέθοδοι με τις οποίες μπορούμε να εξασφαλίσουμε ατμοποιημένα μέταλλα για εναπόθεση λεπτών υμενίων είναι η εξάτμιση από μια μεταλλική κοιλότητα ή η εξάτμιση από ένα μεταλλικό έλασμα και η μεταφορά διαμέσου μίας ηλεκτρονικής δέσμης. Στο Σχήμα E8.2 παρουσιάζεται η εξάτμιση από μια μεταλλική κοιλότητα που βρίσκεται σε θάλαμο κενού.

Σχήμα E8.2



Target: Στόχος

Vacuum chamber: Θάλαμος κενού

Electrode: Ηλεκτρόδιο

To pump: Προς αντλία

Η μεταλλική κοιλότητα η οποία κατασκευάζεται από βολφράμιο έχει αμελητέα τάση ατμών στους 972°C, η οποία είναι και η θερμοκρασία ατμοποίησης του αλουμινίου (το οποίο τήκεται στους 660°C και γεμίζει τη μεταλλική κοιλότητα). Ο κατά προσέγγιση ρυθμός εξάτμισης m , σε μονάδες $\text{g}/(\text{cm}^2)(\text{s})$, δίνεται από την σχέση

$$m = 0.437 \frac{p^*(\text{M.B.})^{1/2}}{T^{1/2}}$$

όπου p^* είναι η τάση ατμών σε kPa και T η θερμοκρασία σε K.

Πόσος είναι ο ρυθμός εξάτμισης για το Al στους 972°C σε $\text{g}/(\text{cm}^2)(\text{s})$;

Λύση

Πρέπει να υπολογίσετε το p^* για το Al στους 972°C . Η εξίσωση Antoine είναι κατάλληλη αν υπάρχουν δεδομένα για την τάση ατμών του Al. Υπάρχει σημαντική ποικιλία των δεδομένων για το Al σε υψηλές θερμοκρασίες, αλλά θα χρησιμοποιήσουμε $A = 8.779$, $B = 1.615 \times 10^4$, και $C = 0$, με το p^* σε mm Hg και το T σε K.

$$\ln p_{972^\circ\text{C}}^* = 8.799 - \frac{1.615 \times 10^4}{972 + 273} = 0.0154 \text{ mm Hg (0.00201 kPa)}$$

$$m = 0.437 \frac{(0.00201) (26.98)^{1/2}}{(972 + 273)^{1/2}} = 1.3 \times 10^{-4} \text{ g/(cm)}^2 \text{ (s)}$$

Παράδειγμα 8.3 Γραμμική Παρεμβολή σε Πίνακες Ατμού

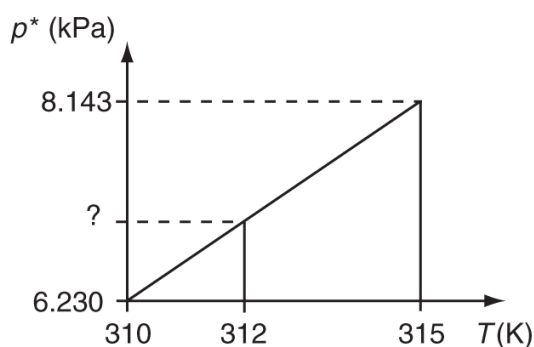
Πόση είναι η πίεση κορεσμού του νερού στους 312 K ;

Για να λύσετε το πρόβλημα αυτό θα πρέπει να εκτελέσετε μία απλή γραμμική παρεμβολή. Κοιτάξτε στους πίνακες ατμού κάτω από τις ιδιότητες του κορεσμένου νερού για να λάβετε το p^* , έτσι ώστε να προκύψει το p^* στους 312 K :

T(K)	$p^*(\text{kPa})$
310	6.230
315	8.143

Το Σχήμα E8.3 απεικονίζει την έννοια της γραμμικής παρεμβολής μεταξύ 310 K και 315 K . Υπολογίστε την μεταβολή του p^* ανά μονάδα μεταβολής του T .

Σχήμα E8.3



$$\frac{\Delta p^*}{\Delta T} = \frac{8.143 - 6.230}{315 - 310} = \frac{1.91}{5} = 0.383$$

Πολλαπλασιάστε την κλασματική μεταβολή επί την αύξηση των βαθμών ελευθερίας από τα 310 K ώστε να υπολογίσετε την μεταβολή στο p^* , και προσθέστε το αποτέλεσμα στην τιμή του p^* στα 310 K από τα 6.230 kPa:

$$p_{312\text{ K}}^* = p_{310\text{ K}}^* + \frac{\Delta p^*}{\Delta T} (T_{312} - T_{310}) = 6.230 + 0.383(2) = 7.00 \text{ kPa}$$

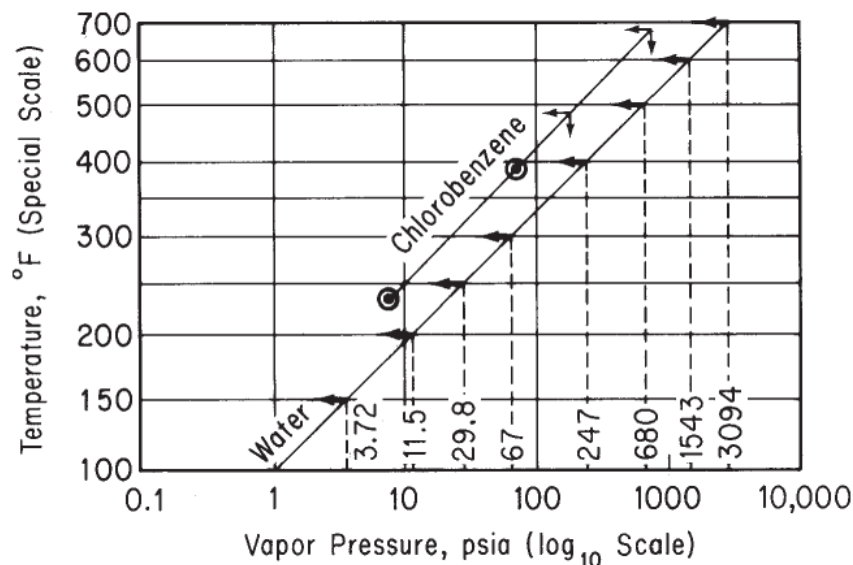
Παράδειγμα 8.4 Προεκβολή Δεδομένων Τάσης Ατμού

Ο περιορισμός εκπομπής οργανικών των διαλυτών περιγράφηκε για πρώτη φορά στο *Federal Register*, [36, No. 158 (14 Αυγούστου, 1971)], με τον Τίτλο 42, Κεφάλαιο 4, Παράρτημα 4.0, “Control of Organic Compound Emissions”. Οι χλωριωμένοι υδρογονάνθρακες και πολλοί άλλοι διαλύτες που χρησιμοποιούνται στο βιομηχανικό φινίρισμα και στην βιομηχανική κατεργασία, στις μονάδες ξηρού-καθαρισμού, στην απομάκρυνση λίπους από μέταλλα, στις εκτυπώσεις κ.τ.λ., μπορούν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν μετά από προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα. Για το σχεδιασμό της συσκευής ρόφησης, θα πρέπει να είναι γνωστή η τάση ατμών της ένωσης που προσροφάται στις συνθήκες της διεργασίας.

Η τάση ατμών του χλωροβενζολίου είναι ίση με 400 mm Hg στους 110°C και 5 atm στους 205°C. Υπολογίστε την τάση ατμών στους 245°C καθώς και στο κρίσιμο σημείο (359°C).

Λύση

Οι τάσεις των ατμών θα υπολογιστούν χρησιμοποιώντας μία γραφική παράσταση Cox. Φτιάχνετε την κλίμακα της θερμοκρασίας (κάθετη) και την κλίμακα της τάσης των ατμών (οριζόντια), όπως περιγράφηκε για το Σχήμα 8.9. Στον οριζόντιο άξονα με το p^* να δίνεται σε λογαριθμική κλίμακα ($\log_{10}$), σημειώστε τις τάσεις ατμών του νερού από 3,72 έως 3094 psia που αντιστοιχούν σε 150°F έως 700°F, και σημειώστε τις αντίστοιχες θερμοκρασίες στην κατακόρυφη κλίμακα, όπως φαίνεται στο Σχήμα E8.4.



Temperature, °F (special scale): Θερμοκρασία °F (ειδική κλίμακα)

Vapor pressure, psia (log₁₀ scale): Τάση ατμών, psia (κλίμακα log₁₀)

Water: Νερό

Chlorobenzene: Χλωροβενζόλιο

Στη συνέχεια μετατρέψτε τις δύο γνωστές τάσεις ατμών του χλωροβενζολίου σε psia

$$\frac{400 \text{ mm Hg}}{760 \text{ mm Hg}} \left| \frac{14.7 \text{ psia}}{1 \text{ atm Hg}} \right| = 7.74 \text{ psia} \quad 110^\circ\text{C} = 230^\circ\text{F}$$

$$\frac{5 \text{ atm Hg}}{1 \text{ atm Hg}} \left| \frac{14.7 \text{ psia}}{1 \text{ atm Hg}} \right| = 73.5 \text{ psia} \quad 205^\circ\text{C} = 401^\circ\text{F}$$

και βάλτε τις τιμές αυτές στο διάγραμμα. Εξετάστε τις τελείες που βρίσκονται μέσα σε κύκλο. Τέλος, σχεδιάστε μία ευθεία γραμμή μεταξύ των σημείων που βρίσκονται μέσα σε κύκλο και προεκβάλετε στους 471°F (245°C) και 678°F (359°C). Για τις δύο αυτές θερμοκρασίες μπορείτε να διαβάσετε τις αντίστοιχες τιμές τάσης ατμών.

	<u>471°F (245°C)</u>	<u>678°F (359°C)</u>
Υπολογιζόμενη τιμή:	150 psia	700 psia
Πειραματική τιμή:	147 psia	666 psia

Οι πειραματικές τιμές δίνονται για σύγκριση.

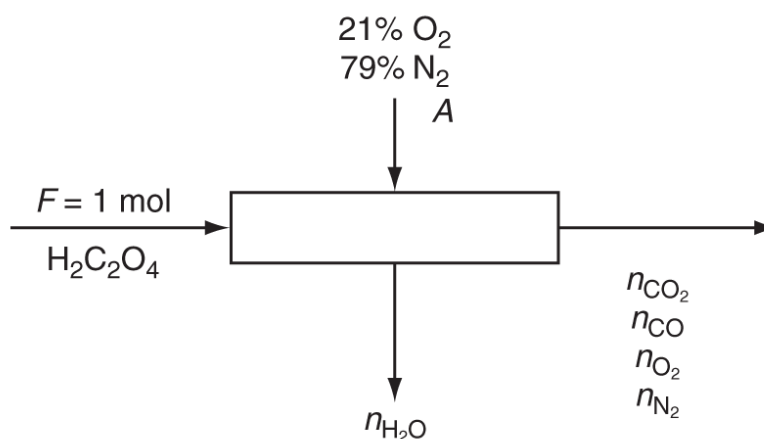
Παράδειγμα 8.5 Υπολογισμός του Σημείου Δρόσου Προϊόντων Καύσης

Το οξαλικό οξύ ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) καίγεται σε ατμοσφαιρική πίεση με 4% περίσσεια αέρα, οπότε το 65% του άνθρακα καίγεται προς CO . Υπολογίστε το σημείο δρόσου του παραγόμενου αερίου.

Λύση

Η λύση του προβλήματος περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

Σχήμα E8.5

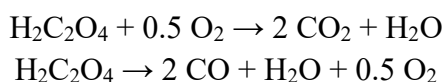


1. Υπολογίστε τα προϊόντα καύσης μέσω των ισοζυγίων μάζας.
2. Υπολογίστε το γραμμομοριακό κλάσμα του υδρατμού στα προϊόντα καύσης.
3. Υποθέστε μία ολική πίεση, έστω, 1 atm, και υπολογίστε $y_{\text{H}_2\text{O}} p_{\text{ολική}} = p_{\text{H}_2\text{O}}$ στα προϊόντα της καύσης. Στην ισορροπία η $p_{\text{H}_2\text{O}}$ θα είναι η τάση ατμών $p_{\text{H}_2\text{O}}^*$.
4. Η συμπύκνωση (σε σταθερή ολική πίεση) θα γίνει όταν η $p_{\text{H}_2\text{O}}^*$ εξισωθεί με την υπολογιζόμενη $p_{\text{H}_2\text{O}}$. Η τιμή είναι το σημείο δρόσου.
5. Αναζητήστε την θερμοκρασία που αντιστοιχεί στην $p_{\text{H}_2\text{O}}^*$ στους πίνακες κορεσμένου ατμού.

Βήματα 1 – 5

Βάση: 1 mol $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$

Δίνονται το σχήμα και τα δεδομένα. Η εξίσωση της χημικής αντίδρασης για την καύση του οξαλικού οξέος είναι η



Βήμα 4

Απαιτούμενο O₂:

$$\frac{1 \text{ mol H}_2\text{C}_2\text{O}_4}{1} \frac{0.5 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol H}_2\text{C}_2\text{O}_4} = 0.5 \text{ mol O}_2$$

Moles O₂ που εισάγονται μαζί με την περίσσεια αέρα:

$$(1 + 0.04)(0.5 \text{ mol O}_2) = 0.52 \text{ mol O}_2$$

Επομένως εισέρχονται $0.52/0.21 = 2.48 \text{ mol}$ αέρα που περιέχουν $1.96 \text{ mol n}_{\text{N}_2}$.

Προδιαγραφές: 65% του άνθρακα καίγεται προς CO: $(0.65)(2) = 1.30$.

Βάση: 1 mol H₂C₂O₄ που εισέρχεται

Στοιχειακά ισοζύγια μάζας:

Στοιχείο	Είσοδος (mol)	Έξοδος (mol)
C	2	$n_{\text{CO}_2} + n_{\text{CO}}$ ή $0.70 + 1.30$
H	2	$2n_{\text{H}_2\text{O}}$
N	1.96	1.96
O	$0.52 + 4$	$2n_{\text{CO}_2} + n_{\text{CO}} + n_{\text{O}_2}$ ή $2(0.70) + 1.30 + n_{\text{O}_2}$

Τα αποτελέσματα:

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = 1.0, n_{\text{CO}_2} = 0.7, n_{\text{CO}} = 1.3, n_{\text{O}_2} = 1.82, n_{\text{N}_2} = 1.96, \text{ολικά mol} = 6.78$$

$$y_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ mol H}_2\text{O} / 6.78 \text{ mol} = 0.147$$

Η μερική πίεση του νερού στο παραγόμενο αέριο (σε ορισμένη πίεση) καθορίζει το σημείο δρόσου του καυσαερίου, όπου, η θερμοκρασία του κορεσμένου ατμού που ισούται με η μερική πίεση του νερού είναι ίση με το σημείο δρόσου του αερίου προϊόντος:

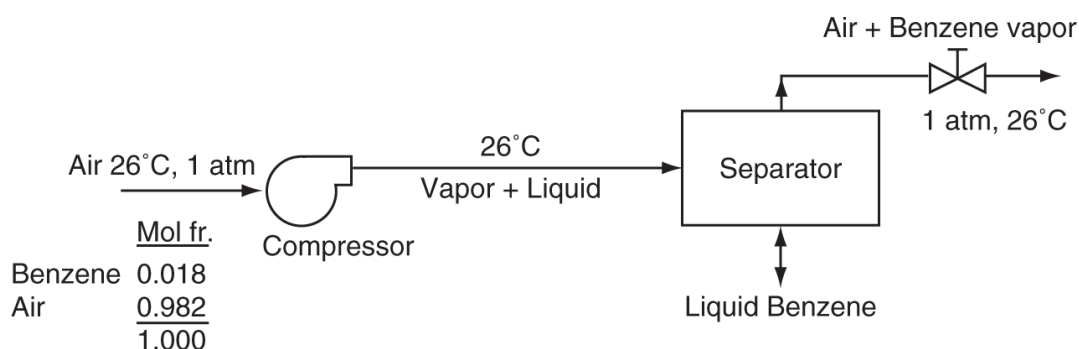
$$p_{\text{H}_2\text{O}}^* = y_{\text{H}_2\text{O}} (p_{\text{ολική}}) = 0.147 (101.3 \text{ kPa}) = 14.9 \text{ kPa} (2.16 \text{ psia})$$

Από τους πίνακες ατμού, $T = 129^\circ\text{F}$.

Παράδειγμα 8.6 Συμπύκνωση Βενζολίου σε Μονάδα Ανάκτησης Ατμών

Η εκπομπή πτητικών οργανικών ενώσεων σε διάφορες διεργασίες, ελέγχεται αυστηρά. Τόσο η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας (EPA), όσο και η Διοίκηση Εργασιακής Ασφάλειας και Υγιεινής (OSHA), έχουν καθιερώσει κανονισμούς και πρότυπα που αφορούν στις εκπομπές και στην συχνότητα της έκθεσης. Το πρόβλημα αυτό σχετίζεται με το πρώτο βήμα της απομάκρυνσης ατμών βενζολίου από ένα ρεύμα εξάτμισης (Σχήμα E8.6α), που σχεδιάστηκε έτσι ώστε να ανακτάται το 95 % του βενζολίου του αέρα, με συμπίεση. Πόση είναι η πίεση εξόδου από τον συμπιεστή;

Σχήμα E8.6α



Compressor: Συμπιεστής

Air 26°C, 1 atm: Αέρας 26°C, 1 atm

Benzene: Βενζόλιο

Air: Αέρας

Vapor + Liquid: Ατμός + Υγρό

Separator: Διαχωριστής

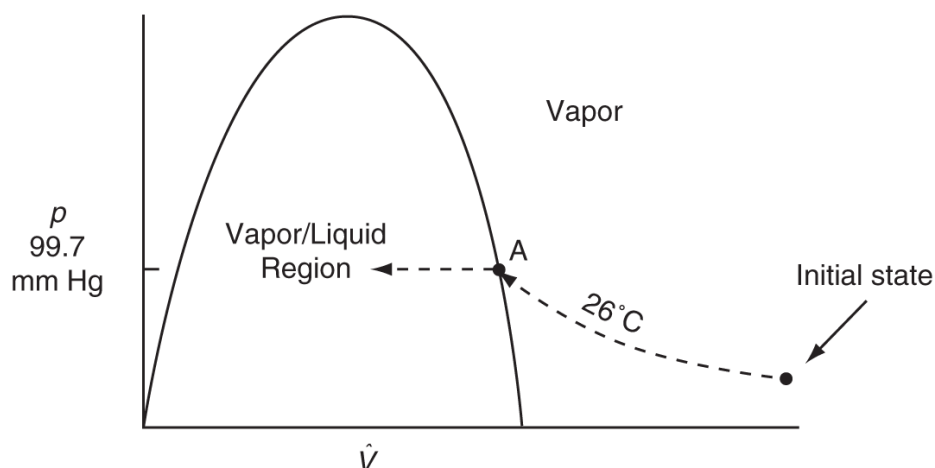
Liquid Benzene: Υγρό Βενζόλιο

Air + Benzene vapor: Αέρας + Ατμός Βενζολίου

Λύση

Το Σχήμα E8.6β απεικονίζει ένα διάγραμμα p - $\hat{V}$ του βενζολίου, όπου φαίνεται η μεταβολή των ατμών του βενζολίου στην διάρκεια της διεργασίας. Η συγκεκριμένη διεργασία είναι μία ισόθερμη συμπίεση

Σχήμα E8.6β



Vapor: Ατμός

Vapor/Liquid Region: Περιοχή Ατμού/Υγρού

Initial state: Αρχική κατάσταση

Αν επιλέξετε σαν σύστημα τον συμπιεστή, η συμπίεση είναι ισόθερμη και δίνει ένα κορεσμένο αέριο. Μπορείτε να βρείτε την τάση ατμών του βενζολίου στους 26°C σε κάποιο εγχειρίδιο ή στο CD του βιβλίου αυτού. Είναι $p^* = 99.7 \text{ mm Hg}$.

Μετά, θα πρέπει να φτιάξετε ένα μικρό ισοζύγιο μάζας για να προσδιορίσετε τις συγκεντρώσεις εξόδου από τον συμπιεστή:

Βάση: 1 g mol εισερχόμενου αερίου στους 26°C και 1 atm

Εισερχόμενα συστατικά στον συμπιεστή:

$$\begin{aligned} \text{mol βενζολίου} &= 0.018 (1) &= 0.018 \text{ g mol} \\ \text{mol αέρα} &= 0.982 (1) &= \underline{0.982} \text{ g mol} \\ \text{ολικό αέριο} &= &= 1.000 \text{ g mol} \end{aligned}$$

Εξερχόμενα συστατικά στην αέρια φάση από τον συμπιεστή:

$$\begin{aligned} \text{mol βενζολίου} &= 0.018 (0.05) = 0.90 \times 10^{-3} \text{ g mol} \\ \text{mol αέρα} &= \underline{0.982} \text{ g mol} \\ \text{ολικό αέριο} &= 0.983 \text{ g mol} \end{aligned}$$

$$y_{\text{εξερχόμενου βενζολίου}} = \frac{0.90 \times 10^{-3}}{0.983} = 0.916 \times 10^{-3} = \frac{p_{\text{βενζολίου}}}{p_{\text{ολική}}}$$

Τώρα η μερική πίεση του βενζολίου είναι 99.7 mm Hg, οπότε

$$P_{\text{ολική}} = \frac{99.7 \text{ mm Hg}}{0.916 \times 10^{-3}} = 108 \times 10^{-3} \text{ mm Hg (143 atm)}$$

Θα μπορούσατε να αυξήσετε την πίεση στην έξοδο της αντλίας πάνω από τις 143 atm; Μόνο αν όλη η ποσότητα των ατμών του βενζολίου συμπυκνωθεί σε υγρό. Φανταστείτε ότι η διακεκομμένη γραμμή του Σχήματος 8.6β εκτείνεται προς τα αριστερά μέχρι να συναντήσει την γραμμή του κορεσμένου υγρού (γραμμή σημείου φυσαλίδας). Συνεπώς, η πίεση στο υγρό μπορεί να αυξηθεί (θα ακολουθεί μία κάθετη ευθεία αφού το υγρό βενζόλιο δεν είναι συμπιεστό).

Παράδειγμα 8.7 Εκπομπές Αιθάλης και Μόλυνση

Ένας τοπικός σύλλογος για την αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων, ανέφερε ότι η καπνοδόχος του ατμοηλεκτρικού σταθμού Simtron Co. προκαλεί αέρια ρύπανση, και παρουσίασε ως αποδείξεις φωτογραφίες των εκπομπών της καπνοδόχου για 20 διαφορετικές μέρες. Ως υπεύθυνος μηχανικός των εγκαταστάσεων της Simtron Co., γνωρίζετε ότι ο σταθμός δεν προκαλεί ρύπανση αφού η μονάδα χρησιμοποιεί φυσικό αέριο (κυρίως μεθάνιο), και ο λέβητας λειτουργεί σωστά. Το αφεντικό σας πιστεύει ότι η περιβαλλοντική ομάδα έκανε λάθος στην ταυτοποίηση της καπνοδόχου, κι ότι θα πρέπει να ανήκει στην γειτονική βιομηχανία που καίει άνθρακα. Ποιος νομίζετε ότι έχει δίκιο, ο διευθυντής σας ή ο σύλλογος; Βλέπε Σχήμα E8.7α.

Σχήμα E8.7α



Λύση

Το μεθάνιο (CH_4) περιέχει 2 kg mol H_2 / kg mol C. Ανατρέξτε στο Κεφάλαιο 2 και θα βρείτε ότι ο άνθρακας περιέχει 71 kg C / 5.6 kg H_2 σε 100 kg άνθρακα. Η ανάλυση του άνθρακα είναι ισοδύναμη με

$$\frac{71 \text{ kg C}}{1} \left| \frac{1 \text{ kg mol C}}{12 \text{ kg C}} \right. = 5.92 \text{ kg mol C}$$

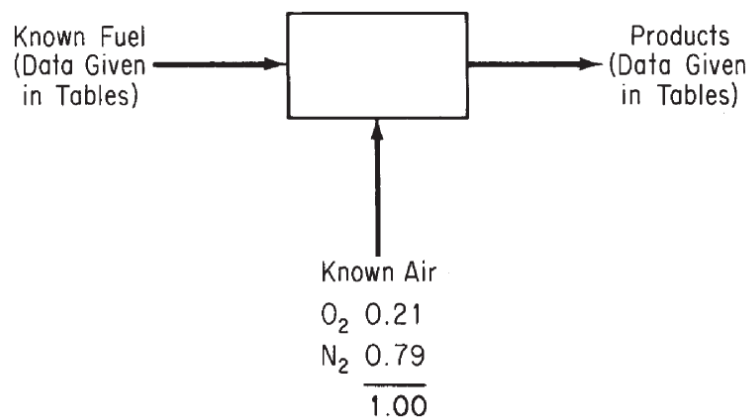
$$\frac{5.6 \text{ kg H}_2}{1} \left| \frac{1 \text{ kg mol H}_2}{2.016 \text{ kg H}_2} \right| = 2.78 \text{ kg mol H}_2$$

ή με την αναλογία $2.78/5.92 = 0.47 \text{ kg mol H}_2 / \text{kg mol C}$. Έστω ότι κάθε καύσιμο καίγεται με 40 % περίσσεια αέρα και η καύση είναι πλήρης. Μπορείτε να υπολογίσετε το γραμμομοριακό κλάσμα του υδρατμού σε κάθε αέριο της καπνοδόχου, και έτσι να υπολογίσετε τις αντίστοιχες μερικές πιέσεις.

Βήματα 1 – 4

Η διεργασία απεικονίζεται στο Σχήμα 8.7β.

Σχήμα E8.7β



Known Fuel (Data Given in Tables): Γνωστό Καύσιμο

Known Air: Γνωστός Αέρας

Products (Data Given in Tables): Προϊόντα (Δεδομένα που Δίνονται σε Πίνακες)

Βήμα 5

Βάση : 1 kg mol C

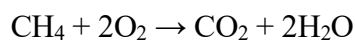
Βήματα 6 και 7

Τα προβλήματα καύσης είναι ένας συνηθισμένος τύπος προβλήματος με μηδέν βαθμούς ελευθερίας στο οποίο οι ροές τόσο των καυσίμων όσο και του αέρα είναι δεδομένες, και μπορείτε να υπολογίσετε απευθείας την ροή του προϊόντος.

Βήματα 7 – 9

Οι πίνακες θα κάνουν την ανάλυση πιο περιεκτική:

Φυσικό αέριο:



Απαιτούμενο O_2 : 2

Περίσσεια O_2 : $2(0.40) = 0.80 \text{ kg mol}$

N_2 : $(2.80)(79/21) = 10.5 \text{ kg mol}$

Σύσταση των αέριων της καύσης (kg mol)

Αέρια προϊόντα της καύσης (kg mol)					
Συστατικά	kg mol	εισόδου	CO_2	H_2O	Περίσσεια O_2 N_2
C	1.0		1.0		
H	4.0			2.0	
Αέρας			—	—	<u>0.80</u> <u>10.5</u>
Σύνολο			1.0	2.0	0.80 10.5

Τα συνολικά kg moles του παραγόμενου αερίου είναι 14.3, ενώ το γραμμομοριακό κλάσμα του H_2O είναι

$$\frac{2.0}{14.3} = 0.14$$

Ανθρακας



Απαιτούμενο O_2 : $1 + 0.47(1/2) = 1.24 \text{ kg mol}$

Περίσσεια O_2 : $(1.24)(0.40) = 0.49 \text{ kg mol}$

N_2 : $1.40(79/21)[1 + 0.47(1/2)] = 6.50 \text{ kg mol}$

Σύσταση των αέριων της καύσης (kg mol)					
Συστατικά	kg mol	CO_2	H_2O	Περίσσεια O_2	N_2
C	1	1			
H	0.94		0.47		
Αέρας		—	—	<u>0.49</u>	<u>6.5</u>
Σύνολο		1	0.47	0.49	6.5

Τα συνολικά kg moles του παραγόμενου αερίου είναι 8.46, ενώ το γραμμομοριακό κλάσμα του H_2O είναι

$$\frac{0.47}{8.46} = 0.056$$

Αν η βαρομετρική πίεση είναι ίση, έστω με 100 kPa και τα αέρια της καπνοδόχου ήταν κορεσμένα έτσι ώστε οι υδρατμοί να άρχιζαν την συμπύκνωση σε πίεση $p_{\text{H}_2\text{O}}^*$ ο συμπυκνωμένος ατμός θα μπορούσε να φωτογραφηθεί:

	Φυσικό αέριο	Άνθρακας
Μερική πίεση (p^*)	100(0.14) = 14 kPa	100(0.056)= 5.6 kPa
Ισοδύναμη θερμοκρασία	52.5°C	35°C

Έτσι, η καπνοδόχος εκπέμπει συμπυκνωμένους υδρατμούς σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες περιβάλλοντος όταν χρησιμοποιείται λέβητας που καίει φυσικό αέριο σε σύγκριση με τον άνθρακα. Το κοινό, δυστυχώς, μερικές φορές βγάζει το συμπέρασμα ότι όλες οι εκπομπές προκαλούν αέρια ρύπανση. Έτσι, το φυσικό αέριο θα θεωρούνταν από την κοινή γνώμη περισσότερο ρυπογόνο από το πετρέλαιο ή τον άνθρακα, αν και στην πραγματικότητα οι εκπομπές είναι απλά υδρατμός. Το θείο που περιέχεται στον άνθρακα και στο πετρέλαιο απελευθερώνεται σαν διοξείδιο του θείου στην ατμόσφαιρα, ενώ η ρυπαντική ικανότητα του υδραργύρου και των βαρέων μετάλλων στον άνθρακα και το πετρέλαιο είναι πολύ μεγαλύτερη από του φυσικού αερίου όταν και τα τρία καίγονται κατάλληλα. Η περιεκτικότητα σε θείο όπως φτάνει στο κοινό είναι : φυσικό αέριο 4×10^{-4} mol % (με τη μορφή μερκαπτανών που προσδίδουν οσμή για λόγους ασφαλείας), πετρέλαιο καύσης Νο. 6 μέχρι 2.6%, και άνθρακας από 0.5 – 5%. Ακόμη, ο άνθρακας είναι δυνατό να εκπέμπει σωματιδιακή ύλη. Αναμιγνύοντας τα αέρια της καμινάδας με φρέσκο αέρα, και υποθέτοντας ανάμιξη συναγωγής πάνω από την καπνοδόχο, το γραμμομοριακό κλάσμα του υδρατμού μπορεί να ελαττωθεί, και έτσι να ελαττωθεί και η θερμοκρασία συμπύκνωσης. Ωστόσο, για ισοδύναμη διάλυση, η μονάδα καύσης άνθρακα θα έχει πάντοτε μικρότερη θερμοκρασία συμπύκνωσης.

Με βάση τις παραπάνω πληροφορίες, πως θα απαντούσατε στα ερωτήματα που τέθηκαν αρχικά;

Παράδειγμα 8.8 Εξάτμιση για Κορεσμό Ξηρού Αέρα

Ποιος είναι ο ελάχιστος αριθμός κυβικών μέτρων ξηρού αέρα στους 20°C και 100 kPa που είναι απαραίτητος για την εξάτμιση 6.0 kg αιθυλικής αλκοόλης αν η ολική πίεση παραμένει σταθερή στα 100 kPa και η θερμοκρασία διατηρείται στους 20°C; Υποθέστε ότι ο αέρας φτάνει στην αλκοόλη με τέτοιο τρόπο ώστε η πίεση εξόδου του μίγματος αέρα-αλκοόλης να είναι ίση με 100 kPa.

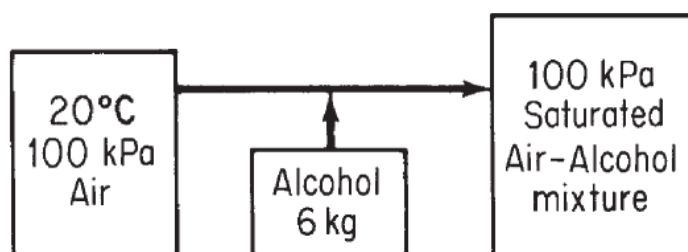
Λύση

Κοιτάξτε στο Σχήμα E8.8. Η διεργασία είναι ισόθερμη. Τα επιπλέον δεδομένα που απαιτούνται είναι

$$p_{\text{αλκοόλης}}^* \text{ στους } 20^\circ\text{C} = 5.93 \text{ kPa}$$

$$\text{Mol. κ.β. αιθυλικής αλκοόλης} = 46.07$$

Σχήμα E8.8



Air: Αέρας

Alcohol: Αλκοόλη

Saturated air-alcohol mixture: Μίγμα κορεσμένου αέρα-αλκοόλης

Ελάχιστος όγκος αέρα σημαίνει ότι το μίγμα που προκύπτει είναι κορεσμένο. Οποιαδήποτε συνθήκη μικρότερη από κορεσμό θα απαιτούσε περισσότερο αέρα.

Βάση: 6.0 kg αλκοόλης

Η αναλογία των moles της αιθυλικής αλκοόλης προς τα moles του αέρα στο τελικό μίγμα αερίων είναι ίση με την αναλογία των μερικών πιέσεων των δύο αυτών ενώσεων. Επειδή γνωρίζουμε τα moles της αλκοόλης, μπορούμε να βρούμε τον αριθμό των moles του αέρα που απαιτούνται για την εξάτμιση.

$$\frac{p_{\text{αλκοόλης}}^*}{p_{\text{αέρα}}} = \frac{n_{\text{αλκοόλης}}}{n_{\text{αέρα}}}$$

Μόλις υπολογίσετε τον αριθμό moles του αέρα, μπορείτε να εφαρμόσετε τον νόμο των ιδανικών αερίων. Επειδή $p_{\text{αλκοόλης}}^* = 5.93 \text{ kPa}$

$$p_{\text{αέρα}} = p_{\text{ολική}} - p_{\text{αλκοόλης}}^* = (100 - 5.93) \text{ kPa} = 94.07 \text{ kPa}$$

$$\frac{6.0 \text{ kg αλκοόλης}}{46.07 \text{ kg αλκοόλης}} \left| \frac{1 \text{ kg mol αλκοόλης}}{5.93 \text{ kg mol αλκοόλης}} \right| \frac{94.07 \text{ kg mol αέρα}}{5.93 \text{ kg mol αλκοόλης}} = 2.07 \text{ kg mol αέρα}$$

$$V_{\text{αέρα}} = \frac{2.07 \text{ kg mol αέρα}}{\left| \frac{8.314 \text{ (kPa)(m}^3\text{)}}{(\text{kg mol})(\text{K})} \right| \frac{293 \text{ K}}{100 \text{ kPa}}} = 50.3 \text{ m}^3 \text{ στους } 20^\circ\text{C και } 100 \text{ kPa}$$

Σε ένα μη συμπυκνώσιμο αέριο μπορεί να πραγματοποιηθεί εξάχνωση καθώς επίσης και εξάτμιση.

Παράδειγμα 8.9 Υπολογισμός Σημείου Φυσαλίδας

Έστω ότι εξατμίζεται ένα υγρό μίγμα 4.0% κατά mol n-εξανίου σε n-οκτάνιο. Ποια είναι η σύσταση του αρχικού ατμού που σχηματίζεται αν η ολική πίεση είναι ίση με 1.00 atm;

Λύση

Ξανακοιτάξτε το Σχήμα 8.18 για να δείτε μία σχέσης μεταξύ του T ως προς το x , σε σταθερή p , όπως αυτή που περιέχεται στο πρόβλημα αυτό. Το μίγμα μπορεί να αντιμετωπιστεί σαν ιδανικό μίγμα αφού τα συστατικά είναι αρκετά όμοια. Σαν ενδιάμεσο βήμα, μπορείτε να υπολογίσετε την θερμοκρασία του σημείου φυσαλίδας με βάση την Εξίσωση (8.12). Πρέπει να βρείτε τους συντελεστές της Εξίσωσης Antoine για να πάρετε τις τάσεις ατμών των δύο συστατικών:

$$\ln(p^*) = A - \frac{B}{C+T}$$

όπου το p^* είναι σε mm Hg και το T σε K:

	A	B	C
n-εξάνιο(C_6):	15.8737	2697.55	-48.784
n- οκτάνιο (C_8):	15.9798	3127.60	-63.633

Βάση : 1 kg mol υγρού

Θα πρέπει να επιλύσετε την παρακάτω εξίσωση για να βρείτε την θερμοκρασία του σημείου φυσαλίδας. Χρησιμοποιήστε ένα πρόγραμμα επίλυσης για μη-γραμμικές εξισώσεις όπως το Polymath:

$$760 = \exp\left(15.8737 - \frac{2697.55}{-48.748 + T}\right) 0.040 + \exp\left(15.9787 - \frac{3127.60}{-63.633 + T}\right) 0.960$$

Η λύση δίνει $T = 393.3 \text{ K}$, για την οποία η τάση ατμών του εξανίου είναι 3114 mm Hg, και η τάση ατμών του οκτανίου είναι 661 mm Hg. Τα γραμμομοριακά κλάσματα είναι

$$y_{C_6} = \frac{p_{C_6}^*}{p_{\text{ολική}}} \quad x_{C_6} = \frac{3114}{760} = 0.164$$

$$y_{C_8} = 1 - 0.164 = 0.836$$

Λεξιλόγιο Νέων Όρων

Αζεοτροπικό σημείο Ελάχιστο σημείο βρασμού του υγρού που αποτελείται από δύο ή περισσότερα στοιχεία σε μια σταθερή πίεση.

Αμετάβλητο Σύστημα στο οποίο δεν είναι δυνατή καμία μεταβολή συνθηκών χωρίς την εξαφάνιση φάσεων.

Απόλυτη πίεση Πίεση που σχετίζεται με το πλήρες κενό.

Ατμός Αέριο κάτω από το κρίσιμο σημείο του σε σύστημα στο οποίο ο ατμός μπορεί να συμπυκνωθεί.

Βαθμοί υπερθερμότητας Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της πραγματικής T και της κορεσμένης T σε ορισμένη πίεση.

Βρασμός Η αλλαγή από υγρό σε ατμό.

Γραφική παράσταση ουσιών αναφοράς Γραφική παράσταση κάποιας ιδιότητας μιας ουσίας ως προς την ίδια ιδιότητα μιας άλλης ουσίας (αναφοράς) από την οποία προκύπτει μια σχεδόν ευθεία γραμμή.

Διάγραμμα φάσεων Παρουσίαση των διαφορετικών φάσεων μιας ένωσης σε διάγραμμα δύο ή τριών διαστάσεων.

Εξάτμιση Η αλλαγή μιας ουσίας από υγρό σε αέριο.

Εξάτμιση Η αλλαγή μιας ουσίας από υγρό σε αέριο.

Εξάχνωση Η αλλαγή φάσης ενός υγρού απευθείας σε ατμό.

Εξίσωση Antoine Εξίσωση που συνδέει την τάση ατμών με την απόλυτη θερμοκρασία.

Ιδανικό διάλυμα Σύστημα του οποίου οι ιδιότητες, όπως η τάση ατμών, ο ειδικός όγκος, κ.τ.λ., μπορούν να υπολογιστούν με βάση τη γνώση μόνο των αντίστοιχων ιδιοτήτων των συστατικών και της σύστασης του διαλύματος.

Ισορροπία Κατάσταση συστήματος στην οποία δεν υπάρχει τάση για αυθόρμητη αλλαγή.

Ισορροπίες ατμών-υγρών Διαγράμματα που απεικονίζουν την συγκέντρωση ενός συστατικού σε συστήματα ατμού-υγρού ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και/ή της πίεσης.

Κανόνας φάσεων του Gibbs Η σχέση που δίνει τους βαθμούς ελευθερίας των εντατικών ιδιοτήτων ενός συστήματος σε σχέση με τον αριθμό των φάσεων και τον αριθμό των συστατικών.

Κανονικό σημείο βρασμού Η θερμοκρασία κάτω από την οποία η τάση ατμών μιας ουσίας (p^*) είναι ίση με 1 atm (101.3 kPa).

Κανονικό σημείο τήξης Η θερμοκρασία στην οποία ένα στερεό τήκεται σε πίεση ίση με 1 atm (101.3 kPa).

Κορεσμένο υγρό Υγρό που βρίσκεται σε ισορροπία με τους ατμούς του.

Κορεσμένος ατμός Ατμός που βρίσκεται σε ισορροπία με την αντίστοιχη υγρή φάση.

Λιώσιμο Βλέπε τήξη

Μη συμπυκνώσιμο αέριο Αέριο σε συνθήκες κάτω από τις οποίες δεν μπορεί να συμπυκνωθεί σε υγρό ή στερεό.

Νόμος του Henry Η σχέση μεταξύ της μερικής πίεσης του αερίου στην αέρια φάση και του γραμμομοριακού κλάσματος του αερίου στην υγρή φάση, σε κατάσταση ισορροπίας.

Νόμος του Raoult Σχέση που συνδέει την μερική πίεση ενός συστατικού στην φάση των ατμών με το γραμμομοριακό κλάσμα του ίδιου συστατικού στην υγρή φάση.

Ουσία αναφοράς Η ουσία που χρησιμοποιείται ως αναφορά σε γραφική παράσταση ουσιών αναφοράς.

Περιοχή δύο φάσεων Τμήμα γραφικής παράστασης φυσικών ιδιοτήτων στο οποίο τόσο το υγρό όσο και ο ατμός συνυπάρχουν ταυτόχρονα.

Πήξη Η αλλαγή φάσης μιας ουσίας από υγρή σε στερεά.

Πίεση εξάχνωσης Η πίεση που δίνεται από την καμπύλη τήξης (ως συνάρτηση της θερμοκρασίας).

Πίνακες ατμού Ταξινόμηση των ιδιοτήτων του νερού και του ατμού (υδρατμός).

Ποιότητα Το κλάσμα ή ποσοστό ενός μίγματος υγρού-ατμού, που είναι ατμός (υγρός ατμός).

Σημείο δρόσου Η θερμοκρασία στην οποία ο ατμός μόλις αρχίζει να συμπυκνώνεται σε ορισμένη πίεση, δηλαδή οι τιμές της θερμοκρασίας πάνω στην καμπύλη της τάσης ατμών.

Σημείο φυσαλίδας Η θερμοκρασία στην οποία το υγρό γίνεται ατμός (σε ορισμένη πίεση).

Συμπύκνωση Η αλλαγή φάσης από ατμός σε υγρό.

Τήξη Η αλλαγή φάσης μιας ουσίας από στερεά σε υγρή.

Τιμή K Η παράμετρος (συντελεστής κατανομής) που χρησιμοποιείται για να εκφράσει την αναλογία του γραμμομοριακού κλάσματος ενός συστατικού στην μία φάση προς το γραμμομοριακό κλάσμα του συστατικού στην άλλη φάση.

Τριπλό σημείο Ο συνδυασμός p - V - T στον οποίο η στερεή, υγρή και αέρια φάση μιας ένωσης βρίσκονται σε ισορροπία.

Υπέρθερμος ατμός Ατμός σε τιμές θερμοκρασίας και πίεσης που ξεπερνούν αυτές της κατάστασης κορεσμού.

Υπερκρίσιμη περιοχή Τμήμα γραφικής παράστασης φυσικών ιδιοτήτων στο οποίο η ουσία έχει συνδυασμένες τιμές p - T μεγαλύτερες από αυτές του κρίσιμου σημείου.

Υπόψυκτο υγρό Υγρό σε τιμές θερμοκρασίας και πίεσης μικρότερες από αυτές της κατάστασης κορεσμού.