

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΛΥΜΕΝΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:

**«Στρατηγική επίλυσης προβλημάτων ισοζυγίων
μάζας (απλές μονάδες χωρίς χημική αντίδραση)»**

**Διδάσκοντες:
Γκαϊντατζής Γεώργιος
Δούναβης Αθανάσιος**

Ξάνθη, Εαρινό Εξάμηνο 2025

Παράδειγμα 4.1 Εκχύλιση Στρεπτομυκίνης από Χυμό Ζύμωσης

Η στρεπτομυκίνη χρησιμοποιείται σαν αντιβιοτικό για την καταπολέμηση βακτηριακών ασθενειών στους ανθρώπους καθώς και για τον έλεγχο των βακτηριδίων, των μυκήτων και της άλγης στις καλλιέργειες. Πρώτα γίνεται ένας εμβολιασμός τοποθετώντας σπόρια στελεχών του *Streptomyces griseus* σε ένα μέσο για τη δημιουργία μιας καλλιέργειας με υψηλή βιομάζα. Η καλλιέργεια στη συνέχεια εισάγεται σε μια δεξαμενή ζύμωσης που λειτουργεί στους 28°C και σε pH περίπου 7,8 με τα θρεπτικά συστατικά της γλυκόζης (η πηγή άνθρακα) και το άλευρο σόγιας (η πηγή αζώτου). Απαιτούνται συνεχής ανάδευση και αερισμός. Μετά τη ζύμωση, η βιομάζα διαχωρίζεται από το υγρό, και η στρεπτομυκίνη ανακτάται με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα που ακολουθείται από εκχύλιση με έναν οργανικό διαλύτη σε μία συνεχή διαδικασία εκχύλισης. Αν αγνοήσουμε τις λεπτομέρειες της διαδικασίας και επικεντρωθούμε στη συνολική διαδικασία εκχύλισης, το Σχήμα Ε4.1 δείχνει το καθαρό αποτέλεσμα.

Προσδιορίστε το κλάσμα μάζας της στρεπτομυκίνης στο εξερχόμενο οργανικό υλικό βασιζόμενοι στα δεδομένα του Σχήματος Ε4.1, υποθέτοντας ότι ο οργανικός διαλύτης δεν περιέχει καθόλου νερό και το υδατικό διάλυμα δεν περιέχει καθόλου διαλύτη. Η πυκνότητα του υδατικού διαλύματος είναι 1 g/cm³ και η πυκνότητα του οργανικού διαλύτη είναι 0.6 g/cm³.

Λύση

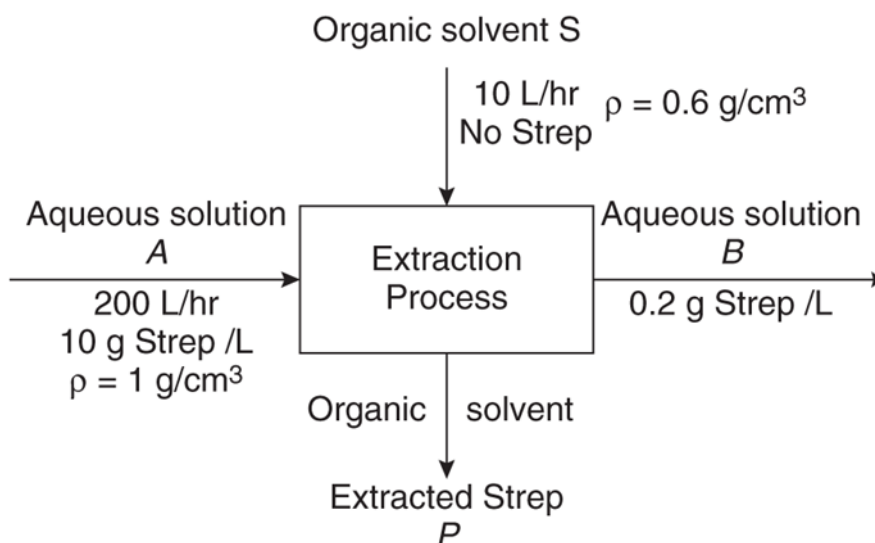
Βήμα 1

Στο Σχήμα Ε4.1 φαίνεται ότι πρόκειται για μία ανοιχτή (ροής), σταθερής κατάστασης διεργασία χωρίς αντίδραση. Υποθέστε, εξαιτίας της πολύ χαμηλής συγκέντρωσης της Στρεπτομυκίνης στα οργανικά και υδατικά ρευστά ότι οι ογκομετρικοί ρυθμοί ροής των εισερχόμενων υγρών είναι ίσες με αυτές των εξερχόμενων υγρών.

Βήματα 2 - 4.

Όλα τα δεδομένα προέρχονται από το Σχήμα Ε4.1.

Σχήμα E4.1



Organic solvent: οργανικός διαλύτης
 Aqueous solution: υδατικό διάλυμα
 Extracted strep: εκχυλισμένη Στρεπτομυκίνη
 Extraction process: διεργασία εκχύλισης

Βήμα 5 - 7

Η Βάση είναι 1 hr

Η ανάλυση των βαθμών ελευθερίας είναι:

Από την ανάλυση στο Σχήματος E4.1, βλέπετε ότι ο συνολικός αριθμός των μεταβλητών για αυτό το πρόβλημα είναι οχτώ (δηλ. τέσσερα ρεύματα με δύο συστατικά σε κάθε ρεύμα). Θέλετε να μειώσετε τις οκτώ μεταβλητές σε όσους λιγότερους αγνώστους γίνεται. Μπορείτε να ορίσετε τιμές για τις ακόλουθες μεταβλητές από τα δοθέντα δεδομένα (η μάζα ενός συστατικού ορίζεται με το m με τους κατάλληλους δείκτες και εκθέτες). Μερικές από τις τιμές μπορούν να ληφθούν με τη χρήση του προσωπικού σας υπολογιστή. Έστω ότι A και B υποδηλώνουν τα ρεύματα εισόδου και εξόδου του υδατικού ρεύματος, αντίστοιχα, και S και P παριστάνουν την είσοδο και έξοδο των οργανικών ρευμάτων, αντίστοιχα.

$$A = 200 \text{ L} \qquad B = 200 \text{ L} \qquad S = 10 \text{ L} \qquad P = 10 \text{ L}$$

$$m_{\text{Strep.}}^{\text{είσοδος}} = 2000 \text{ g} \qquad m_{\text{Strep.}}^{\text{έξοδος}} = 40 \text{ g} \qquad m_{\text{Strep.}}^{\text{είσοδος}} = 0 \text{ g} \qquad m_{\text{Strep.}}^{\text{έξοδος}} = ; \text{ g}$$

$$m_{\text{νερού}}^{\text{είσοδος}} = 2 \times 10^5 \text{ g} \qquad m_{\text{νερού}}^{\text{έξοδος}} = 2 \times 10^5 \text{ g} \qquad m_{\text{διαλύτη}}^{\text{είσοδος}} = 6000 \text{ g} \qquad m_{\text{διαλύτη}}^{\text{έξοδος}} = 6000 \text{ g}$$

Αριθμός αγνώστων: 1

Αριθμός ανεξάρτητων εξισώσεων που χρειάζονται: 1

Σημειώστε ότι χρησιμοποιήσαμε ισοζύγιο μάζα για το νερό και ένα για το διαλύτη. Ποιο ανεξάρτητο ισοζύγιο έχει μείνει; Το ισοζύγιο μάζας για τη Στρεπτομυκίνη.

Βήματα 8 και 9

Ποια εξίσωση θα χρησιμοποιήσετε για το ισοζύγιο της Στρεπτομυκίνης; Πρόκειται για μία ανοιχτή, σταθερής κατάστασης διεργασία, επομένως μπορείτε να χρησιμοποιήσετε είτε την εξίσωση (3.1) είτε την (3.2) ή (3.3).

$$\begin{array}{rcc} \text{Είσοδος} & & \text{Έξοδος} \\ \frac{200 \text{ L του A}}{1 \text{ L του A}} \left| \frac{10 \text{ g Strep.}}{1 \text{ L του A}} \right. & = & \frac{200 \text{ L του A}}{1 \text{ L του A}} \left| \frac{0.2 \text{ g Strep.}}{1 \text{ L του A}} \right. \\ + & & + \\ \frac{200 \text{ L του S}}{1 \text{ L του S}} \left| \frac{0 \text{ g Strep.}}{1 \text{ L του S}} \right. & & \frac{10 \text{ L του S}}{1 \text{ L του S}} \left| \frac{m_{\text{Strep.}}^{\text{έξοδος}} \text{ g Strep.}}{1 \text{ L του S}} \right. \\ & & m_{\text{Strep.}}^{\text{έξοδος}} = 196 \text{ g Strep./L του S} \end{array}$$

Για να πάρετε τα g Strep/g διαλύτη, χρειάζεται να μετατρέψετε τον όγκο του S σε μάζα. Χρησιμοποιείτε την ειδική πυκνότητα του διαλύτη:

$$\frac{196 \text{ g Strep.}}{\text{L του S}} \left| \frac{1 \text{ L του S}}{1000 \text{ cm}^3 \text{ του S}} \right| \frac{1 \text{ cm}^3 \text{ του S}}{0.6 \text{ g του S}} = 0.328 \text{ g. Strep./g του S}$$

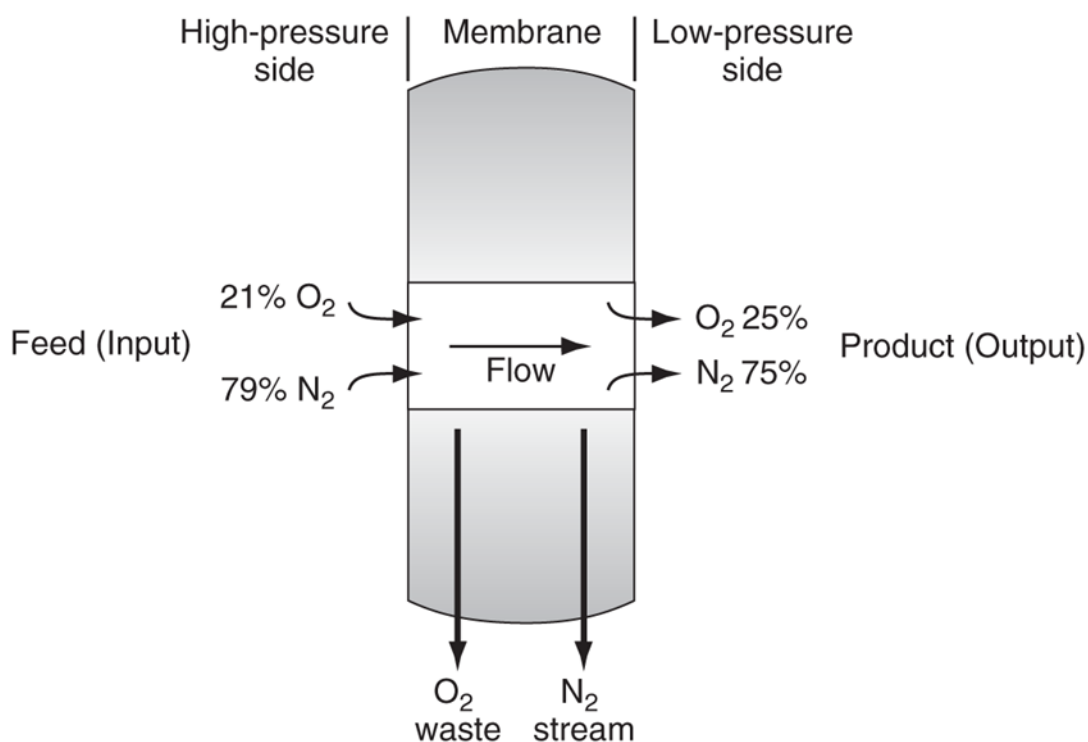
$$\text{Το κλάσμα μάζας Strep} = \frac{0.328}{1+0.328} = 0.246$$

Παράδειγμα 4.2 Διαχωρισμός Αερίων με Χρήση Μembrάνης

Οι μεμβράνες αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία για τον διαχωρισμό αερίων. Μία ενδιαφέρουσα εφαρμογή τους είναι ο διαχωρισμός του αζώτου και του οξυγόνου από τον αέρα. Το Σχήμα Ε4.2α δείχνει μία μεμβράνη με νανοπόρους η οποία κατασκευάζεται με την επίστρωση ενός λεπτού στρώματος πολυμερούς σε μία πορώδη στοιβάδα από γραφίτη.

Ποια είναι η σύσταση του ρεύματος αποβλήτων αν αυτό αποτελεί το 80% του εισερχόμενου ρεύματος;

Σχήμα Ε4.2α



High-pressure side: πλευρά υψηλής πίεσης

Membrane: μεμβράνη

Low-pressure side: πλευρά χαμηλής πίεσης

Feed (Input): Τροφοδοσία (Είσοδος)

Flow: Ροή

Product (output): προϊόν (έξοδος)

Waste: απόβλητο

Stream: ρεύμα

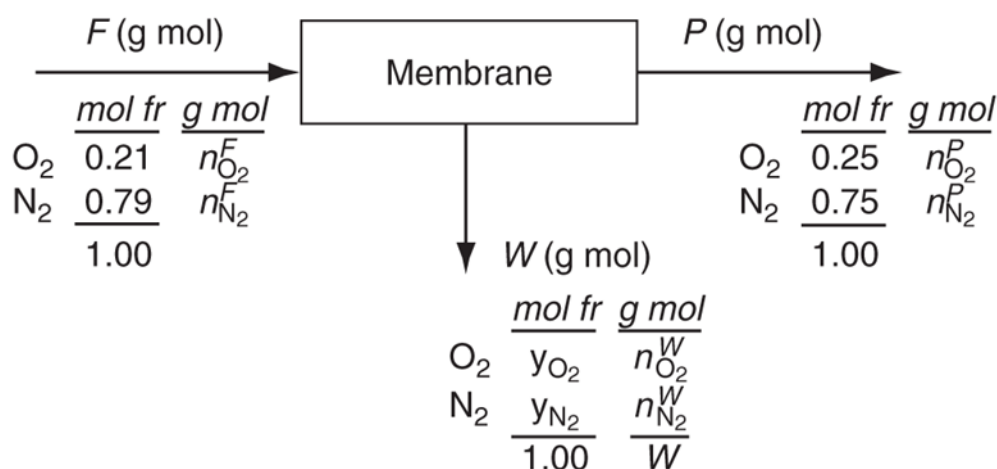
Λύση

Βήμα 1

Πρόκειται για ανοιχτή διεργασία σταθερής κατάστασης χωρίς χημική αντίδραση. Το σύστημα είναι η μεμβράνη, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα Ε4.2α. Έστω y_{O_2} το γραμμομοριακό κλάσμα του οξυγόνου στο ρεύμα W, y_{N_2} το γραμμομοριακό κλάσμα του αζώτου στο ρεύμα W, και n_{O_2} και n_{N_2} τα αντίστοιχα moles στο κάθε ρεύμα.

Βήματα 2 - 4

Σχήμα Ε4.2β



Membrane: μεμβράνη

Όλα τα δεδομένα και τα σύμβολα τοποθετήθηκαν στο Σχήμα Ε4.2β.

Βήμα 5

Διαλέξτε μία βολική βάση. Δε ζητείται στο πρόβλημα η πραγματική ροή μάζας ή moles, αλλά η μοριακή σύσταση του ρεύματος W, επομένως χρειάζεται να υπολογιστούν μόνο σχετικές τιμές.

$$\text{Βάση: } F = 100 \text{ mol}$$

Ακολουθεί ανάλυση των βαθμών ελευθερίας

Βήματα 6 - 8

Για την αποφυγή σχηματισμού μη γραμμικών εξισώσεων [συμπεριλαμβάνοντας όρους όπως $(y_{O_2}^W)(W)$], ας χρησιμοποιήσουμε ως μεταβλητές τον αριθμό των γραμμομορίων (n) και όχι τα γραμμομοριακά κλάσματα (y). Ο συνολικός αριθμός των μεταβλητών είναι εννέα, αλλά θα ήταν ανόητο να συμμετέχουν εννέα άγνωστοι,

ιδιαίτερα όταν μπορείτε να μειώσετε τον αριθμό των αγνώστων στην αρχή, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες στην εκφώνηση του προβλήματος δίδοντας τιμές σε μεταβλητές. Από τις πληροφορίες του προβλήματος εξαρτάται το πόσες αντικαταστάσεις και υπολογισμούς θέλετε να κάνετε.

Τιμή	Χρησιμοποιούμενη Πληροφορία
$F = 100 \text{ mol}$	Βάση
$W = 0.80 (100) = 80 \text{ mol}$	Μία προδιαγραφή
$P = F - W = 100 - 80 = 20 \text{ mol}$	Το ολικό ισοζύγιο μάζας
$n_{O_2}^F = 0.21 (100) = 21 \text{ mol}$	Μια προδιαγραφή συν τη βάση
$n_{N_2}^F = 0.79 (100) = 79 \text{ mol}$	Μια προδιαγραφή συν τη βάση

Παρατηρήστε τη χρήση ενός ισοζυγίου μάζας που περιλαμβάνει μόνο έναν άγνωστο προκειμένου να προκύψει το P. Τώρα που έχει υπολογιστεί, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα άλλο σύνολο προδιαγραφών για να κάνουμε δύο ακόμη adhoc υπολογισμούς:

$$n_{O_2}^P = 0.25 P = 0.25 (20) = 5.0 \text{ mol}$$

$$n_{N_2}^P = 0.75 P = 0.75 (20) = 15 \text{ mol}$$

Οι εναπομείναντες άγνωστοι είναι επομένως είναι:

$$n_{O_2}^W \text{ και } n_{N_2}^W$$

Επομένως, θα πρέπει να συμμετέχουν δύο ακόμη από τις δοθείσες πληροφορίες από την εκφώνηση του προβλήματος. Ας δούμε τις προδιαγραφές της διεργασίας. Υπάρχουν αχρησιμοποίητες προδιαγραφές; Έχουμε χρησιμοποιήσει και τις πέντε από τους προκαταρκτικούς υπολογισμούς. Από τα δύο ισοζύγια μάζας των ειδών, πόσα είναι ανεξάρτητα; Μόνο ένα, επειδή χρησιμοποιήσαμε το συνολικό ισοζύγιο μάζας προηγουμένως. Ας χρησιμοποιήσουμε το ισοζύγιο του οξυγόνου:

$$\frac{\text{Είσοδος}}{21} = \frac{\text{Έξοδος στο P}}{5} + \frac{\text{Έξοδος στο W}}{n_{O_2}^W}$$

Επιλύοντας για την ποσότητα του O_2 στο ρεύμα των αποβλήτων προκύπτει

$$n_{O_2}^W = 21 - 5.0 = 16 \text{ mol}$$

Ποιες άλλες ανεξάρτητες εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν; Μια έμμεση εξίσωση! Το άθροισμα των γραμμομοριακών κλασμάτων στο W, ή το ισοδύναμο, το άθροισμα των γραμμομορίων των ειδών στο W, είναι μια ανεξάρτητη εξίσωση:

$$W = n_{O_2}^W + n_{N_2}^W = 80 = 16 + n_{N_2}^W$$

Επιλύοντας για την ποσότητα του αζώτου στο ρεύμα των αποβλήτων προκύπτει

$$n_{N_2}^W = 80 - 16 = 64 \text{ mol}$$

Τα αθροίσματα των γραμμομοριακών κλασμάτων στο F και P δεν είναι ανεξάρτητες εξισώσεις επειδή η πληροφορία σ' αυτές τις δύο σχέσεις είναι περιττή βάσει των προδιαγραφών που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί.

Το αποτέλεσμα αυτής της ανάλυσης είναι ότι οι τιμές όλων των μεταβλητών έχουν προσδιοριστεί χωρίς την επίλυση των εξισώσεων! Δεν υπάρχει καμία εναπομένουσα ανεξάρτητη πληροφορία, και οι βαθμοί ελευθερίας είναι μηδέν.

Βήμα 9

Η σύσταση του ρεύματος των αποβλήτων είναι

$$y_{O_2}^W = \frac{n_{O_2}^W}{W} = \frac{16}{80} = 0.20 \quad y_{N_2}^W = \frac{n_{N_2}^W}{W} = \frac{64}{80} = 0.80$$

Βήμα 10

Ελέγξτε τα αποτελέσματά σας. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε μια περιττή εξίσωση ως έλεγχο, δηλαδή, μία που δεν έχει χρησιμοποιηθεί προηγουμένως. Για παράδειγμα, ως χρησιμοποιήσουμε το ισοζύγιο του N_2 :

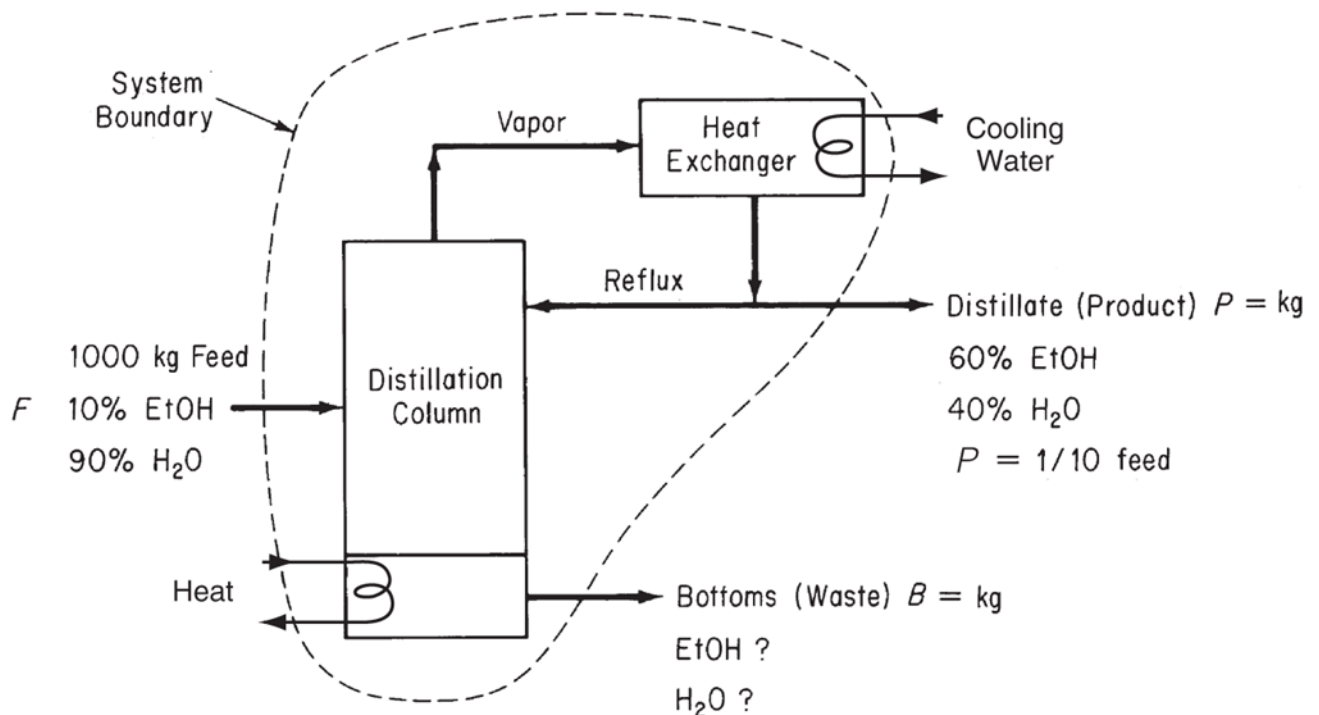
$$\begin{aligned} n_{N_2}^W + n_{N_2}^P &= n_{N_2}^F \\ 64 + 15 &= 79 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Φανείτε προσεχτικοί στην σχηματοποίηση και απλοποίηση των εξισώσεων προς επίλυση ώστε να βεβαιωθείτε ότι χρησιμοποιείτε μόνο ανεξάρτητες εξισώσεις.

Παράδειγμα 4.3 Ανάλυση Συνεχούς Αποστακτικής Στήλης

Ένας αρχάριος κατασκευαστής αιθυλικής αλκοόλης - αιθανόλης (EtOH) για βενζόλη συναντάει ορισμένες δυσκολίες στην αποστακτική στήλη. Η διεργασία απεικονίζεται στο Σχήμα E4.3. Φαίνεται ότι μεγάλο ποσό αλκοόλης χάνεται στο προϊόν του πυθμένα (απόβλητα). Υπολογίστε την σύσταση των αποβλήτων και την μάζα της αλκοόλης που χάνεται με βάση τα δεδομένα του Σχήματος E4.3 τα οποία συλλέχθηκαν σε 1 ώρα λειτουργίας. Τέλος, υπολογίστε το ποσοστό της εισερχόμενης στη στήλη EtOH που χάνεται στο ρεύμα των αποβλήτων.

Σχήμα E4.3 Σχηματική απεικόνιση της αποστακτικής στήλης που ανακτά αιθανόλη



System boundary: όρια συστήματος

Feed: τροφοδοσία

Vapor: ατμός

Distillation column: αποστακτική στήλη

Reflux: επαναροή

Heat exchanger: εναλλάκτης θερμότητας

Cooling water: νερό για ψύξη

Distillate (product): απόσταγμα (προϊόν)

Bottoms (waste): υπόλειμμα (απόβλητο)

Heat: Θερμότητα

Λύση

Βήματα 1 - 4

Αν και η αποστακτική διεργασία του Σχήματος E4.3 αποτελείται από περισσότερα από ένα μέρη, μπορείτε να επιλέξετε ένα σύστημα που περιλαμβάνει όλο τον εξοπλισμό μέσα στα όρια του συστήματος. Συνεπώς, μπορείτε να αγνοήσετε όλα τα εσωτερικά ρεύματα στο πρόβλημα αυτό. Έστω m η μάζα ενός συστατικού. Φαίνεται ξεκάθαρα ότι η διεργασία είναι ένα ανοιχτό σύστημα και υποθέτουμε ότι είναι σταθερής κατάστασης. Δεν υπάρχει αντίδραση. Το νερό για την ψύξη εισέρχεται και απομακρύνεται χωρίς να αναμιγνύεται με τα προς διαχωρισμό συστατικά, και μπορεί να αγνοηθεί στα ισοζύγια μάζας για το σύστημα. Επιπλέον, η θερμότητα που προστίθεται από το πάνω μέρος της στήλης δεν περιλαμβάνει είσοδο ή έξοδο μάζας από το σύστημα, και μπορεί να αγνοηθεί στα ισοζύγια μάζας.

Όλα τα σύμβολα και δεδομένα τοποθετήθηκαν στο Σχήμα E4.3. Πρόκειται για μία ανοιχτή, σταθερής κατάστασης διεργασία, επομένως μπορείτε να εφαρμόσετε την Εξίσωση (3.3).

Βήμα 5

Επιλέξτε ως βάση την δεδομένη τροφοδοσία:

$$\text{Βάση: } F = 1000 \text{ kg τροφοδοσίας}$$

Βήματα 6 και 7

Το επόμενο βήμα είναι η ανάλυση των βαθμών ελευθερίας. Έστω m , με τους κατάλληλους εκθέτες και δείκτες, η μάζα σε κιλά. Από το Σχήμα E4.3 θα πρέπει να είστε σε θέση να εντοπίσετε τις ακόλουθες μεταβλητές:

$$m_{\text{EtOH}}^F, m_{\text{H}_2\text{O}}^F, m_{\text{EtOH}}^P, m_{\text{H}_2\text{O}}^P, m_{\text{EtOH}}^B, m_{\text{H}_2\text{O}}^B, F, P, B$$

Ξεκινήστε την ανάλυση με την ανάθεση γνωστών τιμών για κάθε μεταβλητή στο βαθμό που αυτό είναι δυνατόν.

$$\text{Βάση: } F = 1000 \text{ kg}$$

(Προσέξτε ότι αυτή η βάση σας επιτρέπει τον άμεσο υπολογισμό του P.)

Σας δίνεται ότι το P είναι το 1/10 του F, επομένως $P = 0.1(1000) = 100 \text{ kg}$.

Από την πληροφορία στο Σχήμα E4.3:

$$m_{\text{EtOH}}^{\text{F}} = 1000(0.10) = 100$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{F}} = 1000(0.90) = 900$$

$$m_{\text{EtOH}}^{\text{P}} = 0.60 P = (0.6)(100) = 60 \text{ kg}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{P}} = 0.40 P = (0.40)(100) = 40 \text{ kg}$$

$$P = m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{P}} + m_{\text{EtOH}}^{\text{P}} = 40 \text{ kg} + 60 \text{ kg} = 100 \text{ kg}$$

Έτσι, έχουν δοθεί οι τιμές σε έξι μεταβλητές, αφήνοντας τρεις αγνώστους ($m_{\text{EtOH}}^{\text{B}}$, $m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{B}}$, B). Ποιες τρεις ανεξάρτητες εξισώσεις θα προτείνατε για τον υπολογισμό των υπολοίπων αγνώστων; Οι συνήθεις κατηγορίες για να επιλέξετε είναι

Ισοζύγια μάζας: EtOH, H₂O και ολικό

$$\text{Συνεπαγόμενες εξισώσεις: } \sum m_i^{\text{B}} = B \quad \text{ή} \quad \sum \omega_i^{\text{B}} = 1$$

Βήματα 8 και 9

Ας χρησιμοποιήσουμε το ισοζύγιο για την EtOH για τον προσδιορισμό του $m_{\text{EtOH}}^{\text{B}}$, το οποίο καταλήγει σε μια τιμή 40 kg. Επομένως χρησιμοποιώντας τη συνεπαγόμενη εξίσωση για το B, το $m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{B}}$ ισούται με 860 kg. Τα αποτελέσματα αυτά καθώς και τα αποτελέσματα από τα κλάσματα μάζας φαίνονται παρακάτω.

	Τροφοδοσία εισόδου σε kg	Απόσταγμα εξόδου σε kg	Υπόλειμμα εξόδου σε kg	Κλάσμα μάζας στο B
Ισοζύγιο EtOH	0.10(1000)	- 0.60(100)	= 40	0.044
Ισοζύγιο H ₂ O	0.90(1000)	- 0.40(100)	= 860	0.956
Σύνολο $\sum m_i^{\text{B}} = B$			900	1.000

Αφού προσδιορίστηκαν όλοι οι άγνωστοι σ' αυτό το πρόβλημα, το ποσοστό της EtOH μπορεί να υπολογιστεί απευθείας από

$$\text{Ποσοστό EtOH που χάνεται στο B} = \frac{\text{EtOH στο B}}{\text{EtOH στην τροφοδοσία}} = \frac{40}{100} \times 100\% = 40\%$$

Βήμα 10

Σαν έλεγχο χρησιμοποιείτε μια περιττή εξίσωση, το συνολικό ισοζύγιο:

$$B = 1000 - 100 = 900 \text{ kg.}$$

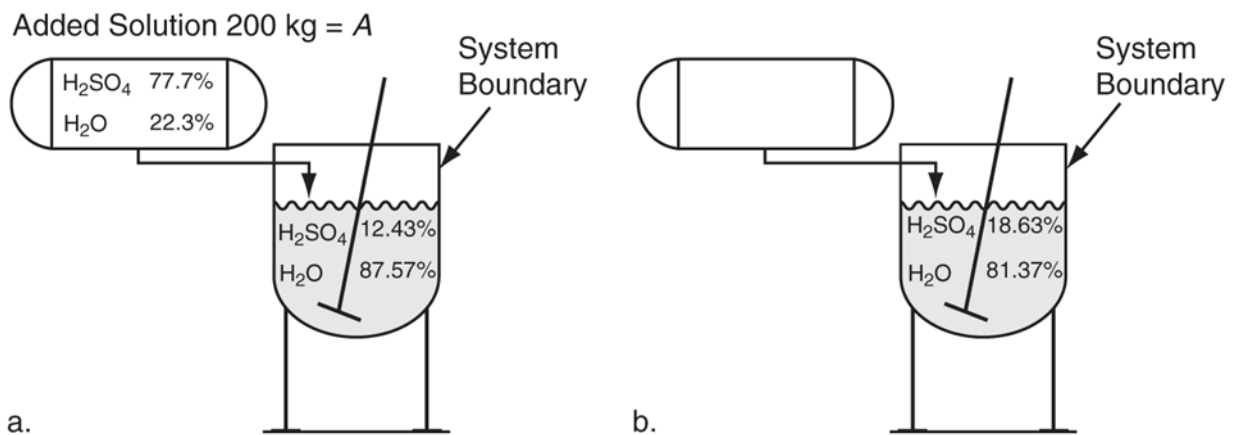
$$m_{\text{EtOH}}^B + m_{\text{H}_2\text{O}}^B = B \quad \text{ή} \quad \omega_{\text{EtOH}}^B + \omega_{\text{H}_2\text{O}}^B = 1$$

Εξετάστε τις δύο τελευταίες στήλες του παραπάνω πίνακα.

Παράδειγμα 4.4 Ανάμιξη Οξέος Μπαταρίας (Θεικού οξέος)

Σας ζητείται να ετοιμάσετε μία παρτίδα οξέος μπαταρίας 18.63% ως εξής. Ένα δοχείο ανάμιξης με παλιό ασθενές οξύ (H_2SO_4) μπαταρίας περιέχει 12.43% H_2SO_4 (το υπόλοιπο είναι καθαρό νερό). Αν προστεθούν (όχι πολύ γρήγορα) στο δοχείο 200 kg του 77% H_2SO_4 , και το τελικό διάλυμα είναι 18.63% H_2SO_4 , πόσα κιλά οξέος μπαταρίας παρασκευάστηκαν; Κοιτάξτε τα Σχήματα E4.4α και E4.4β.

Σχήμα E4.4 (α) Αρχική κατάσταση πριν την ανάμιξη των διαλυμάτων οξέος, (β) τελικό αποτέλεσμα μετά την ανάμιξη



Added solution: προστιθέμενο διάλυμα
System boundary: όρια συστήματος

Λύση

Βήματα 1 – 4

Όλες οι τιμές των συστάσεων είναι γνωστές και τοποθετήθηκαν στο Σχήμα E4.4. Δεν υπάρχει αντίδραση. Η διεργασία είναι σταθερής ή μη σταθερής κατάστασης; Αν επιλέξουμε το δοχείο με το αρχικό ασθενές διάλυμα σαν σύστημα, το σύστημα περιέχει αρχικά διάλυμα θεικού οξέος. Στη συνέχεια προστίθεται συμπυκνωμένο διάλυμα στο σύστημα έτσι ώστε να υπάρχει συσσώρευση, επομένως πρέπει να χρησιμοποιήσετε ένα ισοζύγιο μάζας μη σταθερής κατάστασης. Η ολική μάζα και η μάζα κάθε συστατικού αυξάνονται, επομένως ισχύει η Εξίσωση (3.2):

$$\text{Συσσώρευση} = \text{είσοδος} - \text{έξοδος}$$

Από άλλη οπτική γωνία μπορείτε να θεωρήσετε ότι το δοχείο ως σύστημα το οποίο είναι αρχικά άδειο. Το αρχικό ασθενές διάλυμα εισάγεται στο σύστημα μαζί με τα 200 kg του 77% διαλύματος, τα διαλύματα αναμιγνύονται, και τελικά το ολικό περιεχόμενο του δοχείου απομακρύνεται αφήνοντάς το άδειο. Τότε, το ισοζύγιο μάζας αντιστοιχεί σε διεργασία ροής σταθερής κατάστασης, επομένως ισχύει η Εξίσωση (3.3):

$$\text{Είσοδος} = \text{έξοδος}$$

αφού δεν υπάρχει συσσώρευση μέσα στο δοχείο.

Ας λύσουμε πρώτα το πρόβλημα θεωρώντας την ανάμιξη σαν διεργασία μη σταθερής κατάστασης, και στη συνέχεια ας επαναλάβουμε τη λύση θεωρώντας την διεργασία ως διεργασία σταθερής κατάστασης. Θα διαφέρουν οι λύσεις; Έστω A η μάζα του ισχυρού οξέος, F η μάζα του ασθενούς διαλύματος που υπήρχε αρχικά στο δοχείο ανάμιξης και P η μάζα του τελικού επιθυμητού προϊόντος.

Βήμα 5

Επιλέξτε ως βάση τα 200 kg του A, για ευκολία (η μόνη γνωστή ποσότητα).

Βήμα 6 και 7

Η ανάλυση των βαθμών ελευθερίας είναι ανάλογη με αυτήν των προηγούμενων παραδειγμάτων. Θα χρησιμοποιήσουμε το m με τους κατάλληλους εκθέτες και δείκτες για τη μάζα και όχι τα κλάσματα μάζας (ω).

Ο αριθμός των μεταβλητών είναι 9

$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^A, m_{\text{H}_2\text{O}}^A, m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^F, m_{\text{H}_2\text{O}}^F, m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^P, m_{\text{H}_2\text{O}}^P, A, F, P$$

Ας δώσουμε τις τιμές των γνωστών μεταβλητών

$$\begin{array}{lll} m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^A = 155.4 \text{ kg} & m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^F = ; & m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^P = ; \\ m_{\text{H}_2\text{O}}^A = 44.6 \text{ kg} & m_{\text{H}_2\text{O}}^F = ; & m_{\text{H}_2\text{O}}^P = ; \\ A = 200 \text{ kg} & F = ; & P = ; \end{array}$$

Ο αριθμός των αγνώστων είναι 6.

Προσέξτε ότι δεν έχουμε χρησιμοποιήσει ακόμη όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες του Σχήματος Ε4.4, όπως παραδείγματος χάρη τα κλάσματα μάζας για το F και P.

Αριθμός εξισώσεων που χρειάζονται: 6

Ποιες ανεξάρτητες εξισώσεις μπορείτε να χρησιμοποιήσετε;

Ισοζύγια μάζας: 2 H_2SO_4 , H_2O και ολικό (δύο είναι ανεξάρτητα)

Επειδή δεν έχουν χρησιμοποιηθεί οι προδιαγραφές των κλασμάτων μάζας στο P και F, υπάρχουν τέσσερις ακόμη ανεξάρτητες εξισώσεις με βάση τις προδιαγραφές του προβλήματος:

$$\begin{aligned}\frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{F}}}{F} &= 0.1863 & \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{P}}}{P} &= 0.1243 \\ \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{F}}}{F} &= 0.8757 & \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{P}}}{P} &= 0.8137\end{aligned}$$

Τι γίνεται με τη βοήθεια των συνεπαγόμενων εξισώσεων;

$$\sum m_i^{\text{F}} = F \quad \sum m_i^{\text{P}} = P \quad \sum m_i^{\text{A}} = A$$

Είναι όλες περιττές, επειδή όλα τα κλάσματα μάζας καθορίζονται στην εκφώνηση του προβλήματος:

$$\sum \omega_i^{\text{F}} = 1 \quad \sum \omega_i^{\text{P}} = 1 \quad \sum \omega_i^{\text{A}} = 1$$

Το άθροισμα των κλασμάτων μάζας σε κάθε ρεύμα δε μας προσφέρει κάποια επιπλέον πληροφορία.

Οι βαθμοί ελευθερίας είναι μηδέν γιατί υπάρχουν έξι ανεξάρτητες εξισώσεις και έξι άγνωστοι.

Βήμα 8

Θα εισάγουμε τις τιμές στα ισοζύγια μάζας, μαζί με τις προδιαγραφές για τα τέσσερα κλάσματα μάζας. Με αυτόν τον τρόπο θα δείτε ότι μπορείτε να υπολογίσετε το F και το P λύνοντας μόνο δύο απλές εξισώσεις. Τα ισοζύγια είναι σε χιλιόγραμμα.

	Τελικά		Αρχικά				
H ₂ SO ₄	P(0.1863)	-	F(0.1243)	=	200(0.777)	-	0
H ₂ O	P(0.8137)	-	F(0.8757)	=	200(0.223)	-	0
Σύνολο	P	-	F	=	200	-	0

Βήμα 9

Αφού οι εξισώσεις είναι γραμμικές και υπάρχουν μόνο δύο ανεξάρτητες εξισώσεις, μπορείτε να επιλύσετε το ολικό ισοζύγιο μάζας ως προς F, και να αντικαταστήσετε το F στο ισοζύγιο μάζας του H₂SO₄ και να υπολογίσετε το P:

$$P = 2110 \text{ kg οξέος}$$

$$F = 1919 \text{ kg οξέος}$$

Βήμα 10

Μπορείτε να ελέγξετε την απάντηση με χρησιμοποίηση του ισοζυγίου του H₂O. Ικανοποιεί η απάντηση το ισοζύγιο του H₂O;

Το πρόβλημα μπορεί επίσης να λυθεί θεωρώντας ότι, κατά ένα αυθαίρετο χρονικό διάστημα η ανάμειξη λαμβάνει χώρα με μια διαδικασία ροής σταθερής κατάστασης. Τα διαλύματα A και F θα εισέρχονται στο σύστημα που αποτελεί αρχικά ένα άδειο δοχείο, και το προκύπτον μίγμα θα είναι η έξοδος από το δοχείο, αφήνοντας το δοχείο άδειο στο τέλος της διεργασίας. Η εξίσωση του ισοζυγίου μάζας, τότε θα είναι "Ότι εισέρχεται πρέπει να εξέρχεται". Τα ισοζύγια είναι σε χιλιόγραμμα.

	Είσοδος A		Είσοδος F		Έξοδος P
H ₂ SO ₄	200(0.777)	+	F(0.1243)	=	P(0.1863)
H ₂ O	200(0.223)	+	F(0.8757)	=	P(0.8137)
Σύνολο	A	+	F	=	P

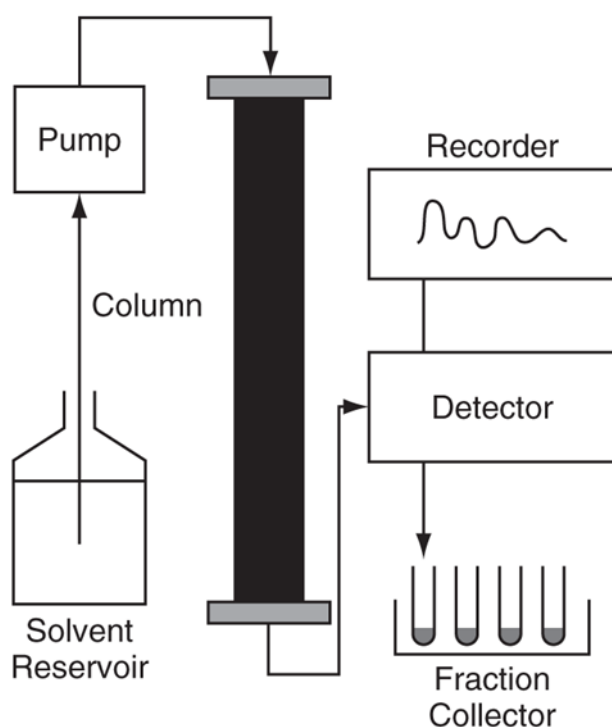
Όπως μπορείτε να δείτε οι εξισώσεις αυτές δεν διαφέρουν από την πρώτη ομάδα των ισοζυγίων μάζας εκτός από την διάταξη και τις ονομασίες.

Παράδειγμα 4.5 Διαχωρισμός με Χρήση Χρωματογραφικής Στήλης

Η Χρωματογραφική στήλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό δύο ή περισσότερων συστατικών. Το Σχήμα Ε4.5α αναπαριστά τα κύρια μέρη μιας τέτοιας στήλης, η οποία μπορεί να λειτουργήσει είτε σε κάθετη είτε σε οριζόντια θέση. Το Σχήμα Ε4.5β απεικονίζει τον τρόπο διαχωρισμού των διαφόρων συστατικών στο μίγμα έγχυσης. Θεωρήστε ότι η στήλη στο Σχήμα Ε4.5β παρουσιάζει την κατανομή του δείγματος σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, με το χρόνο να αυξάνεται από αριστερά προς τα δεξιά. Το συστατικό που προσροφάται πιο ισχυρά στο πληρωτικό υλικό της στήλης εκροφάται αργότερα σε σχέση με το ασθενέστερα προσροφούμενο συστατικό. Μερικές ενώσεις μπορούν να διαχωριστούν πλήρως με το κατάλληλο πληρωτικό υλικό σε μια αρκετά μακρά στήλη.

Μία τυπική μικρής κλίμακας εργαστηριακή στήλη θα μπορούσε να έχει διάμετρο 5 cm και μήκος 10 cm με ένα κλάσμα πλήρωσης 0.62 του όγκου στήλης. Για τα βιολικά σε εργαστήρια οι στήλες είναι πολύ μικρότερες.

Σχήμα Ε4.5α



Solvent Reservoir: Δοχείο διαλύτη

Column: στήλη

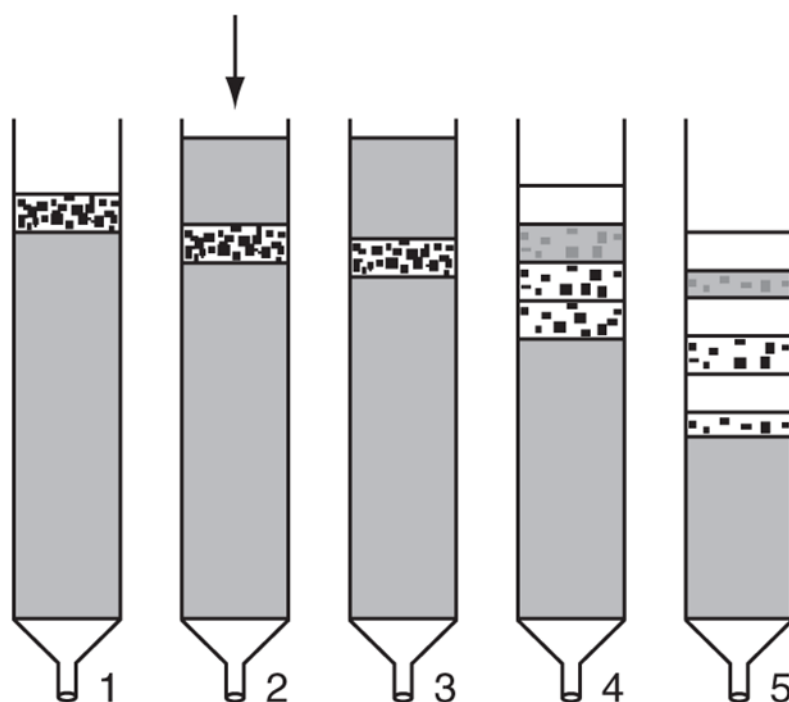
Pump: αντλία

Recorder: καταγραφέας

Detector: ανιχνευτής

Fraction collector: συλλέκτης κλάσματος

Σχήμα E4.5β



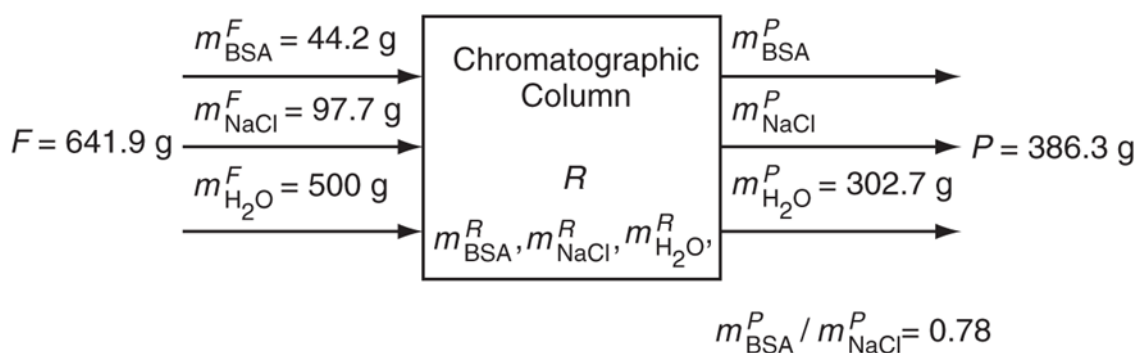
Για τον καθαρισμό μίας πρωτεΐνης που ονομάζεται αλβουμίνη βόειου ορού (BSA) από το NaCl (μια διαδικασία που ονομάζεται "αφαλάτωση"), 44.2 g BSA και 97,7 g NaCl σε 500.0 g H₂O εγχέονται μέσα σε μία αρχικά κενή στήλη. Εάν το προϊόν εξόδου P συλλέγεται σε ένα δοχείο, μετά από λίγο θα δείτε ότι έχετε συγκεντρώσει συνολικά 386.3 g που περιέχουν 302.7 g H₂O, ενώ το υπόλοιπο είναι BSA και NaCl. Πόσο BSA και NaCl παρέμεινε στην στήλη; Η αναλογία μάζας του BSA με τη μάζα του NaCl στο ρεύμα P είναι 0.78.

Λύση

Βήματα 1 – 4

Όλα τα γνωστά δεδομένα έχουν τοποθετηθεί στο Σχήμα E4.5γ μαζί με τα σύμβολα για τις μάζες της κάθε ένωσης. Η διεργασία είναι μη σταθερής κατάστασης σε ένα ανοικτό σύστημα χωρίς αντίδραση. Επομένως ισχύει η εξίσωση (3.2).

Σχήμα Ε4.5γ



Chromatographic column: Χρωματογραφική στήλη

Βήμα 5

Βάση: $F = 641.9 \text{ g}$ (τροφοδοσία της στήλης)

Βήματα 6 και 7

Αν εξετάσετε το Σχήμα Ε4.5γ, μπορείτε να μετρήσετε τον αριθμό των μεταβλητών. Αυτές των οποίων οι τιμές δεν δίνονται είναι m_{BSA}^P , m_{NaCl}^P , m_{BSA}^R , m_{NaCl}^R , $m_{\text{H}_2\text{O}}^R$, R .

Αριθμός αγνώστων μετά από την αντιστοίχιση όλων των γνωστών τιμών με τις αντίστοιχες μεταβλητές τους: 6

Αριθμός ανεξάρτητων εξισώσεων που χρειάζονται: 6

Ανεξάρτητα ισοζύγια μάζας: 3 (BSA, NaCl, H₂O)

Προδιαγραφές: 1 ($m_{\text{BSA}}^P / m_{\text{NaCl}}^P = 0.78$)

Συνεπαγόμενες εξισώσεις: 2 ($\sum m_i^P = 386.3$, $\sum m_i^R = R$, $\sum m_i^F = F$ είναι περιττή)

Οι βαθμοί ελευθερίας είναι μηδέν.

Βήματα 8 και 9

Στο σημείο αυτό, οι άγνωστοι μπορούν να μειωθούν με ορισμένους απλούς υπολογισμούς. Για παράδειγμα, μπορείτε να δείτε από το σχήμα Ε4.5γ ότι το ισοζύγιο του νερού είναι μια τέτοια εξίσωση:

$$\text{Ισοζύγιο H}_2\text{O:} \quad 500 - 302.7 = m_{\text{H}_2\text{O}}^R \quad m_{\text{H}_2\text{O}}^R = 197.3 \text{ g}$$

Στη συνέχεια θα μπορούσατε να χρησιμοποιήσετε το ολικό ισοζύγιο για να υπολογίσετε το R, αλλά αντ' αυτού ας λύσουμε δύο ταυτόχρονες εξισώσεις για να υπολογίσουμε τις τιμές των αγνώστων στο ρεύμα P. Προσέξτε, αν χρησιμοποιήσετε το ολικό ισοζύγιο σε αυτό το στάδιο, ένα από τα δύο εναπομείναντα διαθέσιμα ισοζύγια των συστατικών θα είναι περιττό.

$$\sum m_i^P = P \quad \text{μαζί με το λόγο} \quad (m_{\text{BSA}}^P / m_{\text{NaCl}}^P = 0.78)$$

$$\left. \begin{array}{l} m_{\text{BSA}}^P + m_{\text{NaCl}}^P + 302.7 = 386.3 \\ m_{\text{BSA}}^P = 0.78 m_{\text{NaCl}}^P \end{array} \right\} \begin{array}{l} m_{\text{BSA}}^P = 36.7 \text{ g} \\ m_{\text{NaCl}}^P = 47.0 \text{ g} \end{array}$$

Γνωρίζοντας πλέον τις τιμές αυτών των δύο μεταβλητών, μπορείτε να λύσετε μία εξίσωση που περιλαμβάνει έναν άγνωστο:

$$\text{Ισοζύγιο BSA:} \quad 44.2 - 36.7 = m_{\text{BSA}}^R \quad m_{\text{BSA}}^R = 7.5 \text{ g}$$

Ακολουθούμενο από το ισοζύγιο για το NaCl:

$$97.7 - 47.0 = m_{\text{NaCl}}^R \quad m_{\text{NaCl}}^R = 50.7 \text{ g}$$

Το μόνο που έμεινε είναι να χρησιμοποιήσετε τη συνεπαγόμενη εξίσωση $\sum m_i^R = R$ για να υπολογίσετε το R.

$$m_{\text{BSA}}^R + m_{\text{NaCl}}^R + m_{\text{H}_2\text{O}}^R = 7.5 + 50.7 + 197.3 = 255.5 \text{ g}$$

Βήμα 10

Επαληθεύστε χρησιμοποιώντας το ολικό ισοζύγιο

$$R = F - P \quad R = 641.9 - 386.3 = 255.5$$

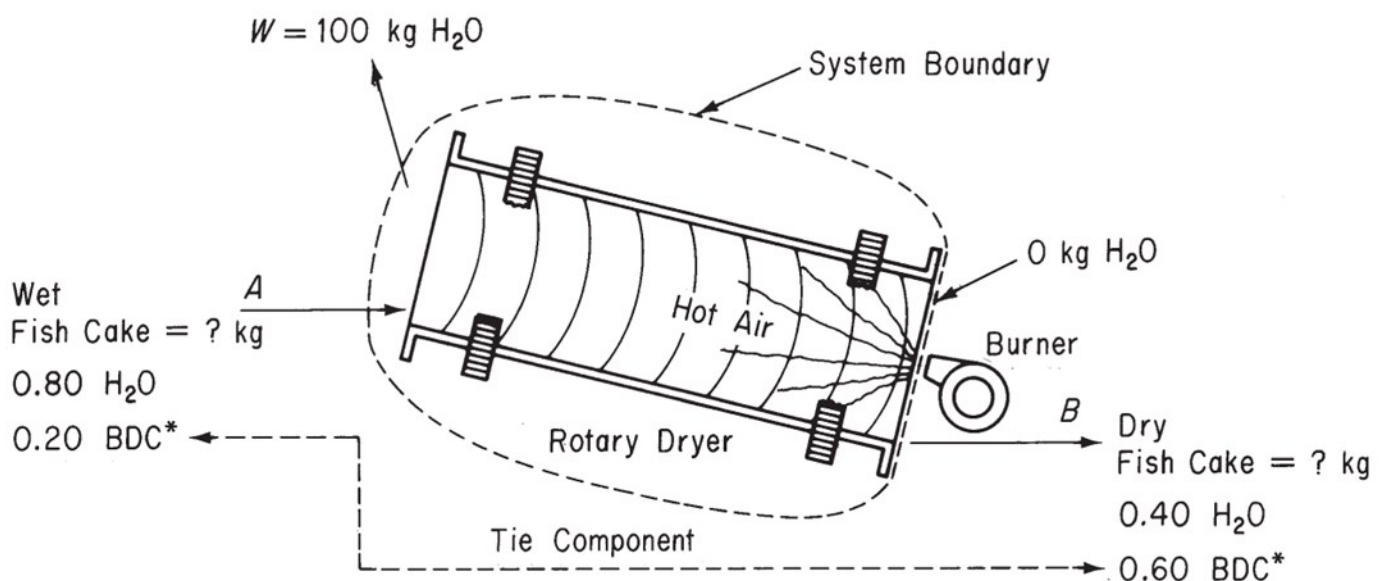
Η διαφορά οφείλεται στη στρογγυλοποίηση.

Παράδειγμα 4.6 Ξήρανση

Τα ψάρια που αλιεύονται χρησιμοποιούνται σαν γεύμα ψαριών, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή τροφοδοσίας στην παραγωγή ανθρώπινης τροφής ή απευθείας σαν τροφή. Η απευθείας κατανάλωση ψαριού αυξάνει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της τροφικής αλυσίδας. Ωστόσο το συμπύκνωμα πρωτεϊνών του ψαριού, χρησιμοποιείται κυρίως σαν συμπλήρωμα πρωτεϊνικής τροφής, ιδιαίτερα για αισθητικούς λόγους. Συναγωνίζεται μάλιστα με τη σόγια και άλλες πρωτεΐνες από σπόρους.

Κατά την κατεργασία ψαριών μετά την εκχύλιση του λίπους, η συμπαγής μάζα του ψαριού ξηραίνεται σε περιστρεφόμενους κυλινδρικούς αποξηραντές, και τελικά αλέθεται και συμπιέζεται. Το προϊόν που προκύπτει περιέχει 65% πρωτεΐνης. Από μία παρτίδα συμπαγούς μάζας ψαριού που περιέχει 80% νερό (το υπόλοιπο είναι ξηρή μάζα ψαριού που συμβολίζεται με BDC συντομογραφία για το «πολτός ξηρών οστών»), απομακρύνονται 100 kg νερού, και υπολογίζεται ότι η μάζα του ψαριού αποτελείται από 40% νερό. Υπολογίστε το βάρος της μάζας του ψαριού που τοποθετήθηκε αρχικά στον αποξηραντή. Το Σχήμα E4.6 αποτελεί το διάγραμμα της διεργασίας.

Σχήμα E4.6



*Bone Dry Cake

Wet fish cake: υγρή συμπαγής μάζα ψαριού
System boundary: όρια συστήματος
Rotary dryer: περιστρεφόμενος αποξηραντής
Burner: καυστήρας

Tiecomponent: συνδετικό συστατικό
Hotair: θερμός αέρας
Dry fish cake: ξηρή συμπαγής μάζα ψαριού

Λύση

Θα συντομέψουμε τη διαδικασία της λύσης.

Βήματα 1 – 4

Πρόκειται για διεργασία ροής σταθερής κατάστασης χωρίς αντίδραση. Ισχύει η Εξίσωση (3.3). Το σύστημα είναι ο αποξηραντής.

Η σχέση μεταξύ του BDC στην ξηρή και υγρή μάζα ψαριού δημιουργεί ένα ειδικό καθεστώς για το BDC γνωστό και ως **συνδετικό συστατικό**, διότι το BDC εισέρχεται στη διεργασία από ένα μόνο ρεύμα και αφήνει τη διαδικασία αμετάβλητο σε ένα μόνο ρεύμα. Έτσι, ένα συνδετικό συστατικό σας επιτρέπει να γράψετε ένα ισοζύγιο μάζας για το μοναδικό συστατικό εκφρασμένο ως μια σταθερή αναλογία των ρευμάτων που περιέχουν το συστατικό. Ένα παράδειγμα της εφαρμογής ενός συνδετικού συστατικού παρουσιάζεται στα ακόλουθα βήματα.

Βήμα 5

Επιλέξτε μια βάση από τα δεδομένα.

Βάση: 100 kg νερού που εξατμίστηκε = W

Βήματα 6 – 9

Δεδομένου ότι οι συστάσεις του κάθε ρεύματος (A, B, και W) είναι γνωστές, τα A, B, και W είναι οι μόνες άγνωστες μεταβλητές, αλλά επειδή το W επιλέχθηκε ως βάση, παραμένουν μόνο δύο άγνωστοι. Μπορούμε να γράψουμε δύο ανεξάρτητες εξισώσεις ισοζυγίων μάζας, επειδή υπάρχουν δύο συστατικά (H₂O και BDC). Η ανάλυση των βαθμών ελευθερίας δίνει μηδέν βαθμούς ελευθερίας. Δύο ρεύματα εισέρχονται, ένα που περιέχει νερό και τη συμπαγή μάζα ψαριού και το άλλο, μόνο αέρα. Δύο ρεύματα εξέρχονται, ένα που περιέχει νερό και τη συμπαγή μάζα ψαριού και το άλλο, αέρα και νερό. Ο θερμός αέρας δεν χρησιμοποιείται στα ισοζύγια μάζας σ' αυτό το πρόβλημα, διότι δεν απαιτείται. Μπορούν να γραφούν δύο ανεξάρτητα ισοζύγια μάζας χρησιμοποιώντας τη σημειογραφία του Σχήματος E4.6. Θα χρησιμοποιήσουμε το ολικό ισοζύγιο μάζας συν το ισοζύγιο για το BDC σε χιλιόγραμμα.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το ισοζύγιο του νερού

$$0.80A = 0.40 B + 100$$

για να ελέγξουμε τους υπολογισμούς μας.

	Είσοδος	Έξοδος	
Ολικό ισοζύγιο	A	$= B + W = B + 100$	}
BDC Ισοζύγιο	0.2A	$= 0.6B$	
Ισοζύγια μάζας			

Αντικαθιστώντας τη δεύτερη εξίσωση στην πρώτη προκειμένου να απαλειφθεί το B και επιλύοντας ως προς A προκύπτει

$$A = 150 \text{ kg αρχικής μάζας ψαριού}$$

Εφαρμόζοντας ένα ισοζύγιο μάζας για το BDC σας επιτρέπει να υπολογίσετε την αναλογία των δύο ρευμάτων που αφορούν το BDC, δηλαδή,

$$\frac{A \text{ kg}}{B \text{ kg}} = \frac{0.60}{0.20} = 3 \quad \text{ή} \quad \frac{3 B \text{ kg}}{A \text{ kg}} = 1$$

Βήμα 10

Ελέγξτε με τη βοήθεια του ισοζυγίου του νερού

$$0.80 (150) \bar{=} 0.40 (150)(1/3) + 100$$

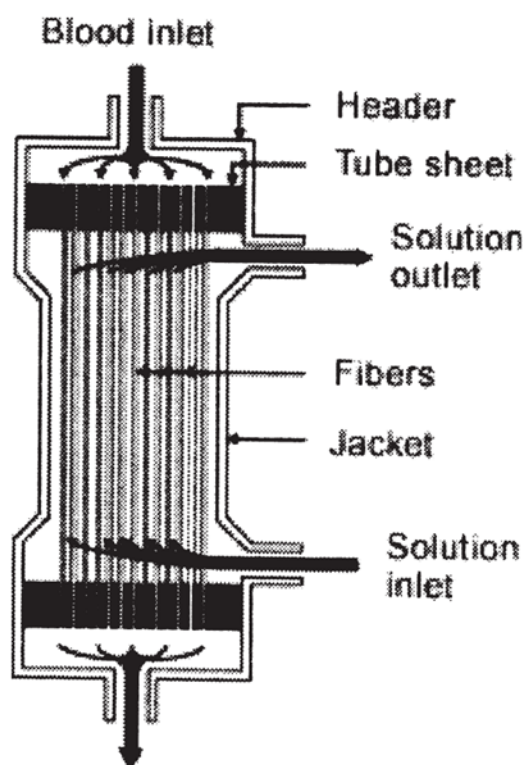
$$120 = 120$$

Παράδειγμα 4.7 Αιμοδιάλυση

Η αιμοδιάλυση είναι η πιο κοινή μέθοδος αντιμετώπισης προχωρημένης και μόνιμης νεφρικής ανεπάρκειας. Κατά την νεφρική ανεπάρκεια, στο σώμα σχηματίζονται επικίνδυνα απόβλητα, η πίεση του αίματος αυξάνει, υπάρχει κατακράτηση υγρών και ο σχηματισμός των ερυθρών αιμοσφαιρίων ελαττώνεται. Στην αιμοδιάλυση, το αίμα περνάει από μία συσκευή που φέρει ειδικό φίλτρο το οποίο κατακρατεί την ουρία και διατηρεί την ισορροπία του νερού και τις πρωτεΐνες στο αίμα.

Η συσκευή διάλυσης (Σχήμα E4.7) είναι ένα μεγάλο κάνιστρο που περιέχει χιλιάδες μικρές ίνες μέσα από τις οποίες περνάει το αίμα.

Σχήμα E4.7a

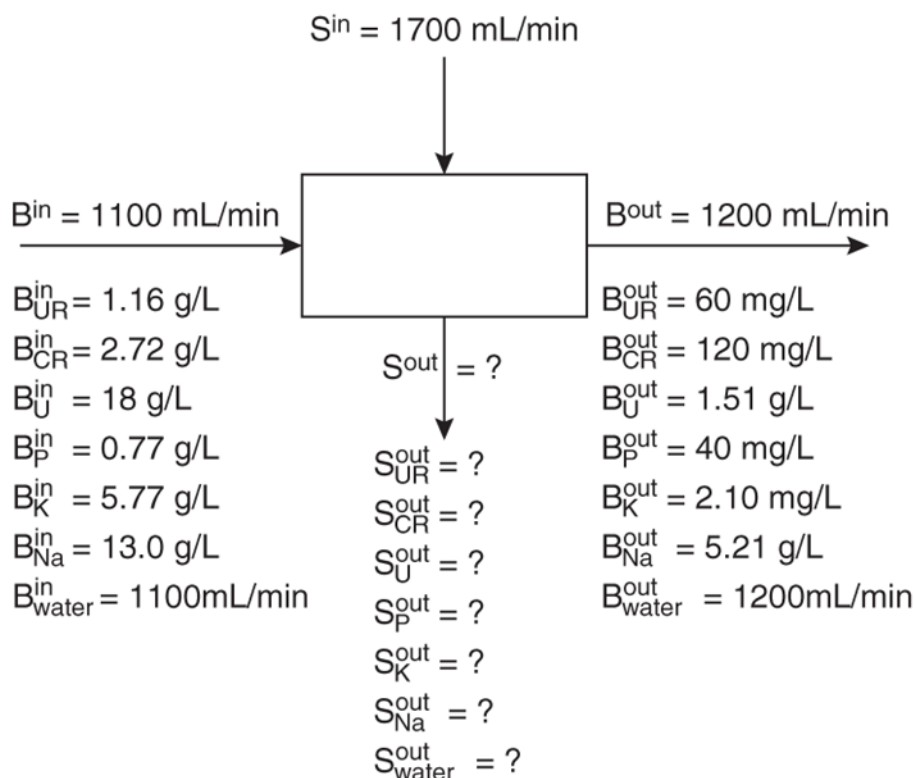


- Blood inlet: είσοδος αίματος
- Header: σωλήνας εισαγωγής
- Tube sheet: φύλλο σωλήνα
- Fibers: ίνες
- Jacket: χώρος υγρού ψύξης
- Solution inlet: είσοδος διαλύματος

Το διάλυμα της διάλυσης, το διάλυμα καθαρισμού, προωθείται γύρω από αυτές τις ίνες. Οι ίνες επιτρέπουν την μεταφορά των αποβλήτων και των πλεοναζόντων υγρών να απομακρυνθούν.

Το παράδειγμα αυτό επικεντρώνεται στα συστατικά πλάσματος των ρευμάτων S (διαλύτη) και B (αίμα): νερό, ουρικό οξύ (UR), κρεατινίνη (CR) ουρία (U), P, K και Na. Μπορείτε να αγνοήσετε το αρχικό περιεχόμενο της συσκευής διάλυσης επειδή η διαδικασία διαρκεί για ένα διάστημα δύο ή τριών ωρών. Με δεδομένες τις μετρήσεις μίας διαδικασίας, όπως φαίνεται στο Σχήμα E4.7β, υπολογίστε τα γραμμάρια ανά λίτρο κάθε συστατικού του πλάσματος στην έξοδο του διαλύματος.

Σχήμα E4.7β



In: είσοδος
 Out: έξοδος
 Water: νερό

Λύση

Πρόκειται για ανοιχτό σύστημα σταθερής κατάστασης.

Βήμα 1

Βάση: 1 λεπτό

Βήματα 2 – 4

Τα δεδομένα έχουν τοποθετηθεί στο Σχήμα E4.7β

Μπορείτε να αγνοήσετε την επίδραση των συστατικών του πλάσματος στην πυκνότητα. Το εισερχόμενο διάλυμα θεωρείται ότι είναι βασικά το νερό.

Βήματα 6 και 7

Αριθμός αγνώστων: Το Σχήμα 4.7β δείχνει αρκετές μεταβλητές, αλλά ας μετρήσουμε μόνο εκείνες τις μεταβλητές των οποίων οι τιμές δεν καθορίζονται στο σχήμα. Υπάρχουν μόνο οκτώ άγνωστοι, οι επτά τιμές των συστατικών στο ρεύμα εξόδου του νερού και η συνολική ροή εξόδου.

Αριθμός ανεξάρτητων εξισώσεων που απαιτούνται: 8

Μπορείτε να καταστρώσετε επτά ισοζύγια μάζας και να χρησιμοποιήσετε και τη συνεπαγόμενη εξίσωση του αθροίσματος των ροών μάζας στην έξοδο για να προκύψει η συνολική ροή εξόδου (σε γραμμάρια).

Βήματα 8 και 9

Το ισοζύγιο του νερού σε gr θεωρώντας ότι 1 mL είναι ισοδύναμο με 1 gr (μία πολύ βολική υπόθεση), είναι:

$$1100 + 1700 = 1200 + S_{\text{νερό}}^{\text{εξοδ.}} \quad \text{επομένως} \quad S_{\text{νερό}}^{\text{εξοδ.}} = 1600 \text{ gr} \quad \text{ή} \quad 1.6 \text{ L}$$

Τα ισοζύγια των άλλων συστατικών σε gr είναι:

	g/L
UR: $1.1(1.16) + 0 = 1.2(0.060) + 1.6 S_{\text{UR}}^{\text{εξοδ.}}$	$S_{\text{UR}}^{\text{εξοδ.}} = 0.75$
CR: $1.1(2.72) + 0 = 1.2(0.120) + 1.6 S_{\text{CR}}^{\text{εξοδ.}}$	$S_{\text{CR}}^{\text{εξοδ.}} = 1.78$
U: $1.1(18) + 0 = 1.2(1.51) + 1.6 S_{\text{U}}^{\text{εξοδ.}}$	$S_{\text{U}}^{\text{εξοδ.}} = 11.2$
P: $1.1(0.77) + 0 = 1.2(0.040) + 1.6 S_{\text{P}}^{\text{εξοδ.}}$	$S_{\text{P}}^{\text{εξοδ.}} = 0.50$
K: $1.1(1.16) + 0 = 1.2(0.060) + 1.6 S_{\text{K}}^{\text{εξοδ.}}$	$S_{\text{K}}^{\text{εξοδ.}} = 3.8$
Na: $1.1(13.0) + 0 = 1.2(3.21) + 1.6 S_{\text{Na}}^{\text{εξοδ.}}$	$S_{\text{Na}}^{\text{εξοδ.}} = 6.53$

Βήμα 10

Ως επαλήθευση, υπολογίστε το ολικό ισοζύγιο μάζας.