

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΛΥΜΕΝΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΘΕΜΑΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ:

«Εισαγωγή στα ισοζύγια μάζας, ανοικτά-κλειστά συστήματα, ένα-πολλά συστατικά, συνεχείς-ασυνεχείς διεργασίες»

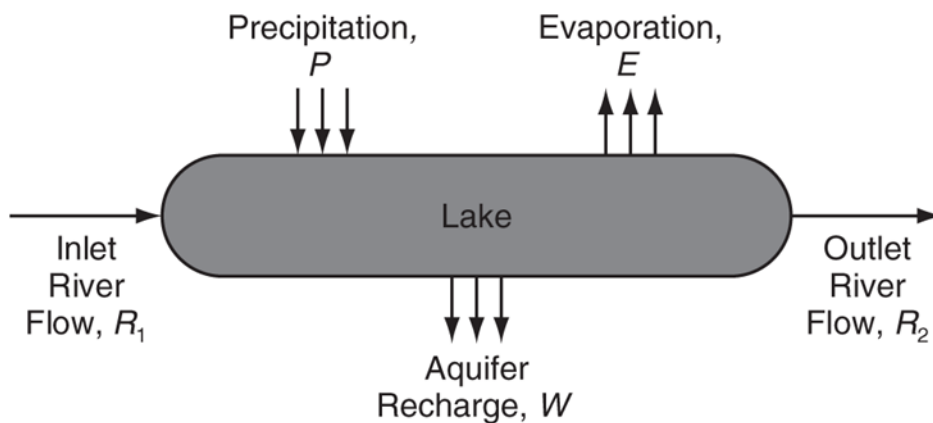
Διδάσκοντες:
Γκαϊντατζής Γεώργιος
Δούναβης Αθανάσιος

Ξάνθη, Εαρινό Εξάμηνο 2025

Παράδειγμα 3.1 Ισοζύγιο Νερού για μία Λίμνη

Το ισοζύγιο νερού σε μια λίμνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογηθεί το αποτέλεσμα της εισροής των υπογείων υδάτων, της εξάτμισης, ή της καταβύθισης στη λίμνη. Καταστρώστε ένα ισοζύγιο νερού για μια λίμνη, χρησιμοποιώντας σύμβολα, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών διεργασιών που αναφέρονται στο Σχήμα Ε3.1 (όλα τα σύμβολα είναι σε μάζα κατά το ίδιο χρονικό διάστημα).

Σχήμα Ε3.1



Inlet river flow: Ροή εισόδου ποταμού

Precipitation: καταβύθιση

Evaporation: εξάτμιση

Aquifer recharge: Εμπλουτισμός του υδροφόρου ορίζοντα

Outer river flow: Ροή εξόδου ποταμού

Lake: Λίμνη

Λύση

Εφόσον δεν υπάρχει αντίδραση για το νερό στο σύστημα, εφαρμόζεται η Εξίσωση

Accumulation in the system from t_1 to t_2 : Συσσώρευση στο σύστημα από t_1 μέχρι t_2

Amount in system at $t = t_2$: ποσότητα στο σύστημα όταν $t = t_2$

Amount in system at $t = t_1$: ποσότητα στο σύστημα όταν $t = t_1$

Input to the system from t_1 to t_2 : Είσοδος στο σύστημα από t_1 μέχρι t_2

Output from the system from t_1 to t_2 : έξοδος από το σύστημα από t_1 μέχρι t_2

όπου μπορεί να παρασταθεί με σύμβολα όπως εμφανίζονται στο Σχήμα E3.1. Το R_1 , για παράδειγμα, δεν είναι ο ρυθμός ροής αλλά η συνολική ροή του ποταμού στο σύστημα κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος, και το R_2 είναι η ολική ροή εξόδου από το σύστημα κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος. Αν υπάρχουν ρέματα που εκβάλλουν στη λίμνη, θα μπορούσαν να προστεθούν ως επιπλέον R_s . Οποιαδήποτε συσσώρευση απαιτεί κάποια σύμβολα για να ορίσει το χρόνο. Θα χρησιμοποιήσουμε τα $S_R(t_1)$ και $S_R(t_2)$ ως αρχικές και τελικές ποσότητες νερού στη λίμνη βασιζόμενοι στο γεγονός ότι η ποσότητα του νερού στη λίμνη κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος μπορεί να αλλάξει.

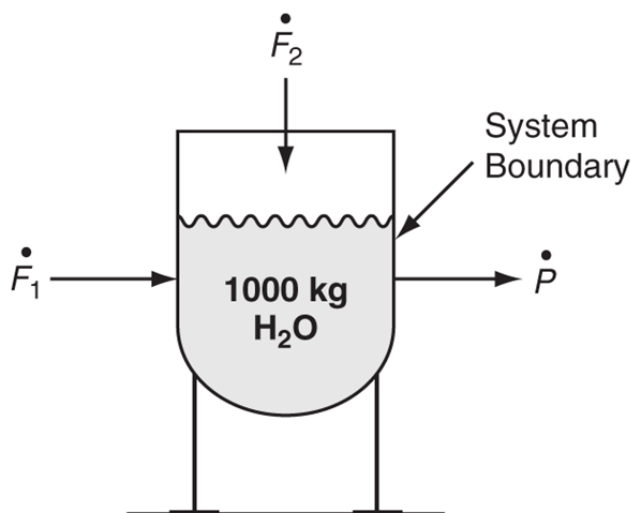
Ποιο θα είναι το σύστημα; Θέλετε ένα γενικό ισοζύγιο για το νερό στη λίμνη, επομένως το σύστημα θα πρέπει να είναι η λίμνη. Ποια θα πρέπει να είναι η βάση; Επιλέξτε ένα συγκεκριμένο (αλλά άγνωστο) χρονικό διάστημα, το οποίο να συμπίπτει με μία από τις γνωστές ροές. Το ισοζύγιο του νερού είναι:

$$S_R(t_2) - S_R(t_1) = R_1 - R_2 + P - E - W$$

Παράδειγμα 3.2 Ισοζύγιο Μάζας για το Νερό σε μια Δεξαμενή Αποθήκευσης Φρουκτόζης

Εξετάστε τη δεξαμενή αποθήκευσης που φαίνεται στο Σχήμα E3.2. Η συσσώρευση νερού στη δεξαμενή προσδιορίστηκε να είναι 6.000 kg, για ένα διάστημα 3 h. Υποθέτοντας ότι οι ρυθμοί τροφοδοσίας και η απομάκρυνση παραμένουν σταθεροί κατά τη διάρκεια της περιόδου των 3 ωρών, καθορίστε το ρυθμό ροής του δεύτερου ρεύματος τροφοδοσίας, \dot{F}_2 . Το \dot{F}_1 ισούται με 10.000 kg / h και ο ρυθμός απομάκρυνσης του νερού, \dot{P} , είναι 12.000 kg / h.

Σχήμα E3.2



System boundary: όρια συστήματος

Λύση

Επιλέξτε μια βάση Δt ίση με 3 ώρες. Εφαρμόστε την Εξίσωση (3.2), σε αυτό το πρόβλημα:

$$S_T(t_2) - S_T(t_1) = \dot{F}_1 \Delta t + \dot{F}_2 \Delta t - \dot{P} \Delta t$$

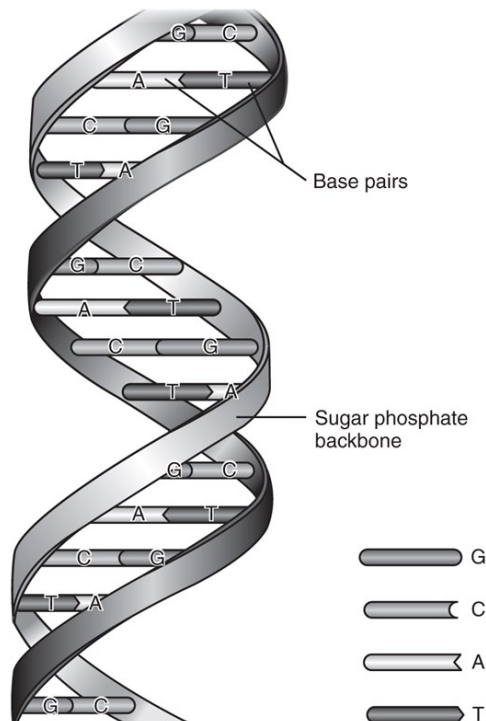
$$6000 \text{ kg} = (10,000 \text{ kg/h}) (3 \text{ h}) + \dot{F}_2 (3 \text{ h}) - (12,000 \text{ kg/h}) (3 \text{ h})$$

Διαιρέστε και τα δύο μέλη της εξίσωσης με το 3 για να προκύψει $\dot{F}_2 = 4000 \text{ kg/h}$. Σημειώστε ότι η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στο σύστημα κατά τη διάρκεια των 3 ωρών, F_2 , είναι ίση με το ρυθμό ροής πολλαπλασιασμένο με το χρονικό διάστημα.

Παράδειγμα 3.3 Αποτελεσματικότητα της ανάκτησης του DNA

Σε μια διαδικασία για την ανάκτηση του DNA από τα κύτταρα και τους ιστούς, 20 μg καθαρών αλληλουχιών DNA σε 500 μg νερού διασπώνται με ήχο σε 500 bp και μικρότερα μεγέθη. [Ένα bp (ζεύγος βάσης) είναι 0,34 nm (κατά μήκος του άξονα της έλικας), 10.4 bp είναι ίσα με μια ελικοειδή στροφή στο μόριο του DNA.] Δείτε τα Σχήματα E3.3a και E3.3a. Μετά την διασύνδεση των πρωτεϊνών στο DNA, ακολουθούμενη από διάφορα επιπρόσθετα στάδια επεξεργασίας και διαχωρισμού, το υπόλοιπο DNA καταβυθίζεται, καθαρίζεται, και ξηραίνεται, δίδοντας 1,20 μg DNA. Τι κλάσμα του DNA χάθηκε στα στάδια επεξεργασίας;

Σχήμα E3.3a Τρισδιάστατη αναπαράσταση μίας έλικας του DNA



Base pairs: ζεύγη βάσης

Sugar phosphate backbone: Κορμός φωσφορικού σακχάρου

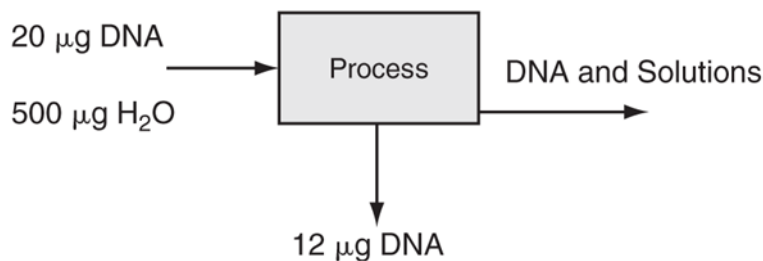
Σε όλους σχεδόν τους ζωντανούς οργανισμούς, το DNA (δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ) είναι το μόριο που αποθηκεύει τις γενετικές πληροφορίες. Σχηματίζει μακρά γραμμικά μόρια σε δύο αλληλένδετες αλυσίδες που ονομάζεται διπλή έλικα όπως φαίνεται στο Σχήμα E3.3α.

Λύση

Αυτό είναι ένα εύκολο πρόβλημα, αλλά επεξηγεί την ανάλυση που απαιτείται για την επίλυση των προβλημάτων ισοζυγίων μάζας. Μια ανασκόπηση του προβλήματος δείχνει ότι μπορείτε να κάνετε ένα ισοζύγιο του DNA. Δε χρειάζεται να ανησυχείτε για το νερό, διότι η επεξεργασία περιλαμβάνει νερό, και δεν παρέχονται πληροφορίες σχετικά με αυτό το νερό. Το Σχήμα E3.3β δείχνει τις πληροφορίες που δίνονται.

Σχήμα E3.3β

DNA and Solutions



DNA and Solutions: DNA και διαλύματα

Process: Διεργασία

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να κάνετε είναι να επιλέξετε ένα σύστημα, έχοντας κατά νου την Εξίσωση (3.2). Αφήστε το σύστημα να είναι η διεργασία όπως φαίνεται στο Σχήμα E3.3β. Η διεργασία είναι ανοιχτή. Είναι σε σταθερή κατάσταση; Αν υποθέσουμε ότι κατά τη διεργασία δεν υπήρχε αρχικά DNA και δεν παρέμεινε καθόλου τελικά, όπως φαίνεται λογικό, τότε η διεργασία είναι σταθερής κατάστασης. Ισχύει επομένως το "ό,τι εισέρχεται πρέπει να εξέρχεται". Έστω x το DNA που εξέρχεται (άγνωστο), που χάνεται κατά την επεξεργασία. Το ισοζύγιο του DNA είναι με βάση 20 µg του DNA:

Input: Είσοδος

Output: Έξοδος

$$20 \mu\text{g DNA} = 12 \mu\text{g DNA} + x \mu\text{g DNA}$$

Η λύση του ισοζυγίου μάζας μας δίνει $x = 8 \mu\text{g DNA}$, επομένως το κλάσμα που χάθηκε στα στάδια επεξεργασίας είναι $8/20$ ή 0.4 .

Θα μπορούσατε βέβαια να υπολογίσετε πρώτα το κλάσμα του ανακτημένου DNA, $12/20$ ή $0,6$. Στην πραγματικότητα, 1 µg γίνεται η βάση και το x γίνεται το επιθυμητό κλάσμα. Το ισοζύγιο

μάζας τότε είναι $1 = 0.6 + x$ ώστε το x εξακολουθεί να είναι ίσος με 0.4. Θα μπορούσατε να έχετε επιλέξει ως βάση τα 12 μg .

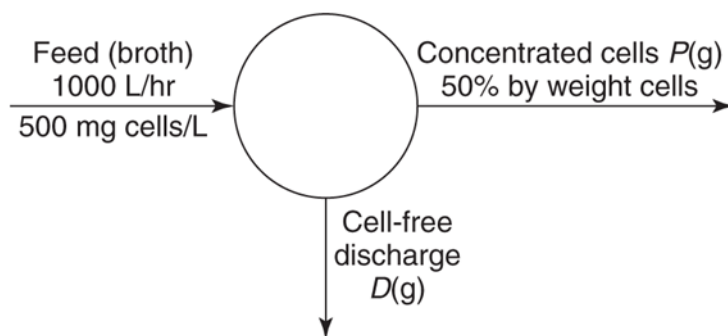
Παράδειγμα 3.4 Συγκέντρωση Κυττάρων με Χρήση Φυγόκεντρο

Οι φυγόκεντροι χρησιμοποιούνται για τον διαχωρισμό σωματιδίων διαμέτρου από 0.1 έως 100 μm σε υγρά, με τη χρήση της φυγόκεντρο δύναμης. Κύτταρα ζύμης παραλαμβάνονται από υγρό μίγμα που περιέχει κύτταρα με την βοήθεια μιας σωληνοειδούς φυγόκεντρο (ενός κυλινδρικού συστήματος που περιστρέφεται πάνω σε έναν κυλινδρικό άξονα). Προσδιορίστε την ποσότητα υπολείμματος που δεν περιέχει κύτταρα και απομακρύνεται από την φυγόκεντρο κάθε 1 ώρα, αν η τροφοδοσία είναι 1000 L/hr. Η τροφοδοσία περιέχει 500 mg cells/L, ενώ το ρεύμα παραγωγής περιέχει 50% κατά βάρος κύτταρα. Υποθέστε ότι η πυκνότητα της τροφοδοσίας είναι ίση με 1 g/cm^3 και ότι δεν υπάρχουν κύτταρα στο ζωμό εκκένωση μετά τη φυγόκεντρο

Λύση

Υπάρχουν πολλοί τύποι φυγόκεντρων. Στο Σχήμα E3.4 φαίνεται ένας φυγόκεντρος με συνεχή τροφοδοσία και έξοδο. Ως εκ τούτου, μπορείτε να συμπεράνετε ότι η διεργασία περιλαμβάνει ένα ανοικτό σύστημα, σε σταθερή κατάσταση, χωρίς αντίδραση. Περιλαμβάνονται δύο συστατικά: κύτταρα και ζωμός. Επιλέξτε ως βάση τη 1 ώρα. Έστω P είναι το επιθυμητό προϊόν και D είναι η απόρριψη, και τα δύο σε γραμμάρια.

Σχήμα E3.4



Feed (broth): τροφοδοσία

Centrifuge: φυγόκεντρος

Concentrated cells: συμπυκνωμένα κύτταρα

50% by weight: 50% κατά βάρος

cell free discharge $D(g)$: υπόλειμμα ελεύθερο κυττάρων

Επειδή η συσσώρευση είναι μηδέν, τα ισοζύγια μάζας (συνολικά και τα δύο συστατικά) είναι "ό,τι εισέρχεται πρέπει να εξέρχεται". Θα κάνουμε ένα ισοζύγιο για τα κύτταρα και εν συνεχεία ένα ισοζύγιο για τα ρευστά.

Στο ισοζύγιο για τα κύτταρα:

$$\frac{1000 \text{ L τροφοδοσία}}{1 \text{ L τροφοδοσία}} \left| \frac{500 \text{ mg κύτταρα}}{1 \text{ L τροφοδοσία}} \right| \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = \frac{0.50 \text{ g κύτταρα}}{1 \text{ g P}} \left| \frac{P \text{ g}}{1 \text{ g P}} \right| \quad P = 1000 \text{ g}$$

Ισοζύγιο ρευστών

Χρησιμοποιώντας την ήδη υπολογιζόμενη τιμή του P στο ισοζύγιο των ρευστών:

$$\frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ L}} \left| \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ L}} \right| \frac{1 \text{ g ρευστού}}{1 \text{ cm}^3} = \frac{1000 \text{ g P}}{1 \text{ g P}} \left| \frac{0.50 \text{ g ρευστού}}{1 \text{ g P}} \right| + D \text{ g ρευστού}$$

$$D = (10^6 - 500) \text{ g ρευστού}$$

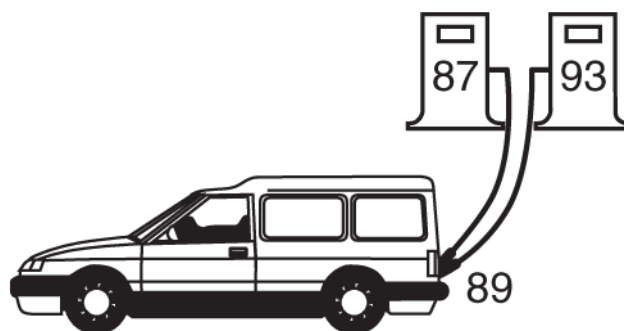
Παράδειγμα 3.5 Ισοζύγιο Μάζας για την Ανάμιξη Βενζίνης

Θα εξοικονομήσετε χρήματα αν αντί να αγοράσετε σούπερ βενζίνη 89 οκτανίων με \$ 2.987 το γαλόνι, αναμίξετε βενζίνη 93 οκτανίων με τιμή \$ 3.137 το γαλόνι με κανονική βενζίνη 87 οκτανίων με τιμή \$ 2.837 το γαλόνι;

Λύση

Το πρόβλημα αυτό αποτελεί εφαρμογή της Εξίσωσης (3.2) στον αριθμό οκτανίων ως συστατικό της βενζίνης, μια συνιστώσα που πρέπει να διατηρηθεί. Μπορείτε να σκεφτείτε ότι η βενζίνη αποτελείται από οκτάνιο και κάτι άλλο, αλλά στην πραγματικότητα ο αριθμός οκτανίων μετράται με δοκιμές σε κινητήρες. Επειδή η σύνθεση της βενζίνης μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή και από τόπο σε τόπο, ανάλογα με το κόστος και τη διαθεσιμότητα των συστατικών της, καταστρώνοντας ένα πραγματικό ισοζύγιο μάζας για κάθε συστατικό, θα περιλαμβάνει αρκετά πολύπλοκους υπολογισμούς. Για να πάρετε τον αριθμό οκτανίων, θα πολλαπλασιάσετε τις μονάδες του αριθμού οκτάνιο ανά γαλόνι με τον αριθμό των γαλόνια κάθε είδους βενζίνης και θα διαιρέσετε με τον αριθμό των συνολικών γαλονιών για να καταλήξετε στο μέσο αριθμό οκτανίου. Επιλέξτε για βάση 1 γαλόνι βενζίνης 89 οκτανίων. Εξετάστε το Σχήμα E3.5. Θα μπορούσατε φυσικά να επιλέξετε και κάποια άλλη βάση.

Σχήμα E3.5



Αρχικά, θα πρέπει να αποφασίσετε αν το σύστημα είναι ανοιχτό ή κλειστό, και αν είναι σταθερής ή μη σταθερής κατάστασης. Στην πράξη, ακόμα και αν υπάρχει βενζίνη στη δεξαμενή κατά την έναρξη της ανάμιξης, μας ενδιαφέρει μόνο η προσθήκη της βενζίνης μέσω της επιλογής της βάσης. Ας επιλέξουμε ως βάση το 1 γαλόνι. Προφανώς, πρόκειται για ανοιχτό σύστημα σε συνθήκες μη σταθερής κατάστασης. Οι ροές προς το σύστημα αντιστοιχούν στον αριθμό των (κλασματικών) γαλονιών καθενός από τα δύο είδη βενζίνης και της ροής του αριθμού οκτανίων, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα Ε3.5. Έτσι, η αρχική ποσότητα οκτανίων στη δεξαμενή είναι μηδέν, και ο τελικός αριθμός είναι 89. Ο αρχικός αριθμός των γαλονιών βενζίνης στη δεξαμενή είναι μηδέν, και ο τελικός αριθμός είναι ένα.

Έστω x το κλάσμα των γαλονιών της βενζίνης των 87 οκτανίων που προστέθηκαν, και y το κλάσμα των γαλονιών της βενζίνης των 93 οκτανίων.

Ισοζύγιο οκτανίων

Accumulation: Συσσώρευση

Inputs: Είσοδος

$$\left| \frac{89 \text{ οκτάνια}}{1 \text{ gal}} \right| - 0 = \left| \frac{87 \text{ οκτάνια}}{1 \text{ gal}} \right| \frac{x \text{ gal}}{1} + \left| \frac{93 \text{ οκτάνια}}{1 \text{ gal}} \right| \frac{y \text{ gal}}{1}$$

Ισοζύγιο βενζίνης

Γνωρίζετε μόνο τον όγκο της βενζίνης, όχι τη μάζα της, και κάθε είδος θα έχει ελαφρώς διαφορετικά συστατικά. Επειδή η μάζα είναι ο όγκος επί την πυκνότητα, οι πυκνότητες των ρευμάτων εισόδου και του μείγματος, για πρακτικούς σκοπούς είναι ίδιες. Στη συνέχεια, η πυκνότητα μπορεί να απαλειφθεί από κάθε όρο του ισοζυγίου μάζας, και έτσι θα προκύψει το ισοζύγιο όγκου:

$$x + y = 1$$

Με την ταυτόχρονη επίλυση των δύο ισοζυγίων (δύο εξισώσεις με δύο αγνώστους) προκύπτει ότι $x = 2/3 \text{ gal}$ και επομένως $y = 1/3 \text{ gal}$ και το κόστος του μίγματος της βενζίνης είναι

$$2/3 (\$2.837) + 1/3 (\$3.137) = \$2.936$$

που είναι λιγότερο από το κόστος της βενζίνης των 89 οκτανίων ($\$2.987$). Στην πράξη, τα διυλιστήρια λαμβάνουν υπόψη την μη γραμμική ανάμιξη βενζίνης με διαφορετικούς αριθμούς οκτανίων αφού το ένα ή τα δύο δέκατα ενός αριθμού οκτανίου αντιστοιχεί σε σημαντικό ποσό χρημάτων, λόγω των μεγάλων ποσοτήτων βενζίνης που πωλούνται.

Παράδειγμα 3.6 Κατανοώντας το πρόβλημα

Ένα τραίνο πλησιάζει έναν σταθμό με ταχύτητα 105 cm/s. Ένας άνθρωπος στο μπροστινό μέρος βαδίζει προς τα εμπρός με ταχύτητα 30 cm/s σε σχέση με τα καθίσματα. Τρώει ένα χοτ-ντογκ μήκους ενός ποδιού, το οποίο μπαίνει στο στόμα του με ταχύτητα 2 cm/s. Ένα μυρμήγκι επάνω στο χοτ-ντογκ, τρέχει μακριά από το στόμα του ανθρώπου με ταχύτητα 1 cm/s. Με πόση ταχύτητα το μυρμήγκι πλησιάζει τον σταθμό; Καλύψτε την παρακάτω λύση, και αποφασίστε τι ζητάει το πρόβλημα πριν κρυφοκοιτάξετε.

Λύση

Καθώς διαβάζετε το πρόβλημα βεβαιωθείτε ότι καταλάβατε πως τα διάφορα τμήματά του αλληλοσυνδέονται. Είναι η παρακάτω ανάλυση η σωστή;

Μία επιφανειακή ανάλυση θα αγνοούσε το μήκος του χοτ-ντογκ και θα έδινε την απάντηση: $105 + 30 - 2 + 1 = 134$ cm/s. Ωστόσο, αν μελετήσουμε προσεχτικά το πρόβλημα, θα δούμε ότι το μυρμήγκι απομακρύνεται από το στόμα του ανθρώπου με ταχύτητα 1 cm/s. Αφού το στόμα του ανθρώπου κινείται προς το σταθμό με ταχύτητα 135 cm/s το μυρμήγκι κινείται προς τον σταθμό με ταχύτητα 136 cm/s.

Παράδειγμα 3.7 Τοποθέτηση των Γνωστών Δεδομένων σε Διάγραμμα

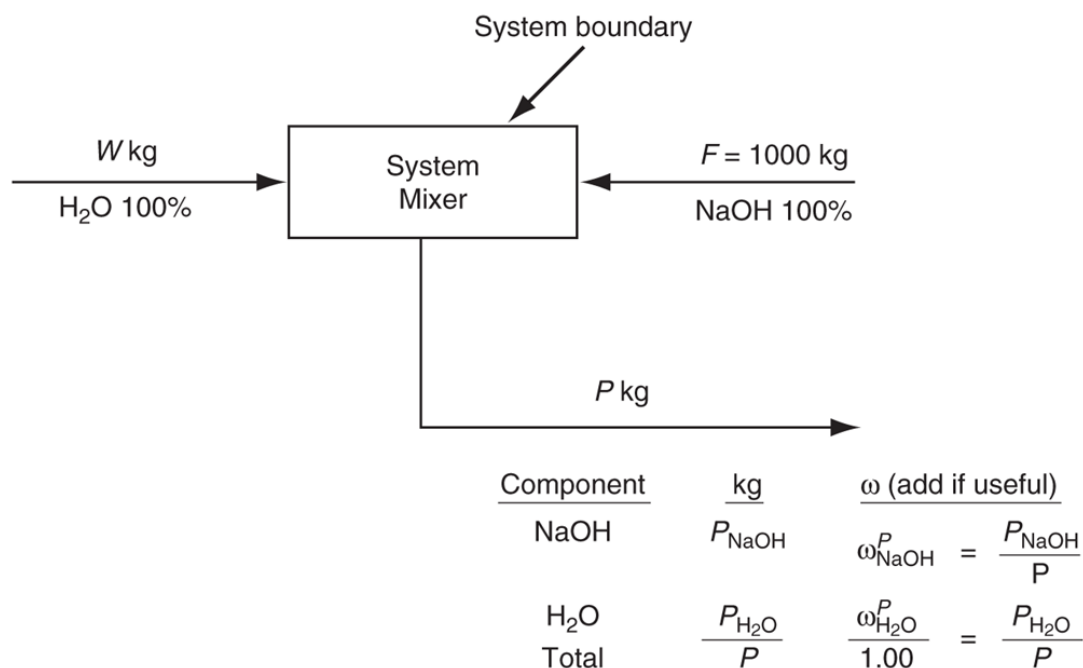
Σε ένα αναμίκτη συνεχούς ροής, αναμιγνύονται NaOH και H₂O με σκοπό την παραγωγή υδατικού διαλύματος NaOH. Το πρόβλημα είναι να καθοριστεί η σύσταση και ο ρυθμός ροής του προϊόντος αν ο ρυθμός ροής του NaOH είναι 1000 kg/hr και η αναλογία του ρυθμού ροής του H₂O προς το προϊόν είναι 0.9. Σχεδιάστε ένα σκίτσο της διεργασίας και τοποθετήστε τα δεδομένα και τις άγνωστες μεταβλητές με τις κατάλληλες ετικέτες. Θα χρησιμοποιήσουμε το παράδειγμα αυτό σε μεταγενέστερες απεικονίσεις της προτεινόμενης στρατηγικής.

Λύση

Αφού δεν έχουμε αντίθετες πληροφορίες σχετικά με την σύσταση των ρευμάτων NaOH και H₂O, θα υποθέσουμε ότι περιέχουν 100% NaOH και H₂O αντίστοιχα. Στο Σχήμα E3.7 φαίνεται ένας τυπικός τρόπος τοποθέτησης των δεδομένων σε ένα διάγραμμα. (Το Σχήμα E3.7 φαίνεται καλύτερο από αυτό που ίσως θα σχεδιάζατε επειδή σχεδιάστηκε από έναν σχεδιαστή).

Βάση: 1 hr \equiv 1000 kg

Σχήμα E3.7



System boundary: όρια συστήματος
 System: σύστημα
 Mixer: αναμείκτης
 Component: συστατικό
 Total: συνολικά
 Add if useful: προσθέστε αν χρειάζεται

Παρατηρήστε ότι η σύσταση του ρεύματος προϊόντος αναγράφεται μαζί με τα σύμβολα των άγνωστων ροών. Θα μπορούσατε να καταγράψετε τα κλάσματα μάζας αντί ή μαζί με τις μαζικές ροές; Φυσικά. Αφού γνωρίζετε ότι $W/P = 0.9$, γιατί δεν αναγράφετε την αναλογία σε κάποια βολική θέση του διαγράμματος;

Η χρήση μιας ομάδας αλγεβρικών συμβόλων που αντιπροσωπεύουν μεταβλητές των οποίων οι τιμές είναι άγνωστες (οι ονομαζόμενοι **άγνωστοι**), είναι ιδιαίτερα βολική. Στο βιβλίο αυτό συχνά χρησιμοποιούμε βοηθητικά γράμματα για την ροή των υλικών, τόσο για μάζα όσο και για moles με τις κατάλληλες μονάδες, όπως φαίνεται στο Σχήμα E3.7.

Όταν είναι χρήσιμο, χρησιμοποιούμε το m για την μάζα και το n για την ροή των moles με τον κατάλληλο δείκτη ή/και εκθέτη για διευκρίνιση των συμβόλων. Ο πίνακας 3.1 δείχνει μερικά

παραδείγματα. Σε συγκεκριμένα προβλήματα επιλέξτε προφανή ή βοηθητικά γράμματα όπως W για το νερό και P για το προϊόν για να αποφύγετε την σύγχυση. Αν τα κατάλληλα γράμματα της αλφαβήτου εξαντληθούν, μπορείτε πάντα να χρησιμοποιήσετε εκθέτες για να διαχωρίσετε ρεύματα όπως το F^1 από F^2 ή να ονομάσετε τα ρεύματα F1 και F2. Τα γράμματα για παροχές θα πρέπει να έχουν μία τελεία στο πάνω μέρος τους. Κάντε την τελεία αρκετά μεγάλη για να το διακρίνει κανείς από έναν κόκκο στο χαρτί σας.

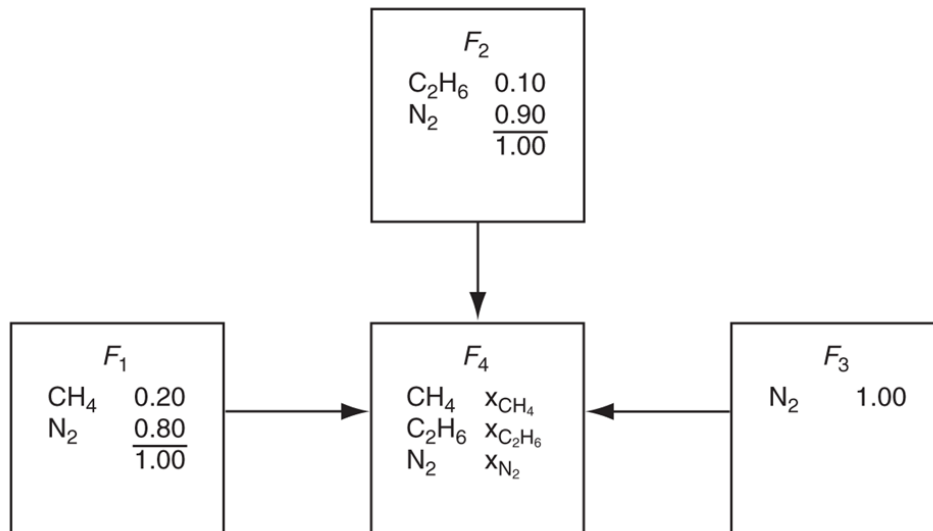
Παράδειγμα 3.8 Ανάλυση των βαθμών ελευθερίας

Πρέπει να παρασκευασθεί μία φιάλη αερίων στην οποία θα υπάρχουν CH_4 , C_2H_6 και N_2 η αναλογία mole CH_4 προς C_2H_6 θα πρέπει να ισούται με 1.5 προς 1. Για την προετοιμασία του μίγματος διαθέσιμα είναι (1) φιάλη που περιέχει μίγμα 80% N_2 και 20% CH_4 , (2) φιάλη που περιέχει μίγμα 90% N_2 και 10% C_2H_6 , και (3) φιάλη που περιέχει καθαρό N_2 . Ποιος είναι ο αριθμός του βαθμών ελευθερίας, δηλαδή ο αριθμός των ανεξάρτητων προδιαγραφών που πρέπει να γίνουν, έτσι ώστε να μπορούν να προσδιοριστούν οι αντίστοιχες συνεισφορές της κάθε φιάλης στην απόκτηση της επιθυμητής σύστασης με τα τρία συστατικά;

Λύση

Ένα σχήμα της διεργασίας βοηθά σημαντικά στην ανάλυση των βαθμών ελευθερίας. Κοιτάξτε το Σχήμα E3.8. Δεν υπάρχει συγκεκριμένη ποσότητα του αερίου που απαιτείται να παρασκευαστεί. Απαιτείται μόνο η σχετική συνεισφορά της κάθε φιάλης. Ως εκ τούτου, μπορείτε να πάρετε ως μια βολική βάση οποιαδήποτε τιμή των αγνώστων, αν και επιλέγοντας ένα από τα Fs έχει περισσότερο νόημα. Διαλέξτε $F_1 = 100 \text{ mol}$ ως βάση. (Μήπως σκοπεύετε να χρησιμοποιήσετε τη μάζα ως βάση για ένα ρεύμα αερίου;)

Σχήμα E3.8



Πρώτα μετρήστε τον αριθμό των μεταβλητών, αγνοώντας αυτές των οποίων η τιμή είναι μηδέν. Υπολογίζετε 12; Κοιτάξτε την παρακάτω λίστα. Το επόμενο βήμα είναι να προσδιοριστεί ο αριθμός των αγνώστων αντιστοιχώντας όλες τις γνωστές τιμές στις αντίστοιχες μεταβλητές τους,

τιμές που μπορείτε εύκολα να βρείτε από τη διατύπωση του προβλήματος και από άλλες πηγές ή μπορείτε να υπολογίσετε εύκολα στο μυαλό σας. Μπορείτε να θέσετε τιμές σε 6 μεταβλητές. Τα ερωτηματικά ορίζουν τους αγνώστους.

$$n_{F_1}^{CH_4} = 20 \text{ καθορίστηκε } [(100)(0.20)]$$

$$n_{F_2}^{N_2} = 0.90F_2 \text{ καθορίστηκε}$$

$$n_{F_1}^{N_2} = 80 \text{ καθορίστηκε } [(100)(0.80)]$$

$$n_{F_2}^{C_2H_6} = 0.10F_2 \text{ καθορίστηκε}$$

$$F_1 = 100 \text{ χρησιμοποιήθηκε το άθροισμα των } n_i \text{ στο } F_1$$

$$F_2 = ;$$

$$n_{F_3}^{N_2} = (1.00)F_3$$

$$F_3 = ;$$

$$n_{F_4}^{C_2H_6} = ;$$

$$n_{F_4}^{CH_4} = ;$$

$$n_{F_4}^{N_2} = ;$$

$$F_4 = ;$$

Κάθε μία από τις αντιστοιχίσεις ισοδυναμούν με μία εξίσωση. Η καταμέτρηση των ερωτηματικών είναι έξι. Μπορείτε να βρείτε κάποιες άλλες εμφανείς τιμές; Εάν όχι, τι ανεξάρτητες εξισώσεις μπορείτε να εμπλέξετε για να λυθεί το πρόβλημα; Τι θα λέγατε

Τρία ισοζύγια μάζας συστατικών: CH_4 , C_2H_6 και N_2

Μία καθορισμένη αναλογία: moles CH_4 προς C_2H_6 ίση με 1.5

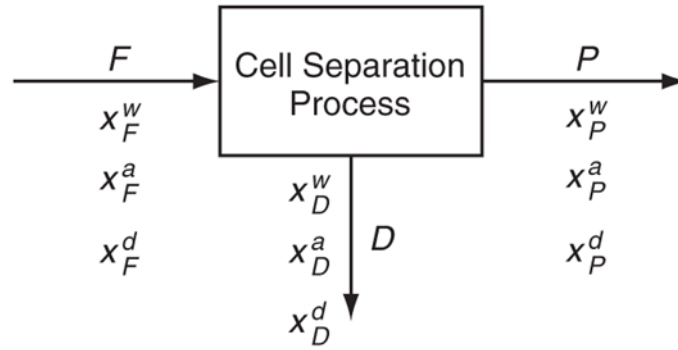
Μία έμμεση εξίσωση: άθροισμα των γραμμομοριακών κλασμάτων για το ρεύμα των προϊόντων

Ως εκ τούτου, ένα σύνολο από πέντε ανεξάρτητες εξισώσεις μπορούν να γραφούν για αυτό το πρόβλημα. Έτσι, έξι μείον πέντε ισούται με ένα βαθμό ελευθερίας. Να θυμάστε ότι πρέπει να είστε προσεκτικοί όταν χρησιμοποιείτε εξισώσεις για να διατυπώσετε μια σειρά από ανεξάρτητες εξισώσεις.

Παράδειγμα 3.9 Ανάλυση των βαθμών ελευθερίας

Εξετάστε το Σχήμα E3.9 όπου απεικονίζονται τα συστατικά και τα ρεύματα σε μια διεργασία (για παράδειγμα, φυγοκέντρηση ή διηλεκτροφόρηση) για το διαχωρισμό των ζωντανών κυττάρων (εκθέτης a για τα ζωντανά) από τα νεκρά (εκθέτης d) σε νερό (εκθέτης W). Εάν οι τιμές των κλασμάτων μάζας x_F^W , x_P^W , x_F^a , x_P^d καθώς και του F, είναι προκαθορισμένες (γνωστές), πόσοι είναι οι βαθμοί ελευθερίας της διαδικασίας; Ποιες άγνωστες τιμές θα μπορούσαν να καθοριστούν; Όλες οι μονάδες είναι σε μάζα.

Σχήμα E3.9



Cell Separation Process: Διεργασία Διαχωρισμού Κυττάρων

Λύση

Βήματα 1-5

Δείτε το Σχήμα E3.9. Η βάση είναι το F.

Βήμα 6

Αριθμός των αγνώστων. Κάθε ρεύμα έχει τέσσερις ετικέτες, ως εκ τούτου, $(4)(3) = 12$ το σύνολο των μεταβλητών που υπάρχουν, εκ των οποίων οι τιμές των 5 είναι προκαθορισμένες. Επομένως υπάρχουν 7 άγνωστοι:

$$D, P, x_F^d, x_P^a, x_D^w, x_D^a, x_D^d$$

Βήμα 7

Αριθμός ανεξάρτητων εξισώσεων που χρειάζονται: 7

Ισοζύγια μάζας: Μπορείτε να γράψετε τέσσερα ισοζύγια μάζας, τρία για τα συστατικά και ένα ολικό, εκ των οποίων τρία είναι ανεξάρτητα.

Αθροίσματα των κλασμάτων μάζας: Μπορείτε να γράψετε τρία αθροίσματα κλασμάτων μάζας, ένα για κάθε ρεύμα που είναι ανεξάρτητα.

Επομένως $7 - 6 = 1$ βαθμός ελευθερίας.

Θα πρέπει να είστε προσεκτικοί σε ότι αφορά την επιλογή της μεταβλητή που θα καθοριστεί. Μην επιλέξετε μια τιμή για έναν άγνωστο που θα είναι περιττή πληροφορία ή να καταστήσει μία ή περισσότερες από τις εξισώσεις που έχετε επιλέξει στο Βήμα 7 ακούσια εξαρτημένη. Για παράδειγμα, εάν έχετε ορίσει την τιμή του x_F^d , επειδή έχετε ήδη υπολογίσει τη σχέση $x_F^w + x_F^a + x_F^d = 1$ ως μία από τις ανεξάρτητες εξισώσεις, ο καθορισμός του x_F^d δεν θα προσθέσει νέες πληροφορίες για το πρόβλημα.

Ένα σχόλιο: Κατά την έναρξη της ανάλυσης στο Βήμα 6, αν θέλατε θα μπορούσατε να έχετε υπολογίσει τις τιμές των x_F^d και x_P^a εφαρμόζοντας τις αντίστοιχες εξισώσεις του αθροίσματος των κλασμάτων μάζας στο μυαλό σας, μειώνοντας τον αριθμό των αγνώστων των ανεξάρτητων εξισώσεων κατά δύο.

Λεξιλόγιο νέων όρων

Άγνωστοι Μεταβλητές των οποίων οι τιμές δεν είναι γνωστές.

Ακριβώς καθορισμένο Πρόβλημα στο οποίο οι βαθμοί ελευθερίας είναι μηδέν.

Ανάλυση βαθμών ελευθερίας Προσδιορισμός του αριθμού των βαθμών ελευθερίας σε ένα πρόβλημα.

Ανεξάρτητες εξισώσεις Ομάδα εξισώσεων στην οποία η σειρά του πίνακα των συντελεστών που σχηματίζεται από τις εξισώσεις ισούται με τον αριθμό των εξισώσεων.

Ανοιχτό σύστημα Σύστημα στο οποίο τα όρια του οποίου τα διαπερνά κάποιο υλικό.

Αρνητική συσσώρευση Η κατανάλωση ενός υλικού (π.χ. μάζα ή moles) σε ένα σύστημα.

Αρχική συνθήκη Η ποσότητα του υλικού (π.χ. μάζα ή moles) στο ξεκίνημα της διεργασίας.

Ασυνεχής διεργασία Η διεργασία κατά την οποία δεν έχουμε προσθήκη ή απομάκρυνση υλικών στην διάρκεια της λειτουργίας της.

Βαθμοί ελευθερίας Ο αριθμός των μεταβλητών των οποίων οι τιμές είναι άγνωστες μείον τον αριθμό των ανεξάρτητων εξισώσεων.

Γνωστοί Μεταβλητές με γνωστές τιμές.

Είσοδος Υλικό (π.χ. μάζα, moles) το οποίο εισέρχεται στο σύστημα.

Εξαρτημένες εξισώσεις Ομάδα εξισώσεων που δεν είναι εξαρτημένες.

Έξοδος Υλικό (π.χ. μάζα, moles) που απομακρύνεται από το σύστημα.

Ημι-ασυνεχής διεργασία Διεργασία στην οποία έχουμε είσοδο ύλης στο σύστημα αλλά δεν έχουμε απομάκρυνση προϊόντος κατά την λειτουργία της.

Ισοζύγιο μάζας Η εξίσωση διατήρησης που αντιστοιχεί στην διατήρηση της μάζας.

Ισοζύγιο συστατικού Το ισοζύγιο μάζας ενός χημικού συστατικού σε ένα σύστημα.

Κατανάλωση Η ελάττωση της ποσότητας ενός υλικού σε ένα σύστημα λόγω χημικής αντίδρασης.

Κλειστό σύστημα Ένα σύστημα τα όρια του οποίου δεν τα διαπερνά κάποιο υλικό.

Μεταβατικό σύστημα Σύστημα στο οποίο μία ή περισσότερες από τις συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία, πίεση, ποσότητα υλικών) μεταβάλλονται με τον χρόνο. Επίσης γνωστό και ως σύστημα μη σταθερής κατάστασης.

Μοναδική λύση Μία λύση που αντιστοιχεί σε μία ομάδα εξισώσεων (ή ένα πρόβλημα).

Όρια συστήματος η κλειστή γραμμή που περικλείει το τμήμα της διεργασίας που πρόκειται να αναλυθεί.

Συνεπαγόμενη εξίσωση Εξίσωση που βασίζεται σε πληροφορίες που δεν δίνονται άμεσα από το πρόβλημα όπως ότι το άθροισμα των κλασμάτων μάζας είναι ίσο με ένα.

Συνεχής διεργασία Η διεργασία όπου έχουμε συνεχή είσοδο και έξοδο ύλης.

Συσσώρευση Η αύξηση ή ελάττωση ενός υλικού (π.χ. μάζα ή moles) στο σύστημα.

Σύστημα μη σταθερής κατάστασης Σύστημα στο οποίο μία ή περισσότερες από τις συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία, πίεση, ποσότητα υλικών) μεταβάλλονται με τον χρόνο. Επίσης γνωστό και ως μεταβατικό σύστημα.

Σύστημα Μία διεργασία ή ένα αυθαίρετα ορισμένο τμήμα της, που θέλουμε να αναλύσουμε.

Σύστημα ροής Ένα ανοιχτό σύστημα.

Σύστημα σταθερής κατάστασης Σύστημα στο οποίο όλες οι συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία, πίεση, ποσότητα υλικών) παραμένουν αμετάβλητες με τον χρόνο.

Σχηματισμός Η εμφάνιση ενός συστατικού στο σύστημα εξ' αιτίας χημικής αντίδρασης.

Τελικές συνθήκες Η ποσότητα του υλικού (μάζα ή moles) που παραμένει στο τέλος του διαστήματος λειτουργίας της διεργασίας.

Υπερκαθορισμένο Περιγράφει μία ομάδα εξισώσεων (ή ένα πρόβλημα) που αποτελείται από περισσότερες εξισώσεις από ότι αγνώστους.

Υποκαθορισμένο Περιγράφει μία ομάδα εξισώσεων (ή ένα πρόβλημα) που αποτελείται από λιγότερες εξισώσεις από ότι αγνώστους.