



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα **ΠΠ**

ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ: **ΧΗΜΙΚΕΣ & ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ
ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ**

ΕΝΟΤΗΤΑ: 5^ο Μέρος

ΟΝΟΜΑ ΚΑΘΗΓΗΤΗ: **ΑΘΑΝΑΣΙΑ ΤΕΚΕΡΛΕΚΟΠΟΥΛΟΥ**

ΤΜΗΜΑ: Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών
Πόρων

ΑΓΡΙΝΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΑΘΑΝΑΣΙΑ ΤΕΚΕΡΛΕΚΟΠΟΥΛΟΥ

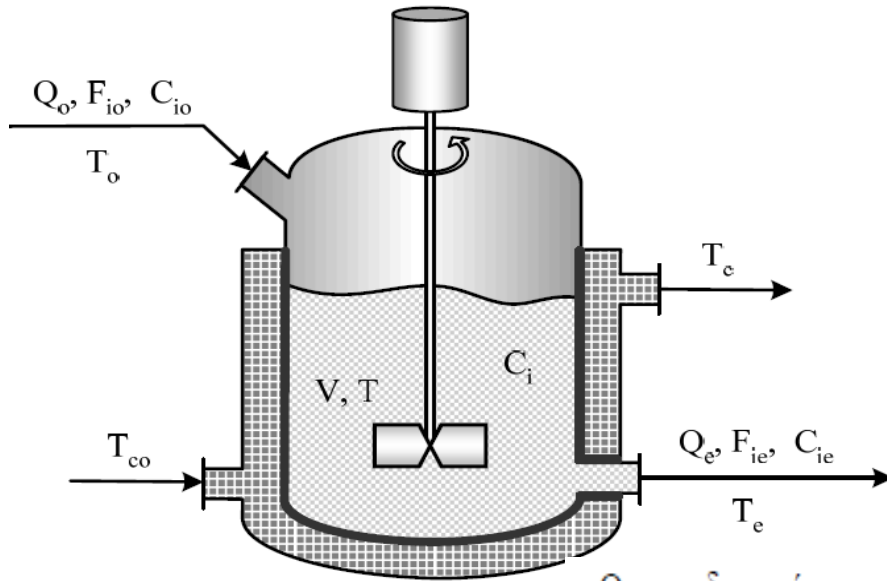
Λέκτορας

του Τμήματος Διαχείρισης Περιβάλλοντος
& Φυσικών Πόρων

 26410 74204

 atekerle@upatras.gr

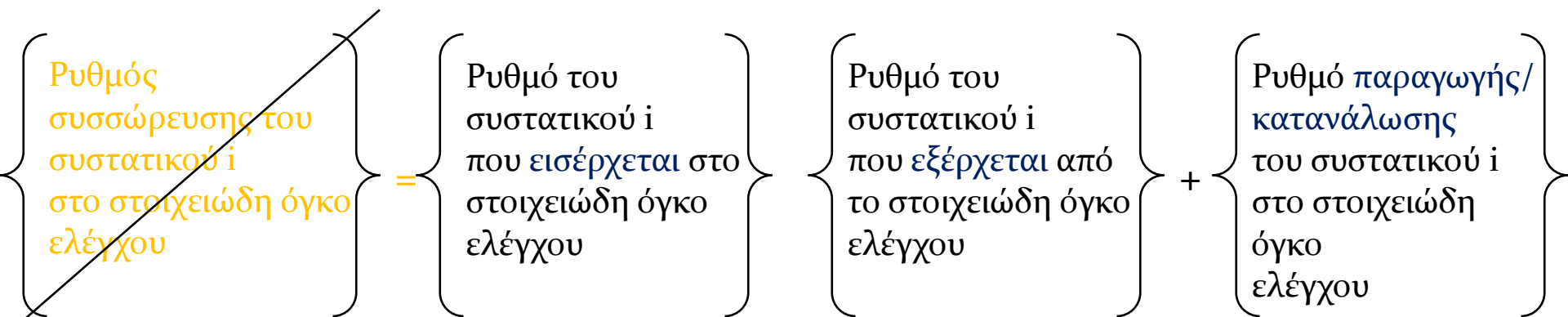
Αντιδραστήρας συνεχούς λειτουργίας και πλήρους ανάμιξης (Continuous Stirred Tank Reactor- CSTR)



Οι αντιδραστήρες του τύπου αυτού λειτουργούν συνήθως στη μόνιμη κατάσταση που σημαίνει ότι η εισροή μάζας στον αντιδραστήρα είναι σταθερή και ίση με την εκροή μάζας από αυτόν. Οι συγκεντρώσεις των αντιδρώντων και των προϊόντων, όπως επίσης και η θερμοκρασία του αντιδρώντος μίγματος είναι ανεξάρτητες της θέσης τους στο χώρο του αντιδραστήρα. Η θερμοκρασία και οι συγκεντρώσεις όλων των συστατικών στην έξοδο του αντιδραστήρα είναι ίδιες με εκείνες μέσα στον αντιδραστήρα, δηλαδή,

- $C_{ie} = C_i$ και $T_e = T$
- Στη μόνιμη κατάσταση $\dot{m}_o = \dot{m}_e$
(ή $\rho_o Q_o = \rho_e Q_e$ και για $\rho = \text{σταθερό}$ $Q_o = Q_e$)

Σχεδιαστική εξίσωση αντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας και πλήρους ανάμιξης (Continuous Stirred Tank Reactor- CSTR)



Σε Μόνιμη κατάσταση ο ρυθμός συσσώρευσης είναι μηδέν, οπότε:

$$0 = Q_f \cdot C_{if} - Q_e \cdot C_{ie} + r_A \cdot \Delta V$$

$$Q_f \cdot C_{if} - Q_e \cdot C_{ie} = - r_A \cdot V$$

➤ Για κατανάλωση συστατικού έχω:

$$Q_f \cdot C_{if} - Q_e \cdot C_{ie} \equiv -r_A \cdot V$$

$$F_{if} - F_{ie} = -r_A \cdot V$$

ή όταν έχω σταθερή παροχή:

$$C_{if} - C_{ie} = -r_A \cdot \frac{V}{Q}$$

$$C_{if} - C_{ie} = -r_A \cdot \theta$$

Όπου θ ο μέσος χρόνος παραμονής ή χρόνος χώρου.

Εάν X_A ο βαθμός μετατροπής που παριστάνεται η μετατροπή στο ρεύμα εξόδου (προϊόν):

$$X_A = \frac{Q_f(C_A)_f - Q_e(C_A)_e}{Q_f(C_A)_f}$$

τότε η εξίσωση

$$Q_f \cdot C_{if} - Q_e \cdot C_{ie} = -r_A \cdot V$$

είναι δυνατό να εκφράσει την απόδοση του αντιδραστήρα ως προς την μετατροπή X_A :

$$\frac{V}{Q_f(C_A)_f} = \frac{(X_A - 0)}{r_A} \Rightarrow \frac{V}{F_{Af}} = \frac{(X_A - 0)}{r_A}$$

(1)

Για περισσότερες εξισώσεις:

$$\frac{F_{ie} - F_{io}}{V} = \sum_{j=1}^R v_{j|}(\mathbf{r})_j \quad (2)$$

Παρατηρούμε ότι όταν ο αντιδραστήρας συνεχούς λειτουργίας και πλήρους ανάμιξης λειτουργεί στη μόνιμη κατάσταση, η ταχύτητα r (ή r_i) είναι ανεξάρτητη του χρόνου ή της απόστασης και η αριθμητική της τιμή μπορεί να υπολογιστεί από τις γραμμομοριακές παροχές F_{io} , F_{ie} και τον όγκο του αντιδραστήρα. Αντίστροφα, εάν η συνάρτηση της ταχύτητας είναι γνωστή, τότε είναι εύκολο να υπολογίσουμε τη γραμμομοριακή παροχή F_{ie} ή συγκέντρωση C_i στην έξοδο για δεδομένο όγκο αντιδραστήρα V από την επίλυση μιας αλγεβρικής εξίσωσης. Έτσι, στη μόνιμη κατάσταση, η σύσταση του αντιδρώντος μίγματος σε έναν αντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας και πλήρους ανάμιξης δε θα μεταβάλλεται με το χρόνο. Για το λόγο αυτό, ο αντιδραστήρας αυτός χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον πειραματικό προσδιορισμό της συνάρτησης ταχύτητας.

Μη αντιστρεπτή αντίδραση δεύτερης τάξης σε αντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας, CSTR



$$r_A = -kC_A^2$$

Η αντίδραση επιτελείται στην υγρή φάση, σε αντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας πλήρους ανάμιξης. Εάν $k=2 \text{ lt}/(\text{mol min})$ και η αρχική συγκέντρωση του A είναι 0.05 mol/lt , υπολογίστε το βαθμό μετατροπής του A, αν ο χώρος χρόνου είναι 5 min .

Λύση

$$F_{i0} - F_{ie} = r_A \cdot V$$

καθώς $C = \frac{F}{Q} \Rightarrow F = C \cdot Q$

έχουμε

$$F_{A0} X_A = V r_A \Rightarrow C_{A0} X_A = \left(\frac{V}{Q} \right) r_A$$

$$C_{A0} X_A = \left(\frac{V}{Q} \right) r_A = k C_{A0}^2 (1 - X_A)^2 \tau$$

$$X_A = 0,4776$$

Μη ισοθερμοκρασιακή λειτουργία

Όταν ο αντιδραστήρας λειτουργεί μη ισοθερμοκρασιακά, οι σχεδιαστικές εξισώσεις που διέπουν τη χρονική μεταβολή της σύστασης του αντιδρώντος μίγματος θα πρέπει να επιλυθούν ταυτόχρονα με το δυναμικό ισοζύγιο ενέργειας.

Το ισοζύγιο ενέργειας, που διέπει τη μη ισοθερμοκρασιακή λειτουργία ενός αντιδραστήρα συνεχούς λειτουργίας και πλήρους ανάμιξης σε μόνιμη κατάσταση, γράφεται ως εξής:

$$\begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} \text{Συσσώρευση} \\ \text{ενέργειας στο} \\ \text{στοιχειώδη} \\ \text{όγκο ελέγχου} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Ενέργεια ρευμάτων} \\ \text{που εισέρχεται στο} \\ \text{στοιχειώδη όγκο} \\ \text{ελέγχου} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Ενέργεια ρευμάτων} \\ \text{που εξέρχεται από} \\ \text{το στοιχειώδη όγκο} \\ \text{ελέγχου} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Ενέργεια που} \\ \text{μεταφέρεται} \\ \text{από το} \\ \text{περιβάλλον} \end{array} \right\} \\ 0 = \left\{ \begin{array}{l} \text{Ενέργεια ρευμάτων} \\ \text{που εισέρχεται στο} \\ \text{στοιχειώδη όγκο} \\ \text{ελέγχου} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Ενέργεια ρευμάτων} \\ \text{που εξέρχεται από} \\ \text{το στοιχειώδη όγκο} \\ \text{ελέγχου} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{Ενέργεια που} \\ \text{μεταφέρεται} \\ \text{από το} \\ \text{περιβάλλον} \end{array} \right\} \end{array}$$

Στους αντιδραστήρες με συνεχή ροή, η ενέργεια των ρευμάτων εμπεριέχει την κινητική και τη δυναμική συνεισφορά της ενέργειας. Κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής των χημικών αντιδράσεων, αυτές οι δύο συνεισφορές θεωρούνται αμελητέες. Για λειτουργία σε μόνιμες συνθήκες, μέσα σ' έναν αντιδραστήρα με συνεχή ροή η εξίσωση (3) γράφεται ως εξής:

$$H'_f - H'_e + Q' = 0$$

$$H'_e - H'_f = Q'$$

(4)

Όπου τα H' και Q' παριστάνουν τους ρυθμούς ενέργειας και οι δείκτες f και e προσδιορίζουν αντίστοιχα τα ρεύματα τροφοδοσίας και εξόδου για τον κατάλληλο στοιχειώδη όγκο του αντιδραστήρα. Για έναν αντιδραστήρα με πλήρη ανάδευση σε στοιχειώδη όγκος θεωρείται ο ολικός όγκος του αντιδραστήρα.

Σε μόνιμη κατάσταση οι ρυθμοί ενθαλπίας είναι σταθεροί. Επίσης σε όλο τον αντιδραστήρα ο ρυθμός είναι ο ίδιος και τα μεγέθη F_t και C_p είναι σταθερά :

$$H'_e - H'_f = F_t c_p (T_e - T_f) + \Delta H_R (rV) \quad (5)$$

Το ισοζύγιο μάζας (εξίσωση (1)) είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για να απαλειφθεί ο ρυθμός από την εξίσωση (5), ώστε να εκφραστεί η μεταβολή της ενθαλπίας ως προς το βαθμό μετατροπής:

$$H'_e - H'_f = F_t c_p (T_e - T_f) + F \Delta H_R (X_e - X_f) \quad (6)$$

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας Q' εκφράζεται ως προς τη διαφορά θερμοκρασίας $(T_s - T_e)$ σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q' = h_0 A_h (T_s - T_e) \quad (7)$$

Όπου T_s η θερμοκρασία περιβάλλοντος, A_h η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας και h_0 ο ολικός συντελεστής θερμότητας.

Αντικαθιστώντας τις εξισώσεις (6) και (7) στην (4) έχουμε την ακόλουθη σχέση που αποτελεί μια γενική έκφραση του ισοζυγίου ενέργειας σε έναν CSTR αντιδραστήρα:

$$h_0 A_h (T_s - T_e) = F_t c_p (T_e - T_f) + F \Delta H_R (X_e - X_f) \quad (8)$$

Αν το ρεύμα τροφοδοσίας δεν αντιδρά, τότε $X_f=0$. Ακόμη να σημειωθεί ότι F και F_t είναι αντίστοιχα ο ρυθμός τροφοδοσίας του αντιδρώντος και ο ολικός ρυθμός τροφοδοσίας.

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την 1^η έκδοση.

Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών,

ΑΘΑΝΑΣΙΑ ΤΕΚΕΡΛΕΚΟΠΟΥΛΟΥ, «ΧΗΜΙΚΕΣ & ΒΙΟΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ». Έκδοση: 1.0.

Αγρίνιο 2015.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/ENV108/index.php>

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού, Απαγόρευση Εμπορικής Χρήσης και Όχι Παράγωγα Έργα. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

« Το υλικό της παρουσίασης προέρχεται από τις πανεπιστημιακές παραδόσεις του καθηγητή Δ. Καραμάνη».

