

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Εισαγωγή

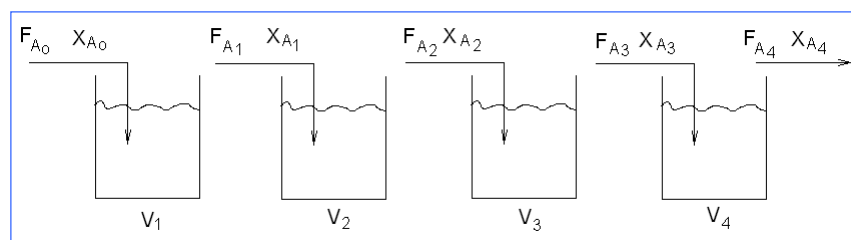
Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι επιθυμητό να χρησιμοποιηθεί μια σειρά από αντιδραστήρες στους οποίους το ρεύμα εξόδου του πρώτου να αποτελεί ρεύμα εισόδου του δεύτερου κ.λ.π.

Μπορούμε να έχουμε τις παρακάτω περιπτώσεις ή και συνδυασμό αυτών:

- CSTR σε σειρά
- CSTR παράλληλα
- PFR σε σειρά
- PFR παράλληλα
- Συνδυασμός CSTR, PFR σε σειρά ή παράλληλα
- Αντιδραστήρας με ανακύκλωση

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

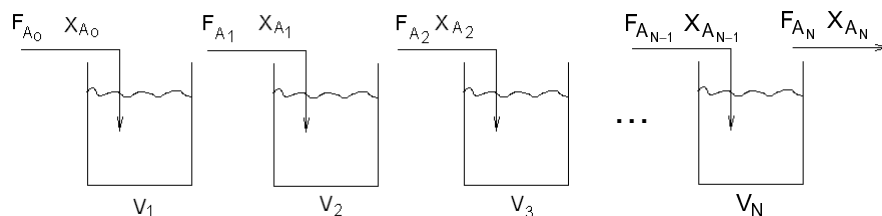
Συστοιχεία αντιδραστήρων CSTR σε σειρά



Αν αντί για έναν αντιδραστήρα χρησιμοποιηθεί ένας αριθμός μικρότερων αντιδραστήρων σε σειρά είναι δυνατό να επιτευχθεί μείωση του ολικού απαιτούμενου όγκου σε σχέση με τον απαιτούμενο όγκο ενός μόνο CSTR.

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συστοιχεία N αντιδραστήρων CSTR σε σειρά

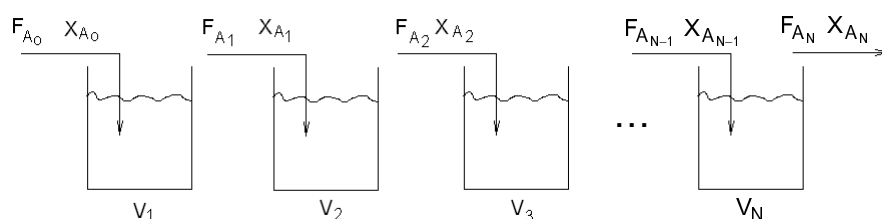


Έστω ότι έχουμε τα παρακάτω:

- N αντιδραστήρες
- $V_1 \neq V_2 \neq V_3 \neq \dots \neq V_N$
- A είναι το αντιδρών
- Θερμοκρασία κοινή σε όλους τους αντιδραστήρες (και επομένως η σταθερά της αντίδρασης, k, είναι ίδια σε όλους τους αντιδραστήρες).
- Η έξοδος από έναν αντιδραστήρα είναι είσοδος στον επόμενο.

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συστοιχεία N αντιδραστήρων CSTR σε σειρά



Ισοζύγιο σε μόνιμες συνθήκες για τον αντιδραστήρα i

Η σχεδιαστική εξίσωση για τον «i» CSTR: $F_{A,i-1} - F_{A,i} = (-r_{A,i})V_i$

Ο βαθμός μετατροπής μέχρι και τον αντιδραστήρα «i»: $x_{A,i} = (F_{A,0} - F_{A,i})/F_{A,0}$

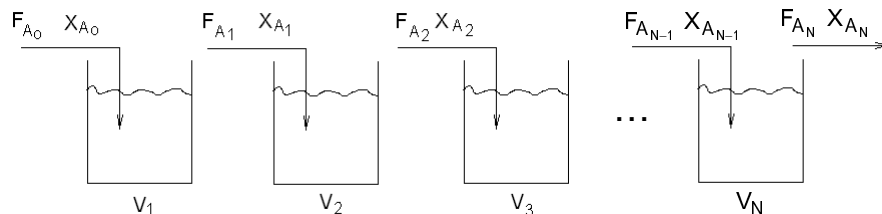
(ΠΡΟΣΟΧΗ: Για τον κάθε CSTR ως προς $F_{A,0}$)

Συνδυάζοντας τις παραπάνω δύο σχέσεις:

$$F_{A,0}(1-x_{A,i-1}) - F_{A,0}(1-x_{A,i}) = (-r_{A,i})V_i \quad \rightarrow \quad x_{A,i} - x_{A,i-1} = (-r_{A,i})V_i/F_{A,0} \quad \text{για } i=1, 2, \dots, N.$$

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συστοιχεία N αντιδραστήρων CSTR σε σειρά



$$X_{A,i} - X_{A,i-1} = (-r_{A,i})V_i/F_{A,0} \quad \text{για } i=1, 2, \dots, N.$$

Σύστημα αλγεβρικών εξισώσεων που μπορούν να λυθούν διαδοχικά. Δηλαδή ξεκινώντας από τον 1^ο CSTR υπολογίζουμε το $x_{A,1}$, εν συνεχεία γνωρίζοντας το $x_{A,1}$ υπολογίζουμε το $x_{A,2}$, και διαδοχικά υπολογίζουμε όλες τις μετατροπές μέχρι και το $x_{A,N}$. Προφανώς θεωρούμε $x_{A,0}=0$.

Εναλλακτικά εάν προσθέσουμε κατά μέλη τις N εξισώσεις, όλες οι μετατροπές απαλείφονται:

$$x_{A,N} = \sum_{i=1}^N \frac{-r_{A,i}V_i}{F_{A,0}}$$

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συστοιχεία N αντιδραστήρων CSTR σε σειρά

Ειδική περίπτωση κινητικής 1^{ης} τάξης:

Εξίσωση ρυθμού για το "i" CSTR αντιδραστήρα: $(-r_{A,i}) = kC_{A,i}$

Αν η ογκομετρική παροχή, Q, είναι ίδια σε όλους τους αντιδραστήρες:

$$F_{A,0} = Q C_{A,0} \quad \text{και} \quad F_{A,i} = Q C_{A,i} \quad \left\{ \begin{array}{l} x_{A,i} - x_{A,i-1} = kC_{A,i} V_i / (QC_{A,0}) \\ \text{Όπου: } C_{A,i} = C_{A,0} (1 - x_{A,i}) \end{array} \right.$$

Σχεδιαστική εξίσωση: $x_{A,i} - x_{A,i-1} = (-r_{A,i})V_i/F_{A,0}$

$$(1 - x_{A,i}) = (1 - x_{A,i-1}) / (1 + k\tau_i) \quad \leftarrow \quad x_{A,i} - x_{A,i-1} = k(1 - x_{A,i}) (V_i/Q)$$

Όπου $\tau_i = V_i/Q$ ο «χωροχρόνος» του αντιδραστήρα «i» και $i=1, 2, \dots, N$

Πολλαπλασιάζοντας κατά μέλη τις N εξισώσεις, όλες οι μετατροπές απαλείφονται:

$$(1 - x_{A,N}) = \frac{(1 - x_{A,0})}{\prod_{i=1}^N (1 + k \cdot \tau_i)} \quad \xrightarrow{x_{A,0}=0} \quad x_{A,N} = 1 - \frac{1}{\prod_{i=1}^N (1 + k \cdot \tau_i)} \quad \text{Βαθμός μετατροπής στην έξοδο συστοιχίας N CSTR για κινητική 1^{ης} τάξης}$$

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συστοιχεία N αντιδραστήρων CSTR σε σειρά

Ειδική περίπτωση κινητικής 1ης τάξης όπου οι όγκοι των CSTR είναι ίδιοι:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_N (= V) \quad \Rightarrow \quad \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots = \tau_N (= \tau)$$

Βαθμός μετατροπής για συστοιχία N αντιδραστήρων ίσου όγκου V και κινητικής 1ης τάξης

$$x_{A,N} = 1 - \frac{1}{(1 + k \cdot \tau)^N}$$

Οριακή συμπεριφορά όταν $N \rightarrow \infty$

Συνολικός όγκος, $V_{\text{tot}} = N \cdot V$ όπου V είναι ο όγκος του ενός αντιδραστήρα

$$\tau = V_{\text{tot}} / (NQ)$$

Βαθμός μετατροπής

$$x_{A,N} = 1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{k \cdot V_{\text{tot}}}{N \cdot Q}\right)^N}$$

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συστοιχεία N αντιδραστήρων CSTR σε σειρά

Ειδική περίπτωση κινητικής 1ης τάξης όπου οι όγκοι των CSTR είναι ίδιοι:

Οριακή συμπεριφορά όταν $N \rightarrow \infty$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{a}{n}\right)^n = e^a$$

→

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{kV_{\text{tot}}}{NQ}\right)^N = e^{\frac{kV_{\text{tot}}}{Q}}$$

↓

$$\lim_{N \rightarrow \infty} x_{A,N} = 1 - e^{-\frac{kV_{\text{tot}}}{Q}} = 1 - e^{-k\tau N}$$

Παρατήρηση: ο βαθμός μετατροπής για συστοιχία N CSTR σε σειρά όταν το $N \rightarrow \infty$ ισούται με βαθμό μετατροπής ενός PFR με $\tau_{\text{PFR}} = V_{\text{tot}}/Q = N \cdot \tau_{\text{CSTR}}$

$$\text{PFR: } V = -\frac{Q_0 \ln(1 - x_{Af})}{k}$$

→

$$x_{A,f} = 1 - e^{-V \cdot k / Q_0}$$

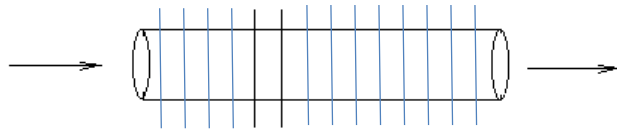
Σημείωση: Αν και αποδείχτηκε για κινητική πρώτης τάξης, η προσέγγιση ενός PFR από συστοιχία πολλών CSTR ισχύει για κάθε κινητική.

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συστοιχεία N αντιδραστήρων CSTR σε σειρά

Οριακή συμπεριφορά όταν $N \rightarrow \infty$

Φυσική σημασία : Ένας PFR μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από N στοιχειώδεις όγκους που ο καθένας εξ' αυτών συμπεριφέρεται ως CSTR



ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συστοιχεία N αντιδραστήρων CSTR σε σειρά

Παράδειγμα 4.1:

Τροφοδοσία 100 lt/h ενός ραδιενεργού ρευστού που έχει χρόνο ημιζωής $t_{1/2}=20$ h πρόκειται να υποστεί επεξεργασία περνώντας μέσα από δύο δοχεία σε σειρά που λειτουργούν υπό ανάδευση. Το κάθε δοχείο έχει όγκο $V=40000$ lt. Αν η αντίδραση ακολουθεί κινητική 1^{ης} τάξης, να υπολογίσετε πόσο θα μειωθεί η ραδιενεργός δραστηριότητα;

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συστοιχεία N αντιδραστήρων CSTR σε σειρά

Παράδειγμα 4.2:

Η κινητική διάσπασης του A στην υγρή φάση μελετάται σε δύο αντιδραστήρες συνεχούς ροής με ανάδευση σε σειρά. Ο 2^{ος} αντιδραστήρας έχει διπλάσιο όγκο από το 1^ο. Σε σταθερή κατάσταση λειτουργίας, με συγκέντρωση τροφοδοσίας του A ίση με 1 mol/l και μέσο χρόνο παραμονής στο 1^ο αντιδραστήρα ίσο με 96 s, η συγκέντρωση του A στον 1^ο αντιδραστήρα είναι 0.5 mol/l και στο 2^ο αντιδραστήρα είναι 0.25 mol/l. Βρείτε τη κινητική εξίσωση που περιγράφει την αντίδραση διάσπασης του A.

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συστοιχεία N αντιδραστήρων CSTR σε σειρά

Ειδική περίπτωση κινητικής 2^{ης} τάξης:

Εξίσωση ρυθμού για το "i" CSTR αντιδραστήρα: $(-r_{A,i}) = kC_{A,i}^2$

Αν η ογκομετρική παροχή, Q, είναι ίδια σε όλους τους αντιδραστήρες:

$$F_{A,0} = Q C_{A,0} \quad \text{και} \quad F_{A,i} = Q C_{A,i} \quad \left\{ \begin{array}{l} x_{A,i} - x_{A,i-1} = kC_{A,i}^2 V_i / (QC_{A,0}) \end{array} \right.$$

Σχεδιαστική εξίσωση: $x_{A,i} - x_{A,i-1} = (-r_{A,i})V_i/F_{A,0}$ Όπου: $C_{A,i} = C_{A,0} (1 - x_{A,i})$

Πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού

$$k\tau_i C_{A,0} x_{A,i}^2 - (1 + 2k\tau_i C_{A,0}) x_{A,i} + k\tau_i C_{A,0} + x_{A,i-1} = 0$$

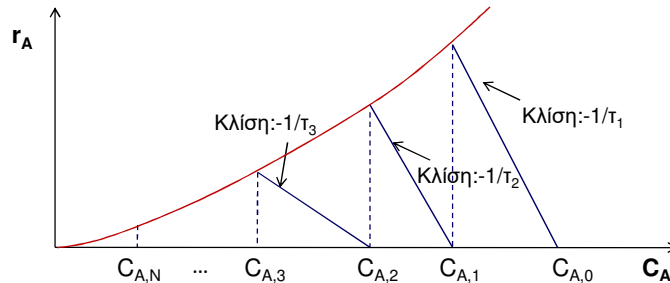
Όπου $\tau_i = V_i/Q$ ο «χωροχρόνος» του αντιδραστήρα «i» και $i=1, 2, \dots, N$

$$x_{A,i} = \frac{1 + 2k\tau_i C_{A,0} \pm [1 + 4k\tau_i C_{A,0} (1 - x_{A,i-1})]^{1/2}}{2k\tau_i C_{A,0}}$$

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συστοιχεία N αντιδραστήρων CSTR σε σειρά

Για αντιδράσεις μεγαλύτερης τάξης ακολουθούμε τη Γραφική Μέθοδο:



Μεθοδολογία:

1. Σχεδιάζουμε τη γραφική παράσταση του ρυθμού της αντίδρασης συναρτήσει της συγκέντρωσης.
2. Ο αριθμός των αντιδραστήρων που απαιτείται μπορεί να βρεθεί σχεδιάζοντας ευθεία γραμμή από το σημείο $C_{A,0}$ με κλίση $1/\tau_1$. Η γραμμή αυτή θα τέμνει την καμπύλη του ρυθμού στο σημείο $C_{A,1}$.
3. Επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία σχεδιάζοντας ευθεία γραμμή από το σημείο $C_{A,1}$ με κλίση $1/\tau_2$ και συνεχίζουμε έως ότου φτάσουμε στη τελική συγκέντρωση (η οποία είτε είναι γνωστή ή μπορεί εύκολα να υπολογιστεί).

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Σύγκριση μεγέθους BATCH, CSTR και PFR

Αντιδραστήρες Batch: χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες με σχετικά μικρό όγκο παραγωγής (μικρές ποσότητες προϊόντων).

Αντιδραστήρες PFR και CSTR: χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες με μεγάλο όγκο παραγωγής (μεγάλες ποσότητες προϊόντων) όπου απαιτείται συνεχής λειτουργία.

Για το ίδιο X_A , ποιος τύπος αντιδραστήρα έχει το μικρότερο μέγεθος;

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Σύγκριση μεγέθους CSTR και PFR

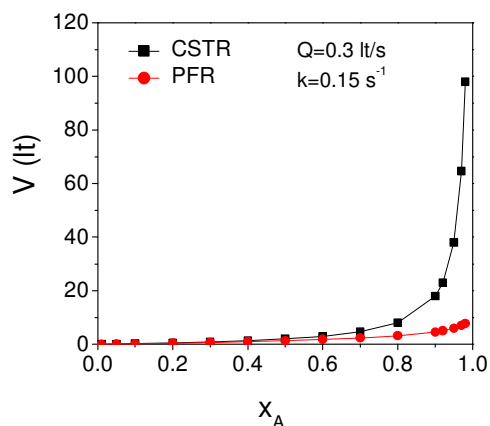
Για αντίδραση 1^{ης} τάξης:



Σχεδιαστικές εξισώσεις:

CSTR
$$V_{\text{CSTR}} = \frac{Qx_A}{k(1-x_A)}$$

PFR:
$$V_{\text{PFR}} = -\frac{Q \ln(1-x_A)}{k}$$



Συγκρίνοντας τους δύο όγκους π.χ. για $Q=0.3 \text{ lt/s}$ και $k=0.15 \text{ s}^{-1}$ και $x_A=0.9$ διαπιστώνουμε ότι $V_{\text{PFR}} < V_{\text{CSTR}}$

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Σύγκριση μεγέθους CSTR και PFR

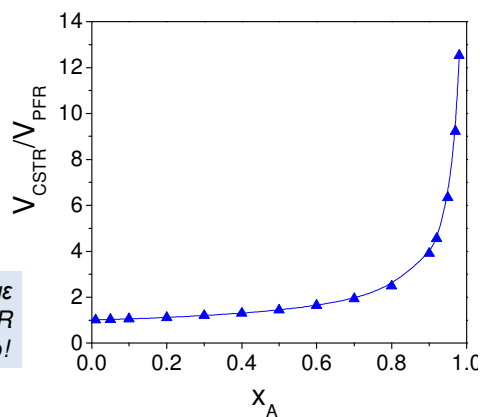
Για αντίδραση 1^{ης} τάξης:



Ο λόγος των δύο όγκων:

$$\frac{V_{\text{CSTR}}}{V_{\text{PFR}}} = \frac{\frac{x_A}{1-x_A}}{-\ln(1-x_A)}$$

Για να επιτύχουμε 98% μετατροπή με χρήση αντιδραστήρα CSTR χρειαζόμαστε 12 φορές μεγαλύτερο όγκο!



ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Σύγκριση μεγέθους CSTR και PFR

Για αντίδραση $n^{\text{ης}}$ τάξης ($n \neq 1$):

Εξίσωση ρυθμού: $(-r_A) = k(C_A)^n = k(C_{A0})^n(1-x_A)^n$

Σχεδιαστικές εξισώσεις:

CSTR: $V_{\text{CSTR}} = C_{A,0} \cdot \frac{Q \cdot x_A}{(-r_A)} \rightarrow V_{\text{CSTR}} = C_{A,0} \cdot \frac{Q \cdot x_A}{k \cdot (C_{A,0})^n (1-x_A)^n}$

PFR: $V_{\text{PFR}} = Q \cdot C_{A,0} \cdot \int_0^{x_A} \frac{dx_A}{(-r_A)} \rightarrow V_{\text{PFR}} = Q \cdot C_{A,0} \cdot \int_0^{x_{Af}} \frac{dx_A}{k \cdot (C_{A,0})^n (1-x_A)^n}$

$$V_{\text{PFR}} = Q \cdot C_{A,0} \cdot \frac{(1-x_{Af})^{1-n} - 1}{k \cdot (C_{A,0})^n \cdot (n-1)}$$

όπου x_{Af} είναι η μετατροπή στην έξοδο του αυλωτού αντιδραστήρα

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

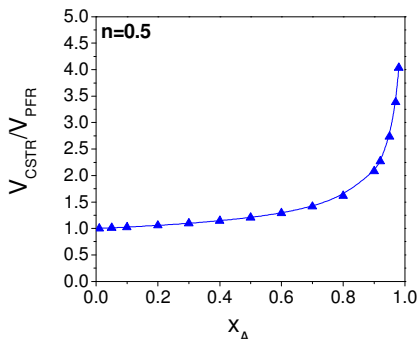
Σύγκριση μεγέθους CSTR και PFR

Για αντίδραση $n^{\text{ης}}$ τάξης ($n \neq 1$):

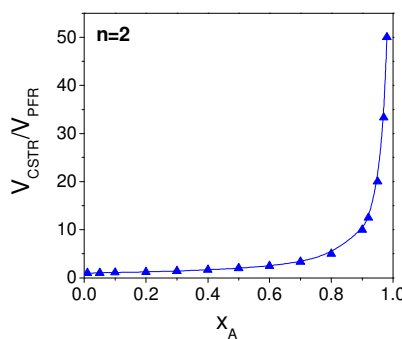
Για την ίδια μετατροπή σε CSTR & PFR, ο λόγος των όγκων:

$$\frac{V_{\text{CSTR}}}{V_{\text{PFR}}} = \frac{\frac{x_A}{(1-x_A)^n}}{\frac{(1-x_A)^{1-n} - 1}{(n-1)}}$$

$V_{\text{CSTR}} / V_{\text{PFR}} > 1 \rightarrow V_{\text{CSTR}} > V_{\text{PFR}}$ για διαφορετικές τιμές του n



Για 98% μετατροπή, ο όγκος του CSTR πρέπει να είναι 4 φορές μεγαλύτερος από αυτόν που απαιτείται για PFR.



Για 98% μετατροπή, ο όγκος του CSTR πρέπει να είναι 50 φορές μεγαλύτερος από αυτόν που απαιτείται για PFR.

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ**Σύγκριση μεγέθους CSTR και PFR****Παράδειγμα 4.3:**

Ένα υδατικό διάλυμα οξικού ανυδρίτη πρόκειται να υδρολυθεί στους 25 °C. Σε αυτή τη θερμοκρασία η εξίσωση ρυθμού για τη μετατροπή του ανυδρίτη είναι η ακόλουθη:

$$r = 0.158 \cdot C \text{ [mol/(cm}^3 \cdot \text{min)]}$$

Όπου C είναι η συγκέντρωση του ανυδρίτη σε mol/cm³. Ο ρυθμός τροφοδοσίας αποτελείται από 500 cm³/min διαλύματος με συγκέντρωση ανυδρίτη ίση με 1.5·10⁻⁴ mol/cm³. Διαθέτουμε δύο αντιδραστήρες, έναν των 2.5 lt και έναν των 5 lt με πολύ καλά συστήματα ανάμιξης.

(α) Σε ποια περίπτωση η μετατροπή θα είναι μεγαλύτερη: εάν (i) χρησιμοποιηθεί ένας αντιδραστήρας CSTR 5 lt σε μόνιμη ροή ή αν (ii) χρησιμοποιηθούν δύο αντιδραστήρες CSTR σε σειρά 2.5 lt ο καθένας; Στη περίπτωση (ii) όλη η τροφοδοσία θα παρέχεται στο 1^ο αντιδραστήρα και το προϊόν από αυτόν θα αποτελεί τη τροφοδοσία για το 2^ο αντιδραστήρα.

(β) Θα επιτυγχάνονταν μεγαλύτερη μετατροπή, εάν οι δύο αντιδραστήρες των 2.5 lt λειτουργούσαν σε μία παράλληλη διάταξη, ώστε να διοχετεύονται από 250 cm³/min τροφοδοσίας σε κάθε αντιδραστήρα και κατόπιν τα ρεύματα εξόδου από κάθε αντιδραστήρα να ενώνονταν για να σχηματίσουν το τελικό προϊόν;

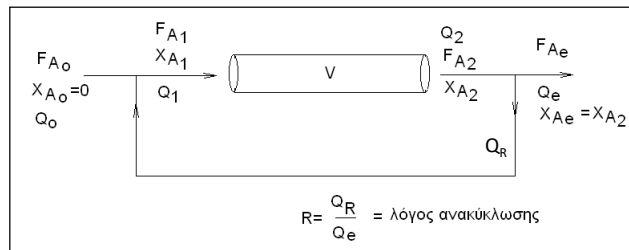
ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ**Σύγκριση μεγέθους CSTR και PFR****Παράδειγμα 4.3:**

(γ) Να συγκριθούν οι τιμές της μετατροπής που υπολογίσθηκαν στο ερώτημα (α) με αυτή που θα ήταν δυνατό να υπολογιστεί εάν χρησιμοποιούνταν ένας αυλωτός αντιδραστήρας με συνεχή ροή και όγκο 5 lt.

(δ) Θα αυξάνονταν η μετατροπή, αν ένας αντιδραστήρας με συνεχή ανάδευση και συνεχή ροή 2.5 lt ακολουθούνταν από έναν αυλωτό αντιδραστήρα με συνεχή ροή και όγκο 2.5 lt; Υποτίθεται ότι η πυκνότητα των διαλυμάτων είναι ανεξάρτητη των συγκεντρώσεων και ότι ο αντιδραστήρας λειτουργεί σε μόνιμη κατάσταση.

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συνεχής αντιδραστήρας με ανακύκλωση



- F_{A0} = καινούργια ('φρέσκια') τροφοδοσία
- $R = Q_R / Q_e$ = λόγος ανακύκλωσης (recycle ratio)
- Ο βαθμός μετατροπής στην έξοδο του αυλωτού αντιδραστήρα (x_{A2}) είναι ο ίδιος με το βαθμό μετατροπής στο ρεύμα ανακύκλωσης προτού αναμειχθεί με την φρέσκια είσοδο ($F_{A0} = Q_0 \cdot C_{A0}$, $x_{A0} = 0$) και ίδιος με το βαθμό μετατροπής στο ρεύμα που απομακρύνεται (x_{Ae}):

$$x_{Ae} = \frac{F_{A0} - F_{Ae}}{F_{A0}} = \frac{C_{A0} - C_{Ae}}{C_{A0}} \quad \text{Θεωρώντας } Q_0 = Q_e$$

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συνεχής αντιδραστήρας με ανακύκλωση

Η μετατροπή στην είσοδο του αντιδραστήρα (μετά την ανάμειξη με το ρεύμα ανακύκλωσης)

$$x_{A1} = \frac{C_{A0} - C_{A1}}{C_{A0}} \quad (1)$$

Ισοζύγιο μάζας κατά την ανάμειξη των δύο ρευμάτων: $C_{A1} Q_1 = C_{A0} Q_0 + C_{Ae} Q_R$

$$\downarrow \quad Q_1 = Q_0 + Q_R$$

$$C_{A1} (Q_0 + Q_R) = C_{A0} Q_0 + C_{Ae} Q_R$$

$$\downarrow \quad Q_0 = Q_e, \quad Q_R = R Q_e$$

$$C_{A1} = \frac{C_{A0} + C_{Ae} \cdot R}{1 + R} \quad (2)$$

$$(1) \Rightarrow x_{A1} = x_{Ae} \frac{R}{1 + R}$$

Είσοδος: ογκομετρικής παροχής $Q_0(1+R)$
μετατροπή x_{A1}

Έξοδος: μετατροπή x_{Ae}

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Συνεχής αντιδραστήρας με ανακύκλωση

Σχεδιαστική εξίσωση (σε διαφορική μορφή) PFR:

$$dF_A = r_A dV$$

$$\text{Όπου } F_A = (1+R)F_{A0}(1-x_A)$$

$$\rightarrow -(1+R)F_{A0} dx_A = r_A dV \rightarrow (1+R) \cdot F_{A0} \cdot \frac{dx_A}{(-r_A)} = dV$$

ολοκληρώνοντας

$$V = Q_0 \cdot C_{A0} \cdot (1+R) \cdot \int_{x_{A1}}^{x_{Ae}} \frac{dx_A}{(-r_A)}$$

$$\text{Όπου: } x_{A1} = x_{Ae} \frac{R}{1+R}$$

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Σύνοψη σχεδιαστικών εξισώσεων PFR

Απλός PFR

$$\frac{\tau}{C_{A0}} = \int_0^{x_{Af}} \frac{dx_A}{(-r_A)}$$

$$\text{Όπου: } \tau = V/Q$$

PFR με ανακύκλωση

$$V = Q_0 \cdot C_{A0} \cdot (1+R) \cdot \int_{x_{A1}}^{x_{Ae}} \frac{dx_A}{(-r_A)}$$

$$\text{Όπου: } x_{A1} = x_{Ae} \frac{R}{1+R}$$

και

$$R = Q_R/Q_e, Q_0 = Q_e$$

Οριακή συμπεριφορά:

$$R = 0$$



ιδανικός PFR

$$R \rightarrow \infty$$



ιδανικός CSTR

ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ-ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ**Σύνεχής αντιδραστήρας με ανακύκλωση****Παράδειγμα 4.4:**

Μία μη αντιστρεπτή αντίδραση 1^{ης} τάξης:



διεξάγεται στην υγρή φάση σε αντιδραστήρα εμβολικής ροής. Η αρχική συγκέντρωση του αντιδρώντος A είναι $C_{A0}=10\text{mol/l}$ και η μετατροπή που επιτυγχάνεται είναι 90%. Αν τα 2/3 του ρεύματος που απομακρύνονται από τον αντιδραστήρα ανακυκλωθούν, πως θα επηρεάσει η διαδικασία της ανακύκλωσης τη συγκέντρωση του αντιδρώντος που απομακρύνεται από το σύστημα. Θεωρείστε ότι η τροφοδοσία σε ολόκληρο το σύστημα διατηρείται σταθερή.