



POLITECHNIKA WARSZAWSKA
Wydział Chemiczny
LABORATORIUM PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

PROJEKTOWANIE PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH

Ludwik Synoradzki, Jerzy Wisiański

DOBÓR APARATÓW TECHNOLOGICZNYCH

Jerzy Wisiański

Wykład: październik 2016

DOBÓR APARATÓW TECHNOLOGICZNYCH

Różnorodność technologii w przemyśle chemicznym

Inżynieria chemiczna (operacje jednostkowe)

Maszynoznawstwo, konstrukcje aparatury chemicznej

Materiałoznawstwo, korozja

Pomiary i automatyka

Bezpieczeństwo procesów technologicznych

**PROJEKTOWANIE TECHNOLOGICZNE
INŻYNIERIA CHEMICZNA I PROCESOWA**

APARATY PODSTAWOWE mające zasadnicze znaczenie dla przebiegu procesu technologicznego i często decydujące o poziomie kosztów (np. reaktory chemiczne, główne kolumny destylacyjne, absorpcyjne, krystalizatory, główne filtry czy suszarnie).

APARATY I URZĄDZENIE POMOCNICZE jak np: wymienniki ciepła, maszyny przetłaczające (pompy, sprężarki, dmuchawy, wentylatory), maszyny rozdrabniające (młyny, kruszarki), urządzenia do transportu ciał stałych, pomocnicze mieszalniki i zbiorniki, wagi.

SPECYFIKACJA APARATÓW I URZĄDZEŃ

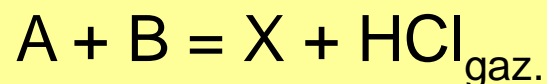
Aparaty typowe - nietypowe

KRYTERIA DOBORU APARATURY PROCESOWEJ

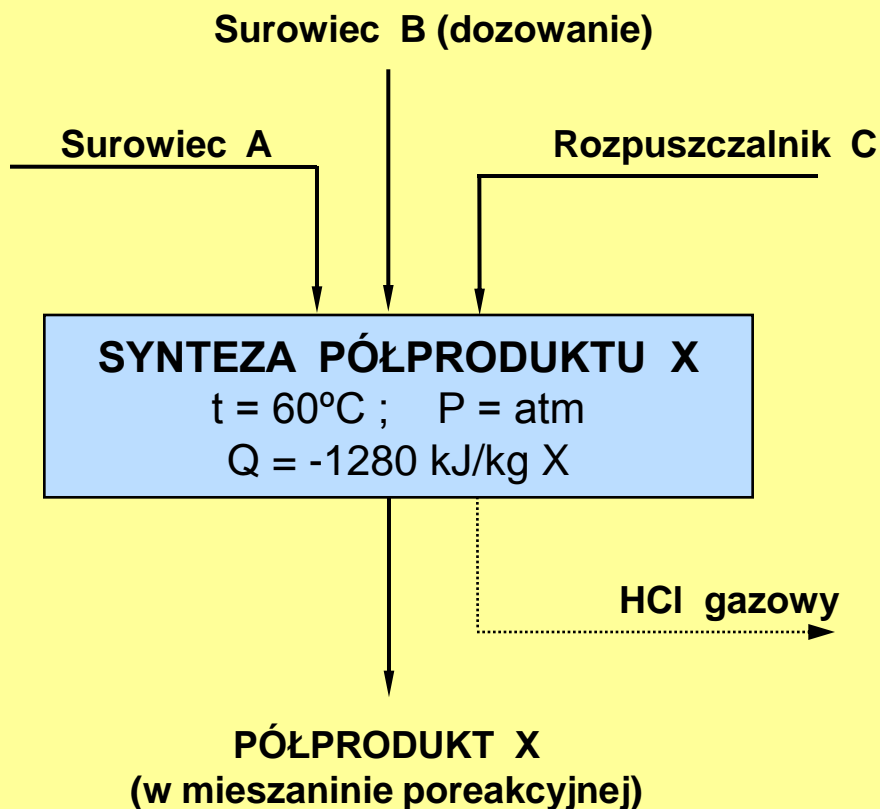
- Parametry procesowe i obliczenia inżyniersko-chemiczne → określenie podstawowych wymagań technologicznych, np.: rodzaj urządzenia, pojemność robocza, temperatura i ciśnienie robocze, liczba półek teoretycznych, powierzchnia wymiany ciepła, wydajność przetłaczania ,itp;
- Wstępne ustalenia i obliczenia konstrukcyjne takie jak: podstawowe wymiary geometryczne, pojemność nominalna i całkowita, liczba i wymiary króćców, typ mieszadła i zapotrzebowanie mocy, liczba półek rzeczywistych, rodzaj wypełnienia, rodzaj i grubość izolacji termicznej itp.;
- Przewidywane materiały konstrukcyjne (korozja, erozja);
- Możliwość monitorowania i automatyzacji procesu i urządzenia;
- Bezpieczeństwo (wykonanie Ex, hermetyczność, UDT);
- Niezawodność ruchowa i wymagane kwalifikacje obsługi;
- Dostępność na rynku i szacunkowa cena danego urządzenia.

PRZYKŁAD DOBORU REAKTORA

Proces syntezy polegający na periodycznym przeprowadzeniu reakcji wg równania:



Proces prowadzony w środowisku rozpuszczalnika C.



Ze względu na egzotermiczny charakter reakcji oraz konieczność odprowadzenia gazowego chlorowodoru, surowiec B - dozowany w tempie umożliwiającym utrzymywanie wymaganej temperatury reakcji.

Ilość otrzymywanego półproduktu X stanowiła 50% w stosunku do sumy wprowadzonych substratów (A+B+C).

Proces był prowadzony pod ciśnieniem atmosferycznym.

Składnik X wydzielano z mieszaniny poreakcyjnej w odrębnej instalacji.

Chronometraż szarży laboratoryjnej (5 dm³)

- przygotowanie aparatury	0,25 h
- załadunek surowca A	0,25 h
- załadunek rozpuszczalnika C	0,25 h
- dozowanie surowca B	4,00 h
- analiza półproduktu	4,00 h
- opróżnienie reaktora	0.25 h
- inne (rezerwa)	1,00 h

RAZEM *10 h*

Zadanie: Zaprojektować instalację przemysłową
o zdolności produkcyjnej:

20 t/dobę

w przeliczeniu na mieszaninę reakcyjną (A + B + C).

Według uzgodnień z inwestorem, instalacja ma pracować w ruchu ciągłym, co oznacza, że:

1 doba = 24 h (3 zmiany produkcyjne po 8 h)

Pierwsze przybliżenie: założono harmonogram zbliżony do laboratoryjnego, to znaczy możliwość wykonania w reaktorze 2 szarż na dobę i co za tym idzie wielkość szarży:
 $G = 10$ ton mieszaniny.

Dla obliczenia pojemności nominalnej aparatury reakcyjnej V_N przyjęto następujące parametry:

- gęstość mieszaniny $d = 900$ kg/m³
- stopień wypełnienia reaktora $e = 70\%$ (umiarkowane pienienie)

$$V_N = \frac{G}{d \times e} = \frac{10000}{0,9 \times 0,7} \text{ [kg} \times \text{m}^3/\text{kg}] = \mathbf{16 \text{ m}^3}$$

Dodatkowe uwarunkowanie:

W surowcu A, jest dopuszczalna zawartość 0,8% H₂O.

To determinuje wybór tworzywa konstrukcyjnego reaktora.

Materiały odporne na chlorowódor w obecności wody to: kwarc, szkło, emalia, materiały ceramiczne, kosztowne metale, np. tantal, czy wysokoprocentowe stopy chromowo – niklowo - molibdenowe (Hastelloy).

Odporne są również niektóre tworzywa sztuczne, ale tutaj wybór jest ograniczony gdyż obecność rozpuszczalnika organicznego, na który z kolei większość tworzyw jest nieodporna (szczególnie w podwyższonej temp.)

Reaktory emaliowane, powszechnie stosowane w przemyśle chemicznym.

- ➔ Sposób wymiany ciepła:
poprzez zewnętrzny płaszcz grzewczo – chłodzący.
- ➔ Będąca do dyspozycji powierzchnia wymiany ciepła (F).
- ➔ Obliczenia cieplne, w celu określenia możliwego do odbioru strumienia ciepła (q) i sprawdzenia rzeczywistego czasu reakcji.

Obliczenia cieplne

Całkowite ciepło reakcji do odebrania z 1 szarży syntezy:

$$Q_R = 10\,000 \text{ kg} \times 50\% \times 1280 \text{ kJ/kg} = 6,4 \text{ GJ}$$

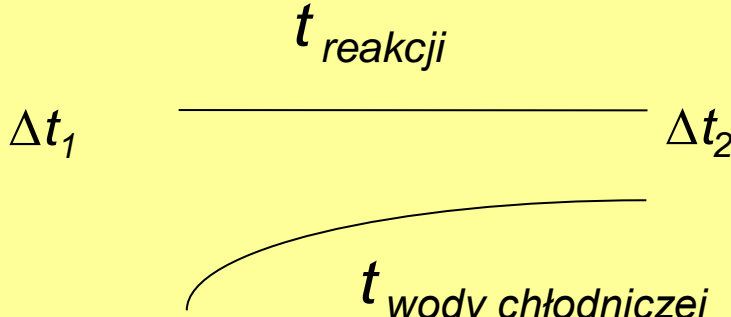
Strumień ciepła do odebrania przez płaszcz reaktora(q)

$$q = k \times F \times \Delta t_m \quad [\text{kJ/h}] \quad \text{równanie Fourier'a}$$

gdzie: k - współczynnik przenikania ciepła $[\text{kJ/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}]$

F - powierzchnia wymiany ciepła $[\text{m}^2]$

Δt_m - średnia logarytmiczna różnica temperatur obliczana w następujący sposób:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$


W wyniku obliczeń otrzymano:

Strumień ciepły możliwy odebrania przez płaszcz : $q = 0,4 \text{ GJ/h}$

Wymagany czas dozowania substratu B: $\tau_r = Q/q = 16 \text{ h}$

Rzeczywisty czas trwania szarży: $\tau_{sz} = 24 \text{ h}$

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że należy zainstalować:

2 reaktory o pojemności $V_N = 16 \text{ m}^3$ każdy

Czy na tym można zakończyć dobór reaktorów ?

2-ga wersja

Reaktor o pojemności $V_N = 8\text{m}^3$, mniejsze ryzyko powiększania skali.

Wyniki obliczeń:

Wsad reaktora $G_R = V_N \times d \times e = 8 \times 0,7 \times 0,9 = 5 \text{ ton}$ (mieszaniny A+B+C)

$Q_R = 5\ 000 \text{ kg} \times 50\% \times 1280\text{kJ/kg} = 3,2 \text{ GJ}$

$q = 0,32 \text{ GJ/h}$ $\tau_r = 10 \text{ h}$

Czas trwania szarży $\tau_{sz} = 16 \text{ h}$ (2 zmiany produkcyjne)

Przerób dobowy 1 reaktora: $5 \times 24/16 = 7,5 \text{ t}$ mieszaniny

Liczba reaktorów: $n = 20/7,5 = 2,7$ sztuk

Należy więc zainstalować:

3 reaktory o pojemności $V_N = 8 \text{ m}^3$ każdy

Czy zostały wyczerpane wszystkie możliwości ?

- ✓ Zainstalowanie węzownic tantalowych (lub Hastelloy) w reaktorach ?
- ✓ Cały reaktor z Hastelloyu z węzownicą ?
- ✓ Zastosowanie czynnika chłodniczego → większe Δt_m i w rezultacie lepsze warunki odbioru ciepła ?
- ✓ Wykonywanie analizy produktu nie w reaktorze lecz w zbiorniku buforowym → skrócenie czasu zajęcia reaktora ?
- ✓ Osuszanie surowca A, → zmniejszenie korozyjnego działania chlorowodoru → zastosowanie tańszych reaktorów stalowych z dowolnie ukształtowaną powierzchnią wymiany ciepła ?
- ✓ Rozpatrzenia możliwości prowadzenia procesu syntezy w sposób ciągły ?

REZULTAT:

Kilkanaście wariantów rozwiązań projektowych węzła syntezy

DOBÓR REAKTORA - WERSJE PROJEKTOWE

- | | | | |
|-----|--|--|--------|
| 1. | $V_N = 16 \text{ m}^3$ | Emalia (f-my Balfour, De Dietrich) | 2 szt. |
| 2. | $V_N = 16 \text{ m}^3$ | Emalia + węzownica Tytan/Hastelloy | 1 szt. |
| 3. | $V_N = 16 \text{ m}^3$ | Hastelloy/Tytan cały reaktor z węzownicą | 1 szt. |
| 4. | $V_N = 8 \text{ m}^3$ | Emalia (f-ma Lampart) | 3 szt. |
| 5. | $V_N = 8 \text{ m}^3$ | Emalia + węzownica Tytan | 2 szt. |
| 6. | $V_N = 16 \text{ m}^3$ | Stal, osuszanie surowca A | 1 szt. |
| 7. | $V_N = 5 \text{ m}^3$ | Emalia + Tytan, metoda ciągła | 1 szt. |
| 8. | $V_N = 5 \text{ m}^3$ | Hastelloy / Tytan, metoda ciągła | 1 szt. |
| 9. | $V_N = 5 \text{ m}^3$ | Stal, osuszanie, metoda ciągła | 1 szt. |
| 10. | Alternatywy dla wersji 1 – 6 (period.) analiza produktu poza reaktorem (w zbiorniku pośrednim) | | |

CO WYBRAĆ ?

WYBÓR – zgodnie z zasadą umiaru technologicznego

(min. ryzyka techn.; max. pewność ruchowa; optimum kosztów)

WNIOSKI

**PROJEKTOWANIE JEST PROCESEM
ITERACYJNYM**

Każdy projektant wybierze inne rozwiązanie

**Badacz powinien znać metodologię
projektowania**