

# Podstawy bilansowania procesów technologicznych

Wydanie trzecie poprawione

Jadwiga Skupińska



Uniwersytet Warszawski  
Wydział Chemii  
Zakład Technologii Chemicznej  
2017



## Spis treści

1. Wprowadzenie.....	3
2. Ogólne zasady tworzenia bilansów materiałowych.....	4
3. Przykłady bilansów materiałowych wybranych operacji i procesów jednostkowych – zadania z rozwiązaniami.....	9
4. Zadania do samodzielnego rozwiązania.....	26
4.1. Proces nitrowania toluenu do nitrotoluenów (orto, para) i rozdzielania produktów na kolumnie destylacyjnej.....	26
4.2. Proces przygotowania mieszaniny nitrującej i nitrowania toluenu do nitrotoluenów.....	33
4.3. Produkcja kwasu p-toluenosulfonowego.....	39
4.4. Proces przygotowania mieszaniny nitrującej i nitrowania toluenu do dinitrotoluenów .....	51
4.5. Proces nitrowania toluenu do dinitrotoluenów i suszenia produktów.....	57
4.6. Rozkład kamienia wapiennego .....	65
4.7. Produkcja bikarbonatu.....	72
4.8. Produkcja bikarbonatu ( $\text{NaHCO}_3$ ) i suszenia produktu.....	76
4.9. Utlenianie etylenu do tlenku etylenu.....	83
4.10. Redukcja nitrobenzenu do aniliny.....	86
4.11. Produkcja polipropylenu.....	90
4.12. Uwodornienie węglowodorów aromatycznych.....	94
4.13. Karbonylowanie nitrozwiązków.....	97
5. Literatura.....	100

## 1. Wstęp

Skrypt przeznaczony jest dla studentów III roku studiów I stopnia (licencjackich) na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego oraz może być wykorzystywany przez studentów innych uczelni. Podstawowym celem niniejszej książki jest przedstawienie podstaw tworzenia bilansów technologicznych wybranych operacji oraz procesów jednostkowych.

Skrypt składa się z trzech części. W pierwszej części (Rozdział 2) przedstawiono ogólne zasady sporządzania bilansów technologicznych, omówiono podstawowe pojęcia i definicje związane z procesem technologicznym.

W drugiej części (Rozdział 3) przedstawiono przykłady bilansów materiałowych operacji i procesów jednostkowych z rozwiązaniami i omówieniem metodyki rozwiązywania zadań. Przedyskutowano między innymi bilanse materiałowe: suszarki, mieszalnika, kolumny destylacyjnej, ekstraktora. Przedstawiono także metodę sporządzania bilansów materiałowych reaktorów chemicznych dla przykładowych reakcji jak: utlenianie, konwersja tlenku węgla, sulfonowanie, karbonylowanie. Zapoznanie się z materiałem przedstawionym w rozdziałach 2 i 3 powinno ułatwić rozwiązanie zadań z rozdziału 4.

W trzeciej części (Rozdział 4) zamieszczono zbiór zadań, z których będą losowo wybierane zadania na kolokwium zaliczające ćwiczenia z bilansów materiałowych. Każde zadanie składa się z reaktora, w którym prowadzona jest reakcja chemiczna oraz z aparatu, w którym prowadzona jest operacja jednostkowa.

Przedstawione w zadaniach przykłady procesów i operacji jednostkowych są maksymalnie uproszczone dla uzyskania przejrzystości schematów i przepływu strumieni oraz ułatwienia ich rozwiązania.

## 2. Ogólne zasady tworzenia bilansów materiałowych

**Bilansem technologicznym** nazywa się zestawienie wszystkich strumieni masy i energii, doprowadzanych i odprowadzanych z instalacji produkcyjnej [1]. W skład bilansu technologicznego wchodzi bilans masowy ( materiałowy) oraz bilans cieplny (energetyczny).

Bilanse materiałowe i cieplne są podstawą projektowania i planowania nowych technologii oraz stosuje się je do analizy istniejących procesów.

**Proces technologiczny** składa się z wielu operacji jednostkowych oraz procesów jednostkowych, w których odpowiednie surowce są przetwarzane w oczekiwany produkt.

**Operacjami jednostkowymi** nazywamy czynności powodujące zmiany właściwości fizycznych substancji uczestniczących w tym procesie. Nie zachodzą reakcje chemiczne.

Operacje jednostkowe dzielimy na:

- mechaniczne: mieszanie, filtrowanie, odpylanie;
- cieplne : przewodzenie, konwekcja, promieniowanie, wrzenie, skraplanie;
- dyfuzyjne : destylacja, rektyfikacja, absorpcja, adsorpcja, ekstrakcja, krystalizacja, suszenie.

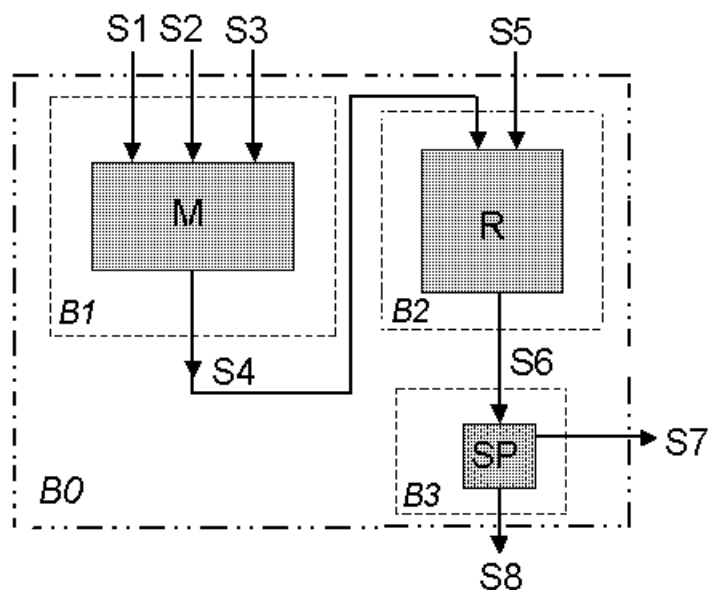
**Procesem jednostkowym** nazywamy czynności, w których przebiega reakcja chemiczna lub biochemiczna substancji uczestniczących w tym procesie. Procesem jednostkowym jest na przykład estryfikacja, utlenianie, redukcja, nitrowanie itp.

Sporządzając bilans masowy stosujemy **prawo zachowania masy**, a bilans energetyczny **prawo zachowania energii**. Prawa te obowiązują we wszystkich procesach technologicznych. W procesach, w których przebiega reakcja chemiczna obowiązują też prawa stechiometrii, termodynamiki i kinetyki chemicznej.

Procesy chemiczne mogą być prowadzone w sposób okresowy lub ciągły. Procesy okresowe stosuje się gdy wytwarza się małe ilości produktów np. w przemyśle farmaceutycznym. Produkcja wielkotonażowa prowadzona jest w sposób ciągły.

Instalacja produkcyjna składa się z wielu urządzeń, w których przeprowadzamy operacje i procesy jednostkowe. Wyobraźmy sobie instalację produkcyjną złożoną z mieszalnika, w którym przygotowuje się np. mieszaninę nitrującą, reaktora, w którym przeprowadza się reakcję nitrowania toluenu oraz z separatora, w którym oddziela się produkt od

nieprzereagowanych kwasów. Uproszczony schemat takiej instalacji przedstawiono na rys.1. Strzałkami przedstawiono strumienie masy wprowadzane i odprowadzane z aparatów.



Rys. 1. Schemat instalacji produkcyjnej: M-mieszalnik; R – reaktor; SP-separator.

W każdym bilansowaniu jednostki produkcyjnej stosujemy prawo zachowania masy, które można wyrazić następująco: suma strumieni masy wprowadzanych do układu równa się sumie masy strumieni odprowadzanych przy założeniu stanu ustalonego czyli nie następuje akumulacja wewnątrz układu. Na rys. 1 układ technologiczny został obrysowany za pomocą linii przerywanej, która zaznacza granice bilansowania (obszar bilansowania B0).

Strumienie masy przecinające granice tego obszaru uwzględnia się w tworzeniu równania bilansu ogólnego: strumienie wprowadzane S1, S2, S3, S5 oraz strumienie odbierane S7, S8.

$$S1 + S2 + S3 + S5 = S7 + S8 \quad (2.1)$$

Wewnątrz ogólnego obszaru bilansowania występują strumienie masy łączące poszczególne aparaty: S4 i S6. Można bilansować poszczególne aparaty wewnątrz ogólnego obszaru bilansowania.

Równanie bilansowe mieszalnika (obszar bilansowania B1):

$$S1 + S2 + S3 = S4 \quad (2.2)$$

Równanie bilansowe reaktora (obszar bilansowania B2):

$$S4 + S5 = S6 \quad (2.3)$$

Równanie bilansowe separatora (obszar bilansowania B3):

$$S6 = S7 + S8 \quad (2.4)$$

Tworząc bilanse masowe należy dokładnie zdefiniować, w jakich jednostkach określa się wielkości biorące udział w bilansie oraz podać wymiary tych jednostek. Natężenia przepływu (strumień) masy można wyrażać w jednostkach masy na jednostkę czasu lub liczbie moli na jednostkę czasu. Mówimy wtedy o strumieniu masowym lub molowym. Nie wolno ich mieszać. Pamiętajmy, że sumujemy ze sobą wartości w tych samych jednostkach.

Udziały masowe lub molowe poszczególnych składników w strumieniu można przedstawić w postaci ułamków lub procentów masowych (dawniej wagowych) albo molowych. W mieszaninach gazowych procent lub ułamek molowy mają taką samą wartość jak procent i ułamek objętościowy. W obliczeniach bilansowych przedstawionych w tym skrypcie stosuje się jednostkę  $\text{Nm}^3$ . Jest to ilość gazu, która w warunkach normalnych ( $0^\circ\text{C}$ ,  $0,1\text{Mpa}$ ) zajmuje objętość  $1 \text{ m}^3$ . W tych warunkach objętość molowa większości gazów wynosi prawie  $22,4\text{m}^3/\text{kmol}$  w praktyce można stosować przeliczenie  $1 \text{ kmol gazu} = 22,4 \text{ Nm}^3$ .

Przystępując do tworzenia bilansu należy wybrać dogodną dla danego przypadku **podstawę bilansowania**. Podstawą może być przedział czasu np. godzina, doba lub ilość wybranego składnika np.  $100 \text{ kg HNO}_3$  czy  $1 \text{ mol}$ .

Jeśli w strumieniu występuje kilka składników (związków chemicznych) i jeśli bilansujemy układ, w którym nie zachodzą reakcje chemiczne, to dla każdego składnika spełnione jest równanie;

$$S_w x_{ws} = S_o x_{os} \quad (2.5)$$

$S_w$  - strumień masy wprowadzany do urządzenia

$x_{ws}$  - ułamek masowy składnika  $s$  w strumieniu  $S_w$

$S_o$  - strumień masy odprowadzany z urządzenia

$x_{os}$  - ułamek masowy składnika  $s$  w strumieniu odprowadzanym  $S_o$

Jeśli bilansujemy układ, w którym zachodzą reakcje chemiczne to jednostki masowe zamieniamy na mole, obliczamy ilość wymaganego produktu zgodnie ze stechiometrią reakcji a następnie otrzymaną wartość w molach przeliczamy na jednostki masy.

**Celem sporządzanego bilansu** jest otrzymanie w wyniku jego rozwiązania nieznanymi wartościami strumieni, ich składów i innych parametrów. W tym celu układamy tyle równań bilansowych ile mamy niewiadomych. Równania muszą mieć sens fizyczny oraz, muszą być jednoznaczne.

W celu sporządzenia prawidłowo bilansu materiałowego czy energetycznego należy postępować zgodnie z wymienionymi poniżej zasadami [2]:

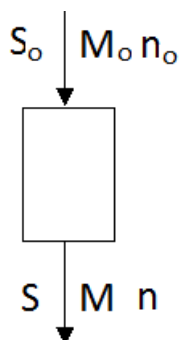
1. Narysować schemat procesu, określić obszar bilansowania.
2. Zaznaczyć strumienie (natężenie przepływu) i ich skład.
3. Określić wartości znane.
4. Określić wartości nieznane.
5. Określić liczbę niezależnych równań bilansowych i sprawdzić, czy układ tych równań można rozwiązać. Jeżeli nie, znaleźć dodatkowe dane lub założyć ich wartości.
6. Wybrać układ jednostek.
7. Ułożyć układ równań bilansowych do rozwiązania.
8. Rozwiązać układ równań.
9. Sprawdzić poprawność rozwiązania.

Przykłady tworzenia bilansów materiałowych prostych operacji i procesów jednostkowych przedstawiono w rozdziale 3.



## Stopień przemiany i wydajność procesu

Postęp przebiegającej reakcji chemicznej opisujemy za pomocą stopnia konwersji (przemiany). Rozważmy proces jednostkowy przebiegający w reaktorze przepływowym przedstawionym na rys.2.



Rys. 2. Reaktor przepływowy

Do reaktora w sposób ciągły doprowadzany jest substrat w strumieniu  $S_o$ . Prędkość masowa dozowania substratu wynosi  $M_o$  i może być wyrażona w jednostkach np. [kg/godz]. Liczba moli substratu w strumieniu  $S_o$  wynosi  $n_o$  i może być wyrażona w jednostkach np. [kmol/godz]. Mieszanina poreakcyjna odprowadzana jest w strumieniu  $S$ . Prędkość masowa nieprzereagowanego substratu wynosi  $M$ , liczba moli nieprzereagowanego substratu w strumieniu  $S$  wynosi  $n$ .

**Stopień konwersji** (stopień przereagowania) substratu jest przedstawiony wzorem 2.6.

$$\alpha = (n_o - n) / n_o = (M_o - M) / M_o \quad (2.6)$$

$n_o$  = liczba moli substratu na wlocie do reaktora w jednostce czasu

$n$  = liczba moli substratu na wylocie z reaktora w jednostce czasu

$M_o$  = prędkość masowa przepływu substratu wprowadzanego do reaktora w jednostkach masy na jednostkę czasu

$M$  = prędkość masowa przepływu substratu odbieranego z reaktora w jednostkach masy na jednostkę czasu

### **Wydajność reakcji $W$**

$$W = P / P_{teort} = n_p / n_{pteort} \quad (2.7)$$

$P$  = masa otrzymanego produktu w jednostce czasu

$P_{teort}$  = teoretyczna masa otrzymanego produktu w jednostce czasu gdy substrat przereaguje w 100%

$n_p$  = liczba moli otrzymanego produktu w jednostce czasu

$n_{pteort}$  = teoretyczna liczba moli otrzymanego produktu w jednostce czasu gdy substrat przereaguje w 100%.

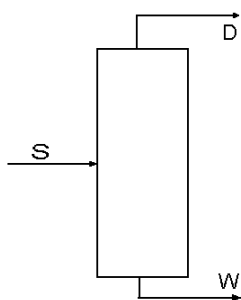
### 3. Przykłady bilansów materiałowych wybranych operacji i procesów jednostkowych – zadania z rozwiązaniami

#### Zadanie 1

Do kolumny rektyfikacyjnej o działaniu ciągłym wprowadza się mieszaninę octanu etylu (OE) i kwasu octowego (KO) z szybkością 100kg/godz. (strumień S – ciecz surowa). Zawartość estru jako składnika lotniejszego wynosi w cieczy surowej 24% masowych, w destylacie 93% masowych, w cieczy wyczerpanej 3% masowych. Obliczyć natężenia przepływu destylatu (D) i cieczy wyczerpanej (W).

**Dane:**  $S = 100\text{kg/godz.}$ ;  $x_{OES} = 24\%$ ;  $x_{OED} = 93\%$ ;  $x_{OEW} = 3\%$ .

**Niewiadome:** D – natężenie przepływu destylatu, W – natężenie przepływu cieczy wyczerpanej



	S	D	W
kg/godz	100		
$x_{OE}$	0,24	0,93	0,03
$x_{KO}$			

#### Rozwiązanie:

Bardzo pomocne przy rozwiązywaniu zadań jest umieszczenie danych w tabelce. Liczba kolumn = liczba strumieni + 1. W naszym zadaniu są 3 strumienie więc liczba kolumn to  $4 = 3 + 1$ . W wierszu pierwszym wpisujemy nazwy strumieni: S, D, W; w wierszu 2 wpisujemy natężenie przepływu dla danego strumienia w podanych jednostkach, tu w kg/godz; w następnych wierszach wpisujemy ułamki masowe poszczególnych składników odpowiednio dla danego strumienia. W naszym zadaniu mamy 2 składniki i dwa ułamki masowe dla każdego strumienia.

Obliczamy ułamki masowe kwasu octowego w poszczególnych strumieniach:

$$1 - x_{OES} = x_{KOS} \quad x_{KOS} = 76\%; \quad x_{KOD} = 7\%; \quad x_{KOW} = 97\%$$

Bilans masowy kolumny:

$$S = D + W \quad (1)$$

Bilans estru

$$S \cdot x_{OES} = D \cdot x_{OED} + W \cdot x_{OEW} \quad (2)$$

Mamy 2 równania z 2 niewiadomymi. Z równania (1) wyznaczamy  $D = S - W$  i podstawiamy do (2).

$$S \cdot x_S = [S - W] \cdot x_D + W \cdot x_W$$

Po przekształceniu otrzymamy:

$$W = S(x_D - x_S)/(x_D - x_W)$$

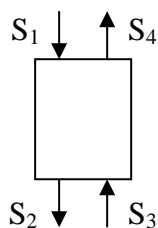
Podstawiając wartości liczbowe otrzymamy:

$$W = 77,2 \text{ kg/godz.} \quad D = 22,8 \text{ kg/godz.}$$

## Zadanie 2

Do oczyszczania gazów odlotowych z zanieczyszczeń gazowych takich jak ditlenek siarki, tlenki azotu, siarkowodór itp. stosuje się urządzenia zwane skruberami. W tych urządzeniach zanieczyszczenia gazowe są pochłaniane w roztworach wodnych lub w wodzie.

Jakie powinno być masowe natężenie przepływu wody (strumień S1) przez skrubier do absorpcji ditlenku siarki, jeżeli we wprowadzonym do niego powietrzu (strumień S3) znajduje się 12% objętościowych SO<sub>2</sub>, a gaz po absorpcji (strumień S4) może mieć najwyżej 0,02% objętościowych SO<sub>2</sub>. Woda wypływająca z absorbera powinna zawierać 10g SO<sub>2</sub> na 100g H<sub>2</sub>O. Do skrubiera wpływa 7000 m<sup>3</sup>/h powietrza z SO<sub>2</sub>. Gęstość powietrza  $\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$ .



	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
kg/godz.				
X woda	1		--	--
X SO <sub>2</sub>	--			
X pow	--	--		

### Oznaczamy

S<sub>1</sub> – natężenie przepływu wody czystej wprowadzanej do absorbera

S<sub>2</sub> – natężenie przepływu wody wylotowej zawierającej SO<sub>2</sub>

S<sub>3</sub> – natężenie przepływu powietrza z SO<sub>2</sub>

S<sub>4</sub> – natężenie przepływu powietrza wylotowego, oczyszczonego

**Dane:** S<sub>3</sub> natężenie przepływu powietrza wlotowego = 7000 m<sup>3</sup>/h,  $\rho$  = gęstość powietrza = 1,29 kg/m<sup>3</sup>; ułamek objętościowy SO<sub>2</sub> w powietrzu wlotowym  $x_{V3S} = 0,12$ , ułamek objętościowy SO<sub>2</sub> w powietrzu wylotowym  $x_{V4S} = 0,0002$ ,  $x_{V4P}$  – ułamek objętościowy powietrza w strumieniu wylotowym.

**Niewiadome:** S<sub>1</sub> – natężenie przepływu wody czystej, S<sub>2</sub> natężenie przepływu wody wylotowej z SO<sub>2</sub>, S<sub>4</sub> natężenie przepływu powietrza wylotowego

### Rozwiązanie

Bilans masowy skrubiera:

$$S_1 + S_3 = S_2 + S_4 \quad (1)$$

Bilans masowy SO<sub>2</sub> ( $x_S$  – ułamki masowe/masowe SO<sub>2</sub>)

$$S_3 x_{3S} = S_2 x_{2S} + S_4 x_{4S} \quad (2)$$

Bilans masowy powietrza

$$S_3 x_{3P} = S_4 x_{4P} \quad (3)$$

$$x_{4P} = 1 - x_{4S} \quad (4)$$

$$x_{3P} = 1 - x_{3S} \quad (5)$$

Przeliczamy przepływ objętościowy powietrza na masowy – strumień S<sub>3</sub>. W strumieniu S<sub>3</sub> obok powietrza jest SO<sub>2</sub>. Przepływ powietrza w strumieniu S<sub>3</sub> obliczamy:

$$7000(x_{V3P}) \rho = 7000(1 - x_{V3S}) \rho = 7000(1 - 0,12) 1,29 [\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{kg}/\text{m}^3] = 7950 \text{ kg/godz.}$$

Zawartość SO<sub>2</sub> w strumieniu S<sub>3</sub>:

$$7000 \cdot 0,12 = 840 \text{ m}^3/\text{h}$$

Masa cząsteczkowa  $SO_2 = 64$ ; objętość jednego kmola w warunkach normalnych, tak przyjmujemy =  $22,4 \text{ m}^3$

Obliczamy masę  $840 \text{ m}^3$  ditlenku siarki:

$$840 * 64 / 22,4 [\text{m}^3/\text{h} * \text{kg}/\text{m}^3] = 2400 \text{ kg/godz. } SO_2 \text{ w strumieniu } S_3$$

$$\text{Strumień } S_3 = 7950 + 2400 = 10350 \text{ kg/godz.}$$

Obliczamy ułamki masowe  $SO_2$  w strumieniu  $S_3$  i  $S_4$ ;  $S_2$ :

$$x_{3S} = 2400 / 10350 = 0,23$$

### Druga metoda:

$$x_{3S} = 0,12 * 64 / (0,88 * 29 + 0,12 * 64) = 0,23$$

$$x_{4S} = 0,0002 * 64 / (0,9998 * 29 + 0,0002 * 64) = 0,00044$$

$$x_{2S} = 10 / (100 + 10) = 0,09$$

$$x_{4P} = 1 - 0,00044 = 0,9995 \quad x_{3P} = 1 - 0,23 = 0,77$$

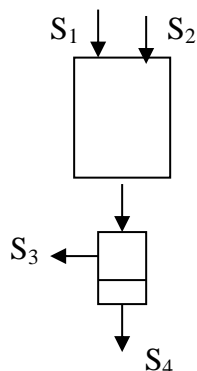
Z równania (3) obliczamy  $S_4$

$$S_4 = 10350 * 0,77 / 0,99976 = 7971 \text{ kg/godz.}$$

Podstawiamy do (2) i(1) i wyliczamy masowe natężenie przepływu wody przez skrubler  $S_1 = 23970 \text{ kg/godz.}$

### Zadanie 3

Wodny roztwór zawierający 50% (masowych) acetonu poddaje się ekstrakcji chlorobenzenem. Obliczyć masowe natężenie przepływu ekstrahenta ( $C_6H_5Cl$ ), jeżeli w rafinacie (faza wodna) może pozostać 28% mas. acetonu, a współczynnik podziału acetonu pomiędzy rafinat a ekstrakt  $k = x_{RA}/x_{EA} = 8,75$ . Obliczenie przeprowadzić dla  $1000 \text{ kg/godz.}$  mieszaniny surowej. Zakładamy, że chlorobenzen i woda nie mieszają się ze sobą.



	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
kg/godz.	1000			
X woda		--		--
X aceton	0,50	--	0,28	
Xchlorobenzen	--	1	--	

### Oznaczamy:

$S_1$  – mieszanina surowa

$S_2$  – chlorobenzen

$S_3$  – rafinat (woda i aceton)

$S_4$  – ekstrakt (chlorobenzen i aceton)

### Dane:

$S_1 = 1000 \text{ kg/godz.}$ , stężenie acetonu w mieszaninie surowej  $x_{1A} = 0,50$ , ułamek masowy acetonu w rafinacie  $x_{3A} = 0,28$

Oznaczamy stężenie acetonu w ekstrakcie jako  $x_{4A}$ .

**Rozwiązanie:**

Bilans całkowity:

$$S_1 + S_2 = S_3 + S_4 \quad (1)$$

Bilans acetonu

$$S_1 x_{1A} = S_3 x_{3A} + S_4 x_{4A} \quad (2)$$

Bilans wody

$$S_1 x_{1W} = S_3 x_{3W} \quad (3)$$

Brakujące składy wyznaczamy ze współczynnika podzału i zależności  $\sum x_i = 1$ 

$$k = x_{RA}/x_{EA} = 8,75$$

$$x_{4A} = x_{3A}/8,75 = 0,28:8,75 = 0,032$$

$$x_{1W} = 1 - x_{1A} = 0,5$$

$$x_{3W} = 1 - x_{3A} = 0,72$$

Wstawiamy dane do równań 1 – 3: otrzymujemy 3 równania z trzema niewiadomymi:

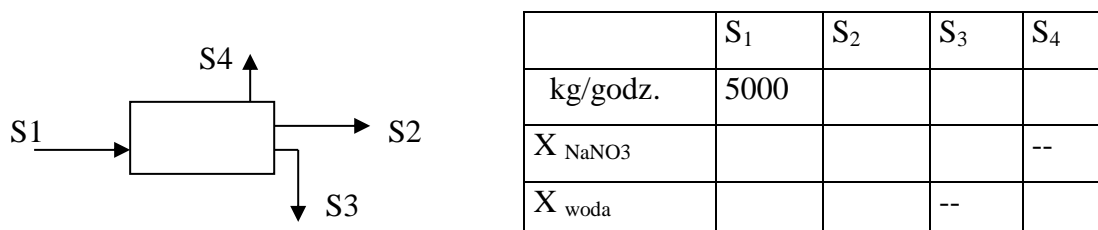
$$1000 + S_2 = S_3 + S_4 \quad (1)$$

$$1000 \cdot 0,50 = S_3 \cdot 0,28 + S_4 \cdot 0,032 \quad (2)$$

$$1000 \cdot 0,50 = S_3 \cdot 0,72 \quad (3)$$

Po rozwiązaniu  $S_2 = 2,57$  kg/s chlorobenzenu**Zadanie 4**

W procesie krystalizacji nasycony roztwór wodny azotanu sodowego  $\text{NaNO}_3$  przepływający w ilości 5000 kg/godz. przez krystalizator o działaniu ciągłym ochładzany jest od temperatury początkowej 363 K do temp. końcowej 313 K. Należy przyjąć, że w krystalizatorze jednocześnie z ochładzaniem następuje odparowanie wody w ilości 3% masy początkowej roztworu. Obliczyć masę produktu krystalizującego w ciągu godziny oraz wydajność procesu. Stężenie nasyconego wodnego roztworu soli wynosi:

w temp. 363 K – 165 kg  $\text{NaNO}_3$ /100 kg  $\text{H}_2\text{O}$ w temp. 313 K – 105 kg  $\text{NaNO}_3$ /100 kg  $\text{H}_2\text{O}$ **Oznaczamy**S1 – strumień nasyconego roztworu  $\text{NaNO}_3$  wprowadzany do krystalizatora [kg/godz.]S2 – strumień nasyconego roztworu  $\text{NaNO}_3$  odprowadzany z krystalizatora [kg/godz.]S3 – strumień wykrystalizowanego  $\text{NaNO}_3$  [kg/godz.]

S4 – strumień odparowanej wody [kg/godz.]

 $x_{1A}$  – ułamek masowy azotanu sodu w strumieniu S1,  $x_{2A}$  - ułamek masowy azotanu sodu w strumieniu S2**Dane:**

S1 = 5000 kg/godz.;

**Rozwiązanie:**

Bilans całkowity

$$S1 = S2 + S3 + S4 \quad (1)$$

$$S4 = 0,03 \cdot S1 \quad (2)$$

Bilans azotanu amonu

$$S1 \cdot x_{1A} = S2 \cdot x_{2A} + S3 \quad (3)$$

Obliczamy ułamki masowe z definicji

$$x_{1A} = 165/265 = 0,62 \quad (4)$$

$$x_{2A} = 105/205 = 0,51 \quad (5)$$

Po rozwiązaniu równań otrzymamy:

$$S2 = 3570 \text{ kg/godz.}, \quad S3 = 1280 \text{ kg/godz.}, \quad S4 = 150 \text{ kg/godz.}$$

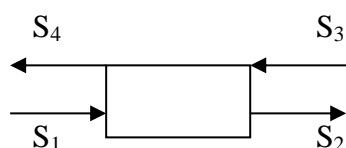
Obliczamy wydajność procesu jako stosunek masy azotanu sodu wydzielonego w postaci kryształów do masy wprowadzonego azotanu w strumieniu S1.

$$W = [1280/3100]100 = 41\%.$$

**Zadanie 5**

Obliczyć ilość zużytego powietrza w suszarce przy usuwaniu z wilgotnego materiału 100 kg wody w ciągu godziny jeżeli wilgotność początkowa powietrza wynosi 0,8% masowych a końcowa 2,7% masowych. Obliczyć także jakie jest masowe natężenie przepływu mokrego materiału jeżeli w ciągu godziny uzyskuje się 360 kg wysuszonego materiału o wilgotności 0,5%.

Dane wpisane są do tabelki.



	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
kg/godz.		360		
X woda		0,005	0,008	0,027
X materiał			--	--
X pow	--	--		

**Oznaczamy:**

S<sub>1</sub> - natężenie przepływu mokrego materiału, S<sub>2</sub> - natężenie przepływu wysuszonego materiału, S<sub>3</sub> - natężenie przepływu suchego powietrza, S<sub>4</sub> - natężenie przepływu mokrego powietrza

X<sub>1W</sub> - ułamek masowy wody w mokrym materiale, X<sub>2W</sub> - ułamek masowy wody w suchym materiale, X<sub>3W</sub> - ułamek masowy wody w suchym powietrzu, X<sub>4W</sub> - ułamek masowy wody w mokrym powietrzu,

**Rozwiązanie**

Bilans całkowity:

$$S1 + S3 = S2 + S4 \quad (1)$$

Z treści zadania:

$$S1 - S2 = 100 \text{ kg/godz.} \quad (2)$$

Bilans powietrza

$$S3 \cdot x_{3P} = S4 \cdot x_{4P} \quad (3)$$

$$x_{4P} = 1 - x_{4W} \quad (4)$$

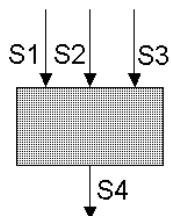
$$x_{3P} = 1 - x_{3W} \quad (5)$$

Po podstawieniu danych i rozwiązaniu otrzymamy:

Potrzebna masa powietrza = 5121 kg/godz.; natężenie przepływu mokrego materiału 460 kg/godz..

### Zadanie 6

Należy sporządzić mieszaninę nitrującą benzen do nitrobenzenu, która ma następujący skład: 50% kwasu siarkowego, 46% kwasu azotowego. Reszta to woda. Mamy do dyspozycji następujące kwasy: kwas siarkowy o stężeniu 95%, kwas azotowy o stężeniu 66% i 98%. Obliczyć natężenie strumieni kwasów potrzebnych do sporządzenia 1000kg/godz. mieszaniny nitrującej.



	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
kg/godz.				1000
X woda				
X kwasu azotowego	--	0,66	0,98	0,46
X kwasu siarkowego	0,95	--	--	0,50

### Oznaczamy:

S<sub>1</sub> – 95% kwas siarkowy [kg/godz.]

S<sub>2</sub> – 66% kwas azotowy [kg/godz.]

S<sub>3</sub> – 98% kwas azotowy [kg/godz.]

S<sub>4</sub> – mieszanina nitrująca [kg/godz.]

### Dane:

S<sub>4</sub> = 1000kg/godz.; podane składy wszystkich strumieni wstawiono do tabelki,

Niewiadome: S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>,

X<sub>1W</sub> – ułamek masowy wody w strumieniu 1,

X<sub>2W</sub> – ułamek masowy wody w strumieniu 2,

X<sub>3W</sub> – ułamek masowy wody w strumieniu 3,

X<sub>4W</sub> – ułamek masowy wody w S<sub>4</sub>,

Ułamek masowy wody  $x_{1W}$  w strumieniu S<sub>1</sub> obliczamy ze wzoru:  $1 = x_{1S} + x_{1W}$  gdzie  $x_{1S}$  ułamek masowy kwasu siarkowego w strumieniu 1; dla strumienia S<sub>2</sub> suma ułamków  $x_{2A} + x_{2W} = 1$ ; dla S<sub>4</sub> mamy równanie  $1 = x_{4S} + x_{4A} + x_{4W}$  gdzie  $x_{4A}$ ,  $x_{4S}$  odpowiednio ułamek masowy kwasu azotowego i kwasu siarkowego w strumieniu S<sub>4</sub>.

### Rozwiązanie:

Bilans całkowity

$$S_1 + S_2 + S_3 = S_4 \quad (1)$$

Bilans kwasu siarkowego

$$S_1 x_{1S} = S_4 x_{4S} \quad (2)$$

Bilans kwasu azotowego

$$S_2 x_{2A} + S_3 x_{3A} = S_4 x_{4A} \quad (3)$$

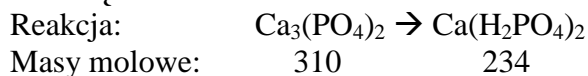
Mamy 3 niewiadome i trzy równania, po rozwiązaniu równań otrzymamy:

S<sub>1</sub> = 526,3kg/godz.; S<sub>2</sub> = 13,2kg/godz. i S<sub>3</sub> = 460,5kg/godz..

### Zadanie 7

Obliczyć współczynnik nadmiaru technicznego fosforanu wapnia zawierającego 80%  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  potrzebny dla wyprodukowania 1 tony superfosfatu zawierającego 90%  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ .

#### Rozwiązanie:



Obliczamy masę  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  w 1 t superfosfatu:

Korzystamy z proporcji:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ t} \quad - \quad 100\% \\ m_{\text{SF}} \quad - \quad 90\% \\ m_{\text{SF}} = 1 \cdot 90 / 100 = 0,9 \text{ t} \end{array}$$

Obliczamy masę  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  potrzebną na otrzymanie 0,9 t  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ :

Ze stechiometrii równania (1) wiadomo że:

310 kg pozwala otrzymać 234kg

Układamy proporcję:

$$\begin{array}{l} 310 \quad - \quad 234 \\ m_{\text{W}} \quad - \quad 0,9 \text{ t} \\ m_{\text{W}} = 310 \cdot 0,9 / 234 = 1,19 \text{ t} \end{array}$$

Obliczamy w jakiej ilości technicznego fosforanu wapnia jest 80%  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

$$\begin{array}{l} m_{\text{T}} \quad - \quad 100\% \\ 1,19 \text{ t} \quad - \quad 80\% \\ m_{\text{T}} = 1,19 / 0,8 = 1,49 \text{ t} \end{array}$$

Współczynnik nadmiaru fosforanu do superfosfatu wynosi:

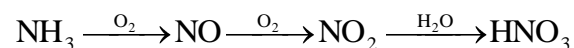
$$f = 1,49 / 1 = 1,49$$

### Zadanie 9

Obliczyć wydajność procesu otrzymywania 65% kwasu azotowego z amoniaku. Stwierdzono, że dla otrzymania 1 tony 65% kwasu azotowego potrzeba 186,2 kg amoniaku.

#### Rozwiązanie:

Przebieg reakcji przedstawia równanie:



Masa cząsteczkowa amoniaku – 17; masa cząsteczkowa kwasu azotowego – 63.

Obliczamy ile 100% kwasu azotowego można wyprodukować z 186,2 kg amoniaku:

$$\begin{array}{l} 17 \text{ kg} \quad - \quad 63 \text{ kg} \\ 186,2 \text{ kg} \quad - \quad m \text{ kg} \\ m = 186,2 \cdot 63 / 17 = 690 \text{ kg} \end{array}$$

Wydajność procesu:  $W = [650 / 690] \cdot 100 = 94,2\%$



### Zadanie 10

Na otrzymanie 1 t wapna zawierającego 85% CaO zużywa się 1,7 t wapniaka zawierającego 94% masowych CaCO<sub>3</sub>. Obliczyć wydajność produktu.

#### Rozwiązanie:

Przebieg reakcji przedstawia równanie:



Masa czast.    100        56        44

Obliczamy masę CaO zawartą w 1 t wapna:

$$m_{\text{CaO}} = 1000 * 0,85 = 850 \text{ kg}$$

Obliczamy masę CaCO<sub>3</sub> potrzebną dla otrzymania 850 kg CaO:

$$m_{\text{CaCO}_3} = 850 * 100 / 56 = 1518 \text{ kg}$$

Obliczamy jaką ilość wapniaka zawiera 1518 kg CaCO<sub>3</sub>.

$$M_{\text{wapn}} = 1518 / 0,94 = 1614 \text{ kg}$$

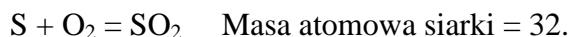
Wydajność procesu wypalania wapniaka:  $W = 1614 * 100 / 1700 = 95\%$

### Zadanie 11

Spalaniu poddano 1000 kg siarki surowej o zawartości 95% S. Ile m<sup>3</sup> powietrza należy doprowadzić w celu otrzymania ditlenku siarki, jeżeli współczynnik nadmiaru powietrza  $\alpha = 1,8$ .

#### Rozwiązanie:

Równanie spalania siarki:



Z powyższego równania wynika, że do spalania 32 kg siarki należy doprowadzić 1 kmol tlenu tzn. 22,4 m<sup>3</sup>.

W 1000 kg surowca znajduje się czystej siarki:  $1000 * 0,95 = 950 \text{ kg}$  więc z proporcji:

$$\begin{array}{ll} 1000 & - 100\% \\ x & - 95\% \end{array}$$

Teoretyczne zapotrzebowanie tlenu dla spalania obliczonej ilości siarki wynosi:

$$950 \quad - \quad 32$$

$$V_{\text{O}} \quad - \quad 22,4$$

$$V_{\text{O}} = 22,4 * 950 / 32 = 665 \text{ m}^3$$

Praktyczne zużycie tlenu jest większe, gdyż współczynnik nadmiaru powietrza  $\alpha = 1,8$ .

$$V_{\text{O}}' = V_{\text{O}} * \alpha = 665 * 1,8 = 1197 \text{ m}^3$$

Ta obliczona ilość tlenu znajduje się w powietrzu, którego objętość obliczymy z następującej zależności:  $V_{\text{pow}} = 4,76 * 1197 = 5698 \text{ m}^3$ .

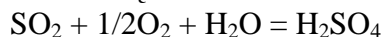
### Zadanie 12

Gaz prażalny o temperaturze 300°C i pod ciśnieniem 760 mmHg zawiera 9% SO<sub>2</sub>. Ile m<sup>3</sup> tego gazu należy użyć teoretycznie do wyprodukowania 1000 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 78%.

### Rozwiązanie:

W 1000 kg 78% kwasu siarkowego znajduje się 780 kg monohydratu i na taką ilość należy obliczyć zużycie gazów prażalnych.

Przemianę ditlenku siarki do kwasu siarkowego obrazuje równanie:



Z kilomola  $\text{SO}_2$  tzn.  $22,4 \text{ m}^3$  powstaje 1 kmol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  tj. 98 kg. Objętościowe zużycie  $\text{SO}_2$  wynosi

$$780 \cdot 22,4 / 98 = 178,5 \text{ m}^3 \text{ SO}_2$$

W gazie prażalnym znajduje się 9%  $\text{SO}_2$  tzn.  $100 \text{ m}^3$  zawiera  $9 \text{ m}^3 \text{ SO}_2$ . Potrzebna ilość gazu jest równa:

$$100 \cdot 178,5 / 9 = 1984 \text{ m}^3 \text{ gazu prażalnego}$$

Objętość  $1984 \text{ m}^3$  należy przeliczyć na parametry określone w warunkach zadania: czyli  $T = 573 \text{ K}$  i  $p = 101,32 \text{ kN/m}^2$ .

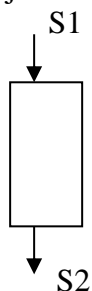
Wykorzystamy wzór:

$$V = \frac{V_0 p_0 T}{p T_0} \text{ i podstawiamy wartości liczbowe;}$$

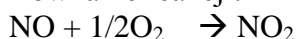
$$V = [1984 \cdot 101,32 \cdot 573] / [101,32 \cdot 273] = 4165 \text{ m}^3 \text{ gazu prażalnego}$$

### Zadanie 13

Gazy resztkowe z instalacji kwasu azotowego zawierają 7%  $\text{NO}$ , 10%  $\text{O}_2$ , 83%  $\text{N}_2$  kierowane są do reaktora w celu utlenienia  $\text{NO}$  do  $\text{NO}_2$ . Konwersja przebiega w temp.  $427^\circ\text{C}$  przy ciśnieniu 1,5 atm. Stężenie nieprzereagowanego  $\text{NO}$  w gazie resztkowym równa się 1,2%. Obliczyć natężenie przepływu gazu w kg/godz. za aparatem kontaktowym i ich skład w ułamkach masowych przyjmując za podstawę bilansu 150 kmoli/h gazów. Obliczyć wydajność reakcji.



Równanie reakcji:



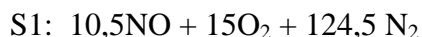
Dane:

S1 – strumień = 150 kmol/h gazów o składzie w procentach objętościowych: 7%  $\text{NO}$ , 10%  $\text{O}_2$ , 83%  $\text{N}_2$  – w tym przykładzie procenty objętościowe = % molowym (dlaczego?)

S2 – zawiera 1,2% molowych  $\text{NO}$ .

Obliczyć: natężenie przepływu S2 w kg/godz. oraz jego skład w ułamkach masowych.

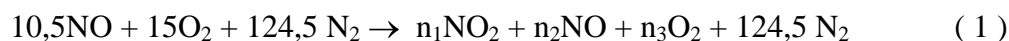
Wprowadzamy do reaktora w strumieniu S1 następujące ilości moli:



Przebiega reakcja utleniania tlenku azotu i w strumieniu S2 otrzymujemy mieszaninę produktów i nieprzereagowanych substratów o nieznannej liczbie moli z wyjątkiem azotu, który nie bierze udziału w reakcji:



równanie technologiczne:



aby rozwiązać zadanie oznaczamy jako n ilość moli tlenku azotu, który przereagował i za  $n_i$  w strumieniu S2 podstawiamy odpowiednie ilości moli:

Np.  $NO_2$  powstało tyle ile przereagowało NO więc:

$$n_1 = n$$

NO nieprzereagowane pozostało w strumieniu S2:

$$n_2 = 10,5 - n,$$

nieprzereagowany tlen:

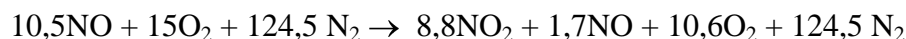
$$n_3 = 15 - n/2$$

więc ilość moli w S2 wynosi:  $nNO_2 + (10,5 - n) NO + (15 - n/2) O_2 + 124,5 N_2$

Aby obliczyć n korzystamy z definicji ułamka molowego dla NO w strumieniu S2, którego wartość jest znana i równa  $x_{2NO} = 0,012$

$$0,012 = \frac{10,5 - n}{n + 10,5 - n + 15 - n/2 + 124,5}$$

$n = 8,8$  podstawiamy do równania (1)



wydajność reakcji liczymy ze wzoru:

$$w = \frac{n_{NO_2}}{n_{NO_2teor}} = \frac{n_r}{n_p} \text{ lub } \times 100\%$$

gdzie

$n_{NO_2}$  - liczba moli otrzymanego ditlenku azotu

$n_{NO_2teor}$  - liczba moli ditlenku azotu, który powstanie gdy reakcja przebiegnie w 100%

$n_r$  = liczba moli NO, który przereagował

$n_p$  = liczba moli NO początkowa, przed reakcją

$w = 0,84$  lub 84%

Obliczamy natężenie masowe przepływu strumienia S2:

$M_{cz NO} = 30g/mol$ ;  $M_{cz NO_2} = 46g/mol$

$$8,8 \times 46 + 1,7 \times 30 + 10,6 \times 32 + 124,5 \times 28 = 4281g/h$$

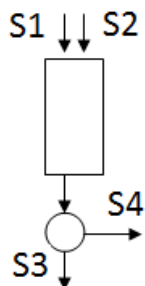
Skład strumienia S2 w ułamkach masowych:

$$x_{NO} = 0,02; \quad x_{NO_2} = 0,09; \quad x_{O_2} = 0,08 \quad x_{N_2} = 0,81$$

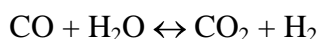
#### Zadanie 14

Gaz surowy o składzie w procentach molowych 40%  $H_2$ , 42%  $CO$ , 2%  $CO_2$  i 16%  $N_2$  poddano konwersji z parą wodną. Zastosowano nadmiar pary wodnej w stosunku molowym do wodoru w

gazie przed konwersją równy 5 :1. Temperatura procesu 420°C i należy przyjąć, że w konwertorze reakcja osiąga stan równowagi. Po konwersji mieszanina gazów jest kierowana do kondensatora gdzie skrapla się parę wodną (S3) i oddziela od suchych gazów odlotowych (S4). Obliczyć skład suchego gazu po reakcji i stopień konwersji tlenku węgla w procentach. Stała równowagi w warunkach procesu  $K = 113$ . Przyjąć za podstawę bilansu 100 moli gazu surowego przed konwersją.



Reakcja konwersji tlenku węgla jest odwracalna:



Stałą równowagi reakcji konwersji określa wzór:

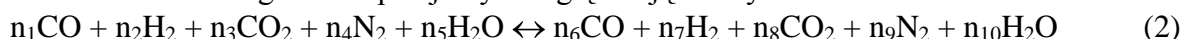
$$K = \frac{[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2]}{[\text{CO}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}$$

### Rozwiązanie:

Reakcja zachodzi bez zmiany objętości i dlatego jest obojętne czy do równania wprowadzimy ciśnienia cząstkowe, czy stężenia poszczególnych składników wyrażone za pomocą ułamków molowych lub objętościowych.

Skład gazu przed konwersją: 40moli  $\text{H}_2$ , 42moli  $\text{CO}$ , 2mole  $\text{CO}_2$  i 16moli  $\text{N}_2$

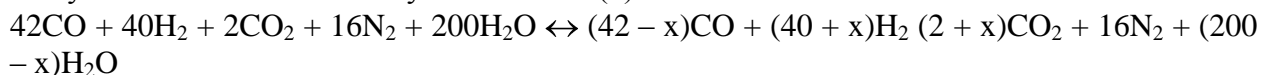
Równanie technologiczne zapisujemy uwzględniając wszystkie składniki obecne w układzie:



Oznaczamy jako  $x$  ilość moli tlenku węgla, który przereagował i za  $n$  podstawiamy odpowiednie ilości moli:

$$\begin{array}{lll} n_1 = 42 & n_4 = n_9 = 16 & n_7 = 40 + x \\ n_2 = 40 & n_5 = 200 & n_8 = 2 + x \\ n_3 = 2 & n_6 = 42 - x & n_{10} = 200 - x \end{array}$$

Powyższe wielkości wstawiamy do równania (2):



Skład gazu w stanie równowagi ustali się zgodnie z wartością stałej  $K$ .

$$K = \frac{(40+x)(2+x)}{(42-x)(200-x)} = 113$$

po rozwiązaniu  $x = 41,8$  moli

Skład gazu po konwersji:

81,8moli  $\text{H}_2$ , 0,2moli  $\text{CO}$ , 43,8mole  $\text{CO}_2$  i 16moli  $\text{N}_2$ , pary wodnej 158,2 po ochłodzeniu i wykropleniu pary wodnej pozostaje:

57,70%  $\text{H}_2$ , 0,14%  $\text{CO}$ , 30,89%  $\text{CO}_2$  i 11,27%  $\text{N}_2$  Stopień konwersji  $\text{CO}$  określa się z równania:

$$\alpha = \frac{n_p - n_k}{n_p}$$

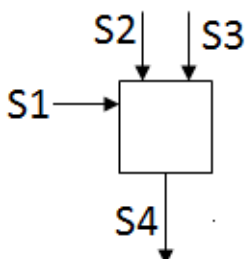
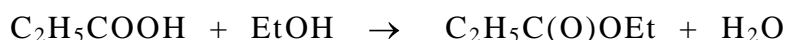
gdzie  $n_p$  - liczba moli  $\text{CO}$  początkowa, przed reakcją;

$n_k$  - liczba moli  $\text{CO}$  końcowa, po reakcji

$$\alpha = 99,5\%$$

### Zadanie 15

Ester etylowy kwasu octowego produkowany jest w reaktorze przepływowym zgodnie z równaniem:



Do reaktora podawany jest kwas octowy S1 oraz etanol w strumieniu S2 = 1840 kg/godz. w nadmiarze w stosunku do kwasu w celu uzyskania wysokiego stopnia przereagowania. Dodawany jest także 100% kwas siarkowy w strumieniu S3 = 15 kg/godz. jako katalizator (KAT), który nie zużywa się podczas reakcji. W strumieniu opuszczającym reaktor (S4) jest 270 kg/godz. wody, 300kg/godz. kwasu octowego, etanol oraz ester.

#### Obliczyć:

- stopień konwersji kwasu octowego,
- masowe natężenie przepływu strumienia opuszczającego reaktor i jego skład w ułamkach masowych:
- masowe natężenie przepływu strumienia kwasu octowego wprowadzanego do reaktora..

**Masy molowe:** kwas octowy 60 g/mol, etanol 46 g/mol; octan etylu 88 g/mol.

Wskazówki do rozwiązania:

Do reaktora wprowadzamy:



Odbieramy w strumieniu S4:



gdzie z danych :

$$n_2 = 40 \text{ kmol/godz.}$$

$$n_5 = 5 \text{ kmol/godz.}$$

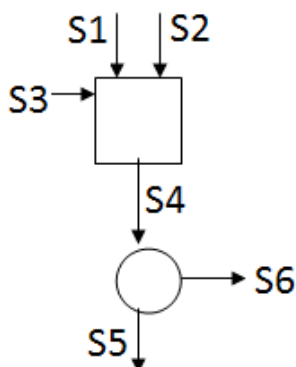
$$n_4 = 15 \text{ kmol}$$

Odp: stopień konwersji kwasu octowego = 75%

- masowe natężenie przepływu strumienia opuszczającego reaktor = 3055kg/godz. i jego skład w ułamkach masowych: etanol – 43%; kwas octowy – 10%; woda – 9%; octan etylu – 38%; katalizator poniżej 0,05%
- masowe natężenie przepływu strumienia kwasu octowego wprowadzanego do reaktora = 1200 kg/godz.

## Zadanie 16

Reakcja karbonylowania nitrobenzenu za pomocą tlenku węgla w obecności kompleksu palladu jako katalizatora w etanolu prowadzi do powstania N – fenylokarbaminianu etylu zgodnie z równaniem:



Roztwór nitrobenzenu w etanolu S1 jest wprowadzany do reaktora w stosunku molowym nitrobenzen : etanol = 1 : 5. Jednocześnie wprowadza się katalizator S2 = 0,05 kg oraz tlenek węgla (S3). Konwersja nitrobenzenu wynosi 85%. Reakcja jest prowadzona w temp 170°C.

Po zakończeniu reakcji mieszanina S4 jest chłodzona do temperatury pokojowej i oddzielane są gazy w strumieniu S6 oraz roztwór poreakcyjny S5. Zakładamy, że w strumieniu S6 nie ma ciekłych reagentów. W strumieniu gazów stwierdza się obecność nieprzereagowanego CO w ilości 126 kg. Roztwór poreakcyjny zawiera produkty i nieprzereagowane substraty, między innymi 184,5kg nitrobenzenu oraz 1909 kg etanolu.

### Obliczyć;

1. Strumienie S1, S3.
2. Strumienie S5 i S6 oraz ich składy w ułamkach masowych.

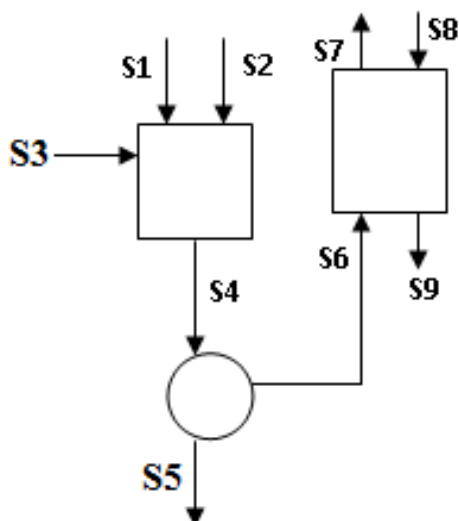
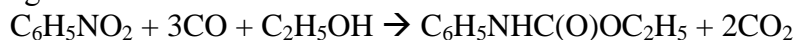
Masy molowe: nitrobenzen 123 g/mol, etanol 46 g/mol; karbaminian 165 g/mol; CO 28 g/mol; CO<sub>2</sub> 44 g/mol

Odpowiedź:

1. S1 = 3530 kg; S3 = 840 kg
2. S5 = 3496 kg skład: karbaminian = 0,40; nitrobenzen = 0,05; etanol = 0,55;  
S6 = 874 kg; skład: CO = 0,14; CO<sub>2</sub> = 0,86.

## Zadanie 17

Reakcja karbonylowania nitrobenzenu za pomocą tlenu węgla w obecności kompleksu palladu jako katalizatora w etanolu prowadzi do powstania N – fenylokarbaminianu enylu zgodnie z równaniem:



Roztwór nitrobenzenu w etanolu o stężeniu masowym nitrobenzenu równym 30% jest wprowadzany do reaktora z szybkością  $S_1 = 4510 \text{ kg/godz.}$ . Jednocześnie wprowadza się katalizator  $S_2 = 0,5 \text{ kg}$  oraz tlenek węgla  $S_3$ . Reakcja jest prowadzona w temp  $170^\circ\text{C}$ . Po zakończeniu reakcji mieszanina  $S_4$  jest chłodzona do temperatury pokojowej i oddzielane są gazy w strumieniu  $S_6$  oraz roztwór poreakcyjny  $S_5$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S_6$  nie ma ciekłych reagentów.

Strumień gazów  $S_6$  zawiera  $\text{CO}/\text{CO}_2$  i jest kierowany do skrubera (absorbera), w którym  $\text{CO}_2$  jest pochłaniany w wodzie. Strumień wody podawany jest do absorbera z szybkością  $S_8 = 3480 \text{ kg/godz.}$  Nie zawiera ditlenku węgla. Strumień gazów  $S_6$  wprowadzany do absorbera zawiera 75,9% mas. ditlenku węgla, strumień gazów  $S_7$  opuszczających skrubier zawiera 30% mas. ditlenku węgla. Stosunek strumienia wody  $S_8$  wprowadzanego do skrubera do strumienia gazów  $S_6$  wynosi  $a = S_8/S_6 = 3$ .

Obliczyć;

1. Strumienie  $S_3$ ,
2. Strumienie  $S_5$ ,  $S_6$ ,  $S_7$ ,  $S_9$  oraz ich składy w ułamkach masowych.
3. Stopień konwersji nitrobenzenu.

Masy molowe: nitrobenzen  $123 \text{ g/mol}$ , etanol  $46 \text{ g/mol}$ ; karbaminian  $165 \text{ g/mol}$ ;  $\text{CO}$   $28 \text{ g/mol}$ ;  $\text{CO}_2$   $44 \text{ g/mol}$

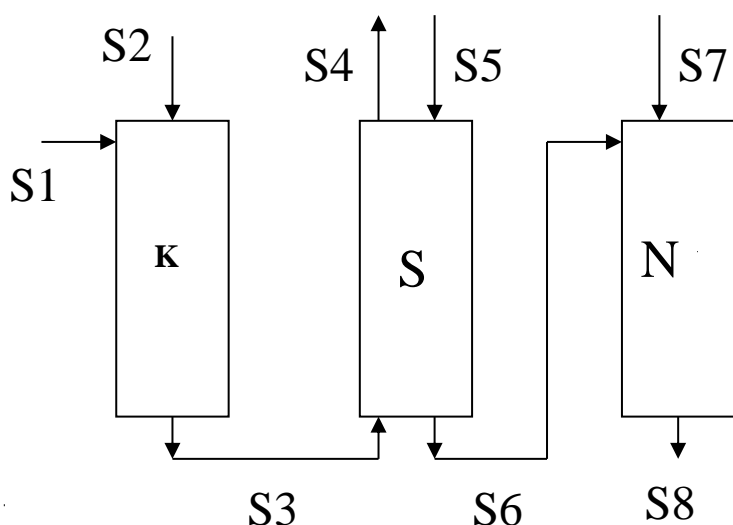
Odpowiedź:

$$S_3 = 1120 \text{ kg}$$

$$S_5 = 4470,5 \text{ kg/godz.}; S_7 = 399 \text{ kg/godz.}; S_9 = 4241 \text{ kg/godz.}, \text{ składy : } S_5: \text{ karbaminian } 40\%; S_9 \text{ ditlenek węgla } 18\%$$

$$\alpha = 91\%$$

**Zadanie 18** – produkcja detergentów typu - soli sodowych kwasów alkilbenzenosulfonowych.



Na rysunku jest przedstawiony schemat instalacji do produkcji detergentów anionowych – soli kwasów alkilbenzenosulfonowych z ditlenku siarki. Pierwszym etapem produkcji jest utlenienie ditlenku siarki do tritlenku siarki za pomocą tlenu z powietrza w reaktorze przepływowym ze złożem katalizatora – K. Stosunek objętościowy tlenu do azotu w strumieniu powietrza przyjmujemy za równy 20 : 80. Konwersja ditlenku do tritlenku siarki wynosi 96% a przepływ powietrza jest tak dobrany aby stężenie  $\text{SO}_3$  w strumieniu S3 wynosiło 5% objętościowych. Gazy z reaktora K (strumień S3) są kierowane do reaktora sulfonowania S. W przeciwnym kierunku doprowadzany jest alkilobenzen (AB) z szybkością 840 kg/godz., który ulega reakcji sulfonowania do kwasów alkilbenzenosulfonowych (ABS). Sulfonowanie przebiega z wydajnością 100%. Nadmiar gazów jest odprowadzany u góry reaktora. Prędkość dozowania  $\text{SO}_3$  jest tak dobrana aby liczba kwasowa w reaktorze S była równa  $LK = 112$ .

[ **LK** – liczba miligramów KOH potrzebna do zobojętnienia 1 grama kwasów alkilbenzenosulfonowych].

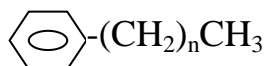
Strumień ABS kierowany jest do neutralizatora N, w którym zobojętniany jest wodnym roztworem wodorotlenku sodu do  $\text{pH} = 7$ . Stężenie wodorotlenku sodu wynosi 10% masowych. Obliczyć natężenia przepływu i nieznanne składowe strumieni S1, S2, S3, S4, S6, S7, S8.

### Rozwiązanie:

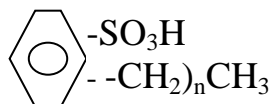
#### Dane

S1 =  $\text{SO}_2$ ; S2 =  $\text{O}_2, \text{N}_2$ ; S3 =  $\text{SO}_3, \text{SO}_2, \text{O}_2, \text{N}_2$ ; S4 =  $\text{SO}_2, \text{O}_2, \text{N}_2$ ;

S5 = AB – alkilobenzen –  $n = 10 - 12$ ,

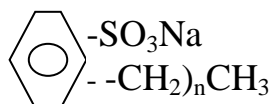


S6 = ABS - kwasy alkilbenzenosulfonowe :



S7 =  $\text{NaOH}, \text{H}_2\text{O}$

S8 =  $\text{ABSNa}$  – sól sodowa kwasów alkilbenzenosulfonowych,  $\text{H}_2\text{O}$

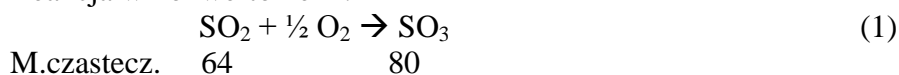


S9 =  $\text{H}_2\text{O}$

S10 =  $\text{ABSNa}, \text{H}_2\text{O}$



Reakcja w konwertorze K:



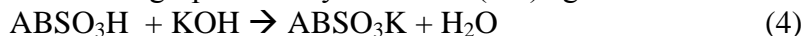
Reakcja sulfonowania w sulfonatorze S:



Reakcja zobojętniania kwasów ABS w neutralizatorze N:



Oznaczanie ilości grup kwasowych w ABS (LK) zgodnie z równaniem:



Bilans całej instalacji:

$$S1 + S2 + S5 + S7 = S4 + S8$$

Rozpoczynamy obliczenia od reaktora dla którego mamy najwięcej danych, w tym zadaniu jest to sulfonator S.

### Bilans sulfonatora S

Dane:  $S5 = 840 \text{ kg/godz.}$ , w strumieniu  $S3$  5% objętościowych  $\text{SO}_3$ , sulfonujemy do  $LK = 112$ , masa cząsteczkowa  $\text{KOH} = 56$ .

Z definicji LK wiemy, że 112 mg  $\text{KOH}$  przereagowało z 1 g kwasu ABS, czyli 2 mmole  $\text{KOH}$  przereagowało z 2 mmolami grup sulfonowych ( $\text{SO}_3$ ) zawartymi w 1 g KABS.

2 mmole  $\text{SO}_3 - 2 * 80 = 160 \text{ mg}$ . Czyli 160 mg  $\text{SO}_3$  jest związane w 1 g KABS.

$\text{ABSO}_3\text{H} - \text{SO}_3 = \text{AB}$

1g - 0,16 = 0,84 g AB znamy strumień  $\text{AB} = 840 \text{ kg}$  stąd z proporcji wyliczamy strumień KABS ( $S6$ )

$$\begin{array}{l} 1 \quad - \quad 0,84 \\ S6 \quad - \quad 840 \quad \text{stąd } S6 = 1000 \text{ kg/godz.} \end{array}$$

Z tej proporcji obliczamy też strumień  $\text{SO}_3$  :

$$\begin{array}{l} 1 \quad - \quad 0,16 \\ 1000 \quad - \quad m_{\text{SO}_3} \quad \quad m_{\text{SO}_3} = 160 \text{ kg/godz.} \end{array}$$

Obliczamy natężenie przepływu strumienia  $S3$ , w którym jest 2 kmole (160 kg)  $\text{SO}_3$  i ta ilość stanowi 5% objętościowych całego strumienia. Ułamki objętościowe mieszanin gazów są równe ułamkom molowym. Obliczamy strumień  $S3$  z proporcji:

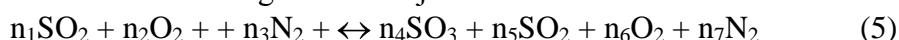
$$\begin{array}{l} 1 \quad - \quad S3 \\ 0,05 \quad - \quad 2 \quad \quad S3 = 40 \text{ kmol} \end{array}$$

Strumień  $S3$  zawiera produkty reakcji utlenienia  $\text{SO}_2$ , która biegnie w reaktorze K.

### Bilans reaktora K:

Podstawą bilansu jest 40 kmol gazów poreakcyjnych wychodzących z reaktora.

Równanie technologiczne reakcji:



Stopień konwersji ditlenku siarki wynosi  $\alpha = 0,96$ .

$$\alpha = n_{\text{SO}_3}/n_{\text{SO}_3\text{teoret}}$$

$$\alpha = 2/x \quad x = 2/0,96 = 2,1 \text{ kmol/h}$$

Oznaczamy  $x$  – ilość tlenu w strumieniu S2

$$n_1 = 2,1$$

$$n_4 = 2$$

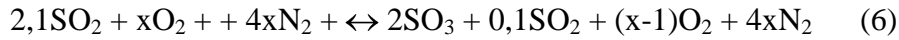
$$n_2 = x$$

$$n_5 = 0,1$$

$$n_3 = 4x = n_7$$

$$n_6 = x - 2/2 + x - 1$$

Piszemy technologiczne równanie reakcji uwzględniające wszystkie składniki:



Suma moli w S3 = 40

Sumujemy ilości moli po prawej stronie równania, bo taki jest skład strumienia na wylocie reaktora K S3.

$$2 + 0,1 + (x-1) + 4x = 40$$

$x = 7,8$  kmoli tlenu w strumieniu S3 i 31,2 kmoli azotu.

Mnożąc przez masy molowe otrzymamy masowe natężenie przepływu.

Stężenie  $\text{SO}_2$  w strumieniu S4 0,2% objętościowych.

Natężenie przepływu strumienia S4 = 38 mmoli.

### **Bilans neutralizatora N**

Strumień wlotowy S6 = 1000kg/godz. W tym strumieniu jest 2 kmole grup sulfonowych. Do zobojętnienia potrzeba zgodnie z równaniem (3) 2 kmole NaOH =  $2 \cdot 40 = 80$  kgNaOH/h.

Strumień S7 10% roztwór NaOH.

Natężenie przepływu strumienia S8 =  $100 \cdot 80 / 10 = 800$ kg/godz. w tym 720 kg wody/h.

Strumień S8 wyliczamy z zależności:

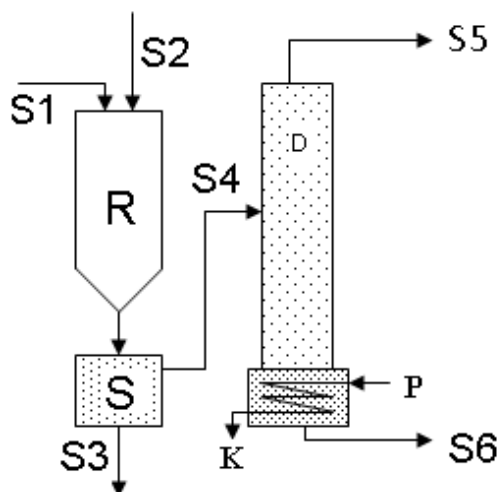
$$S7 + S6 = S8 \quad S8 = 1800\text{kg/godz.}$$

#### 4. Zadania do samodzielnego rozwiązania

Wszystkie składy strumieni w zadaniach przedstawionych w rozdziale 4 podane są w procentach masowych (% mas.) lub ułamkach masowych.

##### 4.1. Proces nitrowania toluenu do nitrotoluenów (orto, para) i rozdzielania produktów na kolumnie destylacyjnej

W instalacji przedstawionej na rysunku produkuje się nitrotolueny w reakcji nitrowania toluenu za pomocą mieszaniny nitrującej składającej się z kwasu azotowego i kwasu siarkowego. Przebiega reakcja:



Schemat przepływu strumieni w procesie otrzymywania nitrotoluenów. Instalacja składa się z reaktora R, separatora S oraz kolumny destylacyjnej D.

**Masy molowe:** toluen 92 kg/kmol, kwas azotowy 63 kg/kmol, nitrotoluen 137 kg/kmol

##### Zadanie 1

Skład mieszaniny nitrującej S1 jest następujący: 31% kwasu azotowego i 65% kwasu siarkowego oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 92%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora S gdzie oddziela się warstwę kwasów S3 od warstwy organicznej S4. W strumieniu S3 odbiera się wodę powstającą w reakcji w ilości 144 kg/godz.. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

Mieszanina orto- i paranitrotoluenów i toluenu (strumień S4) jest podawana do kolumny destylacyjnej w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Strumień destylatu S5 o składzie: 98% toluenu i 2% o-nitrotolueny jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej. Skład cieczy wyczerpanej S6 jest następujący: o-nitrotoluen = 63%, p-nitrotoluen = 37%.

**Obliczyć:**

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1, strumień toluenu S2, strumień kwasów odpadowych S3 w kg/godz. oraz skład strumienia S3 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla kolumny destylacyjnej - strumienie S4, S5 i S6 w kg/godz. oraz skład strumienia S4 w procentach lub ułamkach masowych.

## Zadanie 2

Skład mieszaniny nitrującej S1 jest następujący: 30% kwasu azotowego i 65% kwasu oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R z szybkością  $S_1=2310$  kg/godz..

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,1 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$  z wydajnością 96%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora S gdzie oddziela się warstwę kwasów S3 od warstwy organicznej S4. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

Mieszanina orto- i paranitrotoluenów i toluenu (strumień S4) jest podawana do kolumny destylacyjnej w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Strumień destylatu S5 o składzie: 95% toluenu, 3% o-nitrotoluen i p-nitrotoluen jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej. Skład cieczy wyczerpanej jest następujący: o-nitrotoluen = 45%, p-nitrotoluen = 55%.

### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania toluenu S2 w kg/godz., strumień kwasów odpadowych S3 w kg/godz. oraz jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla kolumny destylacyjnej – strumień S4, S5, S6 w kg/godz. oraz skład strumienia S4 w procentach lub ułamkach masowych.

## Zadanie 3

Skład mieszaniny nitrującej S2 jest następujący: 31% kwasu azotowego i 64% kwasu siarkowego oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S1. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy: toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$  z wydajnością 93%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S3 od warstwy organicznej S4. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. Strumień kwasów odbierany jest z szybkością  $S_3=4030$  kg/godz. i zawiera 77% kwasu siarkowego.

Mieszanina orto- i para-nitrotoluenów i toluenu (strumień S4) jest podawana do kolumny destylacyjnej w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Strumień destylatu S5 o składzie: 91% toluenu, 5% o-nitrotoluen i p-nitrotoluen jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej. Skład cieczy wyczerpanej S6 jest następujący: o-nitrotoluen = 60%, p-nitrotoluen = 40%,

### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S2 i toluenu S1 w kg/godz. oraz skład S3 w ułamkach masowych.
2. Dla kolumny destylacyjnej – strumień S4, S5, S6 w kg/godz. oraz skład strumienia S6 w procentach lub ułamkach masowych.

#### Zadanie 4

Skład mieszaniny nitrującej S2 jest następujący: 40% kwasu azotowego i 55% kwasu siarkowego oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S1. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,3 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 98%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S3 od warstwy organicznej S4. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

Mieszanina orto- i para-nitrotoluenów i toluenu (strumień S4=1360 kg/godz.) jest podawana do kolumny destylacyjnej w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Skład strumienia S4 jest następujący: toluen = 1,4% masowego, o-nitrotoluen = 33% oraz p-nitrotoluen. Strumień destylatu S5 o składzie: 50% toluenu, 30% o-nitrotoluen i p-nitrotoluen jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej. Ciecz wyczerpana nie zawiera toluenu.

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S2 i toluenu S1 w kg/godz., strumień kwasów odpadowych S3 w kg/godz. oraz skład S3 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla kolumny destylacyjnej – strumień S5, S6 w kg/godz. oraz skład strumienia S6 w procentach lub ułamkach masowych.

#### Zadanie 5

Skład mieszaniny nitrującej S2 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S1. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,5 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 94%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S3 od warstwy organicznej S4. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

Mieszanina orto- i para-nitrotoluenów i toluenu (strumień S4) jest podawana do kolumny destylacyjnej w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Skład strumienia S4 jest następujący: toluen = 4% masowego, o-nitrotoluen = 31% i p-nitrotoluen. Strumień destylatu S5 odbierany z kolumny z szybkością S5=140 kg/godz. Skład destylatu jest następujący: 40% toluenu i 40% o-nitrotoluen i p-nitrotoluen. W cieczy wyczerpanej nie ma toluenu.

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S2 i toluenu S1 w kg/godz., strumień kwasów odpadowych S3 w kg/godz. oraz ich skład w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla kolumny destylacyjnej – strumień S4, S6 w kg/godz. oraz skład strumienia S4 w procentach lub ułamkach masowych.

### Zadanie 6

Skład mieszaniny nitrującej S2 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R. W mieszaninie nitrującej podawany jest kwas siarkowy z szybkością 1404 kg/godz..

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S1. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,3 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 90%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S3 od warstwy organicznej S4. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

Mieszanina orto- i para-nitrotoluenów i toluenu (strumień S4) jest podawana do kolumny destylacyjnej w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Strumień destylatu S5 o składzie: 74% toluenu, 16% o-nitrotoluen i p-nitrotoluen jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej. Skład cieczy wyczerpanej jest następujący: o-nitrotoluen = 35% i p-nitrotoluen i nie zawiera toluenu.

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S2 oraz toluenu S1 w kg/godz., strumień kwasów odpadowych S3 w kg/godz. oraz jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla kolumny destylacyjnej – strumień S4, S5, S6 w kg/godz. oraz skład strumienia S4 w procentach lub ułamkach masowych.

### Zadanie 7

Skład mieszaniny nitrującej S2 jest następujący: 37% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S1=1380$  kg/godz.. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,3 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 97%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S3 od warstwy organicznej S4. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

Mieszanina orto- i para-nitrotoluenów i toluenu (strumień S4) jest podawana do kolumny destylacyjnej w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Strumień destylatu S5 o składzie: 45% toluenu, 35% o-nitrotoluen i p-nitrotoluen jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej. Skład cieczy wyczerpanej jest następujący: o-nitrotoluen = 34% i p-nitrotoluen i nie zawiera toluenu.

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S2 w kg/godz., strumień kwasów odpadowych S3 w kg/godz. oraz skład S3 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla kolumny destylacyjnej – strumień S4, S5, S6 w kg/godz. oraz skład strumienia S4 w procentach lub ułamkach masowych.

### Zadanie 8

Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 31% kwasu azotowego i 65% kwasu siarkowego oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen w ilości  $S_1=920$  kg/godz.. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$ . Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów  $S_3$  od warstwy organicznej  $S_4$ . Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. W strumieniu  $S_3$  odbiera się wodę powstającą w reakcji w ilości 144 kg/godz..

Mieszanina orto- i para-nitrotoluenów i toluenu (strumień  $S_4$ ) jest podawana do kolumny destylacyjnej w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Strumień destylatu  $S_5$  o składzie: 98% toluenu i 2% o-nitrotoluen jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej. Skład cieczy wyczerpanej  $S_6$  jest następujący: o-nitrotoluen = 63%, p-nitrotoluen = 37%.

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej  $S_2$ , strumień kwasów odpadowych  $S_3$  w kg/godz. oraz skład strumienia  $S_3$  w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla kolumny destylacyjnej – strumień  $S_4$ ,  $S_5$ ,  $S_6$  w kg/godz. oraz skład strumienia  $S_4$  w procentach lub ułamkach masowych.
3. Wydajność reakcji.

### Zadanie 9

Skład mieszaniny nitrującej  $S_2$  jest następujący: 37% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S_1=1380$  kg/godz.. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,3 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$ . Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów  $S_3$  od warstwy organicznej  $S_4$ . Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

Mieszanina orto- i para-nitrotoluenów i toluenu (strumień  $S_4$ ) jest podawana do kolumny destylacyjnej w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Strumień destylatu  $S_5$  o składzie: 44% toluenu, 30% o-nitrotoluen i p-nitrotoluen jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej z szybkością  $S_5= 210$  kg/godz.. Skład cieczy wyczerpanej jest następujący: o-nitrotoluen = 60% i p-nitrotoluen.

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora –strumień  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  w kg/godz. oraz skład strumienia  $S_3$  w procentach lub ułamkach masowych,
2. Dla kolumny destylacyjnej – strumień  $S_4$ ,  $S_6$  w kg/godz. oraz skład strumienia  $S_4$  w procentach lub ułamkach masowych.
3. Wydajność reakcji.

### Zadanie 10

Skład mieszaniny nitrującej S2 jest następujący: 32% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S1. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,1 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S3 od warstwy organicznej S4. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

Mieszanina poreakcyjna zawierająca orto- i para-nitrotolueny i toluen (strumień S4) jest podawana do kolumny destylacyjnej z szybkością 1416 kg/godz. w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Strumień destylatu S5 o składzie: 80% toluenu, 15% o-nitrotolueny i p-nitrotoluen jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej. Skład cieczy wyczerpanej jest następujący: o-nitrotoluen = 54%, p-nitrotoluen = 46%. Prędkość odbierania nieprzereagowanego toluenu w destylacji wynosi 46 kg/godz..

### Obliczyć

1. Wydajność procesu nitrowania
2. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S2 i toluenu S1, natężenie przepływu strumienia kwasów S3 w kg/godz. oraz jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla kolumny destylacyjnej – strumień S5, S6 w kg/godz. oraz skład strumienia S4 w procentach lub ułamkach masowych.

### Zadanie 11

Skład mieszaniny nitrującej S2 jest następujący: 33% kwasu azotowego i 62% kwasu siarkowego oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen z szybkością S1=1104 kg/godz.. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,3 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S3 od warstwy organicznej S4. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

Mieszanina orto- i para-nitrotoluenów i toluenu (strumień S4) jest podawana do kolumny destylacyjnej w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Strumień destylatu S5 o składzie: 80% toluenu, 13% o-nitrotolueny i p-nitrotoluen jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej. Ilość toluenu w destylacji wynosi 92 kg/godz.. Skład cieczy wyczerpanej jest następujący: o-nitrotoluen = 62%, p-nitrotoluen = 38%,

### Obliczyć

1. Wydajność procesu nitrowania.
2. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S2, strumień kwasów S3 w kg/godz. oraz skład strumienia S3 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla kolumny destylacyjnej – strumień S4, S5, S6 w kg/godz. oraz skład strumienia S4 w procentach lub ułamkach masowych.



### Zadanie 12

Skład mieszaniny nitrującej S2 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego oraz woda. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S2 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen w strumieniu S1. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,1 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się fazę kwasów S3 od fazy organicznej nitrotoluenów S4. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

Mieszanina orto- i para-nitrotoluenów i toluenu (strumień S4) jest podawana do kolumny destylacyjnej z szybkością  $S_4 = 4600$  kg/godz. w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Zawartość toluenu w strumieniu S4 wynosi 1%. Strumień destylatu S5 o składzie: 92% toluenu, 8% o-nitrotoluen i p-nitrotoluen jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej. Skład cieczy wyczerpanej jest następujący: o-nitrotoluen = 55%, p-nitrotoluen = 45%,

#### Obliczyć:

1. Stopień konwersji nitrobenzenu
2. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S2 i toluenu S1, strumień kwasów odpadowych S3 w kg/godz. oraz jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla kolumny destylacyjnej – strumień S5, S6 w kg/godz. oraz skład strumienia S4 w procentach lub ułamkach masowych.

### Zadanie 13

Mieszanina nitrująca zawiera: 35% kwasu azotowego i 55% kwasu siarkowego i wodę. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R. Szybkość podawania kwasu azotowego w mieszaninie wynosi 831,6kg/godz..

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,1 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S3 od warstwy organicznej S4. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. W reakcji powstaje 207 kg/godz. wody.

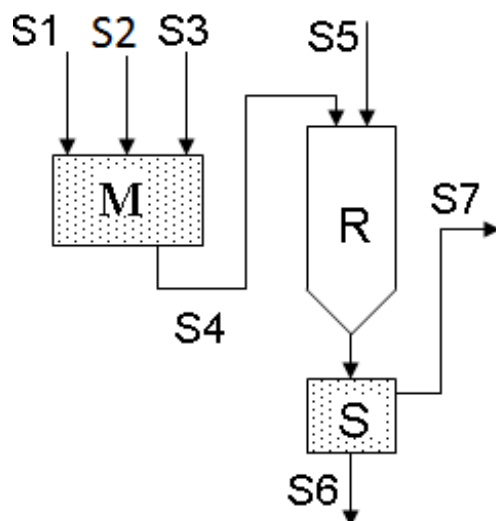
Mieszanina orto- i para-nitrotoluenów i toluenu (strumień S4) jest podawana do kolumny destylacyjnej w celu oddzielenia nieprzereagowanego toluenu. Strumień destylatu S5 o składzie: 90% toluenu, 6% o-nitrotoluen i p-nitrotoluen jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej. Skład cieczy wyczerpanej jest następujący: o-nitrotoluen = 40%, p-nitrotoluen = 60%,.

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – wydajność reakcji oraz natężenie przepływu strumieni S1, S2, S3 w kg/godz. i skład strumienia S3 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla kolumny destylacyjnej – strumień S4, S5, S6 w kg/godz. oraz skład strumienia S4 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Wydajność reakcji.

## 4.2. Proces przygotowania mieszanki nitrującej i nitrowania toluenu do nitrotoluenów

W instalacji przedstawionej na rysunku produkuje się nitrotolueny w reakcji nitrowania toluenu za pomocą mieszanki nitrującej składającej się z kwasu azotowego i kwasu siarkowego. Przebiega reakcja:



Schemat przepływu strumieni w procesie otrzymywania nitrotoluenów. Instalacja składa się z reaktora R, separatora S oraz mieszalnika M.

**Masy molowe:** toluen 92 kg/kmol, kwas azotowy 63 kg/kmol, nitrotoluen 137kg/kmol

### Zadanie 1

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszanki nitrującej jest następujący: 30% kwasu azotowego i 65% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszanki nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 66% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 96% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R z szybkością  $S_4=1000\text{kg/godz.}$

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$  z wydajnością 92%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3 w kg/godz..
2. Dla reaktora –strumień toluenu S5 wprowadzanego do reaktora, kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumienia S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

## Zadanie 2

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 30% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 70% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 100% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S_5=1840\text{kg/godz.}$ . Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$  z wydajnością 95%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
2. Dla reaktora – strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

## Zadanie 3

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 31,5% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 65% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R. Szybkość przepływu kwasu siarkowego w mieszaninie nitrującej jest równa  $1200\text{ kg/godz.}$ .

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$  z wydajnością 97%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
2. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

## Zadanie 4

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 60% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 90% ze strumieniem 100% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy: toluen wynosi 1,3 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$  z wydajnością 95%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. Pożądane jest uzyskanie  $1096\text{kg}$  nitrotoluenu na godzinę.

### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
2. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 5

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 30% kwasu azotowego i 65% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 66% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 96% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 92%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7 w sposób ciągły. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. Stwierdzono, że w strumieniu S7 odbiera się 46kg nieprzereagowanego toluenu na godzinę.

#### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
2. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 6

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 33% kwasu azotowego i 62% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 65% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R. Natężenie przepływu kwasu azotowego w mieszaninie nitrującej jest równe 756 kg/godz..

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 98%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

#### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
2. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 7

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 30% kwasu azotowego i 65% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 66% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 96% ze strumieniem 100% kwasu siarkowego, który jest podawany do mieszalnika z szybkością S1=1560 kg/godz.. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 94%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

#### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S2, S3, S4 w kg/godz..
2. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 8

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 30% kwasu azotowego i 65% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 66% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 96% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7 w sposób ciągły. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. Stwierdzono, że w strumieniu S7 odbiera się 1302 kg/godz. nitrotoluenu oraz 46kg nieprzereagowanego toluenu na godzinę.

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 9

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 30% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 70% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 100% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S5 = 1840\text{kg/godz.}$  Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. W strumieniu S7 odbiera się 2658 kg/godz. nitrotoluenu.

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 10

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 31,5% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 65% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca (S4) podawana jest do reaktora R. Natężenie przepływu kwasu siarkowego w mieszaninie nitrującej jest równe 1200 kg/godz..

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. W strumieniu S7 odbiera się 28 kg/godz. nieprzereagowanego toluenu.

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 11

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 60% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 90% ze strumieniem 100% kwas siarkowy. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S_5=1012$  kg/godz.. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy: toluen wynosi 1,3 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. W reakcji powstaje 162 kg/godz. wody. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

## Zadanie 12

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 30% kwasu azotowego i 65% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 66% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 96% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R z szybkością  $S_4=1260\text{kg/godz.}$

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$ . Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów od warstwy organicznej. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. W strumieniu S7 odbiera się 616,5 kg/godz. nitrotoluenu.

### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

## Zadanie 13

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 33% kwasu azotowego i 62% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 65% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca (S4) podawana jest do reaktora R. Natężenie przepływu kwasu azotowego w mieszaninie nitrującej jest równe 756 kg/godz..

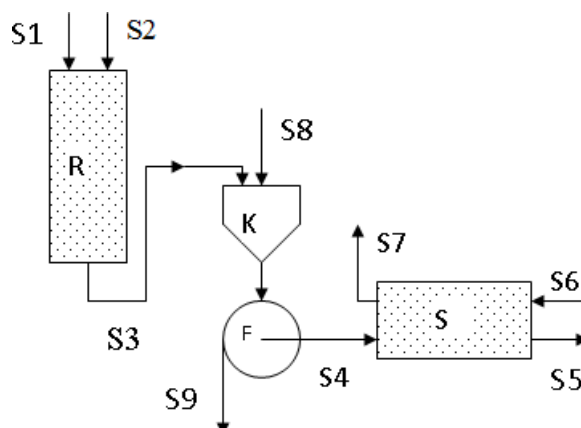
Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 1,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$ . Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. W reakcji powstaje 176 kg/godz. wody.

### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumienia S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### 4.3. Produkcja kwasu p-toluenosulfonowego

W instalacji przedstawionej na rysunku produkuje się kwas p-toluenosulfonowy (KTS) w reakcji toluenu z kwasem siarkowym wg równania:



Schemat przepływu strumieni w procesie otrzymywania KTS. Instalacja składa się z reaktora R, krystalizatora K, wirówki F oraz suszarki S.

#### Masy molowe:

toluen 92 kg/kmol, kwas siarkowy 98 kg/kmol, kwas p-toluenosulfonowy 172 kg/kmol

#### Zadanie 1

Do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S_1=1012$  kg/godz. oraz 98% kwas siarkowy. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 ; 1,5. Reakcja przebiega w temp.  $100^\circ\text{C}$  z wydajnością 75%.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się  $S_8=1800$  kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 25%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora –strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.



## Zadanie 2

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 98% kwas siarkowy S2. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1:1,2. Reakcja przebiega w temp. 60°C z wydajnością 70%.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się S8=1100 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego. Następnie mieszanina kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 25%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 4$ . Z suszarki odbiera się S5=1042 kg/godz.

### Obliczyć:

1. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki - strumień: S4, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

## Zadanie 3

Do reaktora podawany jest 95% kwas siarkowy z szybkością S2=1135kg/godz oraz toluen S1. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,1. Reakcja przebiega w temp. 60°C. Wydajność reakcji 80%.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K) do którego dodaje się S8=1500 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego. Następnie mieszanina kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 9%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 4$ .

### Obliczyć:

1. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

#### Zadanie 4

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 97% kwas siarkowy S2. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1:1,6. Reakcja przebiega w temp. 60°C z wydajnością 88% a jednym z produktów jest woda otrzymana w ilości 270 kg/godz..

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się S8=1200 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego. Następnie mieszanina kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 25%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu w S4 wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

#### Zadanie 5

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 96% kwas siarkowy S2. Reakcja przebiega w temp. 60°C z wydajnością 72%. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,1.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K) do którego dodaje się S8=900 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego. Następnie mieszanina kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Mokry kwas sulfonowy wprowadzany jest do suszarki w strumieniu S4 z szybkością 1720 kg/godz w przeliczeniu na kwas absolutnie suchy. Początkowa wilgotność kwasu 10%, końcowa 2%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 4,5$ .

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

### Zadanie 6

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 97% kwas siarkowy S2. Reakcja przebiega w temp. 60°C a stopień konwersji toluenu wynosi 80%. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu. W strumieniu S3 odprowadza się mieszaninę poreakcyjną, w której jednym ze składników jest nieprzereagowany kwas siarkowy w ilości 384 kg/godz. oraz 184 kg/godz. nieprzereagowanego toluenu.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się S8=1000 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego. Następnie mieszanina kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 12%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,4%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 3,5$ .

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

### Zadanie 7

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 98% kwas siarkowy S2. Reakcja przebiega w temp. 60°C a stopień konwersji toluenu wynosi 90%. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,3. W strumieniu S3 odprowadza się mieszaninę poreakcyjną, w której jednym ze składników jest nieprzereagowany toluen w ilości 115 kg/godz..

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się S8=1000 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego. Następnie mieszanina kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 16%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,6%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 4,2$ .

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

### Zadanie 8

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 96% kwas siarkowy S2. Reakcja przebiega w temp. 60°C z wydajnością 75%. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,1. W strumieniu S3 odprowadza się mieszaninę poreakcyjną.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się S8=1500 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego. Następnie mieszanina kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu p-toluenosulfonowego 12%, końcowa 2%. Początkowa wilgotność powietrza 0,4%. Natężenie przepływu suchego powietrza S6 = 6192kg/godz.. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do strumienia mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 3$ .

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

### Zadanie 9

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 97% kwas siarkowy S2. Reakcja przebiega w temp. 60°C z wydajnością 80%. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu. W strumieniu S3 odprowadza się mieszaninę poreakcyjną, w której jednym ze składników jest nieprzereagowany kwas siarkowy w ilości 384 kg/godz..

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się S8=2000 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego. Następnie mieszanina kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 12%. Początkowa wilgotność powietrza 0,4%. Uzyskuje się KTS zawierającego 1% wody. Strumień S5 = 2432 kg/godz.. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 3,5$ .

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki - strumień: S4, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

### Zadanie 10

Do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S_1 = 460$  kg/godz.  $S_1$  oraz 95% kwas siarkowy  $S_2$ . Reakcja przebiega w temp.  $95^\circ\text{C}$ . Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,5.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się  $S_8 = 1000$  kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_4$  i  $S_9$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S_4$  jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu  $S_9$ .

Mokry KTS  $S_4$  jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem  $S_6$ , które przepływa w przeciwnym kierunku do kwasu. W strumieniu  $S_4$  wprowadza się do suszarki 688 kg/godz. KTS w przeliczeniu na kwas absolutnie suchy. Początkowa wilgotność kwasu 20%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza  $S_6$  w stosunku do mokrego kwasu  $S_4$  wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla reaktora –strumień kwasu siarkowego  $S_2$ , strumień  $S_9$  w kg/godz. oraz skład strumienia  $S_9$  w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki - strumień:  $S_4$ ,  $S_5$ ,  $S_6$ ,  $S_7$  w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu  $S_7$ .

### Zadanie 11

Do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S_1 = 552$  kg/godz. oraz 94% kwas siarkowy. Reakcja przebiega w temp.  $60^\circ\text{C}$ . Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,2.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się  $S_8 = 1500$  kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_4$  i  $S_9$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S_4$  jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu  $S_9$ .

Mokry KTS  $S_4$  jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem  $S_6$ , które przepływa w przeciwnym kierunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 25%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza  $S_6$  w stosunku do mokrego kwasu  $S_4$  wynosi  $a = 4$ . Strumień  $S_5 = 1000$  kg/godz. Uzyskuje się kwas KTS zawierający 1% wilgoci.

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla reaktora –strumień kwasu siarkowego  $S_2$ , strumień  $S_9$  w kg/godz. oraz skład strumienia  $S_9$  w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki - strumień:  $S_4$ ,  $S_6$ ,  $S_7$  w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu  $S_7$ .

### Zadanie 12

Do reaktora podawany jest 95% kwas siarkowy z szybkością  $S_2=1239\text{kg/godz}$  oraz toluen  $S_1$ . Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,2. Reakcja przebiega w temp.  $60^\circ\text{C}$ . Mieszanina poreakcyjna odprowadzana w strumieniu  $S_3$  zawiera  $138\text{ kg/godz.}$  nieprzereagowanego toluenu.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się  $1200\text{ kg/godz.}$  wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykryzalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_4$  i  $S_9$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S_4$  jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu  $S_9$ .

Mokry KTS  $S_4$  jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem  $S_6$ , które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 9%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza  $S_6$  w stosunku do mokrego kwasu  $S_4$  wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla reaktora – strumień toluenu  $S_1$ , strumień  $S_9$  w  $\text{kg/godz.}$  oraz skład strumienia  $S_9$  w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki - strumień:  $S_4$ ,  $S_5$ ,  $S_6$ ,  $S_7$  w  $\text{kg/godz.}$  oraz ułamek masowy wody w strumieniu  $S_7$ .

### Zadanie 13

Do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S_1=736\text{ kg/godz.}$  oraz 97% kwas siarkowy  $S_2$ . Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,6. Reakcja przebiega w temp.  $60^\circ\text{C}$  a jednym z produktów jest woda otrzymana w ilości  $126\text{ kg/godz.}$

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się  $S_8=800\text{ kg/godz.}$  wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykryzalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_4$  i  $S_9$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S_4$  jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu  $S_9$ .

Mokry KTS  $S_4$  jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 25%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza  $S_6$  w stosunku do mokrego kwasu  $S_4$  wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla reaktora – strumień kwasu siarkowego  $S_2$ , strumień  $S_9$  w  $\text{kg/godz.}$  oraz skład strumienia  $S_9$  w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki - strumień:  $S_4$ ,  $S_5$ ,  $S_6$ ,  $S_7$  oraz ułamek masowy wody w strumieniu  $S_7$ .

### Zadanie 14

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 96% kwas siarkowy z szybkością  $S_2 = 1078$  kg/godz.. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,1. Reakcja przebiega w temp.  $60^\circ\text{C}$ .

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się  $S_8=1400$  kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku do kwasu. Mokry kwas sulfonowy wprowadzany jest do suszarki w strumieniu S4 z szybkością 1376 kg w przeliczeniu na kwas absolutnie suchy. Początkowa wilgotność kwasu 10%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,3%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 4,5$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji. kwasu siarkowego
2. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

### Zadanie 15

Do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S_1=828$  kg/godz. oraz 98% kwas siarkowy S2. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,2. Reakcja przebiega w temp.  $60^\circ\text{C}$ . W strumieniu S3 odprowadza się mieszaninę poreakcyjną, w której jednym ze składników jest nieprzereagowany kwas siarkowy w ilości 384 kg/godz..

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się  $S_8=1700$  kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem, które przepływa w przeciwnym kierunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 12%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,4%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 2,5$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla reaktora – strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

### Zadanie 16

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 97% kwas siarkowy S2. Reakcja przebiega w temp. 60°C. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,3. W strumieniu S3 odprowadza się mieszaninę poreakcyjną, w której jednym ze składników jest nieprzereagowany toluen w ilości 184 kg/godz. oraz 1548 kg/godz. kwasu toluenosulfonowego.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się S8=1100 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 16%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,6%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 4,2$ .

#### Obliczyć:

1. Stopień konwersji toluenu.
2. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

### Zadanie 17

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 92% kwas siarkowy S2. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu, stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,1. Reakcja przebiega w temp. 60°C. W strumieniu S3 odprowadza się mieszaninę poreakcyjną, w której ilość nieprzereagowanego toluenu wynosi 230 kg/godz..

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się S8=1300 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu p-toluenosulfonowego 12%, końcowa 2%. Początkowa wilgotność powietrza 0,4%. Natężenie przepływu powietrza wprowadzanego do suszarki S6 = 8256kg/godz.. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do strumienia mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 3,2$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.



### Zadanie 18

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 97% kwas siarkowy S2. Stosowany jest nadmiar kwasu siarkowego w stosunku do toluenu. Reakcja przebiega w temp. 60°C z wydajnością 80%. Stosunek molowy toluen : kwas siarkowy = 1 : 1,2. W strumieniu S3 odprowadza się mieszaninę poreakcyjną, w której jednym ze składników jest nieprzereagowany kwas siarkowy w ilości 392 kg/godz..

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się S8=1000 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem, które przepływa w przeciwnym kierunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 12%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,4%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 3,5$ . Strumień S5=1390 kg/godz..

#### Obliczyć:

3. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
4. Dla suszarki - strumień: S4, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

### 4.3.1. Zastosowanie stałej równowagi

#### Zadanie 19

Do reaktora podawany jest toluen z szybkością S1=460 kg/godz. oraz 100% kwas siarkowy S2. Reakcja przebiega w temp. 100°C z wydajnością 80%. Należy przyjąć, że w reaktorze osiągnięty jest stan równowagi a stała równowagi osiąga wartość  $K = 3,6$ . Z definicji stałej równowagi można określić liczbę moli kwasu siarkowego potrzebną aby uzyskać żądaną wydajność.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się S8=1000 kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 10%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

5. Dla reaktora – strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
6. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

### Zadanie 20

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 100% kwas siarkowy S2. Reakcja przebiega w temp. 60°C z wydajnością 70%. Należy przyjąć, że w reaktorze osiągany jest stan równowagi a stała równowagi osiąga wartość  $K = 4,6$ . Z definicji stałej równowagi można określić liczbę moli kwasu siarkowego potrzebną aby uzyskać żadaną wydajność.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się  $S_8=1300$  kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 25%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 4$ . Strumień S5=1824 kg/godz..

#### Obliczyć:

7. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
8. Dla suszarki - strumień: S4, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

### Zadanie 21

Do reaktora podawany jest 100% kwas siarkowy S2 oraz toluen S1 z szybkością  $S_1=920$  kg/godz. Reakcja przebiega w temp. 60°C. Należy przyjąć, że w reaktorze osiągany jest stan równowagi a stała równowagi osiąga wartość  $K = 5,6$ . Z definicji stałej równowagi można określić liczbę moli kwasu siarkowego potrzebną aby uzyskać żadaną wydajność.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K), do którego dodaje się  $S_8=1100$  kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku do kwasu. Mokry kwas KTS podawany jest do suszarki z szybkością  $S_4=1935$  kg/godz. Początkowa wilgotność kwasu 20%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki - strumień: S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.
3. Wydajność reakcji.

## Zadanie 22

Do reaktora podawany jest toluen S1 oraz 100% kwas siarkowy S2. Reakcja przebiega w temp.  $60^{\circ}\text{C}$  z wydajnością 70% a jednym z produktów jest woda otrzymana w ilości 252 kg/godz.. Należy przyjąć, że w reaktorze osiągany jest stan równowagi a stała równowagi osiąga wartość  $K = 4,3$ . Z definicji stałej równowagi można określić liczbę moli kwasu siarkowego potrzebną aby uzyskać żądaną wydajność.

Ochłodzona mieszanina poreakcyjna kierowana jest do krystalizatora (K) do którego dodaje się  $S_8 = 1200$  kg/godz. wody i gdzie następuje krystalizacja kwasu p-toluenosulfonowego a następnie do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego KTS. Przyjmujemy, że straty kwasu w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S9. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko KTS i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i resztę wody odprowadza się w strumieniu S9.

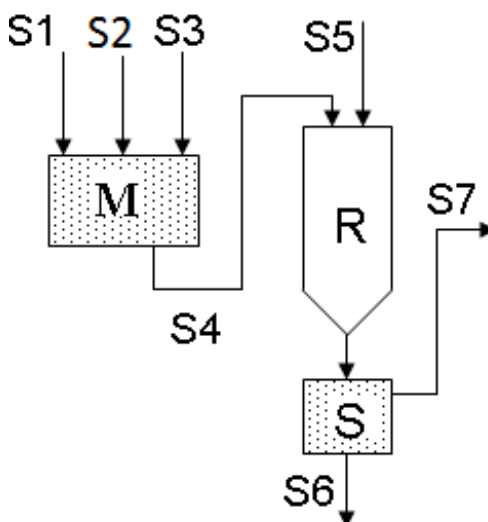
Mokry KTS S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem, które przepływa w przeciwnym kierunku do kwasu. Początkowa wilgotność kwasu 25%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 wprowadzanego do suszarki w stosunku do strumienia mokrego kwasu S4 wynosi  $a = 4$ .

### Obliczyć:

1. Dla reaktora – strumień toluenu S1, strumień kwasu siarkowego S2, strumień S9 w kg/godz. oraz skład strumienia S9 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki - strumień: S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ułamek masowy wody w strumieniu S7.

#### 4.4. Proces przygotowania mieszanki nitrującej i nitrowania toluenu do dinitrotoluenów

W instalacji przedstawionej na rysunku produkuje się dinitrotolueny w reakcji nitrowania toluenu za pomocą mieszanki nitrującej składającej się z kwasu azotowego i kwasu siarkowego. Przebiega reakcja:



Schemat przepływu strumieni w procesie otrzymywania nitrotoluenów. Instalacja składa się z mieszalnika M, reaktora R, separatora S

**Masy molowe** w kg/kmol: toluen 92, kwas azotowy 63, dinitrotoluen 182

##### Zadanie 1

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszanki nitrującej jest następujący: 38% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszanki nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 70% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 100% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S5 = 1840\text{kg/godz.}$ . Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$  a stopień konwersji toluenu wynosi 95%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się mieszaninę kwasów S6 od mieszaniny organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

##### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
2. Dla reaktora – strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

## Zadanie 2

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 68% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 96% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R z szybkością  $S_4 = 3168$  kg/godz..

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 98%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

## Zadanie 3

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 38% kwasu azotowego i 58% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 82% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C a stopień konwersji toluenu wynosi 96%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. W strumieniu S7 odbiera się 138 kg/godz. nieprzereagowanego toluenu.

### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
2. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

## Zadanie 4

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 34% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 78% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 94%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. Otrzymuje się 2912 kg/godz. dinitrotoluenów.

### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
2. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 5

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 45% kwasu azotowego i 50% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 80% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 100% kwasu siarkowego. W mieszaninie nitrującej S4 podawany jest do reaktora R kwas azotowy z szybkością 1386 kg/godz..

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,3 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 93%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

#### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
2. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 6

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego S1 = 370 kg/godz. o stężeniu 78% i strumień kwasu azotowego S2=1700 kg/godz. o stężeniu 98% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego S3=2590 kg/godz.. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,3 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 97%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

#### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumień S4 w kg/godz. oraz jego skład w ułamkach masowych.
2. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 7

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 36% kwasu azotowego i 60 % kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 68% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 100% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 95%. W reakcji powstaje 684 kg/godz. wody. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

#### Obliczyć:

1. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
2. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 8

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 38% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 70% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 100% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S5 = 1840 \text{ kg/godz.}$  Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$ . Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. Otrzymuje się  $3276 \text{ kg/godz DNT}$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 9

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 68% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 96% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R z szybkością  $S4 = 3168 \text{ kg/godz.}$

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$ . Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. W strumieniu S7 odbierany jest nieprzereagowany toluen z szybkością  $46 \text{ kg/godz.}$

#### Obliczyć:

1. Stopień konwersji toluenu.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 10

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 38% kwasu azotowego i 58% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 82% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. W strumieniu S7 odbiera się 138 kg/godz. nieprzereagowanego toluenu oraz 2730 kg/godz. DNT.

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumienia S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie 11

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 34% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 78% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora R z szybkością  $S_4=8694$  kg/godz..

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. W strumieniu S7 odbiera się 2912 kg/godz. dinitrotoluenów.

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.



### Zadanie 12

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 45% kwasu azotowego i 50% kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 80% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 100% kwasu siarkowego. W mieszaninie nitrującej S4 podawany jest do reaktora R kwas azotowy z szybkością 1386 kg/godz..

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,3 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. W strumieniu S7 odprowadza się 110,4 kg/godz. toluenu.

#### Obliczyć:

1. Stopień konwersji toluenu.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
3. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie13

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego S1 = 370 kg/godz. o stężeniu 78% i strumień kwasu azotowego S2=1700 kg/godz. o stężeniu 98% ze strumieniem 98% kwasu siarkowego S3=2590 kg/godz.. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen S5. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,3 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi. Otrzymuje się 2184 kg/godz. dinitrotoluenów.

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumień S4 w kg/godz. i jego skład w ułamkach masowych.
3. Dla reaktora – strumień toluenu S5, strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

### Zadanie14

W mieszalniku M przygotowuje się mieszaninę nitrującą S4. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 36% kwasu azotowego i 60 % kwasu siarkowego i woda. W celu uzyskania mieszaniny nitrującej o żądanym składzie miesza się strumień kwasu azotowego o stężeniu 68% i strumień kwasu azotowego o stężeniu 98% ze strumieniem 100% kwasu siarkowego. Tak przygotowana mieszanina nitrująca S4 podawana jest do reaktora R.

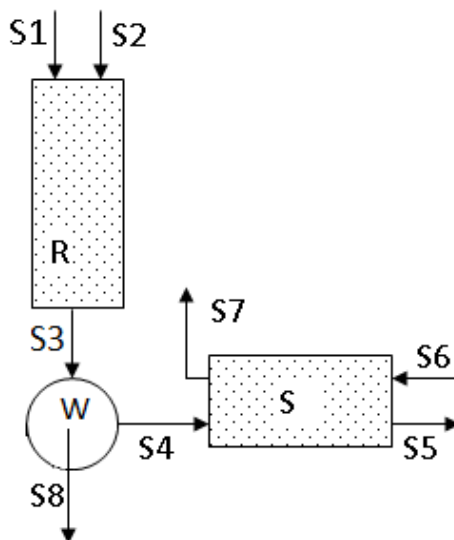
Jednocześnie do reaktora podawany jest toluen w ilości S5=1794 kg/godz.. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. W reakcji powstaje 684 kg/godz. wody. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddziela się warstwę kwasów S6 od warstwy organicznej S7. Zakładamy, że woda nie miesza się ze związkami organicznymi.

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla mieszalnika - strumienie kwasów S1, S2, S3, S4 w kg/godz..
3. Dla reaktora –strumień kwasów odpadowych S6 oraz strumień S7 w kg/godz. i skład strumieni S6, S7 w procentach masowych lub ułamkach masowych.

#### 4.5. Proces nitrowania toluenu do dinitrotoluenów i suszenia produktu.

W instalacji przedstawionej na rysunku produkuje się dinitrotolueny w reakcji nitrowania toluenu za pomocą mieszaniny nitrującej składającej się z kwasu azotowego i kwasu siarkowego. Przebiega reakcja:



Schemat przepływu strumieni w procesie otrzymywania dinitrotoluenów. Instalacja składa się z reaktora R, wirówki W oraz suszarki S.

**Masy molowe:** toluen 92 kg/kmol, kwas azotowy 63 kg/kmol, dinitrotoluen 182 kg/kmol

##### Zadanie 1

Kwas azotowy jest stosowany w mieszaninie z kwasem siarkowym. Mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora w strumieniu S1. Skład mieszaniny nitrującej S1 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą S1 do reaktora podawany jest toluen z szybkością  $S_2=1564$  kg/godz. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$  z wydajnością 97%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. Początkowa wilgotność DNT 5%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 4$

##### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 kg/godz., strumień S8 w kg/godz, oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki – strumienie S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

## Zadanie 2

Kwas azotowy jest stosowany w mieszaninie z kwasem siarkowym. Mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora w strumieniu S1. Skład mieszaniny nitrującej S1 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda. Mieszanina nitrująca jest podawana do reaktora R z szybkością  $S1=3168$  kg/godz..

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,3 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^{\circ}\text{C}$  z wydajnością 96%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. Początkowa wilgotność DNT 6%, końcowa 2%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 3$ .

### Obliczyć:

1. Dla reaktora – strumień toluenu S2 w kg/godz., strumień S8 w kg/godz, oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki – strumienie S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

## Zadanie 3

Kwas azotowy jest stosowany w mieszaninie z kwasem siarkowym. Mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora w strumieniu S1. Skład mieszaniny nitrującej S1 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,3 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^{\circ}\text{C}$  a stopień konwersji toluenu wynosi 98%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8. W filtracji odprowadza się 55,2 kg/godz. nieprzereagowanego toluenu.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. Początkowa wilgotność DNT 9%, końcowa 2%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 4$ .

### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 w kg/godz., strumień toluenu S2 w kg/godz., strumień S8 w kg/godz, oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki – strumienie S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

#### Zadanie 4

Kwas azotowy jest stosowany w mieszaninie z kwasem siarkowym. Mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora w strumieniu S1. Skład mieszaniny nitrującej S1 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,1 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 95%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. Początkowa wilgotność DNT 7%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 2,5$ . DNT jest odbierany z suszarki z prędkością 3458kg/godz. w przeliczeniu na materiał absolutnie suchy.

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 w kg/godz., strumień toluenu S2 w kg/godz., strumień S8 w kg/godz, oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki – strumienie S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

#### Zadanie 5

Kwas azotowy jest stosowany w mieszaninie z kwasem siarkowym. Mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora w strumieniu S1 z taką szybkością, że kwas azotowy w strumieniu S1 wpływa z szybkością 1852 kg/godz.. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 30% kwasu azotowego i 65% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen (S2). Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,1 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 95%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. Początkowa wilgotność DNT 10%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 5$ .

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 w kg/godz., strumień S2 i S8 w kg/godz, oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki – strumienie S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

### Zadanie 6

Kwas azotowy jest stosowany w mieszaninie z kwasem siarkowym. Mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora w strumieniu S1. Skład mieszaniny nitrującej S1 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,1 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 96%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. Strumień S4=2863kg/godz.. Początkowa wilgotność DNT 5%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 3,5$ .

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 w kg/godz., strumień toluenu S2 w kg/godz., strumień S8 w kg/godz., oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki – strumienie S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

### Zadanie 7

Kwas azotowy jest stosowany w mieszaninie z kwasem siarkowym. Mieszanina nitrująca podawana jest do reaktora w strumieniu S1. Skład mieszaniny nitrującej S1 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,1 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C z wydajnością 92%. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. Początkowa wilgotność DNT 7%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Natężenie przepływu strumienia powietrza wprowadzanego do suszarki S6 wynosi S6=6440 kg/godz.. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 3$ .

#### Obliczyć:

1. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 w kg/godz., strumień toluenu S2 w kg/godz., strumień S8 w kg/godz., oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Dla suszarki – strumienie S4, S5, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

### Zadanie 8

Skład mieszaniny nitrującej podawanej do reaktora w strumieniu S1 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2 z szybkością  $S_2=1564\text{kg/godz.}$  Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,2 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$ . W reakcji powstaje  $576\text{ kg/godz.}$  wody. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. Początkowa wilgotność DNT 6%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 w  $\text{kg/godz.}$ , strumień S8 w  $\text{kg/godz.}$ , oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki – strumienie S4, S5, S6, S7 w  $\text{kg/godz.}$  oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

### Zadanie 9

Skład mieszaniny nitrującej podawanej do reaktora w strumieniu S1 jest następujący: 30% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2 z szybkością  $S_2=1196\text{ kg/godz.}$  Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,3 : 1. Reakcja przebiega w temp.  $30^\circ\text{C}$ . Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. Strumień mokrego DNT wprowadzany jest do suszarki z prędkością  $S_4 = 2275\text{ kg/godz.}$  Początkowa wilgotność DNT 8%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 3,5$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji
2. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 w  $\text{kg/godz.}$ , strumień S8 w  $\text{kg/godz.}$ , oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki – strumienie S5, S6, S7 w  $\text{kg/godz.}$  oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

### Zadanie10

Skład mieszaniny nitrującej podawanej do reaktora w strumieniu S1 jest następujący: 33% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2 z szybkością  $S_2=1840$  kg/godz. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,3 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku do DNT. Początkowa wilgotność DNT 6%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 3$ . Wydajność suszarki 3276 kg/godz. DNT w przeliczeniu na materiał absolutnie suchy.

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji
2. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 w kg/godz., strumień S8 w kg/godz, oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki – strumienie S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

### Zadanie11

Mieszanina nitrująca podawana jest do nitratora z szybkością  $S_1 = 5040$  kg/godz.. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 33% kwasu azotowego i 65% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,4 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku do DNT. Początkowa wilgotność DNT 5%, końcowa 1%. Wysuszony DNT odbierany jest z suszarki w strumieniu  $S_5= 1838$  kg/godz.. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 4,5$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla reaktora –strumień toluenu S2 w kg/godz., strumień S8 w kg/godz, oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki – strumienie S4, S6, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

### Zadanie 12

Mieszanina nitrująca podawana jest do nitratora z taką szybkością, że kwas azotowy w strumieniu S1 wpływa z szybkością 1852 kg/godz.. Skład mieszaniny nitrującej jest następujący: 30% kwasu azotowego i 65% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen (S2). Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,1 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8. W filtracji odprowadza się 55,2 kg/godz. nieprzereagowanego toluenu.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. Początkowa wilgotność DNT 10%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 4,5$ .

#### Obliczyć:

1. Stopień konwersji toluenu.
2. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 w kg/godz., strumień S2 i S8 w kg/godz, oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki – strumienie S4, S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

### Zadanie 13

Skład mieszaniny nitrującej podawanej do reaktora w strumieniu S1 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,1 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8. W filtracji odprowadza się 64,4 kg/godz. nieprzereagowanego toluenu.

Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. DNT jest wprowadzany do suszarki w strumieniu S4 z prędkością  $S4=2863\text{kg/godz.}$  Początkowa wilgotność DNT 9%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 3$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność reakcji.
2. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 w kg/godz., strumień toluenu S2 w kg/godz., strumień S8 w kg/godz, oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki – strumienie S5, S6, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.



#### **Zadanie 14**

Skład mieszaniny nitrującej podawanej do reaktora w strumieniu S1 jest następujący: 35% kwasu azotowego i 60% kwasu siarkowego i woda.

Jednocześnie z mieszaniną nitrującą do reaktora podawany jest toluen S2. Stosowany jest nadmiar kwasu azotowego w stosunku do toluenu. Stosunek molowy kwas azotowy : toluen wynosi 2,1 : 1. Reakcja przebiega w temp. 30°C. Po reakcji mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DNT. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S4 jest tylko DNT i część wody. Pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej oraz część wody odprowadza się w strumieniu S8. W filtracie odprowadza się 46 kg/godz. nieprzereagowanego toluenu.

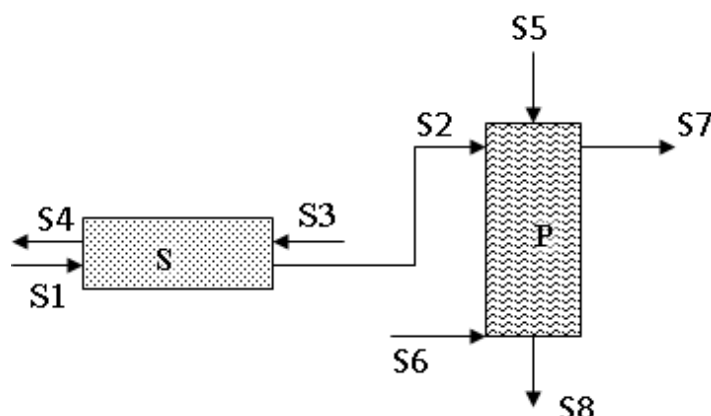
Mokry DNT S4 jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S6, które przepływa w przeciwnym kierunku w stosunku do DNT. Początkowa wilgotność DNT 9%, końcowa 1%. Początkowa wilgotność powietrza 0,5%. Natężenie przepływu strumienia powietrza wprowadzanego do suszarki S6 wynosi  $S_6=6440$  kg/godz.. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza S6 w stosunku do mokrego DNT wprowadzanego do suszarki S4 wynosi  $a = 3,5$ .

#### **Obliczyć:**

1. Stopień konwersji toluenu.
2. Dla reaktora – szybkość dozowania mieszaniny nitrującej S1 w kg/godz., strumień toluenu S2 w kg/godz., strumień S8 w kg/godz, oraz skład strumienia S8 w procentach lub ułamkach masowych.
3. Dla suszarki – strumienie S4, S5, S7 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu S7 w ułamku masowym.

#### 4.6. Rozkład kamienia wapiennego

Na rysunku przedstawiono piec P do rozkładu kamienia wapiennego (węglanu wapnia) w celu uzyskania ditlenku węgla do produkcji sody.



Węglan wapnia po wysuszeniu w suszarce S jest podawany od góry do pieca, w którym w temp. 1100°C ulega rozkładowi do ditlenku węgla i tlenku wapnia (reakcja 1). Aby uzyskać wysoką temperaturę w piecu jednocześnie spala się koks do ditlenku węgla (reakcja 2).



**Masy molowe:** CaCO<sub>3</sub> 100g/mol; CaO 56 g/mol; C 12 g/mol; CO<sub>2</sub> 44 g/mol; O<sub>2</sub> 32 g/mol  
Dla przeliczeń przyjmij warunki normalne.

##### Zadanie 1

Strumień węglanu wapnia S1 wprowadzany do suszarki zawiera 16% wody. Strumień węglanu wapnia odbierany z suszarki zawiera wody 6% masowych – strumień S2. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 zawiera 0,5% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S2 opuszczającego suszarkę wynosi a=4.

Strumień węglanu S2 jest kierowany do pieca. W piecu węglan wapnia ulega rozkładowi z wydajnością 96%. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5. Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100%. Natężenie strumienia węgla podawanego do pieca S5 = 120 kg/godz.. Węgiel spala się w 100%.

Powietrze potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca w takiej ilości, że stosunek molowy tlenu do węgla wynosi O<sub>2</sub> : C = 1 : 1. Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi O<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> = 1 : 4. Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy odchodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest tlenek wapnia wraz z pozostałymi stałymi produktami procesu wypalania wapienika. W strumieniu S8 ilość CaO = 560 kg/godz..

##### Obliczyć:

1. Strumienie: S1, S2, S3, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S6, S7, i S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.

## Zadanie 2

Strumień węglanu wapnia S1 wprowadzany do suszarki zawiera 20% wody. Strumień węglanu wapnia odbierany z suszarki zawiera wody 8% masowych. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 z prędkością  $S_3=1875\text{kg/godz.}$  zawiera 2% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a=3$ .

Strumień węglanu S2 jest kierowany do pieca. W piecu węglan wapnia ulega rozkładowi z wydajnością 90%. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5. Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100%. Stosunek masowy podawanego węglanu wapnia do węgla wynosi  $\text{CaCO}_3 : \text{C} = 10 : 1$ . Węgiel spala się w 100%.

Powietrze potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca w takiej ilości aby w strumieniu gazów opuszczających piec nie było tlenu. Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi  $\text{O}_2 : \text{N}_2 = 20 : 80$ . Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest tlenek wapnia wraz z pozostałymi stałymi produktami procesu wypalania wapienka.

### Obliczyć:

1. Strumienie: S1, S2, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S5, S6, S7, S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.

## Zadanie 3

Strumień węglanu wapnia S1 wprowadzany do suszarki zawiera 19% wody. Strumień węglanu wapnia odbierany z suszarki S2 zawiera wody 7% masowych. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 zawiera 1% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a=4$ .

Strumień węglanu wapnia S2 opuszczający suszarkę jest kierowany do pieca. Wydajność reakcji rozkładu węglanu wapnia wynosi 90%. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5. Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100%. Natężenie strumienia koksu podawanego do pieca wynosi  $S_5=48\text{ kg/godz.}$ . Stosunek molowy węglanu wapnia podawanego do pieca do węgla wynosi  $\text{CaCO}_3 : \text{C}=1 : 1$ . Węgiel spala się w 100%.

Powietrze potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca  $S_6=672\text{ m}^3/\text{godz.}$ . Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi  $\text{O}_2 : \text{N}_2 = 1 : 4$ . Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest tlenek wapnia wraz z pozostałymi stałymi produktami procesu wypalania wapienka.

### Obliczyć:

1. Strumienie: S1, S2, S3, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S7, S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.

#### Zadanie 4

Strumień węglanu wapnia S1 wprowadzany do suszarki zawiera 15% wod. Strumień węglanu wapnia odbierany z suszarki S2 zawiera wody 4% masowych. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 zawiera 1% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a=3,8$ .

Strumień węglanu wapnia S2 opuszczający suszarkę jest kierowany do pieca. Wydajność reakcji rozkładu węglanu wapnia wynosi 98%. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5=60 kg/godz.. Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100%. Węgiel spala się w 100%.

Powietrze S6 potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca S6=560 m<sup>3</sup>/godz. Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi O<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> = 1 : 4. Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest nierozłożony węgiel w ilości 10 kg/godz. wraz z pozostałymi stałymi produktami procesu wypalania wapienka.

#### Obliczyć:

1. Strumienie: S1, S2, S3, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S7, S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.

#### Zadanie 5

Strumień węglanu wapnia S1 wprowadzany do suszarki zawiera 20% wody. Strumień węglanu wapnia odbierany z suszarki z prędkością S2 = 1100 kg/godz. zawiera wody 9% masowych. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 zawiera 0,5% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a=3$ .

Strumień węglanu wapnia S2 opuszczający suszarkę jest kierowany do pieca. Wydajność reakcji rozkładu węglanu wapnia wynosi 95%. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5. Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100%. Natężenie strumienia węgla podawanego do pieca wynosi S5=60 kg/godz.. Węgiel spala się w 100%.

Powietrze S6 potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca w takiej ilości, że stosunek molowy tlenu do węgla wynosi O<sub>2</sub> : C = 1 : 1. Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi O<sub>2</sub> : N<sub>2</sub> = 1 : 4. Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest tlenek wapnia wraz z pozostałymi stałymi produktami procesu wypalania wapienka.

#### Obliczyć:

1. Strumienie: S1, S3, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S6, S7, S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.

### Zadanie 6

Strumień węglanu wapnia S1 wprowadzany do suszarki zawiera 11 % wody. Strumień węglanu wapnia odbierany z suszarki S2 zawiera wody 5% masowych. z suszarki W strumieniu S2 odbiera się 1250 kg/godz węglanu wapnia w przeliczeniu na materiał absolutnie suchy. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 zawiera 0,5% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a=4$ .

Strumień węglanu wapnia S2 opuszczający suszarkę jest kierowany do pieca. Wydajność reakcji rozkładu węglanu wapnia wynosi 98%. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5=36 kg/godz.. Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100% i spala się w 100%.

Powietrze S6 potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca w takiej ilości, że stosunek molowy tlenu do węgla wynosi  $O_2 : C = 1 : 1$ . Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi  $O_2 : N_2 = 20 : 80$ . Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest tlenek wapnia wraz z pozostałymi stałymi produktami procesu wypalania wapniaka.

#### Obliczyć:

1. Strumienie: S1, S2, S3, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S6, S7, S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.

### Zadanie 7

Węglan wapnia wprowadzany do suszarki w strumieniu S1 zawiera 12% masowych wody. Strumień węglanu wapnia odbierany z suszarki S2 zawiera wody 5% masowych. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 zawiera 0,5% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a=3$ .

Strumień węglanu wapnia S2 opuszczający suszarkę jest kierowany do pieca. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5 = 12 kg/godz.. Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100%. Stosunek masowy węgla do węglanu wapnia  $C : CaCO_3 = 1 : 100$ . Węgiel spala się w 100%.

Powietrze S6 potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca S6=224 m<sup>3</sup>/godz.. Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi  $O_2 : N_2 = 20 : 80$ . Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest tlenek wapnia w ilości 560 kg/godz. oraz pozostałe stałe produkty procesu wypalania wapniaka.

#### Obliczyć:

1. Strumienie: S1, S2, S3, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S7, S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.
3. Wydajność reakcji rozkładu węglanu wapnia.

### Zadanie 8

Węglan wapnia zawierający 18% wody jest wprowadzany do suszarki w strumieniu S1 z prędkością  $S1 = 610 \text{ kg/godz.}$ . Strumień węglanu wapnia odbierany z suszarki S2 zawiera wody 6% masowych. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 zawiera 0,5% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a = 3$ .

Strumień węglanu wapnia S2 opuszczający suszarkę jest kierowany do pieca. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu  $S5 = 60 \text{ kg/godz.}$ . Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100%. Węgiel spala się w 100%.

Powietrze S6 potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca z taką prędkością aby cały tlen przereagował w 100%. Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi  $O_2 : N_2 = 1 : 4$ . Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest nieprzereagowany węglan wapnia w ilości  $80 \text{ kg/godz.}$  oraz pozostałe stałe produkty procesu wypalania wapniaka.

#### Obliczyć:

1. Strumienie: S2, S3, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S6, S7, S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.
3. Stopień konwersji węglanu wapnia.

### Zadanie 9

Strumień węglanu wapnia S1 wprowadzany do suszarki zawiera 18% wody. Węglan wapnia odprowadzany z suszarki w strumieniu  $S2 = 880 \text{ kg/godz.}$  zawiera 9% masowych wody. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 zawiera 1% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a = 3,5$ .

Strumień węglanu wapnia S2 opuszczający suszarkę jest kierowany do pieca. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5. Strumień węgla podawanego do pieca wynosi  $S5 = 120 \text{ kg/godz.}$ . Węgiel spala się w 100%.

Powietrze S6 potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca w takiej ilości aby stosunek molowy  $O_2 : C = 1 : 1$ . Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi  $O_2 : N_2 = 20 : 80$ . Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest tlenek wapnia w ilości  $336 \text{ kg/godz.}$  oraz pozostałe stałe produkty procesu wypalania wapniaka.

#### Obliczyć:

1. Strumienie: S1, S3, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S6, S7, S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.
3. Wydajność reakcji rozkładu węglanu wapnia.

### Zadanie 10

Węglan wapnia zawierający 17% wody jest wprowadzany do suszarki w strumieniu S1 = 1205 kg/godz.. Strumień węglanu wapnia odbierany z suszarki zawiera wody 7% masowych. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 zawiera 1% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a = 3,5$ .

Strumień węglanu wapnia S2 opuszczający suszarkę jest kierowany do pieca. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5. Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100%. Stosunek molowy węglanu wapnia do węgla wynosi  $\text{CaCO}_3 : \text{C} = 1 : 1$ . Węgiel spala się w 100%.

Powietrze S6 potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca z taką prędkością aby cały tlen przereagował w 100%. Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi  $\text{O}_2 : \text{N}_2 = 20 : 80$ . Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest tlenek wapnia w ilości 504 kg/godz. oraz pozostałe stałe produkty procesu wypalania wapniaka.

#### Obliczyć:

1. Strumienie: S2, S3, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S5, S6, S7, S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.
3. Wydajność reakcji rozkładu węglanu wapnia.

### Zadanie 11

Strumień węglanu wapnia S1 wprowadzany do suszarki zawiera 11% wody. Strumień węglanu wapnia odbierany z suszarki zawiera wody 4% masowych. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 zawiera 1% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a = 4,5$ .

Strumień węglanu wapnia S2 opuszczający suszarkę jest kierowany do pieca. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5. Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100%. Natężenie strumienia koksu podawanego do pieca wynosi  $S5 = 60$  kg/godz.. Stosunek molowy  $\text{CaCO}_3 : \text{C} = 1 : 1$ . Węgiel spala się w 100%.

Powietrze S6 potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca w takiej ilości, że stosunek molowy tlenu do węgla  $\text{O}_2 : \text{C} = 1 : 1$ . Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi  $\text{O}_2 : \text{N}_2 = 1 : 4$ . Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest nieprzereagowany węglan wapnia w ilości 20 kg/godz. oraz pozostałe stałe produkty procesu wypalania wapniaka.

#### Obliczyć:

1. Natężenie przepływu strumieni S1, S2, S3, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Natężenie strumieni S6, S7, S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.
3. Wydajność reakcji rozkładu węglanu wapnia.

### Zadanie 12

Strumień węglanu wapnia S1 wprowadzany do suszarki zawiera 16% wody. Węglan wapnia odbierany z suszarki w strumieniu S2 zawiera wody 5% masowych. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 zawiera 1% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a=3,5$ .

Strumień węglanu wapnia S2 opuszczający suszarkę jest kierowany do pieca. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5. Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100%. Natężenie strumienia koksu podawanego do pieca wynosi  $S5=120$  kg/godz.. Węgiel spala się w 100%.

Powietrze S6 potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca w takiej ilości, że stosunek molowy tlenu do węgla  $O_2 : C = 1 : 1$ . Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi  $O_2 : N_2 = 1 : 4$ . Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest węglan wapnia w ilości 50 kg/godz. oraz tlenek wapnia w ilości 532 kg/godz..

#### Obliczyć:

1. Strumienie: S1, S2, S3, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S6, S7, S8 w kg/godz. i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.
3. Wydajność reakcji rozkładu węglanu wapnia.

### Zadanie 13

Węglan wapnia wprowadzany do suszarki zawiera 20% masowych wody. Węglan wapnia odbierany z suszarki zawiera wody 4% masowych. Strumień powietrza suchego wchodzący do suszarki S3 = 3750 kg/godz. zawiera 0,5% wody. Stosunek masowy strumienia powietrza S3 wchodzącego do suszarki do strumienia węglanu S1 wprowadzanego do suszarki wynosi  $a=3$ .

Strumień węglanu wapnia S2 opuszczający suszarkę jest kierowany do pieca. Jednocześnie z węglanem wapnia podawany jest do pieca P koks w strumieniu S5. Przyjmujemy, że koks zawiera węgiel w 100%. Stosunek molowy węglanu wapnia do węgla wynosi  $CaCO_3 : C = 1 : 1$ . Węgiel spala się w 100%.

Powietrze potrzebne do spalania koksu jest podawane od dołu pieca z prędkością  $S6=1120$  m<sup>3</sup>/h. Przyjmujemy, że objętościowy skład powietrza wynosi  $O_2 : N_2 = 20 : 80$ . Cały ditlenek węgla i pozostałe po reakcji gazy wychodzą w strumieniu S7. W strumieniu S8 u dołu pieca odbierany jest tlenek wapnia w ilości 616 kg/godz. oraz pozostałe stałe produkty procesu wypalania wapiaka.

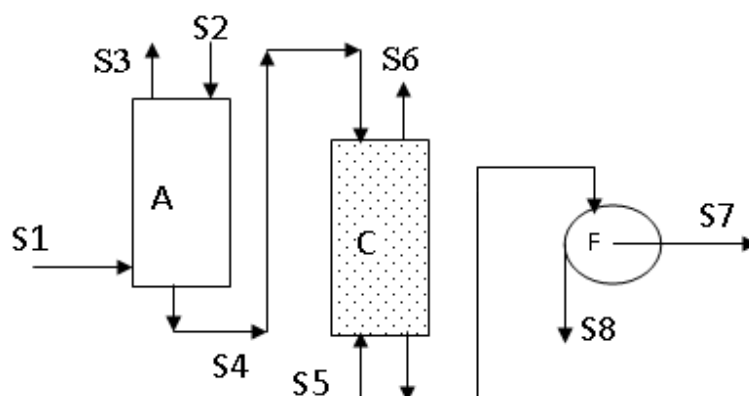
#### Obliczyć:

1. Strumienie: S1, S2, S4 w kg/godz. oraz ilość wody w strumieniu powietrza wychodzącego z suszarki S4 w ułamku masowym.
2. Strumienie: S5, S7, S8 i skład S7, S8 w ułamkach lub procentach masowych.
3. Wydajność reakcji rozkładu węglanu wapnia.

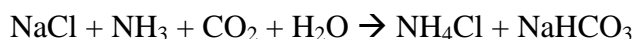


#### 4.7. Produkcja bikarbonatu

Na rysunku jest przedstawiony schemat fragmentu instalacji do produkcji bikarbonatu –  $\text{NaHCO}_3$ . Składa się z kolumny absorpcyjnej A, kolumny karbonizacyjnej C i wirówki F.



W kolumnie absorpcyjnej przygotowuje się roztwór wodny solanki amoniakalnej w wyniku absorpcji amoniaku w wodnym roztworze  $\text{NaCl}$ . W kolumnie karbonizacyjnej roztwór solanki amoniakalnej jest nasycający ditlenkiem węgla w temp.  $60^\circ\text{C}$  i przebiega następująca reakcja:



**Masy molowe** w  $\text{kg/kmol}$ :  $\text{NaCl}$  – 58;  $\text{NaHCO}_3$  – 84;  $\text{NH}_3$  – 17;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – 53;  $\text{CO}_2$  – 44

#### Zadanie 1

Roztwór wodny S2 soli  $\text{NaCl}$  podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej a amoniak S1 w przeciwnym kierunku. Górą kolumny odprowadzany jest amoniak, który nie został zaabsorbowany – strumień S3. Strumienie S1 i S3 zawierają 100% amoniaku. Stosunek masowy strumieni S3:S1=0,1.

Solanka amoniakalna z dołu kolumny absorpcyjnej S4 jest kierowana do kolumny karbonizacyjnej. Roztwór wodny solanki amoniakalnej zawierający 26 %  $\text{NaCl}$  oraz 30%  $\text{NH}_3$  jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej C z prędkością  $S4=1000\text{kg/godz.}$

Od dołu kolumny karbonizacyjnej podawany jest strumień S5 zawierający 100% ditlenek węgla. Stosunek molowy wprowadzanego chlorku sodu do wprowadzanego ditlenku węgla  $\text{NaCl}/\text{CO}_2 = 1:2,2$ . Górą kolumny karbonizacyjnej jest odprowadzany nadmiar ditlenku węgla (S6). Proces karbonizacji przebiega z wydajnością  $\alpha = 60\%$ . Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie wytrąconego  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S7 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S8 jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. Woda stanowi 5% strumienia S8. W strumieniu S7 odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej.

#### Obliczyć:

1. Strumień S1, S2, S3 w  $\text{kg/godz.}$  i skład S2 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Natężenie przepływu ditlenku węgla na wlocie i wylocie z kolumny karbonizacyjnej w  $\text{kg/godz.}$
3. Strumień: S7, S8 w  $\text{kg/godz.}$  i skład S7 w procentach lub ułamkach masowych.

## Zadanie 2

Roztwór wodny NaCl o stężeniu 33% podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej z prędkością  $S_2=1406$  kg/godz. a amoniak w przeciwnym kierunku od dołu  $S_1$ . Strumień amoniaku podawany jest do kolumny absorpcyjnej z prędkością  $S_1=298$  kg/godz. Górą kolumny odprowadzany jest amoniak, który nie został zaabsorbowany – strumień  $S_3$ . Stosunek masowy strumienia  $S_1:S_3 = 10$ . Strumienie  $S_1$  i  $S_3$  zawierają 100% amoniaku.

Roztwór wodny solanki amoniakalnej  $S_4$  zawierający NaCl oraz amoniak jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej. Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla  $S_5$ . Stosunek molowy wprowadzanego chlorku sodu do wlotowego ditlenku węgla  $\text{NaCl}/\text{CO}_2 = 1:2,5$ . Górą kolumny jest odprowadzany nadmiar ditlenku węgla  $S_6$ .

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie wytrąconego  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_7$  i  $S_8$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S_8$  jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. Strumień  $S_8$  jest odbierany z wirówki z szybkością  $S_8=424$  kg/godz.. Woda stanowi 5% strumienia  $S_8$ . W strumieniu  $S_7$  odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej.

### Obliczyć:

1. Strumień  $S_3$ ,  $S_4$  w kg/godz. i skład  $S_4$  w procentach lub ułamkach masowych.
2. Natężenie przepływu ditlenku węgla na wlocie i wylocie z kolumny karbonizacyjnej w kg/godz..
3. Strumień:  $S_7$  w kg/godz. i skład  $S_7$  w procentach lub ułamkach masowych.
4. Wydajność procesu.

## Zadanie 3

Roztwór wodny NaCl -  $S_2$  - podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej, a amoniak w przeciwnym kierunku od dołu z prędkością  $S_1=400$ kg/godz.. Górą kolumny odprowadzany jest amoniak, który nie został zaabsorbowany  $S_3$ . Strumienie  $S_1$  i  $S_3$  zawierają 100% amoniaku.

Roztwór wodny solanki amoniakalnej  $S_4$  zawierający 22 % NaCl oraz 25%  $\text{NH}_3$  jest kierowany do kolumny karbonizacyjnej C z prędkością  $S_4=1200$ kg/godz.. Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla ( $S_5$ ). Stosunek molowy wprowadzanego chlorku sodu do wlotowego ditlenku węgla  $\text{NaCl}/\text{CO}_2 = 1:2$ . Górą kolumny jest odprowadzany nadmiar ditlenku węgla  $S_6$ . Proces przebiega z wydajnością  $\alpha = 50\%$ .

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_7$  i  $S_8$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S_8$  jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. Woda stanowi 4% strumienia  $S_8$ . W strumieniu  $S_7$  odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej.

### Obliczyć:

1. Strumień  $S_2$ ,  $S_3$  w kg/godz. i skład  $S_2$  w procentach lub ułamkach masowych.
2. Natężenie przepływu ditlenku węgla na wlocie i wylocie z kolumny karbonizacyjnej w kg/godz..
3. Strumień:  $S_7$ ,  $S_8$  w kg/godz. i skład  $S_7$  w procentach lub ułamkach masowych.

#### Zadanie 4

Roztwór wodny NaCl, strumień S2, podawany jest od góry kolumny a amoniak w przeciwnym kierunku od dołu w strumieniu S1=510kg/godz.. Górą kolumny odprowadzany jest amoniak, który nie został zaabsorbowany – strumień S3. Strumienie S1 i S3 zawierają 100% amoniaku.

Solanka amoniakalna z dołu kolumny absorpcyjnej jest kierowana do kolumny karbonizacyjnej. Roztwór wodny solanki amoniakalnej S4 zawierający 27 % NaCl, 20% NH<sub>3</sub>, jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej z szybkością S4=2148 kg/godz.. Od dołu kolumny podawany jest strumień S5 zawierający 100% ditlenku węgla. Stosunek molowy wprowadzanego chlorku sodu do wprowadzanego ditlenku węgla NaCl/CO<sub>2</sub> = 1:2. Górą kolumny jest odprowadzany nadmiar ditlenku węgla (S6).

Powstający bikarbonat NaHCO<sub>3</sub> wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie NaHCO<sub>3</sub>. Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S7 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S8 jest tylko NaHCO<sub>3</sub> i część wody. Woda stanowi 5% strumienia S8. W strumieniu S7 odprowadza się 371 kg/godz. chlorku amonu oraz pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej.

#### Obliczyć:

1. Strumień S2, S3 w kg/godz. i skład S2 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Natężenie przepływu ditlenku węgla na wlocie i wylocie z kolumny karbonizacyjnej w kg/godz..
3. Strumień: S7, S8 w kg/godz. i skład S7 w procentach lub ułamkach masowych.
4. Wydajność procesu.

#### Zadanie 5

Roztwór wodny NaCl, strumień S2, podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej a amoniak w przeciwnym kierunku od dołu S1. Górą kolumny odprowadzany jest amoniak, który nie został zaabsorbowany – strumień S3. Amoniak ulega absorpcji w 98%. Strumienie S1 i S3 zawierają 100% amoniaku.

Roztwór wodny solanki amoniakalnej S4 z dołu kolumny absorpcyjnej jest kierowana do kolumny karbonizacyjnej. Strumień S4 zawierający 30% NaCl, 15% NH<sub>3</sub>, jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej z szybkością S4=2900 kg/godz.. Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla S5. Stosunek molowy wprowadzanego chlorku sodu do wlotowego ditlenku węgla NaCl/CO<sub>2</sub> = 1:1,5. Górą kolumny jest odprowadzany nadmiar ditlenku węgla w ilości S6=418 kg/godz..

Powstający bikarbonat NaHCO<sub>3</sub> wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie NaHCO<sub>3</sub>. Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S7 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S8 jest tylko NaHCO<sub>3</sub> i część wody. Woda stanowi 6% strumienia S8. W strumieniu S7 odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej.

#### Obliczyć:

1. Strumień S1, S2, S3 w kg/godz. i skład S2 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Natężenie przepływu ditlenku węgla na wlocie kolumny karbonizacyjnej w kg/godz..
3. Strumień: S7, S8 w kg/godz. i skład S7 w procentach lub ułamkach masowych.
4. Wydajność procesu.

### Zadanie 6

Roztwór wodny NaCl, strumień S, podawany jest od góry kolumny a amoniak w przeciwnym kierunku od dołu – strumień S1. Nie ulega absorpcji 4% amoniaku ze strumienia S1 i jest odprowadzane górą kolumny w strumieniu S3. Strumienie S1 i S3 zawierają 100% amoniaku.

Solanka amoniakalna z dołu kolumny absorpcyjnej jest kierowana do kolumny karbonizacyjnej. Roztwór wodny solanki amoniakalnej S4 zawierający 28% NaCl, 11% NH<sub>3</sub>, jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej z szybkością S4 = 2300 kg/godz.. Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla z prędkością S5 = 792 kg/godz.. Górą kolumny jest odprowadzany nadmiar ditlenku węgla.

Powstający bikarbonat NaHCO<sub>3</sub> wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie NaHCO<sub>3</sub>. Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S7 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S8 jest tylko NaHCO<sub>3</sub> i część wody. Woda stanowi 5% strumienia S8. W strumieniu S7 odprowadza się 153 kg/godz. amoniaku oraz pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej.

#### Obliczyć:

1. Strumień S1, S2, S3 w kg/godz. i skład S2 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Natężenie przepływu ditlenku węgla na wlocie z kolumny karbonizacyjnej w kg/godz..
3. Strumień: S7, S8 w kg/godz. i skład S7 w procentach lub ułamkach masowych.
4. Wydajność procesu.

### Zadanie 7

Roztwór wodny NaCl, strumień S2, podawany jest od góry kolumny a amoniak S1 w przeciwnym kierunku od dołu. Nie ulega absorpcji 3% amoniaku ze strumienia S1 i jest odprowadzane górą kolumny - S3. Strumienie S1 i S3 zawierają 100% amoniaku.

Solanka amoniakalna z dołu kolumny absorpcyjnej jest kierowana do kolumny karbonizacyjnej. Roztwór wodny solanki amoniakalnej S4 zawierający 28% NaCl, 11% NH<sub>3</sub>, jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej z szybkością S4 = 4600 kg/godz.. Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla. Stosunek molowy CO<sub>2</sub> : NaCl = 1,5 :1. Górą kolumny jest odprowadzany nadmiar ditlenku węgla. Proces przebiega w temp 60 °C.

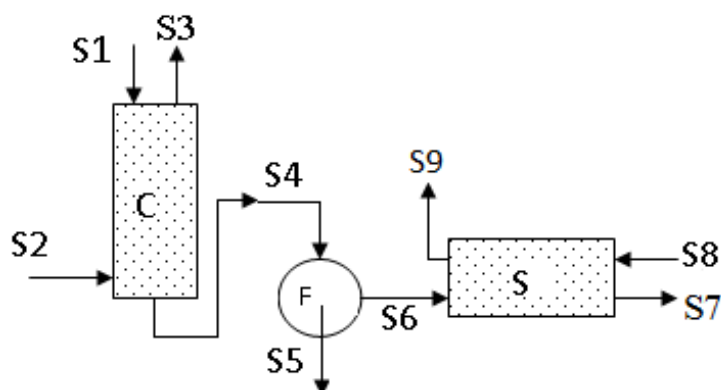
Powstający bikarbonat NaHCO<sub>3</sub> wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie NaHCO<sub>3</sub>. Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S7 i S8. Zakładamy, że w strumieniu S8 jest tylko NaHCO<sub>3</sub> i część wody. Woda stanowi 7% strumienia S8. W strumieniu S7 odprowadza się 221 kg/godz. amoniaku oraz pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej.

#### Obliczyć:

1. Strumień S1, S2, S3 w kg/godz. i skład S2 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Natężenie przepływu ditlenku węgla na wlocie i wylocie z kolumny karbonizacyjnej w kg/godz..
3. Strumień: S7, S8 w kg/godz. i skład S7 w procentach lub ułamkach masowych.
4. Wydajność procesu.

#### 4.8. Produkcja bikarbonatu ( $\text{NaHCO}_3$ ) i suszenie produktu

Na rysunku jest przedstawiony schemat fragmentu instalacji do produkcji bikarbonatu –  $\text{NaHCO}_3$ . Składa się z kolumny karbonizacyjnej C, wirówki F i suszarki S.



W kolumnie karbonizacyjnej C roztwór solanki amoniakalnej jest nasycany ditlenkiem węgla i przebiega następująca reakcja:



**Masy molowe** w g/mol:  $\text{NaCl}$  – 58;  $\text{NaHCO}_3$  – 84;  $\text{NH}_3$  – 17;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – 53;  $\text{CO}_2$  – 44

##### Zadanie 1

Roztwór wodny solanki amoniakalnej S1 zawierający 29 %  $\text{NaCl}$  oraz 20%  $\text{NH}_3$  jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej C z prędkością  $S1=1000\text{kg/godz.}$ . Od dołu kolumny podawany jest strumień S2 zawierający 100% ditlenku węgla. Stosunek molowy wprowadzanego chlorku sodu do wlotowego ditlenku węgla  $\text{NaCl}/\text{CO}_2 = 1:2,5$ . Górą kolumny jest odprowadzany nieprzereagowany ditlenk węgla S3. Proces przebiega w temp  $60^\circ\text{C}$  z wydajnością  $\alpha = 65\%$ .

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S5 i S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. W strumieniu S5 odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Mokry węglan S6 jest kierowany do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi S8, które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Początkowa wilgotność mokrego węglanu 15%, opuszcza on suszarkę zawierając 3% wody. Suche gazy wprowadzane do suszarki zawierają 0,5% wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych S8 w stosunku do mokrego węglanu S6 wynosi  $a = 3$ .

##### Obliczyć:

1. Strumień S2, S3 w kg/godz..
2. Strumień S5 w kg/godz. i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
3. Strumień S6, S7, S8, S9 w kg/godz. i zawartość wody w strumieniu S9 w procentach lub ułamkach masowych.

## Zadanie 2

Roztwór wodny solanki amoniakalnej S1 zawierający 27% NaCl oraz 20% NH<sub>3</sub> jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej C. Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla S2. Proces przebiega z wydajnością  $\alpha = 50\%$ . Górą kolumny jest odprowadzany nieprzereagowany ditlenek węgla S3=220 kg/godz..

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie NaHCO<sub>3</sub>. Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S5 i S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest tylko NaHCO<sub>3</sub> i część wody. W strumieniu S5 odprowadza się 424 kg/godz. NH<sub>4</sub>Cl oraz pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Mokry węglan S6 jest kierowany do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi S8, które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Początkowa wilgotność mokrego węglanu 10%, opuszcza on suszarkę zawierając 2% wody. Suche gazy wprowadzane do suszarki zawierają 1% wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów S8 spalinowych w stosunku do mokrego węglanu S6 wynosi  $a = 4$ .

### Obliczyć:

1. Strumień S1, S2 w kg/godz..
2. Strumień S5 w kg/godz. i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
3. Strumień S6, S7, S8, S9 w kg/godz. i zawartość wody w strumieniu S9 w procentach lub ułamkach masowych.

## Zadanie 3

Roztwór wodny solanki amoniakalnej S1 zawierający 26% NaCl oraz NH<sub>3</sub> jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej C. Stosunek molowy NaCl/ NH<sub>3</sub> = 1: 2. Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla S2 z prędkością S2=440kg/godz.. Reakcja przebiega w temp 60 °C z wydajnością  $\alpha = 40\%$ . Górą kolumny jest odprowadzany nieprzereagowany ditlenek węgla S3.

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie NaHCO<sub>3</sub>. Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S5 i S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest tylko NaHCO<sub>3</sub> i część wody. W strumieniu S5 odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Mokry węglan jest kierowany do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi, które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Strumień S6 = 400kg/godz.. Początkowa wilgotność mokrego węglanu 16%, opuszcza on suszarkę suchy zawierając 4% wody. Suche gazy wprowadzane do suszarki zawierają 1% wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych S8 w stosunku do mokrego węglanu S6 wynosi  $a = 3,5$ .

### Obliczyć:

1. Strumień S1, S3 w kg/godz..
2. Strumień S5 w kg/godz. i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
3. Strumień S7, S8, S9 w kg/godz. i zawartość wody w strumieniu S9 w procentach lub ułamkach masowych.

#### Zadanie 4

Roztwór wodny solanki amoniakalnej S1 zawierający 26 % NaCl oraz 22% NH<sub>3</sub> jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej. Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla S2. Nieprzereagowany CO<sub>2</sub> odprowadzany jest u góry kolumny w strumieniu S3. Stosunek molowy wprowadzanego amoniaku do ilości wprowadzanego CO<sub>2</sub> w S2 wynosi NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub> = 2:1. Reakcja przebiega w temp 60 °C z wydajnością  $\alpha = 62\%$ .

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie NaHCO<sub>3</sub>. Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S5 i S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest tylko NaHCO<sub>3</sub> i część wody. W strumieniu S5 odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Mokry węglan S6 jest kierowany do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi S8, które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Początkowa wilgotność mokrego węglanu 12%, opuszcza on suszarkę zawierając 2% wody. Strumień S7 = 600 kg/godz.. Suche gazy wprowadzane do suszarki zawierają 1% wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych S8 w stosunku do mokrego węglanu S6 wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Strumień S1, S2, S3 w kg/godz..
2. Strumień S5 w kg/godz. i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
3. Strumień S6, S8, S9 w kg/godz. i zawartość wody w strumieniu S9 w procentach lub ułamkach masowych.

#### Zadanie 5

Roztwór wodny solanki amoniakalnej zawierający NaCl oraz NH<sub>3</sub> jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej C z szybkością S1=1450 kg/godz.. Stosunek molowy NaCl/ NH<sub>3</sub> = 1: 2. Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla S2. Stosunek molowy wprowadzanego chlorku sodu do wlotowego ditlenku węgla NaCl/CO<sub>2</sub> = 1: 2. Nieprzereagowany CO<sub>2</sub> odprowadzany jest u góry kolumny w strumieniu S3. Proces przebiega w temp 60 °C z wydajnością  $\alpha = 60\%$ .

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie NaHCO<sub>3</sub>. Straty węglanu w procesie wirowania pominać. Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień S5 i S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest tylko NaHCO<sub>3</sub> i część wody. W strumieniu S5 odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Mokry węglan S6 jest kierowany do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi S8, które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Szybkość wprowadzania strumienia S6 wynosi S6 = 600kg/godz.. Początkowa wilgotność mokrego węglanu 16%, opuszcza on suszarkę zawierając 3% wody. Suche gazy wprowadzane do suszarki zawierają 1% wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych S8 w stosunku do mokrego węglanu S6 wynosi  $a = 3$ .

#### Obliczyć:

1. Strumień S2, S3 w kg/godz. oraz skład strumienia S1 w procentach lub ułamkach masowych.
2. Strumień S5 w kg/godz. i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
3. Strumień S7, S8, S9 w kg/godz. i zawartość wody w strumieniu S9 w procentach lub ułamkach masowych.

### Zadanie 6

Roztwór wodny solanki amoniakalnej zawierający  $\text{NaCl}$  oraz  $\text{NH}_3$  jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej C z szybkością  $S1 = 3000 \text{ kg/godz.}$ . Stosunek molowy  $\text{NaCl}/\text{NH}_3 = 1: 2$ . Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla  $S2 = 484 \text{ kg/godz.}$ . Proces przebiega w temp  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  z wydajnością  $\alpha = 60\%$ . Górą kolumny jest odprowadzany nieprzereagowany ditlenk węgla  $S3$ .

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień  $S5$  i  $S6$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S6$  jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. W strumieniu  $S5$  odprowadza się  $318 \text{ kg/godz.}$   $\text{NH}_4\text{Cl}$  oraz pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Mokry węglan  $S6$  jest kierowany do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi  $S8$ , które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Początkowa wilgotność mokrego węglanu  $16\%$ , opuszcza on suszarkę suchy zawierając  $1,5\%$  wody. Suche gazy wprowadzane do suszarki zawierają  $1\%$  wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów  $S8$  spalinowych w stosunku do mokrego węglanu  $S6$  wynosi  $a = 3,6$ .

#### Obliczyć:

1. Strumień  $S3$  w  $\text{kg/godz.}$  oraz skład strumienia  $S1$  w procentach lub ułamkach masowych.
2. Strumień  $S5$  w  $\text{kg/godz.}$  i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
3. Strumień  $S6, S7, S8, S9$  w  $\text{kg/godz.}$  i zawartość wody w strumieniu  $S9$  w procentach lub ułamkach masowych.

### Zadanie 7

Roztwór wodny solanki amoniakalnej  $S1$  zawierający  $29\%$   $\text{NaCl}$  oraz  $\text{NH}_3$  jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej. Stosunek molowy  $\text{NaCl}/\text{NH}_3 = 1: 1,5$ . Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla  $S2$ . Proces przebiega w temp  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  z wydajnością  $\alpha = 50\%$ . Górą kolumny jest odprowadzany nadmiar ditlenku węgla  $S3 = 220 \text{ kg/godz.}$

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień  $S5$  i  $S6$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S6$  jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. W strumieniu  $S5$  odprowadza się  $265 \text{ kg/godz.}$   $\text{NH}_4\text{Cl}$  oraz pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Mokry węglan  $S6$  jest kierowany do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi  $S8$ , które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Początkowa wilgotność mokrego węglanu  $10\%$ , opuszcza on suszarkę suchy zawierając  $3\%$  wody. Suche gazy wprowadzane do suszarki zawierają  $1\%$  wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów  $S8$  spalinowych w stosunku do mokrego węglanu  $S6$  wynosi  $a = 3$ .

#### Obliczyć:

1. Strumień  $S1, S2$  w  $\text{kg/godz.}$
2. Strumień  $S5$  w  $\text{kg/godz.}$  i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
3. Strumień  $S6, S7, S8, S9$  w  $\text{kg/godz.}$  i zawartość wody w strumieniu  $S9$  w procentach lub ułamkach masowych.



### Zadanie 8

Roztwór wodny solanki amoniakalnej zawierający 35% NaCl oraz  $\text{NH}_3$  jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej  $S1 = 1657 \text{ kg/godz.}$ . Stosunek molowy NaCl/  $\text{NH}_3 = 1: 2$ . Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla  $S2 = 440 \text{ kg/godz.}$ . Górą kolumny jest odprowadzany nieprzereagowany ditlenk węgla ( $S3$ ).

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień  $S5$  i  $S6$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S6$  jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. W strumieniu  $S5$  odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Mokry węglan  $S6$  jest kierowany do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi  $S8$ , które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Strumień  $S6$  wprowadzany do suszarki  $S6=500 \text{ kg/godz.}$ . Początkowa wilgotność mokrego węglanu 16%, opuszcza on suszarkę zawierając 3% wody. Suche gazy wprowadzane do suszarki  $S8$  zawierają 1% wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S8$  w stosunku do mokrego węglanu  $S6$  wynosi  $a = 3,3$ .

#### Obliczyć:

1. Strumień  $S3$  w  $\text{kg/godz.}$ .
2. Strumień  $S5$  w  $\text{kg/godz.}$  i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
3. Strumień  $S7$ ,  $S8$ ,  $S9$  w  $\text{kg/godz.}$  i zawartość wody w strumieniu  $S9$  w procentach lub ułamkach masowych.

### Zadanie 9

Roztwór wodny solanki amoniakalnej zawierający 29 % NaCl oraz 16%  $\text{NH}_3$  jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej z prędkością  $S1=1600\text{kg/godz.}$ . Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla  $S2=550 \text{ kg/godz.}$ . Nieprzereagowany  $\text{CO}_2$  odprowadzany jest u góry kolumny w strumieniu  $S3$  z szybkością  $S3=330\text{kg/godz.}$ . Proces przebiega w temp  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień  $S5$  i  $S6$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S6$  jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. W strumieniu  $S5$  odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Mokry węglan jest kierowany do suszarki obrotowej w strumieniu  $S6$  gdzie jest suszony gazami spalinowymi  $S8$ , które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Początkowa wilgotność mokrego węglanu 13%, opuszcza suszarkę w strumieniu  $S7$  zawierając 2% wody. Suche gazy wprowadzane do suszarki  $S8$  zawierają 1% wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S8$  w stosunku do mokrego węglanu  $S6$  wynosi  $a = 3,5$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność bikarbonatu.
2. Strumień  $S5$  w  $\text{kg/godz.}$  i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
3. Strumień  $S6$ ,  $S7$ ,  $S8$ ,  $S9$  w  $\text{kg/godz.}$  i zawartość wody w strumieniu  $S9$  w procentach lub ułamkach masowych.

### Zadanie 10

Roztwór wodny solanki amoniakalnej zawierający 25 % NaCl oraz 20%  $\text{NH}_3$  jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej C z prędkością  $S_1=1740\text{kg/godz.}$ . Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla  $S_2=440\text{ kg/godz.}$  Proces przebiega w temp  $60\text{ }^\circ\text{C}$ . Nieprzereagowany  $\text{CO}_2$  odprowadzany jest u góry kolumny w strumieniu  $S_3$ .

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_5$  i  $S_6$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S_6$  jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. W strumieniu  $S_5$  odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Mokry bikarbonat jest kierowany do suszarki obrotowej w strumieniu  $S_6=430\text{ kg/godz}$  gdzie jest suszony gazami spalinowymi  $S_8$ , które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Początkowa wilgotność mokrego węglanu 9%, opuszcza suszarkę w strumieniu  $S_7$  zawierając 2% wody. Suche gazy  $S_8$  wprowadzane do suszarki zawierają 1% wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S_8$  w stosunku do mokrego węglanu  $S_6$  wynosi  $a = 3,5$ .

#### Obliczyć:

1. Stopień konwersji NaCl.
2. Strumień  $S_3$  w  $\text{kg/godz.}$ .
3. Strumień  $S_5$  w  $\text{kg/godz.}$  i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
4. Strumień  $S_7$ ,  $S_8$ ,  $S_9$  w  $\text{kg/godz.}$  i zawartość wody w strumieniu  $S_9$  w procentach lub ułamkach masowych.

### Zadanie 11

Roztwór wodny solanki amoniakalnej zawierający 32% NaCl oraz  $\text{NH}_3$  jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej C  $S_1 = 1800\text{ kg/godz.}$ . Stosunek molowy NaCl/  $\text{NH}_3 = 1: 1,5$ . Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla  $S_2$ . Proces przebiega w temp  $60\text{ }^\circ\text{C}$ . Górą kolumny jest odprowadzany nieprzereagowany ditlenek węgla  $S_3=5\text{kmol/h}$ .

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_5$  i  $S_6$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S_6$  jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. W strumieniu  $S_5$  odprowadza się  $265\text{ kg/godz.}$   $\text{NH}_4\text{Cl}$  oraz pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Strumień  $S_6$  zawierający węglan i wodę jest kierowany do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi  $S_8$ , które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Początkowa wilgotność mokrego węglanu 10%, opuszcza on suszarkę zawierając 2% wody  $S_7$ . Suche gazy  $S_8$  wprowadzane do suszarki zawierają 1% wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S_8$  w stosunku do mokrego węglanu  $S_6$  wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność bikarbonatu.
2. Strumień  $S_2$ ,  $S_3$  w  $\text{kg/godz.}$ .
3. Strumień  $S_5$  w  $\text{kg/godz.}$  i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
4. Strumień  $S_6$ ,  $S_7$ ,  $S_8$ ,  $S_9$  w  $\text{kg/godz.}$  i zawartość wody w strumieniu  $S_9$  w procentach lub ułamkach masowych.

## Zadanie 12

Roztwór wodny solanki amoniakalnej zawierający 29% NaCl oraz  $\text{NH}_3$  jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej C z szybkością  $S_1 = 2000 \text{ kg/godz.}$ . Stosunek molowy NaCl/ $\text{NH}_3 = 1: 1,2$ . Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla  $S_2$ . Proces przebiega w temp  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Górą kolumny jest odprowadzany nieprzereagowany ditlenk węgla  $S_3 = 5,2 \text{ kmol/godz.}$

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_5$  i  $S_6$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S_6$  jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. W strumieniu  $S_5$  odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

Strumień  $S_6$  zawierający węglan i wodę jest kierowany do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi  $S_8$ , które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Strumień  $S_6 = 560 \text{ kg/godz.}$ . Początkowa wilgotność mokrego węglanu 10%, opuszcza on suszarkę  $S_7$  zawierając 2% wody. Suche gazy wprowadzane do suszarki  $S_8$  zawierają 1% wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S_8$  w stosunku do mokrego węglanu  $S_6$  wynosi  $a = 3$ .

### Obliczyć:

1. Wydajność procesu.
2. Strumień  $S_2$ ,  $S_5$  w  $\text{kg/godz.}$  i skład  $S_5$  w procentach lub ułamkach masowych.
3. Strumień  $S_7$ ,  $S_8$ ,  $S_9$  w  $\text{kg/godz.}$  i zawartość wody w strumieniu  $S_9$  w procentach lub ułamkach masowych.

## Zadanie 13

Roztwór wodny solanki amoniakalnej zawierający NaCl oraz 20,4%  $\text{NH}_3$  jest podawany od góry kolumny karbonizacyjnej  $S_1 = 1000 \text{ kg/godz.}$ . Stosunek molowy NaCl/ $\text{NH}_3 = 1: 2$ . Od dołu kolumny podawany jest strumień zawierający 100% ditlenku węgla z szybkością  $S_2 = 440 \text{ kg/godz.}$ . Stosunek molowy wprowadzanego chlorku sodu do wprowadzanego ditlenku węgla wynosi  $\text{NaCl}/\text{CO}_2 = 1: 2$ . Nieprzereagowany  $\text{CO}_2$  odprowadzany jest u góry kolumny w strumieniu  $S_3$ . Proces przebiega w temp  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Powstający bikarbonat wytrąca się z roztworu i mieszanina poreakcyjna kierowana jest do wirówki gdzie następuje odwirowanie  $\text{NaHCO}_3$ . Zakładamy, że bikarbonat nie rozpuszcza się w wodzie. Zakładamy, że proces filtracji przebiega bez strat. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_5$  i  $S_6$ . Zakładamy, że w strumieniu  $S_6$  jest tylko  $\text{NaHCO}_3$  i część wody. W strumieniu  $S_5$  odprowadza się pozostałe składniki mieszaniny reakcyjnej w roztworze wodnym.

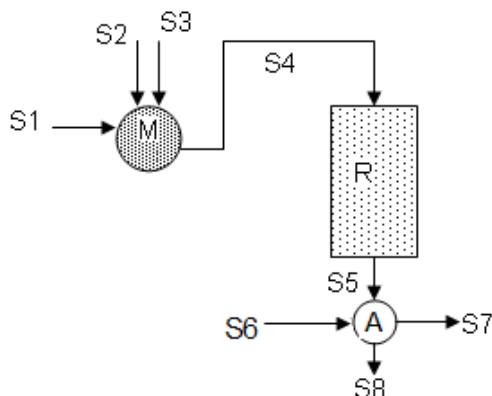
Strumień  $S_6$  zawierający węglan i wodę jest kierowany do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi  $S_8$ , które przepływają w przeciwnym kierunku do węglanu. Początkowa wilgotność mokrego węglanu 16%, opuszcza on suszarkę suchy zawierając 2% wody. Strumień  $S_7 = 365 \text{ kg/godz.}$ . Suche gazy wprowadzane do suszarki  $S_8$  zawierają 1% wody. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S_8$  w stosunku do mokrego węglanu  $S_6$  wynosi  $a = 4$ .

### Obliczyć:

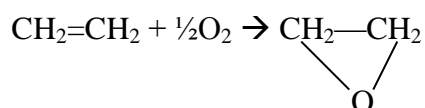
1. Wydajność bikarbonatu.
2. Strumień  $S_3$  w  $\text{kg/godz.}$  oraz skład strumienia  $S_1$  w procentach lub ułamkach masowych.
3. Strumień  $S_5$  w  $\text{kg/godz.}$  i jego skład w procentach lub ułamkach masowych.
4. Strumień  $S_6$ ,  $S_8$ ,  $S_9$  w  $\text{kg/godz.}$  i zawartość wody w strumieniu  $S_9$  w procentach lub ułamkach masowych.

#### 4.9. Utlenianie etylenu do tlenku etylenu

Na rysunku przedstawiono fragment instalacji utlenienia etylenu do tlenku etylenu (TE) składający się z węzła mieszania gazów M, reaktora R oraz absorbera A.



W reaktorze R przeprowadza się reakcję utleniania etylenu do tlenku etylenu tlenem z powietrza w temp. 250-270°C przy ciśnieniu 1,8-2,5 MPa przy zastosowaniu katalizatora, którym jest metaliczne srebro (15%) osadzone na tlenku glinu. Czas zetknięcia reagentów z katalizatorem 1-3 sek. Ze względu na niebezpieczeństwo wybuchu zawartość tlenu w mieszaninie reakcyjnej nie może przekraczać 6%. Przebiega reakcja utlenienia etylenu wg. równania:



Po reakcji gazy opuszczające reaktor są kierowane do absorbera gdzie tlenek etylenu oddziela się od nieprzereagowanych gazów przez absorpcję w wodzie. Część gazów po reakcji jest zwracana i po dodaniu świeżych porcji etylenu i powietrza w punkcie mieszania M jest kierowana do reaktora.

**Masy molowe:** etylen 28 g/mol; tlenek etylenu 44 g/mol; tlen 32 g/mol; azot 28 g/mol CO<sub>2</sub> 44 g/mol;

#### Zadanie 1

Do mieszalnika doprowadza się strumień S1 = 1905 kg/godz., który jest mieszaniną o składzie w procentach masowych: 1,3% etylen, 1,7% tlen, 65% CO<sub>2</sub>, 32% azot. Strumień ten jest wzbogacany przez dodanie 100% etylenu S2 i powietrza S3. Skład powietrza przyjmujemy 20% masowych tlenu i 80% masowych azotu. Po zmieszaniu uzyskuje się mieszaninę S4 = 2800 kg/godz., która zawiera 10,25% masowych etylenu i jest kierowana do reaktora R. Przebiega reakcja.

Po reakcji mieszanina gazów jest odprowadzana z reaktora w strumieniu S5. Tlenek etylenu jest wmywany wodą wprowadzaną w strumieniu S6 i odbierany wraz z wodą w strumieniu S8. Strumień wody S6 jest dodawany w stosunku masowym do strumienia S5 : S6 = 1:2. Zakładamy, że 100% tlenku etylenu zawartego w mieszaninie poreakcyjnej przechodzi do strumienia S8. Ilość TE w strumieniu S8 wynosi 352 kg/godz.. Pozostałe gazy poreakcyjne uchodzą w strumieniu S7 i nie zawierają wody ani TE.

#### Obliczyć:

1. Obliczyć stopień konwersji etylenu.
2. Natężenie przepływu strumieni S2, S3 w kg/godz. oraz skład S4 w % lub ułamkach masowych.
3. Natężenie przepływu S7 i S8 w kg/godz. oraz ich składy w % lub ułamkach masowych.

## Zadanie 2

Do mieszalnika doprowadza się strumień S1 w kg/godz., który jest mieszaniną zawierającą etylen, tlen, CO<sub>2</sub>, azot. Strumień ten jest wzbogacany przez dodanie 100% etylenu S2 = 260 kg/godz. i powietrza S3=750 kg/godz.. Skład powietrza przyjmujemy 24% masowych tlenu i 76% masowych azotu. Po zmieszaniu uzyskuje się mieszaninę S4 = 3200 kg/godz., która zawiera w procentach masowych: 8,75 % etylen, 6% tlen, 33% CO<sub>2</sub>, 52,25% azot i jest kierowana do reaktora R. Przebiega reakcja.

Po reakcji mieszanina gazów jest odprowadzana z reaktora w strumieniu S5. Tlenek etylenu jest wmywany wodą wprowadzaną w strumieniu S6 i odbierany wraz z wodą w strumieniu S8. Strumień wody S6 jest dodawany w stosunku masowym do strumienia S5 : S6 = 1:4. Zakładamy, że 100% tlenu etylenu zawartego w mieszaninie poreakcyjnej przechodzi do strumienia S8. Ilość TE w strumieniu S8 wynosi 418 kg/godz.. Pozostałe gazy poreakcyjne uchodzą w strumieniu S7 i nie zawierają wody ani TE.

### Obliczyć:

1. Obliczyć stopień konwersji etylenu.
2. Natężenie przepływu strumieni S1 w kg/godz. oraz skład S1 w % lub ułamkach masowych.
3. Natężenie przepływu S7 i S8 w kg/godz. oraz ich składy w % lub ułamkach masowych.

## Zadanie 3

Do mieszalnika doprowadza się strumień S1=3030 kg/godz., który jest mieszaniną o składzie w procentach masowych: 1,2% etylen, 2,1% tlen, 31,7 % CO<sub>2</sub>, 65% azot. Strumień ten jest wzbogacany przez dodanie 100% etylenu S2=272 kg/godz. i powietrza S3. Skład powietrza przyjmujemy 24% masowych tlenu i 76% masowych azotu. Po zmieszaniu uzyskuje się mieszaninę S4, która zawiera 23,5% masowych ditlenku węgla i jest kierowana do reaktora R. Przebiega reakcja.

Po reakcji mieszanina gazów jest odprowadzana z reaktora w strumieniu S5. Tlenek etylenu jest wmywany wodą wprowadzaną w strumieniu S6 i odbierany wraz z wodą w strumieniu S8. Strumień wody S6 jest dodawany w stosunku masowym do strumienia S5 : S6 = 1:3. Zakładamy, że 100% tlenu etylenu zawartego w mieszaninie poreakcyjnej przechodzi do strumienia S8. Pozostałe gazy poreakcyjne uchodzą w strumieniu S7 i nie zawierają wody ani TE. W strumieniu S7 stwierdza się obecność 42 kg nieprzereagowanego etylenu.

### Obliczyć:

1. Obliczyć stopień konwersji etylenu.
2. Natężenie przepływu strumieni S3, S4 w kg/godz. oraz skład S4 w % lub ułamkach masowych.
3. Natężenie przepływu S7 i S8 w kg/godz. oraz ich składy w % lub ułamkach masowych.

## Zadanie 4

Do mieszalnika doprowadza się strumień S1=2300 kg/godz., który jest mieszaniną o składzie w procentach masowych: 1,5% etylen, 2,5% tlen, 30% CO<sub>2</sub>, 66% azot. Strumień ten jest wzbogacany przez dodanie 100% etylenu S2 i powietrza S3. Skład powietrza przyjmujemy 24% masowych tlenu i 76% masowych azotu. Po zmieszaniu uzyskuje się mieszaninę S4=3163 kg/godz. , która zawiera 7,3% masowych etylenu i jest kierowana do reaktora R. Przebiega reakcja z wydajnością 75%.

Po reakcji mieszanina gazów jest odprowadzana z reaktora w strumieniu S5. Tlenek etylenu jest wmywany wodą wprowadzaną w strumieniu S6 i odbierany wraz z wodą w strumieniu S8. Strumień wody S6 jest dodawany w stosunku masowym do strumienia S5 : S6 = 1:4. Zakładamy, że 100% tlenu etylenu zawartego w mieszaninie poreakcyjnej przechodzi do strumienia S8. Pozostałe gazy poreakcyjne uchodzą w strumieniu S7 i nie zawierają wody ani TE.

### Obliczyć:

1. Natężenie przepływu strumieni S2, S3 w kg/godz. oraz skład S4 w % lub ułamkach masowych.
2. Natężenie przepływu S7 i S8 w kg/godz. oraz ich składy w % lub ułamkach masowych.

### Zadanie 5

Do mieszalnika doprowadza się strumień S1 w kg/godz., który jest mieszaniną zawierającą etylen, tlen, CO<sub>2</sub>, azot. Strumień ten jest wzbogacany przez dodanie 100% etylenu S2 = 210 kg/godz. i powietrza S3 = 650 kg/godz.. Skład powietrza przyjmujemy 24% masowych tlenu i 76% masowych azotu. Po zmieszaniu uzyskuje się mieszaninę S4 = 2900 kg/godz., która zawiera w procentach masowych: 7,7 % etylen, 6% tlen, 34% CO<sub>2</sub>, 52,3% azot i jest kierowana do reaktora R. Przebiega reakcja z wydajnością 80%.

Po reakcji mieszanina gazów jest odprowadzana z reaktora w strumieniu S5. Tlenek etylenu jest wmywany wodą wprowadzaną w strumieniu S6 i odbierany wraz z wodą w strumieniu S8. Strumień wody S6 jest dodawany w stosunku masowym do strumienia S5 : S6 = 1:3. Zakładamy, że 100% tlenu etylenu zawartego w mieszaninie poreakcyjnej przechodzi do strumienia S8.. Pozostałe gazy poreakcyjne uchodzą w strumieniu S7 i nie zawierają wody ani TE.

#### Obliczyć:

1. Natężenie przepływu strumieni S1 w kg/godz. oraz skład S1 w % lub ułamkach masowych.
2. Natężenie przepływu S7 i S8 w kg/godz. oraz ich składy w % lub ułamkach masowych.

### Zadanie 6

Do mieszalnika doprowadza się strumień S1 = 2000 kg/godz., który jest mieszaniną o składzie w procentach masowych: 0,5% etylen, 2,3% tlen, 38,2 % CO<sub>2</sub>, 59,5% azot. Strumień ten jest wzbogacany przez dodanie 100% etylenu S2 = 186 kg/godz. i powietrza S3. Skład powietrza przyjmujemy 24% masowych tlenu i 76% masowych azotu. Po zmieszaniu uzyskuje się mieszaninę S4, która zawiera 27% masowych ditlenku węgla i jest kierowana do reaktora R. Przebiega reakcja z wydajnością 85%.

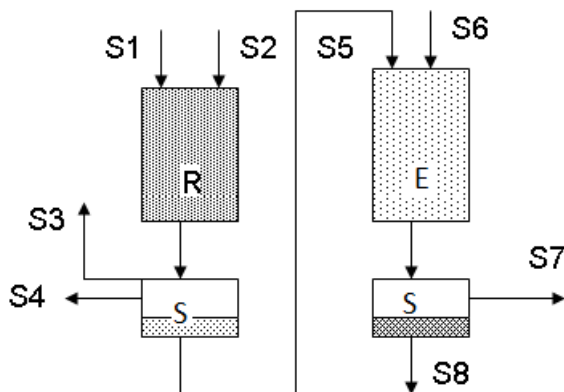
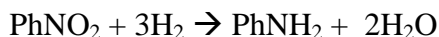
Po reakcji mieszanina gazów jest odprowadzana z reaktora w strumieniu S5. Tlenek etylenu jest wmywany wodą wprowadzaną w strumieniu S6 i odbierany wraz z wodą w strumieniu S8. Strumień wody S6 jest dodawany w stosunku masowym do strumienia S5 : S6 = 1:2. Zakładamy, że 100% tlenu etylenu zawartego w mieszaninie poreakcyjnej przechodzi do strumienia S8. Pozostałe gazy poreakcyjne uchodzą w strumieniu S7 i nie zawierają wody ani TE.

#### Obliczyć:

1. Strumienie S3, S4 w kg/godz. oraz skład S4 w % lub ułamkach masowych.
2. Strumienie S7 i S8 w kg/godz. oraz ich składy w % lub ułamkach masowych.

#### 4.10. Redukcja nitrobenzenu do aniliny

W instalacji przedstawionej na rysunku produkuje się anilinę w reakcji redukcji nitrobenzenu wodorem zgodnie z równaniem:



Instalacja składa się z reaktora R, w którym prowadzi się reakcję, separatorów S oraz kolumny ekstrakcyjnej E. Reakcja prowadzona jest w przepływowym reaktorze ze złożem katalizatora w temp. 300° C. Jako katalizator stosuje się nikiel naniesiony na tlenek glinu.

**Masy molowe:** Nitrobenzen 123 kg/kmol; anilina 93 kg/kmol ; woda 18 kg/kmol

##### Zadanie 1

Strumień nitrobenzenu  $S_1=2460$  kg/godz. i wodoru  $S_2=2240$  m<sup>3</sup>/h wprowadzane są do reaktora. Przebiega reakcja. Mieszaninę poreakcyjną kieruje się do separatora S gdzie oddziela się nieprzereagowany wodór w strumieniu  $S_3=1030,4$  m<sup>3</sup>/h oraz warstwę organiczną S4 zawierającą anilinę i nitrobenzen od warstwy wodnej S5 zawierającej wodę i anilinę. Cała woda jest oddzielana z aniliną.

Frację wodną S5, w której stężenie aniliny wynosi 30% masowych kieruje się do kolumny ekstrakcyjnej. W kolumnie ekstrakcyjnej anilina jest ekstrahowana nitrobenzenem. Zakładamy, że nitrobenzen nie miesza się z wodą. Strumień nitrobenzenu  $S_6 = 2000$ kg/godz. wraz ze strumieniem S5 podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej. Stała podziału aniliny  $K=0,9$ . K definiujemy jako stosunek ułamka masowego aniliny w ekstrakcie S7 do ułamka masowego aniliny w rafinacie S8. Stosunek strumienia ekstraktu S7 do strumienia rafinatu S8 wynosi  $a = 3,03$ .

##### Obliczyć:

1. Wydajność aniliny.
2. Strumienie S4, S5 w kg/godz. i skład S4 w % lub ułamkach masowych.
3. Strumienie S5, S7, S8 w kg/godz. i składy S7, S8 w % lub ułamkach masowych.

## Zadanie 2

Strumień nitrobenzenu  $S_1=2460$  kg/godz. i wodoru  $S_2=4480$  m<sup>3</sup>/h wprowadzane są do reaktora. Przebiega reakcja. Po reakcji mieszaninę poreakcyjną kieruje się do separatora S gdzie oddziela się nieprzereagowany wodór w strumieniu  $S_3=3203$  m<sup>3</sup>/h oraz warstwę organiczną  $S_4$  zawierającą anilinę i nitrobenzen od warstwy wodnej  $S_5$  zawierającej wodę i anilinę. Cała woda jest oddzielana z aniliną.

Frację wodną  $S_5$ , w której stężenie aniliny wynosi 31% kieruje się do kolumny ekstrakcyjnej. W kolumnie ekstrakcyjnej anilina jest ekstrahowana nitrobenzenem. Zakładamy, że nitrobenzen nie miesza się z wodą. Strumień nitrobenzenu  $S_6 = 2000$ kg/godz. wraz ze strumieniem  $S_5$  podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej. Stała podziału aniliny  $K=1,44$ .  $K$  definiujemy jako stosunek ułamka masowego aniliny w ekstrakcie  $S_7$  do ułamka masowego aniliny w rafinacie  $S_8$ . Stosunek strumienia ekstraktu  $S_7$  do strumienia rafinatu  $S_8$  wynosi  $a=3,03$

### Obliczyć:

1. Stopień konwersji nitrobenzenu.
2. Strumień  $S_4$  w kg/godz. i skład  $S_4$  w % lub ułamkach masowych.
3. Strumienie  $S_5$ ,  $S_7$ ,  $S_8$  w kg/godz. i składy  $S_7$ ,  $S_8$  w % lub ułamkach masowych.

## Zadanie 3

Strumień nitrobenzenu  $S_1=1968$  kg/godz. i wodoru  $S_2=3584$  m<sup>3</sup>/h wprowadzane są do reaktora. Reakcja przebiega z wydajnością 94%. Mieszaninę poreakcyjną kieruje się do separatora S gdzie oddziela się nieprzereagowany wodór w strumieniu  $S_3$  oraz warstwę organiczną zawierającą anilinę i nitrobenzen  $S_4$  od warstwy wodnej zawierającej wodę i anilinę  $S_5$ . Cała woda jest oddzielana z aniliną. Zakładamy że nitrobenzen nie miesza się z wodą. Stężenie nitrobenzenu w strumieniu  $S_4$  wynosi 10%.

Frację wodną  $S_5$  zawierającą anilinę kieruje się do kolumny ekstrakcyjnej gdzie anilina jest ekstrahowana za pomocą nitrobenzenu. Strumień nitrobenzenu  $S_6=1000$ kg/godz. wraz ze strumieniem  $S_5$  podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej. Stała podziału aniliny  $K=1,19$ .  $K$  definiujemy jako stosunek ułamka masowego aniliny w ekstrakcie  $S_7$  do ułamka masowego aniliny w rafinacie  $S_8$ . Stosunek strumienia ekstraktu  $S_7$  do strumienia rafinatu  $S_8$  wynosi  $a=1,19$ .

### Obliczyć:

1. Strumienie  $S_3$ ,  $S_4$  w kg/godz. i skład  $S_4$  w % lub ułamkach masowych.
2. Strumienie  $S_5$ ,  $S_7$ ,  $S_8$  w kg/godz. i składy  $S_7$ ,  $S_8$  w % lub ułamkach masowych.

## Zadanie 4

Strumień nitrobenzenu  $S_1$  i wodoru  $S_2$  wprowadzane są do reaktora. Stopień konwersji nitrobenzenu wynosi 93%. Mieszaninę poreakcyjną kieruje się do separatora S gdzie oddziela się nieprzereagowany wodór w strumieniu  $S_3$  oraz warstwę organiczną zawierającą anilinę i nitrobenzen  $S_4$  od warstwy wodnej zawierającej wodę i anilinę  $S_5$ . Cała woda jest oddzielana z aniliną. Strumień nieprzereagowanego wodoru wynosi  $S_3=672$  m<sup>3</sup>/h. Strumień nieprzereagowanego nitrobenzenu i aniliny  $S_4=1239$ kg/godz. a jego skład jest następujący: 10% nitrobenzenu i anilina.

Frację wodną  $S_5$  zawierającą 93 kg/godz. aniliny kieruje się do kolumny ekstrakcyjnej gdzie anilina jest ekstrahowana za pomocą nitrobenzenu. Strumień nitrobenzenu  $S_6 = 400$ kg/godz. wraz ze strumieniem  $S_5$  podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej. Zakładamy że nitrobenzen nie miesza się z wodą. Stała podziału aniliny  $K=1,75$ .  $K$  definiujemy jako stosunek ułamka masowego aniliny w ekstrakcie  $S_7$  do ułamka masowego w rafinacie  $S_8$ . Stosunek strumienia ekstraktu  $S_7$  do strumienia rafinatu  $S_8$  wynosi  $a = 1,72$ .

### Obliczyć:

1. Strumienie  $S_1$ ,  $S_2$  w kg/godz..
2. Strumienie  $S_5$ ,  $S_7$ ,  $S_8$  w kg/godz. i składy  $S_7$ ,  $S_8$  w % lub ułamkach masowych.



### Zadanie 5

Strumień nitrobenzenu S1 i wodoru S2=5600 m<sup>3</sup>/h wprowadzane są do reaktora. Przebiega reakcja z wydajnością 88%. Po reakcji mieszaninę poreakcyjną kieruje się do separatora S gdzie oddziela się nieprzereagowany wodór w strumieniu S3 oraz warstwę organiczną S4 zawierającą anilinę i nitrobenzen od frakcji zawierającej wodę i anilinę S5. Cała woda jest oddzielana z aniliną. Anilina jest obecna w strumieniu S4 oraz S5. W strumieniu S4 odbiera się anilinę z prędkością 1877 kg/godz. a w strumieniu S5 z prędkością 169 kg/godz..

Frację wodną S5zawierającą anilinę kieruje się do kolumny ekstrakcyjnej. W kolumnie ekstrakcyjnej anilina jest ekstrahowana za pomocą nitrobenzenu. Strumień nitrobenzenu S6 = 2000kg/godz. wraz ze strumieniem S5 podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej. Zakładamy że nitrobenzen nie miesza się z wodą. Stała podziału aniliny K = 3,5. K definiujemy jako stosunek ułamka masowego aniliny w ekstrakcie S7 do ułamka masowego w rafinacie S8. Stosunek strumienia rafinatu S8 do strumienia ekstraktu S7 wynosi a = 0,377.

#### Obliczyć:

1. Strumienie S1, S3, S4, S5 w kg/godz. i skład S4, S5 w % lub ułamkach masowych.
2. Strumienie S7, S8 w kg/godz. i składy S7, S8 w % lub ułamkach masowych.

### Zadanie 6

Strumień nitrobenzenu S1 i wodoru S2=2800 m<sup>3</sup>/h wprowadzane są do reaktora. Przebiega reakcja uwodornienia. Po reakcji mieszaninę poreakcyjną kieruje się do separatora S gdzie oddziela się nieprzereagowany wodór w strumieniu S3 oraz warstwę organiczną S4 zawierającą anilinę i nitrobenzen od frakcji zawierającej wodę i anilinę S5. Cała woda jest oddzielana z aniliną. Strumień S4=2107 kg/godz. a stężenie aniliny w S4 wynosi 91%. W strumieniu S5 anilina odbierana jest w z prędkością 186 kg/godz..

Frację wodną zawierającą anilinę kieruje się do kolumny ekstrakcyjnej. W kolumnie ekstrakcyjnej anilina jest ekstrahowana za pomocą nitrobenzenu. Strumień nitrobenzenu S6 = 1000kg/godz. wraz ze strumieniem S5 podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej. Zakładamy że nitrobenzen nie miesza się z wodą. Stała podziału aniliny K = 3,25. K definiujemy jako stosunek ułamka masowego aniliny w ekstrakcie S7 do ułamka masowego w rafinacie S8. Stosunek strumienia rafinatu S8 do strumienia ekstraktu S7 wynosi a = 0,72.

#### Obliczyć:

1. Wydajność procesu.
2. Strumienie S1, S3, S5 w kg/godz. i skład S5 w % lub ułamkach masowych.
3. Strumienie S7, S8 w kg/godz. i składy S7, S8 w % lub ułamkach masowych.

### Zadanie 7

Strumień nitrobenzenu S1 i wodoru S2 wprowadzane są do reaktora. Stopień konwersji nitrobenzenu wynosi 95%. Mieszaninę poreakcyjną kieruje się do separatora S gdzie oddziela się nieprzereagowany wodór w strumieniu S3 oraz warstwę organiczną S4 zawierającą anilinę i nitrobenzen od warstwy wodnej S5 zawierającej wodę i anilinę. Cała woda jest oddzielana z aniliną. Strumień nieprzereagowanego wodoru S3 wynosi S3=26 kg/godz.. W strumieniu S4 jest nieprzereagowany nitrobenzen i anilina, nitrobenzen stanowi 8% strumienia co odpowiada 123 kg nitrobenzenu/godz.

Frację wodną S5 kieruje się do kolumny ekstrakcyjnej gdzie anilina jest ekstrahowana za pomocą nitrobenzenu. Zakładamy że nitrobenzen nie miesza się z wodą. Strumień nitrobenzenu S6=500kg/godz. wraz ze strumieniem S5 podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej. Stała podziału aniliny K = 2,69. K definiujemy jako stosunek ułamka masowego aniliny w ekstrakcie S7 do ułamka masowego w rafinacie S8. Stosunek strumienia rafinatu S8 do strumienia ekstraktu S7 wynosi a =1,022.

#### Obliczyć:

1. Strumienie S1, S2, S4, S5 w kg/godz. i skład S5 w % lub ułamkach masowych.
2. Strumienie S7, S8 w kg/godz. i składy S7, S8 w % lub ułamkach masowych.

### Zadanie 8

Strumień nitrobenzenu S1 i wodoru S2 wprowadzane są do reaktora. Przebiega reakcja. Po reakcji mieszaninę poreakcyjną kieruje się do separatora S gdzie oddziela się nieprzereagowany wodór w strumieniu S3 oraz warstwę organiczną zawierającą anilinę i nitrobenzen S4 od warstwy wodnej zawierającej wodę i anilinę S5. Zakładamy że nitrobenzen nie miesza się z wodą. Strumień nieprzereagowanego wodoru S3 wynosi  $S_3=16$  kg/godz.. Strumień nieprzereagowanego nitrobenzenu i aniliny S4 odprowadzany jest z szybkością  $S_4=1146$  kg/godz. a anilina stanowi 89% strumienia. Strumień S5 odprowadzany jest z szybkością  $S_5=783$  kg/godz. a stężenie wody w tym strumieniu wynosi 64%.

Frakcję wodną S5 kieruje się do kolumny ekstrakcyjnej gdzie anilina jest ekstrahowana za pomocą nitrobenzenu. Strumień nitrobenzenu  $S_6 = 1000$ kg/godz. wraz ze strumieniem S5 podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej. Stała podziału aniliny  $K = 1,8$ . K definiujemy jako stosunek ułamka masowego aniliny w ekstrakcie S7 do ułamka masowego w rafinacie S8. Stosunek strumienia rafinatu S8 do strumienia ekstraktu S7 wynosi  $a = 0,46$ .

#### Obliczyć:

1. Wydajność aniliny.
2. Strumienie S1, S2, S3 w kg/godz..
3. Strumienie S7, S8 w kg/godz. i składy S7, S8 w % lub ułamkach masowych.

### Zadanie 9

Strumień nitrobenzenu  $S_1=1476$  kg/godz. i wodoru S2 wprowadzane są do reaktora. Reakcja przebiega z wydajnością 92%. Mieszaninę poreakcyjną kieruje się do separatora S gdzie oddziela się nieprzereagowany wodór w strumieniu  $S_3=54$ kg/godz. oraz warstwę organiczną S4 zawierającą anilinę i nitrobenzen od warstwy wodnej S5 zawierającej wodę i anilinę. Zakładamy że nitrobenzen nie miesza się z wodą. Strumień nieprzereagowanego nitrobenzenu i aniliny  $S_4=960$  kg/godz. opuszcza separator i zawiera 123kg/godz nitrobenzenu.

Frakcję wodną S5 zawierającą anilinę kieruje się do kolumny ekstrakcyjnej gdzie anilina jest ekstrahowana za pomocą nitrobenzenu. Strumień nitrobenzenu  $S_6=500$ kg/godz. wraz ze strumieniem S5 podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej. Stała podziału aniliny  $K=1,64$ . K definiujemy jako stosunek ułamka masowego aniliny w ekstrakcie S7 do ułamka masowego w rafinacie S8. Stosunek strumienia rafinatu S8 do strumienia ekstraktu S7 wynosi  $a = 0,72$ .

#### Obliczyć:

1. Strumienie S2, S4, S5 w kg/godz. i skład S5 w % lub ułamkach masowych.
2. Strumienie S7, S8 w kg/godz. i składy S7, S8 w % lub ułamkach masowych.

### Zadanie 10

Strumień nitrobenzenu  $S_1=1599$  kg/godz. i wodoru S2 wprowadzane są do reaktora gdzie przebiega reakcja. Mieszaninę poreakcyjną kieruje się do separatora S gdzie oddziela się nieprzereagowany wodór w strumieniu  $S_3=112$ m<sup>3</sup>/h oraz warstwę organiczną S4 zawierającą anilinę i nitrobenzen od warstwy wodnej S5 zawierającej wodę i anilinę. Zakładamy że nitrobenzen nie miesza się z wodą. Strumień S5 opuszcza separator i zawiera 432 kg/godz. wody co stanowi 70% strumienia.

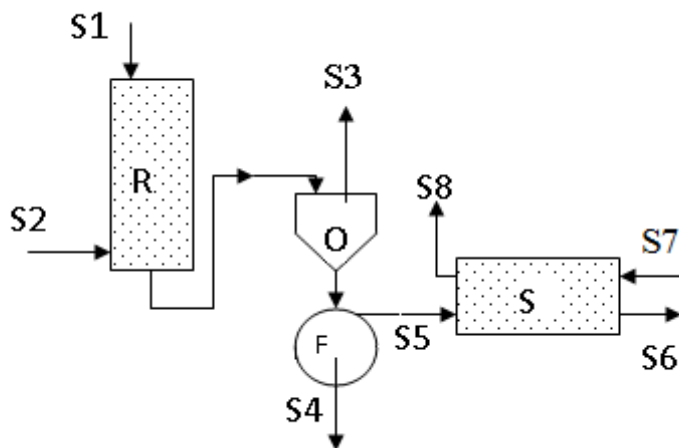
Frakcję wodną S5 zawierającą anilinę kieruje się do kolumny ekstrakcyjnej gdzie anilina jest ekstrahowana za pomocą nitrobenzenu. Strumień nitrobenzenu  $S_6 = 500$ kg/godz. wraz ze strumieniem S5 podawany jest od góry kolumny absorpcyjnej. Stała podziału aniliny  $K=2,2$ . K definiujemy jako stosunek ułamka masowego aniliny w ekstrakcie S7 do ułamka masowego w rafinacie S8. Stosunek strumienia rafinatu S8 do strumienia ekstraktu S7 wynosi  $a=0,745$ .

#### Obliczyć:

1. Strumienie S2, S4, S5 w kg/godz. i skład S4 w % lub ułamkach masowych.
2. Strumienie S7, S8 w kg/godz. i składy S7, S8 w % lub ułamkach masowych.

#### 4.10. Produkcja polipropylenu (PP)

Polipropylen otrzymuje się w reakcji polimeryzacji propylenu zgodnie z równaniem:



Na rysunku przedstawiono fragment instalacji do produkcji polipropylenu (PP). Składa się z reaktora R, separatora O, wirówki F oraz suszarki S.

Reakcja polimeryzacji propylenu prowadzona jest w heksanie jako rozpuszczalniku w temp. 60°C i pod ciśnieniem propylenu 10 MPa. Stosuje się katalizator Zieglera-Natty:  $\text{TiCl}_4/\text{MgCl}_2/\text{Et}_3\text{Al}/(\text{CH}_3\text{O})\text{Si}(\text{Cp})_2$  gdzie Cp = cyklopentadien w ilości 10 ppm. Polipropylen wytrąca się z roztworu i jest kierowany do wirówki.

M.cz propylenu 42 g/mol

##### Zadanie 1

Zawiesina katalizatora w heksanie wprowadzana jest do reaktora z szybkością  $S_1=240$  kg/godz. zawiera 0,0005% masowych katalizatora. Jednocześnie wprowadzany jest propylen w strumieniu  $S_2$ . Reakcja przebiega z wydajnością 96% i uzyskuje się PP o średniej masie cząsteczkowej 42 000 g/mol. Cały katalizator zostaje w PP.

Mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddzielany jest propylen (strumień  $S_3$ ) i do wirówki gdzie oddzielany jest rozpuszczalnik  $S_4$ . Z wirówki jest odbierany strumień  $S_4$  i  $S_5$ . W strumieniu  $S_5$  jest PP i część heksanu. Pozostała część heksanu jest odprowadzana w strumieniu  $S_4$ .

Strumień PP zawierający 12% heksanu  $S_5 = 110$  kg/godz. kierowany jest do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi  $S_7$ , które przepływają w przeciwnym kierunku do PP. PP opuszcza suszarkę w strumieniu  $S_6$  i zawiera 1% heksanu. Suche gazy wprowadzane do suszarki, strumień  $S_7$ , zawierają 0,5% heksanu. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S_7$  w stosunku do strumienia polipropylenu  $S_5$  wprowadzanego do suszarki  $a = 3,5$ .

##### Obliczyć:

1. Strumienie:  $S_2, S_3, S_4$  w kg/godz..
2. Strumienie:  $S_6, S_7, S_8$  w kg/godz. i zawartość heksanu w  $S_8$  w % lub ułamkach masowych.

## Zadanie 2

Zawiesina katalizatora w heksanie wprowadzana jest do reaktora z szybkością  $S_1 = 360$  kg/godz. zawiera 0,0007% masowych katalizatora. Jednocześnie wprowadzany jest propylen w ilości  $S_2 = 210$  kg/godz.. Reakcja przebiega z wydajnością 95% i uzyskuje się PP o średniej masie cząsteczkowej 21 000 g/mol. Cały katalizator zostaje w PP.

Mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddzielany jest propylen i do wirówki gdzie oddzielany jest rozpuszczalnik. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_4$  i  $S_5$ . W strumieniu  $S_5$  jest PP i część heksanu. Pozostała część heksanu jest odprowadzana w strumieniu  $S_4$ .

Strumień PP zawierający 13% heksanu  $S_5$  kierowany jest do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi  $S_7$ , które przepływają w przeciwnym kierunku do PP. PP opuszcza suszarkę zawierając 2% heksanu –  $S_6$ . Suche gazy wprowadzane do suszarki, strumień  $S_7$ , zawierają 0,5% heksanu. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S_7$  w stosunku do strumienia polipropylenu  $S_5$  wprowadzanego do suszarki  $a = 3$ .

### Obliczyć:

1. Strumienie:  $S_3$ ,  $S_4$  w kg/godz..
2. Strumienie:  $S_5$ ,  $S_6$ ,  $S_7$ ,  $S_8$  w kg/godz. i zawartość heksanu w  $S_8$  w % lub ułamkach masowych.

## Zadanie 3

Zawiesina katalizatora w heksanie wprowadzana jest do reaktora z szybkością  $S_1 = 550$  kg/godz. zawiera 0,0007% masowych katalizatora. Jednocześnie wprowadzany jest propylen w ilości  $S_2 = 200$  kg/godz.. Reakcja przebiega i uzyskuje się PP o średniej masie cząsteczkowej 33 600. Cały katalizator zostaje w PP.

Mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddzielany jest propylen i do wirówki gdzie oddzielany jest rozpuszczalnik. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_4$  i  $S_5$ . W strumieniu  $S_5$  jest PP i część heksanu. Pozostała część heksanu jest odprowadzana w strumieniu  $S_4$ .

Strumień  $S_5 = 176$  kg/godz. zawierający 88% PP i heksan kierowany jest do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi, które przepływają w przeciwnym kierunku do PP. PP opuszcza suszarkę zawierając 2% heksanu –  $S_6$ . Suche gazy wprowadzane do suszarki, strumień  $S_7$ , zawierają 0,5% heksanu. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S_7$  w stosunku do strumienia polipropylenu  $S_5$  wprowadzanego do suszarki  $a = 4$ .

### Obliczyć:

1. Stopień konwersji propylenu.
2. Strumienie:  $S_3$ ,  $S_4$  w kg/godz..
3. Strumienie:  $S_6$ ,  $S_7$ ,  $S_8$  w kg/godz. i zawartość heksanu w  $S_8$  w % lub ułamkach masowych.

#### Zadanie 4

Zawiesina katalizatora w heksanie jest wprowadzana do reaktora z szybkością  $S_1 = 450$  kg/godz. i zawiera 0,0001% masowych katalizatora. Jednocześnie wprowadzany jest propylen w strumieniu  $S_2$ . Reakcja przebiega z wydajnością 98% i uzyskuje się PP o średniej masie cząsteczkowej 252000 g/mol. Cały katalizator zostaje w PP.

Mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddzielany jest propylen w ilości  $S_3 = 4,5$  kg/godz. a następnie do wirówki gdzie oddzielany jest rozpuszczalnik. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_4$  i  $S_5$ . W strumieniu  $S_5$  jest PP i część heksanu. Pozostała część heksanu jest odprowadzana w strumieniu  $S_4$ .

Strumień  $S_5$  zawierający 89% PP i heksan kierowany jest do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi, które przepływają w przeciwnym kierunku do PP. PP opuszcza suszarkę, w strumieniu  $S_6$  zawierając 2% heksanu. Suche gazy wprowadzane do suszarki, strumień  $S_7$ , zawierają 0,5% heksanu. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S_7$  w stosunku do strumienia polipropylenu  $S_5$  wprowadzanego do suszarki  $a = 3,5$ .

#### Obliczyć:

1. Strumienie:  $S_2$ ,  $S_4$  w kg/godz..
2. Strumienie:  $S_5$ ,  $S_6$ ,  $S_7$ ,  $S_8$  w kg/godz. i zawartość heksanu w  $S_8$  w % lub ułamkach masowych.

#### Zadanie 5

Zawiesina katalizatora w heksanie jest wprowadzana do reaktora z szybkością  $S_1 = 600$  kg/godz. i zawiera 0,0001% masowych katalizatora. Jednocześnie wprowadzany jest propylen  $S_2$ . Reakcja przebiega z wydajnością 95% i uzyskuje się PP o średniej masie cząsteczkowej 42 000 g/mol. Cały katalizator zostaje w PP.

Mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddzielany jest propylen a następnie do wirówki gdzie oddzielany jest rozpuszczalnik. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_4$  i  $S_5$ . W strumieniu  $S_5$  jest PP i część heksanu. Pozostała część heksanu jest odprowadzana w strumieniu  $S_4$ .

Strumień  $S_5$  zawierający PP i 15% heksanu kierowany jest do suszarki obrotowej gdzie PP jest suszony gazami spalinowymi, które przepływają w przeciwnym kierunku do PP. Uzyskuje się PP zawierający 1% heksanu odbierany z suszarki w strumieniu  $S_6$  z prędkością  $S_6 = 200$  kg/godz.. Suche gazy wprowadzane do suszarki, strumień  $S_7$ , zawierają 0,5% heksanu. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S_7$  w stosunku do strumienia polipropylenu  $S_5$  wprowadzanego do suszarki  $a = 3$ .

#### Obliczyć:

1. Strumienie:  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  w kg/godz..
2. Strumienie:  $S_5$ ,  $S_7$ ,  $S_8$  w kg/godz. i zawartość heksanu w  $S_8$  w % lub ułamkach masowych.

### Zadanie 6

Zawiesina katalizatora w heksanie jest wprowadzana do reaktora z szybkością  $S_1=600$  kg/godz. i zawiera 0,0001% masowych katalizatora. Jednocześnie wprowadzany jest propylen z szybkością  $S_2 = 330$ kg/godz.. Reakcja przebiega i uzyskuje się PP o średniej masie cząsteczkowej 10 000 g/mol. Cały katalizator zostaje w PP.

Mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddzielany jest propylen w ilości  $S_3=21$ kg/godz. a następnie do wirówki gdzie oddzielany jest rozpuszczalnik. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_4$  i  $S_5$ . W strumieniu  $S_5$  jest PP i część heksanu. Pozostała część heksanu jest odprowadzana w strumieniu  $S_4$ .

Strumień  $S_5$  zawierający PP i 8% heksanu kierowany jest do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi, które przepływają w przeciwnym kierunku do PP. PP opuszcza suszarkę w strumieniu  $S_6$  zawiera 1,5% heksanu. Suche gazy wprowadzane do suszarki, strumień  $S_7$ , zawierają 0,5% heksanu. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S_7$  w stosunku do strumienia polipropylenu  $S_5$  wprowadzanego do suszarki  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Stopień konwersji propylenu.
2. Strumienie:  $S_4$  w kg/godz..
3. Strumienie:  $S_5$ ,  $S_6$ ,  $S_7$ ,  $S_8$  w kg/godz. i zawartość heksanu w  $S_8$  w % lub ułamkach masowych.

### Zadanie 7

Zawiesina katalizatora w heksanie wprowadzana do reaktora w strumieniu  $S_1$  zawiera 0,0001% masowych katalizatora. Jednocześnie wprowadzany jest propylen z szybkością  $S_2 = 230$ kg/godz.. Reakcja przebiega i uzyskuje się PP o średniej masie cząsteczkowej 18 000 g/mol. Cały katalizator zostaje w PP.

Mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddzielany jest propylen  $S_3$  a następnie do wirówki gdzie oddzielany jest rozpuszczalnik. Z wirówki jest odbierany strumień  $S_4$  i  $S_5$ . W strumieniu  $S_5$  jest PP i część heksanu. Pozostała część heksanu jest odprowadzana w strumieniu  $S_4= 430$  kg/godz.

Strumień  $S_5$  zawierający PP i 14% heksanu kierowany jest do suszarki obrotowej z prędkością  $S_5 = 230$  kg/godz. gdzie jest suszony gazami spalinowymi, które przepływają w przeciwnym kierunku do PP. PP opuszcza suszarkę w strumieniu  $S_6$ , zawiera 1% heksanu. Suche gazy wprowadzane do suszarki, strumień  $S_7$ , zawierają 0,5% heksanu. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych  $S_7$  w stosunku do strumienia polipropylenu  $S_5$  wprowadzanego do suszarki  $a = 3$ .

#### Obliczyć:

1. Stopień konwersji propylenu.
2. Strumienie:  $S_1$ ,  $S_3$  w kg/godz..
3. Strumienie:  $S_6$ ,  $S_7$ ,  $S_8$  w kg/godz. i zawartość heksanu w  $S_8$  w % lub ułamkach masowych.

### Zadanie 8

Zawiesina katalizatora w heksanie wprowadzana do reaktora zawiera 0,0001% masowych katalizatora, strumień S1. Jednocześnie wprowadzany jest propylen S2. Reakcja przebiega i uzyskuje się PP o średniej masie cząsteczkowej 21 000 g/mol. Cały katalizator zostaje w PP.

Mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddzielany jest nieprzereagowany propylen w ilości S3 = 8 kg/godz. a następnie do wirówki gdzie oddzielany jest rozpuszczalnik. Z wirówki jest odbierany strumień S4 i S5. W strumieniu S5 jest PP i część heksanu. Pozostała część heksanu jest odprowadzana w strumieniu S4 = 330 kg/godz

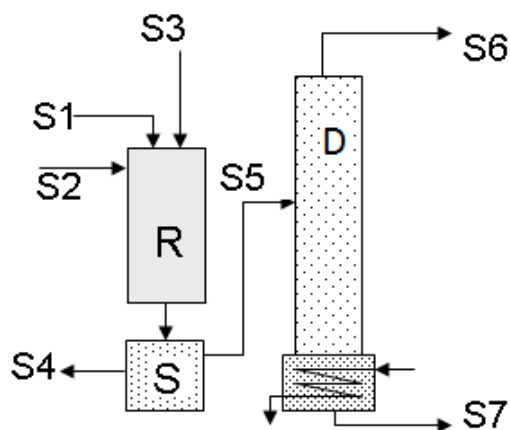
Strumień S5 zawierający PP i 9% heksanu kierowany jest do suszarki obrotowej gdzie jest suszony gazami spalinowymi, które przepływają w przeciwnym kierunku do PP. PP wysuszony opuszcza suszarkę w strumieniu S6 i zawiera 1% heksanu. Uzyskuje się 192kg polipropylenu w przeliczeniu na materiał absolutnie suchy. Suche gazy wprowadzane do suszarki, strumień S7, zawierają 0,5% heksanu. Współczynnik nadmiaru suchych gazów spalinowych S7 w stosunku do strumienia polipropylenu S5 wprowadzanego do suszarki  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Stopień konwersji propylenu.
2. Strumienie: S1, S2 w kg/godz..
3. Strumienie: S5, S6, S7, S8 w kg/godz. i zawartość heksanu w S8 w % lub ułamkach masowych.

#### 4.12. Uwodornienie węglowodorów aromatycznych

W instalacji przedstawionej na rysunku produkuje się cykloheksan w reakcji redukcji benzenu wodorem zgodnie z równaniem:



Schemat instalacji do uwodornienia węglowodorów: R reaktor, S separator, D kolumna destylacyjna.

Reakcja prowadzona jest w heksanie jako rozpuszczalniku w przepływowym reaktorze ze złożem katalizatora. Jako katalizator stosuje się kompleks rodu naniesiony na tlenek glinu.

**Masy molowe:** Benzen 78 kg/kmol; cykloheksan 84 kg/kmol

##### Zadanie 1

Do reaktora wprowadzane są następujące strumienie: strumień benzenu  $S_1=1170$  kg/godz., strumień wodoru  $S_2$ , oraz heksan  $S_3=1290$  kg/godz. Stosunek molowy benzen : wódor = 1 : 3,2. Przebiega reakcja uwodornienia z wydajnością 80%. Mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora gdzie oddzielany jest strumień nieprzereagowanego wodoru  $S_4$ .

Mieszanina poreakcyjna po oddzieleniu wodoru jest kierowana na kolumnę destylacyjną – strumień  $S_5$ . Destylacja jest prowadzona w ten sposób że cały heksan przechodzi do destylatu. Strumień destylatu  $S_6$  o składzie 94% mas. heksanu, 2 % benzenu i 4% cykloheksanu jest odbierany u góry kolumny destylacyjnej.

##### Obliczyć:

1. Strumień  $S_2$  w kg/godz. oraz nieprzereagowanego wodoru  $S_4$  w kg/godz..
2. Strumień  $S_5$  w kg/godz. i jego skład w % lub ułamkach masowych.
3. Strumień destylatu  $S_6$  oraz cieczy wyczerpanej  $S_7$  w kg/godz. i skład  $S_7$  w % lub ułamkach masowych.



## Zadanie 2

Do reaktora wprowadzane są następujące strumienie: strumień benzenu S1, strumień wodoru S2 oraz heksan S3. Przebiega reakcja uwodornienia. Mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora (S) gdzie oddzielany jest strumień nieprzereagowanego wodoru S4 w ilości  $S4=24\text{kg/godz.}$ .

Mieszanina poreakcyjna po oddzieleniu wodoru jest kierowana na kolumnę destylacyjną – strumień S5. Destylacja jest prowadzona w ten sposób że cały heksan przechodzi do destylatu. Destylat S6 odbierany jest z szybkością  $S6=1372\text{ kg/godz.}$ . Skład destylatu: 94% mas. heksanu, 2% benzenu i cykloheksan. Ciecz wyczerpana S7 odbierana jest z szybkością  $S7=1160\text{ kg/godz.}$ . Skład cieczy wyczerpanej: 18 % benzenu i cykloheksan.

### Obliczyć

1. Wydajność cykloheksanu.
2. Strumień S1, S2, S3 w kg/godz..
3. Strumień S5 w kg/godz. i jego skład w % lub ułamkach masowych.

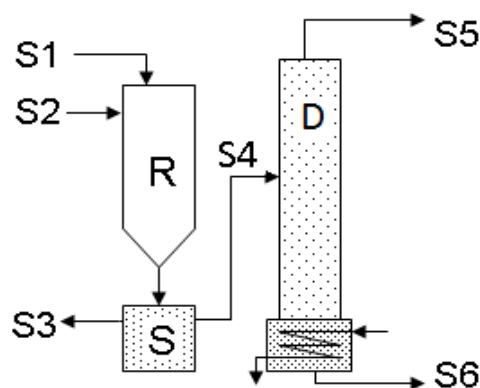
## Uwodornienie fenolu

W instalacji przedstawionej na rysunku produkuje się cykloheksanol w reakcji redukcji fenolu wodorem zgodnie z równaniem:



Reakcja prowadzona jest w przepływowym reaktorze R ze złożem katalizatora. Jako katalizator stosuje się nikiel naniesiony na tlenek glinu

**Masy molowe:** Fenol 94 kg/kmol; cykloheksanol 100 kg/kmol



Schemat instalacji do uwodornienia fenolu: R reaktor, S separator, D kolumna destylacyjna

## Zadanie 3

Do reaktora wprowadzane są: strumień fenolu w cykloheksanie S1 oraz strumień S2 zawierający wodór. W strumieniu S1 wprowadza się  $2520\text{ kg/godz.}$  cykloheksanu. Stosunek molowy fenol : wodór = 1 : 4. Przebiega reakcja uwodornienia z wydajnością 90%. Mieszanina poreakcyjna S4 kierowana jest do separatora S gdzie oddzielany jest strumień nieprzereagowanego wodoru S3. W mieszaninie poreakcyjnej odbiera się  $1350\text{ kg/godz.}$  cykloheksanolu.

Mieszanina poreakcyjna po oddzieleniu wodoru jest kierowana na kolumnę destylacyjną – strumień S4. Destylacja jest prowadzona w ten sposób, że cały cykloheksan przechodzi do destylatu. Skład destylatu S5 jest następujący: 92% mas. cykloheksanu, 1 % fenolu i 7% cykloheksanolu. W cieczy wyczerpanej nie ma cykloheksanu.

### Obliczyć:

1. Strumień S1, S2, S3 w kg/godz..
2. Strumień S4 w kg/godz. i jego skład w % lub ułamkach masowych.
3. Strumień destylatu S5 oraz cieczy wyczerpanej S6 w kg/godz. i skład S6 w % lub ułamkach masowych.

#### Zadanie 4

Do reaktora wprowadzane są: strumień fenolu w cykloheksanie S1 oraz strumień S2 zawierający wodór. W strumieniu S1 wprowadza się 2520 kg/godz. cykloheksanu. Stosunek molowy fenol : wodór = 1 : 4. Przebiega reakcja uwodornienia, stopień konwersji fenolu  $\alpha=0,9$ . Mieszanina poreakcyjna S4 kierowana jest do separatora (S) gdzie oddzielany jest strumień nieprzereagowanego wodoru S3. W mieszaninie poreakcyjnej S4 znajduje się 141 kg/godz. nieprzereagowanego fenolu.

Mieszanina poreakcyjna S4 po oddzieleniu wodoru jest kierowana na kolumnę destylacyjną. Destylacja jest prowadzona w ten sposób, że cały cykloheksan przechodzi do destylatu. Skład destylatu S5 jest następujący: 92% mas. cykloheksanu, 1 % fenolu i 7% cykloheksanolu.

#### Obliczyć:

1. Strumień S1, S2, S3 w kg/godz..
2. Strumień S4 w kg/godz. i jego skład w % lub ułamkach masowych.
3. Strumień destylatu S5 oraz cieczy wyczerpanej S6 w kg/godz. i skład S6 w % lub ułamkach masowych.

#### Zadanie 5

Do reaktora wprowadzane są: strumień fenolu w cykloheksanie S1= 4820 kg/godz. oraz strumień S2 zawierający wodór. W strumieniu S1 fenol stanowi 39% masowych całego strumienia. Stosunek molowy fenol : wodór = 1 : 4. Przebiega reakcja uwodornienia. Mieszanina poreakcyjna kierowana jest do separatora (S) gdzie oddzielany jest strumień nieprzereagowanego wodoru S3.

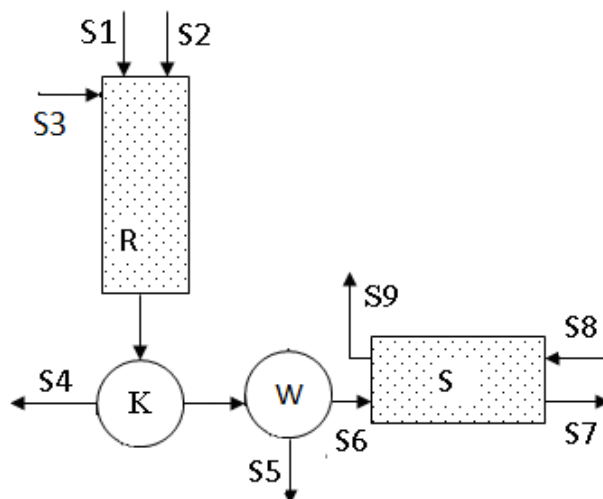
Mieszanina poreakcyjna po oddzieleniu wodoru jest kierowana na kolumnę destylacyjną – strumień S4. W mieszaninie poreakcyjnej znajduje się 1350 kg/godz. cykloheksanolu. Destylacja jest prowadzona w ten sposób, że cały cykloheksan przechodzi do destylatu. Skład destylatu S5 jest następujący: 92% mas. cykloheksanu, 1 % fenolu i 7% cykloheksanolu.

#### Obliczyć:

1. Stopień konwersji fenolu.
2. Strumień S2, S3 w kg/godz..
3. Strumień S4 w kg/godz. i jego skład w % lub ułamkach masowych.
4. Strumień destylatu S5 oraz cieczy wyczerpanej S6 w kg/godz. i skład S6 w % lub ułamkach masowych.

### 4.13. Karbonylowanie aniliny

Reakcja karbonylowania aniliny za pomocą tlenku węgla (40atm) w obecności kompleksu palladu jako katalizatora w etanolu jako rozpuszczalniku prowadzi do powstania difenylomocznika zgodnie z równaniem:



Schemat aparatury do reakcji karbonylowania aniliny: R reaktor, K krystalizator, W wirówka, S suszarka,

Masy molowe: anilina 93 g/mol, difenylomocznik (DFM) 212 g/mol; CO 28 g/mol; O<sub>2</sub> 32 g/mol; H<sub>2</sub>O = 18 g/mol

#### Zadanie 1

Roztwór aniliny w etanolu jest wprowadzany do reaktora w strumieniu S1=2325 kg/godz.. Stężenie aniliny wynosi 40%. Jednocześnie wprowadza się katalizator, którego ilość pomijamy oraz tlenek węgla S2=756 kg/godz. i tlen 96 kg/godz. w strumieniu S3. Reakcja jest prowadzona w temp 100°C a stopień konwersji aniliny wynosi 0,8.

Po zakończeniu reakcji mieszanina poreakcyjna jest kierowana do krystalizatora gdzie jest chłodzona do temperatury pokojowej, wytrącają się kryształy difenylomocznika i jednocześnie oddzielane są nieprzereagowane gazy odprowadzane w strumieniu S4. Pozostała mieszanina jest kierowana do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DFM. Przyjmujemy, że straty mocznika w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany filtrat w strumieniu S5 i DFM z częścią etanolu w strumieniu S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest tylko DFM i etanol. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i część etanolu odprowadza się w strumieniu S5.

Difenylomocznik wprowadzany do suszarki S6 zawiera 13% etanolu i jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem, które przepływa w przeciwnym kierunku do DFM S8. DFM odbierany z suszarki zawiera 1% etanolu. Powietrze wprowadzane do suszarki S8 zawiera 0,5% etanolu. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza wprowadzanego do suszarki S8 w stosunku do DFM wprowadzanego do suszarki S6 wynosi a=4.

#### Obliczyć:

1. Strumień S4, S5 w kg/godz. i ich składy w ułamkach masowych.
2. Strumienie S6, S7, S8, S9 w kg/godz. oraz skład S9 w ułamkach masowych.

## Zadanie 2

Roztwór aniliny w etanolu jest wprowadzany do reaktora w strumieniu S1. Etanol w S1 podawany jest z szybkością 1100 kg/godz.. Jednocześnie wprowadza się katalizator, którego ilość pomijamy oraz tlenek węgla S2 i tlen w strumieniu S3. Reakcja jest prowadzona w temp 100°C a wydajność reakcji wynosi 90%.

Po zakończeniu reakcji mieszanina poreakcyjna jest kierowana do krystalizatora gdzie jest chłodzona do temperatury pokojowej, wytrącają się kryształy difenylomocznika i jednocześnie oddzielane są nieprzereagowane gazy odprowadzane w strumieniu S4. W S4 odprowadza się 8 kg/godz. tlenu oraz 574 kg/godz. tlenku węgla. Pozostała mieszanina jest kierowana do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrysztalizowanego DFM. Przyjmujemy, że straty mocznika w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki jest odbierany filtrat w strumieniu S5 i DFM z częścią etanolu w strumieniu S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest tylko DFM i etanol. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i część etanolu odprowadza się w strumieniu S5. W reakcji powstaje woda w ilości 81 kg/godz..

Difenylomocznik wprowadzany do suszarki S6 zawiera 10% etanolu i jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S8, które przepływa w przeciwnym kierunku do DFM. DFM odbierany z suszarki zawiera 2% etanolu. Powietrze wprowadzane do suszarki S8 zawiera 1% etanolu. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza wprowadzanego do suszarki S8 w stosunku do DFM wprowadzanego do suszarki S6 wynosi  $a = 3$ .

### Obliczyć:

1. Strumień S1, S2, S3 w kg/godz. oraz S5 i jego skład w ułamkach masowych.
2. Strumienie S6, S7, S8, S9 w kg/godz. oraz skład S9 w ułamkach masowych.

## Zadanie 3

Roztwór aniliny w etanolu jest wprowadzany do reaktora w strumieniu S1. Etanol w S1 podawany jest z szybkością 1300 kg/godz.. Jednocześnie wprowadza się katalizator, którego ilość pomijamy oraz tlenek węgla S2 i tlen w strumieniu S3. Reakcja jest prowadzona w temp 100°C a wydajność reakcji wynosi 90%. Po zakończeniu reakcji mieszanina poreakcyjna jest kierowana do krystalizatora gdzie jest chłodzona do temperatury pokojowej, wytrącają się kryształy difenylomocznika i jednocześnie oddzielane są nieprzereagowane gazy odprowadzane w strumieniu S4. W S4 odprowadza się 16 kg/godz. tlenu oraz 714 kg/godz. tlenku węgla. Pozostała mieszanina jest kierowana do wirówki obrotowej w celu odfiltrowania wykrysztalizowanego DFM. Przyjmujemy, że straty mocznika w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki odbierane są strumienie S5 i S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest odbierany DFM z częścią etanolu. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i część etanolu odprowadza się w strumieniu S5.

Difenylomocznik wprowadzany do suszarki w strumieniu S6 zawiera 10% etanolu i jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S8, które przepływa w przeciwnym kierunku do DFM. Szybkość wprowadzania strumienia S6=1060 kg/godz. DFM odbierany z suszarki zawiera 2% etanolu. Powietrze wprowadzane do suszarki zawiera 0,5% etanolu. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza wprowadzanego do suszarki S8 w stosunku do DFM wprowadzanego do suszarki S6 wynosi  $a = 3$ .

### Obliczyć:

1. Strumień S1, S2, S3 w kg/godz. oraz S5 i jego skład w ułamkach masowych.
2. Strumienie S7, S8, S9 w kg/godz. oraz skład S9 w ułamkach masowych.

#### Zadanie 4

Roztwór aniliny w etanolu jest wprowadzany do reaktora w strumieniu S1. Etanol w S1 podawany jest z szybkością 2000 kg/godz.. Jednocześnie wprowadza się katalizator, którego ilość pomijamy oraz tlenek węgla S2=1120 kg/godz. i tlen S3=128 kg/godz.. Reakcja jest prowadzona w temp 100°C a stopień konwersji aniliny wynosi 0,75.

Po zakończeniu reakcji mieszanina poreakcyjna jest kierowana do krystalizatora (K) gdzie jest chłodzona do temperatury pokojowej, wytrącają się kryształy difenyłomocznika i jednocześnie oddzielane są nieprzereagowane gazy odprowadzane w strumieniu S4. Pozostała mieszanina jest kierowana do wirówki obrotowej (W) w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DFM. Przyjmujemy, że straty mocznika w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki odbierane są strumienie S5 i S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest odbierany DFM z częścią etanolu. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i część etanolu odprowadza się w strumieniu S5.

Difenyłomocznik wprowadzany do suszarki S6 zawiera 12% etanolu i jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S8, które przepływa w przeciwnym kierunku do DFM. DFM odbierany z suszarki zawiera 1% etanolu. Uzyskuje się 1272 kg/godz. DFM w przeliczeniu na produkt absolutnie suchy. Powietrze wprowadzane do suszarki S8 zawiera 0,5% etanolu. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza wprowadzanego do suszarki S8 w stosunku do DFM wprowadzanego do suszarki S6 wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Strumień S1, S4, S5 w kg/godz. i ich składy w ułamkach masowych.
2. Strumienie S6, S7, S8, S9 w kg/godz. oraz skład S9 w ułamkach masowych.

#### Zadanie 5

Roztwór aniliny w etanolu jest wprowadzany do reaktora w strumieniu S1=3720 kg/godz.. Stężenie aniliny wynosi 40%. Jednocześnie wprowadza się katalizator, którego ilość pomijamy oraz tlenek węgla S2=1120 kg/godz. i tlen S3 =112 kg/godz.. Reakcja jest prowadzona w temp 100°C.

Po zakończeniu reakcji mieszanina poreakcyjna jest kierowana do krystalizatora (K) gdzie jest chłodzona do temperatury pokojowej, wytrącają się kryształy difenyłomocznika i jednocześnie oddzielane są nieprzereagowane gazy odprowadzane w strumieniu S4. Pozostała mieszanina jest kierowana do wirówki obrotowej (W) w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DFM. Przyjmujemy, że straty mocznika w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki odbierane są strumienie S5 i S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest odbierany DFM z częścią etanolu. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i część etanolu odprowadza się w strumieniu S5.

Difenyłomocznik wprowadzany do suszarki zawiera 11% etanolu i jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem, które przepływa w przeciwnym kierunku do DFM. DFM odbierany z suszarki zawiera 1% etanolu. Uzyskuje się 1272 kg/godz. DFM w przeliczeniu na produkt absolutnie suchy. Powietrze wprowadzane do suszarki zawiera 0,5% etanolu. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza wprowadzanego do suszarki S8 w stosunku do DFM wprowadzanego do suszarki S6 wynosi  $a = 4$ .

#### Obliczyć:

1. Strumień S4, S5 w kg/godz. i ich składy w ułamkach masowych.
2. Strumienie S6, S7, S8, S9 w kg/godz. oraz skład S9 w ułamkach masowych.
3. Wydajność difenyłomocznika.

## Zadanie 6

Roztwór aniliny w etanolu jest wprowadzany do reaktora w strumieniu S1. Etanol w S1 podawany jest z szybkością 3100 kg/godz.. Jednocześnie wprowadza się katalizator, którego ilość pomijamy oraz tlenek węgla S2=1400 kg/godz. i tlen S3 =160 kg/godz.. Stosunek molowy wprowadzanej do reaktora aniliny do wprowadzanego tlenku węgla wynosi AN : CO = 1:2,5. Reakcja jest prowadzona w temp 100°C.

Po zakończeniu reakcji mieszanina poreakcyjna jest kierowana do krystalizatora (K) gdzie jest chłodzona do temperatury pokojowej, wytrącają się kryształy difenylomocznika i jednocześnie oddzielane są nieprzereagowane gazy odprowadzane w strumieniu S4. Pozostała mieszanina jest kierowana do wirówki obrotowej (W) w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DFM. Przyjmujemy, że straty mocznika w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki odbierane są strumienie S5 i S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest odbierany DFM z częścią etanolu. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i część etanolu odprowadza się w strumieniu S5. Ilość wody powstającej w reakcji wynosi 126 kg.

Difenylomocznik wprowadzany do suszarki S6 zawiera 9% etanolu i jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S8, które przepływa w przeciwnym kierunku do DFM. DFM odbierany z suszarki S7 zawiera 1% etanolu. Powietrze wprowadzane do suszarki S8 zawiera 0,5% etanolu. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza wprowadzanego do suszarki S8 w stosunku do DFM wprowadzanego do suszarki S6 wynosi  $a = 3,5$ .

### Obliczyć:

1. Strumień S1, S4, S5 w kg/godz. i składy S4, S5 w ułamkach masowych.
2. Strumienie S6, S7, S8, S9 w kg/godz. oraz skład S9 w ułamkach masowych.
3. Wydajność reakcji.

## Zadanie 7

Roztwór aniliny w etanolu jest wprowadzany do reaktora w strumieniu S1. Etanol w S1 podawany jest z szybkością 2100 kg/godz.. Jednocześnie wprowadza się katalizator, którego ilość pomijamy oraz tlenek węgla S2 i tlen S3. Reakcja jest prowadzona w temp 100°C.

Po zakończeniu reakcji mieszanina poreakcyjna jest kierowana do krystalizatora (K) gdzie jest chłodzona do temperatury pokojowej, wytrącają się kryształy difenylomocznika i jednocześnie oddzielane są nieprzereagowane gazy odprowadzane w strumieniu S4. W S4 odprowadza się 48 kg/godz. tlenu oraz 1204 kg/godz. tlenku węgla. Pozostała mieszanina jest kierowana do wirówki obrotowej (W) w celu odfiltrowania wykrystalizowanego DFM. Przyjmujemy, że straty mocznika w procesie krystalizacji i filtracji = 0. Z wirówki odbierane są strumienie S5 i S6. Zakładamy, że w strumieniu S6 jest odbierany DFM z częścią etanolu. Pozostałe składniki mieszaniny poreakcyjnej i część etanolu odprowadza się w strumieniu S5. Stwierdza się, że ilość nieprzereagowanej aniliny w strumieniu S5 wynosi 558 kg.

Difenylomocznik wprowadzany do suszarki S6 zawiera 10% etanolu i jest suszony w suszarce obrotowej powietrzem S8, które przepływa w przeciwnym kierunku do DFM. DFM odbierany z suszarki S7 zawiera 1,5% etanolu. Uzyskuje się 1484 kg/godz. DFM w przeliczeniu na produkt absolutnie suchy. Powietrze wprowadzane do suszarki S8 zawiera 1% etanolu. Współczynnik nadmiaru suchego powietrza wprowadzanego do suszarki S8 w stosunku do DFM wprowadzanego do suszarki S6 wynosi  $a = 3,5$ .

### Obliczyć:

1. Strumień S1, S2, S3, S5 w kg/godz. i skład S1 oraz S5 w ułamkach masowych.
2. Strumienie S6, S7, S8, S9 w kg/godz. oraz skład S9 w ułamkach masowych.
3. Wydajność reakcji.

## 5. Literatura

4.1.1. „Podstawy technologii chemicznej”, skrypt pod redakcją K.Szmita-Szałowskiego, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 2000r.

4.1.2. D.M.Himmelblaua „Basic principles and calculations in chemical engineering”, Englewood, Prentice Hall 1962

Literatura uzupełniająca

3. S. Kucharski, J.Głowiński “Podstawy obliczeń projektowych w technologii chemicznej” Oficyna Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.

4. „Podręcznik do ćwiczeń z technologii chemicznej”, praca zbiorowa pod redakcją T.Kasprzyckiej-Guttman, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1996r.