

ZADANIA Z TECHNOLOGII CHEMICZNEJ

Wstęp

Równania reakcji chemicznych są formalnym zapisem przemiany substratów w produkty, z uwzględnieniem stosunków stechiometrycznych w jakich poszczególne substancje reagują ze sobą. Taki formalny zapis nie informuje jednak o rzeczywistym przebiegu reakcji, ani o warunkach, jakie muszą być spełnione dla jej zrealizowania.

W zadaniach technologicznych reakcje chemiczne przedstawiane są jako procesy dynamiczne, zachodzące w czasie i w przestrzeni różnie zorganizowanej. Proces technologiczny polegający na przetwarzaniu substratów w produkty składa się z wielu etapów. W warunkach przemysłowych występują dwie kategorie procesów – okresowe i ciągłe. Proces przemiany substratów w produkty w konkretnej instalacji można przedstawić w postaci schematu, na którym poszczególne aparaty (reaktory, mieszalniki, wymienniki ciepła itp.) powiązane są ze sobą strumieniami przepływających reagentów o określonym składzie i natężeniu. Natężenie i skład poszczególnych strumieni wynikają z założonej wielkości produkcji oraz z zastosowania określonych substratów i sposobu prowadzenia procesu czyli wybranej technologii. Nie muszą i najczęściej nie wynikają ze stechiometrii reakcji zachodzących w poszczególnych reaktorach. Dotyczy to zwłaszcza reakcji odwracalnych, kiedy często stosuje się nadmiar jednego z substratów dla uzyskania lepszej wydajności produktu.

W proponowanych do rozwiązania zadaniach technologicznych przedstawiony jest bardzo uproszczony schemat instalacji, w której zachodzi proces. Często podane są jedynie strumienie reagentów wchodzących i opuszczających całą instalację. Stawiane pytania dotyczą zależności pomiędzy składem i natężeniem poszczególnych strumieni reagentów lub zależności pomiędzy stopniem przemiany substratu uzyskiwanym w reaktorze (lub wydajnością w całej instalacji), a składem i natężeniem strumieni produktów.

Metodą, która pozwala na znalezienie tych zależności, jest wykonanie bilansów masowych reagentów lub bilansu pierwiastków wprowadzanych i opuszczających instalację (reaktor) w postaci różnych związków chemicznych. Podczas sporządzania bilansu masy w procesie ciągłym jako pozycje przychodu i rozchodu stosuje się natężenia przepływu strumieni. Natężenie strumieni reagentów określone jest w jednostkach masy na jednostkę czasu (kg/h, kg/s) lub liczbie moli na jednostkę czasu (mol/h, mol/s) i oznaczane jest symbolem odpowiednio G i W z indeksem danego strumienia np. G_A lub W_A . Jeżeli strumień

składa się z kilku składników, to natężenie tego składnika oznaczamy symbolem tego składnika np. $W_A[H_2]$. Należy przy tym pamiętać, że wszystkie pozycje przychodu i rozchodu muszą mieć jednakowe miana (np. kg/h lub kmol/h).

Do wykonania bilansu konieczne jest przyjęcie podstawy bilansu. Za podstawę bilansowania przyjmuje się wielkość produkcji w danej instalacji lub natężenie strumienia wybranego reagenta. W ten sposób wszystkie obliczenia odnoszą się do tak przyjętej podstawy bilansowania. Raz przyjęta podstawa bilansowania obowiązuje dla całego rozwiązania i nie może być zmieniona w trakcie obliczeń.

Wykonanie bilansu musi poprzedzać wybór obszaru bilansowania. Kryterium wyboru takiego obszaru jest to, żeby granice obszaru przecinały wszystkie strumienie, które powinny być wzięte pod uwagę w równaniu bilansowym. Obszar bilansowania może obejmować całą instalację (jeżeli zależności dotyczą strumieni substratów i produktów) lub tylko określony reaktor lub węzeł w instalacji (jeżeli zależności dotyczą tego właśnie fragmentu instalacji). Wynika stąd, że dla wyznaczenia różnych zależności trzeba czasami wykonać bilanse uwzględniając różne obszary tej samej instalacji.

Stopień przemiany oznaczany symbolem x jest wielkością opisującą postęp zachodzącej reakcji chemicznej. Określa on jaką część substratu wprowadzonego do reaktora uległa przemianie chemicznej. Jeżeli do reaktora doprowadzamy w sposób ciągły strumień A, w którym natężenie substratu wynosi $W_A[i]$ i z którego odbieramy strumień B, w którym natężenie nieprzereagowanego substratu wynosi $W_B[i]$, to stopień przemiany możemy zdefiniować jako:

$$x = \frac{W_A[i] - W_B[i]}{W_A[i]}$$

gdzie:

$W_A[i]$ - natężenie strumienia substratu wprowadzanego do reaktora,

$W_B[i]$ - natężenie strumienia nieprzereagowanego substratu opuszczającego reaktor.

Tak zdefiniowana wartość stopnia przemiany zmienia się w granicach: $0 \leq x \leq 1$

Analogicznie można przedstawić sprawność (wydajność) całej instalacji:

$$\eta = \frac{W_A[i] - W_D[i]}{W_A[i]}$$

gdzie:

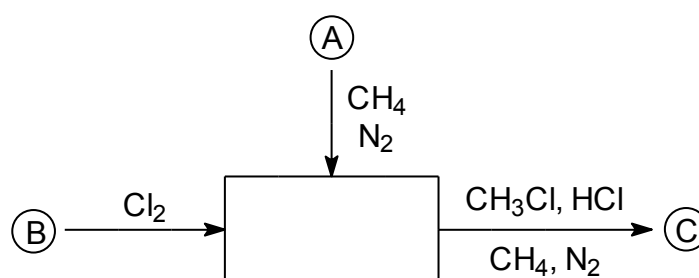
$W_A[i]$ - natężenie strumienia substratu wprowadzanego do instalacji,

$W_D[i]$ - natężenie strumienia nieprzereagowanego substratu opuszczającego instalację.

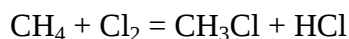
Należy podkreślić, że w przypadku, gdy możliwe są różne reakcje w jakie wchodzi substrat np. utlenienie węgla do tlenku lub dwutlenku węgla, utlenienie amoniaku do NO lub azotu itp, należy wyraźnie zaznaczyć o jakim stopniu przemiany jest mowa np. $x_C \rightarrow CO$ lub $x_C \rightarrow CO_2$.

Przykład 1

Chlorek metylu otrzymuje się w procesie chlorowania metanu gazowym chlorem (strumień W_B). Strumień W_A oprócz metanu zawiera azot (2 % molowe).



Proces chlorowania metanu prowadzi się stosując nadmiar metanu w stosunku do chloru. W reakcji:



chlor zużywa się całkowicie.

Wydajność przetwarzania metanu w chlorek metylu wynosi

$$\eta = \frac{W_C[CH_3Cl]}{W_A[CH_4]}; \quad 0 \leq \eta \leq 1$$

Oblicz zależność ułamka molowego CH_3Cl w strumieniu W_C od wydajności procesu η .

$$a_{CH_3Cl} = f(\eta)$$

Rozwiązanie

Za podstawę bilansu przyjęto natężenie strumienia zawierającego metan i 2 % molowe azotu:

$$W_A = 100 \text{ kmol/h.}$$

Na podstawie przyjętej podstawy bilansu obliczamy natężenie strumienia metanu w gazie zasilającym reaktor $W_A[CH_4]$. Wynosi on 98 kmol/h. Azot stanowi resztę strumienia tj. 2 kmol/h.

Z definicji η obliczamy zawartość CH_3Cl w strumieniu C: $W_C[CH_3Cl] = W_A[CH_4] \cdot \eta$

czyli

$$W_C[\text{CH}_3\text{Cl}] = 98 \eta$$

Z bilansu węgla (C) obliczamy zawartość metanu w strumieniu C:

$$W_A[\text{CH}_4] = W_C[\text{CH}_4] + W_C[\text{CH}_3\text{Cl}]$$

$$W_C[\text{CH}_4] = 98 - 98 \eta = 98(1-\eta)$$

Z bilansu wodoru obliczamy natężenie strumienia HCl w gazach po reakcji.

$$4 W_A[\text{CH}_4] = 4 W_C[\text{CH}_4] + 3W_C[\text{CH}_3\text{Cl}] + W_C[\text{HCl}]$$

$$W_C[\text{HCl}] = 4 W_A[\text{CH}_4] - 4 W_C[\text{CH}_4] - 3W_C[\text{CH}_3\text{Cl}]$$

$$W_C[\text{HCl}] = 98\eta$$

Zawartość chloru w strumieniu A obliczamy na podstawie bilansu chloru:

$$2W_A[\text{Cl}_2] = W_C[\text{CH}_3\text{Cl}] + W_C[\text{HCl}]$$

$$W_A[\text{Cl}_2] = 98\eta$$

Ponieważ azot nie bierze udziału w reakcji natężenie strumienia $W_A[\text{N}_2]$ jest identyczne jak w strumieniu C:

$$W_A[\text{N}_2] = W_C[\text{N}_2]$$

Bilans reaktora przedstawiono w tabeli 1.

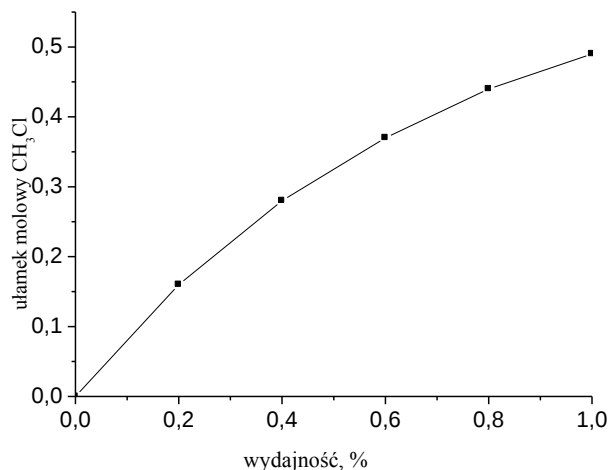
Tabela 1. Bilans masy

Przychód, kmol/h	Rozchód, kmol/h
CH ₄ 98	CH ₄ 98 (1 - η)
N ₂ 2	N ₂ 2
Cl ₂ 98 η	CH ₃ Cl 98 η
	HCl 98 η
	Σ 100 + 98 η = W _C

$$a_{\text{CH}_3\text{Cl}} = \frac{W_C[\text{CH}_3\text{Cl}]}{W_C}$$

Ułamek molowy chlorku metylu w strumieniu C obliczamy ze wzoru:

$$a_{\text{CH}_3\text{Cl}} = \frac{98 \eta}{100 + 98 \eta}$$



Wartość η może zmieniać się od 0 do 1. Jeżeli $\eta = 0$, ułamek molowy chlorku metylu w strumieniu C wynosi 0. Ze wzrostem wydajności rośnie ułamek molowy chlorku metylu w strumieniu C. Dla maksymalnej wydajności ($\eta = 1$) wynosi on 0,495.

Przykład 2

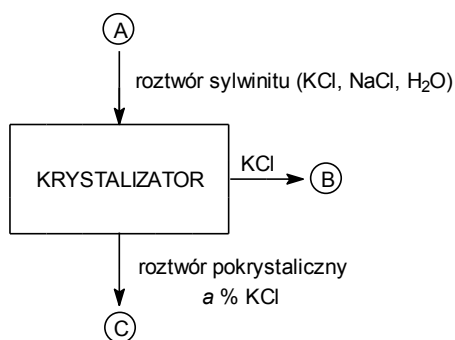
Chlorek potasu otrzymuje się z wodnego roztworu sylwinitu (sól, w której potas występuje w postaci minerału - sylwinu) zawierającego 35 % mas. KCl. W procesie krystalizacji otrzymuje się czysty KCl oraz roztwór pokrystalizacyjny zawierający a % mas. KCl. Oblicz zależność wydajności krystalizacji od stężenia KCl w roztworze pokrystalizacyjnym.

$$\eta = f(a)$$

$$\eta = \frac{G_B[\text{KCl}]}{G_A[\text{KCl}]}$$

Obliczenia prowadź zakładając, że w ciągu 1 godziny przerabia się 1000 kg roztworu sylwinitu

($G_A = 1000 \text{ kg/h}$).



Rozwiązanie

Natężenie strumienia KCl w roztworze sylwinitu ($G_A[\text{KCl}]$) wynosi:

$$G_A[\text{KCl}] = 0,35G_A$$

czyli:

$$G_A[\text{KCl}] = 350 \text{ kg/h}$$

Natężenie strumienia wody i NaCl w roztworze sylwinitu wynosi 650 kg/h.

Natężenie strumienia otrzymywanego KCl ($G_B[\text{KCl}]$) obliczamy z wydajności procesu ($\eta = G_B[\text{KCl}]/G_A[\text{KCl}]$).

Podstawiając otrzymujemy:

$$G_B[\text{KCl}] = 350\eta$$

Natężenie strumienia KCl w roztworze pokryształizacyjny obliczamy z bilansu KCl w obszarze kryształizatora:

$$G_A[\text{KCl}] = G_B[\text{KCl}] + G_C[\text{KCl}]$$

z czego wynika:

$$G_C[\text{KCl}] = 350(1-\eta)$$

W roztworze pokryształizacyjnym natężenie strumienia wody i NaCl wynosi 650 kg/h.

Bilans reaktora przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Bilans masy

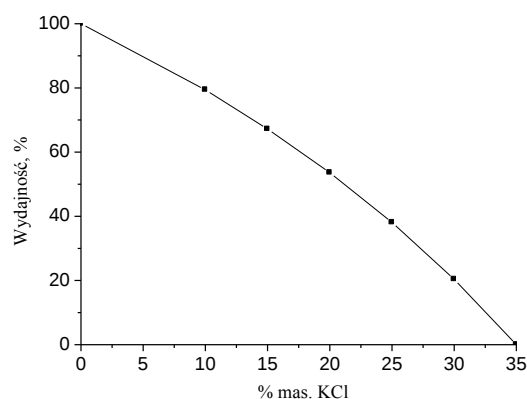
Przychód, kg/h		Rozchód, kg/h	
KCl	350	B: KCl	350η
NaCl + H ₂ O	650	C: KCl	$350(1-\eta)$
		NaCl + H ₂ O	650

Procent masowy KCl w strumieniu C wynosi:

$$a = \frac{350(1-\eta)}{350(1-\eta) + 650} \cdot 100, \%$$

stąd wynika:

$$\eta = \frac{350 - 10a}{350 - 3,5a} \cdot 100, \%$$



Wydajność krystalizacji może zmieniać się od 0 do 100 %. 35 % KCl w strumieniu C oznacza, że wydajność procesu wynosi 0 (KCl nie wykrystalizował). W tym przypadku skład strumienia C jest taki sam jak strumienia A. Wartość η wzrasta do 100 % gdy w strumieniu C nie występuje KCl.

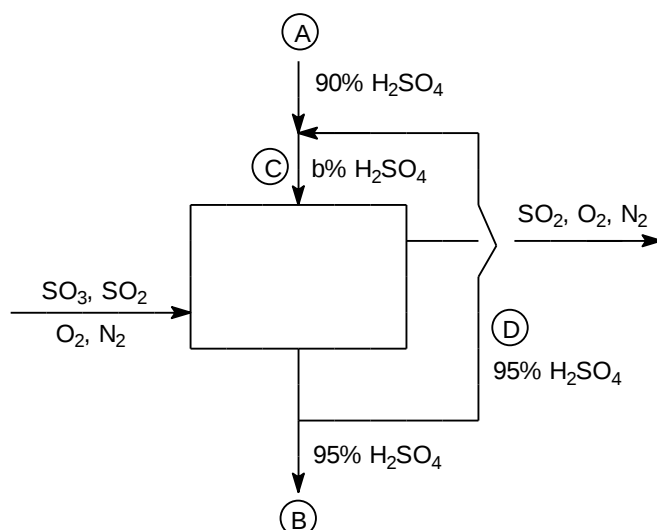
Przykład 3

Stężony kwas siarkowy (95 % mas.) otrzymuje się przez absorpcję SO_3 w wieży zasilanej H_2SO_4 o stężeniu b % (strumień C). Strumień C powstaje przez zmieszanie strumienia A (90% H_2SO_4) ze strumieniem D zawierającym kwas siarkowy (90%). Stosunek natężenia strumienia zawracanego D do natężenia strumienia B wynosi n ($G_D/G_B = n$, kg/h/kg/h). Przyjmując za podstawę bilansu 100 kg 95 % $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{h}$ ($G_B = 100$ kg/h) znajdź zależność pomiędzy stężeniem b % kwasu siarkowego zasilającego wieżę (b % mas.) i n ($b = f(n)$).

Masy molowe:

H_2SO_4 – 98 kg/kmol

H_2O – 18 kg/kmol



Rozwiązanie

Wodór w strumieniu B pochodzi wyłącznie ze strumienia A (z wody i kwasu). Na podstawie bilansu wodoru (w kg/h) w obszarze zewnętrznym można obliczyć wielkość strumienia A.

$$0,9G_A \cdot \frac{2}{98} + 0,1G_A \cdot \frac{2}{18} = 0,95G_B \cdot \frac{2}{98} + 0,05G_B \cdot \frac{2}{18}$$

czyli:

$$G_A = 84,62 \text{ kg/h}$$

W obszarze 1, w którym mieszają się strumienie A i D, w wyniku czego powstaje kwas siarkowy o stężeniu b % (strumień C), przeprowadzamy bilans wodoru:

$$0,1G_A \cdot \frac{2}{18} + 0,9G_A \cdot \frac{2}{98} + 0,05G_D \cdot \frac{2}{18} + 0,95G_D \cdot \frac{2}{98} = (G_A + G_D) \cdot 0,01b \cdot \frac{2}{98} + (G_A + G_D) \cdot (1 - 0,01b) \cdot \frac{2}{18}$$

Z definicji n wynika, że:

$$G_D = G_B \cdot n$$

Ponieważ

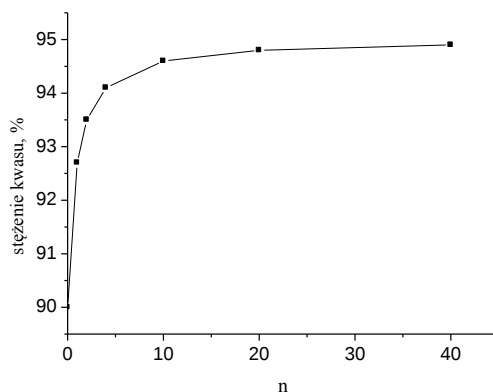
$$G_B = 100 \text{ kg/h (przyjęta podstawa bilansu)}$$

a zatem

$$G_D = 100n$$

Po podstawieniu $G_A = 84,62 \text{ kg/h}$ i $G_D = 100n$ otrzymujemy:

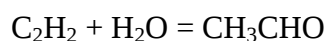
$$b = (76,158 + 95n) / (0,8462 + n)$$



Jeżeli $n = 0$, na wieżę wprowadza się kwas siarkowy (VI) o stężeniu 90 %. Ze wzrostem n rośnie stężenie wprowadzanego na wieżę H_2SO_4 . Dla $n \rightarrow \infty$, stężenie kwasu siarkowego wprowadzanego na wieżę dąży do 95 %.

ZADANIE 1

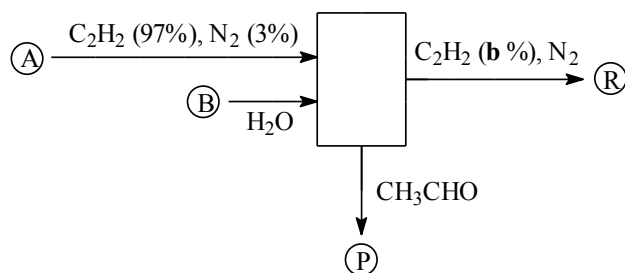
Aldehyd octowy otrzymuje się w reakcji acetylenu z parą wodną.



Do instalacji doprowadza się gaz zawierający 97 % mol. acetylenu i azot (strumień A) oraz wodę (strumień B). Odprowadza się produkt (strumień P) oraz gaz resztkowy zawierający nieprzereagowany acetylen i azot (strumień R). Przyjmując za podstawę bilansu 100 kmol/h gazu w strumieniu A należy obliczyć zawartość acetylenu w gazach resztkowych (b % mol.) w funkcji wydajności η .

$$b = f(\eta)$$

$$\eta = \frac{W_p[CH_3CHO]}{W_A[C_2H_2]}$$

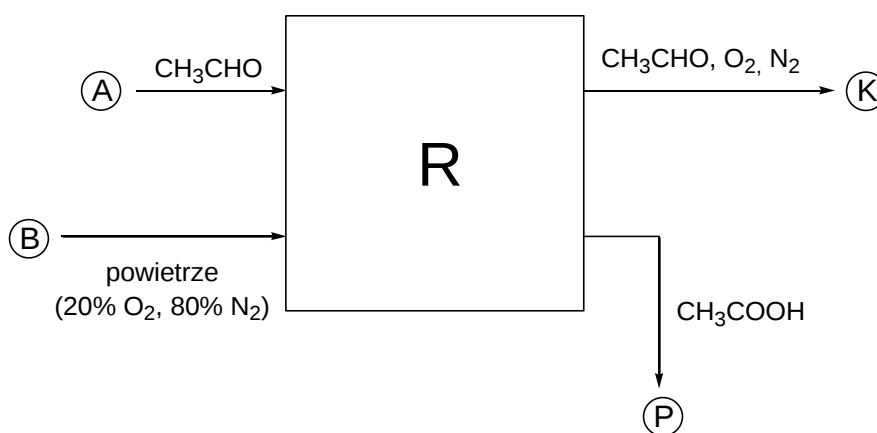


ZADANIE 2

W przedstawionej poniżej schematycznie instalacji prowadzi się proces katalitycznego utleniania aldehydu octowego do kwasu octowego tlenem z powietrza. Stosunek natężenia strumienia powietrza do strumienia aldehydu wynosi z ($W_B/W_A = z$, $z > 2,25$). Przyjmując za podstawę bilansu $W_A = 1$ kmol/h aldehydu oblicz ułamek molowy aldehydu w gazach po reakcji (strumień K) w zależności od z ($a = f(z)$). Wydajność procesu η

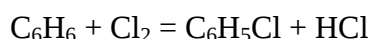
$$\eta = \frac{W_P[\text{CH}_3\text{COOH}]}{W_A[\text{CH}_3\text{CHO}]} = 0,90$$

Uproszczony skład powietrza: 20 % tlenu i 80 % azotu.



ZADANIE 3

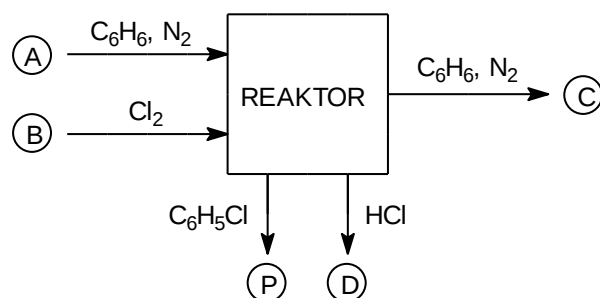
Chlorobenzen otrzymuje się przez chlorowanie benzenu chlorem w instalacji, w której stosuje się nadmiar benzenu.



Do reaktora wprowadza się benzen zawierający domieszkę azotu $\left(\frac{W_A[\text{N}_2]}{W_A[\text{C}_6\text{H}_6]} = K\right)$. Z

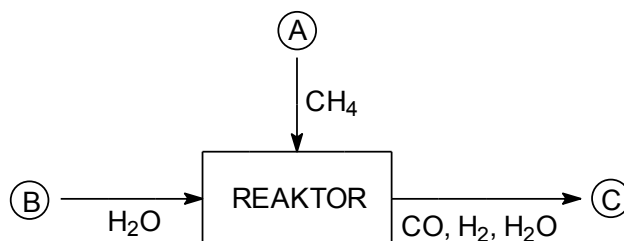
reaktora odprowadza się chlorobenzen, chlorowodór oraz nieprzereagowany benzen i azot. Zawartość azotu w strumieniu W_C wynosi b % molowych. Przyjmując za podstawę bilansu 100 kmoli/h chloru ($W_B = 100$ kmoli/h) oblicz zależność $b = f(\eta, K)$, gdzie η (wydajność

procesu) $= \frac{W_P[\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}]}{W_A[\text{C}_6\text{H}_6]}$



ZADANIE 4

Konwersję metanu parą wodną prowadzi się stosując katalizator niklowy. Substratami są: metan (strumień A) i para wodna (strumień B), a produktami: tlenek węgla i wodór (strumień C). Strumień C zawiera również nieprzereagowaną parę wodną.



Stosunek molowy strumienia pary wodnej do strumienia metanu

$$\frac{W_B}{W_A} = y; \quad y > 1$$

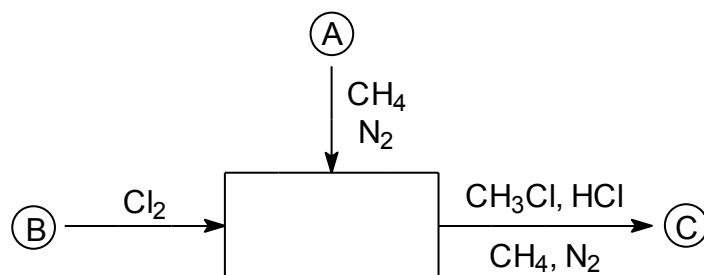
Przyjmując za podstawę bilansu 100 kmol/h metanu oblicz zależność ułamka molowego wodoru w strumieniu W_C od stosunku strumienia W_B do W_A .

$$b = f(y)$$

Wszystkie strumienie podane są w kmol/h.

ZADANIE 5

Chlorek metylu otrzymuje się w procesie chlorowania metanu gazowym chlorem (strumień W_B). Strumień W_A oprócz metanu zawiera 2 % molowe azotu.



Proces chlorowania metanu prowadzi się stosując nadmiar metanu w stosunku do chloru.

Wydajność przetwarzania metanu w chlorek metylu wynosi

$$\eta = \frac{W_C[\text{CH}_3\text{Cl}]}{W_A[\text{CH}_4]}; \quad 0 < \eta < 1$$

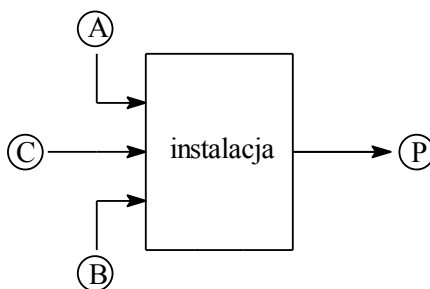
Oblicz zależność ułamka molowego chlorku metylu w strumieniu W_C od wydajności η .

$$b_{\text{CH}_3\text{Cl}} = f(\eta)$$

Obliczenia prowadź przyjmując za podstawę bilansu $W_A = 100 \text{ kmol/h}$.

ZADANIE 6

Konwersję tlenku węgla prowadzi się w celu wzbogacenia gazów w wodór. Proces ten można wykorzystać do otrzymania gazu do syntezy amoniaku. Uproszczony schemat instalacji można przedstawić:



Gaz o składzie 50 % mol. CO i 50 % mol. H_2 (strumień A) miesza się z gazem o składzie 33 % mol. CO i 67 % mol. N_2 (strumień B) i po dodaniu znacznego nadmiaru pary wodnej (strumień C) poddaje się konwersji w reaktorze. Gaz opuszczający instalację (strumień P) zawiera wodór, azot, CO, CO_2 i parę wodną. Po usunięciu CO, CO_2 i pary wodnej gaz ten może być użyty do syntezy NH_3 . O składzie strumienia P decyduje przede wszystkim stosunek natężeń strumieni gazów (W_A/W_B) i stopień konwersji tlenku węgla ($x_{\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2}$).

Przyjmując:

$\frac{W_A}{W_B} = Z$, gdzie W_A i W_B - natężenia strumienia odpowiednio A i B w kmol/h.

i $\frac{W_P[H_2]}{W_P[N_2]} = N$, gdzie

$W_P[H_2]$ - natężenie strumienia wodoru w strumieniu produktów, [kmol/h],

$W_P[N_2]$ - natężenie strumienia azotu w strumieniu produktów, [kmol /h],

znaleźć $N = f(x, Z)$.

Stopień przemiany:

$$x = x_{CO \rightarrow CO_2} = \frac{W_P[CO_2]}{W_A[CO] + W_B[CO]} = \frac{W_A[CO] + W_B[CO] - W_P[CO]}{W_A[CO] + W_B[CO]},$$

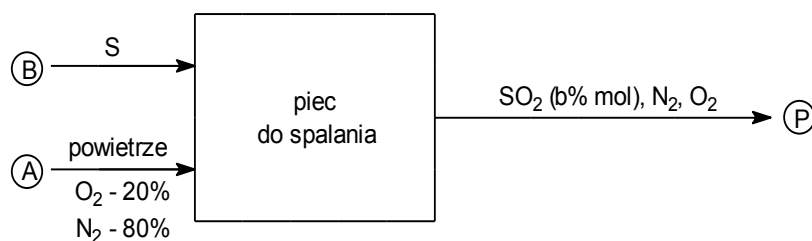
gdzie: $W_A[CO]$, $W_B[CO]$ i $W_P[CO]$ - zawartość CO odpowiednio w strumieniu A, B i P [kmol /h].

$W_P[CO_2]$ - zawartość CO_2 w strumieniu P, [kmol/h].

Obliczenia należy prowadzić przyjmując za podstawę bilansu natężenie strumienia B: $W_B = 100$ kmol/h. Przedstawić na wykresie zależność $N = f(Z)$ dla $x = 0$; $x = 0,5$ i $x = 1$.

ZADANIE 7

W wyniku spalania siarki w powietrzu (przy zastosowaniu nadmiaru powietrza) otrzymuje się gaz zawierający dwutlenek siarki, azot oraz tlen. Zawartość dwutlenku siarki w gazach opuszczających piec do spalania zależy od stosunku natężeń strumieni powietrza i siarki. Przyjmując, że spalaniu poddaje się 1 kmol siarki na jednostkę czasu podać zależność pomiędzy stężeniem SO_2 w strumieniu P (b % molowych) a molowym stosunkiem natężeń strumieni powietrza i siarki (N). W jakich granicach może zmieniać się stężenie SO_2 w strumieniu P i jaka musi być najmniejsza wartość parametru N? Za podstawę obliczeń należy przyjąć 1 kmol/h siarki (W_B).



$$\frac{W_A}{W_B} = N$$

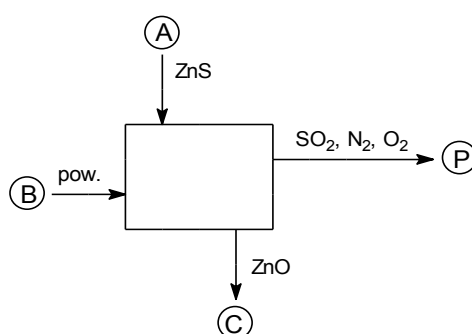
$$b = f(N)$$

ZADANIE 8

Prażąc blendę cynkową ZnS w strumieniu powietrza otrzymuje się gazy zawierające SO_2 , O_2 i N_2 oraz wypałki ZnO. Schemat instalacji przedstawia rysunek. Przyjmując, że ułamek molowy SO_2 w strumieniu P wynosi a_{SO_2} , a ułamek molowy tlenu a_{O_2} znajdź zależność:

$$a_{\text{SO}_2} = f(a_{\text{O}_2})$$

i przedstaw ją graficznie. Obliczenia prowadź przyjmując za podstawę bilansu wielkość strumienia P 1 kmol/h. Uproszczony skład powietrza: 20 % tlenu i 80 % azotu.



ZADANIE 9

W reaktorze do utleniania SO_2 do SO_3 , stanowiącym fragment instalacji do produkcji kwasu siarkowego, uzyskuje się stopień przemiany SO_2 w SO_3 wynoszący x . Nieprzereagowany SO_2 nie ulega absorpcji i w całości odprowadzany jest do komina, powodując zagrożenie dla środowiska. Stężenie SO_2 w gazach poreakcyjnych (po reaktorze - strumień B), które zawierają ponadto O_2 , SO_3 i N_2 wynosi a % mol. Należy:

1) ustalić, jak będzie zmieniało się stężenie SO_2 w gazach poreakcyjnych w zależności od stopnia przemiany x osiąganego w reaktorze.

$$a = f(x)$$

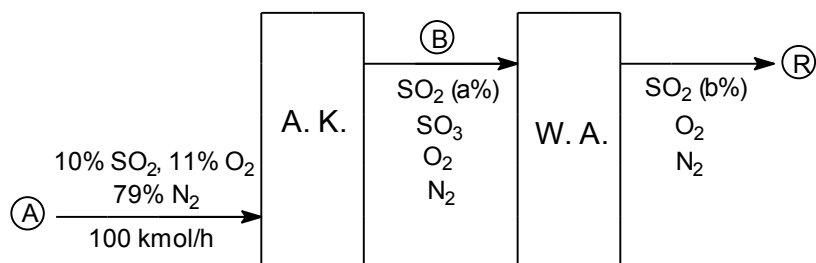
2) obliczyć, jaki powinien być minimalny stopień przemiany SO_2 w SO_3 , aby stężenie SO_2 w gazach kominowych (strumień R), po całkowitej absorpcji SO_3 nie przekraczało $b = 0,1$ % mol.

$$x \text{ dla } b = 0,1 \%$$

Stopień przemiany SO_2 w SO_3 definiujemy jako stosunek molowy natężenia strumienia SO_3 ($W_B[\text{SO}_3]$) do sumy natężeń strumienia SO_2 ($W_B[\text{SO}_2]$) i SO_3 ($W_B[\text{SO}_3]$) za reaktorem. Należy pamiętać, że z bilansu siarki wynika, że $W_A[\text{SO}_2] = W_B[\text{SO}_2] + W_B[\text{SO}_3]$.

$$x = \frac{W_B[\text{SO}_3]}{W_B[\text{SO}_3] + W_B[\text{SO}_2]} = \frac{W_B[\text{SO}_3]}{W_A[\text{SO}_2]}$$

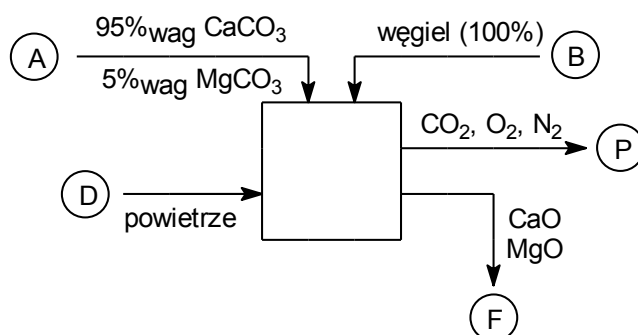
Obliczenia należy wykonać przyjmując za podstawę bilansu natężenie strumienia A 100 kmol/h. Skład strumienia A (w % molowych): 10 % SO₂, 11 % O₂ i 79 % N₂ (strumień A).



ZADANIE 10

Rozkład węgla wapnia prowadzi się w piecach szybowych. Węglan zawiera 5 % mas. zanieczyszczeń w postaci MgCO₃. W celu uzyskania wysokiej temperatury spala się węgiel (koks) stosując nadmiar powietrza. Jako produkt otrzymuje się CaO (wapno palone) zawierające domieszkę MgO. Gazy opuszczające piec zawierają dwutlenek węgla, azot i tlen. Zawartość CO₂ wynosi a % molowych. Oblicz zależność $a = f(N)$, gdzie $N = G_B/G_A$ (kg/h)/(kg/h).

$$\frac{W_D[O_2]}{W_B[C]} = 1,2 \quad W_B[O_2], W_B[C] - \text{kmol / h}$$



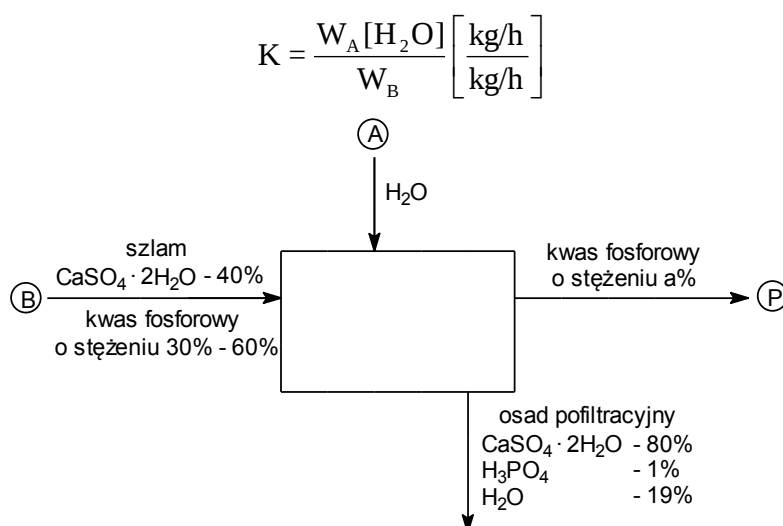
Za podstawę bilansu należy przyjąć 100 kg/h węgla wapnia i magnezu: $G_A = 100$ kg/h. Dla uproszczenia należy przyjąć skład powietrza – 80 % azotu i 20% mol. tlenu.

ZADANIE 11

Kwas fosforowy produkuje się rozkładając rudy fosforowe (zawierające ortofosforan wapnia) kwasem siarkowym, w wyniku czego otrzymuje się szlam stanowiący mieszaninę kwasu fosforowego (H₃PO₄), wody i gipsu (CaSO₄•2H₂O). Kwas fosforowy oddziela się na

filtrze. W kolejnych sekcjach filtra osad odmywa się wodą dla uniknięcia strat kwasu fosforowego. Należy tak dobrać ilość wody myjącej w stosunku do ilości szlamu, żeby uzyskać założony stopień odmycia osadu, a jednocześnie nie obniżać nadmiernie stężenia produkowanego kwasu.

Przyjmując, że w szlamie doprowadzanym na filtry zawarte jest 40 % mas. suchej masy ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), a resztę stanowi 30 % mas. kwas fosforowy, oraz że zawartość H_3PO_4 w osadzie pofiltracyjnym wynosi 1 % mas. a zawartość wilgoci (H_2O) – 19 % mas. obliczyć zależność pomiędzy stężeniem wyprodukowanego kwasu fosforowego a % mas. a stosunkiem wagowym użytej wody do szlamu. Za podstawę obliczeń należy przyjąć 100 kg/h szlamu ($W_B = 100 \text{ kg/h}$).



ZADANIE 12

Kwas fosforowy produkuje się rozkładając rudy fosforanowe zawierające ortofosforan wapnia stężonym kwasem siarkowym. Wytworzony kwas fosforowy oddziela się na filtrach od powstającego w procesie $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Mimo przemywania osadu traci się część kwasu wraz z oddzielonym $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Przyjmując, że stosunek wagowy straconego kwasu do osadu $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ wynosi S , należy obliczyć

$$S = f(\eta)$$

gdzie

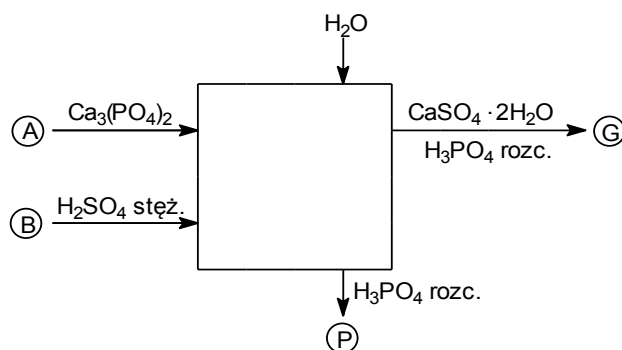
$$S = \frac{G_G [\text{H}_3\text{PO}_4]}{G_G [\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]} \left[\frac{\text{kg/h}}{\text{kg/h}} \right]$$

a wydajność procesu η definiuje się:

$$\eta = \frac{W_P[\text{H}_3\text{PO}_4]}{W_A[\text{H}_3\text{PO}_4]}$$

$W_P[\text{H}_3\text{PO}_4]$ - natężenie strumienia kwasu fosforowego w strumieniu produktu P [kmol/h]

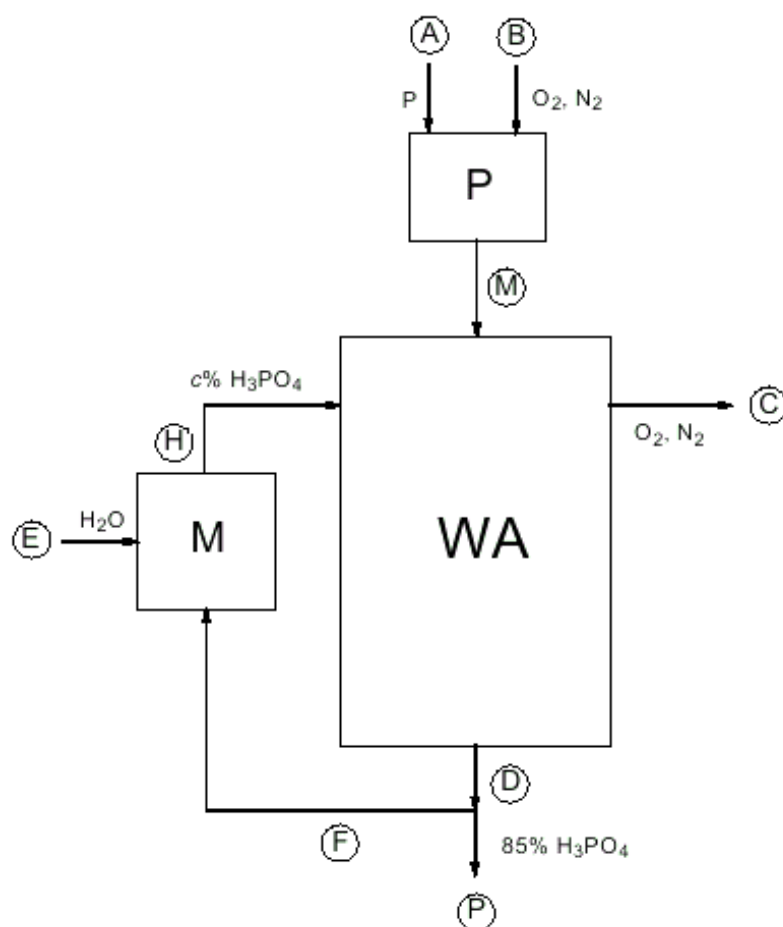
$W_A[\text{H}_3\text{PO}_4]$ - natężenie strumienia fosforu w strumieniu wprowadzanej rudy fosforanowej A [kmol/h]



W obliczeniach należy pominąć zanieczyszczenia w rudzie i przyjąć, że w jej skład wchodzi tylko $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Za podstawę bilansu należy przyjąć 1 kmol/h ortofosforanu wapnia. W bilansie nie należy uwzględniać wody wprowadzonej z kwasem siarkowym i do przemywania ani odprowadzanej z kwasem fosforowym i osadem.

ZADANIE 13

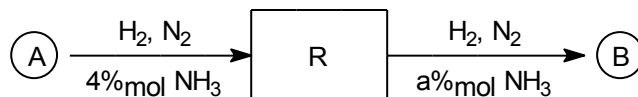
Kwas fosforowy (85 % mas.) produkuje się spalając ciekły fosfor (strumień A) w powietrzu. Powstały P_2O_5 (strumień M) absorbuje się w kwasie fosforowym o stężeniu c % mas. Część powstałego kwasu fosforowego po rozcieńczeniu wodą zawraca się do absorpcji, a reszta stanowi produkt. Ustal zależność między ułamkiem masowym kwasu fosforowego ($c_{H_3PO_4}$) zasilającego wieżę absorpcyjną a strumieniem G_F zawracanego kwasu, $c_{H_3PO_4} = f(G_F)$. Jako podstawę bilansu przyjmij wielkość strumienia P ($G_P = 1 \text{ kg/h}$).



ZADANIE 14

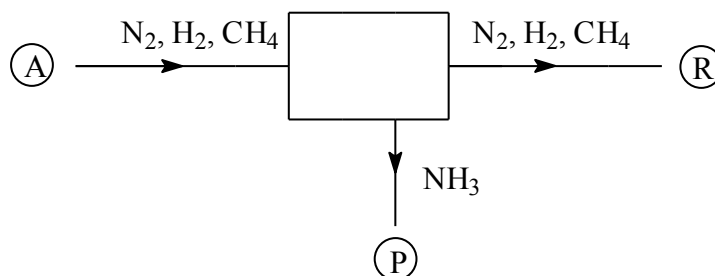
Do reaktora syntezy amoniaku wprowadza się strumień gazu zawierający 4 % mol NH_3 , wodór i azot. Stosunek molowy wodoru do azotu wynosi 3 ($W_A[H_2]/W_A[N_2] = 3$). Na wyjściu z reaktora zawartość amoniaku wynosi a % mol. Przyjmując za podstawę bilansu strumień gazu W_A wynoszący 100 kmol/h oblicz zależność $a = f(x)$, gdzie x – stopień przemiany wodoru w amoniak.

$$x_{H_2 \rightarrow NH_3} = \frac{W_A[H_2] - W_B[H_2]}{W_A[H_2]}$$



ZADANIE 15

Syntezę amoniaku prowadzi się w instalacji, którą przedstawiono na rysunku. Do instalacji doprowadza się gaz syntezowy zawierający wodór i azot. Gaz syntezowy zanieczyszczony jest metanem, którego zawartość wynosi a % mol strumienia A. Stosunek molowy wodoru do azotu w strumieniu A wynosi 3 ($W_A[H_2]: W_A[N_2] = 3$). Z instalacji odprowadza się produkt (strumień P) zawierający tylko NH_3 oraz gaz resztkowy (strumień R) zawierający H_2 , N_2 i CH_4 . Wydajność instalacji η definiuje się jako stosunek natężeń strumienia wodoru odprowadzanego z instalacji w postaci amoniaku, do strumienia wodoru wprowadzanego do instalacji

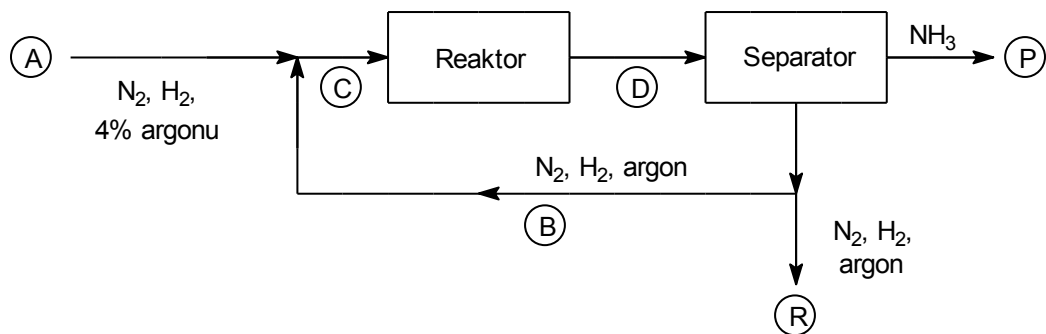


$$\eta = \frac{3 W_P [NH_3]}{2 W_A [H_2]}$$

Przyjmując, że w jednostce czasu odprowadza się z instalacji 1 kmol NH_3 , oblicz wydajność instalacji jako funkcję natężenia strumienia gazów resztkowych W_R i stężenia metanu w gazie syntezowym - $\eta = f(W_R, a)$.

ZADANIE 16

Syntezę amoniaku prowadzi się w instalacji cyrkulacyjnej przedstawionej na rysunku.



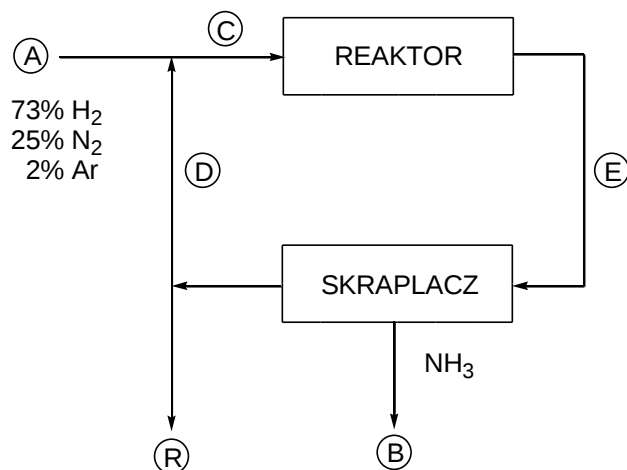
Gaz syntezowy (strumień A) zawiera 4 % mol. argonu. Stosunek molowy wodoru do azotu w strumieniu A wynosi 3 ($W_A[H_2]/W_A[N_2] = 3$). Stosunek strumienia zawracanego B do strumienia A wynosi m ($W_B/W_A = m$). Wydajność procesu obliczana jako stosunek

$$\frac{3W_P[NH_3]}{2W_A[H_2]} = 0,95$$

Przyjmując za podstawę bilansu 100 kmoli/h strumienia A obliczyć zależność m od stopnia przemiany wodoru w reaktorze ($m = f(x)$).

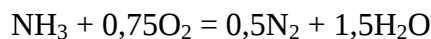
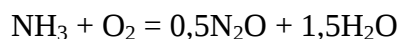
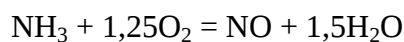
ZADANIE 17

Synteza amoniaku przebiega zgodnie ze schematem. Gaz do syntezy (strumień A) zawiera (w % molowych) 73 % wodoru, 25 % azotu i 2 % argonu. Przed reaktorem strumień A miesza się z gazem obiegowym (strumień D). Stopień przemiany wodoru w reaktorze wynosi x . Gazy po reakcji przechodzą przez skraplacz, gdzie następuje całkowite wykroplenie amoniaku (strumień B). Część nieprzereagowanego gazu odprowadza się na zewnątrz instalacji (strumień R), a reszta jest zawracana do reaktora. Przyjmując, że stosunek molowy strumieni W_D/W_A wynosi y , wyznacz zależność $y = f(x)$. Obliczenia przeprowadź przyjmując wielkość strumienia $W_A = 100$ kmol/h i $W_R[H_2] / W_A[H_2] = 0,05$.

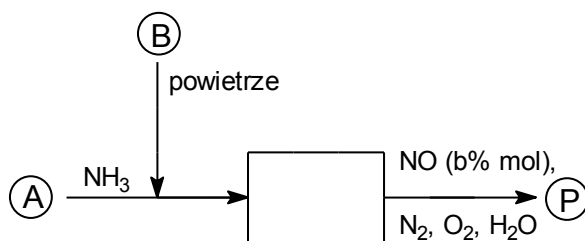


Zadanie 18

W reaktorze utlenia się NH_3 na siatkach platynowo-rodowych. Produktami utleniania amoniaku może być tlenek azotu, podtlenek azotu i azot.



Do aparatu doprowadza się mieszaninę amoniaku i powietrza. Stosunek natężeń strumienia powietrza do strumienia amoniaku w kmolach na godzinę wynosi K . Gazy po reakcji zawierają NO , H_2O , N_2 , O_2 .



Zakłada się, że amoniak przereagowuje całkowicie, a produktami są NO i N_2 (bez N_2O). Stopień przemiany NH_3 do NO wynosi x . Wyznacz zależność pomiędzy stężeniem NO w gazach po reakcji (b , % mol) a stopniem przemiany NH_3 do NO i stosunkiem natężeń strumieni powietrza i amoniaku.

$$b = f(x, K), \quad \text{gdzie}$$

$$x = \frac{W_p[\text{NO}]}{W_A[\text{NH}_3]},$$

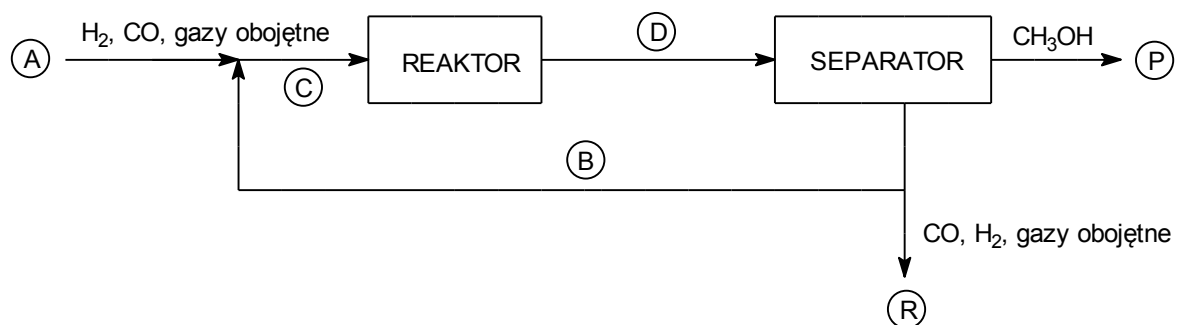
$$K = \frac{W_B}{W_A},$$

$$b = \frac{W_p[\text{NO}]}{W_p} \cdot 100\%$$

Obliczenia należy prowadzić dla podstawy bilansu $W_A = 1 \text{ kmol/h}$.

Zadanie 19

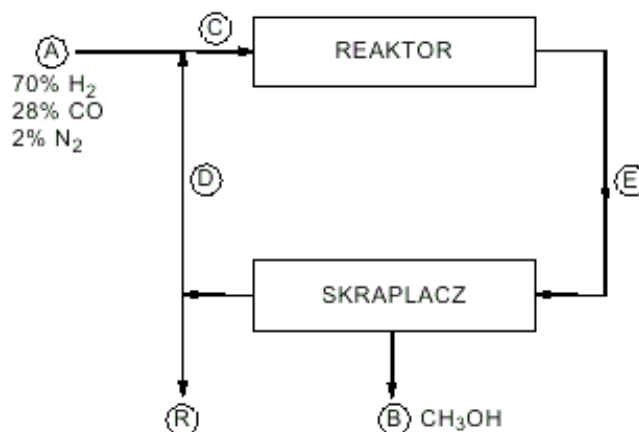
Syntezę metanolu prowadzi się w instalacji, którą przedstawiono na rysunku.



Gaz syntezowy (strumień A) zawiera wodór i tlenek węgla oraz 1 % molowy gazów obojętnych. Stosunek molowy wodoru do tlenku węgla wynosi 2 ($W_A[\text{H}_2]/W_A[\text{CO}] = 2$). Ułamek molowy gazów obojętnych w strumieniu R wynosi 0,25. Stosunek strumienia zawracanego B (zawierającego wodór, tlenek węgla oraz gazy obojętne) do strumienia A wynosi k ($W_B/W_A = k$). Stosunek molowy wodoru do tlenku węgla w strumieniu B wynosi 2 ($W_B[\text{H}_2]/W_B[\text{CO}] = 2$). Przyjmując za podstawę bilansu 100 kmol/h strumienia A, oblicz zależność k od stopnia przemiany tlenku węgla w reaktorze ($k = f(x)$).

Zadanie 20

Synteza metanolu przebiega zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku, z

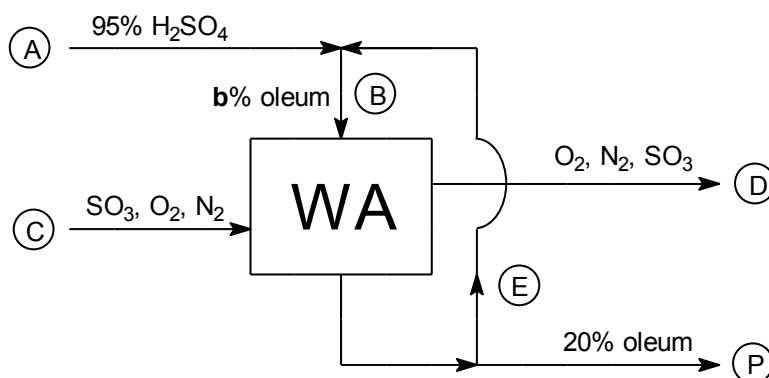


wydajnością $\eta = 0,95$ ($\eta = W_B[\text{CH}_3\text{OH}] / W_A[\text{CO}]$). Gaz do syntezy (strumień A) zawiera 70 % mol. wodoru, 28 % CO i 2 % azotu. Przed reaktorem strumień A miesza się z gazem obiegowym (strumień D) zawierającym wodór, tlenek węgla i azot. Stopień przemiany CO w reaktorze wynosi x . Gazy po reakcji przechodzą przez skraplacz, gdzie następuje całkowite wykroplenie metanolu (strumień B). Część nieprzereagowanego gazu odprowadza się na zewnątrz instalacji (strumień R), a reszta jest zwracana do reaktora. Przyjmując, że stosunek molowy strumieni W_D/W_A wynosi z , wyznacz zależność $z = f(x)$. Jako podstawę bilansu przyjmij wielkość strumienia $W_A = 100 \text{ kmol/h}$.

ZADANIE 21

Roztwór SO_3 w kwasie siarkowym nosi nazwę oleum lub dymiący kwas siarkowy. 20-procentowe oleum (20 % mas. SO_3 i 80 % mas. H_2SO_4) otrzymuje się przez absorpcję SO_3 w wieży zasilanej oleum zawierającym b % mas. SO_3 (strumień B). Strumień B otrzymywany jest przez rozcieńczenie kwasem siarkowym (95 % mas.) części produkowanego 20-procentowego oleum (strumień E). Stosunek wagowy natężenia strumienia zwracanego do

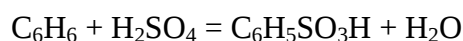
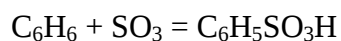
strumienia produkowanego oleum $\frac{G_E}{G_P} = n \left[\frac{\text{kg/h}}{\text{kg/h}} \right]$



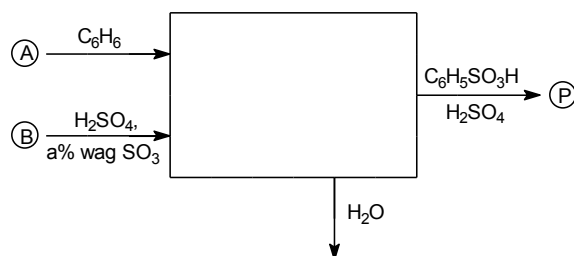
Przyjmując za podstawę bilansu 100 kg 20 % oleum ($G_P = 100 \text{ kg/h}$) znajdź zależność pomiędzy stężeniem oleum zasilającego wieżę a stosunkiem n , tj. $b = f(n)$.

ZADANIE 22

Kwas benzenosulfonowy otrzymuje się przez sulfonowanie benzenu stosując oleum, czyli dymiący kwas siarkowy zawierający wolny SO_3 , przy czym w reakcję z benzenem wchodzi oba składniki oleum.



Benzen zostaje w całości przetworzony w kwas benzenosulfonowy.



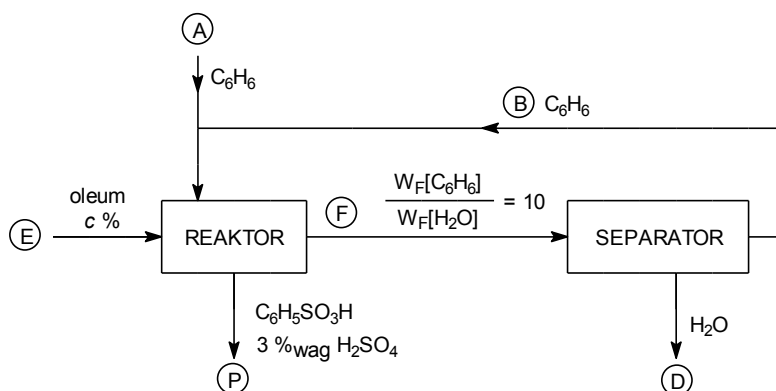
Z instalacji odprowadza się kwas benzenosulfonowy, zawierający nieprzereagowany H_2SO_4 , a oddzielnie wodę powstającą w reakcji. Ilość zużywanego oleum zależy od jego stężenia i udziału kwasu siarkowego w procesie sulfonowania. Przyjmując, że do instalacji doprowadza się 1 kmol benzenu na godzinę, należy wyznaczyć zależność natężenia strumienia oleum – G_B - od stężenia wolnego SO_3 (a % wag) i stosunku molowego $W_P[\text{H}_2\text{SO}_4]$ do $W_P[\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}]$ w strumieniu produktów.

$$\frac{W_P[\text{H}_2\text{SO}_4]}{W_P[\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}]} = n \left[\frac{\text{kmol/h}}{\text{kmol/h}} \right]$$

Obliczyć: $G_B = f(a, n)$

ZADANIE 23

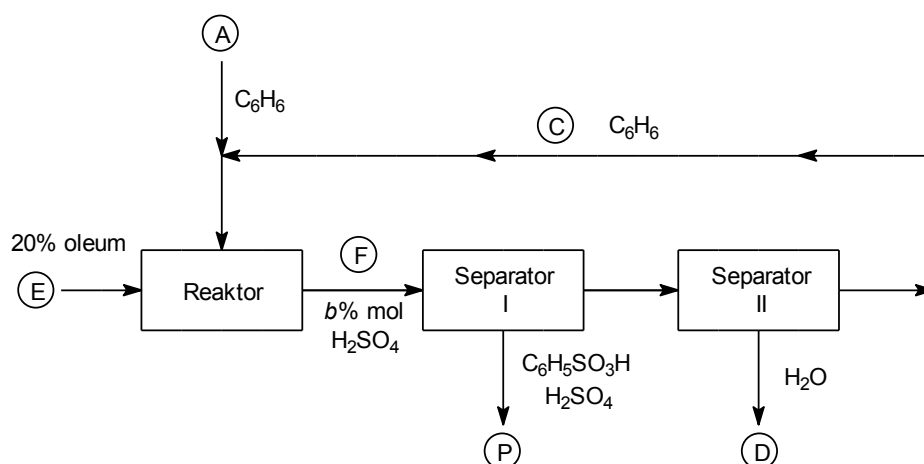
Kwas benzenosulfonowy otrzymuje się przez sulfonowanie benzenu metodą ciągłą.



Do reaktora wprowadza się benzen (strumień W_A) i oleum (G_E) zawierające kwas siarkowy i c % mas. SO_3 . Powstająca w procesie woda jest oddestylowywana wraz z nadmiarem benzenu. Stosunek molowy benzenu do wody w destylacie wynosi 10 ($W_F[C_6H_6]/W_F[H_2O] = 10$). Benzen po oddzieleniu wody zawraca się do reaktora. Strumień P opuszczający reaktor zawiera kwas benzenosulfonowy i 3 % mas. H_2SO_4 . Przyjmując, że stosunek natężenia strumieni $W_A/W_B = z$ wyznacz zależność $z = f(c)$. Za podstawę obliczeń przyjąć 1 mol/s strumienia benzenu ($W_A = 1$ mol/s).

Zadanie 24

Kwas benzenosulfonowy otrzymuje się przez sulfonowanie benzenu metodą ciągłą. Do reaktora wprowadza się benzen (strumień W_A i strumień W_C) i oleum zawierające kwas siarkowy i 20 % mas. SO_3 (G_E). W separatorze I oddziela się otrzymany kwas benzenosulfonowy i H_2SO_4 (strumień P). Stosunek molowy kwasu siarkowego do $C_6H_5SO_3H$ w strumieniu P wynosi n ($W_P[H_2SO_4] / W_P[C_6H_5SO_3H] = n$). Benzen po oddzieleniu wody w separatorze II zawraca się do reaktora (strumień W_C). Przyjmując, że stosunek natężenia strumieni $W_C/W_A = z$ wyznacz zależność zawartości kwasu siarkowego (w % mol.) w strumieniu F od z i n [$b = f(z, n)$]. Za podstawę obliczeń przyjmij 1 mol/s strumienia benzenu ($W_A = 1$ mol/s).

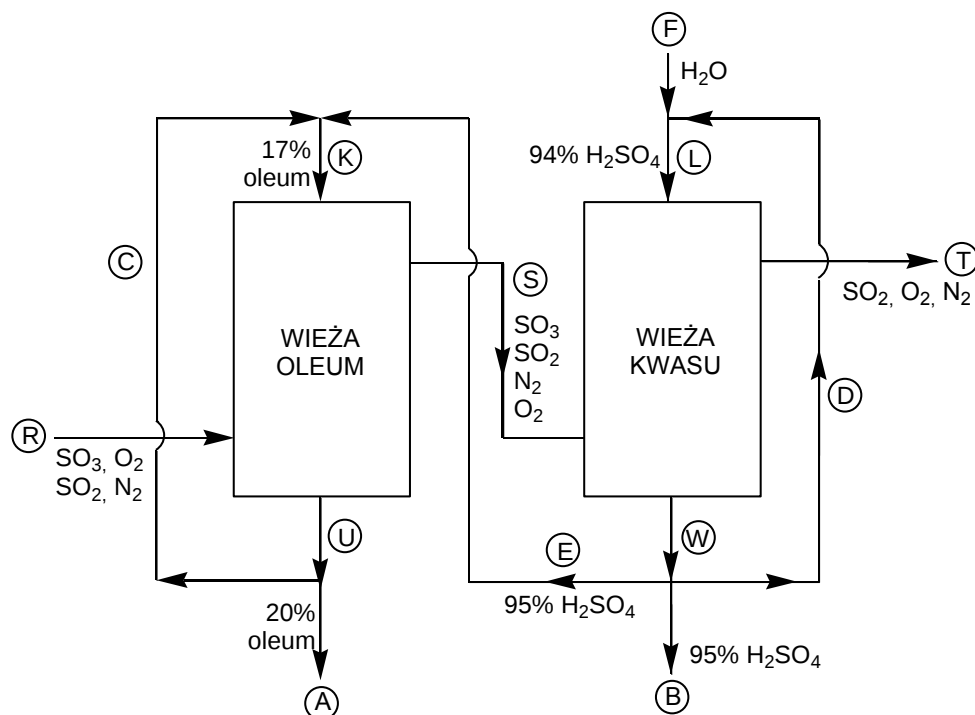


Zadanie 25

Fabryka kwasu siarkowego produkuje kwas siarkowy (95 % mas.) i oleum zawierające 20% SO_3 . Stosunek wagowy wyprodukowanego oleum (strumień A) do kwasu siarkowego (strumień B) wynosi n ($G_A/G_B = n$). Trójtlenek siarki pochłaniany jest w systemie wież absorpcyjnych w 94 % H_2SO_4 i oleum zawierającym 20 % SO_3 (strumienie odpowiednio L i

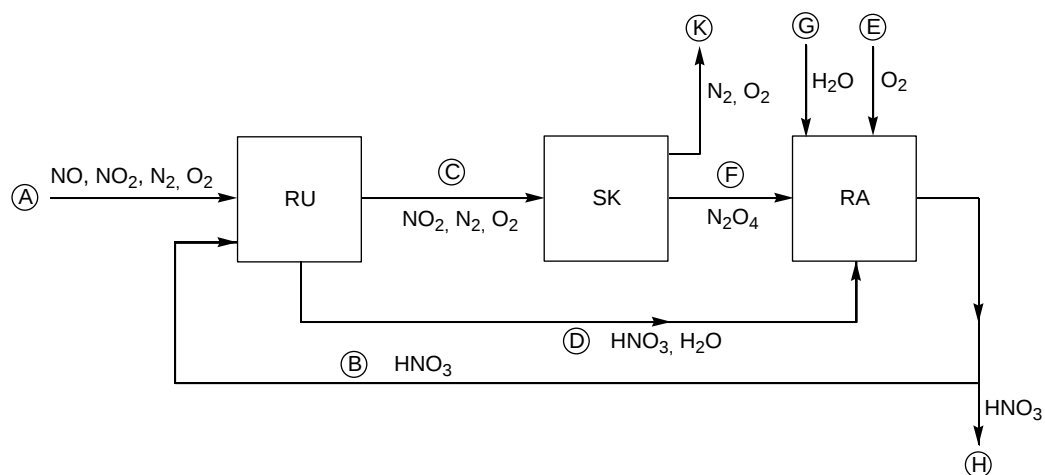
K). Przyjmując za podstawę bilansu wielkość strumienia B ($G_B = 100 \text{ kg/h}$) oblicz zależności:

1. $G_C = f(n)$
2. $G_D = f(n)$



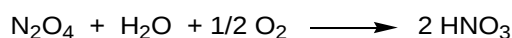
Zadanie 26

Proces wytwarzania stężonego HNO_3 przedstawiono na rysunku. Surowcami są tlenki azotu (NO i NO_2) wprowadzane do reaktora utleniania (RU) w strumieniu A wraz z O_2 i N_2 , tlen (strumień E) i woda (strumień G). W reaktorze RU zachodzi utlenianie NO do NO_2 100-procentowym HNO_3 wg reakcji:



Tlen z fazy gazowej nie bierze udziału w reakcji utleniania NO. W autoklawie (RA) skroplony

w skraplaczu (SK) N_2O_4 reaguje z tlenem (strumień E) i wodą (strumień G) wg reakcji:



Część powstałego HNO_3 stanowi produkt (strumień H), a pozostały (strumień B) służy do utleniania NO w reaktorze RU.

1. Przyjmując

$$u = \frac{W_A[NO]}{W_A[NO] + W_A[NO_2]}, \quad 0 \leq u \leq 1 \text{ i}$$

$$z = W_E[O_2] / W_H[HNO_3]$$

wyznacz zależność $z = f(u)$.

2. Przyjmując

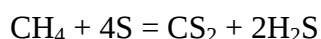
$$y = \frac{W_D[HNO_3]}{W_D[HNO_3] + W_D[H_2O]}, \quad 0 \leq y \leq 1 \quad v = \frac{W_B[HNO_3]}{W_H[HNO_3]}, \quad v \geq 0 \quad u = \frac{W_A[NO]}{W_A[NO] + W_A[NO_2]}, \quad 0 \leq u \leq 1$$

wyznacz zależność $y = f(v, u)$.

Obliczenia należy wykonać przyjmując, że produkcja kwasu azotowego (strumień H) wynosi 1 kmol/s.

Zadanie 27

Dwusiarczek węgla otrzymuje się w reakcji pomiędzy metanem i siarką wg reakcji:



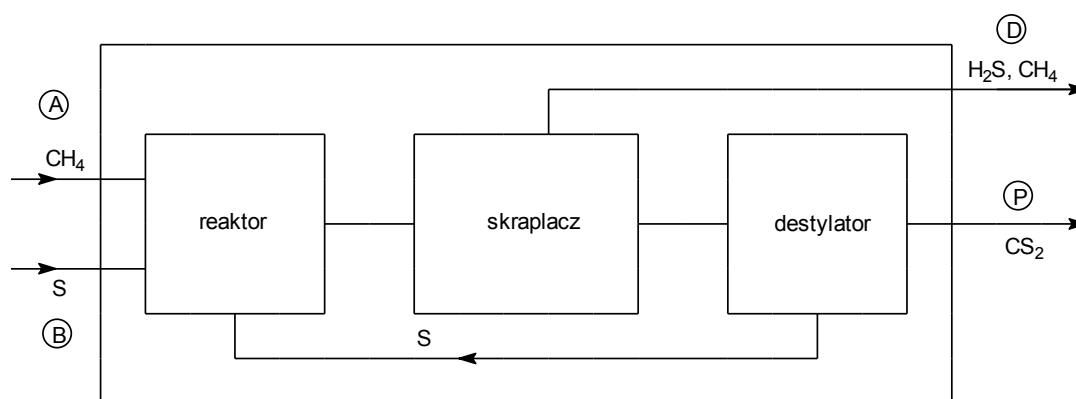
Po rozdzieleniu mieszaniny poreakcyjnej z instalacji odprowadza się produkt (CS_2) oraz nieprzereagowany metan (CH_4) i siarkowodór (H_2S). Wyznaczyć zależność pomiędzy stopniem przemiany metanu w dwusiarczek węgla a molowym stosunkiem metanu do siarkowodoru (u) w strumieniu gazów odlotowych (D), przyjmując, że do instalacji doprowadza się 1 kmol CH_4 na sekundę.

$$u = f(x)$$

stopień przemiany:

$$x = \frac{W_p[CS_2]}{W_A[CH_4]}$$

$$u = \frac{W_D[CH_4]}{W_D[H_2S]}$$



ODPOWIEDZI

1.
$$b = \frac{97(1 - \eta)}{100 - 97\eta} \cdot 100\%$$

2.
$$a = \frac{0,1}{z - 0,35}$$

3.
$$b = \frac{100K}{K + 1 + \eta}$$

4.
$$b = \frac{3}{y + 3}$$

5.
$$b_{\text{CH}_3\text{Cl}} = \frac{98\eta}{100 + 98\eta}$$

6.
$$N = \frac{50Z + (33 + 50Z)x}{67}$$

$x = 0 \quad N = 0,75Z$

$x = 0,5 \quad N = 1,12Z + 0,25$

$x = 1 \quad N = 1,49Z + 0,49$

7.
$$b = 100/N, \quad 0 < b \leq 20, \quad N \geq 5$$

8.
$$a_{\text{SO}_2} = 0,14 - 0,71 a_{\text{O}_2}$$

$$9. \quad a = \frac{1-x}{10-0,5x} \cdot 100\%, \quad b = 0,1\%, \quad x = 0,9914$$

$$10. \quad a = \frac{833N + 101}{50N + 1,01}$$

$$11. \quad a = \frac{17,5}{100K + 50} \cdot 100\%$$

$$12. \quad S = 0,38(1 - \eta)$$

$$13. \quad c_{\text{H}_3\text{PO}_4} = \frac{0,85G_F}{G_F + 0,38}$$

$$14. \quad a = \frac{4 + 48x}{100 - 48x} \cdot 100\%$$

15.	Przychód, kmol/h	Rozchód, kmol/h
	$\text{N}_2 \quad \frac{1}{2\eta}$	$\text{N}_2 \quad \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$
	$\text{H}_2 \quad \frac{3}{2\eta}$	$\text{H}_2 \quad \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{\eta} - \frac{3}{2} = \frac{3}{2} \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right)$
	$\text{CH}_4 \quad \frac{4}{2\eta} \quad \frac{a}{100 - a}$	$\text{CH}_4 \quad \frac{2a}{\eta(100 - a)}$
		$\text{NH}_3 \quad 1$

$$\eta = \frac{200}{100W_R + 200 - 2a - aW_R}$$

16. Bilans obszaru zewnętrznego

Przychód, kmol/h	Rozchód, kmol/h
N₂: 24	N₂: 1,2 (z bilansu azotu)
H₂: 72	H₂: 3,6 (z bilansu wodoru)
Ar: 4	Ar: 4
	NH₃: 45,6

Bilans reaktora

Przychód, kmol/h	Rozchód, kmol/h
N₂ : $24 + 100 m \cdot (1,2/8,8)$	N₂ : $(24 + 100 m \cdot 1,2/8,8) (1 - x)$ z bilansu azotu
H₂ : $72 + 100 m \cdot (3,6/8,8)$	H₂ : $(72 + 100 m \cdot 3,6/8,8) (1 - x)$ z definicji x
Ar : $4 + 100 m \cdot (4/8,8)$	Ar : $4 + 100 m \cdot (4/8,8)$
	NH₃ : 45,6

Bilans wodoru

$$2 \cdot (72 + 100m \cdot 3,6/8,8) = 2 \cdot (72 + 100m \cdot 3,6/8,8) (1 - x) + 3 \cdot 45,6$$

stąd

$$m = \frac{68,4 - 72x}{40,9x}$$

17. $y = \frac{138,6 - 146x}{96x}$

18. $b = \frac{100 x}{z + 1,25}$

19. $k = \frac{32 - 33x}{25x}$

20.

bilans obszaru zewnętrznego

Przychód, kmol/h

H₂ 70

CO 28

N₂ 2

Rozchód, kmol/h

CH₃OH 28 · η = 28 · 0,95 = 26,6 (z def. η)

H₂ 16,8 (z bilansu H)

CO 1,4 (z bilansu C)

N₂ 2

bilans reaktora

Przychód, kmol/h

N₂ 2 + 100z · 2/20,2

H₂ 70 + 100z · 16,8/20,2

CO 28 + 100z · 1,4/20,2

H)

Rozchód, kmol/h

CH₃OH 26,6

N₂ 2 + 100z · 2/20,2

H₂ 70 + 100z · 16,8/20,2 – 53,2 (z bilansu H)

CO (20 + 100z · 1,4/20,2)(1 – x) (z def. x)

$$W_R = 20,2 \text{ kmol/h}$$

$$W_D = 100z \text{ (z def.)}$$

Z bilansu tlenu obliczamy $z = f(x)$

$$28 + 100z \cdot 0,069 = 26,6 + (28 + 100z \cdot 0,069)(1 - x)$$

stąd

$$z = \frac{26,6 - 28x}{6,9x}$$

21.

Bilans wodoru w obszarze zewnętrznym

Przychód, (kg/h)	Rozchód, (kg/h)
$2 \cdot \left(\frac{0,05 G_A}{18} + \frac{0,95 G_A}{98} \right)$	$2 \cdot \frac{80}{98}$

$$\text{stąd } G_A = 65,5 \text{ kg/h}$$

Bilans SO_3 w mieszalniku 95% H_2SO_4 i 20% oleum

Przychód, (kg/h)	Rozchód, (kg/h)
A: $\frac{G_A \cdot 0,95}{98} \cdot 80$	B: $G_B \cdot 0,01b + G_B \cdot \frac{(1 - 0,01b) \cdot 80}{98}$
E: $20n + \frac{80n}{98} \cdot 80$	

$$G_B = G_A + G_E = 65,5 + 100n$$

$$\frac{G_A \cdot 0,95}{98} \cdot 80 + 20n + \frac{80n}{98} \cdot 80 = (65,5 + 100n) \cdot 0,01b + \frac{65,5 + 100n}{98} \cdot (1 - 0,01b) \cdot 80$$

stąd

$$b = \frac{360n - 262}{11,8 + 18n}$$

22.

$$G_B = \frac{98 \cdot 80 (1 + n)}{0,18a + 80} = \frac{98 (1 + n)}{0,002a + 1}$$

23.

$$z = \frac{80 + 0,18c}{800 - 8,49c}$$

24.

Bilans obszaru zewnętrznego

Przychód, mol/s	Rozchód, mol/s
A: $C_6H_6 = 1$	P: $C_6H_5SO_3H = 1$
E: $H_2SO_4 = 0,8 \cdot G_E / 98$	$H_2SO_4 = n$ (z definicji)
$SO_3 = 0,2 \cdot G_E / 80$	D: $(0,8 \cdot G_E / 98) - n$ (z bilansu wodoru)

Bilans siarki

$$(0,8 \cdot G_E / 98) + (0,2 \cdot G_E / 80) = 1 + n \Rightarrow G_E = 93,8 (1 + n)$$

Bilans reaktora

Przychód, mol/h	Rozchód, mol/h
$C_6H_6 = 1 + z$	$C_6H_5SO_3H = 1$
$H_2SO_4 = 0,77 (1 + n)$	$C_6H_6 = z$
$SO_3 = 0,23 (1 + n)$	$H_2SO_4 = n$
	$H_2O = 0,77 (1 + n) - n$

$$b = n \cdot 100\% / [1 + z + n + 0,77 (1 + n) - n]$$

$$b = \frac{n}{0,77n + z + 1,77} \cdot 100\%$$

25. a.

Bilans wieży oleum (bilans H_2O)

$$G_E \cdot (0,05 + 0,95 \cdot \frac{18}{98}) = G_A \cdot 0,8 \cdot \frac{18}{98}$$

$$G_E = G_A \cdot 0,6545 \quad G_A = 100 \text{ n (z definicji n)}$$

$$G_E = 65,45 \text{ n}$$

Bilans węzła – strumienie E, C i K (bilans H_2O)

$$G_E \cdot (0,05 + 0,95 \cdot \frac{18}{98}) + G_C \cdot 0,8 \cdot \frac{18}{98} = (G_C + G_E) \cdot 0,83 \cdot \frac{18}{98}$$

stąd

$$G_C = 849,7 \text{ n}$$

b. $G_D = 2110 + 1381,2n$

26. a. $z = 0,5u + 0,25$

b. $y = \frac{v - 2u}{v - u}$

27. $u = \frac{1 - x}{2x}$