



MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ



Kazimierz Olszewski

Wytwarzanie podstawowych półproduktów i produktów nieorganicznych 815[01].Z2.02

Poradnik dla ucznia

Wydawca

**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2007**

Recenzenci:
dr inż. Jarosław Religa
mgr Zbigniew Piotr Rawluk

Opracowanie redakcyjne:
mgr inż. Kazimierz Olszewski

Konsultacja:
mgr inż. Halina Bielecka

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 815[01].Z2.02 „Wytwarzanie podstawowych półproduktów i produktów nieorganicznych”, zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu operator urządzeń przemysłu chemicznego.

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

SPIS TREŚCI

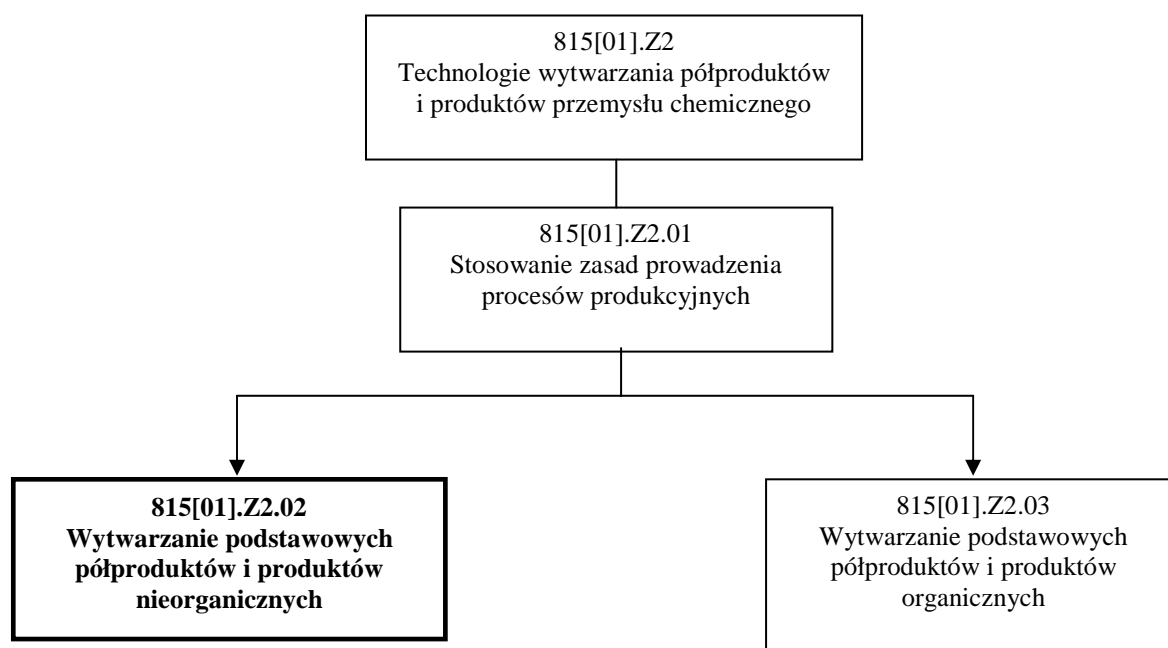
1. Wprowadzenie	3
2. Wymagania wstępne	4
3. Cele kształcenia	5
4. Materiał nauczania	6
4.1. Technologia wody	6
4.1.1. Materiał nauczania	6
4.1.2. Pytania sprawdzające	10
4.1.3. Ćwiczenia	10
4.1.4. Sprawdzian postępów	13
4.2. Produkcja kwasu siarkowego(VI)	14
4.2.1. Materiał nauczania	14
4.2.2. Pytania sprawdzające	18
4.2.3. Ćwiczenia	18
4.2.4. Sprawdzian postępów	19
4.3. Technologia związków azotu	20
4.3.1. Materiał nauczania	20
4.3.2. Pytania sprawdzające	27
4.3.3. Ćwiczenia	27
4.3.4. Sprawdzian postępów	28
4.4. Technologia związków fosforu	29
4.4.1. Materiał nauczania	29
4.4.2. Pytania sprawdzające	32
4.4.3. Ćwiczenia	32
4.4.4. Sprawdzian postępów	34
4.5. Procesy elektrochemiczne	35
4.5.1. Materiał nauczania	35
4.5.2. Pytania sprawdzające	38
4.5.3. Ćwiczenia	38
4.5.4. Sprawdzian postępów	40
5. Sprawdzian osiągnięć	41
6. Literatura	47

1. WPROWADZENIE

Poradnik będzie Ci pomocny w przyswajaniu wiedzy o podstawowych rozwiązaniach technologicznych stosowanych w procesach wytwarzania podstawowych półproduktów i produktów nieorganicznych.

W poradniku zamieszczono:

- wymagania wstępne – wykaz umiejętności, jakie powinieneś mieć już ukształtowane, abyś bez problemów mógł korzystać z poradnika,
- cele kształcenia – wykaz umiejętności, jakie ukształtujesz podczas pracy z poradnikiem,
- materiał nauczania – wiadomości teoretyczne niezbędne do opanowania treści jednostki modułowej,
- zestaw pytań, abyś mógł sprawdzić, czy już opanowałeś określone treści,
- ćwiczenia, które pomogą Ci zweryfikować wiadomości teoretyczne oraz ukształtować umiejętności praktyczne,
- sprawdzian postępów,
- sprawdzian osiągnięć, przykładowy zestaw zadań. Zaliczenie testu potwierdzi opanowanie materiału całej jednostki modułowej,
- literaturę uzupełniającą.



Schemat układu jednostek modułowych

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- korzystać z różnych źródeł informacji,
- wykonywać podstawowe czynności laboratoryjne,
- posługiwać się podstawowymi pojęciami i wzorami z zakresu chemii nieorganicznej,
- wykonywać podstawowe obliczenia chemiczne,
- rozróżniać symbole graficzne aparatów, maszyn i urządzeń przemysłu chemicznego,
- charakteryzować wymagania dotyczące bezpieczeństwa pracy przy obsłudze aparatów, maszyn i urządzeń przemysłu chemicznego,
- charakteryzować budowę i zasadę działania podstawowych aparatów maszyn i urządzeń przemysłu chemicznego,
- posługiwać się podstawowymi pojęciami technologicznymi,
- rozróżniać zastosowane zasady technologiczne,
- posługiwać się normami, ustawami, rozporządzeniami,
- obsługiwać komputer,
- współpracować w grupie.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- scharakteryzować podstawowe wymagania jakości wody (zasilającej kotły, używanej do celów chłodniczych, technologicznej) stosowanej w typowych procesach produkcji chemicznej,
- określić skład ścieków pochodzących z typowych procesów produkcji chemicznej,
- rozróżnić metody oczyszczania ścieków przemysłu chemicznego,
- scharakteryzować zanieczyszczenia wód, metody ich oczyszczania i uzdatniania,
- wskazać najważniejsze surowce, z których wytwarza się półprodukty i produkty nieorganiczne,
- określić metody wydobywania i oczyszczania surowców przemysłu nieorganicznego,
- określić wpływ zmiany parametrów procesowych na przebieg procesów wytwarzania produktów przemysłu siarkowego, azotowego, fosforowego, sodowego oraz elektrochemicznego i nawozów sztucznych,
- rozróżnić symbole aparatury, punktów pomiaru parametrów, urządzeń regulacji i sterowania stosowanych w procesach wytwarzania półproduktów i produktów nieorganicznych,
- scharakteryzować budowę i zasady działania aparatów i urządzeń stosowanych w procesie wytwarzania podstawowych produktów przemysłu nieorganicznego,
- posłużyć się uproszczonymi schematami technologicznymi procesów wytwarzania produktów przemysłu siarkowego, azotowego, fosforowego, sodowego oraz elektrochemicznego i nawozów sztucznych,
- wskazać wpływ instalacji wytwarzania produktów nieorganicznych na stan środowiska naturalnego,
- ocenić stopień zagrożenia środowiska pracy podczas eksploatacji aparatów i urządzeń stosowanych w procesach wytwarzania produktów przemysłu siarkowego, azotowego, fosforowego, sodowego oraz elektrochemicznego i nawozów sztucznych,
- ocenić toksyczność substancji stosowanych w procesach wytwarzania produktów nieorganicznych na podstawie analizy karty charakterystyki substancji niebezpiecznych,
- scharakteryzować skład i warunki pracy katalizatorów stosowanych w procesach wytwarzania produktów nieorganicznych,
- wyjaśnić, w oparciu o schemat ideowy, chemiczną koncepcję procesu wytwarzania produktu nieorganicznego,
- sporządzić schematy ideowe procesów wytwarzania produktów przemysłu siarkowego, azotowego, fosforowego, sodowego oraz elektrochemicznego i nawozów sztucznych,
- wskazać stosowanie zasad technologicznych w procesach wytwarzania produktów nieorganicznych,
- wyjaśnić istotę, przebieg oraz wskaźniki przebiegu procesów elektrochemicznych,
- zapisać i zinterpretować reakcje elektrodowe zachodzące w procesach elektrolizy,
- wskazać najważniejsze powiązania nieorganicznych procesów technologicznych z procesami przemysłu syntez organicznych,
- zastosować zasady bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej i ochrony środowiska obowiązujące na stanowiskach pracy.

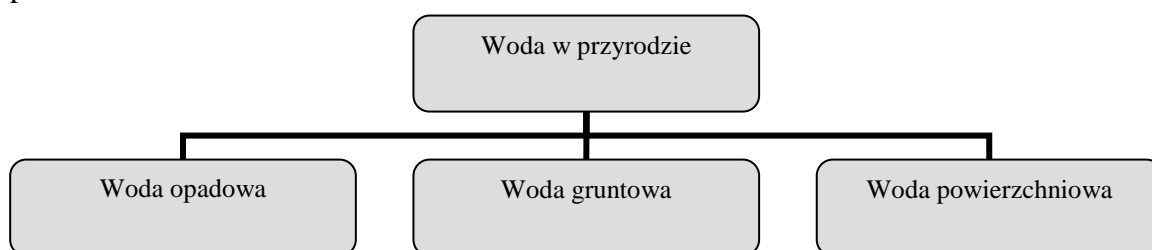
4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Technologia wody

4.1.1. Materiał nauczania

Wody w przyrodzie i ich charakterystyka

Woda jest niezbędna nie tylko do utrzymania życia na Ziemi, ale bez niej nie mógłby istnieć przemysł chemiczny. Zasoby wody na Ziemi, szczególnie pitnej, kurczą się w szybkim tempie.



Rys. 1. Rodzaje wód [opracowanie własne]

Woda opadowa:

- pochodzi z opadów atmosferycznych,
- zawiera pochłonięte z atmosfery zanieczyszczenia charakterystyczne dla terenu opadów.

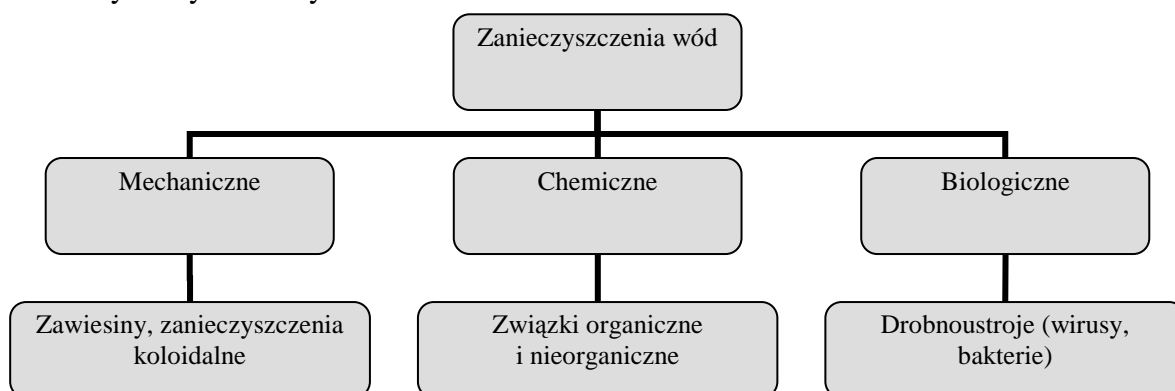
Woda gruntowa:

- pochodzi z wód opadowych przechodzących przez warstwy przepuszczalne i półprzepuszczalne gleb,
- zawiera składniki gleb rozpuszczalne w wodzie (sole sodowe, wapniowe, magnezowe).

Woda powierzchniowa:

- pochodzi z wód opadowych i gruntowych wpływających w sposób naturalny na powierzchnię,
- zawiera znaczne ilości substancji organicznych, drobnoustrojów i zawiesin ilastych,
- wody mórz i oceanów zawierają znaczne ilości soli kuchennej.

Wody naturalne zawierają różnego rodzaju wtrącenia mechaniczne i chemiczne, które ogólnie nazywamy zanieczyszczeniami.



Rys. 2. Rodzaje zanieczyszczeń [opracowanie własne]

Oczyszczanie wody do celów gospodarczych i przemysłowych

Wody stosowane do celów gospodarczych i przemysłowych muszą spełniać wymagania określone w normach. Wymagane parametry wód zależą ściśle od ich przeznaczenia, są one inne dla wód o przeznaczeniu gospodarczym i inne dla wód o przeznaczeniu przemysłowym. Wody naturalne w wielu przypadkach nie spełniają tych wymagań, dlatego poddaje się je uzdatnianiu (oczyszczaniu i modyfikacji składu).

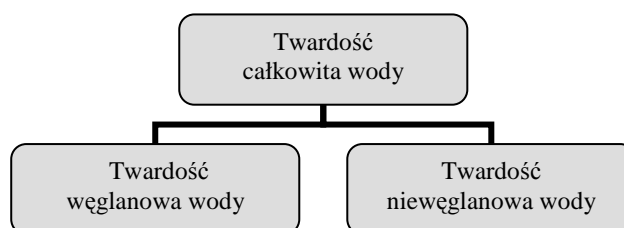
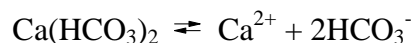
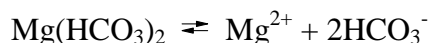
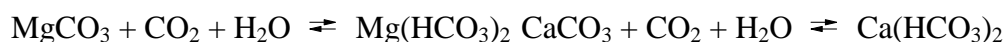
Tabela 1. Procesy uzdatniania wody do celów spożywczo-gospodarczych [opracowanie własne]

Procesy uzdatniania wody	Sposoby uzdatniania wody	Charakterystyka sposobu uzdatniania wody
Oczyszczanie mechaniczne	Kraty	Na metalowych kratkach usuwane są grube zanieczyszczenia w postaci gałęzi, szczątków roślin i glonów.
	Sita	Na sitach przeważnie o różnych rozmiarach oczek usuwane są grube zawiesiny.
	Osadniki	W zbiornikach o znacznych rozmiarach, w których woda przepływa z niewielką prędkością usuwane są drobne zawiesiny.
	Filtry	W czasie przepuszczania wody przez warstwę filtracyjną, którą najczęściej stanowi żwir i piasek usuwane są zawiesiny drobne i koloidalne.
Oczyszczanie fizykochemiczne	Koagulacja zawiesin	Do wody dodawane są sole żelaza i glinu, które ulegają hydrolizie. Wytrącają się kłaczkowate osady wodorotlenków, które absorbują i zlepiają cząstki zawiesiny koloidalnej w większe aglomeraty, łatwiej osadzające się na warstwie filtracyjnej. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 3\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{Al}(\text{OH})_3$ $\text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 3\text{HCl} + \text{Fe}(\text{OH})_3$
	Odzielanie wody	Napowietrzanie wody powoduje utlenienie związków żelaza(II) do wodorotlenku żelaza(III), który może być usunięty przez filtrację. $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{CO}_3$ $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 4\text{Fe}(\text{OH})_3$
	Odmanganianie wody	Napowietrzanie wody powoduje także utlenienie związków manganu(II) do tlenku manganu (IV), który może być usunięty przez filtrację. $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{CO}_3$ $2\text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
	Dezynfekcja wody	Dezynfekcja ma na celu zniszczenie bakterii i mikroorganizmów zawartych w wodzie. Dokonuje się tego przez chlorowanie, ozonowanie lub naświetlanie promieniami ultrafioletowymi. Chlorowanie wody prowadzi się przez dozowanie wody chlorowej. Dezynfekcja chemiczna wykorzystuje następujące reakcje: $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HClO} + \text{HCl}$ $\text{HClO} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OCl}^-$ jon OCl^- jest aktywnym środkiem utleniającym i dezynfekcyjnym, $\text{O}_3 \rightleftharpoons \text{O}_2 + \text{O}$ Tlen atomowy jest silnym środkiem utleniającym i bakteriobójczym. Wodę można dezynfekować również przez bezpośrednie naświetlanie promieniami ultrafioletowymi.

Twardość wody

Twardość wody – własność wody, wywołana obecnością w wodzie substancji pochodzenia naturalnego, przede wszystkim soli wapnia i magnezu.

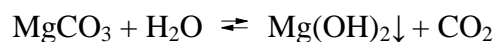
Twardość wody związana jest głównie z występowaniem w wodach jonów wapnia i magnezu, ale nie tylko te jony odpowiadają za twardość wody. Praktycznie za twardość wody odpowiadają jeszcze inne jony metali. Najczęściej są to jony żelaza: Fe^{2+} i Fe^{3+} . Jony powodujące twardość wody mogą znajdować się w wodzie w wyniku rozpuszczenia się w niej soli węglanowych, jak i niewęglanowych:



Rys. 3. Rodzaje twardości wody [opracowanie własne]

Twardość węglanowa:

- spowodowana jest obecnością w wodach jonów metali (Ca, Mg, Fe), głównie w postaci rozpuszczonych węglanów i wodorowęglanów,
- jest to twardość przemijająca, w czasie podgrzewania wody wytrącają się osady węglanów tych metali.



Twardość niewęglanowa:

- spowodowana jest obecnością w wodach jonów metali (Ca, Mg, Fe), głównie w postaci rozpuszczonych chlorków i siarczanów,
- jest to twardość nieprzemijająca, w czasie podgrzewania nie dochodzi do wytrącania się nierozpuszczalnych soli tych metali.

Twardość wody wyrażana jest w: mg CaO/dm^3 , mmol CaO/dm^3 , mval CaO/dm^3 lub w stopniach twardości (najczęściej w stopniach niemieckich).

$$1 \text{ } ^\circ\text{n (stopień niemiecki)} = 10 \text{ mg CaO/dm}^3$$

Metody usuwania twardości wody

W zależności od planowanego przeznaczenia woda musi być uzdatniona, musi być uwolniona od czynników niepożądanych przez odbiorcę.

Uzdatnianie wody polega najczęściej na:

- odgazowaniu wody,
- wstępnym usuwaniu twardości wody,
- całkowitym usuwaniu twardości wody.

Tak przygotowana woda przeznaczana jest do celów spożywczo-gospodarczych lub do zastosowań przemysłowych.

Tabela 2. Metody uzdatniania wody przeznaczonej do celów przemysłowych [opracowanie własne]

Procesy uzdatniania wody	Charakterystyka sposobu uzdatniania wody
Odgazowanie wody	<p>Najczęściej z wody o przeznaczenie przemysłowym usuwa się tlen i ditlenek węgla, gdyż powodują one zachodzenie różnych procesów, w tym głównie korozji. Tlen ulega związaniu w wyniku reakcji z różnymi związkami. Popularnymi związkami wiążącymi tlen jest siarczan(IV) sodu i hydrazyna.</p> $2\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{Na}_2\text{SO}_4$ $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
Wstępne usuwanie twardości wody	<p>Wstępne usuwanie twardości wody zachodzi z zastosowaniem metody termicznej lub chemicznej. Termiczne usuwanie twardości wody stosuje się głównie wówczas, gdy ma ona głównie twardość węglanową:</p> $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3\downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{MgCO}_3\downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ $\text{MgCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow + \text{CO}_2$ <p>Chemiczne usuwanie twardości wody prowadzi się głównie z użyciem jako reagenta tlenku lub wodorotlenku wapnia oraz węglanu sodu (soda). Zazwyczaj dodawane są oba reagenty, stąd często określa się tę metodę usuwania twardości wody jako metodę sodowo-wapienną:</p> $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons 2\text{CaCO}_3\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{MgCO}_3\downarrow + \text{CaCO}_3\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{MgCO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow + \text{CaCO}_3\downarrow$
Całkowite usuwanie twardości wody	<p>Całkowite usuwanie twardości wody zachodzi głównie w wyniku zastosowania fosforanu sodu jako czynnika strącającego osady zawierające wapń i magnez oraz zastosowania jonitów (kationity). Zastosowanie kationitów i anionitów prowadzi do demineralizacji wody.</p>
Całkowite usuwanie twardości wody metodą fosforanową	<p>Metoda fosforanowa usuwa zarówno twardość węglanową, jak i niewęglanową wody. Po zastosowaniu tej metody uzyskuje się wodę o twardości „szczątkowej” około 1⁰n. Reakcje fosforanu sodu z rozpuszczonymi w wodzie solami:</p> $3\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{Na}_3\text{PO}_4 \rightleftharpoons \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + 6\text{NaHCO}_3$ $3\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 + 2\text{Na}_3\text{PO}_4 \rightleftharpoons \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + 6\text{NaHCO}_3$ $3\text{MgCl}_2 + 2\text{Na}_3\text{PO}_4 \rightleftharpoons \text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + 6\text{NaCl}$

Procesy uzdatniania wody	Charakterystyka sposobu uzdatniania wody
Całkowite usuwanie twardości wody metodą jonitową	<p>Jonitami nazywamy żywice (masy) zdolne do wymiany jonowej:</p> <ul style="list-style-type: none"> – kationity wymieniają kationy obecne w wodzie na kationy wodorowe lub sodowe, w zależności od składu kationitu, – anionity wymieniają aniony obecne w wodzie na aniony wodorotlenowe. <p>Przykładowe reakcje kationitu:</p> $\text{H}_2\text{K} + \text{Mg}^{2+} \rightleftharpoons \text{MgK} + 2\text{H}^+$ $\text{Na}_2\text{K} + \text{Ca}^{2+} \rightleftharpoons \text{CaK} + 2\text{Na}^+$ <p>Przykładowe reakcje anionitu:</p> $\text{AOH} + \text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{ACl} + \text{OH}^-$ $\text{A(OH)}_2 + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{ASO}_4 + 2\text{OH}^-$
Całkowite usuwanie jonów z wody metodą jonitową (demineralizacja wody)	Demineralizację wody można uzyskać poprzez przepuszczenie wody kolejno przez anionit i kationit. Anionit wymienia aniony obecne w wodzie na anion wodorotlenowy, zaś kationit wymienia kationy obecne w wodzie na kation wodorowy (nie wolno stosować kationitu typu Na ₂ K).
Całkowite usuwanie jonów z wody metodą odwróconej osmozy (demineralizacja wody)	Na skalę przemysłową odwrócona osmoza zaczęła być stosowana na początku lat siedemdziesiątych XX w. Główne zastosowanie tej technologii to odsalanie wód morskich i słonawych. Odwrócona osmoza może być też metodą doczyszczania ścieków czy uzdatniania wody pitnej. Nie bez znaczenia jest fakt, że technologia ta nie wymaga dawkowania chemikaliów a więc nie powoduje przekształceń chemicznych zanieczyszczeń.

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie jony powodują twardość wody?
2. Jakie sole powodują twardość węglanową wody?
3. Jakie sole powodują twardość niewęglanową wody?
4. W jakich jednostkach wyrażamy twardość wody?
5. Jakie znasz metody usuwania twardości wody?
6. Na czym polega metoda sodowo-wapienna usuwania twardości wody?
7. Na czym polega metoda jonitowa usuwania twardości wody?
8. Jaki rodzaj twardości wody usuwa metoda termiczna?
9. Na czym polega odżelazianie wody?
10. Na czym polega całkowite usuwanie twardości wody?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Sklasyfikuj wodę mineralną na podstawie danych zaczerpniętych z etykiety na butelce.

Kationy:
wapniowy Ca²⁺ 96,19 mg/l
magnezowy Mg²⁺ 12,76 mg/l
sodowy Na⁺ 3,75 mg/l
potasowy K⁺ 1,17 mg/l

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) określić, które jony wymienione na etykiecie tworzą twardość wody,
- 2) wyznaczyć twardość wody w mg CaO/dm³,
- 3) wyznaczyć twardość wody w stopniach niemieckich [°n],
- 4) określić na podstawie tabeli załączonej poniżej jaka klasa wody znajduje się w butelce.

Tabela do ćwiczenia 1

Klasyfikacja wody pod względem twardości	
twardość wody [°n]	rodzaj wody
0–4	bardzo miękka
4–8	miękka
8–20	twarda
ponad 20	bardzo twarda

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4, kalkulator,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Oznacz twardość ogólną (całkowitą) wody wodociągowej zmiękczonej metodą termiczną.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wnikliwie przeczytać instrukcję wykonania ćwiczenia,
- 2) dobrać sprzęt, przyrządy pomiarowe i urządzenie,
- 3) dobrać niezbędne do zapewnienia bezpiecznej pracy środki ochrony indywidualnej,
- 4) wykonać czynności laboratoryjne opisane w instrukcji wykonania ćwiczenia,
- 5) wyznaczyć twardość wody w mmol CaO/dm³,
- 6) wyznaczyć twardość wody w stopniach niemieckich [°n],
- 7) uzupełnić tabelę,
- 8) określić klasę wody na podstawie tabeli załączonej poniżej.

Tabela do ćwiczenia 2.

Klasyfikacja wody pod względem twardości	
twardość wody [°n]	rodzaj wody
0–4	bardzo miękka
4–8	miękka
8–20	twarda
ponad 20	bardzo twarda

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zlewka o pojemności 400 cm³,
- trójnóg,
- palnik,
- płytki metalowa,
- biureta,
- pipeta jednomiarowa o pojemności 100 cm³,
- 3 kolby stożkowe o pojemności 250 cm³,

- roztwór wersenianu dwusodowego (EDTA) o stężeniu 0,02 mol/dm³,
- bufor amonowy (pH = 10),
- nasycony roztwór czerni eriochromowej T w etanolu,
- środki ochrony indywidualnej,
- instrukcja wykonania ćwiczenia.

Stosowane oznaczenia w instrukcji wykonania ćwiczenia

T_c – twardość ogólna (całkowita) [mmol CaO/dm³],

EDTA – wersenian dwusodowy,

V_{próbki} – objętość próbki wody wzięta do oznaczenia [cm³],

V_{EDTA} – objętość wersenianu dwusodowego zużyta na zmiareczkowanie próbki wody [cm³],

c_{EDTA} – stężenie użytego roztworu EDTA [mol/dm³].

Użyteczne wzory

$$T_c = \frac{V_{EDTA} \cdot c_{EDTA} \cdot 1000}{V_{próbki}}$$

Instrukcja wykonania ćwiczenia

1. Do kolby stożkowej odmierz pipetą 100 cm³ wody wodociągowej, dodaj 10 cm³ buforu amonowego oraz 5 kropli czerni eriochromowej T. Zmiareczkować tak przygotowaną wodę roztworem EDTA o stężeniu 0,02 mol/dm³, aż do momentu zmiany zabarwienia z czerwonego na niebieskie. Odczytaj z biurety objętość zużytego roztworu wersenianu. Wykonaj trzy powtarzalne miareczkowania.
2. Doprowadź do wrzenia około 350 cm³ wody wodociągowej w zlewce na płytce umieszczonej na trójnogu nad palnikiem, utrzymuj wodę w stanie wrzenia przez około 5 minut. Następnie zakończ ogrzewanie i po ostudzeniu wody do temp. pokojowej pobierz trzy próbki ostudzonej wody po 100 cm³. Miareczkuj próbki tak jak w punkcie 1.

Wyniki pomiarów

Tabela do ćwiczenia 2. Wyniki oznaczenia twardości wody

	Wyniki miareczkowania [cm ³]		
	1	2	3
woda wodociągowa			
woda zmiękczona termicznie			

Ćwiczenie 3

Narysuj schemat ideowy procesu mechanicznego oczyszczania wody na podstawie tabeli 1 zawartej w Poradniku dla ucznia opisującej metody uzdatniania wody do celów spożywczo-gospodarczych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) odszukać w Poradniku dla ucznia informacje dotyczące metod oczyszczania wody do celów gospodarczych i przemysłowych,
- 2) odszukać w materiałach dydaktycznych dowolny schemat ideowy w celu przypomnienia sobie jego struktury,
- 3) narysować schemat ideowy procesu mechanicznego oczyszczania wody.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4, flamastry,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wyjaśnić pojęcie twardość wody?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić pojęcie twardość węglanowa wody?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wyjaśnić pojęcie twardość niewęglanową wody?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) scharakteryzować metody uzdatniania wody?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) scharakteryzować metody usuwania twardości wody?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wykonać oznaczenie twardości wody?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) wyznaczać twardość wody na podstawie danych analitycznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.2. Produkcja kwasu siarkowego(VI)

4.2.1. Materiał nauczania

Właściwości, otrzymywanie i zastosowanie siarki

Siarka jest pierwiastkiem bardzo rozpowszechnionym w przyrodzie. Występuje ona w postaci licznych związków oraz w stanie rodzimym. Siarka rodzima występuje w postaci złóż pochodzenia zarówno wulkanicznego, jak i osadowego. Największe złoża siarki znajdują się w Ameryce Północnej i Europie. Największe złoża europejskie znajdują się w Polsce i na Sycylii. W Polsce siarkę rodzimą pochodzenia osadowego odkryto w 1953 roku w okolicach Tarnobrzega, a później w okolicach Grzybowa.

Ze związków siarki występujących w przyrodzie największe znaczenie przemysłowe mają:

- piryt FeS_2 ,
- blenda cynkowa ZnS ,
- galena PbS ,
- gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$,
- baryt (szpat ciężki) BaSO_4 i anhydryt CaSO_4 .

Siarka jest ciałem stałym o barwie żółtej, występującym w kilku odmianach alotropowych, które różnią się od siebie nie tylko postacią kryształów, lecz także gęstością. Siarka wykazuje wyjątkowe bogactwo odmian w stanie ciekłym i stałym. W czasie ogrzewania siarka przechodzi przez wiele odmian:

- w temperaturze pokojowej trwałą postacią siarki jest jasnożółta siarka rombowa,
- w temperaturze $95,5^\circ\text{C}$ siarka przechodzi w siarkę rombowa,
- w temperaturze $119,3^\circ\text{C}$ siarka przechodzi w ruchliwą ciecz barwy jasnożółtej,
- w wyższych temperaturach siarka ciekła zaczyna polimeryzować przechodząc w bardzo gęstą ciecz barwy brunatnej, maksimum lepkości osiąga ok. $160\text{--}170^\circ\text{C}$,
- powyżej 200°C siarka zmniejsza znacznie swoją lepkość nie zmieniając barwy,
- w temperaturze $444,6^\circ\text{C}$ siarka wrze dając pomarańczowożółte opary o cząsteczkach S_8 , które w wyniku dalszego ogrzewania dysocjują na cząsteczki o coraz mniejszej liczbie atomów.

Siarka wytwarza dużą grupę połączeń chemicznych, wśród których najbardziej znaną grupę tworzą:

- tlenki: tlenek siarki(IV) oraz tlenek siarki(VI),
- kwasy tlenowe: kwas siarkowy(VI) i kwas siarkowy(IV),
- połączenia z wodorem: siarkowodór.

W przemyśle chemicznym produkowane jest oleum, czyli roztwór SO_3 w kwasie siarkowym(VI). Podawane stężenie oleum wskazuje zawartość SO_3 w czystym kwasie siarkowym(VI). Jeżeli stężenie oleum jest wyrażane przez zawartość kwasu siarkowego, to wartość stężenia kwasu siarkowego wynosi powyżej 100%.

Siarka ma bardzo duże znaczenie przemysłowe, stosuje się ją między innymi do produkcji:

- kwasu siarkowego,
- nawozów sztucznych,
- barwników,
- środków ochrony roślin,
- tworzyw sztucznych,

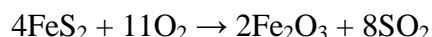
Spośród szeroko opisywanych zastosowań siarki są także zastosowania bardzo specyficzne:

- mydła siarkowe,
- nawierzchnie siarkowo-asfaltowe.

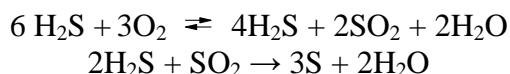
Surowce stosowane do produkcji kwasu siarkowego(VI)

Surowcami stosowanymi do produkcji kwasu siarkowego są:

- minerały siarkonośne np. piryt FeS_2 , obecnie rzadko wykorzystywane:



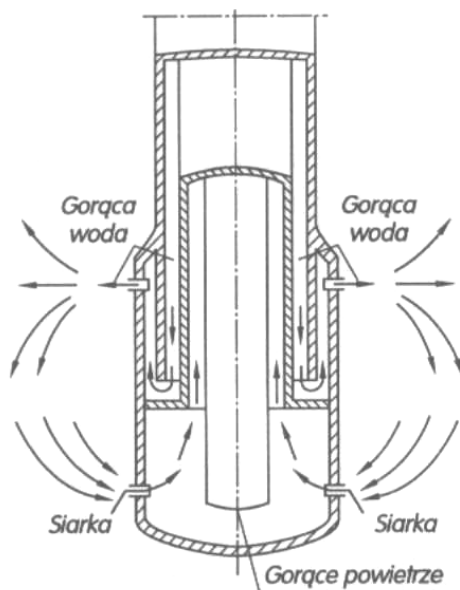
- siarka odzyskiwana z zsiarczonych gazów (proces Clausa), głównie zawierających H_2S i SO_2 :



- siarka pozyskiwana ze złóż siarki rodzimej pochodzenia osadowego.

Siarka ze złóż płytkich pozyskiwana jest metodą odkrywkową, ale jest znacznie zanieczyszczona i wymaga wzbogacania oraz oczyszczania. Siarka ze złóż głębokich jest wydobywana metodą podziemnego wytopiania. Wydobywana tą metodą siarka osiąga czystość od 90% do nawet 99,9%, czyli praktycznie nie wymaga rafinacji. Metoda polega na wpuszczeniu w głąb złóż trzech koncentrycznych rur, przez które wprowadza się:

- gorącą parę wodną (170°C), która topi siarkę,
- sprężone powietrze transportujące stopioną siarkę na powierzchnię.

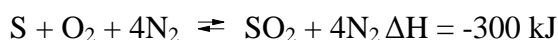


Rys. 4. Urządzenie do wydobywania siarki metodą wytopu podziemnego [2, s. 116]

Chemiczna koncepcja procesu

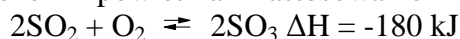
Proces produkcji kwasu siarkowego przebiega w trzech etapach:

- spalanie siarki w powietrzu:



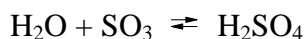
Siarka spalana jest w piecach wtryskowych, musi ona być dostarczana do pieca w postaci stopionej.

- utlenianie SO_2 do SO_3 tlenem z powietrza z zastosowaniem katalizatora wanadowego:



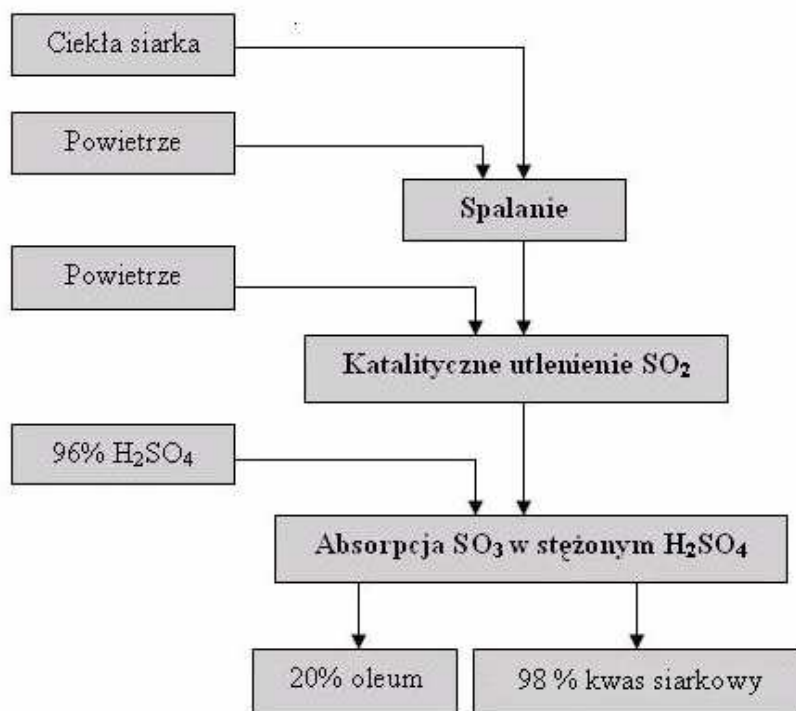
Dwutlenek siarki jest utleniany do trójtlenku siarki w aparacie kontaktowym wypełnionym katalizatorem (V_2O_5 aktywowany Na_2O , K_2O).

- absorpcja SO_3 w roztworze kwasu siarkowego(VI):



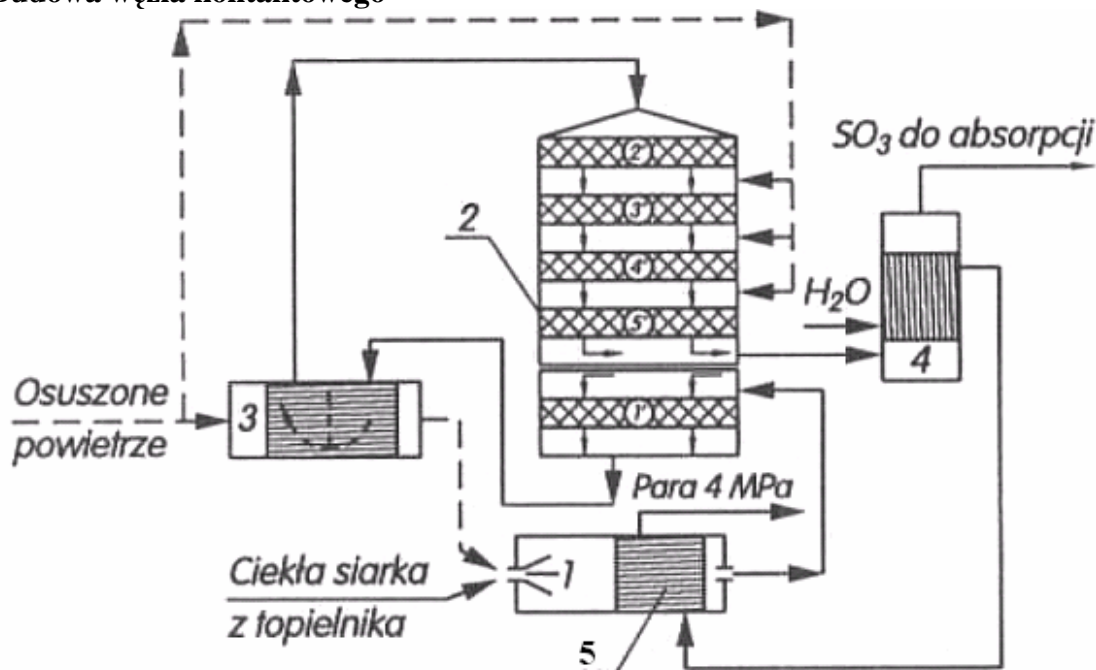
Trójtlenek siarki absorbowany jest nie w wodzie (powstaje trudna do skondensowania mgła kwasu siarkowego), lecz w roztworze kwasu siarkowego lub w oleum.

Schemat ideowy produkcji kwasu siarkowego(VI)



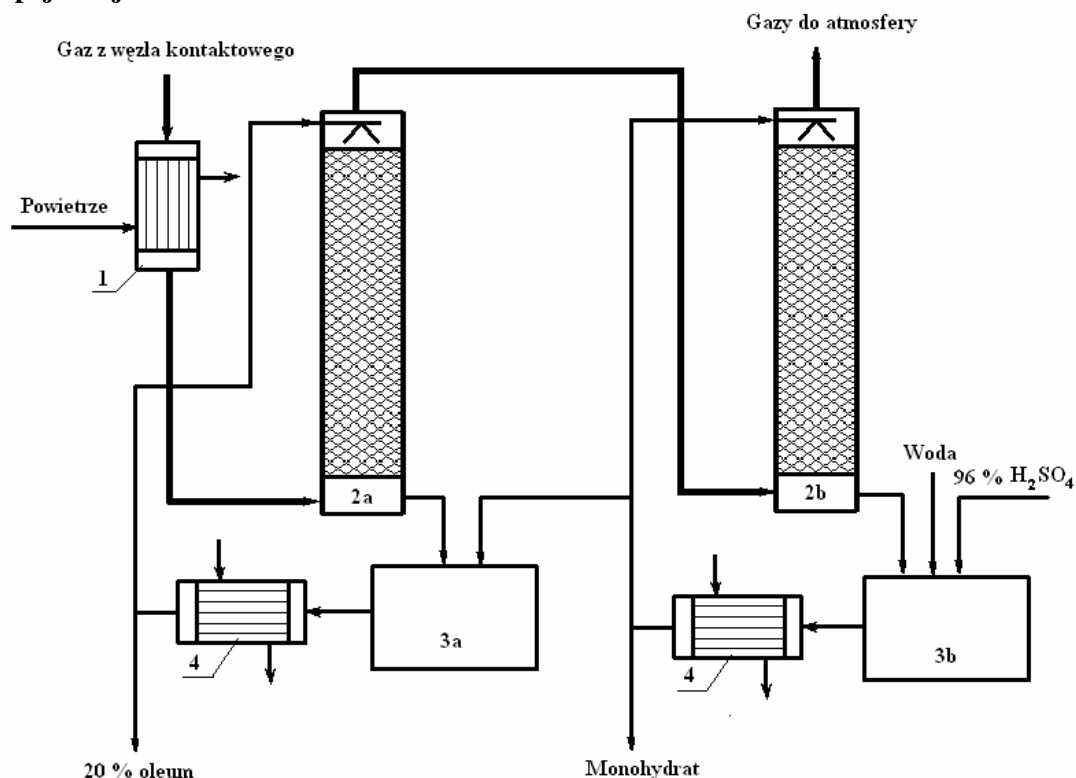
Rys. 5. Schemat ideowy produkcji kwasu siarkowego(VI) [opracowanie własne]

Budowa węzła kontaktowego



Rys. 6. Schemat węzła kontaktowego produkcji kwasu siarkowego z siarki: 1 – piec wtryskowy, 2 – aparat kontaktowy; 3, 4, 5 – wymienniki ciepła; 1', 2', 3', 4', 5' – złoże katalizatora [3, s. 94]

Absorpcja trójtlenku siarki



Rys. 7. Schemat instalacji do absorpcji SO_3 : 1 – chłodnica powietrza, 2a i 2b – wieże absorpcyjne, 3a i 3b – zbiorniki, 4 – chłodnice [3, s. 96]

Charakterystyka głównego produktu

Charakterystyka kwasu siarkowego(VI):

- należy do substancji żrących (symbol ostrzegawczy C), wywołuje poważne oparzenia (R35),



- stężony wywołuje na skórze silne, długo nie gojące się oparzenia. Oparzenie większej powierzchni skóry może być nawet śmiertelne. Miejsce oparzone należy jak najszybciej zmyć strumieniem chłodnej wody, a następnie zmyć 5% roztworem sody,
- stężony jest na tyle utleniający, że pasywuje żelazo, dlatego przewozi się go w cysternach ze zwykłej stali węglowej. Z tego materiału zbudowana jest też większość elementów instalacji produkcji kwasu siarkowego.

Informacje ekologiczne

Kwas siarkowy(VI) jest toksyczny dla organizmów wodnych. Jest żrący nawet w rozcieńczeniu. Stanowi zagrożenie dla ujęć wody pitnej przy dostaniu się w dużych ilościach do gleby lub wody. Stopień szkodliwości zależy od wielkości pH.

Produkcja kwasu siarkowego stanowi istotne zagrożenie dla środowiska naturalnego poprzez:

- wycieki kwasu (powstające w wyniku nieszczelności elementów instalacji produkcyjnej) zakwaszające wody poprodukcyjne,
- emisję tlenków siarki powodującą powstawanie kwaśnych deszczów, a także mgieł kwasowych.

4.2.2. Pytania sprawdzające

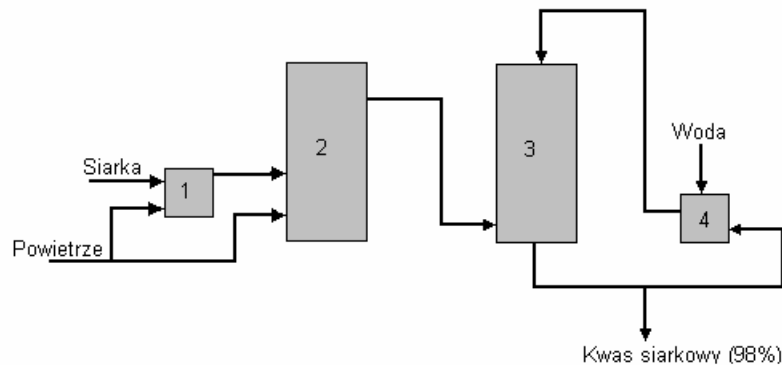
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Z jakich surowców produkuje się kwas siarkowy?
2. Z jakich etapów składa się proces produkcji kwasu siarkowego?
3. Z jakich elementów składa się węzeł kontaktowy produkcji kwasu siarkowego?
4. Z jakich elementów składa się węzeł absorpcji produkcji kwasu siarkowego?
5. Z jakiego powodu trójtlenek siarki absorbuje się w roztworach kwasu siarkowego, a nie w wodzie?
6. Z jakiego materiału zbudowane są elementy instalacji produkcji kwasu siarkowego?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Określ, jakie procesy zachodzą w elementach oznaczonych cyframi na uproszczonym schemacie produkcji kwasu siarkowego przedstawionym na rysunku.



Rysunek do ćwiczenia 1

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) odszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące produkcji kwasu siarkowego,
- 2) dokonać analizy schematu ideowego produkcji kwasu siarkowego,
- 3) rozpoznać na załączonym do ćwiczenia rysunku elementy instalacji produkcji kwasu siarkowego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4, flamastry,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Naszkić wykres Sankeya dla węzła kontaktowego instalacji produkcji kwasu siarkowego korzystając z danych zawartych w tabeli.

Tabela do ćwiczenia 2

Przychód		Rozchód	
składnik	masa [kg]	składnik	masa [kg]
dwutlenek siarki	657	trójtlenek siarki	818
tlen	246	dwutlenek siarki	3
azot	1890	tlen	82
		azot	1890

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:


- 1) zapisać równanie reakcji utleniania dwutlenku siarki,
- 2) dowiedzieć się, co opisuje wykres Sankeya,
- 3) dowiedzieć się, jaka jest konstrukcja wykresu Sankeya,
- 4) naszkicować obraz graficzny przychodu,
- 5) naszkicować obraz graficzny rozchodu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- | | Tak | Nie |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1) określić surowce stosowane do produkcji kwasu siarkowego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) scharakteryzować etapy produkcji kwasu siarkowego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) wyjaśnić, dlaczego trójtlenek siarki absorbuje się w roztworach kwasu siarkowego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) wyjaśnić, czym jest oleum? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) wyjaśnić, dlaczego do budowy elementów instalacji produkcji kwasu siarkowego stosuje się zwykle stale węglowe? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) określić znaczenie znaku ostrzegawczego ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
|  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7) określić zagrożenia powstające dla środowiska naturalnego przy produkcji kwasu siarkowego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.3. Technologia związków azotu

4.3.1. Materiał nauczania

Produkcja gazu syntezowego

Gazem syntezowym nazywa się mieszaninę gazów (CO, H₂) służących do syntezy wielu związków organicznych oraz do syntezy amoniaku

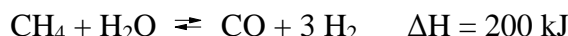
Surowce stosowane do produkcji gazu syntezowego

Gaz syntezowy jest wytwarzany głównie w wyniku przerobu metanu i innych węglowodorów, rzadziej zaś węgla.

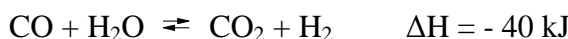
Chemiczna koncepcja procesu produkcji gazu syntezowego

Proces produkcji gazu syntezowego z metanu przebiega najczęściej w dwóch etapach:

- katalityczna konwersja metanu (lub lekkich węglowodorów) z przegrzaną parą wodną:

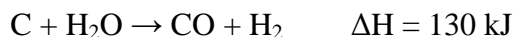


- katalityczna konwersja tlenku węgla z parą wodną (wzbogacanie gazu w wodór):



Proces produkcji gazu syntezowego z węgla przebiega także najczęściej w dwóch etapach:

- zgazowanie węgla kamiennego przegrzaną parą wodną:



- półspalanie i spalanie węgla kamiennego:

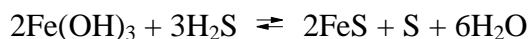


Przygotowanie gazu do syntezy amoniaku z surowego gazu syntezowego

Gaz syntezowy można otrzymywać nie tylko z gazu ziemnego, w około 15% jest otrzymywany z ropy naftowej i w niewielkiej ilości z paliw stałych. Gaz syntezowy otrzymany z gazu ziemnego (gaz syntezowy surowy) zawiera wiele zanieczyszczeń, między innymi pył, siarkowodor, nieprzereagowany metan i tlenki węgla. Są to substancje, które w silnym stopniu zatrują katalizatory stosowane do syntezy amoniaku, dlatego syntezowy gaz surowy jest poddawany oczyszczaniu i jest rozdzielany na poszczególne składniki.

W pierwszym rzędzie gaz należy odpylić, a następnie odsiarczyć. W surowym gazie syntezowym siarka występuje w postaci siarkowodoru i tylko w nieznacznych ilościach w postaci związków organicznych. Usuwanie siarkowodoru z surowego gazu można przeprowadzić poprzez:

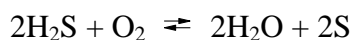
- przepuszczenie gazu przez warstwę węgla aktywnego lub masy zawierającej Fe(OH)₃:



Masa pochłaniająca siarkowodor może być zregenerowana poprzez napowietrzanie złoża:

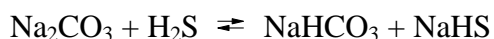


W czasie przepuszczania zaś gazu przez warstwę węgla aktywnego zachodzi reakcja:

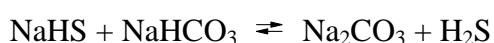


Dla zapewnienia odpowiedniej ilości tlenu do gazu przed jego oczyszczaniem dodaje się dodatkowe ilości tlenu.

– przepuszczenie gazu przez roztwór wodny węglanu sodu:



Regeneracja roztworu odbywa się przez przedmuchiwanie go powietrzem, zachodzi wówczas w roztworze reakcja:



Wśród pozostałych w gazie składników najłatwiej jest usunąć CO_2 , który ulega absorpcji w roztworach alkalicznych. Inne składniki, takie jak: CO i CH_4 wykraplają się w niskich temperaturach pod zwiększonym ciśnieniem. Pozostałym gazem jest wodór. Jeżeli ciśnienie zmniejszymy, to z wykroplonej mieszaniny odparuje CO i pozostanie CH_4 .

Do produkcji różnych związków potrzebne są tylko wybrane składniki gazu syntezowego w odpowiednich proporcjach. Do produkcji amoniaku gaz syntezowy należy wzbogacić azotem pochodzącym z powietrza. Najczęściej azot jest wprowadzany do gazu syntezowego w reakcjach półspalania lub spalania odpowiednich surowców w powietrzu. W gazie syntezowym do produkcji amoniaku wzajemny stosunek wodoru do azotu wynosi 3:1.

Produkcja amoniaku

Wytwarzane są dwa produkty główne: ciekły amoniak oraz 25% roztwór wodny amoniaku, czyli woda amoniakalna (25% masowych $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Surowce stosowane do produkcji amoniaku

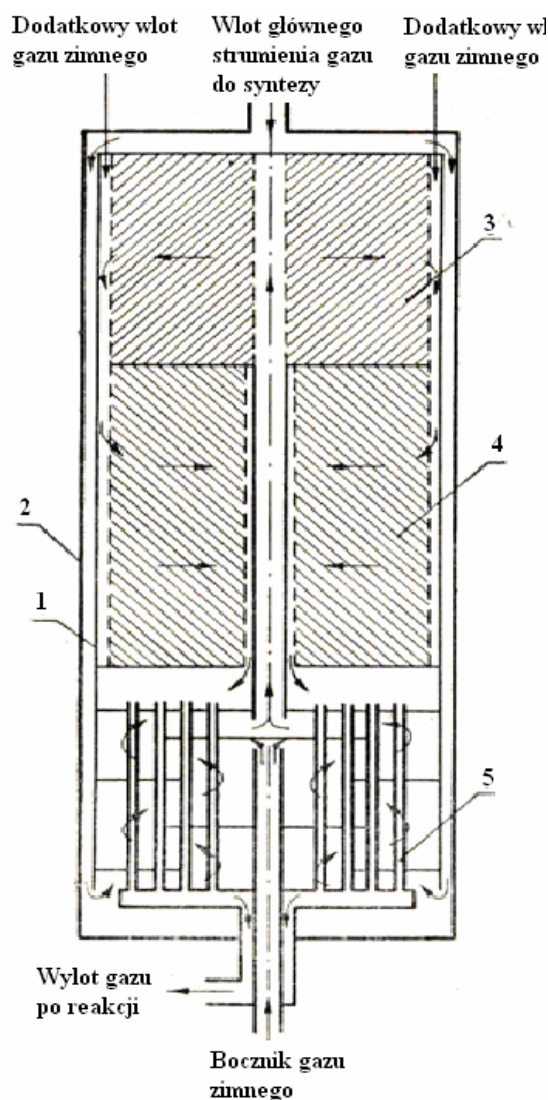
Do produkcji amoniaku stosowany jest gaz syntezowy zawierający 75% objętościowych wodoru i 25% objętościowych azotu (azot pochodzi z powietrza).

Chemiczna koncepcja procesu produkcji amoniaku

Proces produkcji amoniaku przebiega jednoetapowo:



Składniki gazu reagują w obecności katalizatora (żelazo aktywowane małym dodatkiem aktywatorów Al_2O_3 i K_2O). Reakcja przebiega pod zwiększonym ciśnieniem (zgodnie z regułą przekory) w wysokich temperaturach (niezgodnie z regułą przekory) w celu zapewnienia wymaganej szybkości reakcji.



Rys 8. Reaktor (aparat kontaktowy): 1 – kosz z katalizatorem, 2 – zewnętrzny płaszcz ciśnieniowy, 3 – górna warstwa katalizatora, 4 – dolna warstwa katalizatora, 5 – rury wymiennika ciepła [4, s. 77]

Reakcja przebiega w reaktorze (rys. 8) ułożonym w dwóch warstwach, przez które reagująca mieszanina przepływa poprzecznie (reaktor radialny). Doprowadzanie zimnego gazu pozwala utrzymać temperaturę 400–500°C, w wyższej temperaturze katalizator dezaktywuje się.

Gas reakcyjny odbierany z reaktora zawiera 15–20% amoniaku. Po jego ochłodzeniu w specjalnej instalacji wydzielają się dwa produkty:

- ciekły amoniak,
- woda amoniakalna (25% masowych NH_4OH).

Charakterystyka głównego produktu

Charakterystyka roztworu wodnego amoniaku (25%):

- należy do substancji żrących (symbol ostrzegawczy C), wywołuje poważne oparzenia oraz działa drażniąco na układ oddechowy (R34–R37),



- powoduje przy wdychaniu: silne podrażnienia, możliwy kaszel, bronchit, obrzęk płucny,
- powoduje przy kontakcie ze skórą: (efekt taki jak przy działaniu substancji drażniących i żrących) zapalenie skóry, martwica tkanek,
- powoduje przy kontakcie z oczami: oparzenia, ryzyko ślepoty,
- powoduje przy spożyciu: podrażnia śluzówkę, bóle żołądkowe, nudności, krwiste wymioty, zapaść, wstrząs, duszności, omdlenia. Istnieje ryzyko perforacji przełyku i żołądka.

Informacje ekologiczne

Amoniak jest toksyczny dla organizmów wodnych. Żrący nawet w postaci rozcieńczonej, szkodliwość zależy od wartości pH. W czasie produkcji amoniaku nie należy dopuszczać do powstawania niekontrolowanych emisji i wycieków, gdyż chmury amoniaku niszczą wszystkie organizmy żywe, które spotkają na swojej drodze.

Produkcja kwasu azotowego(V)

Kwas azotowy(V) wytwarzany jest w różnych zakresach stężeń. Produktem handlowym jest głównie kwas 50%, ale dostępny jest także kwas 65%, a nawet 95% (kwas azotowy dymiący).

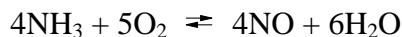
Surowce stosowane do produkcji kwasu azotowego(V)

Surowcem powszechnie stosowanym i praktycznie jedynym do produkcji kwasu azotowego(V) jest amoniak.

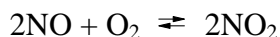
Chemiczna koncepcja procesu

Proces przebiega w trzech zasadniczych etapach:

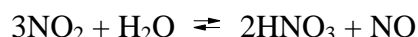
- katalityczne (platyna z dodatkiem rodu) utlenianie amoniaku do tlenku azotu(II):



- utlenianie NO do NO₂ tlenem z powietrza:



- absorpcja NO₂ w wodzie:

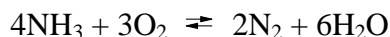


Otrzymywanie tlenku azotu(II)

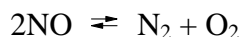
Podstawowym warunkiem prawidłowego przeprowadzenia reakcji utleniania amoniaku jest zastosowanie katalizatora, który:

- przyspiesza proces tworzenia się tlenku azotu(II) NO,
- opóźnia reakcję rozkładu NO.

Najskuteczniejszym katalizatorem okazała się platyna z dodatkiem rodu. Najlepszą postacią katalizatora są siatki z drucików posiadające około 1000 oczek na cm². Drugim warunkiem koniecznym do uzyskania dobrej wydajności utleniania amoniaku jest utrzymanie właściwej temperatury. W zbyt niskiej temperaturze reakcja utleniania amoniaku zachodzi wolno, a ponadto dochodzi do niepożądanego utleniania amoniaku:



W temperaturach zbyt wysokich następuje rozkład NO, w wyniku czego również powstaje azot:

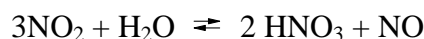


Okazało się, że najkorzystniejszy zakres temperatur leży w granicach 600–1000°C.

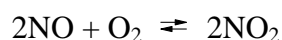
Trzecim czynnikiem, mającym wpływ na przebieg reakcji utleniania amoniaku okazał się czas zetknięcia gazów reagujących z katalizatorem. Jest on ściśle związany z temperaturą. Przy krótszym czasie zetknięcia korzystniejsza okazuje się temperatura wyższa, zaś przy dłuższym czasie zetknięcia korzystniejsza okazuje się temperatura niższa. Optymalny czas zetknięcia wynosi $1 \cdot 10^{-4}$ – $3 \cdot 10^{-4}$ s przy pracy w zakresie 800–900°C.

Absorpcja tlenków azotu(IV)

Główne znaczenie dla wytwarzania kwasu azotowego(V) ma egzotermiczna reakcja odwracalna, której kierunek przebiegu zależy od ciśnienia i temperatury:



oraz bardzo powoli przebiegająca reakcja ponownego utleniania wydzielonego tlenku azotu(II):

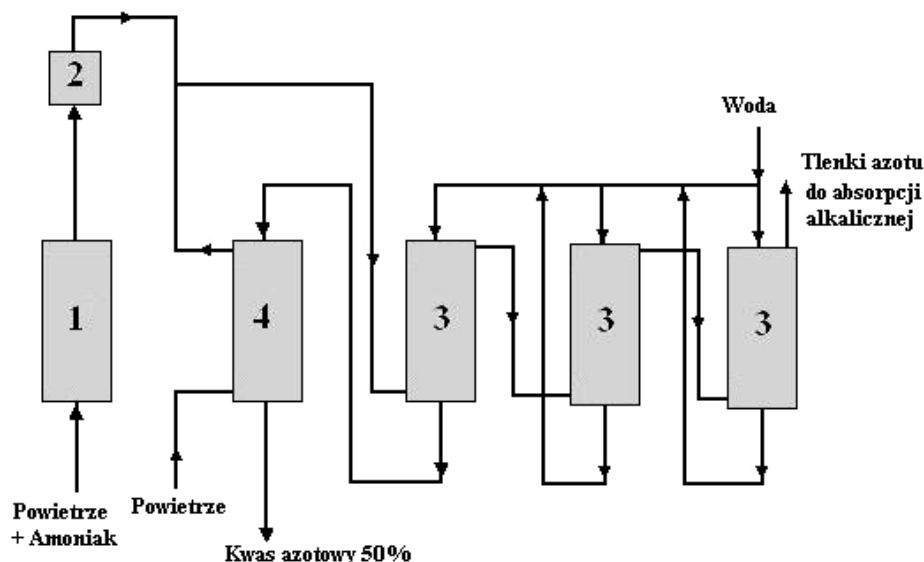


W miarę zwiększania się stężenia kwasu w roztworze maleje jego zdolność absorpcyjna. Największe stężenie otrzymywanego kwasu azotowego(V), nawet przy zastosowaniu dużego nadmiaru NO_2 nie przekracza 68%. W warunkach przemysłowych pod ciśnieniem atmosferycznym otrzymuje się mniej stężony kwas azotowy(V) – około 50%. W celu uzyskania większych stężeń kwasu stosuje się podwyższone ciśnienie.

Z tego względu stosuje się w przemyśle dwie metody otrzymywania kwasu azotowego(V):

- bezciśnieniową (ciśnienie atmosferyczne),
- ciśnieniową (podwyższone ciśnienie).

Schemat instalacji bezciśnieniowej produkcji kwasu azotowego(V)



Rys. 9. Uproszczony schemat instalacji do otrzymywania kwasu azotowego(V): 1 – aparat kontaktowy, 2 – wymiennik ciepła (chłodnica), 3, 4 – wieże absorpcyjne [opracowanie własne]

Charakterystyka głównego produktu

Charakterystyka kwasu azotowego(V):

- należy do substancji żrących (symbol ostrzegawczy C), wywołuje poważne oparzenia (R35),



- stężony wywołuje oparzenia błon śluzowych, skóry i oczu. Spożyty powoduje zniszczenie tkanek, ostry ból, krwawe wymioty, a nawet śmierć. Przy wdychaniu oparów kwasu mogą wystąpić: kaszel, duszności, obrzęk dróg oddechowych,
- kwas azotowy rozтворя prawie wszystkie metale i stopy; do odpornych należą: złoto, platyna, rod, iryd oraz stałe chromowo-niklowe. Żelazo, chrom i glin rozтворяją się w kwasie rozcieńczonym, natomiast są odporne na działanie kwasu stężonego. Odporne na działanie kwasu azotowego w różnych stężeniach jest szkło.

Informacje ekologiczne

Kwas azotowy(V) jest toksyczny dla organizmów żywych. Należy dokładać wszelkich starań, by nie dostał się do wody pitnej, ścieków i gleby. W procesie produkcji kwasu azotowego(V) należy zwracać szczególną uwagę na skuteczność usuwania resztek tlenków azotu z gazów odlotowych przed ich wypuszczeniem do atmosfery. Tlenki te oddziałują szkodliwie na środowisko naturalne.

Nawozy azotowe

W rolnictwie wykorzystuje duże ilości nawozów azotowych. Do nawozów azotowych najczęściej stosowanych zalicza się sole kwasu azotowego(V) zwane saletrami oraz mocznik. Saletra sodowa, potasowa i wapniowa występuje w przyrodzie, natomiast saletra amonowa i mocznik wytwarzane są zakładach przemysłu chemicznego.

Surowce stosowane do produkcji nawozów azotowych

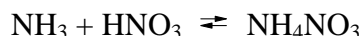
Główne surowce do produkcji nawozów azotowych:

- do produkcji saletry amonowej stosowane są kwas azotowy(V) i amoniak,
- do produkcji mocznika stosowane są dwutlenek węgla i amoniak.

Chemiczne koncepcje procesu produkcji nawozów azotowych

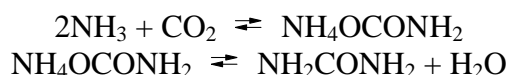
W przemyśle chemicznym wielkotonażowo produkuje się:

- saletrę amonową przez zobojętnianie kwasu azotowego(V) amoniakiem:



Saletra amonowa nie jest czystym azotanem(V) amonu, zawiera ona także środki powstrzymujące zbrylanie się nawozu i ułatwiające granulację nawozu – substancje pudrujące m.in. węglan wapnia. Tak przygotowany nawóz nosi nazwę „saletrzak”,

- mocznik z amoniaku i dwutlenku węgla. Proces przebiega w dwóch etapach:



Charakterystyka głównego produktu

Charakterystyka azotanu(V) amonu:

- należy do substancji utleniających(symbol ostrzegawczy O), w kontakcie z materiałami łatwopalnymi może spowodować pożar, a nawet spowodować wybuch (R:8–9),



Charakterystyka mocznika:

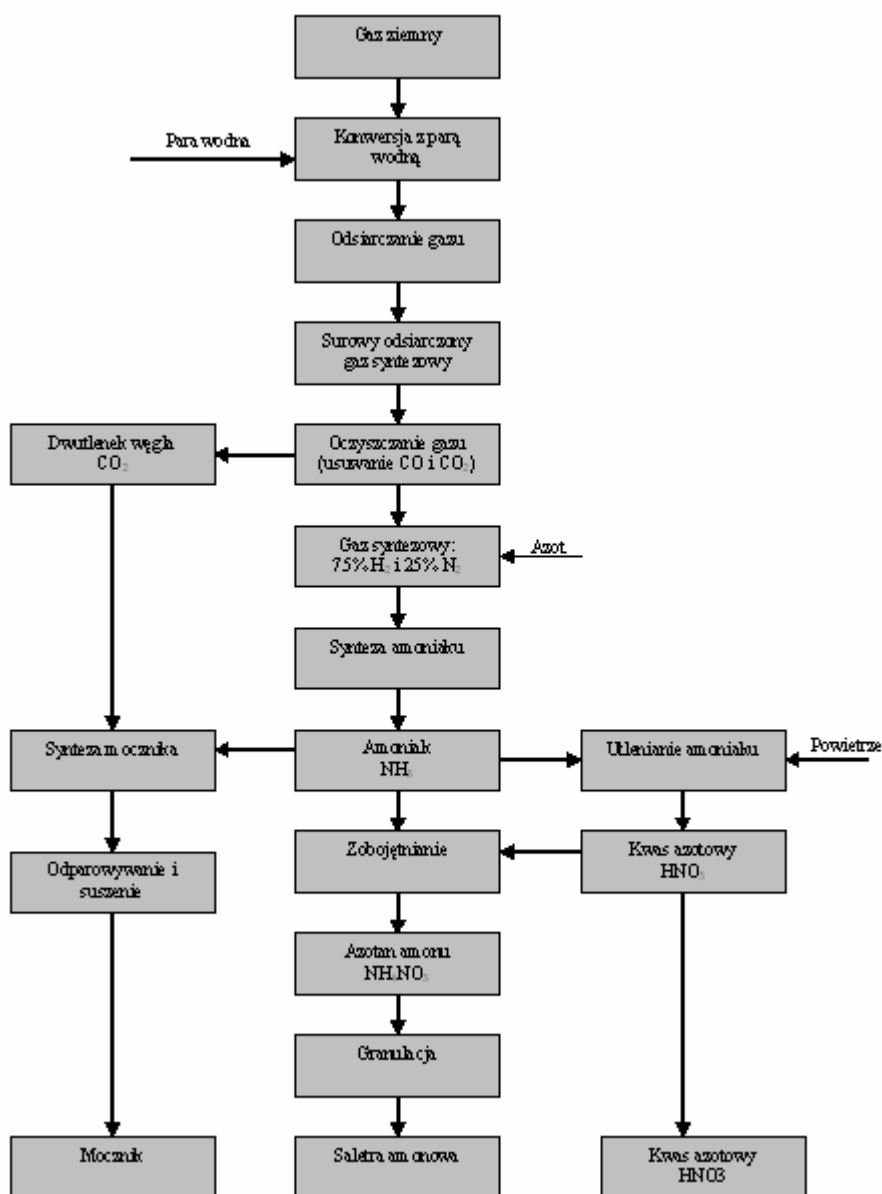
- mocznik nie stwarza zagrożeń.

Informacje ekologiczne

Azotan(V) amonu jest toksyczny dla organizmów żywych. Należy dokładać wszelkich starań, by nie dostał się do wody pitnej, ścieków i gleby. W procesie produkcji azotanu(V) amonu należy zwracać szczególną uwagę na niedopuszczenie do zbytniego wzrostu temperatury, gdyż powyżej 260°C związek ulega wybuchowemu rozkładowi termicznemu.

Mocznik podlega w środowisku łatwo degradacji, jest łatwo z niego eliminowany.

Schemat ideowy przemysłowej produkcji związków azotowych



Rys. 10. Schemat ideowy wytwarzania związków azotowych z gazu ziemnego [3, s. 35]

4.3.2. Pytania sprawdzające

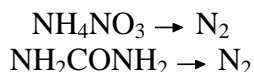
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Z jakich surowców produkuje się gaz syntezowy?
2. Jaki jest skład gazu syntezowego?
3. Z jakich surowców produkuje się amoniak?
4. Jakie są optymalne warunki produkcji amoniaku?
5. Jakie zagrożenie dla środowiska naturalnego stwarza produkcja i magazynowanie amoniaku?
6. Z jakich etapów składa się proces produkcji kwasu azotowego?
7. Z jakich materiałów zbudowane są elementy instalacji produkcji kwasu azotowego?
8. Jakie znasz nawozy azotowe?
9. Jakie związki zawiera saletrzak?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz zawartość azotu, w przeliczeniu na N_2 , w azotanie amonu oraz w moczniku. Do obliczeń możesz wykorzystać uproszczone równania:



Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) wyszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące produkcji saletry amonowej,
- 2) zapisać wzory opisujące zawartość procentową azotu, w przeliczeniu na N_2 , w azotanie amonu i moczniku,
- 3) wyznaczyć masę cząsteczkową (molową) azotanu amonu i mocznika,
- 4) obliczyć zawartość azotu, w przeliczeniu na N_2 , w azotanie amonu oraz w moczniku.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- papier formatu A4,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Produkcja saletry amonowej polega na zobojętnianiu roztworu kwasu azotowego amoniakiem. Oblicz objętość amoniaku niezbędną do zobojętnienia 1 tony roztworu kwasu azotowego o stężeniu 63%.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapisać równanie reakcji neutralizacji kwasu azotowego amoniakiem,
- 2) obliczyć masę czystego kwasu azotowego zawartą w 1 tonie roztworu kwasu azotowego o stężeniu 63%,

- 3) obliczyć objętość amoniaku wykorzystując zależność stechiometryczną pomiędzy kwasem azotowym a amoniakiem.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- papier formatu A4,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 3

Wyznacz procentową zawartość gazu syntezowego otrzymanego w wyniku katalitycznej konwersji metanu z przegrzaną parą wodną. Do wykonania obliczeń przyjmij, że zareaguje tylko połowa początkowej ilości metanu. Uzupełnij tabelę.

Tabela do ćwiczenia 3

Gazy poddawane konwersji		Gazy po konwersji		
Substancje	Objętość [m ³]	Substancje	Objętość [m ³]	Zawartość procentowa
CH ₄	1	CH ₄		
H ₂ O	1	H ₂ O		
CO	0	CO		
H ₂	0	H ₂		
Razem:	2	Razem		

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) wyszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące produkcji gazu syntezowego,
- 2) zapisać równanie reakcji konwersji metanu z przegrzaną parą wodną,
- 3) obliczyć objętość gazu po konwersji korzystając z prawa Avogadro,
- 4) obliczyć zawartość procentową składników gazu po konwersji.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- papier formatu A4,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- | | Tak | Nie |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1) określić surowce stosowane do produkcji gazu syntezowego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) określić surowce stosowane do produkcji amoniaku? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) określić warunki produkcji amoniaku? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) wyjaśnić, jakie zagrożenie dla środowiska naturalnego stwarza produkcja i magazynowanie amoniaku? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) określić, z jakich etapów składa się proces produkcji kwasu azotowego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) określić materiały, z jakich zbudowane są elementy instalacji produkcji kwasu azotowego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7) określić skład stosowanych powszechnie w rolnictwie nawozów azotowych? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.4. Technologia związków fosforu

4.4.1. Materiał nauczania

Produkcja kwasu ortofosforowego(V)

Kwas ortofosforowy(V) to nazwa systematyczna związku o wzorze H_3PO_4 . Częściej stosowaną nazwą zarówno w praktyce szkolnej jak i w przemyśle jest nazwa kwas fosforowy.

Surowce stosowane do produkcji kwasu fosforowego(V)

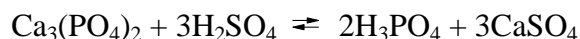
Głównymi surowcami do produkcji kwasu fosforowego(V) są:

- apatyty ($Ca_5(PO_4)_3F$), czyli minerały fosforowe pochodzenia wulkanicznego,
- fosforyty ($Ca_3(PO_4)_2$), czyli minerały wtórne, powstałe w wyniku wietrzenia i rozpadu apatytów, a także minerały pochodzenia organicznego powstałe ze skamieniałych szczątków zwierzęcych,
- kwas siarkowy(VI).

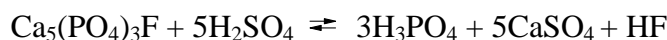
Chemiczna koncepcja procesu produkcji kwasu fosforowego(V)

Zasadniczym etapem produkcji kwasu fosforowego jest bezpośrednia reakcja pomiędzy kwasem siarkowym(VI) i apatytem lub fosforytem:

- reakcja kwasu siarkowego(VI) z fosforytem:



- reakcja kwasu siarkowego(VI) z apatytem:



Charakterystyka głównego produktu

Charakterystyka kwasu fosforowego(V):

- należy do substancji żrących (symbol ostrzegawczy C), wywołuje oparzenia (R34),

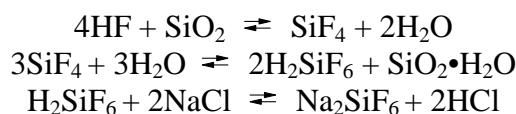


- stężony wywołuje oparzenia lub podrażnienia skóry i oczu. Spożyty powoduje oparzenia, ostry ból, szok, spazmy.

Informacje ekologiczne

Kwas fosforowy(V) jest toksyczny dla organizmów żywych. Jest żrący nawet w rozcieńczeniu. Należy dokładać wszelkich starań, by nie dostał się do wody pitnej, ścieków i gleby. W procesie produkcji kwasu fosforowego(V) powstają dwa niebezpieczne dla środowiska produkty, są nimi fosfogipsy oraz fluorowodór. Fosfogipsem nazywa się gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) zanieczyszczony fosforanem(V) wapnia, fluorkiem wapnia oraz krzemionką. Jest to bardzo kłopotliwy produkt dla zakładów produkujących zarówno kwas fosforowy(V), jak i superfosfat potrójny. Mimo podejmowanych wielu prób wykorzystania tego odpadu osiągnięte rezultaty są co najmniej niezadawalające. Tylko kilkanaście procent wytwarzanych fosfogipsów znajduje zastosowanie, natomiast pozostała ich część składowana jest na hałdach i zatruwa środowisko naturalne. Wytwarzający się w wyniku przerobu apatytów i fosforytów fluorowodór jest coraz częściej przerabiany na fluorokrzemiany. Pomimo, że jest to produkt uboczny procesu wytwarzania zarówno kwasu fosforowego(V), jak i superfosfatu potrójnego,

to staje się on bardzo pożądanym. Fakt ten wynika z ceny rynkowej fluorokrzemianów – są one bardzo drogie:



Nawozy fosforowe skoncentrowane

W rolnictwie wykorzystuje się duże ilości nawozów fosforowych. Do nawozów fosforowych najczęściej stosowanych zalicza się superfosfat pojedynczy, zwany także prostym (około 20% P_2O_5), superfosfat podwójny (około 40% P_2O_5) oraz superfosfat potrójny (około 60% P_2O_5). Superfosfat podwójny oraz superfosfat potrójny potocznie nazywane są nawozami skoncentrowanymi. Zarówno nawozy fosforowe skoncentrowane zawierające jako główny składnik $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, jak i nawozy wieloskładnikowe zawierające jako główny składnik $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, mają w swoim składzie tę samą formę anionową fosforu – H_2PO_4^- . Jest to forma fosforu przyswajalnego

Surowce stosowane do produkcji nawozów fosforowych

Głównymi surowcami do produkcji nawozów fosforowych są:

- apatyty, czyli minerały fosforowe pochodzenia wulkanicznego,
- fosforyty, czyli minerały wtórne, powstałe w wyniku wietrzenia i rozpadu apatytów, a także minerały pochodzenia organicznego powstałe ze skamieniałych szczątków zwierzęcych,
- kwas siarkowy.

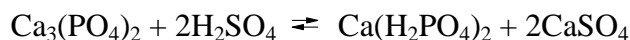
Chemiczna koncepcja procesu produkcji nawozów fosforowych

Zasadniczym etapem produkcji nawozów fosforowych skoncentrowanych jest bezpośrednia reakcja pomiędzy kwasem fosforowym(V) lub kwasem siarkowym(VI) a minerałami fosforowymi (fosforyty, apatyty):

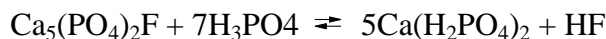
- wytwarzanie superfosfatu pojedynczego (18–20% P_2O_5) z apatytu:



- wytwarzanie superfosfatu pojedynczego z fosforytu



- wytwarzanie superfosfatu podwójnego (50–60% P_2O_5) z apatytu:



- wytwarzanie superfosfatu potrójnego (50–60% P_2O_5) z fosforytu:



Charakterystyka nawozów fosforowych

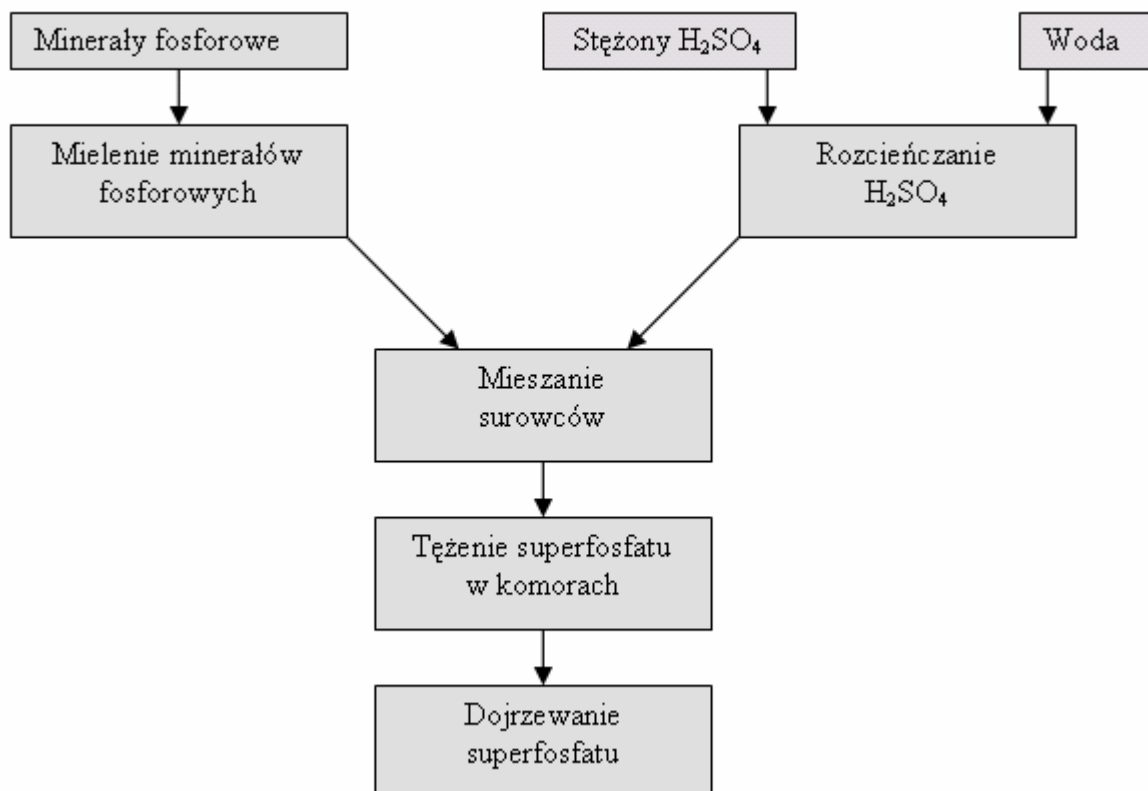
Charakterystyka diwodorofosforanu(V) wapnia:

- nawozy fosforowe zawierające $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ nie stwarzają szczególnych zagrożeń dla zdrowia człowieka.

Informacje ekologiczne

Nawozy fosforowe zawierające $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ mogą powodować eutrofizację zbiorników wodnych. W procesie produkcji superfosfatu podwójnego stosuje się czysty kwas fosforowy. W efekcie powstaje oprócz produktu podstawowego – fluorowodor. Produkcja superfosfatu potrójnego jest jeszcze bardziej uciążliwa dla środowiska. W procesie produkcji tego superfosfatu oprócz fluorowodoru powstają dodatkowo fosfogipsy. Produkcja superfosfatu prostego jest mniej uciążliwa dla środowiska. W procesie produkcji tego superfosfatu nie powstają fosfogipsy, gdyż gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) zawarty jest w nawozie.

Schemat ideowy produkcji superfosfatu prostego



Rys. 11. Schemat ideowy produkcji superfosfatu prostego [opracowanie własne]

- dojrzewaniem nazywamy proces wiązania wolnego kwasu fosforowego wytworzonego podczas reakcji minerałów fosforanowych z kwasem siarkowym przez resztki nieprzereagowanych minerałów fosforanowych.

4.4.2. Pytania sprawdzające

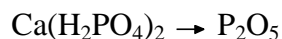
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Z jakich surowców produkuje się kwas fosforowy?
2. Jakie znasz nawozy fosforowe?
3. Z jakich surowców produkuje się superfosfat prosty?
4. Z jakich surowców produkuje się superfosfat podwójny i potrójny?
5. Jakie zagrożenie dla środowiska naturalnego stwarza produkcja kwasu fosforowego?
6. Jakie zagrożenie dla środowiska naturalnego stwarza produkcja superfosfatu podwójnego i potrójnego?
7. W jaki sposób wykorzystuje się powstający w czasie produkcji kwasu fosforowego i superfosfatu potrójnego fluorowodór?
8. W jaki sposób wykorzystuje się powstający w czasie produkcji kwasu fosforowego i superfosfatu potrójnego fosfogips?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Oblicz zawartość fosforu, w przeliczeniu na P_2O_5 , w diwodorofosforanie wapnia, głównym składniku superfosfatu potrójnego. Do obliczeń możesz wykorzystać uproszczone równania:



Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące produkcji nawozów fosforowych,
- 2) zapisać wzory opisujące zawartość procentową fosforu, w przeliczeniu na P_2O_5 , w diwodorofosforanie wapnia,
- 3) wyznaczyć masę cząsteczkową (molową) diwodorofosforanu wapnia,
- 4) obliczyć zawartość fosforu, w przeliczeniu na P_2O_5 , w diwodorofosforanie wapnia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- papier formatu A4,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Narysuj schemat ideowy procesu otrzymywania superfosfatu potrójnego. W czasie opracowywania schematu ideowego tego procesu skorzystaj z następujących wskazówek:

- produkcja superfosfatu prostego wymaga stosowania kwasu siarkowego, zaś produkcja superfosfatu potrójnego wymaga stosowania kwasu fosforowego,
- w produkcji superfosfatu prostego nie powstaje fosfogips, zaś w produkcji superfosfatu potrójnego fosfogips powstaje,
- procesy tężenia i dojrzenia występują zarówno w produkcji superfosfatu prostego, jak i superfosfatu potrójnego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w Poradniku dla ucznia informacje dotyczące produkcji nawozów fosforowych oraz schemat ideowy produkcji superfosfatu prostego,
- 2) dokonać analizy schematu ideowego produkcji superfosfatu prostego,
- 3) narysować schemat ideowy produkcji superfosfatu potrójnego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4, flamastry,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 3

Sprawdź doświadczalnie, dlaczego składnikiem nawozów fosforowych nie powinien być fosforan wapnia.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące produkcji nawozów fosforowych,
- 2) wykonać doświadczenie zgodnie z zamieszczoną instrukcją wykonania doświadczenia,
- 3) zapisać równanie zachodzących reakcji,
- 4) wyciągnąć wnioski z wyników doświadczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- 3 zlewki o pojemności 200 cm³,
- bagietka,
- roztwór Na₃PO₄ o stężeniu 0,1 mol/dm³,
- roztwór NaH₂PO₄ o stężeniu 0,1 mol/dm³,
- roztwór CaSO₄ o stężeniu 0,1 mol/dm³,
- środki ochrony indywidualnej,
- dziennik laboratoryjny,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Instrukcja wykonania doświadczenia

W celu wykonania doświadczenia:

- przygotuj trzy zlewki o pojemności 200 cm³,
- w pierwszej zlewce przygotuj 50 cm³ wodnego roztworu Na₃PO₄ o stężeniu 0,1 mol/dm³,
- w drugiej zlewce przygotuj 50 cm³ wodnego roztworu NaH₂PO₄ o stężeniu 0,1 mol/dm³,
- w trzeciej zlewce przygotuj 100 cm³ wodnego roztworu CaSO₄ o stężeniu 0,1 mol/dm³,
- dodaj do zlewki pierwszej i drugiej po 50 cm³ wodnego roztworu CaSO₄ o stężeniu 0,1 mol/dm³, a następnie zamieszaj roztwory.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) określić surowce stosowane do produkcji kwasu fosforowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić surowce stosowane do produkcji superfosfatu pojedynczego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić optymalne warunki produkcji amoniaku?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) scharakteryzować występujące w czasie produkcji kwasu fosforowego zagrożenia dla środowiska naturalnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wyjaśnić, jakie zagrożenie dla środowiska naturalnego stwarza produkcja superfosfatu potrójnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) określić, z jakich etapów składa się proces produkcji superfosfatu pojedynczego (prostego)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) określić skład stosowanych powszechnie w rolnictwie nawozów fosforowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.5. Procesy elektrochemiczne

4.5.1. Materiał nauczania

Elektroliza przemysłowa

Elektrolizą nazywamy wszystkie procesy zachodzące w elektrolitach (roztwory wodne mocnych elektrolitów, stopione sole) na granicy elektroda-elektrolit w wyniku przepływającego przez elektrolit prądu.

Elektroliza przemysłowa prowadzona jest w dwóch wariantach:

- elektroliza roztworów wodnych elektrolitów w niskich temperaturach,
- elektroliza stopionych elektrolitów w wysokich temperaturach.

Elektroliza roztworów wodnych prowadzona jest w elektrolizerach:

- z rozdzielonymi przestrzeniami elektrodowymi (przepona pozioma lub pionowa), nie zachodzi mieszanie się roztworów z przestrzeni katodowej i anodowej,
- z nierozdzielonymi przestrzeniami elektrodowymi, zachodzi mieszanie się roztworów z przestrzeni katodowej i anodowej.

Elektrolizę przemysłową prowadzi się zwykle pod napięciem kilku woltów, natomiast przy wysokich natężeniach prądu (rzędu tysięcy amperów). Ilość wydzielonej podczas elektrolizy substancji opisują prawa Faraday'a:

- I prawo Faraday'a głosi, że ilość wydzielonej podczas elektrolizy substancji jest wprost proporcjonalna do natężenia prądu przepływającego przez elektrolizer oraz czasu trwania procesu. Wyraża się to wzorem:

$$m = k \cdot I \cdot t$$

gdzie:

m – masa wydzielonej substancji [g],

I – natężenie prądu przepływającego przez elektrolizer [A],

t – czas trwania elektrolizy [s],

k – równoważnik elektrochemiczny danej substancji [g. A⁻¹. s⁻¹].

- II prawo Faraday'a głosi, że na wydzielenie równoważnika elektrochemicznego jakiegokolwiek substancji potrzebny jest taki sam ładunek elektryczny. Wyraża się to wzorem:

$$k = \frac{M}{z \cdot F}$$

gdzie:

k – równoważnik elektrochemiczny danej substancji [g. A⁻¹. s⁻¹],

M – masa molowa wydzielonej substancji [g/mol],

z – liczba moli elektronów biorących udział w reakcji [mol e⁻],

F – stała Faraday'a, która wynosi około 96500 [C. mol e⁻].

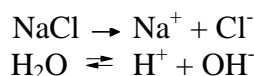
Uwzględniając te dwa prawa uzyskuje się zależność:

$$m = \frac{M}{z \cdot F} \cdot I \cdot t$$

Przeponowa elektroliza wodnego roztworu soli kamiennej

Surowce

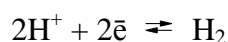
Podstawowym surowcem stosowanym w procesie przeponowej elektrolizy wodnego roztworu soli kamiennej jest tzw. solanka:



Chemiczna koncepcja procesu

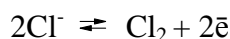
Proces przebiega oddzielnie na dwóch elektrodach (katoda i anoda):

- reakcja przebiegająca na katodzie:

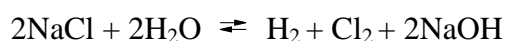


w przestrzeni katodowej pojawia się nadmiar jonów OH^- , powstaje wodorotlenek sodu,

- reakcja przebiegająca na anodzie:



- reakcja sumaryczna zachodząca w elektrolizerze:



Z przestrzeni katodowej elektrolizera odbiera się wodór i rozcieńczony roztwór zawierający około 12% NaOH oraz kilka procent NaCl, z przestrzeni anodowej zaś chlor. Po zateżeniu katolitu (roztwór z przestrzeni katodowej) końcowymi produktami są 50% roztwór NaOH oraz stały wodorotlenek sodu w granulках.

Charakterystyka głównego produktu

Charakterystyka wodorotlenku sodu:

- należy do substancji żrących (symbol ostrzegawczy C), wywołuje poważne oparzenia (R35),



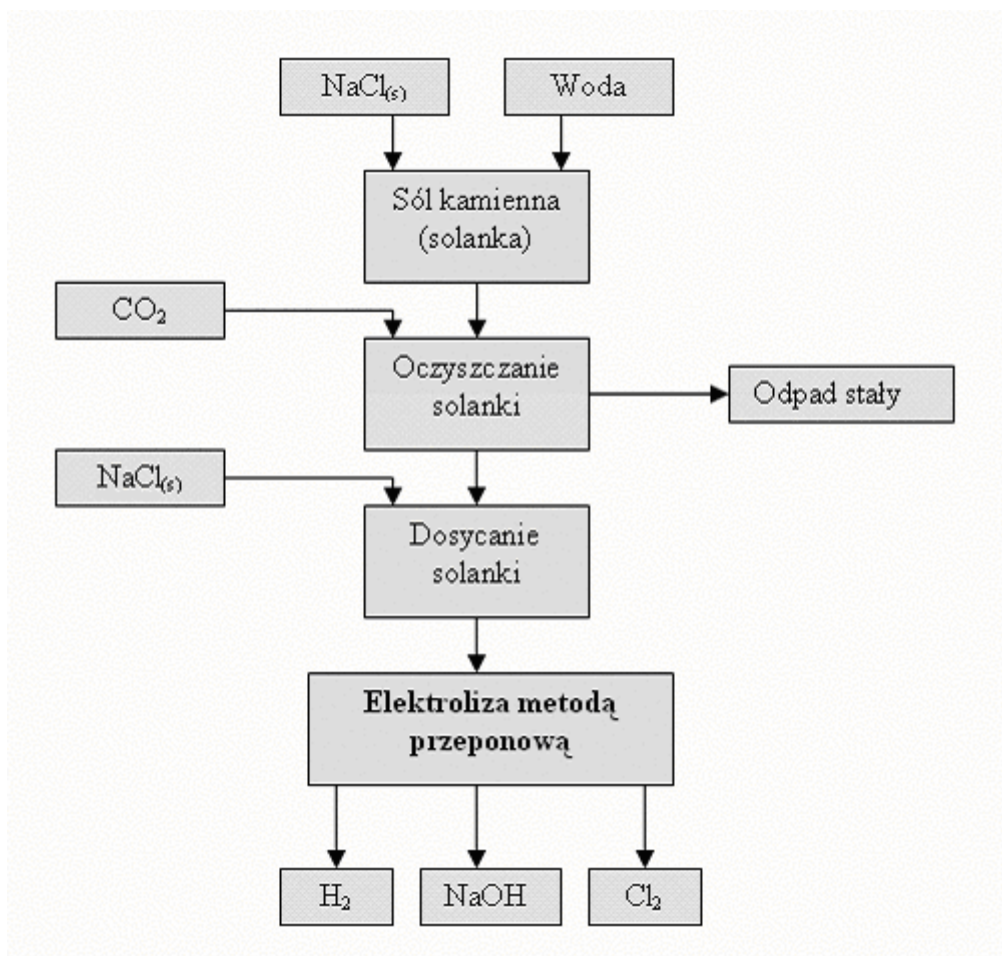
- wywołuje na skórze silne, długo nie gojące się oparzenia. Przy kontakcie z oczami istnieje ryzyko utraty wzroku. Miejsce oparzone należy jak najszybciej zmyć strumieniem chłodnej wody, a następnie zmyć 5% roztworem kwasu octowego.

Informacje ekologiczne

Wodorotlenek sodu jest toksyczny dla organizmów wodnych. Żrący nawet w rozcieńczeniu. Stanowi zagrożenie dla ujęć wody pitnej przy dostaniu się w dużych ilościach do gleby lub wody. Stopień szkodliwości zależy od wielkości pH.

Schemat ideowy przeponowej elektrolizy wodnego roztworu soli kamiennej

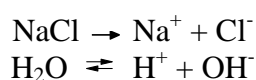
W procesie przeponowej elektrolizy wodnego roztworu soli kamiennej powstają produkty o dużym znaczeniu przemysłowym, a są nimi: wodór, chlor i wodorotlenek sodu.



Rys. 12. Schemat ideowy przeponowej elektrolizy wodnego roztworu soli kamiennej [opracowanie własne]

Bezprzeponowa elektroliza wodnego roztworu soli kamiennej

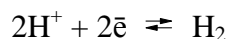
Podstawowym surowcem w tym procesie jest wodny roztwór soli kamiennej, czyli tzw. solanka:



Chemiczna koncepcja procesu

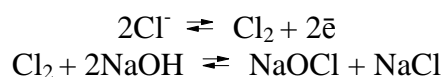
Proces przebiega z mieszaniem się roztworów z przestrzeni katodowej i anodowej:

- reakcja przebiegająca na katodzie:



w przestrzeni katodowej pojawia się nadmiar jonów OH^- , powstaje wodorotlenek sodu,

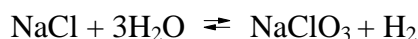
- reakcja przebiegająca na anodzie:



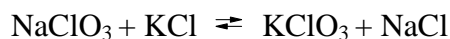
Powstający chloran(I) sodu (podchloryn) w temperaturze podwyższonej przechodzi w chloran(V) sodu:



- reakcja sumaryczna zachodząca w elektrolizerze:



Zwykle metodą elektrochemiczną produkuje się chloran(V) sodu, chloran(V) potasu otrzymuje się raczej metodą chemiczną:



Charakterystyka produktów elektrolizy soli kamiennej

Wodorotlenek sodu otrzymywany w procesie elektrolizy soli kamiennej może być magazynowany w stanie ciekłym w cysternach lub beczkach stalowych. Ze względów ekonomicznych większość stężonego roztworu wodorotlenku sodu jest przeprowadzana w stan stały na drodze odparowania wody. Polega to na odwodnieniu ługu sodowego do około 72% w wyniku wysokotemperaturowego (500°C) odparowywania wody. Tak otrzymany stop podlega schłodzeniu i granulacji.

Chlor odbierany z elektrolizerów poddawany jest oczyszczaniu. Oczyszczanie chloru polega na jego schłodzeniu i przemyciu wodą w celu usunięcia mgły solnej porwanej z elektrolizera. Następnie chlor poddawany jest osuszaniu w wieżach z kwasem siarkowym (absorpcja wody). Ostatnim etapem jest skraplanie chloru w temperaturze około -20°C. Ciekły chlor przechowywany jest w butlach lub cysternach stalowych.

Wodór otrzymywany w procesie elektrolizy przeponowej soli kamiennej odznacza się dużą czystością, dlatego może być użyty w przemyśle chemicznym praktycznie bezpośrednio bez wstępnego oczyszczania.

4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie reakcje zachodzą w czasie przeponowej elektrolizy roztworu wodnego soli kamiennej?
2. Jakie reakcje zachodzą w czasie bezprzeponowej elektrolizy roztworu wodnego soli kamiennej?
3. Jaka jest treść I prawa Faraday'a?
4. Jaka jest treść II prawa Faraday'a?
5. Jakie wartości prądowo-napięciowe stosowane są w procesach elektrolizy przemysłowej?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Korzystając z kart charakterystyki substancji niebezpiecznych określ podstawowe dane dotyczące chloru, a mianowicie:

- jego wpływ na środowisko naturalne,
- postępowanie w przypadku uwolnienia się chloru do środowiska,
- obchodzenie się z chlorem i jego magazynowanie,
- środki ochrony indywidualnej zapewniające bezpieczną pracę.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w kartach charakterystyki substancji niebezpiecznych dane dotyczące chloru,
- 2) wyszukać w tekście niezbędne informacje,
- 3) zapisać krótką charakterystykę dotyczącą chloru.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4, flamastry,
- karty charakterystyki substancji niebezpiecznych.

Ćwiczenie 2

Korzystając ze schematu ideowego produkcji chloru, wodoru i wodorotlenku sodu, określ, w jakim celu dodawany jest dwutlenek węgla.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w Poradniku dla ucznia schemat ideowy produkcji chloru, wodoru i wodorotlenku sodu,
- 2) wyszukać w literaturze podanej w poradniku lub w Internecie informacje dotyczące elektrolizy przeponowej wodnego roztworu soli kamiennej,
- 3) zapisać krótką informację dotyczącą zasadności stosowania dwutlenku węgla w procesie oczyszczania solanki.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4, flamastry,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 3

Oblicz maksymalną objętość chloru, jaką można uzyskać w czasie elektrolizy wodnego roztworu soli kamiennej metodą przeponową, jeżeli elektrolizę prowadzono przez trzy godziny prądem o natężeniu 1000 A.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w Poradniku dla ucznia informacji dotyczących elektrolizy przemysłowej.
- 2) wyszukać wzór opisujący masę wydzielonej substancji,
- 3) wyznaczyć masę molową cząsteczki chloru,
- 4) obliczyć masę wydzielonego chloru,
- 5) przeliczyć masę chloru na objętość gazowego chloru, wykorzystując objętość molową gazu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- kalkulator,
- papier formatu A4, flamastry,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) zapisać reakcje zachodzące w czasie przeponowej elektrolizy roztworu wodnego soli kamiennej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) zapisać reakcje zachodzące w czasie bezprzeponowej elektrolizy roztworu wodnego soli kamiennej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) zastosować prawa Faraday'a?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wyznaczyć masę wydzielających się w procesie elektrolizy substancji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wyznaczyć objętość wydzielających się w procesie elektrolizy substancji gazowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

INSTRUKCJA DLA UCZNIĄ

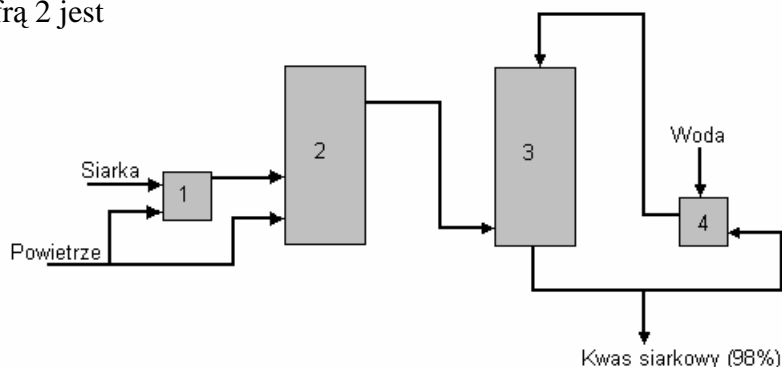
1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
4. Test zawiera 30 zadań wielokrotnego wyboru o różnym stopniu trudności. W każdym zadaniu tylko jedna odpowiedź jest prawidłowa.
5. Udzielaj odpowiedzi tylko na załączonej karcie odpowiedzi, stawiając w odpowiedniej rubryce znak X. W przypadku pomyłki należy błędną odpowiedź zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić odpowiedź prawidłową.
6. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
7. Kiedy udzielenie odpowiedzi będzie Ci sprawiało trudność, wtedy odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci czas wolny.
8. W czasie pracy możesz korzystać z kalkulatora do wykonywania niezbędnych obliczeń oraz układu okresowego pierwiastków.
9. Na rozwiązanie testu masz 60 minut.

Powodzenia!

ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Twardości wody nie powoduje jon
 - a) Ca^{2+} .
 - b) Na^+ .
 - c) Mg^{2+} .
 - d) Fe^{3+} .
2. Do wstępnego usuwania twardości wody można zastosować metodę sodową – wapienną. Polega ona na dodaniu do wody
 - a) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i NaCl .
 - b) $\text{Na}(\text{HCO}_3)_2$ i $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
 - c) NaCl i $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
 - d) Na_2CO_3 i $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
3. Twardość całkowita wody wynosi $26,2 \text{ }^0\text{n}$. Jeżeli twardość niewęglanowa tej wody wynosi $9,2 \text{ }^0\text{n}$, to twardość węglanowa wynosi
 - a) $18,4 \text{ }^0\text{n}$.
 - b) $52,4 \text{ }^0\text{n}$.
 - c) $17,0 \text{ }^0\text{n}$.
 - d) $4,6 \text{ }^0\text{n}$.
4. Usuwając twardość wody metodami chemicznymi powinna być zachowana następująca kolejność dodawania odczynników
 - a) soda, wapno, fosforan trójsodowy.
 - b) wapno, soda, fosforan trójsodowy.
 - c) fosforan trójsodowy, wapno, soda.
 - d) fosforan trójsodowy, soda, wapno.

5. Reakcja spalania siarki w piecu wtryskowym przebiega
- bez użycia katalizatora w niskiej temperaturze.
 - bez użycia katalizatora w wysokiej temperaturze.
 - z użyciem katalizatora w niskiej temperaturze.
 - z użyciem katalizatora w wysokiej temperaturze.
6. Do spalania 1000 kg siarki o czystości 95% należy zużyć
- 665 m³ tlenu.
 - 333 m³ tlenu.
 - 66,5 m³ tlenu.
 - 33,3 m³ tlenu.
7. Tlenki siarki(VI) nie mogą być absorbowane w
- roztworze kwasu stężonego.
 - roztworze kwasu rozcieńczonego.
 - oleum.
 - wodzie.
8. Oleum to
- rozcieńczony kwas siarkowy(VI).
 - stężony kwas siarkowy(VI).
 - kwas siarkowy o stężeniu 100%.
 - roztwór SO₃ w kwasie siarkowym(VI).
9. Surowcem stosowanym do produkcji superfosfatu jest
- baryt.
 - luizyt.
 - apatyt.
 - iperyt.
10. Produkcja kwasu fosforowego z fosforytów jest uciążliwa dla środowiska naturalnego ze względu na
- zużycie dużych ilości powietrza.
 - powstawanie dużych ilości tlenków siarki.
 - powstawanie fosfogipsów.
 - powstawanie dużych ilości tlenków azotu.
11. Na rysunku, przedstawiającym schemat instalacji produkcji kwasu siarkowego, elementem oznaczonym cyfrą 2 jest
- mieszalnik.
 - wieża absorpcyjna.
 - aparat kontaktowy.
 - piec do spalania siarki.

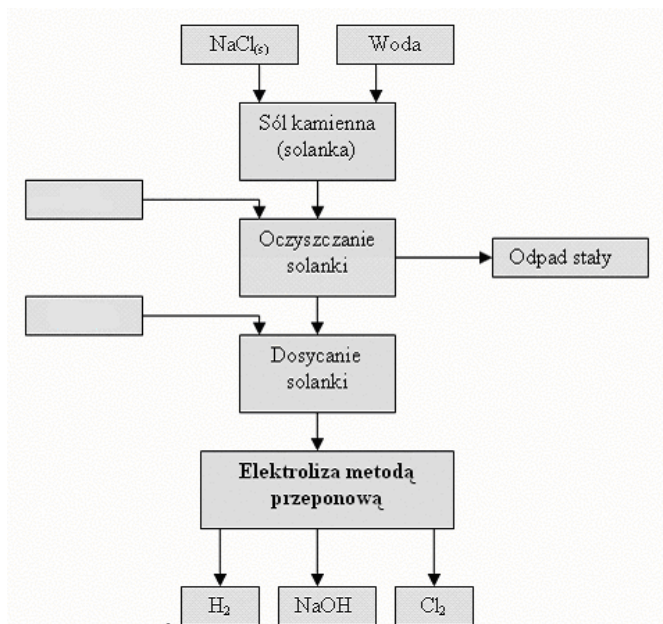


12. Konieczność absorpcji fluorowodoru powstającego w procesie produkcji kwasu fosforowego i superfosfatu potrójnego
- powoduje znaczny wzrost kosztów produkcji tych substancji.
 - powoduje nieznaczny wzrost kosztów produkcji tych substancji.
 - nie zmienia kosztów produkcji tych substancji.
 - powoduje obniżenie kosztów produkcji tych substancji.
13. Zawartość procentowa P_2O_5 w $Ca(H_2PO_4)_2$ wynosi około
- 27%.
 - 60%.
 - 40%.
 - 13%.
14. Fosfogipsy powstające w czasie produkcji kwasu fosforowego
- znalazły szerokie zastosowanie w budownictwie.
 - nie znalazły szerszego zastosowania.
 - znalazły szerokie zastosowanie w drogownictwie.
 - znalazły zastosowanie jako nawóz fosforowy.
15. Zgodnie z regułą przekory (Le Chateliera – Brauna) reakcja konwersji metanu z parą wodną opisywana równaniem $CH_4 + H_2O \rightleftharpoons CO + 3 H_2$ $\Delta H = 200$ kJ powinna przebiegać
- w wysokiej temperaturze i przy wysokim ciśnieniu.
 - w wysokiej temperaturze i przy niskim ciśnieniu.
 - w niskiej temperaturze i przy wysokim ciśnieniu.
 - w niskiej temperaturze i przy niskim ciśnieniu.
16. Stosunek objętościowy produktów gazowych powstających w wyniku reakcji zgazowania węgla kamiennego przegrzaną parą wodną wynosi
- 2:1.
 - 1:1.
 - 1:2.
 - 4:2.
17. Azot (niezbędny składnik gazu do syntezy amoniaku) można uzyskać w reakcji
- konwersji metanu z parą wodną.
 - konwersji etanu z parą wodną.
 - półspalania etanu lub węgla.
 - termicznego rozkładu metanu.
18. Skutecznym nawozem fosforowym nie jest
- $CaHPO_4$.
 - $Ca_3(PO_4)_2$.
 - $NH_4H_2PO_4$.
 - $(NH_4)_2HPO_4$.
19. Przedstawiony znak ostrzegawczy określa
- substancje bardzo łatwo palne.
 - substancje bardzo toksyczne.
 - substancje żrące.
 - substancje niebezpieczne dla środowiska.



20. Z 6 moli wodoru można uzyskać w bezpośredniej reakcji katalitycznej z azotem
- 6 moli amoniaku.
 - 2 mole amoniaku.
 - 4 mole amoniaku.
 - 3 mole amoniaku.
21. Kwas azotowy uzyskuje się obecnie przemysłowo w trzech etapach
- utlenianie katalityczne azotu, utlenianie NO do NO₂, absorpcja powstałych tlenków azotu w wodzie.
 - utlenianie katalityczne azotu, utlenianie NO do NO₂, adsorpcja powstałych tlenków azotu w wodzie.
 - utlenianie amoniaku, utlenianie NO do NO₂, absorpcja powstałych tlenków azotu w wodzie.
 - utlenianie amoniaku, utlenianie NO do NO₂, adsorpcja powstałych tlenków azotu w wodzie.
22. Saletrę amonową (popularny nawóz azotowy) przedstawia wzór
- Ca(NO₃)₂.
 - NH₂CONH₂.
 - NH₄NO₃.
 - NH₄OCONH₂.

23. Na schemacie ideowym brak jest dwóch wpisów. W pustych miejscach powinny znaleźć się wpisy
- H₂O i NaCl_(s).
 - CO₂ i H₂O.
 - CO₂ i NaCl_(s).
 - CaO i H₂O.



24. Aby uzyskać 10 dm³ solanki o stężeniu 310 g/dm³ należy rozpuścić w wodzie
- 31 kg czystego NaCl.
 - 3,1 kg czystego NaCl.
 - 31000 g czystego NaCl.
 - 310 kg czystego NaCl.

25. Stosunek molowy produktów powstających w wyniku przeponowej elektrolizy wodnego roztworu NaCl wynosi
- 1:2:4.
 - 1:1:1.
 - 1:2:1.
 - 2:1:1.
26. Kamień osadzający się na dnie naczyń w czasie gotowania wody zawiera głównie
- CaO i MgCO_3 .
 - CaCO_3 i MgO.
 - Ca(OH)_2 i Mg(OH)_2 .
 - CaCO_3 i Mg(OH)_2 .
27. Kwas siarkowy stężony przewożymy w cysternach zbudowanych
- ze stali węglowych.
 - z żeliwa.
 - ze stali stopowych.
 - z aluminium.
28. Kwas azotowy stężony przewożymy w cysternach zbudowanych
- ze stali węglowych.
 - z żeliwa.
 - ze stali stopowych.
 - z aluminium.
29. Jeden z nawozów azotowych ulega wybuchowemu rozkładowi termicznemu. Nawozem tym jest
- saletra sodowa.
 - saletra wapniowa.
 - mocznik.
 - saletra amonowa.
30. Oczyszczanie mechaniczne wody polega na przepuszczaniu jej kolejno przez
- filtry, sita, osadniki i kraty.
 - kraty, filtry, sita i osadniki.
 - kraty, sita, osadniki i filtry.
 - filtry, sita, kraty i osadniki.

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko.....

Wytwarzanie podstawowych półproduktów i produktów nieorganicznych

Zakreśl poprawną odpowiedź.

Nr zadania	Odpowiedź				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12	a	b	c	d	
13	a	b	c	d	
14	a	b	c	d	
15	a	b	c	d	
16	a	b	c	d	
17	a	b	c	d	
18	a	b	c	d	
19	a	b	c	d	
20	a	b	c	d	
21	a	b	c	d	
22	a	b	c	d	
23	a	b	c	d	
24	a	b	c	d	
25	a	b	c	d	
26	a	b	c	d	
27	a	b	c	d	
28	a	b	c	d	
29	a	b	c	d	
30	a	b	c	d	
Razem:					

6. LITERATURA

1. Gomólkowie B. i E.: Technologia wód przemysłowych z ćwiczeniami. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1994
2. Klepaczko-Filipiak B., Jakubiak Z., Wulkiewicz U.: Produkcja chemiczna. Podręcznik dla uczniów liceum technicznego o profilu chemicznym. WSiP
3. Molenda J.: Chemia w przemyśle. WSiP, Warszawa 1996
4. Molenda J.: Chemia techniczna. WNT, Warszawa 1985
5. Molenda J.: Technologia chemiczna. WSiP, Warszawa 1996
6. Warych J.: Oczyszczanie przemysłowych gazów odlotowych. WNT, Warszawa 1996