



MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ



Kazimierz Olszewski

Wytwarzanie podstawowych półproduktów i produktów organicznych 815[01].Z2.03

Poradnik dla ucznia

Wydawca

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

Recenzenci:

dr inż. Jarosław Religa
mgr Urszula Ciosk Rawluk

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Kazimierz Olszewski

Konsultacja:

mgr inż. Halina Bielecka

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 815[01].Z2.03 „Wytwarzanie podstawowych półproduktów i produktów organicznych”, zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu operator urządzeń przemysłu chemicznego.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

„Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego”

SPIS TREŚCI

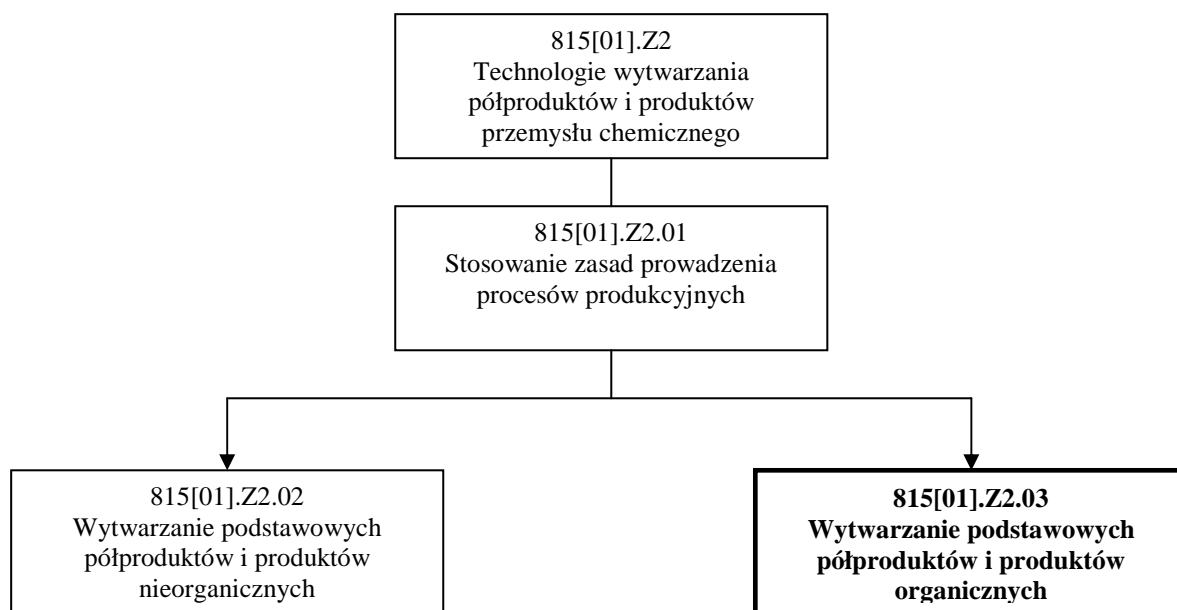
1. Wprowadzenie	3
2. Wymagania wstępne	4
3. Cele kształcenia	5
4. Materiał nauczania	6
4.1. Technologia przerobu surowców energetycznych	6
4.1.1. Materiał nauczania	6
4.1.2. Pytania sprawdzające	19
4.1.3. Ćwiczenia	20
4.1.4. Sprawdzian postępów	22
4.2. Przemysł tłuszczowy	23
4.2.1. Materiał nauczania	23
4.2.2. Pytania sprawdzające	25
4.2.3. Ćwiczenia	25
4.2.4. Sprawdzian postępów	27
4.3. Procesy jednostkowe w syntezie organicznej	28
4.3.1. Materiał nauczania	28
4.3.2. Pytania sprawdzające	36
4.3.3. Ćwiczenia	36
4.3.4. Sprawdzian postępów	38
4.4. Przemysł tworzyw sztucznych	39
4.4.1. Materiał nauczania	39
4.4.2. Pytania sprawdzające	42
4.4.3. Ćwiczenia	42
4.4.4. Sprawdzian postępów	45
4.5. Syntezy organiczne z gazu syntezowego	46
4.5.1. Materiał nauczania	46
4.5.2. Pytania sprawdzające	47
4.5.3. Ćwiczenia	48
4.5.4. Sprawdzian postępów	49
5. Sprawdzian osiągnięć	50
6. Literatura	56

1. WPROWADZENIE

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

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 organicznej,
- 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:

- rozróżnić surowce energochemicznie,
- rozróżnić procesy rafineryjne od petrochemicznych,
- określić zadania procesów przygotowania ropy naftowej do przeróbki,
- scharakteryzować właściwości i skład destylatów naftowych otrzymywanych z ropy naftowej,
- wskazać kierunki oczyszczania lub dalszej przeróbki destylatów naftowych,
- scharakteryzować przemysłowe metody sulfonowania, nitrowania, chlorowania, estryfikacji oraz hydrolizy i utwardzania tłuszczów,
- rozróżnić symbole aparatury, punktów pomiaru parametrów, urządzeń regulacji i sterowania stosowanych w procesach wytwarzania półproduktów i produktów organicznych,
- określić wpływ zmiany parametrów procesowych na przebieg procesów wytwarzania produktów organicznych,
- wskazać metody wytwarzania surowego gazu syntezowego z różnych surowców,
- uzasadnić konieczność odsiarczania produktów przerobu gazu ziemnego, ropy naftowej i węgla kamiennego,
- scharakteryzować budowę i zasady działania aparatów i urządzeń stosowanych w procesach przerobu węgla kamiennego, gazu ziemnego, ropy naftowej oraz w procesach wytwarzania podstawowych grup związków organicznych,
- posłużyć się uproszczonymi schematami technologicznymi procesów przerobu węgla kamiennego, gazu ziemnego oraz ropy naftowej,
- wskazać kierunki wykorzystywania poszczególnych składników surowego gazu syntezowego,
- ocenić stopień zagrożenia środowiska pracy podczas eksploatacji aparatów i urządzeń stosowanych w procesach przerobu węgla kamiennego, gazu ziemnego, ropy naftowej oraz w procesach wytwarzania podstawowych grup związków organicznych,
- ocenić toksyczność substancji stosowanych w procesach wytwarzania produktów organicznych na podstawie analizy karty charakterystyki substancji niebezpiecznych,
- scharakteryzować skład i warunki pracy katalizatorów stosowanych w procesach wytwarzania produktów organicznych,
- wyjaśnić, w oparciu o schemat ideowy, chemiczną koncepcję procesu wytwarzania produktów organicznych,
- sporządzić schematy ideowe najważniejszych procesów wytwarzania produktów organicznych,
- wskazać stosowanie zasad technologicznych w procesach wytwarzania produktów organicznych,
- rozróżnić reakcje polimeryzacji i polikondensacji,
- scharakteryzować stosowane w przemyśle sposoby prowadzenia polimeryzacji w: masie, zawiesinie i emulsji,
- odróżnić zasadnicze typy tworzyw polimeryzacyjnych,
- ocenić właściwości najważniejszych kopolimerów,
- scharakteryzować najważniejsze parametry jakościowe benzyn,
- ocenić wpływ na środowisko procesów komponowania i zastosowania benzyn,
- zastosować zasady bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony przeciwpożarowej oraz ochrony środowiska obowiązujące na stanowiskach pracy.

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

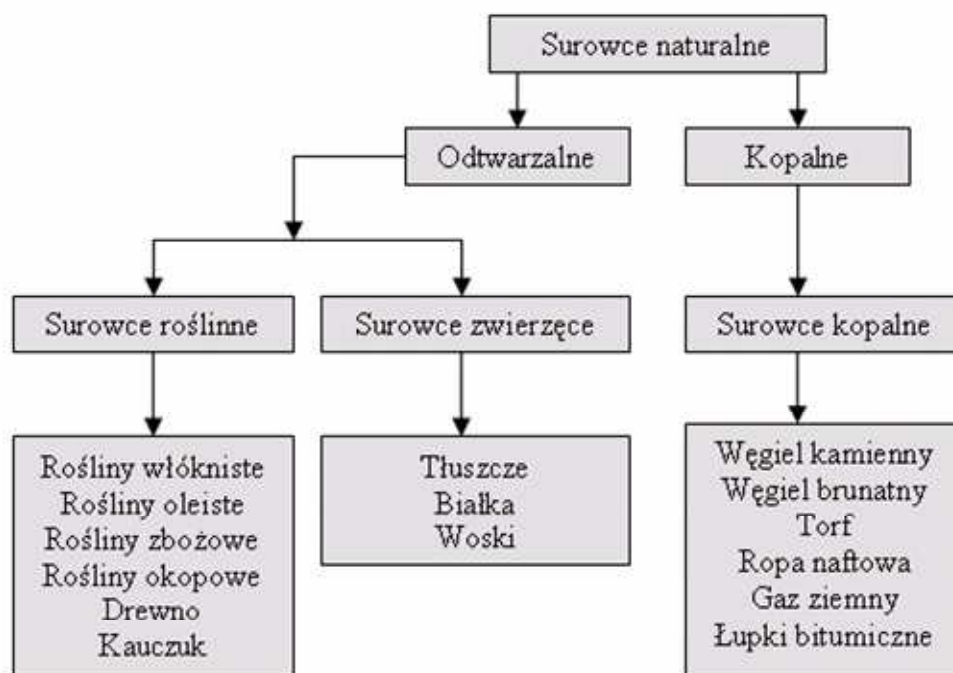
4.1. Technologia przerobu surowców energetycznych

4.1.1. Materiał nauczania

Technologia chemiczna organiczna

Technologia chemiczna organiczna zajmuje się wytwarzaniem produktów związanych z codziennością: tworzyw sztucznych, kosmetyków, barwników, detergentów. Głównie przetwarza się surowce kopalne oraz surowce naturalne (odnawialne).

Surowce stosowane w technologii chemicznej organicznej



Rys. 1. Podział surowców naturalnych [7]

Kierunki przetwarzania surowców organicznych

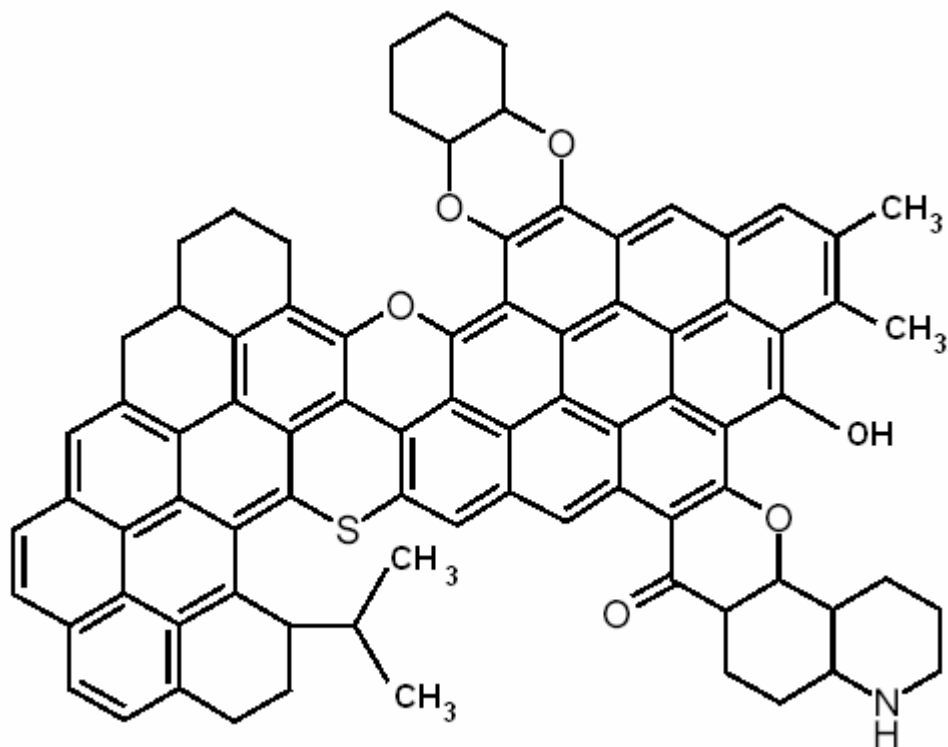
Do głównych kierunków przerobu surowców organicznych zalicza się:

- fizykochemiczny przerób surowców naturalnych: są to proste operacje fizyczne, którym poddaje się surowce naturalne, np.: destylacja ropy, sucha destylacja węgla, ekstrakcja cukru z buraków cukrowych,
- ciężka (wielka) synteza organiczna: wytwarzanie niewielkiej liczby produktów, ale na ogromną skalę, np.: produkcja: etylenu, metanu, butadienu. Produkty powstają w wyniku jednej lub dwóch reakcji,
- lekka synteza organiczna: procesy prowadzone w skali średnio lub małotonażowej, ale obejmujące szeroki asortyment produktów o wysokim stopniu przetworzenia. Produkty powstają w wyniku kilku lub kilkunastu operacji,
- fizyczna obróbka produktów i półproduktów chemicznych w celu nadania im właściwości finalnych produktów użytkowych np.: środki kosmetyczne, środki piorące, leki, tworzywa sztuczne.

Technologia przerobu węgla kamiennego

Budowa i skład węgla kamiennego

Węgiel kamienny jest ostatnim stadium powstawania węgla z roślin. Budowa chemiczna i jego właściwości chemiczne zależą od rodzaju wyjściowej substancji roślinnej, wieku geologicznego złoża oraz warunków procesów zwęglania. Stadium młodszym węgla kamiennego jest węgiel brunatny. Węgiel kamienny składa się ze skondensowanych układów pierścieni aromatycznych połączonych ze sobą pierścieniami cyklicznymi, w których mogą występować heteroatomy (azot, siarka, tlen).



Rys. 2. Przykładowy wzór makrocząsteczki węgla kamiennego [7]

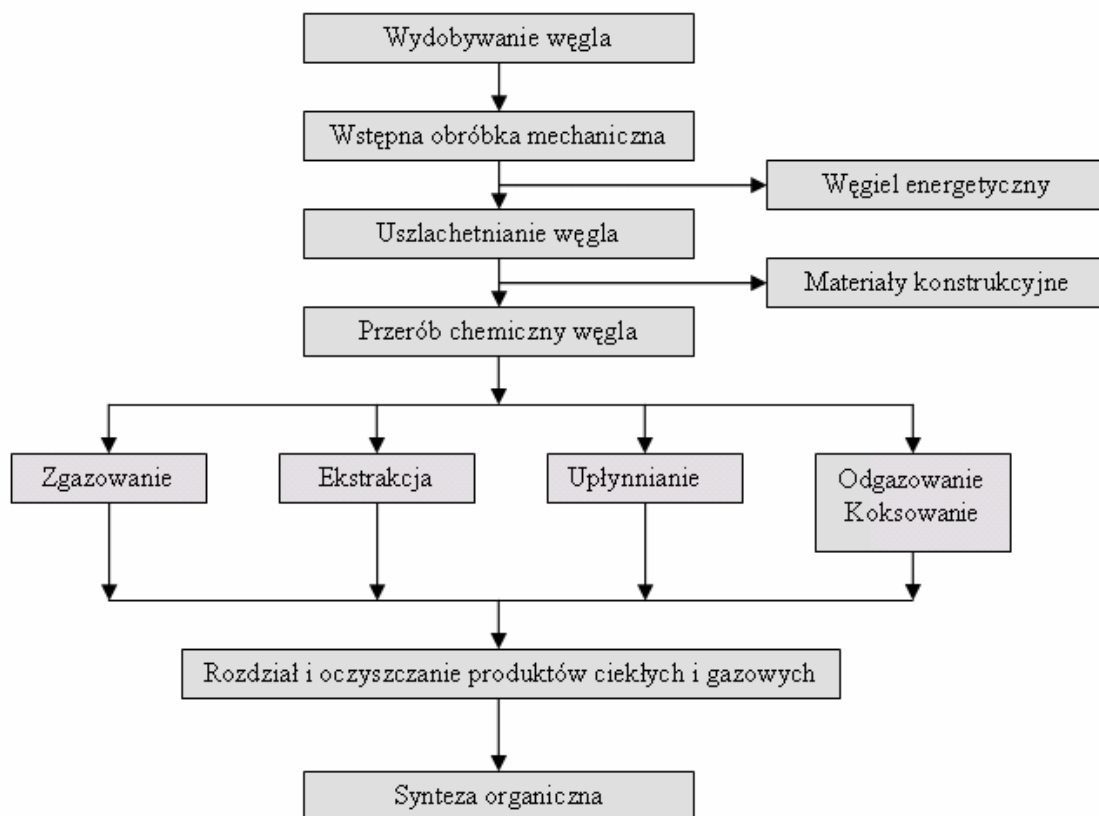
Skład poszczególnych gatunków węgla różni się od siebie (tabela 1). Nie wszystkie gatunki węgla nadają się bezpośrednio do przemysłu chemicznego. W przemyśle koksochemicznym do produkcji koksu najbardziej nadaje się węgiel antracytowy.

Tabela 1. Gatunki węgla [2]

Gatunki węgla	Udział masowy pierwiastków [%]				
	H	S	N	O	C
Antracyt	3,0	1,2	1,5	2,2	92,0
Gazowo-kokсовy	5,0	0,5	1,7	6,7	86,0
Płomieniowy	4,7	0,3	1,6	13	80

Kierunki przerobu węgla kamiennego

Węgiel należy do grupy surowców energochemicznych, czyli jest surowcem zarówno dla przemysłu energetycznego, jak i chemicznego. Kierunki przerobu węgla kamiennego wynikają ściśle z jego składu. Poniżej podano schemat ideowy przetwarzania węgla kamiennego.



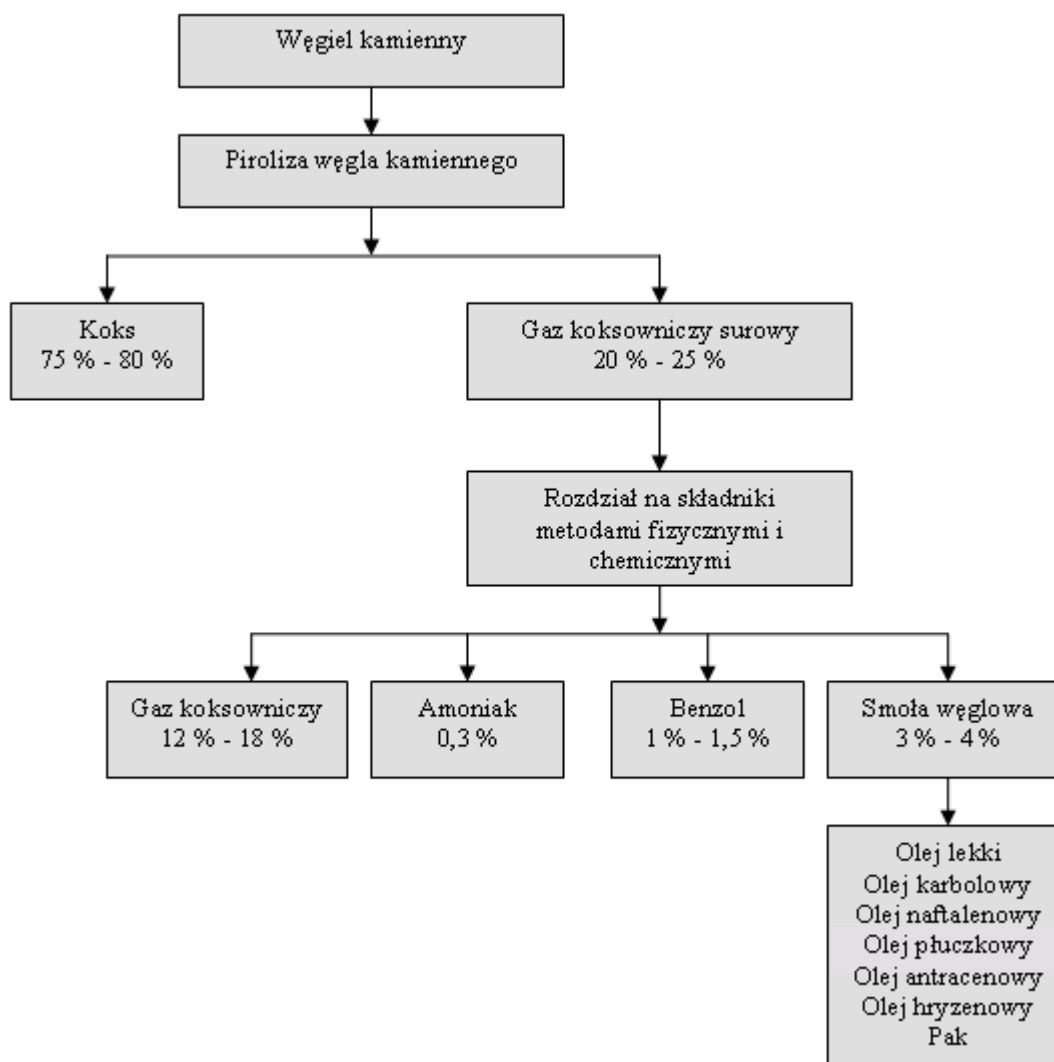
Rys. 3. Schemat ideowy przetwarzania węgla kamiennego [7]

Do najczęściej stosowanych procesów przerobu węgla kamiennego należą:

- wstępna obróbka mechaniczna: usuwanie zanieczyszczeń (kamienie), posortowanie węgla na gatunki według rozmiaru,
- uszlachetnianie węgla: uzyskiwanie z węgla materiału konstrukcyjnego odpornego na korozję,
- upłynnianie węgla: otrzymywanie z węgla paliw ciekłych (węglowodory) poprzez działanie na węgiel wodorem,
- zgazowanie węgla: otrzymywanie z węgla gazów w procesie utleniania (działanie tlenem) lub w procesie redukcji (działanie wodorem),
- koksowanie węgla (otrzymywanie koksu): jest połączone z odgazowaniem czyli suchą destylacją węgla, w wyniku której uzyskuje się produkty gazowe i ciekłe,
- ekstrakcja węgla: działanie na węgiel rozpuszczalnikami organicznymi w celu uzyskania zawartych w nim związków organicznych.

Przemysł koksochemiczny

Podstawowym procesem w tym przemyśle jest piroliza (koksowanie), czyli ogrzewanie bez dostępu powietrza w temperaturze powyżej 1000°C. Proces ten prowadzi do powstawania koksu i produktów pochodzących z odgazowania węgla.



Rys. 4. Schemat ideowy procesu koksowania [7]

Charakterystyka produktów pirolizy węgla kamiennego

W wyniku przetwarzania węgla kamiennego otrzymuje się głównie:

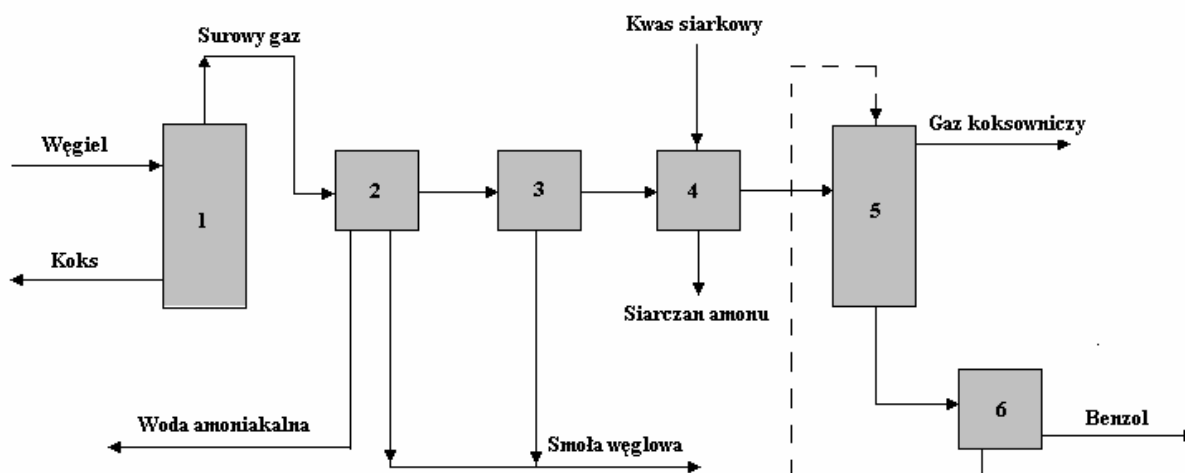
- koks: główny produkt procesu pirolizy węgla kamiennego, składający się w 96–97% masowych z węgla (pierwiastek),
- smoła węglowa: gęsta, czarna ciecz uzyskiwana w procesie koksowania węgla, zawiera wiele związków chemicznych, w tym głównie aromatyczne,
- gaz koksowniczy surowy: gaz odbierany z procesu koksowania węgla zawierający głównie wodór, metan, a także pary smoły węglowej, benzolu i amoniaku,
- gaz koksowniczy: gaz zawierający głównie wodór, metan, a także niewielkie ilości etylenu,
- woda amoniakalna (amoniak): zanieczyszczony rozcieńczony roztwór amoniaku,
- benzol: mieszanina ciekła zawierająca głównie benzen, toluen oraz ksyleny.

Węgiel był dawniej głównym surowcem energochemicznym, obecnie wypierany jest coraz częściej przez ropę naftową i gaz ziemny. Wysokie ceny ropy naftowej i gazu ziemnego mogą spowodować w niedługim czasie wzrost znaczenia węgla jako surowca energochemicznego. Węgiel jest istotnym źródłem węglowodorów aromatycznych. Smoła węglowa powstająca w wyniku przerobu węgla zawiera dużą grupę związków aromatycznych:

- olej lekki: benzen, toluen, ksylen (dimetylobenzen),
- olej karbolowy: naftalen, fenol, krezole,
- olej naftalenowy: naftalen, acenaften,
- olej antracenyowy: antracen, piren, karbazol, chmyzem.

Koksowanie

Koksownie to zakłady przemysłowe przetwarzające węgiel, które głównie wytwarzają koks i węglowodory aromatyczne.



Rys. 5. Uproszczony schemat technologiczny koksowni: 1 – piec koksowniczy, 2 – chłodzenie gazu koksowniczego, 3 – odsmaianie gazu koksowniczego, 4 – wydzielanie amoniaku, 5 – absorpcja benzolu w oleju pługkowym, 6 – desorpcja benzolu z oleju pługkowego [1, s. 170]

Charakterystyka benzenu

Benzen należy do substancji:

- wysoce łatwopalnych i toksycznych (symbole ostrzegawcze: F,T). Może być przyczyną chorób nowotworowych. Substancja wysoce łatwopalna. Stwarza poważne zagrożenie dla zdrowia. Działa toksycznie w przypadku narażenia drogą oddechową i kontaktu ze skórą i po spożyciu (R: 45-11-48-23/24/25),



- powodującej podrażnienia skóry, jest łatwo absorbowany przez organizm. Powoduje ból i zawroty głowy, arytmie serca, spadek ciśnienia krwi, duszność, spazmy, narkozę, paraliż oddychania, a nawet śmierć.

Podobną charakterystykę jak benzen ma duża grupa związków aromatycznych, które zawarte są w smołach węglowych. Kontakt ze smołą węglową jest bardzo niebezpieczny. Praca ze smołą węglową wymaga szczególnej ostrożności.

Informacje ekologiczne

Benzen jest trujący dla organizmów żywych. Istnieje ponadto ryzyko tworzenia się mieszanin wybuchowych nad lustrem wody. Jest w niskim stopniu biodegradowalny. Stanowi poważne zagrożenie dla wody pitnej. Nie wolno dopuścić do przedostania się benzenu do ujęć wody pitnej, gleby i ścieków. Proces koksowania węgla kamiennego ze względu na powstające związki aromatyczne jest bardzo niebezpieczny dla środowiska naturalnego.

Z tego względu zamyka się stare koksownie nie mogące zapewnić hermetyzacji procesu produkcyjnego.

Technologia przerobu gazu ziemnego

Skład gazu ziemnego

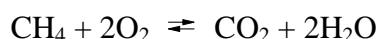
Gaz ziemny jest paliwem kopalnym, jego zaletą jest łatwość transportu. Jest popularnym substratem w wielu procesach chemicznych. Składa się głównie z nasyconych węglowodorów o małym ciężarze cząsteczkowym (metan, etan, propan, butan) oraz węglowodorów C₅–C₆ (łańcuchowe i cykliczne, nasycone i nienasycone). W zależności od miejsca wydobycia może mieć różny skład, jest często zanieczyszczony dwutlenkiem węgla i siarkowodorem.

Gaz ziemny stanowiący tylko mieszaninę metanu i etanu nosi nazwę „gazu suchego”. W przypadku, gdy obok metanu i etanu zawiera węglowodory cięższe, dające się skroplić w temperaturze pokojowej, nazywa się „gazem mokrym”.

Kierunki przerobu gazu ziemnego

Wstępna obróbka technologiczna gazu ziemnego polega na jego odpylaniu, suszeniu, a następnie usuwaniu H₂S i CO₂ oraz usunięciu wyższych węglowodorów. Tak przygotowany gaz wykorzystywany jest technologicznie jako:

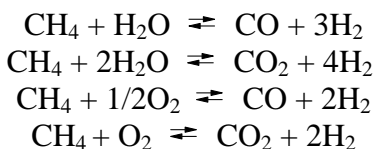
- surowiec energetyczny:



- surowiec do produkcji acetylenu:



- surowiec do produkcji gazu syntezowego:



- surowiec do pozyskiwania lekkich węglowodorów.

Proces wydzielania składników gazu ziemnego

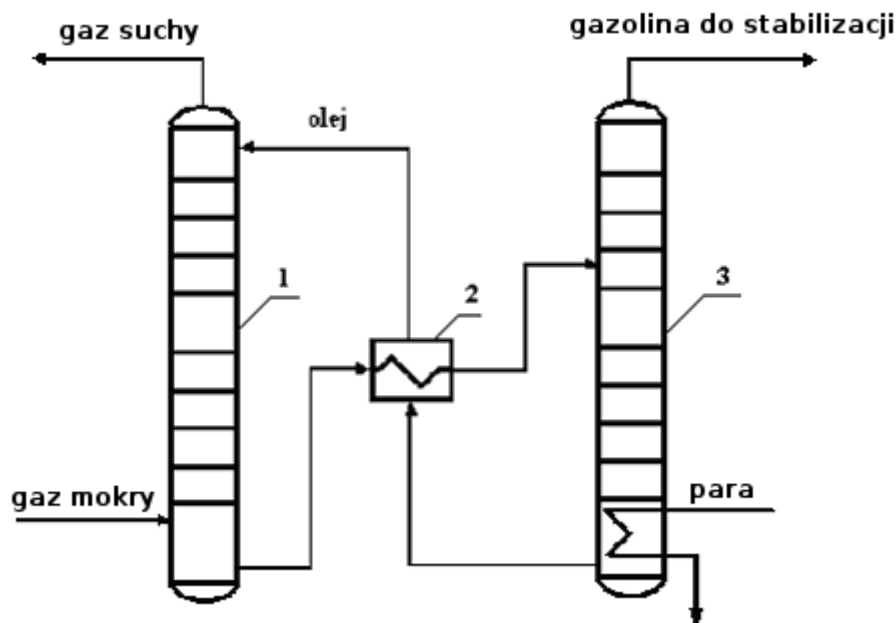
W wyniku procesu zwanego odgazolinowaniem z gazu ziemnego otrzymuje się gaz suchy i gazolinę. Gazolinę poddaje się dalszej przeróbce noszącej nazwę stabilizacja, w wyniku, której otrzymuje się gazolinę stabilizowaną i gazol. W wyniku tych operacji technologicznych uzyskuje się:

- gaz suchy zawierający głównie metan i etan,
- gazolinę zawierającą węglowodory C₅–C₆ (łańcuchowe i cykliczne, nasycone i nienasycone) oraz propan i butanu,
- gazolinę stabilizowaną zawierającą głównie węglowodory C₅–C₆, łańcuchowe i cykliczne, nasycone i nienasycone,
- gazol zawierający głównie propan i butany.

Odgazolinowanie gazu ziemnego

Odgazolinowanie gazu ziemnego można przeprowadzić kilkoma metodami:

- metodą kompresyjną polegającą na wykropleniu cięższych węglowodorów przez sprężanie gazu i oziębienie,
- metodą absorpcyjną, w której cięższe węglowodory wymywa się z gazu olejem,
- metodą adsorpcyjną, przez adsorpcję węglowodorów na węglu aktywowanym.



Rys. 6. Schemat odgazolinowania gazu ziemnego metodą absorpcyjną: 1 – kolumna absorpcyjna, 2 – wymiennik ciepła, 3 – kolumna desorpcyjna

Charakterystyka metanu

Metan należy do substancji:

- skrajnie łatwopalnych: R11 z powietrzem tworzy mieszaninę wybuchową: R18 (symbol ostrzegawczy F₊),



- powodującej powstawanie bólów i zawrotów głowy, działa negatywnie na układ nerwowy, wywołuje halucynacje.

Technologia przerobu ropy naftowej

Skład ropy naftowej

Ropa naftowa jest surowcem kopalnym pochodzenia roślinnego. Zawiera ona głównie węglowodory alifatyczne nasycone, surowa ropa zawiera także sporo zanieczyszczeń (piasek, glina, woda). Oddzielenie wody od ropy naftowej sprawia kłopoty. Transportowana ropa nie powinna zawierać więcej niż 1% wody. Woda zawiera rozpuszczone sole mineralne co powoduje szybką korozję urządzeń. Ropa kierowana do przerobu nie powinna zawierać więcej niż 0,1–0,3% wody. Węglowodory alifatyczne często tworzą z wodą emulsje trudne do rozbicia. W przemyśle stosowane są najczęściej cztery główne metody usuwania wody:

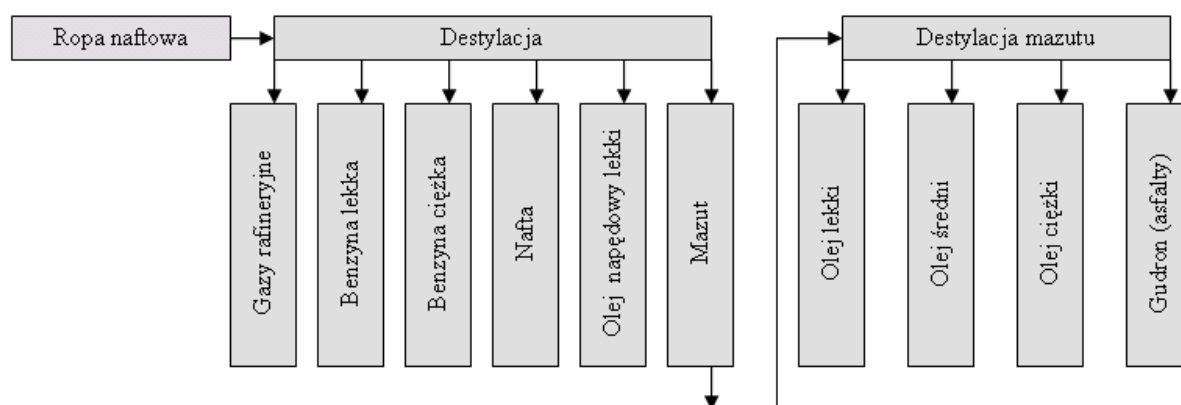
- fizyczna: polega ona na zastosowaniu odstojników, wirówek lub procesów filtracji przez specjalne złoża,
- chemiczna: polega ona na zastosowaniu demulgatorów,
- termiczna: polega ona na podgrzaniu ropy (50–150°C),
- elektryczna: polega na umieszczeniu ropy w zmiennym polu elektrycznym. W polu następuje deformacja kropelek wody i łączenie się ich w większe agregaty.

Tabela 2. Skład frakcyjny ropy naftowej [2]

Robocza nazwa frakcji: liczba atomów węgla	Produkty handlowe	Przeznaczenie
Gaz odgazolinowany: C ₁ –C ₂		Paliwo, surowiec chemiczny
Gaz płynny (Gazol): C ₃ –C ₄		Paliwo w butlach, surowiec chemiczny
Eter naftowy (Gazolina): C ₄ –C ₅		Rozpuszczalniki, surowiec chemiczny
Benzyna: C ₆ –C ₁₀	Benzyna lotnicza Benzyna ekstrakcyjna Benzyna silnikowa Benzyna lakowa	Paliwo, surowiec chemiczny Rozpuszczalniki, surowiec chemiczny Paliwo, surowiec chemiczny Rozpuszczalniki, surowiec chemiczny
Nafta: C ₉ –C ₁₃	Paliwo do silników odrzutowych	Paliwo
Oleje: C ₁₂ –C ₁₈	Oleje napędowe Oleje opałowe Oleje maszynowe	Paliwo do silników wysokoprężnych Paliwo, surowiec do krakowania Oleje smarowe
Wazeliny: C ₁₆ –C ₂₀	Wazelina	Smary półstałe
Parafiny stałe: C ₂₀ –C ₂₆	Parafina	Świece, pasty do podłóg i obuwia
Asfalty: powyżej C ₂₆	Asfalt	Izolacje, budownictwo i drogownictwo, powłoki antykorozyjne

Kierunki przerobu ropy naftowej

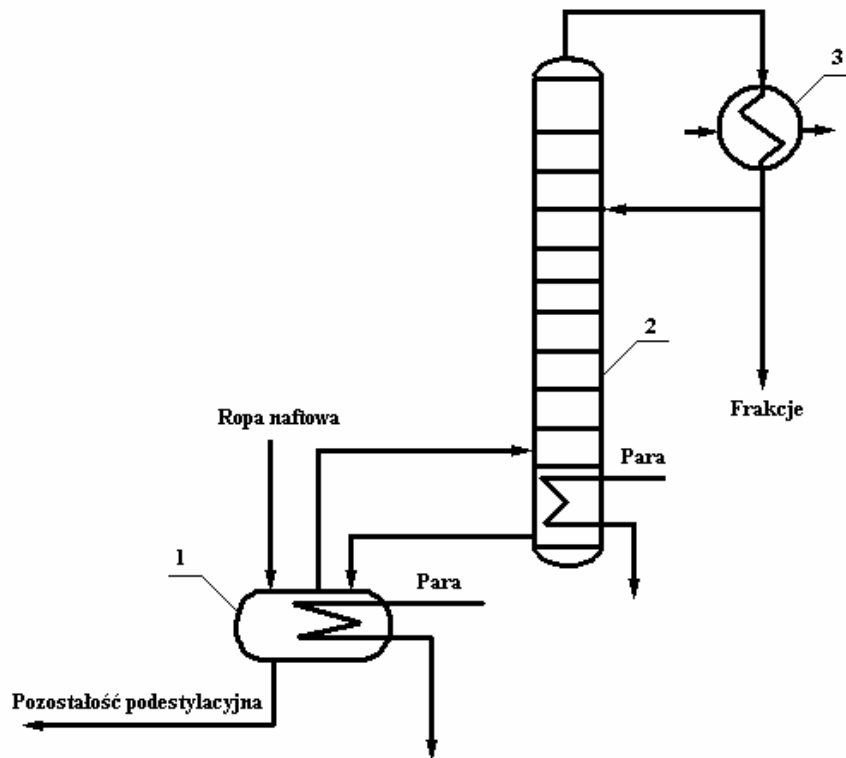
Głównym kierunkiem przerobu ropy naftowej jest destylacyjny rozdział na frakcje użytkowe prowadzony w warunkach zachowawczych (zabezpiecza składniki ropy przed rozkładem termicznym). Do rozdziału ropy na frakcje stosuje się destylację rurowo-wieżową (DRW). W pierwszym etapie prowadzona jest destylacja pod ciśnieniem atmosferycznym, w drugim zaś pod ciśnieniem obniżonym (dodaje się także dodatkowo parę wodną obniżającą ciśnienie składników).



Rys. 7. Schemat ideowy destylacyjnego rozdziału ropy naftowej [7]

Destylacja okresowa ropy naftowej

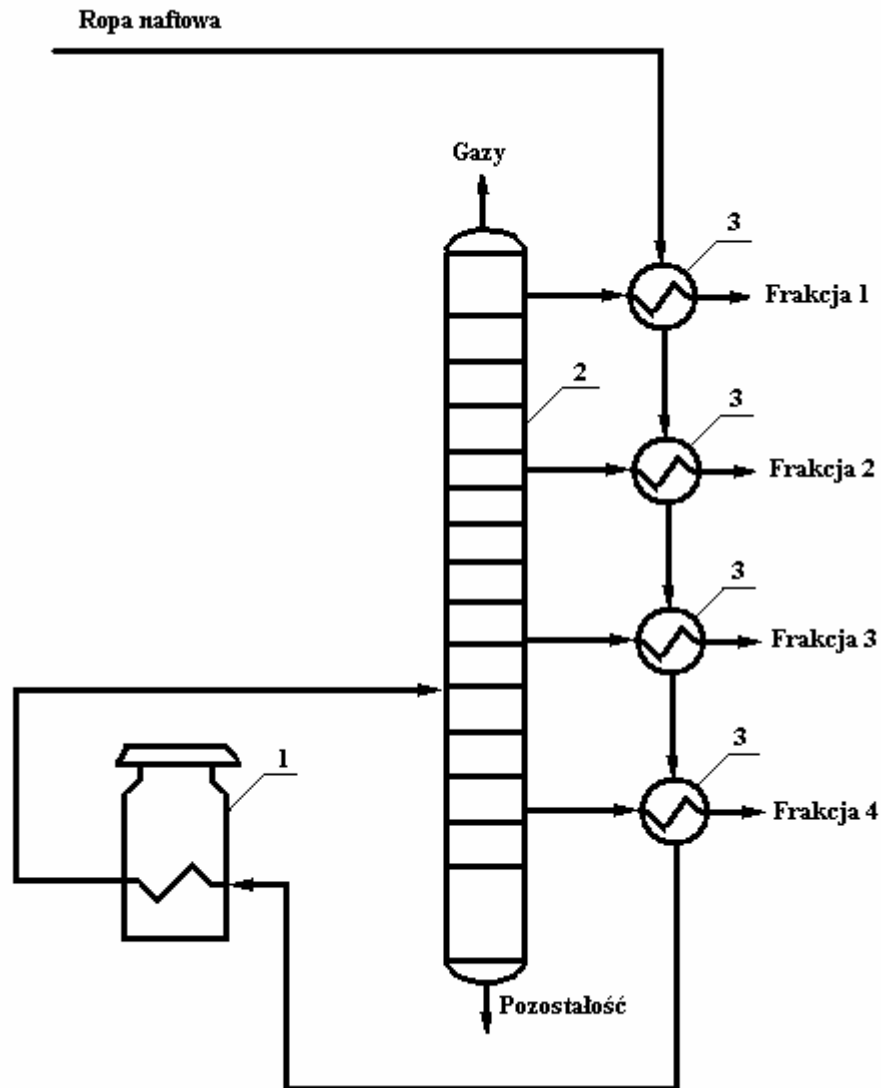
Destylacja okresowa jest nieekonomiczna w eksploatacji, gdyż wymaga do uzyskania pełnego rozdziału na frakcje wielu aparatów destylacyjnych.



Rys. 8. Uproszczony schemat technologiczny destylacji atmosferycznej ropy naftowej: 1 – aparat odpędowy, 2 – kolumny, 3 – deflegmator [6, s. 161]

Destylacja wielostopniowa ropy naftowej

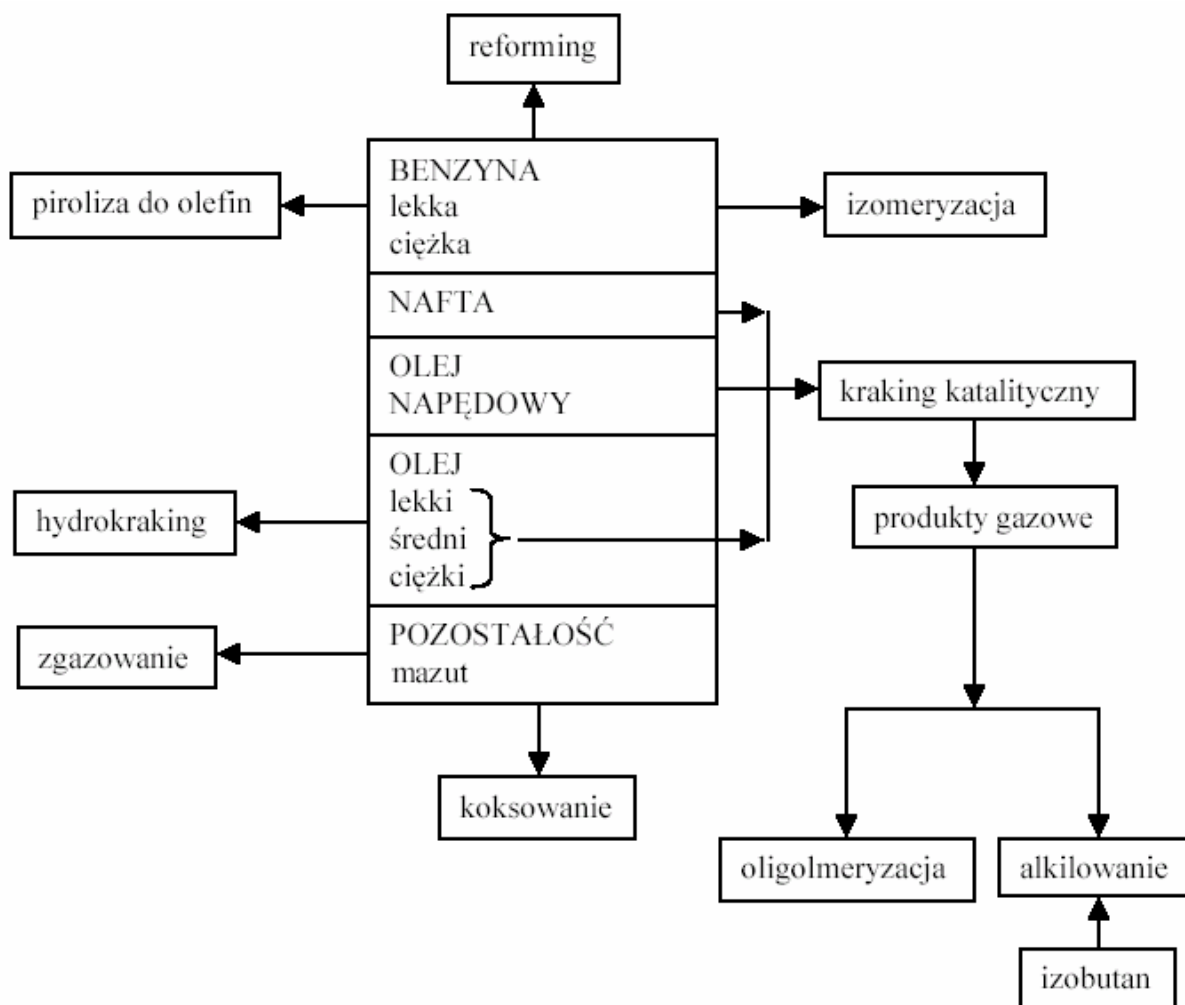
Destylacja wielostopniowa nosi nazwę rektyfikacja. W kolumnach półkowych (podzielone na segmenty) skutecznie rozdziela się ropę naftową na poszczególne frakcje.



Rys. 9. Uproszczony schemat technologiczny wielostopniowej destylacji atmosferycznej ropy naftowej:
1 – piec rurowy, 2 – kolumny (wieże) destylacyjne, 3 – wymienniki ciepła

Kierunki przerobu ropy naftowej

W trakcie zachowawczej destylacji ropy naftowej uzyskuje się zbyt mało paliw silnikowych, a za dużo olejów. Nadmiar olejów jest przetwarzany na paliwa silnikowe (benzyny) w innych procesach: kraking, hydrokraking, reforming. Część olejów przetwarzana jest także na węglowodory lekkie, główny substrat wielkiej syntezy organicznej.



Rys. 10. Schemat ideowy przetwarzania olejów [7]

Charakterystyka benzyny

Benzyna należy do substancji:

- wysoce łatwopalnych: R11 (symbol ostrzegawczy F),



- powodującej po zaabsorbowaniu przez organizm bóle i zawroty głowy, spazmy, krztuszenie się, omdlenia.

Podobną charakterystykę ma duża grupa związków alifatycznych ciekłych, które zawarte są w ropie naftowej lub powstają w wyniku jej przemysłowego przerobu.

Informacje ekologiczne

W procesach przemysłu rafineryjnego tworzą się jako produkt uboczny gazy rafineryjne zawierające wodór oraz metan i inne węglowodory lekkie. Są to gazy, które ze względów ekologicznych nie można wypuścić do atmosfery. Znaczne ilości tych gazów znajdują zastosowania przemysłowe, nadmiar usuwany jest poprzez ich spalanie w tzw. pochodniach. Płonące pochodnie są charakterystycznym elementem każdego zakładu rafineryjnego i petrochemicznego. W zakładach rafineryjnych i petrochemicznych trzeba zwracać także szczególną uwagę na eliminowanie źródeł zanieczyszczenia wód przemysłowych.

Węglowodory ciekłe ulegają powoli biodegradacji, a zdolności samooczyszczania się rzek są niewystarczające dla zachowania równowagi biologicznej w wodach.

Kraking katalityczny i hydrokraking

Podstawowymi procesami w przemyśle przerobu ropy naftowej jest kraking katalityczny i hydrokraking. Kraking to proces rozpadu węglowodorów o dużych cząsteczkach na węglowodory o mniejszych cząsteczkach. Hydrokraking to proces rozpadu węglowodorów przebiegający z równoczesnym uwodornieniem zarówno surowca, jak i produktów rozpadu.

Surowce stosowane w procesie krakingu

Głównie w procesie krakingu przerobowi poddaje się:

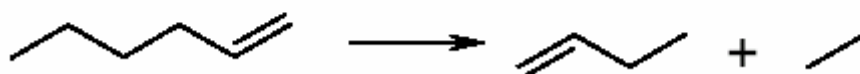
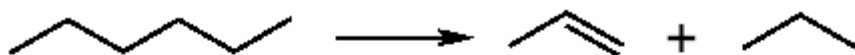
- mazut i oleje ciężkie w procesie krakingu katalitycznego,
- oleje ciężkie w procesie hydrokrakingu.

Chemiczna koncepcja procesu krakingu katalitycznego

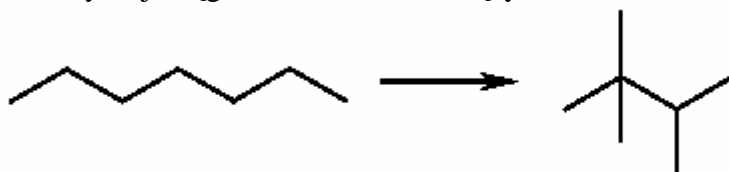
Głównym celem prowadzenia procesu jest uzyskanie dodatkowych ilości benzyn i lekkiego oleju napędowego z mazutu i ciężkiego oleju napędowego. Katalizatorami procesu są glinokrzemiany aktywowane metalami.

Podczas procesu krakingu katalitycznego zachodzą głównie reakcje:

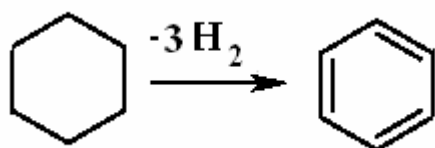
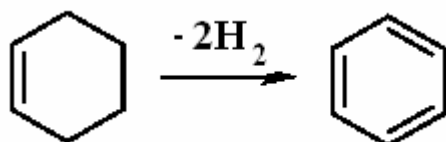
- degradacji (rozkładu) węglowodorów wchodzących w skład surowca,



- izomeryzacji węglowodorów wchodzących w skład surowca,



- odwodornienia cykloalkanów do węglowodorów aromatycznych (aromatyzacja).



Piroliza (kraking termiczny)

Piroliza jest procesem podobnym do krakingu termicznego (rozpad związków pod wpływem wysokiej temperatury). Procesy różnią się właściwie tylko stosowanymi w nich ciśnieniami. Kraking termiczny jest procesem wysokociśnieniowym, zaś piroliza jest procesem niskociśnieniowym (zapobiega to wtórnym reakcjom polimeryzacji oraz cyklizacji lekkich olefin (węglowodorów nienasyconych)).

Surowce stosowane w procesie pirolizy

Pirolizie poddaje się głównie etan, gaz płynny, benzynę ciężką oraz lekki olej napędowy.

Chemiczna koncepcja procesu krakingu katalitycznego

Proces stosowany jest głównie w celu otrzymania prostych olefin, takich jak etylen, propylen, butadien. Proces ten ma charakter rodnikowy. Polega głównie na rozerwaniu najsłabszego wiązania i wzajemnych reakcjach pomiędzy powstałymi rodnikami.

Głównymi produktami tego procesu są etylen i propylen.

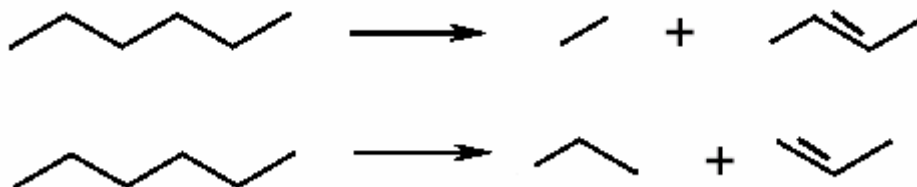


Tabela 3. Wydajność produktów otrzymywanych w procesie pirolizy różnych surowców [7]

Surowiec poddany pirolizie	Wydajność produktów pirolizy		
	Etylen	Propylen	Buteny
Etan	80	2	3
Benzyna ciężka	35	15	5
Lekki olej napędowy	30	14	10

Przebieg procesu pirolizy, a tym samym skład produktów tego procesu zależy od:

- rodzaju surowca,
- czasu przebywania w wysokiej temperaturze,
- ciśnienia węglowodorów.

Procesu pirolizy nie można praktycznie zrealizować bez dodawania pary wodnej. Takie działanie ma na celu ograniczenie ilości wydzielającego się koksu, który może zablokować rury w piecach. Z tego względu proces pirolizy oleinowej niekiedy nazywany bywa krakingiem parowym.

Reforming

Reforming jest procesem wytwarzania związków aromatycznych i rozgałęzionych łańcuchowych związków alifatycznych z alkanów i cykloalkanów. Proces dostarcza duże ilości wysokooktanowych benzyn.

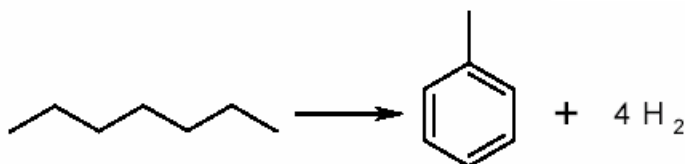
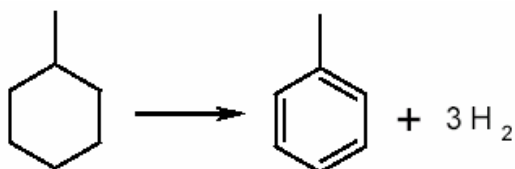
Surowce stosowane w procesie reformingu

Procesowi reformingu poddawane są głównie niskooktanowe benzyny uzyskiwane z destylacji rurowo-wieżowej (DRW) ropy naftowej.

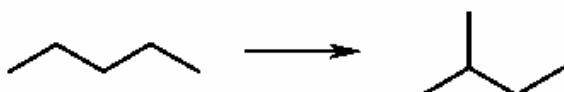
Chemiczna koncepcja procesu krakingu katalitycznego

Głównym celem prowadzenia procesu jest uzyskanie benzyn wysokooktanowych z benzyn niskooktanowych. Katalizatorami procesu są najczęściej platyna lub pallad na nośniku tlenkowym (Al_2O_3). Podczas procesu reformingu zachodzą głównie reakcje:

- odwodornienia węglowodorów wchodzących w skład surowca,



- izomeryzacji węglowodorów wchodzących w skład surowca.



Charakterystyka benzyn

Benzyna to mieszanina ciekłych węglowodorów alifatycznych nasyconych (łańcuchowych i pierścieniowych) oraz węglowodorów aromatycznych. Benzyna w silnikach powinna spalać się nie wybuchowo (nie detonacyjnie). Miarą odporności na spalanie detonacyjne jest liczba oktanowa. Benzyna wysokooktanowa (95, 98) spala się nie detonacyjnie zapewniając bezstukową pracę silnika. Benzyny wysokooktanowe ołowiowe zawierały czteroetyłek ołowiu ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$), zaś produkowane obecnie benzyny bezołowiowe zawierają zwiększoną ilość węglowodorów aromatycznych.

Informacje ekologiczne

W benzynach ołowiowych uzyskiwano podwyższenie liczby oktanowej przez dodanie czteroetylku ołowiu ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$), ołów w tej postaci był niebezpieczny dla środowiska naturalnego, gdyż był absorbowany przez środowisko, ponadto ołów kumulował się w organizmach żywych. Benzyny bezołowiowe zawierają węglowodory aromatyczne, które ulegają trudno spalaniu. Produkty niepełnego spalania węglowodorów aromatycznych są rakotwórcze. Spalanie takich benzyn wymaga stosowania katalizatorów.

4.1.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jakie surowce nazywamy surowcami energetycznymi?
2. Jakie są kierunki przetwarzania surowców energetycznych?
3. Jaki jest skład węgla kamiennego?
4. Jakie są kierunki przetwarzania węgla kamiennego?
5. Jakie produkty powstają w procesie pirolizy (koksowania) węgla kamiennego?
6. Jaki jest skład gazu ziemnego?
7. Jakie są kierunki przerobu gazu ziemnego?
8. Jakie produkty powstają w procesie rozdzielania na składniki gazu ziemnego?
9. Jaki jest skład ropy naftowej?
10. Jakie są kierunki przerobu ropy naftowej?
11. W jakim celu stosuje się kraking składników ropy naftowej?
12. W jakim celu stosuje się reforming składników ropy naftowej?
13. W jakim celu stosuje się pirolizę składników ropy naftowej?
14. Jaki jest skład benzyn wysokooktanowych bezołowiowych?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Zaproponuj produkty powstające w wyniku krakingu heptanu. Zapisz równania reakcji, które mogą zachodzić w czasie krakingu heptanu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) określić, jakim przemianom podlegają węglowodory w czasie krakingu,
- 2) zapisać wzory przewidywanych produktów krakingu heptanu,
- 3) zapisać równania reakcji, które mogą zachodzić w czasie krakingu heptanu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4,
- kalkulator,

Ćwiczenie 2

Zaproponuj produkty powstające w wyniku reformingu heptanu. Zapisz równania reakcji, które mogą zachodzić w czasie reformingu heptanu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

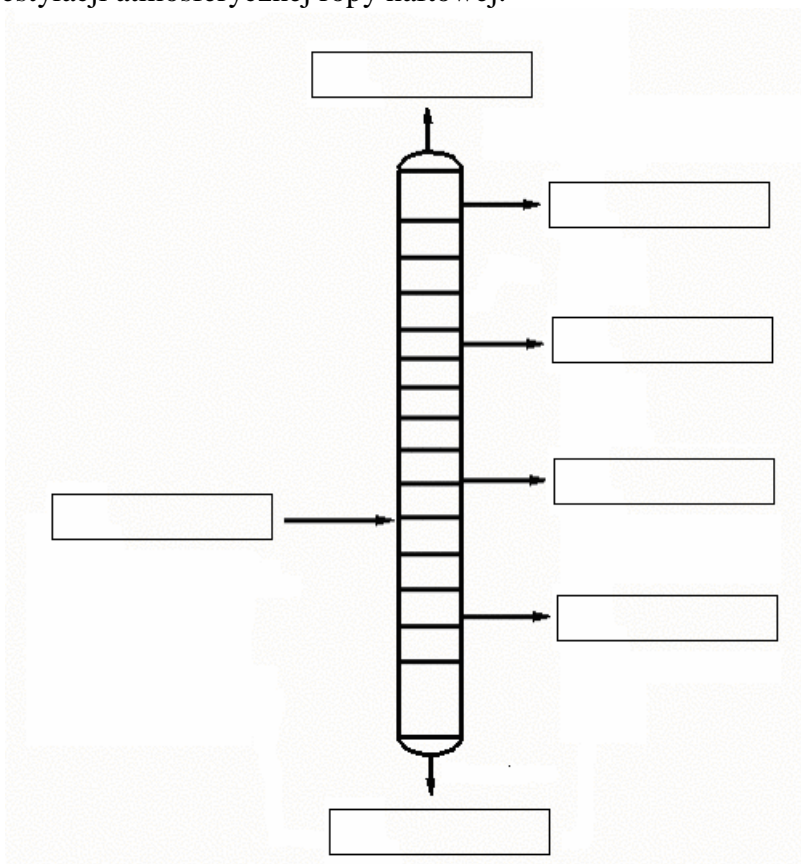
- 1) określić, jakim przemianom podlegają węglowodory w czasie reformingu,
- 2) zapisać wzory przewidywanych produktów reformingu heptanu,
- 3) zapisać równania reakcji, które mogą zachodzić w czasie reformingu heptanu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- papier formatu A4,
- kalkulator,

Ćwiczenie 3

Uzupełnij puste miejsca (wpisz nazwy surowców i produktów) na uproszczonym schemacie destylacji atmosferycznej ropy naftowej.



Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) odszukać informacje dotyczące atmosferycznej destylacji (rektyfikacji) ropy naftowej,
- 2) określić surowce i produkty powstające w procesie atmosferycznej destylacji (rektyfikacji) ropy naftowej,
- 3) uzupełnić uproszczony schemat destylacji atmosferycznej ropy naftowej.

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 surowiec energetyczny?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) scharakteryzować kierunki przetwarzania surowców energetycznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić skład węgla kamiennego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) scharakteryzować kierunki przetwarzania węgla kamiennego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wyjaśnić pojęcie koks?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) określić skład smoły węglowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) określić skład gazu ziemnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) scharakteryzować kierunki przetwarzania gazu ziemnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) określić skład ropy naftowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) scharakteryzować kierunki przetwarzania ropy naftowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) wyjaśnić pojęcie destylacja rurowo-wieżowa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) określić skład frakcji uzyskiwanych w procesie rektyfikacji atmosferycznej ropy naftowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) wyjaśnić pojęcie kraking?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14) wyjaśnić pojęcie hydrokraking?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15) wyjaśnić pojęcie reforming?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16) scharakteryzować przemiany zachodzące w procesie krakingu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17) scharakteryzować przemiany zachodzące w procesie reformingu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18) wyjaśnić pojęcie piroliza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19) scharakteryzować przemiany zachodzące w procesie pirolizy składników ropy naftowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20) wyjaśnić pojęcie benzyna wysokooktanowa?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21) określić skład benzyny wysokooktanowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.2. Przemysł tłuszczowy

4.2.1. Materiał nauczania

Tłuszcze

Tłuszcze mogą być pochodzenia naturalnego lub syntetycznego. Tłuszcze naturalne powszechnie występują w organizmach żywych i roślinnych. Tłuszcze są mieszaninami triglicerydów, czyli estrów glicerolowych kwasów karboksylowych o długich łańcuchach C_{12} – C_{22} , zwanych kwasami tłuszczowymi, najczęściej jednak wymienia się kwasy: $C_{15}H_{31}COOH$ – kwas palmitynowy oraz kwas $C_{17}H_{35}COOH$ – kwas stearynowy i $C_{17}H_{33}COOH$ – kwas oleinowy. Kwasy tłuszczowe mogą być nasycone i nienasycone. Zawartość kwasów nienasyconych powoduje, że tłuszcze mają konsystencję mazistą lub ciekło-oleistą. Niedoboru tłuszczów stałych jadalnych wymuszają produkcję tłuszczów ciekłych uwodornionych i emulgowanych (margaryny, masła roślinne, masmiksy).

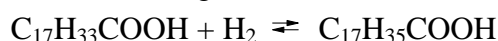
Tabela 4. Wzory podstawowych substancji występujących w przemyśle tłuszczowym

Wzór substancji	Nazwa substancji
$\begin{array}{c} CH_2-OR_1 \\ \\ CH-OR_2 \\ \\ CH_2-OR_3 \end{array}$	tłuszcz
$C_{15}H_{31}COOH$	kwas palmitynowy
$C_{17}H_{35}COOH$	kwas stearynowy
$C_{17}H_{33}COOH$	kwas oleinowy
$\begin{array}{c} CH_2-OCOC_{17}H_{35} \\ \\ CH-OCOC_{17}H_{35} \\ \\ CH_2-OCOC_{17}H_{35} \end{array} \quad C_3H_5-(OCOC_{17}H_{35})_3$	tristearynian gliceryny
$\begin{array}{c} CH_2-OH \\ \\ CH-OH \\ \\ CH_2-OH \end{array} \quad C_3H_5-(OH)_3$	glicerol

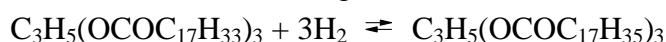
Chemiczna koncepcja procesu

W przemyśle stosuje się głównie częściowe uwodornienie tłuszczów ciekłych. Polega to na uwodornieniu części kwasów nienasyconych (kwas oleinowy) występujących w strukturze tłuszczów (katalizatorem tej reakcji jest nikiel lub platyna):

- reakcja uwodornienia kwasu oleinowego:

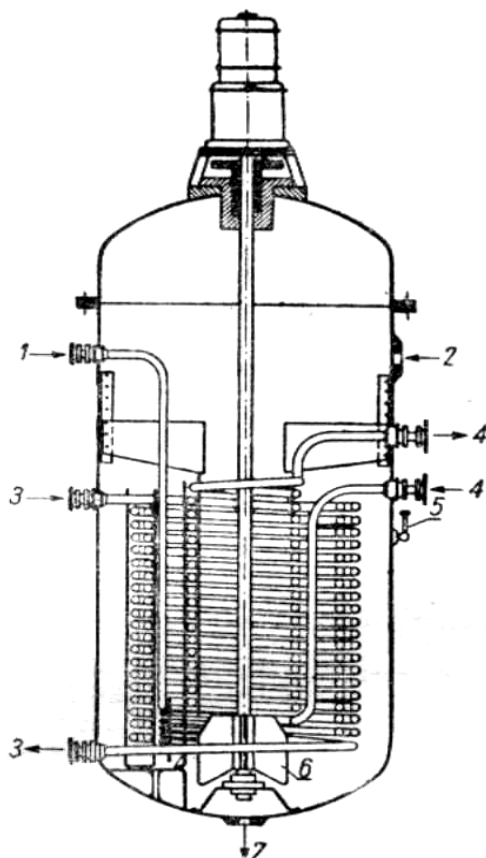


- reakcja uwodornienia tłuszczu (trioleinian glicerolu):



Uwodornienie olejów

Proces utwardzania tłuszczów prowadzony jest w temperaturach od 160°C do 200°C pod ciśnieniem od 2 do 5 at przy zastosowaniu katalizatora niklowego. Proces wymaga sprawnego mieszania trzech faz: ciekłej (tłuszcz), stałej (katalizator), gazowej (wodór).



Rys. 11. Reaktor do uwodornienia olejów: 1 – dopływ wodoru, 2 – dopływ oleju, 3 – para wodna, 4 – woda, 5 – termometr, 6 – mieszadło, 7 – odpływ mieszaniny poreakcyjnej [6, s. 451]

Mydła

Mydłami z chemicznego punktu widzenia są sole wyższych kwasów tłuszczowych. Największe zastosowanie znalazły sole sodowe tych kwasów. Mydło znajdujące się w handlu jako artykuł codziennego użytku jest produktem zawierającym głównie (około 60%) mydła sodowe wyższych kwasów tłuszczowych (stearynowego, palmitynowego, oleinowego). Pozostałą część stanowią dodatki modyfikujące (barwniki, środki zapachowe). Do produkcji mydła stosuje się najczęściej tłuszcze stałe, w tym głównie gorsze gatunki łoju wołowego, odpady po rafinacji tłuszczów.

Rodzaje mydeł

Ze względu na rodzaj metalu alkalicznego obecnego w mydłach dzieli się je na:

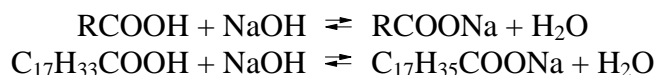
- mydła sodowe, są stałe w temperaturze pokojowej i rozpuszczalne w wodzie; produkuje się z nich mydła w kostkach,
- mydła magnezowe, są ciekłe w temperaturze pokojowej; produkuje się z nich szampony, płyny do kąpieli i mydła w płynie,
- mydła litowe, są półciekłe w temperaturze pokojowej i słabo rozpuszczają się w wodzie; nie stosuje się ich jako środków myjących, lecz stosuje jako dodatki do litowych smarów łożyskowych,

- mydła potasowe, są miękkie (maziste) i rozpuszczalne w wodzie, potocznie zwane mydłem szarym,
- mydła wapniowe - nierozpuszczalne w wodzie.

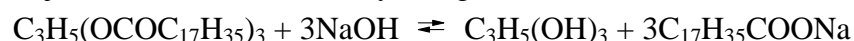
Chemiczna koncepcja procesu

W przemyśle mydła produkuje się głównie poprzez zobojętnianie kwasów tłuszczowych wodorotlenkiem sodu:

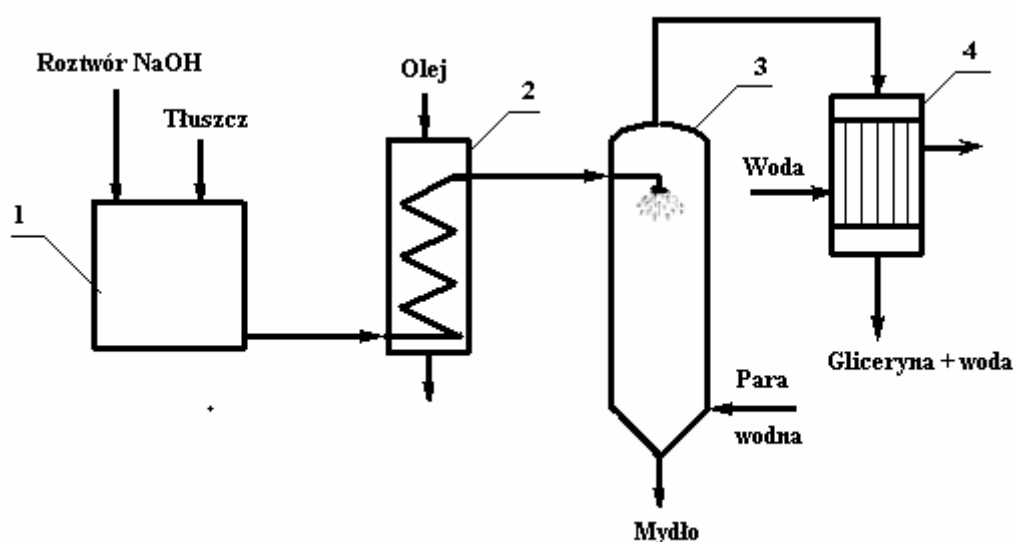
- reakcja zobojętniania wolnych kwasów tłuszczowych:



- reakcja zobojętniania tłuszczu (tristearynian glicerolu):



Otrzymywanie mydła metodą ciągłą



Rys. 12. Schemat otrzymywanie mydła metodą ciągłą: 1 – mieszalnik, 2 – reaktor ogrzewany olejem, 3 – odparowacz, 4 – chłodnica [7]

4.2.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jakie tłuszcze nazywamy tłuszczami roślinnymi?
2. W jakim celu prowadzone jest częściowe uwodornienie tłuszczów ciekłych?
3. W jakich warunkach prowadzony jest proces częściowego uwodornienia tłuszczów ciekłych?
4. Z jakich surowców produkuje się mydła sodowe?
5. Jakie składniki wchodzi w skład mydeł codziennego użytku?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Określ wzory i nazwy produktów powstających w wyniku hydrolizy zasadowej trioleinianu glicerolu. Zapisz równanie reakcji zasadowej hydrolizy trioleinianu glicerolu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) określić, jakim przemianom podlegają tłuszcze w środowisku zasadowym,
- 2) zapisać wzory i nazwy przewidywanych produktów,
- 3) zapisać równania reakcji, które mogą zachodzić w czasie zasadowej hydrolizy trójoleinianu gliceryny.

Wyposażenie stanowiska pracy:

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

Ćwiczenie 2

Określ wzory i nazwy produktów powstających w wyniku całkowitego uwodornienia trioleinianu glicerolu. Zapisz równanie reakcji całkowitego uwodornienia trioleinianu glicerolu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) określić, jakim przemianom podlegają tłuszcze ciekłe (zawierają kwasy tłuszczowe nienasycone) w obecności wodoru,
- 2) zapisać wzory i nazwy przewidywanych produktów,
- 3) zapisać równania reakcji, które mogą zachodzić w czasie całkowitego uwodornienia trójoleinianu glicerolu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

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

Ćwiczenie 3

Otrzymaj mydło przez zmydlanie (hydroliza zasadowa) tłuszczu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) sporządzić wykaz niezbędnego sprzętu laboratoryjnego i odczynników,
- 2) zaplanować konieczne czynności laboratoryjne,
- 3) określić warunki bhp niezbędne do bezpiecznego wykonywania czynności laboratoryjnych,
- 4) pobrać od nauczyciela niezbędny sprzęt i odczynniki,
- 5) przeprowadzić zaplanowane czynności laboratoryjne,
- 6) zapisać obserwacje w dzienniku laboratoryjnym.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- parownica,
- trójnog,
- palnik,

- płytka metalowa,
- bagietka,
- cylinder miarowy o pojemności 100 cm³,
- 30% roztwór NaOH,
- etanol,
- tłuszcz (smalec),
- zestaw do filtracji.

Instrukcja wykonania ćwiczenia

1. Odważ około 8 g tłuszczu i umieść go w parownicy.
2. Ogrzej i roztop tłuszcz.
3. Dodaj do roztopionego tłuszczu 20 cm³ 30% roztworu NaOH oraz 20 cm³ etanolu.
4. Ogrzewaj łagodnie mieszając bagietką aż do utworzenia jednolitej masy mydlanej.
5. Odfiltruj mydło.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wyjaśnić, czym jest tłuszcz ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić cel częściowego uwodornienia tłuszczów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić skład mydła codziennego użytku?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wymienić surowce stosowane do produkcji mydła?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) scharakteryzować etapy produkcji mydła?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.3. Procesy jednostkowe w syntezie organicznej

4.3.1. Materiał nauczania

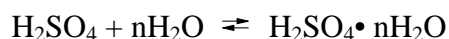
Nitrowanie

Nitrowanie polega na podstawieniu jednego lub wielu atomów wodoru w cząsteczce związku organicznego grupą nitrową $-\text{NO}_2$, w wyniku czego otrzymujemy tzw. nitrozwiązki. Nitrowaniu najczęściej poddaje się węglowodory aromatyczne, znaczenie przemysłowe mają związki nitrowe benzenu, metylobenzenu (toluenu) oraz naftalenu. Jako czynniki nitrujące w przemyśle najczęściej stosowane są:

- stężony kwas azotowy (65–95%),
- mieszanina stężonego kwasu azotowego i stężonego kwasu siarkowego, czyli mieszanina nitrująca,
- mieszanina azotanu(V) sodu lub potasu z kwasem siarkowy.

Chemiczna koncepcja procesu

Nitrowanie jest reakcją odwracalną, dlatego w czasie nitrowania nie wolno dopuścić do powstawania w środowisku reakcyjnym zbyt dużych ilości wody, gdyż może to spowodować zatrzymanie reakcji (zbyt duże rozcieńczenie kwasu azotowego). W celu związania powstającej wody do mieszaniny nitrującej dodaje się stężony kwas siarkowy, który wytwarza z wodą trwałe hydraty:



Stosunek kwasu azotowego do kwasu siarkowego w mieszaninie nitrującej waha się zwykle w granicach od 1:3 do 1:4. Reakcję nitrowania można przedstawić równaniem:



Reakcja ta jest silnie egzotermiczna. Przy mononitrowaniu jednego mola związku organicznego wydziela się energia ponad 100 kJ. W procesie nitrowania trzeba zatem odprowadzać duże ilości energii, ponadto nitrowanie wymaga zachowania szczególnych środków ostrożności, gdyż duża grupa związków nitrowych jest wybuchowa.

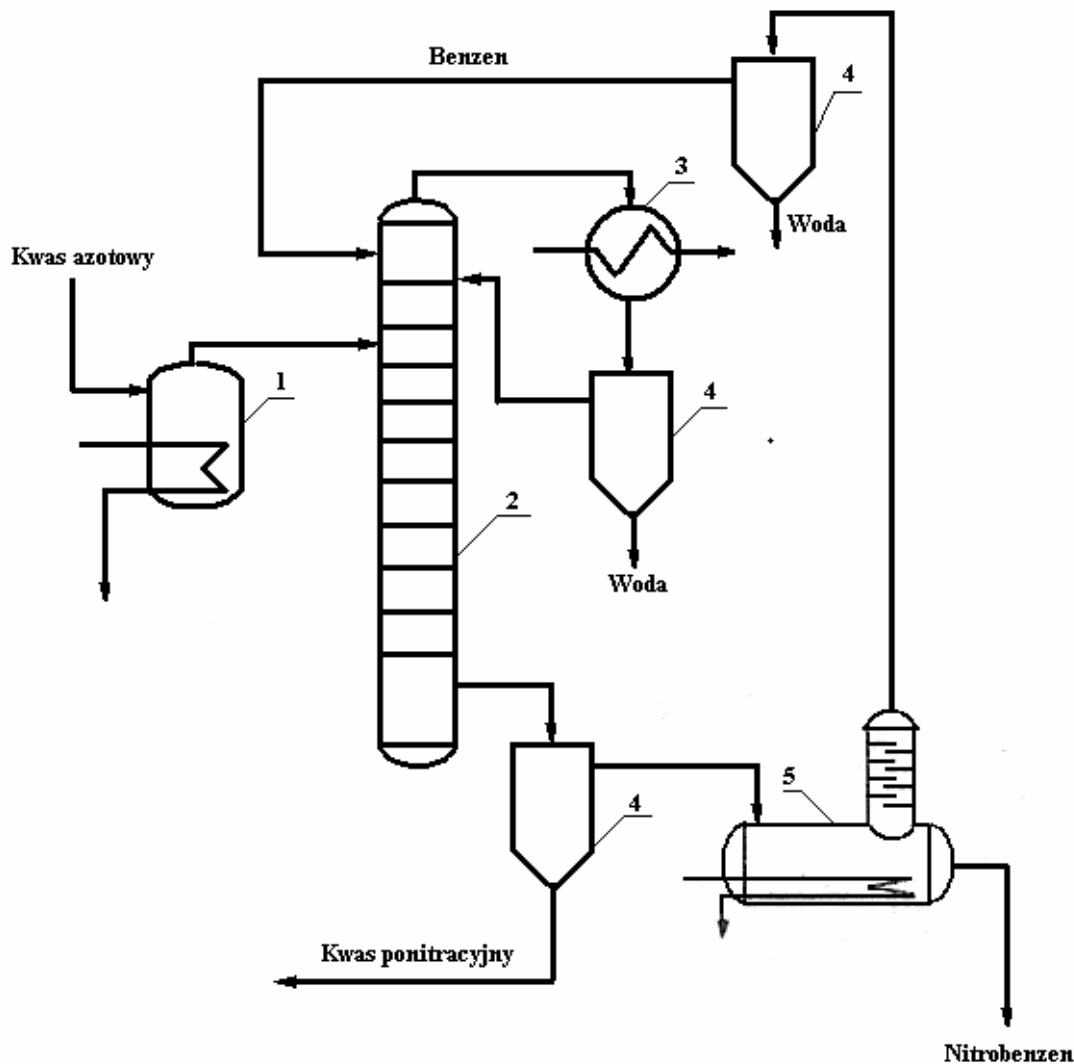
Nitrowanie metodą periodyczną (okresową)

Reakcję nitrowania prowadzi się w nitratorach. Są to zamknięte, cylindryczne naczynia zbudowane z:

- żelaza lub stali w przypadku mieszaniny nitrującej jako czynnika nitrującego,
- stali stopowej z wykładziną kwasoodporną w przypadku kwasu azotowego jako czynnika nitrującego.

Nitratory wyposażone są w mieszadła, wewnętrzne chłodnice, zewnętrzny płaszcz i termometry. W przypadku produkcji związków nitrowych wybuchowych nitratory usytuowane są powyżej specjalnych (wannien) zbiorników awaryjnych z wodą, co umożliwia szybki (awaryjny) zrzut mieszaniny reakcyjnej. Niebezpieczna reakcja w ten sposób zostaje natychmiast przerwana.

Nitrowanie metodą ciągłą



Rys. 13. Uproszczony schemat nitrowania benzenu metodą ciągłą: 1 – podgrzewacz kwasu, 2 – nitrator kolumnowy, 3 – deflegmator–chłodnica, 4 – rozdzielacze, 5 – kocioł destylacyjny [6, s. 549]

W procesie ciągłym ogrzany 63% kwas azotowy wpływa do nitratora kolumnowego, gdzie spotyka się z benzenem. Nitrowanie zachodzi w temperaturze wrzenia benzenu. Z nitratora oddestylowuje się azeotrop (mieszanina) benzen–woda. Mieszanina poreakcyjna spływa do rozdzielacza, a następnie do aparatu destylacyjnego. Oddestylowany w kotle destylacyjnym benzen zawracany jest do nitratora, zaś nitrobenzen odbierany jest jako pozostałość poddestylacyjna.

Sulfonowanie

Sulfonowanie polega na podstawieniu jednego lub wielu atomów wodoru w cząsteczce związku organicznego grupą sulfonową $-\text{SO}_3\text{H}$, w wyniku czego otrzymujemy tzw. kwasy sulfonowe. Sulfonowaniu poddaje się głównie węglowodory aromatyczne. Środkami sulfonującymi są najczęściej:

- stężony kwas siarkowy (95–98%),
- kwas siarkowy 100%,
- oleum [100% kwas siarkowy przesycony tlenkiem siarki(VI)],
- bezwodnik kwasu siarkowego (SO_3),
- kwas chlorosulfonowy (HOSO_2Cl).

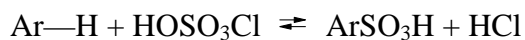
Chemiczna koncepcja procesu

Sulfonowanie jest reakcją odwracalną, dlatego w czasie sulfonowania nie wolno dopuścić do powstawania w środowisku reakcyjnym dużych ilości wody, gdyż może to spowodować zachodzenie procesu w niepożądanym kierunku (hydroliza):

- reakcja sulfonowania z użyciem kwasu siarkowego:

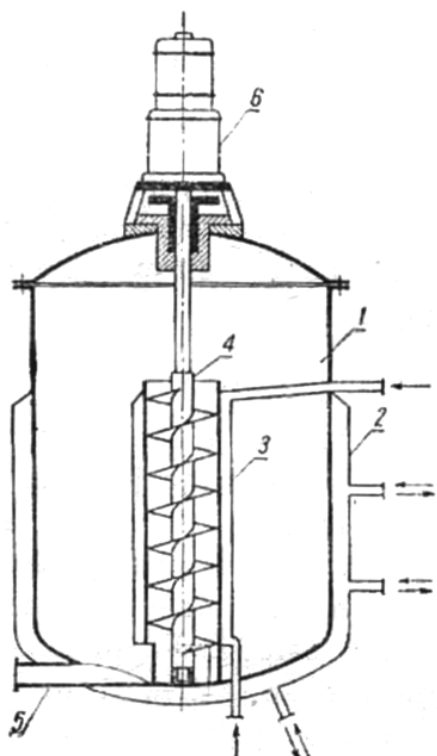


- reakcja sulfonowania z użyciem bezwodnika kwasu chlorosulfonowego:



Sulfonowanie metodą okresową (periodyczne)

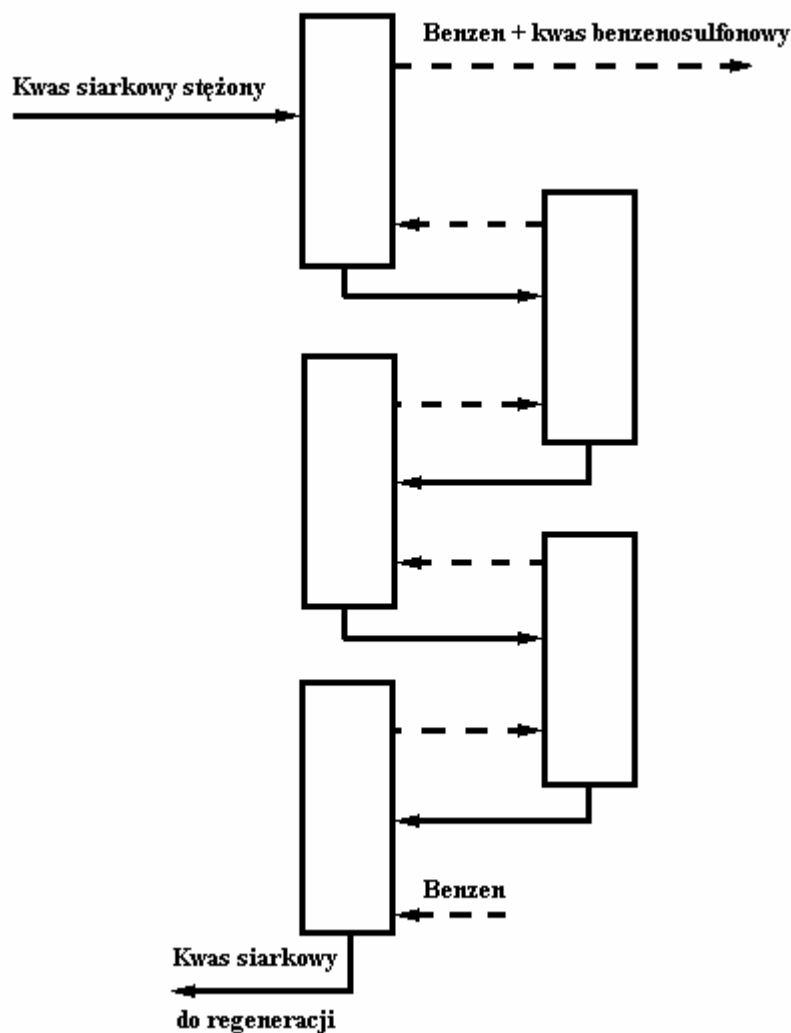
Procesy sulfonowania węglowodorów aromatycznych zachodzą w wysokich temperaturach z użyciem żrących reagentów, dlatego istnieje poważne zagrożenie występowania oparzeń termicznych i chemicznych wśród obsługi sulfonatorów.



Rys. 14. Schemat sulfonatora przeznaczony do sulfonowania substancji ciekłych: 1 – sulfonator, 2 – płaszcz, 3 – chłodnica dzwonowa, 4 – mieszadło, 5 – przewód spustowy, 6 – silnik [6, s. 484]

Sulfonowanie metodą ciągłą

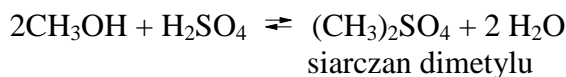
Sulfonowanie ciągłe benzenu w fazie ciekłej realizowane jest w kaskadzie reaktorów. Benzen wprowadzany jest do najniżej ustawionego reaktora, kwas siarkowy zaś do najwyżej ustawionego reaktora. Reagenty wprowadzane są w przeciwnym kierunku, ruch reagentów wymuszany jest znaczną różnicą gęstości pomiędzy benzenem, a kwasem siarkowym.



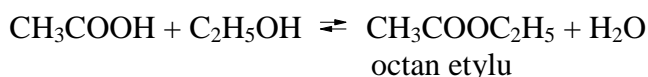
Rys. 15. Schemat ciągłego sulfonowania benzenu w fazie ciekłej [6, s. 487]

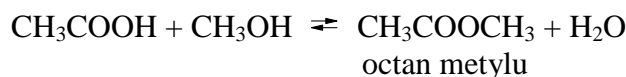
Estryfikacja

Proces estryfikacji polega najczęściej na bezpośredniej reakcji pomiędzy alkoholami i kwasami tlenowymi (głównie kwasami karboksylowymi). Produktami tej reakcji są estry i woda. W zależności od tego, jaki kwas użyjemy, otrzymujemy estry organiczne lub estry nieorganiczne. Wśród estrów kwasów nieorganicznych duże znaczenie przemysłowe posiadają siarczany:



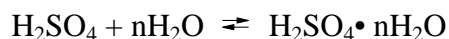
Estry kwasów organicznych znajdują szerokie zastosowanie przemysłowe: rozpuszczalniki, zmiękczacze, środki zapachowe. Reakcję tworzenia estru kwasu organicznego można przedstawić w postaci:





Chemiczna koncepcja procesu

Reakcje estryfikacji są reakcjami typowo odwracalnymi. W środowisku reakcyjnym ustala się równowaga, którą można przesunąć w kierunku tworzenia estrów poprzez usuwanie wody. W celu związania powstającej wody do mieszaniny reakcyjnej dodaje się stężony kwas siarkowy, który wytwarza z wodą trwałe hydraty:



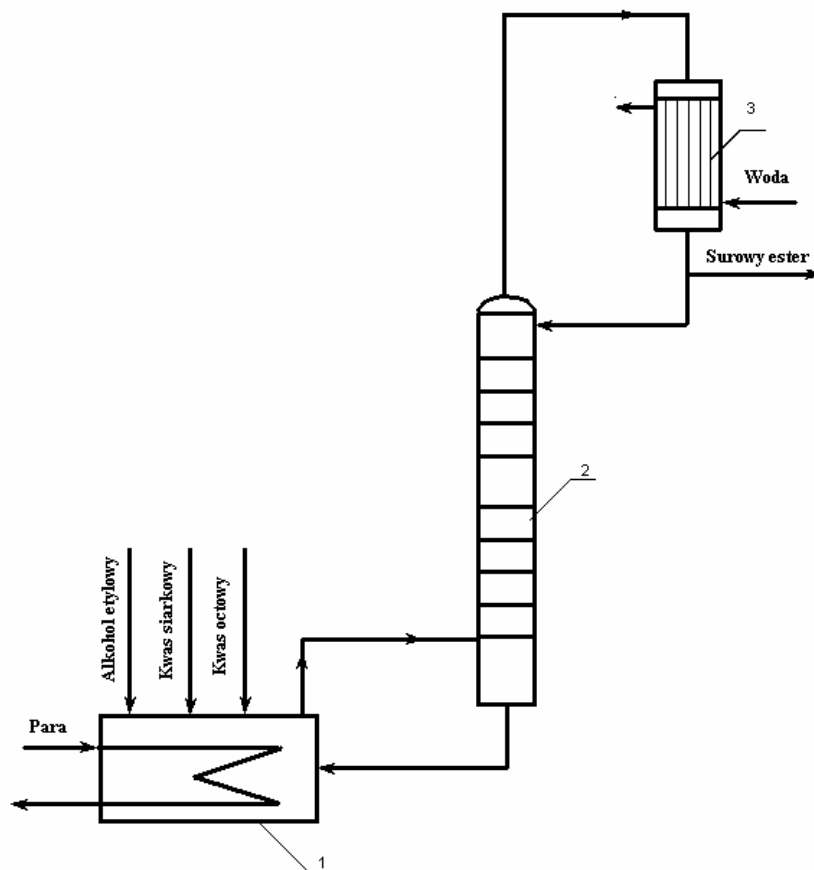
Podobny efekt można uzyskać poprzez usuwanie ze środowiska reakcyjnego estru. W przypadku produkcji estrów lotnych ze środowiska reakcyjnego oddestylowuje się ester, zaś w przypadku produkcji trudno lotnych estrów oddestylowuje się wodę.

Otrzymywanie octanu etylu metodą periodyczną (okresową)

Wśród estrów kwasów organicznych bardzo szerokie zastosowanie w przemyśle znalazły estry kwasu octowego (metylowe, etylowe, butylowe, aryłowe). Estry kwasu octowego są bezbarwnymi cieczami o przyjemnym zapachu. Są one stosunkowo trwałe i mało toksyczne. Stosuje się je jako doskonałe rozpuszczalniki związków organicznych.

Aparatura do produkcji estrów kwasu octowego jest prosta. Głównym elementem takiej instalacji jest reaktor (estryfikator), w którym zachodzi właściwy proces. Środowisko reakcyjne sprzyja korozji stali (kwas siarkowy, kwas octowy), dlatego estryfikatory budowane są głównie z aluminium, stali chromowoniklowych, niekiedy aparaturę wyklada się różnego typu wykładzinami kwasoodpornymi.

Do kotła estryfikacyjnego wlewa się kwas octowy, stężony kwas siarkowy(VI) w ilości 3% użytego kwasu octowego oraz alkohol etylowy w dużym nadmiarze. Proces prowadzony jest w temperaturze 70°C (temperatura wrzenia mieszaniny). Reakcja w estryfikatorze przebiega stopniowo z wytworzeniem się octanu etylu. Powstający ester ulatnia się z estryfikatora wraz z parami alkoholu, kwasu octowego i wody i przepływa do kolumny destylacyjnej. Ilość doprowadzanego ciepła jest regulowana tak, aby na szczycie kolumny panowała temperatura 70°C. W tych warunkach z kolumny oddestylowuje mieszanina par zawierająca około: 83% estru, 9% alkoholu etylowego i 8% wody.

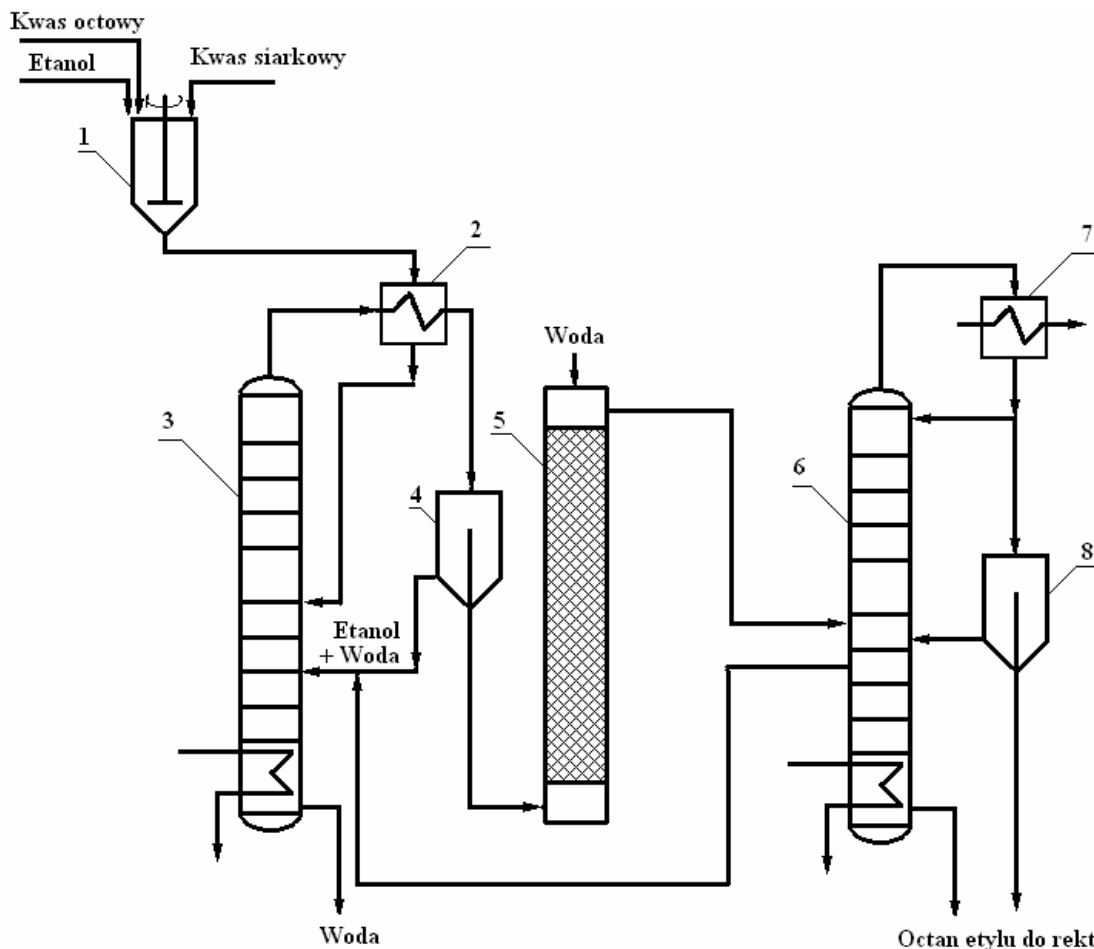


Rys. 16. Schemat instalacji otrzymywania octanu etylu metodą okresową: 1 – estryfikator, 2 – kolumna destylacyjna, 3 – chłodnica [6, s. 606]

Otrzymywanie octanu etylu metodą ciągłą

W procesie produkcji ciągłej octanu etylu stosuje się nadmiar alkoholu etylowego oraz w sposób ciągły usuwane są produkty reakcji: ester i woda. Opuszczająca estryfikator woda zawiera kwas siarkowy i w ten sposób opuszcza on środowisko reakcyjne.

Mieszaninę bezwodnego kwasu octowego wraz z dużym nadmiarem alkoholu etylowego i z dodatkiem stężonego kwasu siarkowego(VI) w ilości 0,1% całkowitej masy wprowadza się poprzez wymiennik ciepła do kolumny estryfikacyjnej. Kolumna estryfikacyjna jest ogrzewana parą wodną. W miarę tworzenia się estru z góry kolumny oddestylowuje się trójskładnikowy azeotrop (mieszanina o stałym składzie): 83,2% octanu etylu, 9% etanolu i 7% wody. Temperatura wrzenia tego azeotropu wynosi około 70°C. Po skondensowaniu go wodny roztwór alkoholu powraca do estryfikatora, zaś z pozostałej mieszaniny usuwa się w płuczce wodą alkohol. Oddzielony ester poddaje się następnie odwodnieniu w kolumnie odwadniającej. Wodny roztwór alkoholu z przemycia zawraca się do reakcji. Z kolumny estryfikacyjnej odpływa nadmiar wody.



Rys. 17. Schemat instalacji otrzymywania octanu etylu metodą ciągłą: 1 – mieszalnik, 2, 7 – wymiennik ciepła, 3 – kolumna estyfikacyjna, 4, 8 – rozdzielacz, 5 – płuczka, 6 – kolumna odwadniająca [6, s. 607]

Chlorowanie

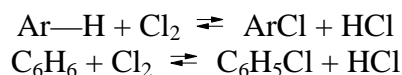
Chlorowanie polega na wprowadzeniu jednego lub wielu atomów chloru do cząsteczki związku organicznego, najczęściej węglowodoru. W przemyśle chemicznym produkowane są na szeroką skalę zarówno chlorozwiązki aromatyczne (chlorobenzen, chlorek benzylu, chloronaftalen), jak i alifatyczne (chlorometan, chlorek winylu). Do najczęściej stosowanych w przemyśle środków chlorujących należą:

- chlor gazowy,
- chlorowódór,
- chloran(I) sodu (podchloryn sodu – NaOCl).

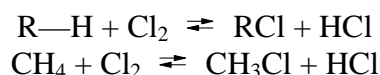
Chemiczna koncepcja procesu

Wprowadzenie chloru do związku organicznego można zrealizować kilkoma sposobami:

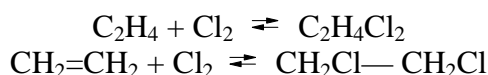
- przez podstawienie atomu wodoru chlorem zachodzące w obecności katalizatora (żelazo, chlorek żelaza(III), chlorek glinu):



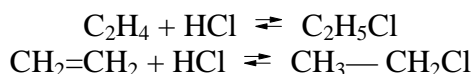
- przez podstawienie atomu wodoru chlorem katalizowane światłem (fotokataliza):



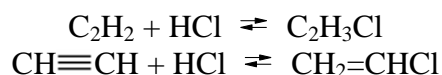
- przez przyłączenie chloru do wiązania podwójnego:



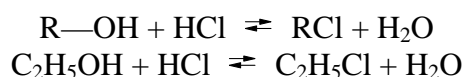
- przez przyłączanie chlorowodoru do wiązania podwójnego:



- przez przyłączanie chlorowodoru do wiązania potrójnego:



- przez wymianę innych grup:



Produkcja chlorku winylu

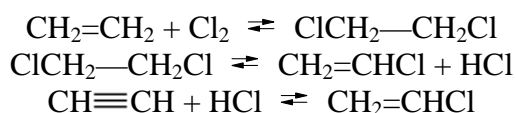
Chlorek winylu jest wykorzystywany do produkcji polichlorku winylu (PVC, polski skrót PCW). Polichlorek winylu znalazł zastosowanie w budownictwie (rury, kształtki, płytki, wykładziny podłogowe), w elektro- i radiotechnice, w produkcji celulozy i papieru.

W instalacjach przemysłowych stosuje się różne koncepcje chemiczne syntezy chlorku winylu:

- przyłączanie do acetyleny chlorowodoru (katalizator HgCl_2):



- zbilansowane chlorowanie mieszaniny etylenu i acetyleny:



sumaryczna reakcja: $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{CH}\equiv\text{CH} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2 \text{CH}_2=\text{CHCl}$

Charakterystyka głównego produktu

Chlorek winylu jest szczególnie niebezpieczną substancją, wykazuje działanie rakotwórcze. Może powodować powstawanie raka płuc, mózgu, układu limfatycznego i krwionośnego

Ponadto chlorek winylu należy do substancji:

- łatwopalnych (symbol ostrzegawczy F), może powodować raka: R45 (symbol ostrzegawczy: T, X_n),



- wchłanianych przez skórę. Wykazuje silne działanie narkotyczne. Przy zatruciach lekkich powoduje bóle głowy, senność, bóle brzucha i nudności. Przy zatruciach ciężkich mogą wystąpić drgawki, utrata przytomności, a nawet śmierć. Działa na skórę drażniaco, powoduje jej zaczerwienienie, pieczenie. Oblanie się ciekłym chlorkiem winylu może spowodować odmrożenia (szybkie parowanie).

4.3.2. Pytania sprawdzające

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

1. Jakie czynniki nitrujące stosowane są w przemyśle chemicznym?
2. Jakie czynniki sulfonujące stosowane są w przemyśle chemicznym?
3. Jakie czynniki estryfikujące stosowane są w przemyśle chemicznym?
4. Jakie czynniki chlorujące stosowane są w przemyśle chemicznym?
5. Jakie zagrożenie dla środowiska pracy stwarza produkcja nitro związków?
6. Jakie zagrożenie dla środowiska pracy stwarza produkcja związków sulfonowych?
7. Jakie zagrożenie dla środowiska pracy stwarza produkcja chloro związków?
8. Jakie zagrożenia dla środowiska pracy stwarza produkcja chlorku winylu?
9. Z jakich elementów składa się nitrator?
10. Z jakich elementów składa się sulfonator?
11. Z jakich materiałów zbudowane jest nitrator?
12. Jakie procesy zachodzą w instalacji produkcji nitrobenzenu metodą ciągłą?
13. Z jakich etapów składa się okresowa produkcja octanu etylu?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Naszkicuj nitrator stosowany w okresowej produkcji nitrobenzenu. Podaj materiały, z których można zbudować nitrator, w którym stosuje się mieszaninę nitrującą.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące produkcji związków nitrowych,
- 2) określić, z jakich elementów powinien składać się nitrator, aby zapewnić jego bezpieczną pracę,
- 3) określić, z jakich materiałów można zbudować nitrator przystosowany do pracy z mieszaniną nitrującą,
- 4) naszkicować nitrator (rysunek w przekroju).

Wyposażenie stanowiska pracy:

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

Ćwiczenie 2

Produkcja nitrobenzenu polega na bezpośredniej reakcji benzenu z kwasem azotowym (mieszanina nitrująca). Oblicz objętość benzenu niezbędną do uzyskania 100 kg nitrobenzenu, jeżeli proces przebiega z wydajnością 80%. Gęstość benzenu w tych warunkach wynosi $0,877 \text{ g/cm}^3$.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapisać równanie reakcji nitrowania benzenu,
- 2) obliczyć masę czystego benzenu niezbędną do uzyskania 100 kg nitrobenzenu wykorzystując zależność stechiometryczną pomiędzy benzenem a nitrobenzenem przyjmując 100% wydajność reakcji,
- 3) obliczyć masę czystego benzenu uwzględniając fakt, że proces przebiega z wydajnością 80%,
- 4) obliczyć objętość benzenu na podstawie masy benzenu obliczonej w punkcie poprzednim uwzględniając gęstość benzenu.

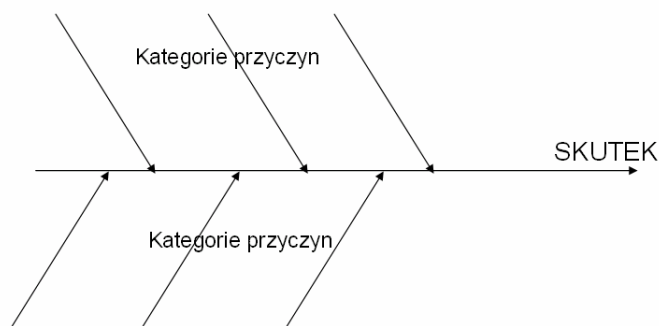
Wyposażenie stanowiska pracy:

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

Ćwiczenie 3

W reaktorach chemicznych, szeroko stosowanych w procesach przemysłowych, możliwe są reakcje niekontrolowane. Badania wykazują, że awarie najczęściej wiążą się z reakcjami polimeryzacji, nitrowania, sulfonowania, zobojętniania oraz chlorowania.

Określ przyczyny, które mogłyby spowodować powstanie niekontrolowanej reakcji sulfonowania okresowego benzenu. Skorzystaj z metody Ishikawy.



Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące sulfonowania,
- 2) określić przyczyny mogące doprowadzić do powstania niekontrolowanej reakcji sulfonowania benzenu,
- 3) uzupełnić wykres Ishikawy.

Wyposażenie stanowiska pracy:

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

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

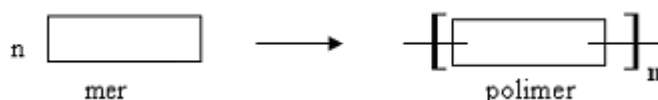
	Tak	Nie
1) określić czynniki nitrujące stosowane w przemyśle chemicznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić czynniki sulfonujące stosowane w przemyśle chemicznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić czynniki estryfikujące stosowane w przemyśle chemicznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) określić czynniki chlorujące stosowane w przemyśle chemicznym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) wyjaśnić, jakie zagrożenie dla środowiska pracy stwarza produkcja nitrozwiązków?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) wyjaśnić, jakie zagrożenie dla środowiska pracy stwarza produkcja związków sulfonowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) wyjaśnić, jakie zagrożenie dla środowiska pracy stwarza produkcja chlorozwiązków?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) wyjaśnić, jakie zagrożenia dla środowiska pracy stwarza produkcja chlorku winylu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) określić, jakie procesy zachodzą w instalacji produkcji nitrobenzenu metodą ciągłą?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) określić materiały, z jakich zbudowane są nitratory?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) określić materiały, z jakich zbudowane są sulfonatory?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) określić, z jakich etapów składa się okresowa produkcja octanu etylu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.4. Przemysł tworzyw sztucznych

4.4.1. Materiał nauczania

Polimery

Polimery są to związki wielcząsteczkowe, zawierające w swojej budowie powtarzające się elementy składowe, zwane merami. W każdej cząsteczce polimeru znajduje się duża liczba połączonych ze sobą merów.

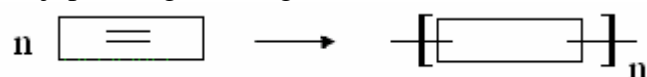


Znane są cztery metody produkcji polimerów:

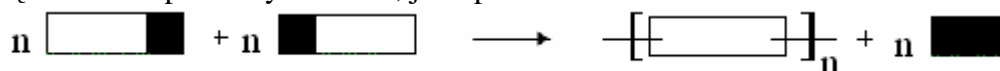
- polimeryzacja,
- polikondensacja,
- poliaddycja,
- modyfikacja chemiczna polimerów naturalnych i syntetycznych.

Polimeryzacja jest to proces łączenia się ze sobą cząsteczek reaktywnego związku chemicznego, zwanego monomerem, z utworzeniem cząsteczki polimeru, bez wydzielenia się produktów ubocznych. Najczęściej stosowanymi monomerami są związki organiczne, zawierające w swojej cząsteczce wiązanie podwójne.

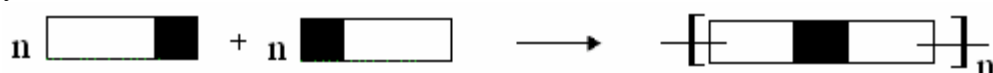
Reakcja polimeryzacji przebiega według schematu:



Polikondensacja jest to proces syntezy polimeru polegający na reakcji cząsteczek związków chemicznych ze sobą, zawierających reaktywne grupy, przy czym wydzielają się małychcząsteczkowe produkty uboczne, jak np. woda:



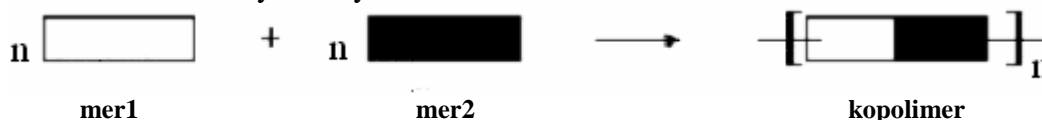
Poliaddycja jest to proces syntezy polimeru polegający na reakcji cząsteczek związków chemicznych ze sobą, zawierających reaktywne grupy, przy czym nie wydzielają się żadne produkty uboczne:



Modyfikacja polimerów polega na prowadzeniu reakcji chemicznych na gotowym polimerze, a tym samym na całkowitej zmianie jego struktury chemicznej. Metoda ta znalazła duże zastosowanie do modyfikacji polimerów naturalnych, takich jak celuloza, białko, kauczuk naturalny i chityna. Klasycznym przykładem tego typu reakcji jest otrzymywanie acetylocelulozy w wyniku reakcji celulozy z bezwodnikiem octowym.

Kopolimery

Kopolimerem nazywany polimer zbudowany z co najmniej dwóch rodzajów merów ułożonych bezwładnie (kopolimer o nieuporządkowanej budowie) lub ułożonych regularnie (kopolimer o uporządkowanej budowie). Kopolimery znajdują szerokie zastosowanie ze względu na ciekawe właściwości. Szerokie zastosowanie znalazły kopolimery butadienu np. kauczuk butadieno-styrenowy.



Tworzywa sztuczne

Tworzywa sztuczne są to materiały wytworzone z polimerów przez połączenie ich z określonymi dodatkami, takimi jak napełniacze, pigmenty, barwniki, miękczacze, stabilizatory, antystatyki i środki zmniejszające palność. W zależności od rodzaju i ilości stosowanych dodatków można otrzymać z tego samego polimeru różne tworzywa o odmiennych właściwościach:

- napełniacze są to związki chemiczne zarówno nieorganiczne (talk, kreda, ziemia krzemkowa, proszki metali i inne), jak i organiczne (celuloza, mączka drzewna, tkaniny, itp.), które zmieszane z określonym polimerem poprawiają jego niektóre właściwości użytkowe, a równocześnie często obniżają cenę gotowego tworzywa,
- pigmenty są to barwne substancje chemiczne, nierozpuszczalne w polimerze, które nadają barwę otrzymanemu tworzywu, a równocześnie czynią go nieprzezroczystym,
- barwniki są to barwne substancje organiczne, rozpuszczalne w danym polimerze z przeznaczeniem do otrzymania barwnych, przezroczystych tworzyw,
- miękczacze, czyli plastyfikatory są to substancje, które rozpuszczają częściowo polimer z utworzeniem roztworu koloidalnego, który przechodzi w stały żel charakteryzujący się dobrymi właściwościami elastoplastycznymi,
- stabilizatory są to substancje, które wprowadzone do tworzywa zwiększają jego odporność na określone czynniki, takie jak temperatura, oddziaływanie promieni ultrafioletowych i inne. Tworzywa stabilizowane charakteryzują się zwiększoną odpornością na starzenie,
- antystatyki są to substancje, których dodatek zapobiega elektryzowaniu się powierzchni tworzywa,

Rodzaje tworzyw sztucznych

W zależności od rodzaju użytego polimeru tworzywa sztuczne dzieli się na:

- termoplastyczne, które można wielokrotnie przerobić w podwyższonej temperaturze,
- termoutwardzalne, które w podwyższonej temperaturze, po uformowaniu określonego kształtu, stają się nietopliwe i nierozpuszczalne,
- chemoutwardzalne, które pod wpływem określonych czynników chemicznych usieciowują się przestrzennie, przy czym stają się nietopliwe i nierozpuszczalne.

Tabela 5. Zastosowania polimerów [7]

Nazwa i wzór monomeru	Nazwa handlowa polimeru	Zastosowanie
Etylen $\text{CH}_2=\text{CH}_2$	Polietylen	Folia, opakowania, rury, izolacja elektr.
Propylen $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$	Polipropylen, moplen	Folia, kształtki, uszczelki, rury
Etylen i propylen	Dutral	kauczuk syntet., opony
Styren $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$	Polistyren	Opakowania, izolacja elektr. izolacja cieplna (styropian)
Tetrafluoroetylen $\text{CF}_2=\text{CF}_2$	Teflon	Aparatura chem., kształtki, części maszyn, uszczelki
Chlorek winylu $\text{CH}_2=\text{CHCl}$	Polichlorek winylu, igelit, winidur, PCW, PVC	Aparatura chem., folia, opakowania, rury, izolacja, okładziny, płyty
Chlorek winylu i chlorek winylidenu $\text{CH}_2=\text{CCl}_2$	Saran	Włókno tkanin tapicerskich
Octan winylu $\text{CH}_2=\text{CHOCOCH}_3$	Poliocetan winylu	Kleje

Akrylan metylu $\text{CH}_2=\text{CHCOOCH}_3$	Poliakrylan metylu	Kleje i lakiery
Metakrylan metylu $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$	Pleksiglas	Szkło organiczne, galanteria
Formaldehyd CH_2O	Deladrin	części maszyn, rury, zbiorniki, galanteria
Butadien $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$	Buna	Kauczuk
Butadien, styren	Buna S, SBR	Kauczuk
Butadien, akrylonitryl $\text{CH}_2=\text{CHCN}$	Buna N	Kauczuk
Chloropren $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CCl}=\text{CH}_2$	Neopren	Kauczuk odporny na benzynę i smary
Izobutylen $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)_2$	Oppanol	Kauczuk
Akrylonitryl $\text{CH}_2=\text{CHCN}$	Orlon	Włókna
Fenol $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ formaldehyd	Fenoplasty, bakelit	Kształtki, laminaty, żywice, galanteria, lakiery, tłoczywa
Mocznik $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	Aminoplasty	Tłoczywa proszkowe, kleje, chemolak, galanteria,
Fenol, związki epoksydowe	Żywice epoksydowe	Elementy konstrukcyjne, laminaty, kleje
Tereftalan metylu, glikol etylenowy	Terylen, elana	Włókna
Kwas adypinowy $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ heksametylenodiamina $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_6\text{NH}_2$	Nylon 66	Włókna
Kaprolaktam	Stylon	Włókna
Silanodiol	Silikony	Oleje silnikowe, żywice, lakiery, uszczelki

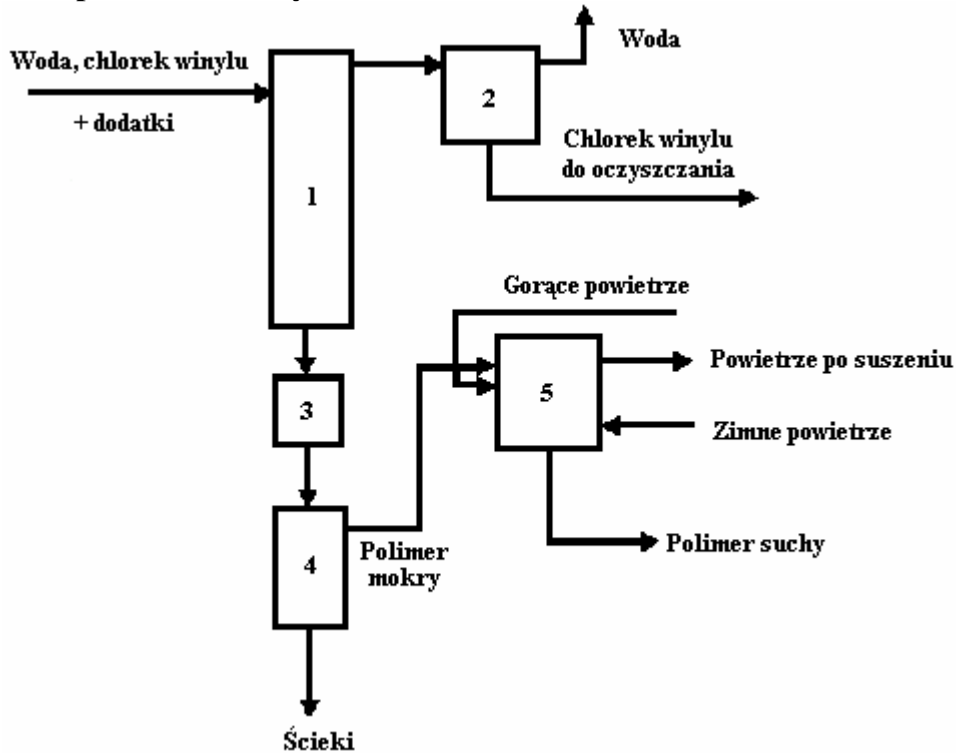
Przemysłowe metody polimeryzacji

Tworzywa polimeryzacyjne otrzymywane są w przemyśle metodą polimeryzacji blokowej, polimeryzacji w roztworze, polimeryzacji perełkowej oraz polimeryzacji emulsyjnej.

Tabela 6. Przemysłowe metody wytwarzania tworzyw polimeryzacyjnych [7]

Metody polimeryzacji	Charakterystyka metody
Polimeryzacja blokowa	Polega na dodaniu czynnika inicjującego do czystego nierozcieńczonego monomeru. Polimeryzacja zachodzi bez innych czynników. Proces polimeryzacji zachodzi często z wydzieleniem ciepła, przy zbyt dużych blokach stanowi to problem. W wyniku tego typu polimeryzacji otrzymujemy: płyty, arkusze, pręty.
Polimeryzacja w roztworze	Zachodzi w odpowiednim rozpuszczalniku, wydzielające się ciepło jest zużywane na parowanie rozpuszczalnika, który skrapla się w chłodnicy. Polimer otrzymuje się w postaci roztworu. Roztwór można wykorzystać jako impregnat, klej, lakier.
Polimeryzacja perełkowa	Polega na sporządzeniu dyspersji monomeru w wodzie w wyniku czego powstają kropelki 0,1–1 mm. Do roztworu dodaje się substancje inicjujące. Polimeryzacja zachodzi wewnątrz perełek.
Polimeryzacja emulsyjna	Tworzymy emulsję monomeru, w tym przypadku średnica powstających kropelek jest dużo mniejsza. W ten sposób polimeryzuje się niektóre kauczuki otrzymując polimer o wyglądzie mleka.

Wytwarzanie polichlorku winylu



Rys. 18. Schemat instalacji otrzymywania polichlorku winylu (igielit) metodą polimeryzacji perełkowej: 1 – reaktor, 2 – komora próżniowa, 3 – zbiornik ujednoczenia, 4 – wirówka, 5 – suszarka [7]

Do reaktora dodajemy chlorek winylu i wodę (woda musi być zmiękczona) oraz inicjator, substancje ochronne (naturalne polimery rozpuszczalne w wodzie – pochodne celulozy – osiadają one na kropelkach monomeru, zapobiegając w ten sposób ich sklejanemu się), regulatory pH (fosforany, węglany sodu i potasu).

Proces polimeryzacji trwa od 10 do 15 h. Stopień przereagowania wynosi 85–90%. Nieprzereagowany chlorek winylu jest toksyczny, dlatego oddziela się go od gotowego produktu. Mieszaninę poreakcyjną poddaje się rozdziałowi w wirówce, a otrzymany mokry polimer suszy się (najpierw na gorąco potem na zimno), na końcu produkt ulega rozdziałowi na sitach.

4.4.2 Pytania sprawdzające

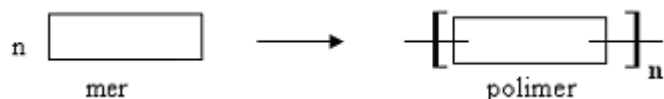
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie substancje nazywamy polimerami?
2. Jakie są metody produkcji polimerów?
3. Jakie substancje zawiera tworzywo sztuczne?
4. Jakie są przemysłowe metody polimeryzacji?
5. Jakie zagrożenie dla środowiska pracy stwarza produkcja polichlorku winylu?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Reakcja polimeryzacji przebiega według schematu:



Zapisz reakcje polimeryzacji dla sześciu dowolnych tworzyw polimeryzacyjnych oraz nazwij produkty reakcji.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące produkcji polimerów,
- 2) zapisać równania polimeryzacji dla sześciu dowolnych tworzyw polimeryzacyjnych,
- 3) zapisać nazwy produktów występujących w zapisanych równaniach reakcji.

Wyposażenie stanowiska pracy:

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

Ćwiczenie 2

Na podstawie załączonej tabeli określ, z jakim tworzywem masz do czynienia. Twoja próbka tworzywa (około 1 g) powinna Ci wystarczyć na przeprowadzenie kilku prób badania rozpuszczalności tworzywa w różnych rozpuszczalnikach. Otrzymana próbka zawiera jedno z tworzyw polimeryzacyjnych wymienionych w tabeli.

Tabela do ćwiczenia 2

Polimer	Woda	Aceton	Octan etylu	Dioksan	Benzen	Chloroform	Eter etylowy	Cykloheksanol	Tetrachlorek węgla
Polialkohol winylowy	+	-	-	-	-		-	-	-
Polichlorek winylu	-	-	-	+	-	+	-	+	+
Polietylen	-	-	-	-	g	g	-	-	g
Poliocetan winylu	-	+	+	+	+	+	p	+	+
Polipropylen	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polistyren	-	p	p	+	+	+	p	-	+

(+) – rozpuszczalny, (-) – nierozpuszczalny, (g) – rozpuszczalny na gorąco, (p) – pęcznieje.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w Poradniku dla ucznia i w dostępnej literaturze informacje dotyczące tworzyw polimeryzacyjnych,
- 2) sporządzić wykaz niezbędnego sprzętu laboratoryjnego i odczynników,
- 3) zaplanować konieczne czynności laboratoryjne,
- 4) określić warunki bhp niezbędne do bezpiecznego wykonywania czynności laboratoryjnych,
- 5) pobierać od nauczyciela niezbędny sprzęt i odczynniki,
- 6) przeprowadzić zaplanowane czynności laboratoryjne,
- 7) zapisać obserwacje w dzienniku laboratoryjnym.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- rozpuszczalniki,
- próbki,
- łąpy do probówek,
- palnik denaturatowy,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 3

Na podstawie załączonej tabeli określ, z jakim tworzywem masz do czynienia. Twoja próbka tworzywa (około 1 g) powinna Ci wystarczyć na przeprowadzenie kilku prób płomieniowych. Otrzymana próbka zawiera jedno z tworzyw polimeryzacyjnych wymienionych w tabeli.

Tabela do ćwiczenia nr 3

Rodzaj tworzywa	Palność próbki				Wygląd płomienia	Zapach produktów spalania
	Nie pali się	Pali się tylko w płomieniu	Po zapaleniu pali się dalej samo	Pali się gwałtownie		
Polietylen			X		Świeący z niebieskim środkiem, kapie kroplami.	Pałacej się parafiny.
Polipropylen			X		Świeący z niebieskim środkiem, kapie kroplami.	Pałacej się parafiny.
Polistyren			X		Świeący, silnie kopący, powstają cząsteczki sadzy.	Słodkowiasty (hiacynt)
Polichlorek winylu		X	X		Żółto-zielony, na brzegach białe dymy, czasem zielone iskry, ewentualnie świeący	Kwasu solnego
Poliocetan winylu			X		Świeący, kopący	Kwasu octowego
Polialkohol winylowy			X		Świeący, kopący	Drażniący

X – występowanie cechy

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w Poradniku dla ucznia i w dostępnej literaturze informacje dotyczące tworzyw polimeryzacyjnych,
- 2) sporządzić wykaz niezbędnego sprzętu laboratoryjnego i odczynników,
- 3) zaplanować konieczne czynności laboratoryjne,
- 4) określić warunki bhp niezbędne do bezpiecznego wykonywania czynności laboratoryjnych,
- 5) pobrać od nauczyciela niezbędny sprzęt i odczynniki,
- 6) przeprowadzić zaplanowane czynności laboratoryjne,
- 7) zapisać obserwacje w dzienniku laboratoryjnym.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- palniki,
- łyżeczka do spalania,
- próbki tworzyw
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) wyjaśnić, jakie substancje nazywamy polimerami?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić, jakie są metody produkcji polimerów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić, jakie substancje zawiera tworzywo sztuczne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) scharakteryzować przemysłowe metody polimeryzacji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić, jakie zagrożenie dla środowiska pracy stwarza produkcja polichloru winylu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.5. Syntezy organiczne z gazu syntezowego

4.5.1. Materiał nauczania

Gaz syntezowy

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

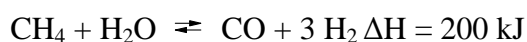
Surowce stosowane do produkcji gazu syntezowego

Najczęściej do produkcji gazu syntezowego wykorzystuje się metan, inne węglowodory alifatyczne oraz węgiel.

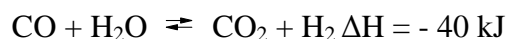
Chemiczna koncepcja procesu

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

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

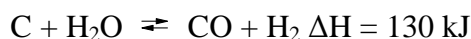


- katalityczna konwersja tlenku węgla z parą wodną (wzbogacanie gazu w wodór):

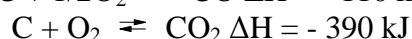


Proces produkcji gazu syntezowego z węgla przebiega także najczęściej w dwóch etapach:

- zgazowanie węgla kamiennego przegrzaną parą wodną:

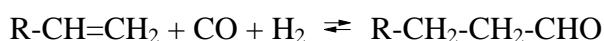


- półspalanie i spalanie węgla kamiennego:



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 jest rozdzielany na poszczególne składniki. Najłatwiej jest usunąć CO₂, który ulega absorpcji w roztworach alkalicznych. CO i CH₄ wykraplają się w niskich temperaturach pod zwiększonym ciśnieniem. Pozostałym gazem jest wodór. Jeżeli ciśnienie zmniejszymy, to odparuje CO i pozostanie CH₄.

Do produkcji różnych związków potrzebne są tylko wybrane składniki gazu syntezowego w odpowiednich proporcjach. W gazie syntezowym przeznaczonym do produkcji metanolu stosunek wodoru do tlenku węgla wynosi 2:1, w syntezie „okso” stosunek wodoru do tlenku węgla wynosi 1:1:



Produkcja acetyleny

Acetylen zwany dawniej „królem syntez” coraz częściej wypierany jest z przemysłu chemicznego przez etylen i propylen. Głównie wynika to z faktu, że produkcja acetyleny jest droższa (bardziej energochłonna) od produkcji lekkich olefin.

Surowce stosowane do produkcji acetyleny

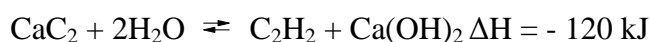
Do produkcji acetyleny wykorzystuje się głównie:

- metan,
- etan,
- karbid (węglík wapnia).

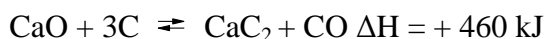
Chemiczna koncepcja procesu

Acetylen produkowany jest zarówno z surowców organicznych, jak i nieorganicznych:

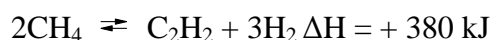
- wytwarzanie acetyleny z karbidu:



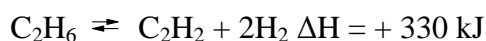
- Znaczna energochłoność produkcji acetyleny wiąże się z wytwarzaniem karbidu:



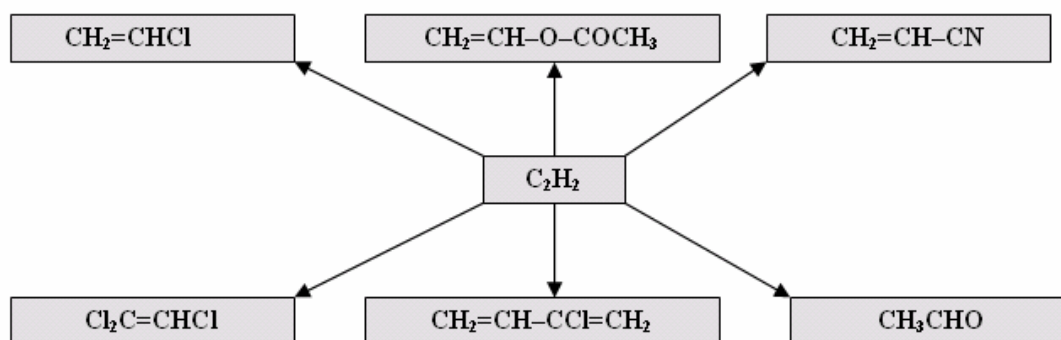
- produkcja acetyleny z metanu:



- produkcja acetyleny z etanu:



Zastosowania przemysłowe acetyleny



Rys. 19. Zastosowania acetyleny

4.5.2. Pytania sprawdzające

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

1. Z jakich surowców produkowany jest gaz syntezowy?
2. Z jakich surowców produkowany jest acetylen?
3. Jakie substancje można otrzymać z acetyleny?
4. Dlaczego do syntez coraz częściej stosowane są olefiny zamiast acetyleny?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Etyln (acetylen) otrzymywano kiedyś głównie z karbidu w reakcji z wodą. Wyznacz objętość acetylenu, jaką można maksymalnie (100% wydajność reakcji) uzyskać ze 100 kg karbidu o czystości 80%.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapisać równanie reakcji karbidu z wodą,
- 2) obliczyć masę czystego węgla wapnia znajdującego się w 100 kg karbidu (uwzględnij czystość karbidu),
- 3) obliczyć maksymalną objętość acetylenu wykorzystując zależność stechiometryczną pomiędzy węglikiem wapnia a acetylenem przyjmując 100% wydajność reakcji.

Wyposażenie stanowiska pracy:

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

Ćwiczenie 2

Wyznacz procentową zawartość gazu syntezowego otrzymanego w wyniku zgazowania węgla kamiennego przegrzaną parą wodną. Do wykonania obliczeń przyjmij, że przereaguje 75% początkowej ilości węgla i pary wodnej. Uzupełnij tabelę przedstawioną poniżej.

Tabela do ćwiczenia 2

Substraty		Produkty		
Substancje	Liczba moli	Substancje	Liczba moli	Zawartość procentowa
C	1	C		
H ₂ O	1	H ₂ O		
CO	0	CO		
H ₂	0	H ₂		
Razem:	2	Razem		

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące produkcji gazu syntezowego,
- 2) zapisać równanie reakcji zgazowania węgla przegrzaną parą wodną,
- 3) obliczyć liczbę moli składników gazu po zajściu reakcji,
- 4) obliczyć zawartość procentową składników gazu po reakcji.

Wyposażenie stanowiska pracy:

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

Ćwiczenie 3

Z acetylenu można uzyskać wiele związków o znaczeniu przemysłowym. Zapisz reakcje otrzymywania sześciu związków o znaczeniu przemysłowym, które można uzyskać z acetylenu. Podaj nazwy tych związków.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) wyszukać w materiałach dydaktycznych informacje dotyczące przemysłowych zastosowań acetylenu,
- 2) zapisać równania otrzymywania sześciu związków o znaczeniu przemysłowym,
- 3) zapisać nazwy produktów występujących w zapisanych równaniach reakcji.

Wyposażenie stanowiska pracy:

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

4.5.4. 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 acetylenu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) określić substancje o znaczeniu przemysłowym, które można otrzymać z acetylenu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wyjaśnić przyczyny zastępowania w syntezach organicznych acetylenu przez lekkie olefiny?	<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!

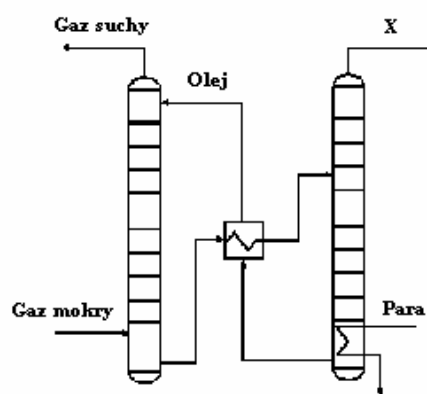
ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Do grupy surowców energetycznych nie należy
 - a) ropa naftowa.
 - b) gaz ziemny.
 - c) węglan wapnia.
 - d) węgiel kamienny.
2. Usuwanie wody z ropy naftowej nie prowadzi się metodą
 - a) absorpcyjną.
 - b) termiczną.
 - c) chemiczną.
 - d) elektryczną.
3. W wyniku destylacji atmosferycznej ropy naftowej nie można uzyskać
 - a) benzyny.
 - b) asfaltów.
 - c) nafty.
 - d) oleju napędowego.
4. Węglowodory aromatyczne dodaje się do benzyny w celu
 - a) ochrony środowiska.
 - b) wzrostu lotności mieszanki.
 - c) podniesienia liczby oktanowej mieszanki.
 - d) wywołania efektu stukowego spalania mieszanki.

5. Większość współczesnych samochodów tankuje benzyny bezołowiowe. Jest to spowodowane
- wyczerpywaniem się zapasów czteroetylku ołowiu.
 - wysoką ceną ołowiu na rynkach światowych.
 - wysoką szkodliwością związków ołowiu.
 - wysoką biodegradowalnością związków ołowiu.
6. Do typowych sposobów przerobu węgla nie zalicza się procesu
- koksowania.
 - zgazowania.
 - upłynniania
 - azotowania.
7. Gęsta, czarna ciecz uzyskiwana w procesie koksowania węgla to
- woda amoniakalna.
 - koks.
 - smoła węglowa.
 - mazut.
8. Jednym ze znaków ostrzegawczych jest znak przedstawiony poniżej. Informuje on, że benzen należy do substancji
- wybuchowych.
 - wysoce łatwopalnych.
 - bardzo toksycznych.
 - niebezpiecznych dla środowiska.



9. Gaz ziemny nie jest wykorzystywany technologicznie jako surowiec
- energetyczny.
 - do produkcji naftalenu.
 - do produkcji acetylenu.
 - do produkcji gazu syntezowego.
10. W schemat odgazolinowania gazu ziemnego metodą absorpcyjną oznaczona literą X główny produkt procesu. Jest nim
- gazol.
 - gazolina stabilizowana.
 - gaz suchy.
 - gazolina do stabilizacji.



11. Przedstawiony poniżej zapis reakcji zachodzącej w procesie krakingu



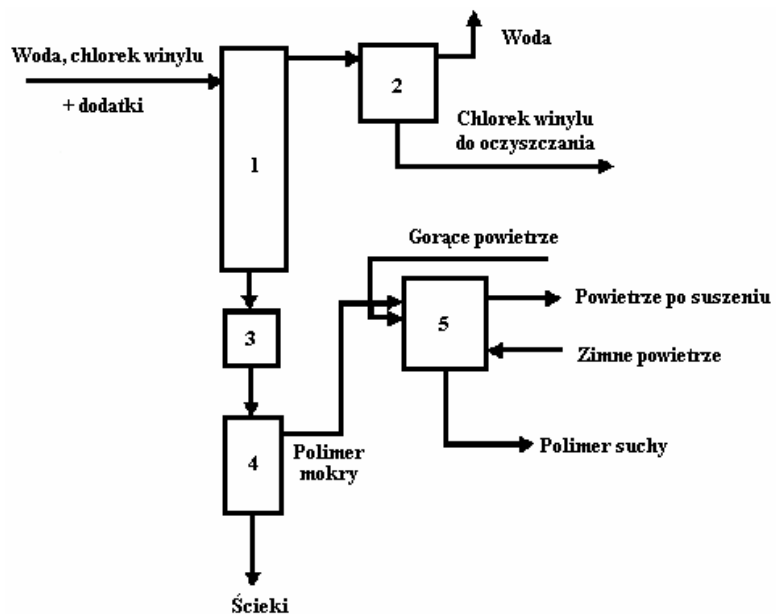
opisuje

- izomeryzację węglowodorów.
- aromatyzację węglowodorów.
- degradację węglowodorów.
- odwodnienie węglowodorów.

12. Katalizatorem procesu reformingu jest najczęściej
- pięciotlenek wanadu.
 - kwask siarkowy.
 - platyna na nośniku tlenkowym.
 - tlenek żelaza na nośniku tlenkowym.
13. Proces reformingu nie jest ukierunkowany na otrzymywanie węglowodorów
- aromatycznych.
 - alifatycznych rozgałęzionych.
 - alifatycznych nierozgałęzionych.
 - alifatyczno-aromatycznych.
14. Nienasyconym kwasem tłuszczowym jest kwas
- stearynowy.
 - palmitynowy.
 - oleinowy.
 - octowy.
15. Przedstawiona reakcja
- $$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OCOC}_{17}\text{H}_{33})_3 + 3\text{H}_2 = \text{C}_3\text{H}_5(\text{OCOC}_{17}\text{H}_{35})_3$$
- opisuje proces produkcji
- mydła.
 - parafiny.
 - tłuszczów stałych.
 - tłuszczów ciekłych.
16. Przedstawiona reakcja
- $$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OCOC}_{17}\text{H}_{35})_3 + 3\text{NaOH} = \text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3 + 3\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$$
- opisuje proces produkcji
- mydła.
 - środków zapachowych.
 - parafiny.
 - tłuszczów stałych.
17. Procesu nitrowania nie można przeprowadzić stosując
- stężony kwas azotowy.
 - mieszaninę nitrującą.
 - mieszaninę azotan(V) sodu z kwasem siarkowym.
 - rozcieńczony kwas azotowy.
18. Nitratory powinny być wyposażone w
- mieszadła, wewnętrzne chłodnice, zewnętrzny płaszcz i termometry.
 - dmuchawy, wewnętrzne chłodnice, zewnętrzny płaszcz i termometry.
 - sprężarki, wewnętrzne chłodnice, zewnętrzny płaszcz i termometry.
 - dmuchawy, wewnętrzne chłodnice, zewnętrzny płaszcz i manometry.

19. W czasie sulfonowania węglowodorów aromatycznych istnieje poważne zagrożenie występowania
- oparzeń termicznych.
 - oparzeń chemicznych.
 - zatrucie tlenkami azotu.
 - oparzeń termicznych i chemicznych.
20. W procesie otrzymywania octanu etylu stosowany jest stężony kwas siarkowy jako
- katalizator.
 - substancja związująca nadmiar powstającej wody.
 - główny substrat.
 - katalizator i substancja związująca nadmiar powstającej wody.
21. Do najczęściej stosowanych w przemyśle środków chlorujących należą
- chlorowódor i kwas solny.
 - chlorowódor i siarkowódor.
 - chlorowódor i chlor gazowy.
 - chloran(V) potasu i kwas solny.
22. Wzór $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ przedstawia
- chlorek winylu.
 - chlorek propylu.
 - chloroetan.
 - chloropropan.
23. Reakcja monochlorowania 2 moli benzenu wymaga zastosowania
- $22,4 \text{ dm}^3$ gazowego chloru.
 - $44,8 \text{ dm}^3$ gazowego chloru.
 - $2,24 \text{ dm}^3$ gazowego chloru.
 - $4,48 \text{ dm}^3$ gazowego chloru.
24. Przedstawiony schemat reakcyjny opisuje reakcję
- polikondensacji.
 - poliaddycji.
 - depolimeryzacji.
 - polimeryzacji.
-
25. Substancje, które wprowadzone do tworzywa zwiększają jego odporność na określone czynniki, takie jak temperatura, oddziaływanie promieni ultrafioletowych to
- wypełniacze.
 - stabilizatory.
 - pigmenty.
 - antystatyki.
26. Z substancji o wzorze $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ produkowany jest
- polipropylen.
 - polistyren.
 - kauczuk.
 - polietylen.

27. Produktami reakcji zgazowania węgla kamiennego przegrzaną parą wodną są
- dwutlenek węgla i wodór.
 - tlenek węgla i wodór.
 - dwutlenek węgla i woda.
 - tlenek węgla i woda.
28. Do produkcji acetyleny wykorzystuje się głównie
- metan, etan i karbid.
 - etan, propan i karbid.
 - węglík wapnia, węglík glinu i metan.
 - węgiel, wodór i wodę.
29. Masa wody zawarta w 2 tonach ropy naftowej zawierającej 0,1% wody wynosi
- 0,2 kg.
 - 2 kg.
 - 0,02 kg.
 - 20 kg.
30. Na przedstawionym uproszczonym schemacie technologicznym proces suszenia produktu odbywa się w elemencie opisanym cyfrą
- 1.
 - 2.
 - 4.
 - 5.



KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko.....

Wytwarzanie podstawowych półproduktów i produktów organicznych

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. Klepaczko-Filipiak B., Jakubiak Z., Wulkiewicz U.: Produkcja chemiczna. Podręcznik dla uczniów liceum technicznego o profilu chemicznym. WSiP,
2. Kwiatkowski A.: Technologia chemiczna ogólna i nieorganiczna. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1982
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. Wielopolski A.: Technologia chemiczna organiczna. PWN, Warszawa 1959

Strony internetowe

7. www.retsat1.com.pl/michauer/chemia/O_tech_org.pdf