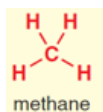


UTLENIANIE

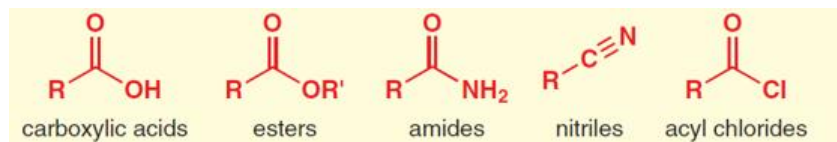
Procesy, w których zasadniczą rolę odgrywają reakcje przebiegające z udziałem tlenu lub innych czynników utleniających **w wyniku których następuje zwiększenie stopnia utlenienia pierwiastka.**



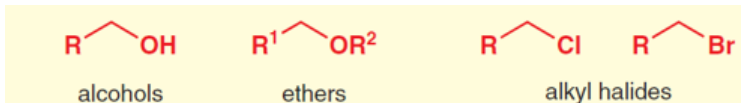
Poziom utleniania alkan - zero wiązań z heteroatomami



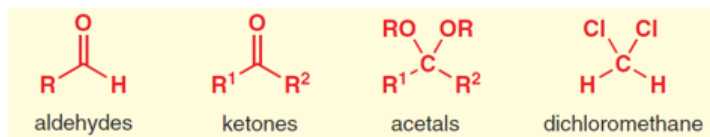
Poziom utlenienia kwas karboksylowego – trzy wiązania z heteroatomem



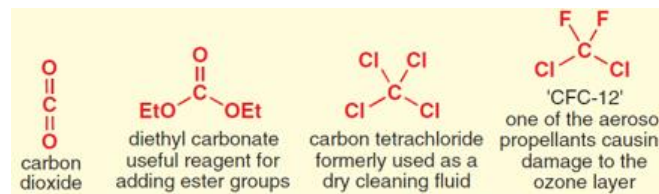
Poziom utlenienia alkoholu – jedno wiązanie z heteroatomem



Poziom utlenienia aldehydu – dwa wiązania z heteroatomem



Poziom utlenienia ditlenku węgla – cztery wiązania z heteroatomem



Podsumowanie: Ważne grupy funkcyjne i poziom utlenienia

Zero wiązań z heteroatomami : poziom utleniania alkan	Poziom utlenienia alkoholu – jedno wiązanie z heteroatomem	Poziom utlenienia aldehydu – dwa wiązania z heteroatomem	Poziom utlenienia kwas karboksylowego – trzy wiązania z heteroatomem	Poziom utlenienia ditlenku węgla – cztery wiązania z heteroatomem
$\begin{array}{c} R^2 & R^3 \\ & \diagdown \quad / \\ & C \\ & / \quad \diagdown \\ R^1 & R^4 \end{array}$ <p>alkanes</p>	$R-CH_2-OH$ alcohols	$R-CHO$ aldehydes	$R-COOH$ carboxylic acids	$O=C=O$ carbon dioxide
	$R-CH_2-OR^2$ ethers	$R^1-C(=O)-R^2$ ketones	R^1-COOR^2 esters	$RO-CO-OR$ carbonates
	$R-CH_2-NH_2$ amines	$R^3O-C(OR^3)-R^2$ acetals	$R-CO-NH_2$ amides	$Cl-C(F)_2-Cl$ tetrahalo compounds
	$R-CH_2-Cl$ $R-CH_2-Br$ $R-CH_2-I$ alkyl halides	$R-C\equiv C$ alkynes	$R-C\equiv N$ nitriles	$RO-CO-OR$ ureas
	$R-CH=CH_2$ alkenes		$R-CO-Cl$ acyl chlorides	

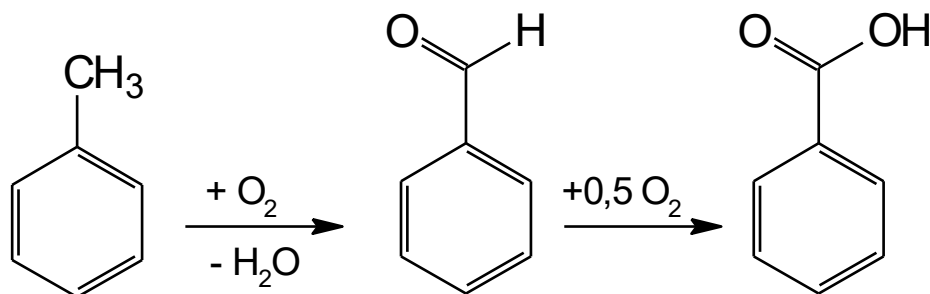
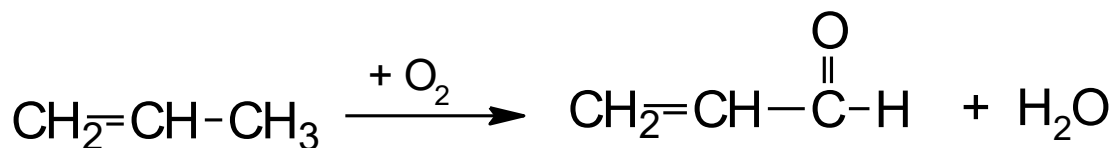
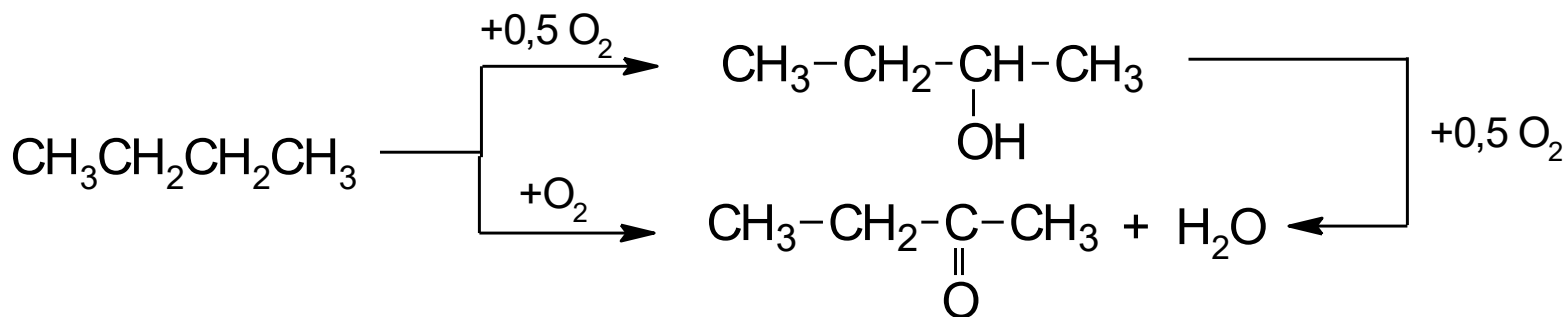
Przykłady procesów utleniania:

- tlenek etylenu z etylenu,
- aldehyd octowy z etylenu,
- niższe alkohole, aldehydy i kwasy z propanu i butanów
- akrylonitryl z propylenu i amoniaku (utleniająca amonoliza).
- fenol i aceton metodą kumenową,
- kwas akrylowy z propylenu,
- bezwodnik maleinowy z butanu
- bezwodnik ftalowy z naftalenu lub z o-ksylenu,
- cykloheksanon i cykloheksanol z cykloheksanu
- kwas adypinowy z cykloheksanonu i cykloheksanolu,
- styren i tlenek propylenu z etylobenzenu i propylenu,
- kwas tereftalowy z p-ksylenu,
- 1,2-dichloroetan z etylenu i chlorowodoru,

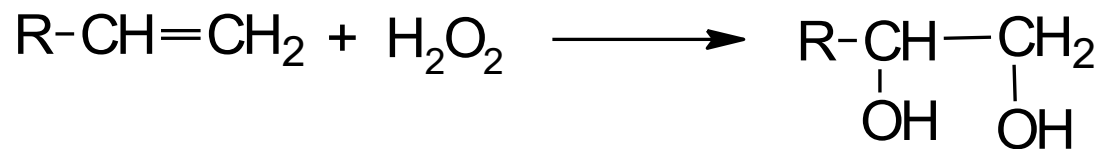
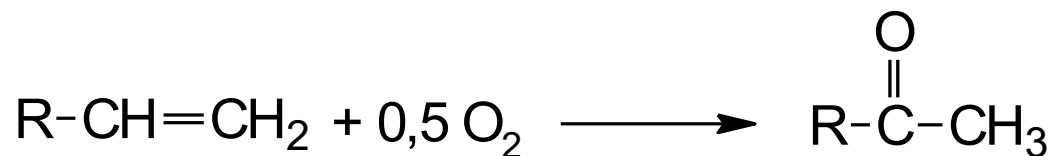
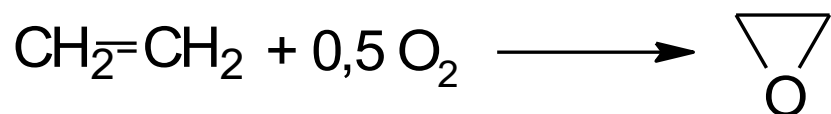
Typy procesów utleniania

□ Utlenianie bez rozerwania łańcucha węglowego, kiedy liczba atomów węgla zostaje taka sama jak w wyjściowym związku:

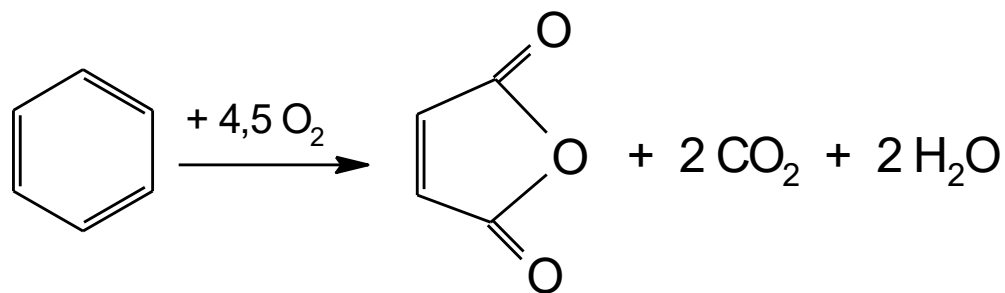
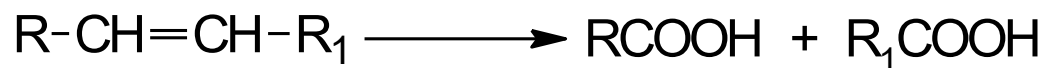
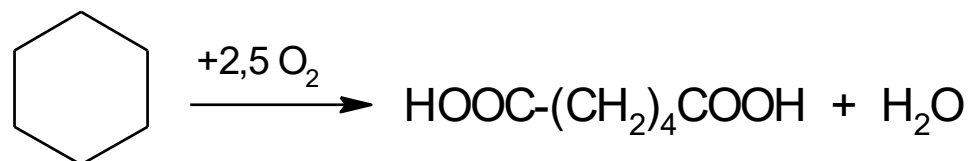
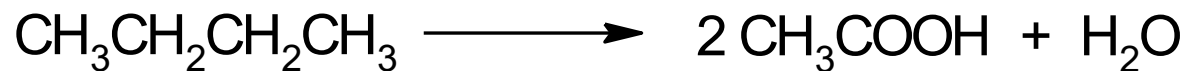
- utlenianie nasyconego wiązania węgiel-węgiel w parafinach, naftenach, olefinach i węglowodorach alkiloaromatycznych,



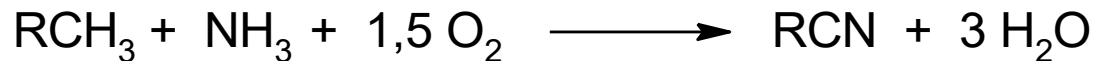
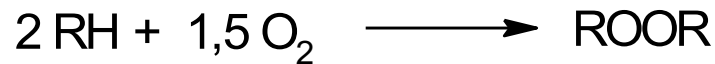
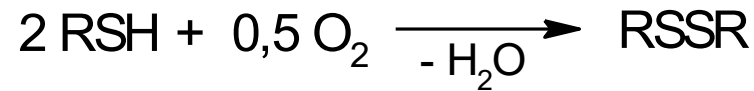
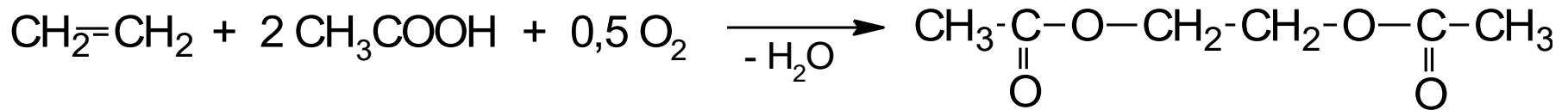
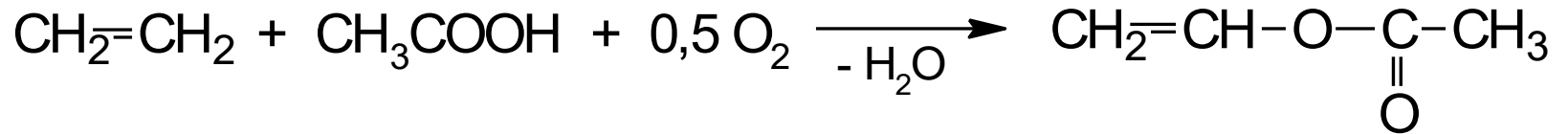
- utlenianie wiązania podwójnego z wytworzeniem związków epoksydowych (tzw. epoksydowanie), związków karbonylowych lub glikoli:



- Utlenianie destrukcyjne, przebiegające z rozerwaniem wiązania węgiel-węgiel.
Destrukcja przebiega na wiązaniu C-C, C=C lub C-C w aromatach:



□ Kondensacja utleniająca



Czynniki utleniające:

- Powietrze, powietrze wzbogacone w tlen, tlen techniczny**

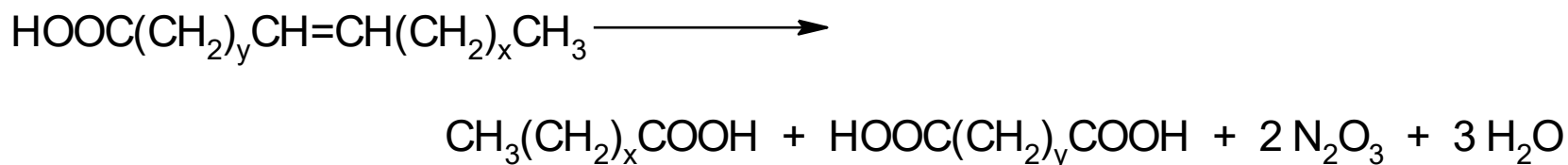
Zalety użycia czystego tlenu zamiast powietrza:

- zwiększa wydajność produktów utleniania**
- mniejsze objętościowe natężenie przepływu strumieni recyrkulowanych gazów**

Wady stosowania tlenu;

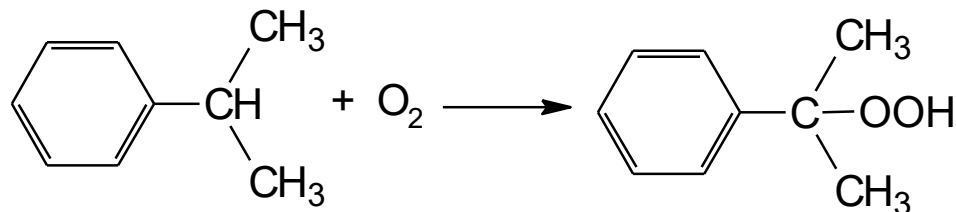
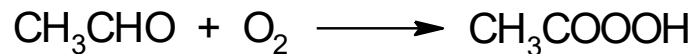
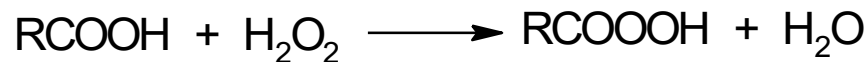
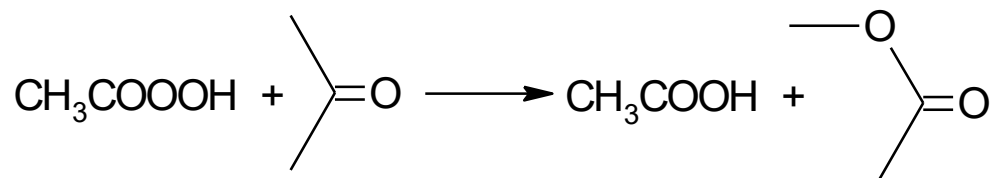
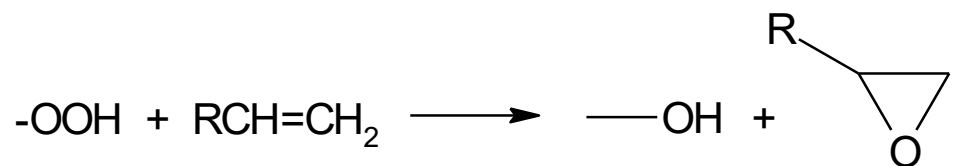
- wysoki koszt tlenu**
- większe zagrożenie wybuchem**

□ kwas azotowy 50-60%



□ tetratlenek diazotu, N_2O_4 (stosowany wyjątkowo rzadko ze względu na zagrożenie wybuchem),

□ związki nadtlenowe, w szczególności **nadtlenek wodoru**,
natlenki t-butylu i etylobenzenu i kumenu oraz kwas
nadoctowy



□ tlenek manganu(IV), manganian(VII) potasu, tlenek chromu(VI), dichromian(VI) sodu, chlorany(I), chlorany(V) oraz inne (stosowano rzadko).

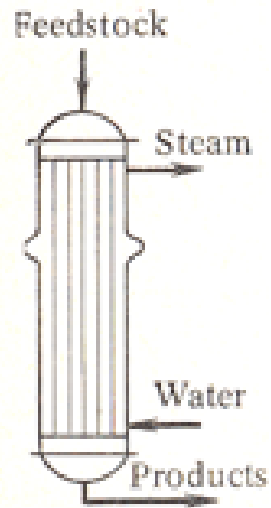
Podatność związków organicznych na utlenienie:

- alkanany utleniają się trudno i na ogół mało selektywnie,
- łatwiej utleniają się olefiny,
- bardzo łatwo utleniają się aldehydy,
- cykloparafiny są łatwe do utlenienia,
- aromaty utleniają się trudniej niż węglowodory alifatyczne i alicykliczne.

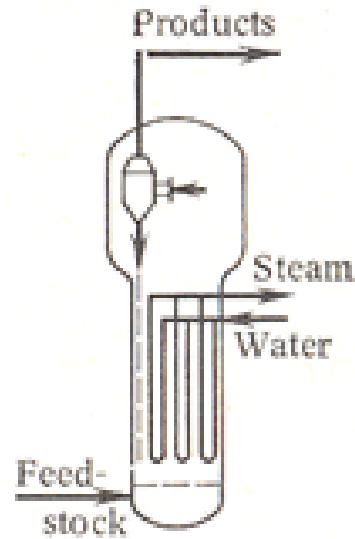
Parametry procesu:

- ❑ Procesy utleniania prowadzi się pod zwiększonym ciśnieniem, czas zależny od charakteru związku.
- ❑ **Katalizatory** – metale i ich tlenki oraz sole metali. Katalizatory homogeniczne, rozpuszczone w środowisku reakcji w postaci soli kwasów organicznych. Katalizatory heterogeniczne dla procesów w fazie gazowej są albo w złożu nieruchomym albo fluidalnym.
- ❑ **Ciepło** można odbierać przeponowo, wykorzystując wodę, wodę pod ciśnieniem, olej albo stop solny (dla temperatury powyżej 400°C), mieszanina azotynu i azotanu sodowego. Bezprzeponowy odbiór ciepła prowadzi się z wykorzystaniem gazu obojętnego, N₂, powietrza). Inny sposób odbierania ciepła to nadmiar reagenta, parowanie cieczy, rozpuszczalnika lub produktu.
- ❑ Większość procesów przemysłowych ma charakter ciągły.

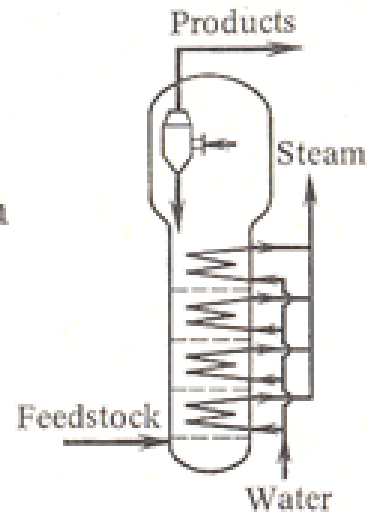
Przykłady reaktorów dla procesów utlenienia na katalizatorach heterogenicznych



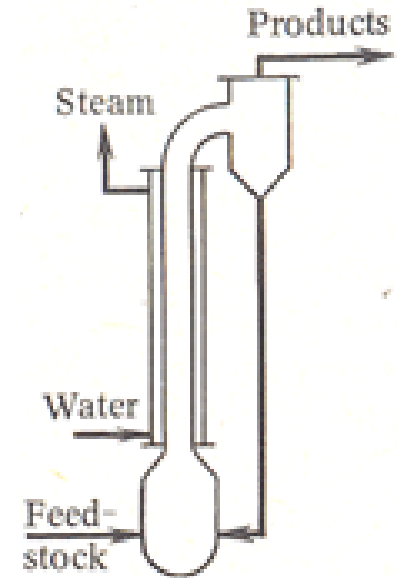
Reaktor rurowy



Reaktor fluidalny

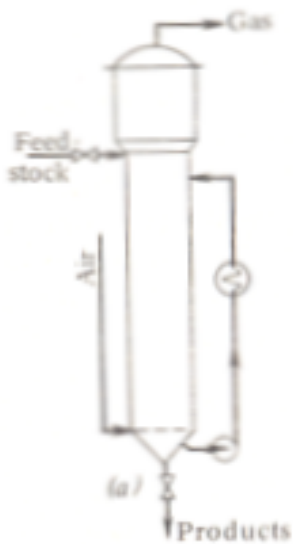


Reaktor wielosekcyjny
fluidalny



Reaktor z wznoszącym
się złożem katalizatora

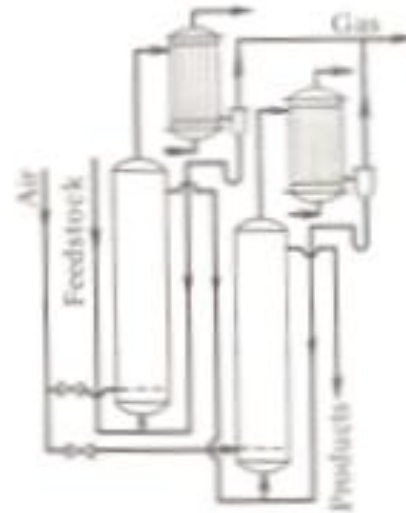
Przykłady reaktorów dla procesów utlenienia w fazie ciekłej



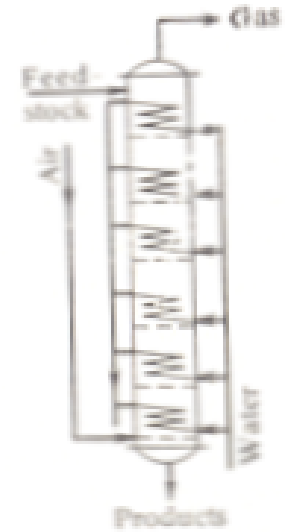
Reaktor zbiornikowy wieżowy, barbotażowy z zewnętrznym chłodzeniem



Reaktor zbiornikowy z wewnętrznym chłodzeniem, współprądowy



Kaskada reaktorów kolumnowych z chłodzeniem przez odparowanie



Reaktor zbiornikowy z wewnętrznym chłodzeniem, przeciwprądowy

Utleniania alkanów

Cel: otrzymanie alkoholi, aldehydów, ketonów i kwasów organicznych, **bezwodnika maleinowego**.

- ❑ Surowce: gazowe, ciekłe i stałe alkany.
- ❑ Utleniania gazowych alkanów C_1 - C_4 do alkoholi, aldehydów, ketonów oraz kwasów karboksylowych, mających nie więcej niż cztery atomy węgla. Główne produkty: metanol, aldehyd mrówkowy, aldehyd octowy, kwas octowy, aceton i I-rzędowe alkohole butylowe.
- ❑ **Utlenianie butanu do bezwodnika maleinowego.**
- ❑ Utlenianie ciekłych i stałych (parafina) alkanów do monokarboksylowych kwasów tłuszczowych; frakcję C_{10} - C_{20} stosuje się do produkcji detergentów.

Czynnik utleniający: powietrze lub techniczny tlen

Faza: gazowa (małocząsteczkowe węglowodory) lub ciekła (węglowodory o większej masie cząsteczkowej, z uwagi na ich wysokie temperatury wrzenia.

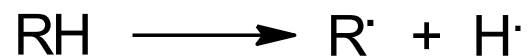
W obecności katalizatorów lub bez ich udziału.

Dla uniknięcia powstawania mieszanin wybuchowych węglowodorów z powietrzem, proces należy prowadzić albo z dużym nadmiarem powietrza (powstaje dużo CO_2 i H_2O), lub też z nadmiarem węglowodoru (małe przereagowanie i konieczność zawracania).

Podatność alkanów na utlenienie

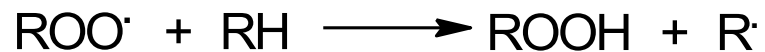
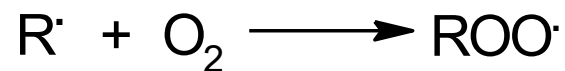
- Metan (ok. 500°C), nieco łatwiej grupa metylowa (CH_3 , np. etan ok. 450°C), jeszcze łatwiej grupa metylenowa ($-\text{CH}_2-$), a najłatwiej grupa metinowa.**
- Większość alkanów ulega utlenieniu w temperaturze poniżej 400°C i produktami reakcji w tych warunkach są przede wszystkim związki tlenowe.**
- Powyżej 400°C razem ze związkami tlenowymi tworzą się alkeny, alkany o mniejszej masie cząsteczkowej od wyjściowych.**
- W wyniku rozerwania wiązania C-C tworzą się związki tlenowe o mniejszej ilości atomów węgla. Na przykład, podczas utlenienia etanu, razem z aldehydem i kwasem octowym, powstaje również aldehyd mrówkowy i kwas mrówkowy.**

Mechanizm utleniania alkanów

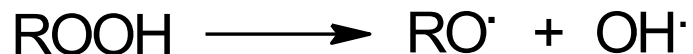


Szybkość rozerwania wiązań C-H

I-rzędowy < II-rzędowy < III-rzędowy

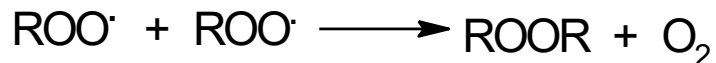
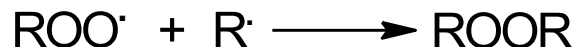
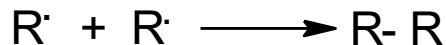


Wodoronadtlenki, po osiągnięciu pewnego krytycznego stężenia, rozpadają się na rodniki i tworzą alkohole, aldehydy/ketony, kwasy



Organiczne związki tlenowe, w zależności od warunków procesu mogą ulegać dalszemu rozpadowi do tlenku węgla, wodoru, nadtlenu wodoru, metanu i alkenów.

Reakcje przerwania łańcucha

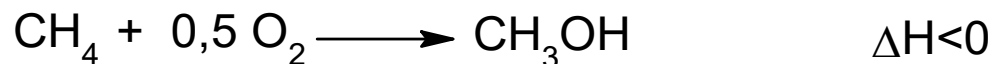


Autokatalityczny charakter utleniania węglowodorów

Już przy małym stężeniu wodoronadtlenku, szybkość jego rozpadu na rodniki znacznie przewyższa szybkość powstawania zarodków łańcuchowych, przez rozerwanie wiązań C-H w cząsteczkach węglowodoru.

Utlenianie metanu

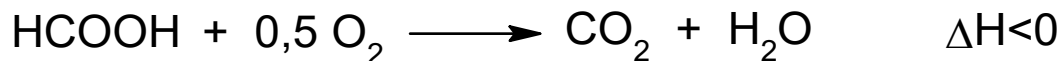
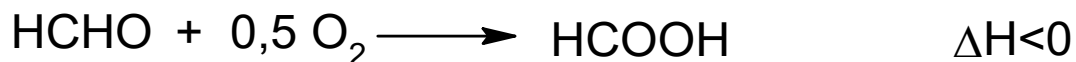
Cel: otrzymanie alkoholu metylowego, formaldehydu, kwasu mrówkowego.



Warunki:

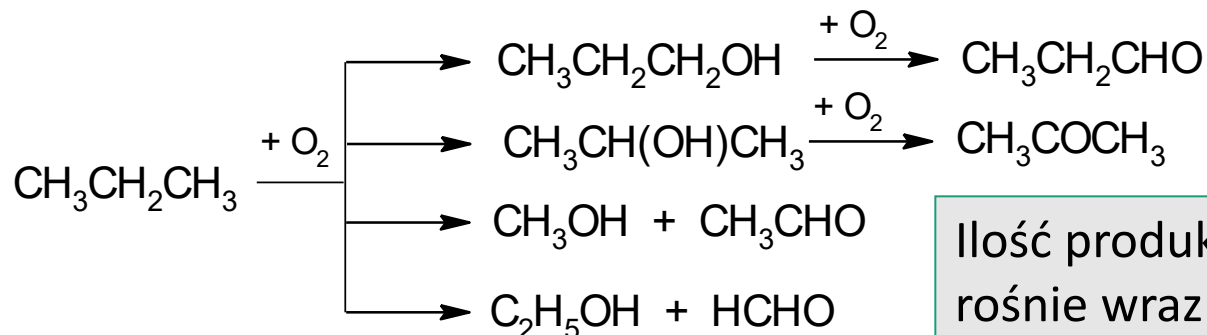
- temperatura 400°C, ciśnienie 10-20 MPa oraz znaczny nadmiar węglowodoru - powstaje głównie metanol.
- T=450-500°C p=1-2,5 MPa lub 600°C i p=0,1 MPa - otrzymuje się ok. 38% HCHO;
- jako katalizatory stosuje się związki Cu, Mn, a także tlenki azotu.

Utleniając metan w obecności platyny lub palladu otrzymuje się kwas mrówkowy, gdyż szybkość jego powstania jest tak duża, że nie można wydzielić produktów pośrednich utlenienia.



Alkany C₃-C₄

Utlenienie w fazie gazowej do mieszaniny alkoholi i związków karbonylowych, tworzących się z zachowaniem lub destrukcją łańcucha węglowego.



Ilość produktów destrukcji rośnie wraz ze wzrostem temperatury.

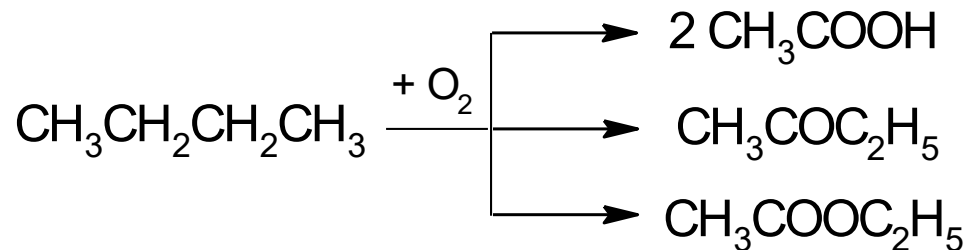
Warunki procesu

- Temperatura - 400°C
- Nadmiar węglowodorów,
- reaktor adiabatyczny
- ciśnienie - 0,7-2 MPa.

Realizowane w USA jako źródło formaldehydu, acetaldehydu, metanolu i mieszanego rozpuszczalnika zawierającego alkohole C₂-C₃, aceton, metyloetyloketon.

Skomplikowane rozdzielanie mieszaniny reakcyjnej.

Utlenianie C₄-C₈



- Utlenianie powietrzem w roztworze kwasu octowego
- Temperatura - 160-190°C,
- Ciśnienie - 6 MPa
- bez katalizatora lub w obecności soli kobaltu lub manganu.

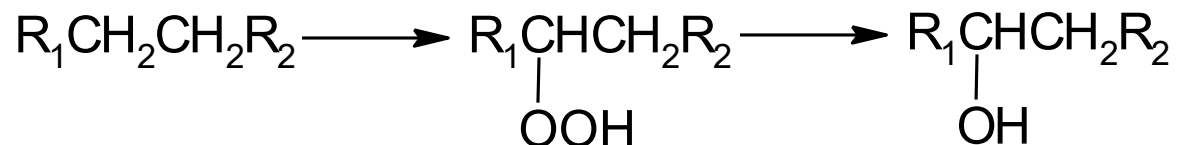
Metoda służy w USA do otrzymania CH₃COOH.

Szerzej wykorzystuje utlenianie znacznie tańszej niż n-butan, lekkiej frakcji benzyny C₅-C₈.

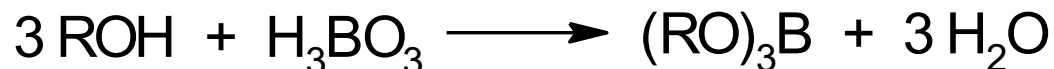
Utlenianie benzyny

- ❑ w fazie ciekłej za pomocą powietrza w temperaturze 170-200°C, pod ciśnieniem 4-5 MPa wobec naftenianów kobaltu jako katalizatora.
- ❑ Produkt - **70-80% wag. kwasu octowego**, ok. 15 % wag. HCOOH, do 10 % CH₃CH₂COOH oraz kilka procent kwasu bursztynowego. Obojętne produkty utleniania (alkohole, ketony i estry), tworzą z wodą mieszaniny azeotropowe, wrzące w temperaturze niższej od temperatury wrzenia najniżej wrzącego kwasu (mrówkowego).

Produkcja alkoholi przez utlenianie n-parafin (metoda Baszkirowa)

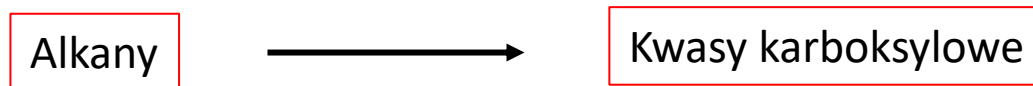


- ❑ Niekatalityczne utlenianie powietrzem wzbogaconym 3-4,5% obj. O₂ w temperaturze 165-170°C w obecności 4-5% kwasu borowego.
- ❑ Reaktor barbotażowy.
- ❑ W obecności kwasu borowego powstające alkohole przekształcają się w borany, co zapobiega ich dalszemu utlenianiu.



- ❑ Borany zawarte w pozostałości podestylacyjnej hydrolizuje się za pomocą wody w temperaturze 95°C.
- ❑ Surowe alkohole tłuszczowe oddzielone od kwasu borowego zawierają ok. 70% wag. alkoholi (>95% drugorzędowych), ok. 20% ketonów i ketoalkoholi, ok. 10% kwasów karboksylowych i domieszki glikoli.
- ❑ Wydajność alkoholi ok. 60% (w odniesieniu do przereagowanych n-parafin).
- ❑ Mieszaninę alkoholi C₁₀-C₂₀ można rozdzielić przez destylację, zazwyczaj jednak poddaje się ją w całości procesowi oksyetylowania w celu otrzymania środków powierzchniowo-czynnych.
- ❑ Recykling nieprzereagowanych węglowodorów.
- ❑ **Proces Baszkirowa ma obecnie ograniczone znaczenie.**

Utlenianie parafin do kwasów karboksylowych



Kierunki utleniania:

- Utlenianie niższych parafin C_4 - C_8 w zdecydowanej większości do kwasu octowego.
- Utlenianie stałej parafiny do tzw. syntetycznych kwasów tłuszczowych z prostym łańcuchem węglowodorowym C_{10} - C_{20} . Surowiec do syntezy środków powierzchniowo-czynnych.

Produkcja syntetycznych kwasów tłuszczowych

Utlenianie węglowodorów parafinowych C_{10} - C_{40} w celu otrzymania kwasów karboksylowych C_7 - C_{20} .

- Proces w fazie ciekłej.
- Szybkość utleniania rośnie ze wzrostem masy molowej węglowodorów parafinowych, tzn. węglowodory stałe ($> C_{19}$) utleniają się z większą szybkością niż ciekłe (np. C_{10} - C_{18}).
- Konwersja parafiny 30-40%; ogranicza dalsze utlenianie powstających kwasów tłuszczowych do hydroksykwasów, ketonokwasów oraz kwasów dikarboksylowych.
- Wydajność surowych kwasów rośnie ze wzrostem ich temperatury wrzenia (średniej masy molowej) parafiny. Jednocześnie wzrasta średnia liczba atomów węgla w cząsteczkach kwasów tłuszczowych.
- Utlenianie stałych parafin w obecności katalizatora zawierającego kompleksy manganowo-sodowe, przygotowane ze związków manganu (np. z $KMnO_4$, tlenków manganu, wodorotlenku manganu, czy manganowych mydeł kwasów tłuszczowych) oraz z soli sodowych kwasów C_1 - C_4 lub C_5 - C_9 .
- utlenianie parafiny o średniej liczbie atomów węgla ok. 30 daje do 80% wydajności kwasów karboksylowych (lekkich i tłuszczowych).
- Produkt - 25-28% wag. kwasów C_{10} - C_{16} , 15-20% C_{17} - C_{20} , 20-25% kwasów C_{20} oraz po kilka procent frakcji kwasów C_1 - C_4 , C_5 - C_6 , C_7 - C_9 .

Kompleksy manganowo-sodowe wpływają na szybkość utleniania parafin i skład powstających produktów utleniania. Ulegają one jednak przy tym przemianom i dlatego w przemyśle syntetycznych kwasów są one najczęściej nazywane przyspieszaczami, a nie katalizatorami.

Parafina poddawana utlenieniu nie może zawierać inhibitorów utleniania (np. fenoli, związków siarki); konieczna rafinacja surowca otrzymanego w procesach odparafinowania frakcji naftowych. Parafina syntetyczna otrzymywana w procesie Fischera-Tropscha nie wymaga rafinacji.

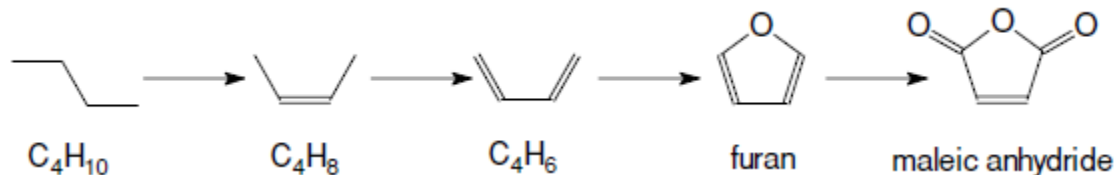
Zastosowanie wyższych kwasów karboksylowych

- Kwasy C_{10} - C_{16} i C_{17} - C_{20} , tzw. kwasy mydlarskie, są stosowane jako surowce do produkcji mydeł toaletowych i gospodarczych.
- Kwasy C_6 - C_9 stosuje się jako surowce w produkcji plastyfikatorów i syntetycznych olejów smarowych.
- Niektóre z kwasów karboksylowych stosuje się jako surowce w produkcji dodatków uszlachetniających dla produktów naftowych, a zwłaszcza do środków smarowych i cieczy chłodząco-smarujących do obróbki metali.
- Mydła, czyli sole metaliczne (wapniowe, litowe, sodowe, glinowe, barowe) kwasów tłuszczowych C_{15} - C_{20} , zdyspergowane w olejach smarowych pochodzenia naftowego stanowią tzw. smary plastyczne.

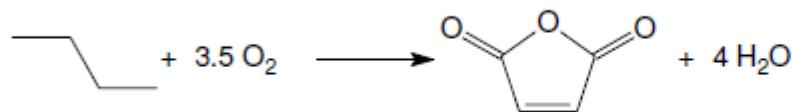
UTLENIANIE BUTANU DO BEZWODNIKA KWASU MALEINOWEGO

Bezwodnik maleinowy, jest substancją krystaliczną o temperaturze topnienia 53°C i temperaturze wrzenia 202°C.

Bezwodnik maleinowy działa uczulająco i drażniąco na błony śluzowe skóry i dróg oddechowych. W zależności od czasu działania, drogi zatrucia i stężenia może wywoływać różne objawy takie jak: podrażnienia skóry, bóle głowy, mdłości, nudności, zaburzenia układu trawiennego, utrudnione oddychanie.



Uproszczona ścieżka reakcji prowadząca do bezwodnika maleinowego



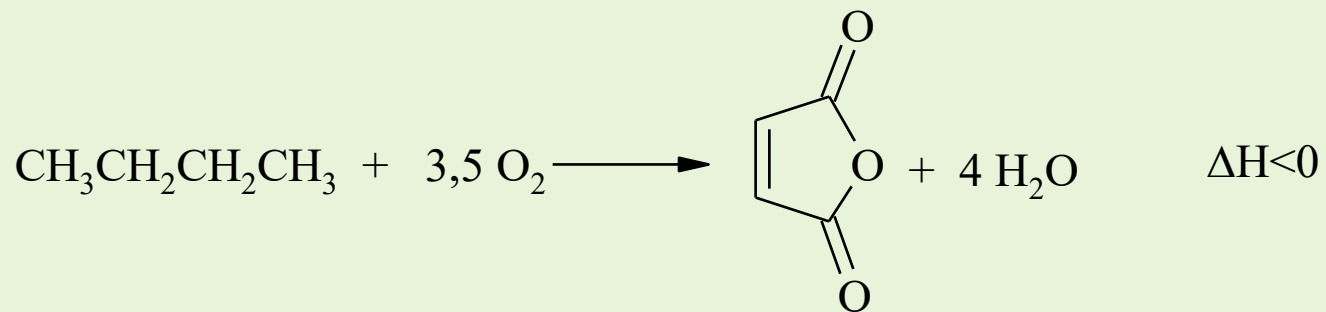
$\Delta_r H_{298} = -1260 \text{ kJ/mol}$

Wymagany selektywny katalizator!!!!

Teoretycznie ze 100 kg butanu można otrzymać 168,9 kg bezwodnika, podczas gdy ze 100 kg benzenu tylko 125,6 kg bezwodnika.

Duża egzotermiczność procesu wymaga stosowania reaktorów pozwalających na dobry odbiór ciepła. Możliwe reaktory płaszczowo-rurowe o zdolności produkcyjnej do 40 000 t/r na jeden reaktor. Większa zdolność produkcyjna możliwa dla reaktorów fluidalnych.

Utlenianie butanu do bezwodnika maleinowego



Typowe warunki:

- Faza gazowa, katalizator heterogeniczny
- Temperatura ok. 400-450°C
- Ciśnienie - 0,2-0,3 MPa

Proces Monsanto (lata 1970-te)

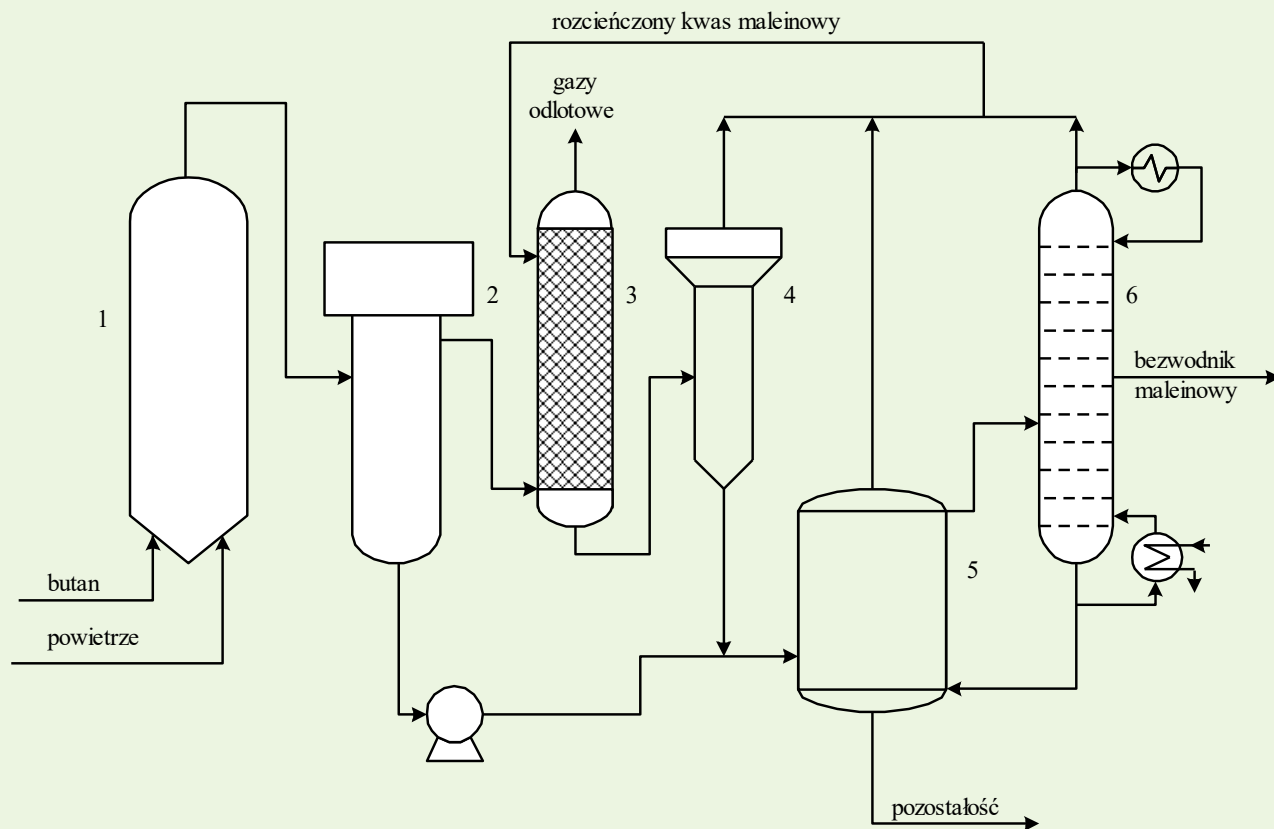
- Reaktor płaszczowo - rurowy chłodzony stopem solnym,
- Katalizator - tlenek wanadu,
- Bezwodnik wmywany rozpuszczalnikiem organicznym
- Proces charakteryzował się niską selektywnością

Proces ALMA (koniec lat 1980-tych, firmy *Alusuisse Italia* i *Lummus Crest*)

- Reaktor fluidalny
- Katalizator - V-P-O (wanad-fosfor-tlen; kompleks wanadu z tlenkiem fosforu o przybliżonym wzorze $(VO)_2P_2O_7$) o dużej odporności mechanicznej, zwłaszcza na ścieranie – wartość indeksu tarcia jest niewiele większa od zera
- Wysoka selektywność
- Ciągłe wydzielanie bezwodnika maleinowego z gazów poreakcyjnych na drodze absorpcji produktu w heksahydroftalanie dimetylu

Proces BP/UCB

- ❑ Reaktor fluidalny
- ❑ Wydzielanie bezwodnika przez absorpcję w wodzie
- ❑ W sekcji oczyszczania surowego kwasu maleinowego odparowuje się wodę i stężony kwas maleinowy przekształca w bezwodnik (reaktor jest tak zaprojektowany, aby izomeryzacja kwasu maleinowego do kwasu fumarowego była możliwie najmniejsza).
- ❑ Wydajność bezwodnika kwasu maleinowego ponad 98% wag.

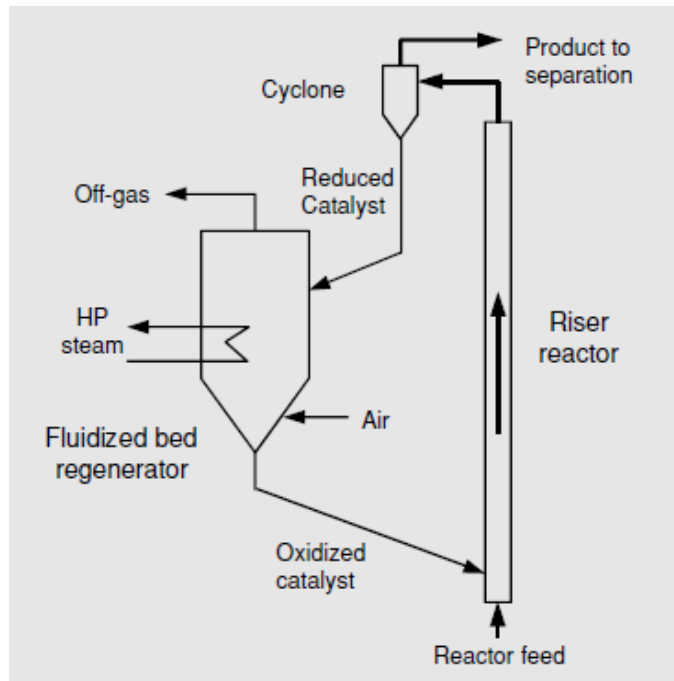


Schemat instalacji otrzymywania bezwodnika maleinowego z butanu według procesu *BP Chemicals*

1 - reaktor, 2 - skraplacz, 3 - skrubler, 4 - suszarka, 5 - dehydrator, 6 - kolumna destylacyjna.

Na podstawie: *Chem. Eng. News* 1991, 69(44), 34; *Przem. Chem.*, 1992, 71(7), 285.

Procesy Monsanto i DuPont - reaktory typu riser podobne jak dla krakingu katalitycznego benzyn.



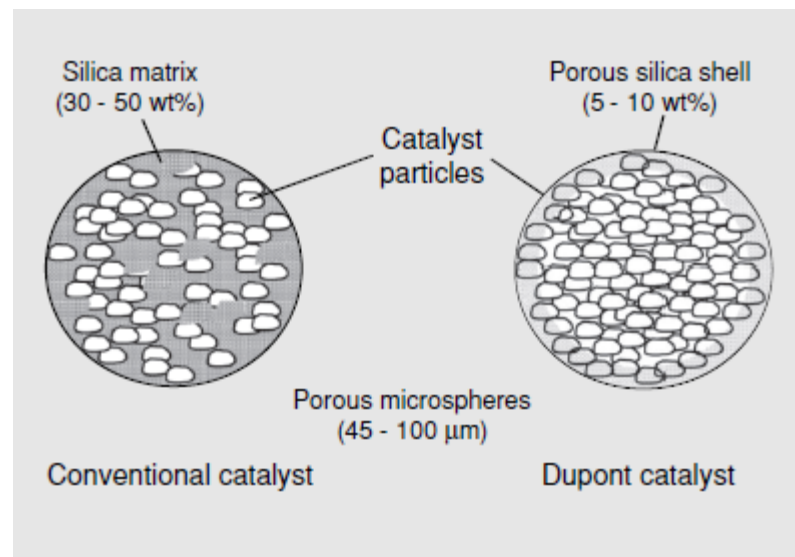
Utloniony katalizator transportuje tlen do butanu wytwarzając bezwodnik. Zredukowany katalizator jest oddzielany od produktu w cyklonie i jest utleniany w konwencjonalnym reaktorze.

Rozdział na dwa stopnie umożliwia dokładne kontrolowanie warunków reakcji:

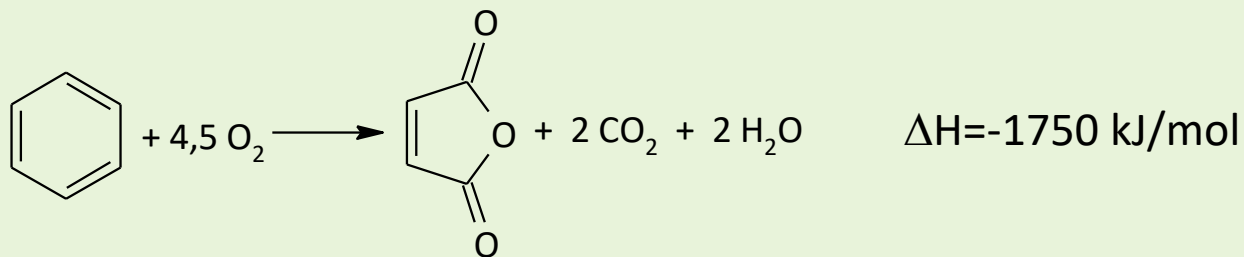
- utlenianie bez tlenu cząsteczkowego, stąd mieszanina reakcyjna nigdy nie znajdzie się w granicach limitu wybuchowości;
- czas przebywania w reaktorze i czas regeneracji mogą być wybrane niezależnie i w konsekwencji mogą być wybrany optymalne warunki dla obu etapów

W procesach wykorzystujących reaktory typu riser kluczową rolę odgrywa katalizator, od którego wymaga się wysokiej odporności na ścieranie. Można to uzyskać przez umieszczenie składników aktywnych wewnątrz odpornej mechanicznie matrycy. Prowadzi to jednak do spadku aktywności katalizatora i może prowadzić do obniżenia selektywności procesu.

W nowej technologii DuPont aktywne katalityczne składniki są enkapsulowane w porowatej krzemionce. Otwarte pory powłoki krzemionkowej pozwalają na swobodną dyfuzję reagentów i produktów bez ujemnego wpływu na konwersję i selektywność

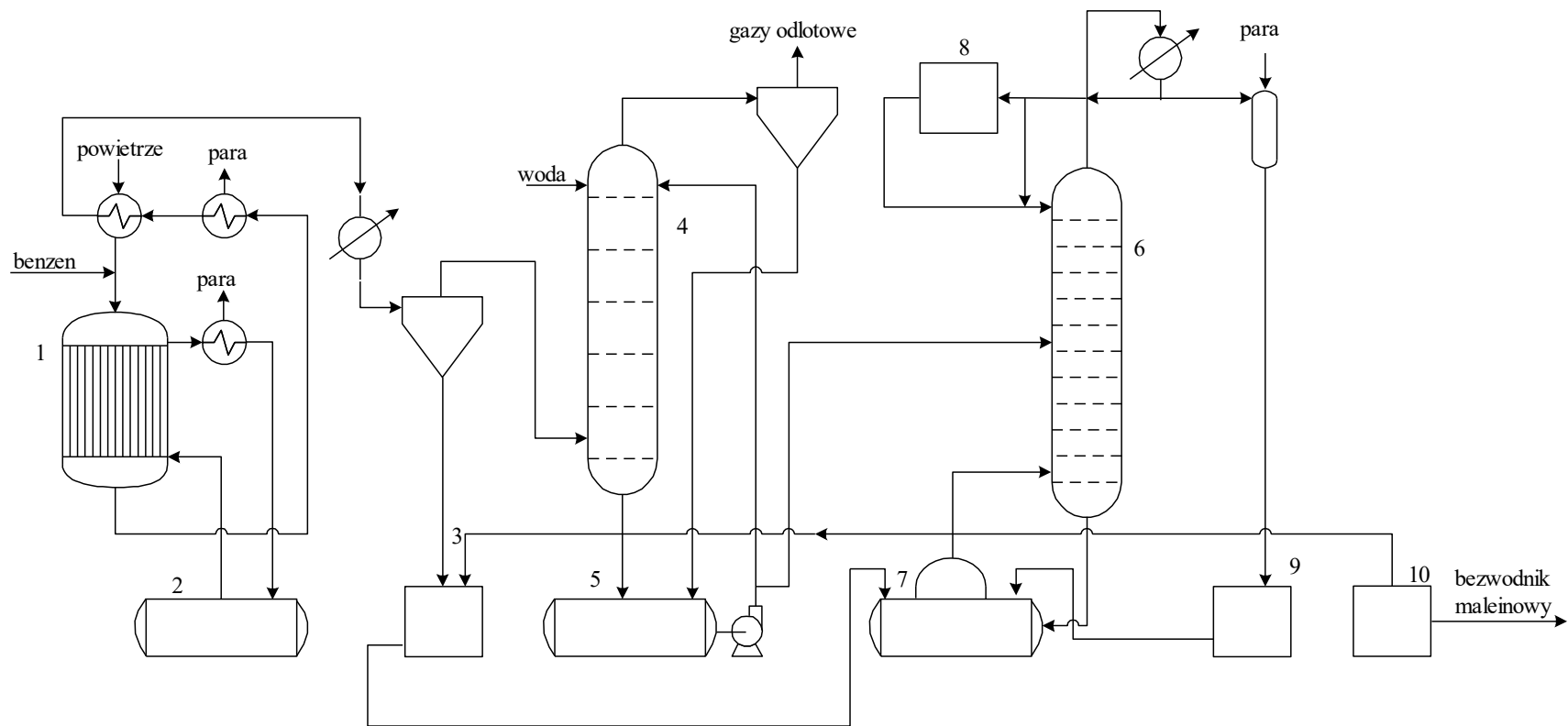


Z benzenu



Warunki reakcji:

- ❑ Reaktory płaszczowo-rurowe z chłodzeniem zewnętrznym, mające bardzo dużo rurek (np. 13000), o małej średnicy, średnica reaktora dochodzi więc do 5 m;
- ❑ Katalizator na podstawie V₂O₅, modyfikowany, np. przez dodatek MoO₃ albo H₃PO₄.
- ❑ Temperatura - 400-450°C, Ciśnienie - 0,2-0,5 MPa,
- ❑ Czas kontaktu z katalizatorem - 0,1 sekundy
- ❑ Ciepło reakcji odprowadza się za pomocą stopu solnego jako cieczy wymiennikowej (azotan i azotyn sodowy)
- ❑ **Konwersja benzenu 85-95%, selektywność do bezwodnika maleinowego wynosi tylko ok. 50-60%. (ok. 30-40% benzenu spala się całkowicie do CO₂, tak że łącznie ciepło wydzielane w procesie wynosi ok. 27200-29400 kJ/kg użytego benzenu;**
- ❑ **Wydajność bezwodnika maleinowego wynosi 70-75% (w przeliczeniu na benzen).**



Schemat technologiczny instalacji do produkcji bezwodnika maleinowego z benzenu.

1 - reaktor, 2 - zbiornik stopu soli, 3 - zbiornik surowego bezwodnika, 4 - kolumna absorpcyjna, 5 - zbiornik kwasu maleinowego, 6 - kolumna destylacyjna, 7 - kocioł destylacyjny, 8 - rozdzielacz, 9 - zbiornik ksyleny, 10 - zbiornik produktu destylowanego

PRODUKCJA BEZWODNIKA MALEINOWEGO

In 2020, the global market volume of maleic anhydride amounted to nearly 2.8 million metric tons. It is forecast that the market volume of this organic compound will grow to almost 3.2 million metric tons worldwide in the year 2026.

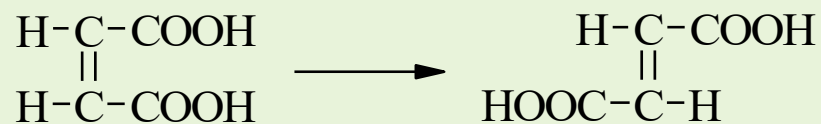
<https://www.statista.com/statistics/1245233/maleic-anhydride-market-volume-worldwide/>

ZASTOSOWANIE BEZWODNIKA MALEINOWEGO I PRODUKTÓW POŚREDNICH

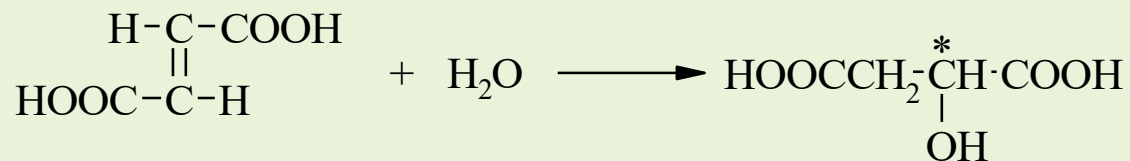
Struktura zużycia bezwodnika maleinowego:

- nienasyconych żywic poliestrowych (55%),
- kwasu fumarowego i maleinowego (12%),
- dodatków do olejów smarowych (8%),
- agrochemikaliów (3%)
- innych chemikalia (20%), w tym do produkcji 1,4-butanodiolu, tetrahydrofuranu i γ -butyrolaktonu (dotychczas wytwarzanych z acetylenu metodą Reppego).

Kwas fumarowy



Kwas jabłkowy



Kwas d,l-winowy

