

FERMENTACJA ALKOHOLOWA.

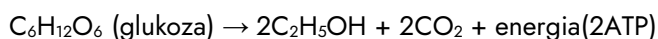
Fermentacja alkoholowa – Proces biochemiczny

Definicja:

Fermentacja alkoholowa to proces beztlenowego przekształcania cukrów prostych, takich jak glukoza, w etanol (alkohol etylowy, C_2H_5OH) i dwutlenek węgla (CO_2) przez działanie enzymów wydzielanych przez drożdże (najczęściej z rodzaju *Saccharomyces*), a także niektóre bakterie. Proces ten jest kluczowy dla produkcji alkoholu, piwa, wina i biopaliw.

Ogólna reakcja chemiczna:

Fermentacja alkoholowa zachodzi zgodnie z poniższym równaniem:



Etapy fermentacji alkoholowej:

Fermentacja alkoholowa składa się z dwóch głównych etapów:

1. Glikoliza (faza preparatywna):

- Jest to proces, w którym glukoza ($C_6H_{12}O_6$) zostaje rozłożona na dwie cząsteczki kwasu pirogronowego ($C_3H_4O_3$).
- Zachodzi w cytoplazmie komórek drożdży.
- Produktem netto glikolizy są 2 cząsteczki ATP (adenozynotrifosforanu) oraz 2 cząsteczki NADH (zredukowana forma dinukleotydu nikotynamidoadeninowego).
 - $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_4O_3 \text{ (kwas pirogronowy)} + 2ATP + 2NADH$

2. Dekarboksylacja kwasu pirogronowego i redukcja do etanolu:

- W warunkach beztlenowych, kwas pirogronowy ulega dekarboksylacji (utrata cząsteczki CO_2), przekształcając się w aldehyd octowy (CH_3CHO).
 - $C_3H_4O_3 \text{ (kwas pirogronowy)} \rightarrow CH_3CHO \text{ (aldehyd octowy)} + CO_2$
- Następnie aldehyd octowy jest redukowany przez NADH do etanolu (C_2H_5OH), a cząsteczka NADH jest utleniana do NAD^+ , który wraca do glikolizy, aby umożliwić kontynuację cyklu.
 - $CH_3CHO + NADH \rightarrow C_2H_5OH + NAD^+$

Znaczenie energetyczne:

- W porównaniu z oddychaniem tlenowym, fermentacja alkoholowa jest mało efektywna energetycznie – wytwarza tylko 2 cząsteczki ATP na jedną cząsteczkę glukozy (w oddychaniu tlenowym powstaje aż 36-38 cząsteczek ATP).
- Jednak w warunkach beztlenowych fermentacja pozwala organizmom przetrwać i uzyskać niezbędną energię.

Warunki fermentacji:

- Beztlenowe środowisko: Drożdże potrzebują braku tlenu, aby rozpocząć fermentację, ponieważ w obecności tlenu zachodzi oddychanie tlenowe.
- Cukry proste: Fermentacja alkoholowa najlepiej zachodzi, gdy dostępne są cukry proste, takie jak glukoza, fruktoza czy maltoza, które drożdże łatwo rozkładają.
- Optymalna temperatura: Fermentacja alkoholowa najlepiej przebiega w temperaturze 25-30°C. Wyższe temperatury mogą prowadzić do zatrucia drożdży przez powstający alkohol, a niższe spowalniają proces.

Fermentacja w przemyśle:

1. Produkcja alkoholu:

- Piwo i wino: Fermentacja alkoholowa jest podstawą produkcji piwa i wina. W przypadku piwa drożdże przekształcają cukry pochodzące ze słodu, a w przypadku wina – z cukrów zawartych w winogronach.
- Destylaty: Proces fermentacji służy także do produkcji alkoholu surowego, który następnie jest destylowany w celu uzyskania mocnych trunków (np. wódka, rum, whisky).

2. Produkcja biopaliw:

- Bioetanol: Fermentacja alkoholowa cukrów roślinnych (np. z kukurydzy, trzciny cukrowej) jest kluczowym procesem w produkcji bioetanolu, który jest dodawany do benzyny jako biopaliwo.

3. Fermentacja w piekarnictwie:

- Drożdże piekarnicze: Drożdże są również używane do spulchniania ciasta. Podczas fermentacji alkoholowej w cieście powstaje CO₂, który powoduje wyrastanie ciasta, nadając mu lekką, puszystą strukturę.

Czynniki wpływające na fermentację:

1. Stężenie cukrów: Wyższe stężenie cukrów sprzyja szybszej fermentacji, ale nadmierne stężenie może prowadzić do inhibicji drożdży.
2. Temperatura: Zbyt niska temperatura spowalnia fermentację, a zbyt wysoka (powyżej 35°C) może zabić drożdże.
3. Stężenie alkoholu: Drożdże są wrażliwe na stężenie alkoholu; zbyt wysoki poziom etanolu (powyżej 15-18%) hamuje aktywność drożdży.

Zastosowania technologiczne:

1. Przemysł spożywczy: Fermentacja alkoholowa jest podstawą produkcji napojów alkoholowych, ale także ma zastosowanie w piekarnictwie i produkcji żywności fermentowanej.
2. Przemysł farmaceutyczny i biotechnologiczny: Fermentacja jest wykorzystywana w produkcji leków i dodatków bioaktywnych, np. w produkcji witamin.
3. Produkcja biopaliw: Fermentacja alkoholowa jest wykorzystywana do produkcji bioetanolu, który stanowi alternatywę dla paliw kopalnych

Wielokrotną destylację (rektyfikację) przeprowadza się w celu oddzielenia alkoholu etylowego od pozostałych produktów fermentacji i uzyskania roztworu o większym stężeniu. W wyniku przeprowadzonego procesu otrzymuje się tzw. spirytus rektyfikowany o stężeniu etanolu około 95% (mieszaninę azeotropową z wodą). Temperatura wrzenia mieszaniny azeotropowej o składzie 95,6% etanolu i 4,4% wody jest tylko o 0,13°C niższa od temperatury wrzenia czystego etanolu, co uniemożliwia wydzielenie czystego etanolu w trakcie destylacji.

Gęstość badanej cieczy określonej metodą piknometryczną możemy wyznaczyć ze wzoru:

$$\rho = \frac{m_c}{V_c} = \rho_w \frac{m_c}{m_w}$$

przyjmując, że $V_c \approx V_w$,

gdzie: ρ_c – gęstość badanej cieczy w temperaturze pomiaru, kg/m³

V_c – objętość badanej cieczy, m³

V_w – objętość cieczy wzorcowej, m³

ρ_w – gęstość cieczy wzorcowej, kg/m³

m_c – masa badanej cieczy, kg

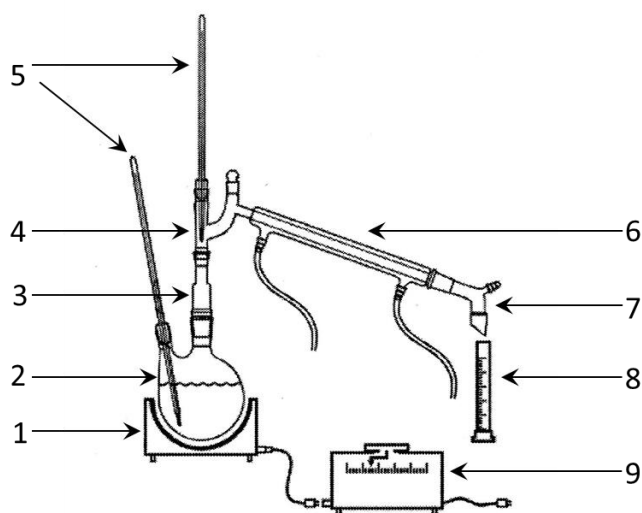
m_w – masa cieczy wzorcowej, kg

Temperaturę pomiaru przyjmuje się zazwyczaj 20°C, a jako cieczy wzorcowej używa się najczęściej wody, ze względu na znajomość zależności jej gęstości od temperatury.

Wykonanie

Destylacja prosta

Zawartość kolby fermentacyjnej należy przenieść do kolby kolistej dwuszyjnej, dopełnić wodą destylowaną do około połowy objętości kolby, wprowadzić kamyki wrzenne i złożyć zestaw do destylacji zgodnie ze schematem.



Zestaw do destylacji

1. płaszcz grzejny

2. kolba kolista dwuszyjna

3. łącznik szklany

4. nasadka Claisena

5. termometry

6. chłodnica

7. nasadka z tubusem próżniowym

8. odbieralnik

9. regulator mocy

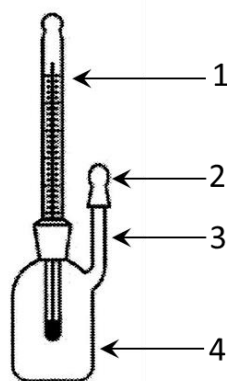
Destylację należy przeprowadzać w tempie 1 - 2 krople na sekundę, sporządzając tabelę destylacyjną:

czas t [min]	temperatura cieczy T_c [°C]	temperatura pary T_p [°C]	objętość destylatu V [ml]	szybkość destylacji G [krople/min]
0			0	0
5				
10				
15				
20				

Destylację zakończyć po osiągnięciu temperatury pary równej 98°C. Oznaczyć gęstość destylatu metodą piknometryczną.

Oznaczanie gęstości metodą piknometryczną

Metoda pomiaru gęstości badanego materiału metodą piknometryczną polega na porównaniu mas cieczy wypełniającej piknometr



Piknometr

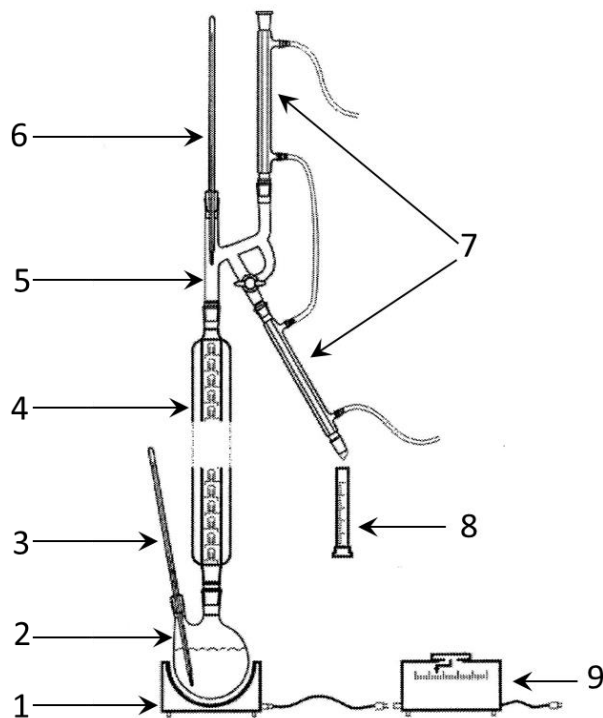
1. termometr
2. kapturek
3. rurka kapilarna
4. naczynie szklane z cieczą i badaną próbką

W tym celu należy zważyć pusty i osuszony piknometr. Następnie napełnić piknometr badaną próbką do momentu wydostania się kropli z kapilary (nadmiar usunąć bibułą). Zważyć piknometr z badaną cieczą i zanotować temperaturę. Opróżnić piknometr z zawartości, a następnie wypełnić go wodą i zważyć. Wyznaczyć gęstość względną otrzymanego destylatu z dokładnością do 4 miejsc po przecinku. Z tablic fizykochemicznych odczytać odpowiadające danej gęstości mieszaniny stężenie etanolu wyrażone w g etanolu na 100 ml mieszaniny. Wyniki zebrać w tabeli:

masa piknometru [g]	masa piknometru i wody [g]	masa piknometru i alkoholu [g]	gęstość	objętość produktu	stężenie alkoholu [g/100 ml]	masa etanolu [g]	wydajność otrzymywania etanolu [%]

Rektyfikacja

Destylat z odbieralnika należy przenieść do kolby kolistej dwuszyjnej, dopełnić wodą destylowaną do około 2/3 objętości kolby, wprowadzić kamyki wrzenne i złożyć zestaw do rektyfikacji zgodnie ze schematem



Zestaw do rektyfikacji

1. płaszcz grzejny
2. kolba kolista dwuszyjna
3. termometr
4. kolumna rektyfikacyjna
5. nasadka na termometr i chłodnice, z zaworem trójdrożnym
6. termometr
7. chłodnice
8. odbieralnik
9. regulator mocy

Szybkość rektyfikacji (G) równą około 120 kropli na minutę uregulować przy zamkniętej głowicy zmieniając napięcie. Po ustaleniu G otworzyć głowicę (lekko uchylić kranik) i ustalić szybkość odbierania rektyfikatu (D), tak aby liczba powrotu (R) wynosiła ok. 2. Szybkość odbierania rektyfikatu nie powinna przekraczać 50 kropli na minutę, aby uniknąć zalania kolumny. Sporządzić tabelę rektyfikacyjną:

czas t [min]	temp. cieczy T_c [°C]	temp. pary T_p [°C]	objętość rektyfikatu V [ml]	szybkość rektyfikacji G [krople/min]	szybkość odbierania rektyfikatu D [krople/min]	zawracania powrotu O [krople/min]	liczba powrotu R
0							
5							
10							
15							
20							

Rektyfikację zakończyć po przekroczeniu temperatury pary równej 77°C (zamknąć kran głowicy i wyłączyć zasilanie). Oznaczyć gęstość rektyfikatu metodą piknometryczną (analogicznie do pkt. C).

Sprawozdanie

- Sporządzić wykres zmian masy i stopnia przereagowania podczas fermentacji.
- Sporządzić krzywe destylacji i rektyfikacji: zmianę temperatury cieczy i temperatury pary w funkcji czasu oraz w funkcji odebranego destylatu/rektyfikatu.
- Obliczyć wydajność otrzymywania etanolu na etapie surówki, destylacji i rektyfikacji.
- Przedyskutować otrzymane wyniki.

Literatura:

1. Zarys technologii chemicznej, E. Bortel, H. Koneczny, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1992;