



MOŻLIWOŚCI WDROŻENIA ZASAD GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM W BROWARZE



mgr. inż. **KATARZYNA MOSKALEWICZ***, dr inż. **KATARZYNA KAPUSTA**

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

*email: moskalewicz@agh.edu.pl

PROCES WARZENIA PIWA

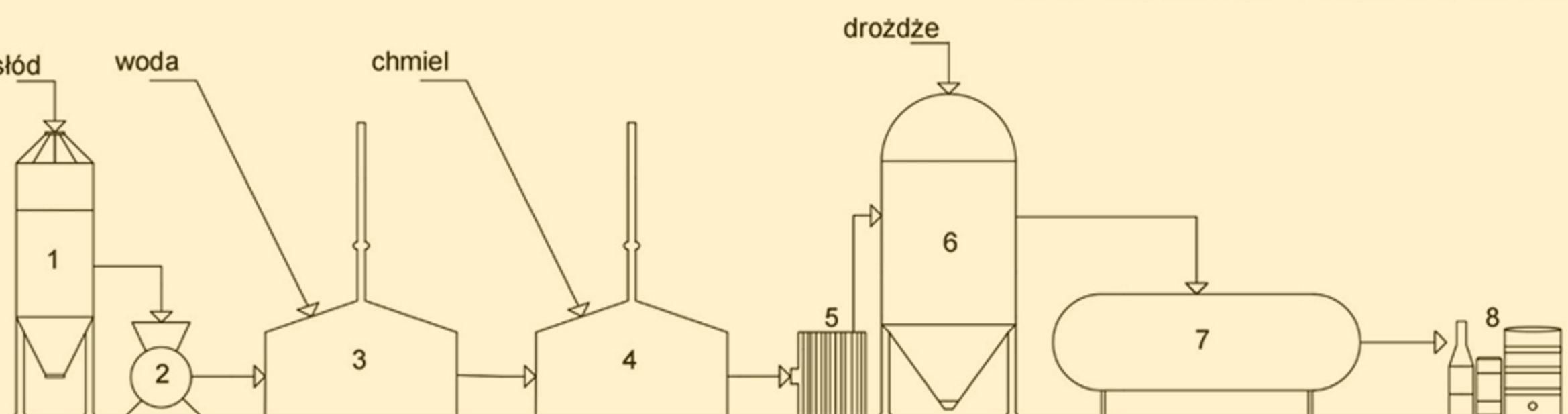
ZACIERANIE: Stód wraz z wodą podgrzewa się do temperatury określonej w danym recepturze. W wyniku procesu enzymy zawarte w stodkie uaktywniają się i rozkładają skrobię na maltozę i dekstryny, tworząc tzw. brzecznię piwną

FILTRACJA: Brzeczka piwna zostaje oddzielona od frakcji stałej, czyli nierozpuszczalnej i nie ulegającej degradacji części ziaren określonej jako młóto browarnicze.

GOTOWANIE: Przefiltrowana ciecz jest gotowana z chmielem oraz ewentualnymi dodatkami, takimi jak owoce czy melasa.

FERMENTACJA: Po schłodzeniu brzeczka trafia do fermentora, gdzie dodaje się drożdże. Drożdże przekształcają cukry w alkohol i dwutlenek węgla.

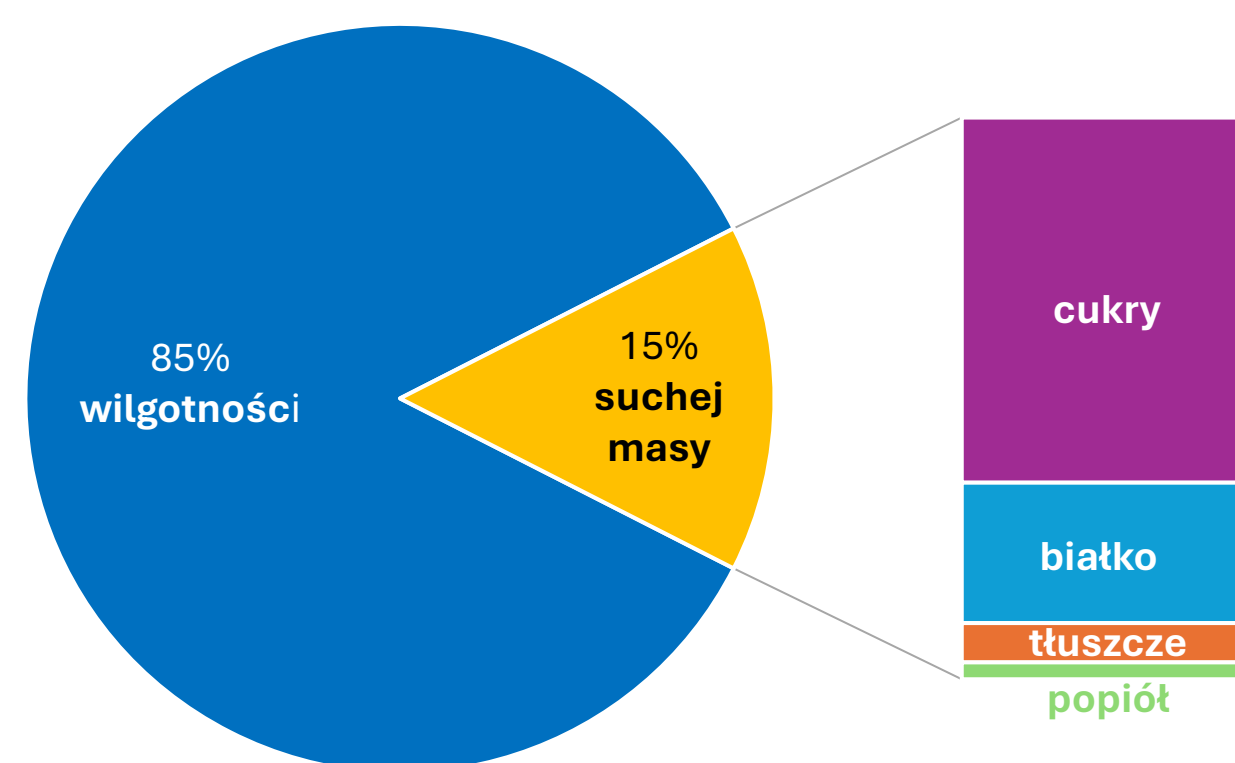
PO FERMENTACJI: Piwo dojrzewa w niskiej temperaturze, dzięki czemu staje się klarowne i nabiera pełnego smaku. Osad drożdżowy usuwa się, a gotowy trunek nasycza dwutlenkiem węgla. Następnie piwo jest rozlewane do butelek, beczek lub kegów.



Schemat technologiczny procesu powstawania piwa

(1) magazynowanie stodu, (2) śrutowanie stodu, (3) zacieranie stodu i filtracja powstałej brzeczki, (4) chmielenie i gotowanie brzeczki, (5) chłodzenie brzeczki, (6) fermentacja roztworu, (7) leżakowanie i filtracja młodego piwa, (8) pasteryzacja i rozlew piwa.

Skład



MŁÓTO BROWARNICZE



32,7 mln l piwa
UE, 2024



Polska odpowiada za 10,6% produkcji
piwa w UE w 2024 (3. miejsce)



6,4 mln kg młóta
UE, 2024

produkcja 100 l piwa
powoduje powstanie
20 kg stałych odpadów

Zastosowanie



pasza dla zwierząt, dodatek do diety człowieka



procesy biotechnologiczne i chemiczne



materiały budowlane



składowiska



Młóto browarnicze jest najpowszechniejszym produktem ubocznym powstającym w procesie warzenia piwa, stanowiącym 85% całkowitej masy produktów ubocznych. Składa się głównie z łusek słodowych, w połączeniu z fragmentami owocni oraz okrywy nasiennej ziaren.

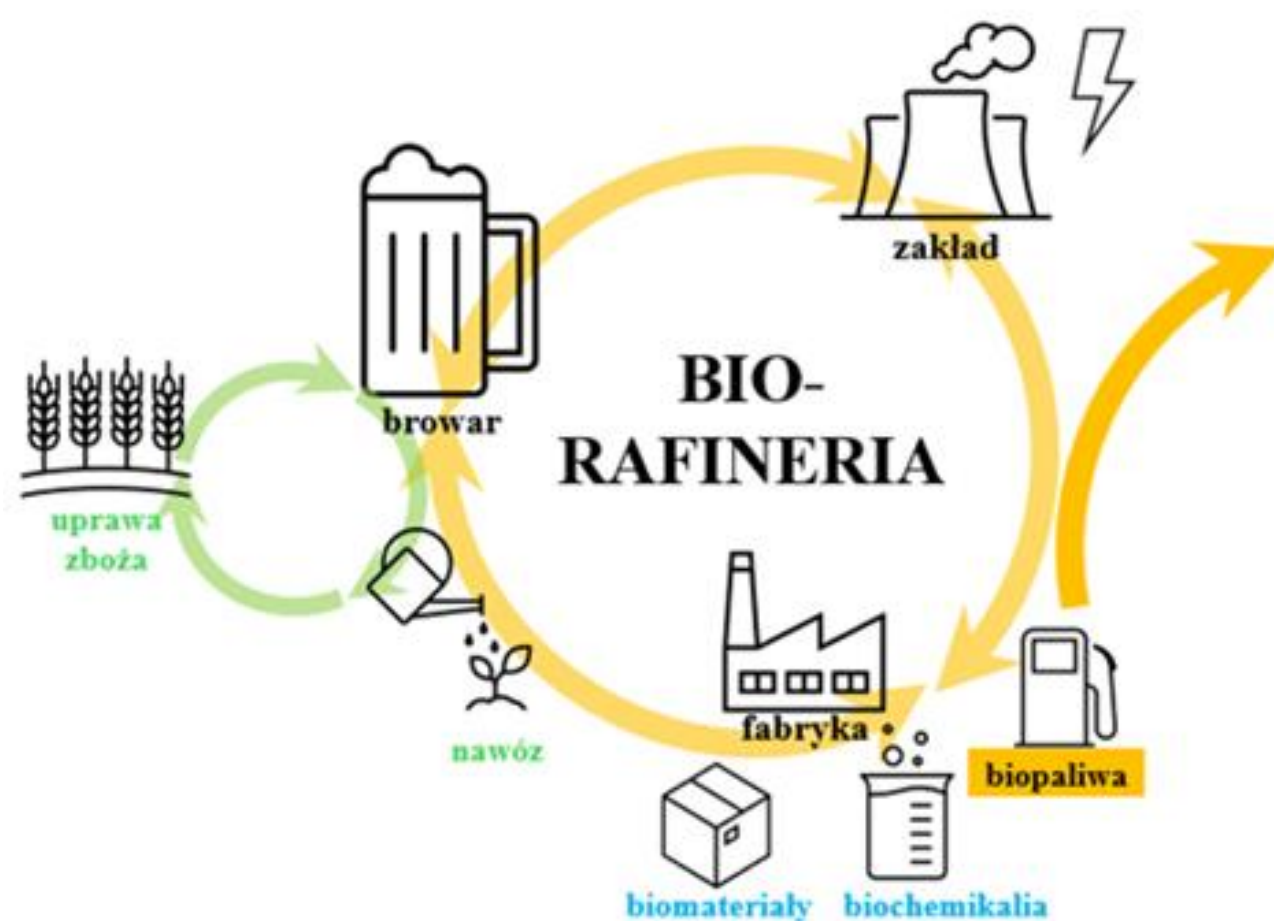
WPROWADZENIE

Zasady GOZ promują odzysk biomasy i zmniejszenie obciążenia środowiska.

Jednym z kierunków zagospodarowania młóta jest produkcja bioetanolu II generacji.

Biorafineria w browarze przetwarza odpady na bioetanol, biogaz i pasze, zmniejszając straty i zwiększając efektywność.

Młóto jako biomasa lignocelulozowa wymaga obróbki wstępnej w celu zwiększenia dostępności cukrów.



CEL

Celem badań było określenie wpływu obróbki wstępnej z wykorzystaniem hydrolizy zasadowej (NaOH) na efektywność fermentacji młóta browarniczego pochodzącego z różnych typów piwa oraz na uzysk bioetanolu.

MATERIAŁY

Rodzaj młóta	Browar	Skład wsadu
PS pszeniczne	Górnico-Hutniczy	stód pszeniczny, stód jęczmienny
PB porter battycki	Górnico-Hutniczy	stód jęczmienny, stód wiedeński, stód karmelowy, stód czekoladowy, stód pszeniczny
PI pils	Benedyktynów Tynieckich	stód pilzneński, stód pszeniczny, płatki owsiane

DROŻDŻE ZASTOSOWANE DO FERMENTACJI:

Szczep Kveik FY #23 (temperatura fermentacji ok. 21–28 °C; stopień odfermentowania ok. 70 – 80%)

WNIOSKI

- Hydroliza zasadowa zwiększa efektywność fermentacji i uzysk bioetanolu.
- Metoda nie wymaga dużych nakładów finansowych dzięki wykorzystaniu powszechnie dostępnego sprzętu oraz odczynników stosowanych w browarnictwie, takich jak NaOH używany do czyszczenia i dezynfekcji instalacji.
- Przetwarzanie młóta na bioetanol II generacji wspiera koncepcję GOZ (ograniczenie ilości odpadów).

METODYKA

1. OPERACJE NA GĘSTWIE DROŻDŻOWEJ:

Mikroskopowe badanie żywotności drożdży i wizualna ocena liczby drożdży w zawiesinie drożdżowej



badanie mikroskopowe
(barwienie błękitem
metylenowym)



wizualna ocena
(metoda rozcieńczeń
szeregowych)

2. PROCES GOTOWANIA MŁÓTA

Próbka kontrolna: młóto gotowano z wodą (1:4) przez 1h w temperaturze 97°C.

Próbka badawcza: młóto wymieszano z wodą (1:4) i dodano 0,5g NaOH. Przygotowaną mieszkankę gotowano w tych samych warunkach co próbkę kontrolną.

3. PRZYGOTOWANIE BRZECZKI DO FERMENTACJI
Uzyskaną brzecznię schłodzono, przefiltrowano z części stałych oraz wyregulowano jej pH kwasem mlekowym.

4. FERMENTACJA (7 dni, 25 °C)

5. POMIAR ETANOLU ZA POMOCĄ REFRAKTOMETRU ORAZ SPEKTROSKOPIA IR

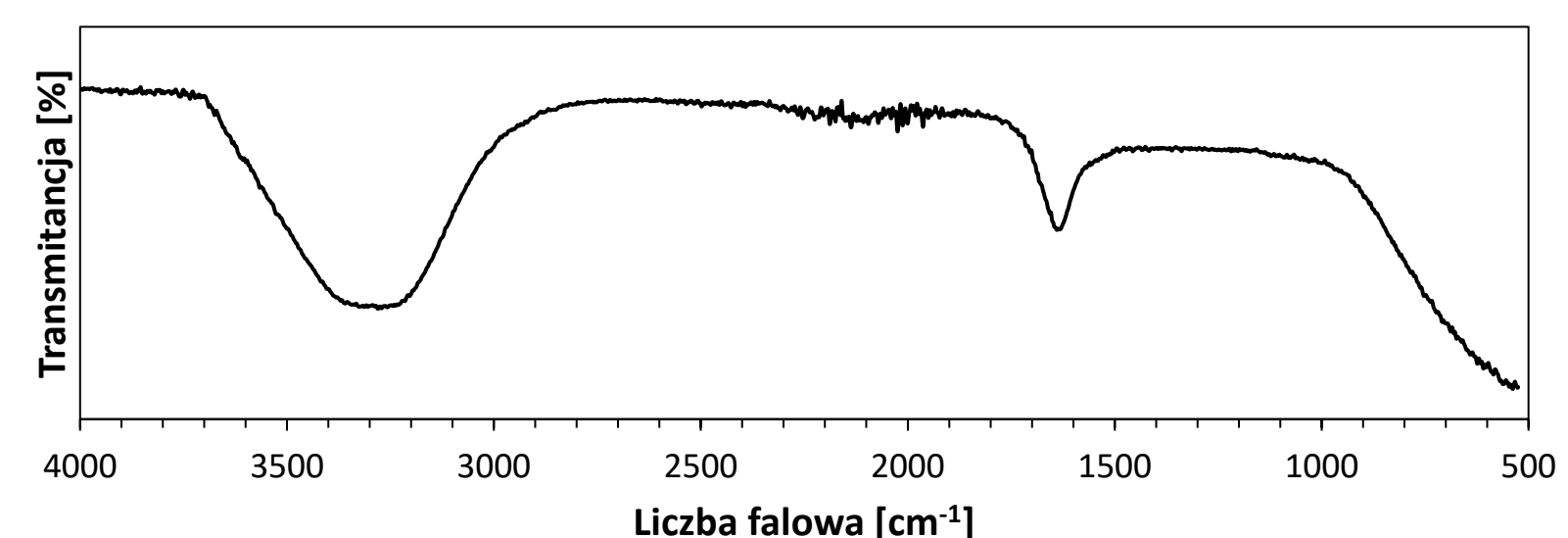
WYNIKI

PARAMETRY GĘSTWY DROŻDŻOWEJ:

Żywotność drożdży: 100%
Liczba komórek drożdży: $2 \cdot 10^{10}$ komórek/ml

WYNIKI FERMENTACJI:

PRÓBKĄ	PS	PB	PI
zawartość alkoholu w próbce kontrolnej [%]	5,5	3,0	4,5
zawartość alkoholu w próbce badawczej [%]	7,5	10,0	7,0



Widma IR **nie wykazały** pasm etanolu (zbyt niskie stężenie):
C=O przy 1260–1050 cm⁻¹ oraz O–H przy 3500–3200 cm⁻¹.