



Narodowe Centrum
Badań i Rozwoju



Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Projekt dofinansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju
oraz Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach Programu
Gekon – Generator Koncepcji Ekologicznych

Fermentacja metanowa

Prof. dr hab. inż. Zofia Sadecka

Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Środowiska



OŚRODEK BADAWCZO ROZWOJOWY NEMO sp. z o.o., ZIELONA GÓRA
Konferencja naukowo-techniczna:

„Nowatorska produkcja energii w biogazowni poprzez użycie pomiotu drobiowego z zamianą substratu roślinnego na algi”

Fermentacja metanowa

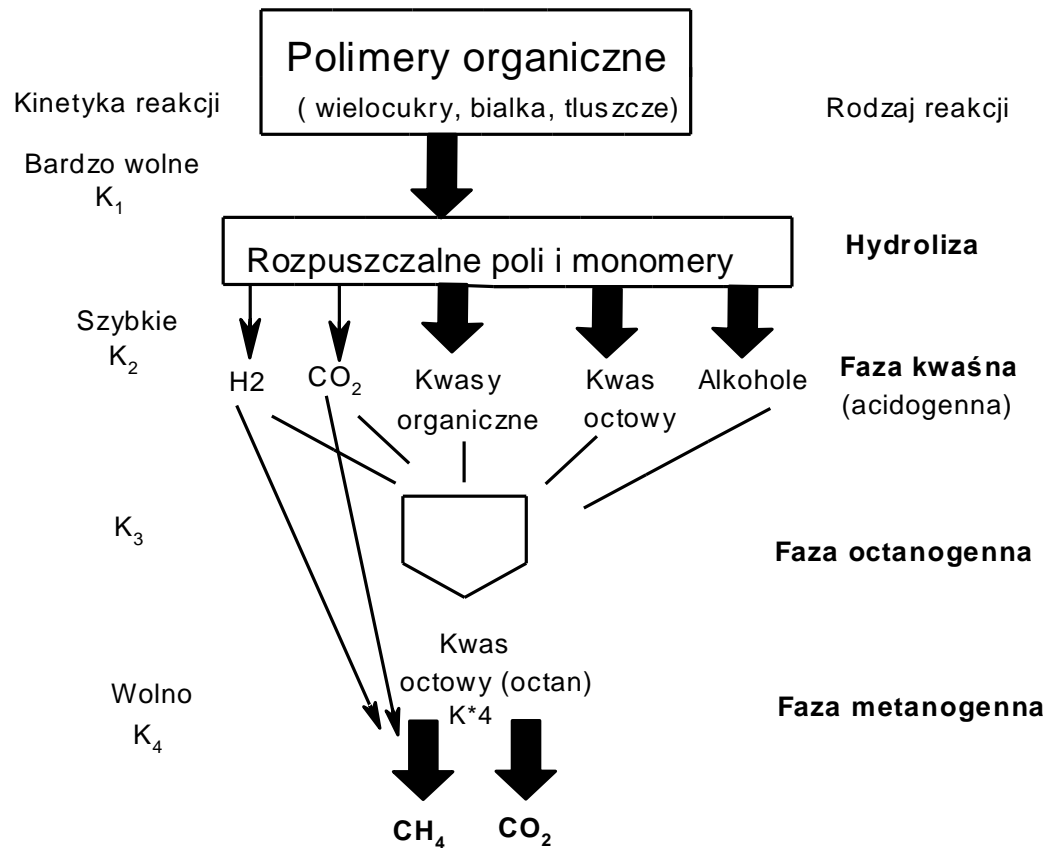
- Celem procesu fermentacji metanowej jest biochemiczna stabilizacja osadów/odpadów, czyli ich przemiana w nieszkodliwą i łatwą do odwodnienia substancję.

W procesie tym wielkocząsteczkowe substancje organiczne rozkładane są przy współdziałaniu różnych grup bakterii, do związków prostych, głównie CH_4 i CO_2 .

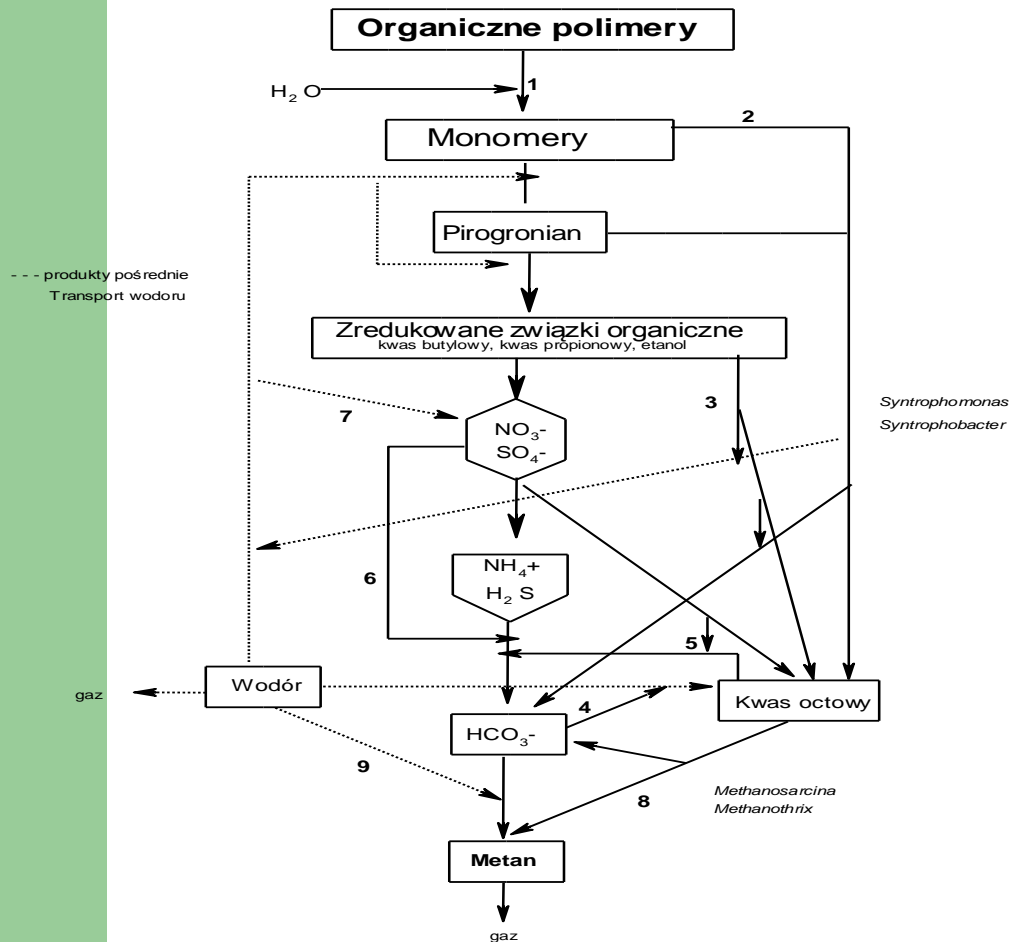


- Fermentacja metanowa z jednoczesną produkcją metanu, jako jedna z metod stabilizacji jest **procesem mającym wyraźną przewagę nad innymi procesami stabilizacji** ponieważ energia biogazu może być bezpośrednio wykorzystana technicznie.

Cztero-fazowy rozkład zanieczyszczeń w procesie fermentacji metanowej

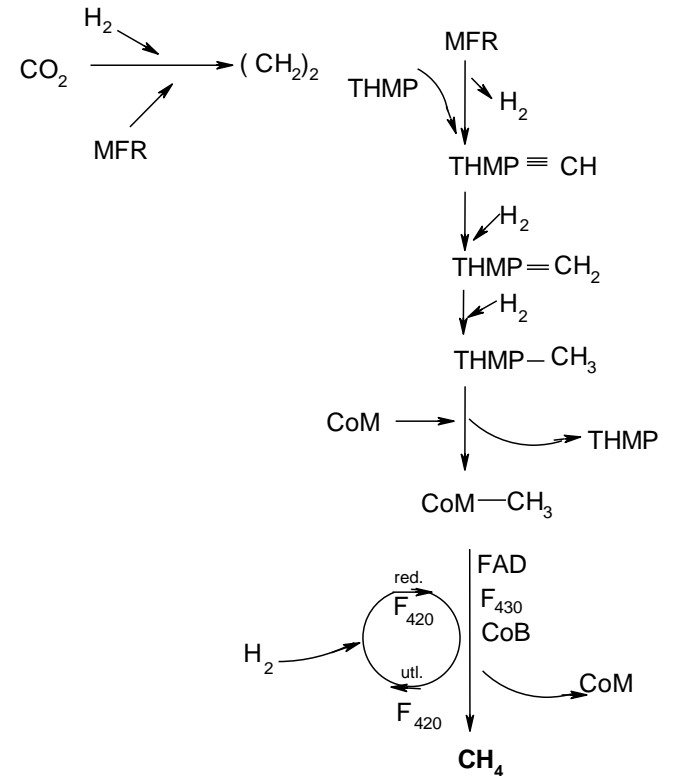
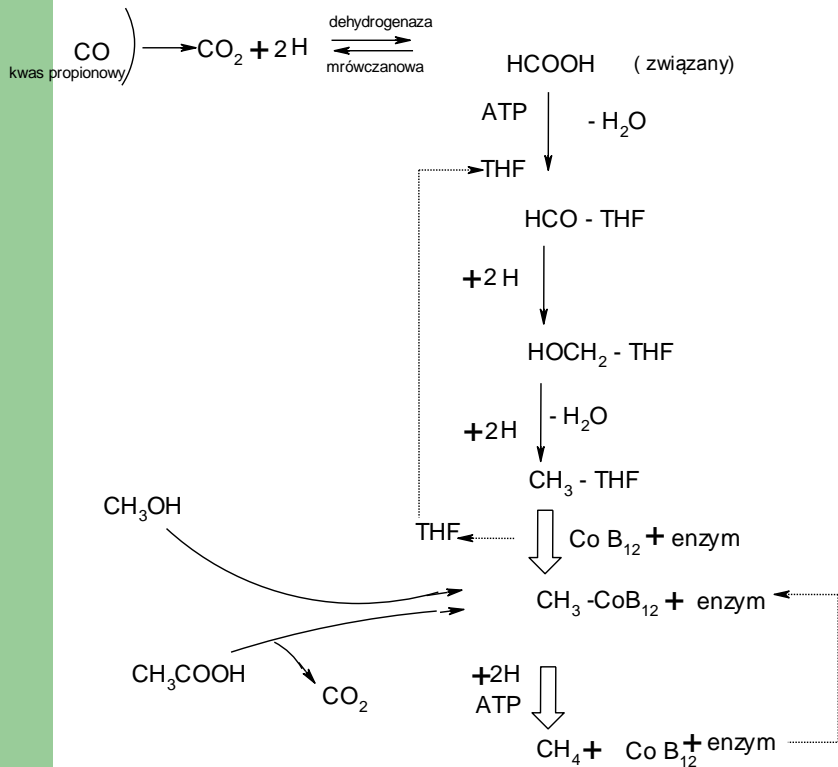


Algorytm przemian substratów w procesie fermentacji metanowej



1. Enzymatyczna hydroliza organicznych polimerów do organicznych monomerów: cukrów, kwasów tłuszczowych i aminokwasów.
2. Fermentacja organicznych monomerów do wodoru (lub do mrówczanu), wodorowęglanów, pirogronianu, alkoholi i niższych kwasów tłuszczowych (octanu, maślanu i propionianu).
3. Utlenianie zredukowanych produktów organicznych do wodoru (lub do mrówczanu), wodorowęglanów przez bakterie octanogenne produkujące wodór (OHPA).
4. Octanogenne oddychanie (rozkład) wodorowęglanów przez bakterie homoacetogenne.
5. Utlenianie zredukowanych produktów organicznych (alkoholi, kwasu masłowego i propionowego) do wodorowęglanów i octanu przez bakterie redukujące azotany (NRB) i siarczany (SRB).
6. Utlenianie octanu do wodorowęglanu przez bakterie typu NRB i SRB.
7. Utlenianie wodoru (lub mrówczanu) przez bakterie NRB i SRB.
8. Octanogenna fermentacja metanowa
9. Metanogenne oddychanie przez wykorzystanie wodorowęglanu.

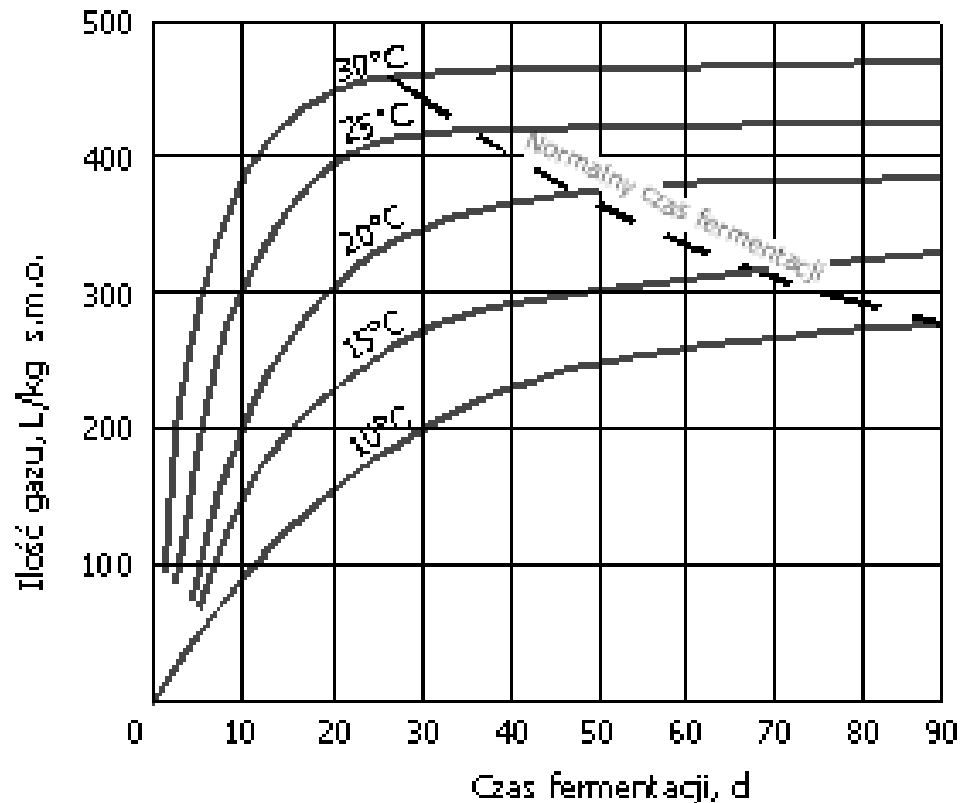
Metanogeneza



Podstawowe parametry procesu fermentacji metanowej osadów ściekowych

Parametr	Wartość optymalna	Wartość ekstremalna
Temperatura, °C	35 ± 2°C	20 – 40
pH	6,8 – 7,4	6,4 – 7,8
Potencjał utleniająco-redukcyjny, mV	-520 do -530	-490 do -550
Lotne kwasy organiczne, mgCH ₃ COOH/dm ³	50-500	>2000
Zasadowość, mg CaCO ₃ /dm ³	1500 – 3000	1000 – 5000

Ilość biogazu



Ilość gazu uzyskiwana z 1 kg suchej masy organicznej osadu doprowadzanego do komory fermentacyjnej wg Imhoffa

Ilość powstającego biogazu zależy od zawartości związków organicznych w substracie

Ilość powstającego metanu można również oszacować na podstawie usuwanego ładunku ChZT osadów, przyjmując w przybliżeniu, że

$$\text{ChZT}_{\text{zredukowane}} = \text{ChZT}_{\text{gazu}}$$

Wyrażając ilość metanu za pomocą ilości tlenu niezbędnego do jego utlenienia, zgodnie z reakcją: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ można obliczyć, że 1 mol CH_4 (22,4 Ndm³) jest utleniany przez dwie gramocząsteczki tlenu, tak więc $22,4/64 = 0,35$ dm³/gO₂, czyli : **1g zredukowanego ChZT odpowiada 0,35 dm³ CH₄.**

Z rozkładu związków organicznych powstaje $0,55 \div 0,65$ m³ metanu. Zakładając 65% udział metanu w biogazie, ilość produkowanego biogazu w przeliczeniu na usunięty ładunek związków organicznych wynosi **$0,9 \div 0,95$ m³/kg s.m.o.**

Produkcja biogazu z wybranych substratów

Substraty	kg	Produkty	
		CO ₂ ,dm ³	CH ₄ ,dm ³
Węglowodany	1	456	453
Białka	1	516	547
Tłuszcze	1	449	1097
Skrobia, celuloza	1	412,5	412,5
Osady ściekowe	1	292-369	560-683
Odpady komunalne	1	70-135	100-195

Ko-substraty

Rodzaj surowca	Całkowita ilość gazu (dm ³ /kg)		Ilość gazu po czasie: (dm ³ /kg s.m.)			Całkowity czas fermentacji d	CH ₄ %
	s.m.	s.m.o.	10 d	20 d	30 d		
Odchody:							
bydłęce - zima	237	317	56	115	158	117	80
lato	220	284	67	141	170	100	-
świńskie - zima	257	415	102	174	206	115	81
lato	387	476	177	276	312	119	-
końskie - zima	391	430	111	237	300	112	76
lato	366	421	115	242	293	119	-
Słoma z:							
owsa	381	400	231	301	336	77	-
żyta	328	343	139	216	259	78	-
jęczmienia	368	388	182	259	295	78	-
pszenicy	348	367	158	229	275	78	78
rzepaku	341	352	141	195	235	105	-
Obornik bydłęcy:							
mocz	7	10	6	7	7	150	-
kał	237	315	56	115	158	117	-
ze słomą żytnią	358	376	112	189	246	95	-
Nawóz	286	342	89	146	296	115	-
Roślinne odpady:							
liście rzepaku	418	496	366	397	418	29	-
liście buraków cukrowych	456	501	452	456	456	14	85
nać ziemniaczana	526	606	447	483	499	53	75
liście kukurydzy	485	514	365	440	465	52	83
Trawa: koniczyna							
trawa polna	413	445	375	407	413	28	-
	490	557	425	486	490	24	84

Proces fermentacji źródłem energii niekonwencjonalnej

Gaz fermentacyjny

- Wartość opałowa biogazu decyduje o możliwości wykorzystania go jako pełnowartościowego nośnika energetycznego. Zależy ona od procentowej zawartości metanu i wynosi od 5,5 do 7,5 kWh/m³ i jest 25 - 40% niższa od wartości opałowej gazu ziemnego.
- Ciepło spalania 1m³ metanu wynosi 36034 kJ/m³.
- Ciepło spalania gazu fermentacyjnego o zawartości 65% metanu- 22542 kJ/m³

a przykładowo:

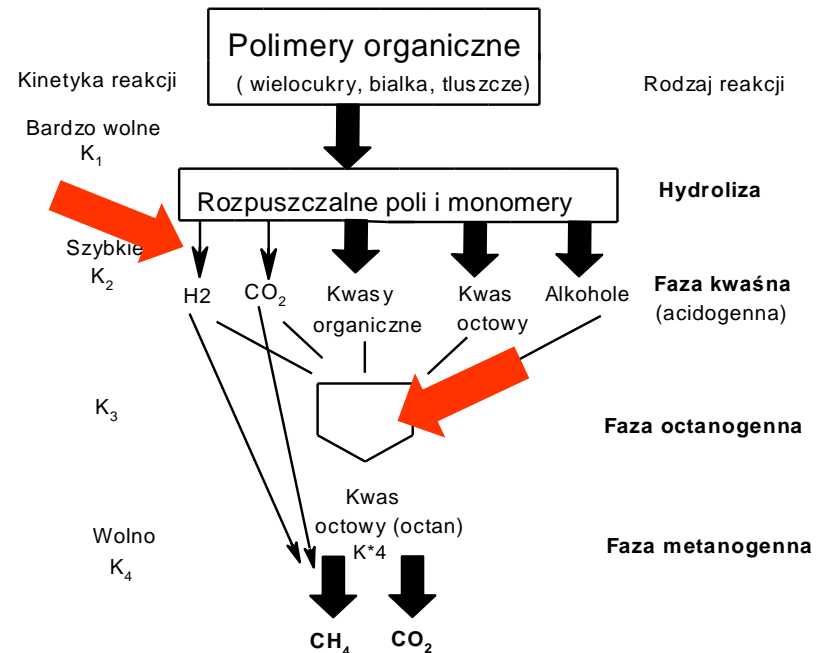
- ciepło spalania : gazu ziemnego: 37542 kJ/m³
- gazu miejskiego: 16760 kJ/m³

Proces fermentacji źródłem energii niekonwencjonalnej

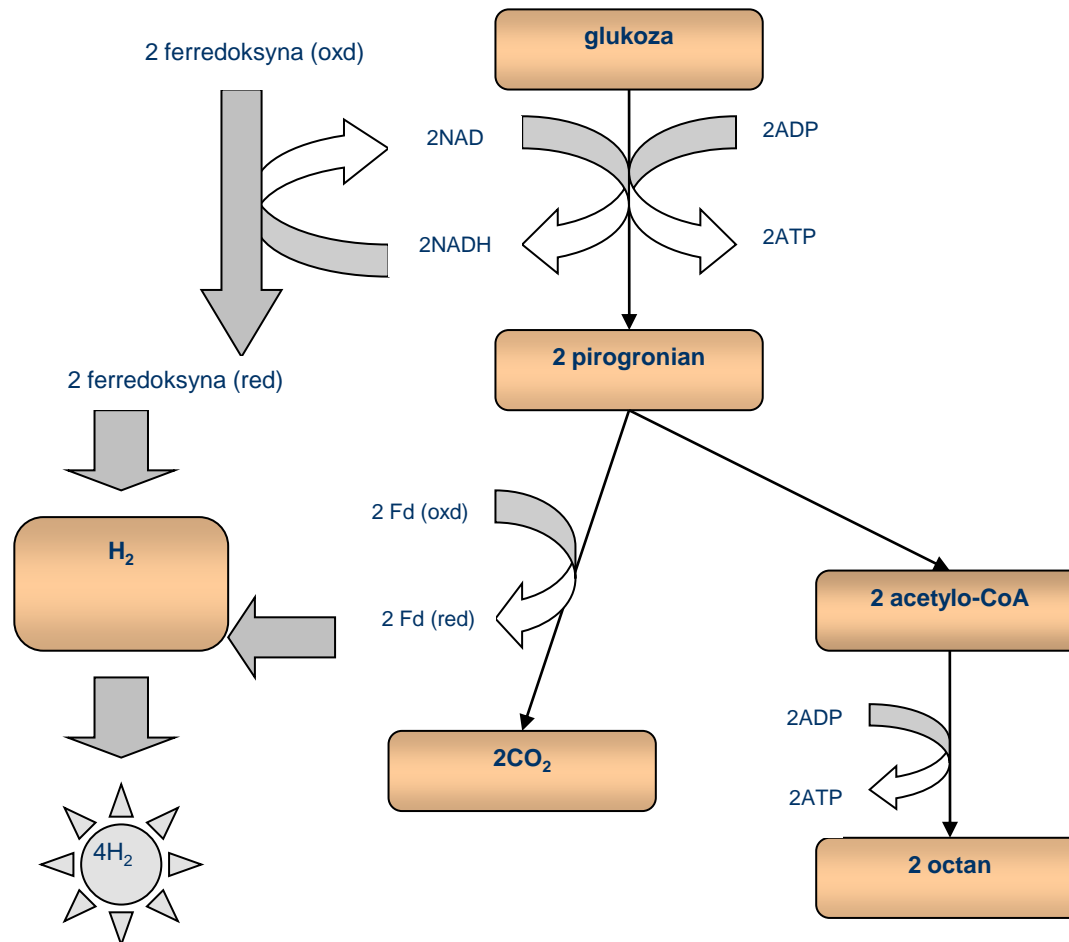
Odzysk wodoru w procesie fermentacji metanowej

W procesie fermentacji metanowej wodór powstaje

- w fazie II – acidogennej
- oraz w fazie III – octangennej.



Produkcja wodoru w procesie fermentacji octanowej

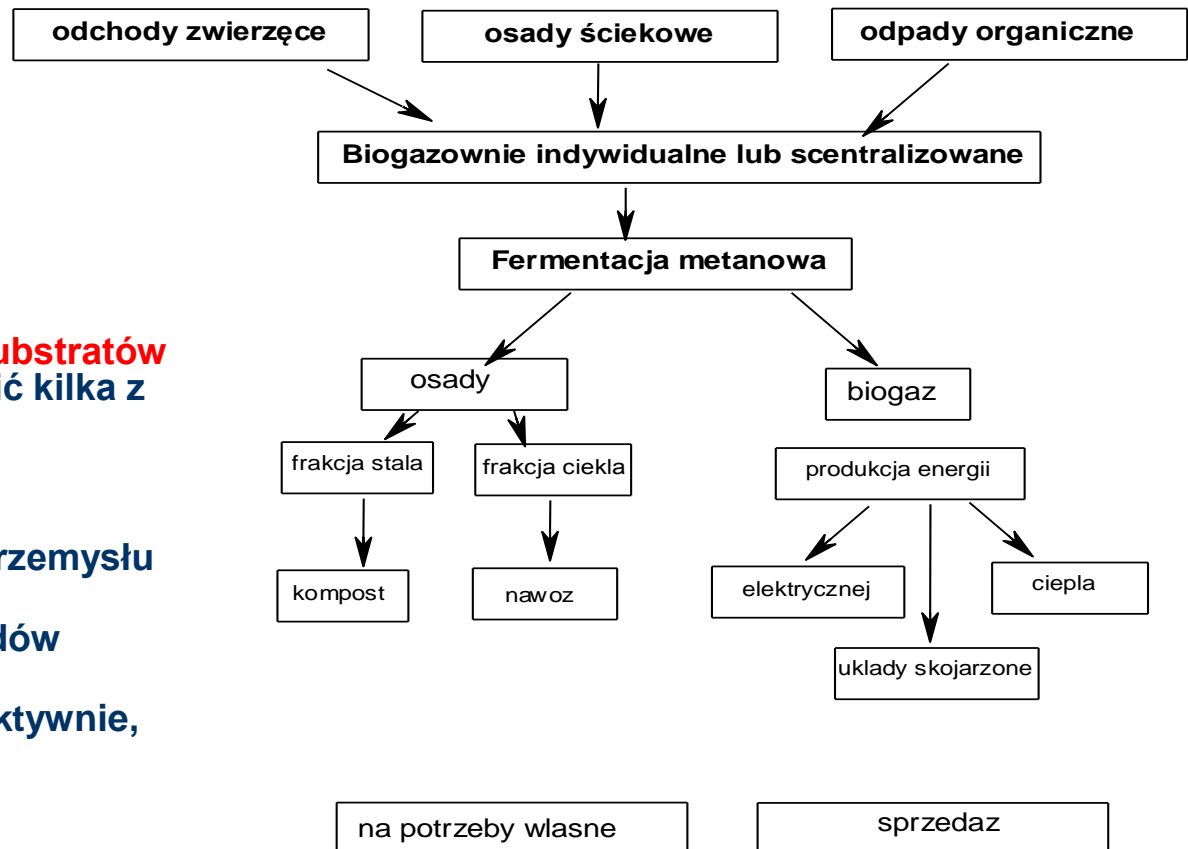


Przykładowe wydajności produkcji wodoru

organizm	Wydajność (mol H ₂ /mol glukozy)
Fermentacja mezofilowa (30-40°C)	
mieszane kultury	2,1
<i>Reminococcus albus</i>	2,4
<i>Clostridium butyricum</i>	2,2
<i>Enterobacter cloacale</i> (zmutowana)	3,4
<i>Citrobacter sp. Y19</i>	2,5
<i>C. butyricum</i>	2
<i>Clostridium sp.</i>	2,4

Fermentacja termofilowa		
<i>Acetothermicus paucivorans</i>	60°C	3,5
<i>Thermotoga sp.</i>	77°C	3,6
<i>Spirocheta thermophila</i>	65°C	3
<i>Pyrococcus furiosus</i>	90°C	3
<i>Spirocheta sp.</i>	65°C	2
<i>Pyrococcus furiosus</i>	90°C	3
<i>Thermatoga maritima</i>	80°C	4
<i>Acetomicrobium flavidum</i>	58°C	4
mieszane kultury	60°C	2,4

Możliwości pozyskiwania biogazu w procesie ko-fermentacji

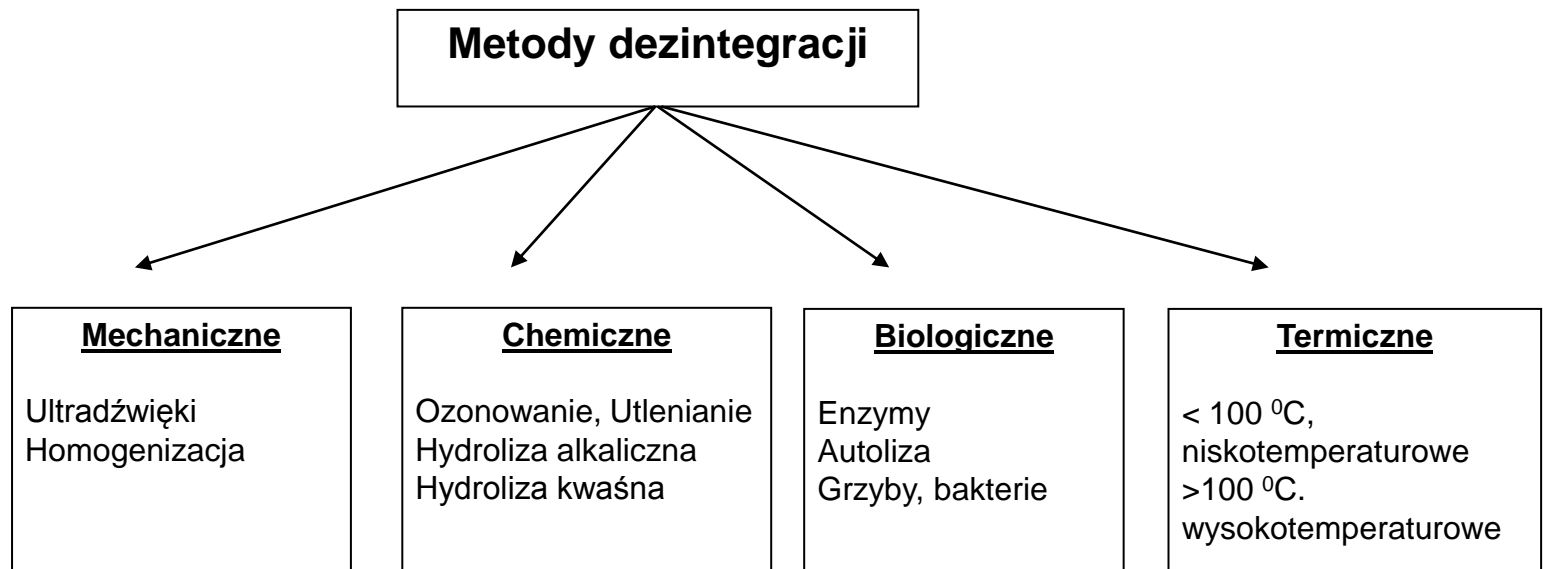


Spectrum wykorzystanych substratów zwiększa się. Można wymienić kilka z nich, a są to:

- osady ściekowe,
- gnojowica,
- odpady z rolnictwa lub przemysłu rolno-spożywczego,
- frakcje organiczne odpadów komunalnych,
- bioodpady zbierane selektywnie,
- odpady papiernicze,
- biomasa czy kiszonki.

Metody intensyfikacji procesu fermentacji metanowej

- Zwiększenie wydajności procesu hydrolizy było i jest przedmiotem wielu badań, gdyż jest ona fazą najwolniejszą i najbardziej ograniczającą szybkość procesu beztlenowego rozkładu biologicznego. **Wstępna obróbka** (przygotowanie, dezintegracja) substratu przed wprowadzeniem do komór fermentacyjnych ma na celu zwiększenie jego podatności na rozkład anaerobowy, przez rozpuszczenie, zmniejszenie rozmiarów cząstek związków organicznych, a także zmianę związków opornych na rozkład na substancję biodegradowalną.



Podsumowanie



- Intensywnie poszukuje się niekonwencjonalnych źródeł energii, a szczególnie duże zainteresowanie dotyczy wykorzystania różnych rodzajów odpadów.
- Stabilizacja osadów / odpadów w procesie fermentacji metanowej daje końcowy produkt uboczny którym jest **wysokoenergetyczny biogaz, co bardzo dobrze wpisuje się w OZE.**
- W Polsce ocenia się, że z około 50 instalacji wchodzących w skład oczyszczalni ścieków po ich wyremontowaniu i modernizacji **uzyska się 45 mln m³ biogazu rocznie.**
- **Z 1 m³ gazu o wartości energetycznej około 5,9 kWh można wyprodukować :**
 - około 2,0 kWh energii elektrycznej**
 - oraz ok. 3,0 kWh ciepła.**

Podsumowanie

- Techniki anaerobowe pozwalają nie tylko na rozwiązanie problemu ekologicznego związanego z osadami / odpadami , obniżają emisję metanu, ale również zapewniają korzyści ekonomiczne wynikające z produkcji wysokoenergetycznego gazu fermentacyjnego lub też wodoru.
- Wykorzystanie gazu fermentacyjnego do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła, może dać co najmniej samowystarczalność czyli autarkię energetyczną procesu oczyszczanie ścieków i przeróbki osadów ściekowych.

Podsumowanie

- Takie rozwiązania powinny stać się alternatywą dla polskich oczyszczalni, a ciągi technologiczne przeróbki osadów ściekowych/odpadów i wykorzystania biogazu jako niekonwencjonalnego źródła energii mogą być źródłem inspiracji w poszukiwaniu optymalnych rozwiązań w gospodarce odpadowej.

