



# Biogazownie rolnicze

Janusz Gołaszewski

**Bałtycki Klaster Ekoenergetyczny w Gdańsku**  
**Centrum Badań Energii Odnawialnej**  
**Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie**  
[janusz.golaszewski@uwm.edu.pl](mailto:janusz.golaszewski@uwm.edu.pl)

„...sami tylko **Biogazem** możemy zasilać cały świat...” – E.J. Nyns



- przyroda produkuje gaz wszędzie
- tam gdzie są ludzie lub zwierzęta, tam są pozostałości organiczne
- tam gdzie jest materia organiczna, stała lub płynna, tam naturalnie uruchamiane są procesy gnilne, których produktem jest biogaz – proces jest absolutnie naturalny



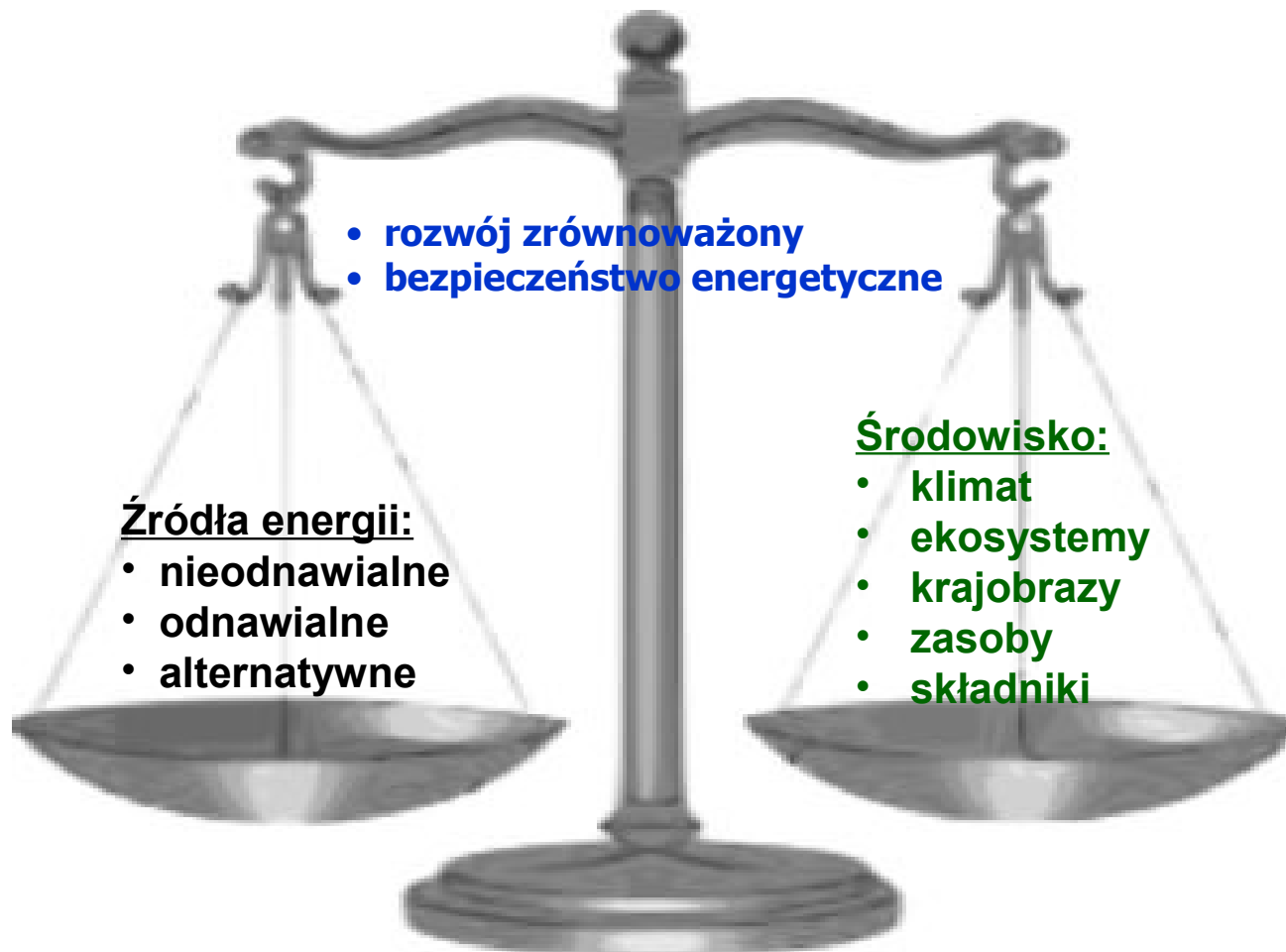
### Plan prezentacji:

2. Kontekst ogólny
3. Obieg biogazu
4. Proces fermentacji,
5. Fizyczne i biochemiczne uwarunkowania produkcji biogazu
6. Substrat biogazowni rolniczych
7. Uprawy dedykowane
8. Proces technologiczny
9. Podsumowanie

## Potrzeby energetyczne <ROLNICTWO> środowisko naturalne

### Plan prezentacji:

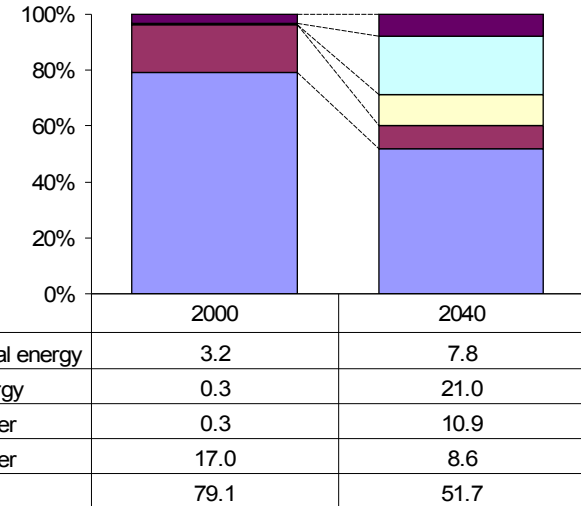
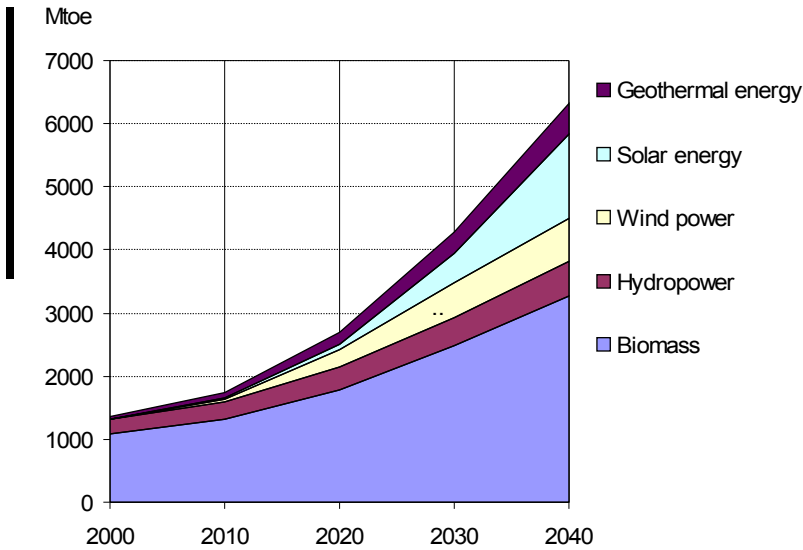
- **Kontekst ogólny**
- Obieg biogazu
- Proces fermentacji
- Uwarunkowania
- Substrat
- Uprawy dedykowane
- Proces technologiczny
- Podsumowanie



# (R)ewolucja energetyczna

- boom technologiczny w produkcji energii ze źródeł odnawialnych
- programy polityczne
  - UE: 3 x 20 do 2020
  - Organizacja Narodów Zjednoczonych: „Global Green New Deal”
  - USA: plan środowiskowy Obamy i Bidena
    - redukcja emisji węgla o 1/3 do 2020 roku i o 80% do roku 2050,
    - wzrost do 25% udziału energii ze źródeł odnawialnych
    - zeroemisyjne nowe budynki federalne i zwiększenie o 25-30% efektywności wykorzystania i poszanowania energii do 2030 roku
- certyfikaty energii ze źródeł odnawialnych (ROCs – Renewable Obligation Certificates)



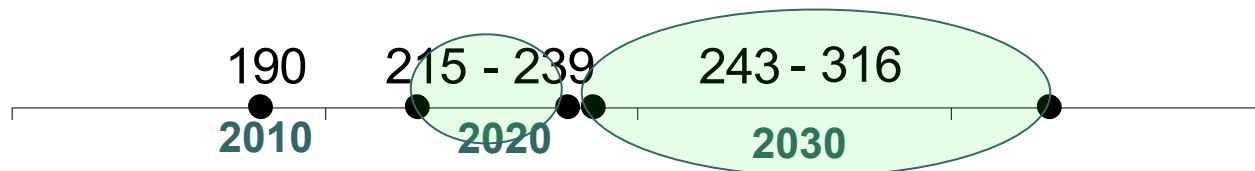


### Energia ze źródeł odnawialnych, a) Mtoe, b) udział procentowy.

(opracowanie własne na podstawie: The contribution of chosen RES to the world energy supply in 2004 – report. acc. to EREC, 2004)

#### UE:

- do 2030 r. łączne zużycie energii wzrośnie o 25%
- struktura zużycia energii odnawialnej
  - biomasa 65%
  - energia wodna (27%),
  - geotermalna (4%),
  - wiatru (3%)
  - słońca (1%).
- redukcja gazów cieplarnianych
  - w prognozach długoterminowych nawet o 80%



**Szacowany potencjał biomasy energetycznej 2 Mtoe**



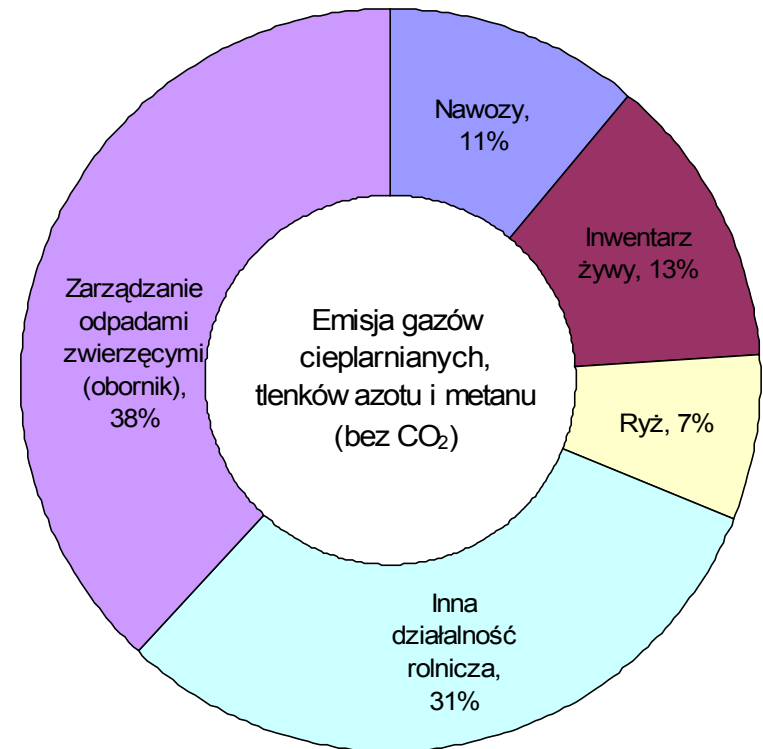
## Rolnictwo – 14% globalnej emisji GHG

**LCE GHG** z działalności rolniczej – wypadkowa:

- nakłady energetyczne (sprzęt, nawozy, etc.)
- przekształcanie terenów leśnych i użytków zielonych pod uprawy energetyczne

### Źródła emisji GHG z produkcji rolniczej

- nawozy – zwiększają efekt naturalnych procesów nitryfikacji i denitryfikacji w glebie i uwalniania tlenków azotu,
- inwentarz żywy ( $\text{CH}_4$ ),
- uprawa ryżu – rozkład anaerobowy masy organicznej ( $\text{CH}_4$ ),
- odpady zwierzęce ( $\text{CH}_4$ ),
- spalanie biomasy rolniczej (GHG),
- produkcja środków produkcji (GHG)
- zwiększenie powierzchni upraw energetycznych, np. deforestacja (GHG).



Źródła emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa.  
(opracowanie własne wg US EPA, 2000)

**Swoisty przymus środowiskowy**

**Produkcja biogazu jest korzystniejsza dla środowiska aniżeli jej zaniechanie**



# Biogaz - fakty

- **Historia** (Cheremisinoff i in. 1980)
  - starożytna Persja
  - 1859 – pierwsza biogazownia utylizująca odpady leprozorium (Bombaj)
  - 1895 – biogaz na potrzeby oświetlenia ulic (Exeter)
  - II wojna światowa – wykorzystanie jako paliwa transportowego
- **Produkcja biogazu w UE** (Eurobserv'ER 2008)
  - 12 toe/1000 mieszkańców
    - Niemcy (29), Wielka Brytania (27), Luksemburg (21), Dania (18), Austria (17)
- **Biogaz a dominujący substrat**
  - biogaz z produkcji rolniczej (Niemcy, Austria)
  - biogaz wysypiskowy (Wielka Brytania, Włochy, Hiszpania)
  - biogaz ze ścieków i osadów ściekowych (Francja, Czechy)
- **Wykorzystanie biogazu**
  - energia elektryczna (**kogeneracja** energii 60%)
  - programy rozwoju technologii włączania **biogazu do sieci gazowej** (Niemcy – zakłada się 10% udział biometanu w sieci gazowej do 2030 r.)
  - **transport** (Szwecja – obecnie ok. 20%)
- **POLSKA**
  - 2 toe/1000 mieszkańców - dominuje produkcja biogazu wysypiskowego, ścieków i z osadów ściekowych.





# Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r.

## w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych<sup>1</sup>

Określa i ustanawia:

- wspólne ramy dla promowania energii ze źródeł odnawialnych
- **obowiązkowe krajowe cele ogólne** w odniesieniu do całkowitego udziału energii ze źródeł odnawialnych **w końcowym zużyciu energii brutto** i w odniesieniu do udziału energii ze źródeł odnawialnych **w transporcie**
- zasady dotyczące
  - statystycznych transferów energii między państwami członkowskimi,
  - wspólnych projektów między państwami członkowskimi i z państwami trzecimi,
  - **gwarancji pochodzenia**,
  - procedur administracyjnych,
  - informacji i szkoleń,
  - **dostępu energii ze źródeł odnawialnych do sieci elektroenergetycznej.**
- **kryteria zrównoważonego rozwoju dla biopaliw i biopłynów**

<sup>1</sup>Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.





# Założenia programu rozwoju biogazowni rolniczych

(MRiRW, maj 2009, m.in. na podstawie opracowania IE-RE pod red. J. Popczyka)

## Uzasadnienie:

- **poprawa bezpieczeństwa energetycznego** poprzez **dywersyfikację źródeł dostaw i miejsc wytwarzania** nośników energii;
- realizacja działań zmierzających do **poprawy stanu środowiska naturalnego**;
- zabezpieczenie dostaw tego nośnika energii dla mieszkańców wsi i małych miasteczek oddalonych od gazowych sieci przesyłowych i dystrybucyjnych;
- **wykorzystanie dostępnego potencjału energetycznego**, jakim dysponuje rolnictwo krajowe;
- wytwarzanie istotnych ilości energii z surowców **nie konkurujących z rynkiem żywności**, określanych jako: produkty uboczne rolnictwa, płynne i stałe odchody zwierzęce oraz produkty uboczne i pozostałości przemysłu rolno-spożywczego nie wymagające termicznego przetworzenia lub utylizacji;
- **wzrost przychodów rolniczych** na skutek wykorzystania produktów, które dotychczas w większości nie miały cech towaru i w wielu przypadkach stwarzały problemy z ich racjonalnym zagospodarowaniem;
- zmniejszenie negatywnego wpływu energetyki i rolnictwa na środowisko poprzez ułatwienie realizacji nałożonego na te podmioty obowiązku ochrony środowiska związanego z **ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych**;
- **pozyskanie** znacznych ilości wysokiej jakości przyjaznych dla środowiska **nawozów organicznych** możliwych do zastosowania lokalnie w formie pozostałości pofermentacyjnych substratu pochodzenia rolniczego oraz w formie granulatu, co stwarza możliwość transportu do odbiorców zlokalizowanych w znacznej odległości od miejsca wytworzenia;
- **energetyczne wykorzystanie pozostałości i odpadów organicznych**, które podlegając niekontrolowanym procesom gnilnym emitują do środowiska gazy określane jako cieplarniane.

## Wdrożenie programu pozwoli na zrealizowanie zamierzeń:

- Do roku 2013 produkcja biogazu >1 mld m<sup>3</sup> rocznie;
- Do roku 2020 produkcja biogazu >2 mld m<sup>3</sup> rocznie;
- stworzenie warunków do budowy instalacji biogazowych oraz rynku urządzeń, maszyn i usług towarzyszących.



# Regulacje prawne

## Zmiany w ustawach oraz w rozporządzeniach:

- prawne przesłanki umożliwiające dostarczenie biogazu do sieci dystrybucyjnych oraz nałożenie na operatorów sieci obowiązku zakupu biogazu lub wytwarzanej z niego energii elektrycznej lub ciepłej
- wprowadzenie świadectwa pochodzenia dla biogazu rolniczego
- w ustawie o odpadach
- w ustawie o nawozach i nawożeniu
- w Rozporządzeniu Ministra Środowiska – objęcie podmiotów posiadających małe instalacje biogazowe możliwością uczestnictwa w handlu emisjami
- w Polskiej Klasyfikacji Działalności – objęcie działalności produkcji biogazu
- w ustawie o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym określającym, że biogazownie i siłownie biogazowe są inwestycjami celu publicznego



# Podstawy prawne

- Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 roku **Prawo energetyczne** (Dz. U. 1997 Nr 54, poz. 348 z późn. zm.)
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku **Prawo ochrony środowiska** (Dz. U. 2001 r. Nr 62, poz. 627 z późn. zm.)
- Ustawa z dnia 10 lipca 2007 roku **o nawozach i nawożeniu** (Dz. U. 2007 Nr 147, poz. 1033)
- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku **o odpadach** (Dz. U. 2007 Nr 39, poz. 251 tekst jednolity)
  - Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 roku w sprawie **katalogu odpadów** (Dz. U. 2001 Nr 112, poz. 1206)
  - Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 listopada 2007 r. w sprawie **procesu odzysku R10** (Dz.U. 2007 Nr 228. poz. 1685)
  - Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 kwietnia 2006 r. w sprawie **listy rodzajów odpadów, które posiadacz odpadów może przekazywać osobom fizycznym lub jednostkom organizacyjnym nie będącym przedsiębiorcami, oraz dopuszczalnych metod ich odzysku** (Dz.U. 2006 Nr 75, poz. 527)
  - Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie **warunków**, jakie należy spełnić **przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi, oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego** (Dz. U. 2006 Nr 137, poz. 984)



## Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23 lutego 2010 r.

zmieniające rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii

(Dz. U. Nr 34, poz. 182).

### Biomasa:

- stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z **produktów, odpadów i pozostałości** z produkcji rolnej oraz leśnej, a także przemysłu przetwarzającego ich produkty,
- części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji,
- oraz ziarna zbóż nie spełniające wymagań jakościowych dla zbóż w zakupie interwencyjnym określonych w art. 4 rozporządzenia Komisji (WE) nr 687/2008 z dnia 18 lipca 2008 r. ustanawiającego procedury przejęcia zbóż przez agencje płatnicze lub agencje interwencyjne oraz metody analizy do oznaczania jakości zbóż (Dz. Urz. UE L 192 z 19.07.2008, str. 20) i ziarna zbóż, które nie podlegają zakupowi interwencyjnemu.



## USTAWA z dnia 8 stycznia 2010 r.

o zmianie ustawy Prawo energetyczne oraz o zmianie niektórych innych ustaw

### Biogaz rolniczy:

paliwo gazowe otrzymywane z:

- **surowców** rolniczych,
- **produktów ubocznych** rolnictwa,
- płynnych lub stałych **odchodów** zwierzęcych,
- produktów ubocznych lub **pozostałości** przemysłu rolno-spożywczego
- biomasy leśnej

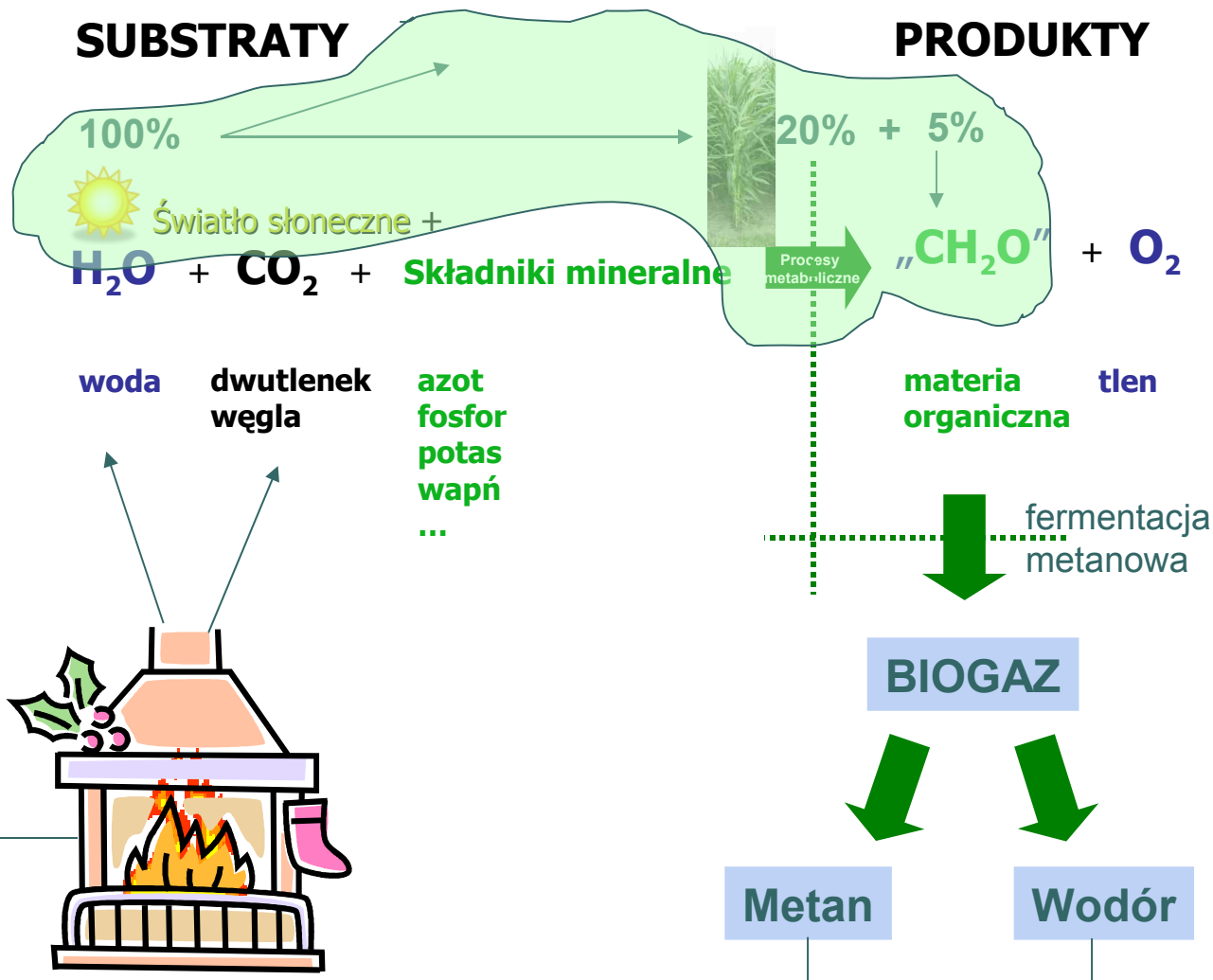
w procesie fermentacji metanowej (**brak definicji!**)

(Art.3 pkt.20a Prawa energetycznego)

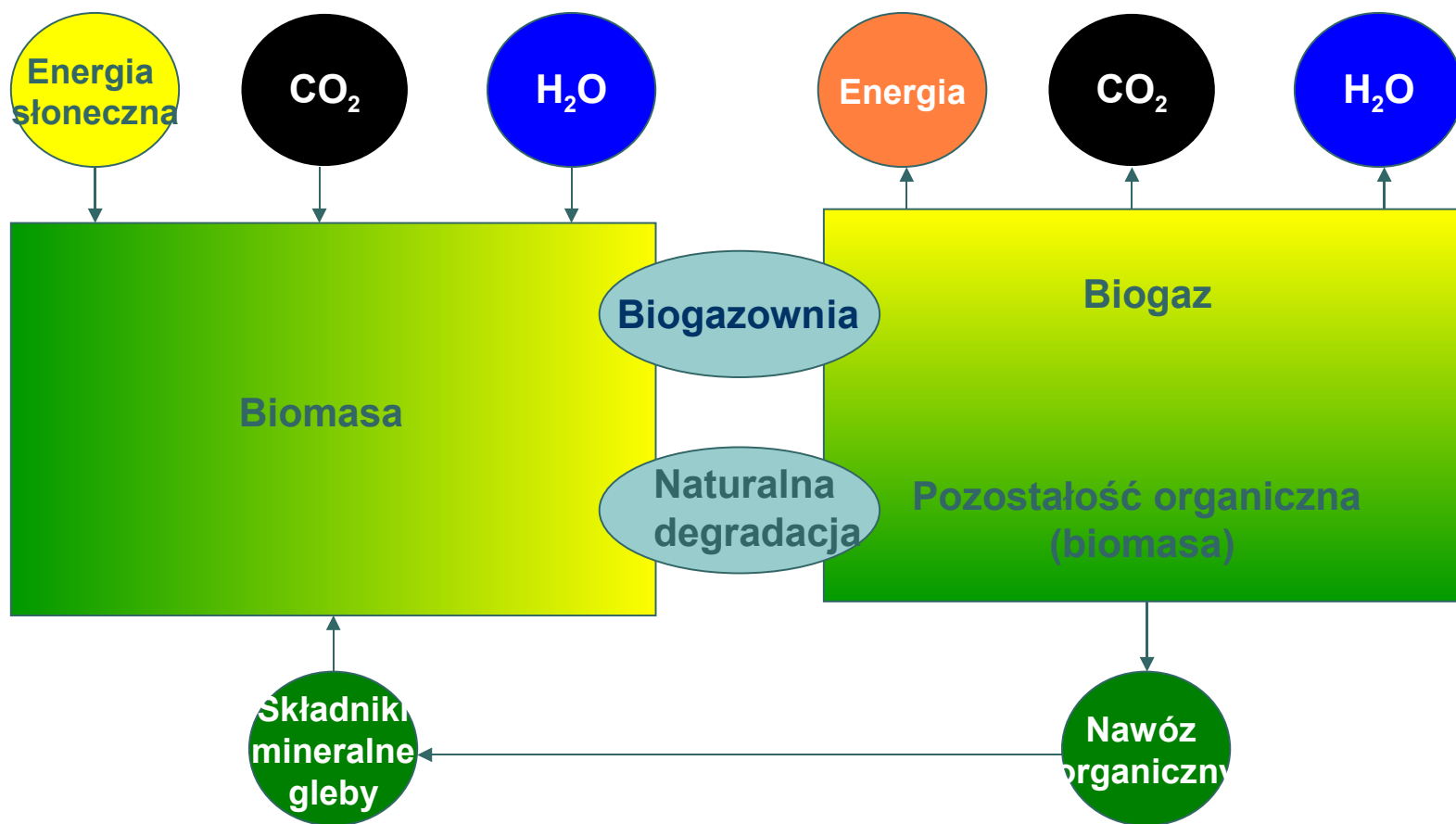
# Energia słoneczna – **Fotosynteza** – Biomasa – Metan – Energia

## Plan prezentacji:

- Kontekst ogólny
- **Obieg biogazu**
- Proces fermentacji
- Uwarunkowania
- Substrat
- Uprawy dedykowane
- Proces technologiczny
- Podsumowanie

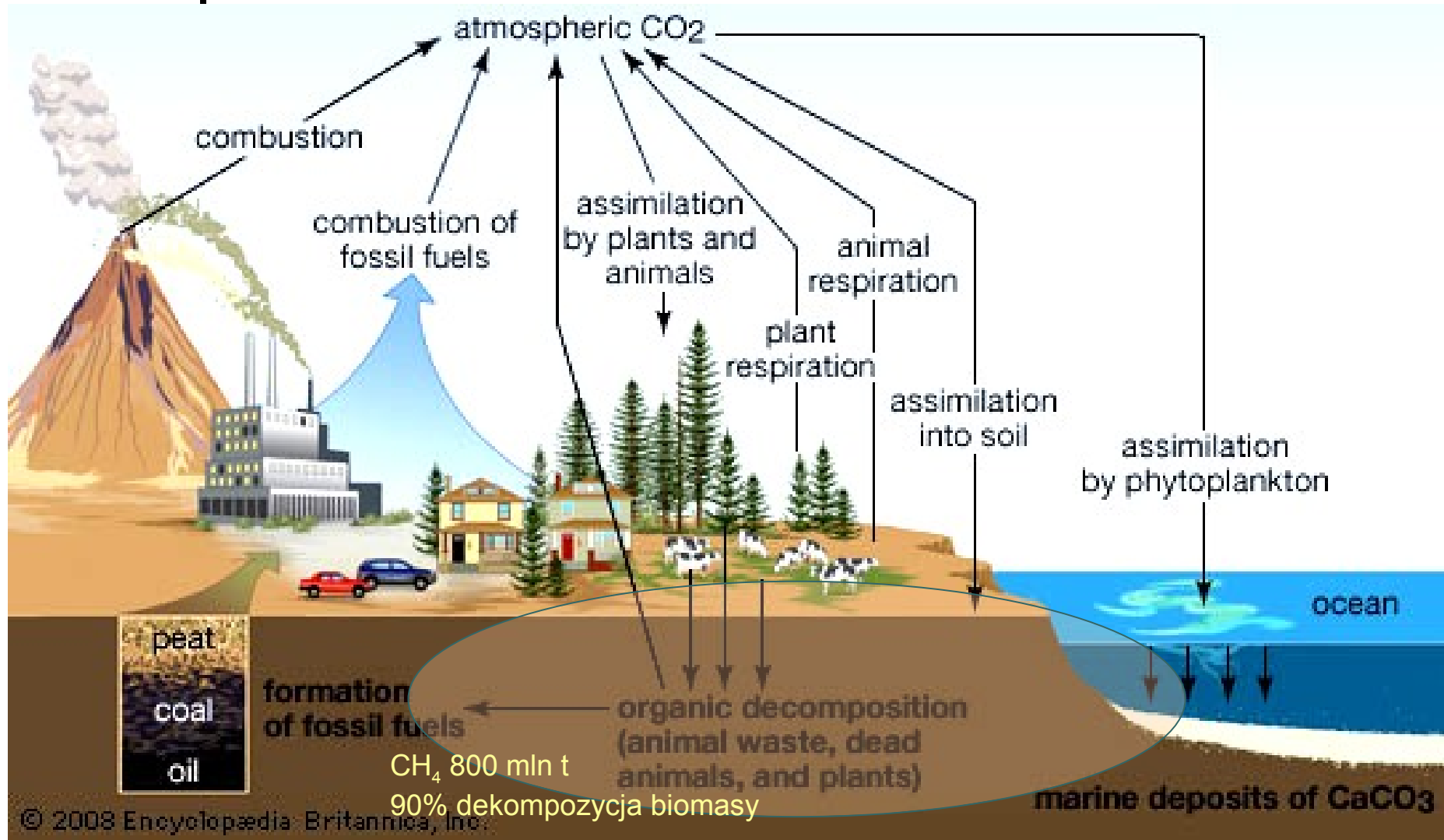


# Obieg biogazu





# Biogeochemiczny obieg węgla w środowisku



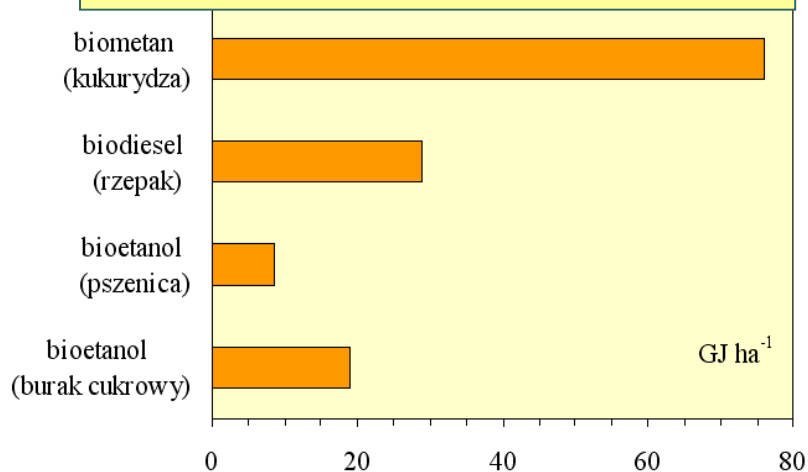
# Biogaz

- metan 40-70%
- dwutlenek węgla 30-50%
- inne gazy do 10% (siarkowodór, wodór, tlenek węgla, tlen, azot, ...)
- kaloryczność 20-26 MJ/m<sup>3</sup> ~ 5-6 kWh/m<sup>3</sup>

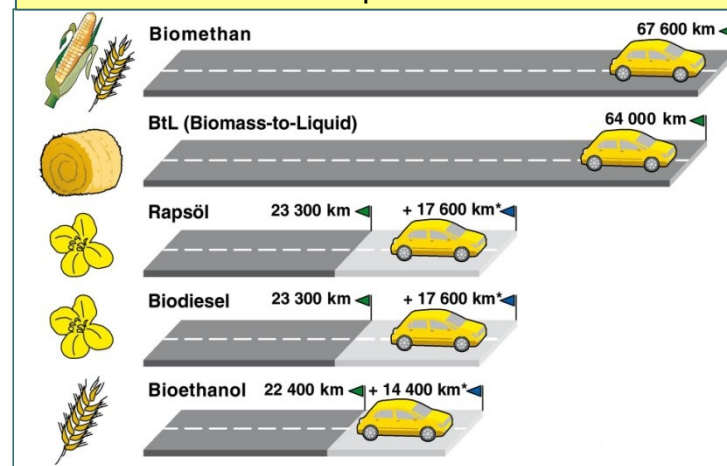
Wartość opałowa biogazu na tle paliw kopalnych i drewna opałowego

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa	Równoważnik 1 m <sup>3</sup> biogazu o wartości opałowej 26 MJ/ m <sup>3</sup>
Biogaz	20-26 MJ/ m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup>
Gaz ziemny	33 MJ/ m <sup>3</sup>	0.7 m <sup>3</sup>
Olej napędowy	42 MJ/ l	0.6 l
Węgiel kamienny	23 MJ/ kg	1.1 kg
Drewno opałowe	13 MJ/ kg	1.95 kg

Wydajność energetyczna netto biometanu z 1 ha na tle innych biopaliw.



Wydajność biometanu z 1 ha na tle innych biopaliw



# Proces powstawania biogazu z materii organicznej

**Substrat organiczny**

**1. Hydroliza - rozkład polimerów**

**2. Acidogeneza - fermentacja kwaśna**

**3. Acetogeneza - powstawanie substratów metanogennych**

**4. Metanogeneza - wytwarzanie biogazu**

Węglowodany  
Tłuszcze  
Białka

Cukry proste,  
Alkohole, wyższe kwasy tłuszczowe  
Aminokwasy

Kwasy karboksylowe (walerianowy, mrówczanowy, propionowy, ...)  
Alkohole  
Gazy

Octany  
CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>

Biogaz

**bakterie hydrolityczne i fermentacyjne**

celulaza  
celobiasa  
ksylanaza  
amylaza  
lipaza  
proteaza

**bakterie fermentacyjne**

*Bacteriocides* (an.)  
*Clostridia* (an.)  
*Bifidobacteria* (an.)  
*Streptococci* (f. an.)  
*Enterobacteriaceae* (f. an.)

**bakterie acetogenne**

autotrofy, heterotrofy  
*Acetobacterium woodii*  
*Clostridium aceticum*

**bakterie metanogenne**

*Methanosarcina barkerei*  
*Metanococcus mazei*  
*Methanotrix soehngeni*

70% wykorzystuje kwas octowy  
30% wodór i dwutlenek węgla



# Proces fermentacji

## Plan prezentacji:

- Kontekst ogólny
- Obieg biogazu
- **Proces fermentacji**
- Uwarunkowania
- Substrat
- Uprawy dedykowane
- Proces technologiczny
- Podsumowanie

## ○ fermentacja kwaśna

- mikroorganizmy rozkładają związki węgla do  $\text{CO}_2$ , a potrzebny tlen jest pobierany z rozszczepiania innych związków oraz wody:
  - rozkładane są głównie węglowodany (nie zw. azotu)
  - uwalniany jest wodór,  $\text{CO}_2$ , nieznaczne ilości  $\text{CH}_4$  i  $\text{H}_2\text{S}$ , a z rozkładu tłuszczów uwalniane są kwasy tłuszczowe (nazwa fazy – odczyn kwaśny)

## ○ fermentacja metanowa

- rozkład lotnych kwasów tłuszczowych do  $\text{CO}_2$  i metanu, odczyn zmienia się na zasadowy
  - rozkładane są także związki azotowe, wytwarza się produkt przejściowy – amoniak



## Wyjściowe założenia projektowe biogazowni

### Plan prezentacji:

- Kontekst ogólny
- Obieg biogazu
- Proces fermentacji
- **Uwarunkowania**
- Substrat
- Uprawy dedykowane
- Proces technologiczny
- Podsumowanie

Kryterium	Proces fermentacji
Liczba etapów procesu technologicznego	Jednostopniowy <b>Dwustopniowy</b> Wielostopniowy
Temperatura procesu technologicznego	Psychrofilowy (10-25°C) <b>Mezofilowy (32-38°C)</b> Termofilowy (52-55°C)
Tryb napełniania substratem	Wsadowy Quasi-ciągły <b>Ciągły</b>
Zawartość suchej masy w substratach	Fermentacja sucha (>15%) <b>Fermentacja mokra (&lt;15%)</b>

### Wybrane parametry

**pH** 5.5-6.5 faza kwaśna i 6.8-7.2 faza metanowa

**C:N:P:S**=600:15:5:1; **ChZT:N:P:S**=800:5:1:0.5

**C:N** – 15:1-30:1

**Substrat:Woda (obornik)** – 1:1 (~8-10% s.m.)

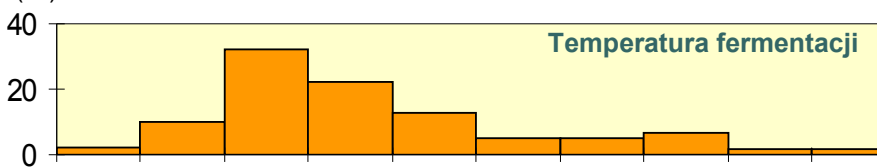
**Mikroelementy:** żelazo, nikiel, kobalt, selen, molibden i wolfram (w większych stężeniach toksyczne)

**Inhibitory:** antybiotyki, pestycydy, syntetyczne detergenty, rozpuszczalne sole miedzi, cynku, niklu, rtęci, chromu

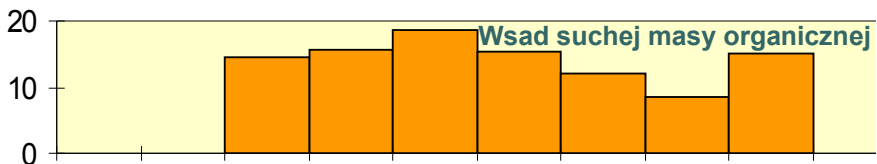
**W zależności od środowiska fermentacji:** sole sodu, potasu, wapnia i magnezu – stymulowanie lub hamowanie

# Wybrane charakterystyki stosowanych rozwiązań technologicznych 63 biogazowni w Niemczech powstałych w latach 2007-2009 (łącznie 4336 biogazowni – 1597 MW<sub>el.</sub>)

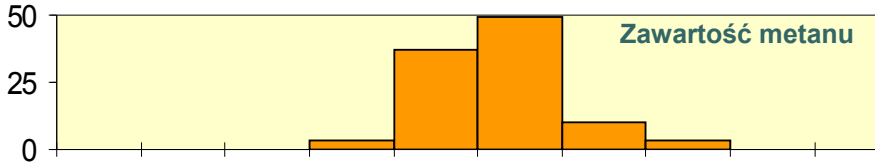
% (°C) <36 36-38 38-40 40-42 42-44 44-46 46-48 48-50 50-52 52-54



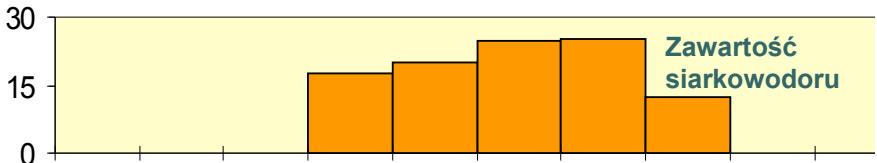
% (kg VS m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>) 1-1.5 1.5-2 2-2.5 2.5-3 3-3.5 3.5-4 >4



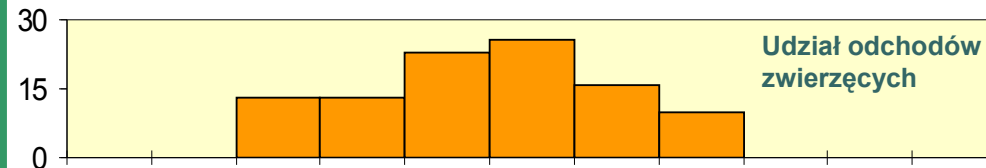
% (CH<sub>4</sub>) <50 50-52 52-54 54-56 >56



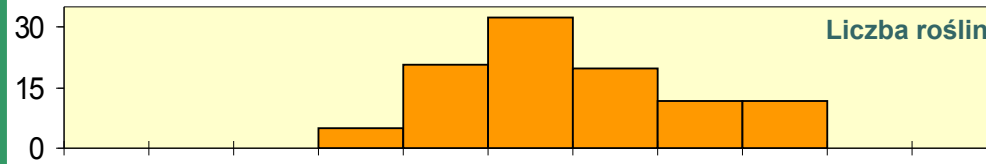
% (H<sub>2</sub>S) <50 50-100 100-150 150-200 >200



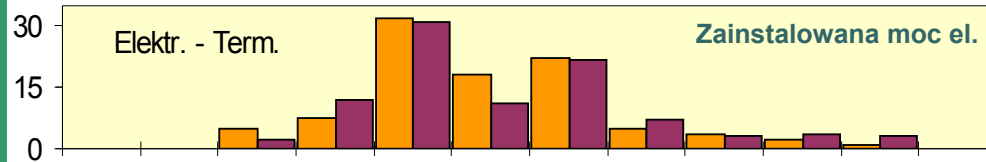
% (odchody zw.) 0 0-10 10-30 30-50 50-75 75-100



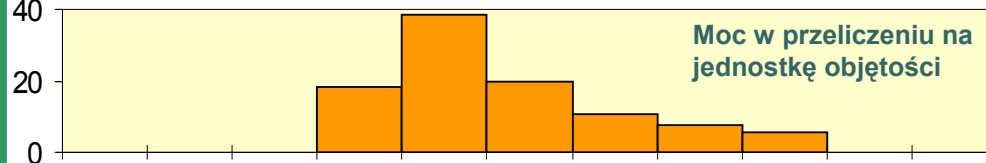
% (liczba roślin) 0 1 2 3 4 5 >5



% (zainst. moc el.) <100 <100> <250> <300> <500> <600> <750> <1000> <2000

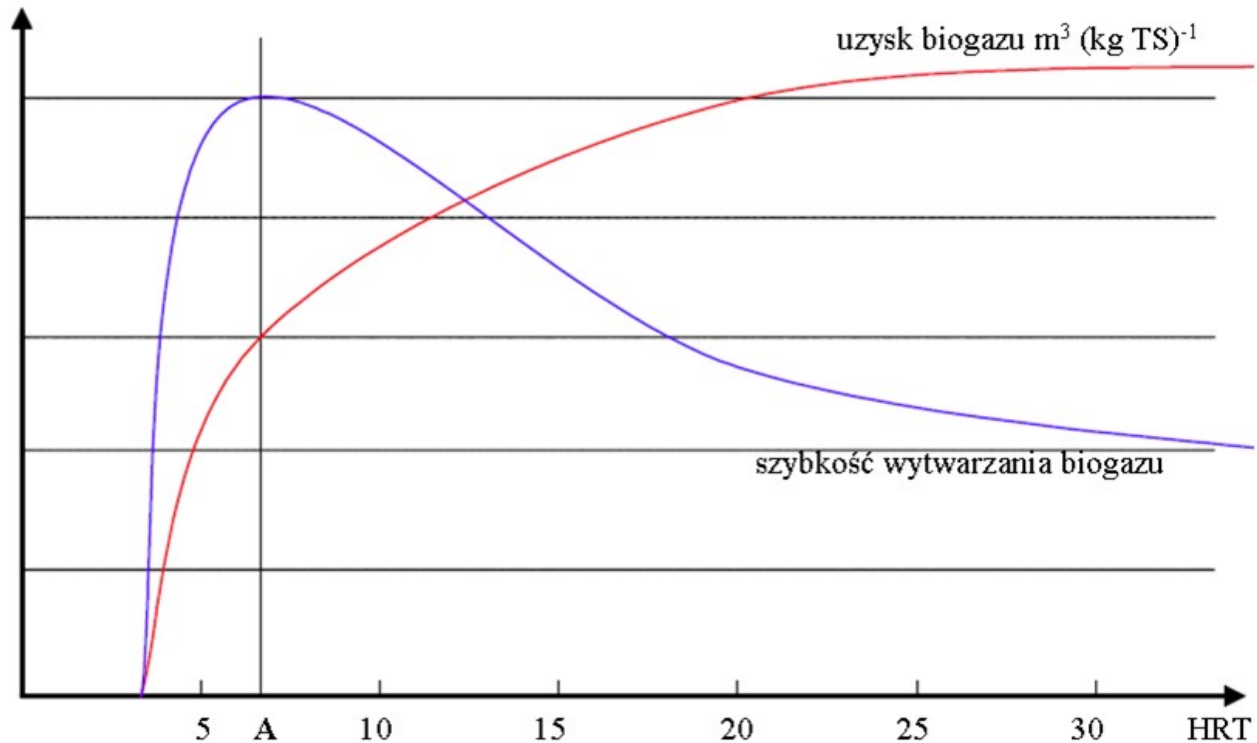


% (m<sup>3</sup> kW<sub>el.</sub><sup>-1</sup>) <4 4-6 6-8 8-10 10-12 >12



## Ciągła produkcja

- substrat - możliwie stały skład
- większość biogazowni – zaszczipianie substratu mikroflora odchodów zwierzęcych
- obciążanie objętościowe – zwiększanie etapami, aby umożliwić rozwój bakterii, szczególnie metanowych (dłuższy czas namnażania)



Szybkość wytwarzania biogazu i uzysk biogazu w relacji do średniego hydraulicznego czasu retencji (HRT).





## Wydajność biogazu i czas fermentacji wybranych substratów i kosubstratów roślinnych.

Substrat	Wydajność biogazu $\text{m}^3 \text{kg}^{-1} \text{SMO}$	Czas fermentacji (liczba dni)
Słoma	0,367	78
Liście buraków	0,501	14
Łęty ziemniaczane	0,606	53
Łodygi kukurydzy	0,514	52
Koniczyna czerwona	0,445	28
Trawa	0,557	25
Obornik bydłowy, słoma pszeniczna (50:50)	0.323	15(65)
Obornik świński, łęty ziemniaczane (85:15)	0.357	39(58)

Źródło: Lehtomäki A. 2006. Biogas production from energy crops and crop residues. Jyväskylä University Printing House.  
oraz <http://www.cire.pl/>



## Podział biogazowni

- rolnicze
  - główny substrat – biomasa pochodzenia zwierzęcego (+ kosubstraty)
  - główny substrat – biomasa pochodzenia roślinnego (+ kosubstraty)
- komunalne (użytkowe)
  - przetwarzające biomasę odpadów komunalnych i ścieków
- rolniczo – użytkowe

## Podział substratów biogazowni rolniczej

2. Pozostałości z pierwotnej produkcji rolniczej
  - odchody zwierząt gospodarskich (obornik, gnojowica, gnojówka), słoma, liście buraków, trawa, i inne
3. Pozostałości z przetwórstwa rolno-spożywczego
  - otręby, melasa, wysłodziny browarniane, wywar pogorzelniany, serwatka, i inne
4. Pozostałości organiczne pochodzenia rolniczego
  - bioodpady z gospodarstw domowych, resztki żywności, zużyte tłuszcze i oleje roślinne
5. Surowce roślinne z upraw dedykowanych jednorocznych i wieloletnich
  - jednoroczne: kukurydza, sorgo, burak, i inne
  - wieloletnie: miskanty (cukrowy), ślazier, rośliny motylkowe i ich mieszanki z trawami, i inne



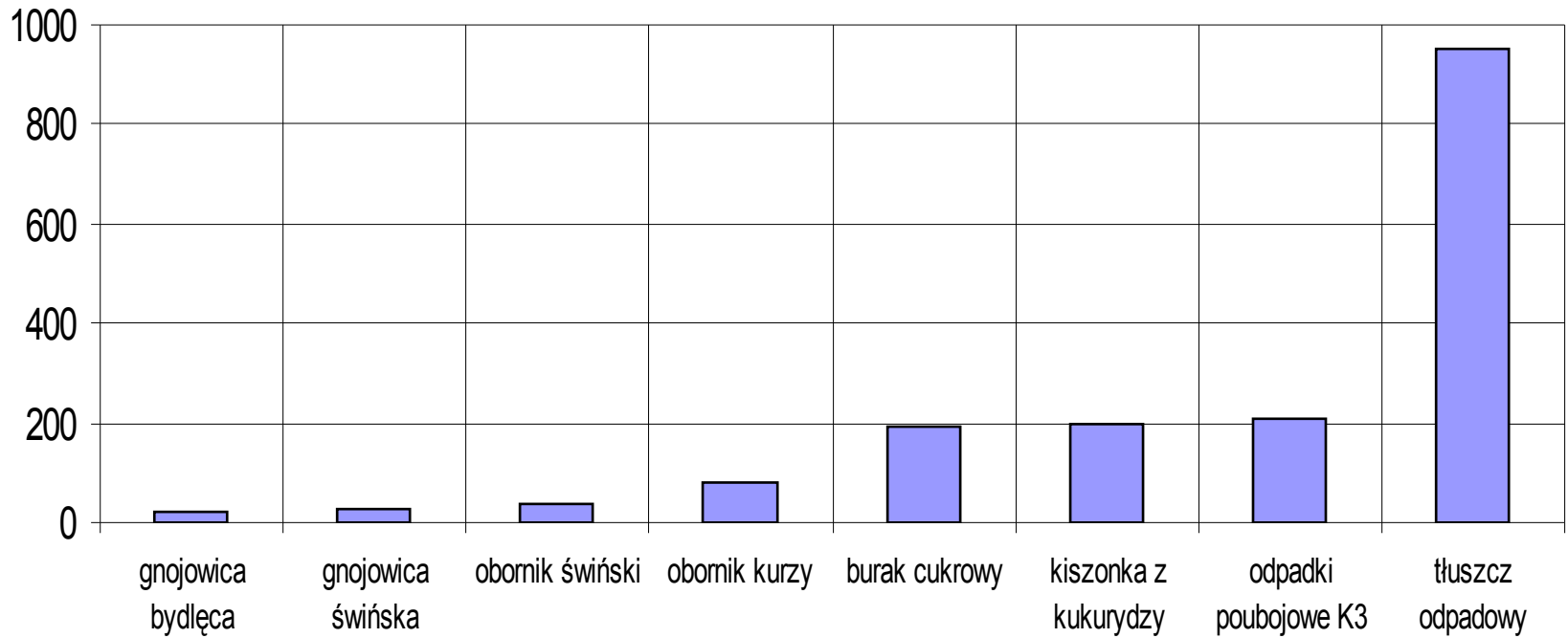
## Charakterystyka wyjściowa substratu biogazowni rolniczej

- różna wydajność i jakość biogazu
- substrat powinny być wolne od patogenów (np. odchody)
  - pasteryzacja 70°C
  - sterylizacja 130°C
- grupy związków organicznych (łatwo i trudno degradowalne)
  - węglowodany, białko, tłuszcz – 0.4, 0.5, 0.7 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup>
  - celuloza, hemiceluloza, lignina !

### Wydajność biogazu wybranych substratów biogazowni rolniczej.

Biomasa	Sucha masa (SM) (% świeżej masy)	SM organiczna (% SM)	Wydajność biogazu m <sup>3</sup> (Mg SMO) <sup>-1</sup>
<b>Odchody zwierzęce – obornik</b>			
bydło	22	80	410
trzoda chlewna	8	70	420
drób	>20	77	<b>560</b>
<b>Odchody zwierzęce – gnojowica</b>			
bydło	10	93	225
trzoda chlewna	6	95	300
drób	15	89	<b>320</b>
<b>Surowce i pozostałości przemysłu rolno-spożywczego</b>			
Melasa	73	78	510
Burak cukrowy (rozdr.)	22	90	<b>840</b>
Pulpa ziemniaczana	14	93	720
<b>Uprawy dedykowane</b>			
Kukurydza (kiszonka)	35	97	<b>730</b>
Trawa (kiszonka)	35	91	540
Żyto (kiszonka)	33	93	<b>730</b>

# Substrat biogazowni rolniczej



**Relacje między wydajnością biogazu wybranych substratów (m<sup>3</sup>/ t ŚM)**



# Uprawy dedykowane

## - kryteria wyboru roślin(y) do biogazowni rolniczej

### Plan prezentacji:

- Kontekst ogólny
- Obieg biogazu
- Proces fermentacji
- Uwarunkowania
- Substrat
- **Uprawy dedykowane**
- Proces technologiczny
- Podsumowanie

- **plon biomasy z ha**
- **potencjał fermentacyjny**
- **nakłady jednostkowe na produkcję**
- zawartość (ligno)celulozy (stopień „zdrewnienia”)
- łatwość konserwacji biomasy
- uwarunkowania zewnętrzne (grunty marginalne, nieużytki, nadwyżka produkcji, koniunktura)

## Produktywność

ujęcie dynamiczne – ilość masy wytwarzanej przez rośliny występujące na określonej powierzchni w jednostce czasu [g/ (cm<sup>2</sup> h)]

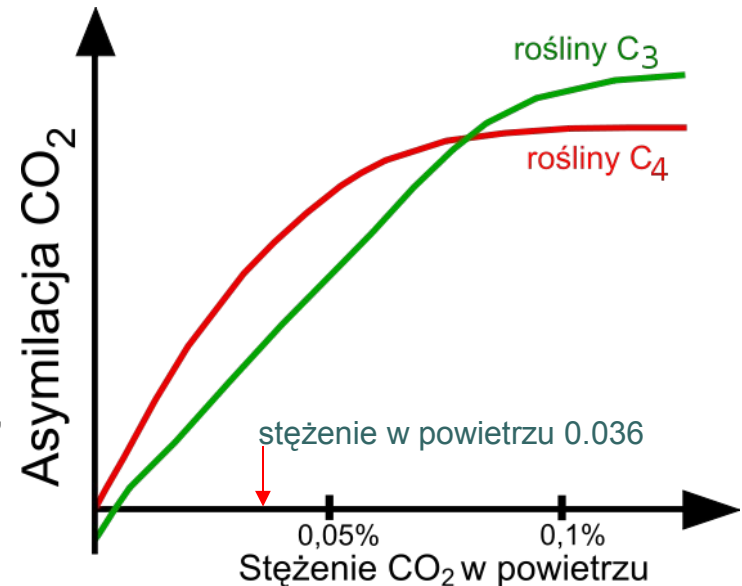
## Produkcyjność

ujęcie statyczne – ilość biomasy wytworzonej przez rośliny niezależnie od przydatności użytkowej (plon biologiczny i rolniczy) w kg, t.

## Rośliny energetyczne o fotosyntezie typu C3 i C4

- Rośliny typu C4 (niepełna 5%) – większa wydajność biomasy przy relatywnie małym zapotrzebowaniu na wodę:

- kukurydza zwyczajna (*Zea mays* L.),
- trzcina cukrowa (*Saccharum officinarum* L.),
- proso zwyczajne (*Panicum miliaceum* L.),
- sorgo (*Sorghum Moench*),
- szarłat (*Amaranthus caudatus* L.)
- spartina preriowa (*Spartina pectinata* Bosc ex Link),
- miskant (cukrowy, chiński, olbrzymi) (*Miscanthus spp.*),
- proso różgowate (*Panicum virgatum*),
- palczatka Gerarda (*Andropogon gerardi* Vitman),
- agawa (*Agave* L.),
- aloes (*Aloë* L.).



Wpływ stężenia CO<sub>2</sub> na natężenie fotosyntezy mierzone pobieraniem CO<sub>2</sub> u roślin C<sub>3</sub> i C<sub>4</sub>.



## Rośliny upraw dedykowanych

Trawy (zielonki, kiszonki)



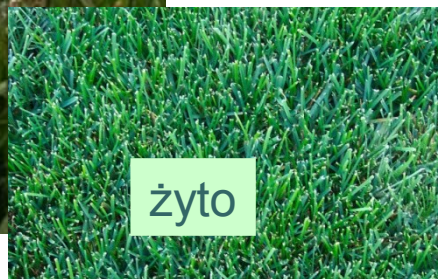
kukurydza



tymotka łąkowa



mozga trzcinowata



żyto

Rośliny motylkowe (zielonki, kiszonki)



koniczyna



lucerna



## Biomasa o dobrych właściwościach konserwujących (kiszzonki, siano, sianokiszzonki)





## Substraty roślinne biogazowni rolniczej o dużym potencjale energetycznym

- I
  - kukurydza
  - trawy (mozga, życica, tymotka)
  - rośliny motylkowate
  - rośliny zbożowe
- II rośliny tradycyjnie uprawiane na paszę o znanych technologiach konserwacji biomasy
  - roślinność łąk i w mieszankach z roślinami motylkowatymi
    - siano
    - sianokiszonki
  - kukurydza
  - żyto
  - rośliny motylkowate
  - liście buraków
- III rośliny „mało znane”, ale o wysokiej produktywności miskant, kapusta pastewna, słonecznik bulwiasty, rdestowiec sachaliński, a także pewne formy rzewienia czy pokrzywy
- IV Potencjalnie
  - ziarno zbóż (pszenica, jęczmień, owies, żyto i sorgo)
  - korzenie lub bulwy roślin okopowych (burak, ziemniak i topinambur)

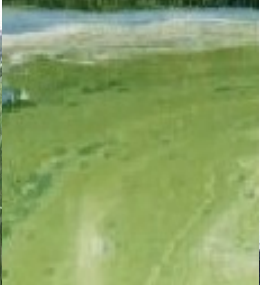


## Przeciętny uzysk metanu i wydajność energetyczna wybranych substratów roślinnych.

Roślina	Uzysk metanu	Wydajność energetyczna
	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> ha <sup>-1</sup> rok <sup>-1</sup>	MWh ha <sup>-1</sup> rok <sup>-1</sup>
<b>Burak pastewny</b>	<b>5800</b>	<b>56</b>
<b>Kukurydza</b>	<b>5780</b>	<b>56</b>
<b>Trawy (duże wahania)</b>	<b>4060</b>	<b>39</b>
<b>Lucerna</b>	<b>3965</b>	<b>38</b>
<b>Pszenica</b>	<b>2960</b>	<b>28</b>
<b>Koniczyna</b>	<b>2530</b>	<b>25</b>
<b>Kapusta pastewna</b>	<b>2304</b>	<b>24</b>
<b>Ziemniak</b>	<b>2280</b>	<b>22</b>
<b>Jęczmień</b>	<b>2030</b>	<b>20</b>



## Surowiec energetyczny



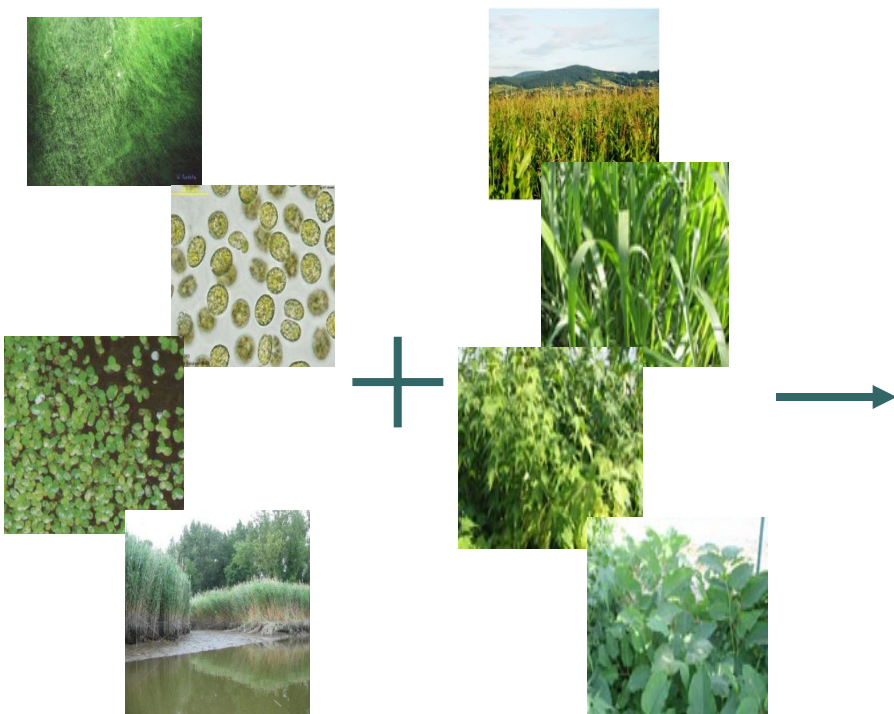
Biomasa wodna na  
brzegu Zatoki  
Gdańskiej

Kolonie glonów wzdłuż  
brzegów Zatoki Puckiej



Zakwit sinic w zeutrofizowanych  
jeziorach

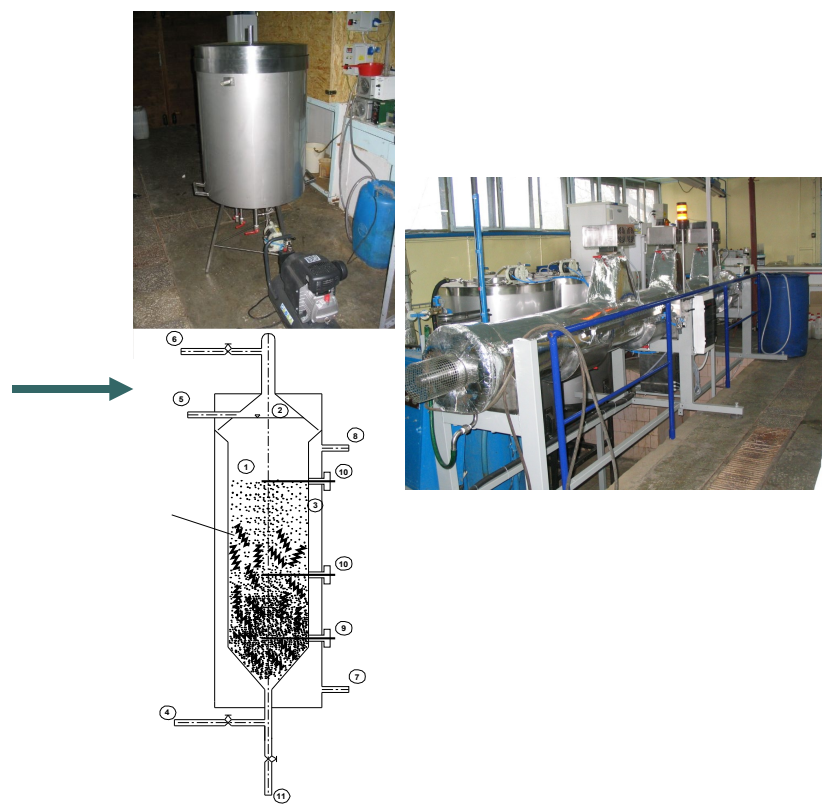
# Biomasa – optymalizacja substratu z biomasy lądowej i wodnej



Biomasa wodna

Biomasa lądowa

KONSERWACJA I KONDYCJONOWANIE



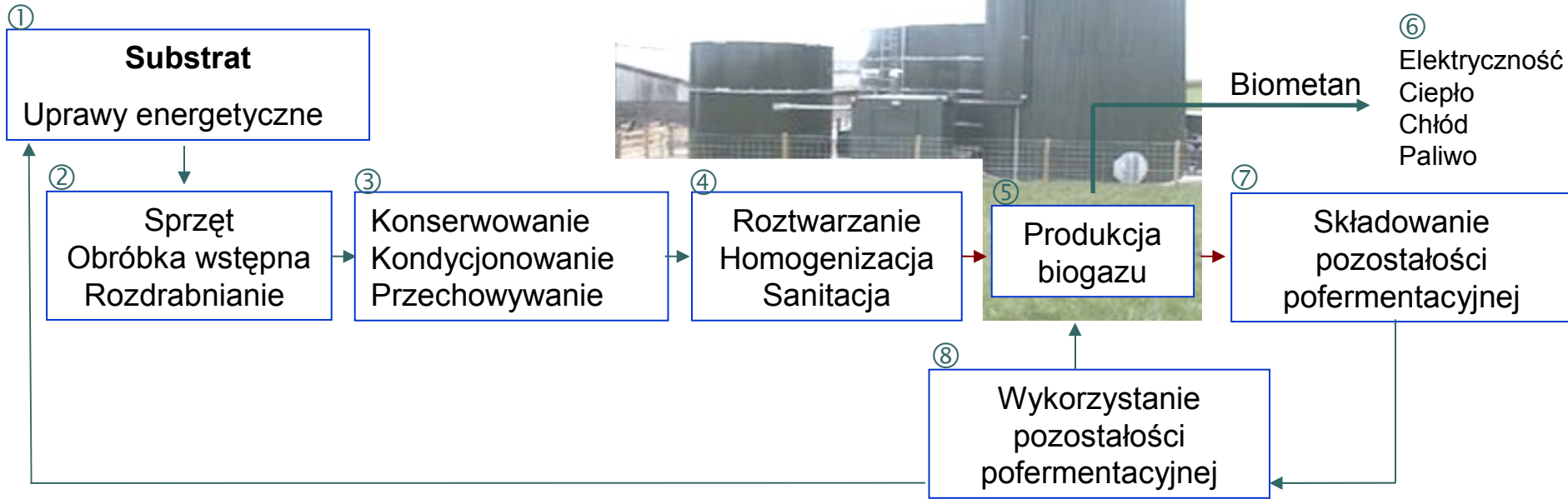
Reaktory – skala laboratoryjna



# Moduły biogazowni rolniczej

## Plan prezentacji:

- Kontekst ogólny
- Obieg biogazu
- Proces fermentacji
- Uwarunkowania
- Substrat
- Uprawy dedykowane
- **Proces technologiczny**
- Podsumowanie



## Istotne kwestie rozwojowe:

- modularyzacja (standaryzacja)
- moc biogazowni – typoszereg (skala mikro, mezo, makro)



## Organizacja produkcji biomasy



### Biomasa upraw dedykowanych

- bilans **dostępnego areалу gruntów** pod uprawę roślin energetycznych z uwzględnieniem żyzności gleb i ochrony środowiska,
- opracowanie **zintegrowanego systemu zmianowania** roślin godzącego cele produkcji surowca roślinnego na cele żywnościowe, przemysłowe i energetyczne,
- uwzględnienie **międzyplonów i poplonów**,
- stosowanie **wysokoproduktywnych roślin i ich odmian**,
- optymalizowanie nawożenia roślin pod kątem wysokiej produkcji metanu,
- zagospodarowanie pozostałości rolniczych.

### Kosubstraty (odchody zwierzęce, pozostałości przemysłu rolno-spożywczego, inne odpady)

- higienizacja/sanitacja odpadów zgodnie z procedurą zależną od **kategorii zagrożenia sanitarnego i epizootycznego** (I, II, III).







# Wybrane elementy technologii uprawy warunkujące potencjał produkcyjny biometanu z roślin energetycznych

- stadium rozwoju roślin -

Substrat	Uzysk biogazu m <sup>3</sup> /t
<b>Kiszonka z traw</b>	
w fazie kwitnienia	202
z wszystkich pokosów	182
<b>Kiszonka z kukurydzy</b>	
dojrzałość woskowa – wysoki udział ziarna	202
dojrzałość woskowa – średni udział ziarna	185
faza dojrzałości mlecznej – średni udział ziarna	155
<b>Kiszonka z całych roślin zbóż – średni udział ziarna</b>	195
<b>Jęczmień - kwitnienie</b>	74
- mleczna	129
- woskowa	155
<b>Żyto - kwitnienie</b>	85
- mleczna	112
- woskowa	164
<b>Pszenżyto - kwitnienie</b>	177
- mleczna	148
- woskowa	215



## Logistyka ciągłej dostawy substratu

- **kiszenie – metoda konserwacji i wstępnego kondycjonowania**
- **siano, sianokiszonki, biomasa z pras silnego zgniotu**
- **„zielona taśma” biogazowni**



## Logistyka dostaw biomasy roślinnej

- **kiszenie – metoda konserwacji i wstępnego kondycjonowania**
- **siano, sianokiszonki, biomasa z pras silnego zgniotu**
- **„zielona taśma” biogazowni**

## Obróbka wstępna, homogenizacja

- **mechaniczne (rozdrobienie)**
  - para wodna
  - hydroliza termiczna
  - mokre utlenianie (powietrze jest utleniaczem)
  - ultradźwięki
  - napromieniowanie
- **chemiczne**
  - kwasy
  - zasady
  - rozcieńczalniki i oksydanty.
- **biologiczne**
  - mikroorganizmy lub enzymy



## Oczekiwane efekty wstępnej obróbki biomasy do procesu fermentacji

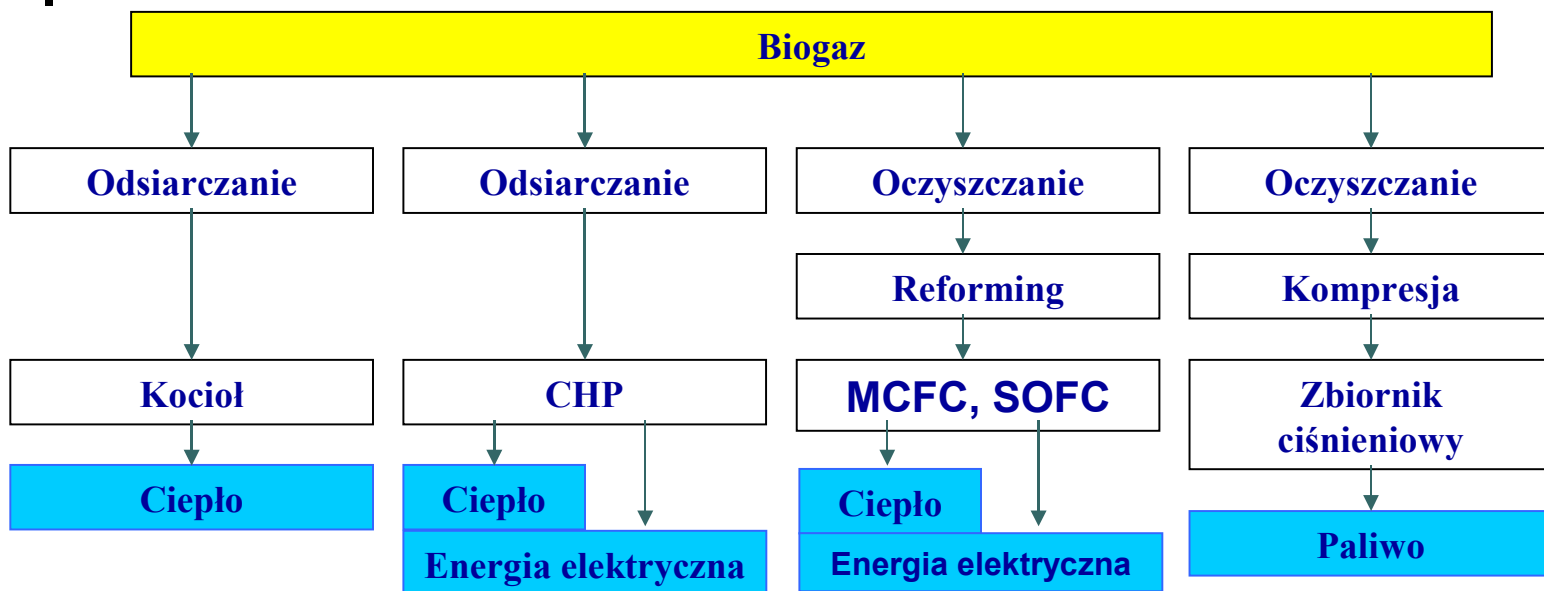
Substrat	Uzysk metanu (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> )	Zmiana (%)
<b>Mechaniczne rozdrobnienie (0.1 – 6-10 cm)</b>		
Słoma pszenicy	0.25 – 0.16	35
Sorgo	0.42 – 0.42	0
Koniczyna	0.20 – 0.14	23
Trawa	0.35 – 0.27	30
Owies	0.26 – 0.25	4
<b>Chemiczne (bez obróbki i po obróbce)</b>		
Trawa – NaOH 2% 24 h 20°C	0.23 – 0.25	9
Trawa – NaOH 2% 72 h 20°C	0.23 – 0.27	17
Trawa – Autoklaw	0.23 – 0.26	13
Trawa – Kompostowanie	0.23 – 0.19	-17



## Proces fermentacji – fermentor

- poziomy lub pionowy
- zaizolowana komora fermentacyjna, systemy: grzewczy, załadunku (wsadowy, ciągły) i mieszania, odprowadzający odpad pofermentacyjny, odprowadzenia i gromadzenia biogazu
- system wskaźników i mierników parametrów procesu
  - skład chemiczny biomasy
  - pH
  - temperatura
  - poziom napełnienia
  - skład biogazu
  - wydajność biometanu
  - zawartość lotnych kwasów tłuszczowych (LKT)
  - stosunek lotnych kwasów tłuszczowych do ogólnej zawartości węgla nieorganicznego (miara zagrożenia zakwaszeniem) (LKT:OWN),
  - wzajemne relacje między kwasami karboksylowymi (np. propionowy:octowy, masłowy:izomasłowy),
  - potencjał REDOX (-300-330 mV)
  - zawartość amoniaku
  - inne

# Wykorzystanie biogazu



## Związki niepożądane – oczyszczanie biogazu

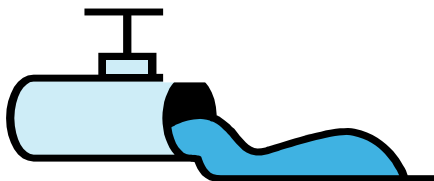
- ditlenek węgla
- para wodna
- siarkowodór
- siloksany
- związki aromatyczne
- tlen
- azot
- fluorowce (chlorki, fluorki, i inne)

## Pozostałość pofermentacyjna – kwalifikacja

- o odpad



- o ściek



- o nawóz lub środek poprawiający właściwości gleb





## Klasyfikacja pozostałości pofermentacyjnej jako **odpad**

- brak ustawowej definicji odpadu pofermentacyjnego
- odpad pofermentacyjny uwzględniony w rozporządzeniu MS w sprawie katalogu odpadów sklasyfikowany w:
  - **GRUPIE:** „Odpad z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych”
  - **PODGRUPIE:** „Odpady z beztlenowego rozkładu odpadów” traktowany jako:
    - 1. „Ciecze z beztlenowego rozkładu odpadów zwierzęcych i roślinnych” (kod 19 06 05)
    - 2. „Przefermentowane odpady z beztlenowego rozkładu odpadów zwierzęcych i roślinnych”(kod 19 06 06)





## Klasyfikacja pozostałości pofermentacyjnej jako **odpad**

- **Pozostałość pofermentacyjna może być odzyskiwana za pomocą metody R10**

(Art. 13 Ustawy o odpadach – zakaz odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami lub urządzeniami spełniającymi określone wymagania. Zakaz nie dotyczy posiadaczy odpadów prowadzących proces odzysku za pomocą **metody R10** czyli „**rozprowadzania odpadów na powierzchni ziemi w celu nawożenia lub ulepszenia gleby**” (Załącznik nr 5 do ustawy o odpadach)

- Uregulowania m.in. w zakresie:

- wolna od *Clostridium perfringens* (odpady produkcji zwierzęcej)
- wyeliminowanie zagrożenie dla ludzi i środowiska (odpowiednia obróbka)
- brak bakterii typu *Salmonella*
- rozdrobnienie przed zastosowaniem
- równomierne stosowanie na glebę
  - tylko do gł. 30 cm
  - nie przekroczone są wartości skażenia, np. pestycydami, metalami ciężkimi
  - nie spowoduje przekroczenia dopuszczalnych wartości metali ciężkich (Cr, Pb, Cd, Hg, Ni, Zn, Cu)
- badanie odpadów w certyfikowanych laboratoriach



## Kwalifikacja pozostałości pofermentacyjnej jako ściek

- Zgodnie z ustawą Prawo wodne posiadacz ścieków, może je przekazywać do rolniczego wykorzystania, ale:
  - **pozwolenie wodnoprawne** na rolnicze wykorzystanie
  - spełnienie norm sanitarnych i nie mogą zawierać zanieczyszczeń w ilościach przekraczających określone wartości
  - gospodarstwa wykorzystujące ścieki powinny posiadać plany nawożenia (obowiązek opiniowania przez Stację Chemiczno-Rolniczą)



## Kwalifikacja pozostałości pofermentacyjnej jako **nawóz**

- WYŁĄCZENIE: środek poprawiający właściwości gleby **nie może** być wyprodukowany **wyłącznie** z produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego
- OBOWIĄZEK UZYSKANIA POZWOLENIA NA WPROWADZANIE DO OBROTU (art. 2 ust. 1 Ustawy o nawozach i nawożeniu)



## Podsumowanie

# Biogazownia rolnicza

## - integralny element rozproszonego systemu generacji energii i paliw

### Plan prezentacji:

- Kontekst ogólny
- Obieg biogazu
- Proces fermentacji
- Uwarunkowania
- Substrat
- Uprawy dedykowane
- Proces technologiczny
- **Podsumowanie**

### Efekty środowiskowe:

- redukcja emisji gazów cieplarnianych
- utylizację odpadów organicznych
- neutralizację patogenów
- dezaktywację nasion chwastów
- **produkcja nawozów organicznych** a przez to zmniejszenie zużycia nawozów mineralnych (**dalsza redukcja LCA**)
- **ochrona wód gruntowych**
- możliwość ponownego wykorzystania wody z przefiltrowanego odpadu pofermentacyjnego

### Efekty energetyczne:

- **uniwersalne odnawialne biopaliwo**
- **zdecentralizowane** jednostki wytwarzania energii
- implementacja idei **prosumenckości** (lokalna produkcja i wykorzystanie energii)
- elementem bezpieczeństwa energetycznego

### Efekty ekonomiczne:

- wypadkowa w/w. korzyści
- **wartość dodana** produkcji i przetwórstwa rolniczego, poprzez przekształcanie magazynowanych odpadów w dochodowe centra produkcji energii
- uniezależnianie od importu energii
- **generowanie zróżnicowanych dochodów** (zagospodarowanie odpadów, emisja świadectw pochodzenia, sprzedaż nawozu organicznego, energii lub biopaliwa)



## Podsumowanie

# Biogazownia rolnicza – kierunki rozwoju

- optymalna kompozycja mikroflory do konkretnego substratu („swoista sztafeta mikrobiologiczna”)
- specyficzność mikroorganizmów do prowadzenia fermentacji metanowej lub wodorowej
- modularyzacja, standaryzacja biogazowni
- mikrogeneracja

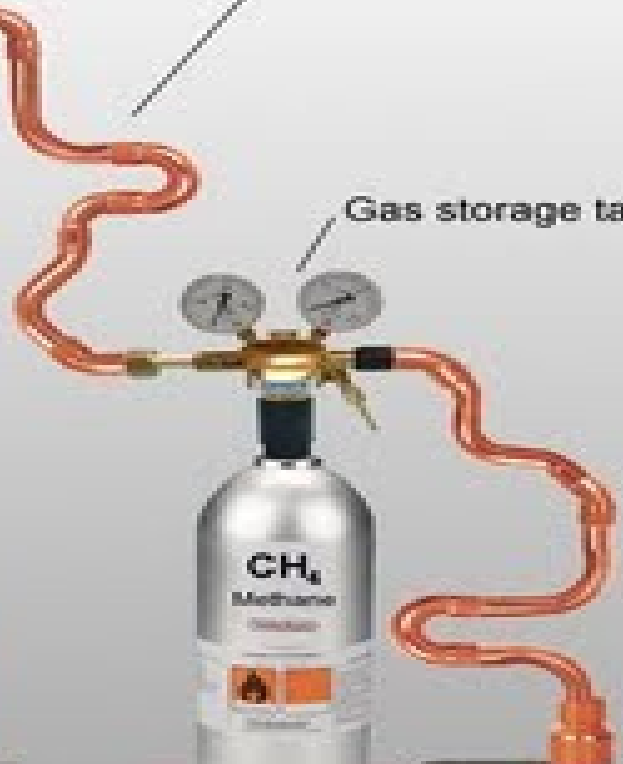
Wow, free electricity,  
made out of your  
own biomass.

Terrible amateur plumbing work

**Fermenter**  
The biomass is  
digested anaerobically  
and produces  
methane.

Fermented residual storage  
Perfect fertilizer for your  
potty plants.

Gas storage tank



Biomass  
Collection tank

Safety lock.  
Prevents the  
backflow of  
the biomass.

3 Hp diesel driven Pump.  
Moves the biomass  
to the Fermenter.

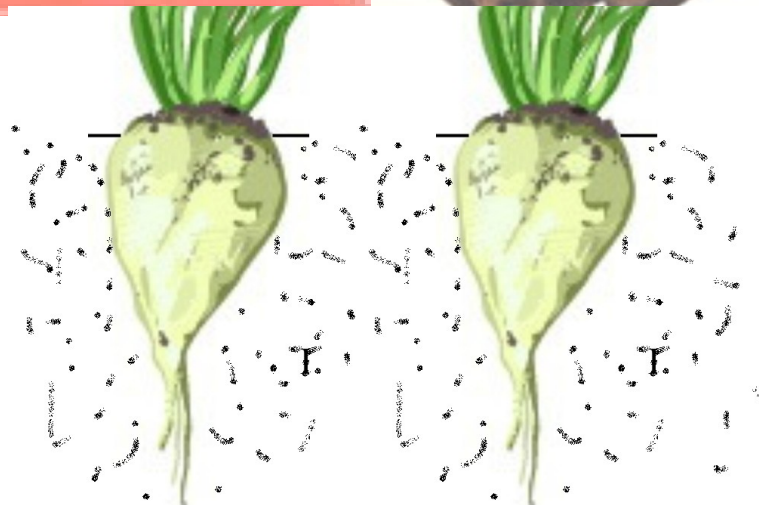
Generator



## Tendencje w rozwoju biogazowni

### Koncepcje >>> biorafineria:

- integracja procesów w kierunku **uzyskania niemal 100% efektywności wykorzystania substratu**, w tym efektywne zagospodarowanie pozostałości
  - integracja procesów i produkcja różnych biopaliw, zarówno w procesach biochemicznych (biogaz, bioetanol), jak i termochemicznych (bioalkohole, biodiesel)
- podejście systemowe **integrujące zdecentralizowane jednostki wytwarzania biogazu** (gospodarstwa) w biorafinerii centralnej (transport pozostałości)



Dziękuję za uwagę