



**Politechnika Wroclawska**

Wydział Inżynierii Środowiska



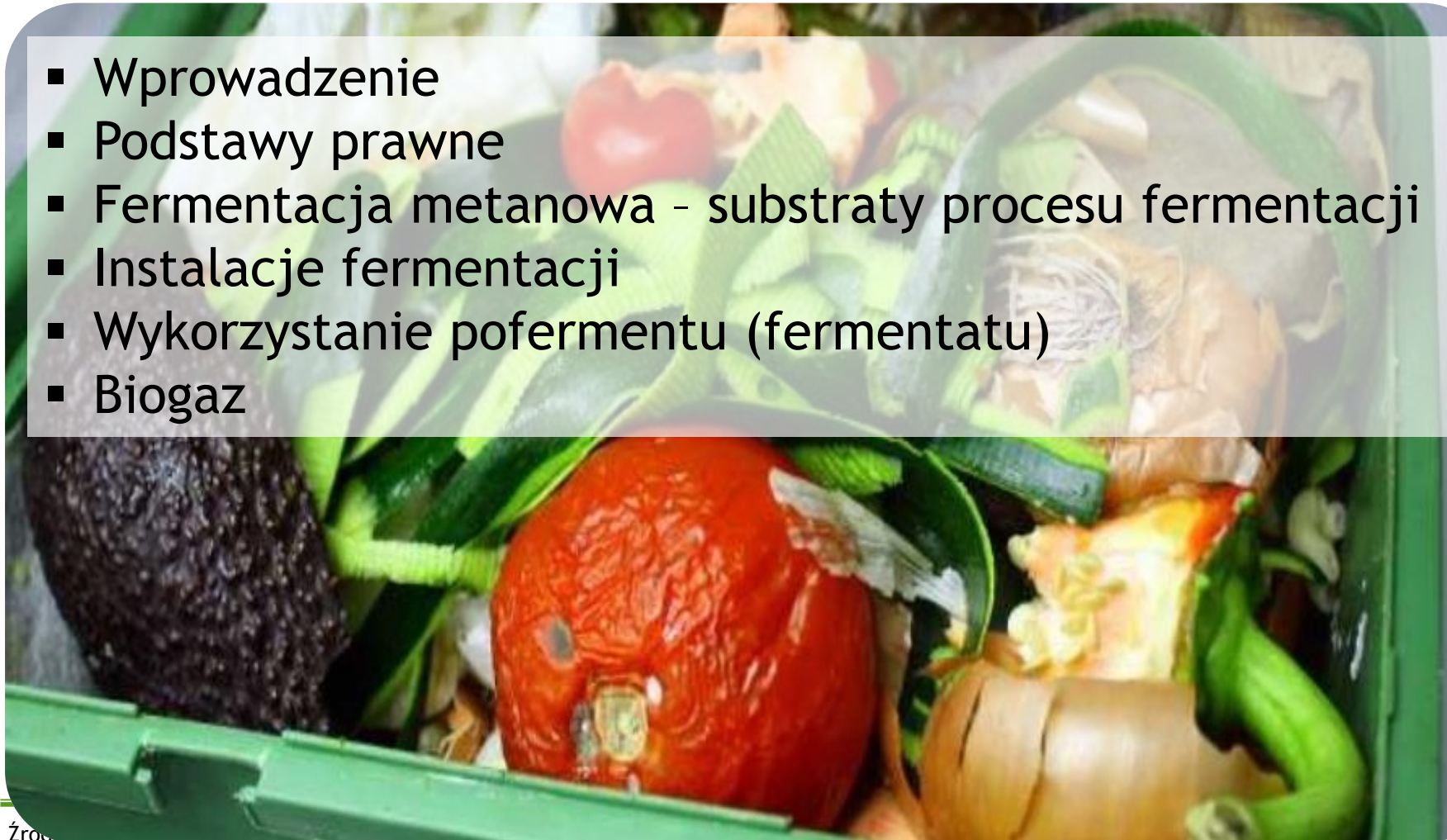
# Technologie fermentacji bioodpadów

dr inż. Emilia den Boer  
Katedra Inżynierii Ochrony Środowiska  
Politechnika Wroclawska

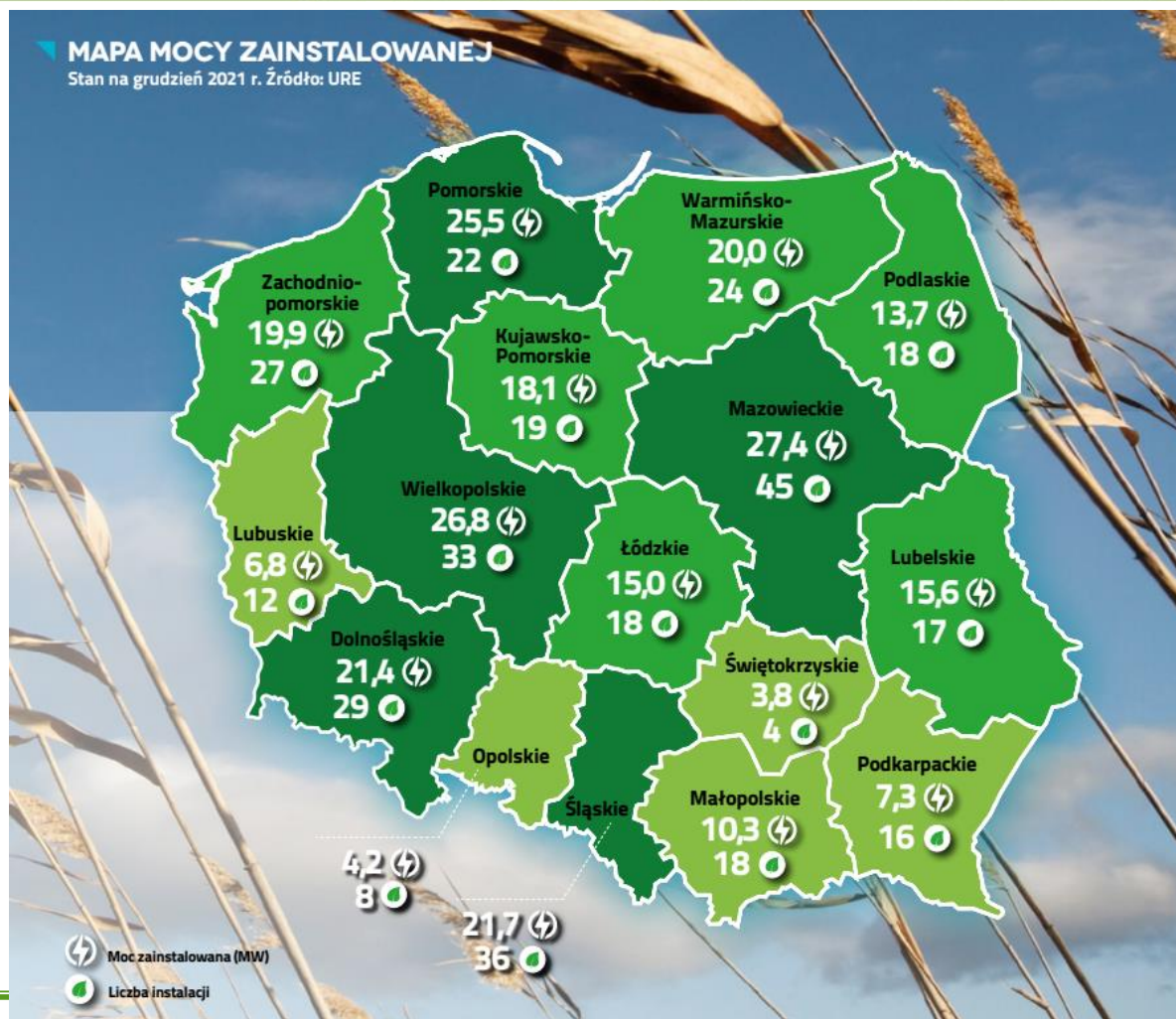
Warsztatów pracy projektanta i rzeczoznawcy instalacji i sieci sanitarnych,  
23 - 24.11.2023

# Zakres prezentacji

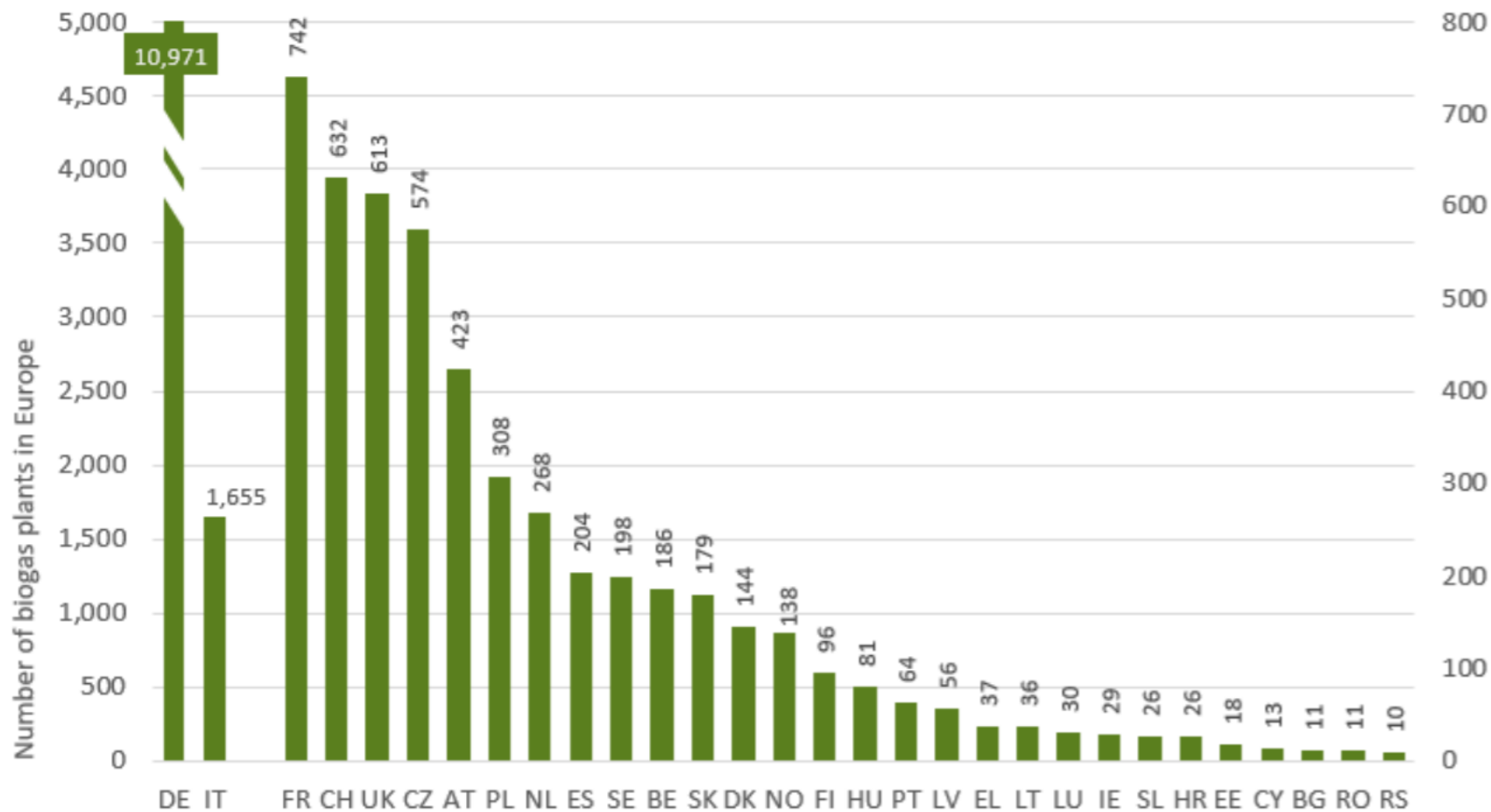
- Wprowadzenie
- Podstawy prawne
- Fermentacja metanowa - substraty procesu fermentacji
- Instalacje fermentacji
- Wykorzystanie pofermentu (fermentatu)
- Biogaz



# W Polsce funkcjonuje 346 biogazowni 257 MW mocy zainstalowanej w 2021 r.



# Liczba biogazowni w Europie w 2018 r.



# Biogazownie oprarte o odpady komunalne w Polsce 2010 - 2023

- |  |            |
|--|------------|
| 1. MZO Leszno - Trzebania (2010) -             | Dranco     |
| 2. BWiK „Wod Kan”- Biała Podlaska (2013) + ..* | Eisenmann  |
| 3. WCR Jarocin (2015) + (2023)*                | Kompogas   |
| 4. ZGO Gać (2015) + .....*                     | Kompogas   |
| 5. Master - Tychy (2015) + .....*              | Strabag    |
| 6. MZK Stalowa Wola (2015)                     | Strabag    |
| 7. PGO Kielce - Promnik (2016)                 | Strabag    |
| 8. ZZO Poznań - Suchy Las* (2016)*             | Eggersmann |
| 9. Lubartów - Wólka Rokicka (2017)             |            |
| 10. ZUOK „Orli Staw”* (2023)                   | Strabag    |

\*Instalacja pracująca na selektywnie zbieranych bioodpadach

# Podstawowe akty prawne

Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 Prawo energetyczne (Dz.U. 1997 Nr 54 poz. 348 (ze zmianami))

Ustawa z z dn. 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013 nr 0, poz. 21)

Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz.U. nr 147, poz. 1033)

- Rozp. Min. Roln. i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Dz.U. nr 119, poz. 765

## Konkluzje BAT

## Przepisy sanitarne:

- **Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 i**
- **Rozporządzenie Komisji (UE) Nr 142/2011**

# Techniczne wymogi dot. przetwarzania selektywnie zbieranych bioodpadów

**Konkluzje BAT** dla przetwarzania odpadów zawarte w załączniku do decyzji Komisji (UE) 2018/1147 odnoszą się do następujących instalacji wymagających pozwolenia zintegrowanego:

5.3. b) Odzysk, lub kombinacja odzysku i unieszkodliwiania, odpadów innych niż niebezpieczne o wydajności przekraczającej 75 ton dziennie z wykorzystaniem m.in. **obróbki biologicznej** ....

**Jeżeli jedynym rodzajem działalności związanej z obróbką odpadów jest fermentacja beztlenowa, próg wydajności dla tej działalności wynosi 100 ton dziennie.**

**Konkluzje BAT obejmują:**

- szereg wymagań w zakresie zarządzania i wdrażania procedur,
- monitoringu emisji,
- ograniczania emisji (wymóg wdrożenia konkretnych technologii oraz limity emisji do powietrza i wód) i zrzutu ścieków oraz
- zamykanie obiegów.

# Zakres wymagań BAT - poziomy emisji zorganizowanych (w tym z biofiltrów)

**Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do zorganizowanych emisji NH<sub>3</sub>, odorów, pyłu i całkowitego LZO do powietrza z biologicznego przetwarzania odpadów**

Parametr	Jednostka	BAT-AEL (Średnia z okresu pobierania próbek)	Proces przetwarzania odpadów
NH <sub>3</sub> <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	0,3–20	Wszystkie rodzaje biologicznego przetwarzania odpadów
Stężenie odorów <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>	ou <sub>E</sub> /Nm <sup>3</sup>	200–1 000	
Pył	mg/Nm <sup>3</sup>	2–5	Mechaniczno-biologiczne przetwarzanie odpadów
Całkowite LZO	mg/Nm <sup>3</sup>	5–40 <sup>(3)</sup>	

- (1) Zastosowanie ma poziom emisji powiązany z najlepszymi dostępnymi technikami dla NH<sub>3</sub> albo poziom emisji powiązany z najlepszymi dostępnymi technikami dla stężenia odorów.
- (2) Wskazany poziom emisji powiązany z najlepszymi dostępnymi technikami nie ma zastosowania do przetwarzania odpadów składających się głównie z obornika.
- (3) Dolną granicę zakresu można osiągnąć, stosując utlenianie termiczne.



# Zakres wymagań BAT - monitoring parametrów w beztlenowym przetwarzaniu

**BAT 38. ... należy monitorować lub kontrolować kluczowe parametry odpadów i procesów** w celu:

- zapewnienia stabilnego działania komory fermentacyjnej,
- ograniczenia do minimum trudności eksploatacyjnych,
- zapewnienia wystarczająco wczesnego ostrzegania o awariach systemu

Obejmuje to monitorowanie lub kontrolę kluczowych parametrów odpadów i procesów, np.:

- pH i zasadowości zawartości komory fermentacyjnej,
- temperatury pracy komory fermentacyjnej,
- wielkości hydraulicznego i organicznego ładunku doprowadzanego do komory fermentacyjnej,
- stężenia lotnych kwasów tłuszczowych i amoniaku w komorze fermentacyjnej i produkcie pofermentacyjnym,
- ilości, składu (np. H<sub>2</sub>S) i ciśnienia biogazu,
- poziomu cieczy i piany w komorze fermentacyjnej.

# Techniczne wymogi dot. przetwarzania selektywnie zbieranych bioodpadów

**Przepisy sanitarne** dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi (tzw. **weterynaryjne**) - wymogi przetwarzania tzw. **kategorii III** (m.in. odpady kuchenne zawierające frakcje pochodzenia zwierzęcego), regulowane przez rozporządzenia (UE) 1069/2009 i 142/2011:

- Rejestracja podmiotów, przedsiębiorstw lub zakładów
  - Zatwierdzenie przedsiębiorstw lub zakładów i nadzór nad nimi
    - Wdrożenie i utrzymanie w mocy stałych pisemnych procedur opartych na systemie analizy zagrożeń i systemie krytycznych punktów kontroli (HACCP)
- przez powiatowego lekarza weterynarii**

# Techniczne wymogi dot. przetwarzania selektywnie zbieranych bioodpadów

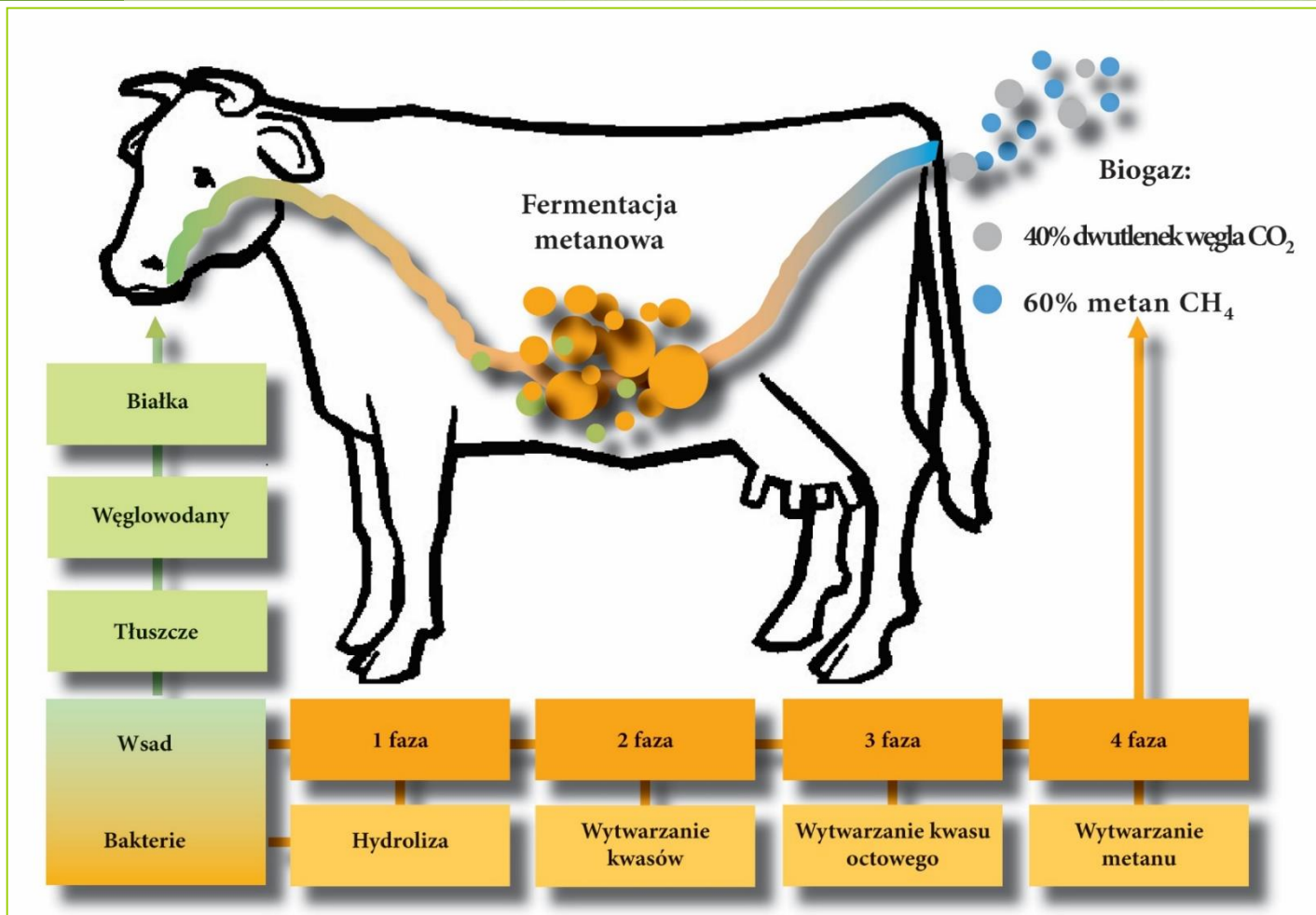
Zgodnie z 142/2011 wymagane jest następujące przetworzenie odpadów kategorii 3 (w tym bioodpadów kuchennych z gosp. domowych) w instalacji fermentacji:

- a) maksymalna wielkość cząstek przed wprowadzeniem ich do urządzenia: **12 mm**;
- b) minimalna temperatura całego materiału w urządzeniu: **70 °C**;  
oraz
- c) minimalny czas obróbki w urządzeniu bez przerw: **60 minut**.

Można stosować też określone techniki obróbki cieplno-ciśnieniowej (z rozdrabnianiem).

Właściwy organ może zezwolić na stosowanie innych niż standardowe parametry przekształcania (wymaga walidacji)

# Fermentacja metanowa - proces wieloetapowy



# Fermentacja metanowa w skali technicznej - wyzwania

- Nieoptymalne warunki fermentacji w jednym wspólnym reaktorze
- Hydroliza i faza kwasogenna i - środowisko kwasowe <6 pH
- Faza octanogenna i metanowa – środowisko obojętne lub słabo zasadowe ok. 7 pH
- Konieczna duża zdolność buforowa odpadów dla utrzymania stabilnego przebiegu procesu.
- Ewentualna potrzeba neutralizacji nadmiaru kwasów organicznych

# Substraty fermentacji

## 1. Z uwagi na cechy funkcyjne

- Rozcieńczające
- Zagęszczające
- Zwiększające wydajność
- Dodatki stabilizujące proces fermentacji

## 2. Z uwagi na cechy technologiczne

- Inokulujące
- Adhezyjne
- Łatwo fermentujące
- Trudno fermentujące i niebezpieczne

## 3. Z uwagi na źródło pochodzenia

- Z upraw celowych
- Z upraw energetycznych
- Pozostałości z produkcji roślinnej
- Odpady przemysłu rolno-spożywczego
- **Odpady komunalne i inne odpady**

## 4. Z uwagi na znaczenie procesowe

- Substraty strategiczne
- Kosubstraty
- Substraty „użyteczne” (odpady specjalne)

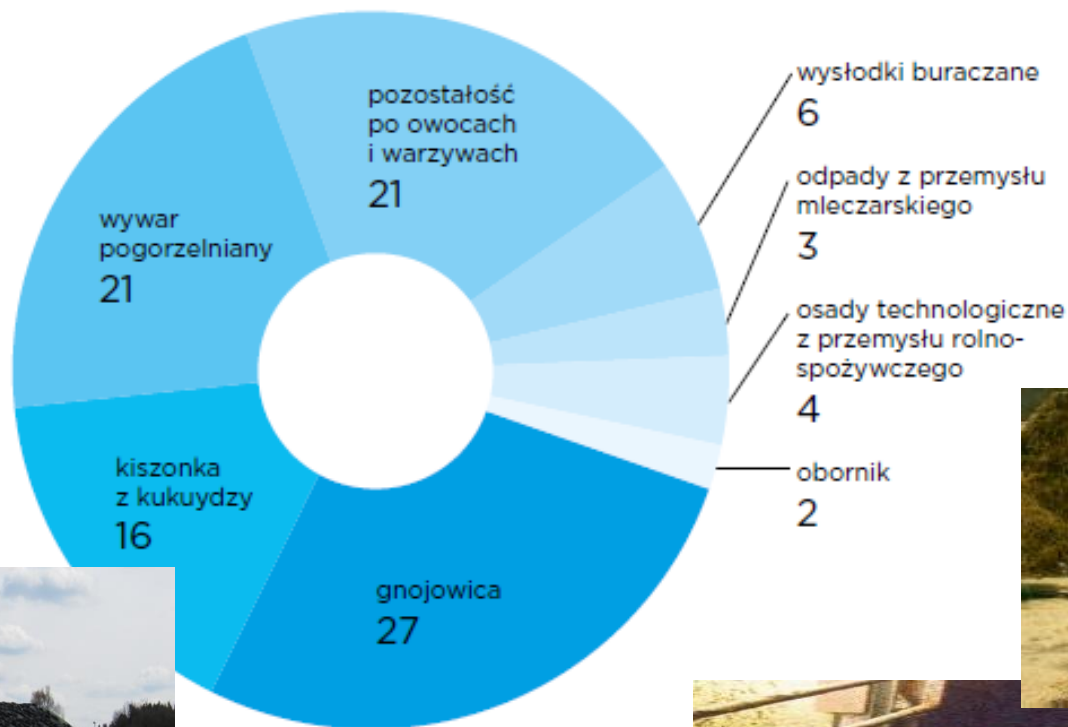
**Istotne jest rozróżnienie substratów w kontekście ustawy o odpadach: produkt (substrat nieodpadowy) – produkt uboczny – odpad**

Wpływ na procedury inwestycyjne, niezbędne zezwolenia na prowadzenie działalności oraz na klasyfikację fermentatu **(w UE nacisk na hierarchię postępowania z biomasą)**

# Substraty fermentacji

- **Biogazownie rolnicze** - odchody zwierzęce, rośliny energetyczne, pozostałości i produkty uboczne przetwórstwa rolno-spożywczego i biomasy leśnej
- **Biogazownie „utilizacyjne”** - głównie odpady, z udziałem innych substratów
- **Komunalne instalacje fermentacji odpadów** - komunalne osady ściekowe, selektywnie zbierane bioodpady, biofrakcja wysortowana ze zmieszanych odpadów komunalnych, inne odpady z przemysłu i handlu

# Substraty biogazowni rolniczych w latach 2011-2019



RAPORT BIOGAZ W POLSCE

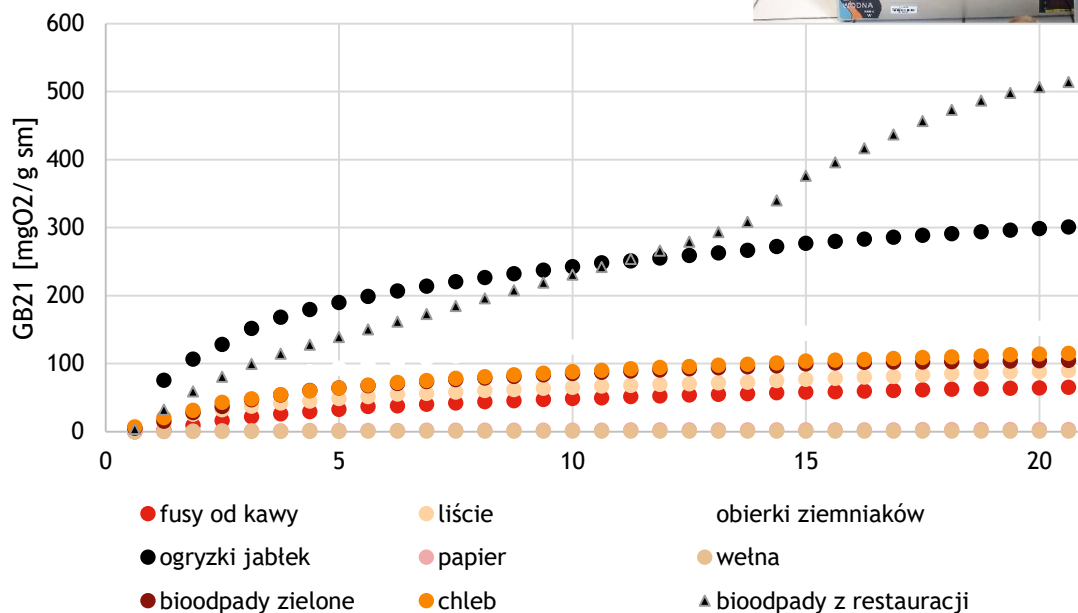
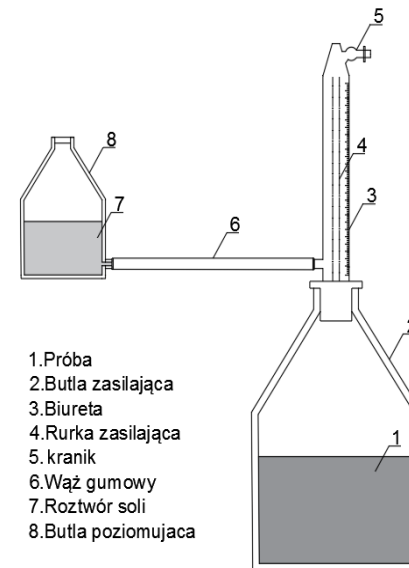




# Substraty fermentacji - istotne parametry

- Ilość, nierównomierność wytwarzania
- Zawartość wody i substancji organicznych (sm - sucha masa, smo - sucha masa organiczna, węgiel organiczny, białka, węglowodany, tłuszcze)
- Zawartość NPK
- Potencjał wytwarzania biogazu (produktywność biogazu)
- Tempo biodegradacji
- Wielkość cząstek
- Konieczność i zakres wstępnej obróbki

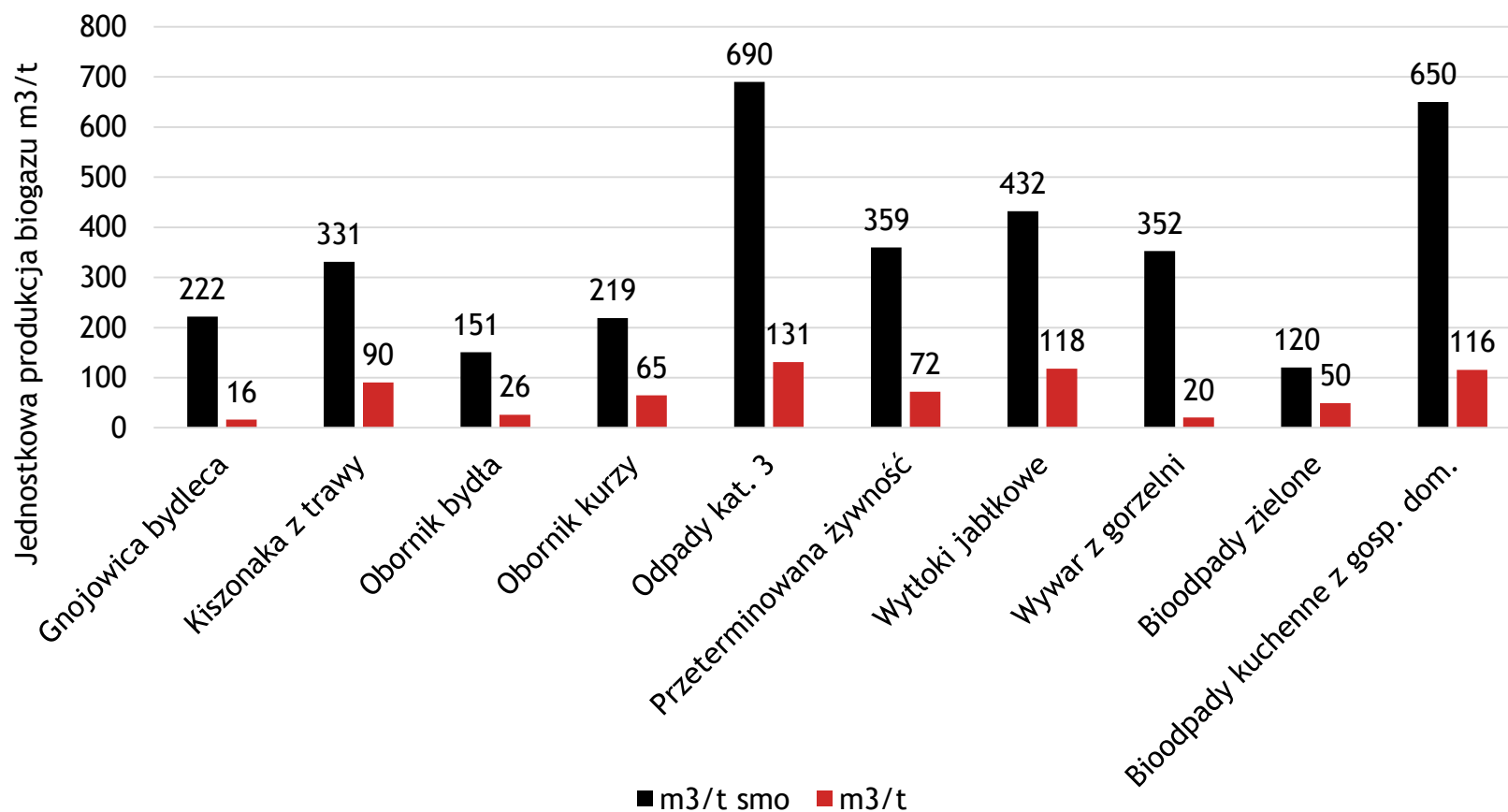
# Ocena produkcji biogazu



Produktywność biogazu bioodpadów:

**100 - 500 m<sup>3</sup>/Mg sm**

# Ocena produkcji biogazu



# Parametry procesu fermentacji

## Hydrauliczny czas retencji

- Czas przebywania substratu w komorze fermentacyjnej, powinien być dostosowany do rodzaju wsadu w taki sposób, aby zapewnić jego możliwie pełny rozkład.

$$HRT = \frac{V_R}{\dot{V}} \quad [doby]$$

gdzie:

HRT - hydrauliczny czas retencji

$V_R$  - objętość komory fermentacyjnej [ $m^3$ ]

$\dot{V}$  - dobową objętość wsadu zadawanego do komory [ $m^3/dobę$ ]

- Biogazownie rolnicze: 20 dni dla gnojowicy do 60 dni dla roślin energetycznych (celuloza, hemiceluloza i lignina)
- Biodpady - 14-21 dni
- Wydajność procesu fermentacji można zwiększyć przez rozdrobnienie wsadu i/lub proces obróbki wstępnej w warunkach wysokiej temperatury i ciśnienia (hydrolizy ciśnieniowej).

# Parametry procesu fermentacji

## Obciążenie komory ładunkiem zanieczyszczeń (OLR)

Obciążenie komory ładunkiem związków organicznych wyraża się stosunkiem ilości dostarczanych substancji organicznych do pojemności komory.

$$OLR = \frac{s\acute{m}o}{V_k} \left[ \frac{kg\ smo}{m^3 d} \right]$$

gdzie:

$s\acute{m}o$      strumień suchej masy organicznej [kg smo/d]

$V_k$        objętość komory fermentacji [m<sup>3</sup>]

OLR jest kluczowym wskaźnikiem przebiegu procesu fermentacji i produkcji biogazu. Produkcja biogazu rośnie przy zwiększaniu obciążenia do wartości granicznej, a po osiągnięciu maksimum, kiedy następuje przeciążenie układu, produkcja zaczyna spadać.

# Parametry procesu fermentacji

## Obciążenie komory ładunkiem zanieczyszczeń (OLR)

- OLR zależne od tempa biodegradacji substratów
- Im większy OLR tym mniejsze wymagane pojemności komór

Substrat	Obciążenie komory ładunkiem OLR [kg smo/m <sup>3</sup> d]
Osady ściekowe	Komory niskoobciążone: 0,8 - 2,2
	Komory wysokoobciążone: 2,5 - 5,0
Odpady komunalne	Mokra fermentacja: 1,6 - 7,0
	<b>Sucha fermentacja:</b> <b>7,0 - 13</b>

# Technologie mokrej fermentacji - przykłady

<b>Biowatt</b>	<b>Biogazownie rolnicze , przemysłowe, składowiskowe</b>	Modułowe rozwiązania o mocy: 250 kW, 500 kW, 1 MW, 2 MW wykorzystanie odpadów przemysłowych w formie płynnej i stałej m. in.: wywaru gorzelnianego, wystodków z cukrowni, odpadów poubojowych, ścieków produkcyjnych i innych pozostałości organicznych z produkcji przemysłowej. W ramach instalacji projektowane są stacje przyjęć i obróbki wstępnej substratów, w tym homogenizacja i higienizacja, umożliwiające utylizację odpadów kategorii K1, K2, K3
<b>Dynamic biogas</b>		- odpady z produkcji zwierzęcej (obornik lub gnojowica od krów, świń i drobiu, odpady poubojowe, z produkcji rolno-spożywczej między innymi wyluki owocowo-warzywne, odpady roślinne, przemysłowe między innymi wywar gorzelniany, serwatka, osady ściekowe



Biowatt - Żórawina Jaromierz - 1.2 MW



Dynamic Biogas: Jaromierz - 1.0 MW

# Technologie suchej fermentacji o przepływie tłokowym - przykłady

## Dranco Trzebania



## Kompogas WCR Jarocin



## Strabag - ZUOK-u „Orli Staw”:

- fermenter o przepustowości 15 000 Mg/r,
  - agregat kogeneracyjny o mocy elektrycznej 550 kW i 550 kW mocy cieplnej,
  - zbiornik na biogaz o pojemności ok. 2500 m<sup>3</sup>
- 
- fermenter I – 16 000 Mg/rok,
  - fermenter II – (w budowie) 15 000 Mg/rok,



# Technologie suchej fermentacji - odpady komunalne, przykłady



Eggersmann ZZO Poznań

# Zakład Rhein-Main Deponie sucha pozioma fermentacja w technologii Thoeni

- **Deponiepark Flörsheim-Wicker im Main-Taunus-Kreis (2014)**
- Deponiepark Brandholz im Hochtaunuskreis (2016)



1. Reception and treatment building
2. Fermenter, 1.850m<sup>3</sup>
3. Compost treatment and storage silos
4. Aerobisation, 4 boxes
5. Liquid digester storage tank, 2.000m<sup>3</sup>
6. Liquid digester storage tank, 1.500m<sup>3</sup>
7. Biofilter, 6 Container
8. Chimney
9. Biogas utilisation plant, 800kW capacity

# Instalacja fermentacji Brandholz



- Start of operation 2016
- Invest approx. 13,5 Mio. Euro
  - Plug flow fermenter, 1.850m<sup>3</sup>
  - Thermophile fermentation, +55°C
  - Yearly Input 25.000 tons (Bio- und Green waste)
  - Average biogas production, approx. 2.750.000 m<sup>3</sup> per year
  - Average biogas methane content, approx. 57 Vol.% per m<sup>3</sup>
  - Average biogas production, approx. 110m<sup>3</sup>/ton
  - Average electricity production from biogas, approx. 2,2 kWh/m<sup>3</sup>





# Wsad - bioodpady





# Instalacja fermentacji Brandholz

- Przepustowość 25.000 ton/a
- Powierzchnia zasobni 1.500 m<sup>2</sup>;
- Załadunek za pomocą ładowarki kołowej do rozdrabniacza
- Elektromagnes
- Po przesianiu: frakcja 0-60 mm ładowana ładowarką do bunkra

# Załadunek odpadów do komory

- Załadunek automatyczny za pomocą chwytaka do nadawy,
- Przenośnikiem taśmowym odpady transportowane do mieszalnika, gdzie są mieszane z odciekami z prasy (zaszczepienie, zwiększenie wilgotności)
- Dalej transport przenośnikiem śrubowym (podgrzewanym w okresie zimowym) do komory

# Bioodpady z gospodarstw domowych w Polsce



# Bioodpady z gospodarstw domowych

- Znaczny udział odpadów zielonych/ogrodowych
- Obecność odpadów twardych/trudnobiodegradowalnych
- Zanieczyszczenia: makroskopowe: worki, szkło
- Obecność frakcji drobnej: ziemia, piasek
- Zmienność sezonowa składu

**Rozwiązanie - wstępne przetwarzanie**



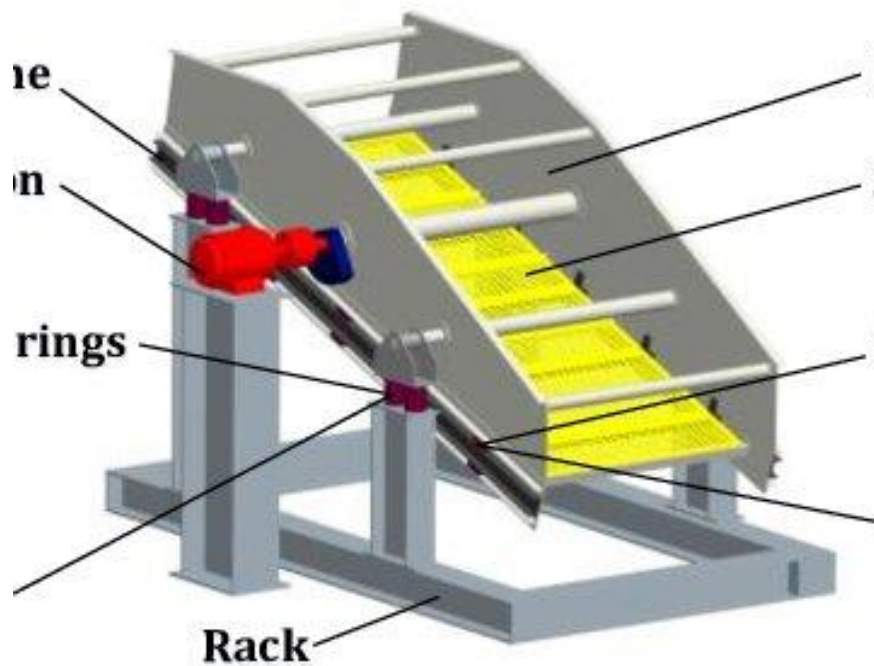


# Inne opcje doczyszczania wsadu

- Usunięcie drobnej frakcji

Technologia:

- Sita - **tzw. flip flow**



# Załadunek



Nadawa



Chwytnik



# Załadunek fermentera



# Komora fermentacji

- Pojemność 1.850 m<sup>3</sup>
- Produkcja biogazu: ca. 350 m<sup>3</sup>/h (58% CH<sub>4</sub>)
- Higienizacja przez utrzymanie temperatury: >55° C przez 21 dni
- Pompa tłoczy fermentat do dwóch pras ślimakowych (Thoeni)
  - Ok. 12 000 m<sup>3</sup>/a ciekłego fermentatu magazynowane w zbiornikach - wykorzystane jako nawóz płynny
  - Ok. 8 000 m<sup>3</sup>/a stałego fermentatu transportowane przenośnikami do hali intensywnego kompostowania
- Natlenienie + podsuszenie przez 10 dni w hali kompostowania
- Stabilizacja w pryzmach w hali (pow. 2000 m<sup>2</sup>) przez min. 4 tygodnie do uzyskania gotowego kompostu

# Komora fermentacji

Do fermentera - wsad o  
zawartości sm 35 do 40%,

w fermenterze 22-24% sm





# (Opcjonalnie) układ higienizacji - przykład

Podgrzanie w wymiennikach rurowych (odzysk ciepła), utrzymanie temperatury  $>70$  stopni C w zbiorniku (bez mieszania)





# Ekstrakcja fermentatu



Pompa tłokowa, do odwodnienia

# Mieszanie wsadu do fermentera



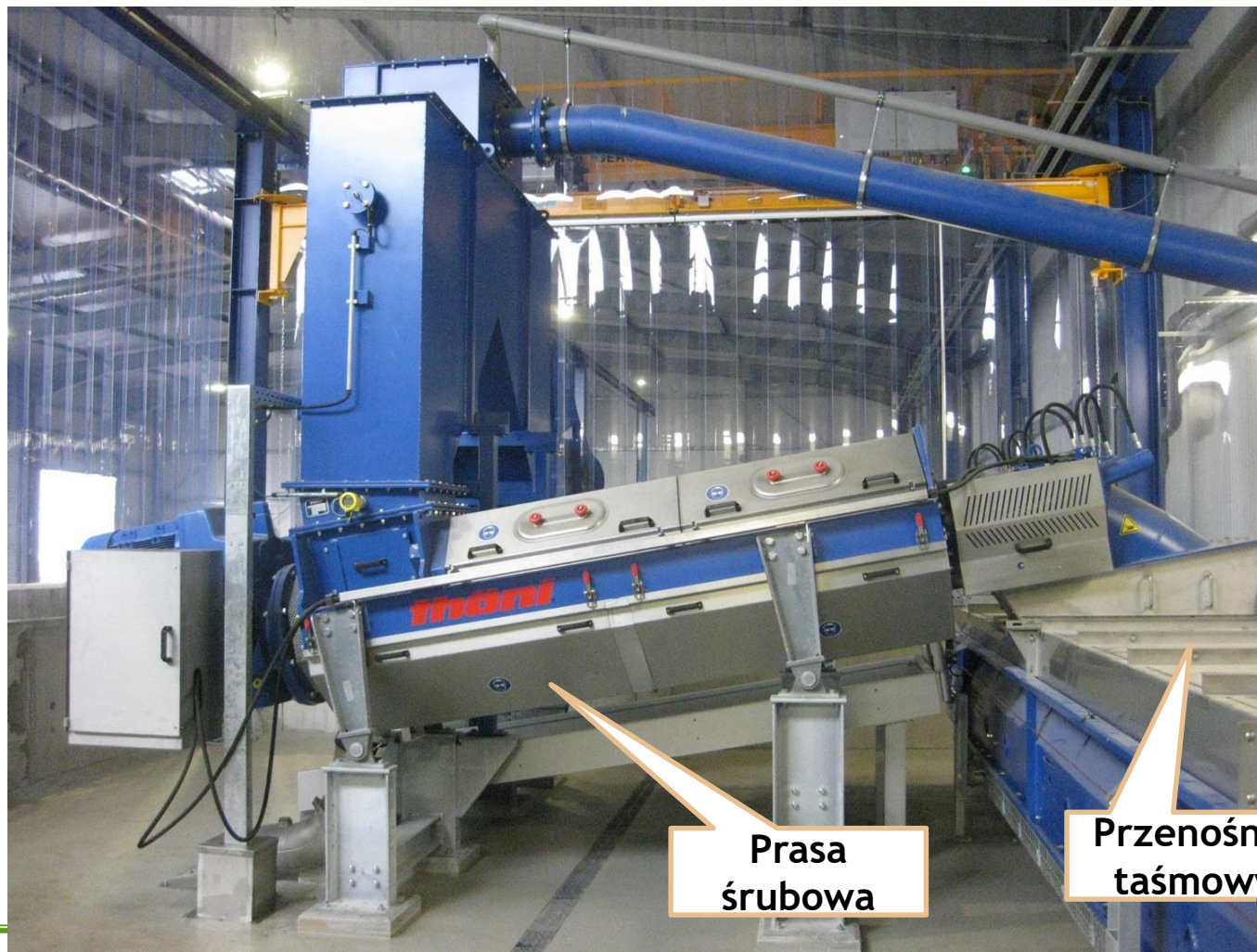
Podgrzewany rurociąg

Mieszalnik





# Odwadnianie fermentatu



Prasa  
śrubowa

Przenośnik  
taśmowy



# Zbiornik biogazu

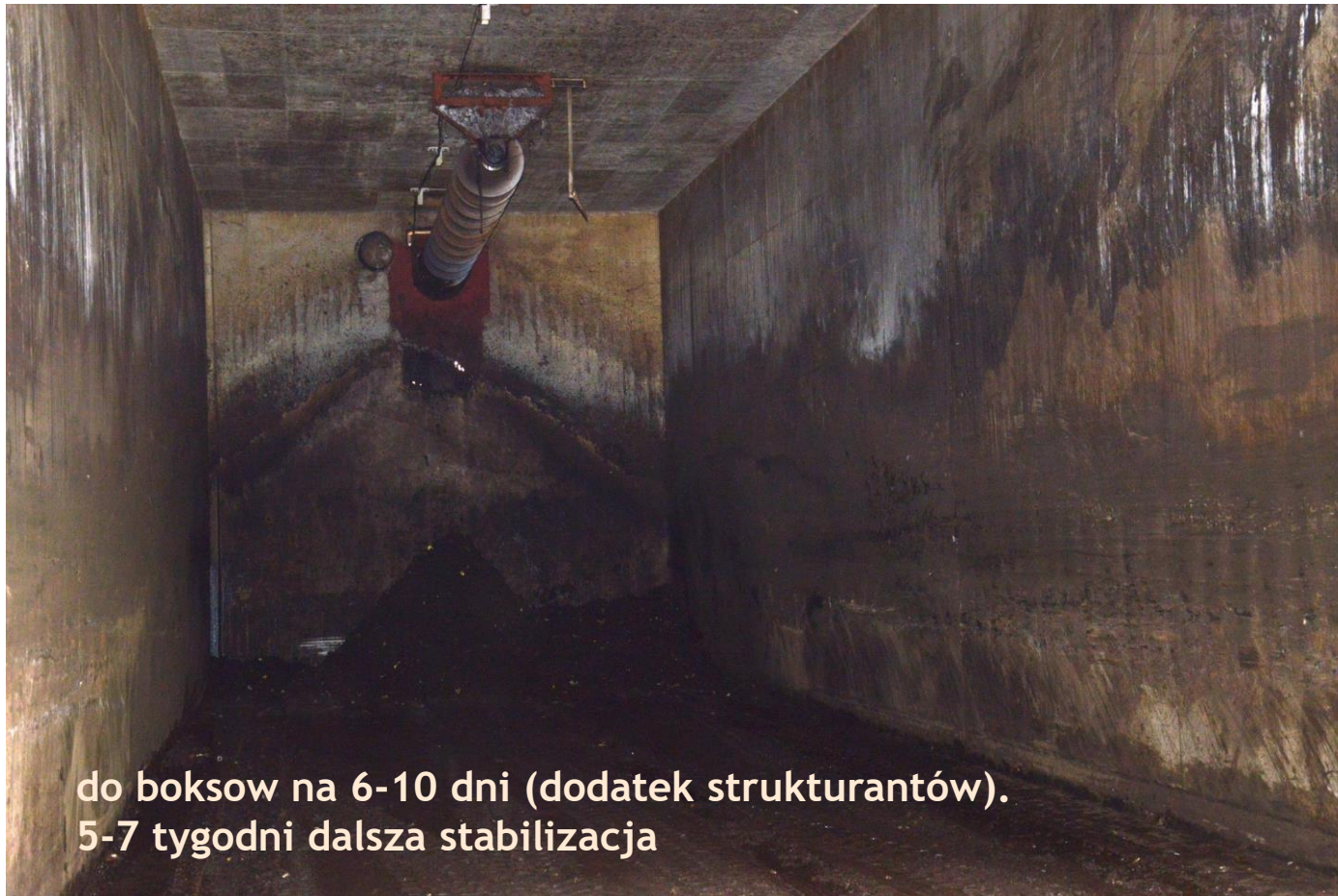




# Przenośnik taśmowy do hali natleniania/stabilizacji



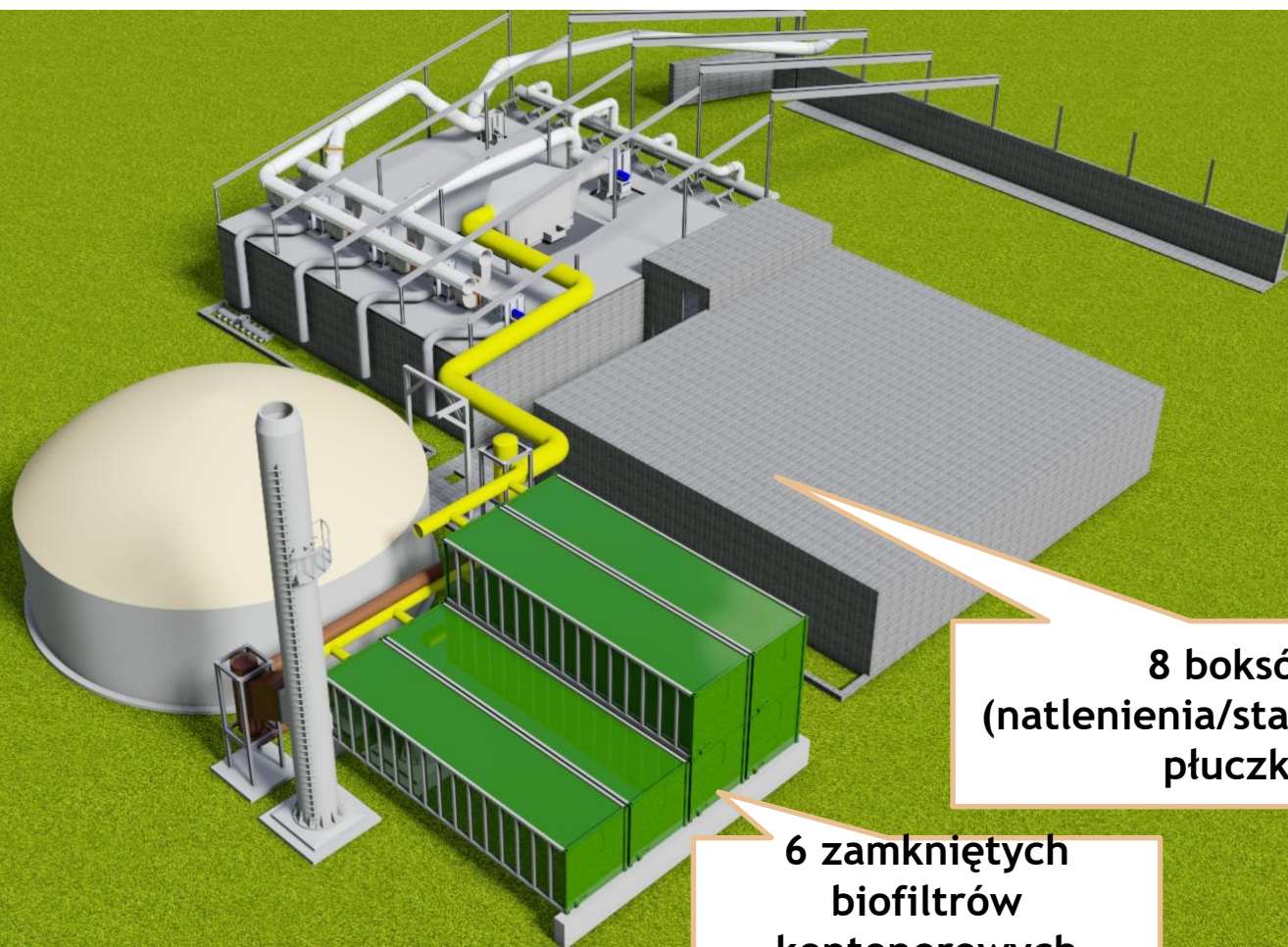
# Załadunek reaktorów stabilizacji - stara instalacja



do boksów na 6-10 dni (dodatek strukturantów).  
5-7 tygodni dalsza stabilizacja



# Natlenienie/tlenowa stabilizacja



8 boksów  
(natlenienia/stabilizacji) z  
płuczką

6 zamkniętych  
biofiltrów  
kontenerowych

# Płuczka (30 tys. m<sup>3</sup>/h) i biofiltr





# Zamknięte biofiltry





# Dojrzewanie fermentatu







# Końcowa obróbka



# Ciecz pofermentacyjna

- Wymagane zapewnienie możliwości przetrzymania przez 9 miesięcy
- Najpierw kierowane do osadnika o poj. 300 m<sup>3</sup> (osad usuwany co 2 miesiące)
- Następnie do magazynu 20 tys. m<sup>3</sup> (wspólny magazyn dla dwóch instalacji) czyszczenie przewidywane raz na 4 lata

# Trzy rodzaje konsystencji fermentatów

- 1) fermentaty ciekłe (zwłaszcza z mokrej fermentacji)
- 2) fermentaty o konsystencji lepkiej mazistej pasty (z suchej fermentacji o przepływie tłokowym),
- 3) fermentaty w postaci sypkiej (sucha fermentacja w boksach).

W przypadku dwóch pierwszych rodzajów fermentatów wymagane jest **rozdziół faz na ciekłą i stałą**.

Fermentat w formie sypkiej może być bezpośrednio kierowany do obróbki tlenowej (kompostowania).

# Wymagania dotyczące produktów biologicznego przetwarzania

Najkorzystniejszą opcją jest uzyskanie statusu **nawozu organicznego** lub **środka poprawiającego właściwości gleby**. Warunki uzyskania takiego statusu reguluje **ustawa o nawozach i nawożeniu** (Dz.U. 2007 nr 147 poz. 1033).

## Nawozy organiczne w postaci stałej

- min. 30% substancji organicznej w suchej masie,
- 0,3% (m/m) azotu całkowitego,
- 0,2% (m/m) fosforu w przeliczeniu na pięciotlenek fosforu ( $P_2O_5$ ),
- 0,2% (m/m) potasu w przeliczeniu na tlenek potasu ( $K_2O$ ).
- graniczne wartości dla metali ciężkich,
- nie mogą występować żywe jaja pasożytów jelitowych (*Ascaris* sp., *Trichuris* sp., *Toxocara* sp.) i bakterie z rodzaju *Salmonella*.



Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/1009 z dnia 5 czerwca 2019 r. ustanawiającego przepisy dotyczące udostępniania na rynku produktów nawozowych UE

# Podsumowanie

- Rozwój fermentacji - kierunek recyklingu organicznego + odzysk biogazu w ramach GOZ
- Przejście na paliwa III generacji (odpady)
- Coraz więcej doświadczeń - optymalizacja, szersze spektrum substratów
- Zagospodarowanie fermentatów - nowe rozwiązania
- Możliwości zagospodarowania i wykorzystania biogazu: kotłownie, kogeneracja, trigeneracja, wtłaczanie do sieci, napęd pojazdów -bioCNG
- Wykorzystanie ciepła CO, CWU, suszenie RDF, fermentatu, sprzedaż

A photograph showing a colony of storks nesting on a large pile of dark, decomposing organic waste. The birds are scattered across the pile, some standing and others sitting. In the background, there is a large mound of light-colored soil or sand, and further back, a dense line of green trees under a cloudy sky. To the right, there is a large, bushy plant with many small white flowers.

**Dziękuję za uwagę**

Emilia den Boer  
Wydział Inżynierii Środowiska  
Politechnika Wrocławska  
[emilia.denboer@pwr.edu.pl](mailto:emilia.denboer@pwr.edu.pl)