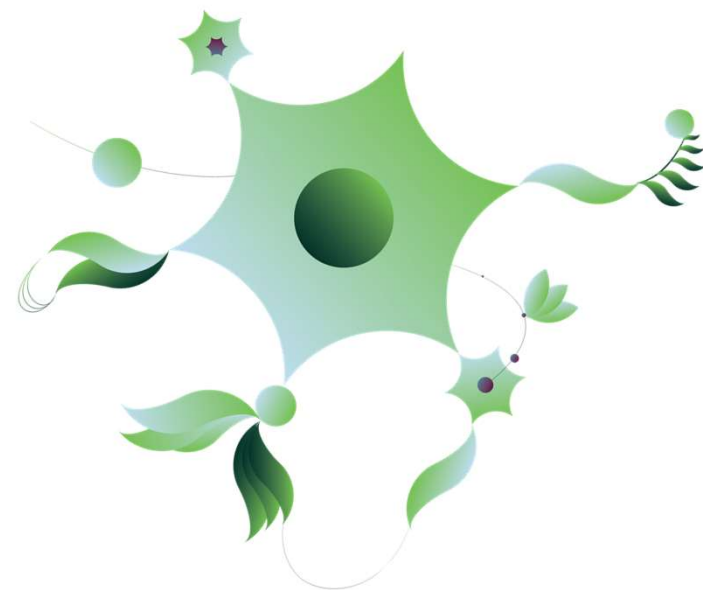


Technologie produkcji nawozów organicznych – fermentacja metanowa



Dr hab. Magdalena Szymańska, prof. SGGW



Puławy, 18 maja 2022 r.

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



- **Fermentacja metanowa** – mikrobiologiczny proces rozkładu materii organicznej zachodzący w warunkach beztlenowych. Efektem tego procesu jest emisja mieszaniny gazów - BIOGAZU.
- **Biogaz** – gaz uzyskany z biomasy wykorzystywany jest energetycznie.

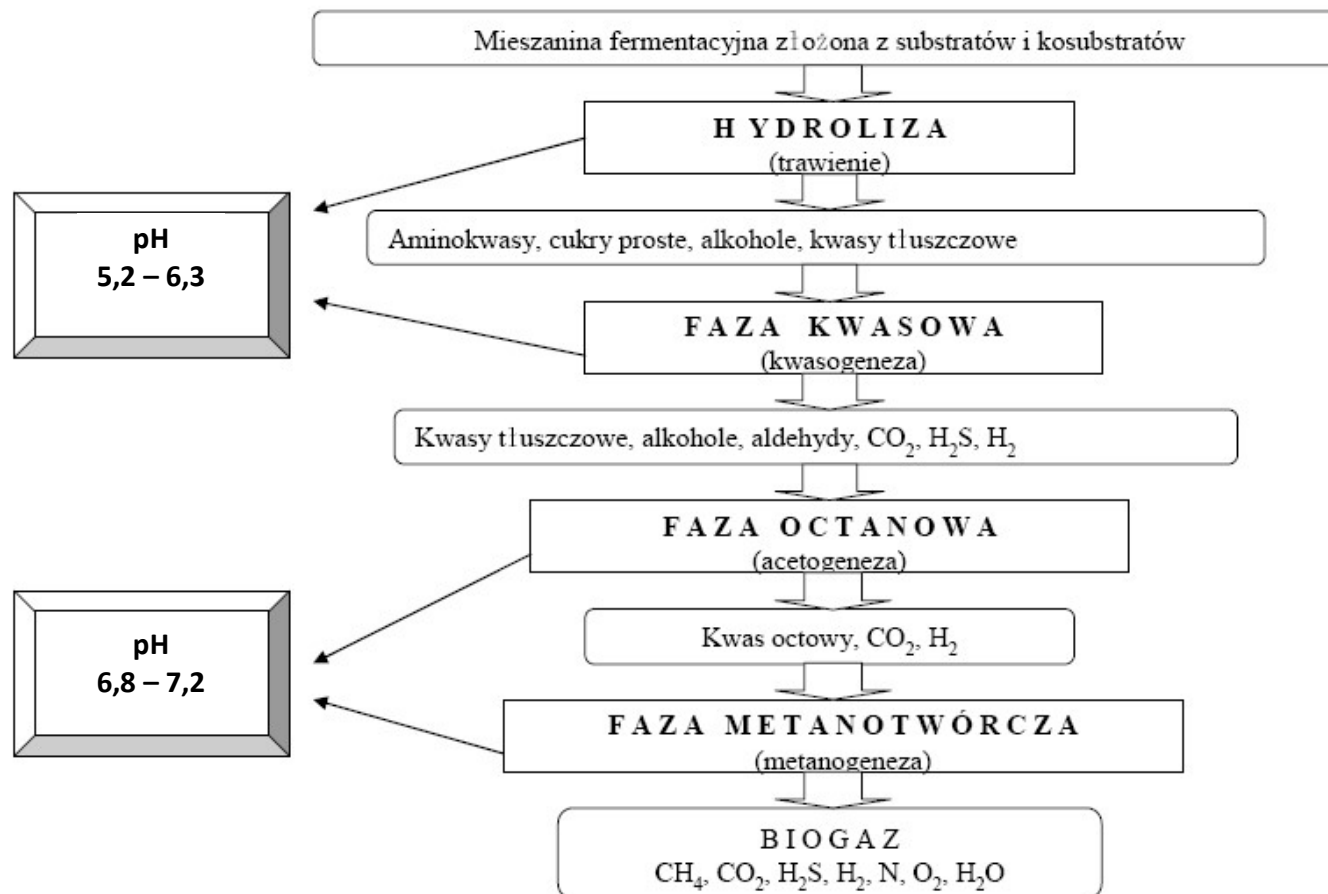


Podstawy teoretyczne fermentacji metanowej



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Przebieg fermentacji metanowej



Wg., Myczko, 2011

COŁA GŁÓWNA
SPODARSTWA
JSKIEGO

Podział fermentacji metanowej w zależności od temperatury

- fermentacja psychrofilna 5°C - 25°C
- fermentacja mezofilna 26°C - 45°C
- fermentacja termofilna 46°C - 60°C





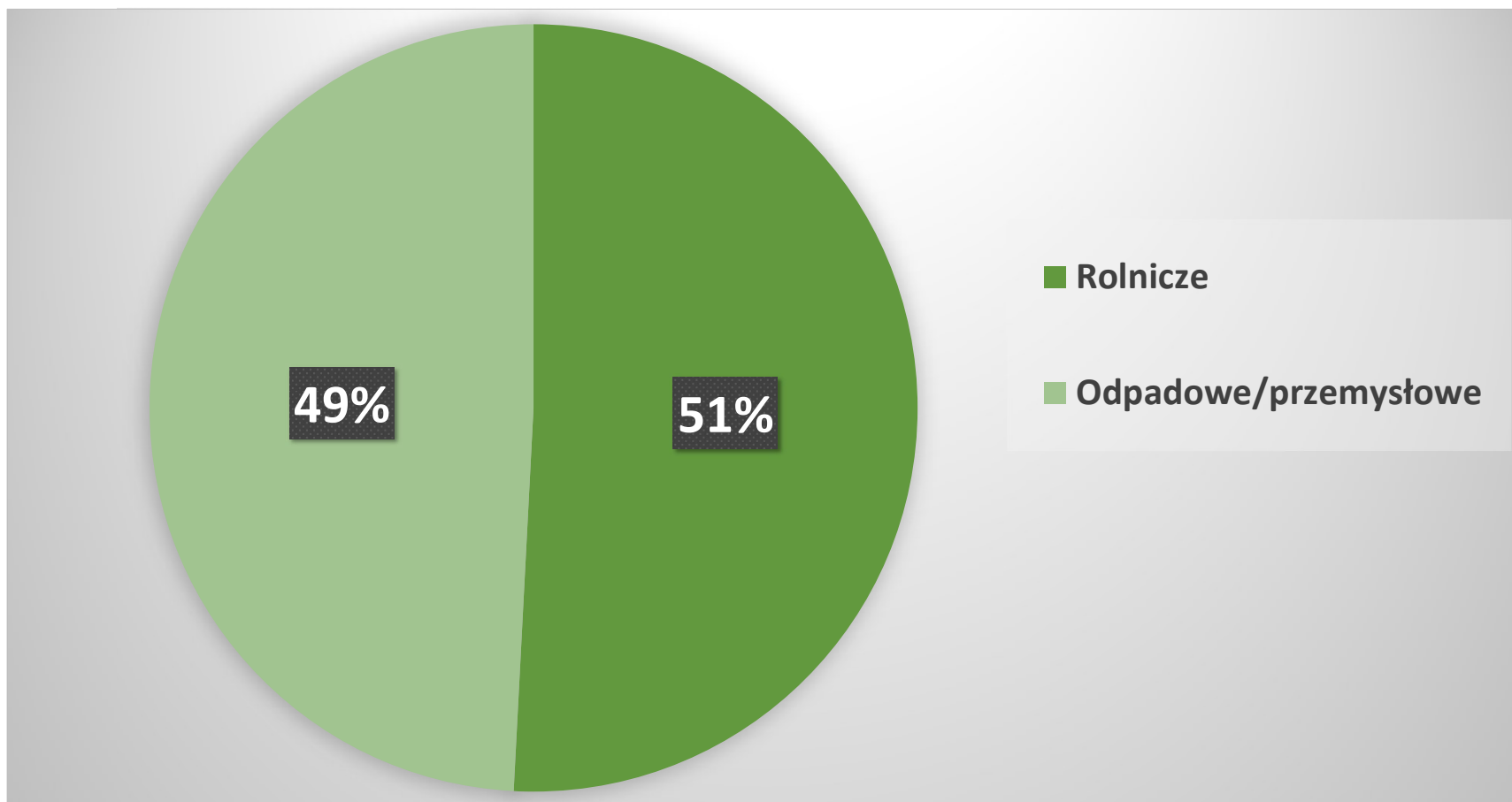
Biogazownia rolnicza

- surowce rolnicze,
- produkty uboczne rolnictwa,
- płynne lub stałe odchody zwierzęce,
- produkty uboczne, odpady lub pozostałości z przetwórstwa produktów pochodzenia rolniczego lub biomasy leśnej,
- biomasa roślinna zebrana z terenów innych niż zaewidencjonowane jako rolne lub leśne.

Biogazownia

- surowce pochodzące ze składowisk odpadów, a także oczyszczalni ścieków, w tym zakładowych oczyszczalni ścieków z przetwórstwa rolno-spożywczego, w których nie jest prowadzony rozdział ścieków przemysłowych od pozostałych rodzajów osadów i ścieków.

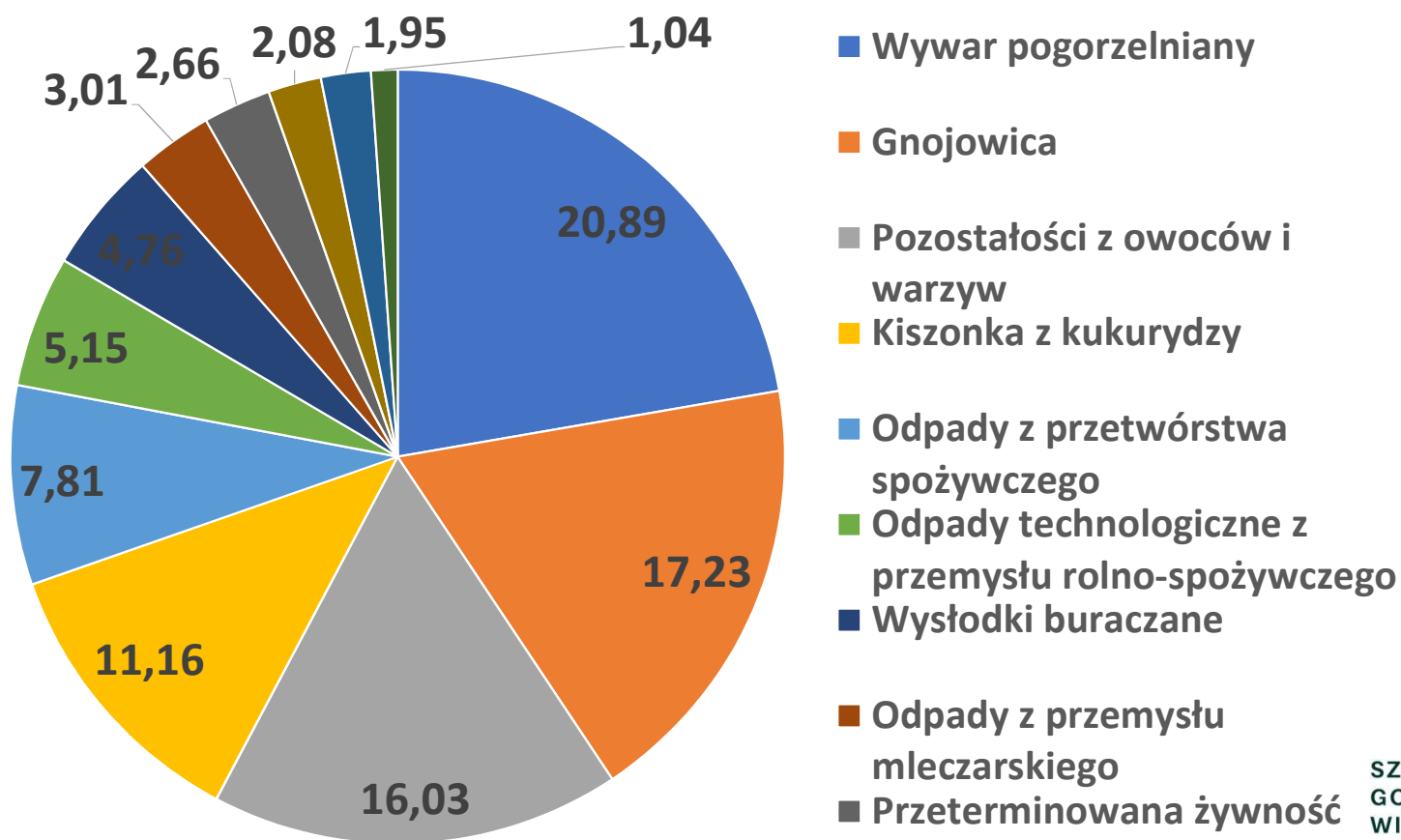




SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Opracowanie własne na podstawie: <https://bip.kowr.gov.pl/uploads/pliki/oze/biogaz/Surowce%20w%202020%20r..pdf>

Udział poszczególnych substratów używanych w polskich biogazowniach rolniczych [%] na wykresie pominięto substraty, których udział wyniósł poniżej 1%



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Opracowanie własne na podstawie: <https://bip.kowr.gov.pl/uploads/pliki/oze/biogaz/Surowce%20w%202020%20r..pdf>

Substraty do produkcji biogazu



Na co wpływają substraty:

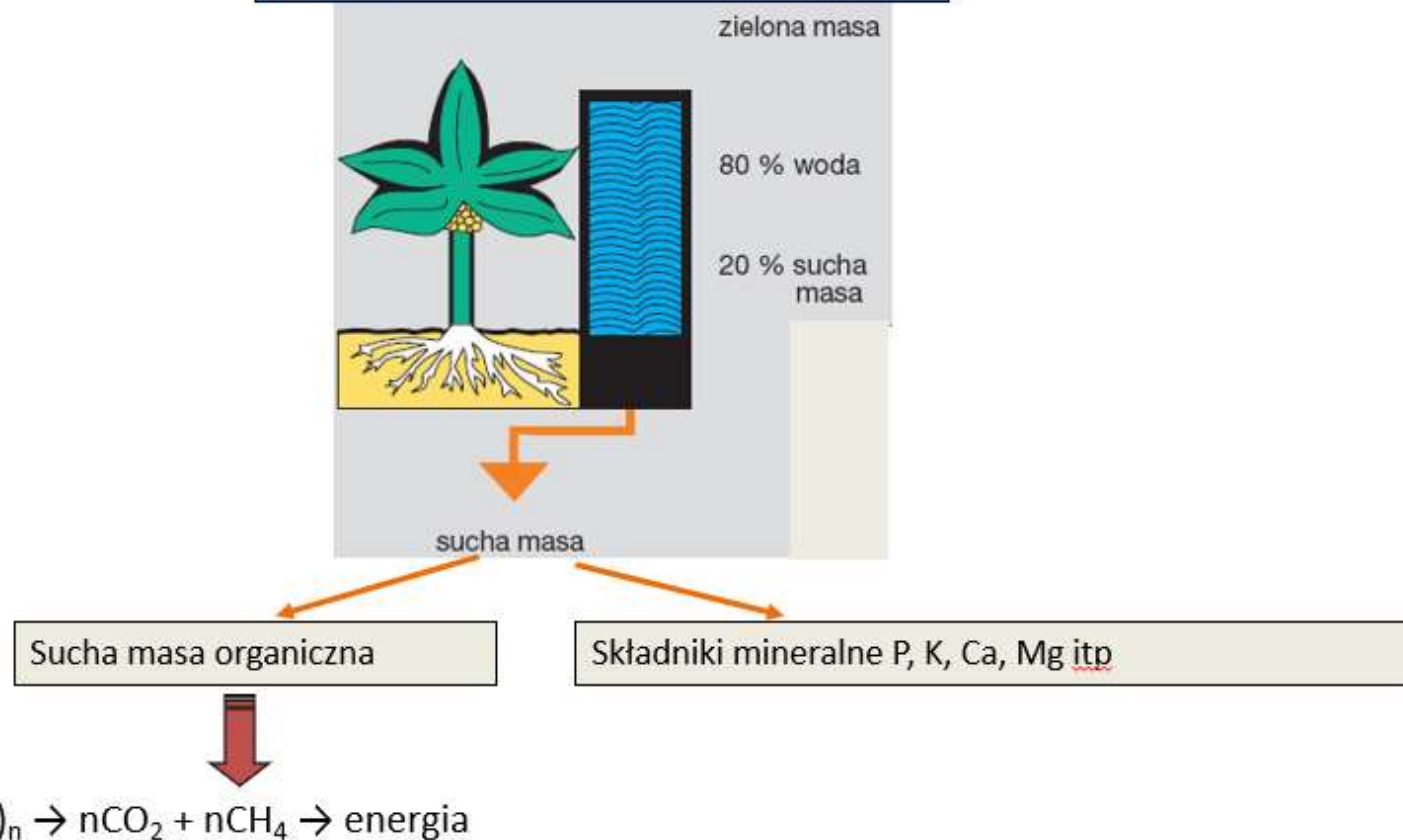
- rodzaj biogazowni,
- koszty operacyjne,
- nakłady inwestycyjne,
- masę i jakość cieczy pofermentacyjnej.

Czym różnią się substraty:

- ceną,
- suchą masą, suchą masą organiczną,
- biogazodochodowością suchej masy organicznej,
- uciążliwością w transporcie, przechowywaniu, utrzymywaniu jakości.



Biomasa – substrat do produkcji biogazu



Opracowanie M. Szymańska

PAŃSTWA
GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Kryteria doboru monosubstratów i kosubstratów

- Zawartość suchej masy do ok. 15%
- C : N ok. 25 : 1
- C : N : P : S 600 : 15 : 5 : 1

Inhibitory fermentacji metanowej:

- Tlen, NO_3^- , SO_4^{2-}
- NH_3
- Na^+ , K^+
- Metale ciężkie (szereg toksyczności: $\text{Ni} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Zn}$)
- Detergenty, antybiotyki



Podstawowe wskaźniki poprawności przebiegu procesu produkcji biogazu

Obciążenie komory ładunkiem materii organicznej

$$B_R = \frac{\dot{m} \times c}{V_R}$$

[kg s.m.o./m³/dobę]

BR - obciążenie komory ładunkiem materii organicznej

VR - objętość komory fermentacyjnej [m³]

m - ilość wsadu [kg/dobę]

c - procentowa zawartość substancji organicznej we wsadzie

s.m.o. - zawartość suchej masy organicznej



Optymalne BR = 3,5-6 kg s.m.o./m³/dobę

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Podstawowe wskaźniki poprawności przebiegu procesu produkcji biogazu

$$HRT = \frac{V_R}{\dot{V}}$$

HRT - hydrauliczny czas retencji

V_R - objętość komory fermentacyjnej [m³]

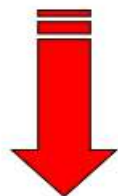
$\dot{V}$ - dobową objętość wsadu zadawanego do komory [m³/dobę]



SUBSTRATY



Fermentacja
metanowa



POFERMENT



Skład chemiczny pofermentu = skład chemiczny substratów – skład chemiczny biogazu

Fot. M. Szymańska

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Fot. M. Szymańska

**SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO**

Wprowadzanie do obrotu



POFERMENT

Odpad

→ Odzysk R10, R1, R3

Produkt uboczny

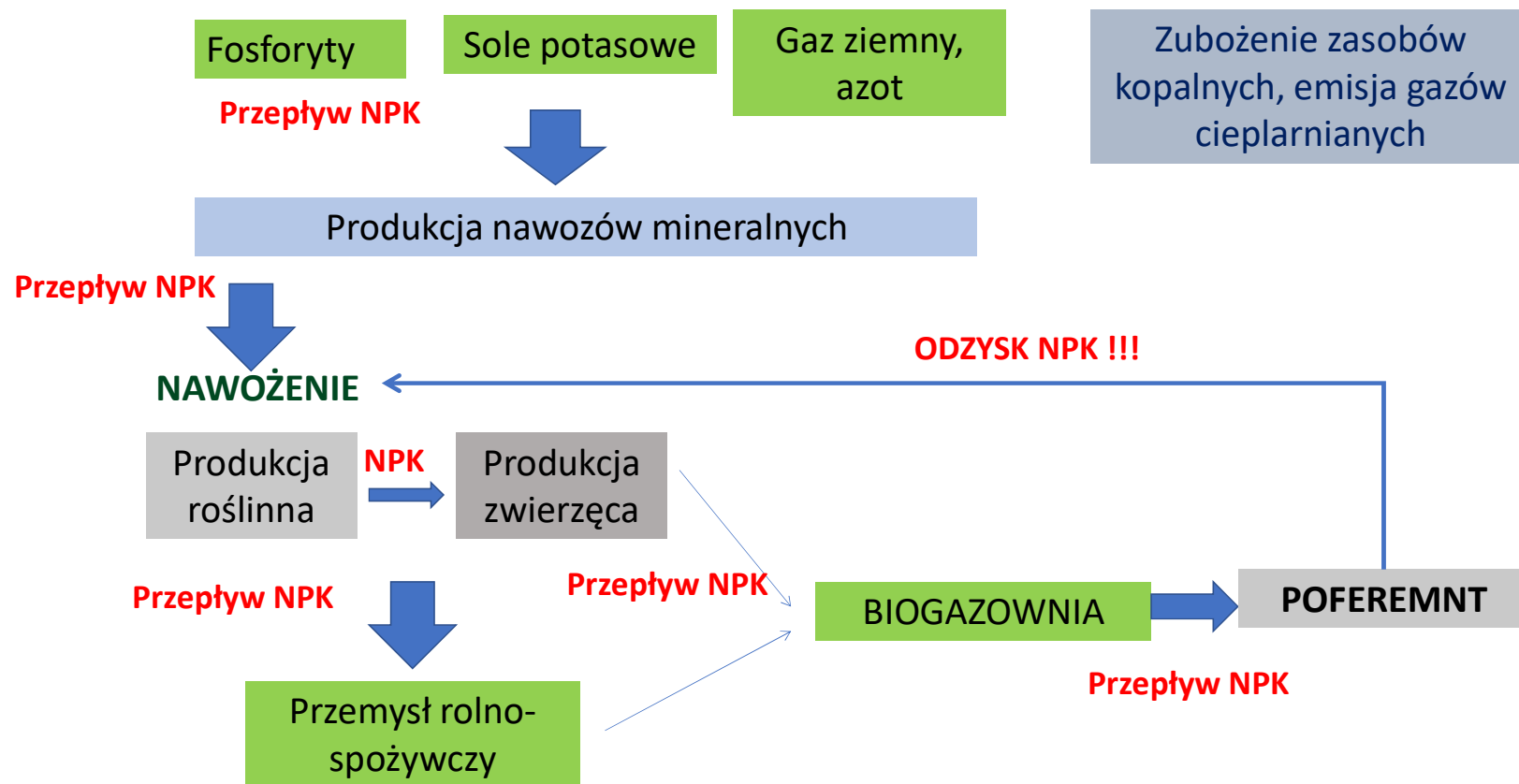
→ Art. 10 ustawy o odpadach

Nawóz/środek
poprawiający właściwości
gleby

→ Rozporządzenie Ministra
Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia
18 czerwca 2008 r.



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



[Źródło: Opracowanie M. Szymańska]

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Wykorzystanie w celach nawozowych

Bezpośrednia aplikacja na grunty orne i użytki zielone

Separacja na frakcję ciekłą i stałą – aplikacja na pola

Kompostowanie – aplikacja na pola, ogródki działkowe, przydomowe

Uzlachetnianie składu – produkcja nawozów organicznych, organiczno-mineralnych, środków poprawiających właściwości gleby



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

POFERMENT zawiera:

- ☐ **Biomasę bakterii przeprowadzających proces fermentacji metanowej**
- ☐ **nieprzefermentowane związki organiczne**
- ☐ **składniki mineralne** (w ilościach porównywalnych do ich zawartości w użytych w biogazowni substratach)

Ogólne różnice we właściwościach fizykochemicznych: SUBSTRAT - POFERMENT:

- wyższe pH (powyżej 7,0)
- mniejsza zawartość suchej masy i materii organicznej
- węższy stosunek C:N (szybszy rozkład w glebie)
- większy udział składników pokarmowych w formach mineralnych (bezpośrednio dostępnych dla roślin – szybszy efekt nawozowy)
- większy udział azotu amonowego (N-NH_4)
- mniejsza emisja odorów, w stosunku do używanej w biogazowniach gnojowicy świńskiej



Źródło: Szymańska M., Przyrodnicze wykorzystanie odpadów – podstawy teoretyczne i praktyczne, PWRiL, Warszawa 2011

**SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO**

Produkty pofermentacyjn e	pH	s.m. [%]	s.m.o [% s.m.]	N [g/kg ś.m.]	P	K	Mg	Ca	Zn	Cu	
					[g/kg s.m.]					[mg/kg s.m.]	
					Produkty pofermentacyjne (po fermentacji substratów pochodzących z rolnictwa i przemysłu rolno spożywczego)						
DW1	7,0	8,7	77,0	1,5	12,1	65,3	4,6	31,2	165,2	20,1	
DW2	6,9	8,4	79,6	1,4	8,2	72,7	3,2	28,9	172,3	18,2	
DW3	6,9	8,4	80,0	1,5	9,5	78,2	5,9	17,2	181,0	25,8	
DW4	6,9	8,6	78,2	1,4	11,2	87,4	2,5	24,6	220,2	16,0	
DW5	6,9	9,0	74,4	2,6	7,6	89,2	4,1	32,2	160,2	22,1	
	Produkty pofermentacyjne (po fermentacji substratów pochodzących z rolnictwa										
DA6	7,4	8,4	79,7	4,5	13,7	69,1	1,7	1,8	121,2	39,5	
DA7	7,4	8,4	79,5	5,7	11,2	64,1	2,8	8,1	116,8	49,6	
DA8	7,4	8,4	80,1	3,9	10,0	62,9	2,2	7,7	136,0	47,6	
DA9	7,4	8,3	80,4	5,0	9,5	53,2	0,8	2,2	86,6	10,5	
DA10	7,4	8,2	81,2	4,0	9,6	53,8	1,2	4,7	85,2	15,8	
Gnojowica	7,5	8,4	80,0	3,3	6,4	28,7	1,9	9,7	392,9	177,9	



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Szymańska M., Szara E., Sosulski T., Stępień W., Pilarski K., Pilarska A.A., 2018. Chemical properties and fertilizer value of ten different anaerobic digestates. Fresenius Environmental Bulletin. 27(5A). 3425-3432.

Technologie przetwarzania pofermentu

POFERMENT

1. Etap: **SEPARACJA**, w wyniku której uzyskujemy dwie frakcje



Frakcja stała

Składa się ze strukturalnych części materii organicznej, a także znaczne ilości związków mineralnych

Stosowanie tej frakcji na gleby prowadzi do uzyskiwania wysokich plonów roślin.

Aplikacja tej frakcji pofermentu zwiększa zawartość materii organicznej w glebie, przez co pozytywnie wpływa na ich pojemność wodną i sorpcyjną, a jednocześnie stanowi doskonałe źródło składników pokarmowych roślin, zmniejszając tym samym zapotrzebowanie na nawozy mineralne.



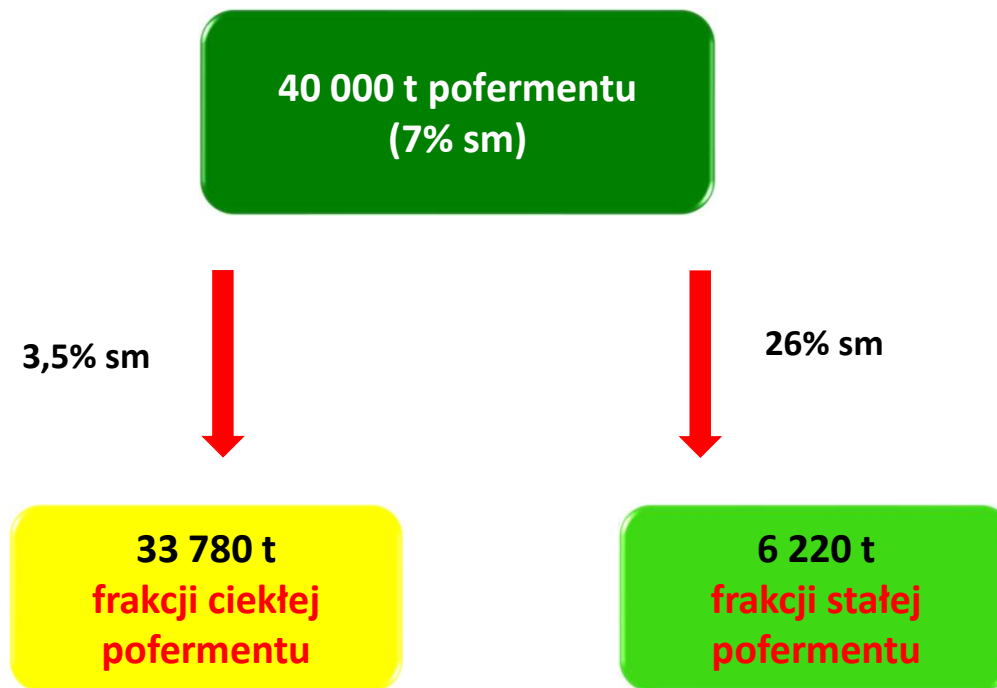
Frakcja ciekła

Zawiera znaczne ilości rozpuszczalnych form azotu, fosforu i potasu bezpośrednio dostępnych dla roślin. Zawiera ona także niewielkie ilości materii organicznej przez co pozytywnie wpływa na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleb.



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

[Źródło: Szymańska M., Przyrodnicze wykorzystanie odpadów – podstawy teoretyczne i praktyczne, PWRiL, Warszawa 2011]



Źródło: opracowanie własne

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

**Właściwości fizykochemiczne frakcji stałej uzyskanej z „przemysłowego” (1)
i „rolniczego” (2) produktu pofermentacyjnego**

Parametr	Frakcja stała z produktu pofermentacyjnego 1				Frakcja stała z produktu pofermentacyjnego 2			
	średnia	min.	max.	V	średnia	min.	max.	V
pH	7,6	7,6	7,7	0,5	7,3	7,3	7,3	0,3
s.m. [%]	17,9	16,5	18,6	4,4	19,6	19,2	19,9	1,2
s.m.o. [g·kg ⁻¹ s.m.]	857,9	850,0	861,2	0,5	859,8	858,7	861,4	0,1
C _{org} [g·kg ⁻¹ s.m.]	411,4	406,3	413,8	0,7	411,3	410,0	412,2	0,2
N _{og} [g·kg ⁻¹ s.m.]	6,8	6,2	7,8	7,6	3,9	3,1	4,5	20,1
N-NH ₄ [g·kg ⁻¹ ś.m.]	3,8	3,6	4,5	7,7	2,2	1,7	2,8	20,0
P [g·kg ⁻¹ ś.m.]	2,3	1,6	3,1	26,7	2,6	2,1	3,0	11,5
K [g·kg ⁻¹ ś.m.]	4,6	3,4	6,4	19,6	4,0	3,5	4,9	11,9
Mg [g·kg ⁻¹ ś.m.]	1,3	0,9	1,9	28,5	2,4	1,6	2,8	19,6
Ca [g·kg ⁻¹ ś.m.]	1,2	0,8	1,6	21,6	1,4	1,1	1,6	15,2
Zn [g·kg ⁻¹ ś.m.]	49,1	45,5	51,8	3,9	44,7	21,6	61,2	35,6
Cu [g·kg ⁻¹ ś.m.]	25,7	23,7	29,2	9,2	17,2	12,4	25,2	22,6
Mn [g·kg ⁻¹ ś.m.]	20,8	18,6	28,6	17,2	25,8	17,6	29,2	15,2



V – współczynnik zmienności (%) określający stabilność składu chemicznego.

Źródło: Szymańska M., Sosulski T., Szara E., Pilarski K., 2015. Technologie przetwarzania pofermentu z biogazowni oraz właściwości fizykochemiczne otrzymanych produktów. Przemysł Chemiczny. 94(8). 1419-1423

GŁÓWNA
DARSTWA
EGO

Właściwości fizykochemiczne frakcji ciekłej uzyskanej z „przemysłowego” (1) i „rolniczego” (2) produktu pofermentacyjnego

Parametr	Frakcja ciekła z produktu pofermentacyjnego 1				Frakcja ciekła z produktu pofermentacyjnego 2			
	średnia	min.	max.	V	średnia	min.	max.	V
pH	7,7	7,7	7,7	0,2	7,4	7,3	7,4	0,4
s.m. [%]	3,1	3,0	3,2	2,3	3,2	3,1	3,4	3,5
s.m.o. [g·kg ⁻¹ s.m.]	761,2	759,9	763,1	0,1	779,6	778,4	781,2	0,1
C _{org} [g·kg ⁻¹ s.m.]	352,9	352,0	354,6	0,3	370,0	368,7	371,3	0,3
N _{og} [g·kg ⁻¹ s.m.]	4,4	4,1	4,6	3,3	3,1	2,8	3,3	6,6
N-NH ₄ [g·kg ⁻¹ ś.m.]	4,2	4,0	4,4	3,1	3,0	2,7	3,2	6,9
P [g·kg ⁻¹ ś.m.]	0,2	0,2	0,3	8,7	0,3	0,2	0,3	9,6
K [g·kg ⁻¹ ś.m.]	4,2	3,6	4,7	7,8	2,6	1,9	3,9	30,3
Mg [g·kg ⁻¹ ś.m.]	0,06	0,04	0,09	30,8	0,07	0,06	0,09	18,4
Ca [g·kg ⁻¹ ś.m.]	0,3	0,22	0,3	20,0	0,3	0,2	0,5	23,6
Zn [g·kg ⁻¹ ś.m.]	15,4	12,00	17,3	12,2	14,6	11,4	18,8	20,7
Cu [g·kg ⁻¹ ś.m.]	3,4	2,18	4,1	17,3	4,0	3,3	5,8	21,3
Mn [g·kg ⁻¹ ś.m.]	6,0	5,21	6,8	8,4	4,8	3,0	7,0	30,0



V – współczynnik zmienności (%) określający stabilność składu chemicznego.

Źródło: Szymańska M., Sosulski T., Szara E., Pilarski K., 2015. Technologie przetwarzania pofermentu z biogazowni oraz właściwości fizykochemiczne otrzymanych produktów. Przemysł Chemiczny. 94(8). 1419-1423

W GŁÓWNA
DARSTWA
IEGO

GRANULOWANIE



- **Niezbędna separacja i suszenie**
- **Większe nakłady inwestycyjne**



- **Jednolity produkt**
- **Brak uciążliwości zapachowych**
- **Większe grono odbiorców**



Fot. M. Szymańska

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

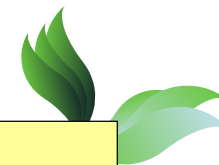
Właściwości fizykochemiczne granulatów z frakcji stałej uzyskanej z „przemysłowego” (1) i „rolniczego” (2) produktu pofermentacyjnego

Parametr	Granulat 1				Granulat 2			
	średnia	min.	max.	V	średnia	min.	max.	V
pH	7,4	7,3	7,4	0,7	7,3	7,2	7,3	0,4
s.m. [%]	95,9	95,6	96,3	0,3	95,9	95,5	96,4	0,4
s.m.o. [g·kg ⁻¹ s.m.]	795,6	793,7	796,9	0,1	798,4	797,0	799,2	0,1
C _{org} [g·kg ⁻¹ s.m.]	359,1	355,4	360,7	0,5	333,0	332,0	334,0	0,2
N _{og} [g·kg ⁻¹ s.m.]	19,5	19,0	20,4	2,7	16,9	16,6	17,2	1,4
N-NH ₄ [g·kg ⁻¹ ś.m.]	1,3	1,2	1,3	2,4	1,0	0,9	1,0	4,0
P [g·kg ⁻¹ ś.m.]	8,5	8,2	8,8	2,6	12,0	10,6	13,4	8,5
K [g·kg ⁻¹ ś.m.]	21,3	18,7	22,9	8,2	21,8	20,5	22,6	3,5
Mg [g·kg ⁻¹ ś.m.]	5,5	5,2	5,6	2,8	8,4	8,1	8,7	2,9
Ca [g·kg ⁻¹ ś.m.]	6,2	6,0	6,6	3,3	6,8	6,2	7,2	5,7
Zn [g·kg ⁻¹ ś.m.]	307,0	298,8	312,0	1,4	330,4	253,8	382,3	16,0
Cu [g·kg ⁻¹ ś.m.]	139,2	98,4	172,1	16,1	97,7	92,8	106,4	4,3
Mn [g·kg ⁻¹ ś.m.]	114,4	112,2	119,4	2,2	161,5	142,2	175,8	8,5



GŁÓWNA
DARSTWA
IEGO

Źródło: Szymańska M., Sosulski T., Szara E., Pilarski K., 2015. Technologie przetwarzania pofermentu z biogazowni oraz właściwości fizykochemiczne otrzymanych produktów. Przemysł Chemiczny. 94(8). 1419-1423



Nawożenie - najbardziej uzasadniony sposób zagospodarowania pofermentu

Na podstawie wieloletnich badań prowadzonych przez Samodzielny Zakład Chemii Rolniczej i Środowiskowej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie można stwierdzić, że jest to produkt o WYSOKIEJ WARTOŚCI NAWOZOWEJ.



Pracownia biogazu Zakładu Chemii Rolniczej SGGW



Doświadczenia wazonowe określające wartość nawozową różnych form pofermentu



Fot. M. Szymańska

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



ZA GŁÓWNA
ODARSTWA
WIEJSKIEGO



Fot. M. Szymańska

Wpływ masy pofermentacyjnej na plony trawy (doświadczenie SGGW)



kontrola



Obiekty nawożone masą
pofermentacyjną



Fot. własna

Źródło: Badania M. Szymańska w ramach projektu finansowanego przez NCN





Masa
pofermentacyjna

gnojowica

kontrola

Masa pofermentacyjna

Źródło: Badania M. Szymańska w ramach projektu finansowanego przez NCN

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Doświadczenie wazonowe jesień – rzepak ozimy



kontrola

Masa
pofermentacyjna
85kgN/ha

Masa
pofermentacyjna 170
kgN/ha



Fot. M. Szymańska

Źródło: Badania M. Szymańska w ramach projektu finansowanego przez NCN

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Źródło: Badania M. Szymańska w ramach projektu finansowanego przez NCN

Doświadczenie wazonowe wiosna – rzepak ozimy



Masa
pofermentacyjna 170
kgN/ha

Masa
pofermentacyjna
85kgN/ha

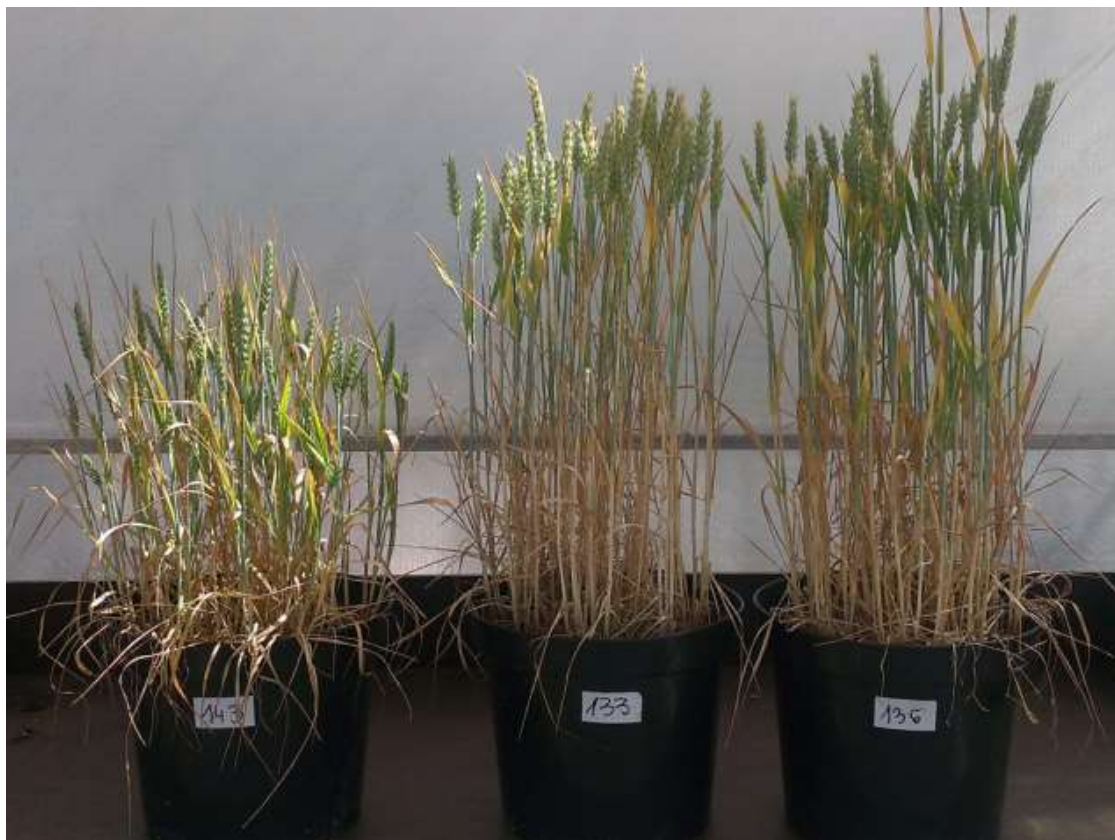
kontrola

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO



Fot. M. Szymańska

Pszenica ozima



kontrola

Masa
pofermentacyjna

Masa
pofermentacyjna



Fot. M. Szymańska

Źródło: Badania M. Szymańska w ramach projektu finansowanego przez NCN

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Doświadczenie wazonowe jesień – rzepak ozimy



kontrola

Kompost z masy
pofermentacyjnej



Fot. M. Szymańska

Źródło: Badania M. Szymańska w ramach projektu finansowanego przez NCN

SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Źródło: Badania M. Szymańska w ramach projektu finansowanego przez NCN

Doświadczenie wazonowe wiosna – rzepak ozimy



Fot. M. Szymańska

kontrola

Kompost z masy pofermentacyjnej

KOŁA GŁÓWNA
OSPODARSTWA
EJSKIEGO



Dziękuję za uwagę

Dr hab. Magdalena Szymańska, prof. SGGW
Samodzielny Zakład Chemii Rolniczej i Środowiskowej,
Instytut Rolnictwa, SGGW w Warszawie,
magdalena_szymanska@sggw.edu.pl
Tel. 22 59 326 25



SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO