

Odnawialne źródła energii

Dr inż. Magdalena Szymańska

Falenty, 2011

Spis treści

	Strony
1. Aktualny stan wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz perspektywy rozwoju.....	3
2. Energetyczne wykorzystanie biomasy.....	10
2.1. Rośliny energetyczne.....	11
2.1.1. Uprawa <i>Salix viminalis</i> – wierzba krzewiasta.....	13
2.1.2. Uprawa miskanta.....	17
2.1.3. Uprawa ślazuwca pensylwańskiego.....	23
2.1.4. Uprawa słonecznika bulwiastego (topinambur).....	26
2.2. Produkcja biogazu rolniczego w Polsce.....	29
2.2.1. Budowa biogazowni rolniczej.....	36
2.2.2. Substraty do produkcji biogazu.....	37
2.2.3. Koncepcja przetwarzania i przyrodniczego wykorzystania masy pofermentacyjnej.....	53
2.3. Biopaliwa płynne.....	75
2.3.1. Biodiesel.....	75
2.3.2. Bioetanol.....	79
3. Bibliografia.....	84

1. AKTUALNY STAN WYKORZYSTANIA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII ORAZ PERSPEKTYWY ROZWOJU

Celem polityki energetycznej państwa jest zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju, wzrostu konkurencyjności gospodarki i jej efektywności energetycznej, a także ochrony środowiska.

Polityka energetyczna państwa określa w szczególności:

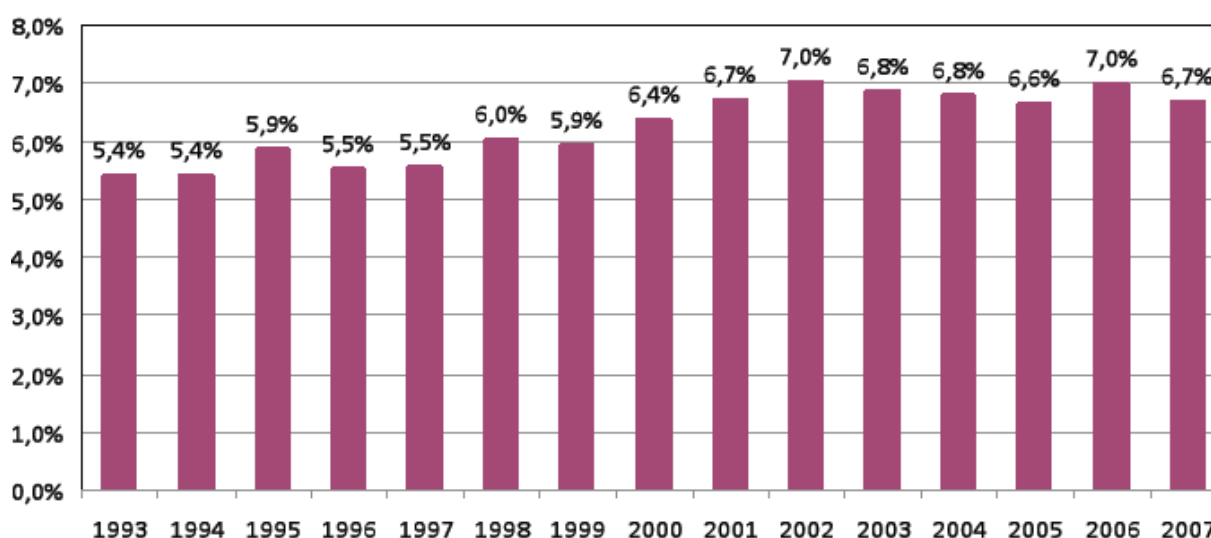
- 1) bilans paliwowo-energetyczny kraju;
- 2) zdolności wytwórcze krajowych źródeł paliw i energii;
- 3) zdolności przesyłowe, w tym połączenia transgraniczne;
- 4) efektywność energetyczną gospodarki;
- 5) działania w zakresie ochrony środowiska;
- 6) **rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii;**
- 7) wielkości i rodzaje zapasów paliw;
- 8) kierunki restrukturyzacji i przekształceń własnościowych sektora paliwowo-energetycznego;
- 9) kierunki prac naukowo-badawczych;
- 10) współpracę międzynarodową.

AKTUALNY STAN WYKORZYSTANIA ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII ORAZ PLAN ROZWOJU W KONTEKŚCIE AKTUALNIE OBOWIĄZUJĄCEJ DYREKTYWY PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2009/28/WE

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 ustala dla Polski cel dla udziału energii ze źródeł odnawialnych na poziomie

15 % do 2020r

Odnawialne źródła energii



Rysunek 1. Udział energii z OZE w zużyciu finalnym energii w Polsce wg Eurostat¹

Tabela 1. Indykatywne cele wynikające z dyrektywy 2009/28/WE dla udziału energii z OZE w strukturze zużycia energii finalnej dla Polski²

2005	Średnio dla lat 2011-2012	Średnio dla lat 2013-2014	Średnio dla lat 2015-2016	Średnio dla lat 2017-2018	2020
7,2%	8,76%	9,54%	10,71%	12,27%	15%

DZIAŁANIA, JAKIE NALEŻY PODJĄĆ DLA OSIĄGNIĘCIA CELU³:

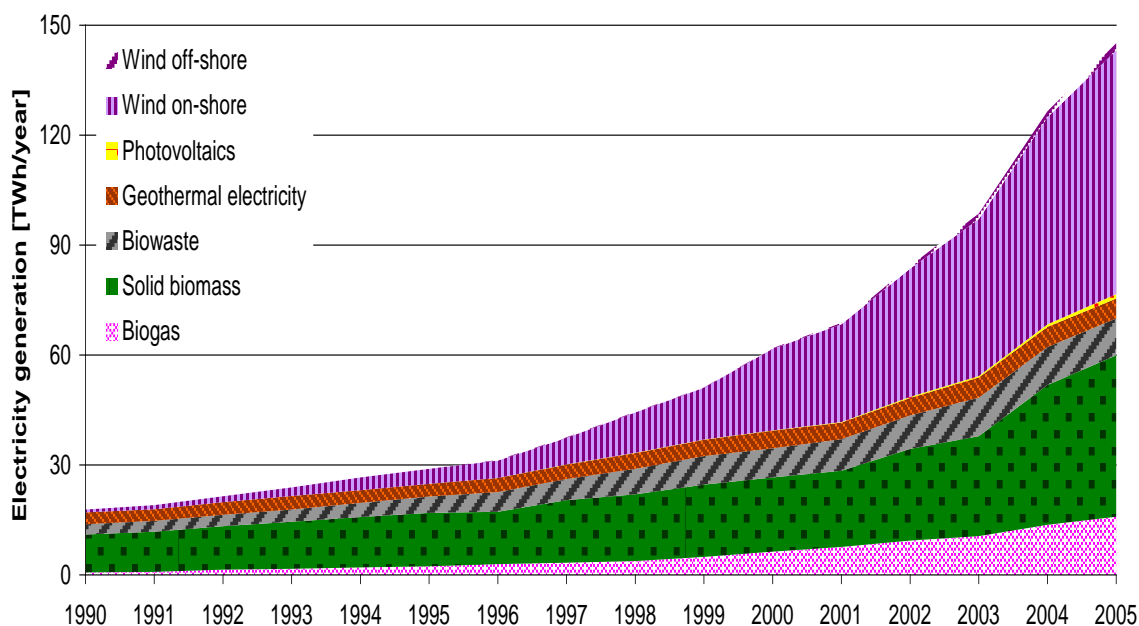
1. Działania legislacyjne – w tym działania związane z procedurami administracyjnymi, przepisami i normami
2. Działania informacyjne – w tym programy edukacyjne w szkolnictwie
3. Działania związane z certyfikacją instalacji
4. Działania związane z rozwojem infrastruktury sieci elektrycznej
5. Gwarantowany dostęp do sieci
6. Systemy wsparcia dla energii elektrycznej z OZE
7. Systemy wsparcia dla ciepła i chłodu ze źródeł odnawialnych
8. Systemy wsparcia dla odnawialnych źródeł energii w transporcie
9. Pomoc inwestycyjna
10. Zwiększenie dostępności biomasy

¹ Więcej: http://ec.europa.eu/energy/publications/doc/statistics/part_2_energy_pocket_book_2010.pdf

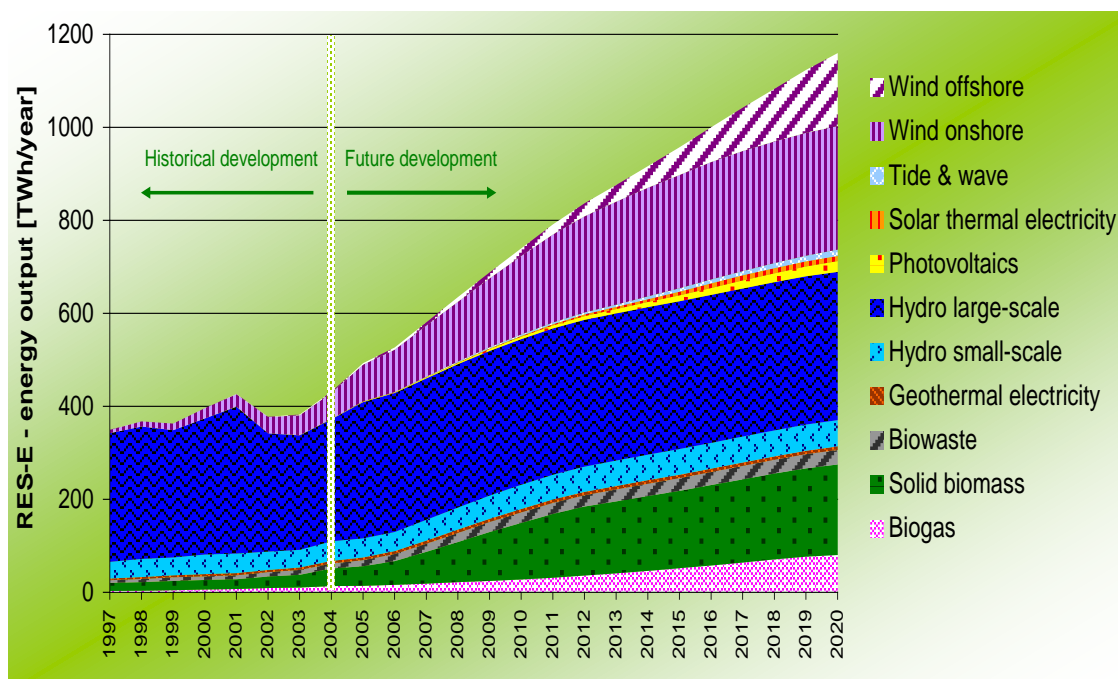
² Na podstawie: Krajowej Mapy Drogowej Odnawialnych Źródeł Energii dla Polski 15% do 2020 r.

³ tamże

Odnawialne źródła energii



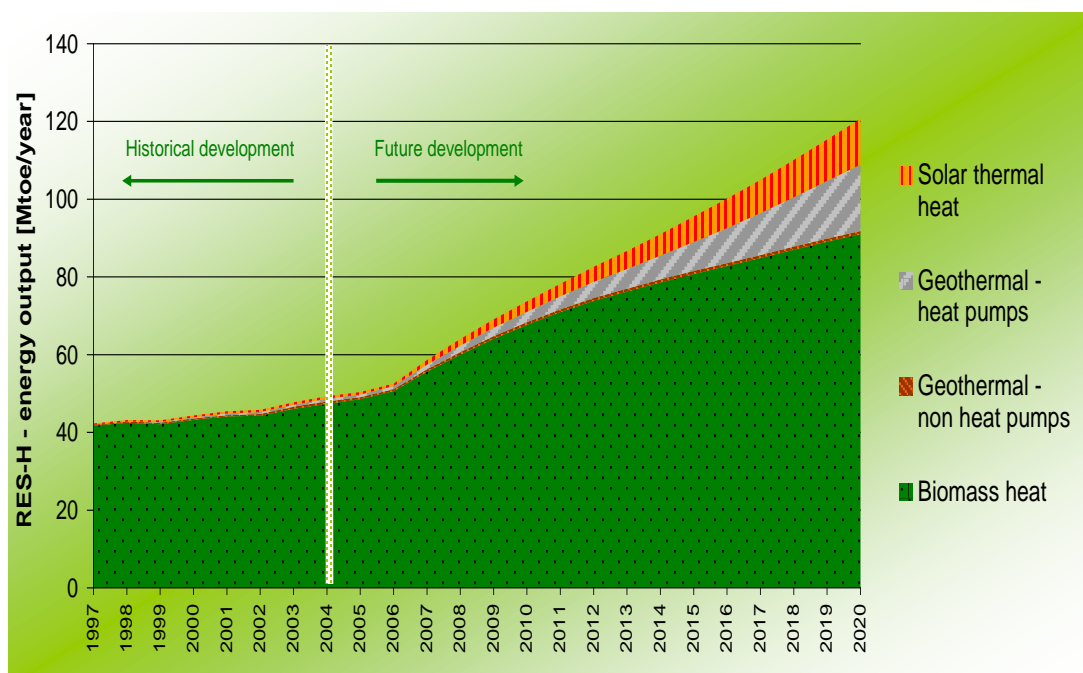
Rysunek 2. Produkcja elektryczności ze źródeł odnawialnych z wyłączeniem elektrowni wodnych w 25 państwach członkowskich UE (1990-2005) ⁴



Rysunek 3. Wzrost wykorzystania energii odnawialnych: prognozy w zakresie elektryczności do 2020r. ⁵

⁴ Mapa drogowa na rzecz energii odnawialnej. Energie odnawialne w XXI wieku: budowa bardziej zrównoważonej przyszłości.

⁵ tamże



Rysunek 4. Wzrost wykorzystania energii odnawialnych: prognozy w zakresie ogrzewania i chłodzenia do 2020 r.⁶

Rysunek 5. Ocena potencjału biomasy w UE w dłuższym okresie i stopnia wykorzystania rolniczej przestrzeni produkcyjnej (źródło: De Witt, 2007) (REFUEL project)

⁶ tamże

System wsparcia dla OZE w Polsce – obowiązek zakupu energii wytworzonej z OZE

Obowiązek zakupu energii elektrycznej wytworzonej w OZE spoczywa na sprzedawcy z urzędu, na obszarze działania którego nastąpiło przyłączenie jednostki OZE do sieci. Obowiązek zakupu ciepła z OZE spoczywa na przedsiębiorstwie energetycznym, które zajmuje się obrotem ciepła i które to ciepło sprzedaje. Gwarancję odbioru/zakupu energii posiada wytwórca mający koncesję na wytwarzanie energii w OZE podłączonego do sieci. Zakup ten odbywa się po średniej cenie sprzedaży energii na rynku konkurencyjnym z poprzedniego roku kalendarzowego w przypadku energii elektrycznej, a w przypadku ciepła koszt zakupu ciepła OZE nie może wpłynąć na wzrost cen ciepła lub stawek opłat za ciepło dostarczane odbiorcom końcowym podłączonych do sieci przedsiębiorcy dokonującego zakupu ciepła z OZE. **W przypadku energii elektrycznej z OZE zakup dotyczy całej ilości oferowanej do sprzedaży energii, zaś w przypadku ciepła z OZE, ilość oferowanej do sprzedaży energii nie powinna przekroczyć całkowitego zapotrzebowania odbiorców przedsiębiorstwa na ciepło, któremu oferuje się sprzedaż ciepła z OZE⁷.** Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. o świadectwach pochodzenia OZE, udział ten wynosi:

- **8,7% za rok 2009**
- **10,4% za rok 2010**
- **10,4% za rok 2011**
- **10,4% za rok 2012**
- **10,9% za rok 2013**
- **11,4% za rok 2014**
- **11,9% za rok 2015**
- **12,4% za rok 2016**
- **12,9% za rok 2017**

⁷ Na podstawie: Krajowej Mapy Drogowej Odnawialnych Źródeł Energii dla Polski 15% do 2020 r.

Odnawialne źródła energii

Tabela 2. Produkcja energii elektrycznej i moce zainstalowane w odnawialnych źródłach energii. Dane znormalizowane zgodnie z dyrektywą 2009/28/WE⁸

	2005		2006		2007	
	GWh	MW _{el}	GWh	MW _{el}	GWh	MW _{el}
Biogaz	111,0	30,0	160,0	32,0	195,0	40,0
Biomasa stała	1 719,0	25,0	1 851,0	25,0	2 360,0	33,0
Woda duże	1 660,2	669,0	1 623,7	672,0	1 583,1	672,0
Woda małe	995,4	246,0	965,2	253,0	9333,3	250,0
Wiatr na lądzie	202,6	121,0	320,4	172,0	522,4	306,0
OZE-E Łącznie	4 688,2	1 091,0	4 920,3	1 154,0	5 593,9	1 301,0
Udział OZE-E w zapotrzebowaniu na energię elektryczną	3,3%		3,3%		3,6%	

Tabela 3. Produkcja ciepła w Polsce w odnawialnych źródłach energii [ktoe]⁹

	2005	2006	2007
Biogaz (sieciowe)	10,0	14,0	9,0
Biomasa stała (sieciowe)	88,0	92,0	113,0
Biodopady (sieciowe)	18,0	40,0	44,0
Geotermia (sieciowe)	8,9	12,8	10,5
Biomasa stałą (niesieciowe)	3 748,0	4 080,0	3 920,0
OZE-H Łącznie	3 872,9	4 238,8	4 096,5
Udział OZE-E w zapotrzebowaniu na energię cieplną	10,6%	11,3%	11,2%

Tabela 4. Struktura zużycia odnawialnych źródeł w transporcie [ktoe]¹⁰

	2005	2006	2007
Bioetanol	34,0	55,0	72,0
Biodiesel	14,0	35,0	25,0
OZE-T Łącznie	48,0	89,0	96,0
Udział OZE-T w zapotrzebowaniu na paliwa	0,4%	0,7%	0,6%

⁸ tamże

⁹ tamże

¹⁰ tamże

Odnawialne źródła energii

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 15 czerwca 2007 w sprawie narodowych celów wskaźnikowych na lata 2008 – 2013, przedstawia minimalny udział biokomponentów i innych paliw odnawialnych w ogólnej ilości paliw zużywanych w transporcie w danym roku, który wynosi odpowiednio:

- **3,45% za rok 2008**
- **4,60% za rok 2009**
- **5,75% za rok 2010**
- **6,2% za rok 2011**
- **6,65% za rok 2012**
- **7,10% za rok 2013**

Tabela 5. Wkład energii elektrycznej OZE dla osiągnięcia celu dyrektywy 2009/28/WE dla Polski w perspektywie 2020¹¹

	2011-2012	2013-2014	2015-2016	2017-2018	2020
	TWh				
Biogaz	2,11	3,98	6,45	8,07	8,81
Biomasa stała	4,81	6,43	8,16	10,06	13,06
Biodopady	0,58	0,93	1,28	1,40	1,48
Geotermia	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05
Woda duże	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40
Woda małe	1,32	1,55	1,76	1,93	2,09
Fotowoltaika	0,05	0,13	0,21	0,35	0,65
Wiatr na lądzie	3,67	7,63	12,88	16,71	18,19
Wiatr na morzu	0,18	0,29	0,48	0,77	1,37
Łącznie	14,13	22,35	32,63	40,71	47,11

Tabela 6. Wkład energii cieplnej z OZE dla osiągnięcia celu dyrektywy dla Polski w perspektywie 2020¹²

	2011-2012	2013-2014	2015-2016	2017-2018	2020
	ktoe				
Biogaz (sieciowe)	50,1	66,1	80,0	82,4	92,4
Biomasa stała (sieciowe)	439,8	645,9	857,1	1 099,9	1 462,4
Biodopady (sieciowe)	95,1	150,1	203,5	221,8	234,3
Geotermia (sieciowe)	25,0	48,9	93,3	171,4	329,9
Biomasa stała (niesieciowe)	4 196,2	4 356,5	4 583,4	4 835,8	4 980,5
Słoneczna	40,9	90,6	141,2	205,0	318,9
Pompy ciepła	48,6	94,0	139,4	188,6	269,2
Łącznie	4 895,9	5 452,0	6 097,9	6 804,9	7 687,5

¹¹ tamże

¹² tamże

Tabela 7. Zużycie energii w transporcie na bazie biopaliw¹³

	2011-2012	2013-2014	2015-2016	2017-2018	2020
	ktoe				
Bioetanol*	795,7	1 084,7	1 144,7	1 205,0	1 281,2
Biodiesel*	410,3	479,7	478,2	476,6	474,8
Biopaliwa II generacji	0,0	0,0	54,3	54,3	162,8
Eksport biopaliw	672,2	847,5	821,6	745,9	622,8
Łącznie	533,8	746,9	855,5	990,0	1 296,0

* wyliczone w oparciu o krajowe zasoby surowca

2. ENERGETYCZNE WYKORZYSTANIE BIOMASY

Biomasa oznacza podatne na rozkład biologiczny frakcje produktów, odpady i pozostałości przemysłu rolnego (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych z nim gałęzi gospodarki, jak również podatne na rozkład biologiczny frakcje odpadów przemysłowych i miejskich (Dyrektywa 2001/77/WE).

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 9 grudnia 2004 roku:

Biomasa to 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, a także części pozostałych odpadów, które ulegają biodegradacji. (Dz. U. Nr 267, poz. 2656).

KLASYFIKACJA BIOMASY (wg. Grzybek, 2008)

W zależności od stopnia przetworzenia biomasy

- Surowce energetyczne pierwotne - drewno, słoma, rośliny energetyczne, tzn. uprawiane głównie dla uzyskania biomasy;
- Surowce energetyczne wtórne – gnojowica, obornik, odpady organiczne, osady ściekowe;
- Surowce energetyczne przetworzone – biogaz, bioetanol, biometanol, estry olejów roślinnych (biodiesel), biooleje,

¹³ tamże

W zależności od pochodzenia biomasy

- Biomasa pochodzenia leśnego
- Biomasa pochodzenia rolnego
- Odpady organiczne

2.1. ROŚLINY ENERGETYCZNE

Rodzaje roślin energetycznych uprawianych w Polsce

1. Tradycyjne rośliny uprawiane na szeroko rozumiane cele konsumpcyjne, paszowe i przemysłowe zawierające cukier, skrobię, celulozę i tłuszcze,
2. Rośliny wieloletnie charakteryzujące się dużymi przyrostami biomasy uprawiane z przeznaczeniem na cele energetyczne.

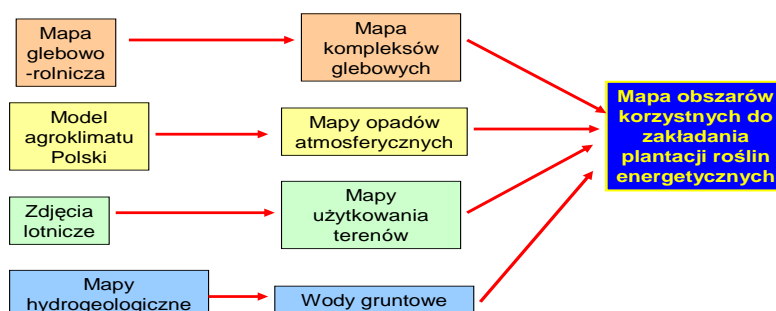
W POLSCE NA PLANTACJACH ENERGETYCZNYCH MOGĄ BYĆ UPRAWIANE

m.in. NASTĘPUJĄCE ROŚLINY:

- wierzba wiciowa (*Salix viminalis*)
- topole (*Populus L.*)
- ślazowiec pensylwański, zwany również malwą pensylwańską (*Sida hermaphrodita*)
- słonecznik bulwiasty, zwany powszechnie topinamburem (*Helianthus tuberosus*)
- róża wielokwiatowa (*Rosa multiflora*)
- rdest sachaliński (*Polygonum sachalinense*)
- trawy wieloletnie, m. in.
 - miskant olbrzymi (*Miscanthus sinensis gigantea*),
 - miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus*),
 - spartina periowa (*Spartina pectinata*),
 - palczatka Gerarda (*Andropogon gerardi*)

CECHY ROŚLIN ENERGETYCZNYCH:

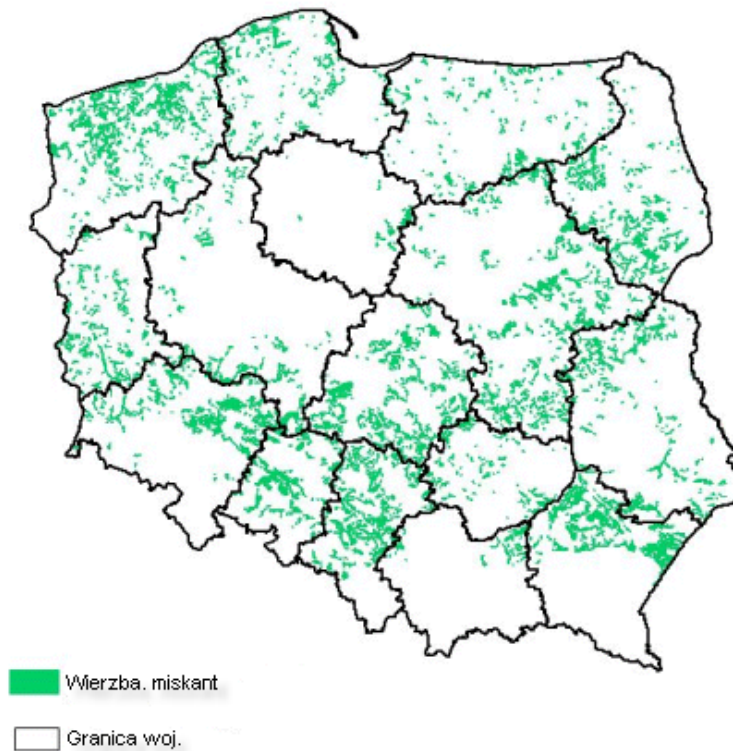
- wysoka wartość opałowa,
- znaczna odporność na choroby i szkodniki,
- stosunkowo niewielkie wymagania glebowe (?),
- możliwość mechanizacji prac agrotechnicznych związanych z zakładaniem plantacji oraz zbieraniem plonu.



Rysunek 6. Model postępowania do wytypowania terenów korzystnych do zakładania plantacji roślin energetycznych (wg. Jadczyszyn i in., 2008)

Tabela 8. Potencjalna powierzchnia uprawy wierzby na cele energetyczne (Jadczyszyn i in., 2008)

Województwo	Kompleks przydatności rolniczej gleb					Razem	
	5 ż.d.	6 ż.s.	8 z-p. m.	9 z-p. s	3z uz.s	tys. ha	% UR
dolnośląskie	29,7	40,5	15,7	0,4	2,0	88,3	6,8
kujawsko-pom.	0,2	7,5	0,0	0,0	0,4	8,1	0,6
lubelskie	16,2	26,9	0,0	0,0	25,7	68,8	3,1
lubuskie	10,3	32,3	2,3	2,0	6,6	53,4	6,5
łódzkie	25,0	42,8	0,0	1,4	11,1	80,2	4,9
małopolskie	9,5	1,4	3,9	0,2	0,1	15,1	2,3
mazowieckie	38,4	30,7	8,8	1,2	34,5	105,2	3,3
opolskie	13,9	13,0	13,9	6,7	2,4	49,9	7,2
podkarpackie	12,5	59,4	4,5	0,0	15,8	92,2	10,3
podlaskie	24,1	13,7	0,5	1,1	16,8	56,2	3,6
pomorskie	10,0	15,1	2,6	1,2	20,2	49,1	3,8
śląskie	22,4	29,9	3,5	0,6	14,4	70,8	9,0
świętokrzyskie	5,7	14,2	0,1	0,0	2,0	21,9	2,3
warmińsko-maz.	6,4	10,8	6,8	0,0	18,5	42,6	2,3
wielkopolskie	12,4	19,8	0,1	1,6	9,1	42,9	1,8
zachodnio-pom.	28,5	27,3	2,3	1,5	49,7	109,4	6,5
Polska	265,0	385,0	57,1	17,7	229,3	954,1	4,6



Rysunek 7. Przestrzenne rozmieszczenie użytków rolnych potencjalnie przydatnych do uprawy wierzby w Polsce (wg. Jadczyński i in., 2008)

2.1.1. Uprawa *Salix viminalis* – wierzba krzewiasta

Systematyka:

Rodzaj: wierzba – *Salix*;

Rodzina: wierzbowate – *Salicaceae*;

Gatunek: wierzba krzewiasta – *Salix viminalis*

Gatunek wierzby energetycznej *Salix viminalis* jest najpopularniejszy. Jednak rzadko kiedy uprawia się je jako czyste gatunki odmianowo. Najpopularniejszymi formami są wszelkiego rodzaju mieszańce. Gatunki wierzby ze względu na bogactwo genotypu oraz właściwości botaniczne, łatwo się ze sobą krzyżują, wytwarzając dużo międzygatunkowych mieszańców.

Mieszańce te odznaczają się:

- bardzo szybkim przyrostem biomasy,
- zwiększoną mrozoodpornością

- wysoką wartością opałową.

Na plantacjach wierzby zakładanych w celu wykorzystania energetycznego biomasy, powinno stosować się określone klony wierzby, które są przystosowane do określonych warunków siedliskowych (Dubas, 2003).

Obecnie biomasa tego gatunku, pozyskiwana w krótkich rotacjach z upraw polowych, może być głównym źródłem drzewnej biomasy. Wierzba posiada wysoki potencjał produkcyjny. Roślina ta może być wykorzystywana również do produkcji ciekłych paliw drugiej generacji i bioproduktów (Stolarski, 2009).

Technologia uprawy wierzby krzewiastej.

Gatunek *Salix viminalis* można uprawiać na każdym typie gleby ale najbardziej korzystne warunki to III, IV, V klasa bonitacyjna. Ważne aby, do każdego rodzaju gleb dobrać odpowiednie klony, które gwarantują wysokie polny biomasy (Dubas, 2003). Wierzba jest rośliną, która ma duże potrzeby wodne. Szacuje się, że 1 ha uprawy tej rośliny wymaga rocznie 6-10 tys. m³ wody, dlatego ulokowanie plantacji jest najbardziej odpowiednie na obszarach o naturalnie wysokim poziomie wód gruntowych (Żurek, 2008).

- Przygotowanie stanowiska.

Odchwaszczanie jest jednym z podstawowych zabiegów agrotechnicznych, skuteczne zwalczanie chwastów decyduje w wysokim stopniu o sukcesie uprawy tego gatunku. Na stanowiskach po użytkach zielonych należy w roku poprzedzającym sadzenie, zwalczyć szczególnie chwasty wieloletnie. Najczęściej w pełni okresu wegetacji zastosować glifosat (Roundup 360 SL). Następnie po kilku tygodniach zaorać zniszczoną masę roślinną. Orka zimowa powinna być wykonana na głębokość 40cm, można użyć głębosza. Na wiosnę należy wykonać bronowanie, które powoduje wyrównanie gleby i ułatwi sadzenie zrzezów sadzarką (Dubas, 2003; Szczukowski i wps. 2006).

- Sadzenie.

Odpowiednio przygotowane zrzezy sadi się zwykle wiosną, ręcznie lub mechanicznie. Najlepiej sadić w początkowym okresie wegetacyjnym, wtedy wilgotność gleby jest najwyższa. W Polsce praktykuje się sadzenie zrzezów w zagęszczeniu ok. 20-30 tys. szt/ha⁻¹ w rozstawie 0,75x0,33m. Zrzezy sadi się równo z glebą, mogą też ich wierchołki wystawać nad ziemią 1-2cm (Szczukowki, Budny, 2003).

- Nawożenie.

Odnawialne źródła energii

W pierwszym roku przed sadzeniem na glebach średnio zasobnych, należy zastosować fosfor, potas i azot w dawkach odpowiednio: 20kg P·ha⁻¹; 40kg K·ha⁻¹ i 30kg N·ha⁻¹. Drugi rok uprawy jest pierwszym sezonem produkcyjnym, należy nawozić w dawkach: 90 kg N·ha⁻¹; 40 kg P·ha⁻¹ 90 kg K·ha⁻¹. W tym okresie składniki pokarmowe, wykorzystywane są do tworzenia dużej masy pędów, liści oraz korzeni (Stolarki, Szczukowski, 2005).

Nawożenie w trzecim i następnych latach można zmniejszyć do dawek: 80 kg N·ha⁻¹ 30 kg P·ha⁻¹; 80 kg K·ha⁻¹. W cyklach zbioru dwu- lub trzyletnich, powinno się nawozić potasem i fosforem na zapas po każdym zbiorze, a przed rozpoczęciem okresu wegetacyjnego. Azotem powinno się nawozić w czasie wegetacji (Szczukowski i wsp. 2006).

Zabiegi pielęgnacyjne.

W pierwszym roku uprawy wierzba wrażliwa jest na zachwaszczenie, ponieważ jej przyrost jest wolniejszy od przyrostów chwastów. Chwasty można zwalczać mechanicznie lub chemicznie za pomocą selektywnych herbicydów (Dubas, 2003). W dalszych latach na dobrze prowadzonej plantacji chwasty nie powinny stanowić zagrożenia dla roślin wierzby. Zwykle profilaktycznie wczesną wiosną po zbiorze biomasy można zastosować herbicyd doglebowy lub pielenie mechaniczne (Stolarski, Szczukowski, 2005).

Wierzba jako roślina rodzima i uprawiana w monokulturze jest podatna na uszkodzenia wywołane przez choroby i szkodniki. W celu ochrony niezbędne jest stosowanie chemicznych środków ochrony (Żurek, 2008). Choroby grzybowe są najczęstszą przyczyną szkód na plantacjach, najgroźniejszą jest parch wierzby. Choroby zwalcza się przez usuwanie ognisk zakażeń i stosowanie fungicydów (Stolarski, Szczukowski, 2005).

Na plantacjach wierzby pojawiają się roślinożercy zwykle owady. Ważniejsze z nich to: jątrewka wiklinówka, rynnica wierzbowa, mszyca wierzbowa, przyszczarek liściowiec. Szkodniki te zwalcza się najczęściej za pomocą insektycydów. Ryzyko pojawienia się chorób i szkodników można zmniejszyć po przez sadzenie na plantacjach różnych klonów wierzby, które różnią się odpornością na agrofagi (Szczukowski i wsp., 2006).

- Zbiór.

Zbioru dokonuje się po zakończeniu wegetacji w Polskich warunkach klimatycznych okres ten przypada na listopad - pierwsza połowa marca. Pozyskiwanie biomasy zaczyna się zwykle po dwóch latach uprawy w cyklach: jednorocznych, dwu- trzyletnich. Zbiór można przeprowadzać ręcznie lub mechanicznie. Do zbioru ręcznego używa się pił łańcuchowych lub spalinowych pił tarczowych na wysięgnicach. Mechanicznego zbioru dokonujemy za pomocą siewczkarni do zbioru kukurydzy w przypadku pędów jednorocznych, natomiast pędy

Odnawialne źródła energii

2 i 3-letnie ścinamy kombajnem ze zmodyfikowanym aparatem tnącym. W tego rodzaju zbiorze następuje ścinanie pędów i rozdrabnianie ich na zrębki (Szcukowski, Budny, 2003).

Na plantacjach można zastosować różne techniki zbioru (wg. Kuś, Matyka, 2010):

Zbiór jednofazowy: - specjalnym kombajnem, który jednocześnie ścina i zrębkuje wierzbę. Problemem jest jednak koszt zakupu tego urządzenia oraz magazynowanie wilgotnych zrębków, które po złożeniu na pryzmy mogą ulec zagrzeniu i rozkładowi, a nawet samozapłonowi.

Zbiór dwufazowy – obejmuje dwa etapy: ścinanie i wywożenie z pola w postaci bel, wiązek. Sezonowanie, zrębkowanie i dostarczanie odbiorcy. Zaletą tego typu zbioru jest systematyczna dostawa oraz mniejsza wilgotność zrębek.

Tabela 9. Harmonogram prac na plantacji wierzby (wg. Kuś, Matyka 2010)

	Rok	Okres	Czynność
Przed założeniem plantacji	0	VIII-X	Przygotowanie pola po zbiorze rośliny poprzedzającej - oprysk herbicydem na bazie Glifosatu - wapnowanie, - kultywatorowanie - orka zimowa
Założenie plantacji	1	III-IV	Wiosenne przygotowanie pola: - bronowanie, - wysiew nawozów P,K, - agregat uprawowy, - usuwanie kamieni, - oprysk herbicydem glebowym,
		III-IV	Sadzenie
		IV-VI	Nawożenie azotem (N)
		IV-VIII	- lustracja plantacji - oprysk przeciw chorobom (w razie konieczności) - oprysk przeciw szkodnikom (w razie konieczności)
		IV-VIII	Jedno lub dwukrotny oprysk przeciwko chwastom (w razie konieczności)

Odnawialne źródła energii

		15 XI-15 III (roku następnego)	Przycięcie roślin na wysokości 5-10 cm
Prowadzenie plantacji 5 cykli po 3 lata	1	III - IV	Nawożenie P,K (i Ca co 4 lata)
		III -IV	Nawożenie azotem (N)
		15 III- VIII	Obserwacja i ochrona przed chorobami i szkodnikami
		15 III - V	Kontrola zachwaszczenia
	2	I - XII	Monitoring plantacji
3	15 XI – 15 III (roku następnego)	Zbiór	
Likwidacja plantacji	17	15 III - V	- oprysk herbicydem na bazie Glifosatu - karczowanie karp - orka głęboka

2.1.2. Uprawa miskanta (wg. Kuś., Matyka, 2010)

MISKANT OLBRZYMI

- Jest to gatunek trawy pochodzący z Azji centralnej i południowo-wschodniej.
- Miskant olbrzymi jest rośliną wieloletnią o cyklu fotosyntetycznym C₄, charakteryzującą się:
 - zwiększoną absorpcją CO₂,
 - wysokim potencjałem plonowania
 - oszczędnym gospodarowaniem wodą w okresie wegetacji, co ma istotne znaczenie w produkcji rolniczej, szczególnie w uprawie na glebach lżejszych i w latach posusznych.

Miskant olbrzymi (*Miscanthus giganteus*) jest mieszańcem międzygatunkowym diploidalnego gatunku Miskanta chińskiego (*Miscanthus sinensis*) i tetraploidalnego Miskanta cukrowego (*Miscanthus sacchariflorus*).

Powstały w ten sposób triploidalny gatunek *Miscanthus giganteus* jest sterylny, czyli nie wytwarza nasion (ziarniaków) na drodze rozmnażania generatywnego, a jedynie może być rozmnażany wegetatywnie za pomocą podziału podziemnych kłączy lub poprzez sadzonki otrzymane z kultur „in vitro”.

Zagadnienie to można rozpatrywać dwojako

Z jednej strony jako wadę, gdyż brak możliwości rozmnażania generatywnego uniemożliwia uzyskanie materiału siewnego, który mógłby szybko stać się podstawą zakładania plantacji miskanta olbrzymiego na cele energetyczne

Z drugiej jednak strony, ze względu na sposób wykorzystania tego gatunku, brak nasion (ziarniaków) może być postrzegany również jako cecha pożądana, która zabezpiecza przed możliwością niekontrolowanego rozprzestrzeniania się tego gatunku, czy też przypadkowego krzyżowania z roślinami pokrewnymi i dawania potomstwa mieszańcowego potencjalnie szkodliwego dla ekosystemów i gospodarki człowieka.

Metody uzyskania materiału sadzonkowego:

- **przez podział kłączy (rhizomów)**
- **na drodze kultur "in vitro".**

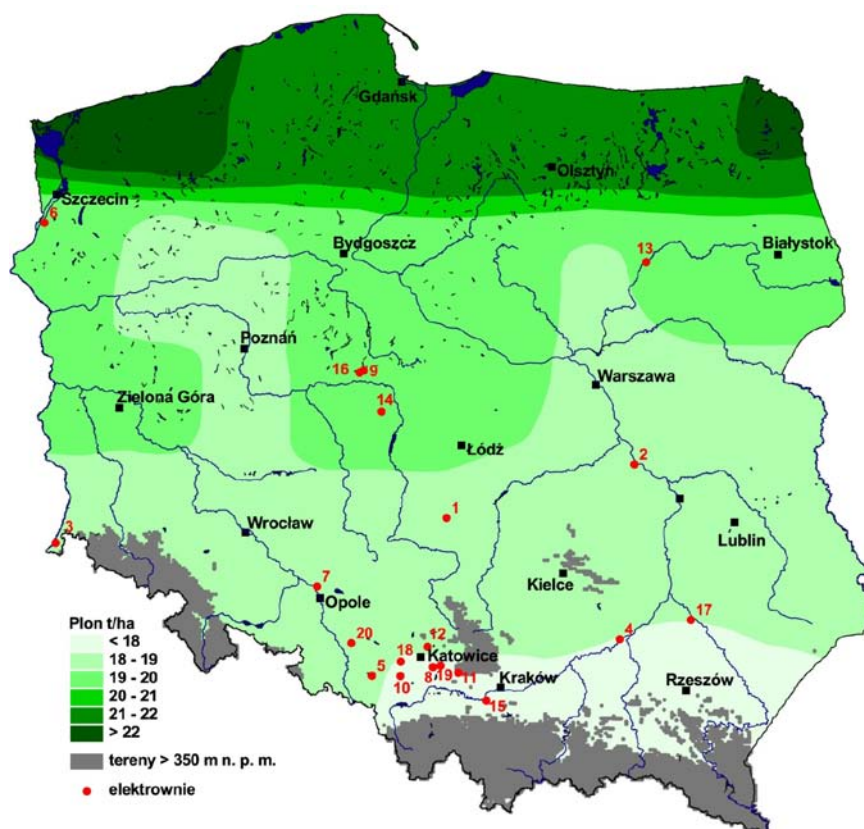
Podział kłączy na fragmenty i ich późniejsze wysadzanie na plantacji jest proste i przynosi dobre rezultaty w postaci szybko i prawidłowo rozwijających się roślin, ale wiąże się z koniecznością posiadania dostępu do licznych materiałów matecznych

Uzyskiwanie materiału sadzonkowego z kultur "in vitro" pozwala uzyskać w krótkim czasie wiele roślin potomnych, które można skierować do sprzedaży.

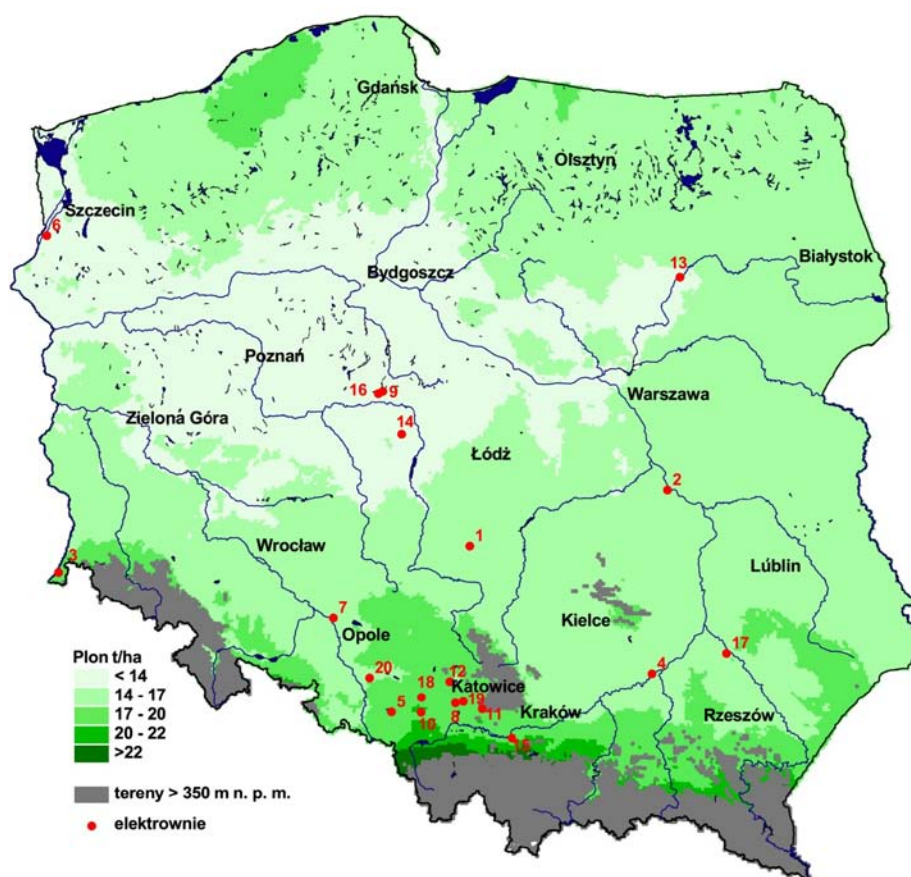
Rośliny uzyskane na drodze kultur "in vitro" nie różnią się od roślin otrzymanych w skutek podziałów kłączy **za wyjątkiem mniejszego początkowego tempa wzrostu i mniejszej mrozoodporności w pierwszym roku po posadzeniu**. Jednak różnice te niwelują się już w drugim roku uprawy i w trzecim sezonie wegetacyjnym uzyskiwane plony biomasy są na porównywalnym poziomie.

PLONOWANIE

- Potencjał plonotwórczy Miskanta olbrzymiego szacowany jest na około 30-40 ton suchej masy z 1 ha od 3 roku uprawy, kiedy rośliny wchodzi w okres najintensywniejszego wzrostu.
- W roku założenia plantacji rośliny uzyskują wysokość około 2 m i dają plon 2-3 t suchej masy z 1 ha.
- W drugim roku uprawy Miskant olbrzymi osiąga często wysokość przekraczającą 3 metry i plonuje na poziomie 8-15 ton suchej masy z 1 ha.
- Od trzeciego roku rozpoczyna się najbardziej wydajny rozwój roślin, który skutkuje uzyskaniem plonów na poziomie 25-30 ton suchej masy z powierzchni 1 hektara



Rysunek 8. Miskant – plony potencjalne (wg. IUNG-PIB)



Rysunek 9. Miskant – plony ograniczone niedoborem wody (wg. IUNG-PIB)

Dobór gleb

Dla miskanta najbardziej przydatne są gleby średniozwięzłe i lżejsze. Uprawa tej rośliny powinna być prowadzona na glebach kompleksu 5 – żytlich bardzo dobrych (klasy IVa i IVb), o wyższym poziomie zalegania wód gruntowych (200-250 cm). Niewskazane jest prowadzenie plantacji na glebach:

- ciężkich, zlewnych,
- położonych w zagłębieniach terenu (zastoiska mrozowe) ze względu na późnowiosenne przymrozki, które mogą uszkodzić młode pędy

Przygotowanie pola

Bardzo istotne jest odchwaszczenie pola przed założeniem plantacji, a także określenie pH oraz zasobności gleby w makroelementy.

Zakładanie plantacji

Osada roślin miskanta powinna wynosić od 12-15 tys sz/ha. Rozstawa rzędów 75-100 cm, a odległość roślin w rzędzie 60-100 cm.

Zakładanie plantacji z sadzonek korzeniowych – zalecane dla gospodarstw posiadających 3-4-letnią plantację. Z jednej karpki można uzyskać ok. 50-100 sadzonek. Takie sadzonki w pierwszym roku głębiej się ukorzeniają.

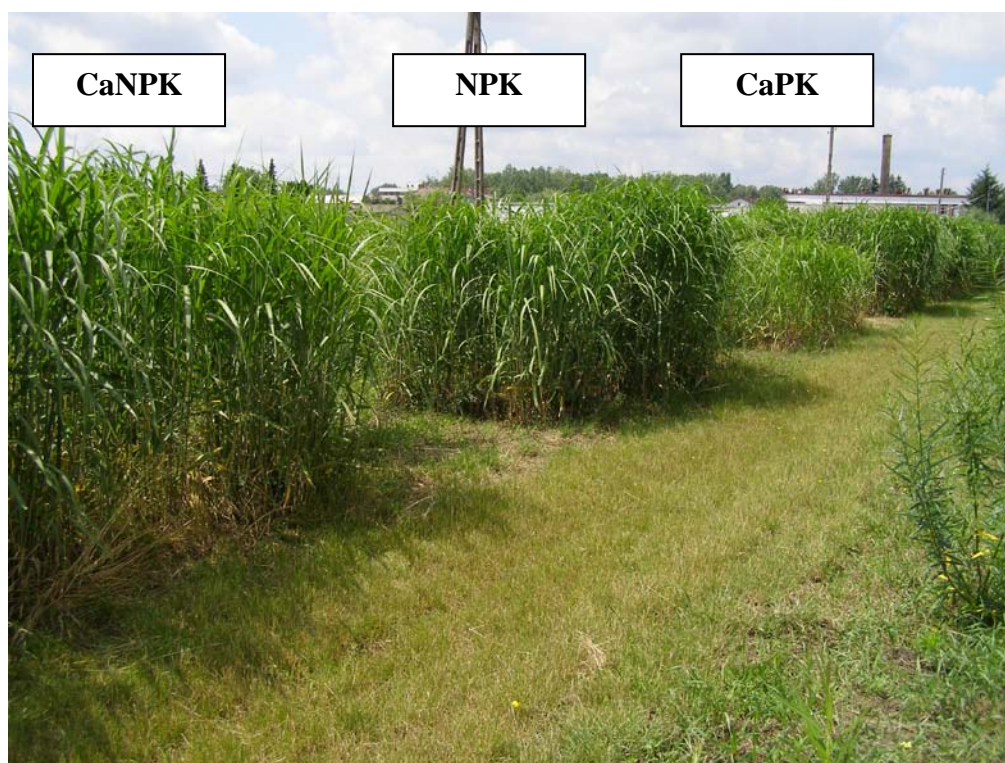
Zakładanie plantacji z sadzonek uzyskiwanych metodą in vitro – sadzenie rozpoczyna się w drugiej połowie maja. Do sadzenia można wykorzystać sadzarki do warzyw.

Nawożenie

W roku założenia plantacji – 30 kgN/ha; 20 kg P₂O₅/ha, 40 kg K₂O/ha

Od drugiego roku – 90-100 kgN/ha; 30 kg P₂O₅/ha, 80 kg K₂O/ha

Nawozy wysiewane są wiosną, mieszane z glebą narzędziami stosowanymi do odchwaszczania międzyrzędzi



Fot 1. Wpływ nawożenia na plony miskanta (fot. z doświadczenia w Skierniewicach)

Terminy, sposoby zbioru i logistyka biomasy

Zbiory Miskanta olbrzymiego:

- zbiór jesienny od października do listopada (a nawet w sprzyjających warunkach w 1 dekadzie grudnia), kiedy rośliny kończą swoją wegetację
- zbiór wiosenny od lutego do marca jeszcze przed rozpoczęciem rozwoju młodych pędów.

Zawartość suchej masy:

- W plonie zebranym jesienią ok. 35-45%,
- W plonie zebranym wiosną ok. 60 do 70%.

Technika zbioru

- Kombajn do kukurydzy z sieczkarnią
- Kosiarka połączona z sieczkarnią
- Kosiarka połączona z prasą zwijającą
- Sieczkarnia z prasą zwijającą

Odnawialne źródła energii

Przechowywanie zebranej biomasy

- W przypadku wiosennego zbioru biomasy miskant może być magazynowany jak sucha słoma (lub sieczka) innych gatunków z rodziny traw.
- Miskant zbierany jesienią jest przechowywany w stertach, w których pozostawione są kanały wentylacyjne pozwalające na naturalne dosychanie biomasy.

Tabela 10. Harmonogram prac na plantacji miskanta (wg. Kuś, Matyka 2010)

	Rok	Okres	Czynność
Przed założeniem plantacji	0	VIII-X	Przygotowanie pola po zbiorze rośliny poprzedzającej - oprysk herbicydem na bazie Glifosatu - wapnowanie, - kultywatorowanie - orka zimowa
Założenie plantacji	1	III-IV	Wiosenne przygotowanie pola: - bronowanie, - wysiew nawozów P,K, - agregat uprawowy, - usuwanie kamieni, - oprysk herbicydem glebowym,
		III-IV	Sadzenie
		IV-VI	Nawożenie azotem (N)
		IV-VIII	- lustracja plantacji - oprysk przeciw chorobom (w razie konieczności) - oprysk przeciw szkodnikom (w razie konieczności)
		IV-VIII	Jedno lub dwukrotny oprysk przeciwko chwastom (w razie konieczności)
		15 XI-15 III (roku następnego)	Pierwszy zbiór (ścięta biomasa i słoma wykorzystywane są do zabezpieczenia sadzonek przed mrozem)

Odnawialne źródła energii

Prowadzenie plantacji	Przez ok. 15-20 lat	III - IV	Nawożenie P,K (i Ca co 4 lata)
		III -IV	Nawożenie azotem (N)
		15 III- VIII	Obserwacja i ochrona przed chorobami i szkodnikami
		15 III - V	Kontrola zachwaszczenia
		15 XI – 15 III (roku następnego)	Zbiór
Likwidacja plantacji		15 III - V	- oprysk herbicydem na bazie Glifosatu - karczowanie karp - orka głęboka

2.1.3. UPRAWA ŚLĄZOWCA PENSYLWAŃSKIEGO

- Rodzaj Sida wywodzi się z subtropikalnych stref kuli ziemskiej.
- Rośnie w postaci kęp o silnym systemie korzeniowym i wykształca od kilku do kilkunastu łodyg o średnicy od 5-35 mm i wysokości ponad 3,5 metra.
- Plonem użytkowym pozyskiwanym corocznie są zdrewniałe i zaschnięte łodygi.

Znaczenie gospodarcze.

- Najważniejszym obecnie kierunkiem użytkowania ślązowca jest wykorzystanie jego biomasy jako źródła energii.
- Doskonale nadają się do produkcji brykietu opałowego czy peletów.
- Istnieje możliwość wykorzystania jej jako rośliny pastewnej w żywieniu zwierząt ze względu na dużą, ponad 20%, zawartości związków białkowych (ma podobną wartość żywieniową jak lucerna, czy koniczyna).
- Możliwość wykorzystania jej w przemyśle celulozowo-papierniczym, ponieważ zawartość celulozy, żywic i wosku w łodygach ślązowca jest porównywalna ze świerkiem i sosną,
- Gatunek nadającym się do rekultywacji terenów zdegradowanych chemicznie
- Może służyć też do nasadzeń w pasach przydrożnych, chroniących inne uprawy przed zanieczyszczeniami komunikacyjnymi, a także do tworzenia tzw. remiz śródpolnych.
- Ślázowiec zawiera też substancje zbliżone do żywokostu lekarskiego i może być wykorzystany w przemyśle farmaceutycznym.

Plonowanie ślazuwca

Tabela 11. Plon suchej masy ślazuwca w latach 2005-2008 (t·ha⁻¹) (wg Kuś, Matyka, 2010)

Gleba	Obsada roślin (tys szt.·ha ⁻¹)	2005	2006	2007	2008	Średnio
Ciężka	10	10,0	10,3	9,3	8,2	9,4
	20	20,8	20,4	17,1	13,8	18,0
Średnia	10	9,0	11,4	9,6	7,9	9,5
Lekka	20	20,5	12,9	11,1	21,1	16,4
Średnio		15,1	13,8	11,8	12,8	-
Wilgotność biomasy (%)		26-28	21-29	24-29	18-19	-

Dobór gleb

Pod uprawę ślazuwca można przeznaczать gleby zaliczane do kompleksu 6 (żytniego słabego – klasy IVb i V), o poziomie wód gruntowych poniżej 200 cm.

Przygotowanie pola

Bardzo istotne jest odchwaszczenie pola przed założeniem plantacji, a także określenie pH oraz zasobności gleby w makroelementy.

Na polach zachwaszczonych niezbędne jest zastosowanie nieselektywnych herbicydów. Po ok. 6-8 tyg. Można wykonać płytką orkę, a następnie bronowanie lub kultywatorowanie.

Zakładanie plantacji

Zakładanie plantacji może odbywać się poprzez: wysiew nasion lub z sadzonek korzeniowych.

Wysiew nasion ślazuwca bezpośrednio do gruntu (wg Kuś, Matyka, 2010): wysiew przeprowadza się w połowie kwietnia (przy temperaturze gleby ok. 10⁰C). Zalecana ilość wysiewu 1,5-2,0 kg·ha⁻¹. Głębokość wysiewu 1,0-1,5 cm. Zalecany jest wysiew z balastem (trociny, kasza manna).

Rozstawa rzędów 60-70 cm. Odległość roślin w rzędzie ok. 40 cm, (obsada roślin na 1 ha – ok. 30-40 szt).

Wady:

- Niska zdolność kiełkowania nasion, spowodowana twardością okryw (zdolność wschodów 30-40%)

- Utrudniona walka z chwastami, które zagłuszają wolno wschodzące (2-5 tyg) młode rośliny ślazuca.

Produkcja rozsady z wykorzystaniem multiplantów w tunelach foliowych (wg Kuś, Matyka, 2010): Do komórek wypełnionych torfem wysiewa się ok. 4-5 nasion i przykrywa cienką warstwą torfu zmieszanego z piaskiem. Po wschodach pozostawia się po jednej roślinie w komórce. W fazie 4-6 liści (na początku maja) rośliny wysadza się do gruntu przy użyciu sadzarek stosowanych w uprawach warzywniczych.

Rozstawa rzędów 60-75 cm. Odległość roślin w rzędzie ok. 50-60 cm, (obsada roślin na 1 ha – ok. 20-22 tys szt^{ha}⁻¹).

Wysadzanie sadzonek korzeniowych (wg Kuś, Matyka, 2010): Sadzonki wegetatywne uzyskuje się poprzez podział karp korzeniowych. Z jednej 3-, 4-letniej karpy można uzyskać ok. 20-30 sadzonek. Karpy wyorywane są wczesną wiosną, przed ukazaniem się pączków, a następnie dzielone na 8-10 cm sadzonki. Sadzonki umieszcza się w glebie na głębokości ok. 6-8 cm.

Zalety:

- intensywniejszy wzrost po wysadzeniu,
- większa konkurencyjność w stosunku do chwastów.

Wady:

- większa pracochłonność.

Nawożenie

Nawożenie ślazuca uzależnione jest od:

- kierunku użytkowania plantacji,
- typu gleby,
- uwilgotnienia,
- czynników meteorologicznych itp.

W roku założenia plantacji:

30 kg N^{ha}⁻¹

20 kg P₂O₅^{ha}⁻¹

40 kg K₂O^{ha}⁻¹

Do drugiego roku:

90 kg N^{ha}⁻¹

30 kg P₂O₅^{ha}⁻¹

80 kg K₂O ha⁻¹

Zbiór roślin

- Zbiór ślazu na nasiona łączyć można ze zbiorem łądy przeznaczonych na cele energetyczne.
- Okres zbioru jest dość długi i uzależniony od warunków pogodowych, stanu gleby warunkujące użycie maszyn itp.
- Za optymalny termin zbioru uważany jest koniec września-listopad (po przymrozkach).
- Nawet przy bardzo opóźnionym terminie zbioru (grudzień) nie ma obawy o większe straty w plonach nasion, dzięki ich słabemu osypywaniu (im późniejszy zbiór biomasy, tym mniejsza jest jej wilgotność).
- Na cele energetyczne biomasa ślazu może być zbierana wiosną, w tym przypadku zawartość suchej masy może wynosić ponad 80%, dzięki czemu zebraną biomasę można bezpośrednio wykorzystać do produkcji peletu.

2.1.4. UPRAWA SŁONECZNIKA BULWIASTEGO (TOPINAMBUR)

- Topinambur pochodzi z Ameryki Północnej i jest blisko spokrewniony ze słonecznikiem zwyczajnym. Jego uprawa może być prowadzona na jednym stanowisku przez 15-20 lat.
- Słonecznik bulwiasty jest rośliną dnia krótkiego, dlatego długi dzień letni w naszej szerokości geograficznej powoduje zahamowanie rozwoju generatywnego. Na skalę produkcyjną topinambur rozmnażany jest wyłącznie wegetatywnie przez sadzenie bulw.
- Słonecznik bulwiasty rośnie w postaci pojedynczych łądy i osiąga wysokość do 4 metrów.
- Bulwy można przeznaczyć do produkcji etanolu lub biogazu. Zeschnięte części nadziemne, mogą służyć do bezpośredniego spalania, produkcji brykietów lub peletów.

Wymagania klimatyczno-glebowe

- Wymagania klimatyczne słonecznika bulwiastego są niewielkie,
- dobrze znosi zmienne warunki i niskie temperatury,
- W warunkach ciepłego i słonecznego okresu wegetacji zawiązywanie bulw jest intensywne, natomiast chłody powodują obfitsze tworzenie zielonej masy.
- Bulwy topinamburu, w przeciwieństwie do bulw ziemniaka, dobrze znoszą niskie temperatury, nawet do -30°C , dzięki obecności inuliny, podwyższającej stężenie soku komórkowego, co zwiększa odporność na mróz.
- Słabe jesienne przymrozki nie uszkadzają także części nadziemnych rośliny.

Zakładanie plantacji

- Sadzenie bulw można przeprowadzić jesienią lub wczesną wiosną.
- Bulwy ukorzeniają się i kielkują już w temperaturze gleby $4-5^{\circ}\text{C}$.
- Korzystniejszy wydaje się więc jesienny termin sadzenia, ponieważ rośliny rozpoczynają wegetację zanim gleba obeschnie i nadaje się do mechanicznej uprawy.
- W efekcie okres wegetacji topinamburu wydłuża się przynajmniej o 3 tyg., co wpływa korzystnie na plony.

Głębokość sadzenia:

- 10–15 cm jesienią
- 5–10 cm wiosną

Do sadzenia stosuje się sadzarki do ziemniaków lub wysadza się ręcznie.

Gęstość sadzenia wynosi: 0,7–1 m między rzędami, w rzędach 50–60 cm.

Zabiegi pielęgnacyjne:

- bronowanie plantacji po wschodach,
- pielenie międzyrzędzi w miarę potrzeby
- obredlanie.
- jeżeli pole jest silnie zachwaszczone, można zastosować Treflan 240 EC lub Afalon 50 WP.

Po zwarciu łanu rośliny silnie ocieniają glebę i hamują rozwój chwastów, więc dalsze zabiegi nie są konieczne.

Nawożenie:

80–120 kg N ha⁻¹,

60–80 kg P₂O₅ ha⁻¹

120–160 kg K₂O ha⁻¹

Nawożenie azotem stosuje się zwykle w dwóch równych dawkach, pierwszą przed sadzeniem, razem z fosforem i potasem, a drugą kiedy rośliny mają ok. 50 cm wysokości.

Wykorzystanie azotu przez rośliny topinamburu zależy od warunków pogodowych:

- w sezonie wegetacyjnym o wysokim poziomie opadów optymalną dawką N jest 100 kg/ha,
- w warunkach niedoboru opadów 50 kg N/ha.

Zbiór roślin

Termin i częstość zbioru słonecznika bulwiastego uzależnione są od celu uprawy (na bulwy lub zieloną masę).

Jeżeli podstawowym plonem są bulwy, zbioru części nadziemnych dokonuje się najczęściej w październiku, gdyż wczesne koszenie zielonej masy (np. w czerwcu, lipcu) wpływa ujemnie na plon bulw.

Zwykle zbioru bulw dokonuje się późną jesienią, przed nastaniem mrozów, można także wykorzystać okresy odwilży w miesiącach zimowych.

Bulwy mogą być także zbierane wczesną wiosną. Wówczas łodygi ścina się zimą w czasie mrozów, aby uniknąć ugniatania gleby z zimującymi w niej bulwami.

Do zbioru bulw wykorzystuje się maszyny do kopania ziemniaków.

Zebrana biomasa nadziemna może być wykorzystana do bezpośredniego spalania.

W przypadku uprawy topinamburu na zieloną masę (w celach pastewnych lub np. do fermentacji metanowej) części nadziemne można kosić w dwóch, a nawet w trzech terminach:

- w czerwcu,
- sierpniu
- listopadzie.

Uzyskana w ten sposób masa charakteryzuje się wysoką strawnością, jest mniej zdrewniała.

Technika zbioru części nadziemnych jest podobna do kukurydzy (na kiszonkę).

Najczęściej stosuje się sieczkarnie samobieżne w zestawie z przyczepami lub kosy spalinowe.

2.2. Produkcja biogazu rolniczego w Polsce

Przyjęta droga polityki energetycznej kraju wskazuje na promowanie biomasy, jako odnawialnego źródła energii. Ministerstwa: Gospodarki, Środowiska, Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz Finansów opracowały wspólnie Program rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce. Zakładają, że do 2020 r w Polsce powstanie ok. 2500 biogazowni o łącznej mocy 2-3 tyś MW. W związku z powyższym należy spodziewać się w Polsce przyspieszonego rozwoju inwestycji związanych z produkcją biogazu rolniczego.

Fermentację beztlenową można zaliczyć do biochemicznych technik przeróbki odpadów.

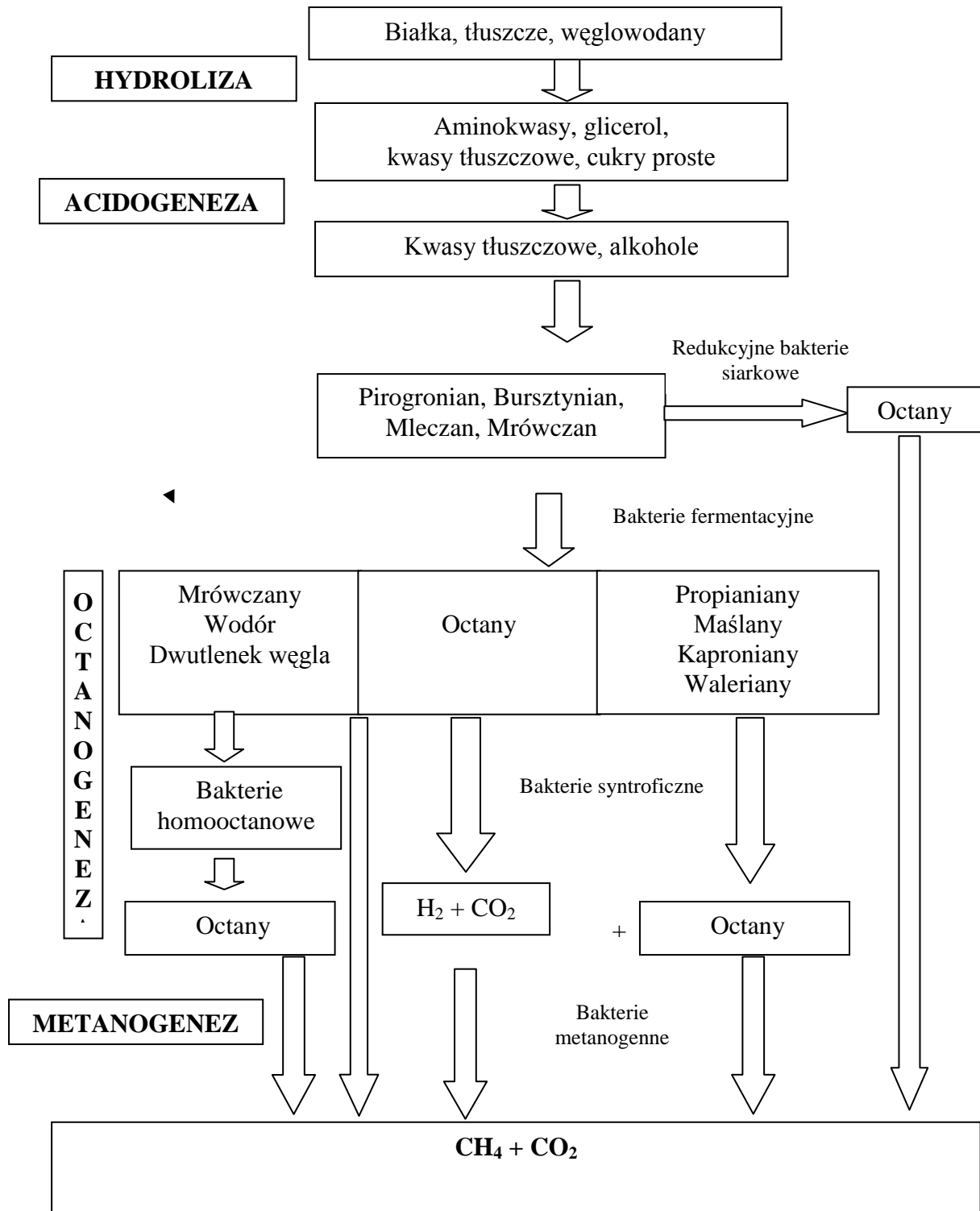
Do metod fermentacji beztlenowej odpadów należą:

- Odgazowanie wysypisk odpadów komunalnych - W beztlenowych warunkach panujących na składowisku odpadów komunalnych ich organiczna frakcja ulega rozkładowi w wyniku czego powstaje gaz. Odgazowanie składowiska odpadów może odbywać się w sposób pasywny lub aktywny. Metoda aktywna daje większą efektywność odgazowania i pozwala wykorzystać pozyskany gaz do celów energetycznych.
- Fermentacja w komorach zamkniętych - sterowana fermentacja metanowa odpadów w bioreaktorze w ściśle kontrolowanych warunkach.

Fermentacja metanowa

Fermentacja metanowa jest beztlenowym rozkładem substancji organicznych zachodzącym przy udziale mikroorganizmów.

Odnawialne źródła energii



Rysunek 10. Przemiany biochemiczne związków organicznych zachodzące w czasie fermentacji metanowej (Źródło: Appeles, 2008;

www.pg.gda.pl/chem/Katedry/Detergenty/files/fermentacja.pdf)

Proces fermentacji metanowej składa się z czterech faz:

- **hydrolitycznej** (podczas której związki organiczne ulegają reakcjom hydrolizy przy katalitycznym udziale enzymów bakterii z grupy względnych beztlenowców);
- **acidogennej** (podczas której produkty hydrolizy przetwarzane są przez fakultatywne bakterie acidogenne do prostych kwasów organicznych, alkoholi, aldehydów oraz wodoru i CO₂),
- **octanogennej** (podczas której kwasy organiczne rozkładane są do kwasu octowego)
- **metanogennej** (podczas której bakterie metanowe przetwarzają produkty poprzednich faz na metan) (Oniszek-Popławska i in., 2003).

W efekcie tych przemian biochemicznych uzyskujemy dwa produkty, tj. biogaz, w którego skład głównie wchodzi metan oraz tzw. masę pofermentacyjną, którą stanowi biomasa bakterii metanowych, nieprzefermentowane związki organiczne oraz składniki mineralne.

Tabela 12. Skład biogazu (Źródło: Oniszek-Popławska, 2003; Persson M, 2006)

Składnik	Zakres (%)
Metan (CH ₄)	53-70
Tlenek węgla IV (CO ₂)	14-48
Siarkowodór (H ₂ S)	0,08-5,5
Wodór (H ₂)	0-5
Tlenek węgla II (CO)	0-2,1
Azot (N ₂)	0,2-7,5
Tlen (O ₂)	0-1

W zależności od wilgotności substratu wyróżnia się dwa rodzaje fermentacji metanowej: fermentację mokrą i suchą (Kaiser i in., 2003).

W przypadku fermentacji mokrej materiał wsadowy powinien zawierać poniżej 15% suchej masy, dzięki czemu możliwe jest jego pompowanie do komory fermentacyjnej.

Zalety:

- możliwość wykorzystania konwencjonalnych metod transportu,

Odnawialne źródła energii

- możliwość usunięcia ciężkich zanieczyszczeń na etapie przygotowywania substratów,
- stabilna produkcja gazu.

Wady:

- konieczność stosowania komór fermentacyjnych o większej objętości,
- duże zapotrzebowanie instalacji na energię, a także na wodę,
- produkcja znacznych objętości masy pofermentacyjnej o niskiej zawartości suchej masy.

W przypadku fermentacji suchej materiał wsadowy zawiera do 40% suchej masy. Granicy tej nie powinno się przekraczać ponieważ może nastąpić zahamowanie procesów biologicznych na skutek niedoboru wody.

Zalety:

- mniejsza objętość komór fermentacyjnych, (ponieważ proces charakteryzuje się mniejszym przepływem materii organicznej)
- małe zapotrzebowanie na wodę i energię.

Wady:

- możliwość wystąpienia niepełnej fermentacji,
- problemy z transportem, oraz z mieszaniem materiału wsadowego (Jędrzak, 2008).

Czynniki wpływające na przebieg procesu fermentacji

Przebieg procesu fermentacji uzależniony jest od szeregu czynników, które w sposób pośredni, bądź bezpośredni wpływają na aktywność mikrobiologiczną oraz jakość i tempo zachodzących w materiale wsadowym reakcji. Wydajność fermentacji w znacznym stopniu determinowana jest rodzajem substratu użytego do procesu.

Fermentacja metanowa jest procesem zachodzącym przy udziale bakterii kwasotwórczych, octanowych oraz metanogennych. Tempo ich wzrostu uzależnione jest od temperatury i rośnie wraz z jej wzrostem (Jędrzak, 2008).

W zależności od temperatury procesu wyróżniamy:

- fermentację psychrofilną (10-25⁰C);
- mezofilną (30-35⁰C)
- termofilną (52-55⁰C).

Minimalna temperatura dla bakterii mezofilnych wynosi 25⁰C, a optymalna 30-40⁰C. Dla bakterii termofilnych minimalna temperatura wynosi 40⁰C, a optymalna 55-65⁰C. Wahania temperatury podczas procesu mogą znacząco wpłynąć na efektywność produkcji metanu,

dlatego bardzo ważne jest zapewnienie stałej temperatury w całej objętości materiału wsadowego. Bardziej wrażliwe na wahania temperatur są bakterie termofilne (Appelles, 2008).

W praktyce prowadzi się tylko fermentację mezofilną i termofilną. Podczas fermentacji termofilnej rozkład materii organicznej następuje szybciej, stąd czas retencji wsadu w komorze fermentacyjnej jest krótszy. Ponadto zaletą jej jest też to, że w tak wysokich temperaturach dochodzi do niszczenia patogenów, w wyniku czego uzyskujemy lepszej jakości masę pofermentacyjną.

Oprócz temperatury bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na stabilność i wydajność fermentacji jest odczyn środowiska.

Poszczególne fazy fermentacji wymagają różnych wartości pH.

- Podczas hydrolizy i octanogenezy pH waha się w granicach 5,2-6,3.
- Podczas metanogenezy pH powinno być wyższe ok. 7, z możliwością wahań w granicach 6,8-7,4 (Boe, 2006; Kryvoruchko V, 2009).

Na wydajność procesu fermentacji wpływa także obecność inhibitorów, które mogą być zawarte w substratach użytych do fermentacji lub powstają jako produkty przemian związków organicznych podczas fermentacji. Do tej grupy związków zalicza m.in.: amoniak, siarkowodór, lotne kwasy, metale ciężkie, sól oraz potas.

Amoniak

Amoniak jest produkowany podczas rozkładu związków organicznych zawierających azot, głównie białek. Amoniak wiążąc H^+ przechodzi w formę amonową NH_4^+ . Powstający jon amonowy stanowi substancję odżywczą dla mikroorganizmów uczestniczących w procesie fermentacji, dlatego jego stężenie w granicach ok. $200\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ uznaje się za korzystne (Apples, 2008, Chen, 2008). W zależności od ilości azotu w materiale wsadowym, temperatury i pH utrzymuje równowaga pomiędzy stężeniem NH_4^+ i NH_3 . Wolny amoniak ma za zadanie utrzymywanie optymalnego pH środowiska jednak, przy wyższych stężeniach zmniejsza ilość produkowanego CH_4 ponieważ blokuje enzymy syntezujące metan oraz wnika do komórek bakterii i przyczynia się do zakłócenia równowagi kwasowo-zasadowej (Kayhanian, 1999). Wzrost temperatury powoduje zwiększenie stężenia amoniaku w komorze fermentacyjnej. Z tego powodu podczas fermentacji termofilnej istnieje większe zagrożenie wystąpienia toksycznych ilości amoniaku, w stosunku do fermentacji mezofilnej. Wzrost pH środowiska także sprzyja utrzymywaniu się toksycznych ilości amoniaku.

Siarkowodór

Siarkowodór powstaje podczas rozkładu związków organicznych zawierających siarkę oraz w wyniku mikrobiologicznej redukcji siarczanów. Jego negatywny wpływ na wydajność procesu fermentacji wynika z jednej strony z toksycznego działania na bakterie metanogenne, a z drugiej z konkurencji o te same produkty pomiędzy bakteriami redukującymi siarczany, a bakteriami fazy octanogennej i metanogennej w wyniku czego zahamowana jest produkcja metanu (Apples, 2008, Chen, 2008).

Lotne kwasy

Hamujące działanie lotnych kwasów (octowego, propionowego i masłowego) wynika z ich wpływu na pH. Ich nagromadzenie się może obniżyć pH do poziomu, przy którym następuje zahamowanie reakcji hydrolizy związków organicznych oraz fazy acidogennej. Poza tym lotne kwasy mogą wnikać do komórek bakterii, gdzie ulegają dysocjacji, a uwolniony jon H^+ obniża pH w wyniku czego dochodzi do zakłócenia równowagi kwasowo-zasadowej (Apples, 2008, Chen, 2008).

Metale ciężkie

Zawartość metali ciężkich uzależniona jest od rodzaju materiału wsadowego użytego do procesu fermentacji metanowej. Najwięcej metali ciężkich znajduje się w substratach pochodzenia komunalnego, oraz w gnojowicy świńskiej, w której znajdują się znaczne ilości Zn i Cu. Wynika to z dodawania tych składników do pasz podawanych trzodzie chlewnej. Metale ciężkie są toksyczne dla mikroorganizmów, hamują ich metabolizm oraz blokują enzymy (Li, 2007).

Sód i potas

Źródłem sodu i potasu są substraty użyte do fermentacji oraz związki chemiczne, dodawane w celu uregulowania pH środowiska. Jony te są niezbędne do prawidłowego rozwoju mikroorganizmów, lecz w nadmiernych stężeniach mogą stać się inhibitorami procesu. Hamujące działanie sodu ujawnia się częściej w przypadku fermentacji mezofilnej,

Odnawialne źródła energii

natomiast w przypadku potasu w fermentacji termofilnej. Nadmiar w/w jonów zaburza gospodarkę jonową bakterii metanogennych, co obniża wydajność produkcji metanu.

Jak wynika z przedstawionej krótkiej charakterystyki związków mogących hamować przebieg fermentacji metanowej, w pewnych zakresach stężeń wpływają one stymulująco na proces, a po przekroczeniu pewnej granicy działają toksycznie.

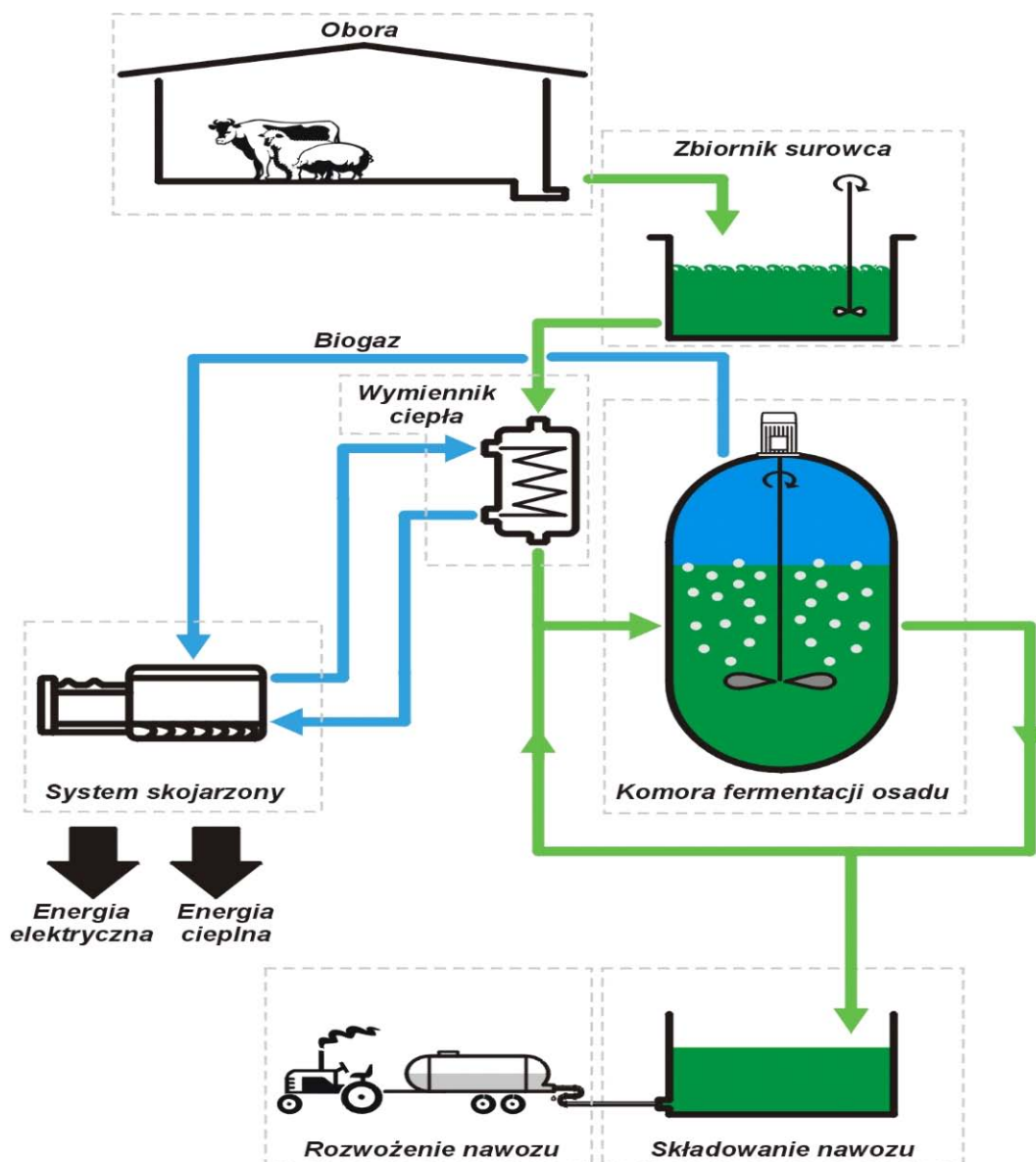
Tabela 13. Wartości graniczne dla różnych inhibitorów fermentacji metanowej (*Źródło: Apples, 2008*)

Substancja	Stężenie stymulujące proces [mg l ⁻¹]	Stężenie inhibitujące [mg l ⁻¹]	Stężenie toksyczne [mg l ⁻¹]
Na ⁺		3500-5500	8000
K ⁺	200-400	2500-4500	12000
Ca ⁺²	100-200	2500-4000	8000
Mg ⁺²	75-150	1000-1500	3000
NH ₄ ⁺		1500-3500	3000
S ⁻²		200	200
Ni ⁺² (ogólny)			30
Zn ⁺² (rozpuszczalny)			1,0

Wydajność procesu fermentacji uzależniona jest także od innych bardzo istotnych czynników, takich jak:

- stopień rozdrobnienia substratów,
- hydrauliczny czas zatrzymania substratów (HRT),
- obciążenie objętości komory ładunkiem, zastosowana technologia, itp.

2.2.1. Budowa biogazowni rolniczej



Rysunek 11. Schemat blokowy instalacji do produkcji biogazu rolniczego (Źródło: Oniszek-Popławska, 2003)

2.2.2. Substraty do produkcji biogazu¹⁴

Do procesu fermentacji metanowej można wykorzystać większość dostępnych surowców organicznych. Surowce te można podzielić w zależności od pochodzenia:

1. Rolnicze:

- celowo uprawiane rośliny energetyczne, produkty uboczne rolnictwa, w tym: stałe i płynne odchody zwierząt, odpady z produkcji roślinnej

2. Przemysłowe:

- odpady z przemysłu spożywczego, mleczarskiego, cukrowniczego, farmaceutycznego, kosmetycznego, biochemicznego, papierniczego, mięsnego, gorzelniczego itp.

3. Miejskie:

- frakcja organiczna odpadów miejskich, osady ściekowe, odpady z pielęgnacji zieleni

Według badań oraz doświadczeń praktycznych, jako rośliny energetyczne przydatne do produkcji biogazu rolniczego pod uwagę powinny być brane przede wszystkim:

- zboża, w tym kukurydza uprawiana na zielonkę,
- okopowe korzeniowe,
- lucerna,
- trawy łąkowe
- wieloletnie rośliny energetyczne tj. m.in. ślaziovec pensylwański, czy topinambur.

Poszczególne substraty różnią się właściwościami fizyko-chemicznymi, co wpływa na ilość produkowanego biogazu.

¹⁴ Na podstawie: Szymańska M., Łabętowicz J., 2010: Rolniczy potencjał substratów do produkcji biogazu rolniczego w Polsce

Tabela 14. Teoretyczna wydajność biogazu z różnych substratów *Źródło: Kowalczyk-Juško, 2009*

Substrat	Zawartość suchej masy [%]	Zawartość suchej masy organicznej [%]	Objętość biogazu z 1 kg masy organicznej [dm ³]	Objętość biogazu z 1000 kg świeżej masy [m ³]	Zawartość metanu [%]
Gnojowica bydłęca	10,0	68,5	801,0	55,0	55,0
Gnojowica świńska	7,5	82,0	815,0	50,0	58,0
Pomiot kurzy	27,0	67,0	773,0	140,0	58,0
Odpady ziemniaczane	88,3	94,2	732,0	609,0	52,0
Koniczyna I pokos	17,0	90,7	579,0	89,0	55,0
Kiszonka z kukurydzy	32,0	95,0	611,0	186,0	53,0
Melasa	77,0	93,0	600,0	514,0	58,0
Pozostałość po ekstrakcji rzepaku	88,6	92,1	633,0	516,0	61,0
Trawa łąkowa I pokos	20,0	91,7	614,0	113,0	54,0
Trawa łąkowa II pokos	20,0	90,8	604,0	110,0	55,0
Kiszonka z buraków cukrowych	18,0	80,5	675,0	98,0	55,0
Odpady piekarnicze	87,7	97,1	793,0	676,0	53,0
Melasa	77,0	93,0	600,0	514,0	58,0
Tłuszcz mieszany	99,9	99,9	1200,0	1198,0	67
Odpadki kuchenne	18,0	92,3	54,0	90,0	68,0

Jakość oraz skład chemiczny substratów użytych do fermentacji metanowej z jednej strony decyduje o wydajności produkcji biogazu, a z drugiej jest czynnikiem determinującym skład chemiczny pozostającej masy pofermentacyjnej. Są to bardzo ważne elementy, które powinny być brane pod uwagę przy planowaniu budowy biogazowni, ale dobór substratów powinien być prowadzony przede wszystkim w oparciu o ich dostępność w skali lokalnej. To jest gwarancją ciągłości pracy biogazowni.

Odnawialne źródła energii

Polska posiada znaczący potencjał substratów do produkcji biogazu (Szymańska, Łabętowicz, 2009, Szymańska, Łabętowicz 2010), a zatem promowanie produkcji biogazu oraz budowa instalacji biogazowych w naszym kraju jest uzasadniona.

Dokładne oszacowanie potencjału biomasy dostępnej dla energetyki jest niezwykle trudne z uwagi na dużą zmienność wynikającą ze znacznego wpływu warunków atmosferycznych (poziom plonów), a także człowieka (decyzje rolnika). Ocena rolniczego potencjału biomasy często oparta jest o założenia dotyczące wymaganego poziomu produkcji energii odnawialnej z tego surowca wynikającego z krajowych lub międzynarodowych aktów prawnych, a nie o realne warunki. Ocena potencjału biomasy musi wynikać z dokładnej analizy powierzchni użytków rolnych i ich struktury, warunków klimatyczno-glebowych, struktury zasiewów, osiągniętych plonów, z zapotrzebowania na surowce rolnicze na cele żywnościowe i paszowe, a także wielkości pogłowia zwierząt.

Poza tym przy szacowaniu potencjału substratów dla biogazowni rolniczych należy uwzględnić zasady zrównoważonej produkcji biomasy na cele energetyczne. Ich ogólnym przesłaniem jest taka produkcja biomasy, która nie odbywa się nadmiernym kosztem dla środowiska naturalnego i społeczeństwa. Wybrane aspekty zrównoważonej produkcji biomasy to:

- Konkurencyjność z produkcją żywności i pasz
- Zmiana struktury użytkowania gruntów
- Różnorodność biologiczna
- Wpływ na środowisko naturalne (glebę, wodę, powietrze)

Zapotrzebowanie na substraty do produkcji biogazu w Polsce

W związku z planowaną budową ok. 2500 biogazowni rolniczych w Polsce należy się zastanowić nad możliwością pozyskania substratów do fermentacji dla takiej liczby instalacji. Jak wymieniono wcześniej gama substratów dla biogazowni jest bardzo szeroka. Natomiast największe znaczenie przypisuje się na dzień dzisiejszy kiszonce z kukurydzy, która charakteryzuje się wysoką wydajności produkcji CH_4 w przeliczeniu na 1 t smo (tona suchej masy organicznej). Drugim w kolejności bardzo ważnym substratem jest gnojowica, która z uwagi na swoje właściwości fizyko-chemiczne stabilizuje proces fermentacji. Można zatem się spodziewać, że rozwój biogazowni w Polsce będzie wiązał się ze znacznym zapotrzebowaniem na te materiały. Przyjmując, że średnia moc każdej wybudowanej

instalacji będzie wynosić ok. 1 MW, średnie roczne zapotrzebowanie na te surowce jest następujące:

- ok. 10 000 t kiszonki z kukurydzy x 2500 instalacji = 25 mln t

- ok. 7 000 t gnojowicy x 2500 instalacji = 17,5 mln t

Przedstawiony powyżej przykładowy skład substratów nie stanowi pełnego wsadu do komory fermentacyjnej. Wymaga on uzupełnienia innymi surowcami. Poza tym są to wielkości orientacyjne, w praktyce mogą powstawać biogazownie, których zapotrzebowanie na te substraty będzie większe lub takie, które w ogóle nie będą ich wykorzystywać.

Teoretyczny potencjał gruntów potrzebny na wyprodukowanie 25 mln t kiszonki z kukurydzy

Zakładając, że podczas kiszenia następuje ubytek masy rzędu 10-12% (Kowalik, Michalski, 2006) na wyprodukowanie 25 mln t kiszonki potrzebne jest ok. 28 mln t świeżej masy zielonki kukurydzy. Średnie plony kukurydzy na zielonkę w Polsce wynoszą ok. 45 t śm (wg. Informacje i opracowania statystyczne, 2010). Uwzględniając te założenia areał gruntów potrzebny na produkcję kiszonki w skali całego kraju wynosi ok. 620 tys. ha. Teoretycznie każda biogazownia powinna mieć dostęp do ponad 245 ha gruntów przeznaczonych na produkcję kukurydzy na zielonkę.

Odnosząc to do aktualnej produkcji kukurydzy na zielonkę można stwierdzić, że nie posiadamy takich nadwyżek tej rośliny. Według danych GUS w 2009 r powierzchnia uprawy kukurydzy na zielonkę wyniosła 419,7 tys. ha i w porównaniu do 2008 r. zwiększyła się o ok. 1,0%. Średnie plony wyniosły $44,9 \text{ t ha}^{-1}$, co w konsekwencji dało zbiory zielonej masy rzędu 18,8 mln t. (wg Informacje i opracowania statystyczne, 2010).

Porównując ilość produkowanej w Polsce kukurydzy na zielonkę – 18,8 mln t z zapotrzebowaniem biogazowni na te rośliny ok. 28 mln t od razu widać, że aby sprostać wymaganiom biogazowni w Polsce powierzchnia zasiewów kukurydzy na zielonkę powinna zwiększyć się ponad dwukrotnie do ok. 1 mln ha.

Teoretyczny potencjał pogłowia zwierząt potrzebny na wyprodukowanie 17,5 mln t gnojowicy

Zszacunkowa produkcja gnojowicy od 1 SD wynosi 22 m^3 . Zakładając, że gęstość gnojowicy wynosi ok. $1,05 \text{ t m}^3$ od 1 SD (Deniusiak) rocznie można uzyskać ok. 23,1 t gnojowicy. Oznacza to, że do wyprodukowania ok. 17,5 mln t gnojowicy potrzebne jest ok. 757,6 tys SD, co daje nam ok. 303 SD na jedną teoretyczną biogazownię.

Odnawialne źródła energii

Rolniczy potencjał produkcyjny kraju: powierzchnia użytków rolnych, ich struktura oraz jakość

Polska posiada znaczący potencjał gruntów, przeznaczonej na produkcję biomasy. Posiadamy ponad 16 mln ha użytków rolnych, z czego ok. 75% stanowią grunty orne i ok. 20% łąki i pastwiska (wg Rocznik statystyczny rolnictwa 2009). Według danych GUS-u Polska w 2007 r była na piątym miejscu pod względem powierzchni UR wśród krajów UE.

Tabela 15. Użytkowanie gruntów w tys ha

Lata Dane dla Polski	Powierzchnia ogólna	Użytki rolne					
		Razem	Grunty orne	Sady	Łąki	Pastwiska	Pozostałe
2000	31268,5	17812,3	13683,5	256,7	2502,8	1369,3	-
2002	31268,5	16899,3	13066,5	271,0	2531,3	1030,5	-
2005	31268,5	15906,0	12222,0	296,5	2529,2	858,3	-
2006	31268,5	15957,3	12449,3	292,4	2390,2	825,5	-
2007	31267,9	16177,1	11869,1	336,8	2497,4	773,8	699,9
2008	31267,9	16154,3	12 093,8	329,4	2450,3	734,1	546,6
Dane dla Niemiec za 2007		Razem	Grunty orne	Sady	Łąki i pastwiska		Pozostałe
		17000,0	11900,0	200,0	4900,0		-

Dane GUS, Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2009, Warszawa 2010, s. 76, 366

Problemem w Polsce jest jednak jakość naszych gleb i znaczne rozdrobnienie gospodarstw rolnych (Rocznik statystyczny rolnictwa 2009), co w konsekwencji ogranicza wielkość plonów roślin, które są niższe od średnich plonów uzyskiwanych w krajach UE.

Tabela 16. Gospodarstwa rolne według grup obszarowych użytków rolnych

Lata	Ogółem <i>Total</i>	O powierzchni użytków rolnych w ha						
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-50	50 i więcej
	W liczbach bezwzględnych	W procentach						
2000	2859196	71,2	15,7	6,5	2,9	2,2	1,0	0,5
2002	2933228	72,4	14,6	6,2	2,9	2,1	1,1	0,7
2005	2733364	72,4	14,2	6,1	2,8	2,4	1,3	0,8
2006	2598624	70,0	16,0	6,5	3,0	2,4	1,3	0,9
2007	2579178	70,1	15,5	6,5	3,0	2,5	1,5	0,9
2008	2565969	69,7	16,1	6,4	3,0	2,4	1,4	1,0

Odnawialne źródła energii

Opracowanie własne na podstawie GUS, Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2009, s 91

W Polsce uzyskuje się o połowę mniejsze plony, w stosunku do Niemiec. A zatem pozyskanie podobnej ilości biomasy dla energetyki wymaga w naszym przypadku przeznaczenia dwukrotnie większej powierzchni, niż w Niemczech. Jeśli jednak założymy, że w Niemczech funkcjonuje ponad 4000 biogazowni, a my planujemy budowę ok. 2500, to nasze potrzeby są porównywalne.

Jak już nadmieniono poziom plonów w Polsce jest limitowany jakością gleb. Około 34% naszych gleb stanowią grunty V i VI klasy bonitacyjnej, ok. 40% grunty klasy IV i zaledwie 22,7% III klasy, a gleby I i II stanowią ok. 3,3% powierzchni użytków rolnych (Rocznik statystyczny rolnictwa 2009).

Tabela 17. Powierzchnia, zbiory i plony wybranych roślin w UE (2007r.)

Kraje	Powierzchnia w tys ha	Zbiory	Plony z 1 ha w dt
	Zboża ogółem		
Unia Europejska (27)	57292	266079	46,4
Polska	8353	27143	32,5
Niemcy	6572	40632	61,8
Francja	9096	59537	65,5
Hiszpania	6210	23963	38,6
Wielka Brytania	2883	19130	66,3
	Ziemniaki		
Unia Europejska (27)	2241	64188	286
Polska	570	11791	207
Niemcy	275	11644	423
Francja	159	7206	454
Hiszpania	89	2518	282
Wielka Brytania	140	5635	402
	Buraki cukrowe		
Unia Europejska (27)	1817	114842	632
Polska	247	12682	513
Niemcy	403	25139	624
Francja	394	33213	844
Hiszpania	74	5315	719
Wielka Brytania	122	6500	533

Źródło: GUS Rolnictwo 2009, Przegląd międzynarodowy, s. 368, 372, 373

Podstawowym problemem w warunkach naszego kraju jest duże zakwaszenie gleb.

Odnawialne źródła energii

Ponadto w Polsce mamy do czynienia z dużym udziałem gleb o niskiej i bardzo niskiej zasobności w fosfor i potas przyswajalny. Gospodarując w takich warunkach glebowych jest bardzo trudno uzyskiwać wysokie plony roślin. A zatem rezerwa gruntów, które należy pozostawić na produkcję żywności i pasz musi być znacznie większa, niż w krajach zachodnich.

Potencjał gruntów do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji biogazu rolniczego

Potencjał odlogów i ugorów

Według danych GUS-u powierzchnia odlogów i ugorów w Polsce w 2008r wynosiła 462,8 tys ha (Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2009). Można przyjąć, że grunty te w całości można przeznaczyć na uprawę roślin energetycznych. Uwzględniając fakt, że Polska musi jednocześnie zwiększać powierzchnię uprawy roślin przeznaczanych do bezpośredniego spalania (biopaliwa stałe) oraz produkcji biopaliw płynnych przyjęto założenie, że tylko 30% odlogów i ugorów będzie dostępne do uprawy biomasy dla biogazowni. W związku z powyższym na uprawę np. kukurydzy na zielonkę w skali kraju można przeznaczyć ok. 139 tys ha.

Należy jednak zauważyć, że powierzchnia odlogów i ugorów zmienia się w czasie. Na dzień dzisiejszy obserwuje się tendencję do zmniejszania się ich powierzchni w wyniku przekształcania tych gruntów na cele nierolne. W 2000r. udział odlogów i ugorów w powierzchni użytków rolnych wynosił ok. 9,5%, a w 2008r był o połowę mniejszy, tj. 3,8%.

Tabela 18. Powierzchnia odlogów i ugorów

Wyszczególnienie	2000	2002	2005	2006	2007	2008
		W tys ha				
Ogółem	1288,9	2302,2	1028,6	894,0	413,1	462,8
	W % powierzchni gruntów ornych					
Ogółem	9,4	17,6	8,4	7,9	3,5	3,8

Dane GUS, Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2009 Warszawa 2010., s. 79

Potencjał gruntów ornych

Polska posiada ponad 12 mln ha gruntów ornych. Ich powierzchnia jest zróżnicowana w poszczególnych województwach. Największa powierzchnia gruntów ornych występuje w

Odnawialne źródła energii

województwach: wielkopolskim (1546,3 tys ha), mazowieckim (1449,7 tys ha) i lubelskim (1237,2 tys ha), a najmniejsza w w śląskim (327,7 tys ha) i lubuskim (356,1 tys ha).

Wyznaczając potencjał gruntów do uprawy biomasy z przeznaczeniem na produkcję biogazu należy przyjąć pewne założenia:

1. Należy ustalić jaki odsetek gruntów ornych można przeznaczyć na produkcję biomasy na cele energetyczne przy zachowaniu równowagi na rynku żywności i rynku pasz
2. Należy równolegle rezerwować grunty pod uprawę roślin przeznaczanych do bezpośredniego spalania oraz produkcji biopaliw płynnych.

Grunty orne zarezerwowane na produkcję żywności i pasz

Priorytetowym celem produkcji rolniczej jest zabezpieczenie potrzeb konsumpcyjnych oraz paszowych. W polskim rolnictwie w strukturze zasiewów dominują zboża, ale po wnikliwej ocenie można stwierdzić, że taka sytuacja jest uzasadniona i wynika z preferencji żywieniowych społeczeństwa oraz z systemu żywienia zwierząt. Według danych GUS-u ok. 25% zebranych zbóż przeznaczona jest na cele konsumpcyjne. Taka tendencja, z niewielkimi wahaniem, utrzymuje się od lat (Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2009). Można zatem przyjąć, że nasze zapotrzebowanie na produkty zbożowe w przyszłości będzie porównywalne i przy utrzymywaniu się plonów na podobnym do obecnego poziomie, zapotrzebowanie na grunty orne będzie takie samo jak obecnie. Różnica pomiędzy zbiorami, a skupem ziemiopłodów nie stanowi nadwyżki biomasy, tylko jest użytkowana na cele paszowe. Zboża są cenną paszą treściwą, która w dużych ilościach wykorzystywana jest w gospodarstwach utrzymujących trzodę chlewną, ale nie tylko. Z tego powodu zapotrzebowanie na zboża na cele paszowe jest bardzo duże i wynosi ok. 15,5 mln t zbóż podstawowych i ok. 4800 tys t ziarna kukurydzy. Przy założeniu, że pogłowie zwierząt będzie się utrzymywać na podobnym poziomie zapotrzebowanie na zboża na cele paszowe w przyszłości także będzie duże.

Odnawialne źródła energii

Tabela 19. Zbiory ziemniaków oraz skup ważniejszych produktów rolnych (dane dla 2008 r)

Ziemniaki	Zbiór tys t	Skup tys t	Różnica tys t
	a	b	c = a-b
Zboża ogółem	27 664,3	6 529,8	21 134,5
Pszenica	9 274,9	3 881,3	5 393,6
Żyto	3 448,5	750,6	2 697,9
Jęczmień	3 619,4	592,5	3 026,9
Ziemniaki	10 462,1	1 192,6	9 269,5
Buraki cukrowe	8 715,1	8 554,9	160,2

Obliczenia własne na podstawie danych GUS-u

Tabela 20. Udział skupu w produkcji ważniejszych ziemniaków

Ziemniaki	2002/03	2005/06	2006/07	2007/08
	w %,			
Zboża ogółem	29,2	30,8	27,6	25,5
Pszenica	58,3	58,4	53,3	49,3
Żyto	22,3	26,2	24,5	21,5
Ziemniaki	8,6	10,6	10,4	10,2

Dane GUS, Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2009 Warszawa 2010., s. 253

Tabela 21. Orientacyjne zapotrzebowanie gruntów na uprawę podstawowych produktów żywnościowych

Produkty	Roczne spożycie na 1 mieszkańca [kg]	Roczne zapotrzebowanie na cele konsumpcyjne [tys t]	Średnie plony [$t\ ha^{-1}$]	Powierzchnia pod uprawę na cele konsumpcyjne [tys ha]
Ziarno zbóż	112	4271,3	3,22	1326,5
Ziemniaki	118	4500,0	19,1	235,6

Obliczenia własne na podstawie danych GUS-u

W przypadku ziemniaków, głównym kierunkiem ich wykorzystania na dzień dzisiejszy są cele konsumpcyjne. Natomiast obserwuje się malejącą tendencję paszowego wykorzystania tych roślin. Można zatem przypuszczać, że powierzchnia uprawy ziemniaków może się zmniejszać, jednak równolegle obserwuje się duże zainteresowanie przemysłu rolno-spożywczego odmianami ziemniaków przydatnych do produkcji chipsów. To może spowodować, że powierzchnia uprawy ziemniaków będzie utrzymywać się na stałym poziomie.

Tabela 22. Orientacyjne zapotrzebowanie gruntów na uprawę roślin przeznaczanych na spասanie

Produkty	Średnie roczne zapotrzebowanie na spասanie (średnio z lat 2002-2008) [tys t]	Średnie plony [t ha ⁻¹]	Powierzchnia pod uprawę na cele paszowe [tys ha]
Zboża podstawowe,	15464	3,22	4802,5
Kukurydza na ziarno,	4802,5	6,23	290,8
Ziemniaki,	3245,7	19,1	169,9

Obliczenia własne na podstawie danych GUS-u

Na podstawie średniego rocznego zapotrzebowania na cele konsumpcyjne i paszowe podstawowych roślin rolniczych oraz ich plonów uzyskiwanych w naszych warunkach obliczono zapotrzebowanie na grunty orne. Przedstawiona analiza wskazuje, że na zaspokojenie podstawowych potrzeb konsumpcyjnych i paszowych potrzebne jest ok. 6825,3 tys ha.

Pozostałe grunty przeznaczone na produkcję roślin konsumpcyjnych i paszowych:

Uprawa warzyw gruntowych – ok. 206,5 tys ha

Uprawa buraków cukrowych – 200 tys ha

Polowe uprawy pastewne użytkowane na pasze – 924,7 tys ha

Z przedstawionej analizy wynika, że na dzień dzisiejszy minimalne zapotrzebowanie gruntów pod uprawę roślin konsumpcyjnych i paszowych wynosi ok. 8 156,5 tys ha. W analizie nie wzięto pod uwagę wszystkich roślin uprawianych w Polsce, a zatem rzeczywista wymagana powierzchnia gruntów jest większa. Poza tym nie uwzględniono tu także zapotrzebowania na materiał siewny i sadzeniaki. Można zatem przyjąć, że potrzebna powierzchnia gruntów ornych wynosi ok. 10 mln ha.

Grunty orne do produkcji roślin energetycznych

Zakładając, że na produkcję żywności i pasz musimy pozostawić ok. 10 mln ha GO, to pozostaje ponad 2 mln ha, które mogą być przeznaczone na produkcję biomasy dla energetyki – stanowi to ok.16,5% GO.

Planując potencjał gruntów, które trzeba zarezerwować do produkcji biogazu rolniczego, należy pamiętać także o polskich zobowiązaniach dotyczących produkcji biopaliw ciekłych. Wszelkie symulacje dotyczące możliwości zwiększenia powierzchni zasiewów rzepaku wskazują, że będzie się to odbywać w obszarze dotychczas dominującym jeśli chodzi o zasiewy rzepaku, tj. województwo dolnośląskie, wielkopolskie, kujawsko-pomorskie i zachodniopomorskie. W związku z powyższym obszary te wyłączono z potencjału gruntów do produkcji biomasy dla biogazowni. Łącznie powierzchnia gruntów ornych w tych czterech województwach wynosi 4035,5 tys. ha. Pozostaje zatem 8058,3 tys. ha GO, z których pewną część możemy zarezerwować na produkcję biomasy dla biogazowni.

Przyjmując założenie, że 16,5 % GO można bezpiecznie przeznaczyć na uprawę roślin dla energetyki uzyskujemy ok. $8058,3 \text{ tys. ha} * 16,5\% = 1329,6 \text{ tys. ha}$. Część tych gruntów należy przeznaczyć pod uprawę roślin do bezpośredniego spalania i produkcji bioetanolu.

W niniejszym opracowaniu przyjęto założenie, że dostępny areał 1329,6 tys. ha w ok. 40% można wykorzystać do produkcji biomasy dla biogazowni, co daje nam ok. 532 tys. ha. Dodając do tego potencjał gruntów dotychczas odłogowanych i ugorowanych (139 tys. ha) otrzymujemy 671 tys. ha.

Produkcja biomasy z trwałych użytków zielonych

Trwałe użytki zielone mogą być także istotnym źródłem substratów dla biogazowni. W 2009 r. powierzchnia trwałych użytków zielonych w gospodarstwach rolnych wyniosła blisko 3,2 mln ha. Średnie plony z trwałych użytków zielonych w przeliczeniu na siano wyniosły $4,73 \text{ t ha}^{-1}$. Produkcja siana z TUZ w 2009 r. została oszacowana na ok. 15,1 mln t. Powierzchnia łąk trwałych w gospodarstwach rolnych w 2009 r. wyniosła blisko 2,5 mln ha i w porównaniu do 2008 r. zwiększyła się o 12,8 tys. ha. Łączne plony z łąk trwałych (I, II i III pokos) w przeliczeniu na siano wyniosły $4,92 \text{ t ha}^{-1}$. Produkcja siana z łąk trwałych łącznie z trzech pokosów wyniosła ponad 12,1 mln t.

Szacuje się, że znaczna część łąk trwałych nie jest wykorzystywana gospodarczo. Ok. 16,4% łąk trwałych (ok. 403,3 tys. ha) w ogóle nie jest eksploatowanych lub są koszone, lecz biomasa nie jest z nich zbierana. Z ok. 17% łąk trwałych (tj. 418,4 tys. ha) zbierany jest tylko I pokos, a z ok. 701,9 tys. ha, tj. 28,5% łąk trwałych zbierane są dwa pokosy (Informacje i opracowania statystyczne, 2010). Dla biogazowni oznacza to, że w polskim rolnictwie występują nadwyżki siana łąkowego, które po zakiszeniu może być wykorzystywane do fermentacji metanowej. Można przyjąć założenie, że dla biogazowni surowcem będzie biomasa zbierana z trzech pokosów lub tylko z dwóch. Utrzymywanie łąki trzykósnej

wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych, czyli bezpieczniejszym założeniem będzie energetyczne wykorzystanie biomasy z łąk użytkowanych dwukośnie.

Według GUS-u w 2009 plony I pokosu z łąk trwałych wyniosły $2,38 \text{ t ha}^{-1}$, a plony II pokosu wyniosły $1,72 \text{ t ha}^{-1}$. Uwzględniając powyższe dane do biogazowni można przekazać rocznie ok. 2,36 mln t siana.

Produkcja biogazu z nawozów naturalnych

Nawozy naturalne cieszą się dużą popularnością jeśli chodzi o produkcję biogazu rolniczego. Stosowane są one jako dodatek do innych substratów. Charakteryzują się one, w zależności od rodzaju, różną produktywnością w przeliczeniu na ilość biogazu możliwą do otrzymania z 1 t s.m.o. (t s.m.o. – tona suchej masy organicznej).

Spośród produkowanych nawozów naturalnych najbardziej przydatna do fermentacji metanowej jest gnojowica, stanowiąca mieszaninę kału z moczem oraz wody wykorzystywanej do mycia stanowisk. Ze względu na niską zawartość suchej masy może być wykorzystywana w fermentacji mokrej. Często jest dodawana do innych substratów w celu ich rozcieńczenia. Szacuje się, że największą wydajność fermentacji uzyskuje się przy udziale gnojowicy w masie substratów do ok. 20%. Większy jej udział może sprzyjać zwiększaniu się stężenia w komorze fermentacyjnej N-NH_4 , co sprzyja emisji toksycznego NH_3 .

Obornik stanowi mieszaninę kału, moczu i ściółki. Ze względu na wysoką zawartość suchej masy, ok. 30% ma ograniczone możliwości stosowania w fermentacji mokrej. Wymaga rozcieńczenia oraz specjalnego systemu podawania do komory fermentacyjnej. Nie mniej jednak też jest stosowany do produkcji biogazu rolniczego. Można jednak przypuszczać, że rozwój technologii fermentacji suchej zwiększy znaczenie tego nawozu w produkcji biogazu.

Gnojówka ze względu na bardzo małą zawartość suchej masy (1-3%) nie będzie w praktyce stanowiła istotnego substratu do fermentacji, dlatego została pominięta w analizie.

W celu oszacowania potencjału biogazu produkowanego na bazie nawozów naturalnych niezbędne jest oszacowanie wielkości ich produkcji. W danych statystycznych brak jest jednoznacznej informacji na temat ilości produkowanych nawozów naturalnych w ciągu roku. Można jednak na podstawie pogłowia zwierząt, sposobu ich utrzymania oraz rocznej produkcji nawozów naturalnych od tzw. DJP (DJP – duża jednostka przeliczeniowa, zwierze o masie 500kg) wyliczyć teoretyczną produkcję obornika i gnojowicy.

Odnawialne źródła energii

Wielkość pogłowia określono na podstawie danych GUS-u. Sposób utrzymania zwierząt przyjęto za IUNG-PIB w Puławach, tj., około 12% pogłowia zwierząt gospodarskich utrzymywana jest w oborach głębokich, 7% w oborach bezściołowych z produkcją gnojowicy, pozostałe 81% pogłowia w oborach ściółowych płytkich. Taka struktura sposobów utrzymania zwierząt gospodarskich stanowi zasadniczą różnicę w stosunku do krajów Europy Zachodniej, w których większość zwierząt utrzymywana jest w oborach bezściołowych. Oznacza to, że nasz potencjał gnojowicy jest znacznie mniejszy.

Tabela 23. Zwierzęta gospodarskie

Wyszczególnienie	2000	2002	2005	2006	2007	2008
	W tysiącach sztuk					
	W sztukach przeliczeniowych dużych					
Ogółem	8013	7578	7441	7648	7632	7270
	Zwierzęta gospodarskie na 100 ha UR w sztukach przeliczeniowych dużych					
Ogółem,	45	45	47	48	47	45

Dane GUS, Rocznik Statystyczny Rolnictwa, 2009, s. 175, 176

Do wyliczenia ilości produkowanych nawozów naturalnych przyjęto założenie, że: 1 DJP produkuje w ciągu roku ok. 10 t obornika lub 22 m³ gnojowicy (Mercik, 2004). Na podstawie przeprowadzonej analizy określono roczną produkcję nawozów naturalnych na poziomie: 67611,0 tys t obornika i ok. 11755,6 tys t gnojowicy.

Tabela 24. Roczna produkcja nawozów naturalnych w tys t (dane dla 2008r)

Sposobu utrzymania zwierząt	Pogłowia zwierząt w tys szt (DJP)	Roczna produkcja nawozów naturalnych w tys t
		Obornik,
Obory głębokie,	872,4	8724,0
Obory płytkie,	5888,7	58887,0
Razem obornik,		67611,0
		Gnojowica,
Obory bezściołowe	508,9	11755,6

Opracowanie własne na podstawie danych GUS-u

Ilość produkowanych nawozów naturalnych można także wyznaczyć inną metodą, która jest wykorzystywana przez IUNG-PIB w Puławach. Instytut oszacował wielkość produkcji nawozów naturalnych w Polsce i regionach na podstawie modelu SFOM z wykorzystaniem

Odnawialne źródła energii

danych statystycznych dotyczących pogłowia zwierząt gospodarskich w latach 2002–2006 (Jadczyzyn i in., 2000). Masę nawozów naturalnych i ilości składników pokarmowych oszacowano z uwzględnieniem procesów powstawania i przemian nawozów naturalnych oraz zależnie od poziomu żywienia różnych grup użytkowych zwierząt i warunków ich utrzymywania. Z przeprowadzonej przez IUNG-PIB analizy (Igras, Kopiński, 2007) wynika, że w polskim rolnictwie rocznie powstaje ponad 80750 tys t obornika i ok. 7460 tys m³ gnojowicy.

Na podstawie zaprezentowanych danych można stwierdzić, że obie metody dają nam nieznacznie inne ilości produkowanych rocznie nawozów naturalnych. Oczywiście w pierwszej metodzie obliczono ilość produkowanych nawozów naturalnych w 2008r, a dane zamieszczone w tabeli 25 stanowią uśrednione ilości z lat 2002-2006. Nie mniej jednak można zauważyć tendencję, że w Polsce dominującym nawozem naturalnym jest obornik, który jest mniej przydatny do produkcji biogazu metodą moką, niż gnojowica. Można zatem zastanowić się nad możliwością produkcji w Polsce biogazu metodą fermentacji suchej wykorzystując duże krajowe zasoby obornika.

Tabela 25. Całkowita produkcja nawozów naturalnych w ujęciu regionalnym

Województwa	Całkowita produkcja nawozów naturalnych	
	Obornik [tys. t]	Gnojowica [tys m ³]
Dolnośląskie	2 070	173
Kujawskopomorskie	6 625	602
Lubelskie	6 267	591
Lubuskie	1 152	89
Łódzkie	6 440	618
Małopolskie	3 966	364
Mazowieckie	12 565	1 217
Opolskie	2 203	195
Podkarpackie	2 839	260
Podlaskie	8 299	834
Pomorskie	3 231	283
Śląskie	2 161	184
Świętokrzyskie	2 640	241
Warmińsko-mazurskie	5 171	479
Wielkopolskie	13 249	1 161
Zachodniopomorskie	1 916	165
POLSKA	80 757	7 459

Odnawialne źródła energii

Wg Igras J., Kpiński J., Zużycie nawozów mineralnych i naturalnych w układzie regionalnym, Studia i Raporty IUNG-PIG, 5, 2007, s. 113

Z punktu widzenia produkcji biogazu z wykorzystaniem nawozów naturalnych ważne jest też określenie przyszłościowego ich potencjału. Wyznaczenie perspektyw rozwoju produkcji zwierzęcej jest zagadnieniem trudnym z uwagi wiele szybko zmieniających się uwarunkowań. Analizy takiej dokonał IUNG-PIB w Puławach, gdzie wyznaczono prognozowane stany pogłowia zwierząt inwentarskich do 2020 r.

Tabela 26. Prognoza pogłowia zwierząt na 2020r. w tys szt.

Wyszczególnienie	Prognoza na 2020 r.,
Bydło razem,	5880
Trzoda chlewna razem,	17365
Owce,	330
Kozy,	130
Drób razem,	99805
Konie,	345
Obsada DJP·100ha UR ⁻¹ ,	47,7

Wg Udział rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku, praca zbiorowa, red. Igras J., Pastuszek M.

Przedstawiona analiza wskazuje, że nie należy się w przyszłości spodziewać gwałtownego zwiększenia pogłowia zwierząt, a tym samym produkcji nawozów naturalnych. A zatem w perspektywie kolejnych 10 lat biogazownie rolnicze będą dysponowały podobnym potencjałem teoretycznym nawozów naturalnych jak obecnie.

Wyliczona ilość nawozów naturalnych stanowi tzw. potencjał teoretyczny. W praktyce potencjał nawozów naturalnych jest znacznie mniejszy ze względu na fakt, że realnie biogazownie mogą powstać tylko w dużych gospodarstwach z obsadą zwierząt przynajmniej na poziomie ok. 100 DJP. Tymczasem w Polsce dominują gospodarstwa o niewielkiej obsadzie zwierząt.

Tabela 27. Struktura gospodarstw wg skali chowu krów w 2007 roku w %

Województwo,	% gospodarstw posiadających krowy,			
	1-2 sztuk	3-4 sztuk,	5-9 sztuk,	Powyżej 10 sztuk,
Dolnośląskie	70,5	13,4	9,0	7,1
Kujawsko-pomorskie	51,1	12,2	12,3	24,4
Lubelskie	75,7	10,9	6,9	6,5
Lubuskie	59,2	15,3	9,8	15,7
Łódzkie	53,3	16,2	18,1	12,4
Małopolskie	84,3	9,9	4,2	1,6
Mazowieckie	48,4	18,8	13,8	19,0
Opolskie	54,8	17,8	9,6	17,8
Podkarpackie	92,4	4,9	2,0	0,7
Podlaskie	32,1	12,6	17,1	38,2
Pomorskie	56,8	18,1	11,5	13,6
Śląskie	68,1	13,9	10,2	7,8
Świętokrzyskie	78,9	11,2	6,4	3,5
Warmińsko-mazurskie	33,5	11,2	21,8	33,5
Wielkopolskie	53,9	16,2	12,8	17,1
Zachodniopomorskie	59,4	15,6	13,7	11,3
POLSKA	64,0	12,8	10,4	12,8

Wg: Udział rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku, praca zbiorowa, red. Igras J., Pastuszek M.

Podczas szacowania dostępnych w rejonie substratów do fermentacji należy uwzględnić także niechęć rolników do przekazywania do biogazowni nawozów naturalnych. Wynika to z ich przekonania o pozytywnym wpływie tych nawozów na właściwości gleb. W tym zakresie potrzebne jest zatem rozpowszechnianie informacji na temat możliwości i zalet stosowania przefermentowanej substancji w miejsce dotychczas stosowanych nawozów naturalnych. Niezbędne jest jednak poparcie tych informacji wynikami badań prowadzonych przez liczące się jednostki naukowe.

Tabela 28. Struktura gospodarstw wg skali chowu trzody chlewnej w 2007 roku w %

Województwo	% gospodarstw posiadających krowy,				
	1-2 sztuk	3-4 sztuk,	5-9 sztuk,	10-49 sztuk,	Powyżej 50 sztuk,
Dolnośląskie	17,3	11,4	14,0	49,2	8,0
Kujawsko-pomorskie	7,5	3,2	9,2	16,7	33,4
Lubelskie	26,2	13,3	14,8	38,9	6,8
Lubuskie	16,5	15,3	13,0	41,1	14,1
Łódzkie	8,7	7,9	16,4	53,6	13,5
Małopolskie	46,0	11,1	12,6	27,4	2,8
Mazowieckie	12,0	11,9	16,5	48,0	11,5
Opolskie	12,8	5,6	6,1	48,7	26,9
Podkarpackie	52,6	13,2	10,5	21,4	2,3
Podlaskie	29,8	12,6	15,0	35,0	7,7
Pomorskie	9,5	6,3	8,9	51,7	23,5
Śląskie	31,3	8,9	11,9	34,1	13,8
Świętokrzyskie	16,8	16,4	16,0	43,6	7,2
Warmińsko-mazurskie	20,9	7,0	13,9	38,2	20,0
Wielkopolskie	6,2	6,1	9,1	44,3	34,4
Zachodniopomorskie	14,5	5,7	10,1	47,6	22,0
POLSKA	20,8	10,0	12,9	41,4	14,9

Wg: Udział rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku, praca zbiorowa, red. Igras J., Pastuszek M.

Zachętą do przekazywania nawozów naturalnych do biogazowni są przepisy zezwalające na zastosowanie nawozów naturalnych w ilości nie przekraczającej 170 kg azotu (N) w czystym składniku na 1 hektar użytków rolnych. Spełnienie tego wymogu w wielu gospodarstwach jest trudne. W takiej sytuacji sprzedaż nadwyżki nawozów naturalnych do biogazowni może być zachęcającym rozwiązaniem dla rolników.

2.2.3. Koncepcja przetwarzania i przyrodniczego wykorzystania masy pofermentacyjnej¹⁵

¹⁵ Na podstawie: Szymańska M., 2011: Przetwarzanie odpadów organicznych przy zastosowaniu fermentacji metanowej oraz zagospodarowanie powstającej masy pofermentacyjnej

Odnawialne źródła energii

Należy pamiętać, że w efekcie fermentacji metanowej pozostaje także masa pofermentacyjna. Teoretycznie jedna biogazownia o mocy 1 MW produkuje rocznie nawet do 60 000 t masy pofermentacyjnej. Ilość pozostającej masy jest uzależniona od rodzaju wsadu, a także od przyjętej technologii produkcji biogazu. Nie ulega wątpliwości, że w miarę rozwoju produkcji biogazu w Polsce będzie zwiększać się ilość produkowanej masy pofermentacyjnej, a co się z tym wiąże pojawią się problemy z jej magazynowaniem i utylizacją. Zatem już dziś należy poszukiwać metod jej przetwarzania i zagospodarowania.

Z uwagi na właściwości chemiczne podstawową metodą zagospodarowania masy pofermentacyjnej powinno być jej rolnicze wykorzystanie (Demirel, 2009, Holm-Nielsen, 2009; Parawira i in., 2008). Pozwala to zamknąć obieg materii w przyrodzie, a poza tym stwarza większe możliwości zabezpieczenia biogazowniom stałych dostaw substratów. Należy promować system rozwoju biogazowni oparty na współpracy z rolnikiem – głównym dostawcą substratów, a biogazownią. Współpraca powinna polegać na długoterminowych kontraktach zobowiązujących rolnika do dostarczania substratów do biogazowni i biogazownię do przekazywania rolnikowi masy pofermentacyjnej, którą będzie on stosował na pola w miejsce dotychczas stosowanych nawozów naturalnych. Takie podejście jest także uzasadnione z punktu widzenia bilansu materii organicznej w glebie

Masa pofermentacyjna może być bezpośrednio stosowana na pola uprawne lub użytki zielone. Problemem jednak jest niska zawartość suchej masy (ok. 5-9%), co wymaga użycia specjalnego sprzętu rolniczego, w który zazwyczaj wyposażone są tylko gospodarstwa utrzymujące zwierzęta. Ogranicza to ilość odbiorców masy pofermentacyjnej z biogazowni. Ponadto należy pamiętać, że masa pofermentacyjna może być stosowana w określonych terminach, analogicznie do nawozów naturalnych, tj. od 1 marca do 30 listopada. W pozostałym okresie musi być ona magazynowana, co wymaga budowy lagun o dużej pojemności. W związku z powyższym biogazownie powinny wdrażać różne technologie zmniejszające objętość masy pofermentacyjnej. Jednym z rozwiązań jest przepuszczenie jej przez prasę odwadniającą. W ten sposób uzyskujemy dwie frakcje: frakcję ciekłą i stałą. Odwodnienie masy pofermentacyjnej jest korzystne ze względu na: zmniejszenie objętości oraz uzyskanie frakcji ciekłej, która może być zwracana do komory fermentacyjnej, jako ciecz technologiczna, poprawiając gospodarkę wodną instalacji. Należy bowiem pamiętać, że w tzw. fermentacji mokrej graniczna zawartość suchej masy we wsadzie wynosi 15%. A zatem prowadzenie fermentacji stałych odpadów organicznych jest możliwe, po wcześniejszym ich rozcieńczeniu. Szacuje się, że do tony odpadów organicznych o naturalnej

wilgotności należy dodać ok. 3-15 m³ wody (Jędrzak, 2008). Cyrkułując w obiegu zamkniętym cieczą technologiczną zmniejszamy zapotrzebowanie na wodę i jednocześnie zmniejszamy problem zagospodarowania znacznych ilości masy pofermentacyjnej. W przypadku, gdy fermentacji poddaje się materiały wsadowe nie wymagające rozcieńczenia (ich naturalna wilgotność jest mniejsza niż 15%) uzyskiwana frakcja ciekła może być wykorzystana do nawadniania pól. Inną metodą jej utylizacji może być kierowanie do oczyszczalni ścieków i zrzut do wód powierzchniowych, oczywiście to rozwiązanie jest kosztowne. Prowadzone są także badania, których celem jest opracowanie metody mikrofiltracji lub ultrafiltracji frakcji ciekłej, w wyniku czego można odzyskać zawieszone części stałe i makrocząsteczki, oraz nanofiltracji i odwróconej osmozy, pozwalającej na odzyskanie najmniejszych cząsteczek związków organicznych, a także jonów zawartych we frakcji ciekłej, np. NH₄⁺ (Waeger 2010).

Pozostająca po przepuszczeniu przez prasę odwadniającą frakcja stała zawiera ok. 30 % sm. Może być w takiej postaci stosowana na pola uprawne i użytki zielone. W tym przypadku także obowiązuje termin agrotechnicznego stosowania od 1 marca do 30 listopada. W pozostałym okresie frakcja stała musi być magazynowana. Badania prowadzone przez University of Barcelona wskazują, że masa pofermentacyjna nie powinna być bezpośrednio rozprowadzana na pola (Mata-Alvarez i In., 2000). Z tego względu celowe jest jej uzdatnianie. W tym celu zaleca się kompostowanie (Abdullahi i in. 2008, Kupper i in., 2008, Olszewski, 2007). Celem kompostowania jest rozkład materii organicznej, w wyniku czego następuje zawężenie stosunku C:N (Eklind i in., 2007). Podczas fermentacji doszło już do tych procesów (Schievano i in., 2008). Proces kompostowania wymaga odpowiedniego stosunku C:N, ok. 20-26:1. Przy węższym stosunku proces kompostowania nie zachodzi. W masie pofermentacyjnej stosunek C:N jest wąski z uwagi na rozkład związków organicznych i powstawanie CH₄. Oznacza to, że kompostowanie masy pofermentacyjnej wymagać będzie dodatku materiałów o szerokim stosunku C:N. Poza tym kompostowanie zachodzi w warunkach tlenowych, maksymalna wilgotność masy kompostowanej wynosi ok. 40-50%, a w masie pofermentacyjnej jest to ok. 70%. Aby utrzymać warunki tlenowe podczas kompostowania należy dodać materiałów chłonnych i strukturotwórczych. Przydatna w tym celu może być słoma, która rozwiązuje dwa problemy. Charakteryzuje się ona szerokim stosunkiem C:N, ok. 80-100:1 i jednocześnie posiada duże zdolności pochłaniania wody. Z punktu widzenia chemicznego masa pofermentacyjna jest już kompostem.

A zatem po co zaleca się kompostowanie?

Kompostowanie można traktować jako metodę magazynowania masy pofermentacyjnej. Poza tym objętość uzyskanego kompostu będzie mniejsza, niż świeżej masy pofermentacyjnej, co może zmniejszyć problemy z jej magazynowaniem i transportem. Ponadto jeśli fermentacja metanowa zachodzi w warunkach mezofilnych w masie pofermentacyjnej mogą pozostawać patogeny roślin, pochodzące z materiału wsadowego (Scherer i in., 2009; Liu i in., 2002). W takim przypadku kompostowanie będzie pełniło także funkcję higienizacji masy pofermentacyjnej (Niżewski i in., 2006). W tym celu należy sprawdzić, czy podczas kompostowania masy pofermentacyjnej zachodzi faza termofilna.

Uzyskany kompost z masy pofermentacyjnej powinien charakteryzować się następującymi cechami organoleptycznymi:

- barwa brunatna,
- zapach ziemi ogrodowej,
- struktura gruzelkowata sypka,
- brak zapachu gnilnego.

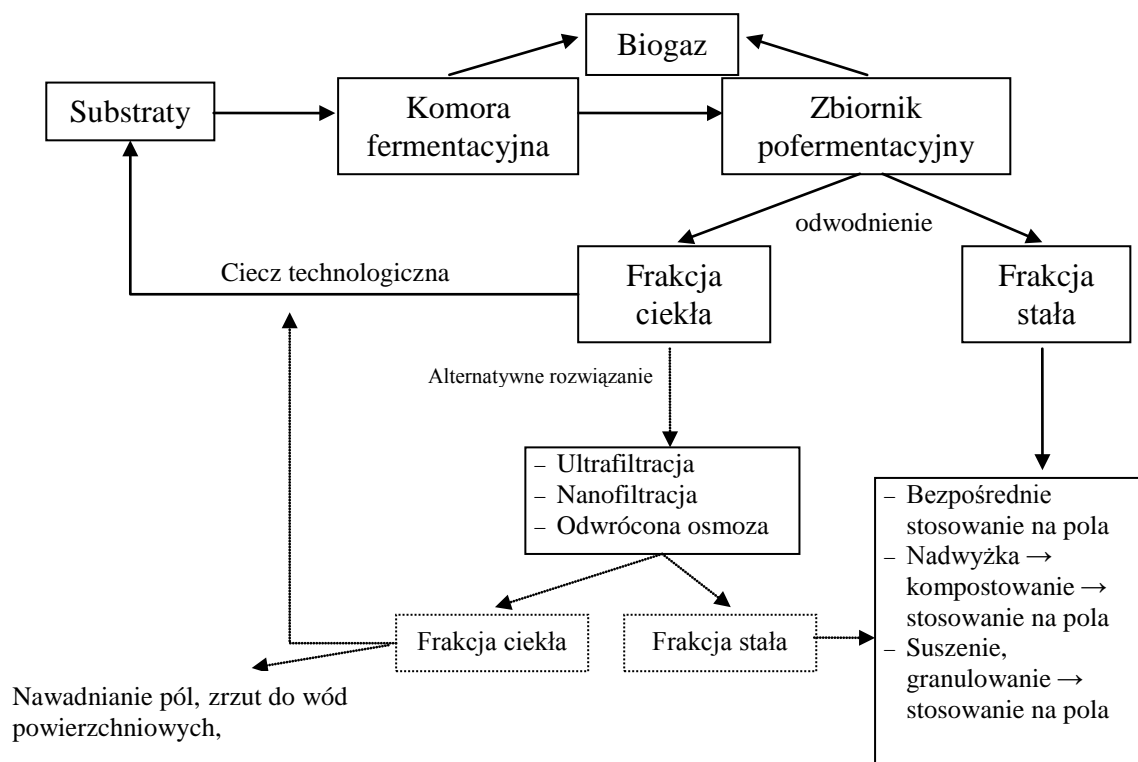
Innym rozwiązaniem zagospodarowania masy pofermentacyjnej jest produkcja na jej bazie granulatu. Można go produkować zarówno z frakcji stałej masy pofermentacyjnej, jak i z kompostów. Warunek jaki należy spełnić to dosuszenie w/w materiałów do ok. 80% sm. Uzyskany granulak będzie charakteryzował się mniejszą objętością od formy sypkiej, a także będzie bardziej atrakcyjnym produktem na rynku. Forma granulowana może być stosowana przy użyciu tradycyjnego sprzętu do rozsiewania granulowanych nawozów mineralnych, w który zaopatrzone jest prawie każde gospodarstwo rolnicze. W tym wypadku problemem jest suszenie, które wymaga nakładów energii. Można jednak wykorzystać w tym celu energię odpadową, generowaną przez biogazownię. W ten sposób uzyskujemy produkt, który biogazownia może sprzedać, powiększając swoje zyski i jednocześnie wykorzystuje nadwyżki energii cieplnej produkowane przez instalację.



Fot. 2 . Linia do granulacji materiałów organicznych (zdjęcie Wydziałowa Stacja Doświadczalna w Skierniewicach)



Fot. 3. Granulaty (zdjęcie Wydziałowa Stacja Doświadczalna w Skierniewicach)



Rysunek 12. Schemat ideowy zagospodarowania masy pofermentacyjnej (wg Szymańska 2011)

Rolnicze wykorzystanie masy pofermentacyjnej wydaje się najtańszym i najbardziej uzasadnionym rozwiązaniem. Można na jej bazie produkować różne produkty w zależności od potrzeb rynku zbytu. Można ją wzbogacać poprzez dodatek makro, czy mikroelementów tworząc nowe produkty nawozowe (nawozy organiczno-mineralne) dostosowane do wymagań pokarmowych konkretnych gatunków roślin.

Jednak opracowanie koncepcji przetwarzania i przyrodniczego wykorzystania masy pofermentacyjnej jest niewystarczające. Potrzebna jest wiedza na temat właściwości chemicznych, fizycznych, czy biologicznych masy pofermentacyjnej, co przekona rolnika do jej stosowania na pola.

Powstawanie i właściwości masy pofermentacyjnej

Masa pofermentacyjna składa się z dwóch faz: ciekłej oraz stałej. Frakcje te produkowane są podczas różnych faz fermentacji metanowej. (Börjesson, Berglund, 2007). Różnią się one właściwościami fizykochemicznymi. Podczas fazy octanogennej produkowana jest frakcja stała. Składa się ona ze strukturalnych części materii organicznej, zawiera znaczne

ilości celulozy i ligniny – przez co ma wysokie zdolności pochłaniania wody. Zawiera także znaczne ilości związków mineralnych. Stosowanie tej frakcji na gleby zwiększa ich pojemność wodną oraz zawartość materii organicznej. Podczas fazy metanogennej powstaje frakcja ciekła, która zawiera znaczne ilości rozpuszczalnych form azotu i fosforu.

Podawane jest wiele zalet stosowania przefermentowanej masy w miejsce świeżych surowców organicznych, szczególnie nawozów naturalnych. M.in. podaje się, że fermentacja metanowa redukuje odory, ilość nasion chwastów i patogenów, które mogą występować w świeżych nawozach naturalnych (Tambone i in., 2009; Sanchez i in., 2008).

Dokładny skład chemiczny masy pofermentacyjnej jest ściśle uzależniony od materiału wsadowego używanego w biogazowni. Z tego względu każda biogazownia produkuje zróżnicowaną jakościowo masę pofermentacyjną. Jednak na podstawie analizy reakcji zachodzących podczas fermentacji metanowej można częściowo wnioskować o właściwościach fizykochemicznych pozostającej masy pofermentacyjnej, a co się z tym wiąże o jej wartości nawozowej. Podczas fermentacji metanowej następuje degradacja materii organicznej, co prowadzi do zawężenia stosunku C:N w masie pofermentacyjnej. Z punktu widzenia żywienia roślin jest to bardzo korzystne, ponieważ w takich warunkach ograniczony jest proces immobilizacji azotu w glebie i zwiększa się dostępność azotu dla roślin. Zachodząca podczas fermentacji amonifikacja powoduje, że masa pofermentacyjna zawiera większe ilości azotu w formie amonowej ($N-NH_4$) w stosunku do materiału wyjściowego (Paavola i In., 2008). Jest to forma dostępna dla roślin i co jest bardzo istotne z punktu widzenia ochrony środowiska, ulega sorpcji wymiennej w glebie, przez co nie jest wymywana do wód, tak jak ma to miejsce w przypadku azotu azotanowego ($N-NO_3$). Niestety jest to też forma, która może pośrednio uczestniczyć w zakwaszaniu gleb poprzez jej nityfikację oraz za pośrednictwem roślin – pobieranie przez rośliny formy NH_4^+ wiąże się z wydzieleniem do środowiska glebowego równoważnych ilości H_3O^+ (red. Mercik). Poza tym przy dużej zawartości $N-NH_4$ i stosunkowo wysokim pH masy pofermentacyjnej (pH powyżej 7) może dochodzić do strat azotu w postaci amoniaku. Ulatnianie amoniaku może mieć miejsce podczas składowania, jak i stosowania na pola, czy użytki zielone.

Badania prowadzone w National School of Agronomy – Toulouse wskazują, że masa pofermentacyjna, w stosunku do materiału wyjściowego poddanego fermentacji zawiera takie same ilości: N, K, Al, Fe, Cu i Zn. Natomiast stwierdzono znaczne ubytki fosforu (o 36%), wapnia (o 44%) i magnezu (o 32,5%). Według autorów wynika to z faktu, że związki te

krystalizują na wewnętrznej powierzchni reaktora. Mechanizm tej reakcji, ani dokładny skład chemiczny kryształów nie jest dotychczas poznany (Marcato i in., 2008, 2009, Suzuki, 2007).

Tabela 29. Właściwości chemiczne masy pofermentacyjnej uzyskanej w wyniku fermentacji gnojowicy (Źródło: Marcato i in., 2008)

Wyszczególnienie	Jednostki	Masa pofermentacyjna		
		Przefermentowana gnojowica przed rozdzieleniem na frakcje	Frakcja ciekła	Frakcja stała
Sucha masa	%	1,6	1,5	32,6
Azot ogólny	% śm	0,28	0,26	1,77
N-NH ₄ ⁺	% śm	0,23	0,22	0,28
Fosfor ogólny	g·kg ⁻¹ sm	31,5	24,9	43,8
Potas ogólny	g·kg ⁻¹ sm	65,6	72,3	4,1
Ca	g·kg ⁻¹ sm	47,2	39,0	96,1
Mg	g·kg ⁻¹ sm	15,9	12,1	6,8
S	g·kg ⁻¹ sm	11,1	10,8	6,8
Fe	g·kg ⁻¹ sm	4,0	4,3	4,1
Al	mg·kg ⁻¹ sm	1641	998	760
Cu	mg·kg ⁻¹ sm	1016	1001	170
Mn	mg·kg ⁻¹ sm	708	610	1042
Zn	mg·kg ⁻¹ sm	2628	2563	519

Szczegółowe badania form fosforu w masie pofermentacyjnej prowadzili także Güngör i in., (2008). Uzyskane przez nich wyniki potwierdzają zmniejszenie się zawartości w masie pofermentacyjnej ogólnych i łatwo rozpuszczalnych form fosforu, w stosunku do materiału wyjściowego. W praktyce rolniczej może to oznaczać zmniejszenie wartości nawozowej masy pofermentacyjnej, w odniesieniu do materiału wsadowego użytego do procesu fermentacji.

Masa pofermentacyjna, której charakterystykę podano w tabeli 29 pochodzi z doświadczeń laboratoryjnych, natomiast w warunkach rzeczywistych skład masy pofermentacyjnej może się różnić nawet przy założeniu, że fermentujemy ten sam materiał wsadowy.

Tabela 30. Średni skład chemiczny masy pofermentacyjnej produkowanej w szwedzkich biogazowniach w stosunku do gnojowicy świńskiej i bydłej (Źródło: Palm O.,)

Wyszczególnienie	Jednostka	Gnojowica świńska	Gnojowica bydłęca	Masa pofermentacyjna
Sucha masa	%	8,8	9,8	3,9
Sucha masa organiczna	% sm	81,0	84,0	66,4
Azot ogólny	g·kg ⁻¹ sm	63,0	40,0	138,5
N-NH ₄	g·kg ⁻¹ sm	41,0	20,0	98,5
Fosfor ogólny	g·kg ⁻¹ sm	23,0	7,60	12,2
Potas ogólny	g·kg ⁻¹ sm	37,0	40,0	36,4
Cd	mg·kg ⁻¹ sm	0,17	0,13	0,30
Cr	mg·kg ⁻¹ sm	4,10	2,30	9,30
Cu	mg·kg ⁻¹ sm	178,00	49,00	113,00
Pb	mg·kg ⁻¹ sm	0,95	0,92	4,10
Ni	mg·kg ⁻¹ sm	3,20	3,60	9,70
Zn	mg·kg ⁻¹ sm	635,00	190,00	375,00

Przyrodnicze wykorzystanie masy pofermentacyjnej w myśl obowiązujących przepisów prawnych

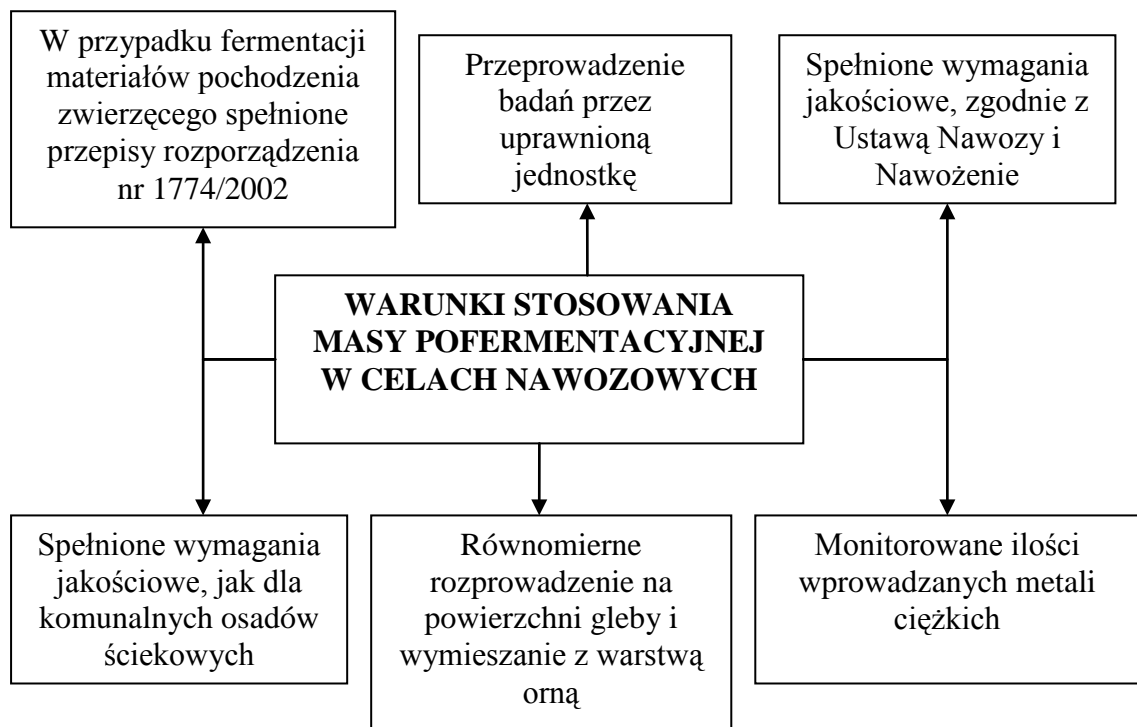
Przetwarzanie i przyrodnicze wykorzystanie masy pofermentacyjnej musi być prowadzone zgodnie z aktualnie obowiązującym prawem.

Masa pofermentacyjna ujęta jest w katalogu odpadów pod nazwą:

- „przefermentowany odpad z beztlenowego rozkładu odpadów zwierzęcych i roślinnych” o kodzie 19 06 06 oraz
- „ciecze z beztlenowego rozkładu odpadów zwierzęcych i roślinnych” o kodzie 19 06 05 (Dz.U. Nr 112, poz. 1206).

W związku z tym postępowanie z masą pofermentacyjną powinno uwzględniać regulacje zawarte w Ustawie o odpadach. Ustawa ta nakłada na inwestora obowiązek uzyskania pozwolenia na wytwarzanie i odzysk odpadów. Pozwolenie takie może być wydane pod warunkiem, że biogazownia jest zlokalizowana zgodnie z miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego.

W myśl załącznika do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 14 listopada 2007r. w sprawie procesu odzysku R10 (Dz.U. Nr 228, poz. 1685) możliwy jest odzysk masy pofermentacyjnej metodą R10, tj. rozprowadzanie na powierzchni ziemi w celu nawożenia lub ulepszenia gleby. Masa pofermentacyjna musi jednak spełnić szereg warunków.



Rysunek 13. Wymagania legislacyjne dotyczące zagospodarowania masy pofermentacyjnej na cele rolnicze

Warunki odzysku R10:

- Spełnione są wymagania jak dla komunalnych osadów ściekowych określone w ustawie z dnia 27.04.2001r o odpadach
- Spełnione są wymagania określone dla komunalnych osadów ściekowych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 1.08.2002r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych
- Materiał po procesie fermentacji pochodzenia zwierzęcego spełnia wymagania zawarte w przepisach rozporządzenia (WE) nr 1774/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 3.10.2002r.

Artykuł 4, 5 oraz 6 rozporządzenia wyróżnia 3 kategorie ubocznych produktów zwierzęcych:

1. **Materiał kategorii pierwszej** tj. odpady szczególnego ryzyka (SRM); do tej grupy zalicza się wszystkie części ciała, włącznie ze skórą, zwierząt podejrzanych o

zakazanie TSE, włączając zwierzęta doświadczalne i dzikie oraz inne specyficzne materiały szczególnego ryzyka.

2. **Materiał kategorii drugiej** tj. odpady wysokiego ryzyka (HRM); tą grupę stanowią odchody i treść przewodu pokarmowego oraz pozostałe materiały zwierzęce pochodzące z oczyszczania ścieków zakładów przetwórczych oraz ubojowych, które nie są zaliczane do kategorii pierwszej.
3. **Materiał kategorii trzeciej** tj. odpady niskiego ryzyka (LRM); do tej grupy zalicza się części zwierząt uznawanych jako zdatne do spożycia przez ludzi, jednak nie przeznaczone do spożycia np. ze względów handlowych, oraz materiały, które zostały odrzucone jako niezdatne do spożycia, ale nie są źródłem chorób zdolnych do przenoszenia się na człowieka lub zwierzęta.

W biogazowniach można wykorzystywać tylko materiały kategorii 2 i 3 po spełnieniu warunków, tj.

- Materiał kategorii 2 poddany musi być sterylizacji (temperatura 133⁰C i ciśnienie 3 bary przez 20 min) – z obowiązku tego zwolnione są nawozy naturalne
- Materiał kategorii 3 poddany musi być pasteryzacji (temperatura 70⁰C przez 60 min.).

ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (WE) nr 1069/2009

z dnia 21 października 2009 r.

określające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 (rozporządzenie o produktach ubocznych pochodzenia zwierzęcego)

Usuwanie i stosowanie produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego

Materiał kategorii II

- **jest kompostowany lub przekształcany w biogaz:**

(i) w następstwie przetworzenia w drodze sterylizacji ciśnieniowej i trwałego oznaczenia materiału wynikowego; lub

(ii) w następstwie przetworzenia lub bez przetworzenia, w przypadku obornika, przewodu pokarmowego i jego treści, mleka, produktów na bazie mleka i siary, jaj i produktów jajecznych, jeżeli właściwy organ uznał, że nie stwarzają one ryzyka dla rozprzestrzeniania poważnej choroby zakaźnej;

Material kategorii III

- jest kompostowany lub przekształcany w biogaz (bez pasteryzacji !!!);

Według załącznika VI do Rozporządzenia 1774/2002 uzyskana w takiej biogazowni masa pofermentacyjna musi być poddawana badaniom na obecność bakterii: *Salmonella* i *Enterobacteriaceae*.

Standardy do spełnienia:

Salmonella: brak w 25 g: $n = 5$, $c = 0$, $m = 0$, $M = 0$

Enterobacteriaceae: $n = 5$, $c = 2$, $m = 10$, $M = 300$ w 1 g

Gdzie:

n = liczba próbek do przebadania;

m = wartość progowa dla liczby bakterii; wynik uznaje się za zadowalający, jeśli liczba bakterii we wszystkich próbkach nie przekracza m ;

M = maksymalna wartość dla liczby bakterii; wynik uznaje się za niezadowalający, jeśli liczba bakterii w jednej lub więcej próbek wynosi M lub więcej

c = liczba próbek, dla których liczba bakterii może być pomiędzy m i M , próbkę w dalszym ciągu uważa się za zadowalającą, jeśli liczba bakterii innej próbki wynosi m lub mniej (wg. Załącznika VI do Rozporządzenia WE 1774/2002).

Cd warunków odzysku R10:

- Opady o kodzie 19 06 06 przed ich zastosowaniem poddaje się rozdrobnieniu,
- Odpady są stosowane równomiernie całej na powierzchni ziemi,
- Rozprowadzanie na powierzchni ziemi odbywa się tylko do głębokości 30 cm,

Odnawialne źródła energii

- Odpady są stosowane na glebach, na których nie są przekroczone wartości dopuszczalne stężenia substancji określonych w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 9.09.2002r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi,
- W celu określenia dawki odpadów możliwej do stosowania na glebach prowadzone są przez wytwórcę odpadów badania w laboratoriach akredytowanych
- Odpady są stosowane w taki sposób i w takiej ilości, aby ich wprowadzenie do gleby nie spowodowało przekroczenia w niej dopuszczalnych wartości metali ciężkich (Cr, Pb, Cd, Hg, Ni, Zn, Cu) nawet przy długotrwałym stosowaniu,
- Odpad spełnia wymagania dotyczące dopuszczalnych wartości zanieczyszczeń określonych dla nawozów organicznych,

Według rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów do ustawy o nawozach i nawożeniu dopuszczalna wartość zanieczyszczeń nie może przekraczać, w przypadku:

- chromu (Cr) — $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ sm}$,
- kadmu (Cd) — $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ sm}$,
- niklu (Ni) — $60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ sm}$,
- ołowiu (Pb) — $140 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ sm}$,
- rtęci (Hg) — $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ sm}$

Dodatkowo niedopuszczalne jest występowanie:

- żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.* *Trichuris sp.* *Toxocara sp.*;
- bakterii z rodzaju *Salmonella*.

W przypadku, gdy masa pofermentacyjna spełni wymagania jakościowe zawarte w Ustawie o Nawozach i Nawożeniu i Rozporządzeniu w sprawie wykonania niektórych przepisów tej ustawy oraz uzyska pozytywną opinię uprawnionej do badań jednostki może być wprowadzana do obrotu, jako:

- nawóz organiczny (sama masa pofermentacyjna),
- nawóz organiczno-mineralny (masa pofermentacyjna z dodatkiem np. nawozu mineralnego),
- środek wspomagający uprawę roślin

Tabela 31. Wymagania jakościowe dla nawozów organicznych, organiczno-mineralnych płynnych i stałych (Źródło ustawa nawozy i Nawożenie)

Wyszczególnienie	Nawozy stałe		Nawozy płynne	
	Nawozy organiczne	Nawozy organiczno-mineralne	Nawozy organiczne	Nawozy organiczno-mineralne
Zawartość materii organicznej (%)	30	20		
Zawartość azotu całkowitego (%)	0,3	1	0,08	0,5
Zawartość fosforu (% P ₂ O ₅)	0,2	0,5	0,05	0,2
Zawartość potasu (% K ₂ O)	0,2	1	0,12	0,5

Projekt zmian Ustawy o nawozach i nawożeniu

- **Produkty pofermentacyjne** – płynne lub stałe substancje organiczne powstające w procesie produkcji biogazu rolniczego przy wykorzystaniu nawozów naturalnych, biomasy roślinnej pochodzącej z rolnictwa lub biomasy leśnej, przeznaczonej do rolniczego wykorzystania
- Produkt pofermentacyjny może być przeznaczony do bezpośredniego wykorzystania rolniczego na analogicznych zasadach jak nawozy naturalne, bez konieczności spełniania dodatkowych formalności (badań, opinii i pozwoleń na wprowadzanie do obrotu)
- Produkt pofermentacyjny może być zbywany do bezpośredniego wykorzystania rolniczego na podstawie umowy zawartej w formie pisemnej

Zabrania się stosowania nawozów:

- Na glebach zalanych wodą, przykrytych śniegiem, zamrzniętych do głębokości 30 cm oraz podczas opadów deszczu;
- Naturalnych albo produktów pofermentacyjnych w postaci płynnej:
 - Na glebach bez okrywy roślinnej, położonych na stokach o nachyleniu większym niż 10%
 - Podczas wegetacji roślin przeznaczonych do bezpośredniego spożycia przez ludzi

Przechowywanie produktów pofermentacyjnych

- Produkty pofermentacyjne w postaci płynnej przechowuje się w szczelnych zbiornikach o pojemności umożliwiającej gromadzenie co najmniej 4-miesięcznej ich produkcji. Zbiorniki te powinny być zbiornikami zamkniętymi lub otwartymi.
- Produkty pofermentacyjne w postaci stałej przechowuje się w opakowaniach jednostkowych lub luzem w pryzmach formowanych na utwardzonym i nieprzepuszczalnym podłożu, po ich przykryciu materiałem wodoszczelnym

Biogazownie w Polsce

Poldanor jest przedsiębiorstwem w Polsce, które uruchomiło biogazownię rolniczą.

Pierwsza taka inwestycja powstała w Pawłótku w województwie pomorskim, gdzie w czerwcu 2005 roku ruszyła produkcja energii elektrycznej z gnojowicy i odpadów pochodzących z okolicznych ubojni.

- Biogazownia w Płaszczycy
- Biogazownia w Kujankach
- Biogazownia w Koczale
- Biogazownia w Naclawiu
- Biogazownia w Liszkowie moc 2,1 MW

Odnawialne źródła energii

Tabela 32. Charakterystyka wydajności substratów z wybranych biogazowni (wg Gostomczyk, 2010)

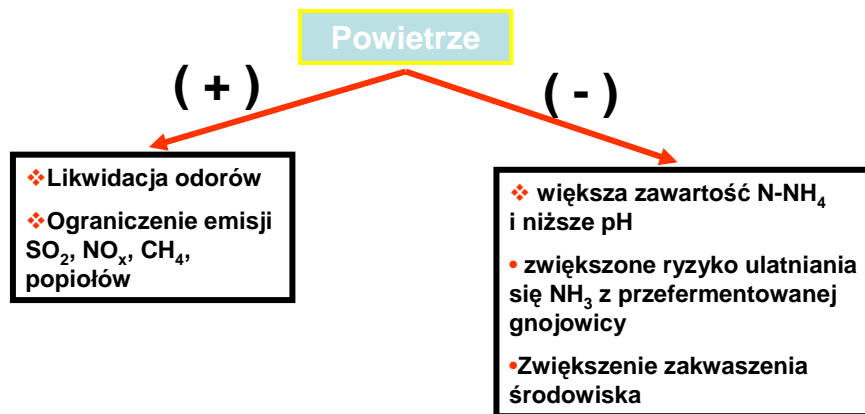
Biogazownia	Kosubstraty i ich % udział	Wydajność biogazu z 1 t kosubstratu (m ³)	Ilość energii elektrycznej z 1 m ³ biogazu (kWh)
Pawłówko (06.2005r.) MWe/MWc 0,94/0,98	-gnojowica świńska – 65 -kiszonka z kukurydzy – 25 -odpady z rzeźni – 10	118,5	2,27
Plaszczycza (04.2008r.) 0,625/0,629	-gnojowica świńska – 79,4 -kiszonka z kukurydzy – 15,8 -odpady – 4,8	111,1	2,07
Koczała (04.2009r.) 2,126/2,176	-gnojowica świńska – 61,5 -kiszonka z kukurydzy – 27,5 -gliceryna – 11,0	88,4	2,27
Naclaw (06.2010r.) 0,625/0,629	-gnojowica świńska – 52 -kiszonka z kukurydzy – 36 -gliceryna – 12	59,7	2,3

Tabela 33. Planowane do budowy biogazownie rolnicze firmy Poldanor (wg Rzepa, 2010)

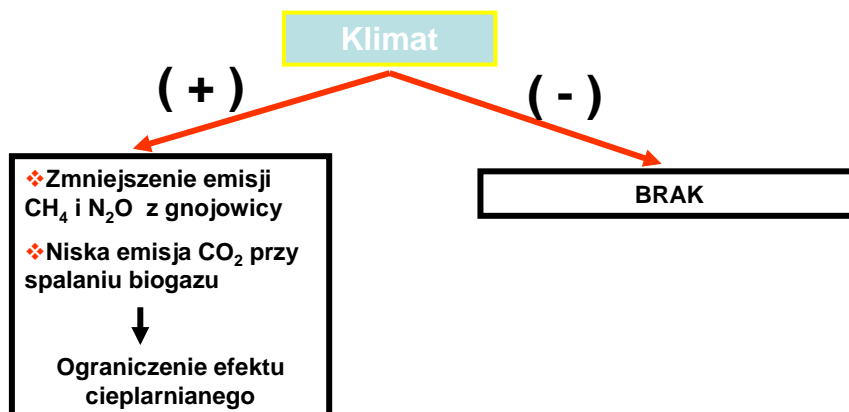
Biogazownia	Moc projektowa	
	Elektryczna (kW)	Ciepła (kW)
Świetlino	625	692
Czarnowęsy	1063	1088
Radowo Wielkie	1063	1088
Miętno	1063	1088
Giżyno	1063	1088
Chomętowo	1063	1088
Moc całkowita	5 940	6 132

Pozytywne i negatywne aspekty produkcji biogazu rolniczego (na podstawie Oniszek-Popławska i in., 2003)

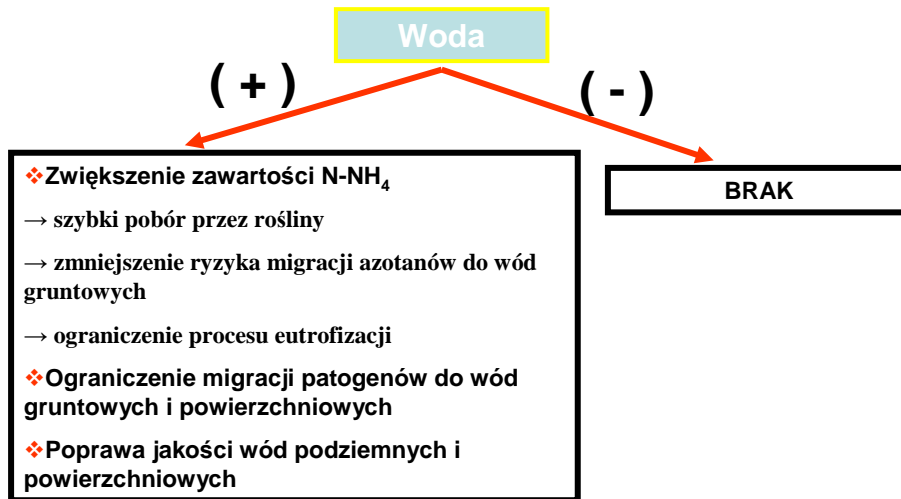
I. ŚRODOWISKO



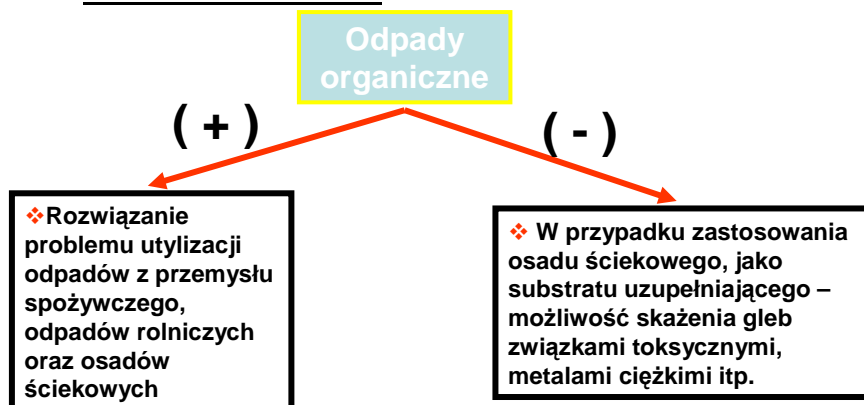
I. ŚRODOWISKO



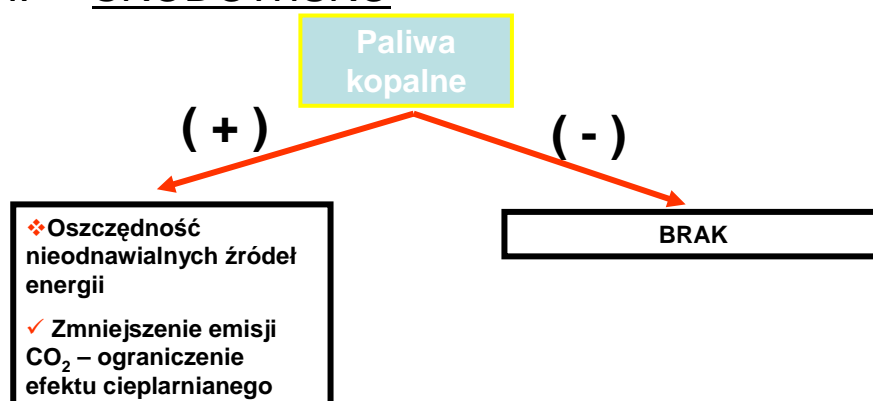
I. ŚRODOWISKO



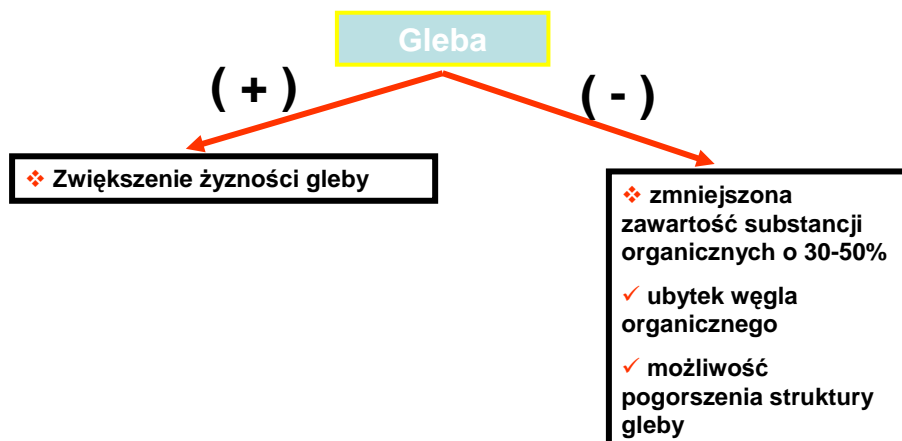
I. ŚRODOWISKO



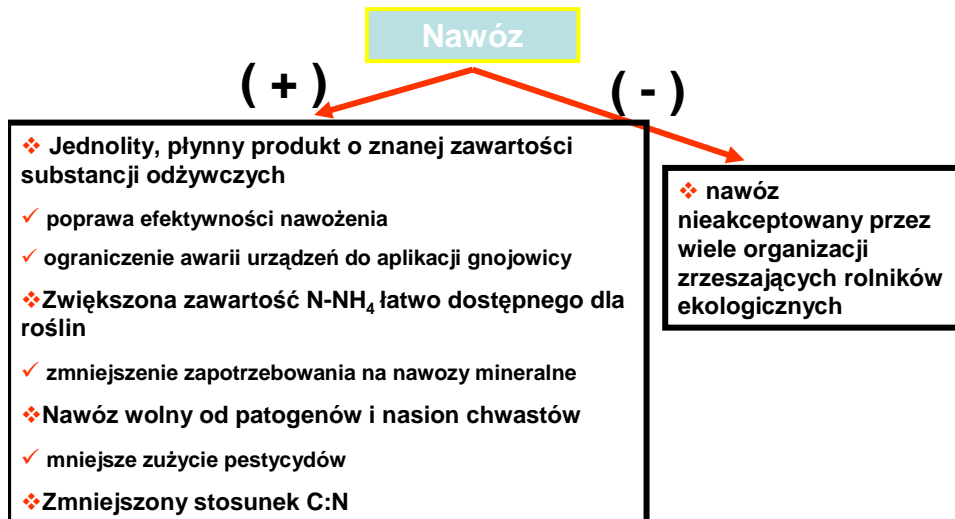
I. ŚRODOWISKO



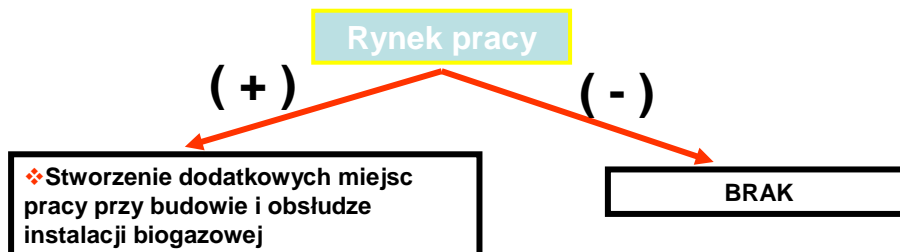
I. ROLNICTWO



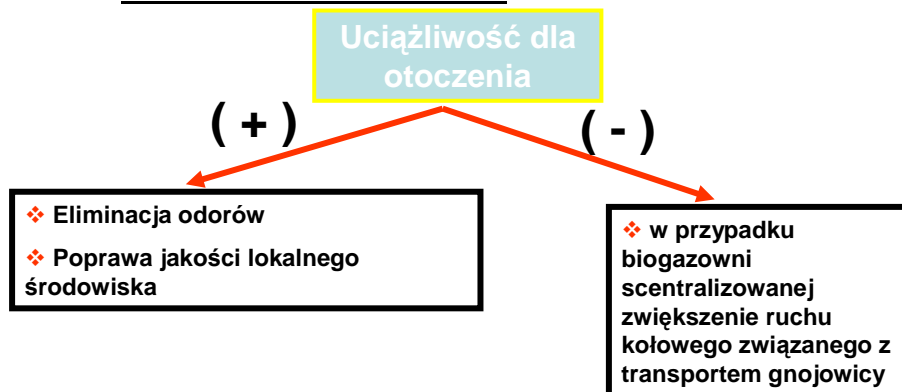
II. ROLNICTWO



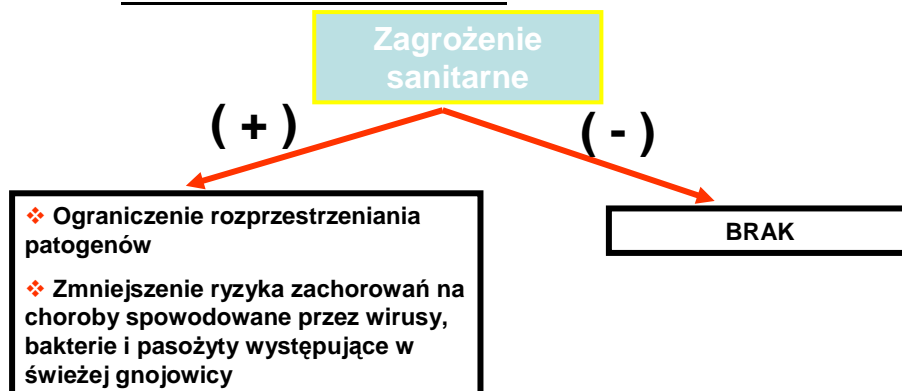
III. SPOŁECZEŃSTWO



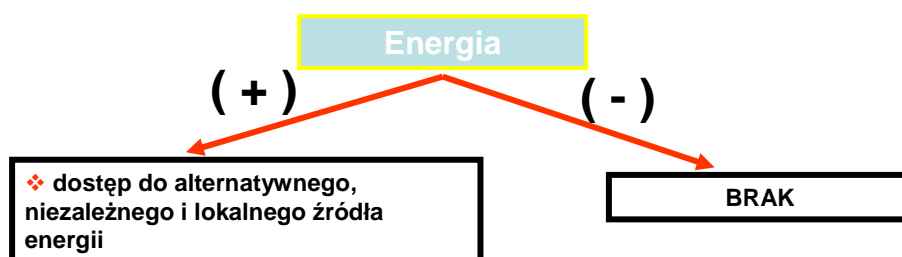
III. SPOŁECZEŃSTWO



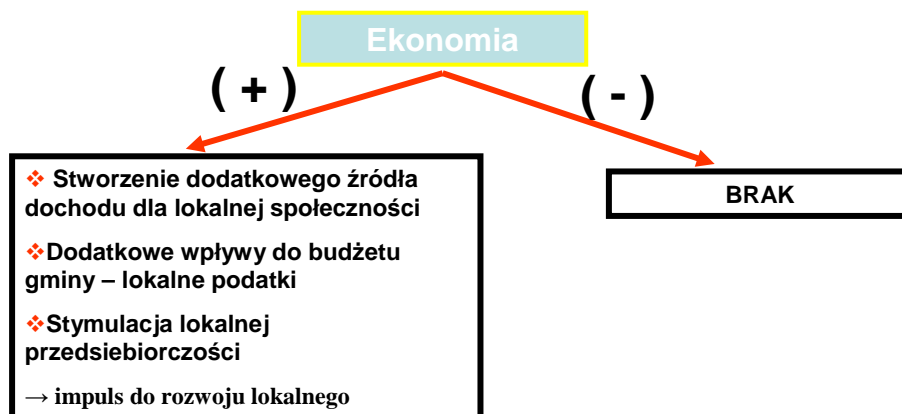
III. SPOŁECZEŃSTWO



III. SPOŁECZEŃSTWO



III. SPOŁECZEŃSTWO



2.3. BIOPALIWA PŁYNNE

SUROWCE I PÓŁPRODUKTY PRODUKCJI BIOPALIW PŁYNNYCH:

1. Uprawy energetyczne w tym:

- Rośliny oleiste
- Pozostałe uprawy energetyczne (zboża, ziemniaki, buraki cukrowe, trawy itp.)

2. Odpady biologiczno-organiczne:

- odpady biologiczno-organiczne z przemysłu rolno-spożywczego (np. melasa)

2.3.1. BIODIESEL

Surowce do produkcji biodiesla:

- Rzepak
- Lnianka (najwyższa zawartość kwasów tłuszczowych)
- Słonecznik
- Soja
- Palma
- Len
- Oliwka
- Tłuszcze zwierzęce
- Przepracowane oleje

Produkcja biodiesla

I etap:

- czyszczenie,
- suszenie,
- rozdrobnienie nasion
- wytlaczanie na tloczniach ślimakowych,

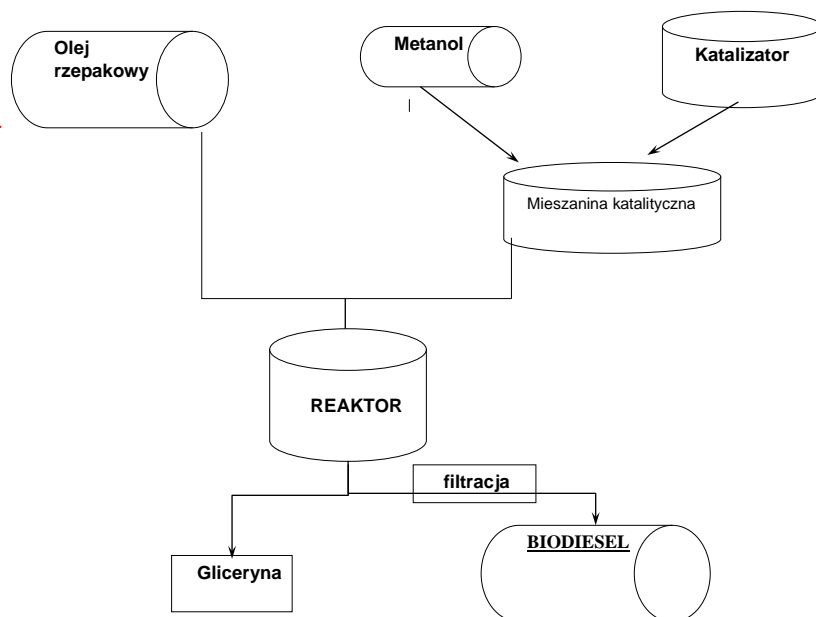
Produkty I etapu: olej surowy, wyciek i woda,

Kolejne etapy:

- Przygotowanie oleju do estryfikacji (podgrzanie do 50⁰C)
- Przygotowanie mieszaniny katalitycznej I (metanol + zasadowy katalizator)
- Reestryfikacja I (pod ciśnieniem)
- Sedymentacja I (oddzielenie frakcji gliceryny)

- Przygotowanie mieszaniny katalitycznej II (metanol + zasadowy katalizator)
- Reestryfikacja II
- Sedymentacja II
- Filtracja

Po zakończeniu procesu transestryfikacji metanol oddestylowuje się i zwraca do procesu



Rysunek 14. Schemat uproszczonej technologii reestryfikacji oleju rzepakowego metanolem

Z 1 mln ton nasion rzepaku, w zależności od technologii produkcji można uzyskać około 300-400 tys. ton metyloestru (Piwowarczyk, 2007, Jasiulewicz, 2010).

Po produkcji biodiesla pozostają odpady: śruta, makuch, gliceryna.

Zagospodarowanie odpadów:

Śruta, makuch – dodatek do pasz treściwych, produkcja peletów

Gliceryna – fermentacja metanowa, oczyszczanie i produkcja gliceryny czystej wykorzystywanej w przemyśle farmaceutycznym i kosmetycznym.

Tabela 34. Skład chemiczny i wartość pokarmowa 1kg wybranych pasz roślinnych

Wyszczególnienie	Makuch rzepakowy	Śruta rzepakowa	Śruta sojowa
MJ, energia metaboliczna	12,3	10,7	12,9
Białko ogólne, %	32,0	35,1	44,9
% tłuszczu surowego	9,0	3,0	2,0
% Włókna surowego	12,0	11,7	6,2
Lizyna, g	17,9	19,0	27,7
Metionina + cystyna, g	14,4	15,8	13,1
Treonina, g	13,8	15,8	17,7
Tryptofan, g	4,5	4,6	6,1

Potencjał substratów do produkcji biodiesla w Polsce

W Polsce podstawowym substratem do produkcji biodiesla jest rzepak.

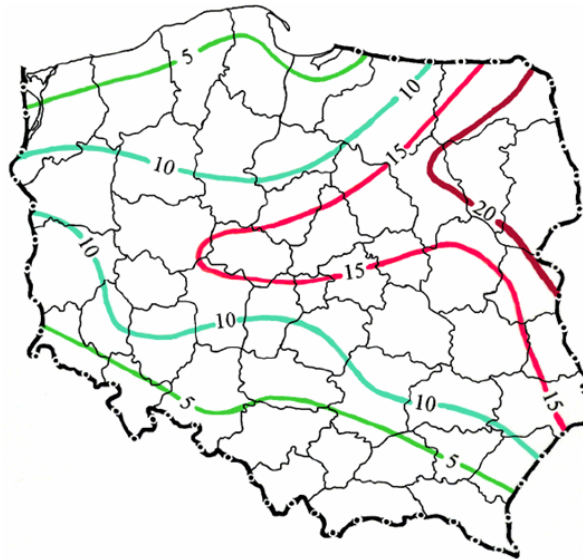
W 2009 r. powierzchnia uprawy rzepaku i rzepiku wynosiła 810 tys. ha

Największą powierzchnię uprawy rzepaku i rzepiku w 2009 r. odnotowano w województwach:

- wielkopolskim,
- dolnośląskim,
- zachodniopomorskim,
- kujawsko-pomorskim

Czynniki limitujące areal uprawy rzepaku ozimego w Polsce:

- Niebezpieczeństwo wymarzenia
- Struktura obszarowa gospodarstw
- Udział rzepaku w strukturze zasiewów
- Jakość gleb



Rysunek 15. Prawdopodobieństwo wymarzania rzepaku ozimego w Polsce (w %) (wg Kuś, 2002)

Rzepak w strukturze zasiewów (wg Jasiulewicz, 2010):

- **Gospodarstwo** – 20-25%, a przejściowo w korzystnych warunkach siedliskowych do 33%
- **Rejon** – powiat, województwo – do 20%

Przyjmując różne ograniczenia, potencjalny areał uprawy rzepaku w Polsce można szacować na 1,0-1,1 mln ha. Co oznacza, że należy obsiać tą rośliną ok. 13% gleb bardzo dobrych i dobrych. Aby spełnić warunki Narodowego Celu Wskaźnikowego do 2020 r. należy przeznaczyć ok. 708 tys ha pod uprawę rzepaku (wg. Jasiulewicz, 2010). Z przedstawionej analizy wynika, że posiadamy wymagany potencjał gruntów.

Właściwości paliwa rzepakowego

- niższe stężenie tlenu węgla i węglowodorów w spalinach nawet do 40 %
- spadek emisji cząstek stałych w spalinach o 10-60 %
- całkowity brak związków siarki
- spadek związków kancerogennych
- biodegradowalność na poziomie 98,3 % w ciągu 21 dni
- zwiększona emisja tlenków azotu do ok. 17%, co wynika z obecności tlenu, związanego w grupie estrowej, a poprawiającego proces spalania i zmniejszającego zadymienie spalin

Problemem w przypadku biodiesla jest jego magazynowanie. Przy dłuższym przechowywaniu można zaobserwować rozwój drobnoustrojów i tworzenie substancji szlamowych. Sprawia to,

Odnawialne źródła energii

się zmieniają one lepkość i mogą odkładać się w cysternach przechowalniczych, a także w zbiornikach samochodowych (Frąc i in., 2009).

2.3.2. BIOETANOL

Bioetanol, czyli alkohol etylowy produkowany z rolniczych substratów odnawialnych, tj. biomasy stosowany jako dodatek do paliw silnikowych spalinowych.

Surowce do produkcji etanolu

W skali świata

- 51% produkcji etanolu z surowców zawierających sacharozę
- 39% produkcji etanolu z surowców zawierających skrobię

Tabela 35. Wydajność bioetanolu z 1 ha upraw (Źródło: Komorowicz, Magiera, 2008)

Gatunek	Plon [Mg/ha]	Cukier/skrobia [% suchej masy]	Uzysk bioetanolu [dm ³ /Mg]	Plon etanolu [dm ³ /ha]
Pszenica	3,63	59,5	380	1379
Pszenżyto	3,12	56,5	360	1123
Żyto	2,21	54,5	350	773
Kukurydza	6,00	65,0	420	2520
Ziemniak	1,84	17,8	110	2024
Burak c.	3,70	16,0	100	3700

Oceniane aspekty	Pszenica	Jęczmień	Kukurydza	Burak cukrowy
Łatwość adaptacji	Duże	duże	Małe	Małe
Wprowadzanie do zmianowania	Łatwe	Łatwe	Ograniczone	Ograniczone
Wymagania techniczne	Średnie	Małe	Średnie	Wysokie
Kontrola szkodników	Łatwa	Łatwa	Średnie	Trudna
Maszyny do uprawy	Dostępne	Dostępne	Dostępne	Dostępne
Koszty transportu	Niskie	Niskie	Niskie	Wysokie
Dostawy dla przemysłu	Stale	Stale	Stale	Zmienne
Wzrost przyszłych plonów	Wysoki	Dobry	Niski	Średni

Tabela 36. Przydatność różnych gatunków do produkcji etanolu

Tabela 37. Wydajność spirytusu surowego z wybranych gatunków roślin przy różnym poziomie plonowania

Gatunek	Wydajność etanolu (l·t ⁻¹)	Uzysk spirytusu (l·ha ⁻¹) z uprawy przy poziomie plonowania wg					
		GUS		IHAR i COBORU		Wartości maksymalne	
		t·ha ⁻¹	l·ha ⁻¹	t·ha ⁻¹	l·ha ⁻¹	t·ha ⁻¹	l·ha ⁻¹
Ziemniak skrobiowy	124	21,2	2629	46,3	5741	70,0	8680
Burak cukrowy	100	38,3	3890	70,7	7070	80,0	8000
Zyto	350	2,3	805	6,0	2100	7,0	2450
Kukurydza	420	5,9	2478	10,2	4284	12,0	5040

**Drogi do osiągnięcia
wymaganego poziomu produkcji
biopaliw**



Wzrost plonów roślin

**Zwiększenie powierzchni
uprawy roślin**

Tabela 38. Prognozowane plony wybranych roślin (dt \cdot ha $^{-1}$)

Roślina	Plon w 2005 r.	Prognoza plonów	
		2010 r.	2020 r.
Pszenica	39,5	41,5	45,2
Żyto	24,1	24,5	24,9
Rzepak i rzepik	26,3	25,2	26,1
Ziemniaki	176,0	177,1	177,4
Burak cukrowy	416,0	425,3	450,4
Kukurydza na ziarno	57,3	57,0	57,1

(Prognoza na podstawie trendu wyznaczonego w oparciu o plony w Polsce w latach 1970 – 2005)

Produkcja etanolu

- Fermentacja cukrów wykorzystuje drożdże (*Saccharomyces cerevisiae*)
- Substrat cukrowy jest ekstrahowany lub przygotowywany z roślin uprawnych (kukurydza, trzcina cukrowa, pszenica).

Ekstrakcja cukru z ziaren

- Wykorzystuje się ziarna kukurydzy (*Zea mays*) i ziarna zbóż.
- Ziarna moczy się przez 40 h w wodzie z dodatkiem tlenku siarki (IV), następnie mieli się je i izoluje skrobię.
- Albo w wersji „na sucho” od razu przystępuje do mielenia ziaren na cząstki o średnicy około 1 mm.

Fermentacja i destylacja

- Fermentacja prowadzona jest albo partiami albo w wersji ciągłej.

Fermentacja alkoholowa zachodzi pod wpływem kompleksu enzymów zawartych w drożdżach, tzw. zymazy

Bilans fermentacji alkoholowej z glukozy



Wydajność fermentacji alkoholowej wynosi 94%, więc ze 100 g glukozy otrzymuje się 48,03g alkoholu etylowego

- Po zakończeniu procesu fermentacji drożdże są oddzielane poprzez wirowanie. Drożdże mogą być użyte ponownie po usunięciu zanieczyszczeń bakteryjnych przy pomocy rozcieńzonego roztworu kwasu siarkowego.
- Osiągane są duże koncentracje komórek drożdży (8 - 17%). Temperatura procesu waha się między 33 – 35⁰C

Czas fermentacji jest dość krótki bo 6 – 10 godzin.

Pozwala to na przeprowadzenie trzech cykli procesowych dziennie i użycie tych samych drożdży.

Aby uniknąć niepożądanego zakażenia bakteriami dodaje się antybiotyki

Destylacja

- Po zwirowaniu pozostałą ciecz poddaje się destylacji.
- Powstaje mieszanina azeotropowa

Produkcja etanolu w Polsce – zaplecze surowcowe

Produkcja etanolu (surowego spirytusu etylowego) w Polsce wykorzystuje

- odpadowe surowce przemysłu rolno-spożywczego takie jak melasa
- niskowartościowe płody rolne (zboża, ziemniaki)

Argumenty za wykorzystaniem kukurydzy do produkcji etanolu:

- Rosnący areał uprawy kukurydzy na ziarno, a także wzrost jej plonów doprowadzą do nasycenia polskiego rynku paszowego ziarna kukurydzy. Pojawi się nadprodukcja, którą trzeba będzie zagospodarować, aby nie doprowadzić do zbyt dużego spadku cen ziarna

- Niepaszowe wykorzystanie ziarna kukurydzy zrównoważy rynek tego surowca i zapobiegnie znacznym wahaniom cen,
- Do produkcji etanolu będzie można wykorzystywać także to ziarno, które nie nadaje się do spasanania: zainfekowane grzybami, popękane, niedojrzałe, czy wilgotne,
- Produkcja etanolu z kukurydzy jest bezpieczniejsza dla środowiska, w stosunku do buraków cukrowych, a szczególnie ziemniaków.
- Przy ich przetwarzaniu powstają znacznie większe ilości odpadów, które należy utylizować

Argumenty za wykorzystaniem buraka cukrowego do produkcji etanolu:

- Wysoka wydajność bioetanolu z hektara
- Potrzeba dywersyfikacji produkcji rolnej

Ograniczenia:

- Wysokie koszty produkcji etanolu
- Wysokie koszty surowca
- Dystrybucja biopaliw i ich stosowanie
- Mała efektywność energetyczna
- Ceny cukru / ceny ropy

3. Bibliografia

1. Abdullahi Y.A., Akunna J.C., White N.A., Hallet P.D., Wheatley R., 2008: Investigating the effects of anaerobic and aerobic post-treatment on quality and stability of organic fraction of municipal solid waste as soil amendment. *Bioresource Technology*, 99: 8631-8636.
2. Appels, L., Baeyens, J., Degrève, J., Dewil, R. 2008: Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34 (6): 755-781.
3. Börjesson P., Berglund M., 2007: Environmental system analysis of biogas system - Part II: The environmental impact of replacing various systems. *Biomass and Bioenergy* 31: 326-344.
4. Chen Y., Cheng J.J., Creamer K.S., 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresource Technology*, 99: 4044-64.
5. Demirel B., 2009: Laboratory investigations on continuous bio-methanization of energy crops as mono-substrate without supplementation. *Biomass and Bioenergy* 33: 988-993.
6. Denisiuk W.: Energetyczne wykorzystanie biogazu, *Inżynieria Rolnicza* 3(58), 2006
7. Dubas J. W. 2003. Rozdział – Wierzba. Praca pod redakcją Kościka B. *Rośliny energetyczne*. Wyd. Akademii Rolniczej w Lublinie
8. Eklind Y., Sundberg C., Smars S., Steger K., Sundh I., Kirchmann H., Jonsson H., 2007: Carbon Turnover and Ammonia Emissions during Composting of Biowaste at Different Temperatures. *J. Environ. Qual.* 36: 1512-1520.
9. Frąc M., Jeziarska-Tys S., Tys J., 2009: Algi – energia jutra (biomasa, biodiesel). *Acta Agrophysica*, 2009, 13(3): 627-638
10. Gostomczyk W., 2010: Raw materials for the production of biogas and the effectiveness of their use. In red. Jasiulewicz M.: *Regional and local biomass potential*: 105-136
11. Grzybek A., 2008: Zapotrzebowanie na biomasę i strategie energetycznego jej wykorzystania. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 11: 9-23
12. Holm-Nielsen J.B., Seadi T. Al., Oleskowicz-Popiel P., 2009: The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresources Technology*, 100: 5478-5484.
13. Igras J., Kopiński J. 2007: Zużycie nawozów mineralnych i naturalnych w układzie regionalnym. *Studia i Raporty IUNG-PIB*. Zeszyt 5,.

14. Jadczyzyn T., Maćkowiak Cz., Kopiński J., 2000: Model SFOM narzędziem symulowania ilości i jakości nawozów organicznych. *Pam. Puł.*, 120/I.
15. Jadczyzyn J., Faber A., Zalewski A., 2008: Wyznaczanie obszarów potencjalnie przydatnych do uprawy wierzby i ślazuwca pensylwańskiego na cele energetyczne w Polsce. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 11: 55-65
16. Jasiulewicz M., 2010: Regional energy potential of biomass In Poland. In red. Jasiulewicz M.: *Regional and local biomass potential*: 9-50
17. Jędrzak A., 2008: *Biologiczne przetwarzanie odpadów*, PWN: 456 ss.
18. Kaiser F., Aschmann V., Effenberger M., Gronauer A., 2003: Dry Fermentation of Agricultural Substrates. *9th Int'l Animal, Agric. & Food Processing Wastes Proc. of the 12-15 Oct. 2003 Symp.*: 325-332.
19. Kowalczyk-Juśko A., Kościk B., Kwapisz M., 2009: Możliwości i ograniczenia wykorzystania odpadów z rolnictwa na cele energetyczne, *Zeszyty Naukowe*, 11,
20. Kowalik I., Michalski T., 2006: Wpływ niektórych czynników agrotechnicznych na parametry jakościowe kiszonki z kukurydzy odmiany Stay Green. *Pamiętnik Pułaski*, 142,
21. Kuś J., 2002: Możliwości zwiększenia areału uprawy rzepaku ozimego w różnych rejonach Polski. *Wieś Jutra*, 8;
22. Komorowicz T., Magiera J., 2008: Wskaźniki efektywności wybranej instalacji produkcji bioetanolu. *Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej*: 135- 141
23. Kuś J., Matyka M., 2010: *Uprawa roślin na cele energetyczne. Instrukcja upowszechnieniowa nr 176*
24. *Krajowa Mapa Drogowa Odnawialnych Źródeł Energii dla Polski 15% do 2020 r.* (Opracowana przez PIGEO, Kierownik projektu: Michał Ćwil)
25. Li C.L., Fang H.H.P., 2007. Inhibition of heavy metals on fermentative hydrogen production by granular sludge. *Chemosphere*, 67: 668–730.
26. Liu W.T., Chan O.Ch., Fang H.H.P., 2002: Microbial community dynamics during start-up of acidogenic anaerobic digestion. *Water Research* 36: 3203-3210.
27. *Mapa drogowa na rzecz energii odnawialnej. Energie odnawialne w XXI wieku: budowa bardziej zrównoważonej przyszłości.* Komisja Wspólnot Europejskich. Bruksela, 2007
28. Marcato C. E., Pinelli E., Pouech P., Winterton P., Guirese M., 2008: Particle size and metal distributions in anaerobically digested pig slurry. *Bioresource Technology* 99: 2340-2348.

29. Marcato C.E., Mohtar R., Revel J.C., Pouech P., 2009: Impact of anaerobic digestion on organic matter quality in pig slurry. *International Biodeterioration & Biodegradation* 63: 260-266.
30. Mata-Alvarez J., Mace S., Llabres P., 2000: Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology* 74: 3-16.
31. Niżewski P., Dach J., Jędrus A., 2006: Zagospodarowanie zużytego podłoża z pieczarkarni metodą kompostowania. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 51(1): 24-27.
32. Olszowski T., Dach J., Boniecki P., 2007: Konstrukcja bioreaktorów w kontekście zagadnienia modelowania procesu kompostowania, *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 52(2): 52-56.
33. Oniszek-Popławska A., Zowski M., Wiśniewski G., 2003: Produkcja i wykorzystanie biogazu rolniczego. EC BREC/IBMER.
34. Paavola T., Rintala J., 2008: Effects of storage on characteristics and hygienic quality of digestates from four co-digestion concepts of manure and biowaste. *Bioresource Technology* 99: 7041-7050.
35. Palm O., 2008: The quality of liquid and solid digestate from biogas plants and its application in agriculture. In ECN/ORBIT e.V. Workshop 2008: The future for Anaerobic Digestion of Organic Waste in Europe. Pres. Nr 20.
36. Parawira W., Read J.S., Mattiasson B., Björnsson L., 2008: Energy production from agricultural residues: High methane yields in pilot-scale two-stage anaerobic digestion. *Biomass and Bioenergy* 32: 44-50.
37. Pasierb S., Bogacki M., Osicki A., Wojtulewicz J., 2006: Poradnik Odnawialne źródła energii. Efektywne wykorzystanie w budynkach. Finansowanie przedsięwzięć. Fundacja na rzecz Efektywnego Wykorzystania Energii
38. Persson M., Johnsson O, Wellinger A., 2006. IEA Bioenergy Report-Task 37, at <http://www.novaenergy.ih/iea-bioenergy-task37/documente/biogas.pdf>.
39. Piwowarczyk K., 2007: Zachowanie otoczenia przy produkcji biodiesla do celów transportowych, pochodzących z przeróbki rzepaku. *Krakowska Konferencja Młodych Uczonych 2007*: 335-341
40. Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2009 r. Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2010

41. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 27 września 2001 roku w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. Nr 112, poz. 1206).
42. Rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 3 października 2002 r.
43. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 listopada 2007 r. w sprawie procesu odzysku R10 (Dz.U. Nr 228, poz. 1685).
44. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa I Rozwoju Wsi z dnia 18 czerwca 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu,
45. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa I Rozwoju Wsi z dnia 21 grudnia 2008 r. w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu (Dz.U. Nr 224, poz 1804),
46. red. Igras J., Pastuszek M., *Udział rolnictwa w emisji związków azotu i fosforu do Bałtyku*, IUNG-PIB Puławy, 2009
47. red. Mercik S., 2002, *Chemia Rolna. Podstawy teoretyczne i praktyczne*, Wyd. SGGW, ss. 287
48. red. Mercik S., *Nawozy organiczne (w:) Chemia rolna*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2004
49. *Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2009*, GUS, Warszawa, 2010
50. Rzepa J., 2010: Potential sources and possibilities of biomass energy utilisation for production of agricultural biogas In West Pomerania Province. In red. Jasiulewicz M.: *Regional and local biomass potential: 51-80*
51. Sanchez M., Gomez X., Barriocanal G., Cuetos M.J., Moran A., 2008: Assessment of the stability of livestock farm wastes treated by anaerobic digestion. *International Biodeterioration & Biodegradation* 62: 421-426.
52. Schievano A., Pognani M., D'Imporzano G., Adani F., 2008: Predicting anaerobic biogasification potential of ingestates and digestates of a full-scale biogas plant using chemical and biological parameters. *Bioresources Technology* 99: 8112-8117.
53. Scherer P., Neumann L., Demirel B., Schmidt O., Unbehauen M., 2009: Long term fermentation studies the nutritional requirements for biogasification of fodder beet silage as mono-substrate. *Biomass and Bioenergy* 33: 873-881.
54. Stolarski M., Szczukowski S., 2005. Nawożenie i ochrona plantacji wierzby wiciowej. *Wiś Jutra*, 7 (84), str., 31-33.
55. Stolarski M.J, 2009. *Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (Salix spp.) jako surowca energetycznego*. Wyd. UWM, Olsztyn.

56. Suzuki K., Yasuo T., Kazutaka K., Dai H., Yasuyuki F., Tomoko Y., Miyoko W., 2007: Removal and recovery of phosphorus from swine wastewater by demonstration crystallization reactor and struvite accumulation device. *Bioresource Technology* 98: 1573-1578.
57. Szczukowski S., Budny J. 2003. *Wierzba Krzewiasta roślina energetyczna*. WODR, Olsztyn
58. Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.J., 2006. *Wierzba energetyczna*. Wyd. Plantpress, Kraków
59. Szymańska M., Łabętowicz J., 2009: Dostępność i zasoby substratów do produkcji biogazu w Polsce. *Czysta Energia* 5/93: 48-49.
60. Szymańska M., Łabętowicz J., 2010: Agricultural potential of substrates for the production of agricultural biogas In Poland. In red. Jasiulewicz M.: *Regional and local biomass potential*: 81-104
61. Szymańska M., 2011: *Przetwarzanie odpadów organicznych przy zastosowaniu fermentacji metanowej oraz zagospodarowanie powstającej masy pofermentacyjnej w. Przyrodnicze zagospodarowanie odpadów: w druku*
62. Tambone F., Genevini P., D'Imporzano G., Adani F., 2009: Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of organic fraction of MSW. *Bioresource Technology* 100: 3140-3142.
63. Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu (Dz. U. Nr 147, poz. 1033).
64. Waeger F., Delhaye T., Fuchs W., 2010: The use of ceramic microfiltration and ultrafiltration membranes for particle removal from anaerobic digester effluents. *Separation and Purification Technology*. 73: 271:278.
65. Żurek G., 2008. *Uprawy energetyczne za i przeciw*. *Agrotechnika*, 11, str.26-29.