

## Powiązanie rolnictwa i energetyki w kontekście realizacji celów gospodarki niskoemisyjnej w Polsce

<sup>1</sup>Magdalena Rogulska, <sup>2</sup>Anna Grzybek, <sup>3</sup>Józef Szlachta, <sup>4</sup>Jerzy Tys, <sup>1</sup>Ewa Krasuska,  
<sup>1,5</sup>Krzysztof Biernat, <sup>1,5</sup>Krzysztof Bajdor

<sup>1</sup>Przemysłowy Instytut Motoryzacji w Warszawie, <sup>2</sup>Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Warszawie,  
<sup>3</sup>Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, <sup>4</sup>Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie,  
<sup>5</sup>Polska Platforma Technologiczna Biopaliw i Biokomponentów

**Abstrakt.** Zapotrzebowanie na bioenergię stymulowane jest przez szereg czynników: działania polityczne (wspólnotowe oraz krajowe), stan prac naukowo-badawczych, rozwój technologiczny, a wreszcie rynek. W wielu dokumentach strategicznych wskazuje się na bardzo znaczący potencjał biomasy pochodzenia rolniczego, jednak stopień jej wykorzystania jest nadal niewystarczający. Stąd potrzeba szerszego i głębszego spojrzenia na możliwości energetycznego wykorzystania biomasy na obszarach wiejskich. Interdyscyplinarny zespół autorów podjął próbę sformułowania problemów badawczych na styku rolnictwo – energetyka i zaproponował szereg tematów badawczych, które powinny być elementem programu strategicznego przyspieszającego racjonalne wykorzystanie biomasy do wytwarzania energii i paliw na obszarach wiejskich z poszanowaniem kryteriów zrównoważonego rozwoju. Celem prac jest: identyfikacja nowych źródeł biomasy na cele energetyczne (np. alg, odpadów i produktów ubocznych z produkcji rolniczej i przemysłu rolno-spożywczego), rozwój „zrównoważonych” systemów produkcji zdolnych pokryć rosnące zapotrzebowanie na energię i surowce dla przemysłu (w tym chemicznego), opracowanie optymalnych modeli organizacyjnych i logistycznych dla zapewnienia stabilnych dostaw biomasy i rozwoju obszarów wiejskich oraz ocena skutków socjoekonomicznych wykorzystania bioenerгии na obszarach wiejskich.

**słowa kluczowe:** algi, biorafineria, biogaz, energetyczne wykorzystanie biomasy, logistyka, oceny socjoekonomiczne

### WSTĘP

Zapotrzebowanie na bioenergię stymulowane jest przez szereg czynników (rys. 1), a mianowicie: działania polityczne wspólnotowe oraz krajowe, stan prac naukowo-badawczych oraz rozwój technologiczny, a wreszcie przez rynek.

---

Autor do kontaktu:

Magdalena Rogulska

e-mail: mrogulska@ipieo.pl

tel. +48 22 777216, fax +48 22 777020

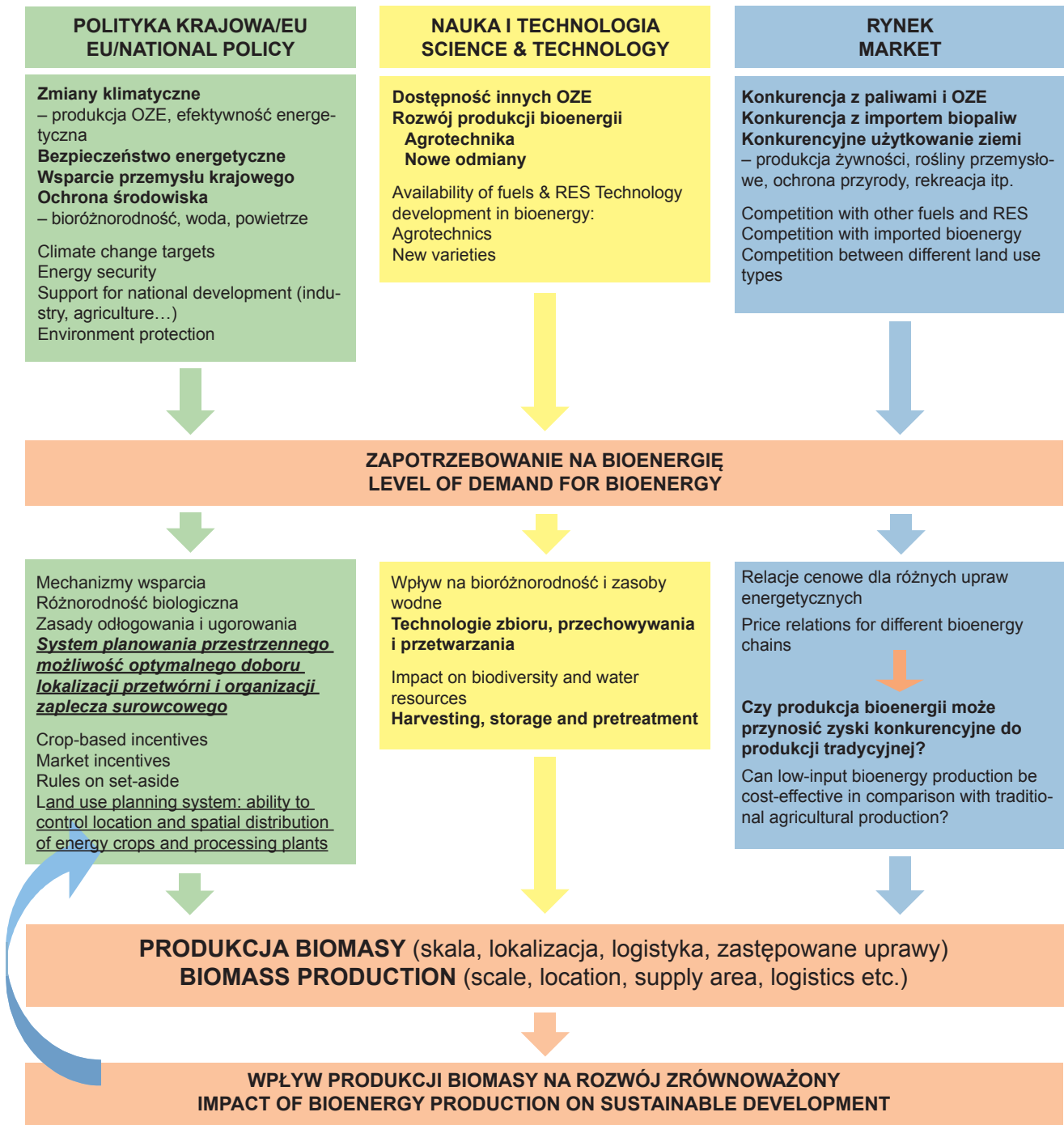
Praca wpłynęła do redakcji 19 października 2011 r.

Obserwowany w ostatnich latach rosnący popyt na biomasę był wynikiem wprowadzenia przez Unię Europejską dwóch dyrektyw – Dyrektywy 2001/77/WE o promocji energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnych źródłach energii oraz Dyrektywy 2003/30/WE dotyczącej promocji biopaliw i innych paliw odnawialnych dla transportu. Obecnie obowiązuje 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 dyrektywę 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.

W wielu dokumentach strategicznych wskazuje się na bardzo znaczący potencjał biomasy pochodzenia rolniczego, jednak stopień jej wykorzystania jest nadal niewystarczający. Stosunkowo wolny rozwój sektora bioenerгии wpłynął na to, że Unia nie znalazła się na planowanej ścieżce rozwoju prowadzącej do podwojenia produkcji energii z OZE (odnawialnych źródeł energii) w roku 2010. Jednym z podstawowych problemów, jakie zidentyfikowano, jest stosunkowo mała rzeczywista dostępność zasobów biomasy, która jest spowodowana faktem braku sukcesu w zakresie rozwoju upraw energetycznych w Europie na większą skalę. Stąd potrzeba szerszego i głębszego spojrzenia na możliwości energetycznego wykorzystania biomasy na obszarach wiejskich.

Dla krajowej polityki energetycznej podstawowym dokumentem jest „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku” przyjęta przez Radę Ministrów w dniu 4 stycznia 2010 r. (Ministerstwo Gospodarki, 2010b). Rozwój wykorzystania odnawialnych źródeł energii, w tym biopaliw, jest jednym z 6 priorytetowych kierunków w polityce energetycznej Polski. W obszarze tym dokument formułuje trzy podstawowe cele:

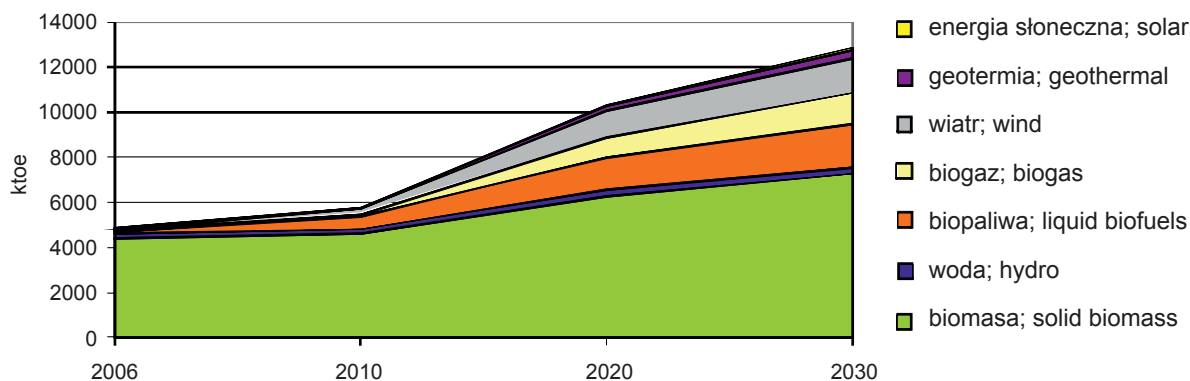
- wzrost wykorzystania OZE w finalnym zużyciu energii do 15% w roku 2020 oraz dalszy wzrost tego wskaźnika w latach następnych,
- osiągnięcie w 2020 roku 10% udziału biopaliw w rynku paliw transportowych oraz utrzymanie tego poziomu w latach następnych,



Rys. 1. Czynniki kształtujące zapotrzebowanie na bioenergię  
Fig. 1. Factors influencing the demand for bioenergy.

- ochrona lasów przed nadmierną eksploatacją w celu pozyskiwania biomasy oraz zrównoważone wykorzystanie obszarów rolniczych na cele OZE, w tym biopaliw, tak żeby uniknąć konkurencji pomiędzy energią odnawialną i rolnictwem.

Cele w zakresie wzrostu wykorzystania odnawialnych źródeł energii zapisane w „Polityce energetycznej...” są zgodne z postanowieniami Dyrektywy 2009/28/WE oraz zostały wpisane do Krajowego Planu Działań w zakresie Odnawialnych Źródeł Energii (Ministerstwo Gospodarki, 2010a).



Źródło: Polityka energetyczna Polski do 2030 r. Załącznik 2; Source: Energy Policy for Poland till 2030. Appendix 2

Rys. 2. Zapotrzebowanie na energię finalną do roku 2030: struktura produkcji z OZE  
Fig. 2. Demand for final energy till 2030; structure of renewable energy sources production.

W warunkach polskich technologie wykorzystujące biomasę stanowiąc będą podstawowy kierunek rozwoju odnawialnych źródeł energii do roku 2030 (rys. 2). Wykorzystanie biomasy pochodzenia rolniczego w znaczącym stopniu może przyczynić się do pobudzenia rozwoju gospodarczego na terenach wiejskich poprzez zróżnicowanie działalności (nowe rynki zbytu surowców rolnych, nowe rodzaje działalności gospodarczej) i stanowić istotny element polityki rolnej. Zakłada się, że pozyskiwana na ten cel biomasa w znacznym stopniu pochodzić będzie z upraw energetycznych. Poza biomasą pochodzenia rolniczego, nadal znaczenie będzie miało wykorzystanie biomasy leśnej oraz użyteczne wykorzystanie biomasy zawartej w różnego rodzaju odpadach przemysłowych i komunalnych, tworząc nowe możliwości dla dynamicznego rozwoju lokalnej przedsiębiorczości.

Z wykorzystaniem biomasy na cele energetyczne łączy się szereg zagadnień, które wymagają podjęcia badań w celu wypracowania optymalnych i efektywnych systemów bioenergetycznych, udoskonalonych technologii i akceptowanych społecznie rozwiązań.

Należy przywołać w tym miejscu program strategiczny pn. „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii” finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. W ramach programu realizowane jest zadanie badawcze nr 4 pn. „Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych.”

Autorzy niniejszego referatu postulują podjęcie szerszych prac badawczych na styku powiązań rolnictwa i energetyki. Proponują następujące kluczowe obszary badawcze:

- uwarunkowania przyrodnicze, organizacyjno-ekonomiczne i społeczne produkcji biomasy i wykorzystania jej na cele energetyczne i paliwowe na obszarach wiejskich,
- optymalne strategie logistyczne dla zapewnienia stabilnych dostaw biomasy, z uwzględnieniem wstępnego

przetwarzania biomasy do nośników o podwyższonej gęstości energetycznej (toryfikacja, piroliza itp.),

- rozwój biorafinerii w oparciu o istniejącą infrastrukturę przemysłu przetwórstwa rolnego na obszarach wiejskich,
- bezpieczeństwo dostaw biomasy, ograniczanie konkurencji z produkcją żywności, produkcja i wykorzystanie zgodne z kryteriami zrównoważonego rozwoju.

W ramach powyższych obszarów autorzy zaproponowali następujące tematy cząstkowe, które powinny być elementem projektu strategicznego:

- **przegląd realizowanych w kraju programów badawczych** oraz identyfikacja specyficznych tematów, które wymagają podjęcia lub pogłębienia badań,
- **foresight technologiczny „rolniczy”** odpowiadający m.in. na pytanie jakie będą w przyszłości źródła biomasy i systemy produkcji zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju dostarczające surowiec dla zastosowań pozażywnościowych. Cel: identyfikacja źródeł biomasy – roślin rocznych, wieloletnich, alg, odpadów i produktów ubocznych z produkcji rolniczej i przemysłu rolno-spożywczego oraz rozwój „zrównoważonych” systemów produkcji zdolnych pokryć rosnące zapotrzebowanie na energię i surowce dla przemysłu (w tym chemicznego),
- **algi** – duże przyrosty biomasy, biologiczna sekwestracja CO<sub>2</sub>, biopaliwa z alg liczone podwójnie do NCW jako biopaliwa 3. generacji,
- **biogaz** - uwarunkowania surowcowe do produkcji biogazu w Polsce oraz rozwój biogazowni rolniczych,
- **biorafinerie** – oferta procesowa i technologiczna dla zintegrowanej produkcji chemikaliów, paliw, energii elektrycznej i ciepła z szerokiego asortymentu surowej lub przetworzonej biomasy, na bazie istniejącej infrastruktury przemysłowej (cukrownie, mleczarnie itp.). Możliwość wykorzystania dobrych praktyk związanych z produkcją surowca i kontraktacją oraz relacjami przemysł – rolnicy,

- opracowanie optymalnych **modeli organizacyjnych i logistycznych** dla zapewnienia stabilnych dostaw biomasy i rozwoju obszarów wiejskich,
- **ocena skutków socjoekonomicznych energetycznego wykorzystania biomasy na obszarach wiejskich.**

Dla zaproponowanych tematów cząstkowych autorzy w kolejnych rozdziałach przedstawili krótką genezę tematu, obecny stan wiedzy oraz problemy badawcze i proponowane zadania badawcze.

## ALGI JAKO SUROWIEC DLA ENERGETYKI

### Geneza tematu

Pośród odnawialnych źródeł energii, jednym z najważniejszych i najszerzej rozwijanych kierunków jest użycie biomasy na cele energetyczne (Demirbas, 2010; Patil i in., 2008). Badania nad produkcją biopaliw z biomasy stały się intensywne ze względu na ich rolę w uniezależnieniu się od paliw kopalnych oraz redukcję emisji dwutlenku węgla (Yu i in., 2009). Produkcja biopaliw z tradycyjnie uprawianych roślin może jednak stwarzać szereg problemów. Przede wszystkim chodzi o konkurencję o ziemię uprawne z roślinami przeznaczonymi na cele konsumpcyjne. Ponadto, obszary przeznaczone pod rośliny uprawiane na cele energetyczne zagrożone są ograniczeniem ich bioróżnorodności oraz zanieczyszczeniem gleb poprzez nawożenie i stosowanie pestycydów (Yu i in., 2009). Z tych, ale także z socjoekonomicznych względów poszukuje się nowych, bardziej wydajnych energetycznie źródeł biomasy nie stanowiących zagrożenia dla środowiska. Jednym z najbardziej obiecujących rozwiązań jest wykorzystanie do tego celu biomasy glonów (alg).

Na energetyczne możliwości wykorzystania glonów, w szczególności mikroalg, zwracano już uwagę w latach 70. XX wieku. Mikroalgi występują w wodach słodkich i słonych. Są to proste organizmy jednokomórkowe, które do swojego wzrostu wykorzystują proces fotosyntezy, przekształcając energię słoneczną, wodę oraz dwutlenek węgla w biomasę (Demirbas, 2010). Mikroalgi wzbudzają szerokie zainteresowanie naukowców ze względu na ich potencjał do produkcji energii. Biomasa tych mikroorganizmów może być wykorzystywana wielokierunkowo. Poprzez różne procesy termochemicznego, chemicznego i biochemicznego przetwarzania z biomasy glonów można otrzymać biodiesel, etanol, metan i biowodór (Demirbas, 2010). Paliwa otrzymywane z biomasy glonów są pozbawione związków siarki, dlatego nie wykazują toksyczności, a charakteryzują się wysoką biodegradowalnością. Dodatkowym atutem glonów są ich możliwości plonowania, które zdecydowanie przewyższają tradycyjne rośliny energetyczne. Przyjmuje się, że mikroalgi podwajają swoją masę zazwyczaj w ciągu dwudziestu czterech godzin. Autorzy wskazują, że w sprzyjających warunkach hodowli

można osiągnąć plon znacznie przewyższający  $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (Kovacevic, Wesseler, 2010). Tak intensywny przyrost biomasy możliwy jest dzięki kilkukrotnie wyższej sprawności procesu fotosyntezy u alg w porównaniu z jej wartościami osiąganymi przez rośliny naziemne (Schenk i in., 2008). Pomimo ciągłych poszukiwań najbardziej ekonomicznej metody w hodowli kultur alg, najbardziej wydajne są zamknięte, cylindryczne fotobioreaktory (Ugwu i in., 2008). Posiadają one niepodważalne atuty. Przede wszystkim nie stanowią konkurencji dla upraw roślin na cele spożywcze i paszowe (Baliga, Powers, 2010). Ponadto uprawy glonów przyczyniać się mogą do ograniczenia ilości dwutlenku węgla emitowanego do atmosfery np. przez zakłady przemysłowe. Ze względu na ich dość niskie wymagania pokarmowe, do hodowli glonów wykorzystywać można wstępnie oczyszczone ścieki z tych zakładów, które będą w ten sposób dodatkowo oczyszczone.

### Problemy badawcze i proponowane zadania badawcze

Stan krajowej wiedzy w zakresie hodowli i wykorzystania glonów jest niewielki w porównaniu z dorobkiem zagranicznych instytucji naukowych. Temat jest jednak coraz częściej podejmowany także w kraju ze względu na potencjał energetyczny mikroalg oraz chęć przetestowania możliwości ich wykorzystania w warunkach Polski (Zieliński i in., 2011; Dębowski i in., 2011).

Hodowla powinna być poprzedzona wyborem odpowiedniego gatunku glonów, uwzględniającym rodzaj paliwa, które ma być końcowym efektem procesu. Charakterystyczna dla niektórych gatunków jest wysoka zawartość tłuszczu. *Botryococcus braunii* zawiera go nawet do 75% i z tego względu jest gatunkiem odpowiednim do produkcji biodiesla i biometanu. Glony o wysokiej zawartości węglowodanów (np. *Porphyridium cruentum*, *Spirogyra sp.*) mogą stanowić substrat do produkcji bioetanolu. Wśród parametrów, które brane są pod uwagę podczas zakładania i prowadzenia hodowli glonów, jednym z najbardziej istotnych jest dobór odpowiedniego oświetlenia i konieczność uwzględnienia ekonomicznych względów przedsięwzięcia. Dodatkowe oświetlenie jest kluczowym problemem przy hodowli glonów w warunkach klimatycznych Polski. Niezwykle istotne przy planowaniu budowy fotobioreaktora jest także określenie wpływu stężenia biomasy na przebieg procesu fotosyntezy oraz wykorzystanie substancji odżywczych pochodzących z osadów pofermentacyjnych biogazowni czy ścieków komunalnych będących źródłem taniego azotu i fosforu. Ze względu na fakt, iż glonom do wzrostu niezbędny jest dwutlenek węgla, przed umiejscowieniem hodowli należy przeanalizować możliwość wykorzystania przemysłowych źródeł tego gazu, co może mieć istotny wpływ na emisję gazów cieplarnianych do atmosfery.

Dynamiczny rozwój biogazowni sprawia, że poszukiwanie taniej i dostępnej biomasy pochodzącej z hodowli

glonów jest kierunkiem naturalnym. Dlatego konieczne są badania, które określą przydatność i sprawność wykorzystania biomasy w procesie fermentacji metanowej, a ponadto należy przeprowadzić analizy wpływu składu chemicznego biomasy oraz budowy ścian komórkowych mikrogolonów na ich wartość paliwowo-energetyczną. Innym kierunkiem wykorzystania biomasy glonów jest zgazowanie. Na wydajność tego procesu wpływ może wywierać skład chemiczny ściany komórkowej mikroorganizmów. Jak wynika z literatury (Schenk i in., 2008), problemem przy hodowli glonów może być dobór odpowiedniej metody zbioru. Ponadto skuteczna hodowla mikroorganizmów fotosyntetyzujących w warunkach Polski wymaga szeregu badań laboratoryjnych oraz wykonania prototypu makrolaboratoryjnego fotobioreaktora, który pozwoli na produkcję glonów w skali umożliwiającej ocenę jej efektywności oraz da podstawy do ekonomicznie uzasadnionej hodowli na skalę przemysłową. A podstawowym celem badań jest opracowanie taniej metody produkcji dużej ilości biomasy.

#### UWARUNKOWANIA SUROWCOWE PRODUKCJI BIOGAZU W POLSCE

##### Geneza tematu

Proces fermentacji beztlenowej jest skomplikowany, w dużym stopniu uzależniony od wielu czynników o charakterze technologicznym, temperatury stosowanej w komorach fermentacyjnych, zawartości suchej masy, stosunku C/N, ilości lotnych kwasów tłuszczowych, rodzaju i cech substratów itp. Przykładowo, substancją o silnym działaniu toksycznym jest amoniak, który ma hamujący wpływ na proces fermentacji. Również niektóre pierwiastki, np. chrom (Cr), mogą powstrzymać ten proces. Ponieważ w odchodach zwierzęcych występują duże stężenia azotu amonowego, zaleca się rozcieńczenie biomasy. Innym sposobem może być dodatek biomasy o wysokiej zawartości węgla (np. słomy) i zwiększenie stosunku C/N w biomacie. Ilość i skład biogazu zależy głównie od składu chemicznego poddawanych fermentacji związków organicznych, temperatury prowadzenia procesu i czasu przetrzymania substratów w reaktorze. Z 1 kg węglowodanów powstaje średnio 0,42 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>, z białek 0,47 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>, z tłuszczów 0,75 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>. Mimo iż najwięcej biogazu można uzyskać z rozkładu tłuszczów, należy pamiętać, że związki te charakteryzują się długim czasem rozkładu (Kowalczyk-Juško, 2008).

##### Stan obecny wiedzy w obszarze

Oprócz wymienionych wcześniej czynników na ilość biogazu i metanu produkowanego podczas fermentacji anaerobowej wpływają: temperatura procesu, rodzaj substratu, czas retencji (HRT), obciążenie objętościowe fermentora, rodzaj użytej technologii, obecność inhibitorów,

pH substratu oraz ilość żywych archeonów. W literaturze brak wyników badań obrazujących przebieg rozwoju tych organizmów w warunkach, jakie panują w biogazowniach, a są one ważnym ogniwem na drodze powstawania metanu. Ważną kwestię odgrywa także skład chemiczny, jak i zawartość składników pokarmowych w substracie, co istotnie wpływa na rozwój organizmów metanogennych.

Kiszonka z kukurydzy jest obecnie głównym substratem roślinnym do pozyskiwania biogazu w biogazowniach rolniczych (Fugol, Szlachta, 2010). Jednakże ze względu na rosnące koszty jej pozyskiwania oraz konkurencyjność wykorzystania kukurydzy na cele paszowe i żywieniowe, zachodzi konieczność poszukiwania alternatywnych rodzajów biomasy oraz odpadów pochodzenia roślinnego i z przemysłu przetwórczego do wykorzystania w procesach fermentacji beztlenowej w biogazowniach rolniczych. Niezbędne jest określenie podstawowych parametrów i charakterystyk substratu w aspekcie przydatności do przebiegu procesów fermentacji beztlenowej, zapewniających pożądane kierunki fermentacji wraz z dużym udziałem metanu. W literaturze istnieją znaczne rozbieżności odnośnie wielkości uzysku zarówno biogazu, jak i metanu z jednostki suchej masy substratu.

##### Problemy badawcze i proponowane zadania badawcze

Zachodzi konieczność dokonania szczegółowej charakterystyki biomasy jako substratu do pozyskiwania biogazu oraz szczegółowego rozpoznania wielu kwestii związanych z jej zasobami, pozyskiwaniem oraz aspektami agrotechnicznymi, ekonomicznymi i biotechnologicznymi. W szczególności zachodzi konieczność realizacji zadań badawczych dotyczących:

- analizy laboratoryjnej surowca biomasowego pod względem efektywności energetycznej oraz przydatności do przebiegu fermentacji kwaśnej (przy zachowaniu powtarzalnych warunków badań),
- modelowania przebiegu procesu rozwoju archeonów, co pozwoli na poprawę przebiegu procesu fermentacji i prognozowanie fermentacji beztlenowej w biogazowniach,
- opracowania przebiegu oraz efektywności procesu fermentacji substratu w zależności od składu, właściwości i zawartości suchej masy,
- analizy energetycznej i ekonomicznej (w oparciu o koszty uprawy, zbioru, przetwarzania, przechowywania i transportu) przydatności danego wsadu dla warunków produkcyjnych różnicowanych siedliskowo i ekonomiczno-organizacyjnie,
- analizy wpływu sposobu przygotowania (stopnia rozdrobnienia) oraz rodzaju wsadu na efektywność procesu fermentacji,
- analizy porównawczej jedno- i dwustopniowej fermentacji beztlenowej w aspekcie efektywności procesu.

## OPTYMALNE STRATEGIE LOGISTYCZNE DLA ZAPEWNIENIA STABILNYCH DOSTAW BIOMASY Z UWZGLĘDNIENIEM WSTĘPNEGO PRZETWARZANIA BIOMASY DO NOŚNIKÓW ENERGETYCZNYCH

### Geneza tematu

Logistyka w procesach produkcji i dystrybucji energii z biomasy powinna być rozumiana jako inżynieria systemów, która obejmuje wszystkie procesy służące pokonywaniu przestrzeni i czasu. Logistyka jest planowaniem zapotrzebowania, wydajności w czasie i przestrzeni oraz sterowaniem i wykorzystaniem zaplanowanego strumienia masy i energii przy uwzględnieniu optimum kosztowego. W zależności od zapotrzebowania występują kombinacje wymienionych niżej procesów:

- pozyskania surowca,
- przygotowania (przetwarzania) surowca do postaci użytkowej (handlowej),
- magazynowania jako operacji pośredniej,
- transportu (bliski i daleki), w tym prace za- i rozładunkowe.

Przy rosnącym wykorzystaniu biomasy przez zakłady energetyczne optymalizacja logistyki dostaw tego paliwa wymagać będzie właściwego zaplanowania, organizacji oraz zarządzania bazą surowcową i flotą samochodów dostawczych lub innych środków transportu w czasie rzeczywistym. Na podstawie optymalnych, modelowych dla danej technologii pozyskania biomasy, rodzaju surowca i nośnika końcowego, strategii logistycznych można określić wskaźniki redukcji emisji gazów cieplarnianych i odnieść je do technologii rzeczywistych. Mnogość surowców, które mogą być wykorzystane energetycznie, różne rodzaje transportu, różnorodność technologii przetwarzania biomasy i odmienne postacie fizyczne nośników końcowych wymagają stworzenia opisujących je modeli. Dyrektywa 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych określa kryteria zrównoważonego rozwoju w odniesieniu do biopaliw i biopłynów. Zgodnie z tymi kryteriami ograniczenie emisji gazów cieplarnianych dzięki wykorzystaniu biopaliw i biopłynów powinno wynosić co najmniej 35%, przy czym począwszy od dnia 1 stycznia 2017 r. redukcje emisji tych gazów dla paliw ciekłych wynosić powinny co najmniej 50%, a od 1 stycznia roku 2018 – 60%. Nad wartościami progowymi dla paliw stałych prace trwają. Kalkulacje emisji gazów cieplarnianych muszą obejmować cały łańcuch od produkcji surowca aż po produkt końcowy. Tymczasem nieznanym jest często wpływ łańcucha dostaw biomasy na efektywność energetyczną, ekonomiczną i środowiskową. Identyfikacja technologii pozyskania i przygotowania biomasy na potrzeby energetyczne i ocena ich wpływu na środowisko, szczególnie dla nowych technologii, jest jednym z kluczowych obszarów badawczych.

### Stan obecny wiedzy w obszarze

W zakresie problematyki związanej z logistyką biomasy wykonane były liczne prace przez różne środowiska naukowe. Generalnie dotyczą one charakterystyki studiów przypadku w różnych krajach, z uwzględnieniem ich specyfiki. Faber i in. (2008) podają, że ze względu na małą gęstość biomasy właściwa organizacja logistyki ma bardzo duże znaczenie oraz że logistykę biomasy należy umiejętnie modelować. Grzybek i Muzalewski (2010) podkreślają znaczenie logistyki przy wykorzystaniu roślin energetycznych w postaci biopaliw stałych dla energetyki systemowej. Wiele prac dotyczyło projektowania i planowania łańcucha dostaw biomasy (Bruglieri, Liberti, 2008; Dunnnett i in., 2008) oraz systemów zarządzania nimi do wytwarzania energii przy uwzględnieniu biopaliw II generacji. Dal-Mas i in. (2011) zajmują się strategicznym planowaniem zdolności przetwórczych planowanych inwestycji do produkcji etanolu w warunkach niepewności jego ceny, z uwzględnieniem logistyki dostaw surowca. Sylvain i in. (2008) przedstawili metodę programowania liniowego do określenia optymalnej wielkości i położenia zakładu produkcji metanolu (z surowców roślinnych). Analizowano również wpływ różnych czynników (np. transportu) na koszty produkcji metanolu. Zaproponowane modele i rozwiązania mogą być użyte jako narzędzia wspomagania decyzji w analizie strategicznej oraz mogą służyć do taktycznego planowania dostaw paliwa. Problem łączenia dostaw biomasy z wielu miejsc oraz to, w jaki sposób powinna być ona transportowana i przechowywana w celu zaspokojenia zapotrzebowania kotłowni, został przedstawiony przez Rentizelas i in. (2009). Sokhansanj i in. (2006) opisać dynamiczny model logistyki zintegrowany z dostawami biomasy. Na podstawie tego modelu można przeprowadzić symulację zbioru, przechowywania, transportu i dostarczania biomasy rolniczej. Parker i in. (2009) stosują metodę programowania nieliniowego do oceny potencjału gospodarczego i infrastruktury do produkcji wodoru z odpadów rolnych. Jednak przedstawione wycinkowo dane literaturowe nie pozwalają na uogólnienia na poziomie kraju, potrzebne są dalsze prace badawcze.

### Problemy badawcze i proponowane zadania badawcze

Główny problem badawczy można sformułować następująco: Poszukiwanie modelu rozwoju logistyki, który może być realizowany na obszarach wiejskich i zapewni minimalizację obciążeń dla środowiska naturalnego oraz będzie stanowił impuls do rozwoju społeczno-gospodarczego obszarów wiejskich poprzez dywersyfikację źródeł dochodów rolników.

Należałoby podjąć zadania badawcze w ramach potencjalnego projektu strategicznego w zakresie podanym niżej:

- analiza przydatności dla celów energetycznych poszczególnych gatunków biomasy (w grupie biomasy

rolnej) w formach pierwotnych z uwzględnieniem jej specyfiki oraz dostępności,

- charakterystyka procesów przetwarzania biomasy i możliwości ich wykorzystania na terenach wiejskich (np.: toryfikacja, piroliza),
- badania nakładów materiałowo-energetycznych w łańcuchu dostaw i technologiach przygotowania biomasy dla energetyki,
- wpływ na środowisko naturalne łańcucha dostaw, w tym technologii przetwórczych biomasy ze szczególnym uwzględnieniem emisji CO<sub>2</sub>,
- wpływ na środowisko społeczne (zatrudnienie, rozwój infrastruktury),
- wielowariantowe analizy ekonomiczne dla proponowanych technologii przygotowania biomasy dla energetyki,
- optymalne strategie logistyczne z wykorzystaniem potencjału wsi,
- optymalne modele organizacyjne i logistyczne dla zapewnienia stabilnych dostaw biomasy i rozwoju obszarów wiejskich,
- monitorowanie skutków środowiskowych, ekonomicznych i społecznych opracowanych modeli logistycznych i rozwoju poszczególnych technologii energetycznego wykorzystania biomasy na obszarach wiejskich.

Jednym z celów cząstkowych jest wyznaczenie wartości wskaźników przydatności użytkowej różnych konfiguracji systemów logistycznych, a to umożliwia:

- porównanie różnych konfiguracji logistycznych,
- wybór najkorzystniejszej konfiguracji,
- ocenę skutków modernizacji, zmian, usprawnień czy modyfikacji istniejącego rozwiązania,
- ocenę wpływu różnych parametrów i czynników na efektywność i destrukcyjność systemu.

## BIORAFINERIE

### Geneza tematu

Biorafineria stanowi kompleksowy układ technologiczny, łączący procesy konwersji biomasy i dalszego przetwarzania produktów tej konwersji na paliwa oraz związki chemiczne finalne bądź z przeznaczeniem do dalszych procesów. Biorafineria stanowi więc odpowiednik zakładów przerobczych ropy naftowej, przy czym zarówno surowce, jak też produkty z biorafinerii powinny stanowić znacznie mniejsze zagrożenie dla środowiska, szczególnie w zakresie emisyjności gazów cieplarnianych. Stąd też przemysł biorafinerii stanowić powinny podstawę rozwoju nowej gałęzi przemysłowej, bazującej na odnawialnych surowcach, kompensujących przynajmniej w części postępujący niedobór dotychczasowych nośników typu ropa naftowa, węgiel kamienny i gaz ziemny.

### Problemy badawcze i proponowane zadania badawcze

Europejska Platforma Technologiczna Biopaliw promuje koncepcję biorafinerii zdefiniowanych jako zakłady przetwarzające w racjonalny sposób biomasę na wiele typów produktów. Istnieje potrzeba podjęcia działań, które skupić się powinny na podniesieniu wartości rynkowej produktów ubocznych i pośrednich z procesów wytwarzania biopaliw, co korzystnie wpłynęłoby na obniżenie kosztów produkcji i podniesienie konkurencyjności paliw odnawialnych.

Europejska Platforma Technologiczna Biopaliw wskazuje w obszarze biorafinerii m.in. następujące działania badawczo-rozwojowe w okresie do roku 2013:

- optymalizacja procesów produkcji biopaliw poprzez maksymalną integrację procesów przetwarzania surowców,
- rozwój innowacyjnych procesów wstępnego przetwarzania biomasy i tworzenia produktów o wyższej wartości dodanej,
- rozwój zaawansowanych procesów termochemicznego i biochemicznego przetwarzania surowców (fermentacja, piroliza, zgazowanie, konwersja hydrotermiczna),
- rozwój innowacyjnych i niskokosztowych procesów przetwarzania,
- rozwój procesów katalitycznych.

Zadania badawcze zidentyfikowane przez Polską Platformę Technologiczną Biopaliw i Biokomponentów (Biernat, 2008) dla warunków krajowych:

- opracowanie i wdrożenie technologii efektywnego wykorzystania olejów i tłuszczów do produkcji biopaliw II generacji,
- badanie i opracowanie technologii wyodrębniania wysokowartościowych substancji towarzyszących olejom roślinnym i tłuszczom zwierzęcym,
- wprowadzanie nowych odmian roślin z przeznaczeniem do produkcji biopaliw,
- badania nad wprowadzeniem upraw biomasy i technologii jej przetwarzania do celów biorafinerijnych,
- opracowanie technologii przeróbki produktów ubocznych w procesach rafineryjnych,
- zastosowanie metodyki LCA w odniesieniu do biorafinerii.

## OCENA SKUTKÓW SOCJOEKONOMICZNYCH ENERGETYCZNEGO WYKORZYSTANIA BIOMASY NA OBSZARACH WIEJSKICH

### Geneza tematu

Wykorzystanie biomasy na cele energetyczne zgodnie z kryteriami zrównoważonego rozwoju niesie ze sobą pozytywne skutki dla społeczeństwa. W skali globalnej

mówimy przede wszystkim o ochronie klimatu, a w skali kraju bądź regionu – o poprawie bezpieczeństwa energetycznego. Dla społeczności lokalnych produkcja i wykorzystanie biomasy na obszarach wiejskich może stać się szansą na pobudzenie i rozwój działalności gospodarczej, tworzenie nowych miejsc pracy oraz wzrost przychodów gospodarstw domowych. Rozwój bioenergii może mieć zatem szczególne znaczenie dla rozwoju obszarów wiejskich w Polsce, gdzie blisko 40% ludności kraju zamieszkuje obszary wiejskie, a użytki rolne stanowią około 50% powierzchni kraju.

### Stan obecny wiedzy

Prace badawcze i publikacje dotyczące socjoekonomicznego wymiaru rozwoju sektora bioenergii są stosunkowo nieliczne. Głównie dotyczą prezentacji i oceny efektów wdrożenia w skali lokalnej inwestycji wykorzystujących biomasę do produkcji biopaliw ciekłych dla transportu bądź produkcji ciepła i energii elektrycznej. Wyróżniającym się opracowaniem jest studium Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA Bioenergy Task 29), które analizuje socjoekonomiczne przesłanki działające na rzecz implementacji projektów z zakresu bioenergii (Domac i in., 2005). Jest to opracowanie syntetyczne, które zawiera wnioski wynikające z analiz wielu pojedynczych przypadków. We wnioskach autorzy wskazują, że na poziomie makroekonomicznym wykorzystanie biomasy na cele energetyczne przekłada się na podniesienie bezpieczeństwa energetycznego poprzez ograniczenie importu paliw oraz możliwość wykorzystania lokalnie dostępnych zasobów. Konwencjonalne nośniki energii, jak węgiel, ropa naftowa i gaz, są bardzo wysoko kapitałochłonne. Tymczasem produkcja i wykorzystanie biomasy wymaga dużych nakładów pracy, co jest korzystne zarówno dla gospodarki narodowej, jak i lokalnej. Nowoczesne systemy energetyczne przyczyniają się ponadto do zwiększenia konkurencyjności w przemyśle oraz do eksportu technologii bioenergetycznych.

Na poziomie lokalnym najważniejsze jest podniesienie standardu życia odnoszące się do zwiększonych dochodów pieniężnych lub poziomu konsumpcji gospodarstw domowych. Poza stworzeniem bezpośrednich miejsc pracy, generowane jest zatrudnienie w sposób pośredni, np. poprzez stworzenie rolnikom alternatywnego rynku na produkty rolnicze, rozwój zakładów produkujących urządzenia i usługi na rzecz lokalnego systemu bioenergetycznego. Podniesienie lokalnych dochodów przekłada się zwykle na lepszy dostęp do edukacji i usług medycznych, rozwój infrastruktury, co także musi być brane pod uwagę w rachunku socjoekonomicznym.

Inne wyniki i wnioski zapisane w raportach IEA Bioenergy Task 29 wskazują między innymi na fakt, że systemy oparte na produkcji i wykorzystaniu upraw energetycznych generują większą liczbę miejsc pracy i wyższe

dochody niż systemy oparte na wykorzystaniu biomasy pochodzenia leśnego. Koszty zatrudnienia w systemach bioenergetycznych są niższe niż przeciętne koszty zatrudnienia w przemyśle. Liczba miejsc pracy związanych z obsługą systemu bioenergetycznego (elektrownia na biomasę) jest około cztery razy większa niż w przypadku elektrowni na paliwa konwencjonalne. W wymiarze skutków socjoekonomicznych projekty w małej skali są lepsze niż inwestycje wielkoskalowe.

Warte uwagi są także wyniki opublikowane przez EurObserv'ER (2010) w raporcie zatytułowanym „Stan energetyki odnawialnej w Europie”. Zawiera on dane na temat ilości miejsc powiązanych pośrednio i bezpośrednio z poszczególnymi gałęziami sektora OZE oraz roczne obroty finansowe. Największa ilość miejsc pracy, łącznie 280 tys. (na poziomie całej Unii Europejskiej), związana była w 2009 r. z energetycznym wykorzystaniem biomasy stałej. Odpowiada temu obrót na poziomie 26 mld EUR. Największe efekty socjoekonomiczne związane są z produkcją paliw w formie peletów oraz produkcją kotłów na biomasę. Beneficjentami są w szczególności małe i średnie przedsiębiorstwa oraz sektor leśny i rolniczy. Dzięki produkcji biopaliw płynnych utworzono 82,5 tys. miejsc pracy oraz uzyskano obrót na poziomie 11,9 mld EUR. Dla produkcji i wykorzystania biogazu odpowiednie wielkości to 40 tys. miejsc pracy oraz 4,4 mld EUR.

### Problemy badawcze i proponowane zadania badawcze

Krajowy rynek biomasy dla energetyki rozwija się bardzo dynamicznie. Elektroenergetyka zawodowa zużyła w 2010 roku około 4,5 mln ton biomasy i zapotrzebowanie tego sektora stale rośnie (Derski, 2011). Jednocześnie Krajowy Plan Działań (KPD) w Zakresie Energii Odnawialnej zakłada, że zużycie biomasy stałej poza sektorem elektroenergetyki zawodowej będzie miało miejsce głównie w sektorze ciepłownictwa, czyli w zakładach o znaczeniu lokalnym. Planuje się, że zapotrzebowanie na energię finalną z biomasy stałej w roku 2020 wyniesie 892,3 ktoe w elektroenergetyce zawodowej oraz 5405,9 ktoe (kiloton oleju ekwiwalentnego) w ciepłownictwie (Ministerstwo Gospodarki, 2010 a, b). Ponadto biomasa będzie wykorzystywana w dużym stopniu do produkcji biopaliw transportowych.

Wobec skali prognozowanego rozwoju sektora energetycznego wykorzystania biomasy dostrzega się potrzebę podjęcia badań nad różnorodnymi skutkami socjoekonomicznymi tej działalności w warunkach krajowych. W szczególności prace badawcze powinny dotyczyć:

- opracowania metodyki wyceny bezpośrednich i pośrednich efektów socjoekonomicznych związanych z wdrożeniem i funkcjonowaniem projektów bioenergetycznych,
- oszacowania niezbędnego poziomu subsydiów bądź zwolnień podatkowych niezbędnych do pobudzenia

- rozwoju sektora bioenergii, zwłaszcza nowych inwestycji na obszarach wiejskich (generacja rozproszona),
- modelowania krzywych podaży biomasy pochodzenia rolniczego na poziomie lokalnym, regionalnym i krajowym w oparciu o dane z reprezentatywnych gospodarstw rolnych,
  - badania efektu skali i jego wpływu na koszty i korzyści społeczne i ekonomiczne wynikające z systemów bioenergetycznych,
  - wskazania najbardziej efektywnych w warunkach krajowych łańcuchów logistycznych i technologii wytwarzania energii z biomasy rolniczej z punktu widzenia generowania korzyści dla społeczeństwa,
  - ocena skutków socjoekonomicznych realizacji celów Dyrektywy 2009/28/WE w Polsce według założeń KPD (wycena liczby nowo utworzonych miejsc pracy, wzrost wartości dodanej netto, koszt redukcji gazów cieplarnianych związany z wdrożeniem systemów opartych na wykorzystaniu biomasy itp.).

#### PODSUMOWANIE

Zdaniem autorów istnieje potrzeba prowadzenia badań interdyscyplinarnych w obszarze wykorzystania biomasy na cele energetyczne, przede wszystkim na styku rolnictwa i energetyki, a także ekonomii i nauk społecznych, tak aby całościowo podejmować badane zagadnienia i monitorować ich różnorodne skutki. Próbą wypełnienia tej luki może być program strategiczny stawiający jako główny cel racjonalne wykorzystanie biomasy do wytwarzania energii i paliw na obszarach wiejskich z poszanowaniem kryteriów zrównoważonego rozwoju. Cele cząstkowe zdefiniowane na tym etapie przez zespół autorów zawierają:

- poszukiwanie modelu rozwoju bioenergetyki na obszarach wiejskich, który zapewni poszanowanie dla priorytetowej funkcji rolnictwa jaką jest produkcja żywności, minimalizację obciążeń dla środowiska naturalnego oraz będzie stanowił impuls do rozwoju społeczno-gospodarczego obszarów wiejskich poprzez dywersyfikację źródeł dochodów rolników,
- opracowanie nowych technologii energetycznych bazujących na różnych zasobach biomasy dostępnych na obszarach wiejskich,
- monitorowanie skutków środowiskowych, ekonomicznych i społecznych rozwoju poszczególnych technologii energetycznego wykorzystania biomasy na obszarach wiejskich.

Realizacja celu strategicznego ma doprowadzić do wypracowania i rozwoju modelu tzw. rolnictwa energetycznego. Może on istotnie przyczynić się do realizacji nałóżonych na Polskę celów związanych ze zwiększeniem udziału energii ze źródeł odnawialnych i biopaliw. Jednocześnie oczekuje się znaczącej integracji krajowego środowiska naukowego z różnymi dziedzinami nauki.

#### PIŚMIENNICTWO

- Baliga R., Powers S.E., 2010.** Sustainable Algae Biodiesel Production in Cold Climates. *Internation. J. Chem. Engin.*, 2010: 1-13.
- Biernat K. (red.), 2008.** Narodowa Strategiczna Agenda Badawcza w Zakresie Biopaliw. Polska Platforma Technologiczna Biopaliw i Biokomponentów, Warszawa, 2008.
- Bruglieri M., Liberti L., 2008.** Optimal running and planning of a biomass-based energy production process. *Energy Policy*, 36: 2430-2438.
- Dal-Mas M., Giarola S., Zamboni A., Bezzo F., 2011.** Strategic design and investment capacity planning of the ethanol supply chain under price uncertainty. *Biomass Bioenergy*, 35: 2059-2071.
- Demirbas A., 2010.** Use of algae as biofuel sources. *Energy Convers. Manag.*, 51: 2738-2749.
- Derski B., 2011.** Wzrost zużycia biomasy. Raport CIRE, <http://www.cire.pl/zielonaenergia>
- Dębowski M. i in., 2011.** Wydajność produkcji biomasy glonowej w reaktorze otwartym. *Rocz. Ochr. Środ.*, 13: 1743-1752.
- Domac J., Richards K., Risovic S., 2005.** Socio-economic drivers in implementing bioenergy projects. *Biomass Bioenergy*, 28: 97-106.
- Dunnett A., Adjiman C.S., Shah N.A., 2008.** Spatially explicit whole system model of the lignocellulosic bioethanol supply chain: an assessment of decentralized processing potential. *Biotechnol. Biofuels*, 1: 13.
- EurObserv'ER, 2010.** The state of renewable energies in Europe. <http://www.eurobserv-er.org/pdf/barobilan10.pdf>
- Faber A., Pudelko R., Borzęcka-Walker M., 2008.** Zasoby biomasy oraz założenia jej logistyki dla Elektrowni Dolna Odra. Zastosowanie systemu informacji geograficznej do określenia zasobów biomasy oraz założeń logistyki dla elektrowni Dolna Odra, <http://ogrzewnictwo.pl/smietnik/zasoby-biomasy-oraz-zalozenia-jej-logistyki-dla-elektrowni-dolna-odra>
- Fugol M., Szlachta J., 2010.** Zasadność używania kisonki z kukurydzy i gnojowicy świńskiej do produkcji biogazu. *Inż. Rol.*, 1(119): 169-173.
- Grzybek A., Muzalewski A., 2010.** Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystywania biomasy. Inst. Energetyki, Warszawa.
- Kovacevic V., Wesseler J., 2010.** Cost-effectiveness analysis of algae energy production in the EU. *Energy Policy*, 38: 5749-5757.
- Kowalczyk-Juśko A., 2008.** Z biomasy i odpadów. *Kwartal. Ogólnopol.*, 2(24): 34-36.
- Ministerstwo Gospodarki, 2010a.** Krajowy Plan Działań w Zakresie Odnawialnych Źródeł Energii, Warszawa.
- Ministerstwo Gospodarki, 2010b.** Polityka energetyczna Polski do 2030 r. Warszawa.
- Parker N., Fan Y., Ogden J., 2009.** From waste to hydrogen: an optimal design of energy production and distribution network. *Transport Res.*, <http://www.mettrans.org/nuf/2007/documents/Parker.pdf>
- Patil V., Tran K.Q., Giselrød H.R., 2008.** Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *Int. J. Mol. Sci.*, 9: 1188-1195.
- Rentizelas A.A., Tolis A., Tatsiopoulos I.P., 2009.** Logistics issues of biomass: the storage problem and the multi-biomass supply chain. *Renew. Sustain. Energ. Rev.*, 12: 887-894.

- Schenk P.M., Thomas-Hall S.R., Stephens E., Marx U.C., Mussgnug J.H., Posten C., Kruse O., Hankamer B., 2008.** Second generation biofuels: High-efficiency microalgae for biodiesel production. *BioEnergy Res.*, 1: 20-43.
- Sokhansanj S., Kumar A., Turhollow A.F., 2006.** Development and implementation of integrated biomass supply analysis and logistics model (IBSAL). *Biomass Bioenergy*, 30: 838-847.
- Sylvain L., Dagmar S., Erik D., Erwin S., Michael O., 2008.** Optimal location of wood gasification plants for methanol production with heat recovery. *Int. J. Energ. Res.*, 32: 1080.
- Ugwu C.U., Aoyagi H., Uchiyama H., 2008.** Photobioreactors for mass cultivation of algae. *Biores. Tech.*, 99: 4021-4028.
- Yu G., Zhang Y., Schiedman L., Funk T. L., Wang Z., 2009.** Bio-Crude Oil Production from Microalgae through Hydrothermal Process. *Bioenergy Engineering Conference Seattle*, Washington, October 11-14, 2009.
- Zieliński M. i in., 2011.** Ocena wydajności produkcji biomasy glonowej w reaktorze rurowym przy wykorzystaniu jako pożywki odcieków z bioreaktora fermentacji metanowej. *Rocz. Ochr. Środ.*, 13: 1577-1589.

*M. Rogulska, A. Grzybek, J. Szlachta, J. Tys, E. Krasuska, K. Biernat, K. Bajdor*

INTERRELATIONS BETWEEN AGRICULTURE  
AND ENERGY SECTOR WITH RESPECT  
TO LOW-EMISSION ECONOMY IMPLEMENTATION  
IN POLAND

Summary

Bioenergy demand is driven by several factors such as policy documents (European and national), research and technology development as well as market. Several strategic reports indicate a huge potential of agriculture-based biomass resources, but real level of its utilization is not satisfying. A deep insight in this area is required. Multidisciplinary team of authors made an attempt to define several research topics established at the meeting point of agriculture and energy sector, which are recommended to be included in the strategic research programme in order to foster sustainable biomass use at the rural areas. The aims of research works are following: identifying new biomass sources for energy use, i.e. algae, by-products and waste from agricultural production and agriculture processing industries, development of sustainable bioenergy systems capable of satisfying increasing energy and feedstock demands (including chemical industry), development of optimal organizational and logistic models important for establishment of reliable biomass supplies for industry, and finally assessment of socioeconomic impacts of bioenergy systems on rural areas.

**key words:** alga, biorefinery, biogas, energy use of biomass, logistics, socioeconomics