

**MICHAŁ JASIULEWICZ**

Politechnika Koszalińska

**REGIONALNY POTENCJAŁ BIOMASY  
W ASPEKCIE ROZWOJU AGROENERGETYKI  
W POLSCE W PERSPEKTYWIE DO 2020 R.**

**Abstract: Regional Biomass Potential Consider in Agroenergetic Development in Poland in the Prospect to 2020 Year.** The biomass potential (TJ) was taken into account for the purpose of an assessment of the technical potential of biomass for the energy purpose: the biomass potential for the production of liquid biofuels (bioethanol, biodiesel) on the level of the National Indicator Goal for the year 2020 on the basis of agricultural tillage. An assessment was made of the potential of wood from forests as well as waste wood and end-of-life wood, all of which can be used in power engineering industry. The size of SRC cultivation plant. The digestion biogas potential from agriculture was assessed taking into consideration plant and animal wastes as well as sludge from sewage treatment plants and cultivation of maize. For this purpose, cogeneration systems (CHP or ORC) are best as then much a higher economic and energy efficiency is obtained. In future, these materials may constitute an important potential of the production of BtL (second generation). In the study, an analysis of the potential of energy biomass is presented per provinces, which should also be of a practical importance. Liquid biofuels in Poland include: bioethanol and biodiesel. In order to simplify the calculations, bioethanol production on the rye basis was accepted (it could be produced from: potatoes, white beet, red beet, maize corn as well). In accordance with the requirements of fulfilling the National Indicator Goal in the year 2020, the production of bioethanol is to be on the level 568,000 tons. Biodiesel (methyl esters) on the basis of rapeseed is produced. Poland needs to produce 821 thousand tons in 2020. The cultivation of rapeseed for biodiesel will constitute *ca.* 700 thousand ha. Most of solid biomass comes from: forests, wood wastes from woodworking industry, end-of-life wood wastes, wood from orchards, wood from the cutting of roadside trees and from the cultivation of plants (SRC). The estimation of the potential of agricultural digestion (biogas) is based on animal and plant wastes which currently exists in agriculture (liquid manure, excess of manure, plant wastes from agricultural crops, slaughter wastes, biodegradable sludge from municipal wastewater treatment plants) and biomass from cultivation maize. The number of 3,000 digestions plants in Poland in the year 2020 is accepted to be taken into account concerning the agricultural digestion potential. Taking into consideration the total potential of the production, *i.e.* liquid biofuels, solid biomass, fermentation biogas, chiefly from forests, agriculture, sewage treatment plants in the form of wastes, by-products and also the crops of energy plants, an estimation was prepared

of the potential (technical) of biomass; it was made per provinces. A multidimensional linear model was developed to describe the impact of independent variables (24 variables) on the biomass potential. As a result of such a procedure a five-dimensional model was finally obtained; four independent variables have a significant impact on the explanatory variable.

## Wstęp

Polska należy do krajów, w których w zależności od uwarunkowań regionalnych i lokalnych mogą być wykorzystane różne Odnawialne Źródła Energii (OZE). Jednak największe znaczenie przypisuje się istniejącemu potencjałowi biomasy, w tym głównie z rolnictwa. Ogromny potencjał biomasy stanowi drewno, pochodzące zarówno z odpadów leśnych, a także odpady z przemysłu drzewnego (meblarskiego, tartaczno-celulozowego), czy też odpady użytkowe z likwidowanych i corocznych prześwietleń sadów, z likwidowanych drzew przydrożnych, a także z plantacji wieloletnich (*Short Rotation Coppies*), takich jak: wierzba, topola, itp. Do tej pory większość odpadów drewna z lasów wykorzystywana jest w części gospodarstw domowych, do codziennego użytku jako opał, najczęściej o niskiej efektywności energetycznej i ekonomicznej. Możliwości wykorzystania drewna z lasów oraz wszelkich odpadów drewnianych – stanowią największy potencjał biomasy w Polsce. Należy jednak dokładnie przeanalizować możliwości optymalnego wykorzystania energetycznego drewna. Prezentowane opracowanie określa wielkość istniejącego potencjału drewna w Polsce według województw.

Wielki potencjał produkcji biomasy istnieje w rolnictwie polskim, które oprócz produkcji surowców konsumpcyjnych powinno w poważnym stopniu rozwijać się w zakresie agroenergetyki – tj. produkcji surowców do wykorzystania energetycznego i produkcji paliw płynnych w transporcie. Wykorzystanie rolnictwa jako źródła surowców energetycznych jest uzasadnione z wielu powodów, m.in.:

- występującej nadwyżki produkcyjnej w rolnictwie, którą można wykorzystać jako surowiec energetyczny – do produkcji paliw płynnych (bioetanolu, biodiesla), biogazu, a także istnieje duża szansa produkcji paliw stałych, zwłaszcza na plantacjach upraw np. wierzby, topoli, itp.;
- wykorzystania odpadów biomasy z przemysłu rolno-spożywczego;
- wykorzystania efektywnego wszystkich gruntów, w tym niskiej jakości (ONW) i odłogów;
- wykorzystania gruntów nadmiernie zanieczyszczonych w agroenergetyce;
- konieczności spełnienia Narodowego Celu Wskaźnikowego (NCW) i Dyrektyw UE;
- włączenia się do realizacji procesu przeciwdziałania ociepleniu klimatu (Protokół z Kioto);
- wdrażania zasad zrównoważonego rozwoju;
- poprawy bilansu energetycznego w handlu zagranicznym Polski;
- przyczynienia się do rozwoju energetyki rozproszonej i jej dywersyfikacji;
- przyczynienia się do poprawy dochodów rolniczych;

- rozwoju wielofunkcyjnego obszarów wiejskich.

Zatem rolnictwo może i powinno spełniać funkcję jako producent surowców żywnościowych, jak również producenta surowców energetycznych. Niezwykle ważne jest także korzystanie z dóbr przyrodniczych i ich zagospodarowanie, tak aby były zachowane zasady zrównoważonego rozwoju<sup>1</sup>.

Właściwe wykorzystanie istniejącego potencjału OZE wpłynie nie tylko na poprawę bezpieczeństwa energetycznego regionu, lecz także może w znacznym stopniu ograniczyć import surowców energetycznych. Wykorzystanie regionalnego potencjału biomasy przyczynia się istotnie do tworzenia lokalnych miejsc pracy, poprawy środowiska, poprawy dochodów ludności rolniczej oraz koniunktury gospodarczej. Proces zastępowania surowców kopalnych przez OZE, będzie niestety długim w czasie, wymagającym znacznych nakładów finansowych, a także wsparcia politycznego i gospodarczego. Ważną rolę odgrywa edukacja społeczeństwa. Działania, związane z wykorzystaniem energetycznym biomasy w pełni wpisują się w rozwój zrównoważony regionów. Służą poprawie poziomu dochodów rolniczych i innych działów gospodarki, zwłaszcza przez możliwość wykorzystania energetycznego biomasy i utylizacji odpadów, osadów ściekowych i produktów ubocznych z rolnictwa i przemysłu. Wiele aktów prawnych i opracowań strategicznych w Polsce, podkreśla konieczność wykorzystania potencjału biomasy w bioenergetyce, m.in.: *Prawo Energetyczne, Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, Krajowa Strategia Rozwoju Regionalnego 2010-2020*.

W opracowaniu dokonano oceny potencjału biomasy (technicznego) w zakresie produkcji biopaliw płynnych (bioetanolu, estrów metylowych), biomasy stałej – leśnej, odpadowej z rolnictwa, przemysłu, sadownictwa, wycinek przydrożnych, drewna użytkowego, plantacji roślin szybkiej rotacji upraw ligno-celulozowych (*Short Rotation Coppies – SRC*) oraz potencjału produkcji biogazu rolniczego – fermentacyjnego. Potencjał biomasy został określony dla całego kraju, a także w poszczególnych województwach. Przyjęto jako docelowy poziom – spełnienie Narodowego Celu Wskaźnikowego (NCW) oraz obligatoryjne Dyrektywy UE. Konieczny staje się rozwój rolnictwa, w którym obok produkcji surowców żywnościowych, jednocześnie będzie się rozwijać produkcja w zakresie agroenergetyki.

## 1. Uwarunkowania produkcji bioetanolu

Struktura wykorzystania surowców rolniczych do produkcji spirytusu etylowego (bioetanolu) zmieniała się w zależności od relacji cenowych takich surowców, jak ziemniaki, żyto, pszenica, pszenżyto, kukurydza, buraki cukrowe.

Surowców niezbędnych do procesu konwersji w paliwa energetyczne nie powinno w Polsce brakować. Ponadto, istnieje znaczna ilość surowców ubocznych w rolnictwie oraz odpadów z przemysłu spożywczego, możliwych do zagospodarowania.

<sup>1</sup> Ustawa (2001).

Brak popytu na spirytus spowodował ogromne ograniczenie produkcji i zamknięcie działalności wielu gorzelni. Zmiana sytuacji na rynku wniosła także zasadnicze zmiany w wykorzystaniu surowców rolnych do produkcji spirytusu, tj. przejście z podstawowego wcześniej surowca, jakim były ziemniaki, do wykorzystania głównie zbóż (obecnie gorzelnie produkują 80% spirytusu z żyta, a tylko 10% z ziemniaków). Szacowana produkcja spirytusu surowego w Polsce (2008 r.) to ok. 225 mln litrów. Jednocześnie należy zaznaczyć, że w procesie produkcyjnym powstaje ok. 2,5 mld litrów wywaru o wartości ok. 10% suchej masy<sup>2</sup>.

Na podkreślenie zasługuje też możliwość produkcji spirytusu surowego z buraków cukrowych, zwłaszcza jeżeli uwzględnimy konieczność limitowania produkcji cukru w Polsce w ramach kwot UE. Buraki cukrowe w polskich warunkach agrotechnicznych charakteryzują się największą wydajnością.

Struktura wykorzystania surowców rolniczych do produkcji spirytusu surowego zmieniała się w zależności od relacji cenowych.

Do tej pory w Polsce dominował cykl dwuetapowy produkcji bioetanolu, tj. pierwszy etap zwykle występował w gorzelniach, gdzie uzyskiwano spirytus surowy, i drugi etap – to proces odwadniania spirytusu surowego. Proces odwadniania w ostatnich latach został w Polsce bardzo unowocześniony (zastosowano sita molekularne, membrany), dzięki czemu zmniejszyła się energochłonność procesu, jednak cena zakupu spirytusu surowego pozostała na niskim poziomie, co spowodowało likwidację większości gorzelnii.

Obecnie w Polsce realizowane są nowoczesne inwestycje do produkcji bioetanolu i produkcja w tym zakresie w ostatnich latach istotnie wzrosła. Biorąc pod uwagę

Tabela 1

Ilość etanolu uzyskiwana z przeciętnego plonu wybranych roślin w Polsce w latach 2001-2005

Gatunek rośliny	Plony w t/ha	Cukier/skrobia w % s.m.	Uzysk etanolu <sup>a</sup> w l/t	Bioetanol <sup>b</sup>		Produkcja bioetanolu	
				l/t	kg/t	l/ha	kg/ha
Pszenica	3,80	59,5	380	342	270	1444	1141
Pszenżyto	3,22	56,5	360	324	256	1159	916
Żyto	2,44	54,5	350	315	249	854	675
Kukurydza	5,75	65,0	420	378	299	2415	1901
Ziemniaki	18,0	17,8	110	99	78	1980	1564
Buraki cukrowe	40,9	16,0	100	90	71	4090	3231

<sup>a</sup> – odwodniony etanol (0,79 kg/l);

<sup>b</sup> – surówka gorzelniana o zawartości 90% alkoholu;

s.m. – sucha masa

Źródło: Kuś *et al.* (2006), s. 203.

<sup>2</sup> Żmuda (2003).

Tabela 2

## Bilans bioetanolu w Polsce w latach 2006-2008

Wyszczególnienie	2006		2008	
	tony	TJ	tony	TJ
Pozyskanie	119 261	3 542	92 088	2 459
Import	2 232	66	113 376	3 029
Eksport	33 302	989	400	11
Zużycie krajowe do mieszania z benzyną	86 135	2 558	198 158	5 291

Źródło: GUS (2009), *Energia ze źródeł odnawialnych w 2008*, GUS (2009).

polskie uwarunkowania produkcji surowców, odpadów przemysłowych oraz instalacji przemysłowych – spełnienie dyrektyw UE w zakresie udziału bioetanolu w etylinie nie powinno stanowić żadnego problemu w Polsce (w 2010 – 5,75%; 2020 – 10,0%), a wręcz przeciwnie, Polska powinna stać się poważnym eksporterem tego produktu.

Dane zawarte w tab. 1 wskazują na duże możliwości produkcji bioetanolu, zwłaszcza z buraków cukrowych oraz kukurydzy, ale ważne są także możliwości produkcji na relatywnie wysokim poziomie na bazie ziemniaków i żyta, które to rośliny można uprawiać na terenie całej Polski, i to na glebach słabszych.

W ostatnich latach daje się zauważyć w Polsce znaczny wzrost zużycia bioetanolu (tab. 2).

Istotna jest także możliwość wykorzystania powierzchni gruntów z przeznaczeniem pod uprawy roślin do produkcji bioetanolu. Dla zaspokojenia potrzeb spełniających wymogi dyrektywy UE – zużycie bioetanolu w 2020 r. będzie na poziomie 806 tys. m<sup>3</sup> (568 tys. ton), a powierzchnia gruntów zajęta pod uprawy roślin do produkcji bioetanolu powinna wynosić maksymalnie w 2010 r. – ok. 480 tys. ha, a w 2020 r. – ok. 835 tys. ha<sup>3</sup>. Areal potrzebny do tego celu powinien wynosić, w zależności od jakości gleb, od 130 tys. ha gleb bardzo dobrych, obsiewanych burakami cukrowymi, do ponad 800 tys. ha gleb słabych, obsiewanych żytem. Należy do realizacji tego celu podejść w sposób praktyczny, tj. wykorzystywać przede wszystkim ziarno gorszej jakości, z zastosowaniem najnowszych technologii – dających wyższe plony, niekoniecznie spełniające wymogi konsumpcyjne<sup>4</sup>.

W związku ze wzrostem plonów i produkcji, przeznaczenie do tego celu w 2010 r. ok. 500 tys. ha, a w 2020 r. – ok. 800 tys. ha nie powinno stanowić żadnego problemu, bez narażania zachowania bezpiecznej wielkości produkcji konsumpcyjnej. Duże nadzieje można wiązać z przerobem buraków cukrowych na bioetanol, zwłaszcza wykorzystując wprowadzone przez UE rekompensaty finansowe z tytułu ograniczenia

<sup>3</sup> *Ibidem*, s. 5-9.

<sup>4</sup> Por. Kupczyk (2005), s. 8-9 oraz Jasiulewicz (2010), s. 483.

Tabela 3

## Potencjał produkcji bioetanolu w Polsce w 2010 i 2020 r.

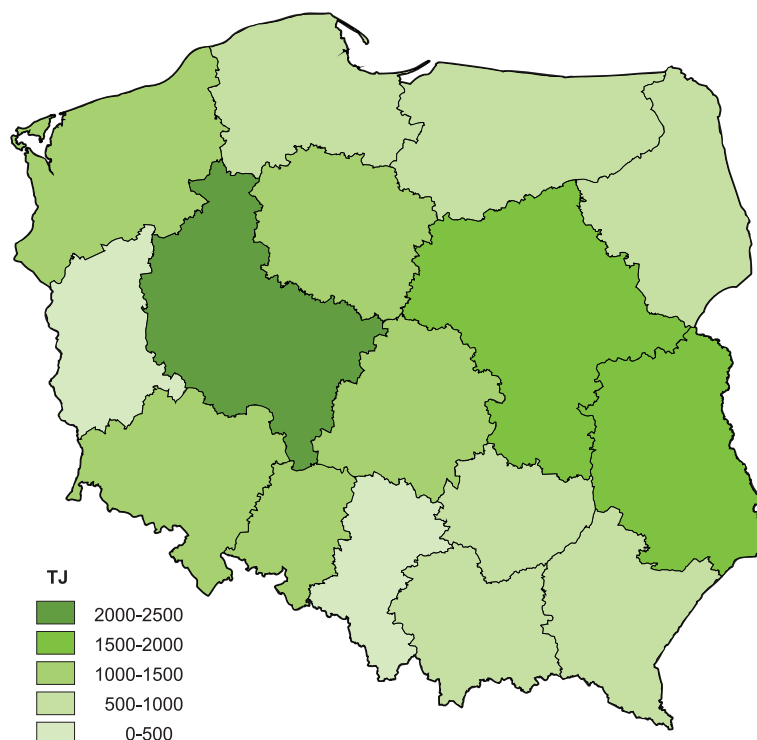
Wyszczególnienie	Pow. uprawy żyta na bioetanol tys. ha		Zbiór żyta na prod. bioetanolu tys. ton		Produkcja bioetanolu tys. ton		Potencjał produkcji bioetanolu TJ	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
1. Dolnośląskie	31,2	54,3	99,9	173,7	29,3	45,4	870	1 348
2. Kujawsko-Pomorskie	39,3	68,5	103,7	180,2	30,4	47,1	902	1 399
3. Lubelskie	53,8	93,5	142,4	247,5	41,7	64,8	1238	1 924
4. Lubuskie	14,9	25,9	30,0	52,1	8,8	13,6	261	404
5. Łódzkie	36,0	62,6	81,2	141,1	23,8	36,9	707	1 096
6. Małopolskie	14,9	25,9	39,9	69,5	11,7	18,2	347	540
7. Mazowieckie	55,2	96,0	121,2	210,6	35,5	55,1	1054	1 636
8. Opolskie	20,6	35,9	83,7	145,5	24,5	38,1	728	1 131
9. Podkarpackie	16,8	29,2	43,7	75,9	12,8	19,9	380	591
10. Podlaskie	21,6	37,6	46,2	80,3	13,5	21,0	401	624
11. Pomorskie	24,5	42,6	66,2	115,1	19,4	30,1	576	894
12. Śląskie	12,5	21,7	36,2	63,0	10,6	16,5	315	490
13. Świętokrzyskie	16,8	29,2	42,5	73,8	12,5	19,3	371	573
14. Warmińsko-Mazurskie	24,5	42,6	69,9	121,6	20,5	31,8	609	944
15. Wielkopolskie	64,3	111,9	157,4	273,5	46,1	71,6	1369	2 126
16. Zachodniopomorskie	33,1	57,6	84,9	147,6	24,9	38,6	739	1 146
<b>Polska</b>	<b>480,0</b>	<b>835,0</b>	<b>1 249,0</b>	<b>2 171,0</b>	<b>366,0</b>	<b>568,0</b>	<b>10867</b>	<b>16 866</b>

Źródło: *Energia ze źródeł odnawialnych*, GUS (2006, 2007, 2008). Obliczenia własne.

produkcji cukru. Według ostatnich danych MRiRW (2008 r.), na zaspokojenie potrzeb Narodowego Celu Wskaźnikowego w zakresie bioetanolu w 2020 r. trzeba wyprodukować 805,75 tys. m<sup>3</sup>, co wymaga zasiewu zbożem powierzchni ok. 500 tys. ha średnich klas gruntów i uzyskania produkcji zbóż na poziomie ok. 1,9 mln ton<sup>5</sup>.

Potencjał produkcji bioetanolu w Polsce przedstawia tab. 3. Dla uproszczenia przyjęto produkcję bioetanolu wyłącznie z żyta. Wielkość produkcji przyjęto według Narodowego Celu Wskaźnikowego dla Polski w 2010 r. i 2020 r., a udział poszczególnych województw w powierzchni upraw przyjęto uwzględniając obecną strukturę zasiewów (GUS 2008) zbóż. Również wielkość zbiorów żyta w 2010 i 2020 r. określono według obecnej (2008) struktury zbiorów w Polsce, przyjmując docelową produkcję żyta w skali kraju, tj. 1249 tys. t w 2010 r. i 2171 tys. t w 2020 r. Uzyskane wielkości produkcji żyta do celów energetycznych zostały przeliczone na odpowiednią produkcję bioetanolu – zarówno w tys. ton, jak i w TJ (teradžulach).

<sup>5</sup> Żmuda (2008).



Ryc. 1. Potencjał upraw energetycznych do produkcji bioetanolu w województwach Polski  
 Źródło: Opracowanie własne (ryc.1-5).

Przeprowadzona analiza wskazuje (ryc. 1), że najwyższy potencjał biomasy do produkcji bioetanolu istnieje w woj. wielkopolskim i lubelskim, do obszarów o wysokim potencjale należy także zaliczyć woj. kujawsko-pomorskie, dolnośląskie oraz mazowieckie. Najniższy potencjał biomasy do produkcji bioetanolu istnieje w południowej Polsce – woj. podkarpackie, małopolskie, śląskie, świętokrzyskie, a także na zachodzie – w woj. lubuskim.

## 2. Estry metylowe oleju rzepakowego – biodiesel

Możliwości produkcji surowców niezbędnych do wytwarzania estrów metylowych oleju rzepakowego (biodiesla) w Polsce są wystarczające do spełnienia wymogów UE, tak pod względem powierzchni upraw, jak i wielkości produkcji rzepaku.

Do spełnienia wymogów dyrektywy UE 2003/30/WE w zakresie produkcji estrów metylowych, tj. uzyskania udziału biokomponentów w 2010 r. na poziomie 5,75%, a w 2020 r. – 10%, należy w Polsce zwiększyć powierzchnię uprawy rzepaku z obecnych 797 tys. ha (2007) do 975 tys. ha w 2010 r. i ok. 1,1 mln ha w 2020 r.



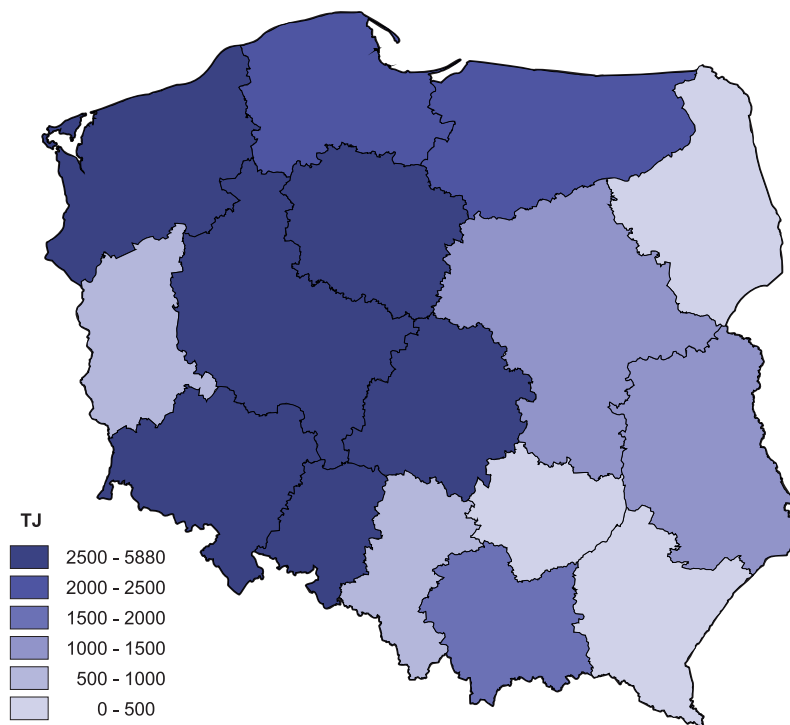
Produkcja rzepaku powinna ulec zwiększeniu z 2130 tys. ton (2007) do 2730 tys. ton (2020), z czego na konsumpcję przeznaczony się ok. 1,3 mln ton (obecnie zużywa się na cele konsumpcyjne ok. 1,0 mln ton).

Już w 2010 r. istnieje obowiązek zużycia biokomponentów na poziomie 5,75% wartości energetycznej paliwa, tj. zastąpienia estrami 6,1% ww. ogólnej ilości oleju napędowego wprowadzonego do obrotu, co oznacza, że produkcja estrów powinna kształtować się na poziomie ok. 370 mln l, dla zabezpieczenia potrzeb krajowych.

Przy zagospodarowaniu przemysłowym rzepaku do produkcji estrów metylowych istnieje możliwość wykorzystania na dużą skalę produktów ubocznych, tj. tłuszczu, śruty i makuchów, do produkcji pelet lub w postaci dodatków do pasz treściwych. Z jednej tony ziarna rzepakowego można otrzymać ok. 0,6 t peletów i 0,4 t oleju rzepakowego.

Duże znaczenie będzie miało szybkie wprowadzenie technologii produkcji paliw II generacji – bardziej efektywnej i gwarantującej wysoką jakość paliwa (BtL – Biomass to Liquid), zwłaszcza przy wykorzystaniu biomasy ligno-celulozowej.

Zestawienie powierzchni upraw z przeznaczeniem na produkcję biopaliw płynnych zawiera tab. 4. W poprzednich kilkunastu latach uprawa rzepaku prowadzona była głównie do celów spożywczych.



Ryc. 2. Potencjał upraw rzepaku do produkcji estrów metylowych (biodiesla) w województwach Polski



Pod względem obszaru koncentracji uprawy rzepaku zdecydowanie dominują tereny zachodniej i północnej Polski (ryc. 2), gdzie rzepak zajmuje 12-19% powierzchni zasiewów. Określając potencjalną powierzchnię uprawy rzepaku, należy uwzględnić jednocześnie kilka czynników, takich jak: żyzność gleby, wymarzenie roślin, struktura agrarna, udział rzepaku w strukturze upraw<sup>6</sup>. Zasadniczo w Polsce gleby bardzo dobre i dobre, które w pełni nadają się do uprawy rzepaku, stanowią ok. 50% ogólnego zasobu gruntów ornych.

Gleby słabe i bardzo słabe (V i VI klasa bonitacyjna), których jest ok. 5 mln ha (30%) – należy traktować za nieodpowiednie do uprawy rzepaku, gdyż plony są niskie, bardzo zmienne, a zasiewy są ryzykowne. Przy wysokiej kulturze rolnej

Tabela 4

Powierzchnia upraw z przeznaczeniem na produkcję biopaliw płynnych w Polsce w okresie 2004-2020

Wyszczególnienie	Jedn.	Założony poziom produkcji i powierzchni upraw							Wariant max
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010 <sup>a</sup>	
Pow. upraw rzepaku energet.	tys. ha	97	142	181	219	262	305	354	708
Średnie plony	dt	2,7	2,7	2,8	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Zbiór na produkcję biodiesla	tys. ton	252	383	489	613	760	896	1027	2053
Produkcja estrów	tys. ton	101	153	196	245	304	358	411	821
Pow. upraw żyta na bioetanol	tys. ha	362	385	391	413	426	451	480	835
Średnie plony	t/ha	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6
Zbiór żyta na produkcję bioetanolu	tys. ton	869	923	977	1031	1107	1173	1249	2171
Produkcja bioetanolu	tys. m <sup>3</sup>	263	280	296	313	336	355	378	658
Pow. upraw – biokomponenty do paliw płynnych	tys. ha	459	527	572	632	688	756	834	1543
Szacunkowa powierzchnia energet. upraw – energia odnawialna	tys. ha	2	5	10	20	30	40	50	100
Ogółem pow. upraw z przeznaczeniem na energię odnawialną	tys. ha	461	532	582	652	718	796	884	1643

Źródło: Żmuda (2003).

<sup>6</sup> Kuś *et al.* (2006), s. 208.

możliwa jest także uprawa rzepaku na glebach słabszych, lecz ryzyko produkcyjne wzrasta. Zdecydowanie największy udział w zasiewach rzepaku mają gospodarstwa duże wielkoobszarowe, o powierzchni powyżej 100 ha. W 2002 r. udział gospodarstw rolnych powyżej 50 ha w krajowej powierzchni zasiewów rzepaku przekraczał 70%<sup>7</sup>.

Poważną barierą w uprawie rzepaku jest rozdrobnienie gospodarstw, w których trudno zapewnić właściwą technologię produkcji, co powoduje w efekcie uzyskanie niskich plonów, a także niewielką opłacalność. W gospodarstwach wielkoobszarowych, w których udział zasiewów zbóż jest duży – uprawa rzepaku jest wskazana, gdyż stanowi on dobry płodozmian i przedplon dla zbóż. Biorąc pod uwagę wymagania płodozmianowe rzepaku, można przyjąć, że jego udział w strukturze zasiewów w gospodarstwie nie powinien przekraczać 20%, tj. co 4 lata można nim obsiewać ten sam areał<sup>8</sup>.

Prowadzenie uprawy rzepaku na dużym areale przyczynia się do rozwoju chorób i szkodników, a także wzrostu zachwaszczenia. Przyjmując te ograniczenia, potencjalny areał uprawy rzepaku w Polsce można szacować na 1,0-1,1 mln ha. Przy takim założeniu można obsiać w kraju ok. 13% gleb bardzo dobrych i dobrych, a przy włączeniu gleb średniej jakości stanowiłoby to ok. 10% powierzchni tej grupy gleb. Należałoby zatem zintensyfikować uprawę rzepaku również w tych regionach Polski, które mają dobre warunki siedliskowe (agroklimatyczne), ale niekorzystna obecnie struktura agrarna stanowi ważną barierę rozwoju. Można przewidywać, że wpływ WPR i jej instrumentów będzie skutecznie wpływać na poprawę struktury agrarnej, chociaż nie należy oczekiwać, że będą to szybkie zmiany. W najbliższych latach wzrost udziału rzepaku w powierzchni zasiewów będzie raczej następował w dotychczasowych regionach jego koncentracji, tzn. w północno-zachodniej Polsce. Uprawa rzepaku może być także prowadzona częściowo na obszarach obecnych zasiewów pszenicy i buraków cukrowych. Dla spełnienia Narodowego Celu Wskaźnikowego w zakresie biopaliw płynnych – w 2020 r. powinniśmy przeznaczyć ok. 708 tys. ha pod uprawę rzepaku (produkcja 821 tys. t) oraz ok. 835 tys. ha pod zasiewy żyta – z przeznaczeniem na produkcję bioetanolu (produkcja 658 tys. m<sup>3</sup>). Dla zabezpieczenia produkcji biopaliw płynnych, tj. bioetanolu i estrów, zgodnie z NCW w 2020 r. (10% wartości energetycznej), wystarczy powierzchnia uprawy ok. 1,5 mln ha. Należy także wziąć pod uwagę możliwość stosowania najnowszych technologii i uzyskania znacznie wyższych plonów, nawet na poziomie 4,0-8,0 ton/ha<sup>9</sup>.

Produkcja estrów w ostatnich latach w Polsce rosła dość szybko, jeszcze w 2006 r. wyeksportowano aż 51 tys. ton z wyprodukowanych 89 tys. ton, natomiast w 2008 r. już 94 tys. ton importowano do Polski (tab. 5), przy braku eksportu.

Należy jednakże podkreślić, że w ostatnich latach bardzo dynamicznie wzrosła zarówno produkcja rzepaku w Polsce, jak też produkcja estrów.

<sup>7</sup> Rosiak (2006), s. 36.

<sup>8</sup> Kuś *et al.* (2006) s. 200.

<sup>9</sup> Pilarski (2008).

Tabela 5

## Bilans biodiesla w Polsce w latach 2006-2008

Wyszczególnienie	2006		2008	
	tony	TJ	tony	TJ
Pozyskanie	89 126	3 423	263 729	9 943
Import	142	5	94 094	3 547
Eksport	51 528	1 979	-	-
Zużycie krajowe ogółem	39 022	1 498	350 415	13 211
w tym: do mieszania z olejem napędowym	32 516	1 249	344 451	12 986
w tym: końcowe (finalne) w transporcie	6 506	249	5 964	225

Źródło: *Energia ze źródeł odnawialnych w 2008 r.* GUS (2009).

Tabela 6

## Potencjał produkcji estrów metylowych w Polsce w 2010 i 2020 r.

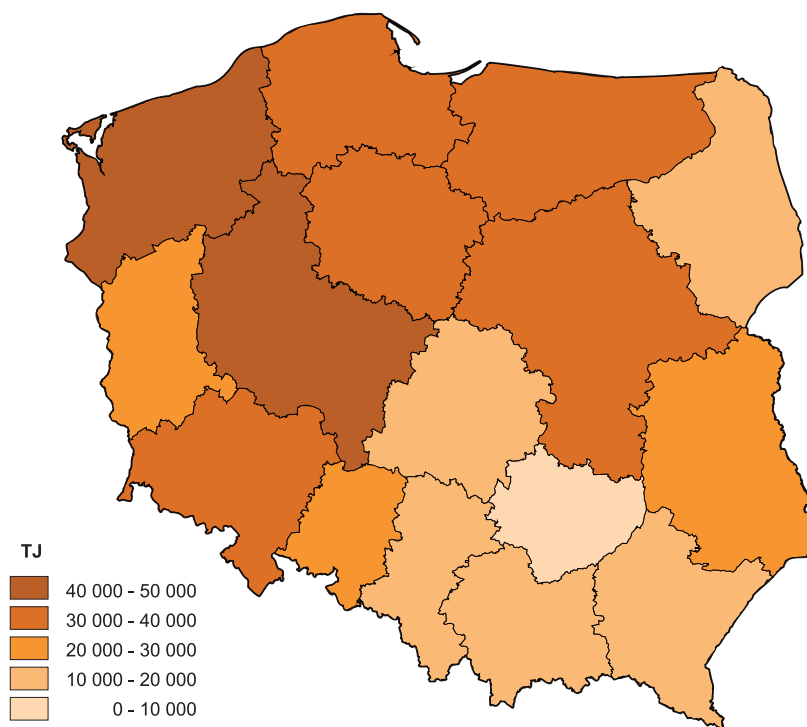
Wyszczególnienie	Pow. upraw rzepaku energ. tys. ha		Zbiór rzepaku na prod. biodiesla tys. ton		Produkcja estrów met. tys. ton		Potencjał produkcji biodiesla TJ		Potencjał produkcji biopaliw TJ (bioetanol+ biodiesel)	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020	2010	2020
1. Dolnośląskie	51,7	103,4	145,8	291,5	58,4	116,6	220	4 396	2 984	5 608
2. Kujawsko-Pomorskie	48,5	97,0	149,9	299,7	60,0	119,9	220	4 520	3 073	5 778
3. Lubelskie	19,8	39,6	43,1	86,2	17,3	34,5	652	1 302	1 764	3 032
4. Lubuskie	12,0	24,1	32,9	65,7	13,1	26,2	494	987	729	1 350
5. Łódzkie	7,1	14,2	19,5	39,0	7,8	15,6	294	5 880	929	1 574
6. Małopolskie	2,1	4,2	6,2	12,3	2,5	4,9	94	1 850	406	671
7. Mazowieckie	13,1	26,2	38,0	76,0	15,2	30,4	573	1 146	1 520	2 617
8. Opolskie	34,0	68,0	106,8	213,5	42,7	85,4	1 610	3 220	2 264	4 237
9. Podkarpackie	5,3	10,6	13,4	26,7	5,3	10,7	200	403	542	934
10. Podlaskie	1,8	3,5	4,1	8,2	1,6	3,3	60	124	420	685
11. Pomorskie	23,7	47,4	77,0	154,0	30,8	61,6	1 161	2 322	1 679	3 126
12. Śląskie	8,5	17,0	23,6	47,2	9,5	18,9	358	713	641	1 154
13. Świętokrzyskie	2,8	5,7	7,2	14,4	2,9	5,7	109	215	443	730
14. Warmińsko-Mazurskie	26,6	53,1	70,9	141,7	28,4	56,6	1 070	2 134	1 616	2 983
15. Wielkopolskie	51,7	103,4	157,1	314,1	62,9	125,6	2 372	4 735	3 601	6 647
16. Zachodniopomorskie	45,3	90,6	131,5	262,8	52,6	105,1	1 982	3 962	2 647	4 993
<b>Polska</b>	<b>354,0</b>	<b>708,0</b>	<b>1027,0</b>	<b>2 053,0</b>	<b>411,0</b>	<b>821,0</b>	<b>15 495</b>	<b>30 952</b>	<b>25 258</b>	<b>46 119</b>

Źródło: Obliczenia własne.

Potencjał produkcji estrów metylowych na bazie rzepaku jest w Polsce duży (tab. 6), ale też zróżnicowany przestrzennie (por. ryc. 2). Wielkość potencjału produkcji biodiesla określono analogicznie, jak potencjał produkcji bioetanolu, tj. przyjęto NCW dla Polski w 2020 r. i uwzględniając obecny udział w zasiewach i zbiorach rzepaku poszczególnych województw, określono wielkość produkcji rzepaku do celów energetycznych, a na tej podstawie – wielkość produkcji estrów metylowych i po uwzględnieniu wartości energetycznej uzyskano wielkość produkcji biodiesla w TJ.

Jak wynika z zestawienia danych zawartych w tab. 6, jak również na ryc. 2 – najwyższym potencjałem w tym zakresie cechują się województwa: wielkopolskie, zachodniopomorskie, kujawsko-pomorskie i opolskie. Wysoki potencjał istnieje także w woj. pomorskim i warmińsko-mazurskim. Najniższy natomiast potencjał w zakresie produkcji biodiesla cechuje województwa południowo-wschodniej Polski: świętokrzyskie, małopolskie i podkarpackie oraz położone w części północno-wschodniej – podlaskie.

Po zestawieniu wielkości potencjału produkcji biopaliw płynnych, tj. bioetanolu i biodiesla (tab. 6) uzyskujemy łączny potencjał produkcji biopaliw płynnych w 2010 i 2020 r. Jak wynika z ryc. 3 najwyższym potencjałem w 2020 r. będą cechować się województwa: wielkopolskie, kujawsko-pomorskie i dolnośląskie, a także wysokim potencjałem dysponuje woj. zachodniopomorskie i opolskie. Najniższy natomiast po-



Ryc. 3. Ogólny potencjał biomasy stałej w województwach Polski

tencjał charakteryzuje obszar południowo-wschodniej Polski – woj. świętokrzyskie, małopolskie, podkarpackie oraz w północno-wschodniej Polsce – woj. podlaskie.

Bardzo istotną sprawą jest możliwość zaspokojenia potrzeb rolnictwa w zakresie biodiesla. Polski rolnik na uprawę 1 ha gruntów ornych zużywa przeciętnie 120 l oleju napędowego/rok. Średnie gospodarstwo o powierzchni 20 ha rocznie potrzebuje ok. 7,7 tony rzepaku, aby być samowystarczalnym w zakresie potrzeb zaopatrzenia w paliwo<sup>10</sup>.

Duże znaczenie w przyszłości będą odgrywać niewątpliwie paliwa drugiej generacji – o wyższej jakości i możliwości wykorzystania, jako surowca różnych odpadów roślinnych i lignocelulozowych, np.: wierzby, zrębków drzewnych, traw.

### **3. Potencjał biomasy stałej z odpadów, produktów ubocznych, niewykorzystanych pozostałości w rolnictwie**

Za największy niewykorzystany potencjał energetyczny w rolnictwie polskim uważa się potencjał słomy ze zbóż oraz rzepaku. Zasiewy zbóż wynoszące w 2007 r., – 8,35 mln ha (72,9% ogólnej powierzchni zasiewów) są najważniejszym rodzajem upraw roślinnych, dostarczających słomę. Ważną pozycję zajmuje także słoma rzepakowa, gdyż zasiewy rzepaku w Polsce zdecydowanie wzrosły i w 2007 r. wynosiły 797 tys. ha (7,0% powierzchni zasiewów). Wykorzystanie słomy rzepakowej jest nieco trudniejszym problemem w ocenie potencjału, ze względu na trudności ze zbiorem, a także mniej korzystne właściwości przy spalaniu. Inne rośliny dostarczające słomę (np. strączkowe), ze względu na niewielki udział w zasiewach, nie odgrywają poważnej roli.

Ilość słomy, jaką należy pozostawić na polu w celu użyczenia gleby, zależy od wielu czynników, takich jak: warunki klimatyczne, rodzaj gleby, stosowany płodozmian, ilość i rodzaj stosowanych nawozów organicznych.

Podstawowe czynniki wpływu można przedstawić w regionalnym bilansie próchnicy (Gradziuk *et al.* 2003)<sup>11</sup>. Jeżeli wynik bilansowy jest dodatni, to nie jest konieczne zachowanie odpowiedniej ilości słomy do utrzymania prawidłowego poziomu próchnicy i można całość zebranej słomy przeznaczyć do innych celów. Jeżeli bilans jest ujemny, to należy, w zależności od poziomu salda, pozostawić odpowiednią ilość słomy na polach.

Uwzględniając pewne rozbieżności wśród ocen można przyjąć, że w Polsce należy łącznie na polach pozostawić ok. 4 mln t słomy w celu poprawy poziomu próchnicy<sup>12</sup>.

Całkowite zapotrzebowanie w Polsce na słomę wykorzystywaną na ściółkę oraz paszę wynosi ok. 15 mln t/rok<sup>13</sup>. Trzeba też uwzględnić to, że na ściółkę prze-

<sup>10</sup> *Ibidem*, s. 7.

<sup>11</sup> Gradziuk *et al.* (2003) oraz Kuś *et al.* (2006), s. 218.

<sup>12</sup> Kuś *et al.* (2006), s. 220.

<sup>13</sup> *Ibidem*, s. 221.

znaczana jest słoma pszeniczna – najbardziej wartościowa energetycznie. Ponadto, słomę stosuje się także w ogrodnictwie przy produkcji pieczarek.

Obliczony bilans słomy uwzględniający jej produkcję (zbiory) oraz rozdysponowanie na ściólkę, paszę i przyoranie wskazuje, że w skali kraju występują nadwyżki bilansowe ok. 7,9 mln ton, które mogą być przeznaczone na cele energetyczne (tab. 7).

Warto zwrócić uwagę na duże zróżnicowanie regionalne powstających nadwyżek słomy, która może być wykorzystana w energetyce. Istnieją także wahania w zakresie produkcji zbóż oraz słomy w poszczególnych latach, uzależnione głównie od warunków klimatycznych.

Na obszarach, gdzie dominuje rozdrobniona struktura agrarna, zbiór słomy do celów energetycznych, ze względu na koszty zbioru i transport, może okazać się nieopłacalny. Dlatego też największe ilości słomy do celów energetyki mogą być przeznaczone przede wszystkim w województwach o dominacji dużych gospodarstw (np. w zachodniopomorskim). Jest to tym bardziej uzasadnione, że w strukturze zasiewów tych województw, udział zbóż oraz rzepaku jest bardzo wysoki, a obsada zwierząt –

Tabela 7

Bilans słomy w województwach w okresie 2002-2005 (średnio w tys. ton)

Województwo	Zbiór słomy	Zużycie słomy na:				Saldo	
		ściólkę	paszę	przyoranie	razem	niedobór	nadwyżka
Dolnośląskie	2 382	323	99	1 342	1 764	0	618
Kujawsko-Pomorskie	2 280	1 047	294	0	1 341	0	939
Lubelskie	2 429	916	325	268	1 509	0	920
Lubuskie	674	181	52	232	465	0	209
Łódzkie	1 664	961	324	0	1 285	0	379
Małopolskie	770	564	223	0	787	-17	0
Mazowieckie	2 739	1 808	695	0	2 503	0	236
Opolskie	1 613	346	91	436	873	0	740
Podkarpackie	806	392	152	3	547	0	259
Podlaskie	1 268	1 160	507	0	1 667	-399	0
Pomorskie	1 402	519	141	0	660	0	742
Śląskie	773	332	109	0	441	0	332
Świętokrzyskie	713	399	154	0	553	0	160
Warmińsko-Mazurskie	1 463	750	291	0	1 041	0	422
Wielkopolskie	3 909	2 061	519	0	2 580	0	1 329
Zachodniopomorskie	1 767	321	83	757	1 161	0	606
<b>Polska</b>	<b>26 652</b>	<b>12 080</b>	<b>4 059</b>	<b>3 038</b>	<b>19 177</b>	<b>-416</b>	<b>7 891</b>

Źródło: Kuś *et al.* (2006a), s. 221.

bardzo mała. Zbiór słomy z większego areалу do celów energetycznych jest znacznie tańszy<sup>14</sup>, w przeliczeniu na 1 tonę słomy.

Ujemne saldo słomy występujące w woj. małopolskim, a także podlaskim, powoduje konieczność pokrycia zapotrzebowania na słomę z województw ościennych, tj. śląskiego i mazowieckiego, których potencjał zostanie pomniejszony o tę wielkość.

### 3.1. Siano z nieużytkowanych łąk i pastwisk

Ze względu na znaczne ograniczenie pogłowia bydła oraz owiec, a także zmiany systemu żywienia zwierząt – znaczna część łąk i pastwisk jest nieużyteczna.

Zwłaszcza na obszarach o dużym ubytku pogłowia owiec i bydła, nadmiar nieskoszonych łąk stanowi duży potencjał biomasy. Szacuje się, że ok. 10% obszarów łąk i pastwisk (*Ekspertyza 2008*) nie jest wykorzystywanych w chowie zwierząt (ok. 350 tys. ha).

Tabela 8

Potencjał energetyczny siana z nieużytkowanych łąk i pastwisk

Województwo	Powierzchnia łąk i pastwisk w tys. ha	Do energetycznego wykorzystania		Potencjał energetyczny w TJ/rok
		powierzchnia w tys. ha	zbiory w tys. ton	
1. Dolnośląskie	152,0	7,6	30,4	425
2. Kujawsko-Pomorskie	102,0	5,1	20,4	285
3. Lubelskie	161,5	8,0	32,0	448
4. Lubuskie	206,4	10,3	41,2	577
5. Łódzkie	161,9	8,1	32,4	454
6. Małopolskie	329,6	16,5	66,0	924
7. Mazowieckie	245,3	12,2	48,8	683
8. Opolskie	96,4	4,8	19,2	269
9. Podkarpackie	316,1	15,8	63,2	885
10. Podlaskie	350,2	17,5	70,0	980
11. Pomorskie	159,7	8,0	32,0	448
12. Śląskie	231,3	11,6	46,4	650
13. Świętokrzyskie	207,1	10,4	41,6	582
14. Warmińsko-Mazurskie	280,4	14,0	56,0	784
15. Wielkopolskie	134,3	6,7	26,8	375
16. Zachodniopomorskie	138,0	6,8	27,2	381
<b>Polska</b>	<b>3 271,2</b>	<b>163,4</b>	<b>653,6</b>	<b>9 150</b>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS oraz IBMER, 2008.

<sup>14</sup> Kuś *et al.* (2006a), s. 224.



Uwzględniając plon siana ok. 4 t/ha, można przyjąć, że możliwość zebrania siana z powierzchni 350 tys. ha wyniesie ok. 1,4 mln ton. Siano to można przerobić zarówno na paliwo stałe w procesie spalania, jak również w instalacjach biogazowni fermentacyjnych na biogaz. Jeżeli przyjmujemy, że 50% tej biomasy wykorzystane zostanie jako paliwo stałe w procesie spalania, to potencjał energetyczny wyniesie ok. 10 PJ/rok (przy średniej wartości opałowej 14 MJ/ suchej masy siana (tab. 8).

Według danych *Ekspertyzy* IBMER 2008, możliwości pozyskania biomasy z trwałych użytków zielonych na cele energetyczne, po zabezpieczeniu potrzeb paszowych stanowią łącznie 2,2-3,4 mln t/rok, co umożliwia produkcję biogazu w biogazowniach na poziomie 1,1 – 1,7 mld m<sup>3</sup>.

Uwzględniając produkcję roślinną i zwierzęcą, jak również pozostające odpady i produkty uboczne, stanowiące biomasę w postaci surowca energetycznego – potencjał rolnictwa polskiego w tym zakresie należy uważać za duży i do tej pory wykorzystywany w znikomym stopniu. Konieczność spełnienia Dyrektywy UE – RES 2009/28/EC – wymusza podjęcie działań związanych z wykorzystaniem energii odnawialnej z biomasy rolniczej, a zwłaszcza użytkowania odpadów i ubocznych produktów z rolnictwa i przetwórstwa rolno-spożywczego oraz pozostałej biomasy.

Niezwykle ważną sprawą jest inwestowanie w najnowsze technologie związane z OZE, w tym wykorzystania energii skojarzonej, oraz prowadzenie prac naukowo-badawczych i wdrożeniowych, dotyczących produkcji biopaliw płynnych II i III generacji. Wykorzystując potencjał w tym zakresie Polska może stać się krajem, w którym energia i produkty uzyskiwane z biomasy będą poważnym towarem eksportowym.

### 3.2. Uprawy roślin energetycznych

Możliwość prowadzenia upraw energetycznych w dużym stopniu zależy od struktury rolnictwa i właściwego wykorzystania gruntów w celu zabezpieczenia żywnościowego ludności kraju. Polski potencjał produkcyjny rolnictwa i jego struktura w pełni pozwalają na stworzenie bezpieczeństwa żywnościowego. Udział użytków rolnych (%) według województw stwarza możliwość takiego bezpieczeństwa prawie we wszystkich regionach. Należy tylko wykorzystać właściwie istniejący potencjał, a znaczny potencjał gruntów można przeznaczyć na rozwój bioenergetyki.

Pod pojęciem *roślin energetycznych* należy rozumieć zarówno jednoroczne, jak też wieloletnie uprawy roślin na użytkach rolnych z przeznaczeniem wyłącznie do celów energetycznych. Biomasa roślinna może stanowić surowiec, jako paliwo stałe lub też substrat do produkcji biogazu, czy też może służyć jako ekstrakt do produkcji paliw płynnych. Relacja możliwości zabezpieczenia produkcji żywnościowej Polski i przeznaczenia gruntów pod uprawy energetyczne została przedstawiona w poprzednich opracowaniach autora<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Jasiulewicz (2009), s.159-161 oraz Jasiulewicz (2010), s. 484 .

Ważnym aspektem jest też uwzględnienie gruntów chronionych pod względem przyrodniczym. Ze względu na właściwości gleb w Polsce, w celu uproszczenia oceny konieczności przeznaczenia gruntów pod uprawę roślin do produkcji paliw płynnych – przyjęto żyto.

Duże prawdopodobieństwo zastosowania w polskich warunkach agroklimatycznych wykazuje wierzba (*Salix vim.*) i topola. Rośliny te w systemie krótkiej rotacji produkcji (*Short Rotation Coppices* – SRC) – wskazują na możliwość powszechnej wegetacji w różnych warunkach środowiskowych. Ważną rolę odgrywa system nawodnienia i odpowiednie opady deszczu oraz magazynowanie wody przez glebę. W zależności od lokalizacji, jakości gleb, warunków agroklimatycznych można przyjąć możliwe do osiągnięcia plony w granicach od 2 do 10 t s.m./rok – zarówno w przypadku wierzby, jak też topoli (także w zależności od genotypu).

### **3.2.1. Uwarunkowania przyrodnicze rozwoju upraw bioenergetycznych na paliwa stałe**

Do roślin, które w warunkach polskich mogą odgrywać większą rolę, należy zaliczyć krzewy i drzewa, zwłaszcza wierzbę energetyczną (*Salix viminalis*), topolę, robinie, a także trawy, zwłaszcza z rodzaju *Miscantus*, lub też uprawy ślazuwca pensylwańskiego albo topinambura, okres eksploatacji nasadzenia wynosi 15-30 lat.

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa PIB w Puławach przeprowadził szczegółowe badania dla Polski w zakresie możliwości zakładania wieloletnich plantacji roślin energetycznych<sup>16</sup>. Uwzględniając warunki agroklimatyczne, wydzielono obszary najbardziej odpowiednie do zakładania plantacji roślin energetycznych oraz obszary, na których takich plantacji nie powinno się zakładać.

Wieloletnich plantacji roślin energetycznych nie należy zakładać na glebach bardzo dobrych i dobrych, które w skali kraju stanowią ok. 54% ogółu gruntów ornych. Areal ten powinno się przeznaczyć pod uprawę roślin konsumpcyjnych. Do obszarów, na których nie powinno się zakładać plantacji wieloletnich, należy także zaliczyć tereny o niskich opadach rocznych, tj. poniżej 550 mm (niektóre obszary: Wielkopolski, Mazowska, Kujaw, części Pomorza), gdyż można pogorszyć warunki wodne w układzie lokalnym, a nawet regionalnym.

Oczywiście nie należy także zakładać plantacji na obszarach cennych przyrodniczo, chronionych obszarach górskich powyżej 350 m n.p.m. na terenach podmokłych, a także trwałych użytkach zielonych. Po uwzględnieniu obszarów ograniczających zakładanie plantacji energetycznych roślin wieloletnich – wyodrębniono tereny, które są szczególnie korzystne do zakładania takich plantacji, z zaznaczeniem możliwości produkcji<sup>17</sup>.

<sup>16</sup> Harasim 2006.

<sup>17</sup> Faber *et al.* (2009).

Założenie plantacji energetycznych roślin wieloletnich stwarza nie tylko możliwość właściwego zagospodarowania gruntów, ale także może być sposobem na poprawę efektywności ekonomicznej gospodarstw rolnych, oraz przyczynić się do stworzenia ok. 35 tys. nowych miejsc pracy związanych z uprawą, przetwórstwem, logistyką<sup>18</sup>.

Inwestycja w postaci założenia wieloletniej plantacji musi być gwarancją opłacalności produkcji w całym okresie jej eksploatacji. Dobór gatunków roślin do uprawy na plantacjach energetycznych zależy od warunków agroklimatycznych, wyposażenia technicznego gospodarstwa oraz wymogów jakościowych zakładów energetycznych.

### 3.2.2. Potencjał biomasy stałej

Określenie potencjału biomasy stałej jest skomplikowane, głównie ze względu na brak odpowiednich danych umożliwiających pełną, precyzyjną ocenę. Dlatego też w wielu przypadkach uzyskane dane są szacunkowe, ale niewątpliwie zbliżone do rzeczywistego potencjału<sup>19</sup>.

Ważnym składnikiem potencjału biomasy stałej jest drewno odpadowe z lasów, odpady drewna z przemysłu drzewnego, odpady drewniane poużytkowe, drewno z sadów, drewno z pielęgnacji i wycinek drzew przydrożnych – łącznie stanowi to ogromny potencjał, tj. 303 337 TJ. Do tego należy dodać potencjał niewykorzystywanej słomy (113 742 TJ), a także siana z niewykorzystywanej powierzchni łąk i pastwisk (9150 TJ) (tab. 9), co łącznie stanowi potencjał 426 229 TJ. Dane dotyczące potencjału biomasy stałej, zawarte w tab. 9 dotyczą w zasadzie drewna i innej biomasy odpadowej (ligno-celulozowej).

Istnieje możliwość, a w opinii autora uzasadniona konieczność wprowadzenia na dużą skalę upraw roślinnych na plantacjach do celów energetycznych, takich jak: wierzba (*salix vim.*), topola, *Miscantus*, dla których w Polsce są odpowiednie warunki na powierzchni ok. 1,6 mln ha. Dla uproszczenia rachunku, a także uwzględniając pewne okoliczności uniemożliwiające zagospodarowanie wszystkich gruntów autor przyjął, że taka możliwość istnieje na powierzchni 1 mln ha w Polsce.

Dokonany szacunek według metod stosowanych przez Institut für Energetik und Umwelt w Lipsku – pozwala na określenie wielkości upraw – roślin zbożowych (głównie żyta), wierzby, traw typu *Miscantus* w skali kraju łącznie na poziomie 130 549 TJ (tab. 9). Największy potencjał do upraw energetycznych biomasy stałej istnieje w woj.: zachodniopomorskim (12 873 TJ), warmińsko-mazurskim (12 777 TJ), mazowieckim (12 986 TJ) oraz w śląskim (10 216 TJ), dolnośląskim (10 163 TJ), podkarpackim (10 023 TJ), a najniższy w opolskim (2062 TJ), podlaskim (4207 TJ),

<sup>18</sup> *Ibidem*, s. 3.

<sup>19</sup> Przy określaniu potencjału biomasy stałej w dużym stopniu skorzystano z doświadczenia i metod wykorzystywanych przez Institut für Energetik und Umwelt In Leipzig, gemeinnützige gGmbH 2006, a także z Instytutu Nawożenia i Gleboznawstwa PIB w Puławach, Raporty Naukowe 2005-2009.

Tabela 9

Potencjał energetyczny biomasy stałej – odpadowej w Polsce w 2007 r.

Województwo	Słoma TJ/rok	Siano z niewyk. łąk i pa- stwisk TJ/ rok	Drewno z lasów TJ/rok	Drewno poużyt- kowe TJ/ rok	Drewno z sadów w TJ/rok	Drewno z pielę- gnacji dróg TJ/rok	Odpady drzewne z przemysłu TJ/rok	TJ/rok
1. Dolnośląskie	12 968	425	13 840	3 033	414	73	1 826	32 579
2. Kujawsko-Pomorskie	18 437	285	7 787	2 036	933	58	2 977	32 513
3. Lubelskie	7 656	448	10 211	1 804	1 803	74	1 745	23 741
4. Lubuskie	258	577	23 339	886	162	33	3 049	28 304
5. Łódzkie	6 000	454	4 751	2 293	1 790	68	1 857	17 213
6. Małopolskie		924	8 422	4 932	1 852	89	847	17 066
7. Mazowieckie	5 105	683	11 917	7 664	4 692	122	2 451	32 634
8. Opolskie	13 182	269	5 798	880	204	34	773	21 140
9. Podkarpackie	630	885	11 813	1 892	657	57	2 810	18 744
10. Podlaskie		980	10 344	1 129	328	45	2 063	14 889
11. Pomorskie	10 078	448	17 128	2 370	288	47	3 684	34 043
12. Śląskie	2 653	650	6 169	5 502	531	81	3 018	18 604
13. Świętokrzyskie	1 299	582	4 161	1 711	1 080	49	467	9 349
14. Warmińsko-Mazurskie	7 805	784	22 949	1 307	150	49	3 008	36 052
15. Wielkopolskie	21 045	375	15 933	4 060	1 024	103	5 207	47 747
16. Zachodniopomorskie	6 626	381	27 688	1 619	298	52	4 947	41 611
<b>Polska</b>	<b>113 742</b>	<b>9 150</b>	<b>202 250</b>	<b>43 118</b>	<b>16 206</b>	<b>1 034</b>	<b>40 729</b>	<b>426 229</b>

Źródło: Dane GUS, MRiRW, Institut für Energetik und Umwelt in Leipzig, Eurostat. Obliczenia własne.

kujawsko-pomorskim (4925 TJ). Najwyżej szacuje się możliwość upraw trawy typu *Miscantus* (9,5 tys. t.s.m.) oraz wierzby (7,2 tys. t.s.m.). W szacowaniu możliwości upraw roślin energetycznych przyjęto ocenę uwarunkowań środowiskowych (JUNG PIB – Puławy).

Należy zwrócić uwagę, że obszary cechujące się niskimi i średnimi warunkami agroklimatycznymi mają wyższe możliwości wykorzystania gruntów do upraw z biomasy stałej niż obszary o bardzo dobrych i dobrych warunkach produkcji, których grunty powinny być wykorzystane w największym stopniu do produkcji upraw konsumpcyjnych. Jeżeli weźmiemy pod uwagę łączny potencjał biomasy stałej odpadowej oraz uzyskanej z upraw energetycznych to stanowi to ogromny potencjał – 556 778 TJ (tj. 556,8 PJ) (tab. 9, ryc. 3). W układzie przestrzennym dominują województwa: wielkopolskie, zachodniopomorskie, a także warmińsko-mazurskie, pomorskie, mazowieckie, dolnośląskie i kujawsko-pomorskie, najniższy poziom prezentuje woj. świętokrzyskie.

## 4. Potencjał produkcji biogazu w Polsce

### 4.1. Uwarunkowania produkcji biogazu

Wśród krajów członkowskich UE Polska należy do największych potentatów produkcji biogazu głównie na podstawie substratów rolniczych – na bazie technologii metanowej. Jeżeli uwzględnimy dotychczasowy rozwój produkcji biogazu w Polsce, to można stwierdzić, że pozyskanie biogazu stopniowo wzrasta, lecz dotychczasowe efekty trudno uznać za zadowalające.

W większości paliwo to zostało wykorzystane na wsad przemian energetycznych w elektrociepłowniach i ciepłowniach. W tym celu zużyto 55% pozyskanego biogazu, a 45% stanowiło zużycie końcowe (finalne)<sup>20</sup>, pozostała część przypada na „zużycie własne sektora energii”. Również pozyskanie gazu wysypiskowego kształtowało się w ostatnich latach na zbliżonym poziomie (od 544 TJ w 2001r. do 1433 TJ w 2008 r.). Gaz wysypiskowy był w całości wykorzystywany w przemianach energetycznych na wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła. Duże znaczenie odgrywa także produkcja biogazu z oczyszczalni ścieków (w 2001 r. – 933 TJ, a w 2008 r. – 3976 TJ). Zatem następuje stały wzrost ilości biogazu uzyskiwanego z oczyszczalni ścieków.

Wśród krajów UE, spośród nośników OZE – najwyższą dynamikę obserwuje się w przetwórstwie energetycznym biomasy, zwłaszcza w rozwoju biogazowni fermentacyjnych. Według danych EUROOBSERVER kraje UE wytworzyły w 2006 r. biogaz w ilości równoważnej 5,35 mln t ropy, z czego na Niemcy przypada 2 mln t, a na Wielką Brytanię 1,7 mln t (Polska 93,8 tys. t).

W Niemczech obecnie funkcjonuje już ponad 4 tys. biogazowni. Należy wziąć pod uwagę, że w Polsce są podobne warunki agroklimatyczne – co wskazuje na duże rezerwy istniejące w tym zakresie w Polsce. Wśród niemieckich biogazowni rolniczych większość (93%) przetwarza gnojowicę z roślinami uprawnymi, z tego 75% biogazowni wykorzystuje gnojowicę bydłącą, a 30% gnojowicę trzody chlewnej, i aż 82% z tych biogazowni wykorzystuje jako substrat kukurydzę<sup>21</sup>.

Wykorzystywanie w dużym stopniu w biogazowniach jako substratu kukurydzy wynika zarówno z wysokiej produktywności biogazu z kiszonki kukurydzy, jak również nieskomplikowanej uprawy roślin i ich magazynowania (kiszonka).

Bardzo przydatnymi roślinami w produkcji biogazu mogą być również zboża oraz buraki pastewne, które cechują się najwyższą wydajnością biogazu uzyskiwaną z jednostki suchej masy (magazynowanie jest możliwe po rozdrobnieniu w silosach)<sup>22</sup>. Zróżnicowanie produktywności biogazu z buraków pastewnych, kukurydzy i zboża w mieszaninie z gnojowicą trzody chlewnej jest wysokie.

<sup>20</sup> *Energia ze źródeł odnawialnych...*, s. 33.

<sup>21</sup> Linke *et al.* (2006), s. 92.

<sup>22</sup> Abdel-Hadi *et al.* (2002).

Im wyższe jest stężenie suchej biomasy organicznej w mieszaninie substratu, tym większa jest produkcja biogazu. Istotnym kryterium przy doborze roślin do wytwarzania biogazu jest jego najwyższy uzysk w przeliczeniu na 1 ha uprawy rośliny. Według tego parametru, najbardziej efektywną uprawą jest kukurydza, następnie buraki pastewne i w następnej kolejności zboże<sup>23</sup>.

Polska należy do krajów UE, które dysponują wyjątkowo wysokim potencjałem biomasy energetycznej, zwłaszcza możliwej do wykorzystania w biogazowniach (fermentacyjnych). Podstawowym składnikiem energetycznym biogazu jest metan (CH<sub>4</sub>), którego udział jest w zakresie 50-75% uzyskiwanego biogazu.

Metan odznacza się wysoką wartością opałową, tj. 35,8 MJ/m<sup>3</sup>, a w 1 m<sup>3</sup> biogazu skumulowane jest 5,3 kWh energii – w procesie produkcyjnym w biogazowni można z niej uzyskać 2,1 kWh energii elektrycznej i 2,4 kWh energii cieplnej (przy stratach technologicznych ok. 0,8 kWh). Produkcja energii z biogazu wymaga dużych nakładów inwestycyjnych na budowę instalacji oraz konieczna jest dobra organizacja dostaw surowców. Biogazownie rolnicze powinny być zlokalizowane w pobliżu fermy bydła, trzody chlewnej – gdzie powstaje gnojowica, stanowiąca podstawowy składnik mieszaniny substratu biogazowi, unikając kosztów transportu gnojowicy, a jednocześnie dokonując jej utylizacji.

Stosowane są różne systemy biogazowe wykorzystujące wsad masy organicznej, pochodzącej wyłącznie z upraw przeznaczonych do celów energetycznych (np. kukurydza, buraki pastewne) lub instalacje mieszane, bazujące na wsadzie zróżnicowanym (gnojowica, obornik, biomasa roślinna, osady ściekowe). Oczywistą sprawą jest to, że wykorzystywanie wyłącznie samej gnojowicy jest nieuzasadnione ze względu na małą zawartość substancji organicznej i niską efektywność produkcji. W warunkach polskich należy obecnie brać pod uwagę stosowanie masy organicznej z upraw: zbożowych, kukurydzy, sorgo, roślin oleistych w całości i ich wytlóków oraz odpadów organicznych z produkcji bioetanolu i z przemysłu spożywczego. Ważna jest proporcja stosunku węgla do azotu w kosubstracie w biogazowni, co ma ogromny wpływ na przebieg fermentacji metanowej i jej efektywność energetyczną i ekonomiczną. W przypadku, jeżeli stosuje się w biogazowni surowce mniej wydajne – wskazane jest uzupełnienie wsadu dodatkami o wyższej zawartości metanu (np. gliceryna, tłuszcze zwierzęce, oleje posmażalnicze, odpady poubojowe z rzeźni i ubojni, odpady z zakładów owocowo-warzywnych, mleczarni, gorzelnii, cukrowni). Odpady te są cennym, tanim surowcem, a jednocześnie zakłady produkcyjne unikają kosztów ich utylizacji. Istotną zaletą technologii przetwarzania odpadów z biomasy roślinnej jest możliwość nawozowego wykorzystania pozostałości pofermentacyjnych w uprawie roślin (ubytek uciążliwych zapachów stanowi 70-80%).

Istotnym źródłem pozyskiwania biomasy do biogazowni mogą być także trwałe użytki zielone, zwłaszcza ze względu na niskie koszty pozyskania surowca. Siano

---

<sup>23</sup> Hopfner-Six *et al.* (2006).



uzyskane z użytków zielonych stanowi także dobry surowiec energetyczny w procesie spalania – jego zasoby i potencjał zostały uwzględnione w grupie surowców biomasy stałej. Potencjał tego surowca jest duży i – jak określają (Książak 2009) – bez szkody dla produkcji pasz dla zwierząt. Łąki 3-kośne mogą być w Polsce wykorzystane na powierzchni 1,3 mln ha. Z takiego arealu – jak oceniają autorzy (Książak, a także *Ekspertyza* 2008) – przy uprawie ekstensywnej można uzyskać ok. 2,3 mln ton biomasy, a przy intensywnym użytkowaniu ok. 3,4 mln ton biomasy. Zakładając, że z 1 tony suchej masy trawy można wyprodukować ok. 500 m<sup>3</sup> biogazu – to przy ekstensywnej uprawie można uzyskać ok. 1,1 mld m<sup>3</sup> biogazu, a przy intensywnej ok. 1,7 mld m<sup>3</sup> (Kaca *et al.* 2008 oraz *Ekspertyza* 2008). Do produkcji biogazu najbardziej wydajne są trawy intensywnie użytkowane (3-4 pokosy) oraz trawy uprawiane na gruntach ornych<sup>24</sup>. Jednak najbardziej przydatnym i wysokowydajnym gatunkiem roślin jest kukurydza, której plony uzyskiwane w polskich warunkach są na poziomie 15-18 ton suchej masy (przy wilgotności zbioru roślin ok. 30%). Ponieważ roślina ta nie należy do wymagających bardzo dobrych gleb, można ją uprawiać na terenie całego kraju, na glebach zasobnych w próchnicę, przepuszczalnych i przewiewnych, o odczynie obojętnym.

Do roślin mających znaczenie jako surowiec w produkcji biogazu należy także sorgo, którego plony przewyższają nawet wielkość plonów kukurydzy. Ważnymi roślinami w produkcji biogazu mogą być także zboża, zwłaszcza żyto, pszenżyto i owies (zbioru należy dokonywać w fazie dojrzałości woskowej). Do roślin, które należy brać pod uwagę jako surowiec w biogazowniach, zaliczamy także ślaziowiec pensylwański, który jest mało wymagający i udaje się na wszystkich glebach i można dokonać dwóch pokosów w ciągu roku. Skład chemiczny biogazu i jednocześnie związana z tym wartość energetyczna jest zróżnicowana i uzależniona w dużym stopniu od zawartości składników pokarmowych w materiale zakiszczonym<sup>25</sup>. Z 1 kg węglowodanów otrzymuje się średnio 0,42 m<sup>3</sup>, z białek – 0,47 m<sup>3</sup>, z tłuszczów – 0,75 m<sup>3</sup> metanu. Większą efektywność produkcji biogazu uzyskuje się z zakiszczonych traw niż ze świeżo koszonych łąk.

#### 4.2. Szacunek potencjału produkcji biogazu w Polsce

Już na etapie planowania inwestycji biogazowych należy zabezpieczyć wystarczającą ilość substratów do fermentacji (z uwzględnieniem cen zakupu). W procesie fermentacyjnym surowcami do produkcji biogazu są wszelkie odpady roślinne z produkcji rolniczej, przemysłu rolno-spożywczego, osadów ściekowych z oczyszczalni, zbędne trawy, a także nawozy naturalne pochodzenia rolniczego. W zależności od rodzaju i składu różnią się one produktywnością (ilość biogazu uzyskiwana z 1 tony suchej masy organicznej substratu).

<sup>24</sup> Książak (2009), s. 26.

<sup>25</sup> *Ibidem*.



Jak wynika z badań (Igras, Kopiński 2007)<sup>26</sup> – łącznie w polskim rolnictwie powstaje 80 757 tys. t obornika oraz 7459 tys. m<sup>3</sup> gnojowicy. Przyjęte wielkości produkcji obornika i gnojowicy przez Szymańską i Łabętowicz<sup>27</sup> do obliczenia potencjału biogazu pozwoliły określić potencjał produkcji biogazu z obornika na poziomie 3059,4 mln m<sup>3</sup>, a z gnojowicy – 145,6 mln m<sup>3</sup>, razem stanowi to potencjał biogazu w wysokości 3205 mln m<sup>3</sup>. Według danych zawartych w tab. 10, przyjęta wielkość produkcji obornika (80 794 tys. t) oraz gnojowicy (7459 tys m<sup>3</sup>) stanowiła podstawę do szacunku wielkości produkcji obornika i gnojowicy według województw.

Tabela 10

Potencjał produkcji substratów do produkcji biogazu w Polsce

Wyszczególnienie	Całkowita produkcja <sup>a</sup> nawozów naturalnych		Osady ściekowe <sup>b</sup> z oczyszczalni ścieków komunalnych w t s.m.	Odpady z przem. rolno-spoz. <sup>c</sup> (poubojowe) tys. ton	Uprawa kukurydzy <sup>d</sup> do celów energetycznych w ha
	obornik w tys. t	gnojowica tys. m <sup>3</sup>			
Dolnośląskie	2 070	173	41 554	18,2	13 800
Kujawsko-Pomorskie	6 625	602	28 346	56,7	48 600
Lubelskie	6 267	591	22 707	44,1	47 400
Lubuskie	1 152	89	14 631	18,2	7 200
Łódzkie	6 440	618	36 960	67,9	49 800
Małopolskie	3 966	364	38 241	25,2	29 400
Mazowieckie	12 565	1 217	68 660	85,4	97 800
Opolskie	2 203	195	15 923	18,9	24 600
Podkarpackie	2 839	260	21 537	17,5	21 000
Podlaskie	8 299	834	16 069	39,9	67 200
Pomorskie	3 231	283	33 595	25,9	22 800
Śląskie	2 161	184	65 260	28,0	15 000
Świętokrzyskie	2 640	241	12 522	18,9	19 200
Warmińsko-Mazurskie	5 171	479	27 494	42,0	38 400
Wielkopolskie	13 249	1 161	64 371	163,1	93 600
Zachodniopomorskie	1 916	165	25 500	30,1	13 200
<b>Polska</b>	<b>80 794</b>	<b>7 456</b>	<b>533 370</b>	<b>700,0</b>	<b>609 000</b>

Źródło: Na podstawie: a – Igras, Kopiński (2007); b – Rocznik statystyczny województw, GUS, 2009; c – Według danych MRiRW (Żmuda, 2008); d – Przyjęto wielkość 200 ha uprawy kukurydzy i 3000 bio-gazowni. Wielkość produkcji kukurydzy przyjęto według udziału poszczególnych województw w ogólnej powierzchni zasiewów kukurydzy. Obliczenia własne.

<sup>26</sup> Igras, Kopiński (2007).

<sup>27</sup> Szymańska, Łabętowicz (2009).

Do obliczeń przyjęto wartości za MRiRW (Żmuda 2008) – według wyników uzyskanych przez Politechnikę Śląską, tj. z obornika świńskiego – produktywność biogazu: 240-550 dcm<sup>3</sup>/kg s.m.org., a obornika bydłowego – 90-310 dcm<sup>3</sup>/kg s.m.org. Do obliczeń przyjęto średnią wartość – 250 dcm<sup>3</sup>/kg s.m.org. (1 t s.m.org. – 250 m<sup>3</sup>) oraz przyjęto 1/3 ogólnej ilości obornika do wykorzystania w biogazowniach (pozostała ilość, tj. 2/3 ogólnej produkcji obornika – do wykorzystania w produkcji roślinnej). Z przyjętej ilości obornika – ogólny potencjał produkcji biogazu wynosi 6730 mln/m<sup>3</sup>. Dla oceny potencjału biogazu z gnojowicy przyjęto (według MRiRW, Żmuda 2008 oraz IBMER 2008) z 1 m<sup>3</sup> gnojowicy uzyskanie 25 m<sup>3</sup> biogazu, co stwarza możliwość uzyskania 186,4 mln m<sup>3</sup> biogazu. Wielkość produkcji obornika oraz gnojowicy według województw oszacowano na podstawie udziału trzody chlewnej i bydła w ogólnej liczbie w kraju (tab. 11).

Ważnym substratem, który można wykorzystać w biogazowniach, są osady ściekowe z oczyszczalni komunalnych, ze względu na wysokie koszty utylizacji i dużą ich ilość, trudną do składowania. Jak wynika z danych GUS, w 2008 r. produkcja wynosiła 533,4 tys t s.m. Według danych uzyskanych w Politechnice Śląskiej (2008) (za MRiRW 2008) – z odpadów ściekowych można uzyskać 310-740 dcm<sup>3</sup>/kg s.m.org. Do obliczeń przyjęto średnią wartość na poziomie 500 dcm<sup>3</sup>/kg s.m.org., tj. 1 t s.m. = 500 m<sup>3</sup> biogazu – łącznie można uzyskać z tego substratu 266,7 mln m<sup>3</sup> biogazu. Poziom potencjał produkcji biogazu z osadów ściekowych według województw jest zróżnicowany i uzależniony od wielkości produkcji osadów ściekowych (tab. 11).

Wartościowym, wysokoenergetycznym substratem w produkcji biogazu są odpady poubojowe, które (według MRiRW; Żmuda 2008) są szacowane na 700 tys. ton (według IBMER, 2008 – 661 tys. t). Z 1 tony tego surowca można średnio uzyskać ok. 500 m<sup>3</sup>-800 m<sup>3</sup> biogazu. Uwzględniając wielkość produkcji przemysłu mięsnego według województw i ich udział w ogólnej produkcji w kraju – uzyskano wielkości odpadów poubojowych w poszczególnych województwach i odpowiednio przeliczone wartości produkcji biogazu z tego surowca. Brak danych dotyczących innych odpadów z przemysłu rolno-spożywczego uniemożliwiło ich uwzględnienie w szacunku potencjału biogazu (przemysł browarniczy, gorzelniany – produkcja spirytusu, przemysł cukrowniczy, owocowo-warzywny itd.).

W ocenie potencjału biogazu rolniczego założono, że odpady i osady organiczne nie będą stanowiły wystarczającej ilości substratów dla ok. 3000 biogazowni rolniczych, których budowę przyjęto w założeniach opartych na bogatych doświadczeniach Niemiec<sup>28</sup>, gdzie funkcjonuje już ponad 4 tys. biogazowni rolniczych. Jak wynika z doświadczeń niemieckich, a także duńskich – najbardziej wydajną uprawą przydatną w biogazowniach, jako uzupełnienie substratów organicznych jest uprawa kukurydzy. Niemieckie doświadczenia wykazują, że przy średniej wielkości bioga-

<sup>28</sup> Ökologisch... (2009), s. 7-45; *National Biomass ...* (2009), s. 8-30.

zowni (1 MW) konieczna jest uprawa roślin (kukurydzy) na obszarze ok. 200 ha – dla zapewnienia ciągłości dostaw i pracy biogazowni.

Przyjęto, że w Polsce można uruchomić ok. 3000 biogazowni i zapewniając ciągłość produkcji substratów – uprawy np. kukurydzy na pow. 200 ha – stanowi to w skali kraju ok. 600 000 ha wykorzystywanych do celów energetycznych. Przyjmując (za MRiRW i Politechniką Śląską) wartość energetyczną kiszonki z kukurydzy na poziomie 400-550 dcm<sup>3</sup>/kg s.m.org., przyjęto średnio uzyskanie z 1 t s.m.org = 400 m<sup>3</sup> biogazu oraz jak wykazują dane z badań niemieckich<sup>29</sup>, że z 1 ha uprawy kukurydzy na kiszonkę uzyskuje się 7800-8300 m<sup>3</sup> biogazu. Zatem z uprawy 600 000 ha kukurydzy na kiszonkę można uzyskać w wyniku procesu zgazowania 4872,0 mln m<sup>3</sup> biogazu. Uwzględniając udział potencjału gnojowicy w produkcji biogazu – proporcjonalnie przyjęto powierzchnię uprawy i potencjał kukurydzy do produkcji biogazu w poszczególnych województwach (tab. 11).

Najwyższy potencjał produkcji biogazu z kiszonki kukurydzy istnieje w woj. wielkopolskim (748 mln m<sup>3</sup>) i mazowieckim (782 mln m<sup>3</sup>) oraz podlaskim (537 mln m<sup>3</sup>). Łączny potencjał z produkcji biogazu (tab. 11), uwzględniając tylko produkcję: z obornika (6730 mln m<sup>3</sup>), gnojowicy (186,5 mln m<sup>3</sup>), osadów ściekowych (266,7 mln m<sup>3</sup>), odpadów poubojowych (560,0 mln m<sup>3</sup>), osadów ściekowych (266,7 mln m<sup>3</sup>), kiszonki kukurydzy (4872 mln m<sup>3</sup>), stanowi 12 615,2 mln m<sup>3</sup>. Łączny potencjał biogazu<sup>30</sup> wynosi 292 671 tys.TJ, tj. 292 PJ. W obliczeniach łącznego potencjału biogazu przyjęto (*Biogas* 2009) wartości: 1 m<sup>3</sup> biogazu = 6 kWh × 3,6 MJ = 21,6 MJ, stąd 1 mln m<sup>3</sup> biogazu = 21,6 TJ, ogółem, natomiast uwzględniając wyłącznie produkcję energii elektrycznej – 1 m<sup>3</sup> biogazu = 1,5 – 3 kWh el., do obliczeń przyjęto średnią wartość 1 m<sup>3</sup> biogazu = 2,5 kWh el. × 3,6 MJ = 9 MJ el. Wykorzystując cały potencjał biogazu (12 615 mln m<sup>3</sup>), tj. – 292,7 PJ, a jeżeli wykorzystany zostanie do produkcji wyłącznie energii elektrycznej, jego wielkość stanowi tylko połowę wartości ogółem (113,5 PJ) (tab. 11).

Wielkość potencjału biogazu ogółem w mln m<sup>3</sup> według województw przedstawia ryc. 4. Największy potencjał możliwości produkcji biogazu w biogazowniach rolniczych istnieje w środkowej i wschodniej Polsce, w woj. wielkopolskim, kujawsko-pomorskim, mazowieckim, łódzkim i podlaskim oraz lubelskim. Istniejący potencjał (techniczny) ogółem wyrażony w PJ, według województw, przedstawia ryc. 5. Najwyższe wielkości prezentują województwa środkowej i wschodniej Polski, a najniższe w części zachodniej i południowej Polski.

Przestrzenny układ potencjału biogazu rolniczego według województw jest silnie uzależniony od potencjału produkcji rolniczej. Jak wynika z danych zawartych w tabelach 10 i 11 oraz na rycinach 4 i 5 – Polska jest krajem o wysokim potencjale produkcji biogazu w procesie fermentacji metanowej, opartej na odpadach biomasy i surowcach rolniczych. Upowszechnienie procesu biogazownictwa fermentacyjnego stwarza moż-

<sup>29</sup> *Biogas* (2009).

<sup>30</sup> *Biogas* (2009), s. 24, przyjmuje się 1 m<sup>3</sup> biogazu = 5,0-7,5 kWh (ogółem), a 1,5-3 kWh el., 1 kWh = 3,6 MJ (3,6 × 10<sup>6</sup> Jula).

Tabela 11

Potencjał produkcji biogazu w Polsce z podstawowych odpadów organicznych oraz kukurydzy uprawianej do celów energetycznych

Wyszczególnienie	Potencjał biogazu z kiszonki kukurydzy <sup>1</sup> tys. m <sup>3</sup>	Potencjał biogazu z obornika <sup>2</sup> tys. m <sup>3</sup>	Potencjał biogazu z gnojowicy <sup>3</sup> tys. m <sup>3</sup>	Potencjał biogazu z osadów ściekowych <sup>4</sup> z oczyszczalni komun. tys. m <sup>3</sup>	Potencjał biogazu (odpady poubojowe) <sup>5</sup> tys. m <sup>3</sup>	Potencjał biogazu ogółem tys. m <sup>3</sup>	Potencjał biogazu ogółem w TJ (tys. TJ)	Potencjał biogazu do produkcji energii elektrycznej TJ elektr.
Dolnośląskie	110 400	172 000	4 325	20 777	14 560	322 062	7 471	2 899
Kujawsko-Pomorskie	388 800	552 000	15 050	14 173	45 360	1 015 383	23 556	9 138
Lubelskie	379 200	522 000	14 775	11 354	35 280	962 609	22 331	8 663
Lubuskie	57 600	96 000	1 225	7 316	14 560	177 701	4 123	1 599
Łódzkie	398 400	536 000	15 450	18 480	54 320	1 022 650	23 726	9 204
Małopolskie	235 200	330 000	9 100	19 121	20 160	613 581	14 237	5 522
Mazowieckie	782 400	1 047 000	30 425	34 330	68 320	1 962 475	45 529	17 662
Opolskie	196 800	183 000	4 875	7 962	15 120	407 757	9 461	3 670
Podkarpackie	168 000	236 000	6 500	10 769	14 000	435 269	10 099	3 917
Podlaskie	537 600	692 000	20 850	8 035	31 920	1 290 405	29 936	11 614
Pomorskie	182 400	270 000	7 075	16 798	20 720	496 993	11 531	4 473
Śląskie	120 000	180 000	4 600	32 630	22 400	359 630	8 344	3 237
Świętokrzyskie	153 600	220 000	6 025	6 261	15 120	401 006	9 304	3 609
Warmińsko-Mazurskie	307 200	431 000	11 975	13 747	33 600	797 522	18 501	7 178
Wielkopolskie	748 800	1 104 000	29 025	32 186	130 480	2 044 491	47 432	18 400
Zachodniopomorskie	105 600	159 000	4 125	12 750	24 080	305 555	7 090	2 750
<b>Polska</b>	<b>4 872 000</b>	<b>6 730 000</b>	<b>186 475</b>	<b>266 685</b>	<b>560 000</b>	<b>12 615 160</b>	<b>292 671</b>	<b>113 536</b>

<sup>1</sup> Z 1 ha kukurydzy uzyskuje się 7800-8300 m<sup>3</sup> biogazu (przyjęto średnio = 8000 m<sup>3</sup>) na podstawie: *Biogas...* (2009); według MRiRW – z 1 kg s.m. org. kiszonki kukurydzy uzyskuje się 400-500 dcm<sup>3</sup> biogazu; średnio z 1 ha uprawy kukurydzy uzyskuje się 11-19 t.s.m.org.;

<sup>2</sup> Według danych MRiRW (oprac. Politechnika Śląska) z 1 kg s.m. org. obornika świńskiego = 240-550 dcm<sup>3</sup> biogazu, a z 1 kg s.m. obornika bydłowego = 90-310 dcm<sup>3</sup> biogazu (przyjęto średnio 250 dcm<sup>3</sup>, w tym 1/3 do wykorzystania energet.);

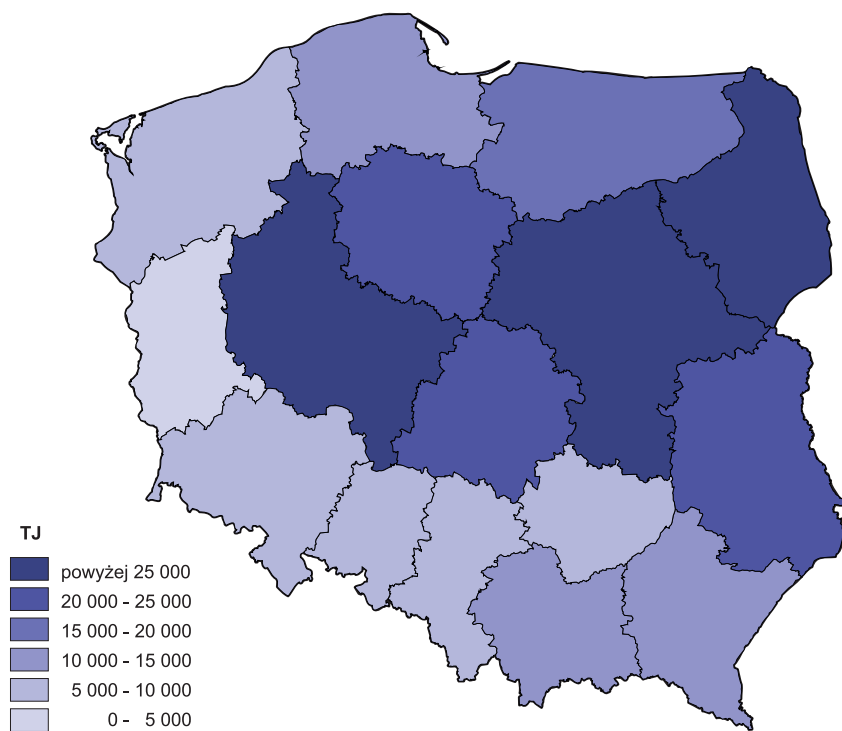
<sup>3</sup> Według MRiRW (Żmuda 2008) 1 m<sup>3</sup> = 25 m<sup>3</sup> biogazu;

<sup>4</sup> Według MRiRW (oprac. Politechnika Śląska): 1 kg s.m. = 310-740 dcm<sup>3</sup> biogazu (przyjęto średnio = 500 dcm<sup>3</sup>/kg s.m.);

<sup>5</sup> Według MRiRW (Żmuda 2008).

Źródło: Obliczenia własne.

liwość wykorzystania różnorodnych odpadów roślinnych i zwierzęcych, stanowiących dotąd uciążliwą biomasę, trudną do zagospodarowania i kosztowną w procesie utylizacji tradycyjnej. Odpady roślinne z produkcji rolniczej stanowią cenny surowiec jako substrat fermentacji metanowej np. kukurydza – 450 m<sup>3</sup>/1 t.s.m., a łączna masa z 1 ha – 8100 m<sup>3</sup> biogazu, słonecznik – 450 m<sup>3</sup>/1 t.s.m. z 1 ha – 8100 m<sup>3</sup> biogazu, rzepak (słoma) – 197 m<sup>3</sup>/1 t.s.m. i 650 m<sup>3</sup>/1 ha, pszenica (słoma) – 390 m<sup>3</sup>/1 t.s.m. i 1170 m<sup>3</sup>/1 ha, buraki cukrowe (odpady) – 500 m<sup>3</sup>/1 t.s.m. i 6000 m<sup>3</sup>/1 ha, ziemniaki (łęty) – 400 m<sup>3</sup>/1 t.s.m. i 1200 m<sup>3</sup>/1 ha (według Kowalczyk-Juško 2007). Coraz większy problem stwarzają osady ściekowe biomasy w oczyszczalniach komunalnych, które mogą stanowić dobry substrat w biogazowniach. Pełne wykorzystanie potencjału biomasy w procesie biogazowania fermentacyjnego w rolnictwie stanowi duży potencjał energetyczny w układzie rozproszonym. Zachodzi pilna potrzeba dynamicznego rozwoju biogazyfikacji, zwłaszcza stworzenia instrumentów pobudzających inwestycje infrastrukturalne i stworzenie systemu wieloletnich gwarancji funkcjonowania. Do ważnych zadań należy zaliczyć wykorzystanie energii w systemie kogeneracyjnym, tj. energii elektrycznej i ciepłej, gdyż tylko taki system daje możliwość wysokiej efektywności ekonomicznej i energetycznej.



Ryc. 4. Ogólny potencjał biogazu fermentacyjnego w województwach Polski

## 5. Ogólny potencjał biomasy energetycznej

Uwzględniając łączny potencjał produkcji, tj. biopaliw płynnych, biomasy stałej, biogazu fermentacyjnego – pochodzący głównie z lasów, rolnictwa, oczyszczalni ścieków w postaci odpadów, produktów ubocznych, jak również upraw roślin energetycznych – dokonano szacunku potencjału technicznego biomasy według województw (tab. 12, ryc. 5).

W celu umożliwienia porównania wartości energetycznej różnych postaci biomasy – przyjęto ujednoczyć wszystkie formy biomasy w jednakowych jednostkach wartości cieplnej – tj. TJ, co umożliwiło dokonanie zsumowania, porównania oraz uzyskania łącznego potencjału biomasy w poszczególnych województwach i w całym kraju.

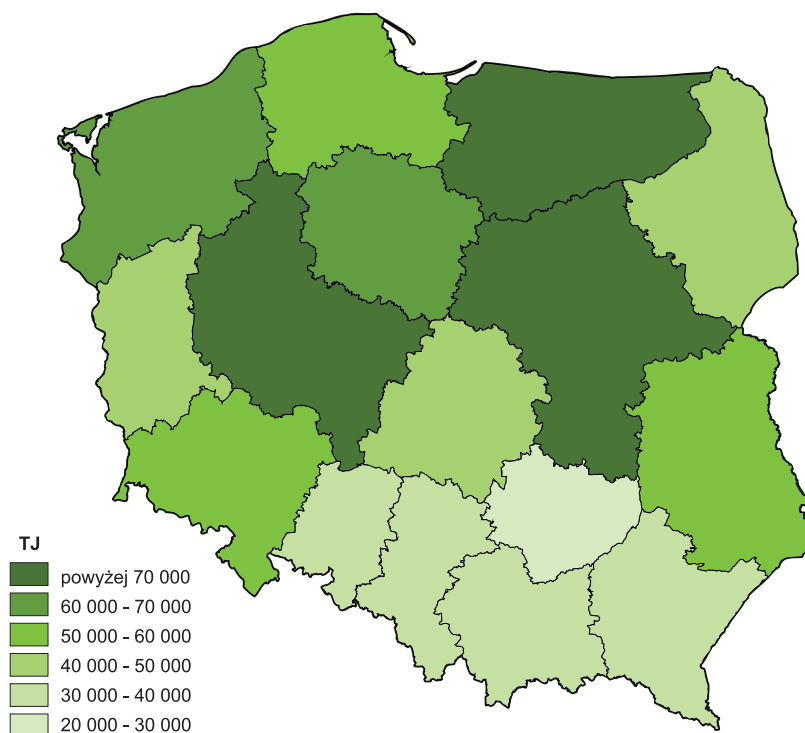
W całym kraju łączny potencjał biomasy oszacowano na poziomie 895 567 TJ, tj. 895 PJ. Najwyższy jest potencjał biomasy stałej 556 PJ (leśna, odpadowa, użytkowa, rolnicza-słoma, siano i potencjał z plantacji ligno-celulozowych upraw), biogazu rolniczego z fermentacji – 292 PJ, a najniższy potencjał biopaliw płynnych – 46 PJ.

Tabela 12

Potencjał biomasy w Polsce według województw

Wyszczególnienie	Potencjał biopaliw ogółem TJ	Potencjał biomasy stałej ogółem TJ	Potencjał biogazu z fermentacji ogółem TJ	Potencjał biomasy razem TJ
Dolnośląskie	5 608	42 742	7 471	55 821
Kujawsko-Pomorskie	5 778	37 438	23 556	66 772
Lubelskie	3 031	31 677	22 331	57 039
Lubuskie	1 350	36 873	4 123	42 346
Łódzkie	1 574	23 716	23 726	49 016
Małopolskie	671	23 753	14 237	38 661
Mazowieckie	2 617	45 620	45 529	93 766
Opolskie	4 237	23 202	9 461	36 900
Podkarpackie	934	28 767	10 099	39 800
Podlaskie	685	19 096	29 936	49 717
Pomorskie	3 126	42 707	11 531	57 364
Śląskie	1 154	28 820	8 344	38 318
Świętokrzyskie	730	15 406	9 304	25 440
Warmińsko-Mazurskie	2 983	48 829	18 501	70 313
Wielkopolskie	6 647	53 648	47 432	107 727
Zachodniopomorskie	4 993	54 484	7 090	66 567
<b>Polska</b>	<b>46 118</b>	<b>556 778</b>	<b>292 671</b>	<b>895 567</b>

Źródło: Obliczenia własne.



Ryc. 5. Łączny potencjał biomasy w województwach Polski

W układzie województw (ryc. 5) – najwyższy potencjał biomasy energetycznej istnieje w woj.: wielkopolskim – 107 PJ, mazowieckim – 93 PJ, warmińsko-mazurskim – 70 PJ i zachodniopomorskim – 66 PJ. Najniższy potencjał biomasy występuje w woj. świętokrzyskim – 25 PJ, małopolskim – 38 PJ, opolskim – 37 PJ, śląskim 38 PJ. Ogólny potencjał biomasy energetycznej w Polsce jest wysoki (895 PJ) i należy do najwyższych w UE – po Niemczech i Francji. Czy istniejący potencjał techniczny zostanie w pełni wykorzystany do 2020 r. zależy od wielu czynników – politycznych, gospodarczych, organizacyjnych, stymulujących lub stwarzających barierę w rozwoju. Proces ten jest długotrwały, wymaga działań, współpracy w wielu dziedzinach.

## 6. Wpływ zmiennych niezależnych na potencjał biomasy

W celu zbadania wpływu poszczególnych wskaźników na potencjał biomasy w Polsce i określenia zmiennych, które najlepiej opisują potencjał biomasy – przeprowadzono analizę metodą regresji wielokrotnej. Opracowano wielowymiarowy model liniowy opisujący wpływ zmiennych niezależnych (24 zmienne) na potencjał biomasy (zmienna zależna). W budowie modelu uwzględniono zmienne objaśniające (x),



zaliczone do trzech grup czynników: I – potencjał biopaliw płynnych, II – potencjał biomasy stałej i III – potencjał biogazu fermentacyjnego z rolnictwa. Przyjęto, że zmienną objaśnianą (Y) reprezentującą poziom potencjału biomasy w Polsce (poziom potencjału biomasy przypadający na 100 km<sup>2</sup> w poszczególnych (16) województwach Polski. W początkowej fazie tworzenia modelu przyjęto liczbę wszystkich, tj. 24 zmiennych, które mogą wstępnie zostać zakwalifikowane do równania regresji, gdyż mogły pozostawać w określonym związku przyczynowo-skutkowym ze zmienną zależną, a także przeprowadzono za pomocą metody krokowej postępującej, która pozwala na stopniowe wprowadzenie do modelu kolejnych zmiennych o najwyższej mocy dyskryminacyjnej. W wyniku takiej procedury ostatecznie uzyskano model pięciowymiarowy o ogólnej postaci:

$$Y = b_0 + b_1x_{10} + b_2x_{12} + b_3x_{22} + b_4x_{24}$$

gdzie:

Y – potencjał biomasy na 100 km<sup>2</sup>

X<sub>10</sub> – pozyskiwanie drewna – grubizny/100 ha lasów (w m<sup>3</sup>)

X<sub>12</sub> – nadwyżki słomy w TJ/100 ha UR

X<sub>22</sub> – odpady poubojowe TJ/100 ha UR

X<sub>24</sub> – potencjał osadów ściekowych TJ/100 km<sup>3</sup>

W modelu znalazły się zatem 2 zmienne z II grupy (potencjał biomasy stałej), mianowicie:

X<sub>10</sub> – pozyskiwanie drewna – grubizny (100 ha lasów w m<sup>3</sup>)

X<sub>12</sub> – nadwyżki słomy w TJ/100 ha UR

oraz z III grupy (potencjał biogazu fermentacyjnego z rolnictwa) zmienne:

X<sub>22</sub> – odpady poubojowe w TJ/100 ha UR

X<sub>24</sub> – potencjał osadów ściekowych TJ/100 km<sup>3</sup>

Żadna zmienna z grupy I (potencjał biopaliw płynnych) nie okazała się tak istotna, aby mieć istotny wpływ na zmienną objaśnianą. Obliczono równanie regresji wraz z błędami szacunku w postaci:

$$Y = 98,6045 + 0,2255x_{10} + 3,7827x_{12} + 54,7396x_{22} + 21,4376x_{24}$$

(29,3341) (0,1018) (1,2170) (21,0580) (7,2898)

Po przeprowadzeniu kompletnej weryfikacji przyjętych założeń w budowaniu modelu regresji wielokrotnej, uzyskany na podstawie klasycznej metody najmniejszych kwadratów dowodzi, że można wykorzystać zbudowany model do prognozy zmiennej zależnej.

Zatem, należy podkreślić, że na wielkość potencjału biomasy w Polsce w największym stopniu mają wpływ zmienne z grupy biomasy stałej (ligno-celulozowej), tj. pozyskiwanie drewna – grubizny na 100 ha lasów (w m<sup>3</sup>), – nadwyżki słomy w rolnictwie w TJ/100 ha UR oraz z grupy biomasy przydatnej do biogazowi fermentacyjnych (rolniczych), wśród niej dominują zmienne:

- potencjał odpadów poubojowych w TJ/100 ha UR,
- potencjał osadów ściekowych z oczyszczalni komunalnych w TJ/100 km<sup>2</sup>.

Mimo że wyniki korelacji wielorakiej metodą krokową wskazują na niską istotność zmiennych z grupy potencjału biopaliw płynnych – to jednak należy zaznaczyć, że są one ważne – do spełnienia warunków NCW oraz Dyrektyw UE, które są bardzo rygorystyczne w przypadku ich niespełnienia (5,75% w 2010 r. i 10,0% w 2020 r.).

Przeprowadzenie analizy statystycznej umożliwiło wskazanie najważniejszych zmiennych o najwyższej istotności wpływu na wielkość potencjału biomasy, a także ocenę istotności wpływu poszczególnych zmiennych na wielkość potencjału ogólnego biomasy oraz ocenę poziomu istotności korelacji między zmiennymi przyjętymi do modelu.

## Wnioski

- Istniejący regionalny potencjał biomasy jest wykorzystywany obecnie w znikomym stopniu.
- W najbliższych latach w rolnictwie polskim obok produkcji surowców konsumpcyjnych ważną rolę powinna odgrywać agroenergetyka.
- Potencjał biomasy energetycznej Polski jest duży i należy do największych w UE.
- Wykorzystanie w pełni zasobów biomasy zależy od działań politycznych, finansowych, organizacyjnych i promocyjnych.
- Polska jest w stanie spełnić z powodzeniem Dyrektywę UE i NCW w zakresie wykorzystania OZE, bez zagrożenia bezpieczeństwa żywnościowego kraju.
- Rolnictwo energetyczne (agroenergetyka) powinno stać się mocną stroną polskiego rolnictwa.
- Rozwój agroenergetyki i wykorzystania biomasy w całości wpisuje się w rozwój zrównoważony obszarów wiejskich.
- Istnieje duże zróżnicowanie regionalne zarówno w zakresie postaci biomasy energetycznej, jak i ogólnego jej potencjału.
- W zależności od warunków poszczególnych regionów, należy dążyć do optymalnego wykorzystania istniejących uwarunkowań.
- Do najważniejszych zmiennych wpływających na potencjał biomasy w Polsce należą: pozyskiwanie drewna – grubizny/ 100 ha lasów (w m<sup>3</sup>), nadwyżki słomy w TJ/100ha UR, odpady poubojowe w TJ/100 ha UR, potencjał osadów ściekowych w TJ/100 km<sup>2</sup>.

## Literatura

Abdel-Hadi M., Beck J., Jungbulth T., 2002, *Methanerträge bei der Kofermentation flüssig sielierten Gehaltsrüben*. „Landtechnik”, 2.

- Bioenergy*, Federal Ministry of Food Agriculture and consumer Protection, Gülzow (Germany), 2009.
- Biogas an Introduction*. Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2009, Gülzow (Germany).
- Brewer A. C., Morgan G. W., Poole E. J., Baldwin M. E., Tubby I., 2007, *Predictive Models of Biomass for Poplar and Willow. Short Rotation Coppice in the United Kingdom*, [w:] *Bioenergy 2007*, 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition, Iyvaskyla (Finland).
- Ekspertyza: Prawne, technologiczne, środowiskowe i ekonomiczne uwarunkowania rozwoju produkcji odnawialnych źródeł energii w Polsce opartych na biomacie pochodzenia rolniczego*. IBMER, 2008, Warszawa.
- Energia ze źródeł odnawialnych*, 2007, 2008, 2009, GUS, Warszawa.
- Faber A., Kuś J., Matyka A., 2009, *Uprawa roślin na potrzeby energetyki*. Warszawa.
- Garcia O., 2007, *Biofuels in Central America, a Real Potential for Commercial Production*. 3<sup>rd</sup> International Bioenergy Conference and Exhibition, Iyvaskyla (Finland).
- Gradziuk P., Grzybek A., Kowalczyk K., Kościuk B., 2003. *Biopaliwa*. AR w Lublinie, Instytut Nauk Rolniczych w Zamościu, Polskie Towarzystwo Biomasy, IBMER, Wschodni Klub Techniki i Racjonalizacji w Zamościu, Warszawa.
- Handreichung. Biogasgewinnung und nutzung, Bundesministerium für Verbraucher schutz, Ernährung und Landwirtschaft*, 2006, Gülzow (Germany).
- Harasim A. (red.), 2006, *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*. IUNG PIB, Raporty PIB, nr 3, Puławy.
- Hopfner-Six K., Zolltisch V., Boxbedreger J., 2006, *Biogaserzeugung aus agrarischen Rohstoffen-Kennwerte zur stofflichen und energetischen Bewertung*. „Landtechnik”, 3.
- Igras J., Kopiński J., 2007, *Zużycie nawozów mineralnych i naturalnych w układzie regionalnym*. Studia i Raporty IUNG-PIB, z. 5/2007, Puławy.
- Jasiulewicz M., 2009, *Znaczenie rolnictwa w rozwoju energetyki rozproszonej jako formy rozwoju zrównoważonego obszarów wiejskich*, [w:] *Miejsce obszarów wiejskich w zagospodarowaniu przestrzeni*, T. Komornicki, R. Kulikowski (red.). Studia obszarów wiejskich, t. 18, IGiPZ PAN, Warszawa, s.159-161.
- Jasiulewicz M., 2010, *Possibility of Liquid Bio-Fuels, Electric and Heat Energy Production from Biomass in Polish Agriculture*. Polish Journal of Environmental Studies, t. 19, nr 3, s. 483.
- Kaca E., Wasilewski Z., Barszczewski J., 2008, *Potencjał energetyczny trwałych użytków zielonych*. Opinia opracowana dla MRiRW, IMUZ, Falenty, za: J. Książak (2009).
- Klepacki B. (red.), 2009, *Ekonomiczne uwarunkowania stosowania odnawialnych źródeł energii*. SGGW, Warszawa.
- Kowalczyk-Jusko A., 2007, *Prawne, technologiczne, środowiskowe uwarunkowania rozwoju produkcji odnawialnych źródeł energii w Polsce opartych na biomacie pochodzenia rolniczego*. IBMER, Warszawa.
- Książak J., 2009, *Surowce do biogazowni rolniczych*. „Wieś Jutra”, 8-9, s. 26.
- Kupczyk A., 2005, *Wciąż zbyt mało. Polski potencjał produkcyjny biopaliw a unijne uwarunkowania*. „Agroenergetyka” Nr 4.
- Kuś J., Faber A., Madej A., 2006, *Przewidywane kierunki zmian produkcji roślinnej w ujęciu regionalnym*. Raporty JUNiG PIB, Nr 3/2006, Puławy, s. 203.
- Kuś J., Madej A., Kopiński J., 2006a, *Bilans słomy w ujęciu regionalnym*. Raporty PIB IUNG Puławy, s. 221.

- Leitfaden Bioenergie. Planung und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen*, Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, 2006, Gülzow (Germany).
- Linke B., Vollmer G., Mähnert P., 2006, *Kinetik der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen bei kontinuierlicher Prozessführung als Grundlage für die Bemessung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen Schlussbericht zum FNR*. Verbundvorhaben 22011402. Potsdam, s. 92.
- Lundtorp K. L. 2007, *Liquid Biofuel – A Valuable Byproduct From a Gasification Based CHP Plant*. 15<sup>th</sup> Biomass Conference and Exhibition. From Research to Market Development, Berlin.
- Nagel F. P., Biollaz S., Jenne M., Schuler A., 2008, *Long-term Tests of a Complete Biomass Integrated Gasification Fuell Cell System (B-JGFC)*. 16<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition. From Research to Industry and Markets, Valencia (Spain).
- National Biomass Action Plan for Germany*. Biomass and Sustainable Energy Supply, Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection, 2009, Berlin, s. 8-30.
- National Biomass Action Plan for Germany*, Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2009, Berlin.
- Ökologisch sinnvolle Verwertung von Bioabfällen. Anregungen für kommunale Entscheidungsträger*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2009, Berlin, s. 7-45.
- Parikka M., 2007, *Potential of Biofuels in Sweden*. Bioenergy 2007. 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition, Iyvaskyla (Finland).
- Pilarski K., 2008, *Ile oleju z hektara?* „Agroenergetyka” Nr 3.
- Planowanie energetyczne na szczeblu lokalnym z uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii*. IBMER, 2008, Warszawa.
- Renewable Energies. Innovations for a Sustainable Energy Future*, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2009, Berlin.
- Rosiak E., 2006, *Perspektywy rozwoju produkcji rzepaku w Polsce*. „Wieś Jutra” Nr 7.
- Stan pozyskiwania Odnawialnych Źródeł Energii w Polsce*, 2009, IMP PAN, PWSiIP w Łomży, Łomża.
- Szymańska M., Łabętowicz J., 2009, *Dostępność i zasoby substratów do produkcji biogazu w Polsce*. „Czysta Energia”, 5.
- Ustawa z 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska* (Dz.U. z 20 czerwca 2001 r.).
- Żmuda K., 2003, *Możliwości wykorzystania surowców rolnych do celów energetycznych*. „Wieś Jutra” nr 9.
- Żmuda K., 2008, *Biomasa na cele energetyczne – założenia i realizacja*. MRiRW, Warszawa.