

Ekonomia

Rynek biomasy rolnej jako surowca energetycznego

Ujęcie modelowe i praktyczne

Natalia Szubska-Włodarczyk



Rynek biomasy rolnej jako surowca energetycznego

Ujęcie modelowe i praktyczne



WYDAWNICTWO
UNIwersytetu
Łódzkiego

Ekonomia

Rynek biomasy rolnej jako surowca energetycznego

Ujęcie modelowe i praktyczne

Natalia Szubska-Włodarczyk

Natalia Szubska-Włodarczyk – Uniwersytet Łódzki, Wydział Ekonomiczno-Socjologiczny
Katedra Funkcjonowania Gospodarki, 90-214 Łódź, ul. Rewolucji 1905 r. nr 41

RECENZENT

Łukasz Popławski

REDAKTOR INICJUJĄCY

Monika Borowczyk

REDAKTOR WYDAWNICTWA UŁ

Dorota Stępień

SKŁAD I ŁAMANIE

AGENT PR

PROJEKT OKŁADKI

Katarzyna Turkowska

Zdjęcie wykorzystane na okładce: © Depositphotos.com/lorakss

© Copyright by Natalia Szubska-Włodarczyk, Łódź 2018
© Copyright for this edition by Uniwersytet Łódzki, Łódź 2018

Wydane przez Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

Wydanie I. W.08215.17.0.M

Ark. wyd. 9,0; ark. druk. 10,5

ISBN 978-83-8088-975-0

e-ISBN 978-83-8088-976-7

<http://dx.doi.org/10.18778/8088-975-0>

Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego

90-131 Łódź, ul. Lindleya 8

www.wydawnictwo.uni.lodz.pl

e-mail: ksiegarnia@uni.lodz.pl

tel. (42) 665 58 63

Spis treści

Wstęp	7
Rozdział 1	
Biomasa rolna jako alternatywne źródło energii	15
Wprowadzenie	15
1.1. Charakterystyka biomasy jako nośnika energii	15
1.2. Biopaliwa stałe	19
1.3. Biopaliwa gazowe	31
1.4. Biopaliwa płynne	33
1.5. Metody konwersji biomasy	35
1.6. Zalety i wady biomasy jako surowca energetycznego	38
Uwagi końcowe	40
Rozdział 2	
Rynki biomasy rolnej jako monopson – ujęcie teoretyczne	41
Wprowadzenie	41
2.1. Problem zawodności rynku na przykładzie rynku biomasy rolnej	41
2.2. Ogólna charakterystyka monopsonu jako struktury rynku biomasy rolnej	48
2.3. Nieefektywność rynku monopsonu	52
2.4. Monopson na rynku biomasy rolnej – ujęcie modelowe	55
Uwagi końcowe	60
Rozdział 3	
Strona popytowa rynków biomasy rolnej	63
Wprowadzenie	63
3.1. Uwarunkowania popytu na biomasę rolną	63
3.2. Podmioty strony popytowej rynku biomasy rolnej	66
3.3. Uprawnienia do emisji dwutlenku węgla i zielone certyfikaty jako instrumenty wspierające wykorzystanie biomasy rolnej jako surowca energetycznego	71
Uwagi końcowe	76

Rozdział 4

Strona podaźowa rynków biomasy rolnej 79

Wprowadzenie	79
4.1. Uwarunkowania naturalne strony podaźowej	79
4.2. Podmioty strony podaźowej rynku biomasy rolnej	83
4.3. Instrumenty prawno-ekonomiczne podaży biomasy rolnej	85
4.4. Założenia teoretyczne oceny potencjału biomasy rolnej	89
4.5. Potencjał teoretyczny biomasy rolnej w Polsce według województw	93
Uwagi końcowe	104

Rozdział 5

Biomasa rolna w województwie łódzkim 105

Wprowadzenie	105
5.1. Potencjał teoretyczny produkcji biomasy rolnej na potrzeby energetyczne w województwie łódzkim	105
5.2. Analiza opłacalności produkcji energii z biomasy rolnej na podstawie wybranych roślin energetycznych w województwie łódzkim z perspektywy rolnika	110
5.3. Podaż biomasy rolnej w województwie łódzkim w świetle badań własnych	114
5.3.1. Metodyka badania	114
5.3.2. Charakterystyka potencjalnych producentów biomasy rolnej	115
5.3.3. Potencjał energetyczny biomasy rolnej w badanej grupie gospodarstw	123
5.3.4. Charakterystyka gospodarstw rolnych ze względu na sposób użytkowania biomasy rolnej	133
5.4. Popyt na biomasę rolną w województwie łódzkim w świetle badań własnych	141
5.4.1. Metodyka badania	141
5.4.2. Potencjalni nabywcy biomasy rolnej w województwie łódzkim	142
Uwagi końcowe	150
Zakończenie	151
Bibliografia	157
Spis rysunków i tabel	165

Wstęp

Zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r., biomasę stanowią odpady, pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa (wraz z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa, przemysłu z uwzględnieniem rybołówstwa oraz akwakultury, a także ulegająca biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich¹. Energetyczne wykorzystanie biomasy jest zagadnieniem szczególnie interesującym w kontekście realizacji przez Polskę polityk energetycznej i klimatycznej, w których pojawia się konieczność redukcji emisji gazów cieplarnianych. Przyjmuje się, że zdolność absorpcji dwutlenku węgla podczas wzrostu biomasy jest równa uwalnianiu tego gazu w trakcie wytwarzania energii z tego surowca. Dodatkowo istnieje potrzeba bezwzględного zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego Polski w oparciu o dostępne surowce. Biomasa rolna może stać się alternatywą dla węgla i innych wyczerpywalnych nośników energii, takich jak gaz i ropa.

Zwrot w kierunku energetycznego wykorzystania biomasy związany jest z prowadzoną polityką ochrony klimatu. Działania wspierające politykę klimatyczno-energetyczną wydają się niezbędne, biorąc pod uwagę zagrożenia, jakie niesie ze sobą globalne ocieplenie. Zgodnie z ostatnim raportem IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) antropogeniczne skutki globalnego ocieplenia uznaje się za fakt. Niestabilność klimatu oraz systemów ekologicznych wpływa znacząco na destabilizację społeczno-gospodarczą państw². Dlatego wyzwaniem globalne stanowi ograniczenie do końca XXI wieku wzrostu średniej temperatury na Ziemi do 2°C. Należy zdać sobie sprawę, że konsekwencje ocieplenia klimatu mogą okazać się drastyczne dla wielu społeczeństw, zwłaszcza dla państw należących do *Alliance of Small Island States* (AOSIS)³. Grupa tych krajów ma niewielki udział w kreacji kryzysu klimatycznego, natomiast najbardziej

1 Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77WE oraz 2003/30/WE, s. 27.

2 IPCC, *Climate Change 2014. Synthesis Report*, Geneva 2015.

3 Sojusz Małych Państw Wyspiarskich – obejmuje 44 kraje najbardziej narażone na skutki zmian klimatu.

odczuwa jego skutki⁴. Każdorazowe podniesienie średniej temperatury o stopień może spowodować wzrost poziomu mórz o dwa metry. Ryzyko znalezienia się pod wodą przynajmniej części z tych krajów jest duże, czego konsekwencje ekonomiczno-społeczne okażą ogromne. Skutki zmian klimatu są i będą odczuwalne także w innych miejscach globu, wpływając w różny sposób na ludność i gospodarkę⁵.

Problem energetycznego wykorzystania biomasy poruszany jest zarówno w literaturze polskiej, jak i zagranicznej. Badania obejmują: problematykę klasyfikacji pojęcia biomasy (A. Evans, V. Strezov i T. J. Evans⁶), szacowanie zapotrzebowania na biomasę i analizy strategii jej wykorzystania (A. Grzybek⁷), analizę wskaźników agrotechnicznych biomasy jako surowca energetycznego (I. Niedziółka i A. Zuchniarz⁸; M. Grzesik, R. Janas i Z. Romanowska-Duda⁹; E. Klugmann i E. Klugmann-Radziemska¹⁰; I. Niedziółka, M. Szpryngiel, A. Kraszewicz i M. Kachel-Jakubowska¹¹; W. Denisiuk¹²), kwestie dotyczące transportu surowca (A. A. Rentizelas, A. J. Tolis i I. P. Tatsiopoulous¹³; W. Romaniuk, M. Łukaszuk i A. Karbowy¹⁴) czy też technologie przetwarzania i konwersji biomasy (H. L. Chum i R. P. Overend¹⁵). W literaturze przedmiotu spotyka się wiele analiz dotyczących wykorzystania roślin energetycznych do produkcji

- 4 AOSIS, *Tackling the Challenge of Climate Change: A Near-Term Actionable Mitigation Agenda*, 23 September 2014, s. IX.
- 5 M. Burchard-Dziubińska, *Instytucjonalne aspekty międzynarodowej współpracy w dziedzinie ochrony środowiska przyrodniczego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2006, s. 187–208.
- 6 A. Evans, V. Strezov, T. J. Evans, *Sustainability Considerations for Electricity Generation from Biomass*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2010, 14.
- 7 A. Grzybek, *Zapotrzebowanie na biomasę i strategię energetycznego jej wykorzystania*, [w:] A. Harasim (red.), *Uprawy roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG PIB” 2008, z. 11.
- 8 I. Niedziółka, A. Zuchniarz, *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*, „MOTROL” 2006, 8A.
- 9 M. Grzesik, R. Janas, Z. Romanowska-Duda, *Stymulacja wzrostu i procesów metabolicznych słazowca pensylwańskiego (Sida hermaphrodita L. Rusby) za pomocą hydrokondycjonowania nasion*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 4.
- 10 E. Klugmann-Radziemska, *Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006.
- 11 I. Niedziółka, M. Szpryngiel, A. Kraszewicz, M. Kachel-Jakubowska, *Ocena wydajności brykietowania oraz jakości brykietów wytworzonych z wybranych surowców roślinnych*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 6.
- 12 W. Denisiuk, *Słoma – potencjał masy i energii*, „Inżynieria Rolnicza” 2008, nr 2.
- 13 A. A. Rentizelas, A. J. Tolis, I. P. Tatsiopoulous, *Logistics Issues of Biomass: The Storage Problem and the Multi – Biomass Supply Chain*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2009, 13.
- 14 W. Romaniuk, M. Łukaszuk, A. Karbowy, *Potencjalne możliwości rozwoju biogazowni w gospodarstwach rolnych w Polsce*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2010, nr 4.
- 15 H. L. Chum, R. P. Overend, *Biomass and Renewable Fuels*, "Fuel Processing Technology" 2001, 71.

energii (A. Zawadzka i M. Imbierowicz¹⁶; D. Kwaśniewski¹⁷; W. Budzyński i S. Bielski¹⁸; S. Skonecki, S. Gawłowski, M. Potręć i J. Laskowski¹⁹; J. Kuś, A. Faber, M. Stasiak i A. Kawalec²⁰; A. Harasim²¹). Uprawy celowe, tj. produkcja roślin energetycznych, stanowią zagrożenie związane z możliwością wyparcia areału przypisanego produkcji żywności (A. Roszkowski²², BEFS²³).

Instytut Energetyki Odnawialnej (IEO) zrealizował projekt badawczy pt. „Odnawialne źródła energii w gospodarstwach rolnych i inteligentnych sieciach”, którego celem było zaproponowanie rozwiązań umożliwiających ograniczenie kosztów energii dla gospodarstw rolnych oraz wykorzystanie inteligentnych sieci energetycznych ze szczególnym uwzględnieniem odnawialnych źródeł energii (OZE)²⁴. Dostępne są również analizy dotyczące rozwoju rynku mikrobiogazowni w Europie ze szczególnym uwzględnieniem rodzaju dostępnych technologii oraz podmiotów zajmujących się budową inwestycji (K. Hjort-Gregersen²⁵).

Różnorodne możliwości zastosowania biomasy do produkcji energii inicjują szanse przeobrażenia tradycyjnej produkcji rolnej nastawionej na wytwarzanie żywności w realnego producenta surowca energetycznego²⁶. W analizach międzynarodowych spotyka się rozważania dotyczące konkurencji pomiędzy sektorem rolnym i energetycznym, wynikające w tym przypadku ze zgłaszanego podobnego zapotrzebowania na biomasę. Z jednej strony konkurencja jest inicjowana przez międzynarodową politykę promującą rozwój sektora bioenergii oraz odnawialne

16 A. Zawadzka, M. Imbierowicz, *Rośliny energetyczne oraz technologie i urządzenia dla przetwórci biomasy*, [w:] E. Kochańska (red.), *Inwestowanie w energetykę odnawialną. Aspekty ekologiczne, technologie, finansowanie i benchmarking*, Stowarzyszenie Doradców Gospodarczych Pro-Akademia, Łódź 2010.

17 D. Kwaśniewski, *Techniczno-ekonomiczne aspekty zbioru na plantacjach wierzby energetycznej*, „Inżynieria Rolnicza” 2007, 6 (94).

18 W. Budzyński, S. Bielski, *Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego*, cz. II: *Biomasa jako paliwo stałe (artykuł przeglądowy)*, „Acta Sci. Pol. Agricultura” 2004, nr 2.

19 S. Skonecki, S. Gawłowski, M. Potręć, J. Laskowski, *Właściwości fizyczne i chemiczne surowców roślinnych stosowanych do produkcji biopaliw*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 8.

20 J. Kuś, A. Faber, M. Stasiak, A. Kawalec, *Plonowanie wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne na różnych glebach*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2008, nr 1; J. Kuś, A. Faber, M. Stasiak, A. Kawalec, *Produkcyjność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w różnych siedliskach*, [w:] A. Harasim (red.), *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG PIB” 2008, z. 11.

21 A. Harasim (red.), *Uprawy roślin energetycznych...*

22 A. Roszkowski, *Bioenergia – pola i las zastąpią węgiel, ropę i gaz?*, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 1.

23 BEFS, *Bioenergy and Food Security. The BEFS Analytical Framework*, FAO, Rome 2010.

24 <http://ieo.pl/pl/projekty/energia-odnawialna-w-rolnictwie> (dostęp: 7.05.2016).

25 K. Hjort-Gregersen, *Market Overview Micro Scale Digesters*, BioEnergy Farm II publication, AgroTech A/S, Denmark 2015.

26 A. Roszkowski, *Bioenergia...*, s. 243, 244.

źródła energii. Z drugiej zaś – rosnąca populacja świata zgłasza zapotrzebowanie na coraz większe ilości żywności, w tym produktów wysoko przetworzonych. Ten rodzaj produkcji żywności wymaga zużycia większej ilości energii²⁷.

Aktualność problematyki podjętej w książce wynika zarówno z konieczności zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego Polski, jak i jednoczesnej realizacji zobowiązań narzuconych przez UE w ramach prowadzonej polityki klimatyczno-energetycznej. Jednym z jej filarów jest wzrost znaczenia odnawialnych źródeł energii. W ujęciu regionalnym wykorzystanie pozostałości produkcji rolnej jako surowca energetycznego może stanowić dodatkowe źródło dochodów dla gospodarstw rolnych. Takie rozwiązanie wydaje się atrakcyjne, ponieważ jednym z głównych obszarów zagrożonych wykluczeniem społecznym w UE są właśnie obszary wiejskie. Również wykorzystanie biomasy do produkcji energii może wpłynąć korzystnie na wzrost regionalnego bezpieczeństwa energetycznego. Obszary wiejskie są najbardziej narażone na przerwy w dostawie energii uwarunkowane awaryjnością systemów scentralizowanych.

Problematyka badawcza obejmuje analizę rozwoju rynków biomasy rolnej w ujęciu regionalnym. W województwie łódzkim nie wyklucza się możliwości powstania kilku rynków tego surowca w zależności od potencjału regionu zaopatrzenia²⁸. W książce pojęcie biomasy rolnej zawężono do powstających w rolnictwie odpadów produkcji rolnej oraz nasadzeń roślin energetycznych na ugorach. Analiza nie obejmuje biomasy stanowiącej surowiec do produkcji biopaliw, jak również pochodzącej z sektora rolno-spożywczego. Tak rozumiana biomasa rolna powinna być postrzegana jako zasób surowca energetycznego, a nie odpad. Właśnie takie wykorzystanie pozostałości produkcji rolnej stanowi innowacyjny aspekt gospodarowania tym zasobem. Utowarowienie biomasy rolnej, zasobu ewidentnie powstającego w gospodarstwie rolnym przy klasycznym procesie produkcji, może stanowić atrakcyjne rozwiązanie zarówno dla gospodarstw rolnych, jak i całej gospodarki.

Dotychczasowe obserwacje rozwoju rynków biomasy w Polsce skłaniają do konstatacji, że istniejący potencjał surowcowy jest w przeważającej mierze marnotrawiony. Dlatego podjęta została próba identyfikacji głównych barier uniemożliwiających prosperowanie tych rynków. Postawiono następujące pytanie badawcze: *Jakie bariery hamują rozwój rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim?*

Celem rozważań jest określenie możliwości budowy i funkcjonowania rynków biomasy rolnej na potrzeby rozwoju energetyki rozproszonej w województwie łódzkim. Sformułowano następujące cele szczegółowe:

- analizę stron popytowej i podażowej rynków biomasy rolnej;
- oszacowanie potencjału biomasy rolnej jako surowca energetycznego w ujęciu regionalnym;
- identyfikację barier rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim.

27 BEFS, *Bioenergy and Food Security...*, s. 3–10.

28 Obszar wystarczająco duży, aby z ekonomicznego i ekologicznego punktu widzenia było na nim sensowne wykorzystanie biomasy rolnej do celów energetycznych (np. budowa biogazowi).

W literaturze zagranicznej spotyka się rozważania dotyczące wyboru odpowiedniego modelu rynku energii. Analizy obejmują modele monopolu naturalnego, oligopolu, monopsonu oraz konkurencji doskonałej²⁹. W książce podjęto problematykę rozwoju rynków biomasy rolnej jako rynku monopsonowego z perspektywy czynnika produkcji.

Biorąc pod uwagę rynki biomasy rolnej w ujęciu regionalnym, rozproszenie występuje po stronie podaży. Energetyczne zagospodarowanie biomasy wymaga pewnej koncentracji skupu i przetwórstwa po stronie popytowej. Dlatego zwrócono uwagę na monopson jako model struktury rynku najlepiej odpowiadający specyfice biomasy rolnej jako surowca energetycznego. Przedsiębiorstwa energetyczne, kupując biomasę rolną, biorą pod uwagę opłacalność ekonomiczną. Jednak prawidłowo przeprowadzona analiza kosztów i korzyści, zalecana przy realizacji inwestycji proekologicznych i prospołecznych, powinna uwzględniać także korzyść ekologiczną rozumianą jako nadwyżka korzyści zewnętrznych wynikających z wykorzystania biomasy do produkcji energii nad kosztami zewnętrznymi transportu³⁰ tego surowca do miejsca przetworzenia. Podstawową kategorią przy tego typu analizach jest wielkość emisji dwutlenku węgla podczas transportu i wielkość absorpcji tego gazu w procesie fotosyntezy. Bierze się pod uwagę także efektywność energetyczną produkcji biomasy i wytwarzania z niej energii.

Książka stanowi syntezę rozprawy doktorskiej³¹. Analiza teoretyczna wpływu polityki klimatycznej UE na rozwój rynków biomasy została przeprowadzona na podstawie zagranicznej oraz krajowej literatury naukowej i uzupełniona o wnioski z polskich raportów i opracowań. Należy podkreślić, że praca obejmuje analizy w oparciu o obowiązujące przepisy prawne w zakresie odnawialnych źródeł do marca 2016 roku.

W badaniach empirycznych za pomocą metod statystycznych oszacowano potencjał teoretyczny biomasy rolnej dla województw Polski, a także poziom dolnego progu rentowności dla rolników z województwa łódzkiego w przypadku produkcji

29 D. Bellante, *The Non Sequitur in the Revival of Monopsony Theory*, "The Quarterly Journal of Austrian Economics" 2007, vol. 10, no. 2, s. 112–121; T. J. Brennan, *Energy Efficiency and Renewable Policies: Promoting Efficiency or Facilitating Monopsony?*, "Energy Policy" 2011, 39, s. 3954–3965; T. J. Brennan, *Energy Efficiency: Efficiency or Monopsony?*, Discussion Paper, Washington 2009 (May).

30 Inne koszty zewnętrzne nie zostały uwzględnione.

31 Rozprawa doktorska *Perspektywy rynku biomasy rolnej jako surowca energetycznego. Przykład województwa łódzkiego*, napisana pod kierunkiem dr hab. Małgorzaty Burchard-Dziubińskiej prof. nadzw. UŁ. Praca została obroniona w październiku 2016 roku na Wydziale Ekonomiczno-Socjologicznym Uniwersytetu Łódzkiego. Badania przeprowadzone na użytek publikacji zostały sfinansowane ze środków otrzymanych na realizację projektu „Analiza możliwości zaangażowania obszarów wiejskich w rozwój energetyki odnawialnej w województwie łódzkim – szacunek produkcji biomasy rolnej w gospodarstwach rolnych”, nr umowy 1/SMN/2013 w ramach „Stypendiów Naukowych Marszałka Województwa Łódzkiego dla wybitnych młodych naukowców”.

energii z roślin energetycznych nasadzonych na ugorach. Zabiegiem celowym było uwzględnienie w analizach lat pokrywających się z rokiem, w którym przeprowadzono badanie.

Podstawą do określenia możliwości rozwoju rynków biomasy rolnej w ujęciu regionalnym było przeprowadzenie wywiadów kwestionariuszowych na reprezentatywnej grupie gospodarstw rolnych z województwa łódzkiego. W analizie wzięto pod uwagę, że głównymi barierami w rozwoju regionalnych rynków biomasy rolnej mogą być brak dostępu rolników do informacji o możliwościach energetycznego wykorzystania tego surowca, jak również brak znajomości samego pojęcia biomasy. Rolnicy mogą nie być zainteresowani sprzedażą biomasy ze względu na to, że nie wiedzą, co i gdzie mogą sprzedać. Niewiedza dotycząca zagospodarowania odpadów produkcji rolnej może dotyczyć głównie gospodarstw, które nie prowadzą produkcji typowo energetycznej. W rozważaniach wzięto też pod uwagę fakt, że powstała w gospodarstwie biomasa rolnicy mogą przeznaczać na własne potrzeby. Przypuszczenie to dotyczy głównie słomy, która wykorzystywana jest często jako nawóz. Natomiast należy uwzględnić również inne rodzaje biomasy rolnej powstające w gospodarstwach jako odpad produkcyjny, takie jak: obornik, gnojowica, wyłoki z warzyw i owoców, skoszone trawy, drewno z przycinanych sadów, które mogą zostać wykorzystane jako nośnik energii. Biomasa rolna z reguły jest surowcem o dużej objętości, dlatego zasadne wydawało się uwzględnienie kwestii jej transportu do producenta energii. Dodatkowo przeanalizowano, czy jedną z barier w rozwoju rynku biomasy nie jest brak odpowiedniego zainteresowania strony popytowej wynikający z niepewności co do stabilności regulacji prawnych odnośnie do OZE i organizacyjnych uwarunkowań funkcjonowania rynku.

Książka składa się z pięciu rozdziałów. Pierwszy jest poświęcony prezentacji biomasy rolnej jako surowca energetycznego. Uwzględniono różne rodzaje biomasy oraz techniczne aspekty jej produkcji i przetwórstwa. Rozdział stanowi syntetyczne ujęcie charakterystyki, metod konwersji, zalet i wad wykorzystania biomasy rolnej jako alternatywnego źródła energii. Zostały w nim przedstawione możliwości pozyskania i dalszego przetworzenia tego surowca.

Rozdział drugi zawiera analizę teoretyczną rynku monopsonowego. Założono, że rynki biomasy w ujęciu regionalnym wykazują cechy monopsonu. Przedstawiono problematykę efektywności rynku monopsonowego na przykładzie rynku biomasy rolnej i jego charakterystykę. Rozdział ten obejmuje również próbę konstrukcji teoretycznego modelu rynku biomasy rolnej w kontekście wyznaczenia ceny za jednostkę biomasy umożliwiającej monopsoniście maksymalizację zysku.

W rozdziale trzecim omówiono popytowe uwarunkowania rozwoju rynków biomasy rolnej. Zwrócono uwagę na obecnie bardzo silne oddziaływanie międzynarodowej współpracy w zakresie ochrony klimatu, co przekłada się na wzrost zainteresowania odnawialnymi źródłami energii, w tym biomasą. Z racji postawionych celów badawczych przedstawiono potencjalnych nabywców biomasy, jakimi w tym przypadku są: energetyka zawodowa i energetyka rozproszona.

Analizą objęto instrumenty ekonomiczne wpływające na stronę popytową, które wynikają przede wszystkim z uwarunkowań legislacyjnych polityki klimatyczno-energetycznej UE i rynku energii, tj. zielone certyfikaty i uprawnienia do emisji dwutlenku węgla.

Rozdział czwarty dotyczy funkcjonowania strony podażowej rynków biomasy rolnej powstającej w konwencjonalnej produkcji rolnictwa, jaką jest wytwarzanie żywności. Zwrócono uwagę na główne uwarunkowania rozwoju strony podażowej. Dokonano również charakterystyki podmiotów tej strony rynku biomasy rolnej. Ponadto oszacowano potencjał teoretyczny biomasy rolnej w województwach Polski i wskazano województwa charakteryzujące się najwyższym jego poziomem.

Rozdział piąty stanowi empiryczną weryfikację możliwości rozwoju rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim. Oszacowano potencjał energetyczny biomasy rolnej w powiatach województwa łódzkiego oraz ekonomiczną atrakcyjność produkcji biomasy rolnej na cele energetyczne z punktu widzenia gospodarstw rolnych. Rozdział zawiera analizę wyników wywiadów kwestionariuszowych przeprowadzonych wśród gospodarstw rolnych województwa łódzkiego. Przedstawiono podstawy metodologiczne badania i szeroko rozumianą charakterystykę gospodarstw rolnych w wylosowanej próbie. Dodatkowo dokonano analizy strony popytowej rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim.

Rozważania kończy podsumowanie przeprowadzonych analiz oraz zaprezentowanie głównych wniosków z nich płynących.

Rozdział 1

Biomasa rolna jako alternatywne źródło energii

Wprowadzenie

Rozdział stanowi wprowadzenie do rozważań na temat rozwoju rynków biomasy rolnej jako surowca energetycznego w ujęciu regionalnym. Jego celem jest przedstawienie biomasy rolnej jako przedmiotu obrotu na rynku. Uwzględniono techniczne aspekty jej produkcji i wykorzystania. Scharakteryzowano metody konwersji, zalety i wady biomasy rolnej jako alternatywnego źródła energii. Różnorodne możliwości zastosowania biomasy stwarzają szanse rozszerzenia tradycyjnej produkcji rolnej o pozyskiwanie surowca energetycznego.

1.1. Charakterystyka biomasy jako nośnika energii

Pod pojęciem biomasy kryje się wiele rodzajów nośników energii. To, jakim produktem finalnym stanie się przetworzona biomasa, zależy między innymi od dostępnych substratów i technologii oraz zdolności inwestycyjnych. Zgodnie z dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r., biomasę stanowią odpady, pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa (wraz z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa, przemysłu z uwzględnieniem rybołówstwa oraz akwakultury, a także ulegająca biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich¹.

¹ Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77WE oraz 2003/30/WE, s. 27.

Biomasa to masa materii organicznej tkanki zwierzęcej lub roślinnej. Powstaje pośrednio lub bezpośrednio w wyniku reakcji fotosyntezy w procesie C_3 , C_4 ². Wyróżnia się biomasę pochodzącą z upraw celowych, np. roślin energetycznych oraz z produktów ubocznych, tzn. z przemysłu leśnego i rolnictwa, pielęgnacji parków i ogrodów, z odpadów żywnościowych gospodarstw domowych i restauracji, przemysłu papierniczego³. Energia chemiczna biomasy poprzez różne metody konwersji przekształcana jest w energię cieplną, elektryczną lub paliwo transportowe. Produktem ubocznym przekształcenia energii chemicznej jest dwutlenek węgla. Przyjmuje się, że w przypadku biomasy bilans dwutlenku węgla jest zerowy ze względu na jego obieg zamknięty – wytwarzana ilość dwutlenku węgla w procesie przekształcania na energię finalną jest równa ilości pobieranej przez rośliny w procesie fotosyntezy⁴.

Ze względu na wielorakość biomasy wyróżniamy:

- biomasę roślinną i drzewną (tzw. uprawną);
- odpady z produkcji roślinnej i spożywczej;
- odpady leśne i z przemysłu drzewnego;
- odpady z produkcji zwierzęcej;
- odpady z produkcji biopaliw i biomateriałów;
- odpady organiczne, w tym komunalne i osady ściekowe⁵.

Głównymi składnikami biomasy roślinnej są węglowodany, skrobia, lignina, jak również celuloza i hemiceluloza. Skład procentowy składników zależy od rodzaju rośliny⁶. Rośliny energetyczne charakteryzują się odwrotnością proporcji substancji pokarmowych i energetycznych. Węglowodany i skrobia stanowią substancje pokarmowe dla zwierząt i ludzi, a przez to są głównym produktem rolnictwa⁷. Produkcja biomasy jako surowca jest najmniej kapitałochłonna pod warunkiem zrównoważonego wykorzystania przestrzeni ziemskiej. Wydaje się, że coraz bardziej atrakcyjnym rozwiązaniem staje się wykorzystanie samoistnie powstających odpadów produkcji roślinnej i zwierzęcej czy też odpowiednie zagospodarowanie

2 Typy fotosyntezy C_3 i C_4 są różne ze względu na budowę organów asymilacyjnych roślin. Typ C_4 przystosowany jest do wydajnego wiązania dwutlenku węgla w następujących warunkach klimatycznych: ograniczona wilgotność, wysoka temperatura i silne nasłonecznienie. W polskich warunkach klimatycznych powszechny jest typ C_3 .

3 S. van Dyken, B. H. Bakken, H. I. Skjelbred, *Linear Mixed – Integer Models for Biomass Supply Chains with Transport, Storage and Processing*, "Energy" 2010, 35, s. 1338–1350.

4 G. Jastrzębska, *Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007, s. 58, 59.

5 T. Chmielniak, *Technologie energetyczne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008, s. 31.

6 Z. Romanowska-Duda, M. Grzesik, W. Pszczółkowski, *Biomasa i biogaz, [w:] Inwestowanie w energię odnawialną. Aspekty ekologiczne, technologie, finansowanie, benchmarking*, Polska Akademia Nauk, Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska, Łódź 2011, s. 16.

7 J. Piwowarczyk, *Energetyczne użytkowanie biomasy roślinnej*, „GLOBEnergy” 2003, nr 2–3, s. 32–38.

nieużytków i odłogów pod uprawy energetyczne. Umożliwi to ograniczenie marnotrawstwa zasobów.

Biomasa, ze względu na możliwość jej wieloaspektowego wykorzystania, stanowi surowiec do produkcji stałych nośników energii (takich jak zrębki, pellety, brykiety), ciekłych nośników energii (etanol, metanol) i gazowych nośników energii (gaz drzewny, metan). Biorąc pod uwagę źródło pochodzenia, biomasę dzielimy na leśną, rolną oraz odpady organiczne. Analizując kryterium stopnia przetworzenia biomasy, wyróżniamy:

- surowce energetyczne pierwotne (uprawiane z przeznaczeniem na biomasę, tj. rośliny energetyczne, słoma, drewno);
- surowce energetyczne wtórne (obornik, gnojowica, odpady organiczne, osady ściekowe);
- nośniki energii (biogaz, biometanol, bioetanol, estry olejów roślinnych, biooleje, biobenzyna itd.)⁸.

A. Evans, V. Strezov i T. J. Evans podjęli próbę klasyfikacji biomasy, ograniczając się do pozostałości produkcji rolnej oraz upraw energetycznych (tab. 1). Wykorzystanie odpadów produkcyjnych z przemysłu rolno-spożywczego oraz leśnego prowadzi do ponownego wykorzystania surowca do produkcji energii. Sposób ten jest trudny do wdrożenia ze względu na zdecentralizowany charakter powstawania tego rodzaju biomasy. Wykorzystanie pozostałości produkcji rolnej i leśnej wymaga dostosowania do lokalnych kierunków rozwoju przemysłu. Niezbędne jest prowadzenie lokalnych ewidencji i regionalnych szacunków potencjału produkcji energii z biomasy pod kątem zasilania lokalnych sieci elektryczno-ciepłowniczych. Kwestią problemową jest sezonowość produkcji, a często także niska kaloryczność substratów. Niezbędne jest rozpowszechnianie zrównoważonej produkcji roślin energetycznych w celu umocnienia pozycji biomasy na rynku energii. Do najpopularniejszych należą uprawy krótkiej rotacji – SRC (*Short Rotation Coppice*), takie jak wierzba, topola, eukaliptus oraz niewłókniste wieloletnie trawy, np. miskantus. Spotyka się również uprawę kukurydzy oraz pszenicy na cele energetyczne. Wymagają one jednak ponoszenia większych kosztów produkcji, a ponadto posiadają mniejszą wydajność energetyczną w porównaniu z typowymi roślinami energetycznymi. Negatywną stroną rozpowszechniania upraw energetycznych jest obawa o ich niekorzystny wpływ na bioróżnorodność. Monokultury są mniej odporne na szkodniki i choroby oraz wymagają większych nakładów energetycznych w porównaniu z lasami⁹, co w ogólnym bilansie może mijać się z celem, jakim jest zmniejszanie energochłonności gospodarki.

8 A. Grzybek, *Zapotrzebowanie na biomasę i strategie energetycznego jej wykorzystania*, [w:] A. Harasim (red.), *Uprawy roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG PIB” 2008, z. 11, s. 9.

9 A. Evans, V. Strezov, T. J. Evans, *Sustainability Considerations for Electricity Generation from Biomass*, „Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2010, 14, s. 1419–1427.

Tabela 1. Klasyfikacja biomasy pochodzenia roślinnego

Biomasa pochodząca z pozostałości produkcji	Biomasa pochodząca z upraw energetycznych
Odpady z produkcji rolnej: – wytloki, – słoma, – ziarno, – siano, – obornik i gnojowica. Odpady z przemysłu leśnego: – odpady drzewne, – wycinki leśne.	Uprawy energetyczne stanowiące konkurencję dla produkcji do żywności: – uprawy krótkiej rotacji (SRC). Uprawy energetyczne prowadzone na obszarach suchych i niewykorzystanych do produkcji żywności oraz nieużytkach: – rośliny nadające się do uprawy w trudnych warunkach.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: A. Evans, V. Strezov, T. J. Evans, *Sustainability Considerations for Electricity Generation from Biomass*, “Renewable and Sustainable Energy Reviews” 2010, 14, s. 1419–1427.

Klasyfikacja biomasy rolnej opiera się głównie na rozróżnieniu rodzajów upraw. Wyróżnia się dwie główne kategorie. Pierwszą stanowi biomasa powstała w procesie przetwarzania upraw rolnych. Druga kategoria obejmuje celowy zbiór do zastosowania energetycznego¹⁰. Inną propozycję klasyfikacji z perspektywy produkcji roślinnej przedstawiono w tab. 2.

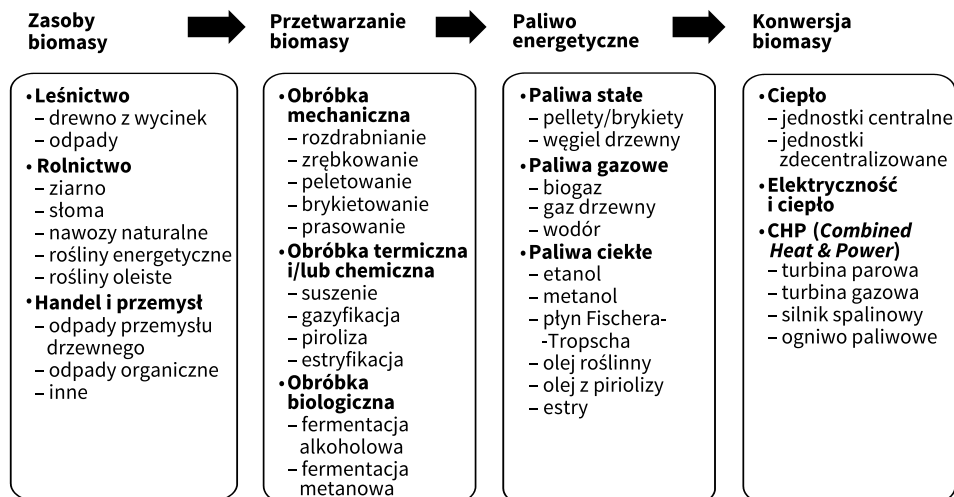
Tabela 2. Klasyfikacja biomasy rolnej pochodzącej z produkcji roślinnej

Kategoria	Rodzaj biomasy	Rodzaj rośliny
A1	słoma	pszenica jęczmień rośliny strączkowe ryż paddy
A2	łodyga	bawełna kukurydza rzepak i gorczyca arhar sezam
A3	wytłoki gałęzie i liście	trzcina cukrowa
A4	kolby łuski łupiny	kukurydza ryż paddy orzeszki ziemne

Źródło: opracowanie własne na podstawie: J. Singh, B. S. Panesar, S. K. Sharma, *Energy Potential through Agricultural Biomass Using Geographical Information System – A Case Study of Punjab*, “Biomass and Bioenergy” 2008, 32, s. 301–307.

10 J. Singh, B. S. Panesar, S. K. Sharma, *Energy Potential through Agricultural Biomass Using Geographical Information System – A Case Study of Punjab*, “Biomass and Bioenergy” 2008, 32, s. 301–307.

Istnieje wiele źródeł pochodzenia biomasy oraz metod jej przetwarzania i konwersji. Na rys. 1 zostały zaprezentowane etapy przekształcania biomasy w różne rodzaje energii.



Rysunek 1. Etapy produkcji energii z biomasy

Źródło: opracowanie własne na podstawie: H. L. Chum, R. P. Overend, *Biomass and Renewable Fuels*, “Fuel Processing Technology” 2001, 71, s. 187–195.

1.2. Biopaliwa stałe

Biomasa jest jednym z najpopularniejszych źródeł energii niekonwencjonalnej na świecie. Stanowią ją złożone biogenne organiczno-nieorganiczne produkty pochodzenia naturalnego bądź antropogenicznego. Biomase stałą możemy podzielić na kilka głównych grup i podgrup, uwzględniając różnorodność biologiczną oraz źródło pochodzenia¹¹. Klasyfikację przedstawiono w tab. 3.

Słoma jest odpadem produkcji nasiennej, między innymi zbóż. Poza rolnictwem ma ona zastosowanie także w ogrodnictwie, budownictwie i energetyce. Od zawsze główną funkcją słomy było użytkowanie jej jako ściółki. Może być także zagospodarowana jako nawóz do gleby, pasza oraz zabezpieczenie kopców z ziemniakami. Od innych nośników energii różni się przede wszystkim budową, którą cechuje rurkowatość źdźbła. Struktura ta czyni ją surowcem o charakterze

¹¹ S. V. Vassilev, D. Baxter, L. K. Andersen, Ch. G. Vassileva, *An Overview of the Chemical Composition of Biomass*, “Fuel” 2010, 89, s. 913–933.

objętościowym. Słoma posiada niedużą wartość energetyczną w stosunku do dużej objętości, a więc także małą wartością materialną. Jej skład chemiczny ogranicza zastosowanie tego materiału do wytwarzania energii. Słoma, ze względu na dość duży udział chloru w składzie chemicznym, jest trudnym surowcem energetycznym. Wiąże się to z miejscem i sposobem podawania tego nośnika energii w kotle w procesie spalania. Chlor zwiększa ryzyko uszkodzenia oraz korozji urządzeń technicznych wykorzystywanych do tego procesu. Dodatkowo na wartość kaloryczną słomy mają wpływ warunki klimatyczne, glebowe oraz sposób uprawy¹².

Tabela 3. Klasyfikacja biomasy stałej z uwzględnieniem źródła pochodzenia

Rodzaj biomasy	Pochodzenie biomasy
1	2
Biomasa zielna i rolna	Uprawy roczne lub wieloletnie oraz produkty rolne przetworzone, takie jak: – trawy i kwiaty (tymotka, miskantus, lucerna, bambus i inne), – słoma (jęczmień, fasola, len, kukurydza, mięta, owies, rzepak, ryż, żyto, sezam, słonecznik, pszenica i inne), – pozostałe (owoce, łupiny, pestki, ziarna, nasiona, łodygi, kolby, wytloki, żywność, pasze, pulpy i inne).
Biomasa drzewna i pochodzenia leśnego	– roślinny okrytozałążkowe i nagonasienne, – drewno pochodzenia liściastego i iglastego, – brykiety/pellety, – odpady przemysłu drzewnego, takie jak łodygi, kora, gałęzie, liście, wióry, trociny i inne.
Odpady zwierzęce	– kości, – mączka kostna, – gnojowica, – obornik, – odpady poubojowe itd.
Biomasa pochodząca z przemysłu i gospodarki komunalnej	– stałe odpady komunalne, – drewno z rozbiórki, – ścieki, – osady, – odpady szpitalne, – makulatura, – odpady garbarskie, – palety drewniane i skrzynki, – pulpy papierowe itd.

12 W. Denisiuk, *Słoma – potencjał masy i energii*, „Inżynieria Rolnicza” 2008, nr 2, s. 23–25.

1	2
Biomasa wodna	– algi morskie i słodkowodne, – wodorosty, – glony, – roślinność wodna itd.
Biomasa mieszana	Mieszanki z różnych rodzajów biomasy.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: S. V. Vassilev, D. Baxter, L. K. Andersen, Ch. G. Vassileva, *An Overview of the Chemical Composition of Biomass, "Fuel"* 2010, 89, s. 913–933.

Biorąc pod uwagę gatunek słomy zbóż, wykazuje ona różną wartość opałową. Porównując pszenicę z upraw ozimych i jarych, zboże to posiada większą kaloryczność w przypadku uprawy ozimej. Odwrotnie natomiast jest w przypadku jęczmienia. Zboże to charakteryzuje się większą kalorycznością w przypadku odmian zbóż jarych. Widoczny jest duży potencjał energetyczny tego nośnika. Zbiór słomy jest kosztowny oraz istnieje problem z jej przechowywaniem. W tab. 4 przedstawiono wartość opałową poszczególnych rodzajów słomy.

Tabela 4. Wartość opałowa wybranych rodzajów biomasy stałej w zależności od wilgotności

Rodzaj biomasy	Wilgotność biomasy [%]	Wartość opałowa w stanie świeżym [MJ/kg]	Wartość opałowa w stanie suchym [MJ/kg]
Słoma pszenna	15,0–20,0	12,9–14,1	17,3
Słoma jęczmienna	15,0–22,0	12,0–13,9	16,1
Słoma rzepakowa	30,0–40,0	10,3–12,5	15,0
Słoma kukurydziana	45,0–60,0	5,3–8,2	16,8
Brykiety ze słomy	9,7	15,2	17,1

Źródło: I. Niedziółka, A. Zuchniarz, *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*, „MOTROL” 2006, 8A, s. 234.

Ze względu na różny skład chemiczny słoma jest bardzo trudnym surowcem do wykorzystania w celu uzyskania energii. Z badań naukowych wynika, że średnia wartość opałowa słomy suchej wynosi 17,0 MJ/kg przy cieple spalania równym 18,3 MJ/kg. Na kaloryczność słomy ma wpływ rodzaj uprawianej rośliny. Słoma rzepakowa charakteryzuje się stosunkowo mniejszą wartością opałową i ciepłem spalania niż inne rośliny zbożowe o ok. 3–5%¹³.

13 A. Świętochowski, A. Grzybek, P. Gutry, *Wpływ czynników agrotechnicznych na właściwości energetyczne słomy*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 1, s. 41–47.

Rozważając możliwości produkcji bioenergii z biomasy, pojawia się temat rywalizacji z podstawową funkcją rolnictwa, czyli produkcją żywności. Biorąc pod uwagę niewielkie obszary przeznaczone pod plantacje roślin energetycznych w Polsce, prognozuje się wzrost zapotrzebowania na słomę. Pojawiają się również wzmianki o możliwości wykorzystania ziarna zbóż w celach energetycznych. W praktyce, gdy na rynku zbóż są niskie ceny, pojawia się pokusa przekształcenia funkcji żywnościowo-paszowej na energetyczną. Natomiast badania dowodzą, że wykorzystywanie ziarna zbóż do produkcji energii odnawialnej jest nieuzasadnione ze względu na jego bardzo małą wydajność energetyczną. Jest ona pięciokrotnie mniejsza od wydajności plonów suchej masy kukurydzy i sorga. Wydajność produkcji bioetanolu z ziaren zbóż kłosowych jest również trzykrotnie mniejsza od wydajności produkcji z buraków cukrowych oraz ziemniaków¹⁴.

Rośliny energetyczne powinny charakteryzować się dużym przyrostem rocznym, niedużymi wymaganiami glebowymi przy równocześnie dużej kaloryczności oraz odporności na choroby i szkodniki. Do głównych roślin energetycznych uprawianych w Polsce należą:

- wierzba wiciowa (*Salix viminalis*);
- ślazier pensylwański/malwa pensylwańska (*Sida hermaphrodita*);
- redest sachaliński (*Polygonum sachalinense*);
- róża wielokwiatowa/róża bezkolcowa (*Rosa multiflora*);
- topinambur/słonecznik bulwiasty (*Helianthus tuberosus*);
- miskant olbrzymi/trawa słoniowa (*Miscanthus sinensis gigantea*);
- miskant cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus*);
- spartina priowa (*Spartina pectinata*);
- palczatka Gerarda (*Andropogon gerardi*);
- proso różgowe (*Panicum virgatum*)¹⁵.

W tab. 5 została przedstawiona charakterystyka wybranych roślin energetycznych. Zauważalna jest ich zbliżona wartość opałowa, natomiast pozostałe właściwości są zróżnicowane.

Wydaje się, że wierzba energetyczna jest najbardziej popularną rośliną w tej kategorii. Gatunek ten wymaga gleb klasy III–IV o dość dużej wilgotności. Roślina ta posiada potencjał produkcyjny biomasy i nadaje się do wykorzystania energetycznego i przemysłowego¹⁶. W praktyce na małych plantacjach stosuje się zbiór ręczny. W przypadku dużych plantacji wykorzystuje się zbiór maszynowy, a główną wadą tego rodzaju zbioru jest wysoki koszt maszyn. Zbiór powinien skończyć się przed

14 H. Burczyk, *Przydatność zbóż na potrzeby produkcji energii odnawialnej w świetle wyników doświadczeń*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 3, s. 43–51.

15 A. Zawadzka, M. Imbierowicz, *Rośliny energetyczne oraz technologie i urządzenia dla przetwórci biomasy*, [w:] E. Kochańska (red.), *Inwestowanie w energetykę odnawialną. Aspekty ekologiczne, technologie, finansowanie i benchmarking*, Stowarzyszenie Doradców Gospodarczych Pro-Akademia, Łódź 2010, s. 169–170.

16 Tamże.

rozpoczęciem nowego okresu wegetacji i trwa od listopada do końca marca¹⁷. Istotny jest również poziom wysokości ścinania pędów, który powinien zawierać się w przedziale od 0,05 do 0,1 m nad powierzchnią gleby¹⁸. Wielkość uzyskanego plonu zależy od wielu czynników, takich jak rodzaj gleby i wilgotność, nawożenie, jakość sadzonek, dokładność przygotowanego gruntu do nasadzenia itd. W praktyce spotyka się zbiór wierzby co roku, co dwa i trzy lata, przy czym ten ostatni jest najbardziej efektywny z perspektywy energetycznej i energochłonności uprawy. Obserwuje się wtedy duże przyrosty biomasy drzewnej. Okres użytkowania plantacji to 25–30 lat¹⁹.

Tabela 5. Charakterystyka wybranych roślin energetycznych

Charakterystyka	Jednostka	Drewno sosnowe	Wierzba	Ślazier pensylwański	Miskantus	Mozga
Wartość opałowa dla suchej masy	MJ/kg	18,8	18,0	17,4	17,3	17,5
Popiół	%	0,8	1,2	1,9	2,8	7,3
N	%	0,1	1,2	0,22	0,22	1,4
P	%	0,003	0,07	0,02	0,01	0,14
K	%	0,01	0,31	0,34	0,27	2,6
Na	%	0,01	< 0,004	< 0,005	< 0,005	< 0,004
Si	%	0,22	0,02	0,001	0,08	0,33
Cl	%	0,009	0,02	0,01	0,02	0,09–1,12
Cd	mg/kg	0,26	1,59	0,21	0,07	0,02
Pb	mg/kg	2,38	0,1	0,36	0,53	0,2
Zn	mg/kg	37,6	83,0	34,2	21,5	22,9

Źródło: H. Skrótnicki (red.), *Skrócone normatywy produkcji rolnej*, Wydawnictwo Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Radom 2010, s. 33.

Gatunkiem odznaczającym się również szybkim przyrostem biomasy drzewnej jest topola i jej odmiany. Drzewa te posiadają podobne wymagania siedliskowe jak wierzba, tzn. doliny rzeczne i okolice zbiorników wodnych. Jedną z wad uprawy tego gatunku jest mniejsza trwałość plantacji, co decyduje o efektywności ekonomicznej. Systematyczne zbiory (odcinanie odrosli) powodują osłabienie żywotności roślin²⁰.

17 D. Kwaśniewski, K. Mudryk, M. Wróbel, *Zbiór wierzby energetycznej z użyciem pily łańcuchowej*, „Inżynieria Rolnicza” 2006, nr 13, s. 271, 272.

18 D. Kwaśniewski, *Techniczno-ekonomiczne aspekty zbioru na plantacjach wierzby energetycznej*, „Inżynieria Rolnicza” 2007, 6 (94), s. 129.

19 D. Baran, D. Kwaśniewski, K. Mudryk, *Wybrane właściwości fizyczne trzyletniej wierzby energetycznej*, „Inżynieria Rolnicza” 2007, nr 8, s. 7.

20 W. Budzyński, S. Bielski, *Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego*, cz. II: *Biomasa jako paliwo stałe (artykuł przeglądowy)*, „Acta Sci. Pol. Agricultura” 2004, nr 2, s. 19.

Palczatka Gerarda jest trawą wieloletnią wrażliwą na zachwaszczenie. Preferuje gleby umiarkowanie wilgotne, ale toleruje również warunki posuszne. Wegetacja tej rośliny zaczyna się w maju, natomiast największe przyrosty biomasy zauważa się od czerwca do sierpnia. Zbiór przeprowadza się jesienią. Obserwuje się dużą rozpiętość wielkości plonu w przypadku różnic w żyzności gleby – od 6 do 24 t/ha s.m.²¹

Miskantus jest trawą wieloletnią odporną na szkodniki. Użytkowanie plantacji trwa 15–20 lat. Charakteryzuje się dość dużym przyrostem biomasy. Miskantus posiada szlak fotosyntezy C_4 , co umożliwia oszczędne gospodarowanie wodą i składnikami mineralnymi oraz efektywne wykorzystywanie promieniowania słonecznego. Stroną negatywną uprawy tej rośliny w warunkach klimatycznych Polski jest to, że rozmnażanie może odbywać się tylko wegetatywnie. W warunkach siedliskowych nie wydaje nasion płodnych, jest również podatny na wymarzenie²². Wydaje się jednak, że roślina ta posiada potencjał dalszego rozwoju na cele energetyczne. Miskantus preferuje gleby o klasie IV i V. Ma mniejsze wymagania wodne i glebowe od wierzby i topinamburu. Zbiór plonu może odbywać się wiosną oraz jesienią. Plon wiosenny wykazuje wyższą jakość z perspektywy zastosowania energetycznego. Trawa może zostać wykorzystana jako roślina przeciwoerozyjna, a także do rekultywacji gleb skażonych metalami ciężkimi, w przemyśle celulozowo-papierniczym, budownictwie²³ jako materiał izolacyjny, pokryciowy, komponent lekkiego betonu. Dodatkowo może być stosowana w przemyśle chemicznym jako tworzywo ulegające biodegradacji²⁴. Żdźbło miskantusa osiąga wysokość od 2 do 3,5 m, a przy dobrej zasobności gleby nawet do 4 m²⁵. Co więcej, uprawa tej rośliny na cele energetyczne jest znacznie mniej energochłonna w stosunku do niektórych gatunków zbóż. Inną trawą odporną na niekorzystne warunki siedliskowe, umożliwiającą zagospodarowanie odłogów i nieużytków jest spartina preriowa²⁶. Wyniki analiz przedstawiono w tab. 6.

Ślazowiec pensylwański jest atrakcyjną rośliną energetyczną. Jest to szybko rosnąca bylina paszowa, miodowa, lecznicza. Można ją plonować na ziemiach suchych. Porównuje się ją z wierzbą energetyczną. Problemem jest natomiast

21 Tamże, s. 20, 21.

22 M. Matyka, J. Kuś, *Plonowanie i cechy biometryczne wybranych genotypów miskanta*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 2, s. 157, 158.

23 J. Kolowca, M. Wróbel, *Wpływ wilgotności na właściwości reologiczne rozdrobionej trawy energetycznej *Miscanthus giganteus**, „Inżynieria Rolnicza” 2010, nr 4, s. 115, 116.

24 J. Kolowca, P. Knapik, *Właściwości mechaniczne żdźbła miskanta olbrzymiego*, „Inżynieria Rolnicza” 2008, nr 9, s. 139.

25 J. Kolowca, M. Wróbel, B. Baran, *Model mechaniczny żdźbła trawy *Miscanthus giganteus**, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 6, s. 149.

26 A. Kowalczyk-Juśko, *Redukcja emisji zanieczyszczeń dzięki zastąpieniu węgla biomasą spartiny preriowej*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2010, nr 4, s. 70.

niska zdolność kiełkowania nasion (często 30–50%)²⁷. Moment zbioru oraz warunki atmosferyczne wywierają znaczący wpływ na wilgotność ślazuowca. Po zostawieniu podsuszonych pędów na polu, w przypadku wzrostu wilgotności powietrza, skutkuje szybkim wzrostem wilgotności tej rośliny (tab. 7). Wydaje się, że najodpowiedniej dokonywać zbioru przy temperaturze kilku stopni poniżej zera²⁸. W porównaniu z innymi roślinami energetycznymi (miskantusem, topinamburem, trawą turzycową) generuje on najmniejszą ilość popiołu (1,57%) zaraz po wierzbie energetycznej (1,37%)²⁹.

Tabela 6. Jednostkowe nakłady energochłonności skumulowanej produkcji zbóż i miskantusa (bez uwzględnienia skumulowanej energochłonności ziemi)

Rodzaj produkcji	Energochłonność jednostkowa [GJ/ha]	Źródło
Średnia energochłonność produkcji rolniczej	76,80	Wójcicki [2005]
Ziarno kukurydzy	37,85–74,25	Roszkowski [1980]
Ziarno jęczmienia	34,95–39,97	Roszkowski [1980]
Ziarno pszenicy ozimej	37,05	Dobek [2007]
Ziarno rzepaku	29,40	Dobek [2007]
Miskantus	2,11–9,20	wyniki własne

Źródło: M. Hryniewicz, A. Grzybek, *Energochłonność skumulowana uprawy miskantusa*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2010, nr 2, s. 128.

Tabela 7. Wartość opałowa łodyg ślazuowca pensylwańskiego o zmiennej wilgotności w różnych terminach zbioru

Data zbioru	28.09.2007	28.10.2007	10.11.2007	25.11.2007	11.12.2007	29.12.2007	7.01.2008	21.01.2008	4.02.2008
Wilgotność [%]	54,0	53,1	42,5	35,8	25,3	12,9	15,3	24,9	12,5
Wartość opałowa [MJ/kg]	6,7	6,9	9,0	10,4	12,5	14,9	14,5	12,6	15,1

Źródło: J. Szyszlak-Bargłowicz, W. Piekarski, *Wartość opałowa biomasy łodyg ślazuowca pensylwańskiego w zależności od wilgotności*, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 8, s. 227.

27 M. Grzesik, R. Janas, Z. Romanowska-Duda, *Stymulacja wzrostu i procesów metabolicznych ślazuowca pensylwańskiego (Sida hermaphrodita L. Rusby) za pomocą hydrokondycjonowania nasion*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 4, s. 81, 82.

28 J. Szyszlak-Bargłowicz, W. Piekarski, *Wartość opałowa biomasy łodyg ślazuowca pensylwańskiego w zależności od wilgotności*, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 8, s. 124.

29 S. Skonecki, S. Gawłowski, M. Potręć, J. Laskowski, *Właściwości fizyczne i chemiczne surowców roślinnych stosowanych do produkcji biopaliw*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 8, s. 258.

Topinambur jest rośliną amerykańską, spokrewnioną ze słonecznikiem, importowaną do Europy w 1615 roku. Posiada duży potencjał rozwoju na cele energetyczne. Jest rośliną wszechstronną. Praktycznie każda jego część może zostać przetworzona na paliwo. Masa zielona może zostać przekształcona na biogaz, łądygi można wykorzystać do produkcji paliw stałych, bulwy – do produkcji etanolu. Topinambur jest rośliną mało wymagającą, odporną na mrozy i susze. Jego wartość opałowa waha się pomiędzy 12,9–13,4 MJ/kg a 15,2–16,1 MJ/kg. Im mniejsza wilgotność, tym większa jest jego wartość opałowa³⁰. Roślina charakteryzuje się małą gęstością usypową, co skutkuje utrudnieniami w transporcie i spalaniu³¹.

Róża wielokwiatowa/róża bezkolcowa (*Rosa multiflora*) jest wykorzystywana energetycznie dopiero po rozkrzewieniu się karp. Krzew po kilku latach osiąga wysokość 4–7 m. Charakteryzuje się typem fotosyntezy C_3 . Maksymalny plon wynosi ok. 10–15 t/ha. Należy wziąć pod uwagę, że w czasie końcowego zbioru zawartość wody wynosi ok. 39,22%³².

Proso różgowe (*Panicum virgatum*) jest wieloletnią trawą rosnącą w kępach o wysokości 1,8–2,2 m. Jest mało wymagającą rośliną, może rosnąć w trudnych warunkach klimatycznych i nie potrzebuje obfitego nawożenia. Wykorzystuje się go do produkcji etanolu. Naukowcy uważają jednak, że produkcja alkoholu z prosa różgowego jest niewydajna i wymaga 45% więcej energii niż produkcja paliwa energetycznego³³.

Zasoby drewna stanowią największe źródło energii odnawialnej w skali globalnej. Powierzchnia lasów w Polsce w 2014 roku wynosiła 9,2 mln ha, wskaźnik lesistości natomiast 29,4%. Dla porównania wskaźnik lesistości UE wynosi 32,2%³⁴. Lasy prywatne w Polsce stanowią 18% ogółu powierzchni leśnych. Lasy rosną na glebach najśłabszych. Przeciętny wiek lasu wynosi 60 lat³⁵. Przewiduje się, że rosnący trend wykorzystania lasu na cele energetyczne będzie się utrzymywał³⁶. W tab. 8 przedstawiono podstawowe parametry poszczególnych gatunków drewna dla celu energetycznego. W miarę spadku wilgotności drewna jego wartość opałowa wzrasta. Średnie ciepło spalania dla drewna liściastego wynosi 19,88 MJ/kg. Natomiast jego średnia wartość opałowa przy wilgotności 15% kształtuje się na poziomie 15,37 MJ/kg, a przy wilgot-

30 J. Frączek, K. Mudryk, M. Wróbel, *Wybrane właściwości fizyczno-mechaniczne topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.)*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 6, s. 29–36.

31 J. Kuś, A. Faber, M. Stasiak, A. Kawalec, *Produkcyjność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w różnych siedliskach*, [w:] A. Harasim (red.), *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG PIB” 2008, z. 11, s. 77.

32 D. Chołuj, S. Podlaski, G. Wiśniewski, J. Szmałec, *Kompleksowa ocena biologicznej przydatności 7 gatunków roślin wykorzystywanych na cele energetyczne*, [w:] A. Harasim (red.), *Uprawa roślin energetycznych...*, s. 81–99.

33 A. Zawadzka, M. Imbierowicz, *Rośliny energetyczne oraz technologie...*, s. 174, 175.

34 GUS, *Ochrona środowiska 2015*, Warszawa 2015.

35 <http://www.lasy.gov.pl> (dostęp: 12.04.2016).

36 M. Janicki, A. Janicka, *Potencjał energetyczny drewna pochodzącego z lasów i terenów leśnych*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2010, nr 4, s. 55, 56.

ności 0% – 18,45 MJ/kg. Średnie ciepło spalania dla drewna iglastego wynosi 20,5 MJ/kg. Średnia wartość opałowa dla tego rodzaju drewna przy wilgotności 15% stanowi 15,9 MJ/kg, natomiast przy wilgotności 0% – 19,15 MJ/kg.

Tabela 8. Ciepło spalania i wartość opałowa wybranych gatunków drewna

Drewno liściaste				Drewno iglaste			
rodzaj drewna	ciepło spalania [MJ/kg]	wartość opałowa [MJ/kg]		rodzaj drewna	ciepło spalania [MJ/kg]	wartość opałowa [MJ/kg]	
		wilgotność 0%	wilgotność 15%			wilgotność 0%	wilgotność 15%
Brzoza	21,5	20,1	16,7	Daglezja	20,5	19,2	15,9
Buk	21,5	20,1	16,7	Jodła sezonowana	20,7	19,3	16,1
Dąb	19,1	17,8	14,7	Jodła świeża	20,2	18,8	15,6
Grab	19,0	17,6	14,6	Modrzew	19,9	18,5	15,4
Grochodrzew	21,4	20,1	16,7	Sosna	19,9	18,6	15,4
Wierzba	17,7	16,3	13,5	Świerk	21,8	20,5	17,0
Jawor	18,9	17,5	14,5	Średnia	20,5	19,15	15,9
Jesion	19,8	18,4	15,3				
Kasztanowiec	20,2	18,8	15,6				
Lipa	20,1	18,7	15,5				
Olcha czarna	19,3	18,0	14,9				
Topola czarna	19,3	17,9	14,9				
Trześnia	19,9	18,5	15,7				
Wiąz	20,6	18,5	15,9				
Średnia	19,88	18,45	15,37				

Źródło: S. Kruczek, R. Głąbik, R. Sikora, *Zagadnienia gazyfikacji drewna*, „Energetyka Ciepła i Zawodowa” 2002, nr 18, s. 18–20, [cyt. za:] K. Kościak, *Ocena zasobów biomasy drzewnej na terenie gminy Łaszczów*, „Ekonomia i Środowisko” 2011, nr 2, s. 178.

Prócz gotowych kawałków drewna wykorzystuje się również pozostałości z przemysłu drzewnego, takie jak pył drzewny, trociny oraz zrębki. W tab. 9 przedstawiono właściwości fizyczne wybranych rodzajów przetworzonej biomasy drzewnej.

Tabela 9. Właściwości fizyczne wybranych rodzajów przetworzonej biomasy drzewnej

Rodzaj biomasy	Wilgotność biomasy [%]	Wartość opałowa w stanie świeżym [MJ/kg]	Wartość opałowa w stanie suchym [MJ/kg]
Trociny	39,1–47,3	5,3	19,3
Zrębki wierzby	40,0–55,0	8,7–11,6	16,5
Pellety	3,6–12,0	16,5–17,3	17,8–19,6
Brykiety drzewne	3,8–14,1	15,2–19,7	16,9–20,4

Źródło: I. Niedziółka, A. Zuchniarz, *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*, „MOTROL” 2006, 8A, s. 234.

Coraz większą popularność zyskuje drewno robinii akacjowej. Posiada ono znacznie mniejszą wilgotność, większą gęstość i porównywalną wartość opałową jak wierzba i topola. Robinia akacyjowa jest drewnem posiadającym dobre właściwości fizyczne do jej energetycznego wykorzystania³⁷. Cechy fizyczne tego drzewa umożliwiają nasadzenia na glebach trudnych, nieużytkach oraz zdegradowanych terenach przemysłowych przy zachowaniu produktywności drzewostanów. Z badań wynika, że zawartość metali ciężkich w tym drewnie jest niższa niż w innych gatunkach liściastych, co wskazuje na ekologiczne właściwości w celu wykorzystania energetycznego³⁸.

Liście opadające z drzew mogą również stanowić surowiec energetyczny. Aglomeracje miejskie mają problem z ich zagospodarowaniem. Z reguły materiał ten przeznaczany jest na kompostowanie. Przed spalaniem obróbka liści jako surowca energetycznego może przebiegać za pomocą pelletyzacji, mielenia, suszenia. Wartość opałowa liści należy do przedziału 12–18 MJ/kg, przy czym charakteryzują się one niedużą zawartością popiołu. Pellety zrobione z liści posiadają wartość opałową 10,8–17,5 MJ/kg³⁹.

Jedną z negatywnych cech biomasy jest niska koncentracja energii w jednostce masy, dlatego stosuje się techniki umożliwiające odpowiednie jej przygotowanie do celów energetycznych, takie jak siekanie, suszenie, prasowanie, rozdrabnianie, brykietowanie, pelletowanie. Brykiet wytwarza się w procesie ciśnieniowej aglomeracji, wykorzystując siły zewnętrzne i wewnętrzne w celu uzyskania materiału charakteryzującego się zwartą bryłą. Rozdrobniony materiał zostaje poddawany naciskowi za-

37 A. Kraszkiewicz, M. Kachel-Jakubowska, M. Szpryngiel, I. Niedziółka, *Ocena właściwości fizycznych dendromasy robinii akacjowej*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 6, s. 109–115.

38 A. Karaszkiewicz, *Zawartość wybranych metali ciężkich w drewnie robinii akacjowej*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2010, nr 2, s. 131–137.

39 M. Dziewanowska, T. Dobek, *Energetyczna i ekologiczna ocena procesu pozyskiwania ciepła podczas spalania liści zbieranych na terenach miejskich*, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 1, s. 115–122.

gęszczającemu, przez co następuje wiązanie międzycząsteczkowe. Brykiet może mieć różne kształty, w zależności od zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń technicznych. Brykiety użytkowane jako paliwo kominkowe powinny odznaczać się trwałością oraz wysoką gęstością i się nie rozpadać. W przypadku materiału wykorzystywanego w energetyce zawodowej wysoka gęstość nie jest natomiast konieczna⁴⁰.

Przetwórstwo biomasy ze słomy i siana w paliwo stałe wymaga uruchomienia procesu produkcyjnego obejmującego rozdrobnienie, suszenie oraz brykietowanie lub pelletowanie. Obecnie jest to jedyne rozwiązanie możliwe do zastosowania w celu uzyskania energii ze słomy i siana w indywidualnym gospodarstwie rolnym. Na rynku brakuje urządzeń technicznych małej mocy zdolnych do spalania słomy bezpośrednio, bez konieczności wytwarzania brykietu/pelletu. Występuje bariera techniczna w postaci braku odpowiedniego paleniska, a także podajnika surowca o tak małych gabarytach, co odpowiadałoby potrzebom małego gospodarstwa. Słoma i siano są materiałami o dużej objętości. Stanowi to istotny problem w ich bezpośrednim spalaniu, gdyż wymagają wcześniejszego przetworzenia. Ciepłownie centralne opalane słomą mają rację bytu przy założeniu, że znajdują się w regionie, w którym występują ciągle nadwyżki tego surowca. Koszt takiej inwestycji jest wysoki i nie wszystkie gminy stać na taki wydatek.

Potencjalnie słoma i siano mogą być wykorzystane do zaspokojenia potrzeb energetycznych. Ich potencjał ocenia się jako znaczący. Surowce po przetworzeniu w formę brykietu bądź pelletu mogą zostać wykorzystane do uzyskania energii cieplnej w gospodarstwie. Produkcja brykietu na własne potrzeby nie jest popularna ze względu na wysoki koszt urządzeń potrzebnych do produkcji tego rodzaju materiału. Wykorzystanie słomy jako surowca energetycznego w gospodarstwach rolnych napotyka na następujące bariery:

- wysoki koszt urządzeń spalających bele słomy;
- brak odpowiednich konstrukcji technicznych do spalania słomy niesprawowanej;
- brak odpowiedniego paleniska dla słomy;
- opłacalność ekonomiczna tylko dla kotłowni centralnych – dostępna linia dla belotów⁴¹.

Na rynku pojawiły się urządzenia (brykieciarki), których cena waha się między 20–80 tys. PLN. Umożliwiają one produkcję brykietu, np. z trocin lub słomy, na użytek własny gospodarstw.

Brykiety/pellety najczęściej produkowane są z odpadów przemysłu leśnego i drzewnego (trocin, zrębków, wiór). Mogą być stosowane w dotychczasowych niskotemperaturowych kotłach węglowych, a także w kotłach olejowo-gazowych przy

40 I. Niedziółka, M. Szpryngiel, A. Kraszewicz, M. Kachel-Jakubowska, *Ocena wydajności brykietowania oraz jakości brykietów wytworzonych z wybranych surowców roślinnych*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 6, s. 149, 150.

41 W. Denisiuk, *Brykiety/pellety ze słomy w energetyce*, „Inżynieria Rolnicza” 2007, nr 9, s. 41–47.

wykorzystaniu paleniska retortowego. W brykietach/pelletach produkowanych ze słomy jest obecny chlor, który we współspalaniu z węglem w dużych elektrociepłowniach tworzy dioksyny. Ten rodzaj przetworzonej biomasy nadaje się do zastosowania w małej lokalnej energetyce biomasowej⁴². W tab. 10 przedstawiono parametry brykietów/pelletów produkowanych z różnego rodzaju słomy, mączki oraz makuchu.

Tabela 10. Wybrane parametry brykietów i pelletów ze słomy, mączki i makuchu

Parametr	Jednostka	Brykiet					Pellety
		słoma pszen-żyta	słoma rzepakowa	mączka mięsno-kostna	rzepak 80% makuch 10% mączka 10%	słoma rzepakowa 70% mączka 30%	słoma pszenna
Ciepło spalania	MJ/kg	16,5	21,4	19,6	15,9	18,9	19,8
Wartość opałowa	MJ/kg	15,2	20,1	18,5	13,1	16,7	18,2
Wilgotność	% wag.	15,1	9,6	3,8	15,1	11,0	8,3
Gęstość usypowa	kg/m ³	320,0	310,0	350,0	338,0	325,0	540,0
Średnica	mm	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	9,0
Chlor	% wag.	0,047	0,013	0,54	0,231	0,05	0,27
Siarka	% wag.	0,100	0,592	0,570	0,407	0,110	0,000
Węgiel	% wag.	45,3 (słomy świeżej) 45,8 (słomy szarej)	50,0	45,0	47,7	46,8	45,3 (słomy świeżej) 45,8 (słomy szarej)

Źródło: W. Denisiuk, *Brykiety/pelety ze słomy w energetyce*, „Inżynieria Rolnicza” 2007, nr 9, s. 44.

Brykiety produkowane ze słomy/siana dla celów energetycznych powinny odznaczać się odpowiednimi właściwościami fizycznymi. Jedną z najważniejszych jest poziom wilgotności. Słoma charakteryzująca się zbyt dużą wilgotnością wykazuje mniejsze wartości opałowe ze względu na przeznaczenie części energii na suszenie. Natomiast słoma zbyt sucha stwarza trudności ze zawijaniem i zagęszczaniem w produkcji brykietu/pelletu. Z badań wynika, że dla metody zwijania odpowiednia wilgotność słomy powinna mieścić się w przedziale 15–25%⁴³.

⁴² Tamże.

⁴³ F. Adamczyk, *Wpływ wilgotności słomy zbożowej na stopień zagęszczania uzyskiwanych brykietów*, „Inżynieria Rolnicza” 2010, nr 1, s. 7–13.

1.3. Biopaliwa gazowe

Biogaz rolniczy to paliwo powstałe w wyniku fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych produkcji rolnej, przemysłu rolno-spożywczego oraz stałych lub płynnych odchodów zwierzęcych⁴⁴. Wykorzystanie odpadów produkcji rolnej, w tym gnojowicy, do produkcji energii przynosi korzyści ekologiczne. Wielkość produkcji biogazu zależy od zawartości suchej masy organicznej (tab. 11).

Tabela 11. Charakterystyka wybranych produktów ubocznych i roślin w kontekście uzysku biogazu

Podłoże	Zawartość suchej masy	Zawartość suchej masy organicznej	Uzysk biogazu	Zawartość CH ₄
	s.m. [%]	s.m.o. [%]	[m ³ /t s.m.o.]	[% obj.]
Nawozy naturalne				
Gnojowica bydła	8–11	75–82	200–500	60
Gnojowica świń	ok. 7	75–86	300–700	60–70
Obornik bydła	ok. 25	68–76	210–300	60
Obornik świń	20–25	75–80	270–450	60
Obornik kurzy	ok. 32	63–80	250–450	60
Rośliny				
Kiszonka z kukurydzy	20–35	85–95	450–700	50–55
Żyto	30–35	92–98	550–680	ok. 55
Kiszonki traw	25–50	70–95	550–620	54–55
Produkty uboczne pochodzące z przemysłu rolniczego				
Wystodziny browarniane	20–25	70–80	580–750	59–60
Wywar zbożowy	6–8	83–88	430–700	58–65
Wywar ziemniaczany	6–7	85–95	400–700	58–65
Wytłoki owocowe	25–45	90–95	590–660	65–70
Inne substraty do biogazowni				
Odpady sklepowe	5–20	80–90	400–600	60–65
Treść żołądkowa	12–15	75–86	250–450	60–70
Trawy				
Skoszona trawa	ok. 12	83–92	550–680	55–65

Źródło: H. Skrótnicki (red.), *Skrócone normatywy produkcji rolnej*, Wydawnictwo Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Radom 2010, s. 33, 34.

⁴⁴ A. Kupczyk, A. Wójcik, M. Majkowska, *Wybrane problemy rozwoju sektora biogazu rolniczego w Polsce*, [w:] F. Kraniec (red.), *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Wybrane problemy*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2010, s. 79, 80.

Biogaz w zależności od metody pozyskania można podzielić na rolniczy, ściekowy i wysypiskowy. Zawartość metanu jest największa w biogazie ściekowym (65–75%). W dalszej kolejności znajduje się biogaz rolniczy (45–75%) oraz wysypiskowy (45–55%). Metan odpowiedzialny jest za wartość opałową⁴⁵.

Projekt biogazowni powinien uwzględniać rodzaj surowca dostępnego w danym regionie. W celu zapewnienia ciągłości dostaw biogazu, a także jego jakości, niezbędny jest stały dostęp do substratu. Produkcja biogazu rolniczego opiera się przede wszystkim na surowcach pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. W niewielkim stopniu uzupełniana jest substratami pochodzącymi z przemysłu rolno-spożywczego lub gospodarki komunalnej. Rośliny najczęściej poddawane są konserwacji polegającej na wytwarzaniu kiszonek. Zabieg ten zabezpiecza ciągłość dostaw surowca. Dobór kosubstratów zależy od lokalizacji biogazowni, istniejących na danym terenie jednostek przetwórstwa rolno-spożywczego (browarów, gorzelnii, chłodni, mleczarni), jak również od cen surowców. Dobór kosubstratów jest istotny z perspektywy jakości wytwarzanego biogazu. Na podstawie analizy lokalnych uwarunkowań dokonywany jest wybór odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych (objętość komór, czas retencji, możliwość przechowywania i gromadzenia substratów). Wydaje się, że najefektywniejszy wariant stanowią instalacje o mocy 500 kW i więcej⁴⁶. Masa pofermentacyjna może być wykorzystana ponownie jako nawóz po spełnieniu odpowiednich przepisów prawnych.

Pozostałości po uprawie z działalności ogrodniczej również stanowią odpowiedni substrat do produkcji biogazu. Odpady produkcji warzywniczej często charakteryzują się wyższą jednostkową wartością energetyczną niż obornik. Nie ma szczegółowych informacji dotyczących wydajności produkcji biometanu. Wartość średnią przyjmuje się na poziomie 430 m³/t s.m. np. dla kalafiora, kapusty czerwonej, kapusty pekińskiej, brokułów, pora, papryki, ogórków, selera, marchwi, sałaty, fasoli szparagowej itd.⁴⁷

Dużym źródłem biomasy przeznaczanej do produkcji biogazu są użytki zielone. Łąki i pastwiska stanowią źródło pożywienia dla przeżuwaczy. Biogaz uzyskiwany z traw i siana może zawierać nawet do 85% metanu⁴⁸. Natomiast produkcja biogazu z gnojowicy jest mało efektywna ze względu na niską zawartość związków, które w czasie fermentacji przekształcają się w biogaz. Gnojowica ma ok. 8% suchej masy⁴⁹.

45 W. Romaniuk, M. Łukaszuk, A. Karbowy, *Potencjalne możliwości rozwoju biogazowni w gospodarstwach rolnych w Polsce*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2010, nr 4, s. 131.

46 K. Rutkowski, *Analiza wydajności oraz składu biogazu w biogazowni o mocy 1 MW*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, 6 (131), s. 173, 174.

47 K. Rutkowski, W. Maternowska, *Możliwości zagospodarowania odpadów z upraw ogrodniczych do produkcji biogazu*, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 5, s. 245–250.

48 Z. Wasilewski, J. Barszczewski, *Stan trwałych użytków zielonych i możliwość ich wykorzystania do produkcji biogazu*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 2, s. 149–156.

49 M. Fugol, J. Szlachta, *Zasadność używania kiszonki z kukurydzy i gnojowicy świńskiej do produkcji biogazu*, „Inżynieria Rolnicza” 2010, nr 1, s. 169.

Burak cukrowy stanowi kolejny substrat o dużym potencjale energetycznym do produkcji biogazu. Jednak ze względu na dużą zawartość mikroflory jest podatny na przechodzenie z fermentacji metanowej do fermentacji alkoholowej, dlatego niekiedy konieczne jest dokonanie obróbki termicznej. Burak cukrowy jest rośliną rozpowszechnioną w Polsce i doskonale znaną przez rolników, którzy mają wiedzę na temat jego uprawy⁵⁰.

Biogaz stanowi paliwo wszechstronne. W wyniku oddzielenia od metanu dwutlenku węgla za pomocą rozpuszczenia go w wodzie powstanie gaz o zawartości 95% metanu. Wartość opałowa gazu wynosi wtedy 35,7 MJ/m³. Biogaz najczęściej wykorzystywany jest do wytwarzania energii cieplnej. Może również stanowić paliwo do silników wysokoprężnych. Oczyszczony biogaz jest półproduktem wykorzystywanym przez przemysł chemiczny do produkcji chlorku metylu, chlorku metylenu, chloroformu, czterochlorku węgla, acetyleny, natomiast przy użyciu turbiny gazowej (spalinowej), sprężarki oraz generatora wytwarzany jest prąd elektryczny⁵¹.

1.4. Biopaliwa płynne

Jedną z alternatyw produkcji rolnej na cele żywnościowe jest wytwarzanie biopaliw płynnych. Stanowią one istotną część produkcji energii z zasobów odnawialnych. Poprzez fermentację lub estryfikację takie produkty, jak ziemniaki, zboża, buraki cukrowe, rzepak, kukurydza można przetworzyć na biopaliwo. Wytwarzane są np. benzyna E85 (85% etanolu, 15% benzyny), biodiesel (ester metylowy oleju rzepakowego, olej napędowy) o różnych składach, ozydiesel (etanol, olej napędowy)⁵². W tab. 12 przedstawiono biopaliwa silnikowe i surowce niezbędne do ich produkcji.

Tabela 12. Biopaliwa silnikowe i surowce do ich produkcji

Typ biopaliwa	Surowiec	Proces produkcji
1	2	3
Bioetanol	buraki cukrowe, zboża	hydroliza + fermentacja
Czysty olej roślinny	rośliny oleiste, np. ziarno rzepaku	tłoczenie na zimno i ekstrakcja
Biodiesel	rośliny oleiste, np. ziarno rzepaku	tłoczenie na zimno + transestryfikacja

50 M. Fugół, K. Pilarski, *Burak cukrowy jako substrat do biogazowni*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 5, s. 63–71.

51 E. Klugmann, E. Klugmann-Radziemska, *Alternatywne źródła energii energetyka fotowoltaiczna*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 1999, s. 38–43.

52 W. M. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, wyd. 4 uaktualnione, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007, s. 344.

Tab. 12 (cd.)

1	2	3
RME, FAME/FAEE	oleje posmażalniane	transestryfikacja
BioETBE	bioetanol	synteza chemiczna
Biogaz	biomasa wilgotna	fermentacja

Źródło: A. Szeptycki, *Biopaliwa – zlecenia UE, potrzeby, realne możliwości produkcji*, „Inżynieria Rolnicza” 2007, nr 7, s. 202.

Paliwa pierwszej generacji⁵³, tzn. biodiesel (oleje roślinne – metody estryfikacji) oraz bioetanol (z ziarna zbóż i kukurydzy – metody fermentacyjne), nie mają perspektywy rozwoju ze względu na bardzo małą efektywność energetyczną lub jej całkowity brak. Dodatkowo plon roślin potrzebnych do wytworzenia tych paliw odznacza się niską wydajnością. W celu zwiększenia ich wydajności niezbędne jest zwiększenie nawożenia, co z drugiej strony warunkuje wzrost energochłonności upraw. Natomiast paliwa drugiej generacji wymagają dopracowania techniki wytwarzania. Bioetanol drugiej generacji jest produkowany w procesie biochemicznym bądź konwersji enzymatycznej celulozy oraz hemicelulozy do cukrów, hydrolizy cukrów i fermentacji alkoholowej. Innymi metodami konwersji w celu otrzymania paliw drugiej generacji – etanolu i oleju napędowego – są procesy termochemiczne, takie jak gazyfikacja pirolityczna do syntetycznego gazu (syngaz) oraz proces Fishera-Tropscha⁵⁴.

Do paliw drugiej generacji należą:

- bioetanol powstający w wyniku hydrolizy oraz fermentacji lignocelulozowej;
- biopaliwa syntetyczne powstające w wyniku zgazowania oraz syntezy na ciepłe komponenty;
- biodiesel powstający w procesie rafinacji wodorem, tzn. hydrogenizacji tłuszczów zwierzęcych i olejów roślinnych;
- biogaz powstający w procesie zgazowania lignocelulozy oraz odpowiedniej syntezy;

53 Do paliw pierwszej generacji zaliczane są biopaliwa powstające z cukru, skrobi oraz oleju roślinnego. Do paliw drugiej generacji zaliczane są biopaliwa wytwarzane za pomocą zaawansowanych technologii umożliwiających przetworzenie materiałów celulozowych, tzn. drewno, odpadowe materiały drewnopochodne, słoma, rośliny energetyczne, odpady produkcji rolnej. Paliwa trzeciej generacji to biopaliwa produkowane z glonów. Wspomina się też o paliwach czwartej generacji, natomiast są one trudne do zdefiniowania ze względu na to, że obejmują szereg zaawansowanych technologii przetwarzających rośliny genetycznie modyfikowane wiążące w swojej biomase więcej dwutlenku węgla, <http://klimatarolnictwo.pl/odnawialne-zrodla-energii/biomasa/biopaliwa-plynne> (dostęp: 8.02.2016).

54 A. Roszkowski, *Bioenergia – pola i las zastąpią węgiel, ropę i gaz?*, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 1, s. 243–257.

- biowodór powstający w wyniku zgazowania lignocelulozy i syntezy produktów zgazowania⁵⁵.

Wyróżnić można także paliwa trzeciej generacji. Obecnie prowadzone są badania nad możliwością ich zastosowania. Do grupy paliw trzeciej generacji należą te, które powstały z przetworzenia roślin i mikroorganizmów wodnych (np. glonów).

Rzepak jest rośliną powszechnie wykorzystywaną do produkcji biopaliw płynnych. Słoma rzepaku charakteryzuje się znacznie mniejszą kalorycznością od pozostałych rodzajów słomy zbóż. Należy do jednej z czterech najbardziej popularnych roślin oleistych. Prócz upraw na cele żywnościowe wykorzystywany jest przede wszystkim do produkcji biodiesla. Rzepak jest rośliną wymagającą, potrzebującą bardzo dobrych bądź dobrych gleb. Wykorzystanie przestrzeni rolniczej na cele energetyczne powinno zmierzać do zapewnienia efektywności energetycznej, a nie jak to jest w przypadku celu żywnościowego – do uzyskania wysokiej jakości. Natomiast produkcja rzepaku – zarówno na cele energetyczne, jak i spożywcze – powinna skupiać się na sprostaniu wymaganiom jakościowym odnośnie do nasion. Narodowe Cele Wskaźnikowe (NCW) określające udział energii biopaliw i biokomponentów w ogólnej ilości paliw ciekłych wskazują na ciągły wzrost udziału tych nośników energii odnawialnej w bilansie⁵⁶.

Wśród głównych zarzutów wobec produkcji biopaliw płynnych wymienia się koszty, które są dwukrotnie wyższe niż w przypadku paliw alternatywnych. Dodatkowo produkcja ta wymaga poniesienia większych nakładów energetycznych na jednostkę wytworzonego paliwa. Z badań wynika zaś, że produkcja biodiesla może być opłacalna, jeśli prócz biopaliwa sprzedana zostanie także słoma oraz śruta poekstrakcyjna⁵⁷.

1.5. Metody konwersji biomasy

Energia chemiczna biomasy poprzez różne metody konwersji może zostać przekształcona w stały, płynny lub gazowy nośnik energii. W tab. 13 przedstawiono różne metody konwersji biomasy.

55 M. Jasiulewicz, *Potencjał biomasy w Polsce*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2010, s. 41, 42.

56 M. Kachel-Jakubowska, M. Szpryngiel, *Analiza perspektyw wytwarzania biopaliw płynnych w Polsce*, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 8, s. 47–50.

57 T. K. Dobek, M. Dobek, O. Šařec, *Ocena efektywności ekonomicznej i energetycznej produkcji pszenicy ozimej i rzepaku ozimego wykorzystywanych do produkcji biopaliw*, „Inżynieria Rolnicza” 2010, nr 1, s. 161–168.

Tabela 13. Metody konwersji biomasy z uwzględnieniem źródeł pochodzenia

Produkty rolne, przemysł, leśnictwo, rolnictwo			Plantacje energetyczne		Uprawy rolne
odpady komunalne	odpady rolne i leśne		nasiona	słoma	drewno
biokonwersja mokra		chemikon- wersja	konwersja termiczna sucha		
rozkład	fermentacja	estryfikacja	piroliza	zgazowanie	spalanie
biogaz	bioetanol	biodiesel	olej, gaz, biowęgiel	gaz	ciepło
biopaliwa			elektryczność i ciepło		

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Grant Ballard-Tremeer, *Opportunities for Biomass Energy Programmes – Experiences & Lessons Learned by UNDP in EU & the CIS*, Final Report, 17 May 2007, s. 6.

Ze względu na różne źródła pochodzenia biomasy istnieje wiele metod konwersji, które pozwalają uzyskiwać produkt końcowy lub pośredni. Dobór odpowiedniej technologii konwersji uzależniony jest od rodzaju i jakości dostępnego surowca, standardów środowiskowych, opłacalności ekonomicznej, a także ostatecznej formy energii, takiej jak elektryczność, ciepło lub paliwo transportowe. Konwersja biomasy może zostać przeprowadzona w trzech procesach: termochemicznym, biochemicznym i fizykochemicznym. Poprzez proces termochemiczny można uzyskać biomasę stałą, płynną i gazową. Do głównych metod wytwarzania należy gazyfikacja, piroliza, produkcja węgla drzewnego oraz bezpośrednie spalanie. Proces biochemiczny bazuje na procesach biologicznych i umożliwia uzyskanie alkoholu, skrobi, celulozy, biogazu. Proces fizykochemiczny pozwala pozyskać paliwa płynne (np. biodiesel), stałe (pellet, brykiet) lub estry. Bezpośrednie spalanie umożliwia szeroki zakres konwersji energii chemicznej na ciepło, elektryczność i energię mechaniczną. Biomasę spala się w temperaturze ok. 800–1000°C. Teoretycznie możliwe jest spalanie każdego rodzaju biomasy, natomiast w praktyce spala się biomasę o wilgotności poniżej 50%. W innym wypadku surowiec musi zostać poddany suszeniu, co jest energochłonne. Efektywniejszym procesem konwersji biomasy o dużej wilgotności jest obróbka biologiczna. Fermentacja jest powszechnie stosowaną metodą konwersji biomasy w celu pozyskania etanolu. Najczęściej do tego celu wykorzystuje się buraki cukrowe, trzcinę cukrową lub rośliny skrobiowe – pszenicę i kukurydzę. Biomasa zostaje zmielona i skrobia przekształcana jest przez enzymy w cukry, z których z kolei uzyskuje się etanol. Konwersja biomasy lignocelulozowej (np. drewna, trawy) jest procesem bardziej skomplikowanym ze względu na istniejące łańcuchy cząsteczek polisacharydów. Przed pozyskaniem cukrów, z których uzyskuje się etanol, wymagane jest przeprowadzenie hydrolizy kwasowej lub enzymowej. Fermentacja beztlenowa stanowi proces konwersji materii organicznej bezpośrednio na biogaz. Mieszanina

składa się głównie z metanu i dwutlenku węgla. Wartość energetyczna biogazu jest średnio niższa o 20–40% od wartości opałowej surowca. Technologia ta stosowana jest dla surowców charakteryzujących się dużą wilgotnością (80–90%)⁵⁸.

Gazyfikacja polega na częściowym utlenianiu lub częściowym spalaniu biomasy w celu uzyskania niskokalorycznego gazu. Proces ten odbywa się w wysokiej temperaturze. Tak powstały gaz jest mieszaniną tlenu węgla, wodoru, metanu, dwutlenku węgla i azotu. Może być wykorzystany do produkcji ciepła i elektryczności (za pomocą turbin gazowych). Wysoką efektywność osiąga się, stosując proces łączony (*combined-cycle gas turbine system*), gdzie gazy odpadowe/lotne (*waste gases*) z turbiny gazowej wykorzystywane są w turbinie parowej. Parametry gazu syntetycznego są następujące: wodór (30–40%), tlenek węgla (20–30%), metan (10–15%), dwutlenek węgla (15–20%), etylen (1%), para wodna (6%), azot (1%). Wartość opałowa gazu syntetycznego średnio kształtuje się na poziomie 10–13 MJ/Nm³, a nawet 15 MJ/Nm³, w zależności od metody gazyfikacji. Dla porównania kaloryczność gazu ziemnego wynosi średnio 35 MJ/Nm³⁵⁹.

Skraplanie (*liquefaction*) jest procesem termiczno-chemicznym biomasy przeprowadzonym w niskiej temperaturze, pod dużym ciśnieniem. Surowiec rozkładany jest na drobne cząsteczki w wodzie lub innym rozpuszczalniku. Substancje bierne są poddawane ponownej polimeryzacji w celu uzyskania związków tłuszczowych o różnej masie cząsteczkowej. Metoda ta jest podobna do pirolizy pod względem produktu końcowego (paliwa płynnego), zaś procesy te różnią się między sobą działaniami procesowymi. Podstawową różnicą jest to, że skraplanie wymaga niższej temperatury i wyższego ciśnienia podczas reakcji niż piroliza. Co więcej, suszenie surowca nie jest konieczne w metodzie skraplania, natomiast jest niezbędne dla pirolizy. Biomasa lignocelulozowa jest surowcem najczęściej stosowanym w procesie skraplania do produkcji biooleju. Ten rodzaj biomasy bogaty jest w hydroksylowe związki, które mogą zostać wykorzystane do wytwarzania biopolimerów stanowiących półprodukty do produkcji np. pianek poliuretanowych, żywicy epoksydowej lub klejów do sklejek⁶⁰.

Piroliza jest procesem termicznym przekształcania biomasy w postać stałą, ciecz lub gaz. Odbywa się w obecności tlenu w podwyższonej temperaturze. Wyróżnia się trzy podstawowe etapy procesu pirolizy. Pierwszy (*pre-pyrolysis*) odbywa się w temperaturze 120–200°C. W tej fazie obserwuje się niewielki ubytek masy, rozbicie wiązań pomiędzy cząsteczkami i pojawienie się wolnych rodników. Na skutek reakcji tworzą się związki karbonylowe, wytrącają się cząsteczki wody, tlenu węgla i dwutlenku węgla. Druga faza procesu nazywana jest pirolizą główną

58 E. Iakovou, A. Karagiannidis, D. Vlachos, A. Toka, A. Malamakis, *Waste Biomass-To-Energy Supply Chain Management: A Critical Synthesis*, "Waste Management" 2010, 30, s. 186–187.

59 A. Demirbas, *Potential Applications of Renewable Energy Sources, Biomass Combustion Problems in Boiler Power Systems and Combustion Related Environmental Issues*, "Progress in Energy and Combustion Science" 2005, 31, s. 171–192.

60 L. Zhang, Ch. Xu, P. Champagne, *Overview of Recent Advances in Thermo-Chemical Conversion of Biomass*, "Energy Conversion and Management" 2010, 51, s. 969–982.

(*main pyrolysis*). Polega ona na stałym rozkładzie, podczas którego występuje znaczący ubytek masy organicznej biomasy. Trzeci, ostatni etap procesu polega na zwęgleniu (*char devolatilization*) poprzez dalsze rozczepianie wiązań tlenu węgla i C–H. W zależności od wysokości temperatury oraz czasu reakcji wyróżnia się pirolizę szybką (*fast pyrolysis*), pośrednią (*intermediate pyrolysis*) oraz wolną (*slow pyrolysis*)⁶¹.

1.6. Zalety i wady biomasy jako surowca energetycznego

Rozsądne zagospodarowanie biomasy rolnej na cele energetyczne odgrywa znaczącą rolę w łagodzeniu negatywnych skutków środowiskowych stosowania paliw kopalnych. Szczególnie jest to istotne ze względu na globalne ocieplenie oraz powstawanie kwaśnych deszczy. Wykorzystywanie biomasy jako paliwa charakteryzuje się zamkniętym cyklem obiegu dwutlenku węgla ze względu na przyjętą zerową emisyjność. W przypadku spalania paliw kopalnych występuje nadwyżka netto dwutlenku węgla emitowanego do atmosfery. Spalanie dużej ilości paliw kopalnych powoduje w krótkim okresie uwalnianie ogromnych ilości tego gazu, natomiast w przypadku biomasy dwutlenek węgla uwalniany jest powoli i mieści się w granicach wyznaczonych przez absorpcję tego gazu w procesie fotosyntezy⁶². Wykorzystywanie biomasy jako surowca energetycznego znajduje swoich zwolenników oraz przeciwników. Główną negatywną cechą biomasy rolnej jest jej przestrzennie rozproszone powstawanie. Generuje to wysokie koszty zbioru i transportu. Niedogodności te mogą być jednak ograniczone pod warunkiem prawidłowego zaplanowania i zagospodarowania potencjalnych obszarów wytwórczych biomasy rolnej. Ekonomiczna analiza szacunkowa oraz logistyczne zaplanowanie zdecentralizowanych jednostek energetycznych stanowi warunek konieczny do zrównoważonego wykorzystania potencjału biomasy. Etap planowania zbieżny jest z rozważeniem możliwej do zastosowania technologii. Niezbędne jest uwzględnienie parametrów gęstości, wilgotności, zawartości popiołu, substancji lotnych itp.⁶³

W tab. 14 zestawiono przykłady mocnych i słabych stron związanych z wykorzystaniem biomasy do produkcji energii.

61 Tamże.

62 R. Saidur, E. A. Abdelaziz, A. Demirbas, M. S. Hossain, S. Mekhilef, *A Review on Biomass as Fuel for Boilers*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2011, 15, s. 2262–2289.

63 J. Singh, B. S. Panesar, S. K. Sharma, *Energy Potential through Agricultural Biomass...*, s. 301–307.

Tabela 14. Mocne i słabe strony wynikające z wykorzystania biomasy jako surowca energetycznego

Mocne strony	Słabe strony
– odnawialne i niewyczerpywalne źródło paliw; – niewielka zawartość popiołu, C, S, N i innych pierwiastków śladowych; – zwykle wysokie stężenie substancji lotnych, C, H, Mg, O i P; – wysoce efektywny surowiec podczas konwersji; – gromadzenie niebezpiecznych substancji w popiele podczas spalania; – możliwość zagospodarowania terenów zdegradowanych oraz gleb o niskiej klasie bonitacji/terenów o niskiej bioróżnorodności; – relatywnie tani surowiec; – dywersyfikacja dostaw paliw oraz wzrost bezpieczeństwa energetycznego; – możliwość stworzenia nowych miejsc pracy; – potencjał wykorzystania mórz; – zmniejszenie ilości odpadów stanowiących potencjalne źródło biomasy; – możliwość współspalania biomasy z paliwami konwencjonalnymi, co umożliwia redukcję emisji oraz osiągnięcie korzyści ekonomicznych; – zagospodarowanie nieużytków rolnych pod uprawy energetyczne może skutkować ożywieniem popytu na inne towary/usługi, takie jak urządzenia techniczne niezbędne do prowadzenia upraw energetycznych, nawozy, prace przy prowadzeniu upraw itd.; – zmniejszenie liczby składowisk odpadów.	– nieprawidłowe gospodarowanie/zarządzanie odnawialnymi źródłami energii może nie przynieść pozytywnego efektu ekologicznego; – brak ogólnie przyjętej terminologii, klasyfikacji systemów i standardów dotyczących produkcji energii z biomasy; – dość duża zawartość wilgoci, Cl, K, Na, Mn i innych pierwiastków śladowych; – niska kaloryczność energetyczna; – stwarzanie konkurencji dla pierwotnej funkcji rolnictwa, tj. produkcji żywności i pasz dla zwierząt; – odór oraz możliwość wydobywania się szkodliwych substancji podczas utylizacji i produkcji energii; – wysokie koszty zbioru plonu, przechowywania, transportu i magazynowania; – prawdopodobieństwo podczas bezpośredniego spalania może prowadzić do ulatniania się zanieczyszczeń pyłowych, a przez to przyczynić się do zjawiska globalnego ocieplenia.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: R. Saidur, E. A. Abdelaziz, A. Demirbas, M. S. Hossain, S. Mekhilef, *A Review on Biomass as Fuel for Boilers*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2011, 15, s. 2262–2289.

Jedną z barier ograniczających rozpowszechnianie biomasy jako surowca energetycznego jest wysoki koszt magazynowania tego surowca oraz technologii umożliwiających produkcję energii. Można temu zaradzić przez odpowiednie zarządzanie łańcuchem dostaw. Problem stanowi zróżnicowanie rodzajów biomasy, np. słoma jest surowcem objętościowym, wymagającym dużej powierzchni magazynowej. Co więcej, sezonowość surowców wymaga gromadzenia takiej ilości, która zapewni ciągłość dostaw energetycznych. Szacuje się, że 20–50% kosztów pochłania transport od miejsca zbioru do magazynu. Etap magazynowania jest najsłabszym ogniwem w całym łańcuchu dostaw. Wielu badaczy w swych analizach uwzględniało przede wszystkim spadek kosztów przechowywania, nie zastanawiając się nad tym, że zastosowanie bardziej zaawansowanych technologii (niekiedy bardziej kosztownych) może stanowić rozwiązanie problemu. Jedną z rozważanych metod jest przechowywanie surowców na polach (*on – field storage*), jednak metoda ta uniemożliwia kontrolowanie wilgotności oraz

doprowadza do ubytku materiału. Jakość biomasy przechowywanej w taki sposób nie jest zadowalająca z perspektywy instalacji urządzeń elektroenergetycznych. Magazynowanie biomasy na polu może ponadto niekorzystnie wpływać na zdrowie i bezpieczeństwo ludności ze względu na rozwój grzybów i innych szkodliwych organizmów. Co więcej, uniemożliwia przygotowanie upraw na przyszły sezon. Drugą metodą jest usytuowanie magazynu pomiędzy polami a elektrownią. W tym przypadku pojawia się problem przewozu surowca dwa razy, tzn. z pola do magazynu oraz z magazynu do elektrowni. Generuje to wzrost kosztów o ok. 10–20%. Trzecią metodą jest magazynowanie biomasy obok elektrowni. W tym przypadku surowiec podlega natychmiastowemu suszeniu w celu redukcji zbyt dużej wilgotności. Zapobiega to również powstawaniu grzybów i innych organizmów⁶⁴.

Wydaje się, że odpowiednim podejściem do produkcji energii z biomasy jest zastosowanie tzw. multi-biomasy (*concept of multi-biomass*). Tym bardziej, że uprawy monokulturowe zagrażają bioróżnorodności. Wykorzystywanie wszystkich dostępnych w regionie gatunków biomasy umożliwi zagospodarowanie i utylizację odpadów. Badania wykazują, że takie rozwiązanie może przynieść redukcję kosztów całkowitych w granicach 15–20% w porównaniu z wykorzystaniem jednego rodzaju biomasy⁶⁵. Podejście to wymaga jednak oszacowania potencjału produkcyjności energetycznej oraz kosztów technologicznych. Opłacalność przedsięwzięcia może stanowić barierę, zwłaszcza biorąc pod uwagę zmienną jakość surowca i wynikające stąd wahania kaloryczności. Dodatkowo znaczący wpływ na opłacalność wykorzystania biomasy jako surowca energetycznego ma koszt transportu, który wymaga oszacowania, nie tylko ze względów ekonomicznych, lecz także ekologicznych.

Uwagi końcowe

Biomasa jest atrakcyjnym surowcem energetycznym ze względu na powszechność występowania, różnorodność i mnogość technologii przetwarzania. Jest ona również wyjątkowym przedmiotem obrotu na rynku ze względu na specyfikę transportu i magazynowania. Główną zaletą wykorzystania biomasy rolnej jako surowca energetycznego jest możliwość wielorakiego jej zastosowania. Stanowi ona produkt bardzo elastyczny pod kątem zagospodarowania, umożliwiając wytworzenie paliw stałych, płynnych i gazowych. Za każdym razem wymaga to jednak specyficznej organizacji rynku, co nie zawsze jest łatwe do osiągnięcia. Różnorodność biomasy jako surowca energetycznego powoduje, że każdorazowo konieczne jest dokonanie starannego wyboru technologii konwersji dostosowanej do specyfiki regionu.

64 A. A. Rentizelas, A. J. Tolis, I. P. Tatsiopoulos, *Logistics Issues of Biomass: The Storage Problem and the Multi-Biomass Supply Chain*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2009, 13, s. 887–894.

65 Tamże.

Rozdział 2

Rynki biomasy rolnej jako monopson – ujęcie teoretyczne

Wprowadzenie

Celem rozdziału jest teoretyczna analiza rynku biomasy rolnej w ujęciu regionalnym, z wykorzystaniem modelu monopsonu. Przedstawiono problemy zawodności rynku biomasy, ogólną charakterystykę rynku monopsonu oraz jego efektywność. Dokonano analizy teoretycznego modelu monopsonu, w wyniku której wyznaczono poziom ceny za jednostkę biomasy rolnej z uwzględnieniem warunku maksymalizacji zysku przez przedsiębiorstwo wytwarzające energię z tego surowca.

2.1. Problem zawodności rynku na przykładzie rynku biomasy rolnej

Efektywność rynku to taka alokacja zasobów, która umożliwia maksymalizację nadwyżki całkowitej społeczeństwa. Nadwyżkę całkowitą stanowi różnica pomiędzy wartością dla nabywców a kosztem poniesionym przez sprzedawców. W przypadku rynku konkurencyjnego alokacja dóbr wytworzonych w gospodarce wygląda następująco:

- otrzymują je ci nabywcy, którzy cenią je najwyżej, biorąc pod uwagę skłonność do płacenia – odcinek funkcji popytu znajdujący się powyżej ceny równowagi rynkowej;
- dobra oferowane są przez tych sprzedawców, którzy potrafią wytworzyć je po najniższym koszcie – odcinek funkcji podaży znajdujący się poniżej ceny równowagi rynkowej.

Rynki konkurencyjne umożliwiają wytworzenie takiej ilości dóbr i usług, która maksymalizuje nadwyżkę całkowitą. W tym przypadku zwiększenie i zmniejszenie ilości dobra nie przyczyni się do wzrostu nadwyżki całkowitej. Funkcja popytu odzwierciedla wartość dobra dla nabywców, natomiast funkcja podaży to koszt ponoszony przez sprzedawców. W przypadku ilości mniejszej niż ilość równowagi koszt ten jest mniejszy niż wartość dla nabywców. Zwiększanie ilości produkcji warunkuje wzrost nadwyżki całkowitej do momentu zrównania się kosztu z wartością dobra dla nabywców. Dalszy wzrost produkcji będzie zmniejszał nadwyżkę całkowitą, ponieważ koszt przewyższa wartość dla nabywców.

Takie efektywne działanie rynków jest możliwe w przypadku braku jakichkolwiek zakłóceń. W dzisiejszym otoczeniu gospodarczym jest to założenie jedynie teoretyczne, ponieważ często występują zawodności rynku uniemożliwiające efektywną alokację zasobów. Rynek biomasy rolnej nie jest doskonały. Istnieje wiele przyczyn jego nieefektywności. W literaturze przedmiotu zakłada się, że powodem zawodności mechanizmu rynkowego z natury są efekty zewnętrzne. Często uważa się brak dostępu do informacji, a przez to brak wiedzy samych konsumentów energii na temat możliwości osiągania korzyści wynikających z efektywnego gospodarowania energią, wzrostu oszczędności energii czy korzystania z OZE. Ponadto w teorii ekonomii do głównych zawodności rynku zalicza się naruszanie warunków konkurencji doskonałej, istnienie dóbr publicznych, nieistnienie rynków lub ich niekompletność¹.

W przypadku konkurencji niedoskonałej przedsiębiorstwa zrównują koszt krańcowy z utargiem krańcowym, przy czym jest on niższy od ceny. Co więcej, korzyść krańcowa konsumentów w tym przypadku jest wyższa od kosztu krańcowego. W konsekwencji na rynku wytwarzane jest mniej dobra niż mogłoby być. Rynki konkurencyjne najczęściej prowadzą zaś do dużych dysproporcji dochodowych w społeczeństwie. Natomiast w przypadku dóbr publicznych rynek może w ogóle ich nie dostarczyć bądź dostarczyć za mało. Z sytuacją rynku niekompletnego mamy do czynienia, gdy rynek nie dostarcza wystarczającej ilości dóbr, pomimo że cena dobra przewyższa koszt wytworzenia produktu. Przykładem takiego rynku są ubezpieczenia i rynek kapitałowy. Często zdarza się, że rynek prywatny nie oferuje ubezpieczeń od wielu rodzajów ryzyka, niekorzystnych z perspektywy ubezpieczonego, np. powodzi, negatywnych warunków atmosferycznych dla upraw rolnych².

Do podstawowych barier rozwoju rynku bioenergii należy zaliczyć niekonkurencyjne i zniekształcone ceny rynkowe, niepełność informacji, wysokie koszty transakcyjne, nieefektywną organizację rynku w stosunku do nowych technologii, nadmierne i nieefektywne regulacje, bariery technologiczne, nierównomierny do-

1 B. Fiedor, S. Czaja, A. Graczyk, Z. Jakubczyk, *Podstawy ekonomii środowiska i zasobów naturalnych*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2000, s. 67–74.

2 J. E. Stiglitz, *Ekonomia sektora publicznego*, PWN, Warszawa 2004, s. 90–103.

stęp do finansowania³. Z badań przeprowadzonych w Polsce wynika, że barierami rozwoju obszarów wiejskich są: brak preferencyjnych kredytów, brak zorganizowanych rynków zbytu na płody rolne, brak odpowiednich pozytywnych wzorców. Wymienione bariery można traktować jako bariery rozwoju regionalnych rynków biomasy. Często wskazuje się, że głównymi działaniami umożliwiającymi rozwój w tym obszarze są zwiększenie opłacalności produkcji rolnej oraz możliwość przekwalifikowania zawodowego⁴.

Głównym przejawem zawodności rynku energii jest brak odzwierciedlenia w cenie energii rzeczywistych kosztów społecznych wynikających z jej produkcji i konsumpcji. Co więcej, energia stanowi również dobro bezpośrednio związane z poczuciem bezpieczeństwa narodowego. Brak pełnej internalizacji kosztów zewnętrznych emisji doprowadza do nadmiernego zużywania energii powyżej optimum społecznego. Ponadto koszty wynikające z uzależnienia kraju od różnych nośników energii nie są uwzględniane w cenie energii. Większość nośników energii, takich jak ropa naftowa czy gaz ziemny, pochodzi z regionów niestabilnych politycznie i/lub ekonomicznie. Ryzyko nie jest wkalkulowane w koszty konsumpcji energii, ale może zostać zredukowane w wyniku poprawy efektywności energetycznej. Kolejną zawodnością rynku energii jest asymetria lub brak dostępu do informacji. Niedoinformowanie dotyczy przede wszystkim konsumentów energii. Niezbędne jest upowszechnianie informacji o sposobach poprawy efektywności energetycznej, oszczędzania energii oraz wykorzystywania energooszczędnych produktów. Takie działania przyczyniają się do spadku kosztów utrzymania osiągniętych przez samego konsumenta (np. w postaci płacenia niższych rachunków za energię)⁵. Konsument nie są w stanie określić korzyści wynikających ze wzrostu efektywności energetycznej i w konsekwencji zużywają jej znacznie więcej niż potrzebują⁶.

Efekty zewnętrzne wpływają bezpośrednio na wynik gospodarczy, bez pośrednictwa mechanizmu rynkowo-cenowego. W zależności od kryterium podziału wyróżnia się efekty konsumpcyjne i produkcyjne oraz efekty dodatnie i ujemne. Analizując dodatni bądź ujemny efekt zewnętrzny, możemy go przedstawić poprzez zmodyfikowanie strony popytowej lub podaźowej. W przypadku ujemnego efektu zewnętrznego wpływającego na stronę podaźową, należy dodać do kosztu krańcowego (prywatnego kosztu krańcowego) koszt zewnętrzny. Suma tych kosztów nazywana jest kosztem społecznym i odzwierciedla faktyczny koszt

3 IEA, *Creating Markets for Energy Technologies*, Paris 2003, s. 65; A. D. Owen, *Renewable Energy: Externality Costs as Market Barriers*, "Energy Policy" 2006, 34, s. 632–642.

4 Ł. Popławski, *Kierunki rozwoju społeczno-ekonomicznego gminy Oksa preferowane przez jej mieszkańców*, „Zeszyty Naukowe. Polskie Towarzystwo Ekonomiczne” 2005, nr 3, s. 135–152.

5 K. Gillingham, R. G. Newell, K. Palmer, *Energy Efficiency Economics and Policy*, Discussion Paper, Resources for the Future, Washington 2009 (April), s. 1–13.

6 T. J. Brennan, *Energy Efficiency and Renewable Policies: Promoting Efficiency or Facilitating Monopsony?*, "Energy Policy" 2011, 39.

dostarczenia na rynek dodatkowej jednostki dobra. Natomiast analizując wpływ kosztu zewnętrznego na ilość dostarczanego dobra od strony popytowej, należy od korzyści krańcowych odjąć koszt zewnętrzny. Różnica ta nazwana jest społeczną korzyścią krańcową i odzwierciedla faktyczną korzyść z dostarczenia na rynek dodatkowej jednostki dobra. Analogicznie można przedstawić dodatni efekt zewnętrzny. W jednym przypadku należy od prywatnego kosztu krańcowego odjąć korzyść zewnętrzną (analizując wpływ efektu zewnętrznego od strony podażowej), otrzymując społeczny koszt krańcowy. Natomiast w drugim – wpływ ten analizuje się poprzez dodanie do prywatnych korzyści krańcowych korzyści zewnętrznych, otrzymując tym samym społeczną korzyść krańcową (wpływ efektu zewnętrznego na stronę popytową)⁷. W przypadku wystąpienia dodatniego efektu zewnętrznego nastąpi wytworzenie za małej ilości dobra społecznie pożądanego, zaś w przypadku zaistnienia ujemnego efektu zewnętrznego – za dużo⁸.

Nieprawidłowości w funkcjonowaniu rynku pojawiają się wówczas, gdy koszty społeczne różnią się od kosztów prywatnych. Oznacza to jednocześnie, że ceny nie odzwierciedlają rzeczywistej wartości produktu (mechanizm cenowy jest nieskuteczny)⁹. Sprawca, w wyniku działalności którego powstają negatywne efekty zewnętrzne, nie jest w pełni obciążony kosztem związanym z wytworzeniem tych efektów. Natomiast przy występowaniu dodatniego efektu, producent sam korzysta z pozytywnych funkcji tego zjawiska¹⁰. W tab. 15 przedstawiono efekty dla gospodarki uwarunkowane wykorzystaniem biomasy jako surowca energetycznego.

Z perspektywy organizacji rynku biomasy rolnej istotne są takie czynniki, jak przepływ wiedzy i informacji, źródła finansowania, odpowiednia infrastruktura rynku, poziom rozwoju polityki lokalnej i regionalnej poprzez skoordynowanie działań polityki rolnej, energetycznej i ochrony środowiska. Co więcej, obserwuje się raczej pionową integrację w organizacji rynku biomasy, co nie do końca sprzyja rozwojowi technologii. Formy organizacji rynku biomasy pozostawiają wiele pytań, na które odpowiedź nie zawsze jest oczywista. Do głównych z nich należą:

- czy powinny być określone specjalne wymogi co do produkcji biomasy rolnej przeznaczonej na surowiec energetyczny?
- czy technologie przetwórstwa biomasy są na tyle elastyczne, żeby umożliwiły produkcję energii bez konieczności ponoszenia większych kosztów dostosowania ich w odniesieniu do rodzaju, jakości i ilości biomasy?

7 T. Żylicz, *Ekonomia środowiska zasobów naturalnych*, PWE, Warszawa 2004, s. 28–34.

8 T. Żylicz, *Cena przyrody*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2014, s. 72–74.

9 M. S. le Clair, D. Franceschi, *Externalities in International Trade: The Case for Differential Tariffs*, "Ecological Economics" 2006, 58, s. 462–472.

10 V. K. Borooah, *Market Failure An Economic Analysis of its Causes and Consequences*, Northern Ireland 2003 (February), s. 35.

Tabela 15. Pozytywne i negatywne efekty związane z wykorzystaniem biomasy rolnej jako surowca energetycznego

Pozytywne efekty	Negatywne efekty
– poprawa jakości życia społeczeństw za sprawą zmniejszenia emisji dwutlenku węgla i innych zanieczyszczeń; – zmniejszenie bądź uniknięcie degradacji środowiska na skutek wystąpienia erozji gleby, stepowania i pustynnienia; – poprawa jakości środowiska poprzez odpowiednie zarządzanie biomasą jako surowcem, np. zrównoważone wykorzystanie biomasy leśnej umożliwi szybszą regenerację lasów, sprzątanie i przycinanie poprawi ich jakość oraz zmniejszy ryzyko wystąpienia pożarów, poprawi drzewostany, jak również zmniejszy ryzyko wystąpienia chorób oraz szkodników; – zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów przy produkcji energii (przy wykorzystaniu biomasy jako surowca odpadem produkcyjnym jest popiół, który może być wykorzystany jako nawóz); – dywersyfikacja źródeł energii umożliwiająca wzrost bezpieczeństwa energetycznego oraz zmniejszenie emisji zanieczyszczeń; – wzrost bezpieczeństwa pozostania cen energii na wyrównanym poziomie; – zmniejszenie stopnia zależności energetycznej; – obniżenie kosztów transportu energii elektrycznej ze względu na powstanie zdecentralizowanych elektrowni i elektrociepłowni oraz organizację łańcucha dostaw mającą na celu poszanowanie środowiska naturalnego poprzez minimalizację liczby dostawców; – dostęp do nowego źródła dochodów; – tworzenie nowych miejsc pracy.	– nadmierna eksploatacja gruntów pod kątem produkcji biomasy na cele energetyczne skutkująca erozją gleby, utratą składników mineralnych, zakwaszeniem gleby, zmianami w krajobrazie oraz ekosystemach, utratą różnorodności biologicznej; – wykorzystanie sprzętu do zbioru biomasy może skutkować wzrostem hałasu, zanieczyszczenia powietrza, zmianami krajobrazu w wymiarze lokalnym.

Źródło: M. Solino, A. Prada, M. X. Vazquez, *Green Electricity Externalities: Forest Biomass in an Atlantic European Region*, "Biomass and Bioenergy" 2009, 33, s. 407–414.

Kolejnym problemem jest przejście odpowiedzialności za niedostarczenie biomasy do producenta energii na skutek wystąpienia negatywnych warunków atmosferycznych. Na koniec kwestią problemową jest sama organizacja rynku od strony ekonomicznej. Rynki typu spot stanowią jedno z efektywniejszych rozwiązań pod względem kosztowym, przy założeniu, że przetwórcza potrafi elastycznie dostosować się do ilości i jakości otrzymywanej biomasy, a producenci biomasy mają wystarczającą wiedzę i umiejętności techniczne wytwarzania biomasy. Wiadomo natomiast, że te warunki nie są spełnione, biorąc pod uwagę wczesne etapy rozwoju tego rynku w Polsce. Alternatywę stanowią długoterminowe kontrakty

produkcyjne i marketingowe oraz spółdzielnie rolnicze. Takie rozwiązania są atrakcyjne, gdyż umożliwiają zredukowanie liczby umów pomiędzy przetwórcą a dostawcami biomasy, z wielu do jednej umowy ze spółdzielnią oraz redukcję kosztów administracyjnych¹¹.

Rozwój całego przemysłu bioenergetycznego, w tym rynku biomasy rolnej, wymaga kooperacji wielu podmiotów, począwszy od polityków gospodarczych, twórców technologii, finansistów, naukowców, producentów biomasy, deweloperów, po producentów sprzętów rolniczych. Istnieją obawy, że obecnie funkcjonujący przemysł bioenergii zmierza w złym kierunku poprzez wykorzystywanie do produkcji energii biomasy leśnej, przetwórstwa żywności na cele energetyczne czy biomasy importowanej z dalekich regionów świata.

Z powodu przedstawionych powyżej niedoskonałości rynku często zaznacza się, że bez wsparcia państwa dalszy rozwój rynku bioenergii będzie niemożliwy. Biorąc pod uwagę wymiar lokalny i globalny, wsparcie ze strony polityki gospodarczej zwiększenia produkcji energii z biomasy (w tym przypadku nie ma znaczenia jakiego dokładnie rodzaju nośnika biomasy to dotyczy) ma zarówno pozytywne, jak i negatywne skutki społeczne. Jeśli niektóre państwa zdecydują się na politykę wsparcia dla energii z biomasy, można spodziewać się wypierania niektórych produktów rolnych na rzecz wzrostu produkcji biomasy jako surowca energetycznego. W efekcie nastąpi zmniejszenie podaży danego produktu na rynkach światowych oraz wzrost cen tego „wypartego” produktu w wymiarze globalnym. Dalszą konsekwencją będzie zmniejszenie dochodu realnego uboższych społeczeństw. W perspektywie lokalnej zaś rozwój nowego przemysłu, jakim jest bioenergetyka, skutkować może nowymi miejscami pracy, wsparciem i rozwojem lokalnych usług, rozwojem gospodarczym. Właśnie obszary wiejskie charakteryzujące się w Polsce rozdrobnioną strukturą rolną, ze względu na postępujący proces globalizacji, nacisk na wzrost efektywności produkcji rolnej, narażone są na wzrost bezrobocia oraz migrację w wymiarze lokalnym. Tutaj pojawia się rozbieżność pomiędzy korzyściami społecznymi w ujęciu lokalnym a pojęciem efektywności w wymiarze globalnym. Kompromis wymaga rozwoju zdecentralizowanych jednostek, a więc systemu małych obszarów, co nie do końca wpisuje się w pojęcie efektywności pod względem gospodarczym i energetycznym w ujęciu krajowym i międzynarodowym. Dlatego też cały rynek bioenergii wymaga analizy pod względem zarówno lokalizacji, jak i skali produkcji. Istnieje ryzyko, że wzrost produkcji biomasy na dużą skalę będzie powodował narastanie negatywnych efektów społecznych¹². Nieefektywne i niezrównoważone zagospodarowanie obszarów wiejskich może prowadzić do wzrostu eksploatacji surowców naturalnych oraz

11 I. Altman, T. Johnson, *The Choice of Organizational form as a Non-Technical Barrier to Agro-Bioenergy Industry Development*, „Biomass and Bioenergy” 2008, 32, s. 28–34.

12 D. van der Horst, *Spatial Scale and Social Impacts of Biofuel Production*, „Biomass and Bioenergy” 2011, 35, s. 2435–2443.

wypierania produkcji konwencjonalnej produkcją na potrzeby rynku bioenergii. Przekwalifikowanie upraw z produkcji żywności na uprawy energetyczne może wpłynąć na zmianę redystrybucji dochodów ludności, pogłębiając nierówności dochodowe i majątkowe, a także marginalizację niektórych grup i rozwarstwienie społeczne. Dodatkowo intensyfikacja produkcji w oparciu o środki chemiczne, które przenikają do wód gruntowych, wpływa na jakość wody, a przez to na walory odżywcze żywności i zdrowie ludzi.

Dla rozwoju regionalnych rynków biomasy rolnej istotne jest tworzenie odpowiednich uwarunkowań instytucjonalnych. Z badań przeprowadzonych przez Ł. Popławskiego wynika, że wsparcie instytucjonalne jest największe na poziomie gminy według oczekiwań mieszkańców. Na wyższych szczeblach administracji publicznej pojawiają się bariery uniemożliwiające współpracę pomiędzy mieszkańcami obszarów wiejskich a administracją publiczną. Jest to wynik przede wszystkim braku zaufania do organów rządzących na wyższych szczeblach, partii politycznych oraz związków zawodowych¹³.

Wsparcie rozwoju rynku bioenergii, a w tym rynku biomasy, powinno polegać na odpowiednim wyborze instrumentów polityki gospodarczej. Przede wszystkim istotne jest, by instrumenty mające na celu wsparcie finansowe były dokładnie zaplanowane oraz stabilne w długim okresie. Co więcej, powinno się zapobiegać nie zrównoważonej produkcji biomasy i innych nośników bioenergii oraz gwarantować ciągłość w długookresowym wsparciu rozwoju tego sektora gospodarki. Należy pamiętać, że prowadzenie polityki wsparcia mającej na celu rozwój rynku bioenergii jest warunkiem koniecznym, ale niewystarczającym i niegwarantującym powodzenia¹⁴. Przykładem niedoskonałej polityki gospodarczej może być przypadek norweski. Brak konsekwencji w prowadzeniu polityki, niepewność, krótkookresowość budżetów, które nie były prawnie wiążące, to główne czynniki wpływające negatywnie na norweski przemysł biodiesla. Od 1999 do 2000 roku w Norwegii obowiązywało zwolnienie podatkowe dla samochodów przystosowanych do biodiesla. Co więcej, wprowadzono dotacje dla produkcji tego paliwa stanowiące 0,45 €/litr. Taka polityka zainicjowała rozwój przemysłu zajmującego się produkcją biodiesla. Pomimo zapewnień rządu o niezmienności kierunku polityki w aspekcie dalszego wspierania produkcji biodiesla, ulga została usunięta w 2009 roku. Tłumaczono, że samochody na biodiesel również przyczyniają się do emisji gazów cieplarnianych, wypadków drogowych i korków. Z tego względu kierowcy tego rodzaju pojazdów powinni ponosić część kosztów związanych z uczestnictwem w ruchu drogowym. Równocześnie zdecydowano o przymusowym mieszanii 2,5% biodiesla z olejem napędowym. W wyniku tych decyzji,

13 Ł. Popławski, *Wsparcie instytucjonalne rozwoju gmin wiejskich w opinii mieszkańców obszarów chronionych województwa świętokrzyskiego*, „Handel Wewnętrzny” 2013 (listopad-grudzień), s. 253–263.

14 IEA, *Bioenergy – a Sustainable and Reliable Energy Source*, IEA Bioenergy, OECD, Paris 2009.

dwie największe i najprężniej działające spółki produkujące biodiesel w Norwegii (Uniol oraz Habiol) zostały sprzedane, inwestorzy stracili zainwestowane pieniądze, a pracownicy – pracę¹⁵.

Korzyści z wykorzystania biomasy do produkcji energii nie są oczywiste. Wszystko jest zależne od poziomu analizy. Nie zawsze zastąpienie paliwa konwencjonalnego paliwem „zielonym” przynosi pozytywne efekty. Jako przykład można przytoczyć produkcję biodiesla sojowego. Produkcja soi jako surowca do produkcji paliw wymaga zwiększenia zużycia wody oraz intensyfikacji wykorzystania gruntów. Prowadzi to do wzrostu cen żywności, czego negatywne skutki odczuwają przede wszystkim najubożsi. Co więcej, wzrost nawodnienia gruntów negatywnie wpływa na pochłanianie dwutlenku węgla. Emisja tlenu azotu jest również wyższa w tym procesie produkcji w wyniku konieczności stosowania większej ilości nawozów. Ze względu na specyfikę zanieczyszczeń środowiska związaną z ich transgranicznością wydaje się więc, że im dłuższy cykl życia produktu, tym mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia korzyści i uzyskania pozytywnych efektów zewnętrznych związanych z zastąpieniem konwencjonalnych nośników paliw „zielonymi”¹⁶.

2.2. Ogólna charakterystyka monopsonu jako struktury rynku biomasy rolnej

Monopson jest rynkiem jednego nabywcy. Rozproszenie występuje po stronie podaży. Przedsiębiorstwo monopsonowe jest cenotwórcą, podobnie jak monopolista. Przedsiębiorstwa posiadające pozycję dominującą na rynku lokalnym mogą stać się monopsonem, a przez to mogą posiadać siłę monopsonową¹⁷. Ten model struktury rynku jest często brany pod uwagę w przypadku analizowania rynku pracy¹⁸, rynku

15 W. White, A. Lunnan, E. Nybakk, B. Kulisic, *The Role of Governments in Renewable Energy: The Importance of Policy Consistency*, „Biomass and Bioenergy” 2013, 57, s. 97–105.

16 M. Winden, N. Cruze, T. Haab, B. Bakshi, *Monetized value of the Environmental, Health and Resource Externalities of Soy Biodiesel*, „Energy Economics” 2015, 47, s. 18–24.

17 S. Muehlemann, P. Ryan, S. C. Wolter, *Monopsony Power, Pay Structure and Training*, „Discussion Paper Series” 2011, no. 5598 (March).

18 A. Manning, *The Real Thin Theory: Monopsony in Modern Labour Markets*, Centre for Economic Performance, London 2003; N. Jinji, *Factor Market Monopsony and International Duopoly*, „The Journal of International Trade and Economic Development” 2012, vol. 21, no. 2, s. 271–286; O. C. Ashenfelter, H. Farber, M. R. Ransom, *Labor Market Monopsony*, „Journal of Labor Economics” 2010, vol. 28, no. 2, s. 203–210; P. Kuhn, *Is Monopsony the Right Way to Model Labor Markets? A Review of Alan Manning’s Monopsony in Motion*, „Journal of the Economics of Business” 2004, vol. 11, no. 3 (November), s. 369–378; F. Fiorillo, S. Santacroce, S. Staffolani, *Monopsonistic Competition for the Best Workers*, „Labour Economics” 2000, 7, s. 313–334.

uprawnień do emisji dwutlenku węgla¹⁹, rynków rolnych²⁰ czy rynków sportu zawodowego²¹.

W prezentowanym modelu struktury rynku zakłada się, że przedsiębiorstwo wytwarzające energię wykorzystuje do produkcji jeden czynnik produkcji – biomasę rolną, dlatego funkcja produkcji przybiera postać $y = f(q)$, gdzie y – ilość wyprodukowanej energii z biomasy, q – ilość biomasy. Lokalnie działająca jednostka wytwarzająca energię z biomasy jest jedyną w obrębie danego obszaru, korzystnego z punktu widzenia aspektów ekologicznych oraz logistycznych transportu surowca. Co więcej, przedsiębiorstwo to dominuje na rynku biomasy rolnej i jest świadome, że zgłaszane przez nie zapotrzebowanie na biomasę będzie wpływać na jej cenę. Przedsiębiorstwo, chcąc wytwarzać więcej energii z biomasy rolnej, potrzebuje więcej tego surowca. Oznacza to, że im więcej chce kupić biomasy, tym wyższą cenę musi zapłacić. W modelu zależność ta będzie więc przedstawiona jako odwrócona, rosnąca funkcja podaży biomasy rolnej $p(q)$. Jeśli przedsiębiorstwo chce zakupić q jednostek biomasy rolnej, to musi zapłacić cenę $p(q)$ ²².

Monopsonista maksymalizuje swoje zyski poprzez ograniczanie kupowania surowca niezbędnego do produkcji energii, tzn. biomasy, co skutkuje spadkiem cen tego surowca poniżej poziomu cen konkurencyjnych. Wynikiem takiego działania jest nieosiągnięcie maksymalnych rozmiarów produkcji energii z biomasy rolnej. Funkcja zysku monopsonisty ma postać²³:

$$\pi = [mf(q) - p(q)q] \quad (1)$$

gdzie:

- π – zysk;
- m – cena za jednostkę sprzedanej energii pozyskanej z biomasy;
- $f(q)$ – funkcja ilości wytworzonej energii z biomasy;
- $p(q)$ – odwrócona funkcja podaży biomasy rolnej;
- q – ilość biomasy rolnej.

-
- 19 R. A. Muller, S. Mestelman, J. Spraggon, R. Godby, *Can Double Auctions Control Monopoly and Monopsony Power in Emissions Trading Markets?*, "Journal of Environmental Economics and Management" 2002, vol. 44, s. 70–92.
 - 20 A. Inoue, T. Vukina, *Testing for the Principal's Monopsony Power in Agency Contracts*, "Empirical Economics" 2006, vol. 31, s. 717–734; F. Saenz-Segura, M. D'Haese, R. A. Schipper, *A Seasonal Model of Contracts Between a Monopsonistic Processor and Smallholder Pepper Producers in Costa Rica*, "Agricultural Systems" 2010, 3, s. 10–20.
 - 21 P. Garcia-del-Barrio, F. Pujol, *Hidden Monopsony Rents in Winner-take-all Markets Sport and Economic Contribution of Spanish Soccer Players*, "Managerial and Decision Economics" 2007, vol. 28, s. 57–70; J. L. Harrison, C. C. Harrison, *The Law and Economics of the NCAA's Claim to Monopsony Rights*, "The Antitrust Bulletin" 2009, vol. 54, no. 4, s. 923–949.
 - 22 Ch. DePasquale, *Collusive Monopsony and Antitrust Damages*, "The Antitrust Bulletin" 2009, vol. 54, no. 4, s. 907–921; J. P. Burkett, *Microeconomics: Optimization, Experiments, and Behavior*, Oxford University Press, New York 2006, s. 174–172.
 - 23 O. C. Ashenfelter, H. Farber, M. R. Ransom, *Labor Market...*

Optymalna ilość produkcji wyznaczana jest przez zrównanie przychodu krańcowego *MR* (*marginal revenue*) z kosztem krańcowym *MC* (*marginal cost*). Natomiast należy zwrócić uwagę, że w przypadku konkurencji doskonałej przychód krańcowy w warunkach równowagi jest równy cenie, a także kosztowi krańcowemu. Monopsonista, chcąc zwiększyć produkcję energii z biomasy, kupuje jej więcej, co skutkuje tym samym koniecznością zapłaty wyższej ceny za ten surowiec. Takie ograniczenie narzuca na niego krzywa podaży biomasy.

Całkowita zmiana kosztów uwarunkowana wzrostem wykorzystania biomasy rolnej o Δq stanowi odpowiednio²⁴:

$$\Delta c = p\Delta q + q\Delta p \quad (2)$$

gdzie:

c – koszt całkowity produkcji energii z biomasy rolnej;

p – cena biomasy rolnej²⁵.

Koszt krańcowy wzrostu wykorzystania biomasy rolnej do produkcji energii można zapisać jako:

$$MC = \frac{\Delta c}{\Delta q} = p + \frac{\Delta p}{\Delta q} q \quad (3)$$

gdzie:

MC – koszt krańcowy wzrostu wykorzystania biomasy rolnej do produkcji energii.

Koszt krańcowy możemy również wyrazić, wykorzystując cenową elastyczność podaży biomasy²⁶:

$$MC = p \left[1 + \frac{q\Delta p}{p\Delta q} \right] = p \left[1 + \frac{1}{\varepsilon} \right] \quad (4)$$

gdzie:

ε – elastyczność cenowa podaży biomasy.

W przypadku monopsonu mamy do czynienia z dodatnio nachyloną funkcją podaży biomasy, dlatego współczynnik elastyczności cenowej podaży ε będzie liczbą dodatnią. W przypadku rynku konkurencji doskonałej współczynnik

24 Zmiana kosztu spowodowana zmianą ceny i ilości wynosi: $\Delta C = p\Delta q + q\Delta p + \Delta p\Delta q$, przy małych zmianach ostatnie wyrażenie we wzorze może zostać pominięte.

25 Przychód rolnika a koszt monopsonisty.

26 Elastyczność dana jest wzorem: $\varepsilon = \frac{\Delta q/q}{\Delta p/p} = \frac{\Delta q}{\Delta p} \frac{p}{q}$, zmiana kosztu spowodowana zmianą ceny i ilości wynosi: $\Delta C = p\Delta q + q\Delta p$, po uwzględnieniu założeń, dzieląc równanie przez zmianę ilości czynnika wykorzystanego do produkcji, otrzymujemy koszt krańcowy: $MC = \frac{\Delta c}{\Delta q} = p + q \frac{\Delta p}{\Delta q}$. Wyłączając p przed nawias, otrzymujemy w nawiasie odwrotność elastyczności: $MC = p \left[1 + \frac{q}{p} \frac{\Delta p}{\Delta q} \right]$, bo $\frac{1}{\varepsilon} = \frac{1}{\frac{\Delta q}{\Delta p} \frac{p}{q}} = \frac{q}{p} \frac{\Delta p}{\Delta q}$.

ten będzie równy nieskończoności (dla konkurencji doskonałej krzywa podaży biomasy jest pozioma). Wyrażenie (4) w takim przypadku dotyczyć będzie firmy działającej w warunkach konkurencji doskonałej czynników produkcji i zredukuje się do postaci $MC = p^{27}$. Zakładając liniową krzywą podaży biomasy rolnej, odwrócona funkcja podaży ma postać:

$$p(q) = a + bq \quad (5)$$

gdzie:

$$a > 0;$$

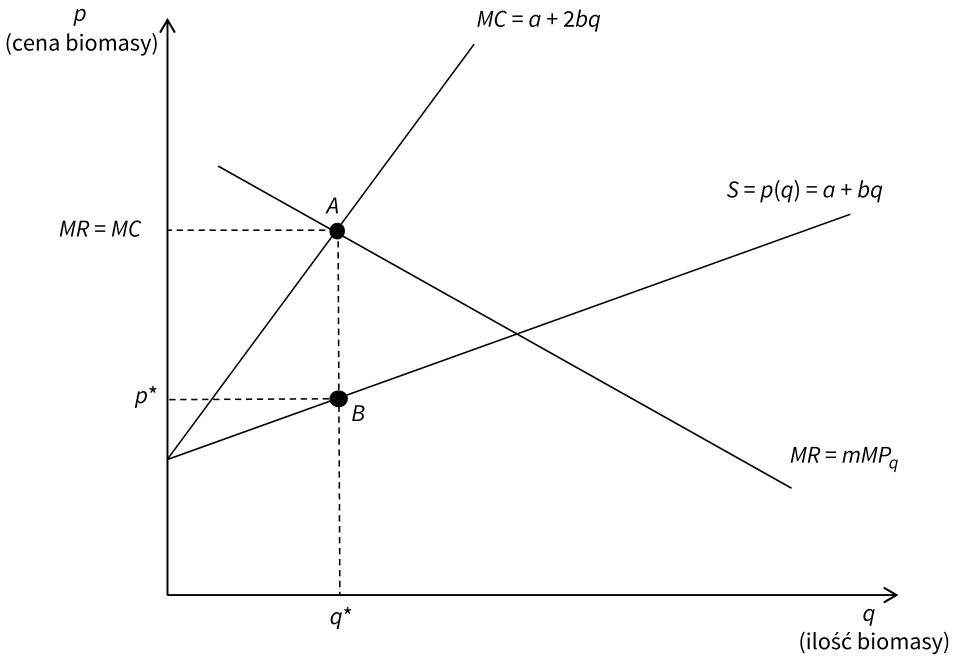
$$b > 0.$$

Natomiast koszty całkowite zakupu biomasy rolnej przez przedsiębiorstwo monopsonistyczne wynoszą:

$$c(q) = p(q)q = aq + bq^2 \quad (6)$$

Koszt krańcowy dodatkowej jednostki biomasy rolnej wynosi:

$$MC = a + 2bq \quad (7)$$



Rysunek 2. Maksymalizacja zysku przedsiębiorstwa monopsonowego

Źródło: opracowanie własne na podstawie: P. Kuhn, *Is Monopsony the Right Way to Model Labor Markets? A Review of Alan Manning's Monopsony in Motion*, "Journal of the Economics of Business" 2004, vol. 11, no. 3 (November), s. 369–378.

Zakładając konkurencyjny rynek wyrobu gotowego (energii z biomasy), przychód krańcowy MR równa się wartości produktu krańcowego MP (*marginal product*), natomiast m to cena za jednostkę sprzedanej energii z biomasy rolnej. Rys. 2 przedstawia równowagę na rynku monopsonowym. Punkt A wyznacza ilość biomasy rolnej q^* umożliwiającej monopsoniście maksymalizację zysku całkowitego. Poziom ceny, która wynosi p^* , wyznacza punkt B znajdujący się na odwróconej krzywej podaży biomasy. Należy zauważyć, że koszt krańcowy MC wykorzystania dodatkowej jednostki biomasy rolnej przewyższa cenę biomasy (p). Cena ta jest niższa niż w przypadku przedsiębiorstwa działającego na rynku konkurencyjnym. Porównując te dwa modele struktury rynku, monopsonista będzie zmniejszał ilość wykorzystywanej do produkcji energii biomasy rolnej w celu zmniejszenia ceny płaconej rolnikowi za jej jednostkę. Jeśli przychód krańcowy jest mniejszy od kosztu krańcowego ($MR < MC$), oznacza to, że kupno dodatkowej jednostki biomasy rolnej skutkować będzie zmniejszeniem przychodu osiąganego ze sprzedaży energii pochodzącej z biomasy rolnej przez monopsonistę. Jeśli natomiast przychód krańcowy jest większy od kosztu krańcowego ($MR > MC$), wtedy kupno dodatkowej jednostki biomasy będzie generować większy przychód niż koszty²⁸.

2.3. Nieefektywność rynku monopsonu

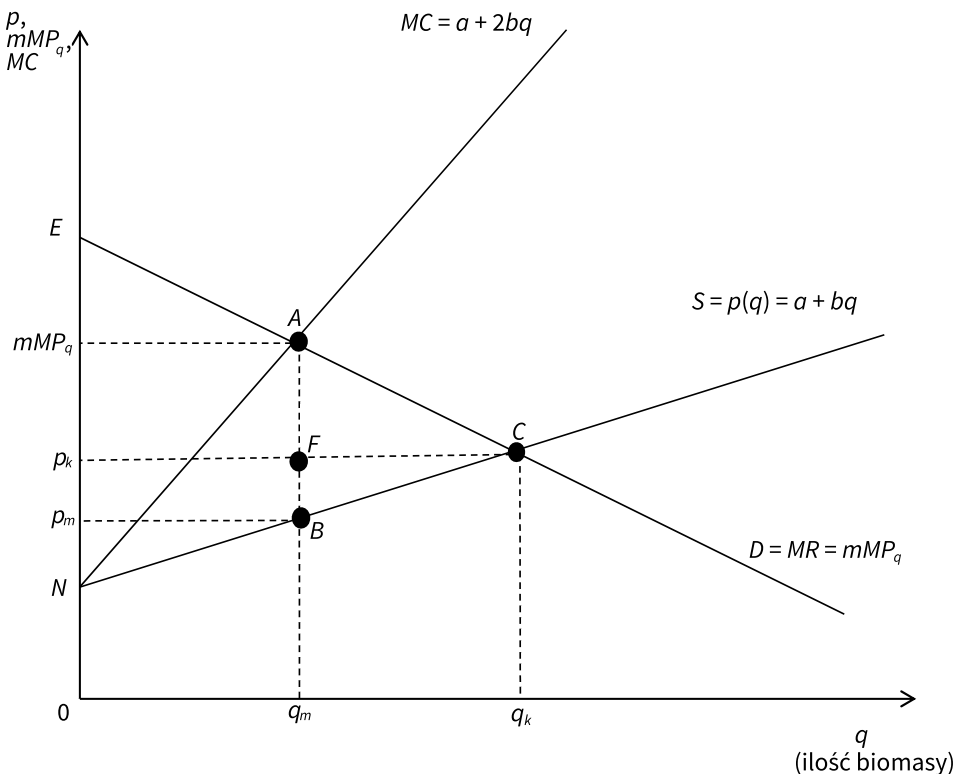
Monopsonista kupuje q_m biomasy po cenie p_m , przy uwzględnieniu warunku maksymalizacji zysku, tj. przy $MR = MC$. Dla porównania przedsiębiorstwo działające w warunkach konkurencji doskonałej kupowałoby więcej biomasy rolnej po wyższej cenie (q_k ilości biomasy rolnej po cenie p_k , tzn. tam, gdzie $MR = MC = p_k$, rys. 3).

Odwrócona funkcja podaży biomasy S przedstawia, ile przedsiębiorstwo monopsonistyczne jest skłonne zapłacić za dodatkową jednostkę biomasy. Monopsonista kupuje czynnik po cenie niższej niż koszt krańcowy MC i poniżej wartości produktu krańcowego biomasy rolnej. Natomiast analizując rynek konkurencyjny, produkt krańcowy biomasy rolnej musi się równać jego cenie.

Przedsiębiorstwo monopsonistyczne, wykorzystując więcej nakładu biomasy rolnej o Δq , zmieni ilość produkcji energii pochodzącej z biomasy o $\Delta y = MP_q \Delta q$, która jest warta $mMP_q \Delta q$, natomiast koszt zakupu dodatkowych jednostek biomasy rolnej wynosi $\Delta p \Delta q$. Jeśli wartość produktu krańcowego przewyższa jego koszt zakupu, to zysk przedsiębiorstwa monopsonistycznego może zostać powiększony przez wzrost nakładu biomasy rolnej. Tym samym, przemieszczając się do góry wzdłuż funkcji podaży biomasy, aż do momentu przecięcia jej z funkcją popy-

28 A. Koutsoyiannis, *Modern Microeconomics*, second edition, Macmillan Press, London 1979, s. 458–463.

tu D , będą istniały przedsiębiorstwa skłonne zapłacić więcej za jednostkę biomasy rolnej ($p_m < p_k < MC$, $p_m < p_k < mMP_q$). Sprzedawca biomasy rolnej poprawi jednak swoje położenie, bo sprzeda dodatkową jednostkę biomasy rolnej za cenę wyższą niż by otrzymał pierwotnie od monopsonisty ($p_m < p_k$). Co więcej, monopsonista ma możliwość zwiększenia swojego zysku, dlatego istnieje możliwość poprawy położenia obu stron, bez konieczności pogarszania sytuacji jednej z nich²⁹. Przedsiębiorstwo monopsonistyczne produkuje nieefektywnie z punktu widzenia kryterium Pareto. Nieefektywność jest w tym przypadku po stronie rynku czynnika produkcji, a nie po stronie rynku produktu. Monopsonista nie produkuje energii z biomasy efektywnie w rozumieniu Pareto, ponieważ istnieje możliwość poprawy sytuacji w rozumieniu Pareto.



Rysunek 3. Nieefektywność przedsiębiorstwa monopsonowego

Źródło: opracowanie własne na podstawie: M. Parkin, D. King, *Economics*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992, s. 384–390; P. Wonnacott, R. Wonnacott, *Economics*, second edition, McGraw-Hill Book Company, New York 1992, s. 696–700.

²⁹ R. D. Blair, J. L. Harrison, *Antitrust Policy and Monopsony*, "Cornell Law Review" 1991, vol. 76, no. 2 (January), s. 297–340.

Warunek maksymalizacji zysku przedsiębiorstwa monopsonowego jest spełniony wówczas, gdy wartość produktu krańcowego z biomasy ($mMP_q = D$) zrównuje się z kosztem krańcowym MC , tzn. w punkcie A . Przedsiębiorstwo zakupi q_m czynnika po cenie równej p_m . Strata sprzedawcy biomasy rolnej, tzn. rolnika, jest równa mMP_q pomniejszonej o p_m , nie jest zaś ona tożsama z rzeczywistą stratą społeczną. Nadwyżka monopsonisty stanowi obszar o wierzchołkach $EABp_m$, znajdujący się poniżej krzywej popytu D i powyżej poziomu ceny biomasy. Natomiast nadwyżka rolnika to trójkąt p_mBN powyżej krzywej podaży i poniżej ceny otrzymywanej za sprzedaną jednostkę biomasy. Nadwyżka rolnika i monopsonisty łącznie stanowi korzyść społeczną opisaną przez figurę o wierzchołkach $EABN$ ³⁰.

Punkt C na rys. 3 wyznacza cenę p_k oraz ilość kupionej biomasy rolnej q_k przez przedsiębiorstwo działające w warunkach konkurencji doskonałej. Przedsiębiorstwo wytwarza taką ilość energii z biomasy, przy której cena zrównuje się z kosztem krańcowym. Przedsiębiorstwo monopsonistyczne produkuje natomiast mniejszą ilość energii z biomasy rolnej, kupując jednocześnie biomasę rolną po niższej cenie niż w przypadku konkurencji doskonałej. Nadwyżka konsumenta i producenta na rynku konkurencyjnym jest inna niż na rynku monopsonisty. Nadwyżka konsumenta stanowi trójkąt ECp_k , zaś nadwyżka producenta to obszar opisany przez wierzchołki figury p_kNC . Korzyść społeczna jest większa w przypadku struktury rynku konkurencji doskonałej niż monopsonu. Trójkąt ACB obrazuje stratę dobrobytu społecznego uwarunkowaną istnieniem monopsonu. Na rynku monopsonu mamy nadzwyczajnie wysokie nadwyżki konsumenta biomasy, w tym przypadku przedsiębiorstwa monopsonistycznego produkującego energię z biomasy³¹.

Różnica pomiędzy ceną otrzymywaną za biomasę na rynku konkurencyjnym (p_k) a ceną uzyskiwaną na rynku monopsonowym (p_m) stanowi stratę sprzedawcy biomasy z tytułu uzyskania mniejszych przychodów, którą można wyznaczyć za pomocą wzoru³²:

$$\Delta = (p_k - p_m)q_m \quad (8)$$

Na rys. 3 strata sprzedawcy biomasy rolnej jest to pole p_kFBp_m . Należy zauważyć, że strata ta jest mniejsza od pola rzeczywistej straty społecznej dla monopsonu, którą obrazuje figura o wierzchołkach mMP_qABp_m ³³.

30 Ch. DePasquale, *Collusive Monopsony...*

31 P. Wonnacott, R. Wonnacott, *Economics*, second edition, McGraw-Hill Book Company, New York 1992, s. 696–700.

32 Ch. DePasquale, *Collusive Monopsony...*

33 Tamże.

2.4. Monopson na rynku biomasy rolnej – ujęcie modelowe

Do głównych czynników lokalizacji przedsiębiorstw w regionie zalicza się bazę surowcową i energetyczną, rynek zbytu, zagospodarowanie infrastrukturalne, możliwość transportu oraz dostępność siły roboczej³⁴. Wśród prekursorów teorii ekonomii lokalizacji wymienia się J. H. Thüнена, W. Launhardta, A. Webera, W. Christallera, A. Löschę, W. Isarda, F. Perrouxa³⁵. Zarówno Weber, jak i Thünen w swoich analizach brali pod uwagę rynek konkurencji doskonałej. Rozwój teorii konkurencji monopolistycznej wprowadził pojęcie zróżnicowania przestrzennego, a przez to siły monopolistycznej kształtowania cen. W następstwie zaczęto uwzględniać analizę obszaru rynkowego, tj. struktury rynku i jej wpływu na funkcjonowanie przedsiębiorstw z uwzględnieniem ekonomicznych aspektów przestrzeni. Analizując rynek biomasy rolnej, należy wziąć pod uwagę aspekt przestrzenny ze względu na charakter tego surowca. Biomasa rolna jako surowiec energetyczny jest możliwa do pozyskania wszędzie tam, gdzie jest prowadzona produkcja rolna. Nie jest to jednoznaczne ze stwierdzeniem, że korzystne jest sprowadzanie tego surowca z każdej lokalizacji bez konieczności uwzględnienia kosztów transportu, w tym kosztów zewnętrznych (ekologicznych), dlatego też do teoretycznych rozważań dotyczących regionalnego modelu rynku biomasy rolnej na przykładzie monopsonu posłuży model Hotellinga *Main Street*³⁶. W literaturze przedmiotu spotkano wykorzystanie modelu Hotellinga przez takich badaczy, jak J. P. Sesmero, J. V. Balagatas, M. Pratt, w celu porównania konkurencyjności produkcji biopaliw z kukurydzy dla różnych struktur rynkowych³⁷.

Założono, że monopsonista przetwarza dostępną biomasę rolną (Q) na energię OZE (y), wykorzystując dostępną technologię przy założeniu minimalizacji kosztów produkcji, tzn. $y = \min\{\mu Q, h(Z)\}$, gdzie Z to nakłady czynników produkcji niezbędne do tego procesu, $h(Z)$ to funkcja pokazująca, jak czynniki produkcji przekładają się na produkcję energii z biomasy oraz μ jest współczynnikiem konwersji biomasy rolnej³⁸. Co więcej, zakładamy, że współczynnik przetworzenia jest taki, aby wielkość nakładu czynnika produkcji zrównała się z produktem wyjściowym, tzn. $Q = y$. Koszty transportu biomasy rolnej do monopsonisty wynoszą s na jednostkę

34 Z. Silski, *Elementy ekonomiki regionalnej*, Politechnika Koszalińska, Koszalin 1997.

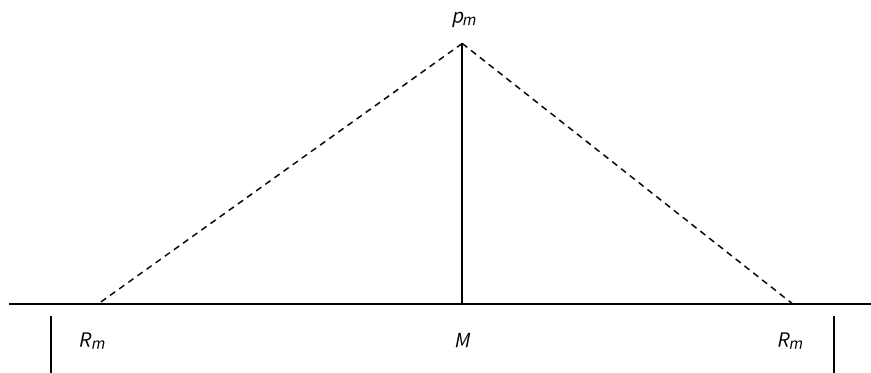
35 M. Blaug, *Teoria ekonomii. Ujęcie retrospektywne*, PWN, Warszawa 1994, s. 618–633.

36 H. Hotelling, *Stability in Competition*, "The Economic Journal" 1929, vol. 39, no. 153 (March), s. 41–57.

37 J. P. Sesmero, J. V. Balagatas, M. Pratt, *The Economics of Spatial Competition for Corn Stover*, "Journal of Agricultural and Resource Economics" 2015, 40 (3) (September).

38 Tak, że każda tona suchej biomasy rolnej daje μ jednostek energii.

odległości wyrażoną w kilometrach. Cenę energii pochodzącej z biomasy rolnej, która wynosi u , traktujemy jako daną. Zakładamy również, że wyprodukowanie każdej jednostki energii kosztuje przedsiębiorstwo tyle samo – c . Marża przedsiębiorstwa ze sprzedaży jednostki energii wynosi $\rho = (u - c)$. Celem działalności monopsonisty jest maksymalizacja zysku ze sprzedaży energii wyprodukowanej z biomasy rolnej. Przedsiębiorstwo monopsonistyczne jest cenodawcą, więc narzuca cenę, jaką płaci rolnikom za jednostkę dostarczonej biomasy niezbędnej do produkcji energii.



Rysunek 4. Lokalizacja przestrzenna monopsonisty

Źródło: opracowanie własne na podstawie: J. P. Sesmero, J. V. Balagatas, M. Pratt, *The Economics of Spatial Competition for Corn Stover*, "Journal of Agricultural and Resource Economics" 2015, 40 (3) (September), s. 427.

Przedsiębiorstwo M zlokalizowane jest pośrodku odcinka D wyznaczonego przez granice rynku R_m . Przedsiębiorca oferuje cenę w wysokości p_m za tonę biomasy rolnej dostarczonej do zakładu. Rolnik otrzymuje w takim razie $p_m - sr$, gdzie r jest pokonanym dystansem rolnika do przedsiębiorstwa.

Funkcja podaży biomasy rolnej rolnika znajdującego się w odległości r od przedsiębiorstwa M określona jest przez:

- maksymalny, możliwy do uzyskania potencjał biomasy rolnej – B ;
- wskaźnik produktywności (udziału dostarczanej biomasy rolnej przez rolnika do monopsonisty), który jest rosnącą funkcją ceny o liniowej zależności ($\theta_r = \theta_1(p_m - sr)$), gdzie $\theta_r = \theta_1(p_m - sr)$, gdy $p_m \geq sr$ oraz $\theta_r = 0$, gdy $p_m < sr$.

Co oznacza, że im wyższa cena oferowana rolnikowi za dostarczoną biomasę rolną, tym większa ilość tego surowca jest dostarczana do przedsiębiorstwa. Dodatkowo należy uwzględnić, że wskaźnik udziału dostarczanej biomasy rolnej nie może przyjmować wartości ujemnych, a jego wartość nie może przekroczyć 100%. Jeśli koszty transportu biomasy będą wyższe od ceny płaconej przez monopsonistę, wtedy rolnik nie sprzedaje mu biomasy. Uwzględniając te założenia, otrzymujemy funkcję podaży biomasy rolnej rolnika:

$$q_b = B \times \min\{\max[\theta_1 (p_m - sr), 0], 1\} \quad (9)$$

gdzie:

- B – potencjał biomasy rolnej;
- p_m – cena biomasy rolnej;
- s – koszt transportu biomasy rolnej;
- r – odległość gospodarstwa rolnego do przedsiębiorstwa zajmującego się wytwarzaniem energii z biomasy rolnej;
- $\theta_1 > 0$ – udział dostarczanej biomasy rolnej przez rolnika do monopsonisty.

Dodatkowo zakłada się, że koszty transportu biomasy z jednego i drugiego krańca odcinka do przedsiębiorstwa są takie same. Można zatem wyznaczyć granice rynku R_m dla dostawców biomasy przy uwzględnieniu warunku efektywności $p_m = sr$. Granica rynku wyznaczana jest poprzez zrównanie ceny za tonę biomasy oferowanej rolnikom przez monopson z kosztami dowozu surowca do przedsiębiorstwa. Dlatego też $B[\theta_1 (p_m - sr)] = 0$. Rozwiązując podany warunek względem³⁹ $r = R_m$, otrzymujemy $R_m = p_m/s$.

Natomiast granica rynku z perspektywy monopsonisty ma postać $R_m = \min[R_m, D/2]$, gdzie $D/2$ stanowi odległość przedsiębiorstwa do granicy rynku. Przedsiębiorca chce zaoferować możliwie najniższą cenę za biomasę rolną. Zagregowana funkcja podaży biomasy rolnej stanowi sumę podaży z każdej z możliwych lokalizacji dostawców tego surowca w granicy rynku:

$$Q_B = 2 \int_0^{R_m} B[\theta_1 (p_m - sr)] dr \quad (10)$$

gdzie:

$B[\theta_1 (p_m - sr)]$ – ilość biomasy rolnej dostarczanej do przedsiębiorstwa monopsonistycznego.

Rozwiązując powyższe równanie, otrzymujemy zagregowaną funkcję podaży biomasy rolnej na rynku:

$$\begin{aligned} Q_B &= 2B \left[\theta_1 p_m r - \theta_1 \frac{s}{2} r^2 \right] \Big|_0^{R_m} = 2B \left\{ \left[\theta_1 p_m R_m - \theta_1 \frac{s}{2} (R_m)^2 \right] - \left[\theta_1 p_m 0 - \theta_1 \frac{s}{2} (0)^2 \right] \right\} = \\ &= 2B \left[\theta_1 p_m R_m - \theta_1 \frac{s}{2} (R_m)^2 \right] \end{aligned} \quad (11)$$

Cena oferowana rolnikom przez przedsiębiorstwo monopsonistyczne zależy od wielkości podaży biomasy rolnej, natomiast ilość dostarczanej biomasy przez rolników zależy od kosztów transportu oraz ceny za jednostkę surowca narzuconej przez monopson. Przedsiębiorstwo, chcąc zmaksymalizować zysk uzyskany

³⁹ $B[\theta_1 (p_m - sr)] = 0$, $B\theta_1 p_m - B\theta_1 sr = 0$, $B\theta_1 p_m = B\theta_1 sr$, $r = \frac{B\theta_1 p_m}{B\theta_1 s}$, $r = \frac{p_m}{s}$.

ze sprzedaży energii wytworzonej z biomasy, dąży do $\max(\rho - p_m)$ QB, gdzie ρ – marża, $Q_B(p_m)$ – funkcja zagregowanej podaży biomasy rolnej.

$$\max_{p_m} \pi_m = [\rho Q_B(p_m) - p_m Q_B(p_m)] \quad (12)$$

Im wyższa jest cena biomasy rolnej, tym większa jest jej ilość dostarczana do monopsonisty przez rolników. Jest to równoznaczne ze wzrostem produkcji energii pochodzącej z biomasy. Monopsonista zaś uzyskuje niższą marżę ze sprzedaży jednostki energii z biomasy.

Powyżej założono, że $R_m = \min[R_m, D/2]$, więc $R_m = \min[p_m/s, D/2]$. Przedsiębiorstwo chce zapłacić jak najniższą cenę za jednostkę biomasy rolnej. Równocześnie rolnik chce otrzymać za nią jak najwyższą cenę, co będzie możliwe przy jak najniższym koszcie transportu biomasy. Co więcej, koszt transportu biomasy nie może przekroczyć ceny biomasy rolnej uzyskanej przez rolnika, ponieważ założyliśmy, że $B[\theta_1(p_m - sr)] = 0$. Dlatego też należy rozważyć dwa równania spełniające warunek maksymalizacji zysku monopsonisty. Po pierwsze, podstawiając do równania funkcji spełniającego warunek maksymalizacji zysku za R_m stosunek ceny biomasy rolnej do kosztów transportu (p_m/s), otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \max_{p_m} \pi_m &= \rho \left\{ 2B \left[\theta_1 p_m \frac{p_m}{s} - \theta_1 \frac{s}{2} \left(\frac{p_m}{s} \right)^2 \right] \right\} - p_m \left\{ 2B \left[\theta_1 p_m \frac{p_m}{s} - \theta_1 \frac{s}{2} \left(\frac{p_m}{s} \right)^2 \right] \right\} \\ \max_{p_m} \pi_m &= \rho \left\{ 2B\theta_1 \frac{(p_m)^2}{s} - 2B\theta_1 \frac{(p_m)^2}{2s} \right\} - p_m \left\{ 2B\theta_1 \frac{(p_m)^2}{s} - 2B\theta_1 \frac{(p_m)^2}{2s} \right\} \quad (13) \\ \max_{p_m} \pi_m &= \rho 2B\theta_1 \frac{(p_m)^2}{s} - \rho B\theta_1 \frac{(p_m)^2}{s} - p_m 2B\theta_1 \frac{(p_m)^2}{s} + p_m B\theta_1 \frac{(p_m)^2}{s} \\ \max_{p_m} \pi_m &= 2\rho(p_m)^2 - \rho(p_m)^2 - 2(p_m)^3 + (p_m)^3 \end{aligned}$$

Po drugie, podstawiając do równania funkcji zysku za R_m odległość monopsonisty do granicy rynku ($D/2$), otrzymujemy:

$$\begin{aligned} \max_{p_m} \pi_m &= \rho \left\{ 2B \left[\theta_1 p_m \frac{D}{2} - \theta_1 \frac{s}{2} \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \right\} - p_m \left\{ 2B \left[\theta_1 p_m \frac{D}{2} - \theta_1 \frac{s}{2} \left(\frac{D}{2} \right)^2 \right] \right\} \\ \max_{p_m} \pi_m &= \rho \left\{ 2B\theta_1 p_m \frac{D}{2} - 2B\theta_1 \frac{s}{2} \frac{D^2}{4} \right\} - p_m \left\{ 2B\theta_1 p_m \frac{D}{2} - 2B\theta_1 \frac{s}{2} \frac{D^2}{4} \right\} \quad (14) \\ \max_{p_m} \pi_m &= \rho B\theta_1 p_m D - \rho s \frac{D^2}{4} - p_m B\theta_1 p_m D + p_m B\theta_1 s \frac{D^2}{4} \\ \max_{p_m} \pi_m &= \rho D p_m - \rho s \frac{D^2}{4} - D(p_m)^2 + s \frac{D^2}{4} p_m \end{aligned}$$

Warunek konieczny maksymalizacji zysku przedsiębiorstwa monopsonistycznego przyjmuje postać:

$$\frac{d\pi_m}{dp_m} = 0 \quad (15)$$

Wykonujemy test warunku koniecznego maksymalizacji zysku dla równania (13), otrzymując:

$$\frac{d\pi_m}{dp_m} = 4\rho p_m - 2\rho p_m - 3(p_m)^2 = 2p - 3p_m = 0 \quad (16)$$

Odpowiednio wykonując test warunku koniecznego maksymalizacji zysku dla równania (14), otrzymujemy:

$$\frac{d\pi_m}{dp_m} = \rho D - 2Dp_m + s\frac{D^2}{4} = 0 \quad (17)$$

Sprawdzając warunek dostateczny istnienia maksimum funkcji, tj. $d^2\pi_m/(dp_m)^2 < 0$, dla obu równań, otrzymujemy:

$$\frac{d^2\pi_m}{d(p_m)^2} = -3 < 0 \quad (18)$$

oraz:

$$\frac{d^2\pi_m}{d(p_m)^2} = -2D < 0 \text{ dla } D > 0 \quad (19)$$

Rozwiązując równania (18) i (19) względem ceny biomasy, otrzymujemy:

$$p_m = \begin{cases} \frac{2}{3}\rho \text{ jeśli } \frac{2\rho}{3s} < \frac{D}{2} \text{ lub } \rho < \frac{3}{4}sD \\ \frac{sD}{8} + \frac{1}{2}\rho \end{cases} \quad (20)$$

Przedsiębiorstwo monopsonistyczne w celu maksymalizacji zysku musi zapłacić rolnikom cenę wynoszącą $2/3$ marży rynkowej, jeśli $R_m < D/2$. W momencie narzucenia zbyt dużej marży i przy płaceniu za niskiej ceny rolnikom przedsiębiorstwo nie zmaksymalizuje zysku, ponieważ dostarczana ilość biomasy rolnej do przedsiębiorstwa będzie zbyt mała. Natomiast w przypadku zbyt niskiej marży dostarczana ilość biomasy rolnej będzie zbyt duża, wtedy też koszty wytworzenia energii z biomasy będą większe od korzyści wynikających ze sprzedaży energii. Marża monopsonisty jest odwrotnie proporcjonalna do elastyczności cenowej podaży rolników. Im bardziej podaż jest elastyczna cenowo, tym mniejsza możliwość zwiększania marży przez przedsiębiorstwo. Przedsiębiorca musi zapłacić $2/3$ marży, jeśli $2/3\rho < D/2$, co jest równe⁴⁰ $\rho < 3/4sD$. Jeśli natomiast dostawca biomasy oddalony jest od przedsiębiorstwa o dłuższy odcinek niż $D/2$, wtedy przedsiębiorca musi zapłacić cenę za biomasę z uwzględnieniem kosztów transportu, tj. $sD/8 + 1/2\rho$.

Uwagi końcowe

W rozdziale wykazano istnienie zawodności rynku biomasy jako surowca energetycznego. Wynikają one z występowania ujemnych efektów zewnętrznych. Z efektami zewnętrznymi mamy do czynienia, gdy działalność jednego podmiotu (sprawcy) wpływa na funkcjonowanie innych podmiotów (ofiar). Bez przymusu internalizacji efektów zewnętrznych przedsiębiorstwa nie uwzględniają ich w cenie swoich produktów. Efektem zewnętrznym obciążony jest natomiast podmiot, który tak naprawdę nie przyczynia się do jego powstania. Sprawca wybiera poziom ceny, przy którym zrówna się ona z kosztem krańcowym, kierując się tylko kosztami prywatnymi. Natomiast uwzględniając internalizację kosztów efektów zewnętrznych, przedsiębiorstwo powinno wyznaczyć cenę za swój produkt równą

$$40 \quad \frac{\frac{2}{3}\rho}{s} < \frac{D}{2},$$

$$\frac{2\rho}{3s} < \frac{D}{2},$$

$$2\rho < \frac{3Ds}{2},$$

$$\rho < \frac{3}{4}Ds.$$

sumie kosztu krańcowego i kosztu zewnętrznego, tzn. cenę równą kosztowi społecznemu, nie zaś prywatnemu.

Z analiz teoretycznych wynika, że monopson jako model struktury rynku biomasy jest nieefektywny w rozumieniu Pareto w porównaniu z modelem konkurencji doskonałej. Jednakże biorąc pod uwagę charakter produkcji biomasy jako surowca energetycznego, model monopsonu jest tutaj najbardziej prawdopodobny. W rzeczywistych zastosowaniach istotnymi czynnikami są koszty ekonomiczne i ekologiczne transportu biomasy. Na dalekie odległości transport tego surowca jest nieopłacalny z ekonomicznego, ale także ekologicznego punktu widzenia. Również korzyść ekologiczna z wykorzystania biomasy może okazać się znikoma lub zniknąć w ogóle, ze względu na wyższą emisję dwutlenku węgla podczas jej transportu do nabywcy niż absorpcja tego gazu w fazie wzrostu roślin. Dodatkowo należy uwzględnić fakt, że ilość biomasy może być niewystarczająca dla funkcjonowania więcej niż jednego producenta energii w regionie, dlatego monopson jest strukturą rynku najlepiej wpisującą się w obecne uwarunkowania rynku biomasy rolnej.

Rozdział 3

Strona popytowa rynków biomasy rolnej

Wprowadzenie

Głównych uwarunkowań rozwoju rynków biomasy w ujęciu regionalnym poszukuje się w obecnym kształcie polityki klimatyczno-energetycznej UE jako swoistego regulatora rozwiązań w systemie energetycznym¹. Wzrost samowystarczalności energetycznej regionów umożliwia zmniejszenie uzależnienia od importowanych paliw i wzrost bezpieczeństwa energetycznego kraju. Ocena strony popytowej przeprowadzona zostanie z perspektywy potencjalnych nabywców biomasy rolnej jako surowca energetycznego, takich jak energetyka zawodowa i energetyka rozproszona. Gospodarstwa domowe również są potencjalnymi odbiorcami biomasy rolnej, natomiast ze względu na cel opracowania zostały pominięte w dalszych rozważaniach. Biorąc pod uwagę złożoność rynku energii w Polsce i główny cel badawczy, zdecydowano się na prezentację ogólnego zarysu zachodzących na nim zależności.

3.1. Uwarunkowania popytu na biomasę rolną

Tradycyjnie popyt na biomasę rolną, zwłaszcza słomę, generowany jest przez sektor produkcji rolnej, ogrodniczej, sadowniczej i hodowli zwierzęcej, gdzie słoma od wieków była wykorzystywana jako ściółka. Pewne zapotrzebowanie zgłaszają

1 W pakiecie klimatyczno-energetycznym zostały wyznaczone cele dotyczące udziału energii z OZE w końcowym zużyciu energii brutto do 2020 roku. Średni cel dla UE to co najmniej 20% udział OZE, a dla Polski – 15%. Wzrost udziału odnawialnych źródeł energii dla państw członkowskich wynosi średnio 8–12 punktów procentowych w porównaniu z 2005 rokiem. Natomiast udział biopaliw w benzynie i oleju napędowym dla sektora transportu został ustalony na poziomie 10% dla wszystkich państw Wspólnoty. Należy podkreślić, że cel wskaźnikowy osiągnęły już takie kraje, jak Bułgaria, Estonia, Szwecja i Litwa.

też producenci pieczarek. Nadwyżki są przeznaczone do przeorania na polu lub poddawane kompostowaniu. W ostatnich kilkudziesięciu latach duże nadzieje wiąże się z wykorzystaniem biomasy rolnej także do celów energetycznych. Ten kierunek rozwoju wykorzystywania biomasy (nie tylko słomy) wynika z kilku przesłanek, do których należą: poszukiwanie alternatywnych surowców energetycznych w stosunku do paliw kopalnych, potrzeba zapewnienia i poprawy bezpieczeństwa energetycznego gospodarek, poszukiwanie metod zwiększenia efektywności sektora energetycznego, w tym zmniejszenia strat w przesyłce energii od producenta do ostatecznego użytkownika, działania na rzecz ochrony środowiska przyrodniczego, a zwłaszcza ochrony klimatu.

W Polsce głównymi instrumentami administracyjno-prawnymi wspierającymi wykorzystanie OZE, w tym biomasy do produkcji energii są: ustawa – Prawo energetyczne, ustawa – Prawo ochrony środowiska, ustawa o OZE, na których kształt miały porozumienia międzynarodowe w sprawie ochrony klimatu i regulacje UE. Instrumenty te mają za zadanie promocję rozwoju technologii niskoemisyjnych, często za pomocą instrumentów fiskalnych, tj. zwolnień podatkowych lub dodatkowych opodatkowań za emisję². Zgodnie z dyrektywą 2009/WE/28 głównymi instrumentami promowania energii odnawialnej w ramach systemu kwotowego w Polsce są: cena gwarantowana, ulgi podatkowe, zielone certyfikaty i obowiązek zakupu. Dodatkowo można pozyskać wsparcie finansowe na rozwój nowych technologii, modernizację sektora energetycznego oraz budowę nowych jednostek energetyki rozproszonej.

W dużej mierze popyt na biomasę rolną uwarunkowany jest właśnie regulacjami wynikającymi z prowadzenia i wdrażania krajowej polityki energetycznej oraz pakietu klimatyczno-energetycznego UE³. Regulacje i nakreślone kierunki rozwoju pokazują wyraźnie, że znaczenie biomasy rolnej w polskiej energetyce powinno wzrosnąć. Tym samym można oczekiwać, że regulator, jakim jest państwo, poczyni starania w kierunku wsparcia rozwoju i upowszechniania tego nośnika energii. Biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia polskiego sektora energetycznego związane ze wsparciem dużych spółek energetycznych i umacnianiem tym samym monopolizacji pionowej oraz lobby węglowego, można wskazać na istnienie barier hamujących rozwój energetyki rozproszonej. W Polsce ustawa o OZE była przygotowywana przez długi okres. Ostatecznie została przyjęta 20 lutego 2015 roku, podczas gdy UE zobowiązała

2 M. Niestępska, *Makroekonomiczne determinanty mające wpływ na ceny energii elektrycznej w Polsce*, „Ekonomia i Środowisko” 2011, nr 1, s. 110.

3 Zob. United Nations Framework Convention on Climate Change, 1997. *Kyoto Protocol*, <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (dostęp: 2.04.2015); Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77WE oraz 2003/30/WE; Ministerstwo Gospodarki, *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*, dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 roku; Minister Gospodarki, *Krajowy Plan Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych*, Warszawa 2010.

państwa członkowskie do wdrożenia wytycznych pakietu klimatyczno-energetycznego do końca 2010 roku. Opóźnienia wpłynęły niekorzystnie na rozwój rynku OZE w Polsce ze względu na dużą niepewność co do preferowanych kierunków rozwoju i systemów wsparcia. Ustawa określa zasady wytwarzania energii elektrycznej z OZE, biogazu rolniczego i biopłynów, mechanizmy i instrumenty wspierające wytwarzanie energii z wcześniej wymienionych źródeł, zasady gwarancji pochodzenia energii ze źródeł odnawialnych. Obecnie prowadzone są negocjacje w sprawie naniesienia kolejnych zmian w ustawie o OZE. Mogą one dotyczyć produkcji energii przez prosumentów i stanowić, że prosumenci nie będą mogli nadwyżki energii wyprodukowanej z mikroinstalacji sprzedać do sieci. Natomiast umożliwią uzyskanie rabatu na zakup energii z sieci. Zmiany dotyczą również systemu aukcyjnego, do którego zostają dopuszczone mikro- oraz makroklastry, a także samych zasad funkcjonowania systemu. Dodatkowo zdefiniowano nowe pojęcia, takie jak biomasa lokalna, instalacja hybrydowa i magazyn energii⁴. Według ustawy biomasa lokalna to taka, która jest pozyskiwana na obszarze do 300 km od instalacji OZE.

Definicja biomasy lokalnej ujęta w ustawie budzi kontrowersje dotyczące określenia „lokalności”. Wydaje się, że zapis ten stanowi wsparcie dla przywozu biomasy z dalszych regionów (w tym z zagranicy, jeśli jednostka jest zlokalizowana w pobliżu granicy państwa), nie zaś dla wykorzystania surowców występujących w rzeczywistości lokalnie (w powiatach, gminach). Według G. Wiśniewskiego, prezesa Instytutu Energetyki Odnawialnej (IEO), biorąc pod uwagę opłacalność ekonomiczną wykorzystania biomasy rolnej jako surowca energetycznego, powinna być ona zagospodarowywana lokalnie przy uwzględnieniu maksymalnej odległości jej transportu do ok. 50 km⁵.

Korzystanie z energii odnawialnej w celu ochrony środowiska, w tym klimatu, wymaga starannego sporządzenia bilansu energetycznego rozumianego jako różnica pomiędzy ilością energii potrzebnej do wytworzenia i wykorzystania danego źródła energii a ilością energii uzyskanej z jego użycia. Chodzi o uniknięcie sytuacji, w których ilość energii potrzebnej do wytworzenia i wykorzystania danego źródła przewyższy ilość energii uzyskanej z jego eksploatacji. Dotyczy to wszystkich OZE i wymaga dogłębnej analizy całego cyklu życia produktu, łącznie z uwzględnieniem energochłonności i emisyjności wszystkich faz produkcji surowców i urządzeń oraz transportu. Przykładem wskazującym na istotność kalkulacji energochłonności cyklu życia produktu jest brazylijska produkcja etanolu z trzciny cukrowej. Oszacowano, że ilość energii otrzymanej jest osiem razy większa od ilości energii zużytej do jego wytworzenia. Natomiast nadwyżka w bilansie energetycznym dla etanolu produkowanego w Stanach Zjednoczonych z kukurydzy wynosi 0,25, tzn., że wydatkowanie 1 jednostki energii na wytworzenie bioetanolu przynosi efekt

4 <http://odnawialnezrodlaenergii.pl/oze-aktualnosci/item/2679-nowelizacja-ustawy-o-oze-w-sejmie-zobacz-projekt> (dostęp: 12.05.2016).

5 <http://magazynbiomasa.pl/sprawdza-sie-czarny-scenariusz/> (dostęp: 13.05.2016).

wielkości 1,25 jednostki energii z jego spalenia⁶. Są jednak i takie opinie, że produkcja etanolu i innych biopaliw jest generalnie „energetycznie ujemna”. Pimentel i Patzek twierdzą, że w Stanach Zjednoczonych ilość energii uzyskanej z etanolu wytworzonego z ziarna kukurydzy, prosa różgowego i drewna była w każdym przypadku mniejsza od energetycznego nakładu paliw kopalnych. Taki sam wniosek dotyczył biodiesla wytwarzanego z soi i słonecznika. Wykazano, że produkcja etanolu z ziarna kukurydzy wymaga 29% więcej energii z paliw kopalnych niż potem dostarcza ten etanol. Dla prosa różgowego jest to 50%, dla drewna 57%, dla biodiesla z soi 27%, a dla biodiesla ze słonecznika aż 118%⁷. Takie oszacowania podważają oczywiście sensowność dalszego wykorzystywania diagnozowanych technologii, dlatego niezmiernie ważne jest, aby finansowe zachęty do zwiększania wykorzystania OZE nie stymulowały produkcji nieefektywnej energetycznie. Przewaga Brazylii w produkcji biopaliw wynika przede wszystkim z uwarunkowań przyrodniczych – rozległych żyznych terenów ziem uprawnych i odpowiedniego klimatu. Jednak na potrzeby upraw energetycznych przeznaczają się coraz to nowe obszary dotąd naturalnych ekosystemów, co należy oceniać jako zjawisko niekorzystne z punktu widzenia zachowania bioróżnorodności. Produkcja surowców do wytwarzania biopaliw w Stanach Zjednoczonych musi być intensywnie wspomagana chemicznie przez stosowanie nawozów sztucznych i środków ochrony roślin, co negatywnie wpływa i na środowisko, a także na efektywność kosztową oraz energetyczną. Niewłaściwie dobrane programy wsparcia produkcji rolnej na potrzeby energetyczne mogą prowadzić do skutków przeciwnych do oczekiwań i zamiast przyczyniać się do ochrony klimatu, potęgować emisje gazów cieplarnianych. Biorąc pod uwagę dokonujący się postęp techniczny w dziedzinie bioenergetyki, nowe technologie zawsze należałoby ocenić pod kątem efektywności ekonomicznej i energetycznej w każdej rozważanej lokalizacji, gdyż niebagatelny wpływ na bilans energetyczny może mieć transport.

3.2. Podmioty strony popytowej rynku biomasy rolnej

Biomasa rolna jest surowcem energetycznym o dużym potencjale produkcyjnym. Ze względu na jej uniwersalny charakter związany z możliwością uzyskania paliwa stałego, gazowego i ciekłego wiele podmiotów może generować popyt na ten nośnik energii. W Polsce na rynku energii działają cztery grupy uczestników: pro-

6 J. D. Davidson, *Brazil is the New America*, John Wiley & Sons Inc., New Jersey 2012, s. 239.

7 D. Pimentel, T. W. Patzek, *Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood, Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower*, “Natural Resource Research” 2005, vol. 14, no. 1 (March), s. 65–77.

ducenci energii, firmy zajmujące się handlem, przesyłem i konsumenci energii. Uwzględniając tę strukturę rynku energii, do potencjalnych nabywców biomasy rolnej zalicza się producentów energii oraz jej konsumentów rozumianych jako ostatecznych odbiorców. Konsumenci energii – gospodarstwa domowe i przedsiębiorstwa – mogą stać się odbiorcami indywidualnymi biomasy rolnej.

Biorąc pod uwagę cel prowadzonych rozważań, przyjmuje się, że potencjalnymi odbiorcami biomasy rolnej są przedsiębiorstwa zajmujące się komercyjną produkcją energii (podmioty należące do energetyki zawodowej oraz rozproszonej), a nie gospodarstwa indywidualne.

Rynek energii w Polsce dzieli się na rynek energii elektrycznej, rynek paliw gazowych, rynek ciepła i rynek paliw stałych. Zakładając odpowiednią technologię konwersji biomasy rolnej, stanowi ona czynnik produkcji odpowiedni dla wszystkich segmentów rynku energii. Wytwórcy energii w tych sektorach stanowią więc potencjalnych odbiorców biomasy. W Polsce istnieje 19 elektrowni zawodowych, w tym trzy zlokalizowane w województwie łódzkim, w powiecie bełchatowskim i wieluńskim – Bełchatów, Pątnów I i Pątnów II. Produkują energię poprzez spalanie węgla kamiennego oraz brunatnego i wytwarzają blisko 75% energii konsumowanej w Polsce⁸. W Polsce największa elektrownia biomasowa to Połaniec, w województwie świętokrzyskim. Posiada 205 MW łącznej zainstalowanej mocy. Została uruchomiona w 2013 roku. Do produkcji wykorzystywane są tam zrębki drzewne oraz odpady z rolnictwa.

Kolejną grupę wytwórców energii w tym segmencie rynku stanowią elektrociepłownie. Podmioty te wytwarzają zarówno energię cieplną, jak i elektryczną w skojarzeniu. Obecnie w Polsce zlokalizowanych jest około 50 przedsiębiorstw usytuowanych blisko dużych miast oraz ok. 160 elektrociepłowni przemysłowych usytuowanych koło dużych zakładów przemysłowych⁹. Do produkcji ciepła w przedsiębiorstwach koncesjonowanych wykorzystywano głównie paliwa węglowe. Stanowiły one 76,6% ogółu paliw. W dalszej kolejności znalazły się paliwa gazowe – 7,9%, OZE – 6,9%, olej opałowy – 4% oraz pozostałe paliwa – 4,6%¹⁰.

Rynek gazu jest nadal w dużym stopniu zmonopolizowany. PGNiG obejmuje 98% rynku, kontrolując wszystkie poziomy produkcji za pomocą zależnych spółek. Z tego względu ceny na rynku gazu podlegają akceptacji przez Prezesa URE¹¹. Na mocy zmian do ustawy – Prawo energetyczne, 40% gazu wprowadzonego do sieci przez spółki obrotu musiało być sprzedane na giełdach towarowych. Polska jest

8 <http://www.rynek-energii-elektrycznej.cire.pl/st,33,200,tr,67,0,0,0,0,0,elektrownie-w-polsce.html> (dostęp: 27.06.2015).

9 <http://www.rynek-energii-elektrycznej.cire.pl/st,33,318,item,27178,7,0,0,0,0,0,uczestnicy-ryнку-i-formy-handlu-energia.html> (dostęp: 27.06.2015).

10 Tamże.

11 <http://www.rynek-gazu.cire.pl/st,43,287,tr,32,0,0,0,0,0,0,struktura-rynku.html> (dostęp: 24.04.2016).

uzależniona od dostaw tego paliwa z zagranicy. W 2014 roku import gazu ziemnego wyniósł 121 TWh, co stanowiło 73% ogółu dostaw gazu ziemnego w kraju¹².

Polski rynek paliw ciekłych jest uzależniony od importu ropy naftowej, zwłaszcza z Rosji. Niewielka ilość tego surowca została sprowadzona z Norwegii, natomiast zasoby krajowe stanowiły nieznaczną jego część. Produkcją paliw w Polsce zajmuje się Polski Koncern Naftowy ORLEN S.A. oraz Grupa Lotos S.A. Produkcja paliw przez te koncerny zaspokaja blisko 90% krajowego zapotrzebowania na olej napędowy i opałowy. Rynek LPG jest w 90% uzależniony od dostaw z zagranicy¹³. Ten segment rynku energii nie wykazuje znaczącego potencjału, jeśli chodzi o odbiorców biomasy rolnej z perspektywy prowadzonej w pracy analizy, gdyż do wytwarzania biopaliw płynnych nie wykorzystuje się jak dotąd odpadów z produkcji rolnej. Biomasa rolna jako surowiec do produkcji paliw płynnych musi spełniać odpowiednie kryteria jakościowe. Dodatkowo produkcja biomasy z przeznaczeniem na wytwarzanie paliw płynnych stanowi swoistą alternatywę dla produkcji na cele żywieniowe.

Coraz częściej mówi się o konieczności rozwoju energetyki rozproszonej jako sposobu na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju. Energetyka rozproszona (generacja rozproszona lub wytwarzanie rozproszone) jest stosunkowo nowym obszarem badań i analiz w obecnym rozumieniu, dlatego w literaturze przedmiotu spotyka się różne definicje tego zagadnienia. W raporcie *Impact of increasing contribution of dispersed generation on the power system* przyjęto definicję sugerującą, że energetyka rozproszona oparta jest na źródłach o mocy nie większej niż 50–100 MW, niepodlegających centralnemu planowaniu, które przyłączone zostały do elektroenergetycznej sieci¹⁴. Uogólniając, można zdefiniować energetykę rozproszoną jako małe jednostki o mocy zainstalowanej do 50–150 MW, przyłączone do sieci rozdzielczych lub sieci odbiorcy finalnego, które produkują najczęściej energię ze źródeł niekonwencjonalnych, często też w skojarzeniu¹⁵.

Zgodnie z ustawą – Prawo energetyczne mikroinstalacje to odnawialne źródła energii, o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej nie większej niż 40 kW, przyłączone do sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym niższym niż 110 kV lub o łącznej mocy zainstalowanej cieplnej nie większej niż 120 kW. Biorąc pod uwagę wielkość mocy zainstalowanej, źródła generacji rozproszonej można podzielić na mikrogenerację (1 W–5 kW), małą generację (5 kW–5 MW), średnią generację (5–50 MW), dużą generację (50–150 MW)¹⁶. Do rozwoju energetyki rozproszonej przyczynia się propa-

12 <http://www.ure.gov.pl> (dostęp: 24.04.2016).

13 <http://www.ure.gov.pl/pl/rynki-energii/paliwa-ciekle/charakterystyka-ryнку/6163,2014.html> (dostęp: 24.04.2016).

14 *Impact of Increasing Contribution of Dispersed Generation on the Power System*, Working Group 37.23. CIGRE, Paris 1999 (February), [w:] J. Paska, M. Sałek, T. Surma, *Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w systemach hybrydowych*, „Wiadomości Elektrotechniczne” 2005, nr 12, s. 3.

15 J. Paska, M. Sałek, T. Surma, *Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła...*, s. 3.

16 J. Paska, *Generacja rozproszona z wykorzystaniem hybrydowych układów wytwórczych*, „Energetyka” 2013 (czerwiec).

gowanie koncepcji Inteligentnych Sieci Energetycznych (ISE). Koncepcja ta promuje odbiorców końcowych i prosumentów. Inteligentne Sieci Energetyczne mają umożliwić dogodne zbilansowanie informacji odnoszących się do popytu i podaży na rynku energii w wymiarze lokalnym poprzez współpracę mikrosieci z lokalnymi sieciami dystrybucyjnymi przyłączonymi w węzłach do sieci niskiego napięcia¹⁷.

Często podkreśla się, że generacja rozproszona wiąże się z wyższymi kosztami wytworzenia 1 kWh energii elektrycznej. Do głównych kosztów należy zaliczyć cenę nośnika energii/paliwa stanowiącą 50–80% ogółu kosztów, koszty inwestycyjne (15–30% ogółu kosztów) oraz sprawność urządzeń wynikającą z doboru technologii. Z jednej strony w porównaniu z elektrowniami zawodowymi energetyka rozproszona charakteryzuje się niższą sprawnością, wyższym kosztem dostaw paliwa, wyższą ceną paliwa i większym kosztem generatora. Z drugiej jednak, rozważając rozwój energetyki rozproszonej, należy podkreślić, że stanowi ona dużą szansę dla ograniczenia strat przesyłowych, w tym kosztów dystrybucji, ze względu na bliską lokalizację odbiorcy końcowego. Warto pamiętać, że dla gospodarstw domowych ponad 40% ceny energii stanowią koszty związane z przesyłem¹⁸.

W Polsce w 2015 roku działało 267 biogazowni. Łączna moc zainstalowana elektrowni biogazowych stanowiła 191,381 MW. W skład tych biogazowni wchodziły elektrownie, które produkowały biogaz z oczyszczalni ścieków, biogaz składowiskowy i biogaz rolniczy. W elektrowniach biomasowych o zainstalowanej łącznej mocy 1008,245 MW wykorzystywano zarówno biomasę z odpadów leśnych, rolniczych, ogrodniczych, jak i biomasę z odpadów przemysłowych drewnopochodnych i celulozowo-papierniczych¹⁹.

W tab. 16 przedstawiono podmioty energetyki rozproszonej w poszczególnych województwach dla instalacji wykorzystujących biomasę rolną jako surowiec zgodnie z danymi URE.

W Polsce zarejestrowano 15 instalacji o łącznej mocy 24,724 MW, w których substratem jest głównie biomasa odpadowa pochodząca z lasów, rolnictwa oraz ogrodnictwa. Najwięcej takich podmiotów (trzy) znajdowało się w województwie podkarpackim. Największa liczba biogazowni rolniczych zlokalizowana była w województwach: dolnośląskim, pomorskim, warmińsko-mazurskim, wielkopolskim, zachodniopomorskim. Województwo łódzkie pod względem liczby biogazowni według powyższego wykazu nie wykazywało dużego potencjału. W Polsce największy udział w produkcji z OZE dotyczył technologii współspalania biomasy z paliwami konwencjonalnymi. Według danych URE istniały 43 jednostki stosujące technologie współspalania biomasy z paliwami kopalnymi. Najwięcej, bo 13 jednostek, było zlokalizowanych w województwie śląskim.

17 IEO, *Energetyka rozproszona*, Fundacja Instytutu na rzecz Ekorozwoju, Warszawa 2011, s. 8.

18 M. Jurczyk, *Generacja rozproszona a rynek energii*, „Rynek Energii” 2005, nr 3.

19 <https://www.ure.gov.pl/pl/rynki-energii/energia-elektryczna/odnawialne-zrodla-ener/potencjal-krajowy-oze/5753,Moc-zainstalowana-MW.html> (dostęp: 24.04.2016).

Tabela 16. Wykaz OZE w poszczególnych województwach (stan na dzień 2.07.2015)

Województwo	Biomasa mieszana		Technologie wykorzystujące współspalanie (paliwa kopalne i biomasa)		Technologie wykorzystujące współspalanie (paliwa kopalne i biogaz)		Biomasa z odpadów leśnych, rolniczych, ogrodniczych		Biogaz rolniczy	
	ilość	moc [MW]	ilość	moc [MW]	ilość	moc [MW]	ilość	moc [MW]	ilość	moc [MW]
Dolnośląskie	1	100,0	3	0	–	–	–	–	7	7,723
Kujawsko-pomorskie	1	48,0	2	0	1	0	2	7,4	4	7,401
Lubelskie	–	–	1	0	–	–	–	–	4	4,599
Lubuskie	–	–	–	–	–	–	1	1,8	3	2,391
Łódzkie	1	48,0	2	0	–	–	–	–	2	2,498
Małopolskie	–	–	4	0	–	–	–	–	–	–
Mazowieckie	1	2,08	5	0	–	–	–	–	2	2,26
Opolskie	–	–	2	0	–	–	–	–	1	2,0
Podkarpackie	1	30,0	2	0	–	–	3	3,38	2	1,499
Podlaskie	1	78,503	–	–	–	–	2	6,036	2	2,2
Pomorskie	1	0,95	3	0	–	–	–	–	8	10,159
Śląskie	3	100,0	13	0	–	–	2	0,25	1	0,526
Świętokrzyskie	2	211,709	1	0	–	–	1	1,9	1	0,8
Warmińsko-mazurskie	1	25,0	1	0	–	–	2	1,044	7	7,723
Wielkopolskie	3	119,5	3	0	–	–	1	1,862	7	7,811
Zachodniopomorskie	2	75,73	1	0	–	–	1	1,052	7	7,311

Źródło: <http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html> (dostęp: 27.07.2015).

Według rejestru Agencji Rynku Rolnego (stan na dzień 1.02.2015) w Polsce istniało 51 przedsiębiorstw energetycznych zajmujących się wytwarzaniem biogazu rolniczego²⁰ o łącznej mocy elektrycznej 66,319 MW i cieplnej 67,840 MW. Roczna wydajność instalacji wynosiła 254 554 044 m³/rok, w tym 534 877,674 MWh/rok energii elektrycznej oraz 555 764,418 MWh/rok energii cieplnej²¹. Liczba przedsiębiorstw zajmujących się produkcją biogazu rolniczego stopniowo rosła. W styczniu 2011 roku odnotowano cztery takie przedsiębiorstwa oraz osiem instalacji ujętych w rejestrze biogazowni rolniczych. Pod koniec 2013 roku przedsiębiorstw tych było już 35 oraz 42 instalacje. Do produkcji biogazu rolniczego najczęściej wykorzystywano gnojowicę, wywar pogorzelniany, kiszonkę z kukurydzy, pozostałości z warzyw i owoców, wysłodki, obornik, serwatkę oraz pulpę ziemniaczaną, kiszonkę zbóż i traw.

3.3. Uprawnienia do emisji dwutlenku węgla i zielone certyfikaty jako instrumenty wspierające wykorzystanie biomasy rolnej jako surowca energetycznego

Istotnymi instrumentami ekonomiczno-rynkowymi mającymi wpływ na realizację zadań polityki klimatyczno-energetycznej są zielone certyfikaty oraz uprawnienia do emisji dwutlenku węgla. W dużej mierze wpływają one na ceny energii.

System kolorowych certyfikatów stanowi wsparcie dla wytwórców energii ze źródeł odnawialnych za pomocą subsydiów. System subsydiowania obejmuje następujące instrumenty:

- zielone certyfikaty – energia elektryczna wytworzona z OZE;
- czerwone certyfikaty – energia elektryczna wytworzona za pomocą wysoko-sprawnej kogeneracji z paliwem innym niż gaz;
- żółte certyfikaty – energia elektryczna wytworzona za pomocą wysoko-sprawnej kogeneracji z gazem ziemnym;
- fioletowe certyfikaty – energia elektryczna wytworzona za pomocą biomasy i biogazu w postaci metanu;

20 Natomiast według wyżej podanych statystyk URE w Polsce jest 58 przedsiębiorstw zajmujących się produkcją biogazu rolniczego.

21 http://www.arr.gov.pl/data/02004/rejestr_biogazowni_rolniczych_01022015.pdf (dostęp: 11.02.2015).

- brązowe certyfikaty – energia elektryczna wytworzona z wykorzystaniem biogazu z upraw rolniczych²².

Certyfikaty energii odnawialnej (świadczenia pochodzenia) są istotnym instrumentem wspierającym produkcję energii z OZE. System opiera się na założeniu, że energia elektryczna wytworzona z OZE sprzedawana jest po cenach rynkowych (przy konieczności jej zakupu przez konsumentów). Dodatkowo władze publiczne wyznaczają łączną liczbę certyfikatów do zakupu w danym okresie. Producenci energii z OZE osiągają przychód ze sprzedaży wytworzonej energii po cenie rynkowej oraz ze sprzedaży zielonych certyfikatów²³.

W polskim systemie nie występuje cena minimalna zielonych certyfikatów, natomiast wysokość opłaty zastępczej jest ustalana ustawowo. Płacona jest w wyniku niezakupienia przez podmioty zobowiązane odpowiedniej ilości zielonych certyfikatów. Opłata przekazywana jest do Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW). Władze publiczne nie uczestniczą w handlu zielonymi certyfikatami. Zielone certyfikaty przekazywane są bezpłatnie producentom energii z OZE przez władze publiczne²⁴.

W świetle nowej ustawy o OZE podstawowym elementem wspierającym produkcję energii ze źródeł odnawialnych ma być system aukcyjny. Mają zostać wprowadzone odrębne aukcje dla podmiotów poniżej i powyżej 1 MW mocy zainstalowanej wraz ze zróżnicowaniem cen referencyjnych dla osiemnastu instalacji jako cena maksymalna, po której może zostać sprzedana energia elektryczna. Cena referencyjna będzie ustalana odgórnie przy uwzględnieniu kwoty 239,82 PLN/MWh oraz średniej ceny energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym z kwartału poprzedzającego oraz czynników techniczno-ekonomicznych. Z systemu aukcyjnego zostały wyłączone instalacje spalania wielopaliwowego, elektrownie wodne powyżej 5 MW mocy, instalacje OZE powyżej 50 MW mocy z wyłączeniem instalacji stosujące wysokosprawną kogenerację o mocy w skojarzeniu od 150 MWt²⁵.

Jedną z wad systemu zielonych certyfikatów do tej pory było wspieranie współspalania biomasy z węglem. Współspalanie biomasy z węglem jest patologicznym zabiegiem energetyki zawodowej upatrującej dodatkowych zysków możliwych do osiągnięcia w krótkim okresie za pomocą rynku świadectw pochodzenia. Największy udział w produkcji energii z OZE przypadał na współspalanie biomasy stałej

22 M. Niestępska, *Nowe cele polityki klimatycznej Unii Europejskiej a polityka fiskalna w Polsce – perspektywa do 2030 roku*, „Ekonomia i Środowisko” 2015, nr 2, s. 33, 34.

23 A. M. Graczyk, *Analiza i ocena zgodności instrumentów polityki ekologicznej dotyczących odnawialnych źródeł energii z zasadami zrównoważonego rozwoju*, [w:] A. Graczyk, A. Ciechelska (red.), *Prace naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Polityka ekologiczna a rozwój*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2015, s. 212.

24 M. Kowara, K. Lasocki, M. Trepka, *Analiza polskiego systemu wsparcia produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w postaci Zielonych Certyfikatów na podstawie prawa pomocy publicznej*, K&L Gates, Warszawa 2014, s. 6–16.

25 TOE, *Rynek energii elektrycznej i gazu w Polsce – stan na 31 marca 2015 r.*, Warszawa 2015, s. 6.

z węglem. Metoda ta jest kontrowersyjna, biorąc pod uwagę efektywność energetyczną i wpływ na redukcję emisji. Niekontrolowany wzrost współspalania biomasy z węglem przyczynił się do zahamowania rozwoju technologii w energetyce zawodowej, umocnił pozycję węgla w dalszym ciągu, czyniąc polską energetykę monokulturą, jak również przyczynił się do ograniczenia rozwoju energetyki odnawialnej²⁶. Paradoksalnie coś, co miało na celu pozytywny efekt ekologiczny oraz walkę ze zmianami klimatycznymi, przyczyniło się do niezrównoważonego rozwoju.

W Polsce, jak dotychczas nie ma alternatywy dla współspalania biomasy z węglem, która umożliwiłaby wzrost udziału produkcji energii z OZE. Co więcej, w Polsce w porównaniu z innymi krajami UE, oferowano bardzo wysokie wsparcie za współspalanie. Stanowiło to główny powód do przygotowania przez duże koncerny energetyczne krótkoterminowych planów inwestycyjnych umożliwiających współspalanie. Tak prowadzona polityka doprowadziła do masowego importu biomasy z zagranicy, ponieważ produkcja krajowa była niewystarczająca na pokrycie popytu zgłaszanego przez energetykę zawodową. Wynikało to również ze słabego rozwoju plantacji energetycznych, które nie otrzymały równie wysokiego wsparcia, jak plantacje w niektórych państwach UE. Działania takie są ponadto rozbieżne z celami polityki klimatyczno-energetycznej. Wątpliwe wydaje się zrównoważone korzystanie z zasobów i ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko naturalne w sytuacji importu biomasy z odległych rynków. Polityka klimatyczno-energetyczna UE ma na celu redukcję emisji, a także zazielenienie sektora energetycznego. Wykorzystanie OZE, a w tym biomasy rolnej, miało właśnie temu służyć. Uwzględniając jednak koszty środowiskowe importu biomasy z Białorusi, Ukrainy, Kanady, Brazylii czy Chin, nie można mówić o redukcji emisji. Wydaje się, że aktualnie prowadzona polityka, działania koncernów energetycznych, ciągle zawirowania wokół ustawy o OZE, a przez to brak wsparcia dla rozwoju małej energetyki rozproszonej uniemożliwią realizację deklaracji osiągnięcia 15% udziału OZE w ogólnym zużyciu energii brutto do 2020 roku.

W nowej ustawie o OZE wsparcie współspalania biomasy z węglem zostało ograniczone. Świadectwo pochodzenia nie zostanie wydane dla instalacji OZE, jeśli energia elektryczna została wytworzona z innych surowców energetycznych niż zostało im przypisane. Przykład stanowi nieuzyskanie certyfikatu w przypadku wykorzystania drewna pełnowartościowego²⁷ oraz zboża pełnowartościowego

26 IEO, *Ocena skutków ekonomicznych utrzymania wsparcia dla technologii współspalania węgla z biomasą. Aktualizacja raportu*, Warszawa 2013 (marzec), s. 1–23.

27 Drewno pełnowartościowe nie jest zaliczane jako surowiec należący do OZE. Drewno pełnowartościowe to takie, które spełnia normy jakościowe drewna wielkowymiarowego liściastego i iglastego oraz drewna średniowymiarowego przypisanych do grup S1, S2, S3. Zaliczamy do niego również surowiec z drewna powstały po celowym jego rozdrobnieniu. Wymagania opisują Polskie Normy na surowiec drzewny (PN-92/D-95008, PN-92/D-95017, PN-92/D-95018). Drewno wielkowymiarowe dzieli się na: dłużyce od 6,1 m wzwyż, kłody od 2,7 m do 6 m, wyrzynki od 0,5 do 2,6 m. Drewno średniowymiarowe: S1 – drewno dłużycowe,

w instalacji innej niż mikro i mała instalacja, która wykorzystuje do produkcji energii elektrycznej biogaz inny niż biogaz rolniczy²⁸.

Restrykcje dotyczące drewna pełnowartościowego mają na celu zmniejszenie wykorzystywania drewna do produkcji energii przez energetykę zawodową, przy równoczesnym zwiększeniu wykorzystywania biomasy rolnej nie pochodzącej z leśnictwa. Dla energetyki zawodowej wyłączenie drewna pełnowartościowego z możliwości pozyskania świadectw pochodzenia najbardziej utrudnia wywiązanie się z wymogów produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Natomiast zapis ten jest jak najbardziej zasadny z perspektywy sektorów, w których drewno stanowi surowiec do produkcji towarowej, np. przemysłu meblarskiego i papierniczego. Wcześniejsze wykorzystanie biomasy leśnej na potrzeby energetyczne wpływało niekorzystnie na gospodarkę leśną. Wzmożony popyt energetyki zawodowej na biomasę leśną spowodował wzrost ceny drewna, a także ograniczał wykorzystanie innych rodzajów biomasy do produkcji energii. Co więcej, popyt zgłaszany przez ten sektor przyczyniał się do nadmiernego wycinania drzew oraz importu drewna, co pozostawało w sprzeczności z międzynarodowymi porozumieniami, w myśl których ograniczaniu koncentracji gazów cieplarnianych ma służyć prowadzenie zrównoważonej gospodarki leśnej i zwiększanie powierzchni obszarów zalesionych.

Kolejnym istotnym instrumentem są uprawnienia do emisji dwutlenku węgla. System handlu emisjami obejmuje 45% emisji antropogenicznych gazów cieplarnianych w UE i prawie trzy czwarte rynku światowego. Zgodnie z założeniami systemu, od 2013 roku co roku przydział uprawnień zmniejszany jest o 1,74%. Uprawnienia wyznaczają swoisty koszt alternatywny emisji gazów cieplarnianych. Ich zadaniem jest wsparcie redukcji emisji w jak najbardziej efektywny kosztowo sposób. System ma zachęcić do stosowania nowych, czystych technologii, wykorzystywania OZE oraz ich zakupu lub sprzedaży na rynku uprawnień. Do 2013 roku wszystkie uprawnienia do emisji były przydzielane bezpłatnie. W myśl zasady „zanieczyszczający płaci” od 2013 roku zaczął obowiązywać system aukcyjny. Będzie on stopniowo wdrażany aż do uzyskania pełnego systemu do 2027 roku. Wyjątek stanowi sektor energetyczny, na którym wymuszono kupno wszystkich przydziałów. Z tej restrykcji zostały natomiast zwolnione następujące kraje:

S2 – drewno stosowe użytkowe, które ze względu na parametry jakościowe i ilościowe dzieli się na podgrupy a i b, S3 – drewno żerdziowe. Wyróżniono następujące kategorie drewna średniowymiarowego: S10 – drewno typu kopalniakowego, tj. o długości od 2,5 m i minimalnej średnicy górnej (d_g) bez kory 5 cm, S2a – drewno stosowe użytkowe o średnicy górnej bez kory od 7 cm i średnicy dolnej (d_d) bez kory do 24 cm, S2b – jak wyżej, z wyborem – kierunek przeznaczenia drewna zależy od nabywcy, np. na palety, opakowania itp., S3a – żerdzie do przerobu przemysłowego (głównie do zrębkowania) o długości od 2,5 m i średnicy znamionowej (d_z) od 7 do 11 cm w korze, S3b – żerdzie ogólnego przeznaczenia, mierzone w sztukach grupowo o długości od 4 m i średnicy znamionowej w korze od 7 do 14 cm.

28 Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, Dz. U. z 2015 r., poz. 478, s. 29.

Czechy, Bułgaria, Estonia, Cypr, Litwa, Polska, Rumunia oraz Węgry. Zgodnie z ustaleniami, państwa te będą miały bezpłatnie przydzielaną ograniczoną liczbę uprawnień do emisji do 2019 roku. W zamian państwa te zobowiązały się do inwestowania w modernizację sektora energetycznego w wysokości co najmniej równoważności rentowności nieodpłatnych uprawnień²⁹. Rynek uprawnień do emisji jest bardzo wrażliwy na wydarzenia polityczno-gospodarcze i podlega znaczącemu interwencjonizmowi Komisji Europejskiej. Z uwagi na fakt, że polska energetyka oparta jest przede wszystkim na paliwach kopalnych, ceny energii elektrycznej w dużej mierze zależą od kształtowania się cen uprawnień do emisji dwutlenku węgla. Przy wzroście cen uprawnień do emisji wzrosną koszty produkcji energii, co będzie stymulowało wzrost ceny energii dla odbiorców. Wahania cen zielonych certyfikatów oraz uprawnień do emisji dwutlenku węgla mają istotny wpływ na zmiany popytu na biomasę. Do kalkulacji ceny energii przedsiębiorstwo uwzględnia m.in. koszty zakupu paliwa (stanowiących substytuty biomasy rolnej, takie jak węgiel, ropa, gaz), koszty opłat za gospodarcze korzystanie ze środowiska, koszty remontów, koszty obsługi, koszty akcyzy. Średnia cena sprzedaży energii elektrycznej w 2012 roku wynosiła 202,49 PLN/MWh³⁰. Średnia cena sprzedaży energii elektrycznej w 2013 roku wynosiła 181,55 PLN/MWh³¹, w 2014 roku kształtowała się na poziomie 163,58 PLN/MWh, w 2015 roku – 169,99 PLN/MWh³², a w 2016 roku – 169,75 PLN/MWh.

Załamanie na rynku zielonych certyfikatów spowodowało ograniczenie popytu na biomasę energetyki zawodowej, a przez to wywarło bardzo negatywny wpływ na producentów biomasy. Cena zielonych certyfikatów ulegała dużym fluktuacjom w latach 2012–2016. W styczniu 2012 roku cena zielonego certyfikatu wynosiła 283,51 PLN/MW – był to miesiąc najkorzystniejszy z perspektywy produkcji energii z OZE. W późniejszych okresach cena tego instrumentu nie osiągnęła już tak wysokiego poziomu. Najniższą cenę odnotowano w lipcu 2015 roku – 105,17 PLN za MW energii wytworzonej z OZE.

Również wahania cen uprawnień do emisji dwutlenku węgla wywierają istotny wpływ na polski sektor energetyczny. Jednym z celów powstania systemu EU ETS było pobudzenie inwestycji w niskoemisyjne technologie energetyczne i wzrost wykorzystania OZE do produkcji energii. W kwietniu 2013 roku (tzn. na początku III fazy systemu) ceny uprawnień do emisji były najniższe, biorąc pod uwagę cały okres funkcjonowania systemu (poniżej 2,50 EUR/MgCO₂).

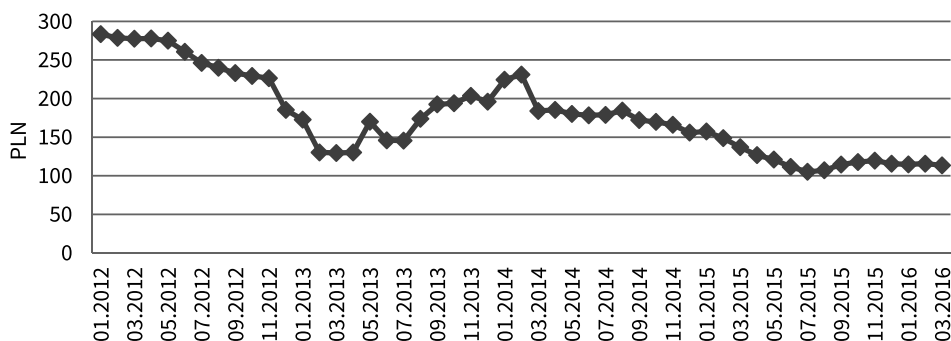
29 KE, *Unijny system handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS)*, Urząd Publikacji UE, 2013 (październik).

30 URE, *Sprawozdanie z działalności prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2012 r.*, Warszawa 2013, s. 174.

31 URE, *Sprawozdanie z działalności prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2014 r.*, Warszawa 2015, s. 202.

32 Tamże, s. 152.

Głównym powodem była nadpodaż uprawnień do emisji oraz obawy co do zasadności funkcjonowania systemu³³.



Rysunek 5. Średnia cena świadectw pochodzenia (zielonych certyfikatów – OZE_A)

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Towarowej Giełdy Energii, www.tge.pl (dostęp: 24.04.2016).

Przyjęcie założeń pakietu klimatyczno-energetycznego do 2030 roku miało znaczący wpływ na kształtowanie cen uprawnień do emisji dwutlenku węgla w 2014 roku. UE zobowiązała się do redukcji emisji gazów cieplarnianych o 40% do końca 2030 roku w porównaniu z rokiem 1990. Zadeklarowano również wzrost udziału OZE w produkcji energii do 27% oraz efektywności energetycznej również do 27%. Skutkiem był wzrost ceny uprawnień do emisji dwutlenku węgla – do poziomu 7,24 EUR/t w grudniu 2014 roku³⁴. Na początku 2016 roku cena jednostek znacząco spadła do poziomu poniżej 5 EUR/t. Komisja Europejska podejmuje działania mające na celu stabilizację rynku uprawnień³⁵. Natomiast 12 maja 2016 roku cena uprawnień kształtowała się na poziomie 5,8 EUR/t³⁶.

Uwagi końcowe

Funkcjonowanie strony popytowej rynku biomasy rolnej pozostaje pod silnym wpływem regulacji związanych z realizacją polityki klimatyczno-energetycznej UE, z której także dla Polski wynikają konkretne zobowiązania ze względu

33 TOE, *Rynek energii elektrycznej i gazu w Polsce – stan na 31 marca 2014 r.*, Warszawa 2014, s. 19–23.

34 Tamże, s. 9–12.

35 TOE, *Rynek energii elektrycznej i gazu w Polsce – stan na 31 marca 2016 r.*, Warszawa 2016, s. 9–11.

36 <http://www.handel-emisjami-co2.cire.pl> (dostęp: 13.05.2016).

na dominację w polskim miksie energetycznym paliw kopalnych oraz silną pozycję lobby węglowo-energetycznego. Aby wywiązać się z postanowień polityki klimatyczno-energetycznej UE, stosowane są różnego rodzaju instrumenty, takie jak: zielone, białe, czerwone certyfikaty, podatki węglowe, subsydia, kontyngenty, podatki klimatyczne. W Polsce, po nagłym spadku cen zielonych certyfikatów pod koniec 2012 roku, energetyka zawodowa wycofała się z zakontraktowanych umów dotyczących kupna biomasy. Wielu producentów tego surowca dotknął kryzys. Faktem jest, że instrumenty wsparcia wpływają znacząco na produkcję energii z OZE w krajach, w których są stosowane w sposób stabilny i ciągły. Wydaje się, że w Polsce przedłużające się prace legislacyjne nad ustawą o OZE, a także niemal natychmiastowe przystąpienie do jej nowelizacji są głównymi przyczynami bardzo wolnego rozwoju sektora energetyki odnawialnej, co może skutkować nawet nieosiągnięciem przez Polskę 15% udziału OZE w zużyciu energii w 2020 roku.

Rozdział 4

Strona podaźowa rynków biomasy rolnej

Wprowadzenie

Celem rozdziału jest przedstawienie uwarunkowań funkcjonowania i głównych podmiotów strony podaźowej rynku biomasy rolnej. Dokonano oszacowania potencjału biomasy rolnej jako surowca energetycznego w poszczególnych województwach. Z uwagi na potrzebę zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego Polski w oparciu o dostępne w kraju surowce oraz konieczność sprostania wyzwaniom międzynarodowej współpracy na rzecz ochrony klimatu, zbadanie możliwości rozwoju regionalnych rynków biomasy rolnej jest istotne zarówno z teoretycznego, jak i praktycznego punktu widzenia. Biomasa powstająca w gospodarstwach rolnych stanowi odnawialny surowiec energetyczny, którego wykorzystanie może ułatwić realizację celów polityki klimatyczno-energetycznej UE.

4.1. Uwarunkowania naturalne strony podaźowej

Uwarunkowania funkcjonowania strony podaźowej rynku biomasy rolnej można podzielić na przyrodnicze, polityczne, ekonomiczne i technologiczne. Potencjał rolnictwa w kontekście wykorzystania biomasy rolnej jako surowca energetycznego zależy przede wszystkim od uwarunkowań naturalnych, takich jak gleba, nasłonecznienie, klimat, dostęp do wody.

Czynniki naturalne są ważnym aspektem wpływającym na wielkość potencjału biomasy rolnej. Należą do nich warunki klimatyczne, agrochemiczne gleb, powierzchnia i struktura użytków rolnych, produktywność oraz struktura zasiewów. Zagospodarowanie części powierzchni rolnej do produkcji roślin energetycznych może mieć znaczący wpływ na zmiany klimatyczne, glebę, zasoby wodne, krajobraz i bioróżnorodność, dlatego niezbędne jest stosowanie

dobrych praktyk rolniczych w kulturze rolnej. Nadmierny wzrost produkcji rolnej może skutkować wieloma negatywnymi efektami. Rolnictwo, ze względu na charakter produkcji, wpływa nie tylko na gospodarkę, lecz także na ekosystemy, a przez to oddziałuje na warunki życia i pracy ludności, co jest odczuwalne zwłaszcza w ujęciu regionalnym.

Intensyfikacja produkcji rolnej opiera się przede wszystkim na maksymalizacji eksploatacji gleby, jej głębokim przeobrażaniu i obciążeniu chemicznymi stymulatorami produkcji, co nie jest obojętne dla różnych gatunków fauny i flory. Taki rodzaj kultury rolnej prowadzi do szeregu zagrożeń. Negatywne efekty degradacji środowiska naturalnego w przestrzeni rolniczej mogą być odczuwalne nie tylko przez mieszkańców wsi, lecz także wszystkich konsumentów poprzez spożywanie złej jakości żywności. Konsekwencją może być pogorszenie stanu zdrowia społeczeństwa. Jednym z głównych zagrożeń dla obszarów wiejskich, wynikających z nadmiernej i niekontrolowanej produkcji rolnej jest zanieczyszczenie powietrza. Powstaje zwłaszcza poprzez emisję metanu, amoniaku, dwutlenku węgla oraz siarkowodoru na skutek intensywnego chowu inwentarza i nieprawidłowego składowania odpadów produkcji rolnej, jak również poprzez emisję substancji pyłowych i gazowych pochodzących ze spalania paliw kopalnych do celów transportowych i grzewczych, a także z eksploatacji maszyn wykorzystywanych do obrabiania areалу pod zasiew¹. Niebezpieczne są też takie zjawiska, jak: erozja gleby, zanieczyszczenie wód gruntowych spowodowane nieprawidłowym nawożeniem upraw i złym składowaniem gnojowicy, ubożenie krajobrazu wiejskiego poprzez m.in. powstawanie wielohektarowych monokultur uprawowych, co skutkuje przymusową migracją zwierząt. Produkcja rolna nie powinna naruszać równowagi agroekosystemów. Rolnictwo zgodne z założeniami dobrych praktyk rolniczych wymaga wielokierunkowych działań. Krajobraz obszarów wiejskich to kompozycja obszarów zalesionych, łąk, użytków rolnych przeznaczonych pod zasiew, zadrzewień śródpolnych i śródłąkowych. Obszary zalesione i zadrzewione stanowią miejsce rozwoju mikrosystemów biologicznych i ekosystemów, schronienie dla dzikich zwierząt, ptaków i owadów. Dobre praktyki rolne obejmują stosowanie odpowiednich nawozów wraz z przestrzeganiem terminów nawożenia, odpowiedni płodozmian i utrzymanie hodowli zwierzęcej. Istotne jest dostosowanie produkcji rolnej do uwarunkowań terenu, na którym prosperuje gospodarstwo, z uwzględnieniem poszanowania walorów i funkcji środowiska naturalnego². W ramach dobrych praktyk rolniczych istotne jest prowadzenie w odpowiedniej kombinacji produkcji zwierzęcej i roślinnej. W tym celu niezbędne jest ułatwienie

1 I. Kajdan-Zysnarska, E. Matuszak, D. Nowak, J. Matuszewski, A. Oryś, E. Raczkowska, J. Ratajczak, *Ochrona środowiska w gospodarstwie rolnym. Poradnik dla doradcy*, Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Poznaniu, Poznań 2010, s. 18.

2 M. Staniak, *Zrównoważony rozwój obszarów wiejskich w aspekcie środowiskowym*, „Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie” 2009, t. 9, z. 3 (27), s. 187–194.

gospodarstwom rolnym dostępu do innowacyjnych rozwiązań technicznych, jak również wzrost świadomości rolników odnośnie wpływu ich działalności na środowisko naturalne³. Rozpowszechnienie kodeksu dobrych praktyk rolniczych umożliwiłoby zmniejszenie ryzyka wystąpienia negatywnego wpływu działalności rolniczej na środowisko naturalne.

Ponadto duże znaczenie ma rozwój odpowiednich technologii (metod) wykorzystywanych w pracach badawczych i praktycznych zastosowaniach techniki w odniesieniu do produkcji rolnej, także pod kątem dostarczania i przetwórstwa biomasy na cele energetyczne. W tym zakresie wsparcie udzielane na rozwój odnawialnych źródeł energii może dotyczyć również sektora rolnego.

Największy udział użytków rolnych w powierzchni Polski ogółem ma województwo mazowieckie (12,9%). Na drugim miejscu zostało sklasyfikowane województwo wielkopolskie (12,3%). W dalszej kolejności można wymienić województwo lubelskie (9,5%), podlaskie (7,4%), kujawsko-pomorskie (7,3%). Województwo łódzkie znalazło się na siódmym miejscu (6,6%) w 2014 roku⁴.

W 2014 roku zboŹa stanowiły 78,8% ogółu powierzchni zasiewów, uprawy pastewne 9,3%, ziemniaki 4,7%, uprawy przemysłowe 3,7%, rośliny strączkowe jadalne 0,2% oraz pozostałe uprawy 3,3%. W 2014 roku grunty ugorowane w województwie łódzkim stanowiły 2,3% ogółu, natomiast powierzchnia pod zasiewami wynosiła 77,2% i odpowiednio dla łąk trwałych – 14,1%, oraz trwałych pastwisk – 1,6%⁵. Grunty ugorowane oraz pozostałe użytki rolne niezagospodarowane pod zasiew zajmowały 6,6%. W regionie największy odsetek ugorów i odłogów odnotowano w powiatach bełchatowskim (16%), opoczyńskim (12%), radomszczańskim (12%), pączęzańskim (11%). Regiony te znajdują się w południowej części województwa łódzkiego.

W Polsce, a także w województwie łódzkim przeważają gospodarstwa o powierzchni większej niż 15 ha, jednak drugą grupę stanowią użytki rolne od 1 do 5 ha. W kontekście wykorzystania pozostałości produkcji rolnej do wytwarzania energii cecha ta wpływa niekorzystnie na rozwój regionalnych rynków biomasy. Z jednej strony konsekwencją może być brak możliwości pozyskania surowców rolnych do produkcji energii ze względu na wykorzystanie pozostałości na własny użytek. Z drugiej – w przypadku powstawania nadwyżki prawdopodobny jest wysoki koszt zbioru odpadów produkcji rolnej oraz transportu do podmiotów energetyki rozproszonej. Co więcej, wątpliwe wydaje się zapewnienie wysokiej jakości surowca ze względu na wydłużony czas dostarczania do jednostki docelowej.

Do głównych wskaźników Źywności gleby naleŹą: odczyn, ilość przyswajalnych form azotu, potasu, magnezu, fosforu, zawartość składników mineralnych, jakość

3 J. Kuś, K. Jończyk, *Dobra Praktyka Rolnicza w gospodarstwie rolnym. Materiały szkoleniowe*, Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Radomiu, Radom 2005, s. 13.

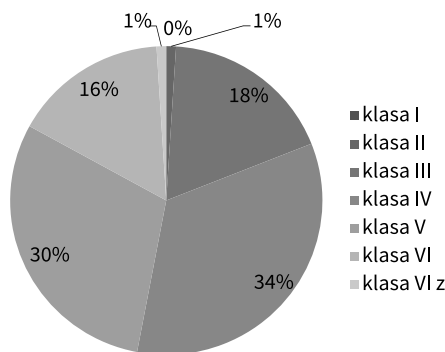
4 GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2014*, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2014, s. 79–91.

5 Urząd Statystyczny w Łodzi, *Rolnictwo w województwie łódzkim w 2014 r.*, Łódź 2015.

i zasobność wód podziemnych. Żyzność gleby kształtowana jest w sposób naturalny podczas procesów glebotwórczych. Możliwe jest zwiększenie zasobności poprzez stosowanie odpowiednich rodzajów i dawek nawozów. Produktywność ziemi określana jest jako ilość produkcji biomasy roślinnej⁶.

Według badań Państwowego Instytutu Badawczego Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach (IUNG) w województwie łódzkim blisko 70% gleb można zaliczyć do bardzo kwaśnych lub kwaśnych. Wskaźnik ten jest najwyższy w porównaniu z innymi regionami Polski. Odczyn gleby wpływa istotnie na zdolność do pochłaniania składników pokarmowych przez rośliny. Ponad 50% gleb wymaga wapniowania. Gleby posiadające wskaźnik pH < 5 mają zdolność do łatwiejszego gromadzenia metali ciężkich. Udział w regionie gleb o niskiej i bardzo niskiej przeciętnej zawartości N_{min} (azot mineralny) w okresie wiosny kształtuje się na poziomie 20–30%. Azot jest podstawowym składnikiem plonotwórczym. Średnio 20–40% gleb w województwie łódzkim posiada niską zawartość fosforu, blisko 80% stanowią gleby o niskiej i bardzo niskiej zawartości potasu, natomiast 50% gleb charakteryzuje się niską i bardzo niską zasobnością magnezu⁷. Dokładnie 16,4% użytków rolnych w województwie łódzkim zagrożonych jest erozją powierzchniową⁸. Udział ten nie jest największy w skali kraju, ponieważ województwo znajduje się na jedenastym miejscu wśród szesnastu regionów.

Z badań J. Igrasa oraz W. Lipińskiego wynika, że województwo łódzkie obok świętokrzyskiego, mazowieckiego, podlaskiego oraz lubuskiego zostało zakwalifikowane



Rysunek 6. Struktura gleb według klas bonitacji w województwie łódzkim

Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2010*, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2011.

6 K. Filipiak, *Syntetyczny wskaźnik żyzności gleby*, „Nawozy i Nawożenie” 2010, nr 41, s. 7, 8.

7 J. Igras, W. Lipiński, *Regionalne zróżnicowanie stanu agrochemicznego gleb w Polsce*, [w:] A. Harasim (red.), *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG PIB” 2006, z. 3, s. 71–79.

8 S. Krasowicz, W. Oleszek, J. Horabik, R. Dębicki, J. Jankowiak, T. Stuczyński, J. Jadczyński, *Racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym Polski*, „Polish Journal of Agronomy” 2011, 7 (grudzień), s. 43–58.

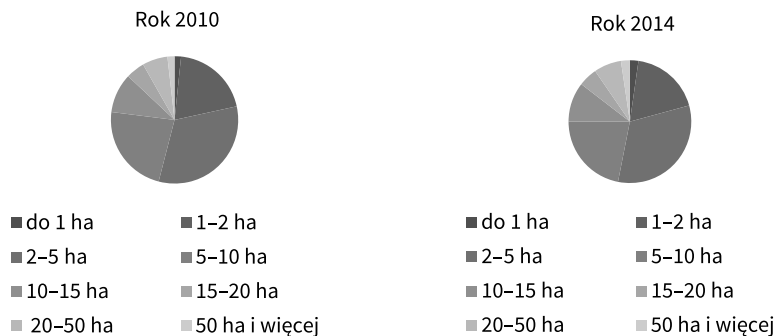
w skali od 1 do 4 jako region czwarty. Region ten charakteryzuje się najniższą intensywnością produkcji roślinnej, najgorszymi glebami, niskim poziomem nawożenia, zwłaszcza składnikami wapniowymi, najgorszymi wskaźnikami jakości gleby⁹.

W regionie przeważają gleby o IV, V i VI klasie bonitacji (80% ogółu). Na rys. 6 przedstawiono strukturę gleb według klasy bonitacji.

Według badań Europejskiego Regionalnego Centrum Ekohydrologii w Polsce, również w województwie łódzkim, powszechnie występują problemy związane z niedoborem oraz niedostateczną jakością wody. Zauważa się zmniejszanie poziomu lustra wód w jeziorach, zbiornikach i gruntach. Zmiany klimatu i stopniowo wzrastająca średnia temperatura powietrza, wpływają na pogorszenie retencyjności zasobów wodnych oraz wysychanie zewnętrznej warstwy gleby¹⁰. Konsekwencją będzie zmniejszenie produktywności użytków rolnych, pogorszenie jakości i zmniejszenie podaży produktów rolnych, wzrost cen i prawdopodobnie pogorszenie stanu zdrowia społeczeństwa.

4.2. Podmioty strony podaźowej rynku biomasy rolnej

Podmiotami strony podaźowej rynku biomasy rolnej są gospodarstwa rolne. W 2014 roku w Polsce było 1429,0 tys. gospodarstw rolnych. W porównaniu z rokiem 2010 liczba ta spadła o 96 120 jednostek. W latach 2010–2014 zauważalny



Rysunek 7. Gospodarstwa rolne według grup obszarowych użytków rolnych

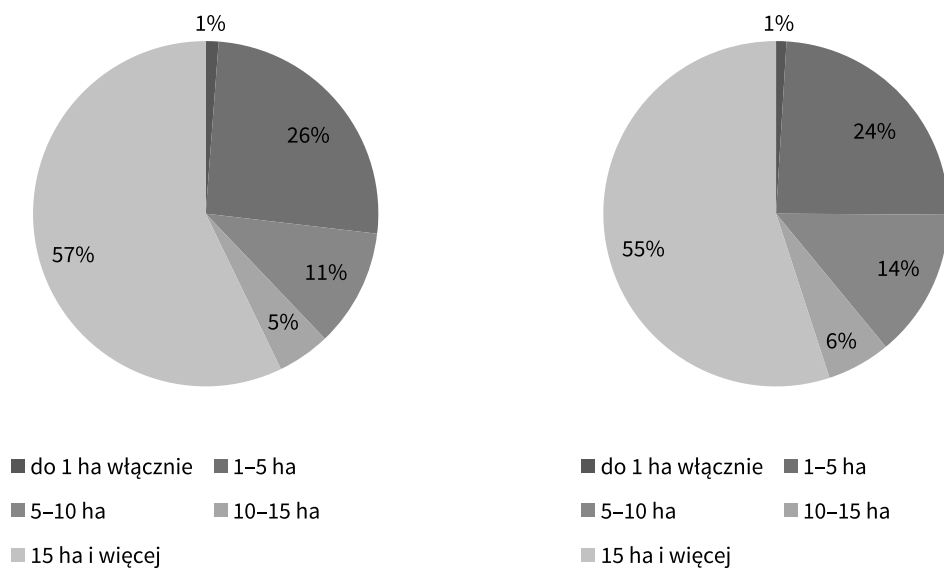
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GUS.

9 J. Igras, W. Lipiński, *Ocena wybranych elementów stanu żyzności gleby i jakości płytkich wód gruntowych na tle intensywności produkcji roślinnej w ujęciu regionalnym*, „Pamiętnik Puławski” 2006, z. 142, s. 147–162.

10 Z. W. Kundzewicz, M. Zalewski, A. Kędziora, E. Pierzgałski, *Zagrożenia związane z wodą*, „Nauka” 2010, 4, s. 87–96.

był wzrost liczby gospodarstw o powierzchni 50 ha i więcej. Ich udział wzrósł na przestrzeni lat o jeden punkt procentowy. Przyrost ten wyniósł dokładnie 6034 gospodarstw. Widoczny jest również wzrost liczby gospodarstw o powierzchni 20–50 ha. Ich udział w 2010 roku wynosił 6%, natomiast w 2014 – 7%. Liczba gospodarstw z tą powierzchnią wzrosła o 5490 sztuk. Największy udział mają gospodarstwa wpisujące się w grupę obszarową użytków rolnych 2–5 ha. Kolejną grupę stanowią gospodarstwa o powierzchni 5–10 ha. Zauważono natomiast spadek ich udziału o jeden punkt procentowy z 23% do 22%, porównując rok 2010 i 2014¹¹.

W Polsce w 2014 roku przeważały gospodarstwa o powierzchni 15 ha i więcej, stanowiąc 57% ogółu gospodarstw. Na drugim miejscu znalazły się gospodarstwa o powierzchni 1–5 ha (26%). Województwo łódzkie wpisuje się w statystyki ogólnokrajowe. Największy udział w strukturze powierzchni mają gospodarstwa w przedziale 15 ha i więcej (55% ogółu). W dalszej kolejności znajdują się gospodarstwa posiadające 1–5 ha, a także 5–10 ha łącznie. Na rys. 8 zaprezentowano zestawienie struktury gospodarstw rolnych z uwzględnieniem grup obszarowych użytków rolnych Polski oraz województwa łódzkiego.



Rysunek 8. Struktura gospodarstw rolnych w Polsce i w województwie łódzkim w 2014 roku według grup obszarowych użytków rolnych

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych BDL GUS.

Województwo łódzkie zajmuje łączną powierzchnię 18 219 km². Średnia wielkość gospodarstwa rolnego w województwie łódzkim wynosi 7,04 ha. Przeciętna

¹¹ <http://stat.gov.pl> (dostęp: 21.04.2016).

wielkość gospodarstwa rolnego w UE wynosiła 16,1 ha w 2013 roku, przy średniej dla Polski stanowiącej 10,1 ha¹².

Największa liczba gospodarstw rolnych jest zlokalizowana w województwie mazowieckim. Ich udział w ogóle gospodarstw w Polsce stanowi 14,8%. Na drugim miejscu znalazło się województwo lubelskie z udziałem 12,5%. Na trzecim miejscu jest województwo małopolskie – 10%. W województwie łódzkim znajduje się 128 309 gospodarstw rolnych, stanowiących tym samym 9% ogółu gospodarstw w Polsce w 2014 roku. Największą liczbę gospodarstw o powierzchni użytków rolnych większej niż 50 ha wykazano w województwach wielkopolskim (3962 szt.) oraz warmińsko-mazurskim (3545 szt.). W województwie łódzkim zlokalizowano 1002 gospodarstwa wielkoobszarowe. Natomiast najwięcej gospodarstw o powierzchni do 2 ha odnotowano w województwach małopolskim (52 830 szt.) i podkarpackim (51 814 szt.), zaś w województwie łódzkim znalazło się ich 23 774¹³.

4.3. Instrumenty prawno-ekonomiczne podaży biomasy rolnej

Konkurencyjność sektora rolnego postrzegana jest przede wszystkim poprzez produkcję żywności. Ze względu na to, że udział rolnictwa w tworzeniu PKB obniża się, sektor ten nie jest obecnie traktowany jako jeden z wiodących stymulatorów wzrostu gospodarczego. Rozszerzenie funkcji rolnictwa z żywieniowej na żywieniowo-energetyczną może przyczynić się do wzmocnienia znaczenia tego sektora także z uwagi na możliwość absorpcji innowacyjnych technologii i metod nowoczesnego gospodarowania¹⁴. Istnieje jednak obawa, że równoczesna realizacja funkcji żywieniowej i energetycznej wymusi intensyfikację produkcji rolnej, a przez to negatywnie wpłynie na środowisko naturalne.

Uwarunkowania polityczne wynikają głównie z prowadzonej przez poszczególne kraje lub UE polityki wobec rolnictwa i polityki energetycznej, w tym związanej z wykorzystywaniem odnawialnych źródeł energii. Uwarunkowania polityczne i ekonomiczne spletały się ze sobą. Wzrost podaży produkcji rolnej jest skutkiem przede wszystkim subsydiowania rolnictwa w ramach prowadzonej Wspólnej Polityki Rolnej (WPR). Protekcyjny charakter polityki rolnej UE stwarza

12 Eurostat, *Agriculture, Forestry and Fishery Statistics. 2015 Edition*, European Union 2016, s. 32–37.

13 GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2015*, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2015, s. 107–111.

14 Z. Floriańczyk, J. Buks, *Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym. Produktywność rolnictwa z perspektywy produkcji żywności i surowców dla energii odnawialnej*, nr 51, IERiGŻ-PIB, Warszawa 2012, s. 9–12.

preferencyjne warunki rozwoju produkcji w tym sektorze. Wydatki UE na sektor rolny stanowią blisko 40% ogólnego budżetu, przy czym udział rolnictwa w ogóle produkcji kształtuje się na poziomie 0,5% PKB¹⁵.

Do głównych celów polityki rolnej UE należy przede wszystkim dążenie do osiągnięcia równowagi po stronie popytu i podaży, zapewnienie bezpieczeństwa żywnościowego i relatywnie niskich cen oraz stabilności rynkowej. Dodatkowo poprzez swoje mechanizmy WPR powinna skutkować poprawą jakości życia mieszkańców obszarów wiejskich. Działania mają na celu zapewnienie dochodowości producentów rolnych na odpowiednim poziomie w ramach polityki rynkowo-cenowej poprzez odpowiednią organizację rynku¹⁶.

Prowadzona polityka wsparcia odnajduje odzwierciedlenie we wzroście produkcji rolnej. W latach 2009–2014 widoczny był wzrost produkcji pszenicy w UE. W 2009 roku produkcja tego zboża wyniosła 139,1 mln ton, natomiast w 2014 – 154,2 mln ton¹⁷. UE jest największym producentem zbóż na świecie. W 2014 roku produkcja ta stanowiła 13% całej produkcji światowej. Polska jest jednym z największych producentów żyta i pszenżyta w UE. W 2014 roku jej udział w produkcji tych zbóż w UE wynosił odpowiednio 34,5% i 39,9%. Polska znalazła się również w czołówce producentów buraków cukrowych, wykazując 9% udział w produkcji tej rośliny, przoduje też w produkcji marchwi (15%) oraz jabłek – 22,3%¹⁸ w UE. Analizując produkcję zwierzęcą, Polska znalazła się w czołówce unijnych producentów drobiu z udziałem 14%, obok Francji (13%), Wielkiej Brytanii (12%) i Niemiec (12%). Wysoką pozycję Polska zajmuje również w produkcji wieprzowiny (8%). Większy udział w UE w tego rodzaju produkcji zwierzęcej wskazują tylko Niemcy (25%), Hiszpania (16%) oraz Francja (9%)¹⁹.

W Polsce wzrost podaży biomasy inicjowany jest przede wszystkim poprzez płatności bezpośrednie²⁰, których głównym zadaniem jest stabilizacja dochodów rolników, wsparcie utrzymania gruntów w dobrej kulturze rolnej z poszanowaniem środowiska naturalnego, rekompensata kosztów wynikających z konieczności wdrażania wymogów WPR, wsparcie konkurencyjności jednolitego rynku rolno-żywnościowego oraz energii odnawialnej, ochrona zasobów wodnych, naturalnych i bioróżnorodności²¹.

15 <http://ec.europa.eu> (dostęp: 22.04.2016).

16 A. Stelmachowski (red.), *Prawo rolne*, LexisNexis, wyd. 5, Warszawa 2009, s. 72–74.

17 <https://data.oecd.org/agroutput/crop-production.htm> (dostęp: 11.05.2016).

18 Eurostat, *Agriculture, Forestry and Fishery Statistics...*, s. 82–85.

19 Tamże, s. 97.

20 W UE funkcjonują dwa rodzaje płatności bezpośrednich: BPS – system płatności podstawowej stosowany w krajach UE-15 oraz SAPS – system jednolitej płatności obszarowej stosowany przez wszystkie państwa, które przystąpiły do UE w 2004 roku lub później z wyłączeniem Chorwacji, Malty oraz Słowenii.

21 <http://www.minrol.gov.pl> (dostęp: 22.04.2016).

W okresie programowania na lata 2007–2013 zostało uwzględnione bezpośrednie wsparcie dla upraw energetycznych. Bezpośrednia dopłata do roślin energetycznych wynosiła 45 EUR/ha. W obecnie obowiązującym okresie programowania na lata 2014–2020 można pozyskać dopłatę do powierzchni użytków rolnych, tzn. gruntów ornych, trwałych użytków zielonych, pastwisk trwałych lub upraw trwałych, szkółek oraz zagajników krótkiej rotacji. Stawka wyliczana jest poprzez podzielenie puli środków finansowych przydzielonych na wsparcie przez liczbę hektarów. Jednolita płatność obszarowa wynosiła w 2015 roku 453,70 PLN/ha²². Dodatkowo rolnicy mogą uzyskać dopłatę do produkcji roślinnej i zwierzęcej. Stawki obowiązujące w 2015 roku przedstawiono w tab. 17. Najwyższą dopłatę mogli uzyskać rolnicy uprawiający pomidory (4298,89 PLN/ha), chmiel (2336,53 PLN/ha), buraki cukrowe (2127,77 PLN/ha) oraz ziemniaki skrobiowe (1387,12 PLN/ha).

Tabela 17. Stawki płatności bezpośrednich w Polsce w roku 2015

Rodzaje płatności bezpośrednich	Koperta finansowa (EUR)	Koperta finansowa (PLN)	Stawki płatności (PLN/ha lub PLN/szt.)
1	2	3	4
Jednolita płatność obszarowa	1 511 186 427,10	6 414 684 145,75	453,70
Płatność za zazielenienie	1 013 581 000,00	4 302 448 628,80	304,31
Płatność dodatkowa	280 424 000,00	1 190 343 795,20	171,73
Płatność dla młodego rolnika	66 621 572,90	282 795 252,65	258,97
Płatność do bydła	171 794 544,00	729 233 480,37	261,37
Płatność do krów	151 924 361,00	644 888 527,57	314,28
Płatność do owiec	4 655 850,00	19 763 152,08	116,56
Płatność do kóz	266 445,00	1 131 005,74	77,80
Płatność do roślin wysokobiałkowych	6 7572 080,00	286 829 965,18	422,00
Płatność do chmielu	837 120,00	3 553 406,98	2 336,53
Płatność do ziemniaków skrobiowych	8 664 000,00	36 776 947,20	1 387,12
Płatność do buraków cukrowych	81 200 000,00	344 677 760,00	2 127,77

22 Tamże; <http://www.arimr.gov.pl> (dostęp: 11.05.2016).

Tab. 17 (cd.)

1	2	3	4
Płatność do pomidorów	4 212 000,00	17 879 097,60	4 298,89
Płatność do owoców miękkich	15 000 000,00	63 672 000,00	919,05
Płatność do lnu	571 200,00	2 424 629,76	414,09
Płatność do konopi włóknistych	93 000,00	394 766,40	572,49
Płatność do tytoniu – grupa Virginia	23 118 750,00	98 134 470,00	4,76
Płatność do tytoniu – pozostały tytoń	12 975 750,00	55 079 463,60	3,32

Źródło: <http://www.arimr.gov.pl> (dostęp: 11.05.2016).

Dodatkowe wsparcie na działalność związaną z produkcją biomasy rolnej jako surowca energetycznego można obecnie pozyskać z *Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014–2020* (PROW 2014–2020).

Opłacalność ekonomiczna prowadzonej działalności jest wyznacznikiem powodzenia wykorzystania biomasy rolnej jako surowca energetycznego. Obecny program wsparcia bazuje na pomocy pośredniej skierowanej na rozwój innowacyjności rolnictwa, dlatego utowarowienie biomasy rolnej²³, zasobu ewidentnie powstającego w gospodarstwie rolnym przy klasycznym procesie produkcji, może stanowić atrakcyjne pod kątem ekonomicznym rozwiązanie dla obszarów wiejskich. Właśnie wykorzystanie pozostałości produkcji rolnej jako surowca energetycznego²⁴ stanowi innowacyjny aspekt gospodarowania. Prowadzona polityka rolna, a także klimatyczno-energetyczna UE sprzyjają wzrostowi podaży biomasy rolnej jako surowca energetycznego. Konieczna jest natomiast synchronizacja tych dwóch polityk w celu możliwości zagospodarowania biomasy do produkcji energii. Nie zawsze instrumenty WPR, takie jak płatności bezpośrednie, sprzyjają wzrostowi produkcji roślinnej umożliwiając późniejsze wykorzystanie odpadów produkcji rolnej jako surowca energetycznego.

23 J. Piwowarczyk, *Energetyczne użytkowanie biomasy roślinnej*, „GLOBEnergy” 2003, nr 2–3, s. 32–38; S. Dyken van, B. H. Bakken, H. I. Skjelbred, *Linear Mixed – Integer Models for Biomass Supply Chains with Transport, Storage and Processing*, „Energy” 2010, 35, s. 1338–1350.

24 A. Grzybek, *Zapotrzebowanie na biomasę i strategie energetycznego jej wykorzystania*, [w:] A. Harasim (red.), *Uprawy roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG PIB” 2008, z. 11, s. 9.

4.4. Założenia teoretyczne oceny potencjału biomasy rolnej

W analizie potencjału energetycznego biomasy rolnej wyróżnia się kilka rodzajów potencjałów. *Potencjał teoretyczny* (przy założeniu 100% sprawności urządzeń technicznych oraz całkowitym wykorzystaniu przestrzeni rolnej na cele energetyczne, taki szacunek nie uwzględnia zawodności technologicznej i warunków gospodarczych), *potencjał techniczny* (określany na podstawie szczegółowych analiz technicznych, uwzględniający sprawność procesu przetwarzania), *potencjał ekonomiczny* (inaczej nazywany gospodarczym, rynkowym, stanowiący część potencjału technicznego, określany poprzez szczegółową analizę opłacalności), *potencjał dostępny* (strumień energii z biomasy, która może zostać wykorzystana na cele energetyczne, stanowiący część potencjału ekonomicznego)²⁵. W analizie przeprowadzonej w pracy podjęto próbę oszacowania energetycznego potencjału teoretycznego²⁶ następujących surowców bioenergetycznych: słomy, obornika/gnojowicy i roślin energetycznych. Do obliczeń wykorzystano wzory z opracowań: E. Klugmann-Radziemskiej, H. Skrótnickiego, H. Marcza, Krajowej Agencji Poszanowania Energii S.A., W. Budzyńskiego, S. Bielskiego, J. Kusia, A. Fabera, M. Stasiaka, A. Kawalca, M. Matyki, T. Piskiera.

Do obliczeń teoretycznego potencjału słomy w ujęciu regionalnym zastosowano następujący wzór²⁷:

$$Z = \sum A[ha] \times l \left[\frac{t}{ha} \right] \quad (21)$$

gdzie:

- Z – teoretyczny zasób słomy;
- A – powierzchnia zasiewów zbóż;
- l – wskaźnik pozyskania słomy w zależności od areálu upraw.

25 K. Siejka, M. Tańczuk, K. Trinczek, *Koncepcja szacowania potencjału energetycznego biomasy na przykładzie wybranej gminy województwa opolskiego*, „Inżynieria Rolnicza” 2008, nr 6, s. 167, 168.

26 Potencjał technologiczny zależy od przyjętej technologii. W opracowaniu nie został on rozważony ze względu na dużą ilość dostępnych rozwiązań możliwych do wykorzystania. Potencjał ekonomiczny biomasy rolnej dla rolników z województwa łódzkiego został oszacowany przy uwzględnieniu założeń upraszczających dla roślin energetycznych jako możliwie najdroższego wykorzystania biomasy rolnej do produkcji energii. Potencjał ekonomiczny wymaga każdorazowo analizy dostępnego surowca, technologii oraz opłacalności ekonomicznej jednocześnie.

27 E. Klugmann-Radziemska *Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006, s. 51.

W tab. 18 zestawiono wskaźniki pozyskania słomy w zależności od areалу upraw wykorzystanych do obliczenia teoretycznego zasobu tego surowca zgodnie z równaniem (23).

Tabela 18. Wskaźniki pozyskania słomy w zależności od areалу upraw z uwzględnieniem zbóż ozimych i jarych [t/ha]

Kategoria	Zboża ozime				Zboża jare			Rzepak
	pszenica	pszenżyto	żyto	jęczmień	pszenica	jęczmień	owies	
I – zbiór słomy poszczególnych zbóż w zależności od areálu upraw	4,2* (2,2–6,2)	4,5* (2,95–6,1)	4,7* (2,6–6,8)	3,0* (2,25–3,9)	3,6* (2,8–4,4)	3,5* (1,95–5,0)	4,5* (3,6–5,5)	2,9* (1,8–4,0)

* Wartość średnia przedziału podanego w nawiasie.

Źródło: E. Klugmann-Radziemska, *Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006, s. 51.

Ze względu na brak rozróżnienia zbóż jarych i ozimych w statystykach, wzięto pod uwagę następujące wskaźniki pozyskania słomy w zależności od areálu upraw: dla pszenicy 3,9, dla pszenżyta 4,5, dla żyta 4,7, dla jęczmienia 3,2, dla owsa 4,5, dla rzepaku 2,9. Wskaźniki pozyskania słomy pszenicy oraz jęczmienia stanowią średnią wartość średniej zbóż jarych i ozimych.

Słoma rzepaku charakteryzuje się znacznie mniejszą kalorycznością od pozostałych rodzajów uwzględnionych w analizie. Rzepak należy do jednej z czterech najbardziej popularnych roślin oleistych. Prócz upraw na cele żywnościowe wykorzystywany jest przede wszystkim do produkcji biodiesla²⁸.

W przeprowadzonej analizie nie uwzględniono wpływu nawożenia poszczególnych rodzajów zbóż na kaloryczność energetyczną oraz wymogów glebowych. Porównując pszenicę z upraw ozimych i jarych, na bazie teoretycznej zboże to posiada większą kaloryczność w przypadku uprawy ozimej. Odwrotnie natomiast jest w przypadku jęczmienia. Zboże to charakteryzuje się większą kalorycznością przy odmianach jarych. Widoczny jest duży potencjał ilościowy tego nośnika. Natomiast słoma posiada niedużą wartość energetyczną w stosunku do dużej objętości, a więc także małą wartość materialną. Zbiór słomy jest kosztowny i istnieje problem z jej przechowywaniem. Co więcej, określenie nadwyżek słomy możliwych do energetycznego jej wykorzystania jest trudne i uwarunkowane regionalnie. W Normatywach Produkcji Rolnej można spotkać zalecane dawki żywieniowe

²⁸ M. Kachel-Jakubowska, M. Szpryngiel, *Analiza perspektyw wytwarzania biopaliw płynnych w Polsce*, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 8, s. 47–50.

i wykorzystania słomy jako ściółki w zależności od rodzaju inwentarza żywego²⁹. Oszacowanie potencjału energetycznego słomy z uwzględnieniem zapotrzebowania na słomę na ściółkę, na przeoranie oraz jako pasza dla inwentarza żywego zostało przedstawione w rozdziale piątym dla powiatów województwa łódzkiego.

Do obliczenia teoretycznego potencjału energetycznego słomy skorzystano ze wzoru³⁰:

$$Es[GJ] = Z \times 13 \left[\frac{GJ}{t} \right] \quad (22)$$

Biogaz rolniczy to paliwo powstałe w wyniku fermentacji metanowej surowców rolniczych, produktów ubocznych powstałych przy produkcji rolnej, przemysłu rolno-spożywczego oraz stałych lub płynnych odchodów zwierzęcych³¹. Wykorzystanie odpadów produkcji rolnej, w tym gnojowicy, do produkcji energii warunkuje korzyści ekologiczne. Ilość biogazu zależy od ilości suchej masy organicznej.

W celu oszacowania potencjału teoretycznego biogazu rolniczego przeliczono fizyczne sztuki zwierząt hodowlanych na jednostki sztuk dużych (SD). Wartość SD została obliczona na podstawie współczynników przeliczeniowych podanych w rozporządzeniu Ministra Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (bydło: 0,8 SD, drób: 0,004 SD, trzoda: 0,15 SD).

Tabela 19. Dane dotyczące obliczenia potencjału teoretycznego biogazu z odpadów zwierzęcych

Wyszczególnienie	Jednostka	Bydło		Trzoda		Drób
		obornik	gnojowica	obornik	gnojowica	gnojowica
1	2	3	4	5	6	7
Sucha masa (s.m.)	mg s.m./ mg odpadów	0,23	0,1	0,2	0,07	0,15
Ilość suchej masy organicznej (s.m.o.) w s.m.	mg s.m.o./ mg s.m.	0,8	0,8	0,9	0,82	0,76
Produkcja s.m.o.	kg s.m.o./ SD/d	3,0–5,4 średnia 4,2		2,5–4,0 średnia 3,3		5,5–10,0 średnia 0,76

29 H. Skrótnicki (red.), *Skrócone normatywy produkcji rolnej*, Wydawnictwo Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Radom 2010.

30 Tamże.

31 A. Kupczyk, A. Wójcik, M. Majkowska, *Wybrane problemy rozwoju sektora biogazu rolniczego w Polsce*, [w:] F. Kraniec (red.), *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Wybrane problemy*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2010, s. 79, 80.

Tab. 19 (cd.)

1	2	3	4	5	6	7
Produkcja biogazu na jednostkę s.m.o.	m ³ /mg s.m.o.	175,0–520,0 średnia 347,0		220,0–637,0 średnia 428,0		327,0–722,0 średnia 524,0
Produkcja metanu na jednostkę s.m.o.	m ³ /mg s.m.o.	średnia 218,0		średnia 269,0		średnia 330,0

Źródło: Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A., *Ocena prawna oraz analiza ekonomiczna możliwości realizacji celów wynikających ze strategii energetyki odnawialnej oraz z dyrektywy 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27.09.2001 w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych*, Warszawa 2007, s. 76.

Do obliczenia potencjału biogazu rolniczego skorzystano z następujących założeń³²:

$$P = SD \times s.m.o. \times \frac{365}{1000} \times B \quad (23)$$

gdzie:

- P – produkcja potencjalna biogazu rolniczego [m^3CH_4/r];
- SD – liczba sztuk dużych;
- $s.m.o.$ – średnia dobową produkcja odchodów wyrażona w kg suchej masy organicznej w przeliczeniu na sztukę dużą;
- B – średni potencjał produkcji biogazu z tony suchej masy organicznej odchodów [$m^3CH_4/t s.m.o.$].

Do wyznaczenia potencjału teoretycznego roślin energetycznych przyjęto, że pod uprawy przeznaczone zostaną ugory. Rozważono nasadzenia ślazuca pensylwańskiego, miskantusa i wierzby wiciowej. Należy podkreślić, że wbrew pozorom wierzba posiada dość duże wymagania glebowe oraz wodne w porównaniu z innymi roślinami energetycznymi. W Polsce, także w województwie łódzkim, gleby zagrożone są erozją powierzchniową ze względu na deficyt wody³³. Istnieje obawa, że w długim okresie nasadzenie wierzby na ugorach wpłynie niekorzystnie na bilans wodny obszaru.

Do szacunku potencjału energetycznego roślin przyjęto wartości przedstawione w tab. 20.

32 H. Marczak, *Aspekty energetycznego wykorzystania biogazu z odpadów na przykładzie województwa lubuskiego*, „Inżynieria Ekologiczna” 2009, nr 21.

33 S. Krasowicz, W. Oleszek, J. Horabik, R. Dębicki, J. Jankowiak, T. Stuczyński, J. Jadczyński, *Racjonalne gospodarowanie środowiskiem...*, s. 43–58.

Tabela 20. Plon suchej masy oraz wartość opałowa wybranych roślin energetycznych

Cecha	Ślazier pensylwański	Miskantus	Wierzba wiciowa		
			zbiór co roku	zbiór co dwa lata	zbiór co trzy lata
Plon suchej masy [t/ha]	10,70	17,70	14,80	16,10	21,50
Wartość opałowa [GJ/ha]	17,40	17,30	18,56	19,25	19,56

Źródło: opracowanie własne na podstawie: W. Budzyński, S. Bielski, *Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego*, cz. II: *Biomasa jako paliwo stałe (artykuł przeglądowy)*, „Acta Sci. Pol. Agricultura” 2004, nr 2; J. Kuś, A. Faber, M. Stasiak, A. Kawalec, *Plonowanie wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne na różnych glebach*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2008, nr 1; M. Matyka, J. Kuś, *Plonowanie i cechy biometryczne wybranych genotypów miskanta*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 2; T. Piskier, *Potencjał energetyczny topinamburu*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2009, nr 1.

4.5. Potencjał teoretyczny biomasy rolnej w Polsce według województw

W tab. 21 przedstawiono powierzchnię przeznaczoną pod zasiew zbóż. Wiadome jest, że największy potencjał teoretyczny słomy będą wykazywały te województwa, które posiadają największy udział produkcji roślinnej w ogóle produkcji rolnej.

Tabela 21. Powierzchnia zasiewów zbóż w Polsce w 2014 roku [tys. ha]

Wyszczególnienie	Pszenica	Pszennyto	Żyto	Jęczmień	Owies	Rzepak i rzepik
1	2	3	4	5	6	7
Polska	2 338,8	1 306,0	886,4	808,3	478,6	951,1
Dolnośląskie	275,8	39,3	24,7	51,4	18,9	132,0
Kujawsko-pomorskie	219,6	102,8	53,7	83,2	11,6	115,6
Lubelskie	281,6	136,5	53,3	98,4	67,3	71,0
Lubuskie	57,4	40,3	33,2	21,6	9,1	37,0
Łódzkie	110,9	127,2	127,8	45,9	42,4	22,0
Małopolskie	89,8	21,1	7,4	34,7	18,3	8,3
Mazowieckie	169,1	202,0	155,4	49,8	87,7	39,0

Tab. 21 (cd.)

1	2	3	4	5	6	7
Opolskie	150,0	28,7	9,9	52,4	5,0	76,6
Podkarpackie	98,3	26,2	13,8	21,5	29,1	20,7
Podlaskie	46,3	80,6	44,8	19,5	46,2	10,5
Pomorskie	150,6	65,7	51,4	34,5	26,4	82,6
Śląskie	69,0	37,5	23,4	28,3	13,1	21,4
Świętokrzyskie	79,4	47,8	18,7	45,6	15,2	8,6
Warmińsko-mazurskie	145,1	82,2	27,6	32,2	22,2	76,1
Wielkopolskie	245,4	213,1	182,8	142,5	45,4	118,8
Zachodniopomorskie	150,8	55,2	58,7	46,8	20,8	110,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2014*, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2014.

W tab. 22, 23 i 24 zostały zawarte obliczenia potencjału teoretycznego słomy na cele energetyczne z uwzględnieniem poszczególnych gatunków zbóż oraz rzepaku w 2014 roku.

Tabela 22. Potencjał teoretyczny słomy dla pszenicy i pszenżyta w Polsce w 2014 roku

Wyszczególnienie	Pszenica		Pszenżyto	
	ilość słomy ogółem [tys. ton/rok]	energia ogółem [PJ]	ilość słomy ogółem [tys. ton/rok]	energia ogółem [PJ]
1	2	3	4	5
Polska	9 121,2	118,6	5 877,1	76,4
Dolnośląskie	1 075,6	14,0	176,7	2,3
Kujawsko-pomorskie	856,3	11,1	462,6	6,0
Lubelskie	1 098,4	14,3	614,0	8,0
Lubuskie	224,0	2,9	181,4	2,4
Łódzkie	432,6	5,6	572,5	7,4
Małopolskie	350,4	4,6	94,7	1,2
Mazowieckie	659,6	8,6	908,8	11,8
Opolskie	585,0	7,6	129,3	1,7
Podkarpackie	383,3	5,0	117,7	1,5

1	2	3	4	5
Podlaskie	180,7	2,3	362,5	4,7
Pomorskie	587,4	7,6	295,8	3,8
Śląskie	267,1	3,5	168,6	2,2
Świętokrzyskie	309,6	4,0	215,0	2,8
Warmińsko- -mazurskie	565,9	7,4	369,8	4,8
Wielkopolskie	956,9	12,4	959,1	12,5
Zachodniopomorskie	588,3	7,6	248,4	3,2

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 23. Potencjał teoretyczny słomy dla żyta i jęczmienia w Polsce w 2014 roku

Wyszczególnienie	Żyto		Jęczmień	
	ilość słomy ogółem [tys. ton/rok]	energia ogółem [PJ]	ilość słomy ogółem [tys. ton/rok]	energia ogółem [PJ]
1	2	3	4	5
Polska	4 166,3	54,2	2 586,5	33,6
Dolnośląskie	116,0	1,5	164,4	2,1
Kujawsko-pomorskie	252,2	3,3	266,3	3,5
Lubelskie	250,6	3,3	314,9	4,1
Lubuskie	156,0	2,0	69,0	0,9
Łódzkie	600,5	7,8	146,8	1,9
Małopolskie	35,0	0,5	111,1	1,4
Mazowieckie	730,2	9,5	159,3	2,1
Opolskie	46,4	0,6	167,7	2,2
Podkarpackie	65,1	0,8	68,9	0,9
Podlaskie	210,4	2,7	62,3	0,8
Pomorskie	241,6	3,1	110,4	1,4
Śląskie	110,0	1,4	90,6	1,2
Świętokrzyskie	87,9	1,1	146,1	1,9

Tab. 23 (cd.)

1	2	3	4	5
Warmińsko-mazurskie	129,8	1,7	103,1	1,3
Wielkopolskie	859,1	11,2	455,9	5,9
Zachodniopomorskie	275,8	3,6	149,7	1,9

Źródło: opracowanie własne.

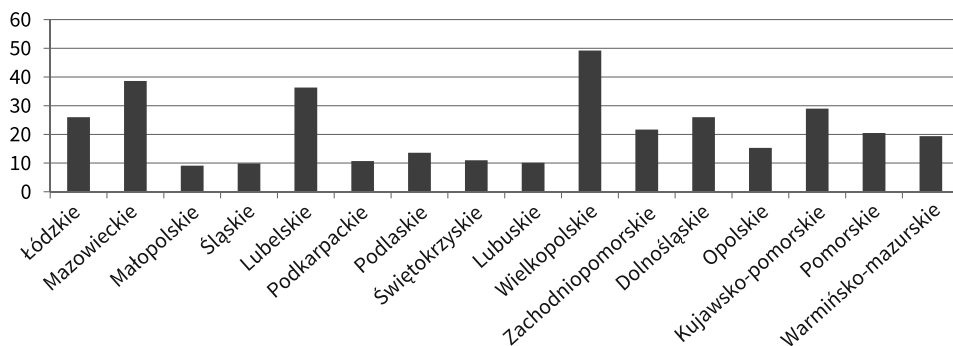
Tabela 24. Potencjał teoretyczny słomy dla owsa, rzepaku i rzepiku w Polsce w 2014 roku

Wyszczególnienie	Owies		Rzepak i rzepik	
	ilość słomy ogółem [tys. ton/rok]	energia ogółem [PJ]	ilość słomy ogółem [tys. ton/rok]	energia ogółem [PJ]
Polska	2 153,6	28,0	2 758,2	35,9
Dolnośląskie	85,2	1,1	382,7	5,0
Kujawsko-pomorskie	52,1	0,7	335,4	4,4
Lubelskie	302,6	3,9	206,0	2,7
Lubuskie	41,1	0,5	107,4	1,4
Łódzkie	190,9	2,5	63,8	0,8
Małopolskie	82,3	1,1	24,0	0,3
Mazowieckie	394,4	5,1	113,2	1,5
Opolskie	22,3	0,3	222,0	2,9
Podkarpackie	130,9	1,7	60,1	0,8
Podlaskie	207,8	2,7	30,4	0,4
Pomorskie	118,9	1,5	239,5	3,1
Śląskie	58,9	0,8	62,1	0,8
Świętokrzyskie	68,2	0,9	24,8	0,3
Warmińsko-mazurskie	100,0	1,3	220,8	2,9
Wielkopolskie	204,2	2,7	344,5	4,5
Zachodniopomorskie	93,5	1,2	321,3	4,2

Źródło: opracowanie własne.

Największy potencjał teoretyczny w kraju posiada słoma z pszenicy (118,6 PJ). W dalszej kolejności znalazła się słoma z pszenżyta (76,4 PJ), żyta (54,2 PJ), rzepaku i rzepiku (35,9 PJ), jęczmienia (33,6 PJ) oraz owsa (28 PJ). Województwo łódzkie na tle pozostałych regionów kraju wykazuje się jednym z najwyższych potencjałów słomy z żyta (7,8 PJ), zaraz po województwie wielkopolskim (11,2 PJ) oraz mazowieckim (9,5 PJ). Największy potencjał słomy pszenicy występuje w województwach lubelskim (14,3 PJ), dolnośląskim (14,0 PJ), wielkopolskim (12,4 PJ) oraz kujawsko-pomorskim (11,1 PJ). Natomiast największy potencjał energetyczny pszenżyta znajduje się w województwach wielkopolskim (12,5 PJ), mazowieckim (11,8 PJ), lubelskim (8 PJ) oraz łódzkim (7,4 PJ). Potencjał energetyczny słomy z jęczmienia jest stosunkowo niewielki w porównaniu z innymi rodzajami słomy. Największym potencjałem wykazują się województwa wielkopolskie (5,9 PJ), lubelskie (4,1 PJ), kujawsko-pomorskie (3,5 PJ). W produkcji słomy z owsa przodują województwa mazowieckie (5,1 PJ), lubelskie (3,9 PJ), podlaskie (2,7 PJ), lubuskie (2,7 PJ) oraz łódzkie (2,5 PJ). Największa ilość słomy pochodzącej z upraw rzepaku i rzepiku występuje w województwie dolnośląskim (5,0 PJ), wielkopolskim (4,5 PJ), kujawsko-pomorskim (4,4 PJ) i zachodniopomorskim (4,2 PJ).

Łączny potencjał teoretyczny energetyczny słomy zbóż dla Polski wynosi 346,7 PJ. Największym łącznym potencjałem wykazały się następujące województwa: wielkopolskie (14,2%), lubelskie (10,5%), mazowieckie (11,1%), łódzkie (7,5%), kujawsko-pomorskie (8,4%), dolnośląskie (7,5%).



Rysunek 9. Teoretyczny potencjał energetyczny słomy zbóż według województw [PJ]

Źródło: opracowanie własne.

W dalszej kolejności wyliczono potencjał teoretyczny biogazu rolniczego na podstawie ilości inwentarza żywego występującego w regionach. W tab. 25 przedstawiono liczbę sztuk zwierząt hodowlanych w Polsce w 2014 roku według danych BDL GUS.

W hodowli bydła przoduje województwo mazowieckie, z liczbą 1 044 tys. sztuk inwentarza. W dalszej kolejności znalazły się województwa podlaskie z 938,7 tys.

sztuk oraz wielkopolskie z liczbą 884 tys. sztuk. Najliczniejszy inwentarz trzody chlewnej występuje w województwie wielkopolskim – 4 004,8 tys. sztuk. Produkcja drobiu największa jest w województwach wielkopolskim – 26 743,7 tys. sztuk, mazowieckim – 24 204,3 tys. sztuk oraz w województwie łódzkim – 10 117,8 tys. sztuk.

Tabela 25. Hodowla zwierząt w Polsce w 2014 roku

Wyszczególnienie	Ilość [tys. szt.]		
	bydło	trzoda	drób
Polska	5 660,3	11 265,6	133 086,6
Dolnośląskie	102,8	188,8	5 491,1
Kujawsko-pomorskie	476,0	1 288,3	7 677,4
Lubelskie	346,0	579,4	4 977,5
Lubuskie	75,3	163,8	4 535,7
Łódzkie	446,8	982,9	10 117,8
Małopolskie	166,4	190,6	5 403,1
Mazowieckie	1 044,0	946,1	24 204,3
Opolskie	109,2	419,4	2 531,1
Podkarpackie	89,1	176,1	4 184,5
Podlaskie	938,7	333,1	5 653,3
Pomorskie	189,8	723,3	5 825,6
Śląskie	116,5	249,0	8 107,2
Świętokrzyskie	153,9	232,6	5 266,8
Warmińsko-mazurskie	426,0	496,5	6 255,2
Wielkopolskie	884,0	4 004,8	26 743,7
Zachodniopomorskie	95,7	290,8	6 112,3

Źródło: opracowanie własne na podstawie: BDL GUS.

Potencjał produkcji biogazu dla Polski z odpadów z hodowli bydła szacuje się na ok. 2,4 mld m³/rok, z hodowli trzody na ok. 0,9 mld m³/rok, z hodowli drobiu na ok. 77,4 mln m³/rok. Wartość energetyczna biogazu zależy od zawartości metanu. Założono, że przy 65% udziale metanu wartość ta wynosi 23 MJ/m³³⁴. Wartość energii chemicznej dla Polski wynosi odpowiednio:

- dla bydła 55 402,2 TJ/rok;
- dla trzody 20 036,7 TJ/rok;
- dla drobiu 1 779,8 TJ/rok.

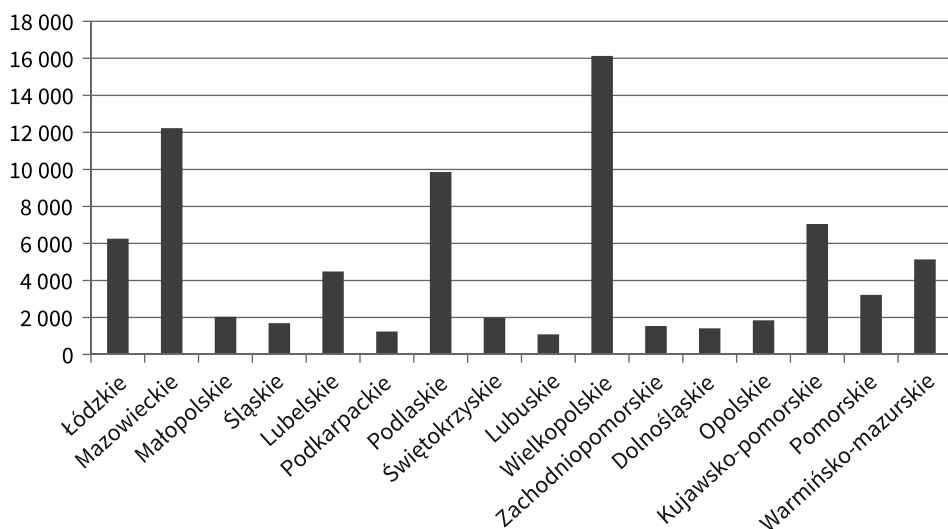
Tabela 26. Potencjał teoretyczny energii chemicznej biogazu z odpadów produkcji zwierzęcej (gnojowicy) w Polsce w 2014 roku

Wyszczególnienie	Bydło	Trzoda chlewna	Drób	Łącznie
Polska	55 402,2	20 036,7	1 779,8	77 218,6
Dolnośląskie	1 005,8	335,8	73,4	1 415,1
Kujawsko-pomorskie	4 659,4	2 291,3	102,7	7 053,4
Lubelskie	3 386,7	1 030,5	66,6	4 483,8
Lubuskie	737,4	291,3	60,7	1 089,4
Łódzkie	4 373,4	1 748,2	135,3	6 256,9
Małopolskie	1 628,7	339,1	72,3	2 040,0
Mazowieckie	10 218,2	1 682,6	323,7	12 224,4
Opolskie	1 069,1	745,9	33,8	1 848,9
Podkarpackie	872,2	313,2	56,0	1 241,4
Podlaskie	9 188,0	592,4	75,6	9 856,0
Pomorskie	1 857,6	1 286,5	77,9	3 222,0
Śląskie	1 140,0	442,9	108,4	1 691,3
Świętokrzyskie	1 506,6	413,6	70,4	1 990,7
Warmińsko-mazurskie	4 169,2	883,1	83,7	5 135,9
Wielkopolskie	8 653,0	7 122,9	357,6	16 133,5
Zachodnio-pomorskie	936,9	517,3	81,7	1 536,0

Źródło: opracowanie własne.

Największy potencjał teoretyczny biogazu rolniczego z odpadów produkcji zwierzęcej występuje w województwie wielkopolskim (16 133,5 TJ) oraz w województwie mazowieckim (12 224,4 TJ). W dalszej kolejności warto wymienić województwo podlaskie (9 856 TJ), kujawsko-pomorskie (7 053,4 TJ) i łódzkie (6 256,9 TJ).

Największym potencjałem biogazu rolniczego wykazało się województwo wielkopolskie, stanowiąc 20% łącznego potencjału kraju. Również wysoki potencjał został zauważony w województwie mazowieckim – 15,8%, kujawsko-pomorskim – 9,1% i łódzkim – 8,1%.



Rysunek 10. Potencjał teoretyczny biogazu rolniczego według województw [TJ]

Źródło: opracowanie własne.

W tab. 27 przedstawiano oszacowany potencjał energetyczny wybranych roślin energetycznych według województw. Powierzchnie pod uprawy stanowią ugory.

Tabela 27. Potencjał teoretyczny miskantusa i ślazuwca pensylwańskiego według województw w 2013 roku

Wyszczególnienie	Areal pod zasiew [tys. ha]	Miskantus		Ślazuwec pensylwański	
		plon suchej masy [tys. t/rok]	wartość energetycz- na plonu [PJ s.m.]	plon suchej masy [tys. t/rok]	wartość energetycz- na plonu [PJ s.m.]
1	2	3	4	5	6
Polska	446,5	7 903,7	136,7	4 777,9	83,1
Dolnośląskie	26,5	469,7	8,1	283,9	4,9
Kujawsko-pomorskie	21,5	381,2	6,6	230,4	4,0
Lubelskie	26,6	470,0	8,1	284,1	4,9
Lubuskie	22,7	400,9	6,9	242,4	4,2
Łódzkie	22,6	400,6	6,9	242,2	4,2

1	2	3	4	5	6
Małopolskie	13,1	231,8	4,0	140,1	2,4
Mazowieckie	63,2	1 118,9	19,4	676,4	11,8
Opolskie	8,2	145,2	2,5	87,8	1,5
Podkarpackie	27,2	481,5	8,3	291,1	5,1
Podlaskie	22,6	400,7	6,9	242,2	4,2
Pomorskie	21,4	379,3	6,6	229,3	4,0
Śląskie	13,6	241,4	4,2	145,9	2,5
Świętokrzyskie	13,9	246,7	4,3	149,1	2,6
Warmińsko-mazurskie	60,6	1 072,7	18,6	648,5	11,3
Wielkopolskie	33,1	585,4	10,1	353,9	6,2
Zachodniopomorskie	49,6	877,8	15,2	530,6	9,2

Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2014*, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2014.

Z jednej strony teoretyczny potencjał energetyczny w dużej mierze zależy od powierzchni ugorów. Z drugiej natomiast – im mniej gruntów wyłączonych z produkcji rolnej, tym dane województwo charakteryzuje się lepszym zagospodarowaniem obszaru. Województwami dysponującymi największym teoretycznym potencjałem energetycznym z miskantusa i ślazuwca pensylwańskiego są: mazowieckie, warmińsko-mazurskie, wielkopolskie, zachodniopomorskie. Województwo łódzkie znalazło się na ósmym miejscu wraz z województwem lubuskim oraz podlaskim.

Potencjał energetyczny Polski pochodzący z uprawy wierzby został obliczony przy tym samym założeniu co dla miskantusa i ślazuwca pensylwańskiego. Plon suchej masy oraz wydajność energetyczna uzależnione są od cyklu produkcyjnego. W tab. 28 zostały uwzględnione zbiory wierzby odpowiednio co roku, co dwa i co trzy lata. Przyjęto dodatkowo, że w przypadku corocznego zbioru plon suchej masy wynosi 14,8 t/ha przy wartości energetycznej plonu 18,56 GJ/t. Dla zbioru co dwa lata plon suchej masy wynosi 16,1 t/ha przy wartości opałowej 19,25 GJ/t, dla zbioru co trzy lata plon wynosi 21,5 t/ha przy wartości opałowej 19,56 GJ/t³⁵.

35 W. Budzyński, S. Bielski, *Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego*, cz. II: *Biomasa jako paliwo stałe (artykuł przeglądowy)*, „Acta Sci. Pol. Agricultura” 2004, nr 2, s. 17.

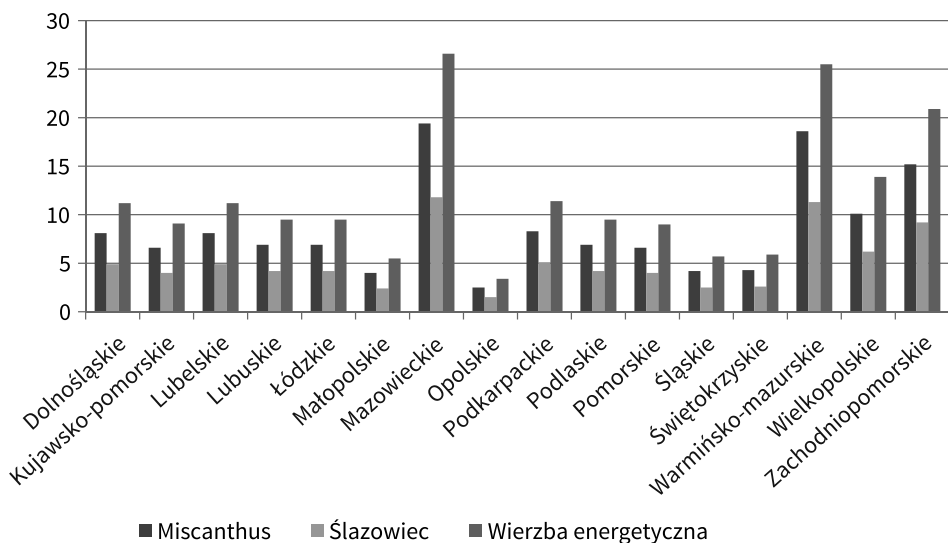
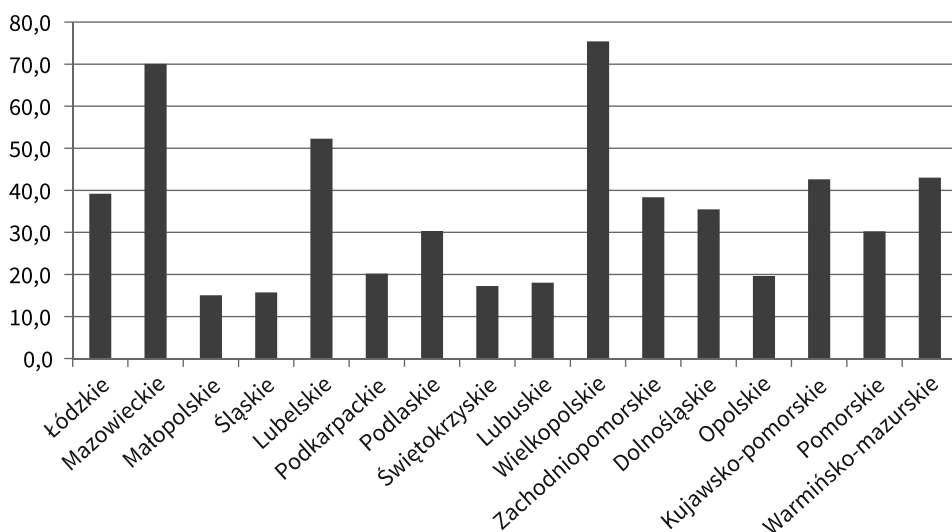
Tabela 28. Potencjał teoretyczny upraw energetycznych w Polsce w 2013 roku

Wyszczególnienie	Ugory [tys. ha]	Potencjał teoretyczny					
		plon suchej masy [tys. t/rok]			wartość energetyczna plonu [PJ s.m.]		
		co roku	co 2 lata	co 3 lata	co roku	co 2 lata	co 3 lata
Polska	446,5	6 608,7	7 189,2	9 600,5	122,7	138,4	187,8
Dolnośląskie	26,5	392,7	427,2	570,5	7,3	8,2	11,2
Kujawsko-pomorskie	21,5	318,7	346,7	463,0	5,9	6,7	9,1
Lubelskie	26,6	393,0	427,5	570,8	7,3	8,2	11,2
Lubuskie	22,7	335,2	364,7	487,0	6,2	7,0	9,5
Łódzkie	22,6	335,0	364,4	486,6	6,2	7,0	9,5
Małopolskie	13,1	193,8	210,9	281,6	3,6	4,1	5,5
Mazowieckie	63,2	935,6	1 017,7	1 359,1	17,4	19,6	26,6
Opolskie	8,2	121,4	132,0	176,3	2,3	2,5	3,4
Podkarpackie	27,2	402,6	438,0	584,9	7,5	8,4	11,4
Podlaskie	22,6	335,1	364,5	486,8	6,2	7,0	9,5
Pomorskie	21,4	317,2	345,1	460,8	5,9	6,6	9,0
Śląskie	13,6	201,9	219,6	293,3	3,7	4,2	5,7
Świętokrzyskie	13,9	206,3	224,4	299,6	3,8	4,3	5,9
Warmińsko-mazurskie	60,6	897,0	975,8	1 303,0	16,6	18,8	25,5
Wielkopolskie	33,1	489,5	532,5	711,0	9,1	10,2	13,9
Zachodniopomorskie	49,6	734,0	798,4	1 066,2	13,6	15,4	20,9

Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2014*, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2014.

Województwami wykazującymi największy potencjał energetyczny wierzby, podobnie jak w przypadku ślázowca pensylwańskiego i miskantusa, są mazowieckie, warmińsko-mazurskie oraz zachodniopomorskie. Województwo łódzkie znalazło się na siódmym miejscu wraz z województwem lubuskim i podlaskim.

Teoretyczny potencjał energetyczny roślin energetycznych dla Polski wynosi odpowiednio dla miskantusa 136,7 PJ, ślázowca 83,1 PJ i wierzby energetycznej zbieranej co trzy lata 187,8 PJ. Największy potencjał energetyczny ugorów zagospodarowanych do nasadzeń roślin energetycznych wykazały województwa: mazowieckie, warmińsko-mazurskie oraz zachodniopomorskie, stanowiąc odpowiednio 14,2%, 13,6% oraz 11,1% ogółu potencjału kraju.

**Rysunek 11.** Potencjał teoretyczny roślin energetycznych według województw [PJ]**Źródło:** opracowanie własne.**Rysunek 12.** Łączny teoretyczny potencjał energetyczny biomasy rolnej w przekroju województw [PJ]**Źródło:** opracowanie własne.

Łączny teoretyczny potencjał energetyczny biomasy rolnej w Polsce kształtuje się na poziomie 563,2 PJ (z uwzględnieniem wartości średniej z trzech roślin energetycznych). Największym potencjałem wykazało się województwo wielko-

polskie, stanowiąc 13,4% ogółu potencjału kraju. W dalszej kolejności zaklasyfikowano województwo mazowieckie (12,44%), lubelskie (9,3%), kujawsko-pomorskie (7,6%), łódzkie (6,9%) oraz warmińsko-mazurskie (7,7%).

Uwagi końcowe

Rolnictwo jest sektorem, który wywiera istotny wpływ na środowisko naturalne, a przez to na jakość życia mieszkańców wsi. Połączenie funkcji żywieniowej i energetycznej rolnictwa wymaga zwrócenia uwagi przede wszystkim na uwarunkowania przyrodnicze, które w największym stopniu determinują rodzaj produkcji rolnej. Jednak podaż biomasy rolnej zależy od szeregu czynników o charakterze naturalnym, polityczno-ekonomicznym i technologicznym, które określają warunki opłacalnej produkcji rolnej. Nie bez znaczenia jest też struktura gospodarstw rolnych zarówno w podziale na rodzaj produkcji (roślinna, zwierzęca, mieszana), jak i wielkość gospodarstw. Polskie rolnictwo charakteryzuje się wysokim potencjałem produkcyjnym. Udział użytków rolnych pod zasiewami w ogóle użytków rolnych w Polsce jest większy od średniej UE. W ostatnich latach nastąpił wzrost średniej powierzchni gospodarstwa rolnego w Polsce. Jest to wynik przekształceń użytków rolnych w gospodarstwa o większej powierzchni, zwłaszcza powyżej 15 ha.

Prowadzona wobec rolnictwa polityka finansowego wsparcia skutkuje wzrostem podaży produktów rolnych, a przez to biomasy. Natomiast realizacja celów polityki klimatycznej i energetycznej inicjuje produkcję biomasy rolnej na cele energetyczne, między innymi poprzez wsparcie inwestycji bioenergetycznych ze środków UE.

Rozwoju rynków biomasy rolnej z perspektywy ilości posiadanego surowca można upatrywać w województwach: wielkopolskim, mazowieckim, podlaskim, kujawsko-pomorskim, łódzkim i warmińsko-mazurskim. W pozostałych województwach potencjał energetyczny biomasy jest dużo mniejszy. Należy pamiętać, że analiza ta jest teoretyczna i oszacowany potencjał zależy przede wszystkim od powierzchni zasiewów. Nie brano pod uwagę klasy gleb, nawożenia, potencjału technicznego i ekonomicznego. Podobne zastrzeżenia należy przyjąć do oszacowanego potencjału roślin energetycznych.

Z przeprowadzonych badań szacunkowych wynika, że w Polsce najwyższy teoretyczny potencjał energetyczny wykazuje słoma, która najczęściej jest jednak wykorzystywana w tradycyjny sposób jako ściółka i nawóz. Z tego powodu najbardziej stabilnym pod względem podaży surowcem energetycznym mogą stać się odpady z produkcji zwierzęcej (gnojowica/obornik). Złe ich składowanie niekorzystnie wpływa na środowisko naturalne, co powinno skłaniać do rozwoju możliwości energetycznego wykorzystania odpadów z hodowli.

Rozdział 5

Biomasa rolna w województwie łódzkim

Wprowadzenie

Biomasa rolna jako surowiec energetyczny powinna być wykorzystywana przede wszystkim w regionie, gdzie występuje. Ze względu na wiele rodzajów biomasy rolnej ważny jest dobór technologii. Rozdział dotyczy stron popytowej i podażowej rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim. Przedstawiono w nim analizę wykorzystania ugorów i pozostałych użytków rolnych, tj. użytków rolnych nieużytkowanych i nieutrzymywanych w dobrej kulturze rolnej, pod zasiew roślin energetycznych oraz wyznaczono próg rentowności produkcji biomasy rolnej na cele energetyczne z perspektywy rolnika. Rozdział zawiera omówienie i analizę wyników wywiadów kwestionariuszowych przeprowadzonych z rolnikami z województwa łódzkiego. Analizy dokonano pod kątem identyfikacji występujących rodzajów biomasy rolnej umożliwiających budowę regionalnych rynków tego surowca. Metody statystyczne zostały wykorzystane do określenia głównych szans oraz barier rozwoju regionalnych rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim. Pojęcie rynków rozumiane jest zarówno w sensie terytorialnym, jak i przedmiotu obrotu.

5.1. Potencjał teoretyczny produkcji biomasy rolnej na potrzeby energetyczne w województwie łódzkim

W tej części pracy województwo łódzkie jest brane pod uwagę jako producent biomasy rolnej pochodzącej z roślin energetycznych. Stan agrochemiczny gleb województwa łódzkiego przedstawiony w rozdziale 4 stanowi główny wyznacznik wyboru roślin energetycznych. Można założyć, że im korzystniejsze są te wskaźniki, tym większe jest prawdopodobieństwo uzyskania wyższego plonowania w produkcji roślinnej.

Tabela 29. Powierzchnia powiatów województwa łódzkiego z uwzględnieniem użytkowania gruntów rolnych

Wyszczególnienie	Powierzchnia [km ²]	Powierzchnia gospodarstw rolnych ogółem [ha]						
		grunty ogółem	użytki rolne ogółem	użytki rolne w dobrej kulturze	pod zasiewami	grunty ugorowane łącznie z nawozami zielonymi	pozostałe użytki rolne	średnia powierzchnia gruntów ogółem
Województwo ogółem	18 219	1 152 537,66	996 978,35	954 238,06	733 211,30	21 370,41	42 740,30	7,04
Powiat brzeziński	359	29 145,42	22 928,61	22 370,34	19 179,71	435,90	1 230,54	6,36
powiat łódzki wschodni	500	27 992,55	25 015,16	23 784,63	19 401,67	718,42	1 285,85	6,08
Powiat pabianicki	492	27 445,28	23 700,06	22 414,21	15 883,96	651,83	1 298,23	7,66
Powiat zgierski	855	46 949,39	41 697,96	40 399,73	30 599,37	1 242,85	558,27	7,78
Powiat bechatowski	968	48 799,04	35 638,36	31 535,17	19 764,37	1 600,89	4 103,19	5,14
Powiat opoczyński	1 040	57 494,67	46 042,11	41 450,02	28 320,20	1 120,15	4 592,09	5,32
Powiat piotrkowski	1 429	85 339,94	74 193,57	71 461,57	59 360,26	1 383,83	2 732,01	7,23
Powiat radomszczański	1 443	77 284,33	65 669,86	59 295,81	42 774,91	1 820,92	6 374,06	6,07
Powiat tomaszowski	1 025	56 445,07	49 600,93	46 280,75	37 857,34	1 289,81	3 320,18	5,41
Powiat łaski	618	39 650,76	32 776,66	30 746,44	22 044,87	871,02	2 030,22	6,89
Powiat pajęczański	804	49 015,54	40 308,63	36 964,33	28 209,11	1 260,48	3 344,30	5,82

Powiat poddębicki	881	62 388,27	55 582,04	54 619,72	39 310,36	470,18	962,32	9,50
Powiat sieradzki	1 491	103 158,88	90 020,85	88 738,71	72 670,08	702,58	1 282,13	7,35
Powiat wieluński	926	63 241,82	52 621,90	51 048,30	43 059,66	1 035,09	1 573,60	6,43
Powiat wieruszowski	577	37 975,77	32 453,94	30 770,54	25 215,83	1 231,69	1 683,40	6,73
Powiat zduńskowolski	369	22 526,01	19 416,76	18 254,49	14 342,82	566,64	1 162,28	5,59
Powiat kutnowski	887	72 011,25	68 023,60	67 650,09	59 531,17	655,89	373,51	10,77
Powiat łęczycki	773	64 471,16	60 096,01	59 436,91	47 180,55	442,94	659,09	9,07
Powiat łowicki	988	81 117,64	72 543,87	71 369,46	56 524,76	826,61	1 174,41	8,61
Powiat rawski	646	48 139,42	43 164,10	42 099,08	19 063,79	1 574,37	1 065,01	7,28
Powiat skierniewicki	755	51 945,45	45 483,37	43 547,76	32 916,51	1 468,32	1 935,61	6,74

Źródło: opracowanie własne na podstawie: GUS, *Powszechny Spis Rolny 2010*, Warszawa 2010.

Przyjęto, że pod uprawy roślin energetycznych przeznaczono ugory oraz pozostałe użytki rolne, tj. użytki rolne nieużytkowane i nieutrzymywane w dobrej kulturze rolnej (zob. tab. 29) występujące w województwie łódzkim oraz dorzeża rzek.

Wybór został dokonany z następujących roślin energetycznych uprawianych w Polsce:

- wierzba wiciowa (*Salix viminalis*);
- ślázowiec pensylwański/malwa pensylwańska (*Sida hermaphrodita*);
- róża wielokwiatowa/róża bezkolcowa (*Rosa multiflora*);
- miskantus olbrzymi/trawa słoniowa (*Miscanthus sinensis gigantea*);
- miskantus cukrowy (*Miscanthus sacchariflorus*);
- proso różgowe (*Panicum virgatum*);
- palczatka Gerarda (*Andropogon gerardi*)¹.

Z przedstawionych uwarunkowań agrochemicznych regionu wynika, że możliwa jest uprawa roślin mało wymagających pod względem uprawowym, co ogranicza wybór do wierzby wiciowej, miskantusa i ślázowca pensylwańskiego. Założono podjęcie analizy zasadzenia na ugorach miskantusa oraz ślázowca pensylwańskiego, a wierzby wiciowej wzdłuż koryt rzek. W przedstawianym modelu teoretycznym przyjęto konieczność uwzględnienia dobrych praktyk w zakresie gospodarki wodą. Uprawa wierzby jest wieloletnia i wymaga dużego nawadniania. Ze względu na występujący niedobór wody w regionie, istnieje obawa, że nasadzenie wierzby na ugorach wpłynie niekorzystnie na bilans wodny obszaru w długim okresie.

Założono dokonanie nasadzeń wierzby wzdłuż koryta po obu stronach cieków na łącznej długości² 1300 km, pasem pięciometrowym (uwzględniono średnią długość ramienia urządzenia do zbioru rośliny w celu minimalizacji energochłonności produkcji). Wzięto pod uwagę możliwość nasadzeń na poziomie 50% długości rzek (należy rozważyć obszary prawnie chronione). Łączna powierzchnia plantacji może stanowić 650 ha. Zakładając zbiór krótkorotacyjny, teoretycznie przyjmuje się plon suchej masy na poziomie 9 620 ton, co daje 178,5 TJ energii możliwej do pozyskania. Natomiast rozważając zbiór co dwa lata, uzysk suchej masy wynosi 10 465 ton, z czego można pozyskać 201,4 TJ energii. W zbiorze co trzy lata plon suchej masy kształtuje się na poziomie 13 975 ton, co daje 273,3 TJ energii. Wyniki szacunku teoretycznego potencjału energetycznego pozostałych roślin energetycznych przedstawiono w tab. 30.

1 A. Zawadzka, M. Imbierowicz, *Rośliny energetyczne oraz technologie i urządzenia dla przetwórci biomasy*, [w:] E. Kochańska (red.), *Inwestowanie w energię odnawialną. Aspekty ekologiczne, technologie, finansowanie i benchmarking*, Stowarzyszenie Doradców Gospodarczych Pro-Akademia, Łódź 2010, s. 169–170.

2 M. Marszałek, S. Wiśniewski, *Wojewódzki Program Małej Retencji dla województwa łódzkiego. Synteza*, Wojewódzki Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych, Warszawa 2005.

Tabela 30. Potencjał teoretyczny wybranych roślin w powiatach województwa łódzkiego

Wyszczególnienie	Powierzchnia pod zasiew [ha]	Potencjał teoretyczny			
		ślazowiec pensylwański		miskantus	
		plon suchej masy [t/rok]	wartość energetyczna plonu [TJ/t s.m.]	plon suchej masy [t/rok]	wartość energetyczna plonu [TJ/t s.m.]
Województwo łódzkie	64 110,71	685 984,60	11 935,9	1 134 760,00	19 630,9
Powiat łódzki wschodni	1 948,96	20 853,87	362,8	34 496,59	596,8
Powiat pabianicki	1 937,68	20 733,18	360,8	34 296,94	593,3
Powiat zgierski	2 541,08	27 189,56	473,1	44 977,12	778,1
Powiat brzeziński	994,17	10 637,62	185,1	17 596,81	304,4
Powiat bełchatowski	5 704,08	61 033,66	1 062,0	100 962,20	1 746,6
Powiat opoczyński	5 712,24	61 120,97	1 063,5	101 106,60	1 749,1
Powiat piotrkowski	4 115,84	44 039,49	766,3	72 850,37	1 260,3
Powiat radomszczański	8 194,98	87 686,29	1 525,7	145 051,10	2 509,4
Powiat tomaszowski	4 609,99	49 326,89	858,3	81 596,82	1 411,6
Powiat łaski	2 901,24	31 043,27	540,1	51 351,95	888,4
Powiat pajęczański	4 604,78	49 271,15	857,3	81 504,61	1 410,0
Powiat poddębicki	1 432,50	15 327,75	266,7	25 355,25	438,6
Powiat sieradzki	1 984,71	21 236,40	369,5	35 129,37	607,7
Powiat wieluński	2 608,69	27 912,98	485,7	46 173,81	798,8
Powiat wieruszowski	2 915,09	31 191,46	542,7	51 597,09	892,6
Powiat zduńskowolski	1 728,92	18 499,44	321,9	30 601,88	529,4
Powiat kutnowski	1 029,40	11 014,58	191,6	18 220,38	315,2
Powiat łęczycki	1 102,03	11 791,72	205,2	19 505,93	337,4
Powiat łowicki	2 001,02	21 410,91	372,5	35 418,05	612,7
Powiat rawski	2 639,38	28 241,37	491,4	46 717,03	808,2
Powiat skierniewicki	3 403,93	36 422,05	633,7	60 249,56	1 042,3

Źródło: opracowanie własne.

W województwie łódzkim przy przyjętych założeniach teoretycznych można łącznie pozyskać 11,9 PJ energii z ślazuwa pensylwańskiego lub 19,6 PJ energii z miskantusa. Powiat radomszczański stanowi obszar o największym potencjale uzysku energii z obu roślin. Najwyższy potencjał energetyczny ślazuwa pensylwańskiego zauważa się natomiast w powiecie opoczyńskim.

5.2. Analiza opłacalności produkcji energii z biomasy rolnej na podstawie wybranych roślin energetycznych w województwie łódzkim z perspektywy rolnika

Kalkulację kosztów założenia plantacji (tab. 31) wykonano na podstawie badań przeprowadzonych przez IUNG. Rachunkiem objęto przygotowanie pola, koszty zakupu sadzonek, coroczne koszty pielęgnacyjne, nawożenie, wynagrodzenia dla siły roboczej. Dodatkowo uwzględniono koszt maszynowy zbioru roślin³.

Tabela 31. Koszty założenia plantacji wybranych gatunków roślin energetycznych

Gatunek		Wierzba	Miskantus	Ślazier pensylwański	
materiał rozmnożeniowy		zrzezy	sadzonki	nasiona	sadzonki
Przygotowanie pola	analiza gleby	20			
	użycie maszyn	941		871	941
	nawozy, herbicydy	832		729	832
	wynagrodzenie	97		54	97
Koszty zakupu (wyhodowania sadzonki)		1 800	16 250	3 000	3 000
Koszty sadzenia	użycie maszyn	60	60	120	60
	wynagrodzenie	1 156	1 123	76	1 728
Koszty pielęgnacyjne (I rok wegetacji)	użycie maszyn	340	200	340	
	nawozy, pestycydy	545	267	545	545
	wynagrodzenie	3 564			
Razem koszty założenia plantacji zł/ha/rok		9 355	2 354	9 319	11 127

Źródło: H. Skrótnicki (red.), *Skrócone normatywy produkcji rolnej*, Wydawnictwo Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Radom 2010, s. 32.

Do kalkulacji ceny minimalnej zastosowano metodę *Net Present Value* (NPV). Skorzystano z następującego wzoru:

$$NPV = \sum_{t=0} CF_t \times DF_t \quad (24)$$

3 A. Lisowski (red.), *Technologie zbioru roślin energetycznych*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2010, s. 126–132.

gdzie:

CF_t – Cash Flow;
 DF_t – współczynnik dyskonta ($DF = \frac{1}{(1+r)^n}$; gdzie r – stopa dyskontowa,
 n – liczba lat).

Przyjęto, że cenę minimalną sprzedaży⁴, warunkującą próg rentowności dla rolnika za biomasę uzyskaną z plantacji energetycznych, wyznaczono dla $NPV = 0$. Należy podkreślić, że wyznaczona cena minimalna dla poszczególnych roślin energetycznych została oszacowana z perspektywy wykorzystania ugorów oraz pozostałych użytków rolnych, tj. użytków rolnych nieużytkowanych i nieutrzymywanych w dobrej kulturze rolnej w województwie łódzkim. W analizie nie zostały uwzględnione koszty transportu i przetworzenia biomasy. Kwestię problemową stanowiło ustalenie odpowiedniego poziomu stopy dyskontowej. Inwestycja zagospodarowania wybranego obszaru pod zasiew roślin energetycznych nie ma jasno sprecyzowanego podmiotu własności, dlatego też w pracy pokazano kształtowanie się ceny biomasy dla poszczególnych roślin energetycznych z uwzględnieniem społecznej stopy dyskontowej (SDR) na poziomie 5,5% zalecanym przez Komisję Europejską⁵, stopy dyskontowej na poziomie 3% zalecanym przez EPA⁶ oraz stopy dyskontowej na poziomie 7,796% ustalonej przez Prezesa Urzędu Regulacji Energetyki (URE) w 2012 roku jako średni ważony koszt kapitału po opodatkowaniu⁷.

Kalkulacji kosztów produkcji biomasy z roślin energetycznych dokonano w perspektywie krótkookresowej oraz długookresowej. Perspektywa krótkookresowa uwzględniała w przypadku miskantusa i słazowca koszty do momentu pierwszego zbioru, tj. w drugim roku od założenia plantacji. W przypadku wierzby koszty oszacowano dla pierwszego zbioru po roku, po dwóch i trzech latach. W perspektywie długookresowej uwzględniono możliwie najkrótszy czas istnienia plantacji wieloletnich. Dla miskantusa i słazowca przyjęto 15 lat, natomiast dla wierzby – 20 lat.

Koszty zagospodarowania obszaru do produkcji biomasy rolnej z perspektywy całego województwa różniły się w zależności od rodzaju rośliny. Oczywiście wydaje się, że najmniej kosztowne jest zagospodarowanie koryt rzek pod uprawę wierzby, chociażby ze względu na powierzchnię zagospodarowanego terenu. Łączny koszt założenia plantacji wierzby oszacowano w wysokości 6,11 mln PLN, a koszt zbioru 617 tys. PLN rocznie. Coroczny koszt pielęgnacji w późniejszych latach przyjęto na poziomie 2,9 mln PLN (zob. tab. 31).

4 K. Havlíčková, J. Weger, J. Knápek, *Modeling of Biomass Prices for Bio-Energy Market in the Czech Republic*, "Stimulation Modelling Practice and Theory" 2011, 19, s. 1946–1956.

5 KE, Dyrekcja Generalna ds. Polityki Regionalnej, *Przewodnik do analizy kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Fundusze strukturalne, Fundusz Spójności oraz Instrument Przedakcesyjny*, Raport końcowy, 16.06.2008, s. 62.

6 M. Ligus, *Efektywność inwestycji w odnawialne źródła energii. Analiza kosztów i korzyści*, Wydawca CeDeWu Sp. z o.o., Warszawa 2012, s. 59.

7 URE, Departament Taryf, *Taryfy OSD na rok 2012 (dotyczy OSD, którzy dokonali z dniem 1 lipca 2007 r., rozdzielenia działalności)*, Warszawa 2011 (listopad), s. 11.

Koszt zasadzenia ślazuwca oszacowano oddzielnie dla nasion i sadzonek. Łączny koszt założenia plantacji w perspektywie całego województwa oszacowano na poziomie: dla nasion – 600,5 mln PLN oraz dla sadzonek – 717 mln PLN. Oszacowany koszt zbioru wyniósł 60,9 mln PLN. Koszt pielęgnacji w okresie długim ukształtował się na poziomie 286,6 mln PLN (zob. tab. 31).

Łączny koszt założenia plantacji miskantusa jest wyższy niż ślazuwca i wynosi 1,5 mld PLN. Łączny koszt zbioru przyjęto na takim samym poziomie, jak w przypadku ślazuwca. Coroczny koszt pielęgnacji wyniósł 259,7 mln PLN. Jest on niższy niż w przypadku ślazuwca o 26,9 mln PLN (zob. tab. 31).

Tabela 32. Zestawienie cen minimalnych dla plantacji wybranych roślin energetycznych

Długość plantacji	Cena minimalna [PLN/GJ]					
	miskantus	ślazowiec pensylwański		wierzba energetyczna		
		nasiona	sadzonki	zbiór co roku	zbiór co dwa lata	zbiór co trzy lata
Perspektywa krótkookresowa (dyskonto 7,796%)	54,49	52,57	57,63	53,96	31,63	19,35
Perspektywa krótkookresowa (dyskonto 5,5%)	57,53	52,32	57,33	53,96	31,49	19,20
Perspektywa krótkookresowa (dyskonto 3%)	53,65	52,05	57,00	53,96	31,32	19,03
Perspektywa długookresowa (dyskonto 7,796%)	25,13	34,00	35,06	22,93	18,73	13,37
Perspektywa długookresowa (dyskonto 5,5%)	23,28	33,39	34,31	22,45	18,32	13,07
Perspektywa długookresowa (dyskonto 3%)	22,31	32,79	33,59	21,97	17,91	12,77

Źródło: opracowanie własne.

Z analizy danych wynika, że w perspektywie krótkookresowej w okresie pierwszego zbioru wysokość oszacowanych cen minimalnych dla wybranych roślin energetycznych jest zbliżona przy zbiorze rocznym (tab. 32). Widoczna jest znaczna obniżka cen dla wierzby ze zbiorem po dwóch i trzech latach. W perspektywie

długookresowej najniższe ceny uzyskuje się dla wierzby energetycznej. Dość znacząco różni się cena dla ślazuwca pensylwańskiego. Wynika to z tego, że nasiona ślazuwca posiadają niską zdolność kiełkowania. Pomimo utrudnień związanych z rozmnażaniem miskantusa w warunkach klimatycznych Polski, roślina ta wydaje się konkurencyjna w porównaniu z wierzba energetyczną.

Zakładając, że rynek biomasy rolnej w województwie łódzkim jest monopsonem, to przedsiębiorstwo monopsonistyczne wytwarzające energię z biomasy, chcąc zmaksymalizować zysk, jest skłonne zapłacić rolnikowi dwie trzecie marży. Na tym etapie analiz założono, że rolnik sam dostarcza biomasę. Koszt transportu wymaga podjęcia dalszych analiz.

Z badań empirycznych przeprowadzonych w podrozdziale, dotyczących analizy ekonomicznej opłacalności upraw roślin energetycznych wynika, że oszacowana cena za MWh dla ślazuwca pensylwańskiego kształtuje się na poziomie 120,91–126,21 PLN/MWh w zależności od przyjętej stopy dyskontowej w okresie długim. Cena miskantusa zawiera się w przedziale 80,33–90,46 PLN/MWh, natomiast cena wierzby należy do przedziału 46–82 PLN/MWh. Uwzględniając jednostkę ciepła, oszacowana cena biomasy rolnej dla wybranych roślin energetycznych, w zależności od przyjętej stopy dyskontowej, wyniosła dla miskantusa 22,31–25,13 PLN/GJ, dla ślazuwca pensylwańskiego 32,79–35,06 PLN/GJ oraz dla wierzby energetycznej 12,77–22,93 PLN/GJ⁸.

Jeden z największych producentów energii w Polsce w 2013 roku⁹ zadeklarował, że ceny zakupu biomasy leśnej kształtowały się na poziomie 24,53 PLN/GJ, co stanowi 88,36 PLN/MWh, natomiast ceny zakupu biomasy pozaleśnej, w tym rolnej, wynosiły 22,90 PLN/GJ, tzn. 82,48 PLN/MWh. Analizując zadeklarowane ceny zakupu biomasy leśnej oraz pozaleśnej, stwierdza się, że opłacalność z perspektywy producenta energii z biomasy nie jest oczywista. Bardzo duży wpływ na wielkość zgłaszanego popytu na biomasę rolną mają ceny zielonych certyfikatów. Duży spadek ich cen pod koniec 2012 roku doprowadził w części do wycofania się energetyki zawodowej z zakupu biomasy na cele energetyczne. Producenci energii z biomasy są bardzo wrażliwi na wahania ceny tego instrumentu. Oszacowany dolny próg rentowności dotyczy tylko zagospodarowania ugorów oraz pozostałych użytków rolnych (użytków rolnych nieużytkowanych i nieutrzymywanych w dobrej kulturze rolnej) pod uprawy celowe, co tak naprawdę potwierdza real-

8 Średnia cena sprzedaży energii elektrycznej w 2013 roku wynosiła 181,55 PLN/MWh, w 2014 roku kształtowała się na poziomie 163,58 PLN/MWh, natomiast w 2015 roku – 169,99 PLN/MWh. Ceny sprzedaży ciepła kształtowały się na różnym poziomie w zależności od rodzaju wykorzystanego do produkcji paliwa. Cena ciepła w 2014 roku wynosiła 42,48 PLN/GJ dla paliw węglowych, 75,66 PLN/GJ dla paliw gazowych, 161,23 PLN/GJ dla paliw olejowych oraz 46,99 PLN/GJ dla odnawialnych źródeł. W roku 2015 ich poziom był zbliżony i kształtował się odpowiednio w takiej samej kolejności: 41,52 PLN/GJ, 75,24 PLN/GJ, 109,60 PLN/GJ, 46,44 PLN/GJ.

9 Zgodnie z umową nazwa spółki nie może zostać podana.

ność wykorzystania biomasy rolnej jako surowca energetycznego w energetyce rozproszonej, ale nie jako surowca pochodzącego z upraw celowych, tylko właśnie z odpadów produkcji rolnej. To one mogą bowiem stanowić źródło dodatkowego dochodu dla rolnika przy nieponoszeniu dodatkowych kosztów związanych z produkcją. Jest to rozwiązanie korzystne dla rolnika, w przeciwieństwie do zagospodarowania niewykorzystanej przestrzeni rolnej pod uprawy roślin energetycznych, co stanowi najdroższe z możliwych rozwiązań.

5.3. Podaż biomasy rolnej w województwie łódzkim w świetle badań własnych

5.3.1. Metodyka badania

Do badania podażowej strony regionalnych rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim posłużono się skategoryzowanym wywiadem kwestionariuszowym, przeprowadzanym telefonicznie na terenie województwa łódzkiego. Badanie zostało wykonane w 2014 roku. Sfinansowano je ze środków otrzymanych na realizację projektu „Analiza możliwości zaangażowania obszarów wiejskich w rozwój energetyki odnawialnej w województwie łódzkim – szacunek produkcji biomasy rolnej w gospodarstwach rolnych”, nr umowy 1/SMN/2013 w ramach „Stypendiów Naukowych Marszałka Województwa Łódzkiego dla wybitnych młodych naukowców”. Badaniem objęto gospodarstwa rolne prowadzące działalność produkcyjną o profilu roślinnym i/lub zwierzęcym. Próbkę wybrano losowo, z operatu do badań rolniczych. Rejestr ten został stworzony w Głównym Urzędzie Statystycznym na bazie wyników Powszechnego Spisu Rolnego z 2010 roku. Informacje o gospodarstwach rolnych zapisane w rejestrze aktualizowane są danymi ze źródeł administracyjnych oraz wynikami rolniczych badań reprezentacyjnych.

Zastosowano losowanie warstwowe, gdzie warstwy wydzielono według powierzchni użytków rolnych oraz liczby utrzymywanych zwierząt gospodarskich. Wewnątrz każdej warstwy przeprowadzono losowanie systematyczne poprzez wylosowanie gospodarstw w ilościach odwrotnie proporcjonalnych do struktury poszczególnych warstw w operacie. Przyjęta metoda losowania zapewnia reprezentatywność danych z gospodarstw o większych powierzchniach użytków rolnych i wyższych liczebnościach zwierząt gospodarskich. Liczebność próby ustalona została na 280 gospodarstw, co stanowi 0,18% badanej zbiorowości. W badaniu założono możliwość wystąpienia braków odpowiedzi, takich jak odmowa lub brak kontaktu, dlatego losowana próba była większa od docelowej. Założono stopień bra-

ku odpowiedzi na poziomie 30%. Wylosowano więc próbę o liczebności 364 gospodarstw. Przy takiej liczebności błąd losowy dla cechy typu frakcja nie powinien przekraczać 5 punktów procentowych. Oszacowanie to dotyczy losowania prostego i stanowi górną granicę błędu. Zastosowanie schematu losowania warstwowego w rezultacie pozwala osiągnąć precyzję lepszą niż losowanie proste.

Kwestionariusz składał się z części podstawowej i dodatkowej. Część pierwsza dotyczyła ogólnej charakterystyki gospodarstwa. Miała na celu rozpoznanie znajomości tematyki dotyczącej biomasy rolnej oraz zainteresowania produkcją roślin energetycznych, sklasyfikowanie rodzaju, ilości i kierunku przeznaczania biomasy występującej w gospodarstwie. Dodatkowo w zależności od sposobu wykorzystania biomasy rolnej przez respondenta, tzn. sprzedaży biomasy, wykorzystania na własne potrzeby energetyczne bądź braku zagospodarowania i wykorzystania w inny sposób niewymieniony wcześniej, w wywiadzie kwestionariuszowym uwzględniono trzy zestawy pytań adresowane do odpowiednich grup respondentów.

Wykorzystane metody statystyczne posłużyły do zgromadzenia i uporządkowania danych pozyskanych z przeprowadzonego wywiadu kwestionariuszowego. Dzięki nim wyciągnięto wnioski z wyodrębnionych cech i określono związki przyczynowo-skutkowe.

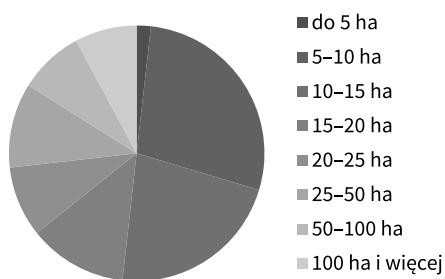
5.3.2. Charakterystyka potencjalnych producentów biomasy rolnej

Uzyskano łącznie 280 wywiadów kwestionariuszowych z rolnikami z województwa łódzkiego. Uzyskane odpowiedzi umożliwiły między innymi określenie powierzchni użytków rolnych, liczby osób pracujących w gospodarstwie, liczby posiadanego inwentarza, zarysu profilu produkcji i rodzajów uprawianych zbóż, zainteresowania uprawą roślin energetycznych, znajomości zagadnień związanych z pojęciem biomasy oraz kierunku wykorzystywania powstającej w gospodarstwie biomasy.

Połowę grupy badawczej stanowili respondenci posiadający gospodarstwa o powierzchni zasiewów do 15 ha użytków rolnych, w tym gospodarstwa rolne 5–10 ha powierzchni stanowiły 28% badanej próby, a gospodarstwa o powierzchni 10–15 ha użytków – 22% (rys. 13). Inne grupy obszarowe, czyli 15–20 ha, 20–25 ha oraz 25–50 ha, stanowiły odpowiednio 13%, 9% i 11% ogółu respondentów. Największe obszarowo gospodarstwa rolne, czyli o powierzchni ponad 50 ha, stanowiły 16% badanej próby. Najwięcej gospodarstw o powierzchni ponad 50 ha jest zlokalizowanych w powiecie kutnowskim, piotrkowskim, sieradzkim i wieruszowskim, natomiast najwięcej gospodarstw o powierzchni użytków rolnych do 15 ha odnotowano w powiecie łowickim, piotrkowskim, sieradzkim i tomaszowskim.

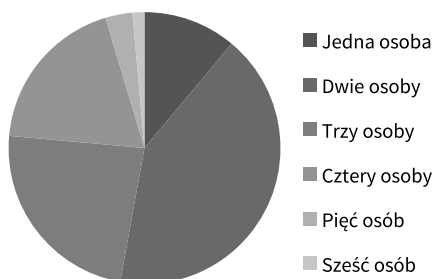
Na rys. 14 przedstawiono liczbę osób pracujących w gospodarstwie. Okazuje się, że w województwie łódzkim przeważają gospodarstwa z małą liczbą

osób zatrudnionych. Respondenci wykazali, że najczęściej w obejściu pracują dwie osoby. Grupa ta stanowi 41,6% ogółu odpowiedzi udzielonych przez rolników. Gospodarstwa rolne, w których pracowały trzy osoby, stanowiły 23,6% badanych podmiotów. Cztery osoby pracujące w gospodarstwie wykazało pięćdziesięciu trzech respondentów, co stanowi blisko 19% badanej próby. Tylko trzydzieści jeden gospodarstw (11,1%) obsługiwała jedna osoba. Dziewięć osób przyznało, że pracuje w gospodarstwie pięć osób (3,2%), natomiast w czterech przypadkach wskazano sześć osób pracujących w obejściu (1,4%). Respondenci przyznali, że zazwyczaj osobami pracującymi w gospodarstwach są członkowie rodzin. Załedwie w siedemnastu gospodarstwach (6,1%) zatrudniano pracowników najemnych.



Rysunek 13. Powierzchnia użytków rolnych gospodarstw województwa łódzkiego objętych badaniem

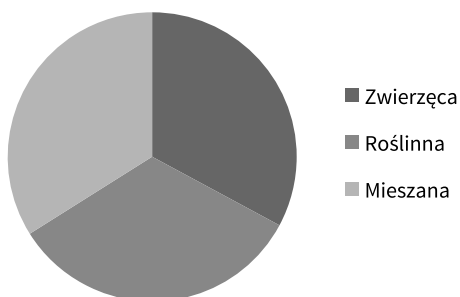
Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 14. Struktura odpowiedzi na pytanie: Ile osób pracuje w gospodarstwie rolnym?

Źródło: opracowanie własne.

Wśród badanych gospodarstw znajdowały się gospodarstwa prowadzące produkcję roślinną, zwierzęcą i mieszaną. Udział wymienionych profili produkcji w próbie jest zbliżony (rys. 15). Produkcja zwierzęca i mieszana jest prowadzona głównie w powiecie łowickim oraz piotrkowskim. Produkcja roślinna dominuje natomiast w powiecie sieradzkim.



Rysunek 15. Struktura odpowiedzi na pytanie: Jaki jest rodzaj produkcji gospodarstwa rolnego?
Źródło: opracowanie własne.

W produkcji zwierzęcej największy udział dotyczył drobiu. Jego udział w ogólnej liczbie inwentarza żywego wskazanego przez respondentów wyniósł 93%. Największa łączna produkcja drobiu jest w powiecie zgierskim (265,1 tys. szt.) (tab. 33). W tym samym regionie znajduje się największe pod względem produkcji drobiu gospodarstwo rolne (115 tys. szt.). Udział trzody chlewnej w ogólnej liczbie inwentarza żywego wyniósł 6%. Pozostałe rodzaje zwierząt gospodarskich, tzn. owce, konie, bydło, nie miały znaczącego udziału w ogóle produkcji zwierzęcej. Najwięcej trzody chlewnej znajduje się w powiecie piotrkowskim. Gospodarstwo rolne wykazujące się największą produkcją trzody chlewnej znajduje się w powiecie zgierskim. Największa łączna liczba bydła została odnotowana w powiecie sieradzkim. W powiecie tym jeden gospodarz posiada największą liczbę tych zwierząt w całej badanej próbie (200 szt.). Najwięcej koni hodowanych jest w powiecie zduńskowolskim, gdzie tylko w jednym gospodarstwie wykazano 55 sztuk tych zwierząt. Powiat sieradzki specjalizuje się w produkcji owiec. W tym regionie znajduje się również gospodarstwo produkujące ich najwięcej (3300 szt.).

Tabela 33. Liczba inwentarza żywego w gospodarstwach województwa łódzkiego objętych badaniem według powiatów [szt.]

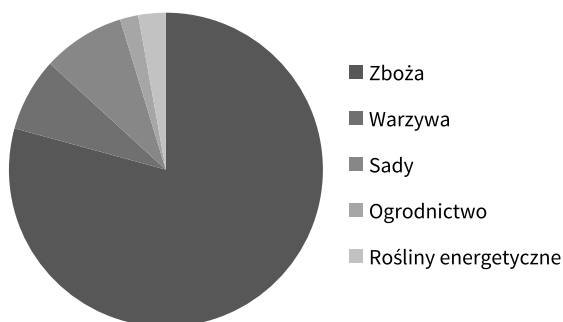
Powiat	Bydło	Owce	Konie	Drób	Trzoda chlewna	Pozostałe
1	2	3	4	5	6	7
Bełchatowski	82	0	0	26	460	0
Brzeziński	43	0	0	58	21	0
Kutnowski	230	0	0	80 140	206	0
Łaski	86	0	0	85	425	0
Łęczycki	83	0	0	151	57	0

Tab. 33 (cd.)

1	2	3	4	5	6	7
Łódzki wschodni	105	0	0	64 145	2 120	0
Łowicki	552	0	40	38 207	4 869	0
Łódzki	24	0	8	0	0	0
Łódź	0	0	0	0	0	0
Piotrków Trybunalski	0	0	3	0	0	0
Opoczyński	24	0	21	70	22	3
Pabianicki	100	18	12	10	630	0
Pajęczański	110	0	2	155	5	7
Piotrkowski	174	0	0	360	10 155	0
Poddębicki	131	0	0	11 211	2 167	1
Radomszczański	67	0	3	343	781	1
Rawski	20	0	0	100	10	352
Sieradzki	592	3 339	3	322	94	0
Skierniewicki	117	0	0	5 099	785	0
Tomaszowski	88	0	0	650	306	1
Wieluński	101	0	0	370	1 130	5
Wieruszowski	15	0	7	133	1 711	1
Zduńskowolski	7	0	55	20	45	0
Zgierski	123	45	0	265 095	2 500	0

Źródło: opracowanie własne.

Najwięcej gospodarstw wykazało jako podstawowy profil produkcji roślinnej uprawę zbóż. Na ten rodzaj upraw wskazało 79% ogółu respondentów (rys. 16). Znacznie mniejszy odsetek badanych zajmuje się uprawianiem warzyw (8%), sadownictwem (8%), uprawą roślin energetycznych (3%) oraz ogrodnictwem (2%). Biorąc pod uwagę uprawy rolne w Polsce w 2014 roku, gospodarstwa objęte badaniem wykazały się umiarkowaną produktywnością. Średni plon osiągany przez statystycznego rolnika z województwa łódzkiego objętego badaniem był niższy od poziomu średniej krajowej dla wszystkich przedstawionych powyżej gatunków upraw.

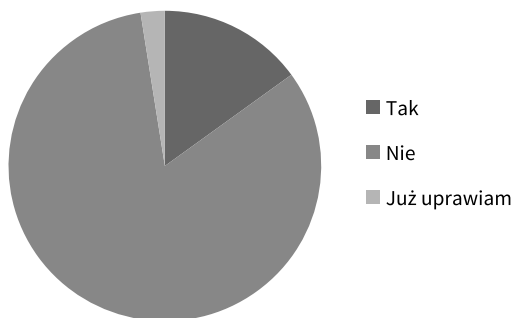


Rysunek 16. Rodzaj prowadzonej produkcji roślinnej w gospodarstwach rolnych objętych badaniem

Źródło: opracowanie własne.

W grupie respondentów znalazły się również gospodarstwa, które uprawiały rośliny energetyczne. Wśród roślin energetycznych uprawianych w województwie łódzkim wyróżniono wierzbę wiciową oraz ślázowca pensylwańskiego. Najmniejsza plantacja roślin energetycznych w województwie łódzkim miała powierzchnię 0,5 ha, natomiast największa 12 ha, na których uprawiano wierzbę energetyczną. Ślázowiec pensylwański jest uprawiany na 2 ha. Respondenci zadeklarowali, że plon ślázowca stanowi średnio 8 t/ha, natomiast wierzby energetycznej 20 t/ha.

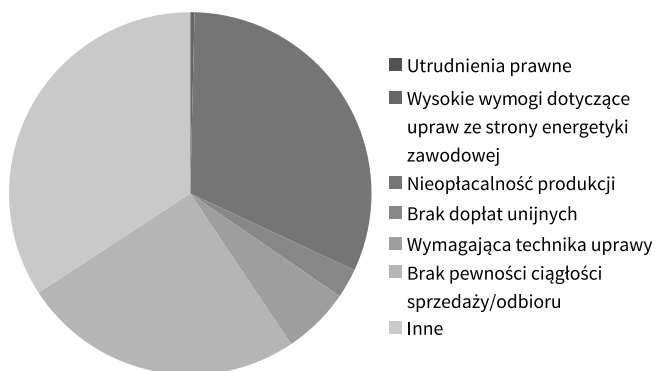
Zdecydowana większość respondentów (83%) wskazywała, że nie jest zainteresowana uprawą roślin energetycznych. Warto jednak podkreślić, że 15% badanych rolników wykazało chęć ich uprawy. Niestety, zaledwie 3% respondentów uprawia rośliny energetyczne. Najwięcej gospodarstw zainteresowanych produkcją roślin energetycznych znajduje się w powiecie piotrkowskim oraz sieradzkim. Największy brak zainteresowania takim rodzajem produkcji roślinnej wykazano w powiecie łowickim. Rośliny energetyczne uprawiane są już w powiecie łaskim, łęczyckim, łowickim, pączękańskim, zduńskowolskim i zgierskim.



Rysunek 17. Struktura odpowiedzi na pytanie: Czy jest Pani/Pan zainteresowana/-y uprawą roślin energetycznych?

Źródło: opracowanie własne.

Do najczęstszych powodów braku zainteresowania uprawą roślin energetycznych zaliczono: nieopłacalność produkcji (32% respondentów), brak pewności ciągłości sprzedaży/odbioru (25%) oraz inne (34%). W kategorii „inne” respondenci najczęściej wymieniali: „inny profil gospodarstwa”, „niewystarczający areal produkcyjny”, „brak znajomości tematu”, „brak zbytu”, „brak zainteresowania tematem”, „brak wiedzy na temat opłacalności i możliwości sprzedaży”, „bardzo uciążliwą uprawę i trudną do likwidacji, np. w przypadku wierzby”, „słabe lub za dobre gleby”, „brak rąk do pracy”. Wymagającą technikę uprawy wskazało 6% respondentów niewykazujących zainteresowania uprawą roślin energetycznych. Natomiast ani wysokie wymagania dotyczące jakości upraw ze strony energetyki zawodowej, ani utrudnienia prawne czy brak dopłat unijnych nie stanowią znaczącej bariery (rys. 18).



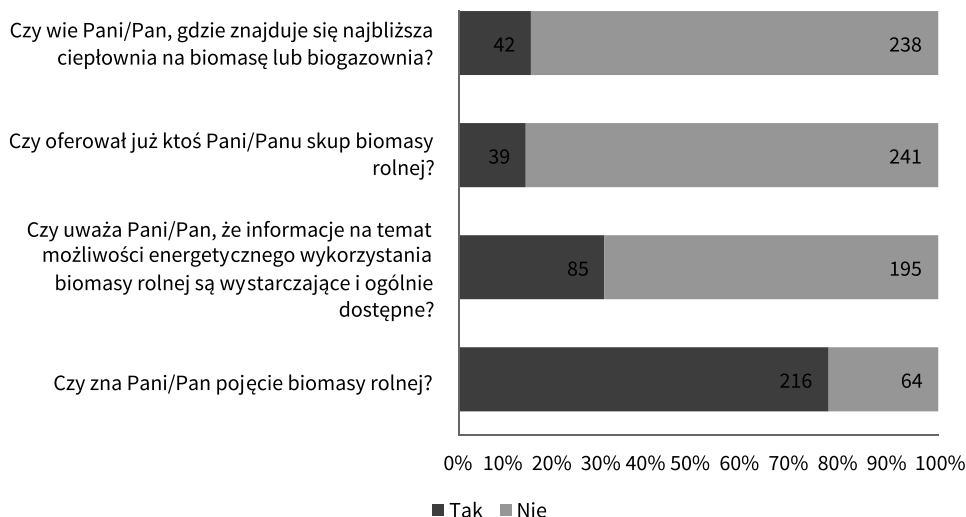
Rysunek 18. Struktura odpowiedzi na pytanie: Dlaczego nie jest Pani/Pan zainteresowana/-y uprawą roślin energetycznych?

Źródło: opracowanie własne.

Warto podkreślić, że najwięcej respondentów z powiatu łowickiego oraz sieradzkiego wykazało, że głównymi przyczynami braku zainteresowania uprawą roślin energetycznych jest nieopłacalność produkcji oraz brak pewności ciągłości odbioru surowca.

Większość rolników objętych badaniem (77%) wykazała, że zna pojęcie biomasy rolnej. Przyznali natomiast, że informacje na temat możliwości jej energetycznego wykorzystania są niewystarczające. Taką opinię wyraziło 69% respondentów. Przeważająca część respondentów (85%) nie wie, gdzie znajduje się najbliższa ciepłownia na biomasę bądź biogazownia. Blisko 86% rolników oświadczyło, że nikt nie oferował im skupu biomasy rolnej (rys. 19).

Pojęcie biomasy rolnej najlepiej znają mieszkańcy powiatu łowickiego, piotrkowskiego i sieradzkiego. Skup biomasy rolnej był oferowany przede wszystkim w powiatach piotrkowskim, kutnowskim oraz łaskim. Najwięcej respondentów znających najbliższe położenie elektrowni na biomasę bądź biogazowni znajduje się w powiatach łęczyckim oraz piotrkowskim.



Rysunek 19. Stan wiedzy respondentów odnośnie zagadnienia biomasy rolnej
Źródło: opracowanie własne.

Biomasa rolna sprzedawana jest najczęściej przez rolników zamieszkujących powiat łaski. W powiecie sieradzkim jest ona wykorzystywana przede wszystkim jako surowiec energetyczny na własne potrzeby rolnika. Najwięcej respondentów (94%), przyznało, że wykorzystuje biomasę rolną w „inny sposób”. Niewielka grupa (13%) wykazała, że sprzedaje biomasę rolną powstającą w gospodarstwie. Na potrzeby energetyczne wykorzystuje ją zaledwie 4% respondentów. Natomiast w 2,5% gospodarstw biomasa zalega niewykorzystywana (tab. 34).

Tabela 34. Struktura odpowiedzi na pytanie: W jaki sposób wykorzystuje Pani/Pan biomasę rolną?*

Wyszczególnienie	Liczba respondentów	Udział
Sprzedaję	36	13,0%
Na potrzeby energetyczne	11	4,0%
Nic nie robię (tzn. zalega w gospodarstwie)	7	2,5%
Inne	264	94,0%

* Udziały nie sumują się do 100%, pytanie wielokrotnego wyboru.
Źródło: opracowanie własne.

Biomasę rolną zalegającą w gospodarstwie posiadają respondenci z powiatów bełchatowskiego, kutnowskiego, łaskiego, piotrkowskiego, sieradzkiego, skierniewickiego oraz zgierskiego (tab. 35). W tej grupie respondentów znalazły się dwa gospodarstwa o dużej powierzchni, posiadające 52 ha i 105 ha. Większość gospodarstw

prowadziła produkcję roślinną bądź mieszaną. Jedno gospodarstwo zajmowało się sadownictwem. Czterech rolników wyraziło zainteresowanie uprawą roślin energetycznych. Był wśród nich właściciel gospodarstwa o powierzchni 105 ha.

Tabela 35. Charakterystyka gospodarstw rolnych, w których biomasa rolna zalega w gospodarstwie

Numer respondenta	Powiat	Zainteresowanie uprawą roślin energetycznych	Rodzaj produkcji	Powierzchnia gospodarstwa	Ilość inwentarza
6	bełchatowski	tak	sadownictwo	7,67	0
28	kutnowski	tak	roślinna	105,20	0
34	łaski	nie	roślinna	20,42	30 szt. drobiu
134	piotrkowski	nie	mieszana	52,00	1 201 szt. trzody chlewnej
183	sieradzki	tak	roślinna	10,50	0
225	skierniewicki	nie	roślinna	13,78	0
276	zgierski	tak	roślinna	6,50	0

Źródło: opracowanie własne.

W kategorii „inny sposób” wykorzystywania biomasy znalazły się takie odpowiedzi, jak: „ściółka”, „pasza dla inwentarza żywego”, „nawóz”, „kompost”. W tab. 36 przedstawiono wskazane przez respondentów odpowiedzi. Biomasa rolna występująca w gospodarstwie jest wykorzystywana jako ściółka, pasza i nawóz przede wszystkim w powiecie łowickim. Dodatkowo w powiecie piotrkowskim oraz sieradzkim największa liczba rolników wykorzystuje biomasę rolną jako nawóz.

Tabela 36. Struktura odpowiedzi na pytanie: W jaki inny sposób wykorzystuje Pani/Pan biomasę rolną?*

Wyszczególnienie	Liczba respondentów	Udział
Służy jako ściółka	173	62,0%
Służy jako pasza dla inwentarza żywego	132	47,0%
Służy jako nawóz na pole	246	88,0%
Jest kompostowana	7	2,5%
W inny sposób	23	8,0%

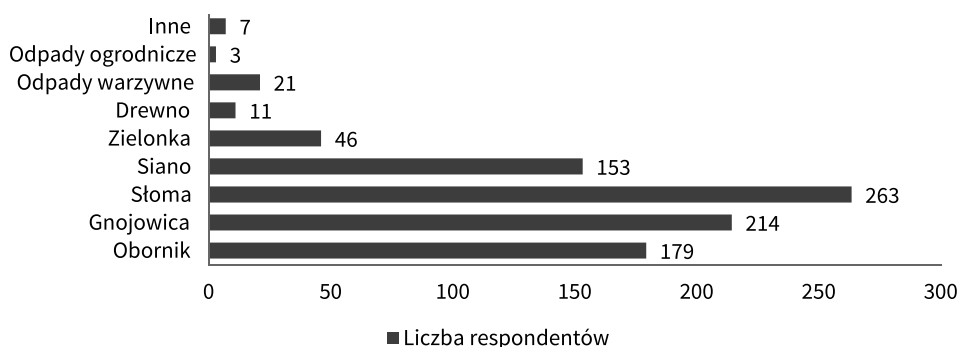
* Udziały nie sumują się do 100%, pytanie wielokrotnego wyboru.

Źródło: opracowanie własne.

Okazuje się, że 94% respondentów wykorzystuje biomasę rolną powstałą w gospodarstwie na potrzeby własne, to jest jako nawóz (88%), ściółkę (62%), paszę dla inwentarza żywego (47%) oraz kompost (2,5%). Dodatkowo 8% respondentów z tej grupy wymieniło inne rodzaje wykorzystania biomasy rolnej. Najczęściej można było spotkać odpowiedzi, takie jak: „wymianę biomasy na obornik”, „siano jest zabierane przez sąsiadów”, „wymiana siana za pomoc w gospodarstwie”, „wymiana siana i zielonki na obornik i prace agrotechniczne w gospodarstwie”, „odpady ziemniaczane za pomoc przy zbiorach”, „słoma i ziarno oddawane za usługi maszynowe przy zbiorze ziemniaków”, „gałęzie rozdrabniane w sadzie”, „resztki ogrodnicze zostają spalone”, „odbiór odpadów warzywnych przez sąsiadów w zamian za pomoc w gospodarstwie”, „jako forma zapłaty za pomoc w gospodarstwie”.

5.3.3. Potencjał energetyczny biomasy rolnej w badanej grupie gospodarstw

Struktura powstającej biomasy rolnej w badanych gospodarstwach rolnych została przedstawiona na rys. 20. Blisko 64% respondentów zadeklarowało, że występującą w gospodarstwie biomasą rolną jest obornik. Gnojowica została wskazana przez 76% rolników. Największa grupa respondentów (94%) posiada słomę. Obecność biomasy rolnej występującej w postaci siana została zadeklarowana przez 55% gospodarstw rolnych objętych badaniem. Wyraźnie mniejsza grupa respondentów wymieniła zielonkę (16%), drewno (4%), odpady warzywne (7%), odpady ogrodnicze (1%) oraz inne (2%). W kategorii „inne” rolnicy wymienili odpady ziemniaczane i wierzbę wiciową.



Rysunek 20. Struktura odpowiedzi na pytanie: Jaki rodzaj biomasy rolnej występuje u Pani/Pana w gospodarstwie?
Źródło: opracowanie własne.

W województwie łódzkim jako biomasa rolna powstająca w gospodarstwach najczęściej występuje obornik, gnojowica, słoma i siano. W trakcie przeprowa-

dzonych badań najwięcej gospodarstw rolnych posiadających obornik i siano odnotowano w powiatach łowickim oraz sieradzkim. Najwięcej gnojowicy wykazano w powiatach łowickim i piotrkowskim, zaś słomy w powiatach łowickim, piotrkowskim oraz sieradzkim. Zielonka jest popularna w powiecie kutnowskim i łowickim. Pozostałe rodzaje biomasy rolnej, tzn. drewno, odpady warzywne i ogrodnicze oraz inne stanowiły niewielki odsetek tego surowca w badanych gospodarstwach.

Z informacji uzyskanych w badaniach wynika, że gospodarstwa produkują średnio 183,1 ton obornika rocznie. Wartość mediany znajduje się poniżej średniej (100), co oznacza, że więcej niż połowa gospodarstw produkuje mniej niż 183 ton/rok obornika. Połowa respondentów w swoich gospodarstwach produkuje nie więcej niż 100 ton obornika rocznie, z czego najwięcej respondentów należących do tej grupy wytwarza w swoich gospodarstwach 60 ton. Jedno gospodarstwo maksymalnie wytwarza 1500 ton rocznie tego rodzaju biomasy, natomiast przedsiębiorstwo o najmniejszej ilości produkcji biomasy wytwarzało zaledwie tonę.

Największą produkcję obornika odnotowano w powiatach łowickim, zgierskim, sieradzkim, kutnowskim oraz wieluńskim. Łączny potencjał energetyczny obornika w województwie łódzkim (na podstawie deklaracji ankietowanych) wyniósł 300,5 TJ. Najwyższą wydajnością produkcji charakteryzowały się powiaty: zgierski, rawski, łowicki. Najwyższym potencjałem energetycznym wykazały się powiaty: łowicki, sieradzki i zgierski.

Tabela 37. Produkcja oraz potencjał energetyczny obornika z gospodarstw rolnych objętych badaniem w województwie łódzkim

Powiat	Produkcja	Liczba gospodarstw rolnych	Wydajność [t/rok]	Potencjał energetyczny [TJ]
1	2	3	4	5
Bełchatowski	720	6	120,0	7,1
Brzeziński	154	4	38,5	1,5
Kutnowski	2 305	18	128,1	22,6
Łaski	1 003	10	100,3	9,8
Łęczycki	905	16	56,6	8,9
Łódzki wschodni	1 200	7	171,4	11,8
Łowicki	7 594	38	199,8	74,5
Łódzki	120	1	120,0	1,2
Łódź	0	1	0	0
Piotrków Trybunalski	20	1	20,0	0,2

1	2	3	4	5
Opoczyński	200	6	33,3	2,0
Pabianicki	0	8	0	0,0
Pajęczański	845	7	120,7	8,3
Piotrkowski	1 140	28	40,7	11,2
Poddębicki	0	13	0	0
Radomszczański	704	13	54,1	6,9
Rawski	810	3	270,0	7,9
Sieradzki	3 714	33	112,5	36,4
Skierniewicki	1 233	13	94,8	12,1
Tomaszowski	1 066	15	71,1	10,5
Wieluński	1 761	11	160,1	17,3
Wieruszowski	560	9	62,2	5,5
Zduńskowolski	1 240	4	310,0	12,2
Zgierski	3 320	15	221,3	32,6

Źródło: opracowanie własne.

Objęte badaniami gospodarstwa produkują średnio 723,1 ton gnojowicy rocznie. Wartość mediany wynosi 200, co oznacza, że u połowy respondentów produkuje się rocznie nie więcej niż 200 ton gnojowicy. Najwięcej respondentów należących do tej grupy wytwarza w swoich gospodarstwach 80 ton rocznie. Jedno gospodarstwo produkuje maksymalnie 10 000 ton rocznie tego rodzaju biomasy, natomiast minimalna produkcja stanowi zaledwie 2 tony.

Tabela 38. Produkcja oraz potencjał energetyczny gnojowicy z gospodarstw rolnych objętych badaniem w województwie łódzkim

Powiat	Produkcja	Liczba gospodarstw rolnych	Wydajność [t/rok]	Potencjał energetyczny [TJ]
1	2	3	4	5
Bełchatowski	240	6	40,0	2,3
Brzeziński	700	4	175,0	6,9
Kutnowski	590	18	32,8	5,8
Łaski	580	10	58,0	5,7

Tab. 38 (cd.)

1	2	3	4	5
Łęczycki	32	16	2,0	0,3
Łódzki wschodni	3 020	7	431,4	29,6
Łowicki	10 780	38	283,7	105,8
Łódzki	0	1	0	0
Łódź	0	1	0	0
Piotrków Trybunalski	0	1	0	0
Opoczyński	70	6	11,7	0,7
Pabianicki	3 110	8	388,7	30,5
Pajęczański	40	7	5,7	0,4
Piotrkowski	17 100	28	610,7	167,8
Poddębicki	300	13	23,1	2,9
Radomszczański	804	13	61,8	7,9
Rawski	0	3	0	0
Sieradzki	21 354	33	647,1	209,6
Skierniewicki	0	13	0	0
Tomaszowski	430	15	28,7	4,2
Wieluński	305	11	27,7	3,0
Wieruszowski	3 370	9	374,4	33,1
Zduńskowolski	40	4	10,0	0,4
Zgierski	1 005	15	67,0	9,9

Źródło: opracowanie własne.

Z danych zawartych w tab. 38 wynika, że najwięcej gnojowicy produkowano w powiatach sieradzkim, piotrkowskim oraz łowickim. Dwa z wymienionych powiatów, sieradzki i piotrkowski, wykazały się ponadto największą wydajnością produkcji tego rodzaju biomasy rolnej. Łączny potencjał energetyczny gnojowicy w województwie łódzkim (na podstawie deklaracji ankietowanych) wyniósł 626,8 TJ. Z przeprowadzonych badań wynika, że najwyższy potencjał energetyczny mają powiaty sieradzki i piotrkowski.

Analizując potencjał teoretyczny biogazu w powiatach województwa łódzkiego, wnioskuje się, że wyniki pokrywają się z oszacowanym potencjałem gnojowicy

i obornika z gospodarstw rolnych objętych badaniem. Najwyższy teoretyczny potencjał wykazały powiaty łowicki, piotrkowski i sieradzki. Wysoki potencjał za-
uważono również w powiecie kutnowskim¹⁰.

Tabela 39. Teoretyczny potencjał energetyczny biogazu z odpadów produkcji zwierzęcej
w powiatach województwa łódzkiego

Powiat	Potencjał energetyczny [TJ]			
	bydło	trzoda chlewna	drób	łącznie
Bełchatowski	118,0	69,2	2,6	189,8
Brzeziński	54,7	57,6	2,7	115,0
Kutnowski	331,1	104,4	25,2	460,7
Łaski	144,2	38,7	4,2	187,1
Łęczycki	363,4	38,2	7,1	408,7
Łowicki	661,6	238,0	27,2	926,8
Łódzki wschodni	62,1	249,0	14,6	325,7
Opoczyński	217,1	42,1	1,9	261,2
Pabianicki	97,7	31,7	11,2	140,6
Pajęczański	113,5	41,6	19,3	174,4
Piotrkowski	260,9	447,4	10,3	718,7
Poddębicki	343,2	59,8	3,7	406,7
Radomszczański	204,2	131,8	4,7	340,6
Rawski	55,8	55,1	5,4	116,3
Sieradzki	533,0	149,6	12,2	694,8
Skierniewicki	155,2	104,7	9,5	269,3
Tomaszowski	219,3	128,3	13,7	361,2
Wieluński	141,7	124,8	4,7	271,2
Wieruszowski	80,5	113,7	2,2	196,5
Zduńskowolski	58,4	30,7	3,1	92,1
Zgierski	210,2	49,4	17,5	277,1

Źródło: opracowanie własne.

10 Po zsumowaniu łącznego teoretycznego potencjału energetycznego biogazu w powiatach województwa łódzkiego, jego wartość może nieznacznie różnić się od oszacowanego teoretycznego potencjału biogazu w rozdziale trzecim pracy, ze względu na zaobserwowane zmiany w ilościach posiadanego inwentarza żywego w województwie.

W gospodarstwach rolnych objętych badaniem wytwarza się średnio 83,4 tony słomy rocznie. Połowa respondentów wytwarza nie więcej niż 30 ton tego surowca rocznie. Jedno gospodarstwo wytwarza maksymalnie 700 ton słomy rocznie, natomiast najmniejsza produkcja tego surowca wynosiła 2 tony.

Tabela 40. Produkcja oraz potencjał energetyczny słomy z gospodarstw rolnych objętych badaniem w województwie łódzkim

Powiat	Produkcja	Liczba gospodarstw rolnych	Wydajność [t/rok]	Potencjał energetyczny [TJ]
Bełchatowski	248	6	41,3	3,2
Brzeziński	602	4	150,5	7,8
Kutnowski	1 995	18	110,8	25,9
Łaski	914	10	91,4	11,9
Łęczycki	517	16	32,3	6,7
Łódzki wschodni	956	7	136,6	12,4
Łowicki	2 020	38	53,2	26,3
Łódzki	32	1	32,0	0,4
Łódź	5	1	5,0	0,06
Piotrków Trybunalski	10	1	10,0	0,1
Opoczyński	588	6	98,0	7,6
Pabianicki	646	8	80,7	8,4
Pajęczański	175	7	25,0	2,3
Piotrkowski	2 404	28	85,9	31,2
Poddębicki	401	13	30,5	5,2
Radomszczański	847	13	65,1	11,0
Rawski	295	3	98,3	3,8
Sieradzki	2 234	33	67,7	29,0
Skierniewicki	820	13	63,1	10,7
Tomaszowski	1 012	15	67,5	13,2
Wieluński	1 061	11	96,4	13,8
Wieruszowski	1 742	9	193,5	22,6
Zduńskowolski	607	4	151,75	7,9
Zgierski	1 186	15	79,1	15,4

Źródło: opracowanie własne.

Analiza obejmująca region łódzki wykazała, że najwięcej słomy produkuje się w powiatach piotrkowskim, sieradzkim, łowickim oraz kutnowskim. Łączna produkcja słomy w województwie łódzkim na podstawie deklaracji ankietowanych wyniosła 21,3 tys. ton rocznie, dając tym samym potencjał energetyczny wynoszący 276,9 TJ. Najwyższą wydajnością produkcji słomy charakteryzowały się powiaty: brzeziński, łódzki wschodni, wieruszowski i zduńskowolski. Najwyższym potencjałem energetycznym wykazały się natomiast powiaty kutnowski, łowicki, piotrkowski, sieradzki i wieruszowski.

Tabela 41. Oszacowanie produkcji słomy oraz teoretyczne zgłaszane zapotrzebowanie na słomę na ściółkę, paszę oraz przeoranie w powiatach województwa łódzkiego [t]¹¹

Powiat	Produkcja słomy zbóż podstawowych i rzepaku	Zapotrzebowanie na słomę ściółkową	Zapotrzebowanie na słomę na paszę	Zapotrzebowanie na słomę do przeorania	Ilość słomy
1	2	3	4	5	6
Bełchatowski	60 831,16	18 572,5	11 727,8	220 008,90	-189 478,0
Brzeziński	61 170,78	11 529,7	5 057,2	160 558,20	-115 974,0
Kutnowski	146 130,30	38 760,7	30 557,8	301 444,30	-224 632,0
Łaski	67 733,95	16 588,2	13 809,8	123 594,30	-86 258,3
Łęczycki	102 984,40	32 524,7	32 968,8	111 522,80	-74 031,9
Łowicki	146 396,30	81 663,9	62 492,4	881 404,00	-879 164,0
Łódzki wschodni	63 792,89	35 836,0	6 163,8	795 879,20	-774 086,0

11 Nadwyżka słomy do alternatywnego (energetycznego) wykorzystania została obliczona za pomocą wzoru: $N = P - (S + P + N)$ [t], gdzie N – nadwyżka słomy, S – zapotrzebowanie na słomę na ściółkę, P – zapotrzebowanie na słomę na paszę, N – zapotrzebowanie na słomę do przeorania. Produkcję słomy obliczono za pomocą wzoru 23. Zapotrzebowanie na słomę na ściółkę wyznaczono na podstawie: $S = \sum_{i=1}^n q_i s_i$, zapotrzebowanie na słomę na paszę wyznaczono na podstawie: $P = \sum_{i=1}^n q_i p_i$, gdzie q_i – pogłowie i -tego gatunku i grupy użytkowej, s_i – normatyw zapotrzebowania na słomę na ściółkę i -tego gatunku i grupy użytkowej, p_i – zapotrzebowanie na słomę na paszę i -tego gatunku i grupy użytkowej. Zapotrzebowanie na słomę do przeorania wyznaczono na podstawie: $N = 1,54 \times S$, gdzie $S = \sum_{i=1}^n r_i w_{ri} + \sum_{i=1}^n d_i w_{di} + \sum_{i=1}^n q_i o_i$, r_i – powierzchnia grup roślin zwiększających substancje organiczne, d_i – powierzchnia grup roślin zmniejszających substancje organiczne, w_{ri} – współczynnik reprodukcji substancji organicznej dla danej grupy roślin, w_{di} – współczynnik degradacji substancji organicznej dla danej grupy roślin, q_i – pogłowie inwentarza żywego w sztukach fizycznych według gatunków i grup wiekowych, o_i – normatywy produkcji obornika w t/rok według gatunków. Zob. B. Kościk, *Zasoby słomy i siana na cele energetyczne gminy Łaszczków*, „Ekonomia i Środowisko” 2011, nr 2, s. 158–174.

Tab. 41 (cd.)

1	2	3	4	5	6
Opoczyński	89 600,11	24 041,0	21 997,6	142 929,30	-99 367,8
Pabianicki	49 345,56	12 256,9	9 764,4	100 928,30	-73 604,0
Pajęczański	85 212,12	14 660,3	10 849,4	102 704,70	-43 002,3
Piotrkowski	190 091,10	76 433,1	25 403,6	1 419 902,00	-1 331 648,0
Poddębicki	122 878,70	34 119,4	31 298,8	199 551,10	-142 091,0
Radomszczański	133 786,20	33 505,8	19 445,4	379 516,60	-298 682,0
Rawski	54 786,39	11 831,2	5 461,4	147 531,90	-110 038,0
Sieradzki	181 345,00	58 447,7	46 310,0	424 130,30	-347 543,0
Skierniewicki	98 887,81	26 355,1	15 128,4	306 099,60	-248 695,0
Tomaszowski	115 506,50	34 502,2	21 484,4	403 619,90	-344 100,0
Wieluński	117 748,30	27 183,0	12 951,2	318 863,50	-241 249,0
Wieruszowski	80 834,62	20 448,3	7 142,0	328 645,70	-275 401,0
Zduńskowolski	44 601,40	8 510,7	5 362,6	83 854,36	-53 126,3
Zgierski	86 686,67	23 029,3	19 630,0	155 179,60	-111 152,0

Źródło: opracowanie własne.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że w powiatach województwa łódzkiego występuje deficyt słomy, dlatego pomimo wysokiego potencjału energetycznego tego surowca, nie powinno się go traktować jako potencjalny surowiec energetyczny. Znajduje to również potwierdzenie w przeprowadzonych wywiadach kwestionariuszowych. Respondenci wykazali brak nadwyżek słomy do energetycznego wykorzystania.

W gospodarstwach rolników objętych badaniem produkuje się średnio 19,7 ton siana rocznie. Połowa gospodarstw produkuje jednak nie więcej niż 10 ton siana rocznie. Jedno gospodarstwo wytwarza maksymalnie 200 ton rocznie tego rodzaju biomasy, natomiast najmniejsza produkcja siana w gospodarstwie to zaledwie 0,2 tony.

W regionie łódzkim najwięcej siana wytwarza się w powiatach łowickim, poddębickim oraz sieradzkim. Łączna produkcja siana w województwie łódzkim wyniosła 3026,6 ton rocznie, dając tym samym potencjał energetyczny¹² na poziomie

12 Wartość energetyczną siana przyjęto na poziomie 18,71 GJ/t, [za:] M. Grzelak, B. Waliszewska, *Wartość energetyczna pelletu z łąk nadnoteckich ekstensywnie użytkowanych*, „Nauka Przyroda Technologie” 2010, t. 4, z. 1.

56,6 TJ. Najwyższą wydajnością produkcji charakteryzowały się powiaty: bełchatowski, pajęczański oraz zduńskowolski. Najwyższym potencjałem energetycznym wykazały się powiaty bełchatowski, łowicki i poddębicki. Natomiast najwyższy teoretyczny potencjał siana wykazano w powiatach sieradzkim, radomszczańskim, poddębickim, opoczyńskim oraz łódzkim wschodnim.

Tabela 42. Produkcja i potencjał energetyczny siana z gospodarstw rolnych objętych badaniem w województwie łódzkim oraz teoretyczny potencjał energetyczny siana

Powiat	Produkcja	Liczba gospodarstw rolnych	Wydajność [t/rok]	Potencjał energetyczny [TJ]	Teoretyczny potencjał energetyczny [TJ]
Bełchatowski	212,0	6	35,3	4,00	65,9
Brzeziński	36,0	4	9,0	0,70	7,3
Kutnowski	188,1	18	10,4	3,50	35,2
Łaski	109,0	10	10,9	2,00	52,4
Łęczycki	56,8	16	3,5	1,10	73,1
Łódzki wschodni	71,0	7	10,1	1,30	82,1
Łowicki	463,0	38	12,2	8,70	20,6
Łódzki	17,0	1	17,0	0,30	–
Łódź	14,0	1	14,0	0,30	–
Piotrków Trybunalski	2,0	1	2,0	0,04	–
Opoczyński	118,5	6	19,7	2,20	82,5
Pabianicki	127,2	8	15,9	2,40	40,5
Pajęczański	181,0	7	25,8	3,40	51,4
Piotrkowski	151,0	28	5,4	2,80	70,0
Poddębicki	229,4	13	17,6	4,30	88,5
Radomszczański	115,3	13	8,9	2,20	98,8
Rawski	8,8	3	2,9	0,20	21,4
Sieradzki	297,3	33	9,0	5,60	104,4
Skierniewicki	108,7	13	8,4	2,00	25,0
Tomaszowski	57,4	15	3,8	1,10	41,1
Wieluński	80,0	11	7,3	1,50	47,6
Wieruszowski	65,0	9	7,2	1,20	31,0
Zduńskowolski	200,0	4	50,0	3,70	21,7
Zgierski	118,1	15	7,9	2,20	45,0

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 43. Produkcja oraz potencjał energetyczny zielonki z gospodarstw rolnych objętych badaniem w województwie łódzkim

Powiat	Produkcja	Liczba gospodarstw rolnych	Wydajność [t/rok]	Potencjał energetyczny ¹³ [TJ]
Bełchatowski	830	6	138,3	11,2
Brzeziński	0	4	0	0
Kutnowski	1 290	18	71,7	17,5
Łaski	460	10	46,0	6,2
Łęczycki	160	16	10,0	2,2
Łódzki wschodni	0	7	0	0
Łowicki	1 485	38	39,1	20,1
Łódzki	0	1	0	0
Łódź	200	1	200,0	2,7
Piotrków Trybunalski	0	1	0	0
Opoczyński	450	6	75,0	6,1
Pabianicki	370	8	46,2	5,0
Pajęczański	45	7	6,4	0,6
Piotrkowski	120	28	4,3	1,6
Poddębicki	110	13	8,5	1,5
Radomszczański	0	13	0	0
Rawski	0	3	0	0
Sieradzki	1 590	33	48,2	21,5
Skierniewicki	68	13	5,2	0,9
Tomaszowski	260	15	17,3	3,5
Wieluński	0	11	0	0
Wieruszowski	0	9	0	0
Zduńskowolski	0	4	0	0
Zgierski	1 290	15	86,0	17,5

Źródło: opracowanie własne.

Respondenci wykazali średnią produkcję zielonki na poziomie 200,6 ton rocznie. Połowa z nich produkuje nie więcej niż 127,5 ton zielonki rocznie, przy czym najwięcej respondentów należących do tej grupy wytwarza 150 ton rocznie. Maksymalna produkcja zielonki w jednym gospodarstwie to 800 ton. Najmniejsza ilość tego rodzaju biomasy powstająca w gospodarstwie to zaledwie 10 ton.

13 Biogaz stanowi energetyczne zastosowanie zielonki.

W powiatach kutnowskim, łowickim, sieradzkim i zgierskim odnotowano największą produkcję zielonki. W województwie łódzkim łącznie wyprodukowano jej 8728 ton rocznie, przy czym teoretyczny potencjał energetyczny wyniósł 118,2 TJ. Najwyższą wydajnością produkcji charakteryzowały się powiaty bełchatowski i Łódź. Najwyższym potencjałem energetycznym wykazały się natomiast powiaty kutnowski, łowicki, sieradzki oraz zgierski.

Dodatkowo oszacowano potencjał drewna zadeklarowanego przez respondentów. Analizowane gospodarstwa produkują średnio 5,9 tony drewna rocznie. Połowa respondentów produkuje rocznie nie więcej niż 2 tony drewna. Rozpiętość tej produkcji wynosi maksymalnie do 35 ton.

5.3.4. Charakterystyka gospodarstw rolnych ze względu na sposób użytkowania biomasy rolnej

Kwestionariusz wywiadu został podzielony na trzy zestawy pod kątem zadeklarowanego kierunku wykorzystywanej w gospodarstwie biomasy rolnej. Zestaw pierwszy dedykowany był respondentom, którzy sprzedają biomasę rolną powstałą w gospodarstwie. Zestaw drugi obejmował grupę gospodarstw rolnych wykorzystujących biomasę na własne potrzeby energetyczne. Natomiast zestaw trzeci dotyczył respondentów, którzy wykazali inny sposób zagospodarowania biomasy rolnej.

Zestaw pierwszy trafił do trzydziestu sześciu respondentów, którzy wykazali sprzedaż biomasy rolnej powstającej w gospodarstwie. Grupę tę stanowiło 12,5% objętych badaniem gospodarstw, znajdujących się w powiatach bełchatowskim, brzezińskim, łaskim, łączyckim, łowickim, pabianickim, pajęczańskim, piotrkowskim, poddębickim, radomszczańskim, sieradzkim, skierniewickim, tomaszowskim, wieruszowskim i zgierskim.

Tabela 44. Charakterystyka gospodarstw rolnych sprzedających biomasę rolną

Numer respondenta	Powiat	Zainteresowanie uprawą roślin energetycznych	Rodzaj produkcji	Powierzchnia gospodarstwa	Ilość inwentarza
1	2	3	4	5	6
2	bełchatowski	tak	roślinna	17,20	0
9	brzeziński	nie	mieszana	96,00	300 szt. trzody chlewnej
17	kutnowski	nie	roślinna	37,00	0
29	łaski	tak	zwierzęca	23,20	18 szt. bydła
30	łaski	nie	mieszana	7,06	15 szt. trzody chlewnej

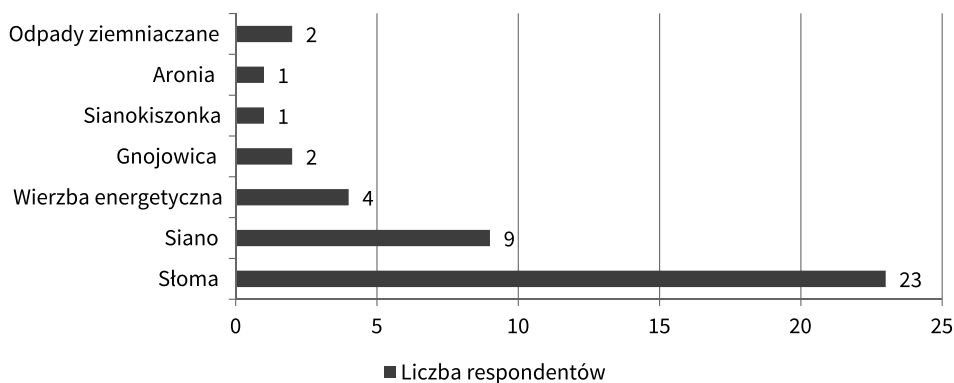
Tab. 44 (cd.)

1	2	3	4	5	6
31	łaski	tak	roślinna	15,50	0
33	łaski	już uprawiam	roślinna	8,50	10 szt. drobiu
35	łaski	tak	mieszana	65,60	64 szt. bydła 30 szt. drobiu
37	łaski	nie	zwierzęca	9,00	60 szt. trzody chlewnej
41	łęczycki	nie	roślinna	24,06	0
45	łęczycki	już uprawiam	sadownictwo	37,30	0
48	łęczycki	nie	roślinna	22,25	0
51	łęczycki	nie	roślinna	12,12	0
69	łowicki	tak	zwierzęca	19,30	40 szt. drobiu 700 szt. trzo- dy chlewnej
91	łowicki	nie	roślinna	7,87	0
99	łowicki	nie	zwierzęca	100,00	700 szt. trzo- dy chlewnej
115	pabianicki	nie	zwierzęca	23,00	42 szt. bydła
118	pajęczański	nie	roślinna	25,00	0
133	piotrkowski	nie	roślinna	32,24	0
138	piotrkowski	nie	zwierzęca	11,20	850 szt. trzo- dy chlewnej
149	piotrkowski	nie	roślinna	15,07	0
156	poddębicki	nie	roślinna	8,78	0
160	poddębicki	nie	roślinna	27,88	0
164	poddębicki	nie	roślinna	26,00	0
176	radomszczański	nie	mieszana	41,00	50 szt. trzody chlewnej 30 szt. drobiu
186	sieradzki	nie	roślinna	105,00	0
188	sieradzki	tak	roślinna	15,00	0
194	sieradzki	nie	roślinna	9,94	10 szt. drobiu
211	sieradzki	nie	roślinna	19,30	30 szt. drobiu
215	skierniewicki	tak	mieszana	96,00	650 szt. trzo- dy chlewnej
221	skierniewicki	nie	mieszana	27,69	5000 szt. drobiu

1	2	3	4	5	6
241	tomaszowski	nie	mieszana	155,00	70 szt. drobiu 200 szt. trzody chlewnej
255	wieruszowski	nie	roślinna	13,78	0
268	zgierski	już uprawiam	mieszana	30,90	0
275	zgierski	już uprawiam	roślinna	13,09	0
279	zgierski	nie	mieszana	51,00	40 000 szt. drobiu

Źródło: opracowanie własne.

Z danych zawartych w tab. 44 wynika, że w większości przypadków gospodarstwa sprzedające biomasę rolną powstała w gospodarstwie nie są zainteresowane uprawą roślin energetycznych. Takiej odpowiedzi udzieliło dwudziestu pięciu respondentów z tej grupy. Zainteresowanych uprawą było tylko siedmiu właścicieli gospodarstw. Czterech rolników zadeklarowało, że już uprawia rośliny energetyczne. Przeważającą grupę stanowiły gospodarstwa zajmujące się produkcją roślinną. Zwierzęcy profil produkcji prowadziło sześciu respondentów, a mieszany dziewięć. Jedno gospodarstwo zajmowało się sadownictwem. Średnia powierzchnia gospodarstwa w tej grupie respondentów to blisko 35 ha. Największe gospodarstwo miało powierzchnię 155 ha, a najmniejsze 7,06 ha.



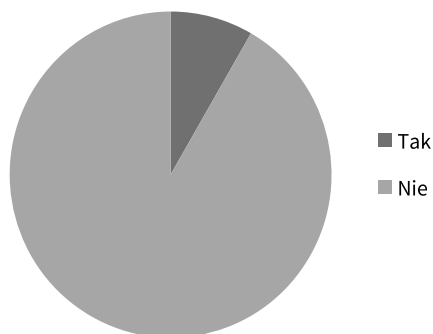
Rysunek 21. Struktura odpowiedzi na pytanie: Jaki rodzaj biomasy rolnej sprzedaje Pani/Pan?*

* Liczba respondentów nie sumuje się do trzydziestu sześciu, rolnicy sprzedają więcej niż jeden rodzaj biomasy rolnej występujący w gospodarstwie

Źródło: opracowanie własne.

Z badań wynika, że respondenci sprzedają przede wszystkim słomę. W dalszej kolejności wskazano siano, wierzbę energetyczną, gnojowicę, sianokiszonkę,

aronię i odpady ziemniaczane. Średnia cena, po której sprzedają biomasę, wynosi 165 PLN za tonę. Jedno gospodarstwo oddaje biomasę za darmo (a dokładnie gnojowicę). Najwyższa cena uzyskiwana przez rolnika za tonę biomasy w tej grupie respondentów wynosi 450 PLN. Otrzymuje ją rolnik sprzedający siano.



Rysunek 22. Struktura odpowiedzi na pytanie: Czy dowozi Pani/Pan sprzedaną biomasę rolną do skupu?

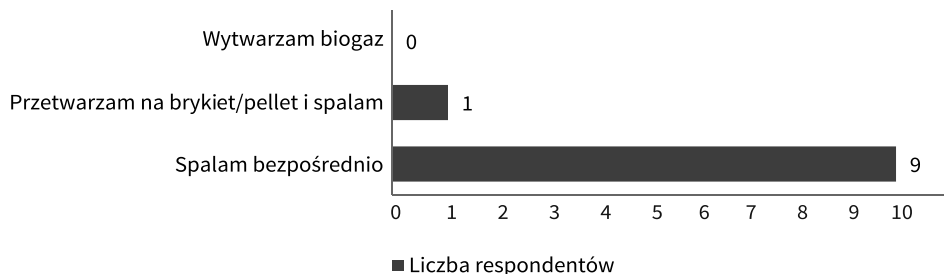
Źródło: opracowanie własne.

Trzy osoby z trzydziestu sześciu zadeklarowały, że dowożą biomasę do nabywców, przy czym odległość zawierała się w przedziałach: do 20 km, 20–40 km oraz 40–60 km. Dwóch rolników dowozi do miejsca skupu wierzbę energetyczną, a jeden – słomę. Wierzba dowożona jest przez producenta znajdującego się w powiecie łaskim na odległość 40–60 km. Natomiast drugi rolnik z tego samego powiatu nie dowozi biomasy, lecz jej odbiór zapewnia nabywca. Wierzba energetyczna dowożona jest ponadto przez rolnika w powiecie zgierskim na odległość 20–40 km. Biomasa rolna odbierana jest przez firmę zewnętrzną od siedemnastu gospodarstw. Pozostała część respondentów wykazała, że biomasa zabierana jest przez innego rolnika lub hodowcę zwierząt.

Drużę część kwestionariusza była skierowana do grupy gospodarstw (10 respondentów), które wykorzystywały biomasę rolną na własne potrzeby energetyczne. Respondenci należący do tej grupy pochodzą z powiatów łowickiego, opoczyńskiego, pączęńskiego, poddębickiego, rawskiego, sieradzkiego, skierniewickiego i zduńskowolskiego. Na rys. 23 pokazano sposób wykorzystania biomasy na cele energetyczne. Większość, tzn. dziewięciu rolników, spala bezpośrednio biomasę rolną. Jeden rolnik przed spalaniem przetwarza ją na brykiet/pellet. Gospodarz, który zadeklarował przetwarzanie biomasy, posiada 0,5 ha wierzby energetycznej, zbierając tym samym 10 ton rocznie tej rośliny energetycznej.

Wśród dziesięciu gospodarstw wykorzystujących biomasę rolną na cele energetyczne, znalazły się trzy, które już uprawiają rośliny energetyczne. Powierzchnia plantacji nie jest duża. Trzy gospodarstwa posiadają wierzbę energetyczną na obszarze 0,5–0,6 ha. Zadeklarowany przez respondentów osiągalny plon roślin był podobny. Średnio uzyskują oni 20 t/ha. Jeden gospodarz zadeklarował plonowanie

na poziomie 25 t/ha. Dodatkowo jeden z respondentów uprawia ślazier na powierzchni 2 ha, który plonuje 8 t/ha. Biorąc pod uwagę niewielką powierzchnię upraw, wydaje się, że uprawa roślin energetycznych była prowadzona z zamiarem wykorzystania na potrzeby własne.



Rysunek 23. Struktura odpowiedzi na pytanie: W jaki sposób wykorzystuje Pani/Pan energetycznie biomasę rolną?
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 45. Charakterystyka gospodarstw rolnych objętych badaniem, wykorzystujących biomasę rolną na cele energetyczne

Numer respondenta	Powiat	Zainteresowanie uprawą roślin energetycznych	Rodzaj produkcji	Powierzchnia gospodarstwa	Ilość inwentarza
1	2	3	4	5	6
92	łódzki	już uprawiam	sadownictwo + wierzbą (0,6 ha, 25t/ha)	14,96	0
108	opoczyński	nie	mieszana	25,00	9 szt. bydła 22 szt. trzody chlewnej
119	pajęczański	już uprawiam	roślinna (+ ślazier, 2 ha, 8t/ha)	29,65	0
139	piotrkowski	nie	roślinna	12,20	0
159	poddębicki	nie	mieszana	38,39	30 szt. bydła
181	rawski	tak	zwierzęca	20,60	16 szt. bydła 40 szt. drobiu
193	sieradzki	tak	roślinna	10,45	0

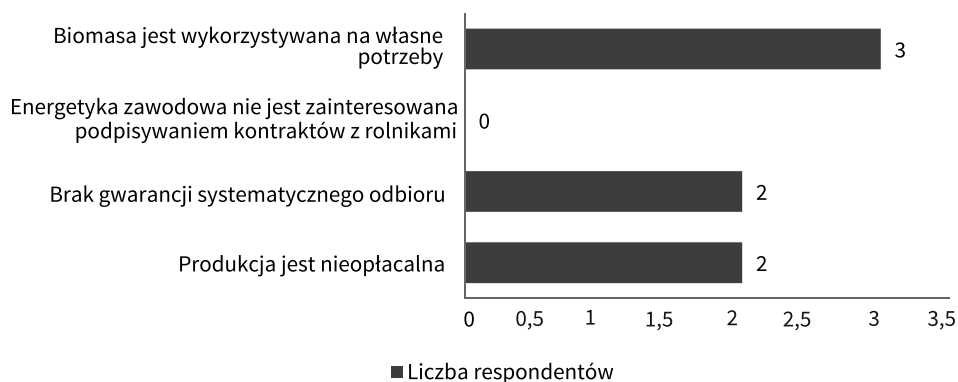
Tab. 45 (cd.)

1	2	3	4	5	6
201	sieradzki	nie	zwierzęca	34,00	30 szt. bydła 20 szt. drobiu
217	skierniewicki	nie	mieszana	15,00	14 szt. bydła 30 szt. drobiu 50 szt. trzo- dy chlewnej
264	zduńsko- wolski	już uprawiam	roślinna = wierzba 0,5 ha, 10 t/ha	10,00	0

Źródło: opracowanie własne.

Tylko dwa gospodarstwa z tej grupy wyraziły zainteresowanie uprawą roślin energetycznych. Charakteryzowały się one powierzchnią 10–38,39 ha. Jeden z respondentów posiadał dość dużo inwentarza w porównaniu z pozostałymi, tj. 14 szt. bydła, 30 sztuk drobiu oraz 50 sztuk trzody chlewnej. Gospodarz ten mógłby otrzymać 101,6 GJ energii pochodzącej z biogazu.

W tej grupie rolników znalazły się gospodarstwa o powierzchni 10–37 ha, głównie prowadzące produkcję roślinną i sadownictwo. Trzech respondentów już uprawia rośliny energetyczne, które wykorzystuje na własne potrzeby energetyczne. Z pytania dotyczącego rodzaju występującej biomasy w gospodarstwie oraz zadeklarowanej jej ilości wynika natomiast, że znikoma wydaje się możliwość jej sprzedaży ze względu na brak



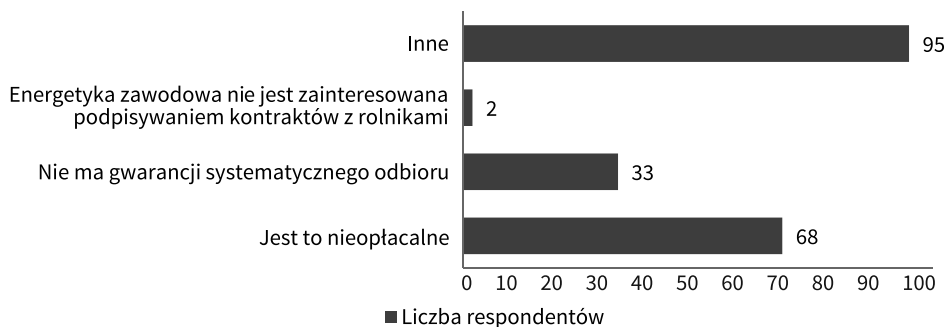
Rysunek 24. Struktura odpowiedzi na pytanie: Dlaczego nie jest Pani/Pan zainteresowana/-y sprzedażą biomasy rolnej?

Źródło: opracowanie własne.

nadwyżek. W jednym gospodarstwie, znajdującym się w powiecie sieradzkim, stwierdzono nieduże nadwyżki słomy i drewna, tj. 12 ton rocznie słomy oraz 2 tony drewna.

Wśród głównych przyczyn braku zainteresowania sprzedażą biomasy wskazanych przez rolników w tej grupie (tzn. zużywających biomasę na własne potrzeby energetyczne) wymieniono wykorzystywanie biomasy na własne potrzeby oraz brak gwarancji odbioru i nieopłacalność produkcji (rys. 24). Jedynie dwóch respondentów wymieniło cenę minimalną w wysokości 250 PLN/t, jaką chcieliby uzyskać za tonę sprzedanej biomasy. Reszta respondentów nie wie, jaka cena byłaby dla nich zadowalająca. Co więcej, tylko dwóch gospodarzy z powiatu pączęzańskiego oraz poddębickiego wyraziło chęć dowozu biomasy do miejsca skupu na odległość do 20 km. Jeden z rolników posiada gospodarstwo o powierzchni 38 ha oraz 30 sztuk bydła. Można wnioskować, że respondent ten wyraził chęć dowozu odpadów produkcji zwierzęcej, tj. gnojowicy bądź obornika. Natomiast drugi respondent już uprawia rośliny energetyczne oraz zboża. Zakładając hipotetycznie gwarantowany odbiór biomasy od rolnika przez nabywcę, żaden z rolników nie wyraził chęci sprzedaży.

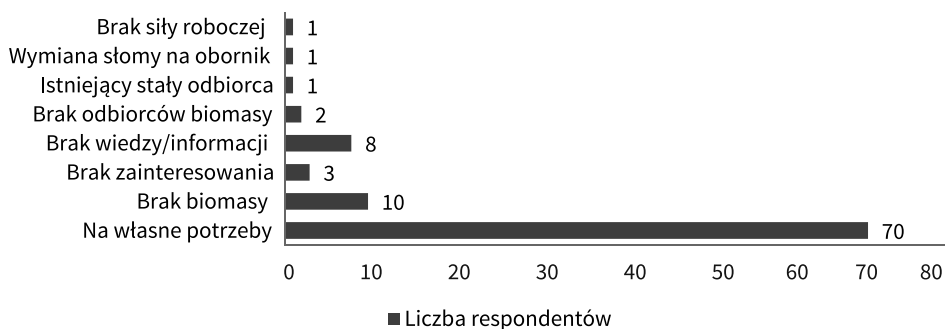
Trzecia część kwestionariusza była adresowana do respondentów, którzy w żaden sposób nie wykorzystują biomasy rolnej albo wykorzystują ją w inny sposób niż na potrzeby energetyczne oraz sprzedaż. W tej grupie znalazło się 234 rolników (83% badanej próby). Spośród tej grupy tylko 24% respondentów było zainteresowanych i wyraziło chęć sprzedaży biomasy. Większość, tzn. 76%, nie wykazała zainteresowania jej sprzedażą.



Rysunek 25. Struktura odpowiedzi na pytanie: Dlaczego nie jest Pani/Pan zainteresowana/-y sprzedażą biomasy rolnej?

Źródło: opracowanie własne.

Jako główną przyczynę braku chęci sprzedaży biomasy rolnej respondenci wskazywali nieopłacalność sprzedaży (38% odpowiedzi). Brak gwarancji systematycznego odbioru został wskazany zaledwie przez 18% rolników. Natomiast brak zainteresowania energetyki zawodowej podpisaniem kontraktów został odnotowany zaledwie przez 1% respondentów. Największą grupę stanowili rolnicy, którzy wskazali odpowiedź „inne”. Stanowili oni 54% ogółu respondentów. Rys. 26 pokazuje najczęściej podawane powody braku chęci sprzedaży biomasy przez rolników w kategorii „inne”.

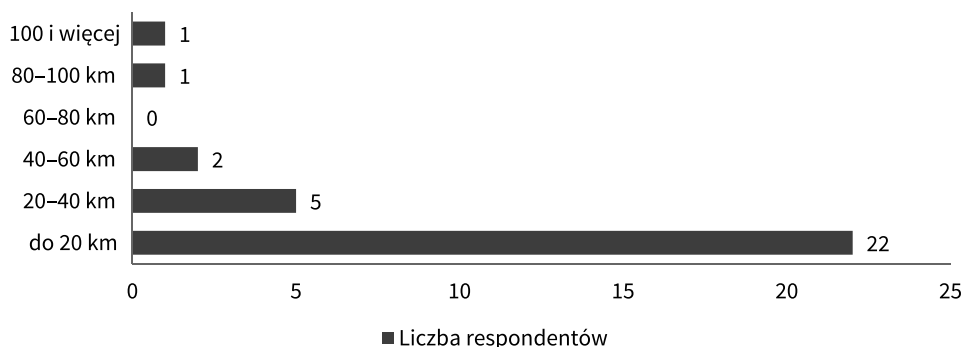


Rysunek 26. Przyczyny braku chęci sprzedaży biomasy rolnej ujęte w kategorii „inne”

Źródło: opracowanie własne.

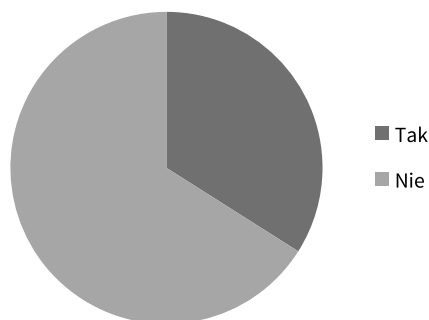
Okazuje się, że najwięcej respondentów wykorzystuje w całości biomasę rolną powstałą w gospodarstwie na własne potrzeby. Co więcej, pojawiły się odpowiedzi deklarujące, że rolnik sam skupuje słomę i siano, ponieważ ma dużą hodowlę zwierząt. Część respondentów wykazywała, że w ich gospodarstwach nie występuje biomasa, ponieważ są one za małe. Brak zainteresowania skupem biomasy przez potencjalnych nabywców wyjaśniano głównie brakiem biogazowni w pobliżu. Wskazano również na brak wiedzy lub możliwości uzyskania informacji o tym, co można sprzedać jako biomasę rolną. Rolnicy podkreślili także brak odbiorców biomasy, wymianę słomy na obornik, brak siły roboczej lub już istniejący odbiorca i podpisane kontrakty z właścicielami pieczarkarni.

W opinii respondentów zadowalająca cena za biomasę to 176 PLN/t, przy czym najniższa cena, jaką wymienili, to 50 PLN/t, natomiast najwyższa sięgała 300 PLN/t. Na pytanie, czy respondenci byłiby skłonni dowozić biomasę rolną do miejsca skupu, aż 87% respondentów odpowiedziało negatywnie. Tylko 13% respondentów gotowych jest dowozić biomasę do nabywcy.



Rysunek 27. Struktura odpowiedzi na pytanie: Na jaką odległość jest Pani/Pan gotowa/-y dostarczyć biomasę rolną?

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 28. Struktura odpowiedzi na pytanie: Gdyby odbiór był zagwarantowany przez firmę zewnętrzną, to czy Pani/Pan byłaby/-łby gotowa/-y sprzedać biomasę rolną?

Źródło: opracowanie własne.

Z grupy 13% respondentów gotowych dowozić biomasę rolną do miejsca skupu, dwadzieścia dwie osoby wyraziły chęć dowozu surowca do 20 km, pięć osób 20–40 km, a jedna zadeklarowała dowóz na najdłuższy dystans, tj. 80–100 km i więcej.

W przypadku zagwarantowania odbioru biomasy rolnej chęć jej sprzedaży wykazało 34% badanej grupy. Spełnienie tego warunku spowodowało wzrost zainteresowania sprzedażą biomasy o dwanaście gospodarstw rolnych.

5.4. Popyt na biomasę rolną w województwie łódzkim w świetle badań własnych

5.4.1. Metodyka badania

Do badania strony popytowej regionalnych rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim posłużono się metodą monograficzną oraz metodą indywidualnych przypadków¹⁴. Metoda monograficzna polegała na szczegółowym badaniu indywidualnych przypadków, w trakcie którego zostały zgromadzone dane jakościowo-opisowe. Celem badania było przede wszystkim rozpoznanie cech, sposobu funkcjonowania i wzajemnych zależności podmiotów objętych badaniem. Wyko-

¹⁴ K. Krot, M. Truskolaska, *Ogólna charakterystyka i klasyfikacja badań naukowych i metod badawczych*, [w:] B. Poskrobko (red.), *Metody badań naukowych z przykładami ich zastosowania*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2012, s. 41–60; S. Wojtulewski, *Techniki pozyskiwania i gromadzenia informacji*, [w:] B. Poskrobko (red.), *Metody badań naukowych...*, s. 61–82.

rzystano również analizę indywidualnych przypadków, biorąc za punkt wyjścia publicznie dostępne informacje na temat rodzajów prowadzonej działalności gospodarczej (BIP). Z uwagi na najwyższą ocenianą w województwie łódzkim dostępność surowca dokonano szczegółowego rozpoznania biogazowni rolniczych na tym terenie.

Analiza dokonana za pomocą tych dwóch metod badawczych na podstawie dostępnych dokumentów, zastanych danych statystycznych i wniosków wynikających z badania strony podaźowej rynków biomasy rolnej umożliwiła wskazanie problemów i zasugerowanie rekomendacji w celu usprawnienia funkcjonowania regionalnych rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim.

5.4.2. Potencjalni nabywcy biomasy rolnej w województwie łódzkim

Z przeprowadzonego badania wśród gospodarstw rolnych województwa łódzkiego wynika, że najczęściej występująca biomasa w gospodarstwie to słoma, gnojowica, obornik i siano. Analizy wykazały, że nie występują nadwyżki słomy, które mogłyby być przeznaczone na cele energetyczne. Podobnie jest z sianem. Największy potencjał jako surowiec energetyczny wykazują obornik oraz gnojowica, dlatego szanse rozwoju rynków biomasy rolnej upatruje się w funkcjonowaniu biogazowni rolniczych. Trend ten widoczny jest również w krajach UE.

W zależności od zastosowanego wsparcia poprzez udzielanie odpowiednich dotacji i stworzenie korzystnych warunków funkcjonowania, widoczne są znaczące różnice w rozwoju rynku biogazowni w Europie. Najintensywniejszy wzrost liczby biogazowni zauważono w Niemczech. W UE nie istnieje jedna definicja biogazowni rolniczych dla wszystkich krajów członkowskich. Jest to wynik znaczących różnic w założeniach polityki energetycznej oraz rolnej krajów europejskich. Definicje mikrobiogazowni uwzględniają zarówno moc zainstalowaną, jak i bazują na minimalnej ilości inwentarza niezbędnego do zaspokajania bazy surowcowej biogazowni. W Holandii mikrobiogazownia to taka, która działa przy stadzie 80–250 krów, 250–1000 macior, 50–50 000 tuczników, 5000–79 000 kur lub 25 000–150 000 brojlerów. Z kolei w Wielkiej Brytanii mikrobiogazownia to nie więcej niż 50 kW mocy zainstalowanej. We Włoszech zaś mikrobiogazownia funkcjonuje w oparciu o 70% udział obornika/gnojowicy oraz maksymalnie 30% udział innych surowców, przy nie większej niż 300 kW mocy zainstalowanej. W Polsce mikrobiogazownia posiada moc zainstalowaną nie większą niż 40 kW. W Danii biogazownie powstają w szczególności przy gospodarstwach ekologicznych, które mogą wykorzystać azot z poplonów oraz nawozić pola uzyskanym pofermentem. Surowcem dla mikrobiogazowni w Europie jest przede wszystkim gnojowica i resztki roślinne do 30% suchej masy. W rozwiązaniach europejskich mikrobiogazownia

z reguły jest zlokalizowana w pobliżu budynków inwentarskich, skąd gnojowicę pompuje się bezpośrednio do fermentora. W Danii zaobserwowano stosowanie wstępnych zbiorników gnojowicy¹⁵. Krajem wiodącym w produkcji biogazu rolniczego są Niemcy, w których działa ok. 8000 biogazowni. Głównym surowcem energetycznym jest kukurydza w połączeniu z odchodami zwierzęcymi, które ułatwiają rozkład substratów.

Powolny rozwój biogazowni w Polsce jest spowodowany wieloma barierami. Wśród najważniejszych wymienia się: niestabilność prawa dla inwestorów, problemy organizacyjno-techniczne, brak przyzwolenia społecznego na dzierżawę gruntów przeznaczonych na budowę biogazowni, brak świadomości o możliwości handlu odchodami zwierzęcymi i innymi odpadami produkcji rolnej, brak planów zagospodarowania przestrzennego, nieprzygotowanie i brak zaangażowania władz gminnych, brak strony zajmującej się sprawami administracyjnymi budowy biogazowni, brak zaplecza merytorycznego i technicznego, brak sieci przesyłowych na obszarach wiejskich umożliwiających dystrybucję ciepła pochodzącego z biogazu, brak chęci odbioru ciepła przez ostatecznych użytkowników, niesprawność strony podażowej substratów, brak szacunków opłacalności przedsięwzięcia, wysokie nakłady kapitałowe i długi okres zwrotu inwestycji, bariery prawne budowy biogazowni na terenach Natura 2000¹⁶. Szacuje się, że koszt inwestycji budowy jednej biogazowni wraz z instalacją oczyszczającą o mocy 1MW_{el}, wytwarzającej średnio 3,5–3,8 mln m³ biogazu rocznie kształtuje się na poziomie 10–15 mln PLN. Z kolei biogazownie wytwarzające średnio 1 mld m³ biogazu rocznie to wydatek inwestycyjny rzędu 4–6 mld PLN¹⁷. Dodatkową przeszkodą jest opór społeczny mieszkańców obszarów wiejskich, którzy bardzo często nie wyrażają zgody na podłączenie się do sieci centralnych, a także na budowę biogazowni. Obecnie w gospodarstwach wiejskich najczęściej stosuje się ogrzewanie „wszystkim”. Piece posiadane przez właścicieli gospodarstw są w stanie spalić wszystkie pozostałości, zarówno produkcji rolnej, jak i egzystencji domowników. Takie rozwiązanie wydaje się im bardziej opłacalne od wspólnego użytkowania biogazowni.

Koszty budowy biogazowni kształtują się różnie w poszczególnych krajach UE. W Holandii koszt budowy biogazowni wynosi 55–155 tys. EUR, w Belgii 95–150 tys. EUR, w Danii 300–2200 tys. EUR, w Polsce 80–100 tys. EUR, w Niemczech 350–600 tys. EUR. Większość systemów subsydiowania w krajach członkowskich UE uwzględnia produkcję energii elektrycznej z biogazu. We Francji występuje

15 K. Hjort-Gregersen, *Market Overview Micro Scale Digesters*, BioEnergy Farm II publication, AgroTech A/S, Denmark 2015, s. 6–25.

16 A. Kupczyk, A. Wójcik, M. Majkowska, *Wybrane problemy rozwoju sektora biogazu rolniczego w Polsce*, [w:] F. Kraniec (red.), *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Wybrane problemy*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2010, s. 89, 90.

17 Ministerstwo Gospodarki, *Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010–2020*, dokument przygotowany we współpracy z Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi, dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 13 lipca 2010 roku, Warszawa 2010, s. 7.

wsparcie dla produkcji energii cieplnej. Natomiast w Szwecji biogaz jest uszlachetniany i wykorzystywany do napędu pojazdów. W takich krajach, jak Holandia, Niemcy, Austria, Francja, Włochy, Hiszpania oraz Dania stosuje się technologie przetwarzania pofermentu jako komplementarne do technologii wytwarzania biogazu. W Polsce brak takich rozwiązań¹⁸.

Zgodnie z informacjami Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w Łodzi, od 2010 do 2014 roku podjęto łącznie 13 działań inwestycyjnych dotyczących budowy biogazowni rolniczych w województwie łódzkim. Wykaz lokalizacji inwestycji został przedstawiony na rys. 29.



Rysunek 29. Mapa biogazowni rolniczych w województwie łódzkim

Źródło: http://bip.lodz.rdos.gov.pl/files/575/1282/biogazownie_16_07_2014.jpg (dostęp: 2.05.2016).

Najwięcej działań w zakresie budowy biogazowni rolniczych w województwie łódzkim podjęto w powiecie radomszczańskim. Po dwie lokalizacje inwestycji odnotowano w powiecie kutnowskim i łowickim. Po jednym przedsięwzięciu odnotowano w powiecie zgierskim, łowickim, brzezińskim, rawskim, opoczyńskim, tomaszowskim oraz łaskim. Działania inwestycyjne nie zostały w ogóle podjęte w zachodniej części województwa, w której według przeprowadzonego badania wśród gospodarstw rolnych istnieje potencjał energetyczny biomasy sprzyjający budowie biogazowni.

Podjęte starania inwestycyjne nie do końca wpisują się w wyniki przeprowadzonego badania. Respondenci wykazali, że najwięcej obornika występuje w powiatach łowickim, zgierskim, sieradzkim, kutnowskim i wieluńskim. Natomiast największą ilością gnojowicy dysponują rolnicy z powiatów sieradzkiego, piotrkowskiego oraz łowickiego. W powiecie zgierskim i łowickim inwestycje nie zostały zrealizowane. Należy podkreślić, że jak na razie próby budowy biogazowni nie zostały podjęte w powiatach piotrkowskim, sieradzkim oraz wieluńskim, w których według przeprowadzonego badania występuje potencjał surowcowy w postaci obornika i gnojowicy.

Większość z przedstawionych planów inwestycyjnych nie zostało zrealizowanych. Głównym powodem był opór lokalnych społeczności. Obecnie w województwie łódzkim funkcjonują cztery biogazownie rolnicze oraz jedna elektrownia biomasowa. Biogazownie zlokalizowane są w powiecie radomszczańskim, opoczyńskim, kutnowskim oraz rawskim.

W Konopnicy, w powiecie rawskim, znajduje się biogazownia o mocy 2 MW. Inwestycja powstała w 2012 roku. Substratem dla biogazowni jest kiszonka traw i kukurydzy. Biogazownia przetwarza biomasę w energię za pomocą technologii fermentacji suchej. Rocznie produkuje ok. 16 800 MWh energii elektrycznej oraz 17 024 MWh energii cieplnej¹⁹. Biogazownia posiada dwie komory fermentacji, do których w sezonie letnim dostarczane jest codziennie 20 ton kiszonki z kukurydzy, 25 ton kiszonki z żyta, 15 ton wytlóków jabłkowych oraz 60 ton wywaru pogorzelnianego²⁰. Energia elektryczna sprzedawana jest do sieci, natomiast energia cieplna dostarczana jest za pomocą miejskiej sieci ciepłowniczej do odbiorców²¹.

W powiecie opoczyńskim, w Sobawinach znajduje się instalacja rolniczo-przemysłowa. Substratem są surowce pochodzenia rolniczego (kiszonka z kukurydzy) oraz odpady poubojowe z zakładu mięsnego znajdującego się niedaleko biogazowni. Firma posiadająca biogazownię zajmuje się przetwórstwem mięsnym. Produ-

19 http://www.biogazownie.fwie.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=32:biogazownia-rolnicza-w-konopnicy&catid=15&Itemid=111 (dostęp: 2.05.2016).

20 <http://biogazowniawgminie.pl/artykuly/biogazownia-w-konopnicy/> (dostęp: 2.05.2016).

21 http://energetyka.wnp.pl/uruchomiono-biogazownie-1-99-mw-w-konopnicy,180459_1_0_0.html (dostęp: 2.05.2016).

kowana energia cieplna (0,7 MW) oraz elektryczna (0,5 MW) wykorzystywana jest na potrzeby własne przedsiębiorstwa²².

W powiecie radomszczańskim, w Chełmie znajduje się biogazownia rolniczo-utylicyjna o mocy 1,2 MW. Inwestorem była osoba prywatna. W obiekcie wytwarzana jest energia elektryczna na własne potrzeby. W powiecie kutnowskim, w Krośniewicach istnieje biogazownia rolnicza bazująca na odpadach poprodukcyjnych z przemysłu mleczarskiego i drożdżarskiego o mocy 1 MW. Produkowana energia również wykorzystywana jest na potrzeby własne właściciela.

W Łodzi natomiast zlokalizowana jest elektrownia biomasowa (EC4 Łódź) o łącznej mocy 48 000 MW. Kocioł biomasowy spala rocznie ok. 360 tys. ton biomasy. Emisja dwutlenku węgla jest mniejsza o ok. 260 tys. ton w porównaniu ze spalaniem konwencjonalnych nośników energii, tj. węgla. Surowiec stanowią odpady z przemysłu drzewnego, rośliny energetyczne oraz odpady organiczne z rolnictwa. Zakładając pełną wydajność, kocioł spala ponad 1,4 tys. ton biomasy na dobę²³.

Istniejące w województwie łódzkim biogazownie wpisują się w trend europejski, tzn. z reguły są to inwestycje mające na celu zmniejszenie kosztów energii zużywanej w procesie produkcji przedsiębiorstwa. Biogazownie rolnicze, mające na celu zaspokajanie potrzeb społeczności lokalnych, jak na razie nie mają racji bytu w województwie łódzkim. Główną barierą okazuje się opór społeczny. Społeczność lokalna obawia się przede wszystkim odoru towarzyszącego produkcji energii z biogazu rolniczego. Ludność nie jest również świadoma korzyści wynikających z funkcjonowania biogazowni w bliskiej lokalizacji gospodarstw domowych.

Biogazownia rolnicza o zainstalowanej mocy 1 MW może zaopatrzyć w energię elektryczną nawet 450 gospodarstw²⁴. Inne korzyści wynikające z budowy biogazowni to zagospodarowanie biomasy odpadowej z produkcji zwierzęcej (obornika/gnojowicy), a przez to zmniejszenie uciążliwości zapachowych, niska emisyjność instalacji, możliwość wykorzystania pofermentu jako bogatego nawozu. Dodatkowo należy uwzględnić wzrost bezpieczeństwa energetycznego regionu, co jest istotne zwłaszcza dla mieszkańców wsi, którzy częściej są narażeni na awarie w przesyle energii niż mieszkańcy miast. Prosperowanie biogazowni w regionie warunkuje stworzenie stabilnego rynku zbytu dla pozostałości produkcji rolnej, dzięki czemu rolnik może uzyskać dodatkowy dochód z jej sprzedaży²⁵. Biogazownie ze względu na zdecentralizowany charakter produkcji biogazu mogą odegrać znaczącą rolę w zrównoważonym rozwoju obszarów wiejskich, a także umożliwić rozwój pozarol-

22 <http://tomaszomazowiecki.naszemiasto.pl/artikul/nowoczesna-biogazownia-w-sobawinach-zaoszczedza-na-energii,2220448,artgal,t,id,tm.html> (dostęp: 2.05.2016).

23 http://lodz.wyborcza.pl/lodz/14,126435,15440727,Dzien_na_zywo_z_Dalkia_Lodz_w_elektrocieplowni_EC4.html?disableRedirects=true (dostęp: 2.05.2016).

24 <http://ioze.pl/energetyka-biogazowa/zalety-biogazowni-rolniczych> (dostęp: 2.05.2016).

25 E. Obrycka, *Korzyści społeczne i ekonomiczne budowy biogazowni rolniczych*, „*Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*” 2014, nr 107, s. 163–176.

niczej działalności, tworząc miejsca pracy i pobudzając rozwój gospodarczy regionów²⁶. Rozwój sektora OZE inicjuje tworzenie tzw. zielonych miejsc pracy. Problematyka zielonych miejsc pracy jest w Polsce stosunkowo nowa. Rozumiane są jako miejsca pracy, poprzez które zmniejszane jest negatywne oddziaływanie na środowisko naturalne²⁷. Kreacja zielonych miejsc pracy ma znaczenie zwłaszcza dla rozwoju regionalnego, w tym obszarów wiejskich, poprzez intensyfikację współpracy pomiędzy lokalnymi organizacjami i przedsiębiorstwami, podnoszenie kwalifikacji i umiejętności zawodowych w dziedzinie ekologii oraz wzrost świadomości ekologicznej. Co więcej, zielone miejsca pracy umożliwiają redukcję emisji różnego rodzaju zanieczyszczeń, poprawę środowiska naturalnego, efektywne gospodarowanie zasobami, rozpowszechnianie wykorzystania OZE, postęp technologiczny i wzrost konkurencyjności poprzez zawieranie kontraktów międzynarodowych umożliwiających wdrażanie zielonych technologii w ujęciu regionalnym i lokalnym²⁸.

Według danych BDL GUS zużycie energii elektrycznej w Polsce wynosiło 543,5 PJ w 2014 roku (tab. 46). Oszacowany teoretyczny potencjał energetyczny biomasy rolnej nieznacznie przewyższa poziom zużytej energii elektrycznej w Polsce, a także w każdym z województw. Jednak biorąc pod uwagę wielkość zużycia energii w województwach oraz wielkość oszacowanego potencjału ogółem, w każdym z regionów Polski biomasa rolna może stanowić dodatkowe źródło dochodów dla rolników, a idąc dalej, można by się pokusić o stwierdzenie, że rynki biomasy mają rację bytu. Jak zauważa B. Kryk, negatywne efekty, takie jak wykluczenie społeczne, ubóstwo, dyskryminacja, problemy demograficzne, niekorzystne zmiany klimatyczne, problemy energetyczne oddziałują na jakość życia i dobrobyt społeczny²⁹, dlatego wydaje się, że możliwość sprzedaży odpadów produkcji rolnej może wpłynąć korzystnie na rozwój obszarów wiejskich.

Tabela 46. Zestawienie oszacowanego teoretycznego potencjału energetycznego biomasy rolnej w Polsce ze zużyta energią elektryczną w 2014 roku

Wyszczególnienie	Potencjał energetyczny biomasy rolnej [PJ]	Zużyta energia elektryczna [PJ]
1	2	3
Polska	562,9	543,5
Dolnośląskie	35,5	47,1
Kujawsko-pomorskie	42,6	27,1

26 A. Kupczyk, A. Wójcik, M. Majkowska, *Wybrane problemy rozwoju...*, s. 77–87.

27 B. Kryk, *Czas na zielone kołnierzyki*, „Ekonomia i Środowisko” 2014, nr 3, s. 10–20.

28 B. Kryk, *Green Jobs – Good Practices*, [w:] M. Burchard-Dziubińska (red.), *Towards a Green Economy. From Ideas to Practice*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2015, s. 107–124.

29 B. Kryk, *Relacje ekonomii społecznej z koncepcją zrównoważonego rozwoju*, „Ekonomia i Środowisko” 2012, nr 3, s. 211–223.

Tab. 46 (cd.)

1	2	3
Lubelskie	52,3	20,7
Lubuskie	18,1	12,5
Łódzkie	9,2	42,4
Małopolskie	15,1	44,6
Mazowieckie	70,1	87,3
Opolskie	19,6	18,2
Podkarpackie	20,2	18,5
Podlaskie	30,3	10,2
Pomorskie	30,3	28,7
Śląskie	15,7	92,1
Świętokrzyskie	17,3	17,2
Warmińsko-mazurskie	43,0	12,9
Wielkopolskie	75,4	42,5
Zachodniopomorskie	38,3	21,5

Źródło: opracowanie własne.

Pomimo szeregu inicjatyw podejmowanych w województwie łódzkim, wykorzystywanie odpadów produkcji rolnej jako surowca energetycznego nie jest znaczące. Województwo łódzkie posiada istotne wsparcie dla rozwoju OZE w kontekście dostępu do wiedzy. W regionie istnieje Kłaster Bioenergia dla Regionu, który stanowi inicjatywę kooperacyjną skupiającą ponad 70 podmiotów funkcjonujących w obszarze OZE, w tym 41 przedsiębiorstw, 7 jednostek samorządu terytorialnego, 11 instytutów naukowo-badawczych, 7 instytucji otoczenia biznesu. Celem działalności klastra jest udzielanie wsparcia dla województwa łódzkiego w realizacji działań Komisji Europejskiej na rzecz poszanowania energii i klimatu. W trakcie dziewięcioletniej współpracy w ramach klastra zrealizowano 45 projektów związanych z tematyką rozpowszechniania wiedzy i wdrażania rozwiązań dotyczących OZE³⁰.

Analiza wykazała natomiast, że jak dotąd biomasa pochodząca z odpadów produkcji rolnej w województwie łódzkim nie znajduje szerszego zastosowania jako surowiec energetyczny. Głównych barier upatruje się w braku świadomości społeczności lokalnych na temat zalet takiego wykorzystania biomasy. Pomimo podejmowanych działań w kierunku budowy instalacji biogazowni nie udało się doprowadzić do powstania większości z nich. Konieczna jest edukacja w zakresie

30 <http://www.bioenergiadlaregionu.eu> (dostęp: 2.05.2016).

rozwiązań technologicznych oraz korzyści wynikających z rozproszonej produkcji energii z biomasy rolnej.

Dostęp do wiedzy i edukacji na obszarach wiejskich jest kluczowy dla rozwoju rynku biomasy rolnej. Właśnie brak dostępu do informacji traktowany jest jako jedna z barier jego rozwoju. Z badań prowadzonych przez Uniwersytet Rolniczy w Krakowie wynika, że mieszkańcy obszarów wiejskich stają się coraz bardziej świadomi konieczności poszerzania wiedzy i podnoszenia kwalifikacji. Wykazano, że główną barierą nie jest już brak środków finansowych (oprócz sektora przetwórstwa rolno-spożywczego i przemysłu), ale brak wsparcia szkoleniowego i doradztwa³¹.

Rozwój regionalnych rynków biomasy możemy traktować jako innowacyjne rozwiązanie w zagospodarowaniu odpadów produkcji rolnej, alternatywne w stosunku do podejścia tradycyjnego. Zwrot w kierunku gospodarki opartej na wiedzy powinien sprzyjać rozwojowi nowatorskich rozwiązań związanych z energetyką rozproszoną działającą na bazie lokalnie dostępnych zasobów energetycznych. Dla regionów o dużym potencjale produkcji rolnej naturalnym rozwiązaniem powinno być energetyczne wykorzystanie biomasy powstającej w tym sektorze. Dotychczasowe doświadczenia z województwa łódzkiego wskazują na wciąż niskie zainteresowanie lokalnych społeczności szerszym wykorzystaniem surowców do produkcji zielonej energii. Nie wynika to wprost z braku środków finansowych, gdyż UE oferuje znaczne wsparcie dla tego typu inwestycji. Przyczyny mają charakter przede wszystkim mentalny, ale także są związane z barierami instytucjonalno-organizacyjnymi, wynikającymi z opieszałości legislacyjnej państwa i z brakiem pewności inwestorów co do opłacalności inwestycji w dłuższej perspektywie czasowej z uwagi na ciągłe zmiany instrumentów wsparcia. Perspektywa powstania nowych miejsc pracy związanych z przetwórstwem biomasy rolnej na cele energetyczne nie wydaje się dostatecznie atrakcyjna. Konieczne jest tworzenie nowych instytucji gospodarczych w celu rozwoju nowych sektorów gospodarki³². Badania potwierdzają, że rozwój obszarów wiejskich powinien zasadzać się na dostępie do wiedzy i jej upowszechnianiu³³.

31 Ł. Popławski, *Kierunki wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich w opinii mieszkańców gminy Słupia Jędrzejowska*, „Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu” 2014, nr 361: *Agrobiznes 2014. Rozwój agrobiznesu w okresie 10 lat przynależności Polski do Unii Europejskiej*, s. 186–194.

32 Ł. Popławski, *Uwarunkowania ekorozwoju gmin wiejskich na obszarach chronionych województwa świętokrzyskiego*, PWN, Warszawa 2014, s. 37.

33 Ł. Popławski, *Multifunctional Development of Protected Areas in Poland in the Opinion of Its Inhabitants in 2 Municipalities*, „Review of Integrative Business & Economics Research” 2014, vol. 3 (2), s. 242–254.

Uwagi końcowe

Z przeprowadzonych badań wynika, że istniejący potencjał energetyczny biomasy rolnej w województwie łódzkim jest znaczny. Nie oznacza to jednak, że to odnawialne źródło energii jest chętnie i powszechnie wykorzystywane przez inwestorów.

Przeprowadzona analiza wykazała, że istnieją znaczące bariery rozwoju regionalnych rynków biomasy rolnej na potrzeby energetyki rozproszonej. Przeszkody znajdują się zarówno po stronie popytowej, jak i podażowej. Bariery podażowe wynikają z braku towarowych nadwyżek surowców energetycznych z produkcji roślinnej. Największy potencjał wykazuje słoma, jednak w województwie łódzkim jest ona produktem deficytowym, nawet biorąc pod uwagę jedynie tradycyjne sposoby jej zagospodarowania (ściółka, pasza, przeoranie). Biomasa jest zużywana w pierwszej kolejności w miejscu jej powstawania w gospodarstwie rolnym. Okazało się też, że w regionie, jeśli biomasa jest sprzedawana, to w innym celu niż na potrzeby energetyczne. Szans rozwoju regionalnych rynków biomasy rolnej upatruje się w wykorzystaniu odpadów z produkcji zwierzęcej (gnojowica/obornik) jako substratów do wytwarzania biogazu.

Rolnicy generalnie znają pojęcie biomasy. Z przeprowadzonej analizy wynika jednak, że istnieje potrzeba rozpowszechnienia wiedzy na temat możliwości jej energetycznego wykorzystania. Rolnicy nie wiedzą, gdzie może znajdować się potencjalny nabywca biomasy na cele energetyczne. Badania potwierdziły, że dla nich biomasa to przede wszystkim słoma. Rolnicy wykorzystują obornik jako nawóz i raczej nie postrzegają go jako surowca energetycznego. W regionie znajdują się gospodarstwa, które posiadają liczne stada inwentarza żywego. Fakt ten może wskazać potencjalny obszar dla dalszych analiz pod kątem rozwoju energetyki rozproszonej. Ważne jest ponadto stworzenie odpowiedniego systemu odbioru surowca, gdyż bariera transportowa również została wskazana jako znacząca.

Rozwój strony popytowej rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim można ocenić jako bardzo umiarkowany. Niewiele zmieniło w tym zakresie funkcjonowanie Klastra Bioenergia dla Regionu. Można to wyjaśnić istnieniem szeregu barier, wśród których za istotną uznaje się brak akceptacji społecznej dla wykorzystywania lokalnie biomasy do produkcji biogazu oraz opieszałość legislacyjną państwa. Praktycznie rzecz biorąc, od momentu przyjęcia w 2009 roku najważniejszych przepisów wdrażających pakiet klimatyczno-energetyczny, wyznaczający konkretne ramy działania i cele dla państw UE, Polska nie zakończyła jeszcze w pełni procesu implementacji tych regulacji. W przypadku energetycznego wykorzystania biomasy rolnej chodzi przede wszystkim o ustawę o OZE, która, pomimo przyjęcia z blisko pięcioletnim opóźnieniem, niemal natychmiast została poddana nowelizacji. Rodzi to brak pewności inwestorów co do przyszłych warunków prowadzenia biznesu. Drugi rodzaj barier ma charakter mentalny i wiąże się z brakiem społecznej akceptacji dla inwestycji w OZE, nawet jeśli podobne rozwiązania technologiczne zostały już pozytywnie zweryfikowane w innych państwach UE.

Zakończenie

Inspiracją do podjęcia badań nad rozwojem rynków biomasy rolnej jako surowca energetycznego był obserwowany w UE wyraźny zwrot w kierunku większego wykorzystania odnawialnych źródeł energii z myślą o ochronie środowiska przyrodniczego, a zwłaszcza klimatu. Działania te można z powodzeniem powiązać z procesem budowy zielonej gospodarki, która ma także sprzyjać zrównoważonemu rozwojowi regionów i włączeniu społecznemu.

Biomasa stanowi surowiec o zróżnicowanych możliwościach energetycznego wykorzystania. Po zastosowaniu odpowiedniej metody konwersji może się ona stać paliwem stałym, gazowym lub ciekłym. Surowcem energetycznym jest słoma zbóż, liście drzew i krzewów, zrębki i trociny drzewne, rośliny energetyczne, gnojowica i obornik zwierząt, wszelkiego rodzaju kiszonki, wywary warzywne i zbożowe, wycinki owocowe oraz skoszona trawa.

Głównym bodźcem dla rozwoju rynków biomasy rolnej jest polityka klimatyczno-energetyczna UE. Określa ona wytyczne dotyczące redukcji emisji gazów cieplarnianych, między innymi poprzez konieczność wzrostu wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Polska zobowiązała się uzyskać 15% udział OZE w finalnym zużyciu energii brutto do 2020 roku. Dodatkowo, *Polityka Energetyczna Polski do 2030 roku* określa cele dla rozwoju polskiej energetyki, do których należą: ograniczenie oddziaływania na środowisko naturalne, rozwój OZE oraz dywersyfikacja struktury wytwarzania energii elektrycznej poprzez wsparcie rozwoju energetyki rozproszonej.

Podjęte analizy dotyczące rozwoju rynków biomasy rolnej jako surowca energetycznego w województwie łódzkim zostały przeprowadzone zarówno na gruncie teoretycznym, jak i empirycznym.

Oszacowane potencjały biomasy rolnej mają charakter wyłącznie teoretyczny. Powierzchnie pod zasiew roślin energetycznych zostały potraktowane jako zwarte arealy, podczas gdy w rzeczywistości są rozproszone przestrzennie i należą do różnych właścicieli, którzy mogą mieć odmienne preferencje co do ich użytkowania. W przypadku odpadów powstających w tradycyjnej produkcji rolnej trudno także mówić o koncentracji podaży biomasy z uwagi na wciąż rozdrobnioną strukturę obszarową gospodarstw rolnych w województwie łódzkim. Opłacalność produkcji energii z biomasy nie jest oczywista. Strona popytowa rynków biomasy rolnej jako

surowca energetycznego jest silnie regulowana przepisami dotyczącymi sektora energetycznego, a zwłaszcza systemu jego finansowego wsparcia. Jednocześnie na jej funkcjonowanie mają wpływ także regulacje związane z odnawialnymi źródłami energii, w tym ustawa o OZE, przyjęta z blisko pięcioletnim opóźnieniem w stosunku do zaleceń Komisji Europejskiej.

Na rynku energii w Polsce obserwuje się dominację dużych spółek sektora paliwowo-energetycznego. Polska należy do światowej czołówki w produkcji węgla (w 2013 roku znalazła się na dziewiątym miejscu). To jedyna kategoria, w której została wykazana jako jeden z największych producentów nośników energii na świecie. W 2013 roku udział węgla w pozyskaniu energii w ogóle wyniósł 49%. Statystyki te potwierdzają fakt, że Polska jest krajem mocno uzależnionym od jednego nośnika energii – węgla. Zgodnie z prezentowanym kierunkiem rozwoju energetyki w świetle wyzwań polityki klimatyczno-energetycznej jest on nośnikiem budzącym duże kontrowersje.

Odpowiadając na postawione w pracy pytanie badawcze, można stwierdzić, że pomimo szans zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego w ujęciu regionalnym poprzez rozwój energetyki rozproszonej, napotyka ona bariery instytucjonalne, wynikające z opóźnień legislacyjnych, generujących znaczną niepewność co do przyszłej sytuacji sektora OZE. Między innymi dlatego, pomimo istnienia w województwie łódzkim znacznych ilości biomasy rolnej, nie znalazła ona jak dotąd szerszego zastosowania w energetyce. Innymi czynnikami hamującymi energetyczne wykorzystanie biomasy są:

- brak wiedzy na temat nowych (innowacyjnych) możliwości energetycznego wykorzystania biomasy rolnej, utrwalający tradycyjne wzorce jej zastosowania (ściółka, pasza, zaoranie na polu);
- trudności w lokalizacji upraw energetycznych ze względu na prawa własności gruntów, zwłaszcza wzdłuż koryt rzecznych;
- rozproszenie upraw utrudniające mechanizację zbiorów w przypadku upraw roślin energetycznych i generujące tym samym wysokie koszty i energochłonność tego procesu.

Założono, że rynki biomasy rolnej w województwie łódzkim wykazują cechy rynku monopsonowego. W praktyce oznacza to możliwość równoczesnego funkcjonowania w województwie kilku/kilkunastu przedsiębiorstw będących monopsonistami w określonym regionie zaopatrzenia w zakresie skupu biomasy rolnej w celu ekologicznie i ekonomicznie efektywnego wytwarzania energii. Jedyne nabywca biomasy rolnej w regionie ma wpływ na kształtowanie cen tego surowca. Przestrzenne rozproszenie produkcji biomasy rolnej i jej różnorodność jako surowca energetycznego sprawiają, że w każdym przypadku konieczny jest staranny dobór metody konwersji tego surowca w energię i uzyskanie gwarancji systematycznych dostaw biomasy od okolicznych producentów. Energetyczne zagospodarowanie biomasy wymaga po stronie popytowej pewnej koncentracji skupu i przetwórstwa. Przedsiębiorstwa energetyczne, kupując biomasę rolną,

zwykle biorą pod uwagę jedynie opłacalność ekonomiczną. Natomiast niezrównoważone wykorzystanie biomasy jako surowca energetycznego może przyczynić się do powstania sytuacji niekorzystnej z punktu widzenia realizacji celów polityki klimatyczno-energetycznej UE. Dlatego niezbędne jest określenie granicy regionu zaopatrzenia, w którym operuje monopsonista, wyznaczonej przez odległość tego przedsiębiorstwa od potencjalnych dostawców biomasy, tzn. gospodarstw rolnych. Uwzględnienie tego warunku jest konieczne do budowy i rozwoju rynków biomasy rolnej zgodnie z założeniami zrównoważonego rozwoju. Wykorzystanie biomasy rolnej jako OZE musi przynieść dodatni bilans energetyczny, tzn. ilość energii związana z produkcją, przetworzeniem i dostarczeniem biomasy do wytwórcy energii nie może być wyższa od energii wyprodukowanej z tego surowca i dostarczonej do ostatecznego konsumenta. Dlatego prawidłowo przeprowadzona analiza kosztów i korzyści, zalecana przy realizacji inwestycji proekologicznych i prospołecznych, powinna uwzględniać także korzyść ekologiczną rozumianą jako nadwyżka korzyści zewnętrznych wynikających z wykorzystania biomasy do produkcji energii nad kosztami zewnętrznymi transportu tego surowca do miejsca przetworzenia³⁴. Uwzględnienie założenia o zerowej emisyjności produkcji energii z biomasy z uwagi na „oddanie” do atmosfery jedynie takiej ilości dwutlenku węgla, jaka została wcześniej asymilowana w procesie fotosyntezy, bez wzięcia pod uwagę emisji tego gazu podczas transportu, jest niewystarczające. Konieczne jest sporządzenie bilansu emisji dwutlenku węgla w całym procesie produkcji energii z biomasy.

Analizując ekonomiczną zasadność wykorzystania biomasy rolnej jako surowca energetycznego, zakładamy, że rynki biomasy rolnej w województwie łódzkim są monopsonami. Przedsiębiorstwo monopsonistyczne wytwarzające energię z biomasy, chcąc zmaksymalizować zysk, jest skłonne zapłacić rolnikowi dwie trzecie swojej marży. Problem stanowi określenie poziomu marży dla przedsiębiorstwa zajmującego się produkcją energii.

Oszacowane ceny za jednostkę energii z roślin energetycznych jako dolny próg rentowności dla rolnika, były niższe od ceny sprzedaży energii elektrycznej i ciepła w latach 2013–2015. Należy podkreślić, że rozważania nie obejmowały poziomu kształtowania się cen zielonych certyfikatów oraz uprawnień do emisji dwutlenku węgla. Obliczenia dolnego progu rentowności dotyczyły tylko części teoretycznie oszacowanego w pracy potencjału roślin energetycznych, a nie wszystkich dostępnych w województwie łódzkim zasobów biomasy rolnej (słomy, siana, gnojowicy/obornika). Zagospodarowanie tylko obszarów wyłączonych z konwencjonalnej produkcji rolnictwa pod uprawę roślin energetycznych, a nie użytków rolnych, jest zgodne z celem niniejszej publikacji, w której podjęto próbę analizy energetycznego wykorzystania pozostałości produkcji rolnej, a nie przekwalifikowanie funkcji rolnictwa z żywieniowej na energetyczną.

³⁴ Inne koszty zewnętrzne nie zostały uwzględnione w pracy.

Analizowany przykład zagospodarowania niewykorzystanej przestrzeni rolnej pod uprawy roślin energetycznych wydaje się najdroższym z możliwych. Pozostałe rodzaje biomasy rolnej uwzględnione w pracy, takie jak słoma czy gnojowica i obornik, stanowią ewidentny odpad z podstawowego profilu działalności gospodarstwa, dlatego mogą one stanowić dochód dla rolnika przy nieponoszeniu dodatkowych kosztów związanych z ich produkcją. Opłacalność produkcji energii z biomasy może być większa przy uwzględnieniu instrumentów wsparcia zarówno dla strony popytowej, jak i podażowej tego rynku.

Województwo łódzkie posiada potencjał energetyczny biomasy rolnej, ale ciężko jest określić jego ekonomiczną zasadność wykorzystania w odniesieniu do wszystkich rodzajów surowców pochodzących z produkcji rolnej. Można przyjąć, że województwo łódzkie charakteryzuje się dogodnymi warunkami dla rozwoju rynków biomasy rolnej, gdyż znalazło się na szóstej pozycji, zaraz obok województwa wielkopolskiego, mazowieckiego, lubelskiego, warmińsko-mazurskiego oraz kujawsko-pomorskiego, pod względem oszacowanego potencjału energetycznego biomasy. Najwyższy potencjał energetyczny w województwie łódzkim wykazuje słoma, jednak badanie wykazało brak jej nadwyżek do energetycznego wykorzystania. Rolnicy wykorzystują ją w gospodarstwie na potrzeby własne, zwłaszcza jako nawóz lub ściółkę, co również zostało potwierdzone w przeprowadzonym wywiadzie kwestionariuszowym. Dlatego spośród wszystkich rodzajów biomasy rolnej powstających w województwie łódzkim jako atrakcyjny surowiec energetyczny należy wyróżnić odpady produkcji zwierzęcej. Z badań wynika, że najwyższy ich potencjał występuje w powiatach łowickim, zgierskim, sieradzkim, kutnowskim, wieluńskim oraz piotrkowskim. Powiaty te mogą być wzięte pod uwagę jako miejsca lokalizacji biogazowni rolniczych.

Pomimo istnienia znacznego teoretycznego potencjału energetycznego biomasy rolnej, przeprowadzone wśród właścicieli gospodarstw rolnych województwa łódzkiego wywiady kwestionariuszowe pozwoliły na identyfikację następujących barier po stronie podażowej tych rynków:

- brak towarowych nadwyżek słomy ze względu na wykorzystywanie jej na potrzeby własne gospodarstw;
- znaczne rozdrobnienie gospodarstw rolnych;
- rozproszenie obszarów ugorów oraz innych użytków wyłączonych z konwencjonalnej produkcji rolnictwa i często ich niewielka powierzchnia w poszczególnych lokalizacjach;
- wysoki koszt zagospodarowania obszarów pod uprawy energetyczne;
- brak możliwości opłacalnej sprzedaży biomasy;
- brak gwarancji systematycznego odbioru surowca;
- brak zainteresowania biomasą ze strony popytowej rynku;
- brak zorganizowanego transportu biomasy do odbiorców;
- brak wiedzy i dostępu do informacji na temat innowacyjnych możliwości energetycznego wykorzystania biomasy.

Wśród głównych barier po stronie popytowej wyróżniono:

- długotrwałość procesu legislacyjnego związanego z przyjęciem w Polsce ustawy o OZE oraz poddawanie tej ustawy kolejnym nowelizacjom bezpośrednio po jej uchwaleniu, co wywoływało niepewność wśród inwestorów odnośnie do przewidywań sytuacji rynkowej i stabilności warunków działania;
- brak w przepisach prawnych precyzji w definiowaniu pojęcia biomasy rolnej, pojawianiu się nowych pojęć, takich jak biomasa lokalna itp.;
- zmiany w prawodawstwie odnoszące się do uznawania wyprodukowanej energii jako energii ze źródła odnawialnego;
- dominację na rynku energetycznym jednostek dużej mocy;
- udzielane wsparcie, zwłaszcza skierowane do dużych jednostek produkujących energię z biomasy, przy jednoczesnym braku wsparcia dla energetyki rozproszonej;
- brak społecznej akceptacji dla lokalizacji przedsiębiorstw przetwarzających biomasę w energię, zwłaszcza biogazowi rolniczych, ze względu na obawy przed zanieczyszczeniami odorowymi.

Można stwierdzić, że problemy rozwoju rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim istnieją zarówno po stronie popytowej, jak i podażowej. Bez wątplenia silną stroną tych rynków jest różnorodność możliwości energetycznej konwersji biomasy ze względu na zróżnicowanie surowca. Ponadto istnienie dość wysokiego potencjału teoretycznego biomasy w województwie łódzkim jest czynnikiem, który może korzystnie oddziaływać na przyszły rozwój tych rynków. Natomiast brak chęci współpracy podmiotów strony popytowej oraz podażowej stanowi poważny problem w możliwości ich kreacji.

Kwestię problemową stanowi zwłaszcza organizacja rynków biomasy pod kątem logistycznym w regionie zaopatrzenia. Większość respondentów nie jest skłonna dowozić biomasy do miejsca skupu. Istnieje potrzeba zorganizowania przewozu tego surowca do monopsonisty. Oczywisty wydaje się też fakt, że niezbędne jest wtedy określenie rozsądnej granicy stanowiącej odległość przedsiębiorstwa od potencjalnych dostawców biomasy, tzn. gospodarstw rolnych. Z analiz przeprowadzonych w pracy wynika, że koszt transportu nie może być wyższy od ceny biomasy rolnej płaconej przez monopsonistę rolnikowi. Dodatkowo, biorąc pod uwagę ekologiczną zasadność wykorzystania biomasy rolnej jako surowca energetycznego, należy uwzględnić bilans energetyczny.

Wydaje się, że istnieje więcej zagrożeń niż szans dla rozwoju rynków biomasy rolnej w województwie łódzkim. Szanse te wzrosną pod warunkiem łatwiejszego dostępu do szeroko rozumianej informacji dotyczącej opłacalności oraz wszechstronności zastosowania biomasy jako surowca energetycznego. Jest to istotne zarówno dla podmiotów strony podażowej, jak i strony popytowej tych rynków. Bardzo istotne wydaje się włączenie władz lokalnych i regionalnych do koordynacji działań pomiędzy podmiotami. Sukcesy innych krajów UE w wykorzystaniu biomasy rolnej do celów energetycznych w dużej mierze wynikają ze stosowania

odpowiedniego finansowego i organizacyjnego wsparcia tej produkcji. Instrumenty powinny być adresowane zarówno do producentów, jak i do odbiorców biomasy.

Korzyści wynikające z rozwoju energetyki rozproszonej mogą być znaczne. Do głównych należy zaliczyć chociażby zmniejszenie strat przesyłowych, wzrost bezpieczeństwa energetycznego w ujęciu regionalnym, a także pozytywny wpływ na środowisko naturalne. Dla Polski zazielenianie sektora energetycznego stanowi jednak wciąż duże wyzwanie.

Bibliografia

- Adamczyk F., *Wpływ wilgotności słomy zbożowej na stopień zagęszczania uzyskiwanych brykietów*, „Inżynieria Rolnicza” 2010, nr 1.
- Altman I., Johnson T., *The Choice of Organizational form as a Non-Technical Barrier to Agro-Bioenergy Industry Development*, “Biomass and Bioenergy” 2008, 32.
- AOSIS, *Tackling the Challenge of Climate Change: A Near-Term Actionable Mitigation Agenda*, 23 September 2014.
- Ashenfelter O. C., Farber H., Ransom M. R., *Labor Market Monopsony*, “Journal of Labor Economics” 2010, vol. 28, no. 2.
- Baran D., Kwaśniewski D., Mudryk K., *Wybrane właściwości fizyczne trzyletniej wierzyby energetycznej*, „Inżynieria Rolnicza” 2007, nr 8.
- BEFS, *Bioenergy and Food Security. The BEFS Analytical Framework*, FAO, Rome 2010.
- Bellante D., *The Non Sequitur in the Revival of Monopsony Theory*, “The Quarterly Journal of Austrian Economics” 2007, vol. 10, no. 2.
- Blair R. D., Harrison J. L., *Antitrust Policy and Monopsony*, “Cornell Law Review” 1991, vol. 76, no. 2 (January).
- Blaug M., *Teoria ekonomii. Ujęcie retrospektywne*, PWN, Warszawa 1994.
- Borooh V. K., *Market Failure An Economic Analysis of its Causes and Consequences*, Northern Ireland 2003 (February).
- Brennan T. J., *Energy Efficiency and Renewable Policies: Promoting Efficiency or Facilitating Monopsony?*, “Energy Policy” 2011, 39.
- Brennan T. J., *Energy Efficiency: Efficiency or Monopsony?*, Discussion Paper, Washington 2009 (May).
- Budzyński W., Bielski S., *Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego, cz. II: Biomasa jako paliwo stałe (artykuł przeglądowy)*, „Acta Sci. Pol. Agricultura” 2004, nr 2.
- Burchard-Dziubińska M., *Instytucjonalne aspekty międzynarodowej współpracy w dziedzinie ochrony środowiska przyrodniczego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2006.
- Burczyk H., *Przydatność zbóż na potrzeby produkcji energii odnawialnej w świetle wyników doświadczeń*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 3.
- Burkett J. P., *Microeconomics: Optimization, Experiments, and Behavior*, Oxford University Press, New York 2006.
- Chmielniak T., *Technologie energetyczne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2008.
- Chołuj D., Podlaski S., Wiśniewski G., Szmalec J., *Kompleksowa ocena biologicznej przydatności 7 gatunków roślin wykorzystywanych na cele energetyczne*, [w:] A. Harasim (red.), *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG PIB” 2008, z. 11.
- Chum H. L., Overend R. P., *Biomass and Renewable Fuels*, “Fuel Processing Technology” 2001, 71.
- Clair le M. S., Franceschi D., *Externalities in International Trade: The Case for Differential Tariffs*, “Ecological Economics” 2006, 58.

- Davidson J. D., *Brazil is the New America*, John Wiley & Sons Inc., New Jersey 2012.
- Demirbas A., *Potential Applications of Renewable Energy Sources, Biomass Combustion Problems in Boiler Power Systems and Combustion Related Environmental Issues*, "Progress in Energy and Combustion Science" 2005, 31.
- Denisiuk W., *Brykiety/pelety ze słomy w energetyce*, „Inżynieria Rolnicza” 2007, nr 9.
- Denisiuk W., *Słoma – potencjał masy i energii*, „Inżynieria Rolnicza” 2008, nr 2.
- DePasquale Ch., *Collusive Monopsony and Antitrust Damages*, "The Antitrust Bulletin" 2009, vol. 54, no. 4.
- Dobek T. K., Dobek M., Šařec O., *Ocena efektywności ekonomicznej i energetycznej produkcji pszenicy ozimej i rzepaku ozimego wykorzystywanych do produkcji biopaliw*, „Inżynieria Rolnicza” 2010, nr 1.
- Dyken S. van, Bakken B. H., Skjelbred H. I., *Linear Mixed – Integer Models for Biomass Supply Chains with Transport, Storage and Processing*, "Energy" 2010, 35.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77WE oraz 2003/30/WE.
- Dziewanowska M., Dobek T., *Energetyczna i ekologiczna ocena procesu pozyskiwania ciepła podczas spalania liści zbieranych na terenach miejskich*, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 1.
- Eurostat, *Agriculture, Forestry and Fishery Statistics. 2015 Edition*, European Union 2016.
- Evans A., Strezov V., Evans T. J., *Sustainability Considerations for Electricity Generation from Biomass*, "Renewable and Sustainable Energy Reviews" 2010, 14.
- Fiedor B., Czaja S., Graczyk A., Jakubczyk Z., *Podstawy ekonomii środowiska i zasobów naturalnych*, Wydawnictwo C.H. Beck, Warszawa 2000.
- Filipiak K., *Syntetyczny wskaźnik żyzności gleby*, „Nawozy i Nawożenie” 2010, nr 41.
- Fiorillo F., Santacroce S., Staffolani S., *Monopsonistic Competition for the Best Workers*, "Labour Economics" 2000, 7.
- Floriańczyk Z., Buks J., *Z badań nad rolnictwem społecznie zrównoważonym. Produktowność rolnictwa z perspektywy produkcji żywności i surowców dla energii odnawialnej*, nr 51, IERiGŻ-PIB, Warszawa 2012.
- Frączek J., Mudryk K., Wróbel M., *Wybrane właściwości fizyczno-mechaniczne topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.)*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 6.
- Fugol M., Pilarski K., *Burak cukrowy jako substrat do biogazowni*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 5.
- Fugol M., Szlachta J., *Zasadność używania kiszonki z kukurydzy i gnojowicy świńskiej do produkcji biogazu*, „Inżynieria Rolnicza” 2010, nr 1.
- Garcia-del-Barrio P., Pujol F., *Hidden Monopsony Rents in Winner-take-all Markets Sport and Economic Contribution of Spanish Soccer Players*, "Managerial and Decision Economics" 2007, vol. 28.
- Gillingham K., Newell R. G., Palmer K., *Energy Efficiency Economics and Policy*, Discussion Paper, Resources for the Future, Washington 2009 (April).
- Graczyk A. M., *Analiza i ocena zgodności instrumentów polityki ekologicznej dotyczących odnawialnych źródeł energii z zasadami zrównoważonego rozwoju*, [w:] A. Graczyk, A. Ciechelska (red.), *Prace naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Polityka ekologiczna a rozwój*, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, Wrocław 2015.
- Grant Ballard-Tremeer, *Opportunities for Biomass Energy Programmes – Experiences & Lessons Learned by UNDP in EU & the CIS*, Final Report, 17 May 2007.
- Grzelak M., Waliszewska B., *Wartość energetyczna pelletu z łąk nadnoteckich ekstensywnie użytkowanych*, „Nauka Przyroda Technologie” 2010, t. 4, z. 1.
- Grzesik M., Janas R., Romanowska-Duda Z., *Stymulacja wzrostu i procesów metabolicznych ślaczowca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* L. Rusby) za pomocą hydrokondycjonowania nasion*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 4.

- Grzybek A., *Zapotrzebowanie na biomasę i strategię energetycznego jej wykorzystania*, [w:] A. Harasim (red.), *Uprawy roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG PIB” 2008, z. 11.
- GUS, *Ochrona środowiska 2015*, Warszawa 2015.
- GUS, *Powszechny Spis Rolny 2010*, Warszawa 2010.
- GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2010*, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2011.
- GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2014*, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2014.
- GUS, *Rocznik statystyczny rolnictwa 2015*, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2015.
- Harasim A. (red.), *Uprawy roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG PIB” 2008, z. 11.
- Harrison J. L., Harrison C. C., *The Law and Economics of the NCAA's Claim to Monopsony Rights*, „The Antitrust Bulletin” 2009, vol. 54, no. 4.
- Havlíčková K., Weger J., Knápek J., *Modeling of Biomass Prices for Bio-Energy Market in the Czech Republic*, „Stimulation Modelling Practice and Theory” 2011, 19.
- Hjort-Gregersen K., *Market Overview Micro Scale Digesters*, BioEnergy Farm II publication, Agro-Tech A/S, Denmark 2015.
- Horst van der D., *Spatial Scale and Social Impacts of Biofuel Production*, „Biomass and Bioenergy” 2011, 35.
- Hotelling H., *Stability in Competition*, „The Economic Journal” 1929, vol. 39, no. 153 (March).
- Hryniewicz M., Grzybek A., *Energochłonność skumulowana uprawy miskantusa*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2010, nr 2.
- Iakovou E., Karagiannidis A., Vlachos D., Toka A., Malamakis A., *Waste Biomass-To-Energy Supply Chain Management: A Critical Synthesis*, „Waste Management” 2010, 30.
- IEA, *Bioenergy – a Sustainable and Reliable Energy Source*, IEA Bioenergy, OECD, Paris 2009.
- IEA, *Creating Markets for Energy Technologies*, Paris 2003.
- IEO, *Energetyka rozproszona*, Fundacja Instytutu na rzecz Ekorozwoju, Warszawa 2011.
- IEO, *Ocena skutków ekonomicznych utrzymania wsparcia dla technologii współspalania węgla z biomasą. Aktualizacja raportu*, Warszawa 2013 (marzec).
- Igras J., Lipiński W., *Regionalne zróżnicowanie stanu agrochemicznego gleb w Polsce*, [w:] A. Harasim (red.), *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG PIB” 2006, z. 3.
- Igras J., Lipiński W., *Ocena wybranych elementów stanu żyzności gleby i jakości płytkich wód gruntowych na tle intensywności produkcji roślinnej w ujęciu regionalnym*, „Pamiętnik Puławski” 2006, z. 142.
- Impact of Increasing Contribution of Dispersed Generation on the Power System*, Working Group 37.23. CIGRE, Paris 1999 (February), [w:] J. Paska, M. Sałek, T. Surma, *Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w systemach hybrydowych*, „Wiadomości Elektrotechniczne” 2005, nr 12.
- Inoue A., Vukina T., *Testing for the Principal's Monopsony Power in Agency Contracts*, „Empirical Economics” 2006, vol. 31.
- IPCC, *Climate Change 2014. Synthesis Report*, Geneva 2015.
- Janicki M., Janicka A., *Potencjał energetyczny drewna pochodzącego z lasów i terenów leśnych*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2010, nr 4.
- Jasiulewicz M., *Potencjał biomasy w Polsce*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2010.
- Jastrzębska G., *Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
- Jinji N., *Factor Market Monopsony and International Duopoly*, „The Journal of International Trade and Economic Development” 2012, vol. 21, no. 2.
- Jurczyk M., *Generacja rozproszona a rynek energii*, „Rynek Energii” 2005, nr 3.

- Kachel-Jakubowska M., Szpryngiel M., *Analiza perspektyw wytwarzania biopaliw płynnych w Polsce*, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 8.
- Kajdan-Zysnarska I., Matuszak E., Nowak D., Matuszewski J., Oryś A., Raczkowska E., Ratajczak J., *Ochrona środowiska w gospodarstwie rolnym. Poradnik dla doradcy*, Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Poznaniu, Poznań 2010.
- Karaszewicz A., *Zawartość wybranych metali ciężkich w drewnie robinii akacjowej*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2010, nr 2.
- KE, Dyrekcja Generalna ds. Polityki Regionalnej, *Przewodnik do analizy kosztów i korzyści projektów inwestycyjnych. Fundusze strukturalne, Fundusz Spójności oraz Instrument Przedakcesyjny*, Raport końcowy, 16.06.2008.
- KE, *Unijny system handlu uprawnieniami do emisji (EU ETS)*, Urząd Publikacji UE, 2013 (październik).
- Klugmann E., Klugmann-Radziemska E., *Alternatywne źródła energii energetyka fotowoltaiczna*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 1999.
- Klugmann-Radziemska E., *Odnawialne źródła energii. Przykłady obliczeniowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006.
- Kolowca J., Knapik P., *Właściwości mechaniczne żdźbła miskanta olbrzymiego*, „Inżynieria Rolnicza” 2008, nr 9.
- Kolowca J., Wróbel M., Baran B., *Model mechaniczny żdźbła trawy *Miscanthus giganteus**, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 6.
- Kolowca J., Wróbel M., *Wpływ wilgotności na właściwości reologiczne rozdrobnionej trawy energetycznej *Miscanthus giganteus**, „Inżynieria Rolnicza” 2010, nr 4.
- Kościk B., *Zasoby słomy i siana na cele energetyczne gminy Łaszczków*, „Ekonomia i Środowisko” 2011, nr 2.
- Koutsoyiannis A., *Modern Microeconomics*, second edition, Macmillan Press, London 1979.
- Kowalczyk-Juśko A., *Redukcja emisji zanieczyszczeń dzięki zastąpieniu węgla biomasą spartyną preriowej*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2010, nr 4.
- Kowara M., Lasocki K., Trepka M., *Analiza polskiego systemu wsparcia produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w postaci Zielonych Certyfikatów na podstawie prawa pomocy publicznej*, K&L Gates, Warszawa 2014.
- Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A., *Ocena prawna oraz analiza ekonomiczna możliwości realizacji celów wynikających ze strategii energetyki odnawialnej oraz z dyrektywy 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27.09.2001 w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych*, Warszawa 2007.
- Krasowicz S., Oleszek W., Horabik J., Dębicki R., Jankowiak J., Stuczyński T., Jadczyński J., *Racjonalne gospodarowanie środowiskiem glebowym Polski*, „Polish Journal of Agronomy” 2011, 7 (grudzień).
- Kraszkiewicz, A., Kachel-Jakubowska M., Szpryngiel M., Niedziółka I., *Ocena właściwości fizycznych dendromasy robinii akacjowej*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 6.
- Krot K., Truskołaska M., *Ogólna charakterystyka i klasyfikacja badań naukowych i metod badawczych*, [w:] B. Poskrobko (red.), *Metody badań naukowych z przykładami ich zastosowania*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2012.
- Kruczek S., Głąbik R., Sikor R., *Zagadnienia gazyfikacji drewna*, „Energetyka Ciepła i Zawodowa” 2002, nr 18, s. 18–20, [cyt. za:] K. Kościk, *Ocena zasobów biomasy drzewnej na terenie gminy Łaszczów*, „Ekonomia i Środowisko” 2011, nr 2.
- Kryk B., *Czas na zielone kotłowniki*, „Ekonomia i Środowisko” 2014, nr 3.
- Kryk B., *Green Jobs – Good Practices*, [w:] M. Burchard-Dziubińska (red.), *Towards a Green Economy. From Ideas to Practice*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2015.
- Kryk B., *Relacje ekonomii społecznej z koncepcją zrównoważonego rozwoju*, „Ekonomia i Środowisko” 2012, nr 3.

- Kuhn P., *Is Monopsony the Right Way to Model Labor Markets? A Review of Alan Manning's Monopsony in Motion*, "Journal of the Economics of Business" 2004, vol. 11, no. 3 (November).
- Kundzewicz Z. W., Zalewski M., Kędziora A., Pierzgałski E., *Zagrożenia związane z wodą*, „Nauka” 2010, 4.
- Kupczyk A., Wójcik A., Majkowska M., *Wybrane problemy rozwoju sektora biogazu rolniczego w Polsce*, [w:] F. Kraniec (red.), *Odnawialne źródła energii w świetle globalnego kryzysu energetycznego. Wybrane problemy*, Wydawnictwo Difin, Warszawa 2010.
- Kuś J., Faber A., Stasiak M., Kawalec A., *Plonowanie wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne na różnych glebach*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2008, nr 1.
- Kuś J., Faber A., Stasiak M., Kawalec A., *Produkcyjność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w różnych siedliskach*, [w:] A. Harasim (red.), *Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce*, „Studia i Raporty IUNG PIB” 2008, z. 11.
- Kuś J., Jończyk K., *Dobra Praktyka Rolnicza w gospodarstwie rolnym. Materiały szkoleniowe*, Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Radomiu, Radom 2005.
- Kwaśniewski D., Mudryk K., Wróbel M., *Zbiór wierzby energetycznej z użyciem piły łańcuchowej*, „Inżynieria Rolnicza” 2006, nr 13.
- Kwaśniewski D., *Techniczno-ekonomiczne aspekty zbioru na plantacjach wierzby energetycznej*, „Inżynieria Rolnicza” 2007, 6 (94).
- Lewandowski W. M., *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, wyd. 4 uaktualnione, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2007.
- Ligus M., *Efektywność inwestycji w odnawialne źródła energii. Analiza kosztów i korzyści*, Wydawca CeDeWu Sp. z o.o., Warszawa 2012.
- Lisowski A. (red.), *Technologie zbioru roślin energetycznych*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2010.
- Manning A., *The Real Thin Theory: Monopsony in Modern Labour Markets*, Centre for Economic Performance, London 2003.
- Marczak H., *Aspekty energetycznego wykorzystania biogazu z odpadów na przykładzie województwa lubuskiego*, „Inżynieria Ekologiczna” 2009, nr 21.
- Marszałek M., Wiśniewski S., *Wojewódzki Program Małej Retencji dla województwa łódzkiego. Synteza*, Wojewódzki Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych, Warszawa 2005.
- Matyka M., Kuś J., *Plonowanie i cechy biometryczne wybranych genotypów miskanta*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 2.
- Ministerstwo Gospodarki, *Kierunki rozwoju biogazowni rolniczych w Polsce w latach 2010–2020*, dokument przygotowany we współpracy z Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi, dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 13 lipca 2010 roku, Warszawa 2010.
- Muehlemann S., Ryan P., Wolter S. C., *Monopsony Power, Pay Structure and Training*, „Discussion Paper Series” 2011, no. 5598 (March).
- Muller R. A., Mestelman S., Spraggon J., Godby R., *Can Double Auctions Control Monopoly and Monopsony Power in Emissions Trading Markets?*, „Journal of Environmental Economics and Management” 2002, vol. 44.
- Niedziółka I., Szpryngiel M., Kraszewicz A., Kachel-Jakubowska M., *Ocena wydajności brykietowania oraz jakości brykietów wytworzonych z wybranych surowców roślinnych*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 6.
- Niedziółka I., Zuchniarz A., *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*, „MOTROL” 2006, 8A.
- Niestępska M., *Makroekonomiczne determinanty mające wpływ na ceny energii elektrycznej w Polsce*, „Ekonomia i Środowisko” 2011, nr 1.
- Niestępska M., *Nowe cele polityki klimatycznej Unii Europejskiej a polityka fiskalna w Polsce – perspektywa do 2030 roku*, „Ekonomia i Środowisko” 2015, nr 2.

- Obrycka E., *Korzyści społeczne i ekonomiczne budowy biogazowni rolniczych*, „*Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*” 2014, nr 107.
- Owen A. D., *Renewable Energy: Externality Costs as Market Barriers*, “*Energy Policy*” 2006, 34.
- Parkin M., King D., *Economics*, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- Paska J., *Generacja rozproszona z wykorzystaniem hybrydowych układów wytwórczych*, „*Energetyka*” 2013 (czerwiec).
- Paska J., Satek M., Surma T., *Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła w systemach hybrydowych*, „*Wiadomości Elektrotechniczne*” 2005, nr 12.
- Pimentel D., Patzek T. W., *Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood, Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower*, “*Natural Resource Research*” 2005, vol. 14, no. 1 (March).
- Piskier T., *Potencjał energetyczny topinamburu*, „*Problemy Inżynierii Rolniczej*” 2009, nr 1.
- Piowarczyk J., *Energetyczne użytkowanie biomasy roślinnej*, „*GLOBEnergy*” 2003, nr 2–3.
- Popławski Ł., *Kierunki rozwoju społeczno-ekonomicznego gminy Oksa preferowane przez jej mieszkańców*, „*Zeszyty Naukowe. Polskie Towarzystwo Ekonomiczne*” 2005, nr 3.
- Popławski Ł., *Kierunki wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich w opinii mieszkańców gminy Słupia Jędrzejowska*, „*Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*” 2014, nr 361: *Agrobiznes 2014. Rozwój agrobiznesu w okresie 10 lat przynależności Polski do Unii Europejskiej*.
- Popławski Ł., *Multifunctional Development of Protected Areas in Poland in the Opinion of Its Inhabitants in 2 Municipalities*, “*Review of Integrative Business & Economics Research*” 2014, vol. 3 (2).
- Popławski Ł., *Uwarunkowania ekorozwoju gmin wiejskich na obszarach chronionych województwa świętokrzyskiego*, PWN, Warszawa 2014.
- Popławski Ł., *Wsparcie instytucjonalne rozwoju gmin wiejskich w opinii mieszkańców obszarów chronionych województwa świętokrzyskiego*, „*Handel Wewnętrzny*” 2013 (listopad–grudzień).
- Rentizelas A. A., Tolis A. J., Tatsiopoulos I. P., *Logistics Issues of Biomass: The Storage Problem and the Multi – Biomass Supply Chain*, “*Renewable and Sustainable Energy Reviews*” 2009, 13.
- Romaniuk W., Łukaszuk M., Karbowy A., *Potencjalne możliwości rozwoju biogazowni w gospodarstwach rolnych w Polsce*, „*Problemy Inżynierii Rolniczej*” 2010, nr 4.
- Romanowska-Duda Z., Grzesik M., Pszczółkowski W., *Biomasa i biogaz*, [w:] *Inwestowanie w energetykę odnawialną. Aspekty ekologiczne, technologie, finansowanie, benchmarking*, Polska Akademia Nauk, Oddział w Łodzi, Komisja Ochrony Środowiska, Łódź 2011.
- Roszkowski A., *Bioenergia – pola i las zastąpią węgiel, ropę i gaz?*, „*Inżynieria Rolnicza*” 2009, nr 1.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, Dz. U. z 2008 r., poz. 969.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 października 2012 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, Dz. U. z 2012 r., poz. 1229.
- Rutkowski K., *Analiza wydajności oraz składu biogazu w biogazowni o mocy 1 MW*, „*Inżynieria Rolnicza*” 2011, 6 (131).
- Rutkowski K., Maternowska W., *Możliwości zagospodarowania odpadów z upraw ogrodniczych do produkcji biogazu*, „*Inżynieria Rolnicza*” 2009, nr 5.
- Saenz-Segura F., D’Haese M., Schipper R. A., *A Seasonal Model of Contracts Between a Monopsonistic Processor and Smallholder Pepper Producers in Costa Rica*, “*Agricultural Systems*” 2010, 3.
- Saidur R., Abdelaziz E. A., Demirbas A., Hossain M. S., Mekhilef S., *A Review on Biomass as Fuel for Boilers*, “*Renewable and Sustainable Energy Reviews*” 2011, 15.

- Sesmero J. P., Balagatas J. V., Pratt M., *The Economics of Spatial Competition for Corn Stover*, "Journal of Agricultural and Resource Economics" 2015, 40 (3) (September).
- Siejka K., Tańczuk M., Trinczek K., *Koncepcja szacowania potencjału energetycznego biomasy na przykładzie wybranej gminy województwa opolskiego*, „Inżynieria Rolnicza” 2008, nr 6.
- Silski Z., *Elementy ekonomiki regionalnej*, Politechnika Koszalińska, Koszalin 1997.
- Singh J., Panesar B. S., Sharma S. K., *Energy Potential through Agricultural Biomass Using Geographical Information System – A Case Study of Punjab*, "Biomass and Bioenergy" 2008, 32.
- Skonecki S., Gawłowski S., Potręć M., Laskowski J., *Właściwości fizyczne i chemiczne surowców roślinnych stosowanych do produkcji biopaliw*, „Inżynieria Rolnicza” 2011, nr 8.
- Skrónicki H. (red.), *Skrócone normatywy produkcji rolnej*, Wydawnictwo Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Radom 2010.
- Solino M., Prada A., Vazquez M. X., *Green Electricity Externalities: Forest Biomass in an Atlantic European Region*, "Biomass and Bioenergy" 2009, 33.
- Staniak M., *Zrównoważony rozwój obszarów wiejskich w aspekcie środowiskowym*, „Woda – Środowisko – Obszary Wiejskie” 2009, t. 9, z. 3 (27).
- Stelmachowski A. (red.), *Prawo rolne*, LexisNexis, wyd. 5, Warszawa 2009.
- Stiglitz J. E., *Ekonomia sektora publicznego*, PWN, Warszawa 2004.
- Szeptycki A., *Biopaliwa – zlecenia UE, potrzeby, realne możliwości produkcji*, „Inżynieria Rolnicza” 2007, nr 7.
- Szyszlak-Bargłowicz J., Piekarski W., *Wartość opałowa biomasy łodyg ślazuwca pensylwańskiego w zależności od wilgotności*, „Inżynieria Rolnicza” 2009, nr 8.
- Świętochowski A., Grzybek A., Gutry P., *Wpływ czynników agrotechnicznych na właściwości energetyczne słomy*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 1.
- TOE, *Rynek energii elektrycznej i gazu w Polsce – stan na 31 marca 2014 r.*, Warszawa 2014.
- TOE, *Rynek energii elektrycznej i gazu w Polsce – stan na 31 marca 2015 r.*, Warszawa 2015.
- TOE, *Rynek energii elektrycznej i gazu w Polsce – stan na 31 marca 2016 r.*, Warszawa 2016.
- URE, *Departament Taryf, Taryfy OSD na rok 2012 (dotyczy OSD, którzy dokonali, z dniem 1 lipca 2007 r., rozdzielenia działalności)*, Warszawa 2011 (listopad).
- URE, *Sprawozdanie z działalności prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2012 r.*, Warszawa 2013.
- URE, *Sprawozdanie z działalności prezesa Urzędu Regulacji Energetyki w 2014 r.*, Warszawa 2015.
- Urząd Statystyczny w Łodzi, *Rolnictwo w województwie łódzkim w 2014 r.*, Łódź 2015.
- Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, Dz. U. z 2015 r., poz. 478.
- Varian H. R., *Mikroekonomia. Kurs średni – ujęcie nowoczesne*, PWN, Warszawa 2002.
- Vassilev S. V., Baxter D., Andersen L. K., Vassileva Ch. G., *An Overview of the Chemical Composition of Biomas*, "Fuel" 2010, 89.
- Wasilewski Z., Barszczewski J., *Stan trwałych użytków zielonych i możliwość ich wykorzystania do produkcji biogazu*, „Problemy Inżynierii Rolniczej” 2011, nr 2.
- White W., Lunnan A., Nybakk E., Kulisic B., *The Role of Governments in Renewable Energy: The Importance of Policy Consistency*, "Biomass and Bioenergy" 2013, 57.
- Windén M., Cruze N., Haab T., Bakshi B., *Monetized value of the Environmental, Health and Resource Externalities of Soy Biodiesel*, "Energy Economics" 2015, 47.
- Wojtulewski S., *Techniki pozyskiwania i gromadzenia informacji*, [w:] B. Poskrobko (red.), *Metody badań naukowych z przykładami ich zastosowania*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2012.
- Wonnacott P., Wonnacott R., *Economics*, second edition, McGraw-Hill Book Company, New York 1992.
- Zawadzka A., Imbierowicz M., *Rośliny energetyczne oraz technologie i urządzenia dla przetwórnictwa biomasy*, [w:] E. Kochańska (red.), *Inwestowanie w energetykę odnawialną. Aspekty ekologiczne, technologie, finansowanie i benchmarking*, Stowarzyszenie Doradców Gospodarczych Pro-Akademia, Łódź 2010.

- Zhang L., Xu Ch., Champagne P., *Overview of Recent Advances in Thermo-Chemical Conversion of Biomass*, "Energy Conversion and Management" 2010, 51.
- Żylicz T., *Cena przyrody*, Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko, Białystok 2014.
- Żylicz T., *Ekonomia środowiska zasobów naturalnych*, PWE, Warszawa 2004.

Witryny internetowe

- <http://biogazowniawgminie.pl/artykuly/biogazownia-w-konopnicy/> (dostęp: 2.05.2016).
- http://bip.lodz.rdos.gov.pl/files/575/1282/biogazownie_16_07_2014.jpg (dostęp: 2.05.2016).
- <http://ec.europa.eu> (dostęp: 22.04.2016).
- http://energetyka.wnp.pl/uruchomiono-biogazownie-1-99-mw-w-konopnicy,180459_1_0_0.html (dostęp: 2.05.2016).
- <http://ieo.pl/pl/projekty/energia-odnawialna-w-rolnictwie> (dostęp: 7.05.2016).
- <http://ioze.pl/energetyka-biogazowa/zalety-biogazowni-rolniczych> (dostęp: 2.05.2016).
- <http://klimatarolnictwo.pl/odnawialne-zrodla-energii/biomasa/biopaliwa-plynne> (dostęp: 8.02.2016).
- http://lodz.wyborcza.pl/lodz/14,126435,15440727,Dzien_na_zywo_z_Dalkia_Lodz_w_elektrocieplowni_EC4.html?disableRedirects=true (dostęp: 2.05.2016).
- <http://magazynbiomasa.pl/sprawdza-sie-czarny-scenariusz/> (dostęp: 13.05.2016).
- <http://odnawialnezrodlaenergii.pl/oze-aktualnosci/item/2679-nowelizacja-ustawy-o-oze-w-sejmie-zobacz-projekt> (dostęp: 12.05.2016).
- <http://stat.gov.pl> (dostęp: 21.04.2016).
- <http://tomaszowmazowiecki.naszemiasto.pl/artykul/nowoczesna-biogazownia-w-sobawinach-zaoszczedza-na-energii,2220448,artgal,t,id,tm.html> (dostęp: 2.05.2016).
- <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf> (dostęp: 2.04.2015).
- <http://www.arimr.gov.pl> (dostęp: 11.05.2016).
- http://www.arr.gov.pl/data/02004/rejestr_biogazowni_rolniczych_01022015.pdf (dostęp: 11.02.2015).
- <http://www.bioenergiadlaregionu.eu> (dostęp: 2.05.2016).
- http://www.biogazownie.fwie.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=32:biogazownia-rolnicza-w-konopnicy&catid=15&Itemid=11 (dostęp: 2.05.2016).
- <http://www.handel-emisjami-co2.cire.pl> (dostęp: 13.05.2016).
- <http://www.lasy.gov.pl> (dostęp: 12.04.2016).
- <http://www.minrol.gov.pl> (dostęp: 22.04.2016).
- <http://www.rynek-energii-elektrycznej.cire.pl/st,33,200,tr,67,0,0,0,0,0,elektrownie-w-polsce.html> (dostęp: 27.06.2015).
- <http://www.rynek-energii-elektrycznej.cire.pl/st,33,318,item,27178,7,0,0,0,0,uczestnicy-ryнку-i-formy-handlu-energia.html> (dostęp: 27.06.2015).
- <http://www.rynek-gazu.cire.pl/st,43,287,tr,32,0,0,0,0,0,0,struktura-rynku.html> (dostęp: 24.04.2016).
- <http://www.tge.pl> (dostęp: 24.04.2016).
- <http://www.ure.gov.pl> (dostęp: 24.04.2016).
- <http://www.ure.gov.pl/pl/rynki-energii/paliwa-ciekłe/charakterystyka-rynku/6163,2014.html> (dostęp: 24.04.2016).
- <http://www.ure.gov.pl/uremapoze/mapa.html> (dostęp: 27.07.2015).
- <https://data.oecd.org/agroutput/crop-production.htm> (dostęp: 11.05.2016).
- <https://www.ure.gov.pl/pl/rynki-energii/energia-elektryczna/odnawialne-zrodla-ener/potencjal-krajowy-oze/5753,Moc-zainstalowana-MW.html> (dostęp: 24.04.2016).

Spis rysunków i tabel

Rysunki

1. Etapy produkcji energii z biomasy	19
2. Maksymalizacja zysku przedsiębiorstwa monopsonowego	51
3. Nieefektywność przedsiębiorstwa monopsonowego	53
4. Lokalizacja przestrzenna monopsonisty	56
5. Średnia cena świadectw pochodzenia (zielonych certyfikatów – OZE_A)	76
6. Struktura gleb według klas bonitacji w województwie łódzkim	82
7. Gospodarstwa rolne według grup obszarowych użytków rolnych	83
8. Struktura gospodarstw rolnych w Polsce i w województwie łódzkim w 2014 roku według grup obszarowych użytków rolnych	84
9. Teoretyczny potencjał energetyczny słomy zbóż według województw [PJ]	97
10. Potencjał teoretyczny biogazu rolniczego według województw [TJ]	100
11. Potencjał teoretyczny roślin energetycznych według województw [PJ]	103
12. Łączny teoretyczny potencjał energetyczny biomasy rolnej w przekroju województw [PJ] ...	103
13. Powierzchnia użytków rolnych gospodarstw województwa łódzkiego objętych badaniem	116
14. Struktura odpowiedzi na pytanie: Ile osób pracuje w gospodarstwie rolnym?	116
15. Struktura odpowiedzi na pytanie: Jaki jest rodzaj produkcji gospodarstwa rolnego? ...	117
16. Rodzaj prowadzonej produkcji roślinnej w gospodarstwach rolnych objętych badaniem	119
17. Struktura odpowiedzi na pytanie: Czy jest Pani/Pan zainteresowana/-y uprawą roślin energetycznych?	119
18. Struktura odpowiedzi na pytanie: Dlaczego nie jest Pani/Pan zainteresowana/-y uprawą roślin energetycznych?	120
19. Stan wiedzy respondentów odnośnie zagadnienia biomasy rolnej	121
20. Struktura odpowiedzi na pytanie: Jaki rodzaj biomasy rolnej występuje u Pani/Pana w gospodarstwie?	123
21. Struktura odpowiedzi na pytanie: Jaki rodzaj biomasy rolnej sprzedaje Pani/Pan? ...	135
22. Struktura odpowiedzi na pytanie: Czy dowozi Pani/Pan sprzedaną biomasę rolną do skupu?	136
23. Struktura odpowiedzi na pytanie: W jaki sposób wykorzystuje Pani/Pan energetycznie biomasę rolną?	137
24. Struktura odpowiedzi na pytanie: Dlaczego nie jest Pani/Pan zainteresowana/-y sprzedażą biomasy rolnej?	138
25. Struktura odpowiedzi na pytanie: Dlaczego nie jest Pani/Pan zainteresowana/-y sprzedażą biomasy rolnej?	139

26. Przyczyny braku chęci sprzedaży biomasy rolnej ujęte w kategorii „inne”	140
27. Struktura odpowiedzi na pytanie: Na jaką odległość jest Pani/Pan gotowa/-y dostarczyć biomasę rolną?	140
28. Struktura odpowiedzi na pytanie: Gdyby odbiór był zagwarantowany przez firmę zewnętrzną, to czy Pani/Pan byłaby/-łby gotowa/-y sprzedawać biomasę rolną?	141
29. Mapa biogazowni rolniczych w województwie łódzkim	144

Tabele

1. Klasyfikacja biomasy pochodzenia roślinnego	18
2. Klasyfikacja biomasy rolnej pochodzącej z produkcji roślinnej	18
3. Klasyfikacja biomasy stałej z uwzględnieniem źródła pochodzenia	20
4. Wartość opałowa wybranych rodzajów biomasy stałej w zależności od wilgotności	21
5. Charakterystyka wybranych roślin energetycznych	23
6. Jednostkowe nakłady energochłonności skumulowanej produkcji zbóż i miskantusa (bez uwzględnienia skumulowanej energochłonności ziemi)	25
7. Wartość opałowa łądyg ślázowca pensylwańskiego o zmiennej wilgotności w różnych terminach zbioru	25
8. Ciepło spalania i wartość opałowa wybranych gatunków drewna	27
9. Właściwości fizyczne wybranych rodzajów przetworzonej biomasy drzewnej	28
10. Wybrane parametry brykietów i pelletów ze słomy, mączki i makuchu	30
11. Charakterystyka wybranych produktów ubocznych i roślin w kontekście uzysku biogazu	31
12. Biopaliwa silnikowe i surowce do ich produkcji	33
13. Metody konwersji biomasy z uwzględnieniem źródeł pochodzenia	36
14. Mocne i słabe strony wynikające z wykorzystania biomasy jako surowca energetycznego	39
15. Pozytywne i negatywne efekty związane z wykorzystaniem biomasy rolnej jako surowca energetycznego	45
16. Wykaz OZE w poszczególnych województwach (stan na dzień 2.07.2015)	70
17. Stawki płatności bezpośrednich w Polsce w roku 2015	87
18. Wskaźniki pozyskania słomy w zależności od areалу upraw z uwzględnieniem zbóż ozimych i jarych [t/ha]	90
19. Dane dotyczące obliczenia potencjału teoretycznego biogazu z odpadów zwierzęcych...	91
20. Plon suchej masy oraz wartość opałowa wybranych roślin energetycznych	93
21. Powierzchnia zasiewów zbóż w Polsce w 2014 roku [tys. ha]	93
22. Potencjał teoretyczny słomy dla pszenicy i pszenżyta w Polsce w 2014 roku	94
23. Potencjał teoretyczny słomy dla żyta i jęczmienia w Polsce w 2014 roku	95
24. Potencjał teoretyczny słomy dla owsa, rzepaku i rzepiku w Polsce w 2014 roku	96
25. Hodowla zwierząt w Polsce w 2014 roku	98
26. Potencjał teoretyczny energii chemicznej biogazu z odpadów produkcji zwierzęcej (gnojowicy) w Polsce w 2014 roku	99
27. Potencjał teoretyczny miskantusa i ślázowca pensylwańskiego według województw w 2013 roku	100
28. Potencjał teoretyczny upraw energetycznych w Polsce w 2013 roku	102
29. Powierzchnia powiatów województwa łódzkiego z uwzględnieniem użytkowania gruntów rolnych	106

30. Potencjał teoretyczny wybranych roślin w powiatach województwa łódzkiego	109
31. Koszty założenia plantacji wybranych gatunków roślin energetycznych	110
32. Zestawienie cen minimalnych dla plantacji wybranych roślin energetycznych	112
33. Liczba inwentarza żywego w gospodarstwach województwa łódzkiego objętych badaniem według powiatów [szt.]	117
34. Struktura odpowiedzi na pytanie: W jaki sposób wykorzystuje Pani/Pan biomasę rolną?	121
35. Charakterystyka gospodarstw rolnych, w których biomasa rolna zalega w gospodarstwie	122
36. Struktura odpowiedzi na pytanie: W jaki inny sposób wykorzystuje Pani/Pan biomasę rolną?	122
37. Produkcja oraz potencjał energetyczny obornika z gospodarstw rolnych objętych badaniem w województwie łódzkim	124
38. Produkcja oraz potencjał energetyczny gnojowicy z gospodarstw rolnych objętych badaniem w województwie łódzkim	125
39. Teoretyczny potencjał energetyczny biogazu z odpadów produkcji zwierzęcej w powiatach województwa łódzkiego	127
40. Produkcja oraz potencjał energetyczny słomy z gospodarstw rolnych objętych badaniem w województwie łódzkim	128
41. Oszacowanie produkcji słomy oraz teoretyczne zgłaszane zapotrzebowanie na słomę na ściółkę, paszę oraz przeoranie w powiatach województwa łódzkiego [t]	129
42. Produkcja i potencjał energetyczny siana z gospodarstw rolnych objętych badaniem w województwie łódzkim oraz teoretyczny potencjał energetyczny siana	131
43. Produkcja oraz potencjał energetyczny zielonki z gospodarstw rolnych objętych badaniem w województwie łódzkim	132
44. Charakterystyka gospodarstw rolnych sprzedających biomasę rolną	133
45. Charakterystyka gospodarstw rolnych objętych badaniem, wykorzystujących biomasę rolną na cele energetyczne	137
46. Zestawienie oszacowanego teoretycznego potencjału energetycznego biomasy rolnej w Polsce ze zużytą energią elektryczną w 2014 roku	147

