



The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

PIOTR BANASZUK, AGNIESZKA WYSOCKA-CZUBASZEK,
ROBERT CZUBASZEK, SŁAWOMIR ROJ-ROJEWSKI¹

SKUTKI ENERGETYCZNEGO WYKORZYSTANIA BIOMASY²

Streszczenie: Duży potencjał energetyczny biomasy stwarza szansę dla ochrony klimatu pod warunkiem jej racjonalnego wykorzystania. Niewłaściwe wytwarzanie biomasy może mieć negatywny wpływ na przyrodę i klimat. Wprowadzanie monokultur roślin energetycznych, zwłaszcza uprawianych bez prawidłowo prowadzonych zabiegów uprawowych oraz przy nadmiernym nawożeniu, może prowadzić do zwiększenia erozji wodnej i wietrznej, a także do zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych. Zwiększanie powierzchni monokultur roślin energetycznych zaczyna wpływać negatywnie na kulturowy krajobraz wiejski. Kolejnym problemem jest wprowadzanie upraw energetycznych na cenne, z punktu widzenia bioróżnorodności, ekstensywnie użytkowane łąki i pastwiska „marginalne”. Zwiększenie produkcji biomasy energetycznej może być ważnym elementem wielofunkcyjnego rozwoju wsi i mieć korzystny wpływ na dochody rolników, jednakże jej produkcja może też stanowić konkurencję dla innych upraw, czego efektem będzie podwyżka cen żywności. Dlatego wykorzystanie biomasy na cele energetyczne powinno być poprzedzone wnikliwą analizą skutków środowiskowych, społecznych i ekonomicznych, jakie niesie ze sobą uzyskiwanie energii odnawialnej z tego źródła. Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego powinny być wytwarzane w warunkach oszczędnego gospodarowania zasobami, a ich produkcja nie może stanowić zagrożenia dla środowiska. Energetyczne wykorzystanie biomasy powinno w pierwszej kolejności wiązać się z zagospodarowaniem odpadów z produkcji rolnej, biomasy z pielęgnacji ekosystemów chronionych i nadwyżkowej biomasy z leśnictwa.

Słowa kluczowe: biomasa, gazy cieplarniane, ochrona klimatu, źródła energii odnawialnej, rolnictwo

¹ Autorzy są pracownikami Katedry Ochrony i Kształtowania Środowiska Politechniki Białostockiej (e-mail: p.banaszuk@pb.edu.pl; a.wysocka@pb.edu.pl; r.czubaszek@pb.edu.pl; s.roj@pb.edu.pl).

² Praca została sfinansowana ze środków na realizację projektu „Badanie skuteczności aktywnych i pasywnych metod poprawy efektywności energetycznej infrastruktury z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii”, realizowanego w ramach umowy o dofinansowanie nr UDA-RPPD.01.01.00-20-015/12/00 zawartej 4 czerwca 2014 r. Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podlaskiego 2007–2013, Działanie 1.1.

WSTĘP

Biomasa ma duży potencjał energetyczny, którego racjonalne wykorzystanie jest szansą dla ochrony klimatu. W przeciwieństwie jednak do energii słonecznej zasoby biomasy są ograniczone. Sądzi się, że w 2020 roku UE-25 będzie w stanie bez uszczerbku dla środowiska uzyskiwać 236 Mtoe energii z biomasy, w tym 96 Mtoe z rolnictwa [EEA 2006]. W krajach Wspólnoty biomasa jest obecnie najważniejszym źródłem energii odnawialnej, a jej udział waha się od 36% w Niemczech do niemal 96% w Estonii (tab. 1).

TABELA 1. Udział źródeł energii odnawialnej w wybranych krajach Unii Europejskiej w 2012 r.
TABLE 1. Share of renewable energy sources in selected EU countries in year 2012

	UE-28	Austria	Czechy	Estonia	Finlandia	Litwa	Łotwa	Niemcy	Polska	Słowacja	Szwecja
Biomasa	47,2	50,1	66,3	95,9	79,7	86,6	80,2	35,9	82,4	55,9	51,7
Energia słoneczna	5,1	2,1	6,1	–	0,0	0,0	–	8,6	0,2	2,9	0,1
Energia wody	16,2	39,1	2,6	0,3	14,6	3,0	13,7	5,5	2,1	24,6	36,7
Energia wiatru	10,0	2,2	1,1	3,5	0,4	3,9	0,4	13,2	4,8	0,0	3,3
Biogaz	6,8	2,2	11,5	0,3	0,6	1,0	2,2	19,5	2,0	4,3	0,7
Biopaliwa	6,5	2,5	6,7	–	2,8	9,0	3,5	9,0	8,0	10,5	3,4
Energia geotermalna	3,2	0,4	–	–	–	0,3	–	0,3	0,2	0,4	–
Odpady komunalne	4,9	1,5	2,6	–	1,9	–	–	7,9	0,4	1,3	4,2

Źródło: [GUS, 2014].

Source: [GUS, 2014].

W dłuższej perspektywie udział biomasy w OZE będzie malał na rzecz energii wiatru i słońca, które stopniowo zaczną odgrywać rolę dominującą. Uprzywilejowana pozycja energii słonecznej i wiatrowej wynika, z jednej strony, ze znacznie większej wydajności produkcji energii z jednostki powierzchni, a z drugiej zaś, z możliwości wykorzystania powierzchni niekonkurencyjnych w stosunku do pól uprawnych, np. dachów budynków. Należy sądzić, że w przyszłości rosnące zapotrzebowanie na żywność i powiększający się niedobór pól uprawnych wraz z rosnącą ceną paliw kopalnych wpłyną na zwiększenie kosztów produkcji rolnej, w tym i kosztów wytwarzania biomasy energetycznej. W efekcie, w ciągu kilku dziesięcioleci, energia z biomasy będzie coraz droższa, a opłacalność jej stosowania coraz mniejsza, w przeciwieństwie do taniejących technologii fotowoltaicznych i wiatrowych [Kost i in. 2012]. Obecnie jednak biomasa jest najtańszym i najprostszym w wykorzystaniu odnawialnym nośnikiem energii [Klimaschutz... 2007].

Zapotrzebowanie na biomasę energetyczną i surowcową zwiększa się, a od 2000 r. światowa produkcja paliw z biomasy rolniczej wzrosła trzykrotnie. Jest to szczególnie widoczne w krajach Unii Europejskiej i w USA, gdzie rozwój rynku biopaliw stymulują regulacje polityczne, dlatego coraz większe powierzchnie są zajmowane

pod uprawy energetyczne. W Niemczech w 2014 r. około 17,5% gruntów ornych było zajęte pod uprawę roślin energetycznych, głównie rzepaku i kukurydzy [Anbaufläche... 2014]. Prognozuje się, że do 2020 r. 15% światowej produkcji zbóż i oleju roślinnego oraz około 30% trzciny cukrowej będzie przetwarzane na biopaliwa, a ich uprawa zajmie około 20% gruntów ornych [OECD/FAO, 2011]. Powierzchnię tę zwiększy dodatkowo uprawa roślin do produkcji biogazu [von Bauhus i in. 2012]. Coraz częściej zatem dochodzi do konfliktu między produkcją biomasy energetycznej i pokryciem zapotrzebowania na żywność i pasze [EEA 2006], a potrzebę zajmowania przestrzeni na uprawy energetyczne uważa się obecnie za ich główną wadę [Parajuli i in. 2015].

Na obszarach wiejskich dostępna biomasa energetyczna odznacza się dużą różnorodnością. Może nią być: biomasa upraw energetycznych, materiały odpadowe z rolnictwa, leśnictwa i przemysłu spożywczego, jak również osad ściekowy z komunalnych oczyszczalni ścieków. Uprawa i uzyskiwanie biomasy rolniczej, jako surowca energetycznego nie są, jak to się często uważa, całkowicie i „z definicji” przyjazne dla środowiska, a wraz ze zwiększaniem obszarów upraw biomasy należy się liczyć z rosnącym i coraz bardziej złożonym oddziaływaniem na abiotyczne i biotyczne komponenty przyrody. Wynoszenie z (agro)ekosystemu „nadwyżek”, takich jak słoma czy drewno odpadowe z produkcji leśnej, zawsze wiąże się z naruszeniem cyklu biogeochemicznego, głównie ze zubażaniem siedlisk w pierwiastki biogeniczne i materię organiczną. Dużym problemem jest również wprowadzanie nowych, często inwazyjnych, gatunków roślin energetycznych. Najpoważniejszym jednak zagrożeniem jest przekształcanie trwałych użytków zielonych przyczyniających się do akumulacji CO₂ w intensywne uprawy takich roślin, jak kukurydza, rzepak czy wierzba energetyczna. Szczególnie zagrożone są ekstensywne „marginalne” łąki i pastwiska, które są coraz częściej przekształcane w grunty orne pod uprawę kukurydzy [Ammermann 2008].

Spór o nową politykę energetyczną jest już nie tylko sporem o technikę i technologię. W coraz większym stopniu przeradza się on w dyskusję na temat wyboru pomiędzy centralnymi lub zdecentralizowanymi strukturami produkcji i zaopatrzenia w energię oraz ubocznymi konsekwencjami środowiskowymi stosowania „zielonej energii”. Kwestia ta dotyczy również energii z biomasy, której niewłaściwe wytwarzanie może mieć negatywny wpływ na przyrodę i klimat.

Celem pracy jest przedstawienie potencjalnych negatywnych skutków wykorzystania energetycznego biomasy.

BIOMASA A ŚRODOWISKO GLEBOWE I WODNE

W uprawie znajduje się obecnie około 60 gatunków jednorocznych i wieloletnich roślin energetycznych różniących się plonowaniem, potrzebami nawozowymi i natężeniem presji środowiskowej [Bassam 1998]. Doświadczenie wskazuje, że negatywne oddziaływanie trwałych upraw roślin wieloletnich (np. plantacji drzew o małym wieku rębności) jest mniejsze niż roślin jednorocznych, co wynika m.in. z mniejszego natężenia procesów erozyjnych wywołanych zabiegami uprawowymi oraz stosowania mniejszych dawek nawozów i środków ochrony roślin [EEA

2006]. Wielkopowierzchniowe monokultury rolnicze coraz częściej uprawiane bez właściwego zmianowania i zabiegów fitomelioracyjnych przyczyniają się do wzmożonej erozji wietrznej i wodnej powierzchniowej. W wyniku stosowania ciężkiego sprzętu dochodzi w nich do nadmiernego zagęszczenia gleb, natomiast intensywne nawożenie oraz stosowanie środków ochrony roślin jest powodem postępującego zakwaszania gleb oraz zanieczyszczenia wód gruntowych i powierzchniowych. Ryzyko środowiskowe związane z uprawami zwiększa się na glebach lekkich i przepuszczalnych [Rode i in. 2005].

W monokulturach uprawowych powszechna jest eutrofizacja środowiska związkami azotu. W Europie osiągnięcie dużych plonów wiąże się z nawożeniem N w ilości od 280 do 300 kg ha⁻¹, podczas gdy z plonem jest wynoszone z pola około 140 kg ha⁻¹. Reszta, w ilości do 160 kg ha⁻¹, jest rozpraszana w środowisku. Wartość progowa nadwyżki N, powyżej której istnieje niebezpieczeństwo poważnego zanieczyszczania środowiska, została ustalona dla krajów starej piętnastki UE na 55 kg ha⁻¹ [BMELV 2006].

W Polsce wykorzystanie azotu z nawozów jest bliskie 57%, a nadwyżki N wynoszą przeciętnie 51 kg ha⁻¹ użytków rolnych. W województwach o najintensywniejszej uprawie: kujawsko-pomorskim, wielkopolskim, łódzkim mogą wynosić około 80 kg ha⁻¹ i tam mogą powodować istotne problemy środowiskowe [Kopiński i Tujaka 2009]. W większości województw Polski obliczone nadwyżki są mniejsze, co nie wyklucza jednak lokalnego poważnego zanieczyszczenia wód gruntowych związkami azotu [Banaszuk 2007].

Trzeba pamiętać, że szacunki skutków środowiskowych upraw rolniczych wykorzystywanych wyłącznie energetycznie mogą być inne niż w przypadku tych samych roślin, np. kukurydzy, buraków czy zbóż produkowanych na potrzeby konsumpcyjne i paszowe. Brak konieczności przestrzegania restrykcyjnych norm jakościowych może prowadzić do zwiększonego nawożenia, powodującego jeszcze intensywniejsze zanieczyszczenie gleb i wody gruntowej. Zagrożeń tych można przynajmniej częściowo uniknąć wprowadzając właściwy płodozmian z obowiązkowym udziałem koniczyny i mieszanek traw [Klimaschutz... 2007]. Innym czynnikiem ograniczającym nadmierne nawożenie upraw energetycznych jest rachunek ekonomiczny, gdyż stosowanie dużych dawek nawozów może być nieopłacalne. Słoma zbóż powinna być w pierwszej kolejności zagospodarowana na cele rolnicze: na paszę i ściółkę oraz przyorwanie w celu odtwarzania ubywających zasobów materii organicznej gleb. Jedynie jej nadwyżki mogą być wykorzystane na cele pozarolnicze [Grzybek i in. 2001; Ludwicka i Grzybek 2010].

Spalanie biomasy w instalacjach ciepłych lub w instalacjach do skojarzonej produkcji energii cieplnej i elektrycznej jest najbardziej wydajnym (w stosunku do plonu z 1 ha) sposobem wykorzystania energetycznego biomasy i w największym stopniu przyczynia się do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych [CONCAWE 2006; Nitsch 2007], zwłaszcza jeśli biomasa zastępuje się węgiel kamienny i brunatny. Jednak decyzja o pozarolniczym zagospodarowaniu słomy może być podjęta jedynie po wykonaniu bilansu materii organicznej gleby. Obecnie niektóre regiony Polski nie dysponują nadwyżkami słomy, które można wykorzystać w instalacjach ciepłych [DCZT 2006; Ludwicka i Grzybek 2010]. Możliwe, że bilans materii organicznej gleb, na wielu

obszarach niekorzystny, ulegnie w niedalekiej przyszłości poprawie w wyniku powszechniejszego stosowania programów rolnośrodowiskowych, w tym pakietu działań związanego z ochroną gleb i wód oraz upowszechnieniem upraw roślin strukturotwórczych. Nadwyżki słomy mogą pojawić się również w wyniku „modernizacji” systemu hodowli i zmiany na bezściółkową [Grzybek i in. 2001]. To rozwiązanie jednak, ze względu na dobrostan zwierząt, należy traktować jako niewłaściwe. Posadzka rusztowa lub maty gumowe w oborach przyczyniają się do powstawania wielu schorzeń i uszkodzeń kończyn oraz chorób wymienia, podczas gdy obory uwięziowe oraz wolnowybiegowe ze stanowiskami i legowiskami wyścielonymi słomą zapewniają znacznie korzystniejsze warunki dla chowu bydła [Pawlak 2014].

Duża ewapotranspiracja plantacji drzew może przyczynić się do lokalnego obniżenia poziomu wody gruntowej i pogłębienia problemu niedoboru wody, zwłaszcza w przypadku wielkopowierzchniowych upraw drzew [EEA 2006].

ODDZIAŁYWANIE NA KRAJOBRAZ I RÓŻNORODNOŚĆ BIOLOGICZNĄ

Krajobraz jest specyficznym zasobem środowiskowym, który może sprzyjać działalności gospodarczej, kształtować lokalne dziedzictwo kulturowe i przyczyniać się do wzmacniania więzi społecznych, toteż musi być właściwie chroniony i kształtowany. Nowy sposób postrzegania krajobrazu spowodował, że na znaczeniu zyskał kulturowy krajobraz wiejski. Obszary rolnicze, którym niegdyś przypisywano jedynie funkcję produkcyjną, zyskują nową wartość związaną z ochroną przyrody i turystyką, a harmonijnie ukształtowana przestrzeń wiejska staje się *ograniczonym i kurczącym się dobrem publicznym* [Kupidura i in. 2011]. Zwiększanie areалу intensywnych upraw roślin energetycznych (podobnie zresztą jak i konwencjonalnych upraw rolniczych) ma znacząco negatywny wpływ na krajobraz oraz różnorodność biologiczną i wyraźnie zmniejsza wartość przyrodniczą i estetyczną terenów wiejskich [Fahrig i in. 2011; Kleijn i in. 2011]. Problem może pogłębić się w momencie intensyfikacji produkcji roślinnej, ale już obecnie uprawy energetyczne, tak jak wszystkie uprawy monokulturowe, odznaczają się wyjątkową monotonią i ubóstwem gatunków, co wskazuje, że dotychczasowe metody produkcji biomasy mogą stać w sprzeczności z potrzebami ochrony przyrody. W Niemczech zasiewy kukurydzy „energetycznej” w 2005 r. pokrywały 70 tys. ha, w 2006 r. 162 tys. ha, a w 2011 r. już 500 tys. ha, przy całkowitym areale upraw kukurydzy na kiszonkę wynoszącym około 2 029 mln ha. Rzepakiem obsiewa się 1,3 mln ha, a obie kultury zajmują 28% powierzchni gruntów ornych [Statistisches Bundesamt 2015; Deutsches Maiskomitee 2015].

Drastycznym przykładem konfliktu może być wprowadzanie upraw polowych na dotychczasowe użytki zielone, osuszane mokradła, „nieużytki” lub rezygnacja z ekstensyfikacji w ramach programów rolnośrodowiskowych na rzecz bardziej dochodowej intensywnej uprawy towarowej. Często zagospodarowanie gruntów marginalnych na cele energetyczne wskazuje się jako racjonalny sposób ich uproduktownienia.

Propagowane uprawy roślin energetycznych, w tym wierzby (*Salix viminalis*) dają znaczące plony na glebach dobrze zaopatrzonych w wodę i składniki pokarmowe.

Najlepsze efekty uprawowe wierzby można osiągnąć na glebach aluwialnych; *dobrym stanowiskiem są gleby użytkowane rolniczo (płuźnie) wyższych klas bonitacyjnych np. klasy III a i b, IV a i b. Suche, piaszczyste gleby (klasy VI) nie nadają się do wykorzystania pod uprawy energetyczne wierzby* [Tworkowski i Szczukowski 2006]. Dobre (III i IV klasy) i właściwie uwilgotnione gleby są wskazywane jako optymalne do uprawy miskanta i innych roślin energetycznych [Rembowski 2007].

Gleby marginalne to zazwyczaj okresowo lub trwale za suche lub przeciwnie, zbyt uwilgotnione gleby zaliczane do słabych klas bonitacyjnych. Często zajmują one pasy przejściowe między użytkami rolnymi i ekosystemami „półnaturalnymi”, o dużej wartości przyrodniczej. Wadliwe stosunki wodne lekkich gleb piaszczystych oraz coraz częściej pojawiające się niedobory opadów w sezonie wegetacyjnym mogą poważnie ograniczyć przyrost masy roślinnej. Letnia susza może spowodować zmniejszenie plonowania *Salix viminalis* nawet o 50%. Trudno zatem wyobrazić sobie opłacalne zagospodarowanie siedlisk suchych pod uprawę roślin o dużym przyroście biomasy i dużych wymaganiach wodnych. Wprawdzie współczesna hodowla roślin i biotechnologia potrafią zwiększyć możliwości produkcyjne tego typu siedlisk, ale opłacalność upraw jest w dalszym ciągu wątpliwa. Dotyczy to zwłaszcza roślin będących surowcem dla produkcji oleju i etanolu, ale również surowców lignocelulozowych [Dauber i in. 2012]. Jednocześnie należy pamiętać, że gleby marginalne są często bardzo podatne na erozję [Abbasi T. i Abbasi S.A. 2010].

Szczególnie negatywnie trzeba oceniać pomysły uprawy wierzby na siedliskach semihydrogenicznych [Szczukowski i in. 2011]. Obecnie w dużej części zajmują je zmiennowilgotne użytki zielone, które obok łąk bagiennych należą do najcenniejszych przyrodniczo i najszybciej ginących ekosystemów w Europie [Benstead i in. 1999]. Zastąpienie półnaturalnych zbiorowisk trawiastych przez monokultury wierzby doprowadzi do całkowitej utraty różnorodności biologicznej i walorów krajobrazowych dolin rzecznych, będących ostoją fauny i flory. Wątpliwy jest także bilans CO₂ upraw. Pomysł nasadzenia roślin energetycznych na glebach klas III i IV, które na wielkich obszarach Niżu Polskiego należą do gleb najlepszych i są podstawą ekonomiczną rolnictwa, nie wymaga komentarza.

Negatywnie na różnorodność biologiczną lasów może wpływać zmniejszenie ilości martwego drewna, będące wynikiem zagospodarowania drewna odpadowego i pozostałości z produkcji leśnej [Lassauce i in. 2012].

Potencjalne oddziaływania na środowisko i społeczeństwo nie dotyczą wyłącznie przestrzeni wiejskiej krajów najbardziej zaangażowanych politycznie i organizacyjnie w przeciwdziałanie zmianom klimatu. Globalny przepływ dóbr i usług powoduje, że znaczna część biopaliw lub surowców do ich wytwarzania powstaje w krajach trzecich, w Ameryce Łacińskiej, Afryce Subsaharyjskiej, Azji Południowo-Wschodniej, gdzie rozmiar zniszczeń środowiska, z braku dobrych mechanizmów kontroli, jest duży. Wylesienia związane bezpośrednio z uprawą palmy oleistej na potrzeby produkcji biodiesla przyczyniły się do 2,8% i 6,5% rocznego ubytku lasów w Indonezji i Malezji. Produkcja oleju sojowego na potrzeby paliwowe jest odpowiedzialna za 5,9% rocznego wylesiania w Mato Grosso w Brazylii. Znacznie większy jest jednak wpływ pośredni. Zwiększanie ceny soi w związku z boorem paliwowym spowodowało większe zainteresowanie jej uprawą i przyspieszyło wylesienia. Wielkie

odlesienia są również spowodowane zapotrzebowaniem na pastwiska [Barona i in. 2010]. W latach 1990–2008 powierzchnia wyrębów w Mato Grosso wahała się między 2200 i 11 000 km² rok⁻¹ [Morton i in. 2011].

Komisja Europejska w ostatnich latach stara się wprowadzić przepisy, które mają na celu zmniejszenie negatywnych skutków pośredniej zmiany użytkowania gruntów (ILUC) w przypadku wykorzystywania ich do produkcji biopaliw. Obecnie w Europie biopaliwa są produkowane głównie z pszenicy i rzepaku, co oznacza, że grunty orne wykorzystywane do tej pory pod uprawy zaspokajające potrzeby żywnościowe przestały pełnić tę funkcję i istnieje potrzeba powiększania powierzchni upraw, często kosztem gruntów nierolnych. W rezolucji ustawodawczej Parlamentu Europejskiego z 11 września 2013 r. zaproponowano szereg zmian w dyrektywie 98/70/WE odnoszącej się do benzyny i oleju napędowego oraz w dyrektywie 2009/28/WE w sprawie promowania stosowanej energii ze źródeł odnawialnych, które powinny ograniczyć przede wszystkim wykorzystanie biopaliw produkowanych z surowców żywnościowych, co w konsekwencji spowoduje zmniejszenie pośredniej zmiany użytkowania gruntów. Należy jednak pamiętać, że proponowane zmiany legislacyjne dotyczą jedynie biopaliw, a pomijają uprawy służące produkcji energii elektrycznej i ciepłej.

EMISJA ZANIECZYSZCZEŃ, WPŁYW NA KLIMAT I JAKOŚĆ POWIETRZA

Wiązanie dwutlenku węgla w masie roślinnej upraw energetycznych jest ważnym czynnikiem ograniczającym efekt cieplarniany i w ten sposób wpływającym na ochronę klimatu. Warunkiem jest jednak korzystny bilans gazów cieplarnianych (GHG). Nie ma jeszcze dobrego sposobu oceny oddziaływania na środowisko surowców energetycznych i paliw z upraw roślin energetycznych. Większość dotychczasowych prób stworzenia bilansu środowiskowego (Analiza Cyklu Życiowego, ang. *Life-Cycle-Assessment, LCA*) jest uznawana za niepełne i wadliwe, co wynika z dużej złożoności ocenianego zagadnienia [Reinhardt i in. 2006; Herrmann i Taube 2006; Rode i in. 2005], aczkolwiek pojawiają się ciekawe i obiecujące rozwiązania, jakim jest np. arkusz kalkulacyjny BioGrace [BioGrace GHG... 2015]. Do analizy cyklu życiowego wprowadza się coraz częściej wartości emisji z poszczególnych etapów produkcji, zamiast stosowanych dotychczas stałych wskaźników emisji, co zwiększa dokładność oceny, zwłaszcza w przypadku upraw [Gallejones i in. 2015].

LCA uprawy biomasy, oprócz gazów cieplarnianych powstających podczas zabiegów agrotechnicznych, powinna także uwzględniać uwalnianie GHG podczas produkcji, transportu oraz stosowania nawozów mineralnych i środków ochrony roślin. Analizy cyklu życiowego etanolu z robinii akacjowej, topoli i eukaliptusa wykazały, że ze względu na stosowanie ciężkiego sprzętu do zbioru biomasy, wyprodukowany etanol ma najmniejszy potencjał zmniejszania emisji GHG [Gonzalez-Garcia i in. 2012]. Dodatkowo należy brać pod uwagę przemiany fazowe składników nawozowych. Niemal natychmiast po zastosowaniu nawozów azotowych 1,25% N jest uwalniane jako podtlenek azotu (N₂O), a łącznie około 10% azotu ulatnia się do atmosfery jako tlenki azotu i amoniak [Feehan i Petersen 2004].

Mniejszą emisją podtlenku azotu cechują się wieloletnie uprawy drzew i krzewów. Lepsze wykorzystanie azotu sprawia, że ilość N_2O dostająca się do atmosfery jest mniejsza o 40% do >99% niż w przypadku upraw roślin jednorocznych [Don i in. 2012].

Przykładem niepewnego rachunku LCA, wynikającego ze złożoności oddziaływań na klimat, jest produkcja biodiesla z oleju rzepakowego. Według jednych danych wytwarzanie i spalanie biodiesla znacząco zmniejsza emisję gazów cieplarnianych, według innych zaś, emisja podtlenku azotu powstająca w trakcie uprawy rzepaku równoważy wszystkie korzyści związane z zastąpieniem paliw kopalnych przez biopaliwo [Feehan i Petersen 2004], a nawet może przyczyniać się do pogłębienia problemu klimatycznego. Różnice w ocenie wpływu produkcji biodiesla z oleju rzepakowego (FAME) wynikają, z jednej strony, z różnych uwarunkowań produkcji, takich jak wielkość nawożenia, plonowanie i technologia uprawy, z drugiej zaś rozbieżności są efektem różnych założeń metodycznych. Mimo tych niejasności, rygorystyczna ocena LCA jest w UE ważnym elementem oceny biopaliw. W realizacji narodowych celów zmniejszenia emisji GHG mogą być uwzględniane wyłącznie biopaliwa, których stosowanie zmniejszy emisję o co najmniej 35% w stosunku do ekwiwalentnej ilości paliw kopalnych. W 2017 r. ma to być 50%, natomiast w 2018 r. 60% [dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE].

Ogromna emisja CO_2 powstaje w wyniku zmian użytkowania terenu, np. zaorywania łąk i pastwisk [Bergsma i in. 2010]. Użytki zielone w Europie Środkowej mogą przeciętnie wiązać 60 g C m^{-2} [Janssens i in. 2005], podczas gdy z gruntów ornych uwalnia się przeciętnie 70 g C m^{-2} rocznie. Zmiana sposobu użytkowania wiąże się zatem z uwalnianiem netto około $130 \text{ g C m}^{-2} \text{ rok}^{-1}$. Bilans CO_2 opracowany dla terenów wiejskich: gruntów ornych, użytków zielonych i lasów 34 krajów Europy lokuje Polskę na odległym 29 miejscu. W Polsce dochodzi do uwalniania netto około 22 g C m^{-2} , na co składa się między innymi emisja 37 g C m^{-2} z pól ornych i 26 g C m^{-2} z torfowisk. Znaczące wiązanie CO_2 występuje w lasach, nie równoważy ono jednak strat z terenów uprawnych i zmeliorowanych, przesuszonych mokradł. Intensywna produkcja nie zawsze jest równoznaczna z emisją dwutlenku węgla. W Niemczech na terenach wiejskich gleby wiążą $43,3 \text{ g C m}^{-2}$, a kraj znajduje się na 5. miejscu listy rankingowej. Szacuje się, że zmniejszenie możliwości magazynowania dwutlenku węgla w glebach Europy o 5%, doprowadziłoby do uwolnienia CO_2 w ilości porównywalnej do tej, jaka jest emitowana w wyniku spalania paliw kopalnych na całym kontynencie [Janssens i in. 2005].

W Europie Zachodniej rolnictwo odpowiada za emisję około 13% gazów cieplarnianych [BMELV 2006], a uprawa i hodowla powodują największą emisję podtlenku azotu i metanu [Klimaschutz... 2007]. Niemal połowa gazów cieplarnianych z rolnictwa jest emitowana w postaci N_2O [Bonesmo i in. 2012]. Zmiana użytkowania z pastwiskowego na uprawy energetyczne topoli hybrydowej i wierzyby powoduje w pierwszym roku po zaoraniu gleby znaczne zwiększenie emisji podtlenku azotu oraz większe wymywanie azotanów [Nikiema i in. 2012].

Energetyczne wykorzystanie biomasy prowadzi do uwalniania gazów zakwaszających i eutrofizujących środowisko (SO_2 , NO_x). Emisja składników eutrofizujących jest największa przy produkcji biogazu, na plantacjach krzewów i drzew, a także

w uprawie rzepaku. W przypadku biogazowni szczególnie duże uwalnianie tlenków azotu i amoniaku wiąże się ze stosowaniem osadu pofermentacyjnego do nawożenia pól [Nitsch i in. 2004].

Zanieczyszczeniami powstającymi podczas spalania biomasy (zwłaszcza słomy) mogą być lotne związki organiczne (LZO), wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), tlenki siarki, związki chloru, aldehydy, alkohole, fenole, dioksyyny oraz wolne rodniki. Większość tych związków ma charakter drażniący, rakotwórczy i może zakłócać procesy genetyczne komórek. Poza tym emitowany jest pył o bardzo małej średnicy cząsteczek PM₁₀ (<10 mikrometrów) i PM_{2,5} (<2,5 mikrometra), który absorbuje większość z wymienionych substancji. Ze względu na niewielkie rozmiary osadza się on na powierzchni pęcherzyków płucnych. Udział pyłów PM₁₀ w całkowitej ilości pyłów powstających podczas spalania drewna może osiągać 90%. W Niemczech szacuje się, że w latach 2002 i 2003 ilość mikrocząsteczek pyłów emitowanych z palenisk domowych wzrosła z 22,7 tys. t do 24,0 tys. t i była to ilość przekraczająca emisję z transportu drogowego [Klimaschutz... 2007]. Nawet nowoczesne wysokosprawne kotły emitują kilka gramów pyłu na kilogram spalanego drewna. Spalanie lub współspalanie słomy powoduje zwiększone zagrożenie korozją chlorkową wewnętrznych elementów stalowych kotłów. Dlatego też zaleca się spalanie słomy sezonowanej, tzw. szarej, która przemyta przez deszcz może być pozbawiona nawet ponad 80% tego szkodliwego pierwiastka [Grzybek i in. 2001].

EKONOMICZNE I SPOŁECZNE SKUTKI ENERGETYCZNEGO WYKORZYSTANIA BIOMASY

Energetyczne zagospodarowanie biomasy może mieć wpływ na rynek pracy. Należy oczekiwać zwiększenia zatrudnienia, szczególnie w przemyśle i usługach związanych z wytwarzaniem i obsługą urządzeń i instalacji energetycznych. Mniejszy wpływ na zatrudnienie wystąpi w sektorze rolniczym i leśnictwie [Isermeyer i Zimmer 2006]. Wykorzystanie lokalnych, odnawialnych zasobów energetycznych może też przyczyniać się do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego [Marks-Bielska i Bielski 2013].

Wartość dodana może pojawić się zwłaszcza w regionach, w których zaniechanie praktyk rolniczych miało niekorzystne konsekwencje z punktu widzenia ochrony biotopów i krajobrazu kulturowego. Te względne pozytywy nie powinny być jednak rozumiane jako zachęta do powiększania arealów upraw energetycznych w celu wzmocnienia ekonomicznego obszarów wiejskich. Nie wiadomo, czy ewentualne zalety wdrażania bioenergetyki nie są lokalnie równoważone przez aspekty negatywne. Biomasa może stanowić konkurencję dla innych upraw, czego efektem jest wzrost cen ziemi, czynszów dzierżawnych i w konsekwencji cen żywności i pasz. Wyraźny trend podnoszenia opłat dzierżawnych obserwuje się w „zagłębiach” biomasowych w Dolnej Saksonii, gdzie w latach 2003–2006 opłaty wzrosły z 250 € za hektar do niemal 700 € za hektar. Szczególnie duży wzrost czynszów dzierżawnych występuje w regionach o dużym zagęszczeniu biogazowni. Bliskie (<2 km) sąsiedztwo instalacji ma istotny statystycznie wpływ na opłaty. W niektórych powiatach Dolnej

Saksonii między 2004 r. i 2010 r. zwiększyły się one o 150–370 € za hektar [von Carsten i Theuvsen 2012]. W dłuższej perspektywie należy oczekiwać uspokojenia rynku i wyrównania stawek, ale krótkoterminowo gwałtowne zmiany cen mogą doprowadzić do upadku lub co najmniej pogorszenia sytuacji ekonomicznej wielu gospodarstw. Taka sytuacja wystąpiła w roku 2006, kiedy w wyniku słabych zbiorów, ale jak można sądzić, także opisanych zmian warunków produkcji, ceny pszenicy wzrosły o ponad 30%. Wzrost cen był korzystny dla gospodarstw towarowych nastawionych na uprawę zbóż, ale hodowcy i producenci pasz ponieśli znaczne straty [Klimaschutz... 2007].

Szacuje się, że w Polsce do 2020 roku może powstać w sektorze energetyki odnawialnej nawet 350 tys. nowych miejsc pracy, z czego najwięcej przy wykorzystaniu biomasy [Greenpeace... 2011]. Niewłaściwe rozwiązania techniczne i organizacyjne mogą dawać jednak efekty dalekie od oczekiwanych. Przykładem jest wąska specjalizacja uprawowa. Rolnicy (producenci biomasy) często koncentrują się wyłącznie na uprawie wybranych roślin energetycznych, np. rzepaku czy kukurydzy, przetwarzanych następnie w dużych scentralizowanych zakładach przemysłowych. Taki podział zadań wyłącza producentów z grona beneficjentów systemu wytwarzania energii i sprowadza ich jedynie do roli dostawców tanich surowców, zdanych na ciągłe wahania cen i zmuszanych do coraz to tańszego (i intensywniejszego) produkowania.

Wyniki kontroli NIK [2014] wskazują, że w Polsce nie zwiększyła się ilość miejsc pracy na terenach wiejskich w związku z uprawą roślin energetycznych używanych do produkcji biokomponentów i biopaliw ciekłych. W latach 2008–2012 liczba gorzelni dostarczających alkohol etylowy mieszany z etyliną zmniejszyła się z 223 do 137. O 6% spadło zatrudnienie przy tłoczeniu oleju. Biopaliwa nie przyciągnęły uwagi naukowców. W latach 2008–2013 na zaledwie 39 projektów badawczych wydano niecałe 19 mln zł, które przyniosły tylko dwa zgłoszenia patentowe.

Wszystkie szacunki pokazują, że energetyczne wykorzystanie biomasy rolniczej nie będzie panaceum na problemy klimatyczne świata, a tereny wiejskie będą w stanie pokryć jedynie niewielką część zapotrzebowania na paliwa transportowe, energię elektryczną i ciepłą, niezbędne dla funkcjonowania współczesnego społeczeństwa. Należy zatem już w tej chwili zrezygnować z energetycznej utopii i zrationalizować oczekiwania wobec rolnictwa i leśnictwa.

ZALECENIA I WNIOSKI

1. Energetyczne wykorzystanie biomasy powinno być poprzedzone oceną skutków społecznych, ekonomicznych i środowiskowych, jakie niesie ze sobą uzyskiwanie energii odnawialnej. Nie można zagospodarowywania biomasy, energii wiatru i słońca traktować jako produkcyjnego wyścigu o ilość, a bardziej skupić się na jakości, a na terenach wiejskich należy zwracać uwagę na skumulowane efekty środowiskowe, których składowymi będą: bilans energetyczny, bilans CO₂, różnorodność biologiczna i krajobraz, a także na efekty społeczno-gospodarcze.

2. Nowa polityka energetyczna, która ma prowadzić do zwiększenia udziału energii odnawialnej, musi spełniać wszystkie kryteria zrównoważonego rozwoju.

Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego powinny być wytwarzane w warunkach oszczędnego gospodarowania zasobami, a ich produkcja nie może stanowić zagrożenia dla środowiska. Z tego względu z dużą ostrożnością należy podchodzić do propozycji intensywnych upraw roślin energetycznych.

3. Intensywne („przemysłowe”) uzyskiwanie lub produkcja biomasy będą nieuchronnie prowadziły do rosnącej konkurencji o rolniczą przestrzeń produkcyjną oraz pogłębiającego się negatywnego oddziaływania na krajobraz i różnorodność biologiczną. Poważne i złożone oddziaływanie na środowisko wiąże się zwłaszcza ze zmianą użytkowania terenu i z wprowadzaniem upraw energetycznych w miejsce użytków zielonych lub nieużytków. Efektem takiego działania jest zazwyczaj powstanie paradoksalnej sytuacji, w której monokultury oraz energochłonne przetwórstwo surowców stają się znacznym obciążeniem dla środowiska i nie tylko nie przyczyniają się do rozwiązywania problemów niedoboru energii i ochrony klimatu, lecz nawet mogą prowadzić do ich pogłębienia.

4. Energetyczne wykorzystanie biomasy powinno w pierwszej kolejności wiązać się z zagospodarowaniem odpadów z produkcji rolnej, biomasy z pielęgnacji ekosystemów chronionych i nadwyżkowej biomasy z leśnictwa. Pożądanym kierunkiem jest fermentacja biomasy i produkcja biogazu. Należy wspierać w pierwszej kolejności biogazownie, w których wsadem będą nawozy naturalne: obornik, gnojowica i pomiot ptasi z domieszką roślinną, np. kiszonką traw uzyskiwanych z trwałych użytków zielonych. Ze względów środowiskowych należy ograniczać rozwój biogazowni, do których wsadem są specjalnie uprawiane rośliny energetyczne: kukurydza, buraki i in. Należy wspierać przede wszystkim instalacje małe, pracujące na potrzeby pojedynczych gospodarstw (lub ich grup) i zarządzane przez rolników.

5. Produkcja energii odnawialnej musi przyczyniać się do zwiększenia potencjału ekonomicznego słabych strukturalnie regionów wiejskich. Polityka energetyczna ma tylko wtedy sens i szanse akceptacji, gdy społeczeństwo uzna ją za krok idący dalej niż tylko abstrakcyjne dla wielu działania na rzecz ochrony klimatu. Tylko wtedy, gdy jednostki ludzkie, samorządy czy regiony odkrywają, że są beneficjentami polityki energetycznej i mogą czerpać z niej wymierne korzyści, tworząc nowe perspektywy rozwoju ekonomicznego, polityka energetyczna otrzyma impuls do dynamicznego rozwoju.

BIBLIOGRAFIA

- Abbasi T., Abbasi S.A., 2010: Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, s. 919–937.
- Ammermann K., 2008: Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe – Auswirkungen auf die Biodiversität und Kulturlandschaft. *Natur und Landschaft* 83, s. 108–110.
- Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe, 2014: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. www.fnr.de.
- Banaszuk P., 2007: *Wodna migracja rolniczych zanieczyszczeń obszarowych do wód powierzchniowych w zlewni górnej Narwi*. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej.
- Barona E., Ramankutty N., Hyman G., Coomes O.T., 2010: The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environ. Res. Lett.* 5, p. 1–9.

- Bassam N., 1998: *Energy plant species. Their use and impact on environment and development*. London: James & James.
- Benstead P., Jose P., Joyce C., Wade M., 1999: *European Wet Grassland, Guidelines for Management and Restoration*. RSPB, Sandy.
- Bergsma G.C., Croezen H.J., Otten M.B.J., van Valkengoed M.P.J., 2010: *Biofuels: indirect land use change and climate impact*. Delft, CE Delft.
- BioGrace GHG calculation tool, 2015: www.biograce.net.
- BMELV, 2006: *Nationaler Strategieplan der Bundesrepublik Deutschland für die Entwicklung ländlicher Räume 2007–2013*. Berlin.
- Bonesmo H., Skjelvåg A.O., Janzen H.H., Klakegg O., Tveito O.E., 2012: Greenhouse gas emission intensities and economic efficiency in crop production: A system analysis of 95 farms. *Agricultural Systems*, 110, p. 142–151.
- CONCAWE 2006: EUCAR (European Council for Automotive R&D), European Commission – Joint Research Centre, Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. JRC. Well-to-wheels report Version 2b.
- Dauber J., Brown C., Fernando A.L., Finnan J., Krasuska E., Ponitka J., Styles D., Thran D., Van Groenigen K.J., Weih M., Zah R., 2012: Bioenergy from “surplus” land: environmental and socio-economic implications. *BioRisk* 7, p. 5–50.
- DCZT 2006: *Potencjał Dolnego Śląska w zakresie rozwoju alternatywnych źródeł energii*. Dolnośląskie Centrum Zaawansowanych Technologii, Sieć Energia, Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK) 2015: www.maiskomitee.de
- Don A., Osborne B., Hastings A., Skiba U., Carter M.S., Drewer J., Flessa H., Freibauer A., Hyvonen N., Jones M.B., Lanigan G.J., Mander U., Monti A., Njakou Djomo S., Valentine J., Walter K., Zegada-Lizarazu W., Zenone T., 2012: Land-use change to bioenergy production in Europe: implications for the greenhouse gas balance and soil carbon. *GCB Bioenergy* 4, p. 372–391.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie stosowania i promowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE i 2003/30/WE. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 52.
- EEA (European Environment Agency), 2006: How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. EEA Report 7.
- Fahrig L., Baudry J., Brotons L., Burel F.G., Crist T.O., Fuller R.J., Sirami C., Siriwardena G.M., Martin J.-L., 2011: Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters*, 14, p. 101–112.
- Feehan J., Petersen J.-E., 2004: A framework for evaluating the environmental impact of biofuel use. [w:] *Biomass and agriculture*. OECD. Sustainability, markets and policies. OECD, Paris, 151–168.
- Gallejones P., Prado A., Aizpurua A., del Prado A., 2015: Life cycle assessment of first-generation biofuels using nitrogen crop model. *Scienc. Tot. Environ.*, 505, p. 1191–1201.
- Gonzalez-Garcia S., Moreira M.T., Feijoo G., Murphy R.J., 2012: Comparative life cycle assessment of ethanol production from fast-growing wood crops (black locust, eucalyptus and poplar). *Biomass and bioenergy*, 39, p. 378–388.
- Greenpeace zapowiada 350 tys. miejsc pracy przy OZE, 2011: Forbes. Ringier Axel Springer Polska (www.forbes.pl/artykuly/sekcje/wydarzenia/greenpeace-zapowiada-350-tys--miejsc-pracy-przy-oze,12423,1).
- Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K., 2001: *Słoma energetyczne paliwo*. Akademia Rolnicza w Lublinie, Warszawa.
- GUS 2014: *Energia ze źródeł odnawialnych w 2013 r.* Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Herrmann A., Taube F., 2006: Die energetische Nutzung von Mais in Biogasanlagen – Hinkt die Forschung der Praxis hinterher? *Berichte über Landwirtschaft* 84, s. 165–197.
- Isermeyer F., Zimmer Y., 2006: *Thesen zur Bioenergie-Politik in Deutschland*. Braunschweig: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie 02/2006.

- Janssens I.A., Freibauer A., Schlamadinger B., Ceulemans R., Ciais P., Dolman A.J., Heimann M., Nabuurs G.-J. Smith P., Valentini R., Schulze, E.-D., 2005: The carbon budget of terrestrial ecosystems at country-scale – a European case study. *Biogeosciences*, 2, 15–26.
- Kleijn D., Rundlöf M., Scheper J., Smith H. G., Tscharntke T., 2011: Does conservation on farmland contribute to halting the biodiversity decline? *Trends in Ecology Evolution*, 26, 9, 474–481.
- Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten, 2007: Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU), Erich Schmidt Verlag.
- Kopiński J., Tujaka A., 2009: Bilans azotu i fosforu w rolnictwie polskim. *Woda, Środowisko, Obszary Wiejskie*, 9, 4, 103–116.
- Kost C., Schlegl T., Thomsen J., Nold S., Maye J. *Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Version: 30. Mai 2012*, Fraunhofer-Institut Für Solare Energiesysteme Ise.
- Kupidura A., Łuczewski M., Kupidura P., 2011: *Wartość krajobrazu. Rozwój przestrzeni obszarów wiejskich*. PWN, Warszawa.
- Lassauce A., Lieutier F., Bouget C., 2012: Woodfuel harvesting and biodiversity conservation in temperate forests: Effects of logging residue characteristics on saproxylic beetle assemblages. *Biological Conservation*, 147, 1, 204–212.
- Ludwicka A., Grzybek A., 2010: Bilans biomasy rolnej (słomy) na potrzeby energetyki. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2/2010, 101–111.
- Marks-Bielska R., Bielski S., 2013: Wzrost roli rolnictwa w zapewnieniu bezpieczeństwa energetycznego kraju. *Wież i Rolnictwo*, 4(161), s. 149–160.
- Morton D.C., Sales M.H., Souza C.M. Griscom B., 2011: Historic emissions from deforestation and forest degradation in Mato Grosso, Brazil: 1) source data uncertainties. *Carbon Balance and Management*, 6:18 doi:10.1186/1750-0680-6-18.
- NIK, 2014: *Informacja o wynikach kontroli stosowanie biopaliw i biokomponentów w transporcie*. KGP-4101-01-00/2013 Nr ewid. 192/2013/P/13/054/KGP.
- Nikiema P., Rothstein D.E., Miller R.O., 2012: Initial greenhouse gas emissions and nitrogen leaching losses associated with converting pastureland to short-rotation woody bioenergy crops in northern Michigan, USA., *Biomass and Bioenergy*, 39, 413–426.
- Nitsch J., 2007: Leitstudie 2007. *Ausbaustrategie Erneuerbare Energien. Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050*. BMU, Berlin.
- Nitsch J., Krewitt W., Nast M., Viebahn P., Gärtner S., Peht M., Reinhardt G., Schmidt R., Uihlein A., Scheurlen K., Barthel C., Fishedick M., Merten F., 2004: *Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland*. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, FKZ 901 41 803. Stuttgart, Heidelberg, Wuppertal: DLR, IFEU, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie.
- OECD/FAO, 2011: OECD-FAO Agricultural Outlook 2011–2020. OECD Publishing and FAO.
- Parajuli R., Sperling K., Dalggaard T., 2015: Environmental performance of Miscanthus as a fuel alternative for district heat production. *Biomass and bioenergy*, 72, 104–116.
- Pawlak H., 2014: Wpływ systemu utrzymania na długowieczność krów. *Poradnik Gospodarski*, 2, 18–20.
- Reinhardt G., Gärtner S., Patyk A., Rettenmaier N., 2006: *Ökobilanzen zu BTL: Eine ökologische Einschätzung*. IFEU, Heidelberg.
- Rembowski Ł., 2007: *Rośliny i ziarno. Miskant. Wymagania klimatyczno-glebowe*. Portal Agroenergetyka.pl. <http://agroenergetyka.pl/?a=article&id=14>.
- Rezolucja ustawodawcza Parlamentu Europejskiego z dnia 11 września 2013 r. w sprawie wniosku dotyczącego dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady zmieniającej dyrektywę 98/70/WE odnoszącą się do jakości benzyny i olejów napędowych oraz zmieniającej dyrektywę 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych. <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+TA+P7-TA-2013-0357+0+DOC+XML+V0//PL&language=PL>.
- Rode M., Schneider C., Ketelhake G., Reißhauer D., 2005: *Naturschutzverträgliche Erzeugung und Nutzung von Biomasse zur Wärme – und Stromgewinnung*. Bonn, BfN-Skripten, 136.
- Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2015: www.destatis.de.

- Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J., 2011: Plon biomasy wierzby produkowanej systemem eko-salix. *Fragm. Agron.* 28, 4, s. 104–115.
- Tworkowski J., Szczukowski S., 2006: Uprawa wierzby energetycznej. [w:] *Praktyczne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Plan energetyczny województwa podlaskiego*. PFRR, Białystok, s. 35–42.
- von Baurus J., Christen O., Dabbert S., Gauly M., Heissenhuber A., Hess J., Isermeyer F., Kirsche D., Latacz-Lohmann U., Otte A., Qaim M., Schmitz P.M., Spiller A., Sundrum A., Weingarten P., 2012: Ernährungssicherung und nachhaltige Produktivitätssteigerung Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. *Ber. Ldw.* 90, H. 1, s. 5–34.
- von Carsten H.E., Theuvsen L., 2012: Einfluss der Biogasproduktion auf den regionalen Pachtmarkt. *Ber. Ldw.* 90, H. 1, s. 84–112.

IMPLICATIONS OF BIOMASS USE FOR ENERGY PRODUCTION

Abstract: The high energy potential of biomass creates an opportunity for climate protection however this biomass must be used properly. Inappropriate production of biomass can have a negative effect on nature and the climate. Monocultures of energy crops, particularly improperly cultivated and excessively fertilized, can lead to accelerated water and wind erosion, as well as the contamination of both groundwater and surface water. The enlargement of the area of energy crop monocultures can begin to affect negatively the rural landscape. The conversion of valuable, from the point of view of biodiversity, extensively used meadows and pastures into energy cropland is another important issue. Increasing production of energy biomass can be an important element of the multifunctional development of rural areas and have a positive impact on farmers' income; however the production of energy crops can compete with other crops, which will result in increases in food prices. Therefore, the use of biomass for energy purposes should be preceded by an analysis of the environmental, social and economic effects of renewable energy production using this source. The biomass available from agriculture should be produced efficiently and without risk to the environment. Energy use of biomass could first be associated with the management of waste from agricultural production, biomass from the maintenance of protected ecosystems and surplus biomass from forestry.

Key words: biomass, greenhouse gases, climate protection, renewable energy sources, agriculture