

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA
I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT
BADAWCZY



**STUDIA
I
RAPORTY
IUNG - PIB**

11

PROGRAM WIELOLETNI
2005–2010
PUŁAWY, 2008

**UPRAWA ROŚLIN ENERGETYCZNYCH
A WYKORZYSTANIE ROLNICZEJ
PRZESTRZENI PRODUKCYJNEJ
W POLSCE**

KSZTAŁTOWANIE
ŚRODOWISKA ROLNICZEGO POLSKI
ORAZ ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ
PRODUKCJI ROLNICZEJ

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Dyrektor: *prof. dr hab. Seweryn Kukula*

Redaktor: *doc. dr hab. Adam Harasim*

Recenzenci: *doc. dr hab. Adam Harasim*
prof. dr hab. Stanisław Krasowicz
prof. dr hab. Jan Kuś
doc. dr hab. Tomasz Stuczyński

Opracowanie redakcyjne i techniczne: *dr Irena Marcinkowska*

ISBN 978-83-7562-001-6

Egzemplarz bezpłatny

Nakład 350 egz., B-5, zam. 35/F/08
Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG - PIB w Puławach
tel. (081) 8863421 w. 301 i 307; fax (081) 8864547
e-mail: iung@iung.pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

UPRAWA ROŚLIN ENERGETYCZNYCH
A WYKORZYSTANIE ROLNICZEJ PRZESTRZENI
PRODUKCYJNEJ W POLSCE

SPIS TREŚCI

Wstęp	7
1. Anna Grzybek – Zapotrzebowanie na biomasę i strategię energetycznego jej wykorzystania	9
2. Tomasz Stuczyński i in. – Prognoza wykorzystania przestrzeni rolniczej dla produkcji roślin na cele energetyczne	25
3. Antoni Faber – Przyrodnicze skutki uprawy roślin energetycznych	43
4. Jan Jadczyzyn, Antoni Faber, Andrzej Zaliwski – Wyznaczanie obszarów potencjalnie przydatnych do uprawy wierzby i ślazuca pensylwańskiego na cele energetyczne w Polsce	55
5. Jan Kuś i in. – Produkcyjność wybranych gatunków roślin uprawianych na cele energetyczne w różnych siedliskach	67
6. Danuta Chołuj i in. – Kompleksowa ocena biologicznej przydatności 7 gatunków roślin wykorzystywanych na cele energetyczne	81
7. Andrzej Roszkowski – Efektywność energetyczna różnych sposobów produkcji i wykorzystania biomasy	101
8. Mariusz Matyka – Opłacalność i konkurencyjność produkcji wybranych roślin energetycznych	113
9. Stanisław Krasowicz – Wpływ produkcji roślin energetycznych na rynek żywności	125

Wstęp

Formalno-prawne podstawy do rozwoju energetyki odnawialnej w Polsce stworzyła przyjęta w 2001 r. „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej”. Założono w niej, że udział energii odnawialnej w bilansie energetycznym kraju wzrośnie do 7,5% w 2010 r. oraz do 14% w 2020 r. Po przystąpieniu do Unii Europejskiej, oprócz realizacji wymienionego celu pierwszego, Polska zobowiązana jest na mocy Dyrektywy 2003/30/EC w sprawie użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych do wzrostu udziału biokomponentów (biodiesla i bioetanolu) w rynku paliw używanych w transporcie do 5,75% w 2010 r. Dalszy rozwój produkcji biopaliw płynnych wyznaczony został przez „Narodowe Cele Wskaźnikowe”, według których udział biokomponentów w paliwach płynnych powinien systematycznie wzrastać do 8% w 2015 r. i 10% w 2020 r. Cel do osiągnięcia na 2020 r. jest zgodny z obligatoryjnym celem przewidzianym do realizacji w krajach członkowskich na mocy projektu dyrektywy w sprawie promowania wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych (ogłoszonej w dn. 23.01.2008 r.). Projekt tej dyrektywy zobowiązuje Polskę dodatkowo do osiągnięcia 15% udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie energetycznym kraju (energia elektryczna i ciepłownictwo).

Projektowana dyrektywa UE wzbudziła gorącą debatę polityczną i publiczną, w której stawiano pytania jak zamierzone cele wpływać będą na: rozwój rolnictwa, wielkość produkcji rolnej, rynek żywności i pasz, samowystarczalność żywnościową i bezpieczeństwo żywnościowe oraz środowisko. Stan wiedzy w wielu tych kwestiach uznano za niewystarczający, dlatego Przewodniczący KE José Manuel Barroso osobiście zlecił (24.04.2008 r.) przeprowadzenie niezbędnych badań i ekspertyz w tym zakresie.

Rolnictwo polskie postrzegane jest w UE jako mające jeden z największych potencjałów do produkcji biomasy na cele energetyczne. W perspektywie czasowej założonych celów powinno ono dostarczyć wystarczające ilości surowców do produkcji etanolu oraz nasion rzepaku w ilości zapewniającej produkcję biodiesla, gwarantującą wymagany dodatek do oleju napędowego (nie wystarczy na dodatek do oleju opałowego). Trudne do zrealizowania będzie natomiast wyprodukowanie odpowiedniej ilości biomasy na paliwa stałe. Na mocy rozporządzenia Ministra Gospodarki do 2014 r. 60% biomasy wykorzystywanej w sektorze energetycznym powinno być wyprodukowane na gruntach rolnych.

Osiągnięcie w Polsce tak znaczącego wzrostu wykorzystania istniejącego potencjału odnawialnych źródeł energii wymaga nadal tworzenia odpowiednich warunków dla ich rozwoju, zwiększenia nakładów finansowych na badania i rozwój technologii oraz stworzenia systemu dofinansowania przedsięwzięć związanych z produkcją energii ze źródeł odnawialnych. W dobrze pojętym interesie polskiego rolnictwa i gospodarki leży zwłaszcza promowanie produkcji paliw 2 generacji (przetwarzanie roślin lignino-celulozowych na paliwa płynne) oraz 3 generacji (produkcja biometanu i biometanolu do zasilania wodorowych ogniw paliwowych).

W prezentowanym opracowaniu nawiązano do najbardziej aktualnych kwestii toczącej się debaty publicznej o przyszłości produkcji surowców energetycznych przez rolnictwo. Scharakteryzowano zapotrzebowanie na biomasę i strategię jej

wykorzystania, przedstawiono prognozę wykorzystania przestrzeni do produkcji roślin na cele energetyczne oraz wpływ tej produkcji na ceny podstawowych ziemiopłodów, omówiono skutki środowiskowe uprawy roślin energetycznych, określono przydatność i produkcyjność roślin energetycznych, scharakteryzowano efektywność energetyczną produkcji i wykorzystania biomasy, oszacowano opłacalność i konkurencyjność uprawy roślin energetycznych oraz oceniono wpływ ich produkcji na ceny żywności. Problematyka ta nie wyczerpuje całej złożoności zagadnienia, pokazuje jednak aktualny stan wiedzy na ten temat i może dostarczyć przesłanek do dalszych niezbędnych badań i analiz.

W niniejszym zeszycie z serii „Studia i Raporty IUNG-PIB” przedstawiono referaty wygłoszone w dniach 4-5.06.2007 r. w IUNG-PIB w Puławach na konferencji naukowej nt.: „Uprawa roślin energetycznych a wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej w Polsce”. Część prac wykonano w ramach programu wieloletniego IUNG-PIB.

*Kierownik zadania 2.8
prof. dr hab. Antoni Faber*

Anna Grzybek

Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie

ZAPOTRZEBOWANIE NA BIOMASĘ I STRATEGIE ENERGETYCZNEGO JEJ WYKORZYSTANIA

Wstęp

Biomasa jest doskonałym odnawialnym surowcem do produkcji stałych (zrębki, pelety, brykiety), gazowych (gaz drzewny, metan) i ciekłych (metanol, etanol) nośników energii, co ma szczególne znaczenie ze względu na ochronę środowiska i zmniejszające się zasoby naturalnych źródeł energii (gazu ziemnego, ropy naftowej i węgla). W zależności od kierunku pochodzenia biomasę można podzielić na następujące grupy:

- biomasa pochodzenia leśnego,
- biomasa pochodzenia rolnego,
- odpady organiczne.

W zależności od stopnia przetworzenia biomasy można przeprowadzić jej podział na:

- surowce energetyczne pierwotne – drewno, słoma, rośliny energetyczne, tzn. uprawiane głównie dla uzyskania biomasy;
- surowce energetyczne wtórne – gnojowica, obornik, inne produkty dodatkowe i odpady organiczne, osady ściekowe;
- nośniki energii – biogaz, bioetanol, biometanol, estry olejów roślinnych (biodiesel), biooleje, biobenzyna i inne pochodne, np. wodór.

W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie wykorzystaniem biomasy w energetyce i oszacowaniem jej potencjału. Wiąże się to z określaniem zapotrzebowania i możliwościami uprawy roślin energetycznych. W tym zakresie dokonano szeregu ocen i analiz możliwości produkcyjnych. Potencjał energetyczny biomasy możliwy do wykorzystania na cele energetyczne w projekcie ForBiom ocenia się w Polsce na ok. $800 \text{ PJ} \cdot \text{rok}^{-1}$ (1). Ż m u d a (16) uważa, że nie będzie problemu z wypełnieniem unijnych zobowiązań w zakresie produkcji surowców rolnych na cele produkcji biopaliw płynnych. Według K u s i a i F a b e r a (8) istnieje zbyt mało dobrych gleb, ażeby można było je przeznaczać pod uprawę rzepaku umożliwiającą produkcję estrów zarówno na cele paliwowe oraz jako dodatek do oleju napędowego (ON), jak i w energetyce oraz w ciepłownictwie. Cytowani autorzy przewidują również wzrost wykorzystania ziarna zbóż do produkcji bioetanolu. Natomiast S z e p t y c k i (13) prognozuje spadek wykorzystania zbóż do produkcji bioetanolu do 65% w 2020 roku i wzrost

wykorzystania do tego celu buraka cukrowego. W Unii Europejskiej ogłoszono szereg dokumentów wspierających produkcję biopaliw (12). Aby sprostać wymaganiom UE do roku 2010 niezbędne będzie wykorzystanie surowców roślinnych (przy obecnych technologiach ich przetwarzania) do produkcji energii elektrycznej w ilości równoważnej 2340 PJ, do produkcji energii cieplnej – 1760 PJ, a do produkcji biopaliw silnikowych 1340 mln PJ, co łącznie wynosi 5440 PJ energii z biomasy. Jednocześnie w tym dokumencie podkreśla się znaczącą rolę biopaliw płynnych (2).

Cel i zakres

Celem pracy było określenie zapotrzebowania na biomasę, w szczególności pochodzącą z upraw rolnych, w aspekcie istniejących uwarunkowań prawnych i potrzeb żywnościowych oraz podanie strategii jej wykorzystania. Zakres pracy dotyczy określenia zapotrzebowania na biomasę do produkcji biopaliw pierwszej generacji, w szczególności stałych, ciekłych i gazowych.

Materiał i metody

Prognozy w zakresie rodzaju i ilości potrzebnej biomasy na cele energetyczne dokonano na podstawie obecnego jej wykorzystania w energetyce systemowej, indywidualnej i w zakresie produkcji biopaliw ciekłych. Wykorzystano dokumenty statystyki publicznej oraz inne istniejące i obowiązujące dokumenty prawne. Do oszacowań wykorzystano również własne prognozy przedstawione w materiałach źródłowych.

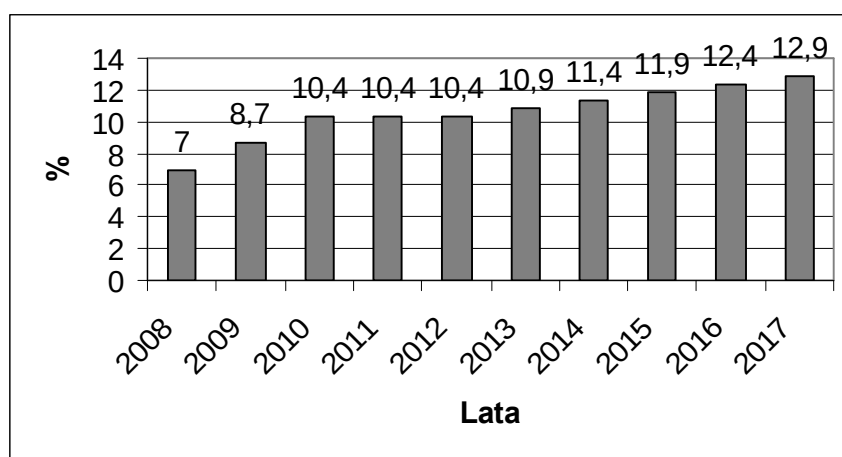
Uwarunkowania prawne wykorzystania biomasy w energetyce

W załączniku II do Traktatu Akcesyjnego Polska zobowiązała się do zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w produkcji energii elektrycznej do poziomu 7,5% w 2010 r., w odniesieniu do energii elektrycznej brutto zużywanej w kraju. W załączniku I do projektu dyrektywy ramowej dotyczącej promocji wykorzystania odnawialnych źródeł energii Komisja Europejska zapisała dla Polski 15% udział energii ze źródeł odnawialnych w finalnym zużyciu energii w 2020 roku. Polskie dokumenty prawne w zakresie energetyki ze źródeł odnawialnych odzwierciedlają wytyczne kierunki rozwoju. Podstawowe akty prawne to: rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych z odnawialnych źródeł energii z 2006 r. oraz ustawa o biokomponentach i biopaliwach ciekłych z 2006 r.

W rozporządzeniu Ministra Gospodarki z 2006 r. zostały ustalone aktualne progi procentowego udziału energii elektrycznej wyprodukowanej z OZE. Wartościowo są one takie same, jak podane w nowym projekcie rozporządzenia Ministra Gospodarki z 2008 roku (styczeń). Zgodnie z projektem rozporządzenia w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodze-

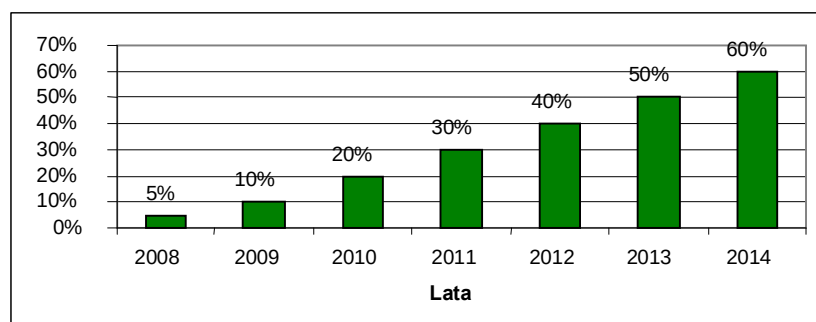
nia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych z odnawialnych źródeł energii, obowiązek ten będzie się uważać za spełniony, jeżeli w kolejnych latach udział ilościowy sumy energii elektrycznej pochodzącej z OZE, w wykonanej całkowitej rocznej sprzedaży energii elektrycznej przez to przedsiębiorstwo odbiorcom końcowym, wynosić będzie nie mniej niż podano na rysunku 1.

Omawiane Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 2005 r. zobowiązuje do stosowania wzrastających ilości biomasy pochodzącej z rolnictwa. Do współspalania biomasy oraz spalania z wykorzystaniem układu hybrydowego, w źródłach o łącznej mocy powyżej 5 MW, udział biomasy pochodzącej z rolnictwa powinien osiągać wartości podane na rysunku 2.



Rys. 1. Wymagana ilość produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii w poszczególnych latach

Źródło: Opracowanie własne na podstawie rozporządzenia Ministra Gospodarki z 3 listopada 2006 r.

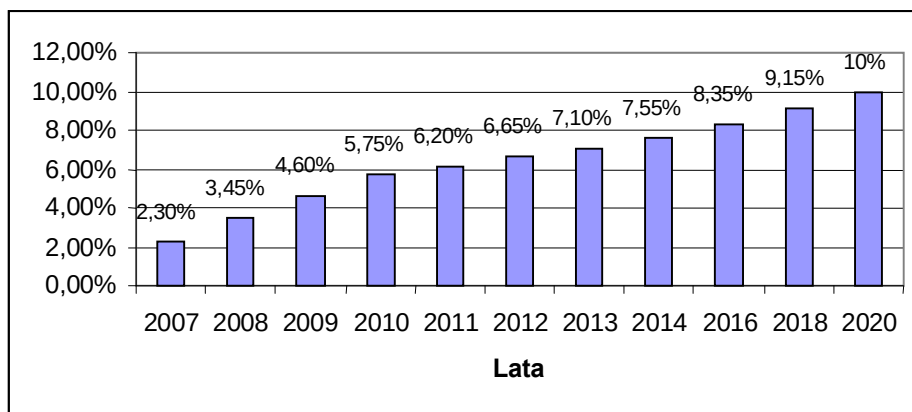


Rys. 2. Wymagany udział biomasy pochodzenia rolnego do produkcji energii elektrycznej

Źródło: Opracowanie własne na podstawie rozporządzenia Ministra Gospodarki z 3 listopada 2006 r.

Ustawa o biokomponentach i biopaliwach ciekłych z 2006 r. zobowiązała (art. 37) rząd do przyjęcia wieloletniego programu promocji biopaliw lub innych paliw odnawialnych na lata 2008–2014 (14). W tym wieloletnim programie podano obowiązujący ilościowy udział biopaliw w rynku paliw transportowych.

Biorąc pod uwagę wartości brzegowe minimalnego udziału biokomponentów w rynku paliw transportowych ścieżkę dochodzenia do tych wielkości w Polsce w latach 2008–2014 pokazano na rysunku 3, jako Narodowy Cel Wskaźnikowy (NCW). Jest to minimalny udział biokomponentów i innych paliw odnawialnych w ogólnej ilości paliw ciekłych zużywanych w ciągu roku kalendarzowego w transporcie, liczony według wartości opałowej. W 2008 roku wartość Narodowego Celu Wskaźnikowego wynosi 3,45%. Po roku 2014 (uwzględniono nowe propozycje UE) założono proporcjonalną ścieżkę dojścia do uzyskania 10% biopaliw w 2020 roku w ogólnej ilości paliw ciekłych i biopaliw ciekłych zużywanych w transporcie (rys. 3).



Rys. 3. Narodowy Cel Wskaźnikowy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wieloletniego programu promocji biopaliw lub innych paliw odnawialnych na lata 2008–2014.

Aktualny stan wykorzystania biomasy w energetyce

Produkcję energii elektrycznej i ciepłej z OZE w elektrociepłowniach i elektrowniach podano w tabeli 1.

Z biomasy łącznie z biogazem w 2006 r. wyprodukowano 45,8% energii elektrycznej pochodzącej z OZE, a w 2007 r. – 46,4%. Zakładając 40% sprawność w elektrowniach przy spalaniu i przy współspalaniu w 2006 roku do produkcji energii wykorzystano biomasę o wartości energetycznej 16,4 mln GJ. Uwzględniając, że 100% tej biomasy występuje w postaci zrębków o wartości opałowej średnio $10 \text{ GJ} \cdot \text{t}^{-1}$, to ilość jej w przeliczeniu na masę wynosi 1,6 mln t. W 2007 roku w elektrowniach i do współspalania wykorzystano zbliżoną ilość (1,61 mln t) biomasy (przy podanych wyżej założeniach). Biomasa ta jest w części importowana z krajów sąsiedzkich.

Tabela 1

Produkcja energii elektrycznej z OZE

Rodzaj OZE	Okres wytwarzania 1.01-31.12.2006 r.		Okres wytwarzania 1.01-30.09.2007 r.	
	ilość energii (MWh)	ilość SP* (szt.)	ilość energii (MWh)	ilość SP (szt.)
Elektrownie na biogaz	116 692	317	92 244	287
Elektrownie na biomasę	503 846	52	381 629	37
Elektrownie wiatrowe	257 037	378	305 084	440
Elektrownie wodne	2 029 942	3345	144 937	2715
Współspalanie	1 314 337	132	1 045 466	103
Łącznie	4 221 854	4224	3 274 360	3582

* świadectwo pochodzenia

Źródło: www. Urząd Regulacji Energetyki

W 2005 roku moc zainstalowana w koncesjonowanych instalacjach wynosiła około 1300 MW dla 826 instalacji. W 2006 r. wielkości te zwiększyły się odpowiednio do wartości ok. 1550 MW i 877 instalacji (bez współspalania); (tab. 2).

W latach 2005–2006 moc zainstalowana w koncesjonowanych jednostkach wytwórczych zwiększyła się, nie licząc współspalania, o około 200 MW. Największy wzrost widoczny jest w instalowanych mocach w elektrowniach wiatrowych – ok. 70 MW. Również biorąc pod uwagę liczbę nowych instalacji elektrownie wiatrowe (40 instalacji) znajdują się na pierwszym miejscu. Duży przyrost mocy zainstalowanej jest obserwowany także w elektrowniach wodnych – ok. 80 MW. Porównywalny wzrost dodatkowo zainstalowanej mocy miał miejsce w elektrowniach na biomasę – ok. 50 MW, przy jednoczesnym zmniejszeniu się ich liczby o 1 instalację. Niewielki wzrost mocy zainstalowanej charakteryzuje elektrownie biogazowe, gdyż niecałe 5 MW (10 nowych instalacji).

Ponadto biomasa jest spalana lokalnie w istniejących systemach ciepłowniczych oraz kotłach małej mocy w gospodarstwach domowych. Według W i ś n i e w s k i e g o (15) zapotrzebowanie na biomasę (drewno opałowe) przy zakładanej ilości ogrzewanych budynków wynoszącej 280 000 jest równoważne 146 PJ. Zakładając, że ogrze-

Tabela 2

Moc zainstalowana koncesjonowanych instalacji OZE (stan na 10.05.2007 r.)

Rodzaj źródła OZE	Moc zainstalowana (MW)			Liczba instalacji (szt.)		
	2005 r.	2006 r.	2007 r.	2005 r.	2006 r.	2007 r.
Elektrownie na biomasę	189,8	238,8	252,8	7	6	6
Elektrownie na biogaz	32,0	36,8	39,8	67	74	80
Elektrownie wiatrowe	83,3	152,6	184,3	64	104	124
Elektrownie wodne	1002,5	1081,4	1083,5	672	684	692
Współspalanie	-	ok. 1700	ok. 1700	16	18	18
Łącznie	1307,5	3209,5	3260,4	826	895	920

Źródło: www. Urząd Regulacji Energetyki

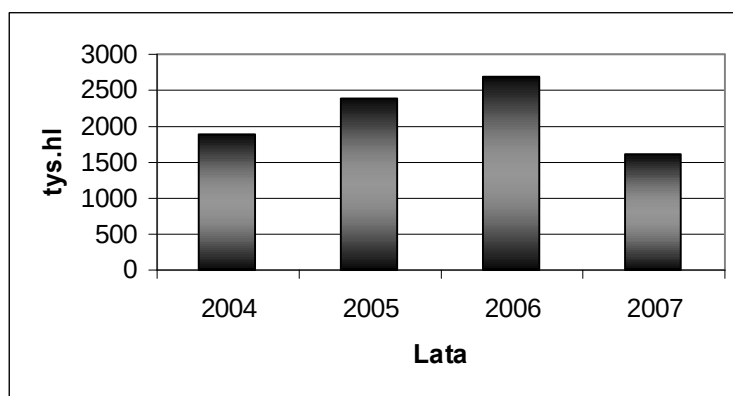
wanych biomasą jest 200 000 obiektów mieszkalnych o powierzchni 200 m², w których przeciętne zapotrzebowanie na energię wynosi 300 GJ, a sprawność kotła 0,8, to na potrzeby gospodarstw indywidualnych zużywane jest 7,5 mln t biomasy. Energia w biomasie wykorzystywana na ten cel odpowiada 60 PJ.

W 2005 roku we wspólnej sieci pracowało 189 instalacji wykorzystujących biomasę, w tym na słomę 64, o łącznej mocy 99,9 MW, na drewno 125, o łącznej mocy 256,9 MW. W ciepłownictwie przy założonej sprawności 80% wykorzystano 52,1 tys. t słomy. Uwzględniając przyrost mocy do roku 2008 wynoszący 10% szacuje się, że aktualnie na cele energetyczne zużywa się około 60 tys. t słomy. W instalacjach na drewno aktualnie wykorzystywane jest 196,3 tys. t tego surowca. Zatem ogółem ilość wykorzystywanej biomasy na cele produkcji energii cieplnej i elektrycznej wynosi około 10,2 mln t.

Aktualnie biopaliwa płynne są produkowane niemal w całości z ziemiopłodów, które mogą być wykorzystywane jako żywność lub pasza. Istnieją obawy, że w miarę zwiększania się globalnego popytu na biopaliwa może być zagrożona dostępność żywności w krajach rozwijających się. Jednak podaż roślin energetycznych, w tym pochodzących z upraw rolnych, ma kluczowe znaczenie dla sukcesu strategii rozwoju biopaliw.

Biokomponent – ester kwasu tłuszczowego – produkowany jest głównie z rzepaku, może być również produkowany z innych roślin oleistych, natomiast bioetanol z roślin wysokoskrobiowych. W 2007 r. bioetanol w Polsce produkowano: 80% ze zbóż, 13% z melasy i 2% z ziemniaka, a pozostałą część z innych surowców. Moc produkcyjna w 2008 r. w instalacjach umożliwiających produkcję bioetanolu wynosiła 585 mln litrów.

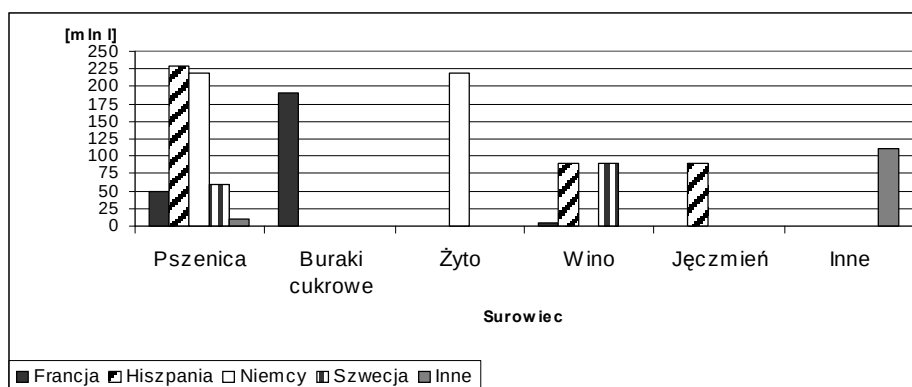
Produkcję bioetanolu (100% spirytusu) w kolejnych latach przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Produkcja bioetanolu w latach 2004–2007

Źródło: Opracowanie własne.

Wykorzystanie surowców rolnych do produkcji bioetanolu w poszczególnych krajach UE przedstawiono na rysunku 5.



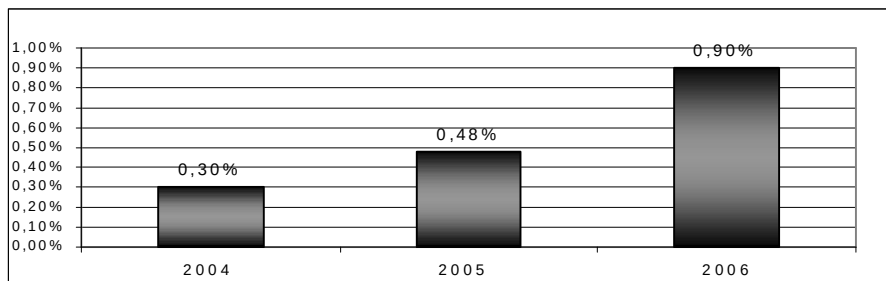
Rys. 5. Produkcja bioetanolu w UE według rodzaju surowców

Źródło: Opracowanie własne na podstawie European Biomass Statistics 2007, AEBIOM.

Dostępność surowca i jego cena decydują o opłacalności produkcji bioetanolu, bowiem surowiec stanowi ponad 70% całkowitej sumy kosztów (11). W przypadku Unii Europejskiej wysoka cena buraka cukrowego może okazać się czynnikiem hamującym powstawanie i rozwój przemysłu etanolowego. Bioetanol z buraka cukrowego jest obecnie produkowany głównie we Francji, natomiast inne państwa członkowskie opierają swoją produkcję na roślinach zbożowych. Według informacji Związku Gorzelni Polskich cena za spirytus surowy powyżej $1,9 \text{ zł} \cdot \text{l}^{-1}$ czyni tę produkcję nieopłacalną.

Do 2008 roku Polska nie wywiązała się ze zobowiązań nałożonych Dyrektywą 2003/30/WE. Na 2005 rok ustalono cel wskaźnikowy 0,5% wartości energetycznej paliw zużytych w transporcie, co znacznie odbiegało od 2%, które założono w Dyrektywie 2003/30/WE. Przy ustalaniu celu wskaźnikowego na 2006 rok wzięto pod uwagę sytuację finansową budżetu państwa oraz możliwości wytwórców biokomponentów i producentów paliw. Cel ten nie został jednak osiągnięty, podobna sytuacja była też w 2007 r. (rys. 6).

Z dniem 1 stycznia 2008 r. obowiązek zapewnienia określonego udziału biokomponentów nałożono na przedsiębiorców prowadzących działalność gospodarczą w zakresie wytwarzania i importu biopaliw ciekłych.



Rys. 6. Udział biokomponentów w ogólnej ilości paliw

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wieloletniego programu promocji biopaliw lub innych paliw odnawialnych na lata 2008–2014.

Prognoza zapotrzebowania na biomasę do celów energetycznych

Podstawową strategią energetycznego wykorzystania biomasy jest jej wykorzystanie w celu realizacji przedstawionych wyżej zobowiązań zawartych w dokumentach na szczeblu rządowym. Rozpatrzono następujące kierunki wykorzystania biomasy:

- przetwarzanie na biopaliwa ciekłe,
- wykorzystanie do produkcji energii elektrycznej.

Techniczne drogi realizacji tych zobowiązań mogą nieco odbiegać od głównych, podanych do tej pory kierunków. W zakresie produkcji energii elektrycznej przewiduje się rozwój małych rozproszonych systemów kogeneracyjnych o mocy do 5 MW. Aktualnie w tych jednostkach nie musi być wykorzystana biomasa pochodzenia rolnego. Ponadto przewiduje się rozwój biogazowni rolniczych, kierunku do tej pory zaniechanego, w których będą utylizowane odpady z produkcji zwierzęcej i wykorzystywana biomasa rolnicza w postaci kiszonki, np. z kukurydzy.

W zakresie biopaliw płynnych w związku z obowiązkiem realizacji Narodowego Celu Wskaźnikowego przyjmuje się 100% wykorzystania biokomponentów. Zakładając w strategii, że biokomponenty produkowane są z biomasy rolnej pochodzenia polskiego obliczono niezbędne jej ilości.

Prognozy zapotrzebowania na bioetanol opracowano przy założeniu, że będzie on produkowany w 80% z ziarna zbóż, których plony osiągną $3,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a do uzyskania 1 l bioetanolu potrzeba 3,0 kg zboża, wobec tego 1 m³ bioetanolu uzyskuje się z 1,0 ha zbóż. Dodatkowo założono, że ilość zużywanej benzyny w latach 2010–2020 będzie taka sama. Prognozę zapotrzebowania na bioetanol i zboże do jego wytwarzania dla lat 2010 i 2020 podano w tabeli 3.

W związku z produkcją bioetanolu z melasy (13%) rozpoznano jej rynek. Na produkcję 1 000 l bioetanolu potrzeba 3,4 t melasy. Zakłada się pozyskanie z pracujących cukrowni 50 tys. t melasy, z której można wyprodukować ok. 16 mln l bioetanolu. Przy produkcji bioetanolu nie uwzględniono nowych technologii otrzymywania bioetanolu z biomasy ligno-celulozowej. Aktualnie technologie te są niedopracowane i wy-

Tabela 3

Prognoza zapotrzebowania na bioetanol i surowce do jego wytwarzania

Wyszczególnienie	Jednostki miary	2010 r.	2020 r.
Narodowy Cel Wskaźnikowy	% wart. opałowej	5,75	10
NCW	%/V	9,2	16
Benzyny – zużycie w transporcie	tys. ton	3 800,0	3 800,0
Benzyna	tys. m ³	5 033,0	5 033,0
Zapotrzebowanie na bioetanol	tys. m ³	463,0	805,3
Zapotrzebowanie na surowce w tym: zboża ogółem	mln ton	1,11	1,93

Źródło: Żmuda K., 2007 (16) i obliczenia własne.

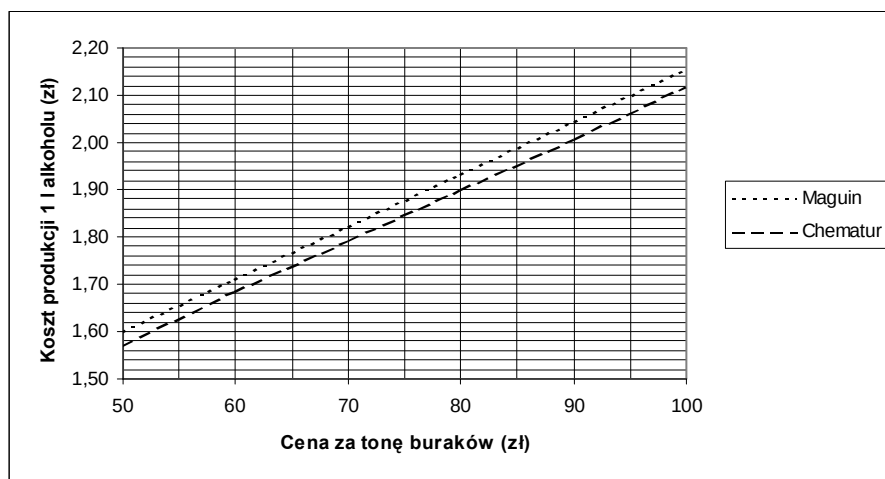
korzystuje się je w instalacjach modelowych. Podane w tabeli 3 wyniki obliczeń mają charakter orientacyjny, bowiem wybrane floty pojazdów mogą zgłaszać zapotrzebowanie na bioetanol zastępujący ON w silnikach wysokoprężnych.

Rozpatrzono również możliwości produkcji bioetanolu z buraka cukrowego. W koncepcji wstępnej przyjęto, że całoroczna produkcja bioetanolu będzie realizowana z następujących surowców:

- soku rzadkiego w trakcie trwania kampanii,
- soku gęstego poza sezonem kampanii,
- melasy w miarę potrzeb.

Zakłada się do obliczeń, że kampania trwa 90 dni, wydajność linii technologicznej do produkcji bioetanolu wynosi 100 tys. t, a z 10 kg buraka uzyskuje się 1 l etanolu, czyli z 1 tony buraka – 100 l (11). Zatem poza główną produkcją, przetwarzaniem buraka na cukier, zgodnie z programem wykorzystuje się potrzebne ilości buraka do przetworzenia na sok rzadki i na sok gęsty, a także wykorzystuje się melasę stanowiącą produkt uboczny. Do uzyskania zakładanej wydajności 100 tys. t odpowiadającej 110 mln l etanolu, potrzeba 1,1 mln t buraka cukrowego. W bilansie dodatkowo uwzględnia się produkowaną melasę. Zakłada się, że wydajność produkcji soku gęstego wynosi $0,25 \text{ t} \cdot \text{t}^{-1}$ buraka cukrowego. Przy obliczeniach szczegółowych przyjęto dane firm Maguin Interis i Chematur. Koszt produkcji 1 tony bioetanolu z melasy (cena melasy $400 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$) według nakładów firmy Maguin Interis wynosi 2268 zł, czyli $1,8 \text{ zł} \cdot \text{l}^{-1}$. Natomiast obliczony koszt produkcji 1 tony bioetanolu z melasy (cena melasy $400 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$) według nakładów firmy Chematur wynosi 2205 zł, tj. $1,75 \text{ zł} \cdot \text{l}^{-1}$. Droższa jest produkcja bioetanolu z gęstego soku buraczanego (SGE) o zawartości 65% cukru (przy cenie soku $700 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$). Dla tego surowca koszt produkcji wynosi $2739 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$ dla instalacji firmy Maguin ($2,17 \text{ zł} \cdot \text{l}^{-1}$), a przy wykorzystaniu technologii firmy Chematur $2678 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$ ($2,02 \text{ zł} \cdot \text{l}^{-1}$); (11).

Ceny soku cukrowego o zawartości 65% cukru (standard produkowany przez cukrownie) są w ścisłej korelacji z cenami buraka cukrowego. Na bazie podanych technologii przeprowadzono obliczenia dotyczące kosztu uzyskania 1 litra etanolu w zależności od ceny buraka (rys. 7).



Rys. 7. Koszt produkcji alkoholu w zależności od ceny buraka cukrowego

Źródło: Praca zbiorowa pod red. A. Grzybek, 2006 (11).

W tabeli 4 przedstawiono wyniki symulacji zmiany kosztu produkcji 1 l bioetanolu w szerokim zakresie cen buraka (od 50 do 100 zł · t⁻¹) i odpowiadające tym zmianom ceny soku cukrowego (od 494 do 694 zł · t⁻¹).

Koszt produkcji 1 t etanolu ze zbóż przy wykorzystaniu technologii firmy Lurgii (wydajność 100 tys. t) wynosi:

- dla żyta 1892 zł · t⁻¹ (1,50 zł · l⁻¹), przy cenie 475 zł · t⁻¹,
- dla kukurydzy 2143 zł · t⁻¹ (1,70 zł · l⁻¹), przy cenie 627 zł · t⁻¹,
- dla pszenicy 1992 zł · t⁻¹ (1,58 zł · l⁻¹), przy cenie 580 zł · t⁻¹.

Tabela 4

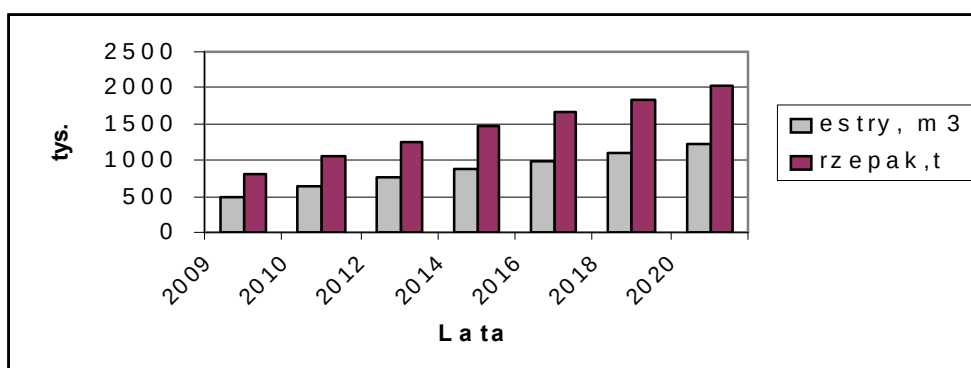
Koszt produkcji alkoholu przy różnej cenie buraka cukrowego

Cena buraka (zł · t ⁻¹)	Cena soku z 65% cukru (zł · t ⁻¹)	Koszt produkcji alkoholu dla instalacji firmy Maguin (zł · l ⁻¹)	Koszt produkcji alkoholu dla instalacji firmy Chematur (zł · l ⁻¹)
50	494	1,60	1,57
60	534	1,71	1,69
70	574	1,82	1,79
80	614	1,93	1,90
90	654	2,05	2,01
100	694	2,16	2,12

Źródło: Praca zbiorowa pod red. A. Grzybek, 2006 (11).

Uwaga: Wyniki symulacji są podane bez żadnych dotacji do inwestycji bez podatków. W mechanizmach finansowych zwrot w postaci dofinansowania 30% inwestycji po wybudowaniu, obniży koszt produkcji alkoholu dla obydwóch instalacji.

Na cele spożywcze coroczny przerób rzepaku wynosi około 1,0-1,1 mln t (Rynek Rzepaku 2007). Rok 2007 był rekordowy w produkcji rzepaku, uzyskano bowiem zbiory wynoszące 2,1 mln t. Powierzchnia uprawy rzepaku i rzepiku ozimego wzrosła na przestrzeni lat 2006–2007 o 13,5%.¹ Na cele produkcji biokomponentów powinna być przeznaczona część rzepaku pozostająca ponad coroczne spożycie. Powinien zatem nastąpić stabilny coroczny wzrost produkcji rzepaku, gdyż nie będzie możliwe wypełnienie zakładanego NCW. Produkcja nasion rzepaku w 2010 roku, przy istniejącym popycie na cele spożywcze, powinna wynosić około 2,1 mln t. Przy założeniu, że zapotrzebowanie na ON w 2010 roku wynosić będzie 8,98 mln ton (5) obliczone zapotrzebowanie na biokomponenty i rzepak przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Prognoza zapotrzebowania na estry rzepakowe i rzepak do ich produkcji w latach 2009–2020
Źródło: Grzybek A., 2007 (6).

Całkowita ilość nasion rzepaku dla przetwórstwa spożywczego i na cele energetyczne powinna wynosić w 2010 roku 2,1 mln t, a w 2020 roku (przy aktualnym poziomie spożycia) 3,1 mln t. Zapotrzebowanie na rzepak do produkcji biokomponentów w 2010 roku wynosić będzie 1,0 mln t, a w 2020 roku – 2,0 mln t.

Zapotrzebowania na biomasę, w tym na biomasę z upraw rolniczych w perspektywie roku 2020, do produkcji energii elektrycznej obliczono przy założeniach:

- udział biomasy w ogólnym bilansie odnawialnych źródeł energii utrzyma się na poziomie około 50%;
- wartość opałowa biomasy wynosi $10 \text{ MJ} \cdot \text{t}^{-1}$, co odpowiada wilgotności biomasy około 40%.

W tabeli 5 podano zapotrzebowanie na biomasę do produkcji energii elektrycznej.

W tabeli 6 podano prognozę zapotrzebowania na biomasę rolną dla energetyki systemowej w ciągu roku według kierunków pochodzenia. Przy określaniu prognozy pozyskania energii ze słomy uwzględniono jej aktualne wykorzystanie w lokalnych i indywidualnych systemach ciepłowniczych, a także możliwości przetwórcze na bry-

¹ http://www.kzpr.com.pl/new/index.php?option=com_content&task=view&id=493&Itemid=71

Tabela 5

Zapotrzebowanie na biomasę do produkcji energii elektrycznej

Lp.	Pozycja	Rok	2007	2008	2009	2010	2020
1.	Prognoza produkcji energii brutto (TWh/a)		154,8	159,3	163,8	168,3	201,7
2.	Udział energii z OZE (%)		4,8	6,0	7,5	9,0	20,0
3.	Energia z OZE (TWh/a)		7,4	9,5	12,3	15,1	40,3
4.	Energia z biomasy (PJ/a)		13,4	17,2	22,4	27,2	72,6
5.	Zapotrzebowanie na biomasę (mln t/a)		1,3	1,7	2,2	2,7	7,2
6.	Udział energii z biomasy rolnej (%)			5	10	20	60
7.	Energia z biomasy rolnej (PJ/a)			0,86	2,2	5,4	43,6
8.	Zapotrzebowanie na biomasę rolną (mln t/a)			0,086	0,22	0,54	4,36

Źródło: Obliczenia własne.

Tabela 6

Prognoza pochodzenia biomasy rolnej

Rok	Zapotrzebowanie na energię z biomasy rolnej (PJ)	Prognoza pozyskania energii ze słomy (PJ)	Prognoza zużycia słomy (tys. t)	Prognoza pozyskania energii ze słomy (%)	Zapotrzebowanie na inną biomasę rolną (tys. t)
2008	0,86	0,034	20,0	3,9	82,6
2009	2,2	0,102	60,0	4,6	96,0
2010	5,4	0,204	120,0	3,8	336,0
2020	43,6	0,850	500,0	1,9	3 510,0

Źródło: Obliczenia własne.

kiety i pelety. Założono w kolejnych latach wzrost wydajności przetwórczych na formy kompaktowe.

B z o w s k i (3) za innymi autorami podaje, że całosciowy bilans słomy możliwej do energetycznego wykorzystania wynosił w latach 1999–2002 średnio 7 mln t rocznie, ilość drewna pozyskanego z sadownictwa odpowiada energii 15,0 PJ · rok⁻¹. Słoma z uwagi na małą wartość energetyczną w odniesieniu do swojej objętości stanowić powinna paliwo wykorzystywane lokalnie, jedynie formy kompaktowe – brykiety i pelety – nadają się do wykorzystania w energetyce systemowej. Z uwagi na brak urządzeń do peletowania i brykietowania słomy oraz ich koszt przyjęto scenariusz jej wykorzystania podany w tabeli 6.

W przypadku roślin energetycznych (np. wierzby krzewiastej) czas od założenia plantacji do osiągnięcia odpowiedniego plonu biomasy wynosi 3–4 lata (w zależności od częstotliwości zbioru). Wynika to z optymalnego i uzasadnionego ekonomicznie 2–3-letniego cyklu zbioru tej rośliny. Pomimo zdecydowanego postępu w dziedzinie biopaliw nadal obserwuje się brak polityki strategicznej obejmującej cały łańcuch przetwórczy. Konsekwencją takiego działania jest brak stabilnego rynku biopaliw.

W gospodarstwach indywidualnych zakłada się dalszy przyrost mocy w tym segmencie rynku do 2010 roku o 5%. Zatem w 2010 roku na cele energetyczne w gospodarstwach indywidualnych potrzebna będzie biomasa w ilości około 8,7 mln t.

Według G ł a z a (4) realna podaż drewna ze wszystkich lasów, a w tym odpadów zrębowych, drewna małowymiarowego i średniowymiarowego w 2010 roku wynosić może 6,7 mln m³, a w 2020 roku – 7,7 mln m³. Energia zawarta w tym drewnie to około 46,4 PJ.

Przełomem w wykorzystaniu biomasy na cele energetyczne w Polsce może być realizacja programu rozwoju biogazowni rolniczych (7). Szczególną rolę przypisuje się rozwojowi kierunku produkcji biogazu rolniczego, w tym jego wykorzystania do produkcji energii elektrycznej. Surowcem wykorzystywanym w biogazowniach będą rośliny z upraw energetycznych (np. kukurydza) oraz odpady rolnicze, w tym z produkcji zwierzęcej (gnojowica czy odpady poubojowe). Wydajność energetyczna z 1 ha uprawy kukurydzy wynosi 5 tys. m³ obecnie i przewiduje się jej wzrost do 8 tys. m³ biometanu w 2020 r., czyli odpowiednio 50 MWh i 80 MWh w paliwie pierwotnym (10). Jednak program Ministerstwa Gospodarki wydaje się mało realny w odniesieniu do możliwości uruchomienia w każdej gminie biogazowni rolniczej o mocy od 0,7 do 3,0 MW. Obliczony w IBMER (maszynopis ECBREC IBMER) potencjał ekonomiczny biogazu pozyskiwanego z odpadów rolnych to 26 PJ; może on być wykorzystany do produkcji energii elektrycznej lub jako ekwiwalent CNG/LPG w ilości 1 mln m³ · rok⁻¹ do stosowania w transporcie.

Podsumowanie

Dyrektywy UE oraz prawodawstwo polskie jednoznacznie wskazują na potrzeby rozwoju rynku w zakresie biopaliw stałych, ciekłych i gazowych. Konieczne jest stworzenie mechanizmu połączenia tworzącego się popytu na biomasę rolniczą do wykorzystania energetycznego z możliwościami wytwórczymi polskiego rolnictwa. Elementem tworzenia lokalnego popytu na biomasę na terenach wiejskich są inwestycje, głównie ciepłownicze, choć nie jest także wykluczone tworzenie małych instalacji skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej. Z podanej analizy wynika, że największe zapotrzebowanie na biomasę występuje w ciepłownictwie indywidualnym. Energetyce systemowej trudno będzie wywiązać się z nałożonych prawem zobowiązań w 2010 roku zarówno w zakresie zabezpieczenia w biomasę, jak i w zakresie biomasy rolnej. Rozwiązaniem nieprzynoszącym pozytywnych efektów dla rolnictwa będzie import biomasy. Nadal na obszarach wiejskich występuje znaczący niewykorzystany potencjał słomy. Aktualnie trudno jest rozważać problematykę rozwoju obszarów wiejskich w aspekcie przetwarzania biomasy rolnej z uwagi na brak środków na inwestycje. Obliczone zapotrzebowanie na biomasę przewyższa jej oficjalną podaż, co jest wynikiem nieuwzględnienia wszystkich lokalnych źródeł biomasy. Rynek biomasy rolnej, a właściwie biopaliw stałych, jest bardzo niestabilny, ponadto charakteryzuje się on sezonowością popytu i podaży (cykl produkcji biomasy). Ma to wpływ na

stabilność cen. W świetle aktualnych rozwiązań prawnych i stanu technologii nie będzie również możliwe wywiązanie się ze zobowiązań w zakresie produkcji zielonej energii w 2020 roku z uwagi na brak biomasy. Powinny być wprowadzone czytelne mechanizmy wsparcia, umożliwiające pokonanie licznych trudności związanych z osiągnięciem celów wskaźnikowych. W związku z likwidacją cukrowni na rynku pojawia się nadwyżka buraka cukrowego. Niedocenionym rozwiązaniem przy ograniczeniach w produkcji cukru jest wykorzystanie istniejącego potencjału w zakresie produkcji i przetwórstwa buraka cukrowego. Wydajność buraka cukrowego z 1 ha uprawy w przeliczeniu na bioetanol jest najwyższa spośród wszystkich roślin uprawianych na obszarze Polski; mogą więc one stanowić istotną konkurencję dla zbóż przeznaczanych na cele paliwowe. Koszt produkcji etanolu z soku cukrowego (przy cenie soku o zawartości 65% cukru – $700 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$, co odpowiada cenie skupu buraków $101,50 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1} = 26,30 \text{ EURO}$, przy kursie $3,86 \text{ zł/EURO}$) wynosi $2,02 \text{ zł} \cdot \text{l}^{-1}$ według technologii firmy Chematur i $2,07 \text{ zł} \cdot \text{l}^{-1}$ według technologii firmy Maguin. Natomiast przy wykorzystaniu melasy (przy cenie melasy $400 \text{ zł} \cdot \text{t}^{-1}$) koszt produkcji jest niższy i wynosi odpowiednio $1,64$ i $1,70 \text{ zł} \cdot \text{l}^{-1}$. Zakładany cel wskaźnikowy w wieloletnim programie promocji biopaliw lub innych paliw odnawialnych na lata 2008–2014 w roku 2007 nie został osiągnięty; nie będzie możliwe jego osiągnięcie również w 2010 i 2020 roku. Problemy osiągnięcia wyznaczonych wskaźników powinny być rozwiązywane w sposób systemowy.

Literatura

1. Biomass Market Assessment (projekt ForBiom). Rozwój rynku biomasy: wykorzystanie biomasy w skojarzonych systemach ciepłowniczych krajów Europy Centralnej i Wschodniej. 2004. <http://www.svn.cz/html/forbiom/docs.html>
2. Biofuels in the European Union a for 2030 and beyond. Bruksela, Biofuels Research Advisory Council, 2006, ss. 32.
3. B z o w s k i J. J.: Ocena strategii rozwoju energetyki odnawialnej oraz kierunki rozwoju energetycznego wykorzystania biomasy rolniczej wraz z propozycją działań. www.mos.gov.pl/oze/ekspertyzy/index.htm
4. G ł a z J.: Ocena strategii rozwoju energetyki odnawialnej oraz kierunki rozwoju energetycznego wykorzystania biomasy leśnej wraz z propozycją działań. www.mos.gov.pl/oze/ekspertyzy/index.htm, 2005.
5. G m y r e k R.: Biopaliwa ważny segment rynku paliwowego. Mat. konf. „Surowce do produkcji biopaliw oraz zasady ich wytwarzania przez rolników na użytek własny”. Warszawa, 2006.
6. G r z y b e k A.: Metoda badania efektywności roślin energetycznych. IBMER Warszawa, 2007.
7. K a m i e ń s k i Z.: Lokalne wykorzystanie biomasy. Czysta Energia, 2008, 3.
8. K u ś J., F a b e r A.: Alternatywne kierunki produkcji rolniczej. Studia i Raporty IUNG - PIB, 2007, 7: 139-149.
9. P i o t r o w s k i J.: Uwarunkowania produkcji bioetanolu w KSC na Zamojszczyźnie. Mat. niepublik. KSC, Warszawa, 2006.
10. P o p c z y k J.: Europejski Pakiet Energetyczny, czyli nasze 3 x 20. Mat. konf., Polskie Towarzystwo Certyfikacji Energii, Warszawa, 2008.
11. Praca zbiorowa pod red. A. Grzybek: Możliwości adaptacji obiektów cukrowniczych pod potrzeby produkcji biopaliw. Ekspertyza – maszynopis, IBMER Warszawa, 2006.

12. Praca zbiorowa pod kier. T. Skoczковского: Ocena prawna oraz analiza ekonomiczna możliwości realizacji celów wynikających ze strategii rozwoju energetyki odnawialnej oraz dyrektywy 2001/77/WE Parlamentu Europejskiego, maszynopis, KAPE 2007. www.mos.gov.pl/oze/ekspertyzy/index.htm
13. Szepczycki A.: Biopaliwa – zalecenia UE, potrzeby, realne możliwości produkcji. Maszynopis, IBMER Warszawa, 2007.
14. Wieloletni program promocji biopaliw lub innych paliw odnawialnych na lata 2008–2014. Monitor Polski, 2007, nr 53.
15. Wiśniewski G.: Systemowe uwarunkowania wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Polsce – rola bioenergii. Mat. konf. podsumowującej projekt: „Zintegrowane podejście do wykorzystania odpadów drzewnych do produkcji energii cieplnej”. Ministerstwo Środowiska, UNDP/GEF, FPS, Kraków, 2006.
16. Żmuda K.: Biomasa do celów energetycznych – społeczne, gospodarcze i prawne uwarunkowania wykorzystania biomasy. Mat. konf. „Biomasa dla elektroenergetyki i ciepłownictwa – szanse i problemy”. Wyd. „Wiś Jutra”, Warszawa, 2007.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Anna Grzybek
IBMER
ul. Rakowiecka 32
02-532 Warszawa
tel. (22) 542 11 00
e-mail: grzybek@ibmer.waw.pl

**Tomasz Stuczyński, Artur Łopatka, Antoni Faber, Przemysław Czaban, Monika Kowalik,
Piotr Koza, Renata Korzeniowska-Puculek, Grzegorz Siebielec**

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

PROGNOZA WYKORZYSTANIA PRZESTRZENI ROLNICZEJ DLA PRODUKCJI ROŚLIN NA CELE ENERGETYCZNE*

Wstęp

Dotychczasowe prognozy wykorzystania przestrzeni rolniczej dla produkcji roślin przeznaczonych do przerobu na biopaliwa lub do współspalania opierają się na przyjętych zobowiązaniach dotyczących udziału bioenergii (16). Są to oszacowania popytu z sektora paliwowego i energetycznego wyrażone w jednostkach energii przeliczonych na odpowiednią produkcję biomasy, z uwzględnieniem wartości energetycznej poszczególnych roślin. Dotychczasowe oszacowania powierzchni roślin energetycznych miały charakter bilansowy, odpowiadający prostym scenariuszom opartym na pytaniu – jakie powierzchnie upraw energetycznych są niezbędne do sprostania popytowi sektora energetycznego (8, 15, 16). Mankamentem tych oszacowań jest brak uwzględnienia konkurencji różnych upraw o udział w przestrzeni rolniczej, kształtowany przez relację zysku z danej uprawy, w tym z uprawy roślin energetycznych, do zysku z innych upraw. Zagadnienie konkurencji o przestrzeń rolniczą, a zatem struktury jej użytkowania nie ogranicza się wyłącznie do procesów zachodzących w rolnictwie, ale obejmuje również wpływ innych sektorów biorących udział w transformacji użytków rolnych. Dotyczy to zwłaszcza urbanizacji. Jedną z przyczyn kurczenia się zasobów przestrzeni rolniczej jest odłogowanie gruntów wokół aglomeracji miejskich, powodowane perspektywicznym ich przeznaczeniem pod zabudowę. W różnych dokumentach planistycznych podaż gruntów rolnych przewidzianych pod urbanizację wielokrotnie przekracza rzeczywisty popyt budownictwa, prowadząc do wzrostu cen ziemi, przy których antycypowany zysk z kontynuacji rolniczego użytkowania jest relatywnie mały, co w konsekwencji prowadzi do odłogowania gruntów.

Opis procesów zachodzących w przestrzeni, rzutujących na sposób jej wykorzystania jest trudny z uwagi na interakcje wielu czynników wpływających na decyzje użytkowników dotyczące kierunku uprawy bądź przeznaczenia na cele pozarolnicze. Do czynników tych należą: warunki rynkowe, popyt na określone produkty pochodzące

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.8 w programie wieloletnim IUNG - PIB

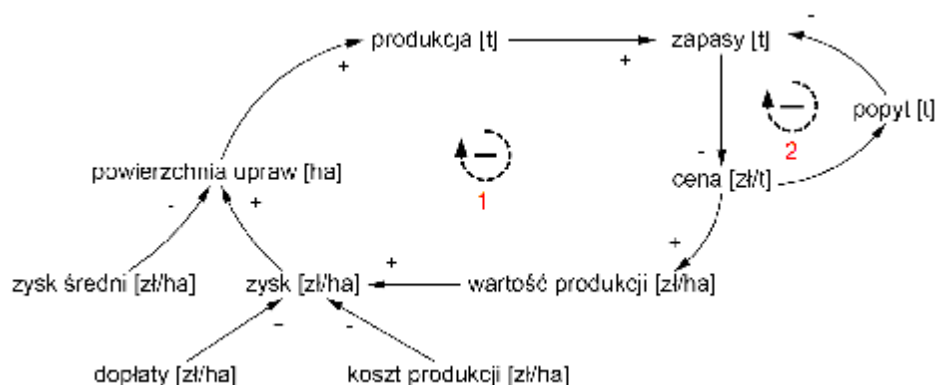
nia rolniczego, struktura cen oraz warunki glebowo-przyrodnicze. Powierzchnie użytków rolnych, lasów, terenów zabudowanych oraz innych kategorii można ująć jako zasoby, pomiędzy którymi występują przepływy zależne od najbardziej optymalnego z punktu widzenia efektywności ekonomicznej sposobu wykorzystania przestrzeni oraz regulacji prawnych dotyczących ochrony środowiska i zasad planowania przestrzennego. Ujęcie procesów regulujących wielkość zasobów w różnych kategoriach użytkowania ziemi jest możliwe dzięki wykorzystaniu modeli symulujących dynamikę i sprzężenia pomiędzy mierzalnymi czynnikami opisującymi przestrzeń. Prezentowany w opracowaniu model prognostyczny dla upraw energetycznych został zbudowany w oparciu o metodykę modelowania dynamiki systemów (System Dynamic Modeling), umożliwiającą graficzne przedstawienie struktury matematycznej modelu (2, 3, 9). Podejście takie umożliwia przejrzystą i łatwą do zrozumienia wizualizację mechanizmów procesów zmian struktury wykorzystania przestrzeni kontrolowanych przez czynniki popytowe i polityczne – związane np. z kierunkami wspólnej polityki rolnej, instrumentami wsparcia określonych działów produkcji, działań rolnośrodowiskowych itp.

Celem opracowania jest pierwsze przybliżenie trendów zmian w strukturze wykorzystania przestrzeni rolniczej Polski w perspektywie 2020 roku, przy założeniu, że regulowany przez przepisy popyt (ustawowy poziom udziału biopaliw) na biopaliwa (bioetanol i biodiesel) oraz rośliny energetyczne będzie całkowicie zaspokojony przez odpowiednie powierzchnie upraw. Tym samym podstawową funkcją modelu, w jego obecnym kształcie, jest prognozowanie wpływu zaspokojenia ustawowo wymuszonego popytu na rośliny energetyczne na wzajemne relacje pozostałych upraw i ich udział w strukturze, a także przewidywanie trendów cenowych.

W prowadzonych w środowiskach naukowych i opinii publicznej dyskusjach coraz częściej dostrzega się ryzyko wzrostu cen produktów roślinnych, będącego wynikiem pojawienia się nowych źródeł popytu z sektora energetycznego, konkurujących o przestrzeń z popytem na produkty roślinne generowanym przez sektor żywnościowy. W niektórych opracowaniach stwierdzony wzrost cen, np. pszenicy, rodzący poważne konsekwencje dla konsumentów, tłumaczy się presją sektora energetycznego na przestrzeń rolniczą.

Opis modelu

Na rysunku 1 przedstawiono ideę działania modelu ze wskazaniem sprzężeń zwrotnych pomiędzy czynnikami oddziałującymi na powierzchnię poszczególnych upraw. W modelu występują dwie pętle ujemnego sprzężenia zwrotnego. Pętla 1 kontroluje powierzchnie upraw poszczególnych gatunków, odzwierciedlając wpływ zysku z danej uprawy, w porównaniu ze średnim zyskiem z innych upraw, na decyzje o wyborze kierunku produkcji. Wynika to z racjonalnej przesłanki wyboru przez producentów upraw przynoszących większe nadwyżki. Wzrost poziomu produkcji prowadzi do wzrostu zapasów, co zgodnie z regułami rządzącymi popytem i podażą powoduje spa-



Rys. 1. Schemat sprzężeń zwrotnych w modelu, obrazujący zależności pomiędzy czynnikami kontrolującymi wykorzystanie przestrzeni – przyczynowy diagram pętlowy (CLD – causal loop diagram)

Źródło: Opracowanie własne.

dek cen, decydujących o wartości produkcji. Po uwzględnieniu kosztów model oblicza zysk jednostkowy, który jest porównywany z przeciętnym zyskiem ze wszystkich upraw. Zmniejszająca się różnica pomiędzy zyskiem z danej uprawy a zyskiem średnim powoduje spadek tempa wzrostu jej powierzchni, co wynika ze spadku opłacalności. W modelu uwzględniono wielkość dopłat bezpośrednich, jak również dopłat do uprawy roślin energetycznych (1, 12). Druga pętla ujemnego sprzężenia zwrotnego odzwierciedla wpływ zmian popytu na ceny produktów roślinnych – wzrost popytu prowadzi do spadku zapasów i wzrostu cen, a w konsekwencji wzrastające ceny ograniczają popyt. Istotne znaczenie tej pętli w modelu polega na doprowadzeniu do zrównoważenia popytu i podaży za pomocą mechanizmu kontrolującego popyt poprzez poziom cen. Należy dodać, że mechanizm ujęty w 1 pętli zapewnia równowagę popytu i podaży, ale tempo dochodzenia do równowagi pomiędzy popytem i podażą, bez uwzględnienia mechanizmu cenowego w pętli 2, byłoby zbyt wolne. Regulacja popytu i podaży w 1 pętli jest nieadekwatna z uwagi na określoną bezwładność struktury użytkowania ziemi – w pętli tej równowaga może być uzyskana wyłącznie w wyniku zmian powierzchni uprawy, a te nie zachodzą zazwyczaj gwałtownie. Reakcja popytu na ceny jest dużo szybsza aniżeli reakcja podaży (powierzchni upraw). Istotnym czynnikiem w modelu kontrolującym zmiany użytkowania jest poziom dopłat wpływających na zysk z uprawy – sterowanie tym czynnikiem przez użytkownika umożliwia tworzenie różnego rodzaju scenariuszy wpływu polityki rolnej na strukturę upraw, w tym na udział roślin energetycznych.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat modelu w postaci diagramów zasobów i przepływów (SFD – stock and flow diagram) odzwierciedlających stan powierzchni upraw oraz zapasów produktów roślinnych (w tym biomasy na cele energetyczne),

regulowanych czynnikami i sprzężeniami wcześniej zobrazowanymi za pomocą diagramu pętlowego (rys. 1). Diagram SFD oddaje strukturę modelu w nieco inny sposób aniżeli diagram CLD - SFD, lepiej różnicuje role poszczególnych składowych modelu, jednoznacznie definiując, które z nich są zasobami (powierzchnią upraw – stock), pomiędzy którymi występują przepływy (zmiana użytkowania – flows). Diagram SFD pokazuje jednoznacznie miejsce i rolę czynników regulujących przepływy (zmianę użytkowania), zobrazowanych jako zawory. Regulacja „stopnia otwarcia” zaworów oddaje proces i tempo zmian użytkowania, formalnie opisane odpowiednimi równaniami różniczkowymi. Diagram SFD, w porównaniu z diagramem CLD (rys. 1), zawiera bardziej przejrzyste informacje o powiązaniach między formułami tworzącymi układ równań opisujących system użytkowania ziemi. Przydatność diagramów SFD i narzędzi umożliwiających ich tworzenie wynika z łatwości konstruowania modeli przez ekspertów nieposiadających przygotowania matematycznego. W budowie modeli znacznie ważniejszym zagadnieniem jest wiedza na temat istotnych czynników wpływających na zachowanie systemu – w rozpatrywanym przypadku struktury upraw – aniżeli formalny opis mechanizmów za pomocą odpowiednich równań. Formalizacja modelu jest zatem niejako zadaniem wtórnym do zrozumienia i opisania relacji między czynnikami.

W schemacie SFD (rys. 2) za pomocą strzałek zbiegających się w kółkach (konwerterach) bądź w zaworach oznaczono istotne parametry modelowanego systemu. Sformalizowany opis tych parametrów oddają następujące równania:

$$1) \text{ zmiana użytkowania} = \text{zmiana} \% \text{ pow. na jednostkę zysku} \cdot \text{pow. upraw} \cdot \left(\frac{\text{zysk} - \text{zysk średni}}{\text{stos. aktualnych kosztów do kosztów z 2000r}} \right)$$

$$2) \text{ zysk} = \text{wartość produkcji} - \text{koszty produkcji} + \text{dopłaty}$$

$$3) \text{ wartość produkcji z 1 ha} = \text{cena} \cdot \frac{\text{produkcja}}{\text{powierzchnia upraw}}$$

$$4) \text{ produkcja} = \text{plon} \cdot \text{powierzchnia upraw}$$

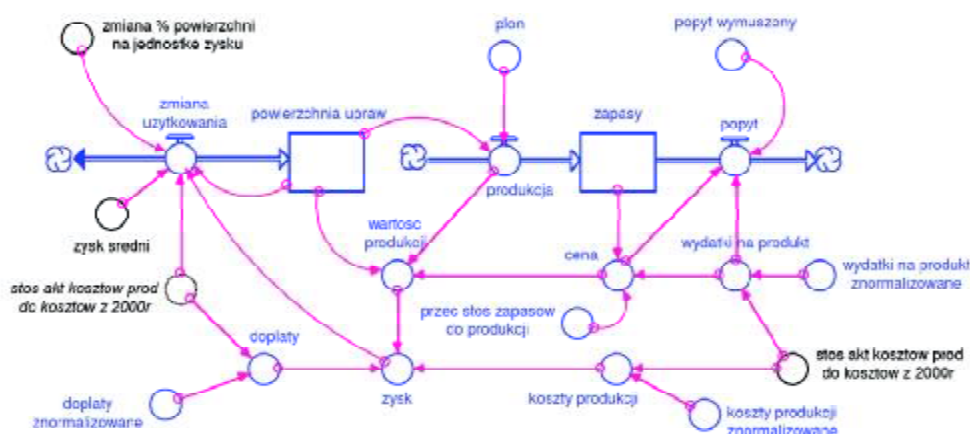
$$5) \text{ koszty produkcji} = \text{koszty produkcji znormalizowane} \cdot \text{stos. aktualnych kosztów do kosztów z 2000r}$$

$$6) \text{ dopłaty} = \text{dopłaty znormalizowane} \cdot \text{stos. aktualnych kosztów do kosztów z 2000r}$$

$$7) \text{ popyt} = \frac{\text{wydatki na produkt}}{\text{cena}} + \text{popyt wymuszony}$$

8) $\text{wydatki na produkt} = \text{wydatki na produkt znormalizowane} \cdot \text{stos. aktualnych kosztów do kosztów z 2000r}$

9) $\text{cena} = \text{wydatki na produkt} \cdot \frac{\text{przeciętny stos. zapasów do produkcji}}{\text{zapasy}}$



Rys. 2. Schemat obrazujący strukturę modelu w postaci diagramów zasobów i przepływów (SFD – Stock and Flow Diagram)

Źródło: Opracowanie własne.

Większość powyższych zależności jest oczywista i nie wymaga wyjaśnienia. Pełniejszej definicji wymaga jednak przyjęte podejście do szacowania popytu i podaży oraz cen na produkty pochodzenia roślinnego.

Moduł regulacji popytu za pomocą cen zakłada jednostkową elastyczność popytu względem cen – oznacza to, że reakcją na procentowy wzrost cen jest proporcjonalny procentowy spadek popytu. Przyjętą w modelu elastyczność popytu odzwierciedla założenie, że pula pieniędzy dostępnego na rynku na zakup określonych produktów roślinnych jest wartością względnie stałą. Założenie takie jest uzasadnione doświadczeniem, że w krótkim czasie potrzeby związane z konsumpcją i udział puli środków przeznaczonych na zakup żywności w budżecie gospodarstw domowych są względnie stałe. Dzięki przyjęciu wartości względnych (udział w budżecie gospodarstw domowych) model uwzględnia wzrost wydatków na żywność, który jest proporcjonalny do wzrostu kosztów produkcji.

Ceny w modelu ustalają się w zależności od poziomu zapasów (7). Zapasy oznaczają nie tylko ilość produktu w magazynach, ale też ilość produktu w formie przetworzonej w sklepach i domach. Założono, że zależność pomiędzy zapasami i ceną jest odwrotnie proporcjonalna, a poziom zapasów odpowiadający danej cenie zmienia się proporcjonalnie do wydatków przeznaczanych na dany produkt. Zakłada się, że wy-

datki przeznaczane na dany produkt w krótkim okresie są stałe, natomiast w dłuższym okresie (więcej niż rok) ewoluują zgodnie ze zmianami preferencji konsumentów. Wydatki przeznaczane na dany produkt są szacowane poprzez trend wykładniczy.

Koszty produkcji modelowane są poprzez iloczyn czynnika stałego (koszty produkcji znormalizowane) wspólnego dla wszystkich form użytkowania ziemi w modelu oraz stosunek aktualnych kosztów do kosztów w 2000 roku. Normalizacja różnicy zysku (podzielenie jej przez stosunek aktualnych kosztów do kosztów w 2000 r.) zapobiega wzrostowi powierzchni zasiewów względem odlogów i ugorów, związanym z tym, że inflacja powoduje globalny wzrost wszystkich zysków wyrażonych w cenach aktualnych.

Kalibracja i walidacja modelu

Model kalibrowano na podstawie danych GUS z lat 1996–2006, charakteryzujących: strukturę zasiewów, wielkość produkcji poszczególnych upraw, ceny płodów rolnych. Dane dotyczące wielkości dopłat pozyskano z bazy Eurostat (1). Kalibracja modelu opiera się na wykorzystaniu metody najmniejszych kwadratów, polegającej na iteracyjnym dopasowaniu współczynników prowadzących do minimalizacji sumy kwadratów różnic wartości przewidywanych przez model i wartości rzeczywistych. Współczynnikami optymalizowanymi w procesie kalibracji są: koszty produkcji oraz współczynnik zmiany procentowego udziału uprawy w strukturze na jednostkę zysku z tej uprawy i średni procentowy wzrost kosztów produkcji dla wszystkich upraw. Jako wartości początkowych w procesie kalibracji użyto wartość produkcji, która w przypadku równowagi rynkowej na doskonale konkurencyjnych rynkach, gdzie zysk jest zerowy, jest równa kosztom produkcji (13). W wyniku optymalizacji uzyskano oszacowanie wartości kosztów produkcji poszczególnych upraw z jednego hektara (tab. 1).

Tabela 1

Porównanie kosztów produkcji uzyskanych w wyniku kalibracji modelu z wartościami oszacowanymi przez IERiGŻ (wartości jednostkowe wyrażone w zł · ha⁻¹)

Uprawa lub użytek	Koszt produkcji z optymalizacji	Wartość produkcji (koszt przy założeniu zerowego zysku)	Koszt produkcji według IERiGŻ (średnia 1999–2004)
Pszenica	1649	1751	1536
Owies i mieszanki	622	919	-
Pozostałe zboża	968	1112	1133
Rzepak	916	1880	1759
Burak cukrowy	4533	4543	3756
Ziemniak	4113	3774	2955
Pastewne	2074	2045	-
Łąki i pastwiska	868	929	-
Rośliny energetyczne	3273	3521	-
Las	88	354	-

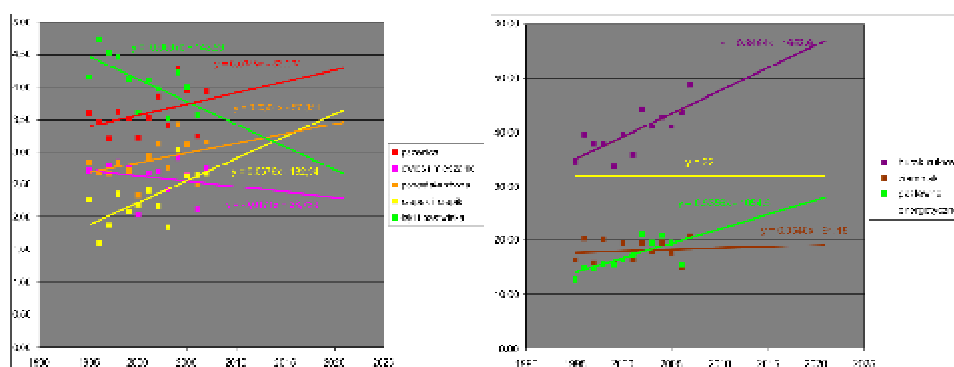
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych IERiGŻ.

Wartości kosztów uzyskanych z modelu są inne niż koszty podawane przez IE-RiGŻ, przy czym wartości symulowane zdają się lepiej odzwierciedlać rzeczywistość. Uzasadnieniem dla takiego twierdzenia jest porównanie powierzchni uprawy i poziomu kosztów produkcji ziemniaka w stosunku do innych upraw. W pewnym stopniu zmniejszenie powierzchni uprawy ziemniaka można wyjaśnić zmianą modelu żywienia trzody chlewnej. Niemniej przy tak niskich kosztach, jak wykazywane przez IE-RiGŻ, w ostatnich latach należałoby się spodziewać znacznie mniejszego spadku powierzchni uprawy z uwagi na wysoką opłacalność produkcji. W tym kontekście wydaje się, że oszacowanie kosztów przez model jest bardziej prawidłowe.

Duża rozbieżność pomiędzy kosztami uprawy roślin energetycznych szacowanymi przez model a podawanymi w literaturze (11) wynika z faktu, że dotychczasowy przyrost powierzchni upraw roślin energetycznych jest stosunkowo powolny i w konsekwencji model podczas kalibracji estymuje wysoki koszt, dążąc do dopasowania modelowanych powierzchni do danych rzeczywistych. Można zakładać, że modelowany koszt jest odzwierciedleniem innych niefinansowych barier, powodujących słaby jak dotąd rozwój upraw energetycznych. Uzyskana w wyniku kalibracji wartość przeciętnego rocznego wzrostu kosztów wynosi 4%, a procentowa zmiana powierzchni na jednostkę zysku to 0,012% na zł zysku z ha.

Istotnym zagadnieniem w prawidłowym prognozowaniu wielkości produkcji jest uwzględnienie wzrostu plonów, wynikającego z postępu technologicznego rolnictwa. Wpływ tego czynnika uwzględniono za pomocą modelu regresji liniowej, gdzie zmienną objaśniającą jest czas wyrażony w latach (rys. 3). Należy zwrócić uwagę na trend spadku plonów mieszanek zbożowych oraz plonów z łąk i pastwisk, co zdaje się być powodowane ekstensyfikacją produkcji w małych gospodarstwach nieprodukujących na rynek. Inną przyczyną objaśniającą taki trend plonów mieszanek może być sposób agregowania danych.

Pozyskanie drewna w lasach w latach 1996–2004 rosło, natomiast w latach 2004–2007 nastąpiła stabilizacja produkcji. Stąd też prognozy w modelu zakładają stały jego



Rys. 3. Równania regresji obrazujące trendy plonów w funkcji czasu

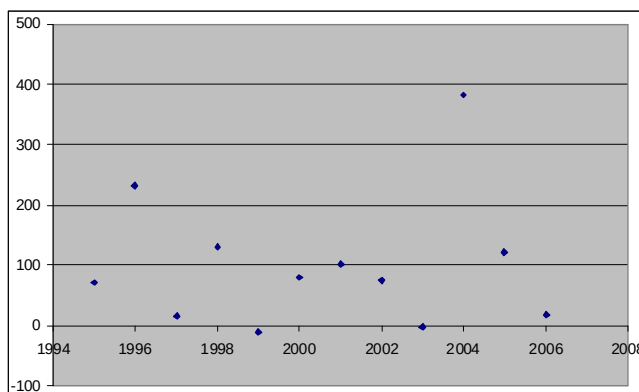
Źródło: Opracowanie własne.

poziom $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Przy konstrukcji modelu przyjęto, że lasy nie podlegają presji konkurencyjnej ze strony rolnictwa i nie występują przepływy zmieniające sposób użytkowania z leśnego na rolniczy, nawet w przypadku istotnego wzrostu popytu na ziemię, wynikającego z dużego wzrostu opłacalności produkcji rolniczej.

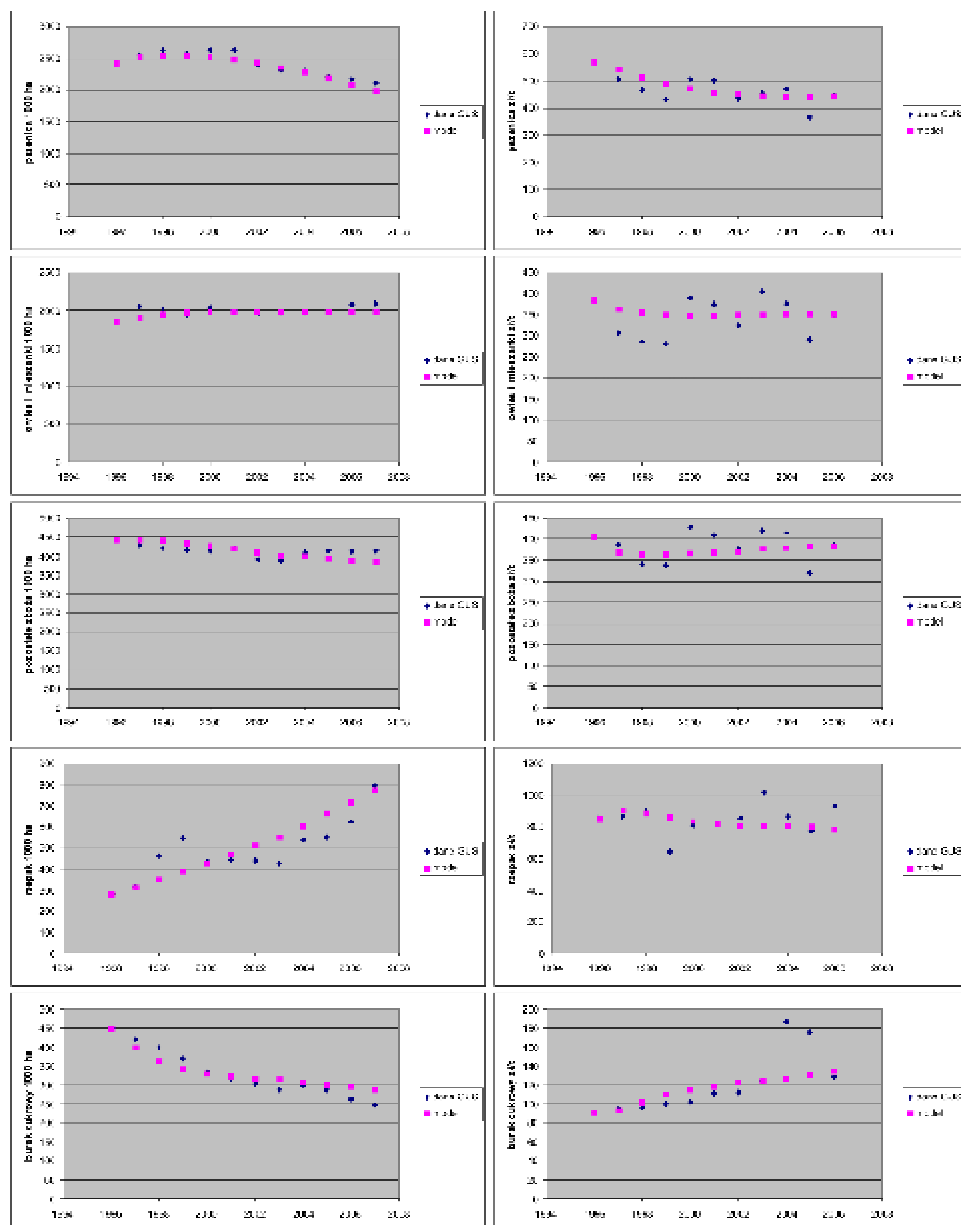
Istotnym czynnikiem decydującym o wyborze upraw, jak również kontynuacji rolniczego wykorzystania przestrzeni jest opłacalność produkcji wyrażona w modelu jako przeciętny zysk z produkcji roślinnej. Zysk z produkcji roślinnej jest w modelu obliczony na podstawie kosztów wygenerowanych przez model w procesie kalibracji. Na rysunku 4 przedstawiono obliczony przez model przeciętny zysk ze wszystkich upraw, jako średnią ważoną po powierzchni upraw.

Na rysunku 5 przedstawiono powierzchnie upraw i ceny płodów rolnych obliczone przez model podczas kalibracji na tle danych rzeczywistych publikowanych przez GUS (4, 5). Zwraca uwagę duża na ogół zgodność trendów symulacji i danych rzeczywistych, przy czym wyniki modelu są bardziej wygładzone, podczas gdy dane GUS podlegają nagłym zmianom, nawet w stosunkowo krótkich przedziałach czasowych. Rozbieżności powierzchni dotyczą niektórych upraw, takich jak ziemniak, rośliny pastewne oraz powierzchnie odłogów i ugorów. Wydaje się, że dane GUS w odniesieniu do tych powierzchni cechuje duża niepewność będąca prawdopodobnie wynikiem niespójności metodyki w poszczególnych latach. Wyjaśniałoby to duże skoki wartości powierzchni w roku 2002 odnotowane w Powszechnym Spisie Rolnym (PSR), podczas gdy dane z kolejnych lat pochodzą z Banku Danych Regionalnych (BDR), którą to bazę tworzy znacznie mniejsza liczba obserwacji.

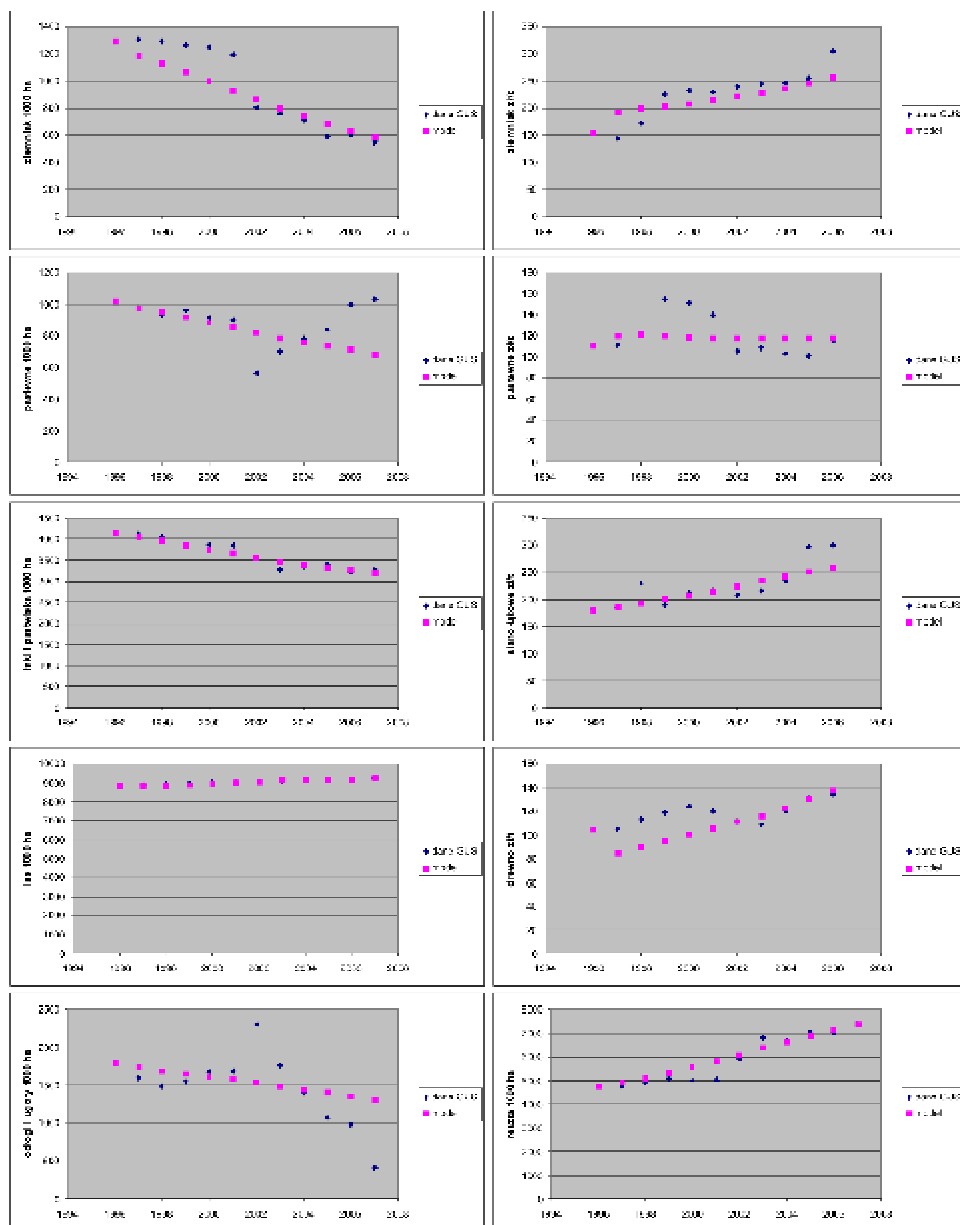
Trendy cenowe wyznaczone przez model są na ogół dobrze dopasowane do rzeczywistych, przy czym przyczyną większych rozbieżności w niektórych latach mogą być wahania koniunktury na rynkach międzynarodowych, fluktuacje inflacji związane z kosztami cen surowców i energii, których model nie jest w stanie przewidywać, gdyż nie są one w nim uwzględnione. Najlepsze dopasowanie danych z modelu do danych rzeczywistych uzyskano dla zbóż, przy czym w znacznej mierze może być to



Rys. 4. Przeciętny zysk z uprawy roślin wyliczony przez model w procesie kalibracji (zł · ha⁻¹)
Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 5. Wyniki kalibracji modelu – porównanie danych rzeczywistych dotyczących powierzchni zasiewów podstawowych upraw i cen płodów rolnych z wynikami symulacji uzyskanymi z modelu
Źródło: Opracowanie własne.



cd. rys. 5. Wyniki kalibracji modelu – porównanie danych rzeczywistych dotyczących powierzchni zasiewów podstawowych upraw i cen płodów rolnych z wynikami symulacji uzyskanymi z modelu
Źródło: Opracowanie własne.

wynikiem względnej stabilności powierzchni uprawy, jak również zdecydowanej ich dominacji w strukturze zasiewów.

Ze względu na ograniczoną serię czasową danych wejściowych do modelu i ich fluktuację w krótkich okresach czasu nie można było przeprowadzić właściwej weryfikacji modelu. Niemniej dobre dopasowanie trendów danych statystycznych do trendów oszacowanych pośrednio wskazuje, że model dobrze odzwierciedla mechanizmy procesów kształtujących strukturę upraw oraz ceny płodów rolnych (rys. 5).

Prognozy dla lat 2007–2020

W prognozach powierzchni upraw oraz cen płodów rolnych przyjęto trzy scenariusze:

1. bazowy, w ramach którego nie prowadzi się polityki wspierającej uprawy roślin energetycznych i brak jest regulacji prawnych obligujących do wykorzystania surowców roślinnych w produkcji paliw i w energetyce. Dopłaty do uprawy pozostają na obecnym poziomie.

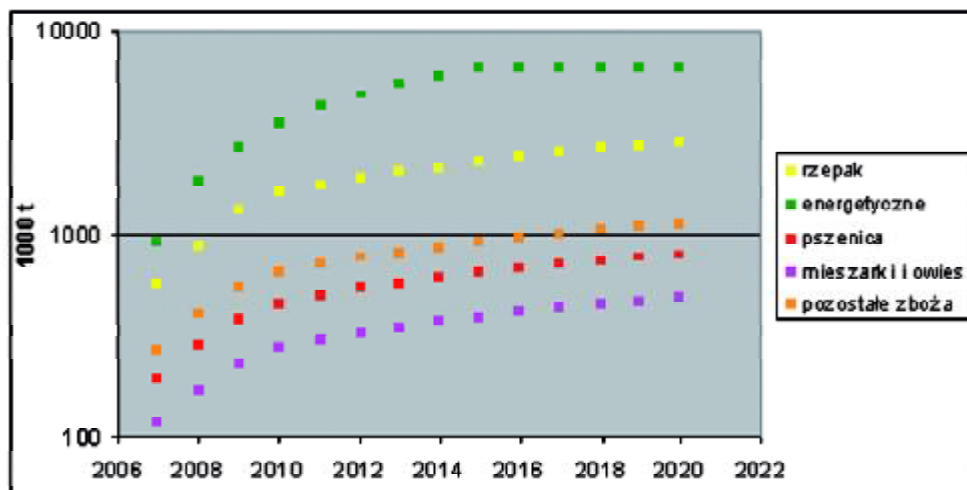
2. popyt na biodiesel i bioetanol jest wymuszony przewidzianymi w istniejących regulacjach prawnych dodatkami do paliw, a współspalanie biomasy przez energetykę osiągnie poziom 660 000 ton s.m. do roku 2015 oraz utrzyma się na tym poziomie do 2020 roku. Popyt na produkty rolno-spożywcze nie jest wymuszony – to znaczy, że nie zakłada się konieczności zapewnienia co najmniej obecnego poziomu wykorzystania ziemiopłodów na cele związane z produkcją żywności. Scenariusz ten odpowiada umiarkowanej presji biopaliw i ich konkurencji o przestrzeń rolniczą z produkcją żywności. Dopłaty do upraw pozostają na obecnym poziomie.

3. popyt konsumpcyjny na produkty rolno-spożywcze jest wymuszony na obecnym poziomie, a popyt na biopaliwa jest wymuszony, tak jak w scenariuszu 2. Dopłaty do upraw pozostają na obecnym poziomie. Scenariusz ten odpowiada sytuacji silnej konkurencji pomiędzy wykorzystaniem przestrzeni na cele produkcji żywności a biopaliwami.

W scenariuszach z biopaliwami założono również, że popyt na bioetanol będzie zaspokajany przez powierzchnię obecnie zajęta przez zboża i mieszanki zbóż (8), natomiast ze względu na wysokie koszty technologii nie przewiduje się wykorzystania buraka i ziemniaka. Przyjęto także założenie, że popyt na biodiesel jest zaspokajany przez rzepak, a udział poszczególnych zbóż w zaspokojeniu popytu na bioetanol jest analogiczny do struktury produkcji ziarna w 2006 roku: pszenicy – 33%, mieszanek i owsa – 20%, pozostałych zbóż – 47% (rys. 6).

Dane dotyczące poziomu dopłat wzięto z bazy Eurostatu (1) – poziom dopłat i wydatków konsumentów w analizie *ex ante* do roku 2020 przyjęto na poziomie z 2006 roku.

Analiza przedstawionych scenariuszy umożliwia zweryfikowanie hipotezy, że realizacja obecnych prawnych zobowiązań w zakresie biopaliw wpłynie na strukturę upraw oraz wzrost cen. Wyniki prognozy powierzchni upraw i cen podstawowych ziemiopłodów do roku 2020 przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 6. Wielkość wymuszonego popytu na biopaliwa dla poszczególnych upraw
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie pracy J. Kusia i A. Fabera (8).

Uzyskane wyniki wskazują jednoznacznie, że polityka zakładająca określony poziom dodatków do paliw płynnych oraz współspalanie biomasy w energetyce zawodowej prowadzi do wzmocnienia konkurencji o przestrzeń rolniczą. Różnica pomiędzy cenami przewidywanymi dla scenariusza 1, 2 i 3 jest miarą szacowanego wpływu obecnej polityki w zakresie biopaliw na zachowanie się rynku surowców roślinnych. Pojawienie się nowego wymuszonego źródła popytu prowadzi w konsekwencji do wzrostu cen podstawowych ziemiopłodów, przy czym wielkość tych zmian silnie zależy od scenariusza (tab. 2). Wzrost cen w scenariuszu 1 (bazowym), nie wymuszającym produkcji biopaliw, wynika z prognozowanych procesów inflacyjnych. Różnica pomiędzy scenariuszem 1 (bazowym) a scenariuszem 2 – z wymuszoną produkcją biopaliw i ograniczonym w stosunku do dzisiejszego poziomu popytem konsumpcyjnym – jest stosunkowo niewielka i dla poszczególnych ziemiopłodów wynosi: pszenicy – 13%, owsa i mieszanek – 31%, pozostałych zbóż – 17%. Prognozowane dla tych dwu scenariuszy ceny ziemniaka i buraka pozostają na zbliżonym poziomie. Umiarkowany wzrost cen ziemiopłodów w scenariuszu 2, w stosunku do scenariusza bazowego, jest na poziomie zbliżonym do prognozy opublikowanej przez FAO (10). Niemniej realizacja scenariusza 2 wydaje się mało realna z uwagi na fakt, że zapotrzebowanie na żywność do roku 2020, mimo prognozowanego przez GUS spadku liczby ludności, będzie na co najmniej obecnym poziomie. Należy się zatem spodziewać silniejszej konkurencji o przestrzeń rolniczą, czyli sytuacji bliższej scenariuszowi 3, który charakteryzuje się największymi wahaniami cen ziemiopłodów w poszczególnych latach objętych prognozą. Dlatego też porównywanie cen z roku 2020 nie byłoby adekwatne – duże fluktuacje cen wynikają tutaj z silnej konkurencji pomiędzy produkcją biopaliw a produkcją żywności (rys. 7). Duże oscylacje modelu w scenariuszu 3 wynikają

Tabela 2

Prognoza zmian powierzchni upraw i cen ziemiopłodów do 2020 r.

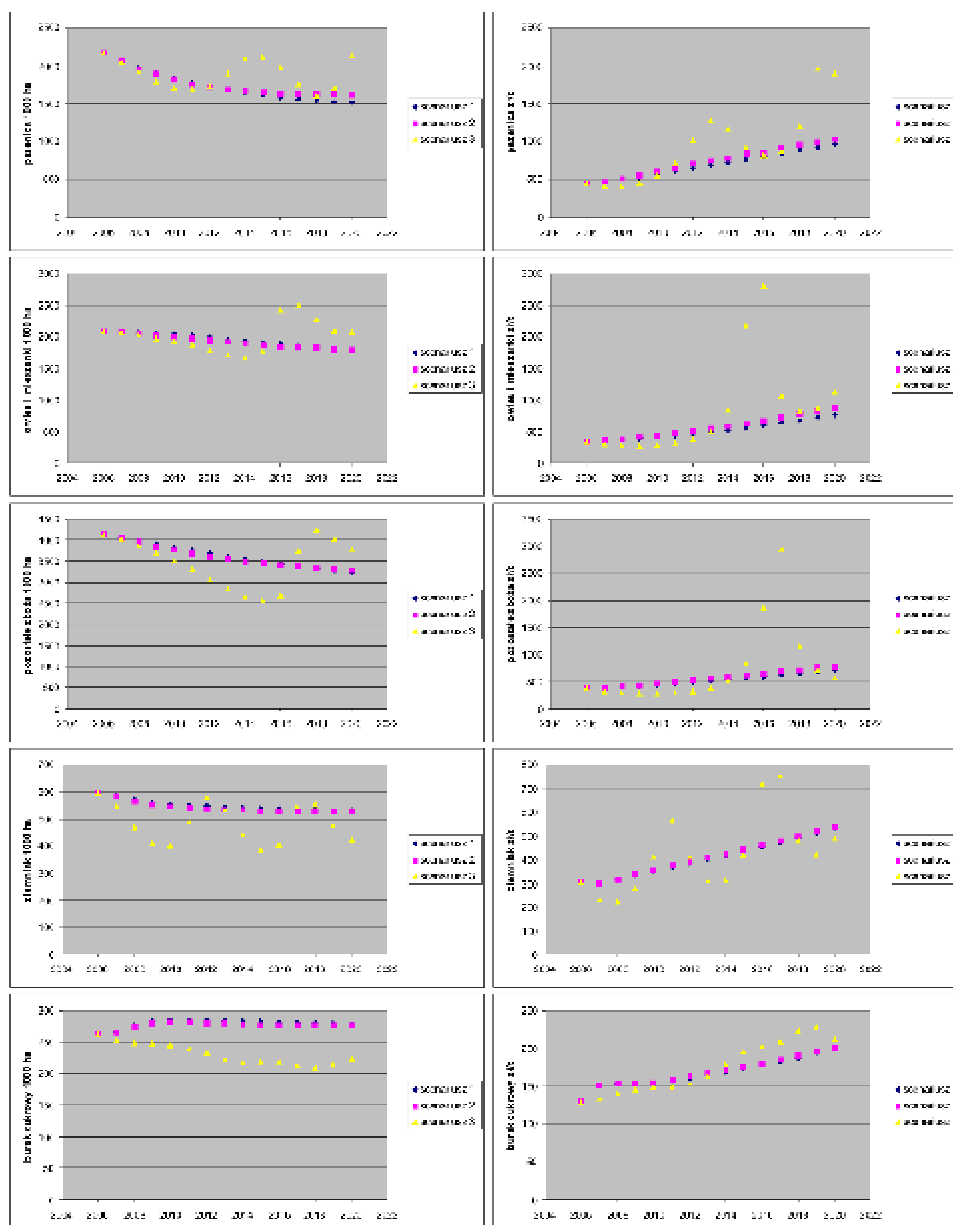
Uprawy lub użytek	Zmiana popytu na biomasę w stosunku do 2006 r. (1000 t) wg scenariusza 2		% zmiana powierzchni w stos. do 2006 r. wg scenariusza			% zmiana ceny w stos. do 2006 r. wg scenariusza		
	tys. t	%	1	2	3	1	2	3
Pszenica	798	11	-30	-25	-2	117	130	326
Owies i mieszanki	483	11	-14	-14	-1	120	151	223
Pozostałe zboża	1136	11	-22	-20	-8	85	102	50
Rzepak	2820	171	55	165	130	-23	-14	-50
Burak cukrowy	0	0	6	5	-15	54	56	65
Ziemniak	0	0	-11	-12	-29	74	76	59
Rośl. paste- wne	0	0	-41	-43	-53	59	63	81
Łąki i pa- stwiska	0	0	-21	-26	45	165	180	185
Rośliny energety- czne	6600	2868	-14	5735	5726	113	88	588
Odłogi i ugory	-	-	-45	-51	-67	-	-	-

Źródło: Opracowanie własne.

z trudności dopasowania podaży do popytu. Z jednej strony takie zachowanie modelu można traktować jako jego słabość, niemniej może to również wskazywać na realne ryzyko dużych wahań cen analogicznych do tych z jakimi mamy dziś do czynienia na rynku mięsa. Ceny przewidywane przez model dla scenariusza 3, ze względu na silne oscylacje, należy traktować z dużą ostrożnością – przykładem są ceny pszenicy, których wzrost w stosunku do scenariusza bazowego jest o ponad 200% większy (w porównaniu do cen z 2006 roku). W scenariuszu tym okresowo przeszacowane są ceny roślin energetycznych. Scenariusze 2 i 3 należy traktować jako przypadki skrajne – odpowiednio popytu o elastyczności jednostkowej i popytu doskonale nieelastycznego. Można się spodziewać, że w rzeczywistości będziemy mieli do czynienia z realizacją scenariusza pośredniego pomiędzy 2 i 3. Prognozy dla wszystkich scenariuszy przewidują umiarkowany spadek cen rzepaku, co nie wydaje się realne i jest prawdopodobnie związane z rozkładem wartości danych dla okresu, na podstawie którego wykonano kalibrację modelu (tab. 2). Model oblicza także ceny dla produkcji z łąk i pastwisk – w kalibracji wykorzystano cenę siana łąkowego wg GUS (4, 5). Różnica między scenariuszami wynosi tutaj 15%; na tej podstawie można przewidywać pewien wpływ realizacji scenariuszy 2 i 3 na wzrost cen mleka.

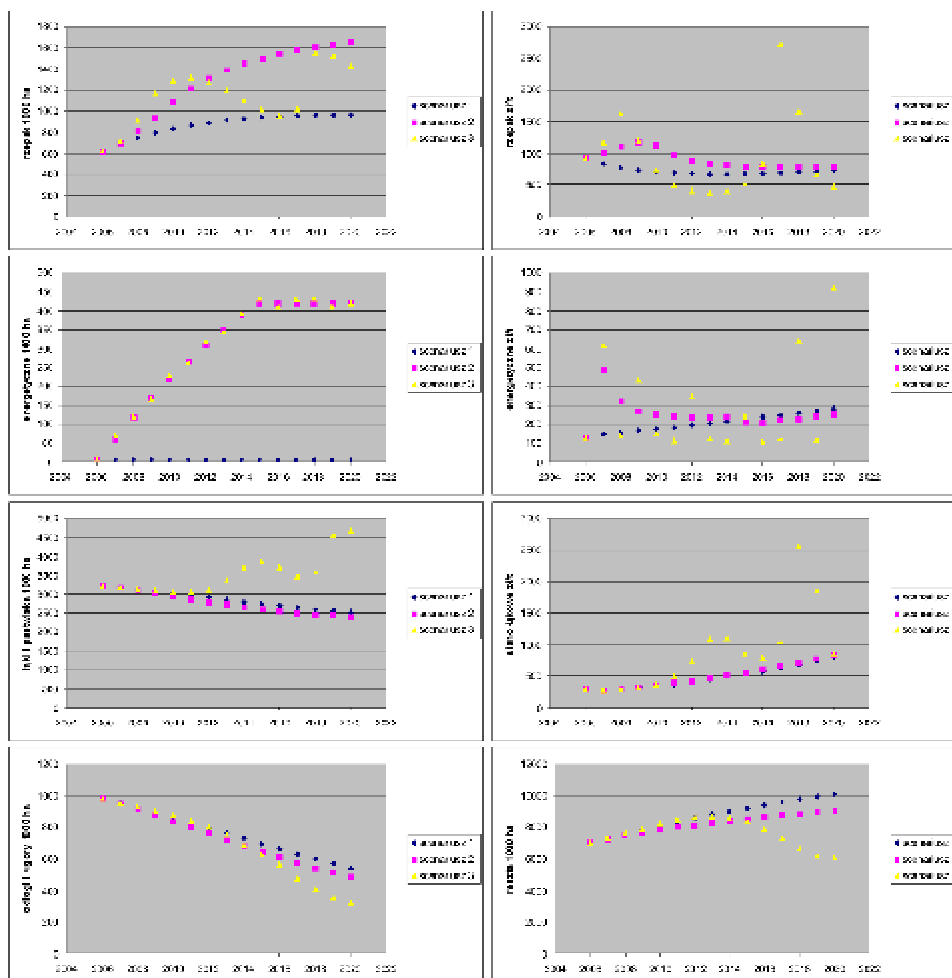
Analizowane scenariusze mają również znaczący wpływ na zmiany powierzchni poszczególnych upraw. W scenariuszu bazowym przewiduje się zmniejszenie powierzchni uprawy pszenicy (-30%), ziemniaka (-11%), łąk i pastwisk (-21%), a zwłaszcza

roślin pastewnych (-41%) oraz powierzchni odłogów i ugorów (-45%); (tab. 2). W scenariuszach z biopaliwami znacznie intensywniejszemu ograniczeniu niż w scenariuszu bazowym ulegają odłogi i ugory, które ponownie zostają włączone do uprawy (rys. 7).



Rys. 7. Wyniki prognozy powierzchni uprawy i cen ziemiopłodów w latach 2006–2020 dla trzech scenariuszy

Źródło: Opracowanie własne.



cd. rys. 7. Wyniki prognozy powierzchni uprawy i cen ziemiopłodów w latach 2006–2020 dla trzech scenariuszy

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawiony model należy traktować jako pierwsze przybliżenie prognozy wpływu polityki odnoszącej się do biopaliw na strukturę upraw w Polsce oraz na ceny podstawowych ziemiopłodów. Wyniki modelowania potwierdzają obawy niektórych autorów i organizacji międzynarodowych, takich jak FAO i OECD, że wymuszenie popytu na biopaliwa może prowadzić do wzrostu konkurencji o przestrzeń rolniczą oraz do wzrostu cen (10). Ograniczona na obecnym etapie ilość danych dotyczących produkcji roślin energetycznych utrudnia kalibrację modelu, obarczając wyniki symulacji stosunkowo dużą niepewnością, zwłaszcza w odniesieniu do cen ziemiopłodów. Wiarygodność kolejnych przybliżeń prognoz, w miarę rozwoju upraw energetycznych

i kształtowania się mechanizmów cenowych uwzględnionych w kalibracji, będzie wrażliwa. Konstrukcja modelu w jego obecnej postaci nie uwzględnia szeregu ważnych czynników mogących mieć wpływ na wyniki symulacji, w tym zwłaszcza sytuacji na rynku globalnym zarówno jeśli chodzi o ceny paliw i surowców, jak również ceny produktów rolnych – silnie zależne od trudnych do przewidzenia zdarzeń katastrofalnych, takich jak na przykład susze o zasięgu kontynentalnym.

Słabością modelu jest również brak modułu uwzględniającego mechanizm redystrybucji dochodu z produkcji mięsa na uprawy pastewne – zyski zrealizowane w ramach produkcji zwierzęcej mają swoje źródło w uprawie roślin pastewnych, które konkurują o przestrzeń z innymi gatunkami roślin. Adekwatne oddanie atrakcyjności uprawy roślin pastewnych wymaga odpowiedniej redystrybucji zysku z produkcji zwierzęcej na ich powierzchnię. Problem ten uwiidoczniał się już w kalibracji modelu na podstawie serii danych z lat 1996–2007; w rzeczywistości powierzchnia roślin pastewnych od roku 2002 do 2007 rośnie, tymczasem model wskazuje na jej spadek.

Istotnym ograniczeniem modelu jest agregacja danych dla całego kraju. W przyszłości konieczne będzie opracowanie nowej wersji generującej prognozy zmian powierzchni upraw dla poziomu regionów i subregionów, co będzie wymagało uwzględnienia zróżnicowania warunków glebowych i klimatycznych, a co za tym idzie wielkości plonów i związanej z tym opłacalności produkcji. Na zróżnicowanie regionalne będzie miała również wpływ struktura obszarowa gospodarstw i możliwość zaangażowania określonych środków technologicznych, a także uzyskania efektu skali, zwłaszcza uprawa roślin na współspalanie w małych gospodarstwach może być poddana tym czynnikom ograniczającym.

W modelu założono jedną wartość współczynnika reakcji zmiany względnej powierzchni na różnicę zysku z danej uprawy i przeciętnego zysku ze wszystkich upraw. Tymczasem dla roślin takich, jak wierzba, które będą uprawiane w głównej mierze w gospodarstwach wielkoobszarowych (przedsiębiorstwach rolnych), a w znacznie mniejszym stopniu w gospodarstwach przeciętnych, tempo przyrostu powierzchni w dużych gospodarstwach w wyniku efektu skali, nawet przy stosunkowo niewielkiej zmianie zyskowności, będzie znacznie większe niż w tradycyjnym modelu rolnictwa.

Ewolucja powierzchni upraw w zależności od różnicy zysku jest ujęta w modelu zależnością liniową; wpływ poziomu zysku na decyzje producentów może być, zwłaszcza w niektórych okresach, nieliniowy. Należy jednak dodać, że przyjęcie zależności liniowej pomiędzy różnicą zysku z uprawy i zyskiem przeciętnym a procentową zmianą powierzchni upraw jest przy obecnej strukturze modelu gwarancją zbilansowania powierzchni całkowitej.

W przyszłych rozwiązaniach modelu należałoby odejść od założenia, że koszty wszystkich upraw rosną w jednakowym tempie i zastąpić koszty uzyskane w wyniku kalibracji danymi o rzeczywistych kosztach poszczególnych upraw.

Podsumowanie

Przedstawiony w opracowaniu model obrazuje możliwe konsekwencje wdrażania obecnego kształtu instrumentów polityki odnoszących się do roślin energetycznych oraz udziału biokomponentów w paliwach. Do korzystnych następstw wywołania popytu na rośliny energetyczne należy ograniczenie powierzchni ugorów i odłogów, zapobiegające utracie rolniczego charakteru wielu obszarów. Analizowany scenariusz zaspokojenia popytu na biomasę z rolnictwa przeznaczoną na cele energetyczne, w powiązaniu z istniejącymi zobowiązaniami energetyki i sektora paliwowego, nie spowoduje znaczącego spadku powierzchni tradycyjnych upraw, takich jak zboża, będzie miał natomiast znaczący wpływ na wzrost cen podstawowych ziemiopłodów. Zmiany demograficzne i wzrost plonów spowodują możliwość zaspokojenia potrzeb konsumpcyjnych w oparciu o produkcję zbóż realizowaną na mniejszej powierzchni. Trzeba wyraźnie zaznaczyć, że uzyskana z modelu prognoza wzrostu cen ziemiopłodów jest obciążona dużym poziomem niepewności. Niemniej wyniki uzyskane dla scenariusza z wymuszoną produkcją biopaliw i umiarkowaną konkurencją o przestrzeń rolniczą pomiędzy roślinami energetycznymi a produkcją żywności wskazują na realne ryzyko wzrostu cen zbóż o około 10-20%. W przypadku silnej konkurencji pomiędzy produkcją żywności a biopaliwami prawdopodobne jest, że ceny płodów rolnych będą podlegać silnym wahaniom w poszczególnych latach, a przeciętny wzrost cen, liczony w dłuższym okresie, może przekraczać 50%. Wiarygodność prognoz generowanych przez model będzie wzrastać wraz z pozyskaniem nowych danych do kalibracji dotyczących powierzchni uprawy i cen ziemiopłodów, w tym zwłaszcza roślin energetycznych.

Literatura

1. EUROSTAT: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>
2. Forrester J. W.: Industrial dynamics. Pegasus Communications: Waltham, MA, 1961.
3. Forrester J. W.: World dynamics. Pegasus Communications: Waltham, MA, 1971.
4. GUS: <http://www.stat.gov.pl>
5. GUS: Roczniki statystyczne rolnictwa i obszarów wiejskich 2006, 2007.
6. IERiGŻ: Produkcja, koszty i dochody wybranych produktów rolniczych 1999–2004.
7. Kwaśnicki W.: Podażowo-popytowy model wzrostu gospodarczego. <http://prawo.uni.wroc.pl/~kwasnicki>
8. Kuś J., Faber A.: Alternatywne kierunki produkcji rolniczej. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, 7: 139-149.
9. Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J., Behrens W.: The limits to growth. Universe Books. New York, 1972.
10. OECD-FAO Agricultural Outlook 2007–2016. OECD/FAO 2007.
11. Rosenqvist H.: Energy crop production costs in the EU today and in the future. Conf. mat. "Biomass & Bioenergy", Tallinn, 2008.
12. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 17 sierpnia 2005 r. w sprawie szczególnych warunków i trybu udzielania dopłat z tytułu prowadzenia plantacji wierzby (*Salix* sp.) lub róży bezkolcowej (*Rosa multiflora* var.) wykorzystywanych na cele energetyczne oraz procento-

- wego wskaźnika kontroli producentów rolnych prowadzących te plantacje (Dz. U. z 2005 r., Nr 159, poz. 1338).
13. Samuelson P. A., Nordhaus W. D.: *Ekonomia*. T. 1, PWN Warszawa, 2004.
 14. Szczukowski S., Budny J.: *Wierzba krzewiasta – roślina energetyczna*. Wyd. GPWODR, Olsztyn, 2003.
 15. Szepteyki A.: *Biopaliwa – zalecenia UE, potrzeby, realne możliwości produkcji*. Inż. Rol., 2007, **7(95)**.
 16. Żmuda K.: *Biomasa do celów energetycznych – społeczne, gospodarcze i prawne uwarunkowania wykorzystania biomasy*. Mat. Konf. „Biomasa dla elektroenergetyki i ciepłownictwa – szanse i problemy”. Warszawa, 2007.

Adres do korespondencji:

doc. dr hab. Tomasz Stuczyński
Zakład Gleboznawstwa Erozi i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (081) 886-34-21, w 311
e-mail: ts@iung.pulawy.pl

Antoni Faber

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

PRZYRODNICZE SKUTKI UPRAWY ROŚLIN ENERGETYCZNYCH*

Wstęp

Produkcja roślin przeznaczonych na cele energetyczne ma osiągnąć w UE 15 mln ha do 2010 r. i 25 mln ha do 2030 r. (18). W okresie do 2020 r. na produkcję paliw płynnych pierwszej generacji przeznaczane będą głównie zboża (bioetanol) oraz nasiona rzepaku (biodiesel). Od 2020 r. przewiduje się zastąpienie tych roślin, o niskiej efektywności energetycznej, roślinami lignino-celulozowymi (m.in.: wierzba, topola, miskant, ślazier, resztki poźniwne i inne), które wykorzystywane będą w produkcji paliw płynnych drugiej generacji (rys. 1). Jednocześnie rozwijana będzie produkcja wieloletnich roślin przeznaczonych dla energetyki zawodowej i komunalnej (rys. 1).

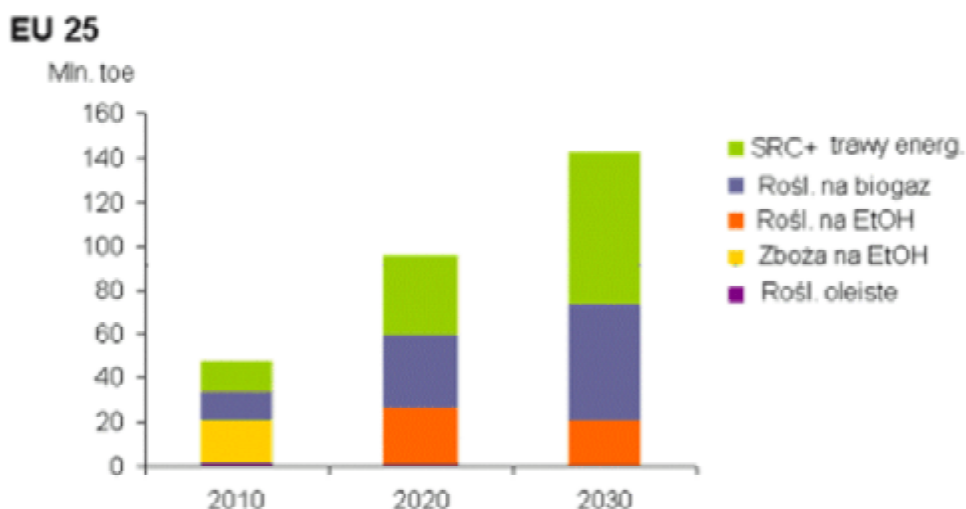
Plantacje roślin energetycznych muszą być lokalizowane w pobliżu zakładów przetwórczych ze względu na konieczność ograniczania kosztów transportu biomasy. Może to prowadzić do lokalnego wzrostu ich udziału w strukturze zasiewów. Nadmierna koncentracja powierzchni upraw roślin energetycznych może mieć negatywne skutki agronomiczne i środowiskowe. Skutki wielkoobszarowych nasadzeń roślin przeznaczonych na cele energetyczne nie są ani w Polsce, ani też w UE rozeznane, ze względu na to, że nasadzenia takie jeszcze nie istnieją. W opracowaniu do scharakteryzowania skutków przyrodniczych uprawy roślin energetycznych wykorzystano istniejące dane literaturowe, które nie mogą jednak pretendować do precyzyjnego określenia ewentualnych skutków produkcji wielkoobszarowej. W opracowaniu pominięto szersze omawianie przyrodniczych skutków produkcji na gruntach rolnych surowców przeznaczonych do produkcji paliw płynnych pierwszej generacji. Obecnie uważa się, że wzrost produkcji tych surowców przyniesie więcej szkód niż korzyści. W tym między innymi: zwiększenie wylesień, wzrost emisji gazów cieplarnianych, negatywne skutki środowiskowe, pogorszenie samowystarczalności żywnościowej, pogłębienie degradacji gleb, zmniejszenie bioróżnorodności oraz zwiększone wyczerpywanie zasobów naturalnych (7).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.8 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Przeciwdziałanie zmianom klimatu

Najistotniejszym powodem lansowania produkcji biomasy na cele energetyczne jest chęć przeciwdziałania zmianom klimatu. W literaturze popularnej jako argument na rzecz tego, bezdyskusyjnie niezbędnego działania, ukuto slogan, że produkcja i energetyczne wykorzystanie biomasy jest neutralne pod względem emisji dwutlenku węgla. Innymi słowy, że rośliny wykorzystywane energetycznie uwalniają węgiel, który wcześniej zasymilowały. Teza ta jest w oczywisty sposób nieuprawniona, ponieważ z produkcją roślin energetycznych związane są pewne bezpośrednie (spalanie oleju napędowego w trakcie zabiegów uprawowych) i pośrednie (produkcja nawozów, środków ochrony roślin) emisje gazów cieplarnianych. Pewne ilości podtlenku azotu, antropogenicznego gazu cieplarnianego o wysokim równoważniku cieplnym, są uwalniane ze stosowanych nawozów azotowych oraz resztek pożywnych. Wymienione emisje gazów cieplarnianych muszą być uwzględniane w bilansach ich emisji.

W ostatnim czasie głośnym echem odbiła się publikacja Paula Crutzena, laureata Nagrody Nobla, który w sposób prosty wykazał, że produkcja paliw płynnych pierwszej generacji ze zbóż i rzepaku może się przyczyniać do ocieplenia klimatu (6). W szacunkach uwzględniono jedynie emisję podtlenku azotu, związaną z produkcją tych paliw, oraz zaoszczędzoną emisję CO₂ w porównaniu z paliwami konwencjonalnymi (tab. 1). Wartości wskaźnika ocieplenia (Meq/M) większe od jedności wskazują, że produkcja i wykorzystanie paliw przyczyniać się będzie do ocieplenia klimatu. Z przedstawionych szacunków wynika, że jedynie bioetanol produkowany z trzciny cukrowej powodować będzie zmniejszenie efektu cieplarnianego.



Rys. 1. Przewidywane zapotrzebowanie na rośliny energetyczne według asortymentu
Źródło: Wiesenthal T. i in., 2006 (18).

Tabela 1

Względne ocieplenie klimatu wynikające z emisji N_2O w stosunku do oszczędności emisji CO_2 w porównaniu z paliwami konwencjonalnymi w zależności od zawartości azotu w roślinach

Roślina	Zawartość azotu (g N kg ⁻¹ s.m.)	Względne ocieplenie (Meq/M)	Paliwo
Rzepak	39	1,0-1,7	biodiesel
Kukurydza	15	0,9-1,5	bioetanol
Trzcina cukrowa	7,3	0,5-0,9	bioetanol

Źródło: Crutzen P. J. i in., 2008 (6).

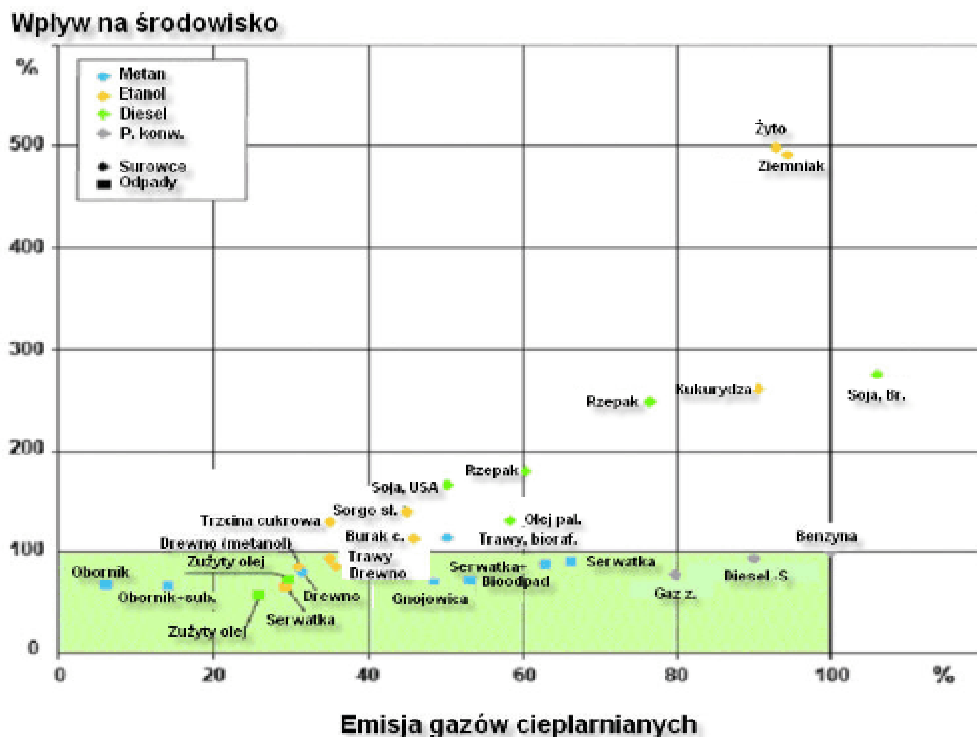
Crutzen i in. (6) podkreślają, że pełniejszą ocenę skutków środowiskowych produkcji i wykorzystania biopaliw może dać zastosowanie analizy ich cyklu trwania (LCA – Life Cycle Assessment). Jest to metoda oceny uwzględniająca co najmniej: bilans energetyczny, emisję gazów cieplarnianych, eutrofizację, zakwaszenie, ekotoksyczność, toksyczność dla człowieka, działania rakotwórcze. Prowadzi się ją w pełnym łańcuchu produkcji i wykorzystania określonego produktu. W przypadku biopaliw od wyprodukowania materiału rozmnożeniowego do założenia plantacji, poprzez uprawę, zbiór, transport, budowę i wykorzystywanie instalacji do przetwarzania biomasy, aż po zagospodarowanie odpadów powstających w produkcji energii.

Analiz takich przeprowadzono wiele, tu przytoczono szeroko zakrojone badania biopaliw (19), w których zastosowano zmodyfikowaną metodę LCA, pozwalającą rozpatrywać zależność pomiędzy emisją gazów cieplarnianych a oddziaływaniem środowiskowym podczas ich produkcji – wyrażonym jednym uniwersalnym wskaźnikiem (rys. 2). Wyniki analiz przedstawiono w wartościach względnych, przyjmując skutki środowiskowe wykorzystywania benzyny za 100%. Większość biopaliw charakteryzowała się gorszym wpływem na środowisko niż benzyna. Etanol z kukurydzy (USA) charakteryzował się niekorzystnym wpływem na środowisko, etanol z trzciny cukrowej i buraków miał wpływ tylko nieco lepszy od benzyny. Biodiesel miał, z wyjątkiem produkowanego ze zużytego oleju, generalnie negatywny wpływ na środowisko. Biopaliwa produkowane z drewna miały mniejszy wpływ na środowisko niż benzyna, co dodatkowo uzasadnia celowość dążenia do uruchomienia produkcji paliw drugiej generacji.

Podsumowując najnowsze oceny wpływu produkcji i wykorzystania biomasy na zmiany klimatu można stwierdzić, że wpływy korzystne mogą być znacznie mniejsze niż wcześniej sądzono.

Wpływ uprawy roślin energetycznych na gleby

W uprawach roślin energetycznych pewna ilość zasymilowanego przez rośliny węgla trafia do gleby wraz z opadającymi liśćmi oraz obumierającymi korzeniami. Ponad 80% tej ilości przekształcane jest w CO_2 w procesie oddychania gleby, zaś pozostała część ulega stopniowemu przekształcaniu w próchnicę. Proces ten określany jest mianem sekwestracji węgla. Zależy on od warunków klimatycznych, składu



Rys. 2. Emisja GHG z biopaliw na tle ogólnego wskaźnika wpływu na środowisko (benzyna =100%)
Źródło: Zah R. i in., 2007 (19).

granulometrycznego gleby oraz początkowej zawartości próchnicy w glebie. W uprawach roślin energetycznych sekwestracja węgla zachodzi w powierzchniowej warstwie profilu glebowego (do 10 cm). Czasem jednak przyrost w powierzchniowej warstwie gleby równoważony jest spadkiem zawartości substancji organicznej w poziomach głębszych (11). Sekwestracja węgla może nie zachodzić w przypadku lokalizowania plantacji wierzby i topoli na użytkach zielonych. W takich przypadkach notowano nawet spadki zawartości węgla w glebie dochodzące do 15% (11). Sekwestracja węgla w uprawach miskanta zależała od składu granulometrycznego gleby oraz wieku plantacji. Wahała się ona w zakresie od 0,78 do 1,13 t C · ha⁻¹ · r⁻¹ w 100 cm warstwie gleby (8). Przekształcenie gruntu ornego w plantację wierzby może dawać sekwestrację węgla rzędu 0,55-0,83 t C · ha⁻¹ · r⁻¹ (12).

Wielkość sekwestracji węgla w glebie w uprawach roślin energetycznych ma istotne znaczenie dla ogólnego bilansu węgla, a co za tym idzie bilansu emisji gazów cieplarnianych. Przyjmuje się w analizach LCA, że emisja gazów cieplarnianych w uprawach wierzby i miskanta jest znacznie mniejsza niż w uprawach rzepaku, użytków zielonych i pszenicy (5). Wynika stąd, że uprawy te będą charakteryzowały się dodatnim bilansem węgla i ograniczaniem efektu cieplarnianego, co potwierdzają wyniki przedstawione przez C r u t z e n a i in. (6) oraz Z a h a i in. (19). Wzrost zawartości

Tabela 2

Całkowita emisja gazów cieplarnianych dla różnych roślin i użytków (ekwiwalenty $t\ C \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$)

Roślina	Emisja
Rzepak	0,550
Wierzba	0,114
Miskant	0,131
Las	0,031
Użytek zielony	0,492
Pszenica (uprawa konwencjonalna)	0,583
Pszenica (uprawa uproszczona)	0,572

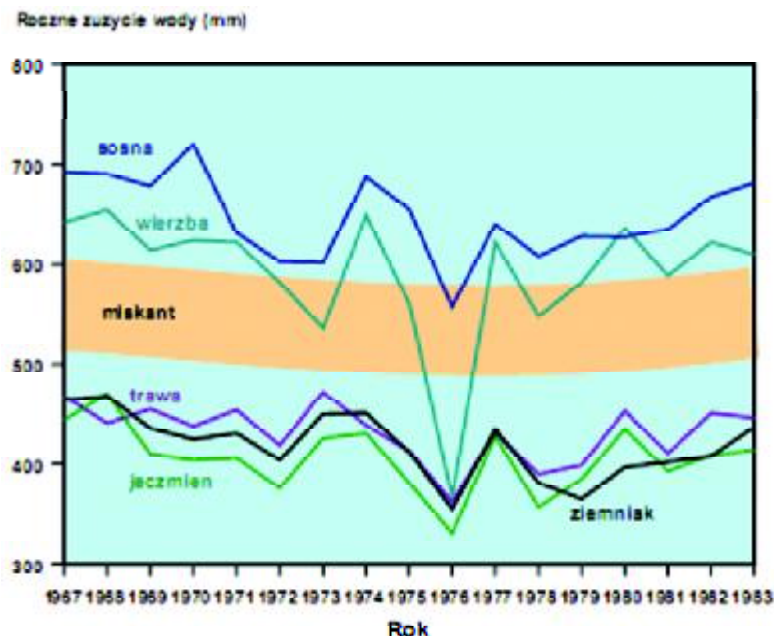
Źródło: Clair S. S. i in., 2008 (5).

węgla w glebie na tych plantacjach przyczynia się pośrednio do poprawy: tekstury, pojemności wodnej oraz żyzności gleby (16).

Trwałe plantacje roślin energetycznych charakteryzują się znacznie większą efektywnością wykorzystywania azotu w porównaniu z uprawami tradycyjnymi. Współczynnik wykorzystania azotu osiągać może wartość 0,85 (15), podczas gdy dla tradycyjnych upraw rolniczych rzadko jest większy od 0,50. Zwiększona efektywność pobierania azotu sprawia, że w nienawożonych uprawach wierzby wymywanie azotanów zmniejsza się o około $25\ kg \cdot ha^{-1} \cdot r^{-1}$ w porównaniu z intensywnie użytkowanymi gruntami ornymi (13). Wynik ten może być odniesiony do plantacji 2- i 3-letnich, których z reguły nie nawozi się azotem. Pod odrosty pierwszoroczne zaleca się stosować nawożenie azotem w dawkach do $100\ kg \cdot ha^{-1}$ w przypadku wierzby oraz do $88\ kg \cdot ha^{-1}$ w przypadku miskanta (9, 14). Są to dawki, które wystarczająco chronią wody gruntowe przed zanieczyszczeniem azotanami. Bowiem nawet przy nawożeniu wierzby dawkami $220-244\ kg\ N \cdot ha^{-1}$ maksymalne wymycie azotanów wynosiło $9,7\ kg \cdot ha^{-1}$ (1). Według tych badań nawożenie wierzby dawkami $160-190\ kg\ N \cdot ha^{-1}$ nie będzie powodować znaczącego wymycia azotu. Nieco większe wymycie azotanów może być notowane w uprawach miskanta. W przypadku nawożenia tej rośliny dawkami 0, 60 i $120\ kg\ N \cdot ha^{-1}$ wymycie azotu w trzecim roku uprawy wynosiło odpowiednio: 3, 11 i $30\ kg\ N \cdot ha^{-1}$ (4). Tak więc wymycie azotu z racjonalnie nawożonych trwałych plantacji roślin energetycznych będzie mniejsze niż z tradycyjnych upraw rolniczych ($30-60\ kg\ N \cdot ha^{-1}$). Zdolności wierzby do efektywnego pobierania azotu i innych składników mineralnych od dawna są wykorzystywane do fitoremediacji zanieczyszczonych wód i gleb.

Wpływ uprawy roślin energetycznych na wykorzystywanie zasobów wody

Wieloletnie uprawy roślin energetycznych produkują z reguły większe ilości biomasy od tradycyjnych roślin uprawnych, dlatego mają większe od nich wymagania wodne (rys. 3). Roczne zużycie wody przez wierzbę waha się w granicach 550-650 mm w okresie wegetacji, zaś miskanta 510-600 mm (10). Oznacza to, że w warunkach



Rys. 3. Zużycie wody w sezonie wegetacyjnym przez rośliny wykorzystywane na cele energetyczne
Źródło: Hall R. L., 2003 (10).

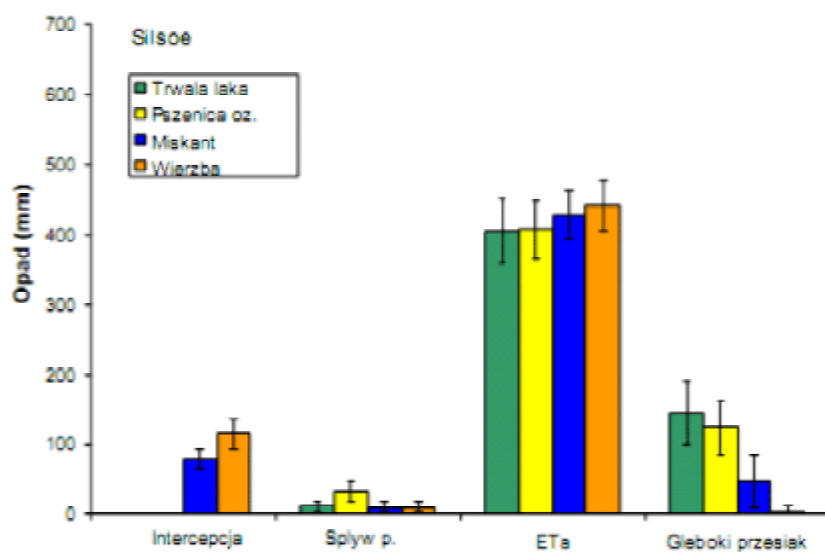
Polski konieczne będzie lokalizowanie tych upraw na gruntach o zwierciadle wody gruntowej powyżej 2 m. W takich warunkach rośliny uzupełniać będą niewystarczające ilości opadów pobierając do 200 mm wody z wód gruntowych. Może to obniżać poziom zalegania płytkich wód gruntowych nawet o 1 m.

W rozdysponowaniu opadów na plantacjach roślin energetycznych uwagę zwraca zwłaszcza wysoka intercepcja opadu przez wierzbę i młaskanta, mały spływ powierzchniowy wody oraz znikoma infiltracja wody w głąb profilu na plantacjach tych roślin (rys. 4).

W konsekwencji oznacza to, że przy wielkoobszarowych nasadzeniach tych roślin należy się liczyć ze zmniejszonym zasilaniem wód gruntowych przez opady. Jest to przesłanka, która nakazuje potrzebę dogłębnego analizowania skutków hydrologicznych takich nasadzeń w obrębie poszczególnych zlewni, ale również kraju. W Polsce na przeważającym obszarze mamy do czynienia z ujemnym klimatycznym bilansem wody (rys. 5).

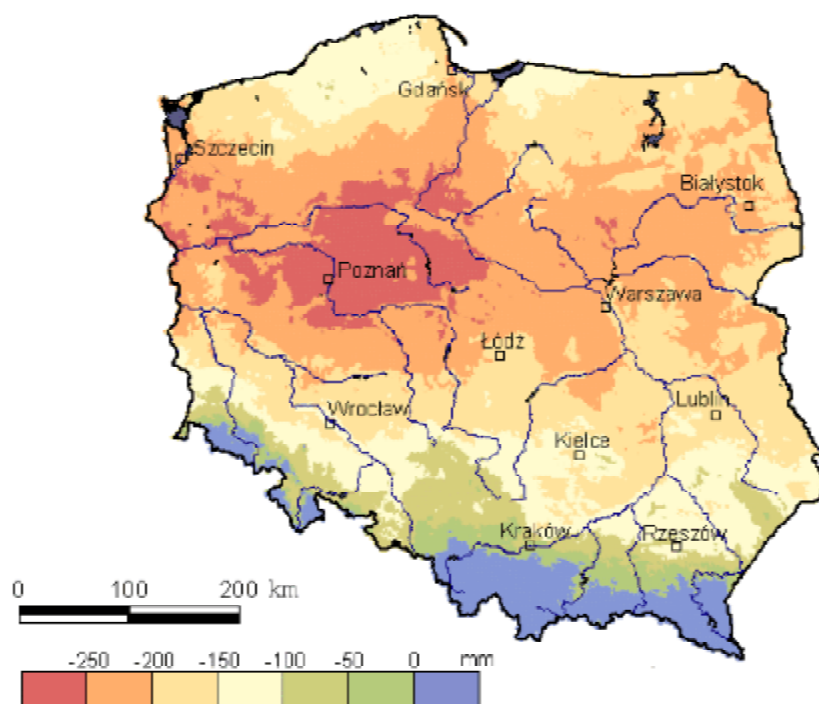
Bilans ten wskutek spodziewanych zmian klimatu może się jeszcze pogorszyć – od -10% przy scenariuszu optymistycznym do -50% przy scenariuszu pesymistycznym. Nakazuje to potrzebę wielkiej rozważności w lokalizacji plantacji roślin energetycznych. Spodziewać się należy, że niekorzystne warunki wodne ograniczać będą wielkość arealu wieloletnich upraw roślin energetycznych w Polsce do około 1 mln ha.

Planując i prowadząc produkcję roślin na cele energetyczne należy zwracać również baczną uwagę na efektywność wykorzystywania wody. Jest ona, jak wykazują



Rys. 4. Rozdysponowanie opadów w różnych uprawach

Źródło: Hall R. L., 2003 (10).



Rys. 5. Wieloletni klimatyczny bilans wodny od kwietnia do września

Źródło: IUNG-PIB Puławy.

Tabela 3

Ewapotranspiracja roślin energetycznych na jednostkę surowca oraz na jednostkę bioenergii brutto

Biomasa	Efektywność wykorzystania wody (kg s.m. · ha ⁻¹ · mm ⁻¹ ET)	Ewapotranspiracja roślin	
		Mg GJ ⁻¹ surowca	Mg GJ ⁻¹ bioenergii brutto
Biodiesel			
Rzepak	9-12	46-81	100-175
Etanol			
Trzcina cukrowa	17-33	23-124	37-155
Buraki cukrowe	9-24	57-151	71-188
Kukurydza	7-21	37-190	73-346
Pszenica	6-36	21-199	40-351
Rośliny lignino-celulozowe	10-95		
Etanol		7-68	11-171
Metanol		7-68	10-137
Wodór		7-68	10-124
Energia elektryczna		7-68	13-195

Źródło: Berndes G., 2002 (3).

dane przeglądowe, bardzo zróżnicowana (tab. 3). Generalnie jednak wieloletnie rośliny lignino-celulozowe, takie jak wierzba czy miskant, charakteryzują się mniejszą ewapotranspiracją w przeliczeniu na GJ wyprodukowanego surowca lub wyprodukowanej energii brutto w porównaniu z uprawami tradycyjnymi (3). Jest to jednoznaczne z większą efektywnością wykorzystywania przez nie wody.

Wpływ upraw roślin energetycznych na bioróżnorodność

Najwięcej obaw związanych z wielkoobszarowymi nasadzeniami roślin energetycznych, obok wyczerpywania zasobów wód, budzi ich potencjalny wpływ na bioróżnorodność. W świetle dostępnej literatury są to obawy przynajmniej częściowo bezzasadne.

Stosunkowo dobrze rozpoznany został wpływ uprawy wierzby na bioróżnorodność. Według badań Cunningham i in. (cyt. za 16) uprawa ta przyczyniała się do wzrostu bogactwa występującej flory w porównaniu z gruntami ornymi. W okresie czteroletnich badań na plantacjach tej rośliny występowało 133 gatunków roślin, a na porównywalnych powierzchniach gruntów ornich 97 gatunków. W konkluzji tych i innych przeprowadzonych badań oczekuje się, że plantacje wierzby zwiększą zróżnicowanie gatunkowe flory w stosunku do gruntów ornich (16).

Najwięcej obaw dotyczących wpływu na bioróżnorodność odnosi się do występowania ptaków. Są to obawy, jak wynika z przeprowadzonych badań, raczej bezzasadne. Uprawa wierzby miała generalnie pozytywny wpływ na bioróżnorodność ptaków (2, 17). Bogactwo gatunkowe ptaków na plantacjach wierzby było na wiosnę wyraź-

nie większe ($3,1 \text{ ptaka} \cdot \text{ha}^{-1}$) niż na gruntach ornym ($0,8 \text{ ptaka} \cdot \text{ha}^{-1}$) oraz użytkach zielonych ($1,6 \text{ ptaka} \cdot \text{ha}^{-1}$); (17). Jakkolwiek zgodzić się trzeba z tezą, że wierzba stwarza dla ptaków gorsze siedliska w porównaniu z leśnymi siedliskami naturalnymi lub półnaturalnymi, wilgotnymi miedzami i ekstensywnymi użytkami zielonymi.

Mniejsze zużycie chemicznych środków ochrony roślin w uprawach wierzby i duża liczba związanych z tą uprawą gatunków roślin przyczynia się do wzrostu bioróżnorodności bezkręgowców w porównaniu z gruntami ornymi (cyt. za 16). Spostrzeżenie to odnosi się również do większej obecności i bogactwa gatunkowego motyli na plantacjach wierzby. Plantacje wierzby są także atrakcyjniejszym siedliskiem dla małych ssaków, płazów i gadów w porównaniu z typowymi uprawami na gruntach ornym.

Bardzo skąpa jest literatura odnosząca się do wpływu uprawy miskanta na bioróżnorodność. Z bardzo wstępnych badań może wynikać, że uprawa tej rośliny będzie stanowić gorsze siedlisko dla flory i fauny niż uprawa wierzby (cyt. za 16).

Wpływ uprawy roślin energetycznych na krajobraz

Wielkoobszarowe monokultury wieloletnich roślin energetycznych będą miały wyraźnie negatywny wpływ na walory estetyczne krajobrazu rolniczego. Zmniejszać będą jego mozaikowate bogactwo. Ze względu na wysokość roślin, dochodzącą w przypadku miskanta do 3 m, zaś trzyletniej wierzby od 5-7 m, uprawy te stanowiąc będą wizualne bariery ograniczające otwarty charakter krajobrazu rolniczego. Ponieważ gleby o wysokim zwierciadle wód gruntowych położone są z reguły w dolinach rzecznych lokalizowanie tam wieloletnich plantacji roślin energetycznych, co jest wymuszone ich potrzebami wodnymi, pogorszy walory krajobrazowe tych dolin. Ze względów oczywistych plantacje roślin energetycznych nie powinny być lokalizowane na obszarach cennych przyrodniczo.

Podsumowanie

W porównaniu z tradycyjnymi uprawami rolniczymi wykorzystywanymi na cele energetyczne (tj. pszenica, kukurydza, burak cukrowy czy rzepak) wieloletnie plantacje roślin energetycznych charakteryzują się: lepszym bilansem energii i węgla, większą sekwestracją węgla w glebie, mniejszym wymywaniem azotu, lepszymi właściwościami fitoremediacyjnymi (wierzba), zbliżoną lub większą bioróżnorodnością roślin, bezkręgowców i ptaków. Mogą mieć natomiast, w przypadku nadmiernego udziału w strukturze zasiewów oraz niewłaściwego lokalizowania plantacji, ujemny wpływ na bilans wodny gleb oraz warunki hydrologiczne w zlewniach, jak również wizualne walory krajobrazu.

Literatura

1. Aronsson P. G., Bergstrom L. F.: Nitrate leaching from lysimeter grown short-rotation willow coppice in relation to N-application, irrigation and soil type. *Biomass & Bioenergy*, 2001, **21**: 155-164.
2. Berg A.: Breeding birds in short-rotation coppice on farmland in central Sweden – the importance of *Salix* height and adjacent habitats. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2002, **90**: 265-276.
3. Berndes G.: Bioenergy and water – the implications of large-scale bioenergy production for water use and supply. *Global Environ. Change*, 2002, **12**: 253-271.
4. Christian D. G., Riche A. B.: Nitrate leaching losses under *Miscanthus* grass planted on a silty clay loam soil. *Soil Use Manage.*, 1998, **14**: 131-135.
5. Clair S. S., Hillier J., Smith P.: Estimating the pre-harvest greenhouse gas cost of energy production. *Biomass & Bioenergy*, 2008 (w druku).
6. Crutzen P. J., Mosier A. R., Smith K. A., Winiwarten W.: N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys.*, 2008, **8**: 389-395.
7. EPEA: Food for Fuel? A scientific assessment of environmental and social impacts of first-generation biofuels. 2007, <http://www.epea.com/documents/Biofuels%20SUMMARY-%20English.pdf>
8. Hansen E. M., Christensen B. T., Jensen L. S., Kristense K.: Carbon sequestration in soil beneath long-term *Miscanthus* plantations as determined by ¹³C abundance. *Biomass & Bioenergy*, 2004, **26**: 97-105.
9. Hilton P.: Growing short rotation coppice, best practice guidelines. DEFRA, 2002.
10. Hall R. L.: Grasses for energy production hydrological guidelines. 2003. <http://www.berr.gov.uk/files/file14946.pdf>
11. Jug A., Makeschin F., Rehfuess K. E., Hoffman-Schiette C.: Short rotation plantations of balsam poplars, aspen and willow on former arable land in the Federal Republic of Germany. III. Soil ecological effects. *For Ecol. Manage.*, 1999, **121**: 85-99.
12. King J. A., Bradley R. I., Harrison R., Carter A. D.: Carbon sequestration and saving potential associated with changes to the management of agricultural soils in England. *Soil Use Manage.*, 2004, **20**: 394-402.
13. Makeschin F.: Effects of energy forestry on soils. *Biomass & Bioenergy*, 1994, **6**: 63-79.
14. Nixon P., Bullard M.: Planting and growing *Miscanthus*, best practice guidelines. DEFRA, 2001.
15. Nonhebel S.: Energy yields in intensive and extensive biomass production systems. *Biomass & Bioenergy*, 2002, **22**: 159-167.
16. Rowe R. L., Street N. R., Taylor G.: Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in UK. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2007 (w druku).
17. Sage R. B., Cunningham M., Boatman N.: Birds in willow short-rotation coppice compared to other arable crops in central England and review of bird census data from energy crops in England. *Ibis*, 2006, **148**: 184-197.
18. Wiesenthal T., Mourelatou A., Petersen J. E., Taylor P.: How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? 2006, http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2006_7/en
19. Zah R., Böni H., Gauch M., Hischier R., Lehmann M., Wäger P.: Life cycle assessment of energy products: environmental assessment of biofuels. Executive summary, EMPA – Materials Science & Technology, Federal Office for Energy (BFE), Bern, 2007, p.161 http://www.bioenergywiki.net/images/8/80/Empa_Bioenergie_ExecSumm_engl.pdf.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Antoni Faber
Zakład Agrometeorologii i Zastosowań Informatyki
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (081) 886 34 21
e-mail: faber@iung.pulawy.pl

Jan Jadczyzyn, Antoni Faber, Andrzej Zaliwski

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

**WYZNACZANIE OBSZARÓW POTENCJALNIE PRZYDATNYCH
DO UPRAWY WIERZBY I ŚLĄZOWCA PENSYLOWAŃSKIEGO
NA CELE ENERGETYCZNE W POLSCE***

Wstęp

Systematyczny rozwój gospodarki świata prowadzi do wzrostu zużycia energii, zwiększenia zanieczyszczenia środowiska i zmian klimatu w skali globalnej. W wypowiedzi na forum energetycznym „Polityka energetyczna dla Europy” w Warszawie w dniu 12 lutego 2007 r. Komisarz Unii Europejskiej Andris Piebalgs powołując się na stanowisko IEA stwierdził, że w przypadku realizacji dotychczasowego scenariusza światowe zapotrzebowanie na energię do 2030 r. wzrośnie o ponad 50%, a światowa produkcja CO₂ do 2030 r. zwiększy się o 55%. Emisja CO₂ w UE wzrośnie w tym okresie o 5% (<http://www.forum-ekonomiczne.pl/pa-ge.php?p1=ded2a4f16c9c05a5f9d8032d99a979b1&uid=5b07dd671f42de1e8df7673871ac-fa56>).

Scenariusze takie nie są odosobnione (3) i budzą pewien niepokój oraz rodzą wiele pytań: w jaki sposób ograniczyć negatywne następstwa rozwoju gospodarczego i czy jest możliwy rozwój w najbliższych latach nowych technologii w energetyce, bardziej przyjaznych środowisku. Jednym z celów polityki energetycznej EU i Polski jest zrównoważony rozwój sektora energetycznego oparty na bezpieczeństwie i konkurencyjności dostaw energii.

Obecne generatory energii wykorzystują głównie paliwa kopalne – ropę naftową, gaz ziemny i węgiel. Ograniczenie wykorzystywania zasobów naturalnych nośników energii i potencjalne ryzyko ograniczenia dostaw, podyktowane doraźnymi celami politycznymi lub uszkodzeniem sieci dystrybucji, są przyczyną dużego przyspieszenia prac nad poszukiwaniem alternatywnych źródeł paliw. Zainteresowania koncentrują się przede wszystkim na rozwoju technologii wykorzystujących energię słoneczną i wiatrową, źródła geotermalne i hydroenergetyczne. W naszych warunkach klimatycznych istnieje realna szansa włączenia do systemu energetycznego biomasy pochodzącej z różnych roślin (7). Najprostszy i zarazem najmniej efektywny energe-

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.8 w programie wieloletnim IUNG - PIB

tycznie sposób na wykorzystanie, to bezpośrednie spalanie biomasy w postaci zrębów, brykietów lub peletu. Według najnowszej technologii biomasa lub biomasa w połączeniu z węglem kamiennym może być przetworzona na metanol, który jako nośnik wodoru może zasilać ogniwo paliwowe – mobilny generator energii (2). Jest to sposób wykorzystania biomasy charakteryzujący się największą sprawnością energetyczną oraz najbardziej efektywny w przeliczeniu na jednostkę powierzchni uprawy. Dodatkowym atutem tej technologii jest zdecydowanie mniejsze oddziaływanie na środowisko. Oprócz samej biomasy do celów energetycznych stosuje się również nasiona rzepaku do produkcji biodiesla, w coraz większym stopniu używanego na własne potrzeby przez rolnictwo. Jednak koszty produkcji biodiesla przy obecnych cenach ropy naftowej na rynku światowym i stopie podatku akcyzowego nie są konkurencyjne (6).

O wyborze roślin na cele energetyczne w praktyce zadecyduje sprawność energetyczna, czyli stosunek energii zawartej w biomacie do energii potrzebnej na jej wytworzenie oraz rodzaj węglowodanów tworzących biomasę (lignoceluloza lub skrobia) z uwagi na różną sprawność procesu termochemicznego lub biologicznego jej przetwarzania (3).

Z dotychczasowych doświadczeń wynika (1, 8, 9), że w warunkach Polski największą wydajność energetyczną mają rośliny wieloletnie, takie jak wierzba krzewiasta (*Salix* ssp.) i ślázowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). Nie wymagają one corocznego przeprowadzania intensywnych zabiegów agrotechnicznych związanych z zakładaniem plantacji. Jednak wybór pól produkcyjnych pod nowe rośliny powinien być przeprowadzony w sposób uwzględniający wymagania siedliskowe, tak aby zapewnić podstawowe warunki do wzrostu roślin. Przy wyborze szczególną uwagę należy zwrócić na jakość i przydatność gleby do uprawy wybranego gatunku rośliny, stosunki wodne (poziom wody gruntowej i opad atmosferyczny), rozkład temperatury i długość sezonu wegetacyjnego. Koszt założenia plantacji roślin wieloletnich jest stosunkowo duży w porównaniu z roślinami jednorocznymi, np. dla ślázowca pensylwańskiego wynosi 5000-8000 zł · ha⁻¹ (http://www.bni.com.pl/sl_topola_art.php). Nieodpowiednia i niedostosowana do wymagań roślin lokalizacja plantacji może doprowadzić do dużych strat finansowych i zniechęcić rolników potencjalnie zainteresowanych uprawą, a nawet zahamować na pewien czas rozwój plantacji w danym regionie.

Celem pracy była analiza przestrzenna warunków siedliskowych i identyfikacja obszarów spełniających wymagania dla uprawy wierzby i ślázowca pensylwańskiego, jako najważniejszych roślin energetycznych w strefie klimatycznej Polski. Ocenę przeprowadzono na podstawie informacji charakteryzujących warunki glebowe, stosunki wodne i dane meteorologiczne zgromadzone w bazie danych Zintegrowanego Systemu Informacji o Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej. Wyniki analizy przedstawiono w postaci map oraz zestawień tabelarycznych z wykazem powierzchni gruntów potencjalnie nadających się do uprawy roślin na cele energetyczne w skali całego kraju oraz w poszczególnych województwach.

Metoda i zakres pracy

Duże przestrzenne zróżnicowanie warunków przyrodniczych, w tym głównie glebowych, wodnych i klimatycznych stanowi znaczne ograniczenie w wyborze lokalizacji plantacji roślin energetycznych. Niska produkcyjność gleb lekkich lub niedobór wody w okresie intensywnego wzrostu niesie ryzyko znacznego zmniejszenia plonów biomasy i może mieć negatywny wpływ na wyniki ekonomiczne całego przedsięwzięcia energetycznego. Ocenę warunków przyrodniczych dla potrzeb uprawy wierzby i ślazuca pensylwańskiego przeprowadzono na podstawie charakterystyki przydatności rolniczej gleb, poziomu lustra wody gruntowej oraz opadów atmosferycznych i rzeźby terenu. Do opracowania wykorzystano informacje numeryczne zintegrowane w bazie danych i sprowadzone do jednolitego układu współrzędnych:

- numeryczną mapę glebowo-rolniczą w skali 1 : 500000,
- numeryczną mapę hydrogeologiczną w skali 1 : 300000,
- numeryczną mapę średniego opadu rocznego,
- numeryczny model rzeźby terenu.

Na podstawie danych literaturowych (1, 4, 8, 9) oraz dostępnych baz danych zdefiniowano podstawowe kryteria środowiskowe uprawy obu roślin. Mając na uwadze w pierwszej kolejności bezpieczeństwo żywnościowe kraju z analizy wyłączono gleby o najwyższym potencjale produkcyjnym należące do kompleksów pszennych oraz żytniego bardzo dobrego. Z analizy wyłączono również gleby najslabsze należące do kompleksu żytniego bardzo słabego, jako trwale zbyt suche, których potencjał produkcyjny jest bardzo mały, a plony roślin silnie uzależnione od ilości i rozkładu opadów w sezonie wegetacyjnym.

Dla uprawy ślazuca pensylwańskiego zakwalifikowano obszary charakteryzujące się średnim rocznym opadem powyżej 550 mm o zasięgu pierwszego poziomu wody gruntowej w zakresie 0-2 m i 2-5 m oraz gleby gruntów ornych o średnim i niskim potencjale produkcyjnym należące do kompleksów: 5 – żytniego dobrego, 6 – żytniego słabego i 9 – zbożowo-pastewnego słabego.

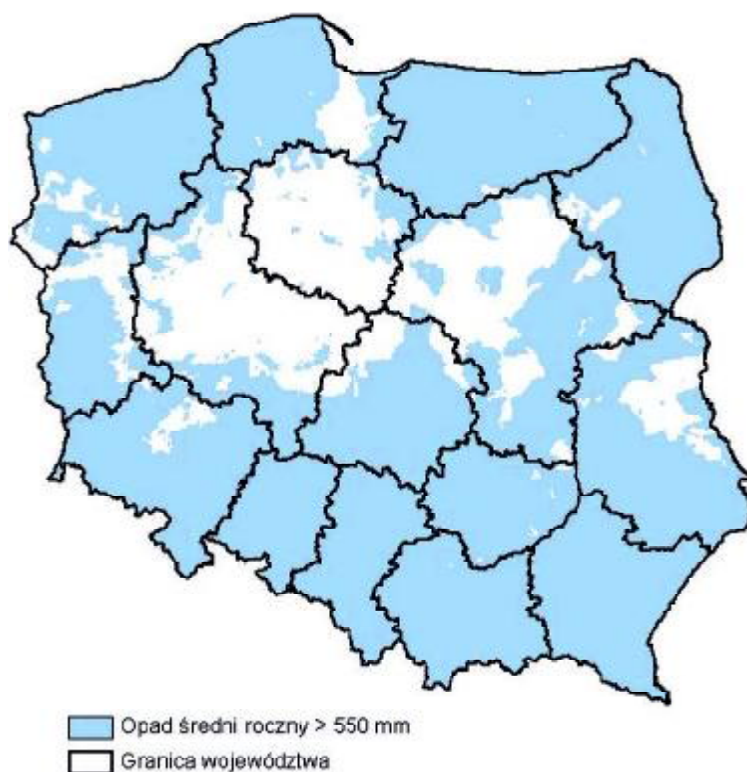
Dla uprawy wierzby energetycznej zakwalifikowano obszary charakteryzujące się średnim rocznym opadem powyżej 550 mm o zasięgu pierwszego poziomu wody gruntowej w zakresie 0-2 m. Gleby gruntów ornych o średnim i niskim potencjale produkcyjnym należące do kompleksów: 5 – żytniego dobrego, 8 – zbożowo-pastewnego mocnego, 9 – zbożowo-pastewnego słabego oraz gleby użytków zielonych słabych (2z) i bardzo słabych (3z). Z oceny przeprowadzanej dla obu roślin wyłączono tereny górskie i podgórskie położone powyżej 350 m n.p.m. (rys. 2) oraz obszary chronione w Polsce.

Analizę warunków przyrodniczych uprawy roślin energetycznych przeprowadzono z wykorzystaniem narzędzi analitycznych Zintegrowanego Systemu Informacji o Rolniczej Przestrzeni Produkcyjnej (4) i programu ArcGIS. W pierwszej kolejności wydzielono obszary spełniające pojedyncze kryteria dla roślin (np. opady atmosferyczne, wysokość nad poziom morza, jak i kryterium przydatności rolniczej gleb).

Następnie wydzielono powierzchnie spełniające łącznie te kryteria dla danej rośliny. W końcowym etapie prac wydzielono obszary spełniające równocześnie kryteria uprawy ślazu pensylwańskiego i wierzby. Wynik analiz z wyodrębnieniem obszarów chronionych w Polsce zapisano w postaci oddzielnych warstw informacji. Dla poszczególnych województw obliczono powierzchnię gruntów potencjalnie nadających się do uprawy tych roślin.

Wyniki badań

Kryteria przyrodnicze przyjęte do kwalifikacji obszarów do uprawy roślin energetycznych wykluczyły duże powierzchnie użytków rolnych leżące w strefie niskich opadów – poniżej 550 mm/rok. Znajdują się one głównie w pasie Niżu Polskiego i obejmują większą część województw wielkopolskiego i kujawsko-pomorskiego oraz znaczną część województwa mazowieckiego (rys. 1). Tereny górskie i podgórskie położone na wysokości powyżej 350 m n.p.m. (rys. 2) ze względu na rozdrobnioną szachownicę gruntów i warunki komunikacyjne utrudniające obsługę pól również wyłączono z obszaru potencjalnej uprawy. Jako obszary nieprzydatne uznano także



Rys. 1. Średni opad roczny powyżej 550 mm

Źródło: IUNG-PIB Puławy.



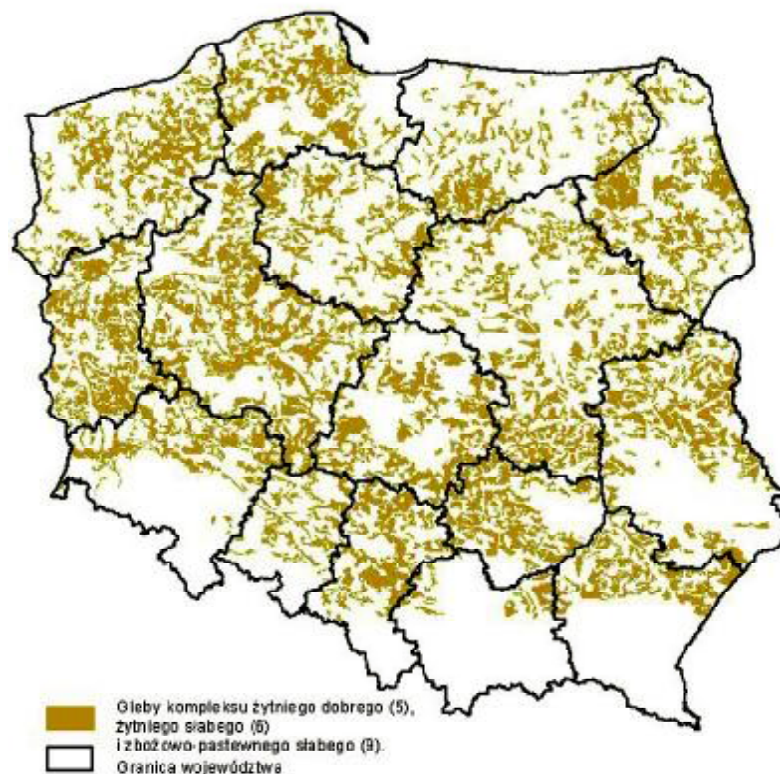
Rys. 2. Tereny górskie i podgórskie powyżej 350 m n.p.m.

Źródło: IUNG-PIB Puławy.

obszary chronione, które zajmują ponad 30% powierzchni kraju (<http://www.gios.gov.pl/raport/pol/przyr.htm>). Obszary spełniające przyjęte kryteria siedliska glebowego dla obu roślin energetycznych, z wyłączeniem gleb najlepszych, przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

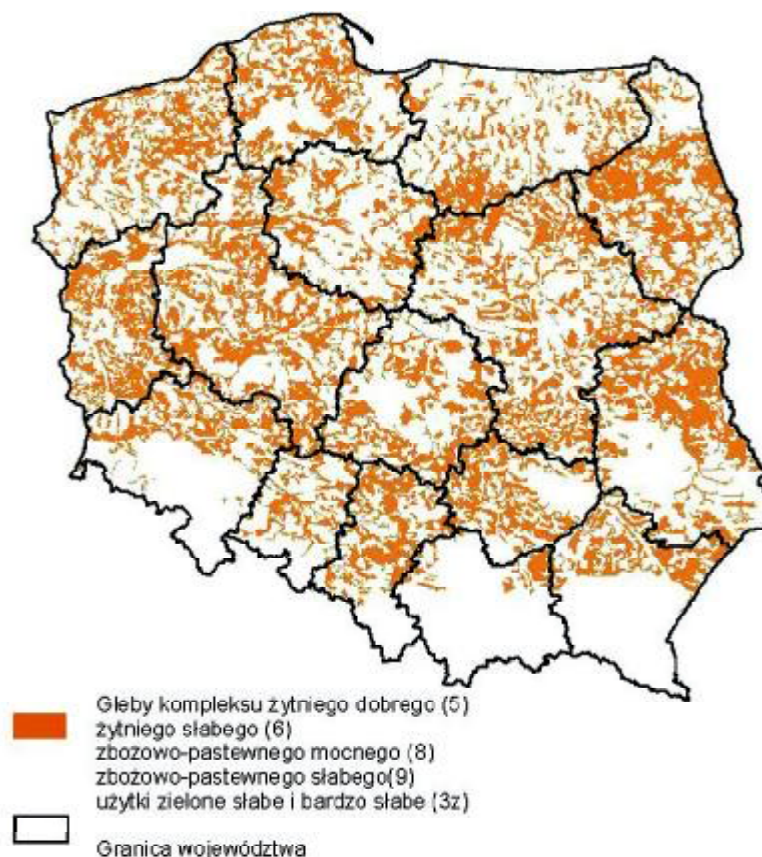
Wyniki przeprowadzonej oceny pozwoliły wyodrębnić w skali kraju obszary potencjalnie nadające się pod uprawę ślazuwca pensylwańskiego i wierzby (rys. 5 i 6). Powierzchnia gruntów ornych spełniających kryteria dla uprawy ślazuwca wynosi ponad 24822 km² i jest ponad dwukrotnie większa od powierzchni nadającej się do uprawy wierzby (tab. 1). Areal gruntów jest rozproszony w obrębie całego kraju (rys. 5, tab. 1). Najwięcej, bo ponad 20%, użytków rolnych występuje w województwach śląskim, podkarpackim i lubuskim. W kolejnych trzech województwach – podlaskim, dolnośląskim i łódzkim udział przekracza 15% użytków rolnych. Natomiast najmniejsze powierzchnie nieprzekraczające 5% użytków rolnych występują w województwach kujawsko-pomorskim, warmińsko-mazurskim i wielkopolskim; wynikają głównie z niskiego poziomu opadów atmosferycznych.

Wierzba posiada większe wymagania wodne w porównaniu ze ślazuwcem pensylwańskim. Przyjęty w opracowaniu poziom wody gruntowej o wartości 0-2 m znacznie ograniczył dostępność powierzchni użytków rolnych. W skali kraju na uprawę wierz-



Rys. 3. Kompleksy gleb potencjalnie przydatnych do uprawy ślázowca pensylwańskiego
Źródło: IUNG-PIB Puławy.

by w celach energetycznych wydzielono ponad 9541 km² powierzchni użytków rolnych; są one rozproszone na obszarze większości województw (rys. 6). Największa koncentracja z udziałem około 10% UR występuje w województwie podkarpackim (10,3%) i śląskim (9%). W kolejnych czterech województwach: opolskim, dolnośląskim, lubuskim i zachodniopomorskim udział tej powierzchni w strukturze użytków rolnych mieści się w przedziale 6,5-7,2% (tab. 2). Najmniejsze powierzchnie nieprzekraczające 3% użytków rolnych zidentyfikowano w województwach: kujawsko-pomorskim, wielkopolskim, świętokrzyskim i warmińsko-mazurskim. Powierzchnia użytków rolnych, na których występują warunki do uprawy wierzby i ślázowca wynosi w skali kraju 6688 km². Łączny obszar gleb potencjalnie nadających się do uprawy wierzby i ślázowca pensylwańskiego w Polsce wynosi 27675 km².



Rys. 4. Kompleksy gleb potencjalnie przydatnych do uprawy wierzby na cele energetyczne
Źródło: IUNG-PIB Puławy.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki analiz kartograficznych w ujęciu numerycznym ze względu na skalę wykorzystanych materiałów źródłowych – map 1 : 500000 i 1 : 300000 – mają charakter poglądowy. Jednak w skali kraju dobrze odzwierciedlają przestrzenne rozmieszczenie użytków rolnych potencjalnie nadających się pod uprawę wybranych roślin energetycznych. Przyjęte założenia o wyłączeniu obszarów gleb najlepszych, stanowiących zaplecze do uprawy roślin konsumpcyjnych i uwarunkowania wodne (suma opadów i poziom wody gruntowej) sprawiły, że łączny obszar potencjalnych upraw energetycznych jest stosunkowo mały w skali kraju i wynosi 27675 km². Powstanie w niedalekiej przyszłości rynku zbytu na biomasę i możliwości uzyskiwania znacznie wyższych dochodów w porównaniu z roślinami konsumpcyjnymi może w praktyce wywołać silną presję na wykorzystanie do celów energetycznych również gleb bar-

Tabela 1

Potencjalna powierzchnia uprawy ślazu na cele energetyczne w Polsce

Nazwa	Kompleksy rolniczej przydatności gleb (km ²)			Powierzchnia kompleksów razem	
	5	6	9	km ²	udział w UR (%)
Dolnośląskie	948	1076	12	2036	15,7
Kujawsko-pomorskie	16	234	0	250	1,7
Lubelskie	762	1193	0	1955	8,9
Lubuskie	442	1175	45	1663	20,3
Łódzkie	963	1462	55	2480	15,1
Małopolskie	409	65	48	522	8,0
Mazowieckie	1328	1422	38	2788	8,9
Opolskie	404	460	119	982	14,2
Podkarpackie	339	1600	1	1940	21,6
Podlaskie	1708	780	24	2512	16,2
Pomorskie	386	599	14	1000	7,7
Śląskie	818	921	25	1764	22,6
Świętokrzyskie	194	467	0	662	6,9
Warmińsko-mazurskie	278	448	0	726	3,8
Wielkopolskie	544	663	50	1257	5,2
Zachodniopomorskie	1192	1063	34	2288	13,6
Ogółem w Polsce	10729	13629	465	24822	10,6

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 2

Potencjalna powierzchnia uprawy wierzby na cele energetyczne w Polsce

Nazwa	Kompleksy rolniczej przydatności gleb (km ²)					Powierzchnia kompleksów razem	
	5	6	8	9	3z	km ²	udział w UR (%)
Dolnośląskie	297	405	157	4	20	883	6,8
Kujawsko-pomorskie	2	75	0	0	4	81	0,6
Lubelskie	162	269	0	0	257	688	3,1
Lubuskie	103	323	23	20	66	534	6,5
Łódzkie	250	428	0	14	111	802	4,9
Małopolskie	95	14	39	2	1	151	2,3
Mazowieckie	384	303	8	12	346	1052	3,3
Opolskie	139	130	139	67	24	499	7,2
Podkarpackie	125	594	45	0	158	922	10,3
Podlaskie	241	137	5	11	168	562	3,6
Pomorskie	100	151	26	12	202	491	3,8
Śląskie	224	299	35	6	144	708	9,0
Świętokrzyskie	57	142	1	0	20	219	2,3
Warmińsko-mazurskie	64	108	68	0	185	426	2,3
Wielkopolskie	124	198	1	16	91	429	1,8
Zachodniopomorskie	285	273	23	15	497	1094	6,5
Ogółem w Polsce	2650	3850	571	177	2293	9541	4,6

Źródło: Opracowanie własne.

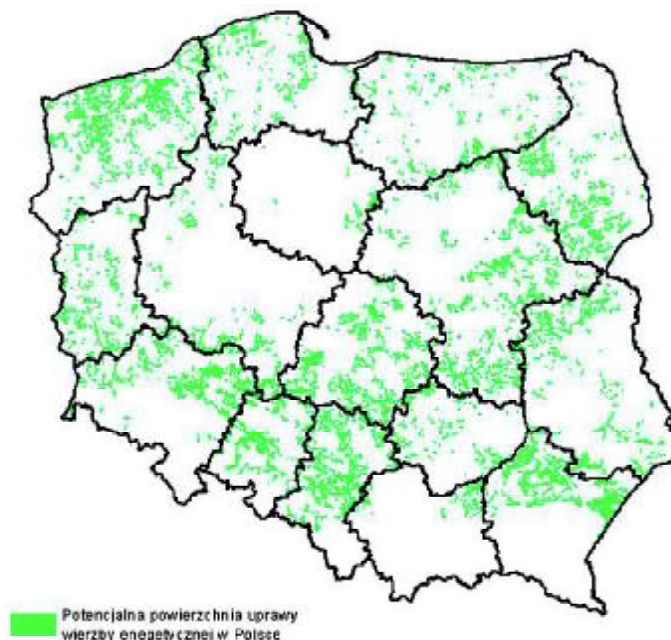


Rys. 5. Przestrzenne rozmieszczenie użytków rolnych potencjalnie przydatnych do uprawy ślazuca pensylwańskiego w Polsce

Źródło: Opracowanie własne.

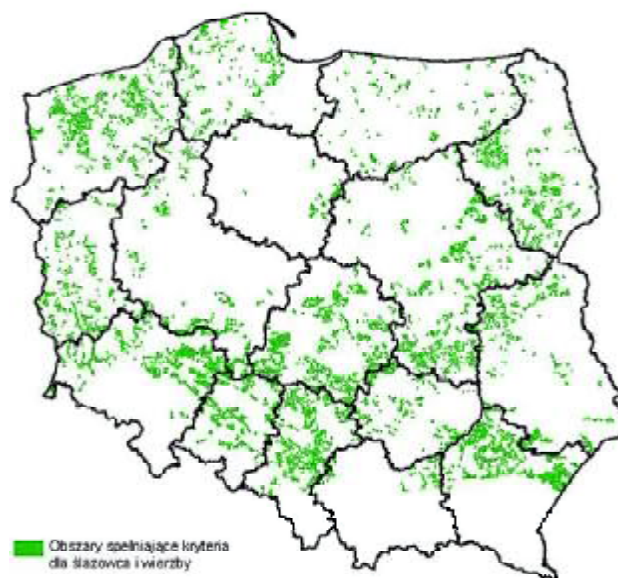
dzo dobrych. Budowa nowych zakładów przetwarzających biomasę lub produkujących jakościowo nowe nośniki energii na rynek powinna być poprzedzona analizą finansową uwzględniającą realne plony roślin, wynikające z potencjału siedliskowego i warunków klimatycznych. Miarodajna ocena plonowania roślin energetycznych w określonych warunkach przyrodniczych jest podstawą do sporządzenia obiektywnego biznesplanu i realnego określenia stopy zwrotu poniesionych nakładów.

Przygotowanie regionalnych planów rozwoju plantacji energetycznych należy oprzeć na mapach charakteryzujących środowisko glebowe w skali 1 : 100000. W analizach lokalnych (powiat, gmina) najbardziej odpowiednie do tego celu będą mapy w skali 1 : 25000. Do lokalizacji przestrzennej plantacji w obrębie geodezyjnym i gospodarstwie niezbędna będzie informacja o zróżnicowaniu siedliska glebowego przedstawiona na mapie glebowo-rolniczej w skali 1 : 5000.



Rys. 6. Przestrzenne rozmieszczenie użytków rolnych potencjalnie przydatnych do uprawy wierzby na cele energetyczne w Polsce

Źródło: Opracowanie własne.



Rys. 7. Obszary potencjalnie przydatne do uprawy ślazowca pensylwańskiego i wierzby na cele energetyczne

Źródło: Opracowanie własne.

Literatura

1. B o r k o w s k a H.: Paliwa i energia XXI wieku szansą rozwoju wsi i miast. Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania, Warszawa, 2006, 182-185.
2. C i e c h a n o w i c z W.: Zrównoważony rozwój wsi oraz niezależność energetyczna kraju w perspektywie 2030 r. Główne tezy programu konsorcjum „Bioenergia na Rzecz Rozwoju Wsi”. AURA. Ochrona Środowiska, 2007, 2.
3. C i e c h a n o w i c z W.: Energia, środowiska i ekonomia. Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa, 1997.
4. G u t o w s k a A.: Rośliny energetyczne. ODR Poświętne, 2004, 17-37.
5. J a d c z y s z y n J., S t u c z y Ń s k i T., K u k u ł a S., Z a w a d z k a B., K o r z e n i o w s k a - P u c u ł e k R.: Wykorzystanie zintegrowanego systemu informacji w województwie świętokrzyskim do opracowania programu ochrony gruntów na przykładzie powiatu sandomierskiego. W: Wybrane problemy geografii społeczno-ekonomicznej i regionalnej. Prace Instytutu Geografii AŚ w Kielcach, 2003, 10.
6. K u ś J.: Rzepak bardziej opłacalny niż. Ekologia, 2002. <http://www.archiwum.ekologika.pl/2002/127.html>
7. M a j t k o w s k i W.: Źródła biomasy do celów energetycznych. 2 Regionalne Forum Energetyki Odnawialnej, ODR Przysiek, 2006, 49-55.
8. S t o l a r s k i M.: Opłacalność uprawy wierzby na cele energetyczne. 2 Regionalne Forum Energetyki Odnawialnej, Przysiek, 2006, 46-48.
9. S z c z u k o w s k i S.: Paliwa i energia XXI wieku szansą rozwoju wsi i miast. Wyższa Szkoła Informatyki Stosowanej i Zarządzania, Warszawa, 2006, 171-181.

Adres do korespondencji:

dr Jan Jadczyzyn
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
IUNG-PIB

ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel: (081) 886 34 21 w. 362
e-mail: janj@iung.pulawy.pl

Jan Kuś, Antoni Faber, Mieczysław Stasiak, Andrzej Kawalec

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

**PRODUKCYJNOŚĆ WYBRANYCH GATUNKÓW ROŚLIN
UPRAWIANYCH NA CELE ENERGETYCZNE
W RÓŻNYCH SIEDLISKACH***

Wstęp

Przyjęta w 2000 r. przez Radę Ministrów „Strategia rozwoju energetyki odnawialnej” zakłada, że udział odnawialnych źródeł energii (OZE) w bilansie energii pierwotnej powinien wynosić w Polsce 7,5% w 2010 r. oraz 14,0% w 2020 r. (14). Według szacunków Europejskiego Centrum Energii Odnawialnej w 2000 r. udział ten wynosił 2,5%, a w 2005 r. osiągnął około 4,8%, z czego 95,5% pozyskano z biomasy (13). Mniejszy był udział energii elektrycznej wytworzonej ze źródeł odnawialnych w ogólnym zużyciu energii elektrycznej, gdyż wzrósł on z 1,6% w 2000 r. do 2,9% w 2006 r. (13).

Przyjęte w Polsce cele rozwoju OZE są zgodne z zaleceniami UE, które zobowiązują kraje członkowskie do zwiększania udziału energii uzyskiwanej z biomasy z 4% obecnie do 8% w 2010 r. (5). Polska jest w UE postrzegana jako kraj o dużych potencjalnych możliwościach produkcji biomasy, gdyż pod ten kierunek produkcji może być przeznaczonych do 1,6 mln ha UR (20).

W dokumencie „Polityka energetyczna Polski do 2025 r.” przyjęto, że wykorzystanie biomasy stanowić będzie nadal podstawowy kierunek rozwoju OZE (13). Według rozporządzenia Ministra Gospodarki ilość biomasy pochodzącej z rolnictwa powinna wynosić 5% ogólnej ilości biomasy wykorzystywanej do celów energetycznych w 2008 r. i wzrastać każdego roku o 10%, aż do osiągnięcia 60% udziału w 2014 r. (13). Tak więc rolnictwo musi pogodzić produkcję żywności i pasz, która powinna być lokalizowana na lepszych glebach, z produkcją na cele energetyczne, z konieczności prowadzoną na glebach o ograniczonej przydatności rolniczej. Są to z reguły gleby wadliwe, czyli gleby bardzo ciężkie (okresowo nadmiernie uwilgotnione, o niekorzystnych stosunkach powietrzno-wodnych) oraz gleby średnie i lekkie (okresowo nadmiernie przesuszone).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.8 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Celem opracowania było określenie produktywności wierzby krzewiastej, miskanta, ślazuca, mozgi trzcinowatej, topinamburu i rdestowca sachalińskiego w okresie 2-4 lat prowadzenia plantacji w różnych warunkach siedliskowych. Opracowanie wykonano na podstawie wyników badań prowadzonych w ostatnim okresie w IUNG - PIB.

Metodyka badań

Doświadczenia polowe założono w latach 2003 i 2004 r. w trzech siedliskach:

1. na glebie ciężkiej – czarna ziemia o składzie granulometrycznym gliny ciężkiej, zaliczanej do kompleksu 8 – zbożowo-pastewnego mocnego (klasa III b), w Stacji Doświadczalnej IUNG – Osiny;
2. na glebie lekkiej, o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego przechodzącego na głębokości 90-110 cm w glinę lekką, zaliczanej do kompleksu 5 – żytniego dobrego (klasa V), również w Stacji Doświadczalnej IUNG – Osiny;
3. na glebie średniej – gleba płowa wytworzona z piasku gliniastego mocnego, przechodzącego na głębokości 40-60 cm w glinę lekką, kompleks 4 – żytni bardzo dobry (klasa – IVa), w Zakładzie Doświadczalnym IUNG - Grabów (woj. mazowieckie).

Doświadczenia założono metodą losowanych bloków, a powierzchnia bloku dla każdego genotypu lub klonu wynosiła na glebie ciężkiej 700 m², zaś na glebach średniej i lekkiej po 200 m².

Wierzbę krzewiastą (*Salix viminalis*) wysadzano w 2003 r. na glebie kompleksów 8 i 4; były to sztopry czterech klonów wierzby pozyskane z kwalifikowanej plantacji matecznej z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. W 2004 r. w obu doświadczeniach zlokalizowanych w Osinach dodatkowo wysadzano 4 szwedzkie i 1 duńską odmianę wierzby. Gęstość nasadzeń wierzby wynosiła 40 tys. szt. · ha⁻¹. W pierwszym roku przed zimą wierzbę ścięto na wysokości 10 cm nad ziemią. Wierzbę zbierano w cyklach corocznych i trzyletnich.

Sadzonki 5 klonów traw olbrzymich z rodzaju *Miscanthus* wyprodukowane metodą *in vitro* zakupiono w firmie Timplant Biotechnik and Pflanzenvermehrung GmbH (Niemcy). Rośliny wysadzano na glebie ciężkiej w Osinach i na średniej w Grabowie w połowie maja w obsadzie 15 tys. na 1 ha, a przed zimą rośliny ścięto na wysokości 10 cm nad ziemią i całe pole obficie ściółkowano słomą w celu zabezpieczenia przed szkodami mrozowymi.

Ukorzenione w doniczkach sadzonki ślazuca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita*) wyprodukowano z nasion pozyskanych z AR w Lublinie. Obsada roślin wynosiła w tych doświadczeniach 10 tys. · ha⁻¹, a w 2004 roku dodatkowo włączono do badań obiekty z obsadą roślin 20 tys. · ha⁻¹.

Mozgę trzcinowatą (*Phalaris arundinacea*) szwedzkiej odmiany Bamse wysiano w 2004 r. w obu doświadczeniach w Osinach w ilości około 20 kg · ha⁻¹ nasion, w rzędy o rozstawie 14,5 cm. Badanym czynnikiem jest sposób zbioru – w dwóch

pokosach (pierwszy po wykłoszeniu, a drugi późną jesienią) lub jeden zbiór późną jesienią.

Topinambur (słonecznik bulwiasty – *Helianthus tuberosus*) odmiany Albit wysadzono wiosną 2004 r. tylko na glebie kompleksu 5 w Osinach. Rozstawa roślin wynosiła 70 x 30 cm, a bulwy pozyskano z kolekcji IHAR w Radzikowie.

Rdest sachaliński (*Reynoutria sachalinensis*) badano tylko na glebie ciężkiej. Sadzonki uzyskano z podziału karp korzeniowych pochodzących z kolekcji IHAR Radzików. Wysadzano je w obsadzie 15 tys. na 1 ha. Gatunek ten jest zaliczany do roślin inwazyjnych, w związku z tym zakres prowadzonych badań był bardzo ograniczony.

W uprawie tych roślin, z wyjątkiem mozgi, stosowano jednakowe dawki nawozów ($N - 75$, $P_2O_5 - 50$ i $K_2O - 75$ kg · ha⁻¹); w przypadku mozgi dawka azotu była większa i wynosiła 135 kg N · ha⁻¹.

Chwasty zwalczano na ogół ręcznie, jedynie w wierzbie stosowano Azotop i Symmazin. Choroby (zgnilizna twardzikowa i fuzariozy) zwalczano głównie w ślazowcu, stosując Benlate i Horizon. Szkodniki (mszyce i niekreślanek wierzbuweczkę) zwalczano wykorzystując różne insektycydy. Należy podkreślić, że w praktyce brak jest zarejestrowanych chemicznych środków ochrony roślin do stosowania na plantacjach roślin energetycznych.

Plon biomasy określono późną jesienią po zakończeniu wegetacji roślin, jedynie w przypadku miskantusa stosowano dodatkowo zbiór wiosną. Plon określono zbierając po 20 roślin wierzby oraz po 10 roślin pozostałych gatunków, w 5 powtórzeniach dla każdego obiektu.

Pomiary biometryczne i obserwacje prowadzono na 5 losowo wybranych roślinach, w odstępach czasowych co 3-4 tygodnie. Pomiary obejmowały liczbę pędów na roślinie oraz ich wysokość i średnicę (10 cm od gruntu). Reprezentatywne pędy z sąsiednich roślin wycinano nad powierzchnią gruntu i określano świeżą i suchą masę samych pędów i liści. W biomase pobranej w okresie wegetacji oznaczano zawartość: N, P, K i Na, zaś w plonie końcowym oznaczano dodatkowo zawartość C (metodą Altena), Cl (metodą Mohra), SiO₂ (metodą wagową), Cd, Cu, Pb i Zn (metodą spektrometrii absorpcji atomowej).

Analizy właściwości energetycznych biomasy wykonano w Instytucie Energetyki w Warszawie zgodnie z obowiązującymi metodykami.

Eksperymenty zlokalizowano na glebach o gospodarce wodnej opadowej, w związku z tym uzyskane plony wyraźnie zależały od ilości i rozkładu opadów. Warunki pogodowe scharakteryzowano na podstawie kształtowania się klimatycznego bilansu wodnego gleby (opad – ewapotranspiracja), którego saldo w okresie intensywnego wzrostu roślin (IV-VII) wahało się w latach badań w granicach od -107 do -359 mm. Deficyt wody był najgłębszy w 2006 r., wówczas klimatyczny bilans wodny w okresie intensywnego wzrostu roślin (IV-VII) w Grabowie i Osinach przekraczał -330 mm (tab. 1).

Tabela 1

Klimatyczny bilans wody

Rok	Miesiąc							Suma	
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	IV-VII	IV-X
Osiny									
2004	-19	-46	-24	-18	-50	-43	0	-107	-200
2005	-55	-40	-88	-34	-57	-43	-32	-217	-349
2006	-35	-48	-102	-147	142	-65	3	-332	-252
Grabów									
2004	-14	-51	-43	-13	-53	-51	6	-121	-219
2005	-63	-26	-83	-3	-65	-34	-29	-175	-303
2006	-34	-52	-102	-171	126	-72	0	-359	-305

Źródło: Badania własne.

Wyniki badań i dyskusja

Wierzba krzewiasta. Średni plon suchej masy drewna wierzby za okres 3 lat, niezależnie od uprawianego klonu, wyniósł na glebie ciężkiej 12,9, a na średniej 11,9 t · ha⁻¹ (tab. 2-4). Największe plony uzyskano w 2004 r. o ilości i rozkładzie opadów zbliżonych do średnich z wielolecia. Na glebie ciężkiej plon, średnio dla czterech klonów, wyniósł 14,7, a na glebie średniej 13,3 t · ha⁻¹ suchej masy drewna (tab. 2 i 3). Natomiast w pozostałych dwóch latach średnie plony oscylowały w granicach 11-13 t · ha⁻¹. Przeciętny plon, za okres 3 lat dla wszystkich badanych klonów był na glebie ciężkiej większy o 8% niż na glebie średniej, zaś w poszczególnych latach różnica ta wahała się od 0 do 16%. W bardzo suchym 2006 r. plony wierzby, niezależnie od klonu, były w Grabowie mniejsze o 11%, a w Osinach aż o 23% niż w 2004 roku o przeciętnej ilości opadów. Zbiór w cyklu 3-letnim umożliwił uzyskanie w 2006 r., w obu siedliskach, plonu o około 20% większego, w porównaniu z sumą plonów z 3 kolejnych zbiorów corocznych. Wilgotność pędów 3-letnich była mniejsza (47-48%) niż zebranych w drugim i czwartym roku uprawy (tab. 2 i 3).

Wierzba wykształcała od 6 do 13 żywych pędów w zależności od klonu i roku, niezależnie od siedliska (tab. 2 i 3). Średnica pędów przy zbiorze wahała się w granicach od 7-11 mm. Klon 1054 tworzył więcej pędów, jednak ich średnica i wysokość były mniejsze w porównaniu z pozostałymi ocenianymi genotypami. Największą wysokość – 3,1-3,6 m – rośliny osiągnęły w 2004 r. na glebie kompleksu 4 oraz 2,7-3,1 m na glebie kompleksu 8, zaś w latach 2005 i 2006 przy niedoborze opadów rośliny były znacznie niższe. Mniejszy plon wierzby uprawianej na glebie średniej był spowodowany nieco mniejszą liczbą pędów, których średnica była także mniejsza, natomiast długość pędów nie zależała od jakości gleby.

Wartości LAI w okresie pełnego rozwoju łanu wierzby wahały się w latach, niezależnie od klonu, na glebie ciężkiej w granicach 5,0-5,8 oraz od 4,4 do 5,2 na glebie średniej.

Tabela 2

Plon i charakterystyki biometryczne wierzby uprawianej na glebie ciężkiej
(Osiny – 8 kompleks zbożowo-pastewny mocny)

Klon	Liczba pędów żywych	Średnica pędu (mm)	Wysokość pędu (m)	Indeks LAI	Plon pędów* (t s.m. · ha ⁻¹)	Wilgotność pędów (%)	Sucha masa (%)	
							pędy	liście
2004 – drugi rok uprawy								
1023	12	9	2,93	4,90	16,6 a	49,3	84,3	15,7
1047	9	9	3,13	5,61	14,1 a	52,2	78,6	21,4
1052	8	10	3,29	5,99	17,2 a	49,9	77,9	22,1
1054	13	7	2,72	3,74	10,8 b	49,0	81,3	18,7
2005 – trzeci rok uprawy								
1023	6	9	2,41	4,45	12,6 a	46,9	87,8	12,2
1047	6	9	2,38	5,47	12,7 a	45,3	88,6	11,4
1052	6	10	2,50	5,88	13,7 a	46,3	84,4	15,6
1054	11	8	2,14	5,77	12,4 a	50,8	88,4	11,6
2006 – czwarty rok uprawy								
1023	8	10	2,22	5,82	10,0 a	50,5	78,8	21,2
1047	7	11	2,24	5,67	12,8 a	51,0	76,9	23,1
1052	7	10	2,12	6,23	11,0 a	51,5	76,3	23,7
1054	13	8	1,98	5,69	11,5 a	52,7	80,0	20,0

* plony oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie
Źródło: Badania własne.

Tabela 3

Plon i charakterystyki biometryczne wierzby uprawianej na glebie średniej
(Grabów – 4 kompleks żytni bardzo dobry)

Klon	Liczba pędów żywych	Średnica pędu (mm)	Wysokość pędu (m)	Indeks LAI	Plon pędów* (t s.m. · ha ⁻¹)	Wilgotność pędów (%)	Sucha masa (%)	
							pędy	liście
2004 – drugi rok uprawy								
1023	10	10	3,58	4,04	13,4 a	50,2	87,3	12,7
1047	8	9	3,29	4,76	12,7 a	51,8	81,6	18,4
1052	10	8	3,12	5,01	13,1 a	49,9	80,5	19,5
1054	12	9	3,30	3,84	14,0 a	49,0	84,1	15,9
2005 – trzeci rok uprawy								
1023	7	8	2,28	5,27	11,0 a	48,0	86,5	13,5
1047	6	8	2,10	5,26	9,4 a	50,4	87,8	12,2
1052	8	8	2,08	5,69	10,8 a	52,0	88,9	11,1
1054	7	8	2,34	4,64	12,1 a	49,0	87,6	12,4
2006 – czwarty rok uprawy								
1023	7	10	2,27	5,33	11,2 a	51,4	78,8	21,2
1047	6	9	1,89	5,67	11,2 a	51,1	74,1	25,9
1052	11	9	1,90	5,03	10,8 a	51,7	74,1	25,9
1054	8	9	2,06	4,89	12,7 a	52,4	79,4	20,6

* jak w tabeli 2
Źródło: Badania własne.

Średnie dla klonów rozdysponowanie biomasy pomiędzy pędy i liście, w okresie maksymalnych ich wartości, wynosiło 81,9% pędy i 18,1% liście na glebie ciężkiej oraz 82,6% pędy i 17,4% liście na glebie średniej (tab. 2 i 3).

Wilgotność drewna zbieranego na przełomie grudnia i stycznia wahała się w granicach 45,3-52,7% na glebie ciężkiej oraz 48,0-52,4% na glebie średniej.

Wyniki zestawione w tabelach 4 i 5 wskazują na istotne znaczenie doboru odmiany (klonu) do warunków siedliskowych. Na glebie ciężkiej, średnio za okres 3 lat, trzy klony plonowały na zbliżonym poziomie $13,1-13,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, zaś plon suchej masy drewna klonu 1054 był o 12-18% mniejszy (tab. 2). Klon 1054 okazał się natomiast bardziej przydatny do uprawy na glebie średniej, gdyż w siedlisku tym plonował wyżej niż pozostałe 3 klony. Wyniki 2-letnich badań wskazują, że genotypy 1047 oraz Olof mogą być bardziej przydatne do uprawy na glebie lżejszej, zaś Gigantea i Torhild na glebie ciężkiej (tab. 5).

Plony suchej masy drewna wierzby uzyskane w naszych badaniach są porównywalne z wynikami innych doświadczeń. Według symulacji przeprowadzonych dla Eu-

Tabela 4

Średnie plony suchej masy drewna 4 klonów wierzby w okresie trzylecia (2004–2006)

Klon	Kompleks 8		Kompleks 4	
	$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	% średniej	$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	% średniej
1023	13,1	102	11,9	100
1047	13,2	102	11,1	93
1052	13,7	103	11,6	97
1054	11,6	90	12,9	108
Średnia	12,9	100	11,9	100

Źródło: Badania własne.

Tabela 5

Plon suchej masy drewna ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) różnych genotypów wierzby uprawianej na glebie ciężkiej i lekkiej w drugim i trzecim roku po założeniu plantacji

Klon/odmiana	Gleba ciężka – kompleks 8			Gleba lekka – kompleks 5		
	2005*	2006*	średnio	2005*	2006*	średnio
1023	12,6 a	10,0 a	11,3	7,7b c	12,5 ab	10,1
1047	12,7 a	12,8 a	12,8	14,0 a	15,4 a	14,7
1052	13,7 a	10,1 a	11,9	6,5 c	17,2 a	11,8
Gigantea	14,9 a	12,3 a	13,6	13,0 a	14,7 a	13,8
Swen	13,7 a	12,0 a	12,8	11,4 ab	12,8 ab	12,1
Torhild	13,7 a	12,5 a	13,1	14,1 a	11,0 c	12,6
Olof	10,9 b	9,6 a	10,2	14,4 a	14,8 a	14,6
Tora	13,9 a	10,6 a	12,2	12,0 ab	13,0 ab	12,5
Średnio	13,3	11,2	12,2	11,6	13,9	12,8

* jak w tabeli 2

Źródło: Badania własne.

ropy Wschodniej plony wierzby możliwe do uzyskania na glebach bardzo dobrych wahały się w granicach 14,1-18,4 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹, a na glebach dobrych w zakresie 9,9-14,0 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹ (9).

W doświadczeniu zlokalizowanym na glebie kompleksu zbożowo-pastewnego mocnego (ciężka mada nadwiślańska) wielkość plonów wierzby krzewiastej pozyskiwanej w cyklach jednorocznych wahała się w granicach od 12,5 do 21,5 t s.m. · ha⁻¹ w zależności od klonu i obsady roślin (19). Wzrost zagęszczenia roślin z 20 do 40 tys. · ha⁻¹ powodował istotny przyrost plonu, średnio z 15,1 do 16,3 t s.m. · ha⁻¹, natomiast dalsze zwiększanie obsady roślin do 60 tys. · ha⁻¹ nie różnicowało już wydajności. W tych samych warunkach wierzba zbierana w cyklach trzyletnich wydawała plony 19,4-25,9 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹ (17). Wierzba charakteryzuje się ponadto niskim współczynnikiem wykorzystania wody (8).

Plony wierzby uzyskiwane w innych krajach były na ogół mniejsze. W Szwecji wahały się w granicach 8-10 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹, w Wielkiej Brytanii pomiędzy 8 i 20 t · s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹, w Danii 7-8 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹, natomiast w Irlandii około 5 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹ (12).

Miscanthus. Jest to wieloletnia wysoka trawa o szlaku fotosyntezy C₄, której obszarami naturalnego występowania są wschodnia Azja oraz wschodnie wybrzeże Stanów Zjednoczonych. Miskantusa sprowadzono do Europy z Japonii w latach trzydziestych XX wieku; początkowo był traktowany jako roślina ozdobna. Prace badawcze nad uprawą mieszańca *Miscanthus x giganteus* zapoczątkowano w Europie w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku (4). Jest to mieszańiec międzygatunkowy tetraploidalnego gatunku *Miscanthus sacchariflorus* i diploidalnego *Miscanthus sinensis*. Genotyp ten może być uprawiany w zasadzie w całej Europie aż po południową Skandynawię (11). Warunkiem powodzenia uprawy jest jednak zabezpieczenie roślin przed przemarzaniem w roku sadzenia, ponieważ rośliny nie tolerują temperatury niższej niż -3,5°C w wierzchniej warstwie gleby (3).

W drugim roku uprawy miskantusa rozbudowuje intensywnie karpę korzeniową, dlatego plony biomasy nadziemnej uzyskane w 2004 r. były mniejsze i wahały się, w zależności od klonu, na glebie ciężkiej w granicach 8,4-12,8 t · ha⁻¹ (tab. 6) oraz od 10,4 do 18,1 t · ha⁻¹ suchej masy na glebie średniej (tab. 7). Najwyżej plonowały genotypy M7 i M115, a najniżej *M. giganteus*.

W trzecim roku po założeniu (2005 r.) plantacja miskantusa weszła w okres pełnej produkcyjności. Plony suchej masy zebrane jesienią na glebie ciężkiej wahały się w granicach 16,1-21,7 t · ha⁻¹, na glebie średniej od 16,2 do 26,8 t · ha⁻¹ suchej masy (tab. 6 i 7). W bardzo suchym 2006 r. plon miskantusa na glebie ciężkiej, w zależności od klonu, wahał się od 13,8 do 18,2 t · ha⁻¹, a na glebie średniej od 13,8 do 20,5 t · ha⁻¹ suchej masy. Na duży niedobór opadów miskantus zareagował, niezależnie od genotypu, 17% spadkiem plonu na glebie ciężkiej oraz 14% na glebie średniej, w stosunku do plonu uzyskanego w poprzednim roku o korzystniejszym rozkładzie opadów. Susza obniżyła głównie wysokość pędów, natomiast nie różnicowała liczby pędów na roślinie.

Tabela 6

Plon i charakterystyki biometryczne miskantusa uprawianego na glebie ciężkiej
(Osiny – 8 kompleks zbożowo-pastewny mocny)

Genotyp*	Liczba pędów żywych	Średnica pędu (mm)	Wysokość pędu (m)	Indeks LAI	Plon pędów** (t s.m. · ha ⁻¹)	Wilgotność pędów (%)	Sucha masa (%)	
							pędy	liście
2004 – drugi rok uprawy								
M. gigant.	39	7,0	2,2	4,2	9,0 a	49	68	32
M7	47	7,0	2,2	54	12,8 a	32	61	39
M40	40	6,2	1,8	5,4	10,8 a	24	69	31
M105	40	7,0	1,7	5,2	8,4 a	43	68	32
M115	63	6,2	2,0	5,4	10,1 a	35	66	34
2005 – trzeci rok uprawy								
M. gigant.	50	6,9	2,6	5,4	21,7 a	51	79	21
M7	70	7,1	2,4	6,6	20,7 ab	47	70	30
M40	49	5,9	1,9	6,5	18,8 ab	30	67	33
M105	62	6,7	2,0	7,5	16,1 b	53	63	37
M115	99	5,0	2,4	7,6	18,6 ab	51	67	33
2006 – czwarty rok uprawy								
M. gigant.	68	8,0	2,4	5,9	18,0 a	56	76	24
M7	119	5,7	1,8	7,2	17,1 a	55	66	34
M40	88	5,8	1,9	7,6	15,0 a	46	59	41
M105	81	5,9	1,5	5,6	14,3 a	54	64	36
M115	102	5,3	2,0	7,5	15,8 a	55	68	32

* *Miscanthus x giganteus* - *M. sacchariflorus* x *M. sinensis*

M7 – *M. sinensis* Gofal

M40 – *Miscanthus sinensis* Silver Feather

M105 – *M. sacchariflorus* Robustus x *M. sinensis*

M115 – *M. sacchariflorus* Robustus x *M. sinensis*

** jak w tabeli 2

Źródło: Badania własne.

Porównywane genotypy miskantusa różniły się liczbą pędów na roślinie, ich średnicą i długością (tab. 6 i 7). W obu siedliskach miskantus wytwarzał przeciętnie po około 65-70 pędów, przy czym genotypy M7 i M115 miały ich po 80-90, zaś *M. giganteus* tylko około 50, ale pędy tego ostatniego wyróżniały się zdecydowanie większą średnicą i długością.

Podczas zbioru jesienno (październik/listopad) wilgotność zebranej biomasy wahała się w szerokim zakresie, w zależności od roku i genotypu, od 25 do 56% (średnio około 45%). Przy zbiorze wiosennym wilgotność biomasy wynosiła około 25%, ale plon suchej masy był o około 20-30% mniejszy, gdyż rośliny utraciły większość liści. Późną jesienią udział liści w suchej masie nadziemnej części roślin wahał się od 24 do 41%, w zależności od klonu i roku uprawy. Dodatkowo w zimie pod ciężarem śniegu miskantus wylegał, z wyjątkiem genotypu *M. giganteus*, co utrudniało zbiór.

Tabela 7

Plon i charakterystyki biometryczne miskantusa uprawianego na glebie średniej
(Grabów – 4 kompleks żytni bardzo dobry)

Genotyp*	Liczba pędów żywych	Średnica pędu (mm)	Wysokość pędu (m)	Indeks LAI	Plon pędów** (t s.m. · ha ⁻¹)	Wilgotność pędów (%)	Sucha masa (%)	
							pędy	liście
2004 – drugi rok uprawy								
Gigant.	39	6,0	2,6	4,4	10,4 b	51	74	26
M7	74	5,8	2,8	5,4	16,2 a	32	71	29
M40	49	4,2	2,7	5,1	11,4 b	41	80	20
M105	52	5,2	3,0	5,2	13,5 b	39	66	34
M115	49	7,0	2,5	5,6	18,1 a	41	81	19
2005 – trzeci rok uprawy								
Gigant.	44	6,0	2,9	3,9	19,2 bc	44	64	36
M7	77	6,6	2,3	6,1	23,7 ab	44	64	36
M40	55	6,3	2,2	5,8	16,2 c	47	65	35
M105	56	6,2	2,2	5,6	17,7 bc	50	67	33
M115	86	5,2	2,6	6,4	26,8 a	40	63	37
2006 – czwarty rok uprawy								
Gigant.	54	8,1	2,8	4,1	14,9 b	56	69	31
M7	98	6,5	2,0	6,1	20,5 a	55	74	26
M40	74	6,1	2,0	5,8	16,7 ab	46	70	30
M105	76	6,4	1,9	5,1	13,8 b	62	71	29
M115	97	5,8	2,4	4,7	17,6 ab	57	64	35

* objaśnienia w tabeli 6

** jak w tabeli 2

Źródło: Badania własne.

Maksymalny indeks LAI łąnów doświadczalnych wahał na glebie ciężkiej w granicach 3,7-6,2, a na glebie średniej od 3,8 do 5,7.

W okresie dwóch lat pełnej produkcyjności (2005 i 2006) największe plony na glebie ciężkiej wydał *M. giganteus*, a na glebie średniej najlepiej plonowały genotypy M7 i M115 (tab. 8). Może to wskazywać na różną reakcję porównywanych genotypów na warunki siedliskowe. Niższy plon na ciężkiej czarnej ziemi należy wiązać z położeniem jej w obniżeniu terenowym, co opóźniało wznowienie wegetacji wiosną oraz zwiększało uszkodzenia roślin przez późnowiosenne przymrozki.

Doświadczenia przeprowadzone w Europie wykazały, że produkcyjność miskantusa bardzo zależy od warunków siedliskowych, a przede wszystkim od temperatury powietrza. Już w drugim roku uprawy plony w północnej Europie wahały się w granicach 7,8-11,4 t s.m. · ha⁻¹, a w południowej Europie dochodziły do 27 t s.m. · ha⁻¹ (15). W trzecim roku miskant wchodził w okres pełnej produkcyjności. Uzyskiwane w tym okresie plony wynosiły w Danii 15-25 t s.m. · ha⁻¹, Austrii 22 t s.m. · ha⁻¹, zaś w Niemczech na glebach dobrych 6-24 t s.m. · ha⁻¹, a na słabych 2-10 t s.m. · ha⁻¹ (15). W warunkach deszczowania na południu Europy uzyskiwano plony w granicach

Tabela 8

Średnie plony miskantusa w okresie pełnej produkcyjności (2005 i 2006 r.) – zbiór jesienny

Genotyp	Osiny		Grabów	
	t · ha ⁻¹	% średniej	t · ha ⁻¹	% średniej
<i>M. giganteus</i>	19,8	112	17,0	91
M7	18,9	107	22,1	118
M40	16,9	96	16,4	88
M105	15,2	86	15,7	84
M115	17,2	97	22,2	119
Średnia	17,7	100	18,7	100

Źródło: Badania własne.

28-38 t s.m. · ha⁻¹ (6). Wysokość roślin w okresie pełnej wegetacji dochodziła do około 4 m. Natomiast według symulacji przeprowadzonych dla Europy Wschodniej plony miskantusa możliwe do uzyskania na glebach bardzo dobrych wahały się w granicach 17,7-21,8 t s.m. · ha⁻¹, a na glebach dobrych w zakresie 12,9-17,1 t s.m. · ha⁻¹ (9).

Miskantus jako roślina o szlaku fotosyntezy C4 charakteryzuje się efektywnym wykorzystaniem światła, wody i składników pokarmowych (15). W stosunku do innych roślin C4 jest wyjątkowo dobrze przystosowany do utrzymywania wysokiej produkcyjności w relatywnie niższych temperaturach.

Miskantusa zbiera się corocznie, a o przydatności paliwowej biomasy decyduje: wilgotność, zawartość popiołu oraz K, Cl i N (11). Opóźnienie zbiorów do wiosny poprawiało jakość biomasy, gdyż zmniejszała się zawartość: popiołu, N, K i Cl, ale również plon zmniejszył się o 18%, gdyż rośliny traciły większość liści. Z biomasa miskantusa wywozi się z pola stosunkowo mało składników mineralnych, gdyż w czasie jesiennego zasychania roślin są one przemieszczane z liści i pędów do karp korzeniowych (7).

Ślazowiec pensylwański (sida). Roślina ta pochodzi z Ameryki Północnej, a do Polski została introdukowana w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Rozważano jego uprawę jako rośliny pastewnej (1), surowca dla przemysłu celulozowo-papierniczego (2) oraz surowca energetycznego (18). Z dotychczas przeprowadzonych badań wynika, że ślazowiec dobrze znosi nasze warunki klimatyczne oraz ma niewielkie wymagania glebowe (2). Rozmnażany może być przez wysiew nasion albo wegetatywnie przez podział karp korzeniowej lub z zielonych pędów nadziemnych.

Plony suchej masy łodyg ślazu wahały się w granicach 6,4-12,9 t · ha⁻¹, średnio 10 t · ha⁻¹ (tab. 9). Zaskakująco duże plony uzyskiwano na glebie najsłabszej kompleksu 5 (11,2-12,9 t · ha⁻¹), co mogło być spowodowane większą obsadą roślin (na glebach kompleksów 8 i 4 obsada wynosiła 10 tys. · ha⁻¹, zaś na kompleksie 6 była dwukrotnie większa); plantację na glebie najsłabszej założono o dwa lata wcześniej, czyli w latach prowadzenia badań znajdowała się ona w okresie pełnej produkcyjności. Późną jesienią pozyskiwano biomasę o wilgotności około 30%.

Tabela 9

Plony i charakterystyki biometryczne ślazuca uprawianego na różnych glebach

Rok	Kompleks gleby	Liczba pędów	Średnica pędu (mm)	Wysokość pędu (m)	Indeks LAI	Plon pędów* (t s.m. · ha ⁻¹)	Wilgotność pędów (%)	Sucha masa (%)	
								pędy	liście
2004	8	15	14,6	2,46	6,2	7,4 b	27,2	78	22
	4	13	13,4	3,38	5,9	6,4 b	30,4	82	18
	5	16	15,2	3,30	6,4	11,2 a	28,8	81	19
2005	8	21	17,9	3,09	6,7	10,0 a	25,5	85	15
	4	23	16,1	3,40	5,4	9,0 a	31,3	84	16
	5	26	18,2	3,35	6,8	11,2 a	27,5	81	19
2006	8	19	18,2	3,05	6,3	10,3 a	21,3	85	15
	4	14	19,5	3,33	5,8	11,4a	25,3	83	17
	5	14	16,0	3,19	5,6	12,9 a	29,3	82	17

* jak w tabeli 2

Źródło: Badania własne.

Ślazuca uprawiany w badanych siedliskach i latach wytwarzał 13-26 pędów, o średnicy wahającej się w zakresie 13-20 mm oraz wysokości 2,4-3,4 m, a maksymalny LAI dzięki bogatemu ulistnieniu roślin osiągał wartości 5,4- 6,8 (tab. 9). Udział pędów w biomacie części nadziemnych wynosił około 83-84%.

W innych krajowych doświadczeniach (1, 16) uzyskiwano większe plony ślazuca (12,8-13,1 t · ha⁻¹), co mogło być spowodowane stosowaniem znacznie większych dawek nawozów azotowych.

Mozga trzcinowata. W omawianych doświadczeniach dobrze plonowała szwedzka odmiana Bamse tej trawy (tab. 10). Łączny jej plon z dwóch pokosów na ciężkiej glebie wynosił 16-19 t · ha⁻¹, a na glebie lekkiej ponad 14 t · ha⁻¹ suchej masy. Przy jednokrotnym zbiorze późną jesienią uzyskiwano ewidentnie mniejsze plony. Gatunek ten może okazać się szczególnie przydatny do produkcji biomasy na cele energetyczne na wyłączonych z użytkowania rolniczego trwałych użytkach zielonych. Jednak z uwagi na dużą zawartość w plonie popiołu, N, Cl i K ograniczona jest przydatność takiej biomasy do spalania (10).

Topinambur. Na glebie lekkiej plon suchej masy części nadziemnej (łodyg) topinamburu, średnio za 3 lata, wynosił około 9,5 t · ha⁻¹ (tab. 11). Dodatkowo można uzyskać około 8-10 t · ha⁻¹ świeżej masy bulw. Wydaje się, że biomasa tej rośliny z uwagi na małą gęstość usypową jest mało przydatna do transportu i spalania, natomiast mogłaby być wykorzystywana w biogazowniach. Bulwy można także wykorzystać do produkcji biogazu lub etanolu.

Rdest (rdestowiec) sachaliński. Na ciężkiej czarnej ziemi w 3 i 4 roku po założeniu plantacji plon wynosił 12,5 t · ha⁻¹ suchej masy (tab. 12). Rdest należy do roślin mało wrażliwych na stres suszy i mógłby być wykorzystywany do produkcji biomasy na cele energetyczne. Jednak jest zaliczany do roślin inwazyjnych i z tego powodu nie powinien być wprowadzany do uprawy.

Tabela 10

Plon suchej masy mozgi trzcinowatej

Gleba	Pokosy	2005		2006	
		plon (t · ha ⁻¹)	wilgotność (%)	plon (t · ha ⁻¹)	wilgotność (%)
Ciężka (kompleks 8)	1	11,7	58	14,1	71
	2	4,6	45	5,7	62
	razem	16,3	-	19,8	-
	1	13,0	25	11,7	45
Lekka (kompleks 5)	1	10,2	68	11,1	72
	2	4,4	44	3,4	60
	razem	14,6	-	14,5	-
	1	9,3	27	10,3	49

Źródło: Badania własne.

Tabela 11

Plon nadziemnej biomasy topinamburu uprawianego na glebie lekkiej (kompleks 5)

Rok	Plon s.m. pędów (t · ha ⁻¹)	Wilgotność (%)
2004	7,8	25
2005	13,2	22
2006	8,1	32

Źródło: Badania własne.

Tabela 12

Plon biomasy rdestu sachalińskiego uprawianego na glebie ciężkiej (kompleks 8)

Rok	Plon s.m. pędów (t · ha ⁻¹)	Wilgotność (%)
2005	6,3	47
2006	12,5	34
2007	12,5	45

Źródło: Badania własne.

W naszych doświadczeniach plony większości ocenianych gatunków roślin były mniejsze od podawanych przez innych autorów. Po części mogło to być następstwem niższych dawek azotu (mozga 135, a pozostałe gatunki 75 kg N · ha⁻¹). Jednak było to spowodowane koniecznością utrzymania możliwie niskiej zawartości azotu w biomacie, aby ograniczać emisję tlenków azotu w spalinach. Istnieje liniowa zależność między zawartością N w spalanej biomacie a emisją NO w spalinach. Ponadto wykazano, że dawki te równoważyły w większości przypadków ilości azotu wynoszone z pola z plonem biomasy (10).

Wnioski

1. Plon wierzby krzewiastej przy zbiorze corocznym (średnio za 3 lata niezależnie od klonu) na ciężkiej czarnej ziemi (kompleks 8) wynosił $12,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, na glebie średniej (kompleks 4) $11,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suchej masy, a przy trzyletnim cyklu zbioru był o około 20% większy. Stwierdzono duży wpływ genotypu (klonu) uprawianej wierzby oraz ilości i rozkładu opadów na wielkość plonu.

2. Plon miskantusa, średnio za 3 lata dla 5 porównywanych genotypów, na glebie średniej (kompleks 4) wynosił $17,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ i był o około 15% większy niż na ciężkiej czarnej ziemi. Porównywane klony różniły się wielkością plonu oraz reakcją na warunki siedliskowe. Ostra susza zmniejszała plony miskantusa o 14-17%.

3. Wielkość plonu ślazuwca pensylwańskiego zdecydowanie zależała od obsady roślin. Na glebie ciężkiej i średniej (kompleksy 8 i 4) przy obsadzie 10 tys. roślin $\cdot \text{ha}^{-1}$, średni jego plon za 2 lata pełnego użytkowania wynosił około $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suchej masy i był mniejszy niż na glebie lekkiej (kompleks 5), gdzie obsada roślin wynosiła 20 tys. $\cdot \text{ha}^{-1}$.

4. Duże plony mozgi trzcinowatej (odmiana Bamse) uzyskano przy zbiorze dwóch pokosów – $14 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ na glebie lekkiej (kompleks 5) i $18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suchej masy na ciężkiej czarnej ziemi (kompleks 8). Natomiast przy jednokrotnym jej zbiorze późną jesienią plon był o ponad 30% mniejszy. Jednak duża zawartość w biomasie mozgi popiołu, N, Cl i K ogranicza jej przydatność do spalania.

5. Wilgotność pozyskiwanej biomasy przy zbiorze późną jesienią wahała się od około 30% (ślazowiec) do 40-45% (miskantus) oraz do około 50% w przypadku wierzby. Opóźnienie zbioru miskantusa do wczesnej wiosny zmniejszało wilgotność biomasy do około 20-25%, ale powodowało również straty suchej masy wynoszące średnio 18%.

Literatura

1. B o r k o w s k a H.: Wpływ nawożenia azotowego i potasowego na wysokość i jakość plonów zielonki ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby). Ann. UMCS, 1996, E, **51**: 10-21.
2. B o r k o w s k a H., S t y k B.: Ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby) uprawa i wykorzystanie. AR Lublin, 1997, ss. 51.
3. C l i f t o n - B r o w n J. C., L e w a n d o w s k i I.: Overwintering problems of newly established *Miscanthus* plantations can be overcome by identifying genotypes with improved rhizome cold tolerance. New Phytol., 2000, **148**: 287-294.
4. C l i f t o n - B r o w n J. C., L e w a n d o w s k i I., A n d e r s s o n B., B a s c h G., C h r i s t i a n D. G., B o n d e r u p - K j e l d s e n J., J ø r g e n s e n U., M o r t e n s e n J., R i c h e A. B., S c h w a r z K. U., T a y e b i K., T e i x e i r a F.: Performance of 15 *Miscanthus* genotypes at five sites in Europe. Agron. J., 2001, **93**: 1013-1021.
5. Commission of the European Community.: Biomass action plan. COM(2005) 2005, 628 final.
6. D a n a l a t o s G., S o t i r i s V., M i t s i o s I.: Potential growth and biomass productivity of *Miscanthus x giganteus* as affected by plant density and N-fertilization in central Greece. Biomass & Bioenergy, 2007, **31**: 145-152.
7. ECN Phyllis. The composition of biomass and waste. <http://www.ecn.nl/phyllis/>

8. Faber A., Kuś J., Stasiak M.: Rośliny energetyczne dla różnych siedlisk. W: Biomasa dla energetyki i ciepłownictwa –szanse i problemy. Wyd. Wieś Jutra, 2007, 26-32.
9. Fischer G, Prieler S., van Velthuisen H.: Biomass potentials of miscanthus, willow and poplar: results and policy implications for Eastern Europe, Northern and Central Asia. *Biomass & Bioenergy*, 2005, **28**: 119-132.
10. Kuś J., Faber A., Grabiński J., Stasiak M.: Ocena możliwości produkcji biomasy na cele energetyczne w różnych warunkach siedliskowych. Maszynopis, IUNG - PIB, 2007.
11. Lewandowski I., Clifton-Brown J. C., Andersson B., Basch G., Christian D. G., Jørgensen U., Jones M. B., Riche A. B., Schwarz K. U., Tayebi K., Teixeira F.: Environment and harvest time affects the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes. *Agron. J.*, 2003, **95**: 1274-1280.
12. Luger E.: Energy crop species in Europe. http://www.blb.bmlf.gv.at/vero/artikel/artik013/Energy_crop_species+.pdf, 1996.
13. MGIP: Polityka energetyczna Polski do 2025 r. http://www.mgip.gov.pl/NR/rdonlyres/CBBE5FE3-3F4A-44DD-F552FF43943F32C/13548/polit_energ_polski_2025obw.pdf, 2007.
14. MOS: Strategia rozwoju energetyki odnawialnej. http://www.mos.gov.pl/1materialy_informacyjne/raporty_opracowania/energetyka/, 2000.
15. Scurlock J. M. O.: Miscanthus a review of European experience with a novel energy crop. <http://www.p2pays.org/ref/17/16283.pdf>, 1999.
16. Stolarski M.: Pelety z biomasy wierzby i ślazu. *Czysta Energia*, 2005, 36.
17. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J.: Produktivność klonów wierzby krzewiastych uprawianych na gruntach ornych w zależności od częstotliwości zbioru i gęstości sadzenia. *Fragm. Agron.*, 2002, **2**: 39-50.
18. Styk B., Styk W.: Ślazu pensylwański – surowiec energetyczny. *Ann. UMCS, E*, 1994, **49**: 85.
19. Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Grzelczyk M.: Produktivność wierzby krzewiastych pozyskiwanych w jednorocznych cyklach zbiorów. *Acta Sci. Pol., Agricult.*, 2005, **4(1)**: 141-151.
20. Van Velthuisen H.: Agro-ecological zoning of Europe. <http://agrienv.jrc.it/activities/pdfs/irena/Velthuisen-AEZ-Europe.pdf>, 2003.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Jan Kuś
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (0 81) 886 34 21, w. 360
e-mail: jankus@iung.pulawy.pl

Danuta Choluć, Sławomir Podlaski, Grzegorz Wiśniewski, Justyna Szmalec

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

KOMPLEKSOWA OCENA BIOLOGICZNEJ PRZYDATNOŚCI
7 GATUNKÓW ROŚLIN WYKORZYSTYWANYCH
NA CELE ENERGETYCZNE

Wstęp

W artykule, na podstawie wyników badań własnych oraz danych z literatury naukowej, podjęto próbę kompleksowej charakterystyki 7 gatunków roślin energetycznych: miskantusa (*Miscanthus sinensis x giganteus*), spartiny (*Spartina pectinata*), wierzby konopianki (*Salix viminalis*), róży bezkolcowej – odmiany Jatar (*Rosa multiflora*), ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita*), rdestowca sachalińskiego (*Reynoutria sachalinensis*) i słonecznika bulwiastego (topinamburu) – odmiana Albik (*Helianthus tuberosus*). Wymienione gatunki uprawiane są od 3 lat na poletkach o powierzchni 636-792 m² w Eksperymentalnej Stacji Doświadczalnej Wydziału Rolnictwa i Biologii SGGW w Skierniewicach.

Roślinami energetycznymi przeznaczonymi do produkcji biomasy nazywamy dzikie lub udomowione rośliny charakteryzujące się produkcją dużej ilości energii w warunkach niskich nakładów środków produkcji.

Idealna roślina energetyczna powinna cechować się następującymi właściwościami:

- wieloletnim charakterem wzrostu i rozwoju,
- generatywnym sposobem rozmnażania,
- szybkim wzrostem na początku wegetacji oraz dużą zdolnością krzewienia i rozgałęzienia się roślin,
- wysoką produktywnością fotosyntetyczną,
- dużym udziałem łodyg w części nadziemnej,
- małymi wymaganiami wodnymi i tolerancją na suszę,
- szybkim wysychaniem roślin w czasie zimy (w czasie zbioru biomasa charakteryzuje się niską zawartością wody),
- wysoką produkcją biomasy,
- dobrymi parametrami jakościowymi biomasy związanymi z jej spalaniem.

WYNIKI I DYSKUSJA

Rośliny wieloletnie czy jednoroczne?

Bilans energetyczny oraz problem maksymalnej sekwestracji dwutlenku węgla w glebie są głównymi elementami, które należy brać pod uwagę podczas analizy upraw energetycznych roślin jednorocznych i wieloletnich. Rośliny wieloletnie, w przeciwieństwie do gatunków jednorocznych, wymagają jednokrotnego wykonania uprawy roli w okresie 10-15 lat przed założeniem plantacji oraz mniejszych dawek nawozów mineralnych. Mniejsze potrzeby nawozowe są spowodowane recyrkulacją składników mineralnych, z których duża część jest wycofywana do korzeni przed jesiennym zakończeniem wegetacji. Wieloletnie wysokie trawy preriowe (spartina lub proso różgowate) są zdolne do translokacji 30% azotu znajdującego się w części nadziemnej do korzeni i rizomów w warunkach długotrwałej suszy oraz w okresie zasychania przed zimą. Translokacja N stanowi kompromis pomiędzy ochroną zasobów N a wielkością asymilacji węgla (22). W ostatnich kilku latach firmy nasienne zaangażowały się w hodowlę specjalnych odmian roślin jednorocznych przeznaczonych na cele energetyczne. Należy do nich kukurydza hodowana przez firmę KWS i sorgo. Rośliny te mogą być używane do spalania, jako surowiec do produkcji etanolu z celulozy oraz do wytwarzania biogazu. Niektóre analizy wskazują, że rośliny jednoroczne mogą plonować podobnie jak wieloletnie.

Hallam i in. (21) porównywali plonowanie oraz koszty produkcji biomasy roślin wieloletnich (prosa trzcinowatego, prosa różgowatego, palczatki Gerarda i lucerny) oraz jednorocznych (sorgo słodkie, sorgo pastewne i kukurydza). W okresie 4 lat badań najwyższy plon – 15,3-20,7 t · ha⁻¹ – suchej masy uzyskano z sorga słodkiego, nieco niżej plonovalo sorgo pastewne – 14,6-16,7 oraz kukurydza – 11,5-17,9 t · ha⁻¹. Wieloletnie trawy, proso i palczatka Gerarda osiągnęły w 4 roku badań poziom plonowania zbliżony do roślin jednorocznych. Koszt uzyskania 1 tony biomasy był najniższy dla sorga, wyższy dla prosa i palczatki, a najwyższy dla lucerny i prosa trzcinowatego.

Rozmnażanie generatywne i wegetatywne

Wśród roślin uprawianych na cele energetyczne występują gatunki rozmnażające się wegetatywnie i generatywnie. Biorąc pod uwagę łatwość zakładania plantacji i koszty znacznie korzystnej wypadają gatunki rozmnażane z nasion. Jednak z uwagi na niewielki stopień udomowienia tych roślin ich nasiona charakteryzują się niską jakością.

W naszych warunkach gatunkami rozmnażającymi się wyłącznie wegetatywnie są: wierzba, topinambur, miskantus i rdest sachaliński, a poprzez nasiona można rozmnażać ślazier i różę oraz w bardzo ograniczonym zakresie – spartinę. Nasiona spartiny w naturalnych warunkach charakteryzują się podwójnym okresem spoczynku, co powoduje, że dopiero 2 lata po zbiorze są zdolne do kiełkowania.

Spartina i miskantus mogą być rozmnażane przez kultury tkankowe i rizomy. Dobre rizomy spartiny powinny mieć kształt litery J i zawierać 8-30 cm suchego pędu, a na części podziemnej powinno znajdować się 3-5 oczek (27).

Według badań W a r y ł o (63) do uzyskania wysokiego plonu biomasy miskantusa należy użyć rizomów o masie około 65 g i 5 oczkach. Rośliny powstałe z większych rizomów, o większej liczbie oczek, dają większą liczbę pędów o większej masie. Rizomy można pozyskiwać wiosną po ruszeniu wegetacji lub późną jesienią. W przypadku zbioru jesienią muszą one być przechowywane w stanie wilgotnym w chłodnych pomieszczeniach. Rizomy mogą być wykopywane ręcznie lub cięte mechanicznie broną talerzową, której talerze ustawione są równolegle do kierunku jazdy. Najlepsze rizomy uzyskuje się z 2-3-letnich roślin.

Rdestowiec w naszych warunkach klimatycznych wytwarza tylko kwiaty męskie i rozmnaża się przez części systemu korzeniowego lub części pędów przysypane wilgotną glebą. Większość form rdestowca rosnących w Polsce, to prawdopodobnie mieszańiec o nazwie rdest czeski (*Reynoutria bochemica*).

Zdolność kiełkowania świeżo zebranych nasion ślázowca waha się w granicach kilku procent (8). Niska zdolność kiełkowania jest spowodowana nieprzepuszczalną okrywą nasienną. Wszystkie zabiegi zwiększające przepuszczalność okrywy nasiennej, takie jak: skaryfikacja, moczenie w gorącej wodzie, kwasie siarkowym itp. poprawiają zdolność kiełkowania nasion (8). Ślázowiec może być rozmnażany poprzez nasiona, jak i z części wegetatywnych.

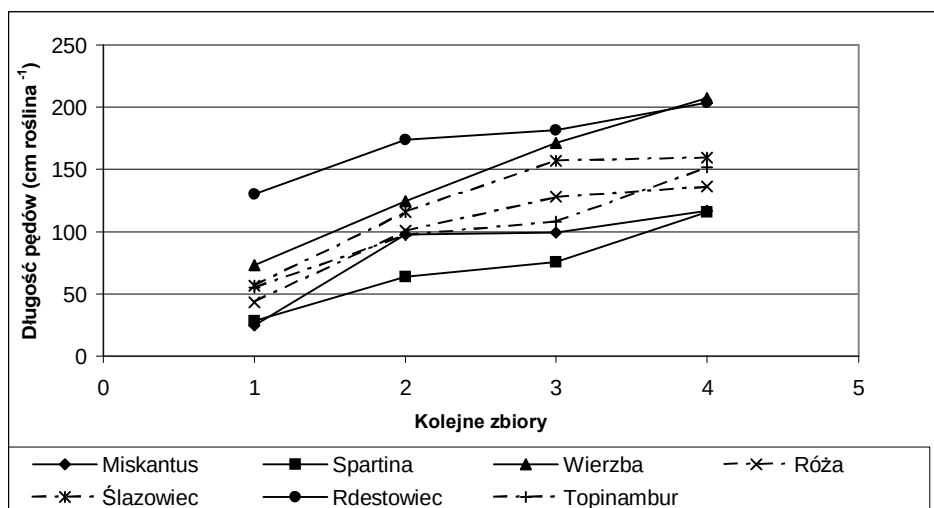
Róża wielkokwiatowa może być rozmnażana z nasion lub części wegetatywnych. Czerwone owoce o średnicy około 7 mm zawierają wiele drobnych nasion wymagających dwóch lat do skielkowania. W okresie zimy dochodzi do uszkodzenia okrywy nasiennej i wzrostu jej przepuszczalności, następnie nasiona róży wymagają okresu ciepłej pogody, aby nastąpiło dojrzewanie zarodka zakończone kiełkowaniem. Proces ten można przyspieszyć stosując skaryfikację nasion, następnie umieszczając je w temperaturze 25-30°C przez okres 2-3 tygodni dla imbibicji. Dalej nasiona przenosimy do temperatury kilku stopni powyżej zera i trzymamy przez następne 4 tygodnie, aby skielkowały. Rozmnażanie przez części wegetatywne polega na pocięciu na wpół zdrewniałych pędów na odcinki z oczkami i wysadzeniu ich wczesną wiosną. Można również wybrać zdrewniałe pędy o grubości ołówka i wysadzać je jesienią, jednak powinny być dobrze przykryte glebą, aby nie przemarzły (www.ibiblio.org)

Topinambur może być rozmnażany przez bulwy, rizomy, odcinki pędów, kultury tkankowe i nasiona. W praktyce podstawowym sposobem rozmnażania są bulwy o masie 45-60 g, charakteryzujące się okresem spoczynku wynoszącym od 54 do 200 dni w temperaturze zbliżonej do zera (29).

Tempo początkowego wzrostu oraz zdolność krzewienia i rozgałęziania się roślin

Istnieje niewiele danych w literaturze na temat szybkości wzrostu roślin energetycznych wiosną, w momencie ruszania wegetacji. Na podstawie własnych obserwacji można stwierdzić, że najszybciej zaczynają wegetację róża, spartina, rdestowiec i ślazieriec. Najszybsze przyrosty elongacyjne stwierdzono w przypadku rdestowca, gdzie w maju obserwowano przyrosty pędów wynoszące 5 cm dziennie. Miskantus największe przyrosty osiąga w czerwcu i lipcu. Nowe pędy spartiny pojawiają się w większości w kwietniu, chociaż początki tego procesu można obserwować już w marcu, pod warunkiem, że gleba nie jest zmarznięta.

W naszych badaniach u wszystkich 7 gatunków długość łodyg sukcesywnie zwiększała się w czasie ontogenezy (rys. 1). Pod koniec wegetacji, we wrześniu, najdłuższymi łodygami – w granicach 2 m – charakteryzowały się rośliny wierzby i rdestowca, a najkrótszymi, niewiele ponad 1 m, łodygi traw – miskanta i spartiny. Podobne badania prowadził Małkowski w bydgoskim ogrodzie botanicznym, gdzie obserwowano wzrost i akumulację biomasy u roślin miskantusa i spartiny (cyt. za 51). W drugim roku uprawy rośliny miskantusa charakteryzowały się pędami prawie trzykrotnie wyższymi niż w naszych badaniach i osiągały wysokość 2,75 m. Podobnie wysokie pędy (2,4 m) u roślin spartiny obserwowano dopiero po czwartym roku uprawy. Po kilku latach wegetacji wysokość roślin miskantusa olbrzymiego może dochodzić nawet do 4 m (36). Podobnie jak inne trawy typu C_4 , spartina periowa jest okazałą rośliną wyrastającą do maksymalnej wysokości ponad 2 m (31). Z danych literaturowych wynika, że prawidłowo posadzona i pielęgnowana wierzba może wy-

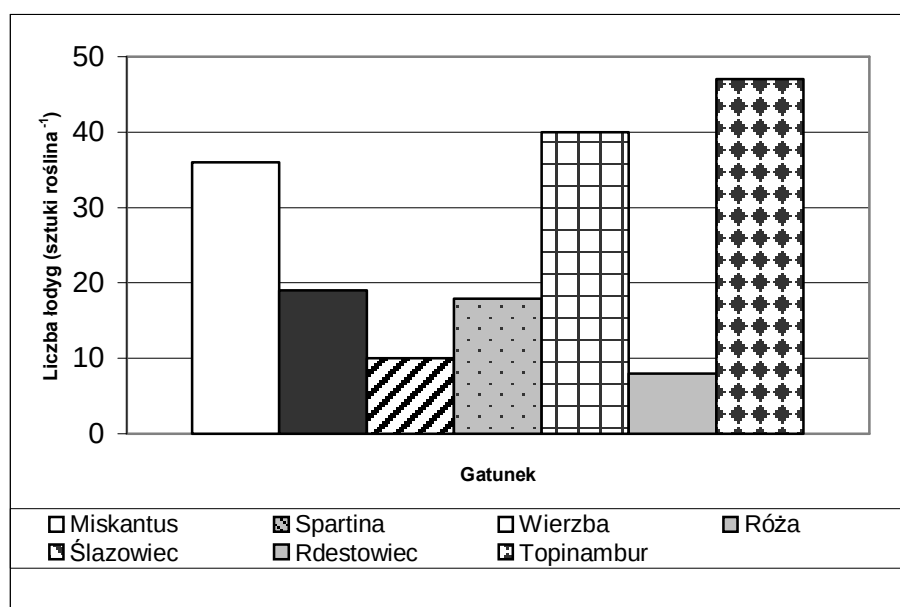


Rys. 1. Zmiany długości łodyg w czasie wegetacji (średnie z 5 powtórzeń)

Źródło: Chołuj D., Podlaski S. i in., dane niepublikowane.

tworzyć pędy o wysokości 2-3 m, co potwierdzają również nasze badania (rys. 1). Róża bezkolcowa odmiany Jatar tworzy po kilku latach wegetacji rozłożyste krzewy o wysokości 4-7 m (24, 25, 40), chociaż w drugim roku uprawy długość jej łukowatych pędów nie przekraczała 1,5 m (rys. 1). Rdestowiec po kilku latach osiąga przeciętną wysokość ok. 3 m (42), a maksymalną do 6 m (25). Jest to gatunek silnie rosnący w ciągu pierwszych miesięcy wegetacji, a później przyrosty są znacznie wolniejsze (rys. 1). W przypadku roślin topinambura maksymalna wysokość pędów nadziemnych zależy od genotypu i waha się od 2 do 3 m (59).

Inną ważną cechą roślin energetycznych decydującą o ich produktywności jest zdolność krzewienia i rozgałęziania się. W naszych badaniach najintensywniej krzewiły się rośliny topinambura, ślazuca i miskantusa, natomiast najmniejszą liczbę łodyg obserwowano u rdestowca i wierzby. Niewiele jest danych w literaturze dotyczących stopnia krzewienia się porównywanych gatunków roślin energetycznych. Z badań W a r y ł o (63) wynika, że liczba pędów i długość pędów miskantusa olbrzymiego w pierwszym i drugim roku wegetacji zależy od masy i pokroju (liczby pąków) wysadzanych rizomów. Z rizomów średnich i dużych w drugim roku uprawy uzyskano, podobnie jak w prezentowanych badaniach, rośliny miskantusa odpowiednio z 31 i 45 pędami (63). M a j t k o w s k i i in. (42) donoszą, że rośliny spartiny preriowej, która jest trawą luźnokępkową, zwarty łan tworzą dopiero w trzecim roku uprawy (9), co potwierdzają także nasze badania (rys. 2). Według A n t e c k i e j (2) i J a b ł o ņ -



Rys. 2. Średnia liczba łodyg na pojedynczej roślinie w czasie całej wegetacji (średnie z 5 powtórzeń i 4 terminów pomiaru)

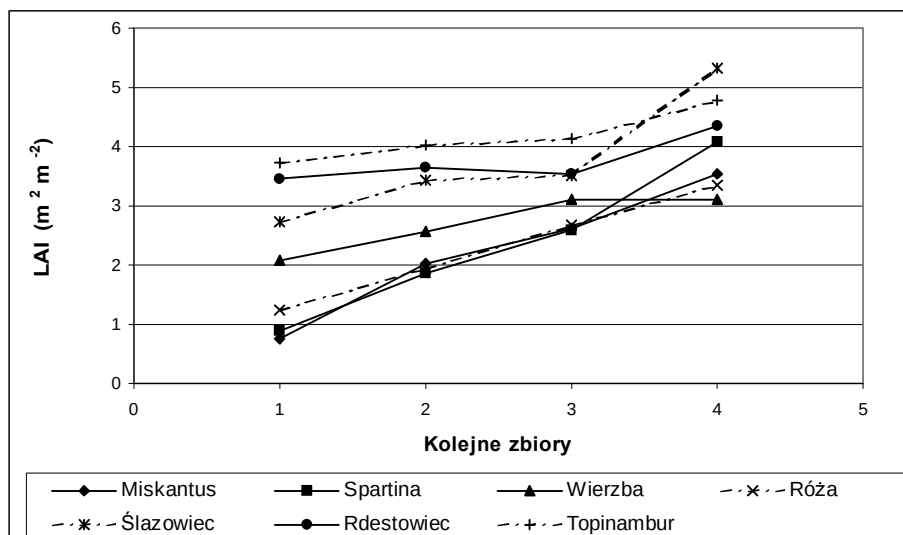
Źródło: Chołuj D., Podlaski S. i in., dane niepublikowane.

s k i e g o (25) róża multiflora odmiany Jatar może być wykorzystywana do celów energetycznych dopiero w kolejnych latach wegetacji po rozkrzewieniu się karpki. Rośliny ślazuca corocznie odrastają, zwiększając liczbę łodyg od jednej w pierwszym roku do 20-30 w czwartym i następnych latach uprawy (8). Z prezentowanych wyników badań wynika, że stopień krzewienia się roślin ślazuca jest już duży w drugim roku uprawy (rys. 2). Według S w a n t o n a (59) liczba łodyg i cieńszych pędów u roślin topinambura zależy od genotypu, agrotechniki i warunków uprawy i kształtuje się od 30 do 50, co obserwowano również w naszych badaniach. W drugim roku uprawy liczba łodyg słonecznika bulwiastego przekraczała 45 sztuk w przeliczeniu na roślinę (rys. 2). M c L a u r i n i K a y s (43) stwierdzili, że liczba łodyg i cieńszych pędów roślin słonecznika bulwiastego zmienia się w trakcie ontogenezy i osiąga maksymalne wartości w ciągu pierwszych 8 tygodni wegetacji. Cecha ta zależy także od wielkości bulw użytych do nasadzeń (30).

Produktywność fotosyntetyczna

Produktywność fotosyntetyczna jest warunkowana wielkością globalnej fotosyntezy rozumianej jako wypadkowa intensywności fotosyntezy, wielkości aparatu fotosyntetycznego oraz czasu trwania fotosyntezy (18). Powierzchnię liści można w warunkach ładu analizować za pomocą wskaźnika LAI, definiowanego jako stosunek powierzchni organów asymilacyjnych całego ładu do powierzchni gruntu zajmowanego przez ten ład. W naszych badaniach przez cały okres wegetacji LAI wykazywał tendencję wzrostową u wszystkich porównywanych gatunków roślin (rys. 3). Wartości wskaźnika LAI były najwyższe w łanie ślazuca, rdestowca i topinambura od początku do końca wegetacji, a u pozostałych gatunków kształtowały się na niższym, ale zbliżonym do siebie poziomie. W badaniach innych autorów powierzchnia liści pojedynczej 54-dniowej rośliny miskantusa olbrzymiego wynosiła około 0,3 dm² (13). Jednoroczne rośliny miskantusa charakteryzowały się wartościami LAI wynoszącymi 0,78 przy nasadzeniach rizomów na jesieni i 1,67 przy nasadzeniach wiosennych (53). W warunkach północnej Francji wskaźnik powierzchni liści ładu kilkuletnich roślin miskantusa mierzony latem osiągał wartości w granicach 9-12 m² · m⁻² (60). Według K a y s i N o t t i n g h a m (29) LAI ładu słonecznika bulwiastego zwiększa się w sposób wykładniczy we wczesnych fazach ontogenezy i osiąga optymalne wartości w granicach 4-6. Podobne wartości wskaźnika LAI (około 5) obserwowano pod koniec wegetacji w prezentowanym doświadczeniu (rys. 3). M o n t i i n. (46) wskazywali na wyższe wartości LAI ładu topinambura, w granicach 5-8, w zależności od stopnia zaopatrzenia roślin w wodę.

W naszych badaniach najwyższą intensywnością fotosyntezy netto (Pn) w granicach 25-28 μmoli CO₂ · m⁻² · s⁻¹, mierzoną w warunkach polowych przy natężeniu napromieniowania (1200-1400 μmol PAR m⁻² · s⁻¹), stężeniu CO₂ około 300-350 μmol · mol⁻¹ i w temperaturze wahającej się od 25 do 30°C, charakteryzowały się liście miskantusa i spartiny (traw cyklu C₄). Średnie wartości Pn powyżej 15 μmoli CO₂ · m⁻² · s⁻¹ obserwowano dla liści bylin dwuliściennych, a najniższe dla liści wierzby i róży (rys.

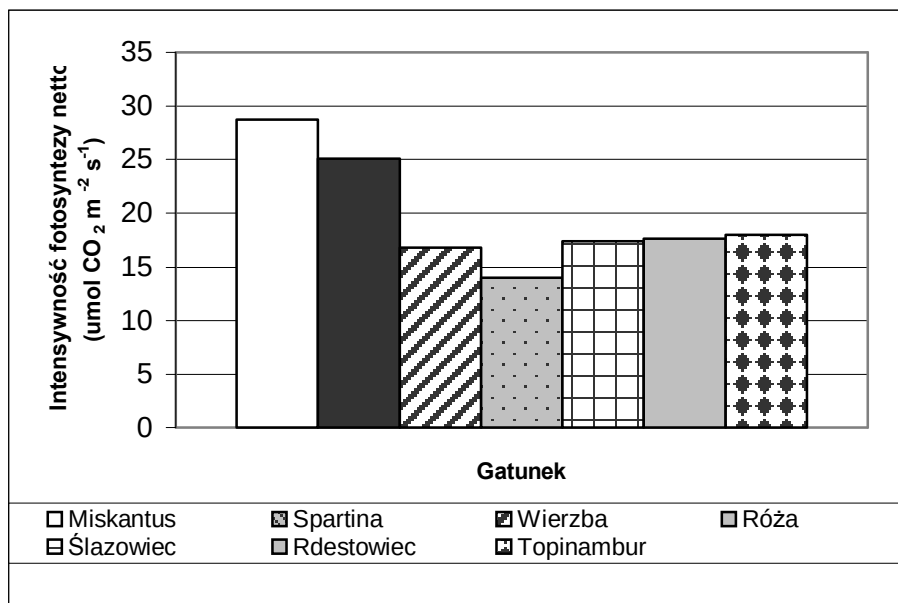


Rys. 3. Zmiany wskaźnika powierzchni ładu (LAI) w czasie wegetacji roślin
(średnie z 15 powtórzeń)

Źródło: Chołuj D., Podlaski S. i in., dane niepublikowane.

4). Rośliny o cyklu fotosyntezy C_4 potencjalnie charakteryzują się dwukrotnie wyższą intensywnością fotosyntezy netto niż rośliny C_3 , ale optymalna temperatura ich fotosyntezy i punkt wysycenia tego procesu przez PAR (fotosyntetycznie aktywne promieniowanie) są także wyższe w porównaniu z roślinami C_3 (38, 39).

Wcześniejsze doświadczenia prowadzone w SGGW (53, 63) wskazują, że maksymalna intensywność fotosyntezy liści miskantusa wynosi około $31\text{--}35 \mu\text{moli CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, a wartości te obserwowano w warunkach polowych, przy natężeniu napromieniowania powyżej $1800 \mu\text{mol PAR} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ i temperaturze około 30°C , w godzinach przedpołudniowych. W badaniach prowadzonych przez Pattona i Jonesa (49) na 4 gatunkach wierzby maksymalna intensywność fotosyntezy (P_n , max) mierzona w warunkach punktu wysycenia świetlnego kształtowała się w granicach $14\text{--}22 \mu\text{moli CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ w zależności od genotypu. Intensywność P_n trzech innych gatunków wierzby osiągała maksymalne wartości w godzinach przedpołudniowych – około 10 rano i wahała się od 11 do $16 \mu\text{moli CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ w zależności od genotypu (34). Zaprezentowane dane innych autorów porównywalne są z wynikami naszych badań, gdzie P_n wyrośniętych liści wierzby konopianki wynosiła ponad $15 \mu\text{moli CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (rys. 4). Intensywność P_n liści słonecznika bulwiastego była liniowo skorelowała z przewodnictwem szparkowym-gs do wartości równej $0,55 \text{ mola H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ($r = 0,91^{**}$), a maksymalna wartość P_n wynosiła około $30 \mu\text{moli CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (43). W naszych badaniach intensywność fotosyntezy netto liści topinambura była dużo niższa, gdyż wynosiła około $18 \mu\text{moli CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (rys. 4). Kay i Nottingham (29) stwierdzają, że potencjalna P_n topinambura jest wyższa niż innych roślin



Rys. 4. Intensywność fotosyntezy netto wyrośniętych liści
(średnie z 4 terminów pomiarów po 10 powtórzeń w każdym terminie)

Źródło: Chołuj D., Podlaski S. i in., dane niepublikowane.

C_3 i zależy od genotypu (zmiennosc w obrębie różnych klonów wynosi ponad 40%), fazy rozwojowej rośliny, a także położenia liści na roślinie. Punkt wysycenia tego procesu przez PAR wynosi dla słonecznika bulwiastego ponad $1700 \mu\text{mol PAR} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (55), a w naszych badaniach natężenie napromieniowania było niższe, dlatego wskaźnik P_n wyrośniętych liści mógł nie osiągnąć potencjalnych wartości.

Udział łodyg w masie części nadziemnej

Ważnym procesem determinującym produktywność rośliny jest również dystrybucja asymilatów z donorów – głównie liści – do organów stanowiących plon rolniczy (20, 57). W przypadku badanych roślin energetycznych plonem rolniczym są łodygi i cieńsze pędy. W naszych badaniach udział suchej masy łodyg w masie całej części nadziemnej rośliny kształtował się na początku wegetacji u większości gatunków na poziomie około 40-50%. W trakcie ontogenezy roślin udział suchej masy łodyg stopniowo wzrastał i pod koniec okresu wegetacji obserwowano znaczną przewagę biomasy łodyg w stosunku do suchej masy liści. Najwięcej biomasy w plonie rolniczym lokowały rośliny wierzby i topinambura – ponad 80%, następnie miskantusa, róży i ślázowca (około 70%), a wyraźnie mniej spartiny i rdestowca (około 60%).

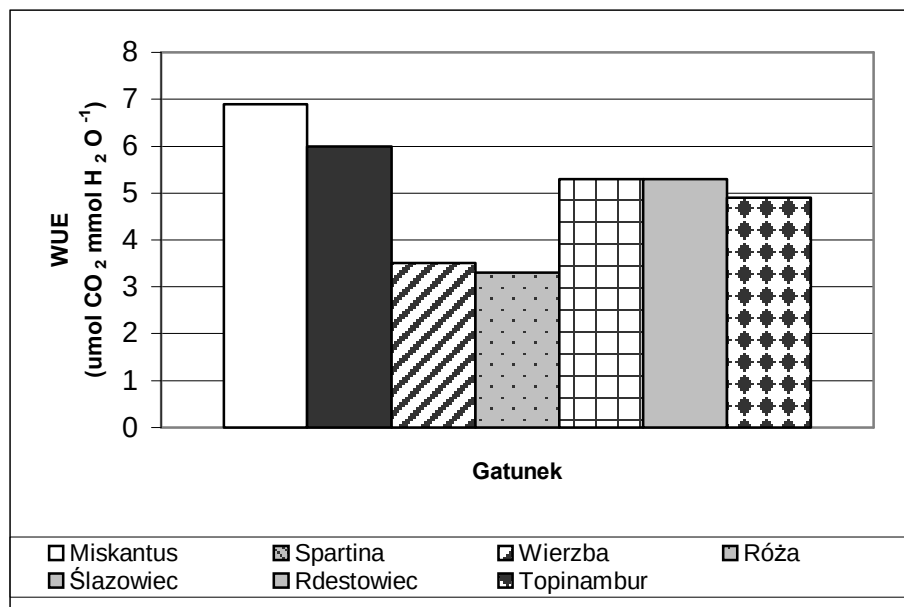
Niewiele jest danych w literaturze dotyczących dystrybucji biomasy w części nadziemnej porównywanych gatunków roślin energetycznych. Na roślinach miskantusa

prowadzono szczegółowe badania wzrostu korzeni, których sucha masa osiągała maksymalne wartości w granicach $11-14 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w zależności od fazy wzrostu rośliny (48), co może stanowić około połowy maksymalnej suchej masy akumulowanej w części nadziemnej (23). Podobnych zależności można się spodziewać w przypadku innej trawy typu C_4 – spartiny preriowej. Rośliny topinambura pomiędzy 8 a 18 tygodniem wegetacji akumulują 60-80% suchej masy w części nadziemnej, głównie w łodygach, cieńszych pędach i ogonkach liściowych (43). Po 20 tygodniu następuje remobilizacja asymilatów, sucha masa blaszek liściowych i pędów obniża się, a podwyższa się udział rizomów i bulw. Udział bulw w masie całej rośliny pod koniec wegetacji, około 30 tygodni po wysadzeniu bulw matecznych, może wynieść nawet 70%. Jednocześnie około $7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ biomasy jest akumulowane w innych organach niż bulwy (43).

Wymagania wodne i tolerancja na suszę

Jednym z istotnych czynników zewnętrznych ograniczających akumulację biomasy roślin jest niedobór wody w podłożu i często wiążący się z tym stres suszy. Czynniki te nie tylko modyfikują intensywność fotosyntezy czy oddychania, ale przede wszystkim wpływają na intensywność transpiracji. W prowadzonych badaniach rośliny były nawadniane, czyli w miarę optymalnie zaopatrzone w wodę, ale liście poszczególnych gatunków transpirowały z istotnie różną intensywnością. W trakcie całej ontogenezy najwyższą intensywnością transpiracji (E) charakteryzowały się liście spartiny i wierzby, około $6 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ i miskantusa – $4,5 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, natomiast najslabiej, nieco powyżej $3 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ transpirowały liście bylin dwuliściennych – rdestowca, ślázowca i topinambura. W badaniach F o t i i in. (17) intensywność transpiracji liści miskantusa olbrzymiego zależała od dostępności wody w glebie i kształtowała się około $3 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ przy skrajnym deficycie wody oraz około 10 przy optymalnym zaopatrzeniu roślin w wodę. Intensywność transpiracji liści wierzby osiąga maksymalne wartości pomiędzy godziną 10 a 12 i jest zróżnicowana genotypowo – E trzech gatunków wierzby wynosiło $3-6 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (37). Podobną (około $6 \text{ mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) intensywność transpiracji wyrosniętych liści wierzby konopianki obserwowano w naszych badaniach.

Współczynnik wykorzystania wody (WUE), obliczany jako stosunek intensywności fotosyntezy netto do intensywności transpiracji, świadczy o efektywności asymilacji CO_2 w przeliczeniu na jednostkę wytranspirowanej wody (rys. 5). W naszych badaniach, średnio przez cały okres wegetacji, najwyższym WUE, około $6-7 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$, charakteryzowały się liście traw cyklu C_4 , średnim ($5 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol H}_2\text{O}^{-1}$) byliny dwuliściennne, a prawie dwukrotnie niższym rośliny wierzby i róży (rys. 5). WUE traw o cyklu fotosyntezy C_4 , jak obserwowano w prezentowanym doświadczeniu, zwykle jest nawet dwukrotnie wyższe niż roślin C_3 (38, 56). Współczynnik wykorzystania wody młodych roślin miskantusa olbrzymiego, obliczany na podstawie stosunku suchej masy łodyg do wielkości transpiracji, w przeliczeniu na roślinę, wynosił w badaniach wazonowych około $2 \text{ g s.m.} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$, a przeliczany na



Rys. 5. Współczynnik wykorzystania wody (WUE) wyrośniętych liści wyliczony jako stosunek intensywności fotosyntezy netto do transpiracji (średnie z 4 terminów pomiarów po 10 powtórzeń w każdym pomiarze)

Źródło: Chołuj D., Podlaski S. i in., dane niepublikowane.

suchą masę całej rośliny wynosił około 13 g s.m. · kg⁻¹ H₂O i nie zależał od stopnia zaopatrzenia roślin w wodę (13). W badaniach polowych prowadzonych na 5-letnich roślinach wskaźnik WUE obliczony dla samych łodyg wynosił 7,8 g s.m. · kg⁻¹ H₂O (5). Według B e a l e i L o n g a (4) rośliny miskantusa na wyprodukowanie 15 t suchej masy z ha zużywają w ciągu roku 450 mm wody. Korzenie miskantusa są w stanie pobierać wodę z gleby z głębokości 2 m. Należy również zauważyć, że miskantus, jak i inne rośliny energetyczne tworzące zwarty łan zatrzymują około 20-30% opadów na liściach i woda ta nigdy nie dochodzi do gleby. Ocenia się, że na każdy 1 mm deficytu wody w glebie plon biomasy miskantusa obniża się o 90 kg (12). C l i f t o n - B r o w n i L e w a n d o w s k i (13) obserwowali pod wpływem niedoboru wody w podłożu znaczne obniżenie akumulacji biomasy w części podziemnej (korzenie i rizomy) i nadziemnej roślin trzech gatunków miskantusa. Stosunek suchej masy części nadziemnej do podziemnej zmieniał się u miskantusa olbrzymiego w niewielkim stopniu, od 0,19 do 0,22 w miarę pogłębiania się suszy, gdy zawartość wody w glebie w czasie 30 dni wegetacji obniżała się od 18 do 6% (13).

WUE wierzby podlega rytmice dobowej, najwyższe wartości osiąga około godziny 10 rano i jest cechą genotypową (37). W badaniach L i u i in. (37) zróżnicowanie wartościami WUE liści trzech gatunków wierzby wynosiło od 2 do 8 μmol CO₂ · mmol H₂O⁻¹. Wierzba jest gatunkiem wymagającym do bujnego wzrostu ponad

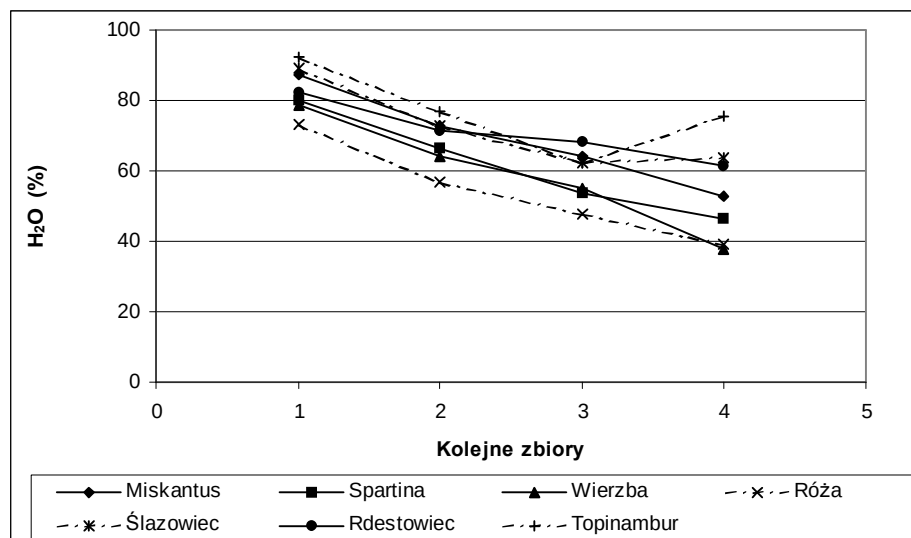
500 mm opadów rocznie, a susza może spowodować spadek plonowania nawet o 50%. Według C o n d e i in. (14) słonecznik bulwiasty jest to roślina stosunkowo tolerancyjna na niedobory wody, a jego współczynnik wykorzystania wody kształtuje w granicach 1,1-1,9 g suchej masy na kg wytranspirowanej wody.

W naszych badaniach wewnętrzny współczynnik wykorzystania wody (WUE_i), czyli stosunek intensywności fotosyntezy netto do wartości przewodnictwa szparkowego, był także zdecydowanie najwyższy w liściach miskantusa i spartiny; wynosił odpowiednio 140 i 130 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$, co świadczy o bardzo sprawniej fotosyntezie przeliczonej na jednostkę otwarcia aparatów szparkowych. U pozostałych gatunków obserwowano zbliżone wartości tego współczynnika – 60 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$, czyli prawie o 50% niższe w porównaniu z trawami. Wśród czterech gatunków wierzby *Salix viminalis* charakteryzowała się najwyższymi wartościami P_n , max, ale także wysokimi wartościami wewnętrznego współczynnika wykorzystania wody (WUE_i), ze względu na niewielki stopień otwarcia szparek przy stosunkowo intensywnej fotosyntezie (49).

W suchym 2006 roku jedynie rdestowiec sachaliński nie wykazał żadnej reakcji na niedobór wody. Największy spadek plonu biomasy na poletkach bez nawadniania, w porównywanych z nawadnianymi, wystąpił w przypadku: wierzby – 50%, miskantusa – 34%, róży i spartiny – 28% oraz ślazu – 13%. Dane te wskazują, że prawdopodobnie najbardziej przydatny do uprawy na glebach słabych, charakteryzujących się deficytem wody, może być rdestowiec sachaliński. Trzeba jednak pamiętać o niskich plonach tej rośliny, sięgających 7 t · ha⁻¹ suchej masy.

Wysychanie roślin w okresie jesieni i zimy

Biomasa roślin energetycznych w czasie zbioru powinna zawierać jak najmniej wody, co znacznie zmniejsza koszty dosuszania i transportu. W naszych badaniach, w trakcie ontogenezy u większości badanych gatunków obserwowano stopniowe zmniejszanie się zawartości wody w łodygach (rys. 6). Pod koniec wegetacji, we wrześniu, najniższą zawartość wody – około 40% – stwierdzono w łodygach wierzby i róży, następnie w łodygach traw C_4 – około 50%, zaś najwyższą u bylin dwuliściennych – około 60-70 %. Zawartość wody w plonie biomasy zmieniała się jednak bardzo istotnie w okresie zimy (tab. 1). Wczesną wiosną zawartość wody w plonie wierzby i róży wynosiła około 40%, spartiny – 20% oraz miskantusa, ślazu i rdestowca – 10%. Rośliny topinambura zbierano późną jesienią, gdyż zagrożone one są wyleganiem w przypadku intensywnych opadów śniegu, a zawartość wody w łodygach w momencie zbioru wynosiła około 40%. W badaniach J e ż o w s k i e g o (28) przy zimowym terminie zbioru łodygi miskantusa miały wilgotność około 20%, a wierzby 40%. Podobnie jak w naszych badaniach A n t e c k a (2) obserwowała, że biomasa róży w momencie zbioru zawiera ponad 40% wody. Biomasa ślazu zbierana jesienią, w końcu wegetacji może zawierać ponad 40% wody, zaś przy zbiorach zimowych zawartość wody znacznie obniża się, nawet do 20% (8). Z porównawczych



Rys. 6. Zmiany zawartości wody w łodygach w czasie wegetacji roślin (średnie z 5 powtórzeń)
 Źródło: Chołuj D., Podlaski S. i in., dane niepublikowane.

Tabela 1

Zawartość wody w biomase (%) w czasie końcowego zbioru

Gatunek	Zawartość wody w czasie zbioru (%)
Miskantus	8,32
Spartina	21,11
Wierzba	46,28
Róża	39,22
Ślázowiec	10,50
Rdestowiec	12,58
Topinambur	38,67

Źródło: Chołuj D., Podlaski S. i in., dane niepublikowane.

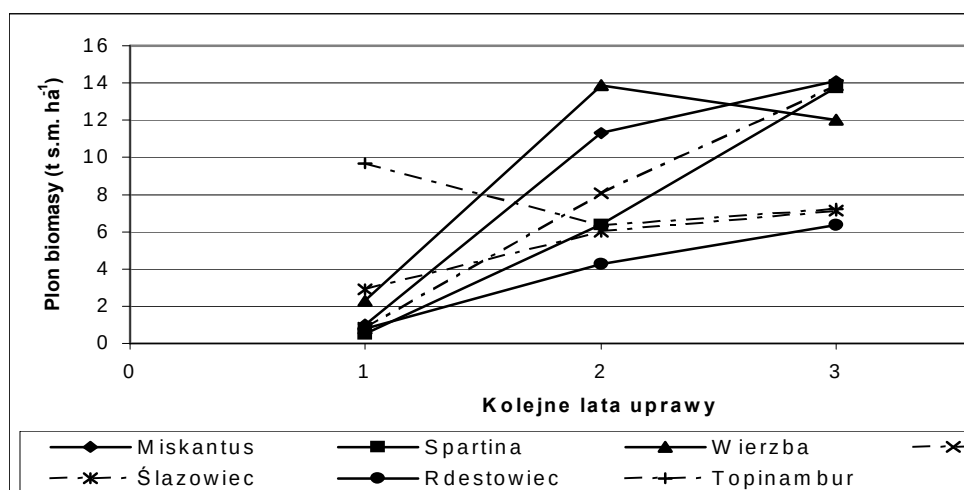
badan B o r k o w s k i e j (6) wynika, że bez względu na termin zbioru biomasa wierzby w połowie składa się z wody, zaś masa ślázowca zbieranego zimą zawiera o połowę mniej wody, co potwierdzają również wyniki naszych badań (rys. 6; tab. 1). Według J a b ł o ŋ s k i e g o (25) pędy rdestowca zbierane jesienią lub zimą nie wymagają dosuszania, gdyż zawierają 32-36% wody.

Plon biomasy

Na rysunku 7 przedstawiono dynamikę zmian plonowania porównywanych gatunków roślin w kolejnych latach uprawy. W pierwszym roku wegetacji plon suchej masy był zbliżony u większości gatunków i kształtował się w granicach od 1 do 3 ton na ha, a tylko topinambura w granicach 10 t · ha⁻¹ (rys. 7). W kolejnym roku obserwowano

wyraźny wzrost plonowania w porównaniu z pierwszym rokiem u większości gatunków z wyjątkiem topinambura, gdzie stwierdzono obniżenie plonu biomasy prawie o $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. W drugim roku uprawy najwyższe plony biomasy, powyżej $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, uzyskano z wierzby i miskantusa, 6-8 ton ze spartiny, róży i ślazuwca, a tylko nieco powyżej $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ z rdestowa. W trzecim roku uprawy plon wierzby był niższy w porównaniu z osiągniętym w drugim roku wegetacji, a topinambura kształtował się na zbliżonym poziomie (rys. 7). Najwyższe plony suchej masy w trzecim roku uprawy – 14 ton na ha – stwierdzono w przypadku miskantusa, spartiny i róży, nieco niższe ($12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) u wierzby i najniższe ($6-7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) u bylin dwuliściennych. Sumaryczne plony za okres trzech lat (2005–2007) były zbliżone w przypadku miskantusa i wierzby, odpowiednio 26 i 28 ton z ha, nieco niższe, około 20 ton, u spartiny, róży i topinambura oraz najniższe u ślazuwca – 16 t i rdestowca – 11 t (tab. 2).

W doświadczeniu polowym przeprowadzonym w Pizie we Włoszech w latach 1992–1995 plon suchej masy łodyg miskantusa olbrzymiego wynosił $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w pierwszym roku uprawy i $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w kolejnych latach badań (16). W drugim roku uprawy plony biomasy miskantusa wahały się od 10 do $7,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w zależności od terminu zbioru – wrzesień do lutego (54). Podobnie w trzecim roku, przy zbiorze w październiku plon łodyg wynosił 23,4, a przy marcowym $20,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (52). Miskantus pełnię plonowania osiąga w 3-5 roku uprawy (36). W centralnej i północnej Europie, gdzie całkowita radiacja i średnie temperatury roczne są prawie dwukrotnie niższe (ok. $3500-3900 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ i $7-8^\circ\text{C}$) niż w krajach Europy południowej oraz krótszy jest okres wegetacji, przeciętne plony miskantusa wynoszą $10-25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (34, 36). Spartina preriowa, podobnie jak miskantus, osiąga pełnię plonowania w 3-5 roku wegetacji, a potencjalne plony waha się od 17 do 29 t suchej masy z ha (31, 32).



Rys. 7. Plon suchej masy części nadziemnej w trzech kolejnych latach uprawy (2005–2007)

Źródło: Chołuj D., Podlaski S. i in., dane niepublikowane.

Tabela 2

Sumaryczny plon po trzech pierwszych latach uprawy (2005–2007)

Gatunek	Sumaryczny plon z 3 lat uprawy (t s.m. · ha ⁻¹)
Miskantus	26,4
Spartina	20,6
Wierzba	28,1
Róża	22,7
Ślazier	16,0
Rdestowiec	11,4
Topinambur	23,2

Źródło: Chołuj D., Podlaski S. i in., dane niepublikowane.

Z badań przeprowadzonych w Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w latach 1997–2001 wynika, iż wzrost gęstości sadzenia wierzby z 20 do 40 tys. szt. na ha zwiększał istotnie plon suchej masy z 16 do 18,7 t · ha⁻¹ · rok⁻¹ (61). Przy dalszym wzroście zagęszczenia do 60 tys. roślin na ha odnotowano dalszy wzrost plonu (do 19,4 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹), lecz nie był on udowodniony statystycznie. Tendencję do wyższego plonowania wierzby obserwowano w piątym i szóstym roku jej uprawy (62). Najwyższe plony suchej masy drewna wierzbowego uzyskiwano na glebach organicznych (mułowo-murszowych) przy zastosowaniu nawożenia mineralnego (N : P : K – 40 : 60 : 80 t · ha⁻¹) w trzyletnim cyklu zbioru – 18,4 t · ha⁻¹ · rok⁻¹ (58). W badaniach A d e g b i d i i in. (1), gdzie jednym z czynników była gęstość sadzenia, stwierdzono również, że najwyższe plony uzyskiwano przy zagęszczeniu 37 tys. roślin · ha⁻¹. Zastosowano tam dużą rozpiętość gęstości sadzenia (15; 37; 107 tys. roślin · ha⁻¹ *Salix* spp.), a rośliny pozyskiwano w trzech cyklach zbioru (co rok, co dwa i co trzy lata). Średnia roczna produkcja biomasy w zależności od klonu, nawożenia i nawadniania wynosiła od 2,5 do 21,5 t s.m. · ha⁻¹ · rok⁻¹. W przypadku róży bezkolcowej odmiany Jatar maksymalny plon wynosi ok. 10–15 t · ha⁻¹ biomasy w 4–5 roku wegetacji (2, 25). Po drugim roku uprawy plony ślazierki pensylwańskiej według B o r - k o w s k i e j i S t y k a (8) wynosiły 13 t · ha⁻¹ i były tylko o 1,5 t · ha⁻¹ niższe niż plony biomasy wierzby. Ślazier uprawiany na osadach ściekowych wydał plon ponad 11 t · ha⁻¹, zaś na glebie mineralnej kl. III – 17,8 t · ha⁻¹. W warunkach obydwu siedlisk wyższe plony uzyskiwano z rozmnożeń wegetatywnych, w porównaniu z wysiewem nasion do gruntu (7). W przypadku roślin rdestowca sachalińskiego najwyższe plony uzyskuje się po 3–4 roku uprawy i wynoszą one w warunkach południowej i centralnej Europy 20–40 t · ha⁻¹ świeżej masy przy zawartości wody około 32–36% (9, 42), co w przeliczeniu na suchą masę waha się pomiędzy 15 a 30 t · ha⁻¹. Według K a y s i N o - t t i n g h a m (29) plony suchej masy części nadziemnej słonecznika bulwiastego wahają się od 4 do 30 t · ha⁻¹ w zależności od genotypu, warunków klimatycznych (fotosyntetycznie czynnej radiacji, temperatury, opadów), rodzaju gleby i wieku plantacji. Całkowita sucha masa, łącznie z bulwami, wynosi od 6–9 t · ha⁻¹ w warunkach

niekorzystnych do $20\text{--}30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ w warunkach zbliżonych do optymalnych. Przeciętna sucha masa bulw kształtuje się na poziomie $4\text{--}15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (29).

Parametry jakościowe biomasy wykorzystywanej do spalania

W literaturze naukowej niewiele jest danych dotyczących jakości biomasy, a dodatkowo wyniki są dość rozbieżne, co może wynikać ze specyficznych interakcji środowiska i genotypu (47). Niska jakość biomasy może w istotny sposób obniżać ilość energii uzyskiwanej z roślin energetycznych w wyniku obniżenia wartości opałowej oraz gorszej wydajności pracy maszyn i urządzeń grzewczych. Stwierdzono, że wartość opałowa jest ujemnie skorelowana z zawartością popiołu. Zwiększeniu zawartości popiołu o 1% towarzyszy zmniejszenie wartości opałowej o $0,2 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (11). Ponadto popioły i składniki nieorganiczne, głównie o charakterze alkalicznym, mogą stać się przyczyną wielu problemów związanych z prawidłowym funkcjonowaniem kotłów. Przyczyną pogorszenia efektywności spalania biomasy jest żużlowanie, osadzanie popiołów i korozja. Stopień żużlowania, osadzania popiołów i korozji jest ściśle zależny od zawartości składników mineralnych w spalanej biomase (26). Jest więc oczywiste, że efektywność spalania biomasy zależy od jej właściwości (15, 63). W związku z tym ocena składu chemicznego biomasy jest niezbędna do wyboru technologii jej przetwarzania, a także opracowania niezbędnych modyfikacji urządzeń i instalacji do jej spalania. Dobrze znany jest fakt, że podczas spalania biomasy lotne składniki, takie jak siarka i chlor mogą kondensować w formie różnych związków chemicznych, które w wysokiej temperaturze i w obecności potasu oraz krzemu tworzą lepkie osady na częściach grzewczych kotłów. Potas stanowi około 1% suchej masy roślin energetycznych i prawie cała jego ilość uwalnia się w postaci gazowej w czasie spalania. Krzem w obecności potasu i wapnia łatwo tworzy krzemiany o odczynie zasadowym. Fosfor z kolei zwiększa zdolność biomasy do żużlowania powierzchni komór paleniskowych.

Ze względu na wpływ na żużlowanie powierzchni komór paleniskowych stosunek pomiędzy zawartością K, Ca i Si powinien być brany pod uwagę w ocenie jakości paliw. Reumermann i Vande Berg (50) stwierdzili, że biomasa miskantusa ma wysoki stosunek Si/K i Ca/K, co wpływa na niską zdolność do żużlowania. Nie ulega wątpliwości, że biomasa charakteryzująca się wysoką zawartością Si i Ca, a niską K dobrze nadaje się do spalania. Ponadto biomasa jest bogata w chlorki, które reagują z K powodując osadzanie osadów na powierzchniach konwekcyjnych. Dodatkowo chlorki stanowią główną przyczynę korozji występującej na powierzchni wymienników ciepła i rur grzewczych (3).

Można przypuszczać, że rośliny energetyczne charakteryzują się silnym współdziałaniem środowisko $\times$ genotyp. Współdziałanie to wpływa na zawartość popiołu i składników mineralnych, włókna, cukrów fermentujących oraz wartość opałową. Tezę tę potwierdziły badania Caslera i Boe (10), którzy wykazali, że odmiany prosa różgowatego w zależności od miejsca uprawy i terminu zbioru znacznie różnią się przydatnością biomasy do spalania, gazyfikacji czy przerobu na paliwa płynne.

Liście wielu roślin energetycznych charakteryzują się większą zawartością popiołu niż organy reprodukcyjne i pędy. W związku z tym zmiana terminu zbioru może w istotny sposób wpłynąć na jakość biomasy. Badania Mont i in. (47) wykazały, że liście 6 gatunków roślin energetycznych (4 trawy wieloletnie + 2 gatunki sorga) zawsze charakteryzowały się najwyższą zawartością popiołu, prawie dwukrotnie wyższą w porównaniu z pędami i o 50% wyższą niż w częściach reprodukcyjnych (wiechy sorga). W liściach stwierdzono najwyższą koncentrację Al i Fe oraz wspólnie z wiechami sorga najwyższą zawartość N, Ca, Mg, S i Si.

Analizując zależność pomiędzy terminem zbioru, wielkością plonu i jakością biomasy należy pamiętać, że zależy ona od gatunku rośliny. W przypadku rdestowca liście stanowią 40% biomasy (Chołuj i Podlaski – dane niepublikowane), dla sorga 20% (44), podczas gdy dla prosa różgowatego straty w wyniku opadania liści sięgają tylko kilku procent.

Oprócz utraty liści w trakcie wegetacji roślin zachodzi proces translokacji składników mineralnych z pędów do rizomów, co w istotny sposób poprawia jakość zebranej biomasy. Badania Lewandowskiego i Kircherera (35) wykazały, że zastosowanie nawozów potasowych na plantacjach miskantusa zwiększyło zawartość popiołu i potasu w biomacie. Zbiór miskantusa w lutym zamiast w grudniu poprawił jakość biomasy i obniżył zawartość chloru, potasu i popiołu w wyniku opadania liści i wymycia części składników.

Podsumowanie

Ocena cech biologicznych roślin energetycznych pod kątem ich przydatności do produkcji energii jest bardzo trudna na obecnym etapie wiedzy. Wynika to z dużej interakcji genotypu i środowiska, jaki jest typowy dla wielu słabo udomowionych roślin. Prawdopodobnie w przeciętnych polskich warunkach agroklimatycznych (gleba klasy IIIa, kompleks przydatności rolniczej – pszenno-dobry) trawy C-4, takie jak miskantus czy spartina mogą okazać się lepsze niż rośliny C-3, np. wierzba lub róża. Trudno jednoznacznie określić przydatność biomasy różnych gatunków roślin do spalania. Spowodowane jest to ujemną korelacją, jaka zachodzi pomiędzy zmniejszaniem się plonu biomasy w okresie jesieni i zimy a poprawą jej jakości w wyniku opadania liści oraz wymywania części składników z pędów oraz ich translokacji do części podziemnej roślin. W związku z tym warunki wzrostu roślin, termin ich zbioru oraz pogoda w czasie zimy w istotny sposób mogą wpływać na jakość biomasy.

Literatura

1. Adegbi H. G., Volk T. A., White E. H., Adrahamsen L. P., Briggs R. B., Bickelhaupt D. H.: Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. *Biomass & Bioenergy*, 2001, **20**: 6.
2. Antek A.: Nie tylko wierzba – w róży też znajdziemy energię. *Czysta Energia*, 2004, **5**: 23.
3. Baxter L. I., Miles T. R., Miules Jr. T. R., Jenkins B. M., Oden L. L.: The behavior

- of inorganic material in biomass fired power boilers: field and laboratory experiences. *Fuel Process. Technol.*, 1998, **54**: 47-78.
4. Beale C. V., Long S. P.: Seasonal dynamics of nutrient accumulation and partitioning in the perennial C₄-grass *Miscanthus x giganteus* and *Spartina cynosuroides*. *Biomass & Bioenergy*, 1997, **12**: 419-428.
5. Beale C. V., Morison J. I. L., Long S. P.: Water use efficiency of C-4 perennial grasses in a temperate climate. *Agricult. Forest Meteorology*, 1999, **96**: 103-115.
6. Borkowska H.: Zmiany zawartości suchej masy w plonie biomasy wierzby krzewiastej (wikliny) i ślazuwca pensylwańskiego w zależności od terminu zbioru. *Ann. UMCS, sec. E*, 2005, **60**: 155-161.
7. Borkowska H., Styk B.: Ślazuwec pensylwański – cenny gatunek energetyczny. *Czysta Energia*, 2003, **9**: 23-13.
8. Borkowska H., Styk B.: Ślazuwec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby). Uprawa i wykorzystanie. Wyd. II popr. i uzupełnione. AR Lublin, 2006.
9. Budzyński W., Bielski S.: Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego. Cz. II. Biomasa jako paliwa stałe. *Asta Sci. Pol., Agricultura*, **2004**, **3(2)**: 15-26.
10. Casler M. D., Boe A. R.: Cultivar x environment interactions in switchgrass. *Crop Sci.*, 2003, **43**: 2226-2233.
11. Cassida A., Muir J. P., Hussey M. A., Read J. C., Venuto B. C., Ocampo-ugh W. R.: Biofuel component concentration and yield of switchgrass in south central US environments. *Crop Sci.*, 2005, **45**: 682-92.
12. Christou M.: Growth and productivity of *Miscanthus* under three irrigation levels in Southern Europe (Greece and Italy). *European Miscanthus Productivity Network*, 1999, 1-5
13. Clifton-Brown J. C., Lewandowski I.: Water use efficiency and biomass partitioning of three different *Miscanthus* genotypes with limited and unlimited water supply. *Ann. Botany* **2000**, **86**: 191-200.
14. Conde J. R., Tonatio J. L., Rodriguez-Maribona B., Lansac R., Ayerbe L.: Tuber yield of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in relation to water stress. *Biomass & Bioenergy*, **1991**, **1**: 137-142.
15. Demirbas A.: Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in energy and combustion science*, 2004, Doi:10.1016/j.pecs.2003.10.004.
16. Ercoli L., Mariotti M., Masoni A., Bonari E.: Effect of irrigation fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of *Miscanthus*. *Field Crops Res.*, 1999, **63**: 3-11.
17. Foti S., Cosentino S. L., Patane C., Copani V., Sanzone E.: Plants indicators of available soil water in the perennial herbaceous crop *Miscanthus x giganteus* Greef et Deu. *Agronomie*, **2003**, **23**: 29-36.
18. Grzesiuk S.: Plon i plonowanie. W: *Fizjologia plonowania roślin*. Red. R. Górecki i S. Grzesiuk. UWM Olsztyn, 2002, 13-26.
19. Grzesiuk S.: Fizjologiczna asymilacja węgla (CO₂), wody i światła w tworzeniu plonów. W: *Fizjologia plonowania roślin*. Red. R. Górecki i S. Grzesiuk. UWM Olsztyn, 2002, 160-185.
20. Heaton E., Clifton-Brown J., Voigt T., Jones M. B., Long S. P.: Biomass crops as a source of renewable energy: European experience with *Miscanthus* and projections for Illinois. *International Conference on Climate Change and Environmental Policy*. Illinois at Urbana-Champaign, November 11-12. 2002.
21. Hallam A., Anderson I. C., Buxton D. R.: Comparative economic analysis of perennial, annual and intercrops for biomass production. *Biomass & Bioenergy*, 2001, **21(6)**: 407-424.
22. Heckathorn E. H., Delucia S. A.: Retranslocation of shoot nitrogen to rhizomes and roots in prairie grasses may limit loss of N to grazing and fire during drought. *Funct. Ecology*, 1996, **10**: 396-400.
23. Himken M., Lammel J., Neukirchen D., Czipionka-Krause U., Olf H. W.: Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant Soil*, 1997, **189**: 117-126.

24. Jabłoński R.: Ciepło pachnące różą. *Agroenergetyka*, 2003, **3(9)**: 30.
25. Jabłoński R.: Rośliny energetyczne – wyniki badań energetyczności. *Czysta Energia*, 2004, **10(36)**: 33-34.
26. Jenkins B. M., Baxter L. L., Miles Jr. T. R., Miles T. R.: Combustion properties of biomass. *Fuel Processing Technology*, 1998, **54**: 17-46.
27. Jensen N.: Prairie cordgrass (*Spartina pectinata*). Plant Guide. Plant Materials Center, Bismarck, North Dakota, USDA-NRC, 2004, 4.
28. Jeżowski S.: Energia w trawie. *Czysta Energia*, 2004, **5(33)**: 15.
29. Kays S. J., Nottingham S. F.: Biology and chemistry of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, **2008**.
30. Kosaric N., Cosentino G. P., Wieczorek A., Duvnjak Z.: The Jerusalem artichoke as an agricultural crop. *Biomass*, 1984, **5**: 1-36.
31. Kościk B., Kowalczyk-Juśko A., Kościk K.: Plantacje energetyczne traw wieloletnich. *Wiś Jutra*, 2004, **3**: 56-57.
32. Kowalczyk-Juśko A., Kościk B.: Technologia uprawy i wykorzystanie na cele energetyczne wybranych gatunków traw wieloletnich. *Mat. Konf.: „Nowe aspekty hodowli i technologii uprawy buraka cukrowego oraz traw na cele energetyczne”*. Bydgoszcz, 2004, 18.
33. Kuś J.: Produkcja biomasy na cele energetyczne (możliwości i ograniczenia). *Biul. Inf. Lubelskiego Oddz. PAN*, 2002, **7**.
34. Lewandowski I., Clifton-Brown J. C., Scurlock J. M. O., Huismann W.: *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass & Bioenergy*, 2000, **19**: 209-227.
35. Lewandowski I., Kicherer A.: Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus x giganteus*. *Europ. J. Agron.*, 1997, **6**: 163-167.
36. Lewandowski I., Scurlock J. M., Lindvall E., Christou M.: The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass & Bioenergy*, 2003, **25**: 335-361.
37. Liu M. Z., Jiang G. M., Li Y. G., Gao L. M., Niu S. L., Cui H. X., Ding L.: Gas exchange, photochemical efficiency, and leaf water potential in three *Salix* species. *Photosynthetica*, 2003, **41**: 393-398.
38. Long S. P.: C₄ photosynthesis at low temperature. *Plant Cell Environ.*, 1983, **6**: 345-363.
39. Łoboda T.: Ekologiczne uwarunkowania fotosyntetycznej produktywności agrobiocenoz. W: *Fizjologia plonowania roślin*. Red. R. Górecki i S. Grzesiuk. UWM Olsztyn, 2002, 186-220.
40. Majtkowski W.: Potencjał upraw energetycznych. *Mat. Semin. pt. „Badania właściwości i standaryzacji biopaliw stałych”*. Warszawa, 2003.
41. Majtkowski W.: Rośliny energetyczne – przegląd. *Czysta Energia*, 2003, **10**: 33-34.
42. Majtkowski W., Podyma W., Góral S.: Gatunki roślin do rekultywacji terenów zdegradowanych przez przemysł i gospodarkę komunalną. W: *Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii*. SGGW Warszawa, 1996, 136-148.
43. McLaurin W. J., Kays S. J.: Substantial leaf shedding: a consistent phenomenon among high-yielding sweet potato cultivars. *Hort. Sci.*, 1993, **28**: 826-827.
44. McLaurin W. J., Somda Z. C., Kays S. J.: Jerusalem artichoke growth, development, and field storage. I. Numerical assessment of plant development and dry matter acquisition and allocation. *J. Plant Nutrition*, 1999, **22**: 1303-1313.
45. McLaughlin S. B., Walsh M. E.: Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. *Biomass & Bioenergy*, 1998, **14**: 317-324.
46. Monti A., Amaducci M. T., Venturi G.: Growth response, leaf gas exchange and fructans accumulation of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as affected by different water regimes. *Europ. J. Agron.*, 2005, **23**: 136-145.
47. Monti A., di Virgilio N., Venturi G.: Mineral composition and ash content of six major energy crops. *Biomass & Bioenergy*, 2008, **32**: 216-223.

48. Neukirchen D., Himken M., Lammel J., Czipionka-Krause U., Ols H. W.: Spatial and temporal distribution of root system and root nutrient content of an established *Miscanthus* crop. *Europ. J. Agron.*, 1999, **11**: 301-309.
49. Patton L., Jones M. B.: Some relationships between leaf anatomy and photosynthetic characteristics of willow. *New Phytologist*, 1989, **111**: 657-661.
50. Reumerman P. J., Van der Berg D.: Reduction of fouling slagging and corrosion characteristics of miscanthus. EC contract FAIR 98-3571. 2002.
51. Rogulska M.: Energy crops production in Poland. In: Alternative crops for sustainable agriculture. Workshop, Turku, Finland, Cost 814: Crop development for the cool and wet regions of Europe. European Commission, 1999, **EUR 19227**, 156-162.
52. Roszewski R.: Miskant olbrzymi – *Miscanthus sinensis x giganteus*. W: Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii. SGGW Warszawa, 1996, 122-135.
53. Salwowska M.: Wzrost i rozwój miskantusa olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu) powstałych z nasadzenia kłaczy jesiennych i wiosennych. Praca magisterska wykonana w Katedrze Fizjologii Roślin, SGGW Warszawa, 2002.
54. Schwarzh H., Liebhard P.: Fertilization effects on production of *Miscanthus sinensis giganteus*. W: Mat. 8 E.C. Konf.: Biomass for energy environment and industry. Wiedeń, Austria, 1994, 412-420.
55. Soja G., Hauland E.: Leaf gas exchange and tuber field in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) cultivars. *Field Crop Res.*, 1991, **26**: 41-252.
56. Stanhill G.: Water use efficiency. *Adv. Agron.*, 1986, **39**: 53-85.
57. Starck Z.: Transport i dystrybucja substancji pokarmowych a wytwarzanie plonu rolniczego. W: Fizjologia plonowania roślin. Red. R. Górecki i S. Grzesiuk. UWM Olsztyn, 2002, 282-312.
58. Stolarski M. J.: Produktowność i pozyskiwanie biomasy wierzby energetycznej. *Czysta Energia*, 2004, **10(36)**: 30-31.
59. Swanton C. J.: Ecological aspects of growth and development of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). Ph.D. thesis, University Western Ontario, London, Ontario, 1986, 181.
60. Tayot X., Chartier M., Varlet-Grancher C., Lemaire G.: Potential above-ground dry matter production of *Miscanthus* in North-center France compared to sweet sorghum. In: Biomass for energy environment and industry. Mat. 8 E.C. Konf. Wiedeń, Austria, 1994, 556-564.
61. Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M.: Produktowność i wartość energetyczna wierzby. *Czysta Energia*, 2005, **9(49)**: 17-19.
62. Venturi P., Venturi C.: Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass & Bioenergy*, 2003, 235-255.
63. Waryło B.: Wpływ pokroju i masy rizomów na wzrost, rozwój i plonowanie roślin miskanta olbrzymiego (*Miscanthus x giganteus* Greef et Deu). Praca magisterska wykonana w Katedrze Fizjologii Roślin, SGGW, 2003.
64. www.ibiblio.org. *Rosa multiflora*. A plants for a future. Database search results.

Adres do korespondencji:

dr Danuta Choluj
Wydział Rolnictwa i Biologii
SGGW
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warszawa
tel. (+48 22) 59 32 535
e-mail: danuta_choluj@sggw.pl

Andrzej Roszkowski

*Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
w Warszawie*

EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA RÓŻNYCH SPOSOBÓW PRODUKCJI I WYKORZYSTANIA BIOMASY

Wstęp

Perspektywa niedoborów energii powstających w wyniku wzrostu poziomu życia określanego poziomem PKB na osobę oraz zwiększenie liczby ludności powoduje, że energetyka staje się głównym obszarem inwestycji w nowe technologie (1, 6, 8, 12). Aktualne prognozy wykazują, że do roku 2050 zużycie energii na świecie podwoi się do poziomu 22 Gt_{oe}, a w samej Europie wzrośnie o blisko 40%. Za najbardziej energochłonny dość powszechnie uważany jest przemysł, tymczasem największe ilości energii zużywają gospodarstwa domowe (>40%) i transport (>30%). Obserwowane istotne zwiększenie ogólnego zapotrzebowania na energię jest wyraźnie uchwytne statystycznie, pomimo zwiększania efektywności energetycznej przez przemysł. Efektywność energetyczna przemysłu, według dostępnych danych dla USA i Japonii, w ostatnich 25-30 latach wzrosła dwukrotnie, a wzrost gospodarczy w USA, szacowany na 150%, spowodował wzrost zużycia ropy tylko o 25% (1, 6, 8). Znakomita większość analiz wykazuje bardzo wysokie prawdopodobieństwo zjawiska dotkliwego braku energii poprzedzonego szczytem jej zużycia. Ten szczyt, często określany „pikiem Hubberta”, wystąpi prawdopodobnie w ciągu najbliższych 20-30 lat (1, 5, 11).

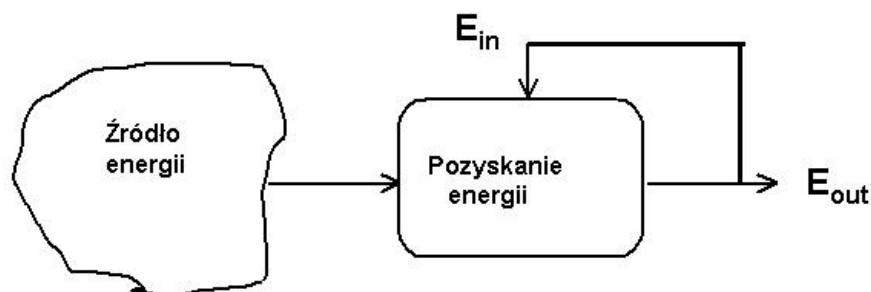
Wszystkie zasoby energetyczne Ziemi są pochodną energii promieniowania słonecznego, przekraczającej kilka tysięcy razy (!) zapotrzebowanie energetyczne świata. Jednak około 29% powierzchni Ziemi to lądy, a tylko około 19% to ziemie przydatne do uprawy, mogące „użytkować” docierającą energię promieniowania słonecznego do wytwarzania biomasy. Wskutek niskiej sprawności procesów fotosyntezy (maksimum 5-6%, średnio około 1%) rzeczywiste wykorzystanie energii słońca docierającej do powierzchni Ziemi nie przekracza ułamka procentu. W wyniku trwania tych procesów przez miliony lat doprowadziły one do powstania zapasów tradycyjnych źródeł energii w postaci węgla, ropy, gazu i materiałów rozszczepialnych. Te energetyczne „zapasy” Ziemi cechują się relatywnie dużą (w porównaniu z biomasą) koncentracją energii w jednostce masy czy objętości. Spodziewane wystąpienie kryzysu energetycznego spowodowało dążenie rozwiniętych gospodarek świata do wykorzystania odnawialnych źródeł energii, a zwłaszcza biomasy, do zastępowania kopalnych

zasobów energetycznych. Unia Europejska, zgodnie z ustaleniami „szczytu” energetycznego z marca 2007 r. i postanowieniami z marca 2008 r., zamierza do 2030 r. uzyskać po 20% energii elektrycznej i paliw transportowych ze źródeł odnawialnych (5, 6, 11). USA w tym samym okresie zamierzają zastąpić 30% ropy naftowej produktami pochodzącymi z biomasy (20% paliw transportowych, 5% energia elektryczna i 25% różnorodne produkty chemiczne (ropopochodne)). Jednakże doświadczenia kilkunastu ubiegłych lat dość jednoznacznie wykazują, że osiągnięcie zakładanych wskaźników zastępowania konwencjonalnych źródeł energii biomasą rolniczą czy leśną będzie niezwykle trudne lub wręcz niemożliwe (6, 9, 11). Najważniejszą przyczyną takich ocen są porównania nakładów energii włożonych (wydatkowanych) do uzyskanych, które w odniesieniu do biomasy i produktów z niej uzyskiwanych w bardzo wielu przypadkach wykazują wielkości ujemne. Jako dodatkowe przyczyny tego stanu wskazywane są ograniczenia powierzchni ziemi nadające się do produkcji biomasy (lasy deszczowe Brazylii, olej palmowy na Borneo) i możliwość wypierania upraw surowców żywnościowych wywołująca potencjalnie ujemne skutki społeczne w makroskali północ-południe i nie tylko (3, 8).

Mierniki efektywności energetycznej

W ocenach „całych” wyrobów zwykle stosuje się metodologię LCA (Life Cycle Assessment – pełny cykl życiowy) obejmującą sumę nakładów ponoszonych w całym cyklu użytkowania danego wyrobu od wytworzenia do utylizacji, z wyliczeniem lub przynajmniej oszacowaniem nakładów energetycznych, ekonomicznych (kosztów) i ekologicznych (usuwanie negatywnych lub uwzględnianie pozytywnych skutków oddziaływania na środowisko). W odniesieniu do biomasy, w porównaniach i ocenach jej przydatności energetycznej (pojmowanej, zgodnie z zasadami fizyki jako suma bezwrotnych strat energii pierwotnej) stosuje się różne metody wskaźnikowe, wykorzystujące stosunki liczbowe nakładów poniesionych do uzyskanych w całym lub częściowym cyklu wytwarzania bądź wytwarzania i użytkowania produktu (wyrobu). Dla ocen produktów o cechach nośników energii (ciepło, energia elektryczna) lub paliw, łącznie z różnymi formami biomasy, zazwyczaj stosuje się wskaźnik EROEI (Energy Returned on Energy Invested – wskaźnik zwrotu energii) tożsamy ze wskaźnikiem EROI (Energy Returned on Investment – wskaźnik zwrotu energii), schematycznie przedstawiony na rysunku 1 (5, 8, 12). Oprócz wskaźnika EROI stosowany jest także wskaźnik energii netto NEV (Net Energy Value), określany jako różnica pomiędzy ilością energii cieplnej uzyskanej w produkcji (wyrobie) a ilością energii cieplnej zużytej na wytworzenie tego produktu ($E_{out} - E_{in}$).

Ciepło jest formą energii, którą można wytwarzać wykonując pracę mechaniczną, a zużywając je można wykonać pracę proporcjonalną do jego ilości. Dlatego za podstawowy miernik ilości energii zazwyczaj przyjmuje się wartość cieplną (nie ciepło spalania!). Jednostką podstawową wartości cieplnej w układzie SI jest J (dżul) i jego wielokrotności oraz jednostki pochodne, takie jak W (Wat). Ze względu na energe-



$$\text{ERoI} \Rightarrow \text{Energy Return on Investment} \\ \text{ERoEI} \Rightarrow \text{Energy Return on Energy Investment} = \frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{in}}}$$

$$\text{NEV} \Rightarrow \text{NET Energy Value} = E_{\text{out}} - E_{\text{in}}$$

$$\text{FER} \Rightarrow \text{Fossil Energy Ratio} = \frac{E_{\text{out}}}{E_{\text{fossil}}}$$

$$\text{FES} \Rightarrow \text{Fossil Energy Savings} = E_{\text{out}} - E_{\text{fossil}}$$

ERoI = (ERoEI) = wskaźnik zwrotu energii

NEV = Net Energy Value = wskaźnik energii netto

FES = (FER) = Fossil Energy Savings = wskaźnik zachowania energii nieodnawialnej

FER = Fossil Energy Ratio = wskaźnik zachowania energii nieodnawialnej

E_{out} = Energia pozyskana (użyteczna)

E_{in} = Energia włożona, nakład energii

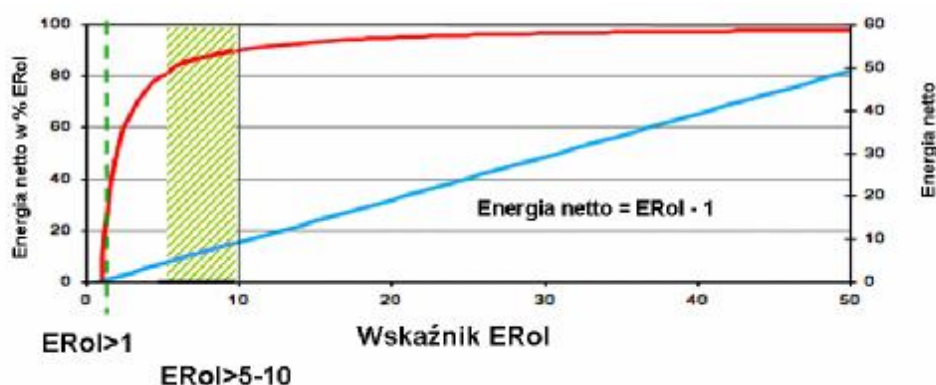
E_{fossil} = Energia zawarta (zużyta) w nośnikach nieodnawialnych (konwencjonalnych)

Rys. 1. Wskaźniki zwrotu energii (efektywności energetycznej)

Źródło: Opracowanie własne.

tyczną „uniwersalność” biomasy ocenę jej efektywności (sprawności) energetycznej zwykle wykonuje się dwuetapowo. W etapie I analizuje się i ocenia nakłady ponoszone na pozyskanie określonej ilości energii (równoważnika cieplnego) w biomase (i jej składnikach), w etapie II analizie podlega ilość energii uzyskanej w końcowej postaci (formie), np. energii elektrycznej i ciepła. Przy obliczeniach wskaźników ERoI w I etapie dla różnych form czy postaci biomasy występują utrudnienia powodowane dużymi odchyleniami od wartości średnich plonów biomasy, jej wartości opałowej i stosowanych technologii przerobu czy wykorzystania (4, 6, 8). Trudności w ocenach energetycznych biomasy przeprowadzanych w etapie II polegają najczęściej na braku lub niedostatecznej znajomości danych dotyczących wartości cieplnych produktów dodatkowych, jak np. wytlóków i gliceryny z olejów roślinnych czy pasz powstających przy wytwarzaniu bioetanolu oraz nakładów koniecznych dla utylizacji odpadów (np. popiół przy spalaniu słomy).

Wielkość wskaźnika $ERoI < 1$ oznacza, że zużycie nośników energii na wytworzenie jednostki energii użytecznej jest większe niż ilość energii możliwej do pozyskania. Ze względu na relatywnie duże wahania wartości energetycznej za bezpieczną granicę przydatności energetycznej uznaje się wielkość $ERoI > 5-10$ (rys. 2). Wahania wartości energetycznej powodowane są istotnym zwiększaniem się nakładów energetycznych (i materiałowych) na uzyskanie konwencjonalnych, ale ciągle podstawowych nośników energii. Jako przykład może posłużyć wskaźnik $ERoI$ dla benzyny, który w roku 1950 wynosił 100, w roku 1970 tylko 25, a obecnie szacowany jest na 10. Zmiany te nastąpiły wskutek stale zwiększających się nakładów materiałowo-energetycznych na wydobycie i transport ropy naftowej, przy zachowaniu praktycznie stałej wartości energetycznej benzyn – $45 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (wartość cieplna w tym przypadku jest równoważna ciepłu spalania). Analogiczne zmiany zachodzą we wskaźnikach $ERoI$ dla węgla i gazu ziemnego. Pomimo tych różnic obliczeniowych i po części metodologicznych dane te wskazują na co najmniej wątpliwą efektywność energetyczną nośników energii pozyskiwanych czy wytwarzanych z biomasy. Przykładem skrajnych różnic poglądów jest wieloletnia polemika prowadzona w USA, poświęcona ocenom energetycznej celowości wytwarzania bioetanolu z kukurydzy (1). Wspomniane poprzednio perspektywy wyczerpywania się tradycyjnych, konwencjonalnych źródeł energii i podnoszenia się ich cen spowodowały powstanie nowych, dodatkowych wskaźników zachowania energii FES i FER (Fossil Energy Savings – wskaźnik zachowania energii nieodnawialnej i Fossil Energy Ratio – wskaźnik zachowania energii nieodnawialnej), obliczanych jako iloraz bądź różnica pomiędzy zużyciem energii nieodnawialnej (E_{out}) a odpowiednim zużyciem energii odnawialnej (E_{fossil}); (oszczędność nośników nieodnawialnych).

Rys. 2. Wskaźniki $ERoI$ i energii netto

Źródło: Opracowanie własne.

Wskaźniki efektywności

Istotnymi elementami ocen efektywności energetycznej biomasy są mierniki nieparametryczne, bardzo trudne do skwantyfikowania energetycznego. W literaturze przedmiotu podejmowano kilka prób ocen ilościowych „emergy”, ale działania te nie zostały uwieńczone powodzeniem w wycenie energetycznej. Jako jedynie możliwą do przyjęcia uznano metodę porównawczo-kosztową.

Takim czynnikiem ograniczającym energetyczne wykorzystanie biomasy jest kompleks warunków zapewniających bezpieczeństwo ekologiczne (bilans gazów szklarniowych, ochrona środowiska i krajobrazu, bioróżnorodność produkcji roślinnej i leśnej). W szacunkowych obliczeniach nie uwzględnia się zapotrzebowania na biomasę wynikającego z obligatoryjnego dążenia do 20% redukcji gazów cieplarnianych, zwłaszcza w energetyce przemysłowej (13). Emisje gazów cieplarnianych (GHG), w przeliczeniu na CO₂, powinny stanowić maksimum 35% emisji analogicznego produktu wytwarzanego z udziałem energii paliw kopalnych (gazu). Dodatkowym elementem utrudniającym skwantyfikowanie ocen energetycznych emisji GHG jest powstanie międzynarodowego (wg projektu UE) rynku (handlu) emisjami węgla, zwiększającym wprawdzie konkurencyjność biopaliw, ale i pociągającego za sobą ceny rolnicze.

Ostatnim elementem warunkującym energetyczne użytkowanie produktów rolnych jest konieczność produkowania żywności w warunkach ograniczonych zasobów powierzchni ziemi nadającej się do uprawy (6, 8, 12), przy jednoczesnym wzroście liczby ludności. Istotne znaczenie w tym przypadku ma zmiana preferencji żywnościowych ludności Chin i Indii (37% populacji). Produkcja rolnicza na cele energetyczne powinna być optymalizowana pod względem maksymalizacji efektywności energetycznej energii, a nie cech jakościowych dominujących w konwencjonalnym wytwarzaniu żywności i pasz. Wskutek aktualnych uwarunkowań ekonomicznych i legislacyjnych rynki energii zaczynają „kierować” rynkami rolniczymi. Takie tendencje potencjalnie zagrażają stosunkom białko–energia w produktach roślinnych już zauważalnych w rezultatach badań ziarna zbóż. Decyzje produkcyjne dotyczące energetycznych upraw rolniczych podejmowane są obecnie z wykorzystaniem rezultatów niepełnych analiz energetycznych i ekologicznych, często pod wpływem zmiennych uregulowań ekonomicznych (systemy dotacji). Prognozy dotyczące ilości biomasy pochodzenia rolniczego i leśnego w większości przypadków zakładają uzyskiwanie nierealnych pod względem przyrodniczym wielkości średnich plonów suchej masy. Opłacalna produkcja energii w zrównoważonym rolnictwie o charakterze tradycyjnym wymaga intensywnych, przemysłowych technologii, zapewniających uzyskanie plonów 8-12 t s.m. z hektara rocznie. Przeprowadzone obliczenia symulacyjne, zakładające uzyskanie 25% paliw transportowych z biomasy, wykazały jednoczesny wzrost zużycia nawozów o 40%. Produkcja na obszarach odłogowanych, o niskiej produktywności 2-5 t s.m. · ha⁻¹ jest nieopłacalna energetycznie i ekonomicznie. Zasoby wody gruntowej (świeżej), której głównym konsumentem jest rolnictwo, to 10,5 Mkm³, co stanowi tylko 0,76% wody na świecie – reszta to wody słone.

Biomasa w energetyce przemysłowej

Analiza danych wykazuje, że największe ilości energii „użytecznej” z jednostki powierzchni uzyskuje się przy spalaniu biomasy (pozyskiwanie ciepła), natomiast najgorsze efekty dotyczą wytwarzania biopaliw transportowych (tab. 1 i 2). Za najbardziej sprawne pod względem efektywności energetycznej uważane są procesy pozyskiwania ciepła ze spalania określonych rodzajów biomasy, zwłaszcza cechujących się względnie małą wilgotnością (słoma, miskantus, wierzba, drewno opałowe – suszone naturalnie). Niezależnie od sposobu konwersji na energię cieplną zawartość wody w biomase wydatnie obniża ilość pozyskiwanej energii użytecznej. Z uwagi na znaczenie energii elektrycznej i dominujące w UE, a zwłaszcza w Polsce, technologie jej wytwarzania przede wszystkim z węgla, zastosowanie współspalania węgla z biomasą jest obecnie podstawową formą jej wykorzystania energetycznego. Pomimo że udział biomasy w układach współspalania z węglem ze względów technicznych wy-

Tabela 1

Sprawność cieplna i efektywność energetyczna biomasy

Konwersja biomasy	Sprawność cieplna (100% = 1)	Wskaźnik oszczędności energii konwencjonalnej
Ciepło (spalanie)	0,25-0,35	4-15
Gazyfikacja odpadów, biogaz, CHP	0,20-0,30	
Biodiesel z rzepaku	0,80-1,10	2-3,2
Bioetanol z pszenicy i buraka cukr.	0,45-0,67	1,2-2,0
Bioetanol z ziarna kukurydzy	0,50-0,72	1,3-1,5
Bioetanol z lignocelulozy	0,26-0,56	4-5,3
Benzyna i olej napędowy	0,80	0,9

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 2

Kategoryzacja plonów energii w t_{0e} według średnich z lat 2003–2005 w UE 25

Plon rzecz. (toe/ha)	Postać energii użytecznej	Konwersja	E _{out} /E _{in} %	Rodzaj biomasy i plon (toe/ha)
3-6	ciepło ciepło i en. elektr. energia elektr. biogaz	termiczna termiczna termiczna fermentacja beztlenowa	70-90 30-90 25-30	drewno z lasów nat., SRC (wierzba, topola 3,5-3,6) miskant (4,8) kukurydza (3,9-4)
2-3	biopaliwa II gen.	termochemiczna (BTL) biochemiczna (rozkład enzymatyczny i hydroliza –SSF)	30-45 ? b.d.	wierzba (0,9-2,2) burak cukr. (2,9) kukurydza, trawy wieloletnie,
1-2	biopaliwa I gen.	fermentacja alkoholowa estryfikacja	50-60	kukurydza (1,5) pszenica (1,1) rzepak (1,0)

Źródło: Kopetz H. i in., 2007 (7).

nosi na ogół nie więcej jak 5-10% (sporadycznie do 20%) i z reguły nieznacznie obniża sprawność przemian cieplnych, zapotrzebowanie energetyki przemysłowej na biomasę przewyższa możliwości jej wyprodukowania i dostarczania. Uzyskiwane wyniki są uzależnione od ilości i wartości opałowej, będącej z reguły odzwierciedleniem wilgotności biomasy oraz rodzaju instalacji paleniskowej. Ograniczenia techniczne wynikają z niedostosowania układów rozdrabniających i podających paliwo i samej instalacji kotła do właściwości biomasy. Przy współspalaniu biomasy o wilgotności do 15% z 10% udziałem masowym sprawność kotłów i standardy emisyjne nie ulegają istotnym zmianom. W kotłach fluidalnych udział dobrej jakościowo biomasy może dochodzić do 20% (13). Użycie biomasy, zwłaszcza o gorszych parametrach wilgotnościowych, powoduje obniżenie sprawności (wzrost strat wylotowych i zwiększenie emisji NO_x). Zwraca uwagę niska efektywność utylizacji energetycznej biomasy z lasów naturalnych powodowana ograniczoną jej ilością ($4\text{--}7 \text{ m}^3$ z 1 ha rocznie). Przyczyną obniżonej efektywności jest konieczność ponoszenia nakładów na transport biomasy o niskiej koncentracji energii, a także wzrost zużycia energii na przygotowanie biomasy do spalania (rozdrabnianie, usterki funkcjonalne konwencjonalnych urządzeń węglowych). Pomimo tych i innych niedogodności w pozyskiwaniu biomasy energetycznej z lasów naturalnych paliwo to jest preferowane przez energetykę przemysłową ze względu na swoje właściwości technologiczne i skład chemiczny. Duże zapotrzebowanie na biomasę energetyczną z lasów naturalnych spowodowało, oprócz wzrostu cen i braków drewna jako surowca do innych celów, także dążenie do administracyjnych form ograniczeń jego pozyskiwania w Europie (1, 3). Podstawowym czynnikiem wymuszającym na energetyce przemysłowej zainteresowanie spalaniem biomasy jest ekonomiczny nacisk na ograniczenie emisji gazów szklarniowych („zielona energia”, „zielone certyfikaty”). Użycie biomasy z drewna pozwala na redukcję emisji GHG nawet o 70%, a spalanie słomy i siana (i materiałów podobnych technologicznie) o 65-75%. Ze względu na relatywnie wysoki poziom zinwentaryzowanych zapasów węgla (nie tylko w Polsce) oraz bardzo długi okres amortyzacji elektrociepłowni węglowych pozostanie on jeszcze przez wiele lat głównym źródłem przemiany energii cieplnej w elektryczną. Podejmowane dotychczas próby budowy elektrociepłowni wykorzystujących wyłącznie biomasę wykazały konieczność ponoszenia bardzo dużych nakładów nie tylko na urządzenia techniczne, ale także na niezbędny transport biomasy z dużych odległości, niejako wymuszonych wielkością niezbędnych powierzchni uprawy i ich „gęstością”. Zapotrzebowanie elektrowni o mocy znamionowej 1 MW na biomasę wynosi 5000 t s.m., co może być uzyskane z areálu co najmniej 500 ha. Przy 10% „gęstości” upraw energetycznych oznacza to powierzchnię 50 km^2 .

Wymienione ograniczenia nie wpływają na technologiczną przydatność biomasy do wytwarzania ciepła (spalania) w instalacjach grzewczych małej mocy. W tych zastosowaniach czynnikami warunkującymi powszechność użycia są koszty „energetyczne” i finansowe dodatkowych operacji zwiększających koncentrację energii w jednostce masy (peletowanie, brykietowanie, zrębkowanie z suszeniem). Rozdrabnianie, peletowanie i brykietowanie wymaga odpowiednio 0,5-1,0; 25-30 i 30-40 $\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}$, w zależności od rodzaju i cech biomasy (12). Pelety z biomasy, zwłaszcza z drzewa,

są bardzo rozpowszechnionym rodzajem opału w krajach północnej Europy. Zapotrzebowanie UE na pelety szacowane jest w r. 2020 na 50-80 Mt, co odpowiada 20-32 Mtoe.

Biomasa jako surowiec dla paliw płynnych

Wytwarzanie biopaliw transportowych I generacji, tj. bioetanolu (z ziarna zbóż i kukurydzy – metody fermentacyjne) i biodiesla (oleje roślinne – metody estryfikacji) jest przedmiotem rozlicznych analiz o rozbieżnych rezultatach. W zastosowaniach bezpośrednich (tzn. bez uwzględniania w ocenach nakładów i energii zawartych w produktach ubocznych, takich jak pasze w mokrym przemyśle zbóż, wytloki i gliceryna z estryfikacji, słoma) przeprowadzone analizy w większości wykazują w najlepszych przypadkach minimalną lub zerową efektywność energetyczną (5, 6, 8). Wielu autorów wykazuje wprost brak efektywności energetycznej bioetanolu i biodiesla (oprócz biopaliw produkowanych z surowców pozyskiwanych z obszarów subtropikalnych – trzcina cukrowa i olej palmowy); (12). W połączeniu ze wspomnianą niską wydajnością z jednostki powierzchni wskazuje to na brak perspektyw uprawy tych roślin w dłuższym okresie czasu. W opiniach wielu autorów utrzymywanie produkcji w obecnych uwarunkowaniach jest powodowane wyłącznie obowiązującymi systemami dopłat, bez uwzględniania rzeczywistej efektywności energetycznej. Niektórzy autorzy uważają, że „braki” w efektywności energetycznej podstawowych roślin (zboża, kukurydza, rzepak) mogą być rekompensowane przez ich ekstensywną uprawę na gruntach odłogowanych. Jednakże żadne z dotychczasowych obserwacji i badań nie potwierdza tego założenia. Bez odpowiednich nakładów, a zwłaszcza energochłonnego nawożenia azotem, uzyskiwane plony nie rekompensują ponoszonych nakładów.

Pod względem efektywności ekologicznej biopaliwa I generacji, zdaniem autorów większości publikacji (3), przynoszą pozytywne rezultaty w zakresie redukcji GHG (paliwa z olejów roślinnych 45-75%, bioetanol z cukrów 40-90%, a ze zbóż i kukurydzy 15-45%).

Wyniki dotychczas opublikowanych badań nad wytwarzaniem paliw II generacji z biomasy (bioetanol z hydrolizy, BTL z pirolizy, metanol z syngazu i inne) nie upoważniają obecnie do przedstawienia jednoznacznych wniosków dotyczących efektywności energetycznej i ekologicznej tych nowych technologii. Wprawdzie spotyka się informacje o możliwości uzyskania plonu energii z jednostki powierzchni większego 3-4 razy od dotychczasowych technologii fermentacyjnych i estryfikacyjnych, ale nie znajdują one potwierdzenia w publikowanych wynikach badań (4). Technologie wytwarzania paliw I generacji (biodiesel i bioetanol) są uznawane za nieperspektywiczne, a technologie II generacji za nie w pełni dopracowane. Bioetanol II generacji jest wytwarzany na drodze biochemicznej przez konwersję enzymatyczną celulozy i hemicelulozy do cukrów, hydrolizę cukrów i fermentację do alkoholu. Biopaliwa II generacji o cechach etanolu lub oleju napędowego (BTL – Biomass To Liquid) otrzymuje się także w procesach termochemicznych przez gazyfikację pirolityczną biomasy do gazu

syntetycznego (syngaz) i syntezę paliwa w modyfikowanym procesie Fishera-Tropscha (10). Uzyskanie przemiany celulozy z biomasy roślinnej w płynne i gazowe formy energii, bez konwencjonalnej fermentacji, jest „świętym Graalem” biosyntezy paliw – potencjalnie może umożliwić wykorzystanie gruntów marginalnych do uprawy roślin wieloletnich, cechujących się mniejszym zapotrzebowaniem energii, co pozwoliłoby na produkcję biomasy na ok. 20% powierzchni użytków rolnych (11). Praktyczne zastosowanie hydrolizy enzymatycznej jest dotychczas ograniczane wysokimi cenami enzymów. Proces hydrolizy jest „samoczynnie” hamowany przez powstające cukry, które powinny być jednocześnie fermentowane do alkoholu. Takie reakcje, będące zarazem scukrzaniem i fermentacją (SSF), są obecnie najbardziej wydajnym procesem (technologią). Nerozwiązanym zagadnieniem jest dobór termicznych warunków procesowych – obecne enzymy wymagają temperatury 50-55°C, a drożdże fermentacyjne 30-40°C. Wydatne polepszenie obecnej, niezadowalającej jeszcze efektywności energetycznej procesów określanych mianem II generacji uważane jest za możliwe przez energetyczne wykorzystanie w procesach technologicznych produktów ubocznych (np. wytloki z trzciny lub rzepaku). Aktualne w USA ceny bioetanolu z celulozy szacowane są na 2,5 \$ za galon, a z konwencjonalnego etanolu z ziarna kukurydzy na 1,65 \$ za galon. W odniesieniu do paliw wodorowych, zwłaszcza wykorzystujących biomasę do produkcji metanolu jako źródła energii w ogniwach paliwowych, obecnie wszystkie rezultaty badań wykazują ujemną efektywność energetyczną. Wydaje się, że w tym przypadku rozwiązaniem przyszłościowym jest wytwarzanie energii elektrycznej w elektrowniach nuklearnych i jej konwersja na paliwa wodoro-we, pomimo ogromnych nakładów inwestycyjnych i trudności z uzyskaniem akceptacji społecznej. Obecne ceny energii elektrycznej z siłowni nuklearnych i węglowych są porównywalne (30-60 \$ za 1 MWh).

Biogaz i technologie zintegrowane

Niedostatki i zastrzeżenia dotyczące długotrwałych efektów dotychczasowych metod pozyskiwania energii z biomasy spowodowały powtórne zainteresowanie się możliwością wykorzystania biogazu wytwarzanego tradycyjnie z surowców trudnych do utylizacji i występujących w nadmiarze (2, 4). Jednakże w przeciwieństwie do technologii sprzed 20-25 lat, kiedy podstawowym surowcem pochodzenia rolniczego były gnojowica, obornik, odpady organiczne różnego rodzaju i osady ściekowe, aktualne technologie zakładają wykorzystanie przede wszystkim całości biomasy roślinnej. Za przydatne w warunkach europejskich, obok wymienionych surowców, uważane są wszystkie zboża, kukurydza, rośliny oleiste wraz ze słomą, masa roślinna pozyskiwana z trwałych użytków zielonych i obszarów odłogowanych, wytloki z nasion oleistych, odpady organiczne z produkcji bioetanolu i cukru, itp. Za najbardziej właściwe, docelowe rozwiązanie uważane są tzw. biorafinerie, w których będzie można wytwarzać biogaz o zawartości metanu na poziomie 60-75%, biopaliwa (zwłaszcza bioetanol) oraz możliwie szeroką gamę produktów biochemicznych. W instalacjach doświad-

czalnych biogaz bywa stosowany jako 20% (i więcej) dodatek do gazu ziemnego, będącego podstawowym źródłem energii cieplnej, zapewniającym stabilność funkcjonalną. Takie wszechstronne wykorzystanie różnorodnej biomasy pozwala również na maksymalne wykorzystanie rolniczej przestrzeni produkcyjnej i zmniejsza konkurencyjność obszarową w aspekcie „żywność czy energia”. Według niektórych autorów (2, 7) poziom wykorzystania potencjału energii zawartego w biomase do produkcji bioetanolu w takich rozwiązaniach jest co najmniej 2,5-krotnie wyższy (w stosunku do klasycznych metod wytwarzania bioetanolu z ziarna zbóż metodą fermentacji). Zdaniem B a b o c k a (2) wykorzystanie 5% powierzchni użytków UE przy plonach suchej masy 20 t s.m. z hektara rocznie pozwoliłoby na uzyskanie ok. 50 bilionów m³ metanu, stanowiących równoważnik 45 Mtoe.

Podsumowanie i wnioski

1. W ocenach efektywności energetycznej technologii pozyskiwania i konwersji biomasy rolniczej i leśnej stosuje się określone mierniki i wskaźniki. Posługiwanie się miernikami jest wystarczająco ściśle pod warunkiem sprecyzowania i ustalenia niezbędnych danych (porównawczych), natomiast użycie wskaźników wykazuje obecnie istotne braki i różnice w metodykach określania i porównywania. Decyzje produkcyjne dotyczące prowadzenia energetycznych upraw rolniczych podejmowane są z wykorzystaniem rezultatów niepełnych analiz energetycznych i ekologicznych, często pod wpływem zmiennych uregulowań ekonomicznych (systemy dotacji).

2. Obecny poziom produkcji rolniczej limitowany dostępnością przydatnych rolniczo obszarów i wody wskazuje na brak terenów dla rozwoju rolnictwa energetycznego w dotychczasowym konwencjonalnym (tradycyjnym) rozumieniu. W większości aktualnych opracowań uznaje się, że energetyczne i racjonalne wykorzystanie potencjalnych zasobów rolnictwa wymaga dopracowania technologii „energetycznych” umożliwiających całościowe wykorzystanie plonów rolniczych, z uwzględnieniem produktów ubocznych (np. słomy) i odpadowych (gnojowica, osady ściekowe), z ewentualnym wykorzystaniem biogazu. Wytwarzanie biogazu z surowców roślinnych i odpadowych w części krajów UE nabiera coraz większego znaczenia. Obecnie biogaz traktowany jest głównie jako lokalne źródło energii dla CHP, a uzasadnione propozycje dodawania (mieszania) go do europejskich sieci GN jako składnika obniżającego emisję GHG wydatnie powiększają jego perspektywy energetyczne.

3. Analiza dotychczasowych metod energetycznego wykorzystywania zasobów biomasy leśnej pozwala wyłącznie na potwierdzenie potencjału ich wysokiej wartości energetycznej. Główną właściwością lasów jest ich wartość przyrodnicza, zachowanie której wymaga „zrównoważonej hodowli”. Pozwala to tylko na bardzo ograniczone użytkowanie pozostałości zrębowych, których zabieranie istotnie zuboża zasoby siedliska, chociaż zmniejsza zagrożenia pożarowe. Z lasów UE uzyskuje się rocznie 415 Mm³ drewna, ale drewno opałowe stanowi tylko około 12-13%, zaś reszta przeznaczona jest do przerobu przemysłowego, zwłaszcza na papier i opakowania.

4. Dobór gatunków i technologie produkcji roślin energetycznych powinny uwzględniać specyfikę, ograniczenia i wymagania środowiskowe określonego kraju czy regionu (tylko 7-8 krajów UE, w tym i Polska, dysponuje „wolnymi energetycznie” powierzchniami produkcyjnymi, pod warunkiem uwzględnienia cen na światowym rynku zbóż). Produkcja biomasy powinna być rozwinięciem (pochodną) aktualnych, zrównoważonych technologii rolniczych i leśnych, z uwzględnieniem wymogów dotyczących ochrony środowiska, szczególnie emisji GHG. Posiadane zasoby naturalne nie powinny być umniejszane przez komercjalizację produkcji biomasy, zwłaszcza na terenach cennych przyrodniczo. Za podstawowe warunki ograniczające uważane są powszechnie dostępność powierzchni gruntów uprawnych i uzyskiwane wydajności roślin. W przypadku przedłużania się dotychczasowej 6-7-letniej tendencji do stałego wzrostu cen paliw ropy pochodnych należy liczyć się z dużym prawdopodobieństwem konkurencyjności ropy wydobywanej z piasków i łupków, a nawet z wodzianów metanu, co może spowodować brak opłacalności ekonomicznej wytwarzania biomasy na cele energetyczne, zwłaszcza w warunkach wzrostu zapotrzebowania na przetworzoną żywność.

Literatura

1. A m o n T.: Potential of biogas production from sustainable biorefinery concepts. Universität für Bodenkultur, Wien, 2007, <http://www.forum-biogas.net>
2. B a b c o c k B.: The long-run impact of corn-based ethanol on the grain, oilseed, and livestock. Presented at the Iowa Pork Congress, Des Moines, IA, 2007.
3. B o o t h E., B e l l J., M c G o v e r n R., H o d s m a n L.: Review of the potential for on farm processing of various non food crop products. National Non Food Crops Centre, 2007, s. 117.
4. Commission of the European Communities. Commission Staff Working Document EU Energy Policy Data. Brussels, 10.10.2007; SEC(2007) 12.
5. D o o r n b o s c h R., S t e e n b l i k R.: Biofuels: is the cure worse than the disease? Round Table on Sustainable Development. OECD Paris, SG/SD/RT(2007)3.
6. H o l m - N i e l s e n J. B.: The future of biogas in Europe: Vision and Targets 2020. University of Southern Denmark, Esbjerg, 2007. www.sdu.dk/bio & www.acabs.dk
7. K o p e t z H., J o s s a r t J. M., R a g o s s n i c g H., M e t s c h i n a C.: European biomass statistics. AEBIOM, Bruksela, 2007, 73.
8. L a p i l l o n n e B.: Energy efficiency: striking the balance. The energy future in an interdependent world. Roma, 2007.
9. P o l a s k y S.: Bioeconomics of biofuels: Environmental and Economic. Consequences of Shifting Towards Renewable Biomass for Energy. www.ecosystemresearch.org/2007%20Meeting
10. R a m s a y W.: Security of energy supply in the European Union. International Energy Agency, Melnik, 2007.
11. R o s z k o w s k i A.: Technika rolnicza a GMO. Inż. Rol., 2007, **8(96)**: 219-224
12. R o s z k o w s k i A.: Energia a rolnictwo. Mat. IX Konf. Nauk. „Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej”, 2007, 261-262.
13. S z y m a n o w i c z R.: Wytwarzanie energii odnawialnej w procesie wspólnego spalania biomasy i węgla. Biul. Nauk.-Tech. Zakładów Pomiarowo-Badawczych Energetyki, 2007, **5**: 741-748.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Andrzej Roszkowski
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa
ul. Rakowiecka 32
02-532 Warszawa
tel. (0-22) 542 11 00
e-mail: roszan@ibmer.waw.pl

Mariusz Matyka

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

OPŁACALNOŚĆ I KONKURENCYJNOŚĆ PRODUKCJI WYBRANYCH ROŚLIN ENERGETYCZNYCH*

Wstęp

Zapotrzebowanie na energię jest bezpośrednią pochodną rozwoju gospodarczego, stąd też w ciągu najbliższych kilkunastu lat przewidywany jest dalszy znaczny wzrost jej zużycia. We wszystkich rozpatrywanych scenariuszach przewiduje się, że po 2020 r. następować będzie zmniejszenie udziału paliw konwencjonalnych: ropy naftowej, gazu ziemnego i węgla, stosownie do wyczerpywania się zasobów i związanego z tym wzrostu cen energii. Miejsca konwencjonalnych zasobów zajmować będą odnawialne źródła energii (OZE), spośród których obecnie największe znaczenie przypisuje się surowcom wytwarzanym w rolnictwie (2). Rozwój energetyki odnawialnej znajduje również umocowanie prawne w przyjętej przez Sejm RP w 2001 r. strategii rozwoju energetyki odnawialnej oraz w Białej Księdze UE. Według niektórych szacunków w 2040 r. około 1/3 powierzchni użytków rolnych w krajach UE (około 36 mln ha) przeznaczona zostanie pod uprawy roślin energetycznych, co może dać produkcję biomasy rzędu 360-540 mln ton (1, 6). Dodatkowym elementem stymulującym zainteresowanie energią ze źródeł odnawialnych jest ciągły wzrost cen surowców energetycznych i poprawa świadomości społeczeństw dotyczącej efektu cieplarnianego i zmian klimatu. Dlatego w światowej energetyce prowadzone są już od wielu lat prace badawcze w zakresie wykorzystania odnawialnych źródeł energii (3).

W Polsce aktualnie biomasę stałą pozyskuje się głównie z odpadów leśnych i rolniczych oraz organicznych odpadów komunalnych. W przyszłości uzupełnieniem bilansu podaży biomasy na rynku energetycznym może być jej pozyskiwanie z jednorocznych upraw roślin rolniczych, a szczególnie z wieloletnich plantacji rodzimych gatunków wierzby krzewiastej i aklimatyzowanych w Polsce roślin, takich jak ślazier pensylwański i miskant. Lista tych roślin jest zapewne daleka jeszcze od zamknięcia, gdyż stale trwają prace naukowe nad innymi roślinami, które będą przydatne dla celów energetycznych (5, 15).

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.8 w programie wieloletnim IUNG - PIB

Pomimo tego, że od kilku lat obserwowany jest w Polsce wzrost zainteresowania uprawami energetycznymi, a produkcja i pozyskiwanie biomasy szybko rosnących gatunków jest kreowana jako kierunek produkcji rolniczej, to rozwój tej nowej działalności rolniczej określanej jako „agroenergetyka” jest w dużym stopniu warunkowany aspektami ekonomicznymi (14).

W niniejszym opracowaniu przedstawiono opłacalność produkcji wybranych gatunków roślin wykorzystywanych na cele energetyczne oraz ich konkurencyjność w stosunku do typowych roślin rolniczych.

Material i metody

Wykonanie kalkulacji preliminarzowych (przedwstępnych) jest jednym z trudniejszych zadań z jakimi styka się ekonomika rolnictwa, szczególnie w odniesieniu do produkcji na cele energetyczne, co wynika ze skromnego zasobu danych wyjściowych. Niemniej jednak na podstawie wyników doświadczeń prowadzonych w IUNG - PIB, notowań rynkowych i studiów literaturowych (7, 9, 10, 11, 13) sporządzono niniejszą kalkulację.

Roślinami wykorzystywanymi na cele energetyczne, dla których określono opłacalność produkcji były: wierzba krzewiasta, ślazier pensylwański i miskant. Określono również konkurencyjność uprawy tych roślin w stosunku do takich roślin rolniczych, jak: pszenica ozima, rzepak ozimy i burak cukrowy. Przy ocenie opłacalności produkcji roślin rolniczych wykorzystano metodykę stosowaną przez IERiGŻ - PIB oraz Wielkopolską Izbę Rolniczą (12, 16). Podstawowym kryterium oceny poszczególnych działalności był wynik finansowy warunkujący zysk/stratę netto. Obliczono również wskaźnik opłacalności produkcji, który wyraża stopień pokrycia wartością produkcji kosztów poniesionych na jej wytworzenie (4). Kalkulacje podzielono na część kosztową, w której uwzględniono koszty założenia i prowadzenia plantacji w trakcie eksploatacji oraz jej likwidacji. Główne założenia kalkulacji przedstawiono w tabeli 1.

Podstawowymi nośnikami kosztów, które uwzględniono w obliczeniach były koszty: materiałowe, użycia maszyn i narzędzi oraz wynagrodzenie za pracę. Obliczenia oparto na aktualnych cenach rynkowych, a koszt jednostkowy pracy określono na podstawie danych publikowanych przez GUS dla 2007 roku. Założono, że rolnik uprawiający rośliny na cele energetyczne będzie otrzymywał wynagrodzenie za pracę na poziomie płacy uzyskiwanej w pozarolniczych działach gospodarki. Takie założenie przyjęto w celu zapewnienia porównywalności kalkulacji. W analizie przyjęto również, że plantacje roślin energetycznych będą użytkowane przez okres 25 lat. Iloraz sumy kosztów założenia i likwidacji plantacji przez ilość lat użytkowania pozwolił na określenie średniorocznego obciążenia tymi kosztami prowadzenia plantacji.

W części przychodowej kalkulacji przyjęto plony na podstawie wyników doświadczeń prowadzonych w IUNG - PIB. Założono, że wysokość plonu w roku sadzenia będzie znikoma (plon miskanta zostanie przeznaczony na ściółkowanie karp), a w drugim roku plony osiągną poziom 70%, zaś plantacja zacznie w pełni plonować

Tabela 1

Założenia przyjęte do kalkulacji uprawy roślin na cele energetyczne

Wyszczególnienie	Wierzba krzewiasta	Miskant	Ślazier pensylwański
Obsada roślin (tys. · ha ⁻¹)	20	13	20
Koszt sadzonek (zł · szt. ⁻¹)	0,12	1,2	0,2 (1-1,5 kg nasion o sile kiełkowania przekraczającej 60% - cena 4 000 zł)
Nawożenie NPK (kg · ha ⁻¹)	70-30-80		
Plon s.m. (t · ha ⁻¹)	13	15	13
Odchwaszczanie chemiczne	Fusilade Forte	Chwastox	Fusilade Forte
Ochrona chemiczna	Actara Miedzian	x	Actara Miedzian
Częstotliwość zbioru	corocznie		

Źródło: Opracowanie własne.

od trzeciego roku. Cenę zbytu biomasy ustalono w stosunku do ceny mialu węglowego, według równania:

$$x = \frac{y \cdot b}{a}$$

gdzie:

x – cena tony s.m. zrębek (zł)

y – cena tony mialu węglowego (zł)

a – wartość energetyczna tony mialu węglowego (MJ)

b – wartość energetyczna tony s.m. zrębek (MJ)

W kalkulacji uwzględniono również przychody powstałe z tytułu bezpośrednich dopłat obszarowych (301,45 zł · ha⁻¹) i dopłat do produkcji roślin na cele energetyczne [45 Euro · 0,70337 (współczynnik redukcji)] · 3,773 zł = 119,6 zł · ha⁻¹.

Opłacalność produkcji roślin na cele energetyczne

Pojęcie opłacalności produkcji oznacza relację wartości uzyskanej produkcji do poniesionych na jej wytworzenie kosztów (4). W przypadku uprawy roślin na cele energetyczne oprócz pytań o skutki środowiskowe oraz bilans i efektywność energetyczną pojawia się również problem opłacalności tego typu działalności.

Ze względu na specyfikę uprawy roślin energetycznych znaczne koszty należy ponieść przy zakładaniu plantacji (tab. 2). Spośród porównywanych roślin zdecydowanie najwyższe koszty założenia plantacji trzeba ponieść w przypadku miskanta, co głównie powodowane jest wysokimi kosztami zakupu sadzonek. Wynika to z tego, że

roślina ta w naszych warunkach klimatycznych nie wytwarza nasion i możliwy jest jedynie zakup materiału roślinnego powstałego w wyniku podziału karp lub hodowanego w specjalistycznych laboratoriach za pomocą metod *in vitro*. Koszty założenia plantacji energetycznej z wierzby, w zależności od sposobu sadzenia stanowią tylko 40-43% kosztów założenia plantacji z miskanta. Natomiast w przypadku ślazuwca pensylwańskiego koszty te stanowią 44-53% kosztów założenia plantacji z miskanta i są wyższe o 5-30% od kosztów założenia plantacji z wierzby.

Zróżnicowanie kosztów założenia plantacji w zależności od sposobu sadzenia jest największe w przypadku ślazuwca. Najdroższe jest zakładanie plantacji z sadzonek ukorzenionych i sadzonych ręcznie, a najtańsze w warunkach siewu nasion bezpośrednio do gruntu. Różnice w wysokości kosztów założenia plantacji pozostałych roślin, w zależności od sposobu sadzenia, są niewielkie. W każdym przypadku znaczny udział w strukturze kosztów stanowi materiał roślinny, który u miskanta sadzonego sadzarką stanowi 71% kosztów założenia plantacji oraz 24% ogółu kosztów.

Tabela 2

Wielowariantowa kalkulacja kosztów założenia plantacji z różnych gatunków roślin na cele energetyczne (zł · ha⁻¹)

Wyszczególnienie		Wierzba krzewiasta		Miskant		Ślazieriec pensylwański		
Rodzaj materiału roślinnego		zrzęzy		sadzonki ukorzenione		nasiona	sadzonki ukorzenione	
Sposób zakładania plantacji		sadzenie ręczne	sadzenie sadzarką	sadzenie ręczne	sadzenie sadzarką	siew	sadzenie ręczne	sadzenie sadzarką
Koszty przygotowania pola	analiza gleby	20						
	koszty użycia maszyn i narzędzi	941				871	941	
	koszty materiałowe (nawozy, herbicydy)	650				580	650	
	wynagrodzenie za pracę	88				49	88	
Koszt zakupu (produkcji sadzonek) wraz z transportem		2400		15600		4000		
Koszty sadzenia	koszty użycia maszyn i narzędzi	60	420	60	420	120	60	420
	wynagrodzenie za pracę	1045	186	1016	186	54	1563	186
Koszty pielęgnacyjne - do końca sezonu wegetacyjnego	koszty użycia maszyn i narzędzi	340		200		340		
	koszty materiałowe (nawozy, pestycydy, inne)	463		307		463		
	wynagrodzenie za pracę	3224						
Razem koszty założenia plantacji (zł · ha ⁻¹)		9231	8732	22106	21636	9721	11349	10332
Średnio koszty założenia plantacji (zł · ha ⁻¹ · rok ⁻¹)		8982		21871		10467		

Źródło: Obliczenia własne.

Podobnie jak koszty założenia również koszty likwidacji są elementem, który obciąża cały okres prowadzenia plantacji. Są one jednak znacznie niższe i stanowią tylko około 2% ogółu kosztów, w odróżnieniu od kosztów założenia, które przy wierzbie stanowią 15%, ślazowcu pensylwańskim 17%, a miskancie aż 33% ogółu kosztów. Głównym elementem kosztów likwidacji jest koszt użycia maszyn i narzędzi, co spowodowane jest dużą energochłonnością tego procesu (tab. 3)

Wśród bieżących kosztów prowadzenia plantacji, jakie trzeba ponieść po pierwszym roku koszty zabiegów pielęgnacyjnych stanowią w zależności od gatunku 58-64%. Natomiast koszty zbioru mają 31-37% udział w strukturze kosztów prowadzenia plantacji (tab. 4). Koszty prowadzenia plantacji w trakcie eksploatacji stanowią w zależności od gatunku 65-83% ogółu kosztów.

Tabela 3

Kalkulacja kosztów likwidacji plantacji różnych gatunków roślin energetycznych (zł · ha⁻¹)

Wyszczególnienie	Wierzba krzewiasta	Miskant	Ślazowiec pensylwański
Koszty użycia maszyn i narzędzi	970	870	870
Koszty materiałowe (herbicydy)	110	110	110
Wynagrodzenie za pracę	49	49	49
Razem	1129	1029	1029

Źródło: Obliczenia własne.

Tabela 4

Koszty prowadzenia plantacji roślin energetycznych w trakcie eksploatacji (zł · ha⁻¹ · rok⁻¹)

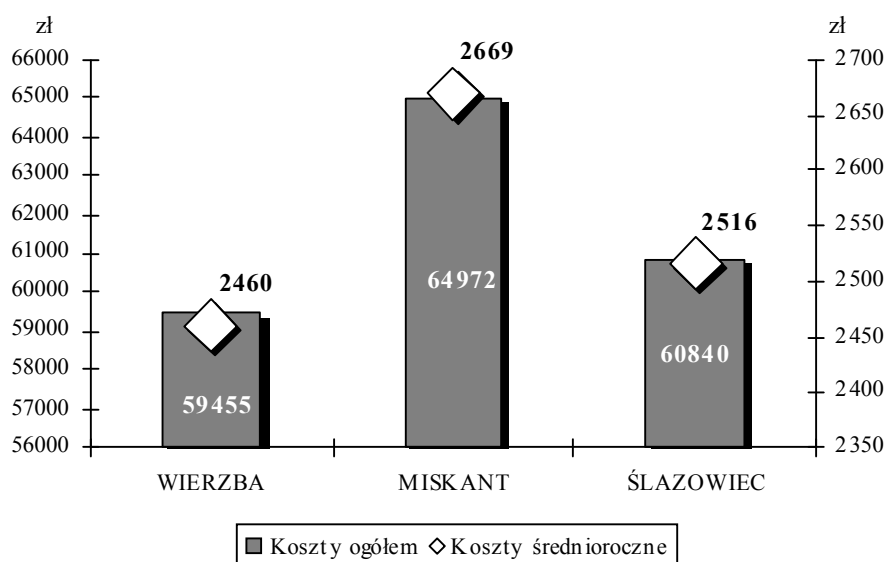
Wyszczególnienie		Wierzba krzewiasta	Miskant	Ślazowiec pensylwański
Zabiegi pielęgnacyjne	Koszty użycia maszyn i narzędzi	445	305	445
	Koszty materiałowe (nawozy, herbicydy)	842	679	842
	Wynagrodzenie za pracę	39	39	39
Zbiór	Koszty użycia maszyn i narzędzi	615	615	615
	Wynagrodzenie za pracę	29	29	29
Pozostałe koszty (OC rolników, podatek rolny)		86	86	86
Razem		2056	1753	2056

Źródło: Obliczenia własne.

Zarówno koszty ogółem dla całego okresu użytkowania plantacji, jak i koszty średnioroczne są najwyższe na plantacji miskanta, a najniższe w przypadku wierzby (rys. 1).

Rozpatrując strukturę kosztów uprawy według głównych nośników można stwierdzić, że w przypadku plantacji wierzby i ślazuwca pensylwańskiego jest ona zbliżona i główne jej elementy stanowią koszty materiałowe oraz koszty użycia maszyn i narzędzi.

Nieco odmiennie przedstawia się sytuacja u miskanta, gdzie udział kosztów materiałowych jest zdecydowanie najwyższy, co wynika z wysokiego kosztu materiału rozmnożeniowego (tab. 5).



Rys. 1. Koszty ogółem oraz koszty średnioroczne prowadzenia plantacji wybranych gatunków roślin na cele energetyczne łącznie z kosztami założenia i jej likwidacji

Źródło: Obliczenia własne.

Tabela 5

Struktura kosztów prowadzenia plantacji roślin energetycznych (%)

Wyszczególnienie	Wierzba krzewiasta	Miskant	Ślazuwec pensylwański
Koszty materiałowe (herbicydy):	40	51	42
w tym koszt sadzonek	4	24	7
Koszty użycia maszyn i narzędzi	47	37	46
Koszty pracy	9	9	9
Pozostałe koszty	3	3	3

Źródło: Obliczenia własne.

Analiza wykazała, że główne źródło przychodów dla rolników prowadzących plantacje na cele energetyczne stanowi wartość produkcji (82%) oraz dopłaty bezpośrednie (13%) i dopłaty do roślin energetycznych (5%). Wyniki te są zbliżone dla każdego gatunku objętego kalkulacją. Ze względu na założony poziom uzyskiwanych plonów w uprawie wierzby i ślazuwca pensylwańskiego wartość przychodów będzie taka sama u obydwu gatunków (tab. 6). Większą wartością przychodów charakteryzuje się miskant, co wynika z wyższego poziomu plonowania oraz niższych kosztów prowadzenia plantacji w okresie produkcyjnym.

Tabela 6

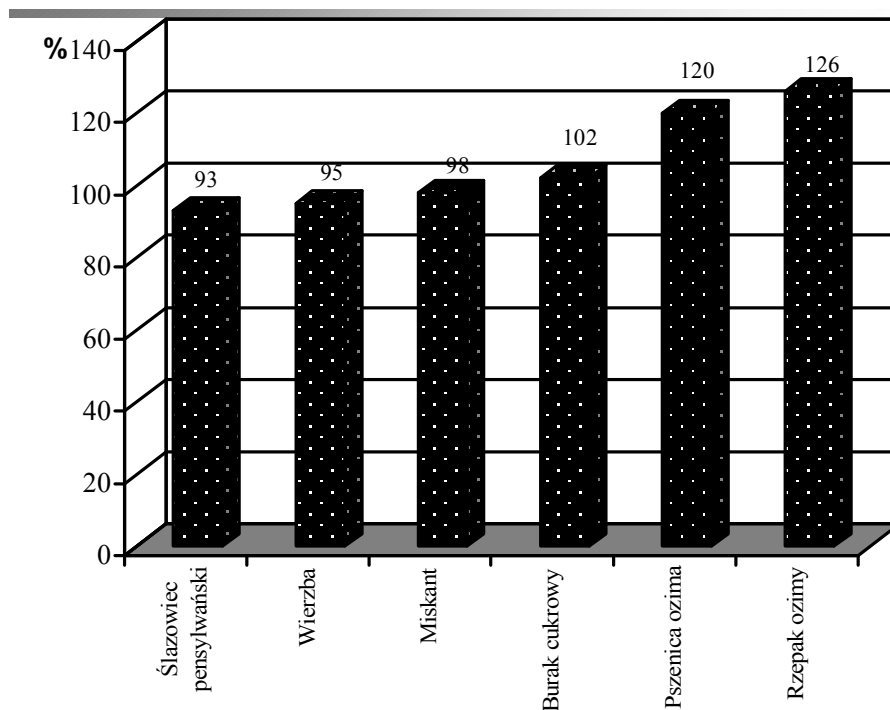
Przychody z plantacji roślin na cele energetyczne do momentu osiągnięcia pełnego plonowania

Wyszczególnienie	Wierzba krzewiasta	Miskant	Ślazuwec pensylwański
Przychody z plantacji w roku sadzenia (1 rok uprawy)			
Dopłaty bezpośrednie w zł · ha ⁻¹ · rok ⁻¹ (D)	301	301	301
Przychody z plantacji od 1 roku po posadzeniu (plon 70%); (2 rok uprawy)			
Plon w t s.m. · ha ⁻¹ · rok ⁻¹ (A)	9,1	10,5	9,1
Cena w zł · t s.m. ⁻¹ zrębkowanej (B)	150	150	150
Przychód w zł · ha ⁻¹ · rok ⁻¹ (C = A · B)	1365	1575	1365
Dopłaty bezpośrednie w zł · ha ⁻¹ · rok ⁻¹ (D)	301	301	301
Dopłata do roślin energetycznych w zł · ha ⁻¹ · rok ⁻¹ (E)	120	120	120
Przychody z produkcji z dopłatami w zł · ha ⁻¹ · rok ⁻¹ (C + D + E = F)	1786	1996	1786
Przychody z plantacji od 2 roku po posadzeniu (plon 100%); (3 rok uprawy)			
Plon w t s.m. · ha ⁻¹ · rok ⁻¹ (A)	13	15	13
Cena w zł · t s.m. ⁻¹ zrębkowanej (B)	150	150	150
Przychód w zł · ha ⁻¹ · rok ⁻¹ (C = A · B)	1950	2250	1950
Dopłaty bezpośrednie w zł · ha ⁻¹ · rok ⁻¹ (D)	301	301	301
Dopłata do roślin energetycznych w zł · ha ⁻¹ · rok ⁻¹ (E)	120	120	120
Przychody z produkcji z dopłatami w zł · ha ⁻¹ · rok ⁻¹ (C + D + E = F)	2371	2671	2371

Źródło: Obliczenia własne.

Porównanie części kosztowej i przychodowej w kalkulacji wykazało, że u wszystkich roślin energetycznych objętych analizą przychody z prowadzonej działalności nie pokrywają jej kosztów. Obrazuje to wskaźnik opłacalności, którego wartość u roślin uprawianych na cele energetyczne (ślazuwec, wierzba, miskant) przyjmuje wartość poniżej 100% (rys. 2).

Wymiernym efektem takiego wyniku jest strata poniesiona przez producenta. Jej wartość jest zbliżona dla wszystkich roślin energetycznych, niemniej jednak najwyższą stratę odnotowano w przypadku ślazuwca pensylwańskiego, a najniższą w uprawie miskanta.



Rys. 2. Wartość wskaźnika opłacalności produkcji dla wybranych roślin uprawianych na cele energetyczne i żywnościowe

Źródło: Opracowanie własne.

Konkurencyjność produkcji roślin na cele energetyczne

Jednym z argumentów używanych przez propagatorów rozwoju produkcji biomasy jest jej konkurencyjność w stosunku do roślin rolniczych. Rozumiana w tym aspekcie konkurencyjność ma polegać na łatwiejszej, mniej wymagającej technologii produkcji oraz na lepszym wyniku finansowym osiąganym z tego typu działalności. W odróżnieniu od konkurencyjności możemy również mówić o konkurencji między produkcją na cele energetyczne i żywnościowe. Polega ona na konkurowaniu o ziemię, która jest niepomnażalna i nieprzemieszczalna oraz o kapitał i pracę. Od potencjalnych korzyści zależy, w który z rodzajów działalności zostaną zaangażowane wymienione wyżej środki produkcji.

Przeprowadzona analiza wykazała, że uprawa roślin na cele energetyczne jest niekonkurencyjna w stosunku do uprawy zarówno pszenicy ozimej i rzepaku ozimego, jak i buraka cukrowego (rys. 2). Dla wszystkich roślin rolniczych, w odróżnieniu od roślin na biomasę, wartość wskaźnika opłacalności przekroczyła 100%.

Śród porównywanych roślin rolniczych najwyższą opłacalnością produkcji charakteryzował się rzepak ozimy, najniższą natomiast burak cukrowy. W przypadku tej

ostatniej rośliny można stwierdzić, że przy założonym poziomie plonowania jej produkcja oscyluje na granicy opłacalności. Pomimo wysokich, w porównaniu z roślinami uprawianymi na cele energetyczne, kosztów produkcji poziom uzyskiwanych przychodów pozwala uzyskać opłacalność produkcji (tab. 7).

Należy zwrócić uwagę, że w okresie kiedy była porównywana konkurencyjność tych dwóch kierunków produkcji ceny płodów rolnych kształtowały się na wysokim poziomie. Wynikało to m.in. z niskich plonów w 2007 roku, a w efekcie dużego zapotrzebowania na żywność na rynkach światowych. Niemniej jednak uzyskane wyniki pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że przy aktualnych uwarunkowaniach produkcja pszenicy ozimej, rzepaku ozimego i buraka cukrowego jest bardziej konkurencyjna względem uprawy miskanta, wierzby czy ślazuwca pensylwańskiego.

Wyniki oceny porównawczej są pochodnymi przyjętych założeń. Kalkulację sporządzono *loco* pole. W kalkulacjach przyjmuje się często (np. IERiGŻ), że wynagrodzenie za pracę w rolnictwie jest kategorią wynikową jako odzwierciedlenie dochodu rolniczego. Jednak takie kalkulacje wymagają powiązania z całokształtem działalności gospodarstwa rolniczego.

Tabela 7

Kalkulacja uprawy wybranych roślin rolniczych ($\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$)

Wyszczególnienie	Pszenica ozima	Rzepak ozimy	Burak cukrowy
Koszty materiałowe	1379	1327	2302
w tym :			
materiał siewny	438	150	616
nawozy	744	1072	936
środki ochrony	197	105	750
Koszty użycia maszyn i narzędzi	1214	960	2606
Pozostałe koszty	194	149	149
Koszty ogólnogospodarcze	815	815	815
w tym: amortyzacja	602	551	715
Koszty pracy	245	210	585
Suma kosztów ($\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$)	3847	3461	6457
Plon ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)	5,0	3,0	40,0
Cena ($\text{zł} \cdot \text{t}^{-1}$)	750	1250	120
Produkt główny ($\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$)	3750	3750	4800
Produkt uboczny (słoma) ($\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$)	273	-	-
Dopłaty bezpośrednie ($\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$)	596	596	301
Dopłata cukrowa ($\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$)	-	-	1492
Suma przychodów ($\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$)	4619	4346	6593
Wynik finansowy ($\text{zł} \cdot \text{ha}^{-1}$)	772	885	136

Źródło: Obliczenia własne na podstawie metodyki stosowanej przez IERiGŻ-PIB oraz Wielkopolską Izbę Rolniczą (12, 16).

Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonej analizy można jednoznacznie stwierdzić, że uprawa roślin energetycznych objętych kalkulacją przy aktualnych uwarunkowaniach cenowych nie jest opłacalna. Rośliny te są również niekonkurencyjne w stosunku do typowych roślin rolniczych (pszenica ozima, rzepak ozimy, burak cukrowy). Zaznaczyć należy, że sytuacja ta może ulec modyfikacji w wyniku zmian uwarunkowań makroekonomicznych. Do głównych zmian, które mogą wpłynąć na poprawę niekorzystnego wyniku ekonomicznego uprawy roślin energetycznych oraz ich konkurencyjności należy zaliczyć:

- obniżenie, wysokich w ostatnim okresie, cen na płody rolne;
- wzrost cen biomasy ze względu na konieczność realizacji dyrektyw UE.
- obniżenie cen materiału rozmnożeniowego roślin uprawianych na cele energetyczne, co może wynikać z większej jego podaży na rynku;
- obniżenie kosztów usług specjalistycznych w uprawie roślin energetycznych;
- dążenie do zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego oraz zmniejszenie importu paliw kopalnych;
- wzrost subwencji do produkcji „zielonej energii”;
- wyselekcjonowanie lepiej plonujących klonów roślin uprawianych na cele energetyczne.

Istnieją jednak pewne, bardzo prawdopodobne, przesłanki, które wskazują również na potencjalne pogorszenie opłacalności i konkurencyjności produkcji na cele energetyczne. Do nich można zaliczyć:

- dalszy wzrost cen środków produkcji i kosztów użycia maszyn i narzędzi (wzrost cen energii, surowców, technologii);
- wzrost kosztów pracy oraz niedobór siły roboczej;
- osłabienie zainteresowania energią z biomasy uwarunkowane czynnikami środowiskowymi i efektywnością energetyczną tego procesu;
- wzrost cen żywności, co pogłębi brak konkurencyjności biomasy i spowoduje zmniejszenie zainteresowania szukaniem alternatywnych (nieżywnościowych) kierunków produkcji rolniczej;
- rozwój produkcji energii z roślin rolniczych uprawianych tradycyjnie (np. rzepaku, kukurydzy), których technologia produkcji jest dobrze rozpoznana i opanowana.

Zaznaczyć należy, że aktualność sporządzonej kalkulacji jest ograniczona szybko zmieniającymi się uwarunkowaniami ekonomiczno-rynkowymi, społecznymi i politycznymi.

Przeprowadzona analiza pozwala jednak stwierdzić, że dla rozwoju produkcji roślin na cele energetyczne konieczne jest większe wsparcie zewnętrzne (MRiRW, UE).

Literatura

1. Gańko E.: Economic assessment of willow production for energy and its competitiveness in agricultural systems in Poland. In: *Alternative plants for sustainable agriculture*, Institute of Plant Genetics, Poznań, 2006, 51-62.
2. Gradziuk P., Wojtaszek Z.: Alternatywne wykorzystanie gruntów rolniczych na cele niezwiązane z produkcją żywności. W: *Procesy dostosowawcze produkcji roślinnej w Polsce w kontekście integracji z Unią Europejską*. SGGW Warszawa, 2001, 213-228.
3. Jasiulewicz M.: Rozwój lokalny w oparciu o biomasę z rolnictwa. *Rocz. Nauk. SERiA*, 2007, **9(1)**: 193-197.
4. Józwick W.: Opłacalność produkcji rolniczej. W: *Encyklopedia agrobiznesu*. Fundacja Innowacji, Warszawa, 1998, 529-531.
5. Kuś J.: Prognozowanie zmian w zasiewach w świetle planowanego wzrostu powierzchni uprawy roślin na cele energetyczne. *Wiś Jutra*, 2003, **3**: 50-52.
6. Kuś J., Faber A.: Alternatywne kierunki produkcji rolniczej. W: *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych*. Studia i Raporty IUNG-PIB, 2007, **7**: 139-149.
7. Krusze N.: *Organizacja i ekonomika przedsiębiorstw ogrodniczych*. PWRiL Warszawa, 1984.
8. Praca zbiorowa: Ekspertyza: Przygotowanie sposobów oceny racjonalności zakupu maszyn, urządzeń i ciągników rolniczych w ramach oceny ekonomiczno – technicznej dokonywanej w działaniu „Inwestycje w gospodarstwach rolnych” Sektorowego Programu Operacyjnego „Restrukturyzacja i modernizacja sektora żywnościowego oraz obszarów wiejskich 2004–2006” oraz „Modernizacja gospodarstw rolnych”. Program Rozwoju Obszarów Wiejskich 2007–2013. IBMiER Warszawa, 2007.
9. Praca zbiorowa: Katalog norm i normatywów. SGGW Warszawa, 1991.
10. Praca zbiorowa: *Ogrodnictwo w tabelach*. PWRiL Warszawa, 1984.
11. Praca zbiorowa: Poradnik PROW. Przepisy ochrony środowiska, normatywy i wskaźniki funkcjonujące w produkcji rolniczej. CDR Brwinów, 2006.
12. Praca zbiorowa: Produkcja, koszty i nadwyżka bezpośrednia wybranych produktów rolniczych w 2006 roku. IERiGŻ-PIB Warszawa, 2007.
13. Praca zbiorowa: Wyniki ekonomiczne wybranych produktów rolniczych w latach 2005–2006. IERiGŻ-PIB Warszawa, 2007.
14. Stolarski M. J.: Opłacalność uprawy wierzby na cele energetyczne. W: *2 Regionalne Forum Energetyki Odnawialnej*. Przysiek, 2006, 46-48.
15. Szczukowski S., Kościuk B., Kowalczyk-Juśko A., Tworkowski J.: Uprawa i wykorzystanie roślin alternatywnych na cele energetyczne. *Bibl. Fragm. Agron.*, 2006, **3**: 300-315.
16. Wielkopolska Izba Rolnicza. Kalkulacje kosztów produkcji. <http://www.wir.org.pl/kalk/kalk.htm>

Adres do korespondencji:

dr Mariusz Matyka
Zakład Systemów i Ekonomiki Produkcji Roślinnej
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (0 81) 886 34 21, w. 359
e-mail: mmatyka@iung.pulawy.pl

Stanisław Krasowicz

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

WPŁYW PRODUKCJI ROŚLIN ENERGETYCZNYCH NA RYNEK ŻYWNOŚCI*

Wstęp

Zainteresowanie produkcją roślin energetycznych spowodowało powstanie rynku surowców energetycznych. Pojawiły się jednocześnie nowe uwarunkowania funkcjonowania rynku żywnościowego, który jest rynkiem specyficznym, w tym także nowa płaszczyzna konkurencji o surowce pochodzące z rolnictwa.

Dotychczas do podstawowych cech charakterystycznych rynku żywnościowego zaliczano (12):

- niską elastyczność podaży sprawiającą, że niewielkie zmiany podaży surowców rolnych powodują istotne zmiany poziomu cen i dochodów rolników oraz sfery przetwórstwa,
- stan nierównowagi rynku występujący wskutek cyklicznych zmian podaży i konieczności dostosowania się przetwórstwa do tych zmian,
- niską, na ogół, elastyczność cenową popytu na produkty żywnościowe związaną z podstawowym charakterem potrzeb zaspokajanych przez żywność.

Rolnictwo jako jedno z ogniw rynku żywnościowego (agrobiznesu) od pozostałych działów gospodarki różni się technikami wytwarzania, gdyż jego efekty uzależnione są od jakości i rolniczej przydatności gleb, pogody, pór roku, długości cyklu produkcyjnego oraz występowaniem specyficznych podmiotów gospodarczych jakimi są gospodarstwa rolne, grupy producenckie i marketingowe, organizacje branżowe i samorządowe. Rynek rolny obejmuje zarówno produkty nieprzetworzone, kierowane bezpośrednio do konsumpcji, jak też produkty udostępniane konsumentom po przetworzeniu oraz produkty wykorzystywane w procesach wytwórczych jako środki produkcji. Można zatem powiedzieć, że produkcja surowców energetycznych traktowana jako element rynku rolnego konkuruje z innymi elementami tego niezwykle złożonego systemu, tj. agrobiznesu. Konkurencja ta ma charakter wielopłaszczyznowy i jest pochodną różnorodności i specyfiki produkcji roślinnej. Jednak w krajach Unii Europejskiej do niedawna nie zajmowano się szerzej wpływem produkcji roślin energetycznych na

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.8 w programie wieloletnim IUNG - PIB

rynek żywnościowy i na ceny żywności lub też dokonywano ocen fragmentarycznych. Z jednej strony można to tłumaczyć nadprodukcją żywności i koniecznością zagospodarowania nadwyżek, a z drugiej tym, że na rozwój produkcji surowców energetycznych w dużym stopniu wpływają decyzje polityczno-administracyjne, wsparte rozległą działalnością marketingową.

W ostatnim okresie w dyskusjach (2) i publikacjach (1, 3) zwraca się uwagę na wzrost cen żywności spowodowany różnymi czynnikami. Jednocześnie akcentuje się relatywnie silny związek cen żywności w Polsce z sytuacją na rynkach Unii Europejskiej, a nawet szerzej, na rynkach światowych (4). Jako przyczyny występującej współcześnie tendencji wzrostu cen żywności podaje się ocieplenie klimatu, wzrost popytu globalnego na żywność, a także w dalszej kolejności wykorzystanie surowców do produkcji biopaliw. Toczą się także dyskusje dotyczące wpływu wykorzystania poszczególnych ziemiopłodów na cele energetyczne, na możliwość powstania kryzysu na rynkach rolnych, np. na rynku zbóż w Polsce (6).

Celem opracowania było omówienie różnych aspektów wpływu produkcji roślin energetycznych na rynek żywności. Przyjęto hipotezę, że produkcja i wykorzystanie roślin energetycznych wpływają na podaż i ceny żywności.

Podstawą rozważań są dane statystyczne, wyniki analiz rynkowych IERiGŻ-PIB (11) oraz poglądy i opinie różnych autorów prezentowane w literaturze.

Opinie na temat biopaliw i ich wpływu na rynek żywności

K u l a w i k (7) polemizując ze zwolennikami biopaliw zwraca uwagę na szereg aspektów ekonomicznych. Powołując się na opracowania opublikowane przez The Guardian, The Independent, Foreign Affairs i Istoc twierdzi, że problem biopaliw jest bardzo poważny. Uzyskiwanie biopaliw wcale nie jest procesem tanim ani ekonomicznie, ani energetycznie. Ich producenci najpierw kreują duże zdolności wytwórcze, a później naciskają na rządy, żeby stworzyły im korzystne warunki fiskalne (ulgi podatkowe, subwencje itd.), które zapewnią rekompensatę poniesionych nakładów. Uprawa soi i kukurydzy jako roślin energetycznych, ale jednocześnie energochłonnych i zanieczyszczających środowisko, ma niewiele wspólnego z oszczędnością energii i ochroną przyrody. Ponadto uprawy te silnie konkurują z ich żywnościowym przeznaczeniem, powodując wzrost cen żywności, co stymuluje procesy inflacyjne, np. obecnie w Meksyku potęguje znaczenie kwestii wyżywienia ubogich grup ludności.

Przewiduje się też, że w przyszłości problem ten ulegnie jeszcze zaostrzeniu i najsilniej dotknie kraje najuboższe (7). Istnieje również obawa, że gwałtownie rosnący popyt na biopaliwa (rośliny energetyczne) prowadzić będzie do szybkiego wycięcia lasów i puszczy równinowych. Tendencja ta może prowadzić do redukcji bioróżnorodności, nasilenia erozji gleb i ich wyjąławiania ze składników pokarmowych. Nie ma gwarancji, że rozwój gospodarki biopaliwowej przyniesie poprawę dochodów rolniczych. Istnieje bowiem różnica potencjałów między silnymi producentami biopaliw a dużą liczbą rolników, którzy z przyczyn obiektywnych są słabszymi partnerami w warunkach gry rynkowej. Lobby biopaliwowe łatwo może narzucić niekorzystne

warunki kontraktacji roślin energetycznych. Wysoce prawdopodobny jest scenariusz, że podmioty położone najbliżej konsumenta biopaliw, tj. wytwórcy i dystrybutorzy przejmą przeważającą część wartości dodanej. Można więc z dużym prawdopodobieństwem przewidywać, że rolnicy (zwłaszcza w krajach najuboższych) będą narażeni na wzrost cen żywności i zmniejszenie udziału surowców rolniczych w finalnej cenie biopaliw. Zdaniem K u l a w i k a (7) potencjał roślin energetycznych uprawianych w strefie umiarkowanej jest znacznie niższy w porównaniu z roślinami uprawianymi w warunkach tropikalnych. Z 1 ha trzciny cukrowej w Brazylii można wyprodukować około 6-krotnie więcej bioetanolu (biopaliwa) niż z 1 ha rzepaku w Wielkiej Brytanii.

Zdaniem K u s i a i n. (9) w warunkach Polski gospodarstwa uprawiające rośliny na substytucję paliwową muszą uzyskiwać zdecydowanie wyższe od średnich krajowych plony, gdyż tylko wówczas można osiągać względnie wysoką efektywność ekonomiczną i energetyczną takiej produkcji, a niezbędny areal gruntów będzie mniejszy. Na ten cel mogą być także przeznaczane zboża niespełniające wymagań konsumpcyjnych i paszowych. Z przeprowadzonych analiz wynika, że zapewnianie odpowiedniej ilości surowców do przerobu na bioetanol, przynajmniej w pierwszym okresie, tj. do roku 2010 nie powinno nastroczać większych problemów i destabilizować rynku żywności (9).

S e r e m a k - B u l g e i H r y s z k o (14) twierdzą, że wykorzystanie do produkcji energii odnawialnej roślin transgenicznych (GMO) mogłoby znacząco obniżyć jej koszty i poprawić efektywność produkcji, dając jednocześnie rolnikom zadowalający dochód i przyczyniając się do podniesienia rangi rolnictwa w gospodarczym rozwoju obszarów wiejskich. Autorzy ci uważają, że wprowadzenie roślin genetycznie modyfikowanych do polskiego rolnictwa powinno w pierwszej kolejności dotyczyć właśnie produkcji surowców dla sektora biopaliw i innych zastosowań produktów rolnictwa na cele niejadalne. Surowcami takimi przede wszystkim są: rzepak, zboża, kukurydza i burak cukrowy, które mogą być i są szybko przetwarzane w rozwijającym się sektorze biopaliw. Konkurencyjność tego sektora zależy w dużym stopniu od produkcji suchej masy z jednostki powierzchni roślin uprawianych na cele energetyczne oraz kosztów ich uprawy i przerobu (14). Biopaliwa powinny być konkurencyjne cenowo w porównaniu z konwencjonalnymi nośnikami energii. Wykorzystanie w produkcji energii roślin genetycznie modyfikowanych jest niewątpliwie problemem o dużym znaczeniu gospodarczym, zmieniającym, a raczej łagodzącym nieco, opinie przeciwników GMO.

Według oficjalnych wypowiedzi kompetentnych przedstawicieli Unii Europejskiej (Stavros Dimas – Komisarz ds. środowiska) ekologiczne i socjalne problemy wywołane przez biopaliwa są większe niż przypuszczano. Niekorzystne efekty produkcji biopaliw znane są od dawna, ale dopiero teraz, gdy na całym świecie drożeje żywność stały się one bardzo widoczne. W prasie pojawiła się opinia, że aby wyprodukować etanol wystarczający do jednorazowego napełnienia zbiornika paliwa dużego samochodu, trzeba zużyć tyle ziarna kukurydzy ile wystarcza do całorocznego wyżywienia człowieka (3).

Wysokie subsydia spowodowały, że tylko w USA do produkcji etanolu zużyto dodatkowe 30 mln ton ziarna. Jak podaje „The Economist” odpowiada to 50% zmniejszeniu zapasów zboża na świecie, co wydatnie przyspieszyło podwyżki cen. Ponadto, jak twierdzą eksperci UE, w Ameryce Południowej masowo karczowane są lasy tropikalne, aby powiększyć powierzchnię zasiewów kukurydzy, z której ziarna wytwarza się potem biopaliwa.

Strategia rozwoju biopaliw przyjęta w krajach UE, w tym także w Polsce, wymaga analizy przyrodniczych i ekonomiczno-organizacyjnych uwarunkowań wykorzystania krajowej bazy surowcowej do produkcji bioetanolu (10). O wyborze poszczególnych gatunków w każdym kraju powinny decydować głównie lokalne warunki klimatyczne i glebowe, koszty uprawy roślin, jednostkowa wydajność spirytusu (lub biodiesla) z 1 ha, potencjał i stabilność plonowania każdego z gatunków. Istotne znaczenie ma jednak konkurencyjność innych rynków zbytu, w tym rynku żywności i pasz, decydujących o samowystarczalności żywnościowej kraju.

Według N o w a c k i e g o (10) oprócz ewentualnego przeznaczenia zbiorów na produkcję bioetanolu (biodiesla) wszystkie gatunki roślin uprawnych zaliczane do tzw. głównych ziemiopłodów są przeznaczane na konsumpcję, a także zużywane jako pasza lub do przerobu przemysłowego (przemysł młynarski, cukrowniczy, olejarski, skrobiowy itp.). Konieczne są więc precyzyjne bilanse zagospodarowania zbiorów roślin rolniczych.

R o s i a k (13) podaje, że do wyprodukowania potrzebnych w kraju w roku 2010 ilości bioetanolu potrzeba 938 tys. ton zbóż (pszenżyto, żyto), 877 tys. ton kukurydzy, 3732 tys. ton buraka cukrowego i 3048 tys. ton ziemniaka.

Bilans zużycia zbóż jest w każdym roku napięty. W latach nieurodzaju powstaje deficyt w bilansie wszystkich gatunków zbóż. Natomiast w latach urodzaju wzrastają zapasy.

Jednak z badań IUNG (6, 9) wynika, że osiągnięcie średnich plonów zbóż w granicach 3,8-3,9 t z ha i krajowej produkcji ziarna na poziomie 29-30 mln ton, to jest o 1-2 mln ton powyżej aktualnego zużycia, jest realne. Należy jednak podkreślić, że konieczny jest wzrost nakładów na uzasadnioną ekonomicznie intensyfikację produkcji oraz na poprawę odczynu i zasobności gleb. Przy takim założeniu możliwe jest pokrycie potrzeb konsumpcyjnych, paszowych i przemysłowych oraz przeznaczenie 1-1,5 mln ton ziarna na produkcję bioetanolu.

G r a d z i u k (4) analizując konsekwencje światowej polityki wspierania biopaliw wykazał, że zwiększenie produkcji biopaliw powoduje wzrost zapotrzebowania na takie surowce, jak: zboża, trzcina cukrowa i rośliny oleiste, które do tej pory były wykorzystywane głównie na cele spożywcze. Rosnący popyt na te artykuły spowodował wzrost cen w całym sektorze rolnym. Autor ten udowodnił, że znacznego wzrostu cen zbóż jaki miał miejsce w ostatnich dwóch latach nie można tłumaczyć obniżeniem produkcji. Z analizy funkcji trendu zbiorów zbóż na świecie w latach 2002–2007 wynika, że pomimo wahań w latach następował w badanym okresie średnioroczny wzrost ich produkcji o około 40 mln ton. Stąd też coraz częściej wskazywane są przyczyny

o charakterze popytowym, głównie związane ze wzrostem wykorzystania zbóż do produkcji bioetanolu.

G r a d z i u k (4) analizował również zależności pomiędzy cenami zbóż (pszenica, kukurydza) a poziomem produkcji etanolu w USA, które są nie tylko największym na świecie producentem etanolu i zbóż, ale także ważnym ich eksporterem. Kształtowanie się cen pszenicy w USA w zależności od produkcji etanolu przedstawia równanie:

$$y = 2,7718x + 117,8; R^2 = 0,6137 \quad (1)$$

gdzie:

y – cena pszenicy w USD · t⁻¹

x – wielkość produkcji etanolu w tys. m³

Natomiast poziom cen kukurydzy w USA w zależności od produkcji etanolu można opisać równaniem:

$$y = 2,6613x + 78,901; R^2 = 0,7697 \quad (2)$$

gdzie:

y – cena kukurydzy w USD · t⁻¹

x – wielkość produkcji etanolu w tys. m³

Opracowane modele charakteryzują się korzystnymi parametrami przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ i objaśniają zmienność cen pszenicy i kukurydzy odpowiednio w 61 i 77%. Wyższy wskaźnik determinacji w przypadku kukurydzy wynika stąd, że gatunek ten jest w USA podstawowym surowcem do produkcji bioetanolu. Do przedstawionych modeli autor podchodzi jednak krytycznie, wskazując że nie uwzględniono w nich szeregu czynników, które mogą wpływać na zmienność cen, np. sezonowości i wahań produkcji, wzrostu popytu, eksportu. Ponadto podkreśla, że rosnące ceny zbóż to wyższe ceny artykułów żywnościowych i coraz szersza fala niezadowolenia konsumentów (4). Może to doprowadzić do zmiany polityki UE wobec biopaliw. Już obecnie zgłaszane są sugestie co do zastosowania moratorium na zamrożenie na dotychczasowym poziomie produkcji biopaliw ze zbóż i roślin oleistych, a wykorzystanie surowców odpadowych z rolnictwa i leśnictwa. Wskazuje to na potrzebę pogłębionych badań rynkowych zmierzających do określenia wpływu produkcji biopaliw na wzrost cen na rynku żywności, a jednocześnie na celowość weryfikacji założeń strategicznych polityki energetycznej.

Burak cukrowy jest corocznie w 100% przetwarzany na cukier, ale w niektórych latach powstają nadwyżki cukru. Dotychczas gatunkiem, którego podaż przewyższała popyt rynkowy był ziemniak. N o w a c k i (10) uważa, że jednoczesne oparcie bazy surowcowej biopaliw na kilku gatunkach roślin pozwoli uniknąć napięć na rynku żywności w latach o różnych warunkach klimatycznych i zapewni dopływ surowca do gorzelni, a także ograniczy wzrost cen związany z popytem. Wskazuje również (10),

że uruchomienie bazy surowców energetycznych, bez zagrożeń dla podaży żywności w Polsce, tworzy przesłanki do nowej filozofii w podejściu do technologii produkcji. Technologia jakościowa zastępowana będzie przez technologię ilościową, której celem będzie maksymalizacja plonu i uzysku energii z 1 ha, przy jednoczesnym obniżeniu kosztów uprawy roślin. Istotne znaczenie może mieć postęp biologiczny, generujący odmiany o niskich kosztach uprawy. Potwierdzeniem tej tezy są współczesne odmiany ziemniaka skrobiowego, charakteryzujące się niskimi kosztami uprawy i wysoką wydajnością etanolu z jednostki powierzchni.

Przedstawiciele UE zapowiadają nowe regulacje dotyczące produkcji i wykorzystania biopaliw (8). Zapowiedzi te są pozytywnie oceniane przez organizacje ekologiczne (3).

Dnia 26 października 2007 r. w SGGW w Warszawie odbyła się międzynarodowa konferencja pt. „Biopaliwa w Unii Europejskiej po roku 2010 – perspektywy Europy Centralnej i Wschodniej”. Celem tej konferencji była prezentacja wyników projektu REFUEL. Problem wpływu produkcji roślin energetycznych na rynek żywności nie był jednak podczas tej konferencji szerzej analizowany. Być może wynika to z przekonania, że w Polsce biopaliwa nie mają większego wpływu na wzrost cen żywności, gdyż istnieją rezerwy pozwalające przeznaczyć znaczące ilości ziemiopłodów na cele energetyczne (9). Wskazano natomiast, że osiągnięcie wskaźnika wykorzystania biopaliw na poziomie 10% w roku 2020 będzie możliwe wyłącznie przy rozwoju biopaliw drugiej generacji. Tylko taki scenariusz nie będzie stwarzał zagrożeń dla samowystarczalności żywnościowej. Umożliwi też poprawę modelu konsumpcji żywności. Biopaliwa pierwszej generacji wytwarzane są przeważnie z roślin jadalnych lub jadalnych przystosowanych (np. rzepakowy olej bezerukowy do produkcji biodiesla). Mogą więc one stwarzać konkurencję dla podaży żywności i powodować wzrost cen, zwłaszcza przy osiąganiu wskaźników wykorzystania biopaliw przewidywanych w założeniach polityki energetycznej UE na rok 2020. Konieczne są więc prace nad drugą generacją biopaliw, które można pozyskać z surowców nieżywnościowych.

Produkcja biomasy z przeznaczeniem na biopaliwa stałe będzie zmuszać do intensyfikacji uprawy głównych ziemiopłodów, poprawy agrotechniki oraz racjonalizacji wykorzystania gleb użytkowanych rolniczo. W scenariuszach rozwoju produkcji biomasy (1) zakładano, że pod jej produkcję na biopaliwa stałe będą przeznaczane głównie gleby gorszej jakości (tzw. grunty marginalne), grunty obecnie odłogowane lub ugorowane, a także gleby zanieczyszczone, głównie metalami ciężkimi (nieprzydatne do uprawy roślin na cele konsumpcyjne i paszowe). Z punktu widzenia ograniczania konkurencji dla rynku żywności najbardziej optymalnym rozwiązaniem byłaby uprawa roślin energetycznych charakteryzujących się wysokim plonem suchej masy, możliwym do uzyskania na glebach o relatywnie niskiej jakości. Z drugiej strony uprawa roślin energetycznych powinna obejmować jak najwięcej gatunków dostosowanych do zróżnicowanych warunków glebowo-klimatycznych oraz możliwości technicznych rolników. Podejmowanie decyzji jest jednak trudne, gdyż brakuje obecnie rozeznania dotyczącego produktywności poszczególnych roślin w różnych siedliskach i warun-

kach produkcyjnych. Plony uzyskiwane z plantacji produkcyjnych zazwyczaj ustępują plonom z upraw doświadczalnych, a ponadto produkcja biomasy na paliwa stałe w gorszych warunkach siedliskowych może być nieefektywna pod względem ekonomicznym i energetycznym. Aspekty te powinny być uwzględniane przy prognozowaniu zapotrzebowania gruntów pod produkcję biopaliw. Prognozy takie z reguły zakładają, że zapewnione będzie zapotrzebowanie rynku żywnościowego i przemysłu.

G r z y b e k (5) podaje, że zapotrzebowanie ogółem na grunty pod produkcję biopaliw, zgodnie z uregulowaniami prawnymi, wynosić będzie 787,9 tys. ha w 2010 r. i 1511,5 tys. ha w 2020 roku. Część tych gruntów jest obecnie przeznaczona pod produkcję żywności. Zachowanie dotychczasowego poziomu konsumpcji i przeznaczenie części zbiorów ziemiopłodów na cele energetyczne powoduje konkurencję o ziemię jako czynnik warunkujący produkcję biopaliw. Należy również pamiętać, że zwiększone zatrudnienie związane z produkcją biopaliw może w pewnym stopniu zwiększać możliwości nabywcze konsumentów i popyt na żywność.

Reasumując można stwierdzić, że w opiniach na temat wpływu produkcji roślin energetycznych na rynek żywności zwraca się uwagę na różne, często subiektywnie postrzegane aspekty. Brak jednoznacznych opinii świadczy o złożoności problemu, wskazując na potrzebę podjęcia reprezentatywnych badań, wykorzystujących różne źródła informacji.

Podsumowanie

Produkcja roślin energetycznych jest elementem złożonego systemu jakim jest gospodarka narodowa. Powinna zatem być rozpatrywana wieloaspektowo, z uwzględnieniem założeń i etapów realizacji strategii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Jednym z ważniejszych problemów wieloaspektowej analizy jest ocena wpływu produkcji roślin energetycznych na rynek żywności. Brak szerszych badań na ten temat uniemożliwia precyzyjne określenie wpływu produkcji biopaliw na poziom cen i możliwości zaspokojenia zapotrzebowania rynku żywnościowego. Z przedstawionych ocen i opinii wynika, że zapotrzebowanie na surowce do produkcji biopaliw jest tylko jednym z czynników decydujących o wzroście cen na rynku żywności. Oczywiście w perspektywie bardziej odległej, np. za 40 lat światowy popyt na żywność może się nawet podwoić. Możliwości wzrostu powierzchni zasiewów są i będą ograniczone. W długim okresie pokrycie zapotrzebowania na żywność i produkcję biopaliw w skali globalnej musi więc oznaczać wzrost intensywności produkcji, ukierunkowanej na dostosowanie podaży do popytu, a przynajmniej opartą na wielu przesłankach optymalizację wykorzystania zasobów ziemi rolniczej. Produkcja biopaliw nie musi mieć jednak zasadniczego wpływu na ceny żywności. Zdaniem J e r z a k a (2) upowszechnienie się uprawy roślin genetycznie modyfikowanych może zrewolucjonizować produkcję pod względem odporności roślin na szkodniki, a tym samym wpłynąć na wzrost wydajności i obniżkę kosztów. Biopaliwa mogą być konkurencją dla produkcji surowców służących do wytwarzania żywności, a wykorzystanie GMO stwa-

rza szanse na jej złagodzenie. Postawionej na wstępie hipotezy nie udało się w pełni, w sposób przekonywający udowodnić.

W opracowaniu zaakcentowano tylko wybrane aspekty i złożoność wpływu produkcji roślin energetycznych na rynek żywności. Wskazano kwestie, które wymagają pogłębionych badań i wprowadzania korekt w zależności od dynamiki i kierunków zmian. Celowe wydaje się również śledzenie rozwoju produkcji biopaliw w różnych krajach.

Literatura

1. D o l n i a k P.: Biopaliwa w Unii Europejskiej. *Farmer*, 2006, **4**: 14-16.
2. Dziennik Finansowy z dnia 16 stycznia 2008, 8-9: Wzrost popytu i produkcja biopaliw oznaczają koniec ery taniej żywności.
3. Gazeta Wyborcza z dnia 15 stycznia 2008, 29: Europa odwraca się od biopaliw.
4. G r a d z i u k P.: Zapotrzebowanie na bioetanol w świetle światowej polityki wspierania wykorzystania biopaliw a ceny zbóż. W: Czy grozi Polsce kryzys zbożowy (w świetle pozarolniczego wykorzystania ziarna). Wyd. „Wieś Jutra”, 2007, 101-106.
5. G r z y b e k A.: Ziemia jako czynnik warunkujący produkcję biopaliw. *Probl. Inż. Rol.*, 2008 (w druku).
6. K r a s o w i c z S.: Możliwości zwiększenia produkcji zbóż w Polsce. W: Czy grozi Polsce kryzys zbożowy w świetle pozarolniczego wykorzystania ziarna. Wyd. Wieś Jutra, 2007, 66-78.
7. K u l a w i k J.: Dylematy polityki finansowej w polskim rolnictwie. W: Rozwój rolnictwa, gospodarki żywnościowej i obszarów wiejskich Polski w Unii Europejskiej. ALMAMER, Warszawa, 2007, 65-85.
8. K u p c z y k A., R u c i Ń s k i D.: Biopaliwa w Unii Europejskiej po 2010 roku – perspektywy Europy Centralnej i Wschodniej. Kiedy biopaliwa II generacji. *Wieś Jutra*, 2007, **11**: 41-43.
9. K u ś J., F a b e r A., M a d e j A.: Przewidywane kierunki zmian w produkcji roślinnej w ujęciu regionalnym. W: Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce. Raporty PIB, IUNG Puławy, 2006, **3**: 195-210.
10. N o w a c k i W.: Przyrodnicze i ekonomiczne uwarunkowania wykorzystania krajowej bazy surowcowej do produkcji bioetanolu. *Rocz., Nauk. SERiA*, 2007, **9(1)**: 338-342.
11. Praca zbiorowa: Analiza produkcyjno-ekonomicznej sytuacji rolnictwa i gospodarki żywnościowej w 2006 roku. IERiGŻ PIB, Warszawa, 2007, ss. 399.
12. Praca zbiorowa: Dbłość o jakość żywności i środowisko naturalne w tradycyjnej produkcji rolniczej. Expert-SITR Koszalin, 2003, ss.192.
13. R o s i a k E.: Rozwój rynku biopaliw szansą dla polskiego rolnictwa. *Agroserwis*, 2006, **13**: 1-3.
14. S e r e m a k - B u l g e J., H r y s z k o K.: Rośliny genetycznie modyfikowane – uwarunkowania ekonomiczne i prawne w Polsce. *Wieś Jutra*, 2008, **1**: 38-42.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Stanisław Krasowicz
IUNG - PIB
ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy
tel. (081) 886 49 60
e-mail: sk@iung.pulawy.pl

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

W serii wydawniczej „**STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB**” publikowane są recenzowane prace z zakresu agronomii i kształtowania środowiska rolniczego, wykonane w ramach zadań programu wieloletniego pn. „Kształtowanie środowiska rolniczego Polski oraz zrównoważony rozwój produkcji rolniczej”. W zeszytach problemowych wydawanych w ramach tej serii mogą być zamieszczane również prace autorów spoza IUNG - PIB, które merytorycznie mieszczą się w tematyce zadań programu wieloletniego. **Publikowane są prace problemowe, głównie mające charakter przeglądowy, z podkreśleniem znaczenia omawianych zagadnień dla rolnictwa polskiego.**

Wydruk tekstu do recenzji:

czcionka 12 p., z odstępem 1,5-wierszowym.

Przygotowanie do druku:

- tekst i tabele w programie Word, wersja 6.0 lub wyższa
- czcionka – Times New Roman
- układ pracy: wstęp, wyniki i dyskusja bądź omówienie wyników, podsumowanie, literatura

tekst

- czcionka – 11 p. (spis pozycji literatury – 9 p.)
- wcięcie akapitowe – 0,5 cm

tabele

- podział na wiersze i kolumny (z funkcji tworzenia tabel)
- szerokość dokładnie 13 cm (tabele w pionie) lub 19 cm (tabele w poziomie)
- czcionka 9 p., pojedyncze odstępy międzywierszowe
- umieszczone w oddzielnych plikach
- pod tabelą przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

rysunki

- czarno-białe
- wykresy w programie Word lub Excel
- wymiary w zakresie 12,5 cm × 18,5 cm
- dołączony wydruk w odpowiednich wymiarach, bardzo dobrej jakości, na białym papierze lub na folii
- w podpisach czcionka 9 p.
- na dyskietce w oddzielnych plikach
- pod rysunkiem przypis ze wskazaniem źródła danych (autorstwa)

jednostki miary

- system SI
- jednostki zapisywać potęgowo (np. t · ha⁻¹)

literatura

- spis literatury na końcu pracy w układzie alfabetycznym wg nazwisk autorów, w kolejności: nazwisko (pismo rozstrzelone), pierwsza litera imienia, tytuł pracy, miejsce publikacji: tytuł wydawnictwa (wg ogólnie przyjętych skrótów tytułów czasopism), rok, numer (pismo pogrubione), strony
- cytowanie w tekście – jako numer pozycji ze spisu literatury (w nawiasach okrągłych) lub dodatkowo z nazwiskiem autora (pismo rozstrzelone).

Pracę do recenzji należy składać w 2 egzemplarzach. Po recenzji oryginalny egzemplarz recenzowany i ostateczną wersję pracy, uwzględniającą uwagi recenzenta i redaktora, składać do Redakcji w 1 egzemplarzu i na dyskietce lub przesłać e-mailem na adres:

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
e-mail: imarcinkowska@iung.pulawy.pl

W serii wydawniczej „**RAPORTY PIB**”, a od 2007 r. „**STUDIA I RAPORTY IUNG - PIB**” ukazały się następujące pozycje:

1. *Wybrane aspekty agrochemicznych badań gleby*. Puławy, 2006.
2. *Zasady wprowadzania nawozów do obrotu*. Puławy, 2006.
3. *Regionalne zróżnicowanie produkcji rolniczej w Polsce*. Puławy, 2006.
4. *Monitoring skutków środowiskowych planu rozwoju obszarów wiejskich*. Puławy, 2007.
5. *Sprawdzenie przydatności wskaźników do oceny zrównoważonego gospodarowania zasobami środowiska rolniczego w wybranych gospodarstwach, gminach i województwach*. Puławy, 2007.
6. *Możliwości rozwoju rolnictwa ekologicznego w Polsce*. Puławy, 2007.
7. *Współczesne uwarunkowania organizacji produkcji w gospodarstwach rolniczych*. Puławy, 2007.
8. *Efektywne i bezpieczne metody regulacji zachwaszczenia, nawożenia i uprawy roli*. Puławy, 2007.
9. *Wybrane elementy technologii produkcji roślinnej*. Puławy, 2007.
10. *Problem erozji gleb w procesie przemian strukturalnych na obszarach wiejskich*. Puławy, 2008.

Publikacja dostępna na stronie <http://iung.pulawy.pl/> pod hasłem Wydawnictwa.