

The energy efficiency of oil seed crops production and their biomass conversion into liquid fuels

Efektywność energetyczna uprawy roślin oleistych i konwersji ich biomasy na paliwa płynne

DOI: dx.medra.org/10.12916/przemchem.2014.2270

Long term results of field expts. with cultivation of winter and spring rapes, white mustard, camelina and oil flax were used for evaluation of biodiesel oil prodn. economy (energy return on energy invested). The energy efficiency was in all cases lower (8.3–17.1 GJ/ha) than that of winter rape (43.1 GJ/ha).

Obliczono efektywność energetyczną produkcji biopaliw z wybranych jarych roślin oleistych i porównano ją z wynikami dla rzepaku ozimego, głównej rośliny oleistej, wykorzystywanej w Europie do produkcji biodiesla. Wyniki badań jednoznacznie wskazują stratę energii występującą podczas przetwarzania oleju z rzepaku jarego, gorczycy białej i lnianki siewnej na biodiesel.

Ciągły rozwój industrializacji pociąga za sobą konieczność zaspokajania coraz większych potrzeb energetycznych^{1,2}. Z prognoz wynika³, że do 2020 r. nastąpi wzrost zużycia energii o ok. 60%. Badania wskazują również na wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia kryzysu energetycznego, a obserwowane różnice w prognozach dotyczą tylko terminu jego wystąpienia⁴.

Podstawowym surowcem do produkcji paliw jest obecnie ropa naftowa. W okresie ostatnich 60 lat zużycie ropy naftowej wzrosło o kilkaset procent. Specyfika rozwiązań technicznych stosowanych w pojazdach dostawczych, ciężarowych oraz rolniczych sprawia, że dominującym źródłem napędu jest silnik Diesla, co determinuje progresywny wzrost zużycia oleju napędowego (ON) w transporcie kołowym i rolnictwie⁵. Sytuacja geopolityczna i ekonomiczna Polski sprawia, że większość ropy naftowej używanej do produkcji paliw jest importowana. Powoduje to różne negatywne zjawiska, m.in. znaczną zmienność cen paliw⁶.

Biodiesel jest paliwem alternatywnym w stosunku do konwencjonalnego oleju napędowego⁷. Może on być wytwarzany zarówno z tłuszczów roślin jadalnych (soja, rzepak, słonecznik, lnianka, palma, nasiona bawełny)^{1, 2, 8, 9} lub niejadalnych (rącznik, miódlna indyjska, jatrofa), jak oleju talowego oraz oleju przepracowanego^{10–13}. Surowcem do produkcji bioestrów są również oleje posmażalnicze, które wymagają obróbki wstępnej¹⁴. Tłuszcze zwierzęce (wieprzowe, wołowe, drobiowe) mają ograniczone zastosowanie ze względu na ich stałą konsystencję^{15,16}. Nie stosuje się tłuszczów rybich, ponieważ zawierają długołańcuchowe i niestabilne oksydacyjnie kwasy tłuszczowe.

Bezpośrednie wykorzystanie oleju rzepakowego wiąże się z trudnościami natury technicznej, związanymi z jego specyficznymi właściwościami fizykochemicznymi, które sprawiają, że olej ten nie może być zastosowany do zasilania niezmodyfikowanego silnika diesla^{17–20}. Biodiesel może być stosowany w silnikach konwencjonalnych z niewielkimi zmianami lub nawet bez zmian



Dr inż. Stanisław BIELSKI w roku 1998 ukończył studia na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczo-Technicznej im. Michała Oczapowskiego w Olsztynie. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Agrotechnologii i Zarządzania Produkcją Roślinną na Wydziale Kształtowania Środowiska i Rolnictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Specjalność – technologia uprawy roślin.

* Autor do korespondencji:

Katedra Agrotechnologii i Zarządzania Produkcją Roślinną, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 8; 10-719 Olsztyn, tel.: (89) 523-34-65, fax: (89) 523-32-43, e-mail: stanislaw.bielski@uwm.edu.pl



Dr hab. Krzysztof JANKOWSKI w roku 1993 ukończył studia na Wydziale Rolniczym Akademii Rolniczo-Technicznej im. Michała Oczapowskiego w Olsztynie. Obecnie pracuje na stanowisku profesora nadzwyczajnego w Katedrze Agrotechnologii i Zarządzania Produkcją Roślinną na Wydziale Kształtowania Środowiska i Rolnictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Specjalność – produkcja roślinna, surowce energetyczne, efektywność technologii

konstrukcyjnych^{21, 22}). Pozostaje więc przystosowanie paliwa (jakim jest surowy olej roślinny) do obecnie użytkowanych silników. Popularnym procesem przygotowania oleju do spalania w silnikach wysokoprężnych jest poddanie go reakcji transestryfikacji^{23–29}). Jednakże opłacalność ekonomiczna przetworzenia i użytkowania takiego oleju jest bardzo często wątpliwa³⁰.

Biodiesel jest przyjaznym dla środowiska paliwem. Jego wykorzystanie zmniejsza emisję związków szkodliwych (nie zawiera ani siarki, ani związków aromatycznych, a także emituje mniejsze ilości sadzy). Ze względu na korzyści ekologiczne produkcja biodiesla szybko rozprzestrzeniła na całym świecie^{7, 14, 31, 32}). Oprócz zalet środowiskowych, jest to również zrównoważony rozwój, różnorodność paliw, wzrost liczby miejsc pracy na terenach wiejskich przy produkcji, zwiększenie podatku dochodowego, zwiększenie inwestycji w aktywa trwałe rozwoju rolnictwa oraz międzynarodowa konkurencyjność^{33, 34}). Zwolennicy produkcji biopaliw uważają, że uprawa roślin energetycznych pozwala na rozwój terenów wiejskich poprzez lepsze wykorzystanie gruntów do produkcji biomasy^{1, 2, 35}). Produkcja biopaliw na terenach rolniczych niesie za sobą wiele korzyści, głównie poprzez aktywizację społeczno-gospodarczą, możliwość tworzenia nowych miejsc pracy, dywersyfikację źródeł dochodów, możliwość sprzedaży nadwyżek produktów rolnych, efektywniejsze wykorzystanie potencjału produkcyjnego (ziemi, maszyn, siły roboczej), możliwość rozwoju energetyki rozproszonej oraz możliwość pozyskania funduszy zewnętrznych (środki unijne, ochrona środowiska)³⁶). Niezmiernie ważne jest również bezpieczeństwo energetyczne, czyli niezawodność dostaw paliw, ograniczenie stosowania paliw kopalnych, łatwa dostępność, dystrybucja krajowa i odnawialność surowcowa³⁴.

Rozwój czystych i odnawialnych zasobów energii jest postrzegany jako jedno z największych wyzwań stojących przed ludzkością w średnio- i długoterminowym okresie³⁷). Jednakże polityczne i społeczne poparcie dla biopaliw zostało podważone pod względem ochrony środowiska i bezpieczeństwa żywności. Kwestionuje się uzasadnienie, że biopaliwa przyczyniają się do znacznego zmniejszenia emisji dwutlenku węgla³⁸). Pojawiła się krytyczna ocena wpływu biopaliw na środowisko i kosztów związanych z ich produkcją oraz doborem odpowiedniej technologii i surowców. Produkcja biopaliw może doprowadzić do zmniejszenia różnorodności biologicznej, znacznych zmian przeznaczenia gruntów, podwyżki cen żywności oraz rywalizacji o zasoby wodne. Biorąc pod uwagę liczbę krajów z niedoborem żywności, produkcja biopaliw jest postrzegana jako zagrożenie związane ze wzrostem cen podstawowych artykułów żywnościowych^{39–41}).

Z wcześniejszych badań przeprowadzonych przez Jankowskiego i Budzyńskiego^{42, 43}) jednoznacznie wynika, że najlepszym surowcem do produkcji biodiesla jest rzepak. W porównaniu z innymi olejami (np. z nasion gorczycy białej i sarepskiej oraz z nasion lnu i lnianki) olej rzepakowy wykazał największą wartość opałową

(28,5 MJ/kg). Ze względu jednakże na rosnące zapotrzebowanie na nasiona rzepaku, zarówno do celów konsumpcyjnych, jak i paliwowych, podejmowane są próby wykorzystania innych dostępnych w warunkach krajowych nasion oleistych. Coraz większa liczba badaczy koncentruje się na olejach niejadalnych do produkcji biodiesla. Z technicznego punktu widzenia takie paliwo nadaje się do napędu silników diesla. Głównymi surowcami są nasiona gorczycy^{44–48}) oraz lnu^{49–51}). Jednak ze względu na duży udział kwasu linolenowego oleje z lnianki i lnu nie powinny stanowić jedyne surowca do produkcji biodiesla⁵²).

Hipoteza badawcza zakłada, że niekonsumpcyjne jare rośliny oleiste, dzięki niższemu nakładowi energetycznym wydatkowanym na produkcję surowca olejarskiego przeznaczanego na cele petrochemiczne, charakteryzują się dostateczną sprawnością energetyczną produkcji biodiesla i są alternatywą dla biopaliwa z nasion rzepaku ozimego, głównej rośliny dostarczającej oleju spożywczego w kraju.

Część doświadczalna

Materiał i metodyka badań

Materiał badawczy uzyskano w wyniku dwuletniego (2009–2010) eksperymentu polowo-łanowego prowadzonego w ramach projektu „Efektywne systemy produkcji biomasy na gruntach rolniczych i jej konwersja do paliw ciekłych i gazowych”. Badaniami objęto takie rośliny oleiste, jak rzepak ozimy i jary, gorczyca biała, lnianka siewna oraz len oleisty. Doświadczenie zajmowało powierzchnię 8 ha. Ocenę wartości energetycznej surowca oparto na rzeczywistym plonie nasion oraz energii skumulowanej w tłuszczu (oleju), użytecznej do produkcji estrów metylowych wyższych kwasów tłuszczowych. W tabeli 1 przedstawiono

Table 1. Technological operations taking into account the oilseed crops (energy consuming) technology factors

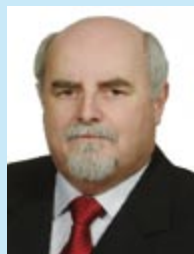
Tabela 1. Operacje technologiczne dla roślin oleistych uwzględniające przemysłowe (energochłonne) czynniki technologii

Odmiana	Nawożenie przedsiewne (NPKS), kg/ha	Nawożenie pogłównie N, kg/ha	Regulacja zachwaszczenia	Ochrona przed szkodnikami	Ochrona przed chorobami
Rzepak ozimy Elektra	80/120/40	160	ColzorTrio405EC +Perenal104EC	NurelleMax515EC +Proteus110OD +Mavrik 240EW	Pictor 400SC
Rzepak jary Trend	60/40/80/15	30	Galera334SL (+Fusilade)	Fury 100 EW +Patriot 100 EC +Mospilan 20 SP	Prorok 450EC
Gorczyca biała Borowska	60/30/60/15	-	Galera 334	Patriot 100EC +Ripcord Super 050EC	-
Lnianka biała Borowska	60/30/60/15	-	Treflan przedsiewnie	-	-
Len oleisty Szafir	60/30/60	-	Glean	-	-

operacje technologiczne wykonywane dla badanych roślin oleistych. W operacjach technologicznych używano typowych maszyn i narzędzi stosowanych w produkcji rolniczej. Zawartość oleju użytecznego petrochemicznie określono metodą tłoczenia. Wartość opałową nasion, oleju i słomy określano w bombie kalorymetrycznej adiabatycznej w Katedrze Paszoznawstwa UWM w Olsztynie.

Metodyka obliczeń

Nakłady energii na produkcję obliczono wg rzeczywistych danych technologicznych, przyjmując że w 1 kg N skumulowano 77 MJ



Prof. dr hab. Wojciech BUDZYŃSKI w roku 1971 ukończył studia na Wydziale Rolniczym w Akademii Rolniczo-Technicznej im. Michała Oczapowskiego w Olsztynie. Obecnie pracuje na stanowisku profesora zwyczajnego w Katedrze Agrotechnologii i Zarządzania Produkcją Roślinną na Wydziale Kształtowania Środowiska i Rolnictwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Specjalność – organizacja i technologie produkcji surowców żywnościowych i energetycznych, systemy gospodarowania rolniczego, oddziaływanie rolnictwa na środowisko

energii, w 1 kg K₂O 10 MJ, w 1 kg P₂O₅ 15 MJ, w środkach ochrony roślin 300 MJ/kg substancji aktywnej, a w ON 48 MJ. Nakłady energetyczne zastosowania ciągników i maszyn w procesie produkcyjnym wyliczono, mnożąc jednostkową materiałochłonność zestawu przez energetyczny ekwiwalent wynoszący 112 MJ/kg masy. Pracę ludzką wyliczono ekwiwalentem 40 MJ/rbh. Wielkość nakładów energetycznych poniesionych na materiały obliczono, przyjmując ich rzeczywiste zużycie oraz wskaźniki energii skumulowanej. Nakłady energii skumulowanej ponoszone na produkcję nasion badanych gatunków określono metodą analizy procesów wg własnych, bezpośrednich pomiarów zużycia oleju napędowego, nakładów siły roboczej i rzeczywistej wydajności maszyn na polach produkcyjnych z wykorzystaniem maszyn i urządzeń typowych dla produkcji rolniczej^{53, 54}. Sprawność energetyczną biopaliwa oceniano wskaźnikiem EROEI (*energy return on energy invested*). Wskaźnik ten odzwierciedla ilość energii możliwej do wykorzystania z danego paliwa w stosunku do energii zużytej na jego wyprodukowanie⁵⁵. W analizie energetycznej procesów estryfikacji nie uwzględniono ani glicerolu, ani fazy glicerynowej, ani szlamu organicznego, zużywając je jako surowce do kompostowania w gospodarstwie. Zaplanowano półtechniczną skalę eksperymentu polowego, aby zapewnić ilość nasion do przerobu na linii technologicznej do tłoczenia i estryfikacji.

Omówienie wyników

Jare rośliny oleiste (rzepak jary, gorczyca biała, lnianka siewna, len oleisty) wykazują w północno-wschodniej Polsce dużą zawodność plonowania w poszczególnych latach. Spośród badanych gatunków najwyższy średni plon nasion i słomy uzyskano z rzepaku ozimego (tabela 2). Plon tłuszczu otrzymany z nasion jarych roślin oleistych metodą tłoczenia nie był wysoki. Najwyższy plon tłuszczu z 1 ha zapewniał len oleisty 470 kg/ha. Lnianka siewna dostarczyła plon oleju o 70,6% niższy, a gorczyca biała aż o 81% niższy. Nie sprawdził się w porównaniach tej cechy rzepak jary. W północno-wschodnim regionie Polski jego wydajność nasion i tłuszczu była absolutnie niezadowolająca.

Z tabeli 3 wynika, że nakłady skumulowanej energii poniesione na agrotechnikę tych gatunków (technologię produkcji) były niższe w stosunku do tych, które ponoszono na uprawę rzepaku ozimego: od 26,9% dla rzepaku jarego do nawet 51,4% dla lnu oleistego. Gatunki te są uważane za ekstensywne i mają małe potrzeby nawozowe wynikające także z małej plenności.

Wskaźniki energetycznej sprawności uprawy, szczególnie produkcji ogółem, były dość wysokie i porównywalne z rzepakiem ozimym, jednak odnosiły się do bardzo niskich plonów. Niski plon energii

Table 2. Yields of oilseed crops (mean for the study years), Mg/ha

Tabela 2. Plony roślin oleistych (wartości średnie dla lat badań), Mg/ha

Gatunek	Nasiona	Olej	Słoma
Rzepak ozimy	5,58	1,26	10,04
Rzepak jary	1,19	0,32	2,58
Gorczyca biała	1,26	0,24	2,27
Lnianka siewna	1,60	0,37	1,82
Len oleisty	1,88	0,47	3,03

Table 3. Cumulated energy input for the production and processing of raw material for biofuel plants (mean for the study years), GJ/ha

Tabela 3. Nakłady energii skumulowanej na produkcję i przetworzenie surowca na biopaliwo roślin oleistych (wartości średnie dla lat badań), GJ/ha

Gatunek	Nakłady ogółem na produkcję	Plon energii			Tłoczenie oleju	Estryfikacja	Uzysk energii z wytłoczonego oleju	Energia biopaliwa
		nasiona	słoma	ogółem				
Rzepak ozimy	24,9	137,7	145,5	283,2	8,0	4,7	47,8	43,1
Rzepak jary	18,2	60,2	18,2	78,4	1,7	1,2	13,7	12,5
Gorczyca biała	13,2	56,2	13,2	69,5	1,6	0,8	9,1	8,3
Lnianka siewna	12,8	59,2	12,8	72,0	2,0	1,3	14,0	12,7
Len oleisty	12,1	90,0	12,1	102,1	2,4	1,7	18,8	17,1

Table 4. The energy efficiency of investigated oilseeds crops

Tabela 4. Efektywność energetyczna badanych roślin oleistych

Wyszczególnienie	Gatunek				
	rzepak ozimy	rzepak jary	gorczyca biała	lnianka siewna	len oleisty
Energetyczna sprawność produkcji (N)	5,5	3,3	4,3	4,6	7,4
Energetyczna sprawność produkcji (N+S)	11,4	4,3	5,3	5,6	8,4
Energia użyteczna do konwersji na biodiesel, %	17,0	17,5	13,1	19,4	18,4
Energetyczna sprawność biodiesla (EROEI)	1,1	0,6	0,5	0,8	1,1

N – nasiona, S – słoma

uzyskany został zatem niskim nakładem energii (tabela 4). Nakłady energii na tłoczenie oleju i estryfikację należy ocenić jako dość wysokie. Z jarych roślin oleistych największe były w przypadku lnianki i lnu oleistego. Jare rośliny oleiste (rzepak jary, gorczyca biała, lnianka siewna, len oleisty) plonowały niezadowolająco i mało wiernie mimo zastosowania średniointensywnej technologii.

Wskaźnik sprawności energetycznej produkcji pierwotnej surowca (nasiona) poszczególnych gatunków był wysoki i wynosił od 3,3 dla rzepaku jarego do 7,4 dla lnu. Natomiast wydajność energii użytecznej do konwersji na biodiesel stanowiła tylko od 13,1% energii ogółem skumulowanej w biomasie gorczycy do 19,4% energii w biomasie lnianki. Wskaźnik EROEI badanych jarych roślin oleistych wyniósł dla rzepaku jarego, gorczycy białej i lnianki siewnej poniżej 1,0. Oznacza to, że przetwarzając olej z powyższych gatunków na biodiesel, wydatkuje się więcej energii na wyprodukowanie surowca oraz jego przetworzenie na biopaliwo niż otrzymuje w biodieslu. Rzepak ozimy i len oleisty charakteryzowały się wskaźnikiem EROEI powyżej 1, a zatem możliwy był uzysk energii w płynnym paliwie roślinnym w stosunku do nakładów energetycznych zainwestowanych w pozyskanie i przerob surowca. Jednak jest to wartość zdecydowanie niezadowolająca. Według Hall i współpr.⁵⁶ minimalna wartość tego wskaźnika powinna wynosić co najmniej 3, gwarantując ekonomiczną opłacalność produkcji biopaliwa. W dostępnej literaturze wartość omawianego wskaźnika przybiera zróżnicowane wartości. Najmniej korzystny od 0,76 (dla oleju słonecznikowego)³¹) do 4,5⁵⁷), a nawet do 8,7⁵⁸). Mimo że olej sojowy stanowi dobry surowiec do produkcji biodiesla, może przy-

nosić stratę energii podczas produkcji i przetwarzania na biodiesel (wartość EROEI 0,78)³¹⁾. Odnotowywane są również wartości tego wskaźnika znacznie korzystniejsze (4,5)⁵⁹⁾. W przypadku rzepaku ozimego najniższą wartość odnotowano na poziomie 1,05⁶⁰⁾, a najkorzystniejszą 3,71⁶¹⁾.

Podsumowanie

Plony nasion form jarych w porównaniu z rzepakim ozimym stanowiły tylko od 21,3% (rzepak jary) do 33,7% (len) plonów wzorca. Uzyskany plon surowca jest zdecydowanie niezadowalający. Wskaźnik EROEI badanych jarych roślin oleistych był zdecydowanie poniżej założen hipotezy badawczej. Nie można więc tych gatunków uznać za alternatywne rośliny energetyczne dla rzepaku ozimego i używać jako substytutu surowcowego do produkcji biopaliwa płynnego. Energetyczna sprawność produkcji jarych roślin oleistych jest wysoka, a wykorzystanie energetyczne tego surowca może odbywać się przez użycie go jako biopaliwa stałego, bez ponoszenia nakładów energii koniecznych na przetworzenie surowca.

Otrzymano: 13-11-2014

LITERATURA

1. Y. Chisti, *Trends Biotechnol.* 2008, **26**, 130.
2. L.P. Koh, J. Ghazoul, *Biol. Conserv.* 2008, **141**, 2455.
3. M. Jasiulewicz, *Roczn. Nauk. SERiA* 2008, z. 2, 98.
4. A. Roszkowski, *Inż. Roln.* 2008, nr 10, 203.
5. C. Bocheński, *Biodiesel paliwo rolnicze*, Wyd. SGGW, Warszawa 2003.
6. G. Dzieniszewski, *Inż. Roln.* 2009, nr 6, 50.
7. I. Barabas, A. Todorut, D. Baldean, *Fuel* 2010, **89**, 3829.
8. Y. Chen, B. Xiao, J. Chang, Y. Fu, P. Lu, X. Wang, *Energ. Convers. Manage.* 2009, **50**, 672.
9. R. Kumar, P. Tiwari, S. Garg, *Fuel* 2013, **104**, 557.
10. Y. Zhang, M.A. Dub, D.D. McLean, M. Kates, *Biores. Technol.* 2013, **90**, 235.
11. A. Demirbas, *Energ. Educ. Sci. Technol.* 2008, **21**, 3.
12. G. Jeong, D. Park, *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2009, **156**, 433.
13. G.B. Adebayo, O.M. Ameen, L.T. Abass, *J. Micro-biol. Bio-technol.* 2011, **1**, 13.
14. B.R. Moser, *In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant.* 2009, **45**, 230.
15. K. Nie, F. Xie, F. Wang, T. Tan, *J. Mol. Catal. B: Enzym.* 2006, **43**, 145.
16. A. Demirbas, *Energ. Convers. Manage.* 2009, **50**, 18.
17. Z. Szlachta, *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
18. W. Podkówka, *Biopaliwa, gliceryna, pasza z rzepaku*, Wyd. Wieś Jutra, Warszawa 2004.
19. L.K. Sitnik, *Ekopaliwa silnikowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
20. P. Pasyniuk, *Probl. Inż. Roln.* 2009, **1**, 97.
21. N.R. Banapurmath, P.G. Tewari, R.S. Hosmath, *Renew. Energy* 2008, **33**, 1985.
22. J. Zhang, H. Kebin, S. Xiaoyan, Y. Zhao, *Fuel* 2011, **90**, 2090.
23. A. Demirbas, *Energ. Source* 2002, **24**, 839.
24. J. Tys, W. Piekarski, I. Jackowska, A. Kaczor, G. Zajac, P. Starobrat, *Technologiczne i ekonomiczne uwarunkowania produkcji biopaliwa z rzepaku*, Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2003.
25. A. Demirbas, *Energ. Source* 2004, **26**, 235.
26. A. Demirbas, *Progress Energy Combust. Sci.* 2005, **31**, 483.
27. B.K. Bala, *Energy Edu. Sci. Technol.* 2005, **15**, 20.
28. M. Balat, *Energy Edu. Sci. Technol.* 2005, **16**, 47.
29. R. Sarala, M. Rajendran, S.R. Devdasan, *Int. J. Green Chem. Bioproc.* 2012, **2**, 8.
30. S. Bielski, *Acta Scient. Pol. Oeconomia* 2012, **11**, nr 3, 5.
31. D. Pimentel, T. Patzek, *Nat. Resour. Res.* 2005, **14**, 66.
32. P. McCarthy, M.G. Rasul, S. Moazzem, *Fuel* 2011, **90**, 2154.
33. G.P.A.G. Pousa, A.L.F. Santos, P.A.Z. Suarez, *Energ. Policy* 2007, **35**, 5395.
34. O.J. Sanchez, C.A. Cardona, *Biores. Technol.* 2008, **99**, 5270.
35. K.R. Jegannathan, E.S. Chan, P. Ravindra, *Renew. Sust. Energy. Rev.* 2009, **13**, 2165.
36. W. Gostomczyk, *Barometr Regionalny* 2011, **3**, 43.
37. T.M. Mata, A.A. Martins, S.K. Sikdar, C.A.V. Costa, *Clean Techn. Environ. Policy* 2011, **13**, 659.
38. P.J. Crutzen, A.R. Mosier, K.A. Smith, W. Winiwarter, *N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels* 2007, <http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/7/11191/2007/acpd-7-11191-2007.html>, dostęp on line 6 października 2014 r.
39. A.E. Farrell, R.J. Plevin, B.T. Turner, A.D. Jones, M. O'Hare, D.M. Kammen, *Science* 2006, **311**, 507.
40. L.P. Koh, *Conserv. Biol.* 2007, **21**, 1373.
41. C.B. Field, J.E. Campbell, D.B. Lobell, *Trends Ecol. Evol.* 2008 **23**, 65.
42. K. Jankowski, W. Budzyński, *EJPAU, ser. Agron.*, 6(2), <http://www.ejpau.media.pl/volume6/issue2/agronomy/art-03.html>, dostęp on line 6 października 2014 r.
43. K. Jankowski, W. Budzyński, *Probl. Ekol.* 2004, **2**, 37.
44. K. Anbumani, A.P. Singh, *J. Eng. Appl. Sci.* 2010, **5**, 16.
45. Z.M. Hasib, J. Hossain, S. Biswas, A. Islam, *Mod. Mech. Eng.* 2011, **1**, 79.
46. A.K. Azad, S.M. Ameer Uddin, M.M. Alam, *GARJETI* 2012, **1**, 079.
47. R.E.D. Tulip, K.V. Radha, *Adv. Eng. Appl. Sci. Int. J.* 2013, **3**, 39.
48. G. Ashri, R. Kumar, *Int. J. Emerg. Technol.* 2014, **5**, 101.
49. L. Komlajeva, A. Adamovis, *Agron. Res.* 2011, **1**, 110.
50. S. Kanakraj, S. Dixit, A. Rehman, *Electron. J. Energy. Envir.* 2013, **1**, 28.
51. F. Ullah, A. Bano, S. Ali, *Pol. J. Chem. Technol.* 2013, **15**, 76.
52. M. Tańska, D. Rotkiewicz, M. Ambrosewicz-Walacik, *Nauka Przyr. Technol.* 2013, **7**, 10.
53. W. Zaremba, *Energetyka w systemie eksploatacji sprzętu rolniczego*, PWRiL, Warszawa 1986.
54. W. Wielicki, *Post. Nauk Rol.* 1989, **1**, 72.
55. K. Mulder, N.J. Hagens, *AMBIO* 2008, **37**, 77.
56. C.A.S. Hall, S. Balogh, D.J.R. Murphy, *Energies* 2009, **2**, 34.
57. L. Kallivroussis, A. Natsis, G. Papadakis, *Biosyst. Eng.* 2002, **81**, 349.
58. S. Bona, G. Mosca, T. Vamerali, *Renew. Energy* 1999, **16**, 1054.
59. A. Pradhan, D.S. Shrestha, A. McAloon, W. Yee, M. Haas, J.A. Duffield, H. Shapouri, *Energy life-cycle assessment of soybean biodiesel*, USDA Agricultural Economic Report, 2006.
60. R. Edwards, J.F. Larivé, V. Mahieu, P. Rouveiroles, Proc. Experts Workshop "Availability and Cost of Biomass for Road Fuels in EU", Joint Research Centre-EUCAR, Bruksela, 3-4 maja 2006.
61. I.R. Richards, *Energy balances in the growth of oilseed rape for biodiesel and of wheat for bioethanol*, Levington Agriculture, Suffolk 2000.

www.przemchem.pl