

ŚRODOWISKOWE I EKONOMICZNE SKUTKI WYKORZYSTANIA ZIARNA OWSA NA CELE ENERGETYCZNE

Aleksandra Głowacka¹, Marek Zych¹, Justyna Żołnierczuk¹

¹ Katedra Technologii Produkcji Roślinnej i Towaroznawstwa, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin, e-mail: aleksandra.glowacka@up.lublin.pl

STRESZCZENIE

Zakłada się, że biomasa będzie jednym z podstawowych niekonwencjonalnych źródeł energii w Polsce. Spośród roślin zbożowych uprawianych w Polsce ziarno owsa wydaje się być najbardziej przydatne do wykorzystania na cele energetyczne, gdyż ma on mniejsze znaczenie konsumpcyjne i paszowe, technologia uprawy jest dobrze znana rolnikom, a wartość energetyczną wynosi ok. 17 MJ·kg⁻¹. Celem prowadzonych badań była ocena opłacalności oraz wpływu na środowisko wykorzystania ziarna owsa do bezpośredniego spalania, w porównaniu z paliwem konwencjonalnym tj. miał węglowy. W części ekonomicznej przeprowadzono uproszczoną kalkulację kosztów produkcji ziarna owsa i porównano je z kosztem zakupu owsa oraz mialu węglowego. Przeanalizowano również wpływ uprawy owsa na środowisko przyrodnicze oraz oszacowano emisję gazów i pyłów w czasie spalania ziarna, a uzyskane wyniki porównano z wpływem na środowisko produkcji mialu węglowego uwzględniając wydobycie, transport i spalanie tego rodzaju paliwa. Stwierdzono, że wykorzystanie owsa na cele energetyczne jest efektywne ekonomicznie, zwłaszcza jeśli ziarno jest produkowane we własnym gospodarstwie z wykorzystaniem technologii niskonakładowych. Daje również korzyści środowiskowe, gdyż pozwala na ograniczenie zużycia surowców kopalnych oraz zmniejsza emisję uciążliwych gazów i pyłów do atmosfery.

Słowa kluczowe: owies, spalanie, wartość energetyczna, skutki środowiskowe

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFECTS OF THE USE OF GRAIN OAT FOR ENERGY PURPOSES

ABSTRACT

It is assumed that the biomass is one of the basic non-conventional energy sources in Poland. Among the cereals cultivated in Poland grain oats appears to be the most useful to be used for energy purposes, as it is less important for consumption and feed, cultivation technology is well known to farmers and the energy value of approx. 17 MJ kg⁻¹. The aim of the study was to evaluate the cost-effectiveness and environmental impact of the use of oats for direct combustion, as compared with conventional fuel i.e. the fine coal. In the economic part a simplified calculation of the cost of oats production was carried out and next it was compared with the cost of the purchase of oats and fine coal. The impact of oats to the environment was also analyzed and the natural emission of gases and dust during grain combustion. The results were compared with the impact on the environment taking into account the production of fine coal mining, transport and combustion of the fuel. It was found that the use of oats for energy purposes is cost-effective, especially if the grain is produced on their own farm using low-cost technology. It also provides environmental benefits, as it allows to reduce the consumption of fossil fuels and reduce the emission of noxious gases and dust into the atmosphere.

Keywords: oats, combustion, energy value, environmental effects

WSTĘP

Po wstąpieniu Polski do Unii Europejskiej zaczęto wdrażać zasady zrównoważonego i trwałego rozwoju. Zasada ta polega na uwzględnieniu

w procesach gospodarowania interesów obecnych i przyszłych pokoleń, wiąże się to z ochroną środowiska przyrodniczego i naturalnych zasobów produkcyjnych. Zasada ta wymaga przestrzegania równowagi w trzech sferach: ekonomicznej,

środowiskowej i społecznej [Adamowicz, 2005]. Jednym z elementów zrównoważonego rozwoju jest zwiększenie wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii. Zgodnie z przyjętymi założeniami udział energii odnawialnej w końcowym zużyciu energii brutto powinien w Polsce w 2020 roku osiągnąć poziom 15%. Biomasa, pod względem wielkości i dostępności zasobów, jest uznawana za trzecie źródło energii na świecie [Boerjesson 1996, Dunnett i Shah 2007, Roszkowski 2009]. Zakłada się, że biomasa będzie jednym z podstawowych niekonwencjonalnych źródeł energii w Polsce [Roszkowski 2012]. Oprócz stabilności dostępu, ważną zaletą energii z biomasy jest potencjalne ograniczenie emisji do atmosfery gazów cieplarnianych [Boerjesson 1999].

Pozyskiwanie energii z biomasy odbywa się najczęściej przez bezpośrednie spalanie, zgazowanie lub przetwarzanie na paliwa płynne [Jastrzębska, 2007]. Według definicji zamieszczonej w Ustawie o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 roku „...biomasa to między innymi stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, pochodzące z produktów, odpadów i pozostałości z produkcji rolnej i leśnej oraz przemysłu przetwarzającego ich produkty, oraz ziarna zbóż nie spełniające wymagań jakościowych dla zbóż w zakupie interwencyjnym i ziarna zbóż, które nie podlegają zakupowi interwencyjnemu” [Dziennik Ustaw 2015].

Spośród roślin zbożowych uprawianych w Polsce ziarno owsa wydaje się być najbardziej przydatne do wykorzystania na cele energetyczne. Owies ma mniejsze znaczenie konsumpcyjne jak i paszowe niż inne gatunki, można go uprawiać na glebach słabszych, ma znaczenie jako roślina fitosanitarna w płodozmianach zbożowych, technologia uprawy jest dobrze znana rolnikom [Spiss 2003]. Według Sadowskiej i in. [2012] ziarniaki owsa mają największą wartość ciepła spalania w porównaniu z innymi zbożami, a ich wysoka kaloryczność wynika zarówno

z dużej zawartości w nich tłuszczu jak i niskiej zawartości popiołu. W badaniach w/w autorów ciepło spalania ziarna porośniętego wyniosło 18,02 MJ·kg⁻¹ a jakościowo zdrowego wyniosło nieco więcej 18,62 MJ·kg⁻¹. Popiół powstający przy spalaniu ziarna może być wykorzystany do nawożenia pól, wydzielane spaliny są mniej toksyczne, transport i magazynowanie łatwiejsze niż na przykład drewna czy słomy [Mółka i Łapczyńska-Kordon 2011]. Przy zmieniających się cenach zbóż, za energetycznym wykorzystaniem ziarna owsa mogą przemawiać również względy ekonomiczne. Celem pracy była ocena ekonomicznych i środowiskowych skutków wykorzystania ziarna owsa na cele energetyczne.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Celem prowadzonych badań była ocena opłacalności oraz wpływu na środowisko wykorzystania ziarna owsa do bezpośredniego spalania, w porównaniu z paliwem konwencjonalnym tj. miał węglowy. Wykorzystane w badaniach dane dotyczące zużycia miału węglowego i ziarna owsa na cele grzewcze pozyskano od właściciela domu jednorodzinnego, który zamienił piec opalany miałem węglowym na piec wykorzystujący ziarno owsa jako paliwo (tab. 1). Oba te piece służyły do zasilania centralnego ogrzewania oraz do ciepłej wody użytkowej dla domu mieszkalnego podpiwniczonego z poddaszem użytkowym. Dom został zbudowany w 2005 r., a powierzchnia użytkowa wynosiła 150 m². Podczas sezonu grzewczego temperatura wewnętrzna w domu była utrzymywana na poziomie 22°C.

W części ekonomicznej przeprowadzono kalkulację kosztów produkcji ziarna owsa uwzględniając: zakup materiału siewnego, nawożenie mineralne, pielęgnację, zużycie paliwa. Informacje dotyczące środków produkcji wykorzystanych w uprawie owsa oraz wielkości plonów uzyskanych przy stosowanych technologiach przyjęto

Tabela 1. Charakterystyka pieców

Table 1. Characterization of furnaces

Parametry pieca	Opalanego miałem węglowym	Opalanego ziarnem owsa
Firma	InstalCO Łaszczów	D'Alessandro Termomeccanica – kocioł wodny niskotemperaturowy na paliwa stałe typu CSI 25
Moc	26 kW	33,7
Sprawność	80%	88–90%
Zużycie paliwa w sezonie grzewczym	5 ton	8 ton

w oparciu o dane pozyskane z doświadczenia polowego przeprowadzonego w Stacji Doświadczalnej Wydziału Nauk Rolniczych w Zamościu, Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie [Głowacka, 2011]. W doświadczeniu tym uprawiano owoce stosując dwie metody regulacji zachwaszczenia, mechaniczną i chemiczną, co wpływało na wielkość plonów jak i ponoszone nakłady. Wykorzystując te dane przeprowadzono kalkulację kosztów produkcji ziarna owsa dla lat 2010–2013 przyjmując ceny środków produkcji podane przez GUS [GUS, 2014].

W części środowiskowej pracy na podstawie danych literaturowych oraz własnych analizowano wpływ uprawy i energetycznego wykorzystania ziarna owsa na środowisko przyrodnicze, uwzględniając emisję spalin w czasie pracy maszyn, emisję podczas produkcji nawozów, emisje w czasie spalania ziarna. To porównano z wpływem produkcji miazgi węglowej i węgla uwzględniając wydobycie, transport i spalanie.

OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA

Nakłady ponoszone na produkcję roślinną wpływają na wielkość uzyskiwanych plonów oraz na kosztocłonność uprawy. Wśród nakładów

bezpośrednich największe znaczenie mają nośniki energii, nawozy mineralne oraz środki ochrony roślin. W przyjętej technologii uprawy uzyskano plon ziarna na poziomie 3,47 t·ha⁻¹ oraz 3,98 t·ha⁻¹ dla pielęgnacji mechanicznej i chemicznej. Koszty bezpośrednie poniesione na hektar uprawy, w zależności od roku wyniosły od 929 do 1329 zł·ha⁻¹ przy pielęgnacji mechanicznej oraz od 943 do 1346 zł·ha⁻¹ przy pielęgnacji chemicznej (tab. 2). Po uwzględnieniu dopłat bezpośrednich wypłacanych rolnikom przez ARiMR do powierzchni uprawy roślin, koszt uprawy owsa był znacznie niższy (tab. 2). Najniższe koszty uprawy były w roku 2010, najwyższe zaś w roku 2012. Różnice w kosztach uprawy owsa wynikały ze zmian w cenach środków produkcji tj. materiału siewnego, nawozów mineralnych, jak i oleju napędowego.

W przyjętym w badaniach jednorodzinny budynek mieszkalny o powierzchni 150 m² i zainstalowanym piecu centralnego ogrzewania zapotrzebowanie na ziarno owsa w okresie grzewczym wносиło 8 ton. Aby pokryć pełne zapotrzebowanie na ziarno należało przeznaczyć na ten cel 2,3 ha oraz 2,01 ha uprawy, odpowiednio dla I i II wariantu stosowanej pielęgnacji zasiewów. Wówczas koszt uprawy i pozyskania potrzebnej ilości ziarna na opał wyniósł od 1895 do

Tabela 2. Uproszczona kalkulacja kosztów uprawy owsa
Table 2. The simplified calculation of the cost of oats cultivation

Wyszczególnienie	Ilość i jednostki	Wartość końcowa (zł·ha ⁻¹)			
		2010	2011	2012	2013
Materiał siewny					
ziarno kwalifikowane	180 kg·ha ⁻¹	180,00	305,19	356,94	270,00
Nawożenie					
N – saletra amonowa 34%	60 kg·ha ⁻¹	188,74	234,78	262,27	270,71
P – superfosfat potrójny 46%	22 kg·ha ⁻¹	52,61	57,39	76,04	61,93
K – sól potasowa 60%	100 kg·ha ⁻¹	258,00	271,67	330,00	326,67
Środki ochrony roślin					
dla pielęgnacji chemicznej – Chwastox 500 SL	1 dm ³ ·ha ⁻¹	13,50	15,00	16,00	20,0
Zużycie paliwa					
dla pielęgnacji mechanicznej i chemicznej	54,4 l·ha ⁻¹	250,24	275,81	304,64	305,95
Koszty uprawy przy pielęgnacji:					
I. mechanicznej		929,53	1144,84	1329,89	1235,26
II. chemicznej		943,03	1159,84	1345,89	1255,26
Dopłaty z ARiMR: JPO+UPO*		863,45	984,78	984,89	943,52
Koszty uprawy po uwzględnieniu dopłat bezpośrednich przy pielęgnacji:					
I. mechanicznej		66,08	60,06	345,0	291,74
II. chemicznej		79,58	175,06	361,0	311,74

* JPO – jednolita płatność obszarowa, UPO – uzupełniająca płatność obszarowa

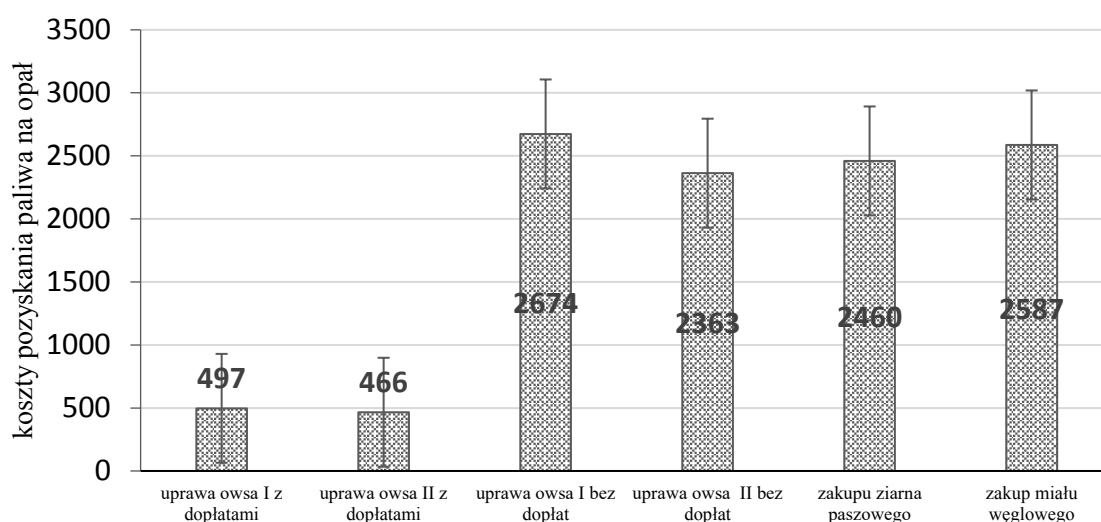
3066 bez dopłat oraz od 152 do 795 po uwzględnieniu dopłat bezpośrednich (tab. 3).

Podobnie jak nakłady na uprawę owsa, tak i koszty zakupu potrzebnej do ogrzania ilości ziarna owsa zmieniały się latach 2010–2013. Jednak tutaj obserwowano stały wzrost cen zakupu ziarna, co nie zawsze musiało wynikać ze wzrostu cen środków produkcji (tab. 3). Cena owsa paszowego była najniższa w roku 2010, najwyższa zaś w roku 2013 i w stosunku do roku 2010 wzrosła aż o 29,6%. Co zrozumiale, zmiany cen owsa pociągały za sobą oczywiście zmiany w kosztach ponoszonych na ogrzewanie domu jednorodzinnego w poszczególnych sezonach grzewczych. W analizowanych latach 2010–2013 ceny mialu węglowego również się zmieniały. Najniższa cena była w roku 2010, najwyższa zaś w roku 2013, a różnica pomiędzy tymi latami wyniosła 110 zł za tonę, czyli aż 25%. To oczywiście wpłynęło na wzrost kosztów zakupu 5 ton mialu węglowego, potrzebnego do ogrzania domu z wykorzystaniem tradycyjnego pieca na mial (tab. 3).

Porównując koszty związane z ogrzaniem domu wykorzystując różne piece oraz różne źródła pozyskania ziarna owsa można stwierdzić, w roku 2010 i 2013 najmniej kosztowne było opalanie ziarnem owsa pochodzącym z własnej uprawy, zaś w roku 2012 z uwagi na różnice w cenach środków produkcji, jak i cenie owsa paszowego najbardziej opłacalne było ogrzewanie mialem węglowym. Jednak gdy w kosztach produkcji ziarna owsa uwzględnimy dopłaty bezpośrednie (JPO + UPO), to w każdym roku analizowanego okresu produkcja ziarna we własnym gospodarstwie była najbardziej opłacalnym źródłem pozyskania paliwa, zdecydowanie tańszym niż mial węglowy (rys. 1). Nawet zmieniające się stawki dopłat do uprawy zbóż [www.arimr.pl], nie zmieniają faktu, iż pozyskanie z własnej uprawy ziarna wykorzystywanego na cele energetyczne jest znacznie bardziej efektywne ekonomicznie, niż zakup mialu węglowego. Oczywiście jest to uzasadnione głównie na glebach słabszej kategorii agronomicznej, które są mało przydatne do uprawy

Tabela 3. Cena zakupu oraz koszty pozyskania owsa i mialu węglowego potrzebnego w sezonie grzewczym
Table 3. The purchase price and the costs of obtaining oats and fine coal needed for the heating seas

Rok	Cena zakupu za 1 tonę		Koszt pozyskania paliwa potrzebnego w sezonie grzewczym					
	Owsa	Mialu węglowego	Uprawa owsa w gospodarstwie				Zakup	
			Pielęgnacja mechaniczna		Pielęgnacja chemiczna		Owsa (8 t)	Mialu węglowego (5 t)
			bez dopłat	z dopłatami	bez dopłat	z dopłatami		
2010	270	440	2143	152	1895	160	2160	2200
2011	290	500	2639	369	2331	352	2320	2500
2012	320	500	3066	795	2705	723	2560	2500
2013	350	550	2847	672	2523	626	2800	2750



Rys. 1. Porównanie kosztów pozyskania paliwa (średnio dla lat 2010–2013)
Fig. 1. Comparison of costs of fuel obtaining (mean for 2010–2013)

wy bardziej opłacalnych roślin towarowych tj. pszenica czy rzepak [Szemplińska 2012].

Analizując efekty środowiskowe wykorzystania ziarna owsa na cele energetyczne należy uwzględnić nie tylko redukcję emisji gazów do atmosfery w wyniku spalania z owsa w porównaniu z węglem, ale również emisję zanieczyszczeń w trakcie uprawy, związaną ze zużyciem oleju napędowego oraz produkcją nawozów mineralnych. W tabeli 4 zestawiono emisję gazów ze spalania oleju napędowego w czasie pracy maszyn wykorzystywanych przy uprawie owsa zgodnie z przyjętą technologią uprawy [Głowacka 2011]. Przy takim zużyciu paliwa podczas uprawy owsa emituje się do atmosfery CO₂ w ilości 148512 g/ha uprawy. Bardzo mała jest natomiast emisja N₂O i CH₄.

W ocenie efektów środowiskowych wykorzystania ziarna zbóż na cele energetyczne należy uwzględnić również emisję do atmosfery gazów tj., CO₂, CH₄, NO₂, w trakcie produkcji nawozów mineralnych, co w przeliczeniu na 1 kg czystego składnika za Pasyniuk [2008], jak i w przeliczeniu na nawozy wykorzystane w przyjętej w badaniach technologii produkcji owsa przedstawiono w tabeli 5. Podobnie jak w przypadku

oleju napędowego, tak i przy nawozach mineralnych największa jest emisja do atmosfery CO₂, a zwłaszcza przy produkcji nawozów azotowych i potasowych.

Jedną z wielu zalet przemawiających za energetycznym wykorzystaniem biomasy jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych, tj. dwutlenku węgla i toksycznych składników spalin – dwutlenku siarki, tlenku azotu i tlenku węgla. Często przyjmuje się, że w ogólnym bilansie emisja dwutlenku węgla wynosi zero. Wynika to z faktu, że w procesie wzrostu biomasy roślina pochłania tyle samo CO₂, co zostaje wyemitowane podczas jej spalania. Biorąc jednak pod uwagę energię konieczną do transportu i jej przygotowania (rozdrabnianie), szacuje się, że ilość gazów cieplarnianych powstających w procesie spalania biomasy jest zdecydowanie mniejsza, niż podczas spalania węgla [Zajemska i Musiał 2013]. Również zgodnie z wytycznymi IPCC energetyczne wykorzystanie biomasy roślinnej daje zerowy wskaźnik emisji CO₂ – gdyż dwutlenek węgla, który przedostaje się do środowiska w czasie spalania został z tego środowiska pobrany [Kowalczyk-Juśko 2010].

Przedstawiona w tabeli 6 szacunkowa absorpcja CO₂ przez zasiewy roślin zbożowych, w tym owsa pokazuje, iż nawet uwzględniając emisję gazów w trakcie uprawy (z oleju napędowego czy też produkcji nawozów mineralnych) energetyczne wykorzystanie ziarna zbóż jest znacznie mniej szkodliwe dla środowiska niż paliw kopalnych, w tym węgla kamiennego czy miału węglowego.

Spalanie paliw kopalnych, głównie węgla jest głównym źródłem emisji do atmosfery gazów:

Tabela 4. Emisja gazów z paliwa (na 1 liter ON)

Table 4. Emissions from the fuel (per 1 liter of diesel)

Gazy cieplarniane	Emisje z paliwa (na 1 liter ON)	Emisja z paliwa z 54,4 l/ha
CO ₂	2730 g/l	148512 g/ha
N ₂ O	0,1 g/l	5,44 g/ha
CH ₄	0,13 g/l	7,072 g/ha

Tabela 5. Emisja przy produkcji nawozów, (na 1 kg czystego składnika)

Table 5. Emissions in the production of fertilizers, (per 1 kg of pure ingredient)

Wyszczególnienie	Na 1 kg czystego składnika			Nawozy wykorzystane w przyjętej technologii produkcji owsa		
	N	P	K	60 kg saletry amonowej	22 kg superfosfatu potrójnego	100 kg soli potasowej
CO ₂ (g)	2351	923	553	47960,4	9340,76	33180
CH ₄ (g)	0,24	0,04	0,002	5,896	0,4048	1,32
N ₂ O (g)	15,1	0,03	0,05	308,04	0,3036	3

Tabela 6. Absorpcja CO₂ przez zboża w trakcie okresu wzrostu

Table 6. The absorption of CO₂ by the cereals during the growth period

Absorpcja CO ₂ /ha przez zboże przy plonie 8 ton/ha i dawce nawożenia 170 kg N/ha	Absorpcja CO ₂ przez owies przy uprawie 2,3 ha i dawce nawożenia 170 kg N/ha	Absorpcja CO ₂ przez owies przy uprawie 2,01 ha i dawce nawożenia 170 kg N/ha
12 800 kg CO ₂ *	29 440 kg CO ₂	25 728 kg CO ₂

*dane z PURE NUTRIENTINFO

NO_x i SO₂ (powyżej 75% emisji), CO (ok. 70%) oraz powyżej 90% CO₂. Ponadto ważnym problemem jest emisja pyłów TSP, PM₁₀ i PM_{2,5} oraz metali ciężkich: Hg, Cd, As, Pb, Cr. Zagrożeniem dla środowiska jest również emisja zanieczyszczeń organicznych, tj. lotne związki organiczne, WWA, dioksyny i furany, fenol i jego pochodne (tab.7) [Kubica, 2010].

Zainteresowanie biomasą roślinną jako przyszłościowym paliwem dla energetyki wymusza konieczność badania nie tylko jej wartości opałowej i zawartości wilgoci, ale i składu elementarnego, w tym udziałów gramowych siarki i chloru oraz metali alkalicznych. Jak pokazują dane w tabeli 8 węgiel zawiera znacznie więcej popiołu oraz siarki, w porównaniu z ziarnem owsa.

Jak podają Król i in. [2010] ziarno owsa, w porównaniu z innymi rodzajami biomasy ma również korzystny stosunek udziałów gramowych S/Cl, który według Salmenoia [2000] powinien być poniżej 2,0 aby nie powodować nasilenia procesów korozyjnych palenisk.

Tabela 7. Emisja związków do atmosfery w wyniku spalania 1 tony węgla

Table 7. Pollutant emissions to the atmosphere by burning 1 tonne of coal

Emitowane związki	Ilość emisji
CO	120 kg
Pył całkowity	7 kg
Lotne związki organiczne	6 kg
WWA	0,9 kg
I-TEQ dioksyny	23,8 µg
Fenole	0,86 kg

Tabela 8. Analiza elementarna węgla i owsa

Table 8. Elemental analysis of coal and oats

Własność	Symbol/jednostka	Rodzaj paliwa	
		Węgiel	Owies
Węgiel	C ^a /%	69,7	43,6
Wodór	H ^a /%	4,54	5,36
Siarka całkowita	S ^a _f /%	0,68	0,16
Siarka popiołowa	S ^a _A /%	0,20	0,02
Siarka palna	S ^a _C /%	0,48	0,14
Azot	N ^a /%	1,10	2,07
Popiół	A ^a /%	5,5	2,2
Ciepło spalania	Q ^a _s /kJ kg ⁻¹	30 168	17 608
Wartość opałowa	Q ^a /kJ kg ⁻¹	29 000	16 364

Jak pokazują wyniki badań własnych oraz dane literaturowe zalety uprawy owsa na cele energetyczne w Polsce są wieloaspektowe i najważniejsze z nich to: możliwość wykorzystania terenów, które nie nadają się pod inne uprawy, jest alternatywą dla upraw roślin wieloletnich na cele energetyczne, które stwarzają utrudnienie gdy chcemy zmiany rośliny, niższe koszty uprawy w porównaniu z zakupem węgla, owies może być uprawiany wszędzie ze względu na małe wymagania glebowe, jest to tradycyjna roślina uprawna, na której znajdują się rolnicy, cały systemy urządzeń do uprawy i zbioru jest taki sam jak i przy innych zbożach, ziarno owsa jest łatwe w transporcie i przechowywaniu [Kaszkowiak i Kaszkowiak 2009, Kwaśniewski, 2010].

Do pewnych wad wykorzystania owsa jako źródła energii odnawialnej można zaliczyć dyktando etyczne związane z wykorzystaniem zboża nie na cele żywieniowe tylko na spalanie w piecu, duże ekonomiczne koszty urządzeń i instalacji [Kaszkowiak i Kaszkowiak, 2009]. Przy spalaniu biopaliw stałych, również ziarna zbóż istnieje możliwość emisji różnych związków do środowiska i aby temu zapobiec należy zwracać uwagę na czas przebywania w komorze spalania, który powinien być dłuższy; temperatura spalania powinna być wyższa; należy unikać etapów żarzenia i tlenienia; dopływ tlenu wtórnego i pierwotnego powinien być pod kontrolą; powinna być automatyzacja procesu [Kuczaj, 2010]. Jak podaje Sadowska i in. [2011] należy używać ziarna o niskiej zawartości wilgoci, gdyż jej wzrost w zakresie 11–18% powoduje spadek wartości ciepła spalania.

WNIOSKI

1. Biomasa jest głównym źródłem energii odnawialnej w Polsce. Ziarno owsa jest jednym z rodzajów biomasy rolniczej, która może być wykorzystana do bezpośredniego spalania, zwłaszcza w źródłach rozproszonych.
2. Wykorzystanie owsa na cele energetyczne jest efektywne ekonomicznie, zwłaszcza jeśli ziarno jest produkowane we własnym gospodarstwie, z wykorzystaniem technologii niskonakładowych. Koszty poniesione na wyprodukowanie określonej ilości ziarna owsa są niższe niż koszt zakupu miazgi węglowej o zbliżonej wartości energetycznej.
3. Daje również korzyści środowiskowe, gdyż pozwala na ograniczenie zużycia surowców kopalnych oraz zmniejsza emisję uciążliwych gazów i pyłów do atmosfery.

LITERATURA

1. Boerjesson P.I., 1996. Energy analysis of biomass production and transportation. *Biomass Bioenergy* vol. 11, 305–318.
2. Boerjesson P.I., 1999. Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden: Identification and Quantification. *Biomass and Bioenergy* vol. 16, 137–154.
3. Dunnett A., Shah N., 2007. Prospects for Bioenergy. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy* vol. 1, 1–18.
4. Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, poz. 478
5. Głowacka A., 2011. Porównanie efektywności ekonomicznej uprawy wybranych roślin zbożowych i strączkowych. *Roczniki Naukowe „SERiA”*, t. XIII, z. 7, 21–25.
6. Główny Urząd Statystyczny, 2014. *Rocznik Statystyczny*.
7. Jastrzębska G., 2007. Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
8. Kaszkowiak E., Kaszkowiak J., 2009. Wykorzystanie ziarna zbóż uprawianych w technologii uproszczonej na cele energetyczne. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 48, 2, 62–63.
9. Kaszkowiak E., Kaszkowiak J., 2010. Nawożenie a wartość opałowa ziarna różnych gatunków zbóż. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 49, 5, 59–60.
10. Kowalczyk-Juśko A., 2010. Redukcja emisji zanieczyszczeń dzięki zastąpieniu węgla biomasa Spartiny Preriowej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 4, 69–77.
11. Król D., Łach J., Poskrobko S., 2010. O niektórych problemach związanych z wykorzystaniem biomasy nieleśnej w energetyce. *Ekoenergetyka* 1(63): 53–62.
12. Kubica K., 2010. Uwarunkowania czystszeo spalania paliw stałych w domowych instalacjach produkcji energii cieplnej. *Ekspertyza Gliwice*, 5–21.
13. Kuczaj A., 2010. Emisja związków organicznych przy spalaniu biomasy. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 1, 205–214.
14. Kwaśniewski D., 2010. Produkcja i wykorzystanie ziarna owsa jako odnawialne źródło energii. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 3, 95–101.
15. Mółka J., Łapczyńska- Kordon B., 2011. Właściwości energetyczne wybranych gatunków biomasy. *Inżynieria Rolnicza*, 6(131), 141–146.
16. Pasyniuk P., 2008. Prawne, technologiczne, środowiskowe i ekonomiczne uwarunkowania rozwoju produkcji odnawialnych źródeł energii w Polsce opartych na biomase pochodzenia rolniczego. *IBMER*, Warszawa, 43–54.
17. Roszkowski A., 2009. Bioenergia – pola i lasy zastąpią węgiel, ropę i gaz? *Inżynieria Rolnicza* nr 1, 243–257.
18. Roszkowski A., 2012. Biomasa i bioenergia – bariery technologiczne i energetyczne. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 3 (77), 79–100.
19. Sadowska U., Weisło G., Żabiński A., 2012. Ciepło spalania ziarniaków zbóż o obniżonych cechach jakościowych. *Inżynieria Rolnicza*, 2(136) T.1, 353–359.
20. Salmenioia K., 2000. Chlorine-induced superheater corrosion in boilers fired with solid biofuels. *Power Lines* 1, 10–11.
21. Spiss L., 2003. Historia hodowli owsa w Polsce. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 229, 7–11.
22. Szemplińska W., 2012. *Rośliny rolnicze*. Wydawnictwo UWM, Olsztyn, 9–101.
23. Zajemska M., Musiał D., 2013. Energetyczne wykorzystanie biomasy z produkcji rolniczej w procesie współspalania. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, z. 4 (82), 107–118.



Pracę dofinansowano ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Lublinie.