

## The energy efficiency of production and conversion of winter triticale biomass into biofuels

# Efektywność energetyczna produkcji i konwersji biomasy pszenżyta ozimego na biopaliwa

DOI: 10.15199/62.2015.10.29

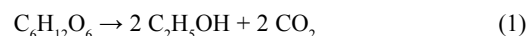
**High, medium and low crop methods for triticale cultivation were compared in respect to energy efficiency of the biofuel prodn. from the biomass. The highest energy efficiency was achieved for the lowest amt. of energy consumption for triticale cultivation (low fertilization level).**

**Przedstawiono efektywność energetyczną produkcji biopaliw z biomasy pszenżyta ozimego. Porównano trzy technologie produkcji różniące się nakładami energetycznymi wydatkowanymi na pozyskanie surowca i jego przetworzenie. Wykazano wyższą sprawność energetyczną wykorzystania energetycznego biomasy produkowanej w technologii o najniższym zapotrzebowaniu energetycznym.**

Konieczność pozyskiwania energii z alternatywnych źródeł, takich jak wiatr, woda lub biomasa, wynika m.in. z faktu, że coraz bardziej ograniczone są zasoby paliw kopalnych. Biopaliwa pierwszej generacji (biodiesel, bioetanol) i gazowe (gaz opałowy) nadal stanowią podstawowe źródło energii odnawialnej. Wytwarzane są bezpośrednio lub pośrednio z surowców żywnościowych, z wykorzystaniem procesów fermentacyjnych lub transestryfikacyjnych.

Bioetanol jest strategicznym surowcem szeroko wykorzystywanym w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, kosmetycznym i petro-

chemicznym<sup>1)</sup>, a obecnie wymieniany jest także wśród najważniejszych biopaliw stosowanych w transporcie<sup>2, 3)</sup>. Spirytus gorzelniany wykorzystywany paliwowo może być mieszany z benzyną w różnych proporcjach lub też występować jako samodzielne paliwo w specjalnie do tego skonstruowanych silnikach<sup>4, 5)</sup>. Surowce do produkcji bioetanolu to surowce zawierające cukier (trzcina cukrowa, burak cukrowy, sorgo, owoce), skrobię (ziarna kukurydzy, pszenicy, pszenżyta, jęczmienia, ryżu, bulwy ziemniaka, topinambur) oraz lignocelulozę (drewno, słoma, trawy)<sup>6, 7)</sup>. Fermentacja etanolowa jest jedną z najstarszych technik biotechnologicznych stosowanych przez człowieka. Wykorzystuje ona drożdżowce, najczęściej drożdże *Saccharomyces cerevisiae*, które w warunkach beztlenowych przetwarzają cukry do alkoholu etylowego. Produkcja bioetanolu obejmuje trzy procesy. Pierwszym jej etapem jest hydroliza cukrów wyższych do monomerycznej glukozy. Drugim etapem jest fermentacja glukozy do etanolu i ditlenku węgla, zgodnie z reakcją (1):



Trzecim etapem jest proces termochemiczny, polegający na destylacji, która powoduje usunięcie nadmiaru wody i prowadzi do uzyskania etanolu absolutnego<sup>2)</sup>. Zawartość wody powyżej 0,02% dyskwalifikuje etanol jako dodatek paliwowy ze względu na możliwość wystąpienia separacji faz benzyna-woda<sup>8, 9)</sup>.

Koncepcja wykorzystania bioetanolu jako paliwa sięga początków motoryzacji. W 1908 r. Henry Ford uważał etanol roślinny za paliwo przyszłości. Etanol jako paliwo jest znacznie bardziej



Dr inż. Stanisław BIELSKI w roku 1998 ukończył studia na Wydziale Rolniczym w Akademii Rolniczo-Technicznej im. Michała Oczapowskiego w Olsztynie. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Agrotechnologii, Zarządzania Produkcją Rolniczą i Agrobiznesu Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Specjalność – uprawa roślin.

\* Autor do korespondencji:

Katedra Agrotechnologii, Zarządzania Produkcją Rolniczą i Agrobiznesu, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczapowskiego 8; 10-791 Olsztyn, tel.: (89) 524-56-52, fax: (89) 523-32-43, e-mail: stanb@uwm.edu.pl



Dr hab. inż. Bogdan DUBIS w roku 1989 ukończył studia na Wydziale Rolniczym w Akademii Rolniczo-Technicznej im. Michała Oczapowskiego w Olsztynie. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Agrotechnologii, Zarządzania Produkcją Rolniczą i Agrobiznesu Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Specjalność – agronomia, produkcja roślinna.

przyjazny środowisku niż dotychczas stosowane produkty otrzymywane z ropy naftowej. Spaliny etanolu są mniej toksyczne niż te powstające w wyniku stosowania benzyny lub oleju napędowego. W przeciwieństwie do benzyny, etanol jest paliwem natlenionym, w którym tlen stanowi prawie 35% masy cząsteczki. Podczas jego spalania powstaje mniej tlenków azotu, tlenku węgla i ozonu, a także zmniejszona jest emisja CO do atmosfery<sup>3, 10, 11</sup>. Wyniki badań sugerują, iż po prawidłowym dostrojeniu parametrów silnika, mieszanki etanolu i benzyny mogą prowadzić do zwiększenia wydajności i zmniejszenia emisji CO<sup>12</sup>.

Wykorzystanie bioetanolu ogranicza się przeważnie do stosowania w postaci niewielkiego (5–10%) dodatku do paliw tradycyjnych. Obecne na rynku silniki samochodowe nie wymagają wprowadzania zmian konstrukcyjnych i mogą bezawaryjnie pracować, wykorzystując taką mieszankę. Coraz większy udział bioetanolu w benzynie, aż do zastąpienia paliw kopalnych biopaliwami, wymusza wprowadzenie znacznej ingerencji w konstrukcję silników. Zmiany te wynikają z innych właściwości fizyko-chemicznych paliw pochodzenia roślinnego (temperatury zapłonu, prężności par) i wymagają znacznych nakładów finansowych ze strony koncernów samochodowych<sup>13, 14</sup>.

Problemy, z jakimi zmagają się współczesny przemysł paliwowy, zmuszają do poszukiwania nowych rozwiązań. Biopaliwa, pozyskiwane z szeroko i łatwo dostępnej biomasy, mogą stanowić odpowiedź na rodzące się trudności, stając się odpowiednimi zamiennikami dla paliw tradycyjnych<sup>15</sup>. Jednoroczne rośliny energetyczne ze względu na krótką rotację mogą w zależności od zapotrzebowania, w relatywnie krótkim czasie być źródłem surowca<sup>16</sup>. W Polsce przewagę stanowią gleby lekkie, a pszenżyto ze względu na niezbyt wysokie wymagania glebowe jest postrzegane jako potencjalnie najbardziej korzystny surowiec do produkcji bioetanolu<sup>17</sup>.

Ważnym elementem oceny produkcji biopaliw obok kosztów jest rachunek efektywności energetycznej. Z rachunku tego wynika, jak wielkie trzeba ponieść nakłady energetyczne, aby uzyskać jednostkę energii w biopaliwach. Zaletą rachunku energetycznego jest jego niezależność od relacji cen, co umożliwia porównywanie uzyskiwanych wyników<sup>18</sup>.

Hipoteza badawcza zakłada, iż pszenżyto ozime w technologii najniższego plonu, dzięki ograniczonym nakładom energetycznym wydatkowanym na produkcję surowca, może charakteryzować się wyższą sprawnością energetyczną produkcji bioetanolu w porównaniu z technologiami wysokoplonującymi.

Jednym z kryteriów opłacalności produkcji bioetanolu jest stosunek ilości energii dostarczonej w procesie produkcji do ilości energii, którą można uzyskać podczas spalania etanolu. Proces produkcji bioetanolu można podzielić na etapy produkcji surowca, produkcji bioetanolu, odwadniania oraz mieszania z benzyną i dystrybucji.

## Część doświadczalna

### Metodyka badań

Analizę efektywności energetycznej produkcji surowca wykonano na podstawie trzyletnich badań polowych (2009–2011) z półkarpową odmianą pszenżyta ozimego (Gniewko). Uprawę roli stosowa-

no zgodnie z ogólnie przyjętymi zaleceniami agrotechnicznymi. Efektywność energetyczna produkcji ziarna pszenżyta ozimego została oceniona dla najniższego, średniego oraz najwyższego plonu w doświadczeniu. W obliczeniach uwzględniono średnie (z 3 lat) plony ziarna pszenżyta ozimego. Do wyboru technologii wykorzystano kwartył jako instrument statystyczny. Nawożenie fosforowe (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 70 kg/ha w formie superfosfatu potrójnego 46%) oraz potasowe (K<sub>2</sub>O 90 kg/ha w postaci soli potasowej 60%) zastosowano w całości przedsięwzięcia. Do odchwaszczenia stosowano jednorazowy oprysk jesienny mieszaniną herbicydów Boxer 800 EC 2 L/ha (substancja aktywna prosulfokarb), Glean 75 WG 5 g/ha (substancja aktywna chlorosulfuron) oraz Legato 500 SC 0,5 L/ha (substancja aktywna diflufenikan). Rozpatrywane technologie różniły się wysokością dawki azotu oraz poziomem ochrony przeciwegrzybowej. W ramach technologii najniższego plonu zastosowano nawożenie azotem w ilości 30 kg/ha (w formie saletry amonowej), zaprawianie materiału siewnego preparatem Baytan Universal 094 FS (substancja aktywna triadimenol + imazalil + fuberidazol) oraz oprysk (BBCH 31) preparatem Input 460 EC w ilości 1 L/ha (substancja aktywna spiroksamina 300 g/ha + protiokonazol 160 g/ha). W technologii średniego plonu nawożenie azotem wynosiło 120 kg/ha (w dawce dzielonej 90 + 30 w formie saletry amonowej). Ochrona przeciwegrzybowa (zaprawa + jeden oprysk fungicydowy) była analogiczna do tej w technologii najniższego plonu. W technologii najwyższego plonu zastosowano nawożenie azotem w ilości 150 kg/ha (w dawce dzielonej 90 + 60 w formie saletry amonowej), zaprawianie materiału siewnego preparatem Baytan Universal 094 FS, oprysk (BBCH 31) preparatem Input 460 EC w ilości 1 L/ha oraz preparatem Prosaro 250 EC (BBCH 58) w dawce 0,6 L/ha (substancja aktywna tebukonazol 75 g/ha + protiokonazol 75 g/ha).

### Metodyka obliczeń

Plon główny pszenżyta ozimego (ziarno) przeliczono na plon suchej masy. Przyjęto, że wartość opałowa 1 kg suchej masy ziarna wynosiła 18,4 MJ<sup>19</sup>. Wartość opałowa słomy jako paliwa energetycznego jest uzależniona przede wszystkim od jej gatunku oraz wilgotności. Bardziej wskazane jest użycie tzw. słomy szarej, czyli pozostawionej przez pewien czas po ścięciu na działanie warunków atmosferycznych, a następnie wysuszonej. Taki produkt charakteryzuje się nieco lepszymi właściwościami energetycznymi oraz mniejszą emisją związków siarki i chloru niż słoma żółta, czyli świeżo ścięta. Przyjęto, iż wartość opałowa słomy wynosi 15,2 MJ/kg<sup>20</sup>. Szacując potencjał techniczny biomasy stałej, konieczne było uwzględnienie energetycznej sprawności konkretnych urządzeń wykorzystujących biomasę. W obliczeniach przyjęto, że sprawność kotła na biomasę wynosiła 80%<sup>21</sup>.

Energochłonność produkcji pszenżyta ozimego określono, kumulując nakłady materiałowe i energetyczne na pozyskaną produkcję oraz wszystkie nakłady energetyczne dla kolejno po sobie następujących zabiegów uprawowych i pielęgnacyjnych w poszczególnych technologiach produkcji<sup>22</sup>. Energochłonność materiałów określono, wykorzystując wskaźniki energochłonności jednostkowej (tabela 1)<sup>23</sup>. W rachunku nakładów wyodrębniono cztery strumienie energii: praca ludzka, nośniki energii (olej napędowy), materiały (nawozy sztuczne, materiał siewny, środki ochrony roślin) oraz maszyny i narzędzia. Nakłady środków produkcji, robocizny i siły pociągowej ponoszone na uprawę roli, siew, ochronę roślin i zbiór przeliczono na MJ, wykorzystując przy tym odpowiednie wskaźniki energochłonności, stosowane w rachunku energetycznym produkcji roślinnej. Wielkość nakładów energetycznych określono na podstawie bezpośrednich pomiarów własnych na polach produkcyjnych stacji uniwersyteckiej w Bałcynach. Do oceny energetycznej posłużono się zyskiem energii skumulowanej. Wskaźnik efektywności energetycznej obliczono z relacji pomiędzy wartością energetyczną plonu a nakładami energetycznymi poniesionymi na jego wytworzenie<sup>24</sup>.



Dr hab. inż. Krzysztof JANKOWSKI w roku 1993 ukończył studia na Wydziale Rolniczym w Akademii Rolniczo-Technicznej im. Michała Oczapowskiego w Olsztynie. Obecnie pracuje na stanowisku prof. nadzw. w Katedrze Agrotechnologii, Zarządzania Produkcją Rolniczą i Agrobiznesu Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Specjalność – produkcja roślinna, surowce energetyczne, efektywność technologii.

Table 1. Energy coefficients for selected production inputs of winter triticale

Tabela 1. Współczynniki energetyczne dla wybranych surowców do produkcji pszenżyta ozimego

Wyszczególnienie	Jednostka miary	Przelicznik energetyczny
Nośniki energii (olej napędowy)	MJ/kg	48
Środki ochrony roślin	MJ/kg s.a.	300
Maszyny i urządzenia rolnicze	MJ/kg	110
Praca ludzka	MJ/h	80
Nawozy mineralne		
N	MJ/kg	77
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MJ/kg	15
K <sub>2</sub> O	MJ/kg	10

s.a. – substancja aktywna

Po zmieleniu ziarna w młynku laboratoryjnym oznaczono zawartość skrobi metodą Clendenninga wg ICC Standard no. 122/1. Teoretyczną wydajność etanolu ze skrobi obliczono wg wzoru (2)<sup>25</sup>:

$$Et = \frac{C \times 1,11 \times 2 \times 46}{180,16} \quad (2)$$

w którym *Et* oznacza teoretyczną wydajność etanolu, g, 1,11 wskaźnik przemiany skrobi w glukozę, 2 mnożnik analityczny podsumowania równania reakcji przekształcenia glukozy w etanol, 46 masę molową etanolu, 180,16 masę molową glukozy, a *C* nawagę skrobi, g.

Przyjęto, że praktyczna wydajność bioetanolu wynosiła 94% wydajności teoretycznej<sup>26</sup>. W procesie fermentacji uwzględniono wszystkie węzły produkcyjne (przygotowanie surowca, zacieranie, fermentację, rektyfikację) i przyjęto, że ilość energii potrzebna do wyprodukowania 1 L bioetanolu w przeliczeniu na 100-proc. spirytus wynosiła 12,74 MJ<sup>27</sup>, a wartość opałowa bioetanolu wynosiła 25,8 MJ/kg. W obliczeniach nie uwzględniono nakładów energetycznych poniesionych podczas procesu odwadniania etanolu oraz przygotowania mieszanki paliwowej i jej dystrybucji. Nie uwzględniono również wartości energetycznej wywarów podestylacyjnych (odpad o kodzie 02 07 02), które w końcowej fazie procesu stopniowego zagęszczania podlegają całkowitemu wysuszeniu, tworząc DDGS (*dried distillers grain with solubles*).

Wyniki badań oraz przeprowadzone obliczenia własne pozwoliły na określenie sprawności energetycznej produkcji biomasy pszenżyta ozimego. Najczęściej sprawność energetyczną biopaliw określa się wskaźnikiem EROEI (*energy return on energy investment*). Wskaźnik ten wyraża stosunek energii zawartej w jednostce biopaliwa do nieodnawialnej energii potrzebnej do jego wytworzenia określanej wzorem (3)<sup>28</sup>:

$$r_E = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (3)$$

w którym *r<sub>E</sub>* oznacza wskaźnik sprawności (niemianowany), *E<sub>out</sub>* energię zawartą w biopaliwie, a *E<sub>in</sub>* energię dostarczoną ze źródeł nieodnawialnych potrzebną do wyprodukowania biopaliwa.

## Omówienie wyników

Plon ziarna pszenżyta ozimego odmiany Gniewko w warunkach ścisłego doświadczenia zawierał się w przedziale 6,38–8,66 t/ha suchej masy. Zawartość skrobi w ziarnie pszenżyta nie wykazywała znaczących różnic (tabela 2). Zdaniem Obuchowskiego i współpr.<sup>29</sup> zawartość skrobi jest ważnym, ale nie jedynym kryterium przydatności pszenżyta jako surowca w produkcji bioetanolu. Innym ważnym czynnikiem jest wydajność ziarna na jednostkę powierzchni upraw. Z tego też względu, mimo nieznacznie niższej zawartości skrobi w ziarnie, technologia najwyższego plonu dostarczyła o 34% wyższy

Table 2. Grain and ethanol yields of winter triticale grain (mean for the study years)

Tabela 2. Plony ziarna i bioetanolu z pszenżyta ozimego (wartości średnie w latach badań)

Wariant technologii produkcji	Plon ziarna, s.m. t/ha	Skrobia, g/kg	Uzysk bioetanolu, g/kg ziarna	Plon bioetanolu, kg/ha
Najniższego plonu	6,38	592	336	1851
Średniego plonu	7,81	590	334	2259
Najwyższego plonu	8,66	584	331	2479

plon bioetanolu z jednostki powierzchni. Według Thiemt i współpr.<sup>30</sup> wysoka zmienność genetyczna cech ziarna warunkujących uzysk etanolu w obrębie istniejących elitarnych materiałów hodowlanych pszenżyta wskazuje na duże możliwości hodowli i selekcji pszenżyta na zwiększoną wydajność produkcji etanolu.

Nakłady energii wydatkowane na pozyskanie surowca wyniosły 25–33% wartości energetycznej bioetanolu (tabela 3). Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz stwierdzono, że w produkcji bioetanolu z ziarna pszenżyta nakłady energii poniesione na przetworzenie surowca były bardzo wysokie i wynosiły ok. 49% nakładów całkowitych. Jednak większą ilość energii odzyskano w postaci biopaliwa, niż poniesiono na jego wyprodukowanie. Wskazuje na to wskaźnik sprawności energetycznej produkcji bioetanolu (EROEI > 1) (tabela 4). Najkorzystniejszą wartość omawianego wskaźnika (1,35:1) odnotowano w technologii najniższego plonu, charakteryzującej się najniższym zapotrzebowaniem na energię. Zdaniem Lewandowskiego i współpr.<sup>31</sup> oraz Lewandowskiego i Kautera<sup>32</sup> istnieje potrzeba racjonalnego wykorzystania azotu, ponieważ w procesie produkcji surowca najwyższe nakłady energetyczne ponoszone są na nawożenie tym makroskładnikiem.

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

Tabela 3. Nakłady energii na produkcję i konwersję pszenżyta ozimego na biopaliwo oraz jego wartość energetyczna (wartości średnie w latach badań), GJ/ha

Wariant technologii produkcji	Nakłady energii		Energia bioetanolu	Energia biomasy po uwzględnieniu sprawności kotła		
	na uprawę	na fermentację		ziarno	słoma	ogółem
Najniższego plonu	11,9	23,6	47,8	93,9	59,2	153,1
Średniego plonu	18,9	28,8	58,3	115,0	65,7	180,6
Najwyższego plonu	21,4	31,6	64,0	127,5	71,3	198,8

Table 4. The energy efficiency of the conversion winter triticale biomass into biofuel

Tabela 4. Efektywność energetyczna konwersji biomasy pszenżyta ozimego na biopaliwo

Wyszczególnienie	Wariant technologii produkcji		
	najniższego plonu	średniego plonu	najwyższego plonu
Energetyczna sprawność produkcji bioetanolu (EROEI)	1,35	1,22	1,21
Energetyczna sprawność produkcji paliwa stałego (Z + S)	12,9	9,6	9,3

Z – ziarno, S – słoma

Optymalizacja nawożenia azotem upraw energetycznych musi zrównoważyć konflikt między wydajnością i aspektami wykorzystania energetycznego. Otrzymana wartość wskaźnika EROEI jest zdecydowanie niezadowalająca. Hall i współpr.<sup>33)</sup> zaznaczają, że minimalna wartość wskaźnika EROEI powinna wynosić co najmniej 3, gwarantując ekonomiczną opłacalność produkcji biopaliwa. W literaturze przedmiotu wskaźnik ten przybiera zróżnicowane wartości. Wyniki badań krajowych określających wskaźnik EROEI dla ziarna pszenicy ozimej przetworzonego na bioetanol są bardzo niekorzystne. W badaniach Dobka<sup>34–36)</sup> wskaźnik ten wynosił 0,68–0,92. Doniesienia literatury zagranicznej dotyczące badań omawianego wskaźnika są bardzo rozbieżne. Przetworzenie ziarna kukurydzy charakteryzuje się często wskaźnikiem EROEI poniżej 1 (0,74<sup>37)</sup>, 0,92<sup>38)</sup>, ale w wielu badaniach wskaźnik ten przekracza 1 (1,20<sup>39)</sup>, 1,25<sup>40)</sup>).

W badaniach własnych znacznie korzystniejsze wskaźniki sprawności energetycznej pszenicy ozimej otrzymano, konwertując biomasa ziarna i słomy na paliwo stałe. Najwyższą sprawnością charakteryzowała się technologia najniższego plonu. Inwestując 1 MJ energii na produkcję biomasy stałej, otrzymano 12,9 MJ energii z wartości energetycznej biomasy (ilość energii obniżono o 20%, uwzględniając sprawność kotłów na paliwo stałe). Jest to wartość bardzo wysoka, przewyższająca efektywność energetyczną produkcji biomasy nadziemnej rzepak ozimego<sup>41)</sup>. Wielu autorów przekonuje<sup>19, 32, 42)</sup>, że pszenżyto zasługuje na szczególną uwagę ze względu na fakt, że gatunek ten charakteryzuje się wysokim plonem energii przy stosunkowo małym nakładzie energetycznym na produkcję masy.

Pszenżyto ma tendencję do porastania w niesprzyjających warunkach pogodowych podczas dojrzewania ziarna i jego zbioru. Często na skutek silnego porośnięcia dana partia ziarna jest całkowicie dyskwalifikowana jako surowiec do produkcji pasz lub nawet etanolu. W takiej sytuacji ziarno pszenżyta jest brane pod uwagę jako materiał opałowy. Duże doświadczenia w energetycznym wykorzystaniu ziarna na świecie mają USA i Kanada<sup>43)</sup> oraz Szwecja<sup>44)</sup>. Proces spalania ziarna musi być jednak realizowany w specjalnych palnikach, wymagających dostarczenia odpowiedniej ilości powietrza, a także utrzymywania innej temperatury spalania niż powszechnie stosowana przy pozostałych rodzajach biomasy.

## Podsumowanie

Najwyższy plon energii zakumulowanej w bioetanolu uzyskano z ziarna pszenżyta uprawianego w technologii wysokich plonów. Wynik był przede wszystkim pochodną wydajności jednostkowej ziarna (wyższej o 10% w stosunku do technologii średniego plonu i aż o 34% w odniesieniu do technologii najniższych plonów). Mimo to, wskaźniki sprawności energetycznej produkcji biomasy pszenżyta ozimego wskazały na technologię najwyższego plonu jako najgorszą spośród analizowanych. Przyczyną było zastosowanie wysokich dawek nawożenia azotem, składnika obciążonego wysokimi nakładami energii podczas jego produkcji. Wskaźnik EROEI był niski, ale powyżej jedności we wszystkich analizowanych technologiach. Wartość energetyczna otrzymanego bioetanolu była wyższa niż nakłady energetyczne poniesione na produkcję surowca i jego przetworzenie. Badania potwierdziły założenia hipotezy badawczej.

Podczas przetwarzania ziarna pszenżyta ozimego na bioetanol paliwowy, najkorzystniejszą wartością wskaźnika EROEI charakteryzowała się technologia najniższego plonu. Znacznie korzystniejsze pod względem odzyskania energii było wykorzystanie biomasy pszenżyta w postaci stałej (ziarno i słoma). W Polsce wykorzystanie ziarna na cele energetyczne nie jest rozpowszechnione. Ponadto istnieje bariera mentalna, wynikająca z dużego szacunku polskich producentów do ziarna zbóż. Wykorzystanie energetyczne pszenżyta stwarza mniej oporów mentalnych niż użycie zbóż chlebowych, takich jak np. pszenica. Do celów energetycznych można wykorzystać ziarno gorszej jakości, nieprzydatne na cele konsumpcyjne czy też paszowe. Źródło

ziarna na cele energetyczne mogą stanowić również plantacje zbóż opanowane przez choroby grzybowe.

Otrzymano: 06-07-2015

## LITERATURA

1. J. Baras, S. Gaćeša, D. Pejin, *Chem. Ind.* 2002, **56**, 98.
2. M. Balat, H. Balat, C. Oz, *Prog. Energy Combust. Sci.* 2008, **34**, 553.
3. M. Balat, H. Balat, *Appl. Energy* 2009, **86**, 2280.
4. S. Kim, B.E. Dale, *Biomass Bioenergy* 2005, **28**, 479.
5. A. Demirbas, *Prog. Energy Combust. Sci.* 2007, **33**, nr 1, 2.
6. M.J. Taherzadeh, K. Karimi, *Bioresources* 2007, **2**, 484.
7. L. Mojović, D. Pejin, M. Rakin, J. Pejin, S. Nikolić, A. Djukić-Vuković, *Renew. Sust. Energy Rev.* 2012, **16**, 6044.
8. D. Antoni, V.V. Zverlov, W.H. Schwarz, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2007, **77**, 2.
9. B. Orchar, J. Denis, J. Cousins, *World Pumps* 2007, **487**, 25.
10. A. Demirbas, *Prog. Energy Combust. Sci.* 2005, **31**, 483.
11. L. Mojović, D. Pejin, O. Grujić, S. Markov, J. Pejin, M. Rakin, M. Vukašinić, S. Nikolić, D. Savić, *Chem. Ind. Chem. Eng. Quarterly* 2009, **15**, nr 4, 224.
12. H. Bayraktar, *Renew. Energy* 2005, **30**, 1741.
13. L. Ryan, F. Convery, S. Ferreira, *Energy Policy* 2006, **34**, 3189.
14. M.B. Charles, R. Ryan, N. Ryan, R. Olorunoba, *Energy Policy* 2007, **35**, 5741.
15. M.A. Uytendinck, H.M. Junginger, H.J. de Vries, A.P.C. Faaij, W.C. Turkenburg, *Energy Policy* 2007, **35**, 4079.
16. S. Nonhebel, *Biomass Bioenergy* 2002, **22**, 162.
17. K. Marciniak, Z. Banaszak, *Przegl. Zboż.-Młyn.* 2006, **11**, 25.
18. T. Dobek, *Acta Agrophysica* 2005, **6**, nr 3, 595.
19. J.R. Jørgensen, L.C. Deleuran, B. Wollenweber, *Biomass Bioenergy* 2007, **31**, 311.
20. K. Dreszer, R. Michalek, A. Roszkowski, *Energia odnawialna. Możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie*, Wyd. PTIR, Kraków 2003.
21. W. Lewandowski, *Proekologiczne odnawialne źródła energii*, WNT, Warszawa 2006.
22. Z. Wójcicki, *Probl. Inż. Roln.* 2005, **1**, nr 47, 5.
23. Z. Wójcicki, *Wyposażenie techniczne i nakłady materiałowo-energetyczne w rozwojowych gospodarstwach rolniczych*, IBMER, Warszawa 2000.
24. W. Wielicki, *Post. Nauk Roln.* 1989, **1**, 72.
25. S. Clarke, D. Kindred, R. Weightman, C. Dyer, R. Sylvester-Bradley, *Growing wheat for alcohol and bioethanol production in the North East*, Final report of ADAS Project XAA1500, <http://www.adas.co.uk>, dostęp 24 października 2014 r.
26. R.T. Dale, W.E. Tyner, *Economic and technical analysis of ethanol dry milling*, Model user's manual, <http://www.purl.umn.edu/28674>, dostęp 24 października 2014 r.
27. T. Komorowicz, J. Magiera, *Czasop. Techn.* 2008, **2**, 139.
28. R. Hammerschlag, *Environ. Sci. Technol.* 2006, **40**, 1744.
29. W. Obuchowski, Z. Banaszak, A. Makowska, M. Łuczak, *J. Sci. Food. Agric.* 2010, **90**, nr 14, 2509.
30. E.M. Thiemt, T. Senn, G. Oettler, Mat. 6th International Triticale Symp., 3–7 września 2006 r., Stellenbosch (RPA).
31. I. Lewandowski, A. Bohn, M. Kaltschmitt, G. Weinrebe, *Pflanzenbauwissenschaften* 2003, **4**, nr 1, 17.
32. I. Lewandowski, D. Kauter, *Industrial Crops Products* 2003, **17**, 109.
33. C.A.S. Hall, S. Balogh, D.J.R. Murphy, *Energies* 2009, **2**, 45.
34. T. Dobek, *Inż. Roln.* 2007, **6**, nr 94, 42.
35. T. Dobek, M. Dobek, O. Šarec, *Inż. Roln.* 2010, **1**, nr 119, 166.
36. T. Dobek, P. Sałgan, *Inż. Roln.* 2011, **8**, nr 133, 86.
37. D. Pimentel, T. Patzek, *Natural Resources Res.* 2005, **14**, 72.
38. T. Patzek, *Crit. Rev. Plant Sci.* 2004, **23**, nr 6, 5160.
39. A.E. Farrell, R.J. Plevin, B.T. Turner, A.D. Jones, M. O'Hare, D.M. Kammen, *Science* 2006, **311**, 508.
40. J. Hill, E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky, D. Tiffany, *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2006, **103**, nr 30, 11208.
41. K.J. Jankowski, W.S. Budzyński, Ł. Kijewski, *Energy* 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.01.012.
42. H. Davis-Knight, R. Weightman, *The potential of triticale as a low input cereal for bioethanol production. The home-grown cereals authority (HGCA) project report No 434*, Cambridge (Wielka Brytania) 2008.
43. J. Kuś, A. Faber, *Alternatywne kierunki produkcji rolniczej. Studia i raporty IUNG-PIB* 2007, **7**, 140.
44. L. Janowicz, *Agroenergetyka* 2006, **1**, nr 15, 4.