

BADANIE I OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA NA CELE ENERGETYCZNE ROZDROBNIONYCH ZIAREN ZBÓŻ WIECHLINOWATYCH

Izabela Piasecka¹, Paweł Knozowski¹, Paulina Ropińska², Andrzej Tomporowski¹✉,
Piotr Ignaszak²

¹Zakład Systemów Technicznych, Instytut Technik Wytwarzania, Wydział Inżynierii Mechanicznej,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

²Katedra Biogeochemii i Gleboznawstwa, Wydział Rolnictwa i Biotechnologii,
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

STRESZCZENIE

Wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii przynosi duże korzyści. Zainteresowanie biomasą jest coraz większe, ponieważ energetyka konwencjonalna znacząco obciąża środowisko naturalne, a zasoby paliw kopalnych szybko maleją. Nadwyżki ziarna zbóż lub ziarna niespełniającego wymagań jakościowych można wykorzystać do produkcji energii. Z tego powodu, za cel pracy przyjęto przeprowadzenie badań i ocenę wykorzystania rozdrobnionych ziaren zbóż wiechlinowatych na cele energetyczne. Badaniom zostały poddane ziarniaki zbóż: pszenicy, żyta, pszenżyta, jęczmienia i owsa. Próbkę ziarniaków zbóż zostały rozdrobnione na młynie wielowalcowym z wykorzystaniem trzech różnych kompletów walców (ilość rowków na walcach: 154, 310 i 440). Otrzymany materiał poddano analizie granulometrycznej z wykorzystaniem cyfrowego przetwarzania obrazu oraz weryfikacji energetycznej celów rozdrabniania, a następnie prążono w piecu laboratoryjnym, aby uzyskać parametry spalania. Dzięki realizacji wymienionych badań, uzyskano ocenę możliwości wykorzystania rozdrobnionych ziaren zbóż wiechlinowatych na cele energetyczne i ustalono, który z rozpatrywanych rodzajów biomasy posiada najlepsze parametry.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, biomasa, zboża wiechlinowate, rozdrabnianie

WSTĘP

Wraz z rozwojem ludzkości rośnie zapotrzebowanie na energię elektryczną. Tradycyjna jej produkcja drastycznie zmniejsza zasoby węgla i ropy naftowej. Według prognoz złoża niektórych kopalin mogą wyczerpać się już w 2050 r. [Jastrzębska 2007]. Alternatywną możliwością produkcji energii jest wykorzystanie biomasy roślinnej pochodzenia leśnego lub rolniczego, a także odpadów i pozanormowych zbiorów ziarna zbóż [Tytko 2010].

Według definicji biomasy plony zbóż gorsze jakościowo, czyli nienadające się do przetworzenia w przemyśle spożywczym czy młynarskim, można spożytkować do produkcji energii [Rozp. Ministra Gospodarki z dn. 23.02.2010 r.]. Partia ziarniaków porośniętych nie może być stosowana w celach spożywczych, paszowych czy nasiennych [Weidner 1992]. Straty wywołane przez porastanie, które zależy od wielu czynników pogodowych czy niewłaści-

✉ tomporowski@utp.edu.pl

wej agrotechniki, wynoszą średnio 5–10% [Czarnocki i in. 2007]. Prawo energetyczne odnośnie odnawialnych źródeł energii jasno określa cele wyznaczone do realizacji. Zwiększanie wykorzystania OZE w danym kraju powoduje jego uniezależnienie od dostaw energii z zewnątrz. Opieranie się na odnawialnych źródłach niesie za sobą spore korzyści, a jedną z nich jest praktycznie zerowa emisja zanieczyszczeń w trakcie eksploatacji, co pozytywnie oddziałuje na środowisko. Rozwój gospodarki jest uzależniony od poszukiwania i wprowadzania nowych metod zarządzania pokładami energetycznymi. W Polsce są obszary słabo rozwinięte, które mają potencjał wykorzystywania odnawialnych źródeł energii i mogłyby dzięki bogatym zasobom urozmaicić region oraz zapewnić nowe miejsca pracy dla lokalnej ludności [Głowacka i in. 2016].

Według różnych danych udział odnawialnych źródeł energii w stosunku do ogólnej wytworzonej energii szacuje się w Polsce na od 2 do 4%, co jest poniżej średniej europejskiej [Faber i Kuś 2003].

Cele polskiej polityki energetycznej kształtują się następująco:

- 15% w 2020 r. – do tego poziomu ma zwiększyć się udział OZE w ostatecznym poborze energii,
- 10% w 2020 r. – to udział, jaki muszą mieć biopaliwa w systemie gospodarki paliw transportowych.

Ochrona lasów przed nadmiernym eksploatowaniem (dendromasa), ochrona terenów rolniczych i ich zrównoważone wykorzystanie na cele OZE, muszą być prowadzone w taki sposób, aby nie kolidowały ze sobą rolnictwo i energetyka odnawialna [Załącznik do uchwały nr 202/209 Rady Ministrów z dn. 10 listopada 2009 r.].

Chcąc zrealizować powyższe cele, zakłada się, że można wykorzystać biomasę pochodzenia leśnego lub rolniczego, a także odpady i pozanormowane zbiory ziarna zbóż. W Polsce stosowanie ziaren zbóż wiechlinowatych do celów grzewczych, interesuje coraz więcej osób. Ta metoda popularna jest np. w Szwecji (głównie ziarno owsa). Ziarniaki dzięki swoim rozmiarom posiadają wiele zalet: łatwy transport i magazynowanie, lepsze w porównaniu z biomasą leśną czy rolniczą (np. słoma), oraz możliwość automatyzacji podawania surowca do kotła [Janowicz

2006]. Obecnie przy niezwykle szybkim rozwoju technologii i urządzeń można z łatwością nabyć palnik i kocioł, który jest skonstruowany tak, aby spalać ziarniaki zbóż. Najbardziej uzasadnione jest spalanie owsa, ponieważ jego wykorzystywanie jest opłacalne ekonomicznie [Weidner 1992]. Rolnicy przy spadkach cen zbóż coraz częściej mają problem z ich korzystną sprzedażą, a atrakcyjną alternatywą staje się przeznaczenie ziarna na opał. Tym samym może ono stanowić konkurencję dla roślin wieloletnich, np. miskantusa, które również są uprawiane w tym celu [Kaszkowiak i Kaszkowiak 2009]. Pozytywnym efektem spalania jest również skład chemiczny popiołu, który można przeznaczyć jako nawóz na pola uprawne [Meller i Bilenda 2012].

Zgodnie z powyższym za cel opracowania przyjęto przeprowadzenie analizy możliwości wykorzystania rozdrobnionych ziaren zbóż wiechlinowatych na cele energetyczne.

MATERIAŁ I METODY

Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Badań Rozdrabniania Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy. Analizie poddano ziarniaki z rodziny zbóż wiechlinowatych: pszenicę ozimą, żyto, pszenżyto jare, jęczmień jary i owies. Ocena możliwości rozdrabniania i wykorzystania ziarniaków zbóż na cele energetyczne obejmowała trzy etapy. W pierwszym etapie przeprowadzono rozdrabnianie ziarniaków zbóż w młynie laboratoryjnym 6-walcowym. Młyn wyposażony jest w 3 pary walców, a każda para posiada inną liczbę rowków (154, 310 i 440). Młyn pracował z prędkością obrotową 2500 (obr.·min⁻¹). Proces ten miał miejsce w czterech różnych konfiguracjach urządzenia: rozdrobnienie ziaren przez komplet walców nr 1 (walce rozdrabniacza z liczbą rowków 154), rozdrobnienie ziaren przez komplet walców nr 2 (walce rozdrabniacza z liczbą rowków: 310), rozdrobnienie ziaren przez komplet walców nr 3 (walce rozdrabniacza z liczbą rowków: 440), rozdrobnienie ziaren przez wszystkie komplety walców (walce rozdrabniacza ustawione kolejno od najmniejszej do największej liczby rowków: 154, 310 i 440). Drugi etap obejmo-

wał analizę wielkości i kształtu cząstek całych i rozdrobnionych ziaren wszystkich ocenianych zbóż z wykorzystaniem cyfrowego przetwarzania obrazu za pomocą urządzenia CAMSIZER (zgodnie z normą ISO 13322-2:2006) dzięki czemu otrzymano rozkład granulometryczny wszystkich badanych frakcji w próbach. By móc przeprowadzić to badanie, wykorzystana została tylko część rozdrobnionego i nierozdrobnionego materiału ze 100 g próbek – z każdej zostało odmierzone 20 g.

Uzyskane wyniki, obrazujące rozkład granulometryczny wszystkich badanych frakcji, są zgodne z wynikami tradycyjnej analizy sitowej [Flizikowski i in. 2016]. Ostatni etap polegał na umieszczeniu i spalaniu próbek każdego zboża w kalorymtrze KL-12Mn w atmosferze tlenu, w bombie kalorymetrycznej zanurzonej w wodzie, w celu uzyskania wybranych parametrów energetycznych, takich jak zawartość wodoru, ciepło spalania oraz wartość opałowa w stanie roboczym i analitycznym.

Kryteria oceny wyników

Analiza została przeprowadzona dla pięciu rodzajów ziarniaków zbóż z rodziny wiechlinowatych (żyto, pszenica, pszenżyto, jęczmień i owies).

Szczegółowej ocenie zostały poddane następujące parametry:

- porównanie różnic w składzie granulometrycznym w ramach danego rodzaju rozdrobnionego ziarna,
- porównanie różnic w składzie granulometrycznym między pięcioma różnymi rodzajami rozdrobnionych ziaren,
- porównanie różnic pomiędzy wartością opałową w stanie analitycznym i roboczym, ciepłem spalania w stanie roboczym i analitycznym, zawartością popiołu, wilgotnością oraz zawartością wodoru dla pięciu różnych rodzajów rozdrobnionych ziaren zbóż.

Podstawowe kryterium oceny wyników stanowił parametr wartości opałowej rozdrobnionego ziarna zbóż – im większa jego wartość, tym bardziej zasadne wykorzystanie ziarna danego rodzaju na cele energetyczne.

WYNIKI I DISKUSJA

Analiza procesów rozdrabniania wykazała, że największą energochłonnością odznacza się rozdrabnianie ziaren zbóż przez komplet walców nr 3, z kolei najmniejsze wartości poboru mocy odnotowano podczas rozdrabniania przez komplet walców nr 1 (pobór mocy w zakresie 0,3–0,6 kW). Największe jednostkowe zużycie mocy zaobserwowano podczas rozdrabniania pszenicy i owsa (wartości przekraczające 0,8 kW). Na podstawie wyników analizy granulometrycznej ziarna pszenicy można stwierdzić, że klasa wielkości przypadająca na największą względną częstotliwość cząstek jest zróżnicowana. Najlepszy stopień rozdrobnienia, ale i jednocześnie największą liczbę cząstek pylistych, uzyskano podczas rozdrabniania przez komplet walców nr 2. Podczas rozdrabniania przez wszystkie komplety walców uzyskano dużą ilość spłaszczonych ziarniaków, w formie „płatków pszenicznych” (tab. 1).

W przypadku ziarna żyta, można stwierdzić, że rozdrabnianie przez komplet walców nr 1 nie przyniosło wymiernych efektów (największa wartość q_3 taka sama, jak w przypadku ziarna nierozdrobnionego: 2,360–2,800 mm). Najlepszy stopień rozdrobnienia uzyskano dla prób rozdrobnionych przez wszystkie komplety walców (tab. 2).

Na podstawie wyników analizy granulometrycznej dla ziarna pszenżyta można zauważyć, że klasa wielkości odpowiadająca największej względnej częstotliwości jest taka sama dla rozdrabniania kompletem walców nr 2 i 3 oraz wszystkimi walcami łącznie (1–3). Spośród nich największy stopień rozdrobnienia cechuje produkt otrzymany podczas rozdrabniania wszystkimi kompletemi walców. Najwięcej cząstek pylistych otrzymano podczas rozdrabniania ziaren przez komplet walców nr 3 (tab. 3).

W przypadku ziarna jęczmienia najmniejszy stopień rozdrobnienia otrzymano dla prób rozdrabnianych przez komplet walców nr 2 (wysoki udział spłaszczonych „płatków jęczmiennych”), natomiast największy – przez wszystkie komplety walców (tab. 4).

Tabela 1. Zestawienie największych względnych częstotliwości oraz liczby cząstek na klasę wielkości dla ziaren pszenicy
Table 1. List of maximum relative frequencies and number of particles per size class for wheat grains

Rodzaj ziarna Type of grain	q ₃ * (%)	Klasa wielkości przypadająca na największe q ₃ (mm) Size class per largest q ₃ (mm)	Liczba cząstek pylistych Number of dust particles
Nierozdrobnione Non-shredded	53,1	3,350–4,000	105 484
Rozdrobnione przez komplet walców nr 1 Shredded by set of rollers no. 1	16,3	2,000–2,360	235 071
Rozdrobnione przez komplet walców nr 2 Shredded by set of rollers no. 2	7,9	1,400–1,700	428 475
Rozdrobnione przez komplet walców nr 3 Shredded by set of rollers no. 3	8,4	2,800–3,350	321 780
Rozdrobnione przez wszystkie komplety walców Shredded by all sets of rollers	9,4	>8,000	321 780

* największa względna częstotliwość cząstek/ maximum relative frequencies of particles

Tabela 2. Zestawienie największych względnych częstotliwości oraz liczby cząstek na klasę wielkości dla ziaren żyta
Table 2. List of maximum relative frequencies and number of particles per size class for rye grains

Rodzaj ziarna Type of grain	q ₃ * (%)	Klasa wielkości przypadająca na największe q ₃ (mm) Size class per largest q ₃ (mm)	Liczba cząstek pylistych Number of dust particles
Nierozdrobnione Non-shredded	43,0	2,360–2,800	137 352
Rozdrobnione przez komplet walców nr 1 Shredded by set of rollers no. 1	18,8	2,360–2,800	202 534
Rozdrobnione przez komplet walców nr 2 Shredded by set of rollers no. 2	16,4	>9,500	928 681
Rozdrobnione przez komplet walców nr 3 Shredded by set of rollers no. 3	20,4	>9,500	1 370 222
Rozdrobnione przez wszystkie komplety walców Shredded by all sets of rollers	7,1	1,400–1,700	1 078 055

* największa względna częstotliwość cząstek/ maximum relative frequencies of particles

Tabela 3. Zestawienie największych względnych częstotliwości oraz liczby cząstek na klasę wielkości dla ziaren pszenżyta
Table 3. List of highest relative frequencies and number of particles per size class for triticale grains

Rodzaj ziarna Type of grain	q3* (%)	Klasa wielkości przypadająca na największe q3 (mm) Size class per largest q3 (mm)	Liczba cząstek pylistych Number of dust particles
Nierozdrobnione Non-shredded	52,1	2,800–3,350	257 262
Rozdrobnione przez komplet walców nr 1 Shredded by set of rollers no. 1	17,4	2,360–2,800	214 328
Rozdrobnione przez komplet walców nr 2 Shredded by set of rollers no. 2	8,3	1,400–1,700	686 371
Rozdrobnione przez komplet walców nr 3 Shredded by set of rollers no. 3	8,4	1,400–1,700	831 335
Rozdrobnione przez wszystkie komplety walców Shredded by all sets of rollers	9,5	1,400–1,700	715 118

* największa względna częstotliwość cząstek/ maximum relative frequencies of particles

Tabela 4. Zestawienie największych względnych częstotliwości oraz liczby cząstek na klasę wielkości dla ziaren jęczmienia
Table 4. List of maximum relative frequencies and number of particles per size class for barley grains

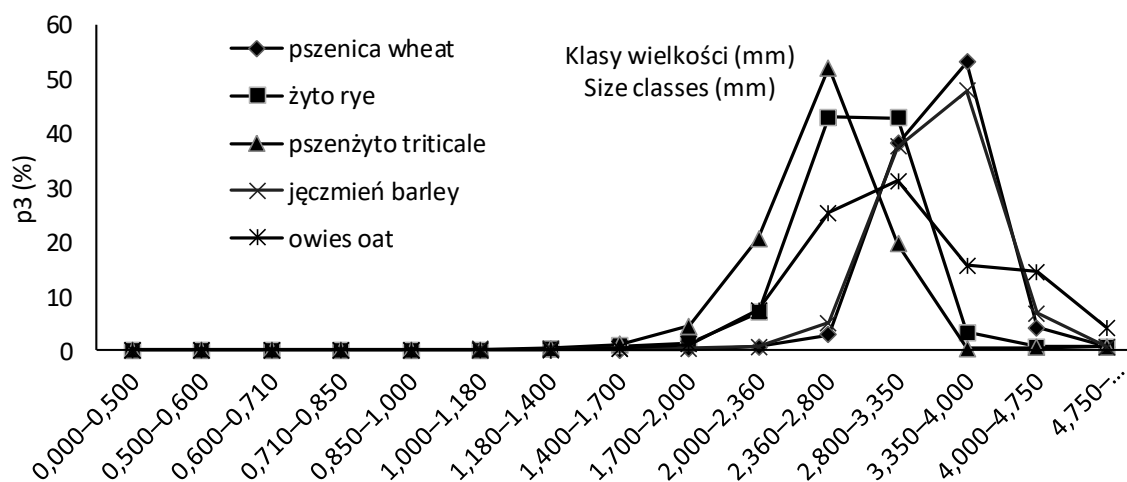
Rodzaj ziarna Type of grain	q3* (%)	Klasa wielkości przypadająca na największe q3 (mm) Size class per largest q3 (mm)	Liczba cząstek pylistych Number of dust particles
Nierozdrobnione Non-shredded	47,9	3,350–4,000	107 313
Rozdrobnione przez komplet walców nr 1 Shredded by set of rollers no. 1	14,7	1,700–2,000	223 166
Rozdrobnione przez komplet walców nr 2 Shredded by set of rollers no. 2	7,6	4,000–4,750	387 284
Rozdrobnione przez komplet walców nr 3 Shredded by set of rollers no. 3	7,4	1,400–1,700	387 848
Rozdrobnione przez wszystkie komplety walców Shredded by all sets of rollers	10,2	1,400–1,700	480 639

* największa względna częstotliwość cząstek/ maximum relative frequencies of particles

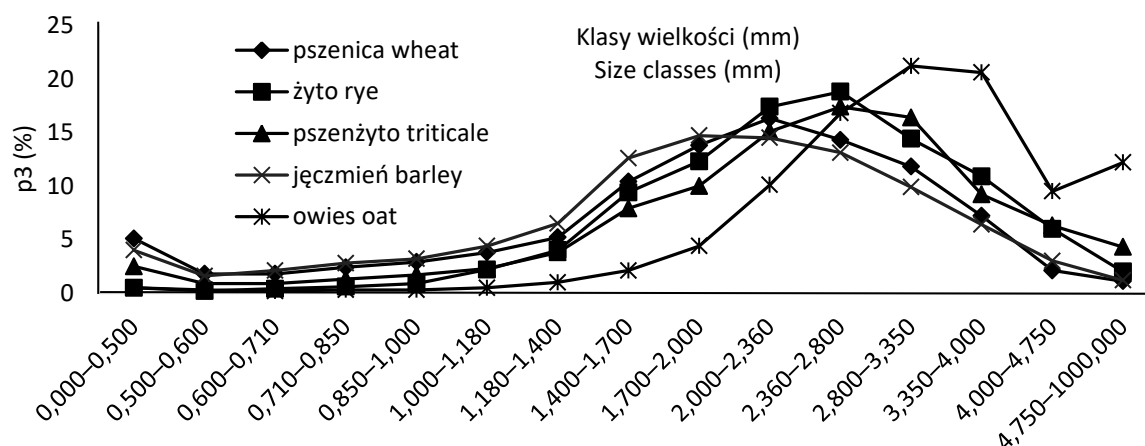
Tabela 5. Zestawienie największych względnych częstotliwości oraz liczby cząstek na klasę wielkości dla ziaren owsa
Table 5. Summary of maximum relative frequencies and number of particles per size class for oat grains

Rodzaj ziarna Type of grain	q3* (%)	Klasa wielkości przypadająca na największe q3 (mm) Size class per largest q3 (mm)	Liczba cząstek pylistych Number of dust particles
Nierozdrobnione Non-shredded	31,3	2,800–3,350	283 059
Rozdrobnione przez komplet walców nr 1 Shredded by set of rollers no. 1	21,2	2,800–3,350	473 647
Rozdrobnione przez komplet walców nr 2 Shredded by set of rollers no. 2	11,0	4,000–4,750	537 743
Rozdrobnione przez komplet walców nr 3 Shredded by set of rollers no. 3	9,7	4,750–5,600	465 272
Rozdrobnione przez wszystkie komplety walców Shredded by all sets of rollers	10,5	2,800–3,350	459 205

* największa względna częstotliwość cząstek/ maximum relative frequencies of particles



Rys. 1. Wykres zależności klasy wielkości do względnej częstotliwości badanych nierozdrobnionych ziaren zbóż
Fig 1. Relation diagram of the size class to the relative frequency of the tested unground cereal grains



Rys. 2. Wykres zależności klasy wielkości do względnej częstotliwości badanych rozdrobnionych ziaren zbóż przez komplet walców nr 1

Fig. 2. The diagram of the relation between the size class and the relative frequency of the tested chopped grains of evening primrose by the set of rollers no. 1

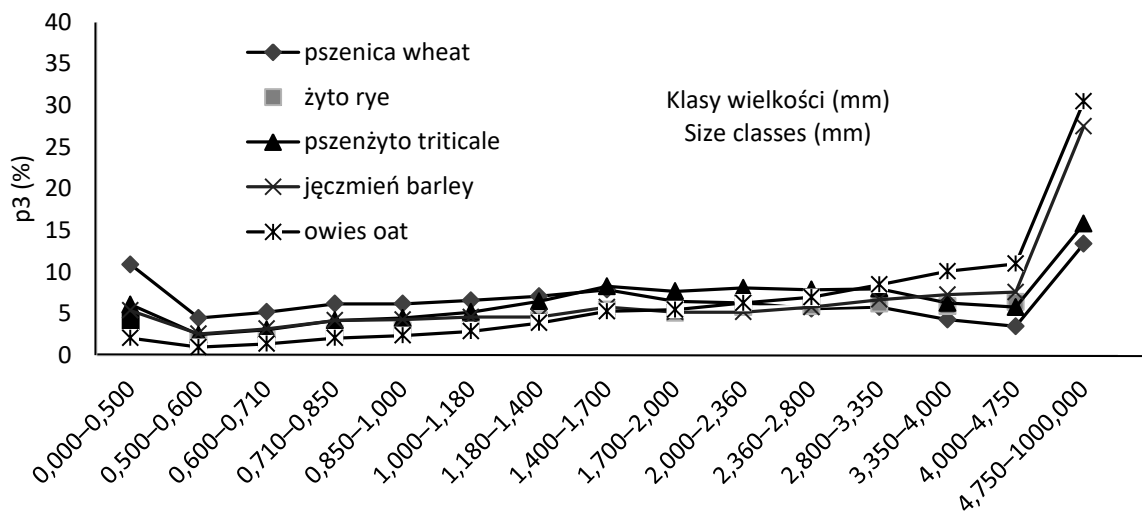
Na podstawie zestawionych wyników analizy granulometrycznej dla ziarna owsa można zauważyć, że jego rozdrabnianie w żadnej z zaproponowanych konfiguracji walców nie przyniosło zadowalających efektów. Produkty otrzymane dzięki rozdrabnianiu przez komplety walców 2 i 3 cechowały się występowaniem dużej ilości spłaszczonych ziarniaków, w postaci „płatków owsianych” (tab. 5).

Zestawiając wyniki badań analizy granulometrycznej nierozdrobnionych ziaren zbóż, można zauważyć, że badane zboża miały podobną wielkość. Jednak największym udziałem cząstek największej wielkości charakteryzowały się ziarniaki jęczmienia i pszenicy (powyżej 2 mm). Największe zróżnicowanie wielkości cząstek cechowało ziarno owsa (rys. 1).

Wśród ziarniaków zbóż rozdrobnionych przez komplet walców nr 1, najsłabiej rozdrobnione zostało ziarno owsa. Ziarniaki pozostałych zbóż uległy rozdrobnieniu w podobnym stopniu, zwiększając udział cząstek poniżej 1,7 mm (rys. 2).

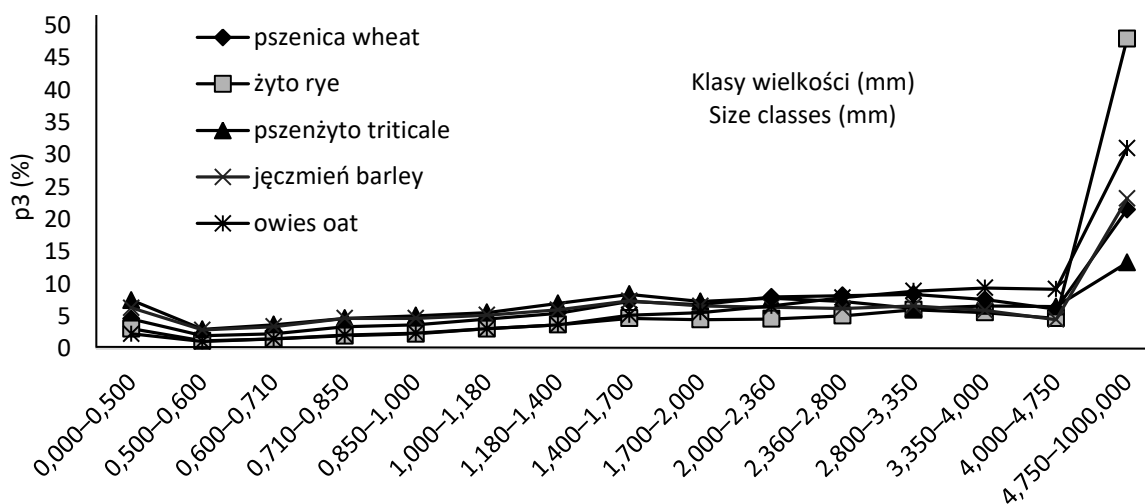
Komplet walców nr 2 umożliwił lepsze rozdrobnienie ziarna w porównaniu z kompletem wal-

ców nr 1. Zauważalne jest podobieństwo ich rozkładów granulometrycznych wszystkich badanych zbóż zauważalnym jest. Widoczny jest też duży udział cząstek wielkości powyżej 4,75 mm wśród wszystkich badanych ziarniaków zbóż cechujących się mocnym spłaszczeniem (forma „płatków”) (rys. 3). W zestawieniu z kompletem walców nr 2 komplet nr 3 pozwolił na uzyskanie bardziej porównywalnych rozkładów granulometrycznych badanych ziaren. Widoczny jest jednak większy udział cząstek największych w spłaszczonej formie „płatków” (powyżej 4,75 mm), szczególnie dla ziarna żyta i pszenicy, oraz nieznaczny spadek ich zawartości w rozdrobnionym ziarnie jęczmienia (rys. 4). Rozdrabnianie z wykorzystaniem wszystkich kompletów walców (1–3) spowodowało znaczne zwiększenie udziału cząstek pylistych oraz zwiększenie rozbieżności w rozkładach granulometrycznych. Największą względną częstotliwością cząstek poniżej 0,5 mm cechowało się ziarno pszenżyta. Odnotowano również spadek ilości cząstek o największych rozmiarach w przypadku ziarna żyta, pszenżyta, jęczmienia i owsa (tab. 5).



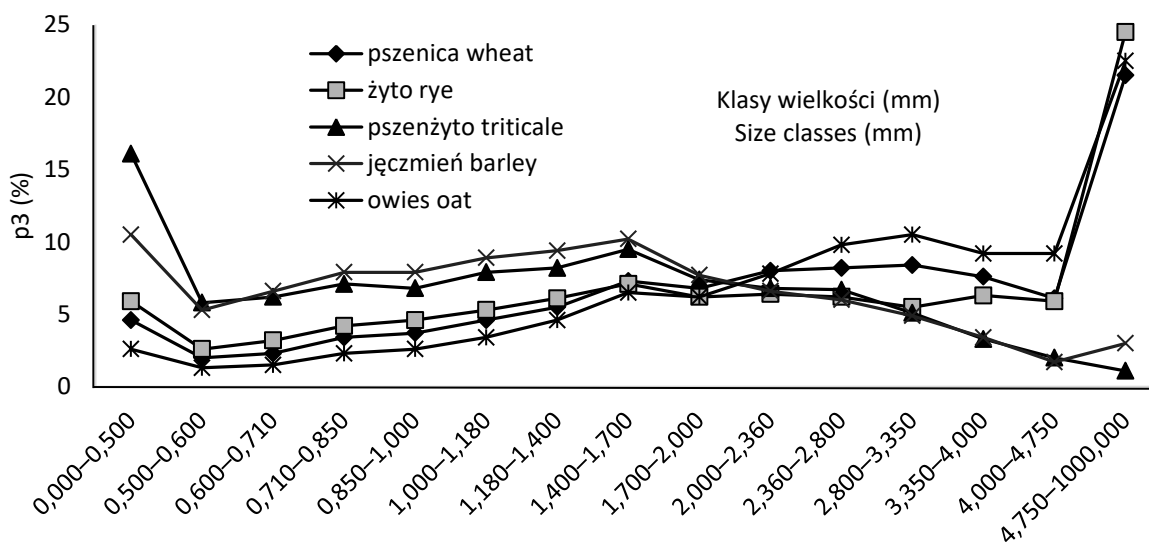
Rys. 3. Wykres zależności klasy wielkości do względnej częstotliwości badanych rozdrobnionych ziaren zbóż przez komplet walców nr 2

Fig. 3. The diagram of the relation between the size class and the relative frequency of the tested chopped grains of evening primrose by the set of rollers No. 2



Rys. 4. Wykres zależności klasy wielkości do względnej częstotliwości badanych rozdrobnionych ziaren zbóż w przez komplet walców nr 3

Fig. 4. The diagram of the relation between the size class and the relative frequency of the tested chopped grains of evening primrose by the set of rollers no. 3



Rys. 5. Wykres zależności klasy wielkości do względnej częstotliwości badanych rozdrobnionych ziaren zbóż przez wszystkie komplety walców

Fig. 5. The diagram of the relation between the size class and the relative frequency of the tested chopped grains of evening primrose by all sets of rollers

Tabela 6. Wartości opałowe ziaren zbóż
Table 6. Combustion heat of peach cereal grains

	Pszennica Wheat	Żyto Rye	Pszennyżto Triticale	Jęczmień Barley	Owies Oat
Zawartość wodoru H Hydrogen content H (%)	4,71	4,732	4,635	4,785	4,701
Ciepło spalania w stanie roboczym Combustion heat in working condition (J·g ⁻¹)	17 984	17 037	17 162	17 666	19 161
Ciepło spalania w stanie analitycznym Analytical state of combustion heat (J·g ⁻¹)	15 872	15 187	15 113	15 903	17 088
Wartość opałowa w stanie roboczym Calorific value in working condition (J·g ⁻¹)	16 819	15 878	16 013	16 506	18 010
Wartość opałowa w stanie analitycznym Calorific value in analytical state (J·g ⁻¹)	14 557	13 889	13 810	14 615	15 777
Popiół/ Ash (%)	1,28	1,8	2,62	1,67	2,21
Wilgotność/ Moisture content (%)	11,74	10,86	11,93	9,97	10,81

Analizując wyniki spalania rozdrobnionych ziaren zbóż, można stwierdzić, że w przypadku ciepła spalania w stanie roboczym największą wartość wykazuje owies, tj. $19\,161,0\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, a najmniejszą żyto $17\,037,0\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$. W przypadku ciepła spalania w stanie analitycznym największą wartość osiąga ponownie ziarno owsa, $17\,088\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, a najmniejszą pszenżyto, $15\,113\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$. Największą wartość opałową w stanie roboczym i analitycznym ma owies (robocza $18\,010,0\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, analityczna $15\,777,0\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$). Analizując zawartość popiołu, można stwierdzić, że największą jego zawartością cechuje się pszenżyto (2,62%), a najmniejszą pszenica (1,28%, tab. 6).

PODSUMOWANIE

Po przeprowadzeniu badań i analizie wyników rozdrabniania na poszczególnych parach walców można stwierdzić, że para walców nr 3 (440 rowków na walcach) najlepiej rozdrabniała ziarna zbóż wiechlinowatych.

Porównując wartości opałowe rozdrobnionych ziaren zbóż wiechlinowatych, można stwierdzić, że największy wskaźnik miało ziarno owsa ($15\,777\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$). Duża wartość opałowa potwierdza słuszność wykorzystania tego rodzaju ziarna na cele energetyczne. Najmniejszą wartość opałową, sięgającą ok. $14\,000\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, mają ziarna żyta i pszenżyta. Na podstawie wykonanych analiz za zboże wiechlinowate o najlepszych parametrach opałowych uznano owies. Wartość opałowa owsa jest o połowę mniejsza w porównaniu z węglem kamiennym ($29\,400\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$). Cechuje go jednak nieporównywalnie mniejsza ilość popiołu powstającego po spalaniu (2,2%), który może być wykorzystywany jako nawóz [Weidner 1992, Popczyk 2011].

PIŚMIENNICTWO

Burczyk, H. (2011). Przydatność zbóż na potrzeby produkcji energii odnawialnej w świetle wyników doświadczeń. *Probl. Inż. Roln.*, 19, 3(73), 43–51.

- Czarnocki, S., Starczewski, J., Garwacka, A. (2007). Wpływ wybranych czynników agrotechnicznych na skłonność do porastania ziarna pszenicy jarej. *Acta Agrophys.*, 10, 3(153), 533–541.
- Faber, A., Kuś, J. (2003). Alternatywne kierunki produkcji rolnictwa polskiego. *Pam. Puł.*, 132, 59–71.
- Flizikowski, J., Tomporowski, A., Macko, M., Mroziński, A., (2016). Inżynieria rozdrabniania biomasy. Wyd. Ucel. UTP w Bydgoszczy, Bydgoszcz.
- Głowacka, A., Zych, M., Żołnierczuk, J. (2016). Środowiskowe i ekonomiczne skutki wykorzystania ziarna owsa na cele energetyczne. *Inż. Ekol.*, 49, 117–123.
- Janowicz, L. (2006). Ciepło z ziarna. *Agroenergetyka*, 1(15), 38–41.
- Jastrzębska, G. (2007). Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. WNT, Warszawa.
- Kaszkowiak, J., Kaszkowiak, E. (2009). Wykorzystanie ziarna zbóż uprawianych w technologii uproszczonej na cele energetyczne. *Inż. Apar. Chem.*, 2, 58–59.
- Meller, E., Bilenda, E. (2012). Wpływ popiołów ze spalania biomasy na właściwości fizykochemiczne gleb lekkich. *Polit. Energ.*, 15(3), 287–292.
- Popczyk, J. (2011). Energetyka alternatywna. Wyd. Dolnośl. WSPT, Polkowice.
- Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 23.02.2010 r. zmieniające Rozporządzenie w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (Dz.U. 2010 nr 34 poz. 182).
- Tytko, R. (2010). Odnawialne źródła energii: wybrane zagadnienia. Wyd. OWG, Warszawa.
- Weidner, S. (1992). Przedsprzędne porastanie ziarniaków zbóż i jego regulacja. *Post. Nauk Roln.*, 5, 89–104.
- Załącznik do uchwały nr 202/209 Rady Ministrów z dn. 10 listopada 2009 r. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku. Ministerstwo Gospodarki, Warszawa.

TESTING AND ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING SHREDED POACEAE CEREAL GRAINS FOR ENERGY PURPOSES

ABSTRACT

The use of renewable energy sources brings great benefits. The interest in biomass is growing, because conventional energy significantly burdens the environment, and the resources of fossil fuels are rapidly decreasing. Excess cereal grains or grains that do not meet quality requirements can be used to produce energy. For this reason, the aim of the study was to conduct research and evaluation of the use of poaceae seed grains for energy purposes. Following seeds of cereals have been subjected for testing: wheat, rye, triticale, barley and oats. Samples of cereal grains were grinded at a multi-roller mill using three different sets of rollers (number of grooves on rollers: 154, 310 and 440). The obtained material was subjected to granulometric analysis using digital image processing and energy verification for crushing purposes, and then calcined in a laboratory furnace to obtain combustion parameters. Due to the implementation of the above-mentioned research, the possibility of using poaceae seed grains for energy purposes was assessed and it was established which of the biomass types in question has the best parameters.

Key words: renewable energy sources, biomass, poaceae, crushing