

## WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE I CHEMICZNE ODPADÓW ROLNICZYCH

*Stanisław Skonecki, Milena Potręć, Janusz Laskowski*

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy  
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin  
e-mail: stanislaw.skonecki@ar.lublin.pl

**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki badań właściwości fizycznych i składu chemicznego słomy jęczmiennej, kukurydzianej, owsianej, pszennej i rzepakowej. Oznaczono wilgotność surowców, skład granulometryczny, średni wymiar cząstek, gęstość w stanie zsypanym, gęstość w stanie utrzęzionym, kąt zsypania, kąt usypu. Surowce poddano badaniu składu chemicznego i określono zawartość: tłuszczu, białka, popiołu, włókna, węglowodanów przyswajalnych. Wyniki poddano ocenie statystycznej. Obliczono średnie wartości, odchylenia standardowe oraz określono istotność różnic średnich wartości właściwości fizycznych i ilości składników chemicznych w zależności od surowca. Stwierdzono, że występuje różna zmienność rozrzutu wartości poszczególnych właściwości fizycznych i chemicznych oraz, że właściwości te zależą istotnie od rodzaju słomy.

**Słowa kluczowe:** właściwości fizyczne, skład chemiczny, słoma: jęczmienna, kukurydziana, owsiana, pszena, rzepakowa

### WSTĘP

Głównym produktem ubocznym pozostającym po produkcji roślinnej w gospodarstwach rolnych jest słoma zbóż i innych roślin uprawnych. Ilość uzyskiwanej słomy w Polsce szacuje się na 25-33 mln ton rocznie (Adameczyk i in. 2005, Gradziuk 2006, Gradziuk i Kościk 2007). Słoma jest najczęściej wykorzystywanym materiałem ściółkowym, stanowi pokarm dla zwierząt, wykorzystywana jest do nawożenia pól. Po odliczeniu zapotrzebowania na ściółkę i paszę oraz niezbędnej ilości na przyoranie pozostają nadwyżki do alternatywnego zagospodarowania. Wielkość nadprodukcji słomy według różnych źródeł określane są na poziomie ok. 8-13 mln ton rocznie (Grzybek i in. 2001, Denisiuk 2008). Jedną z możliwości jest wykorzystanie nadwyżek słomy w energetyce. Jej wartość opałowa wynosi bowiem od 14,3 do 15,2 MJ·kg<sup>-1</sup>, pod względem energetycznym

1,5 tony słomy równoważna jest około jednej tonie węgla kamiennego (Gradziuk 2006). Ilość słomy, którą można wykorzystać w energetyce stanowi równoważnik wartości opałowej ok. 14 mln ton węgla, co stanowi ok. 10% rocznego wydobycia węgla kamiennego w Polsce (Adamczyk i in. 2005).

Ograniczeniem w powszechnym wykorzystaniu słomy w energetyce jest jej rozproszenie, zróżnicowanie właściwości zależne od gatunku rośliny, odmiany, nawożenia, warunków środowiska oraz pogody co powoduje specjalne wymagania w stosunku do regulacji powietrza w kotłach do jej spalania. Ponadto słoma jest materiałem objętościowym, co rzutuje na koszty transportu i przechowywania (Gradziuk i Kościk 2007, Kowalczyk-Juško 2009). W celu zmniejszenia tych uciążliwości zaleca się zagęszczanie słomy przez brykietowanie lub peletowanie do postaci brykietu lub peletu (Hejft 2002, 2006; Kowalczyk-Juško 2009; Skonecki i Potręć 2008a, 2008b). Procesy te polegają na poddaniu rozdrobnionej słomy zagęszczeniu w warunkach wysokiego ciśnienia i odpowiedniej temperatury. Przebieg procesu i uzyskanie produktu o odpowiedniej jakości (wytrzymałości mechanicznej) zależy od właściwości fizycznych i chemicznych surowca (Hejft 2002, Laskowski 1989, Mani i in. 2006, Skonecki i Laskowski 2010). Znajomość właściwości fizycznych jest niezbędna także do ustalenia warunków składowania, magazynowania oraz transportu surowców (Horabik 2001).

Najważniejsze właściwości materiałów sypkich to: wilgotność, skład granulometryczny, średni wymiar cząstek, gęstość w stanie zsypanym i utrzęzionym, kąt zsypania i usypu (Horabik 2001, Mani i in. 2006, Skonecki i Potręć 2010, Tabil i Sokhansanj 1996, Wouters i Geldart 1996). Do właściwości chemicznych istotnych w procesie aglomerowania należy zawartość tłuszczu, białka, popiołu, włókna, węglowodanów (Kulig i Laskowski 2005, 2006; Laskowski 1989). Zarówno właściwości fizyczne jak i skład chemiczny decydują o oporach tarcia pomiędzy cząstkami materiału, jak i o ścianki kanału komory zagęszczającej. Wpływa to na jednostkowe naciski zagęszczania, a tym samym na energochłonność procesu i właściwości mechaniczne gotowego produktu (Hejft 2002, Laskowski 1989).

W literaturze niewiele jest informacji dotyczącej analizy podstawowego składu chemicznego biomasy roślinnej. Większość prac poświęconych było analizie składu pierwiastkowego biomasy (węgiel, wodór, tlen, azot, siarka, chlor), zawartości popiołu i jego składu (Kalembasa 2006, Winnicka i in. 2005, Wisz i Matwiejew 2005).

Celem prezentowanych badań jest określenie podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych odpadów rolniczych wykorzystywanych do produkcji biopaliw stałych (brykietów i peletów), a mianowicie słomy jęczmiennej, kukurydzianej, owsianej, pszennej i rzepakowej.

## MATERIAŁ I METODY

**Charakterystyka materiału**

Materiał do badań stanowiły odpady produkcji rolnej - słoma jęczmienna, kukurydziana, owsiana, pszena i rzepakowa. Surowce przeznaczone do badań pochodziły z prywatnych gospodarstw rolniczych (gmin: Rybczewice – słoma owsiana i rzepakowa, Strzyżewice - słoma kukurydziana, Wysokie – słoma jęczmienna i pszena). Surowce przechowywano w workach w temperaturze pokojowej. Próbkę słomy zostały rozdrobnione na rozdrabniaczu bijakowym ML 500 z sitem o średnicy oczek 4 mm. Rozdrabnianie surowców roślinnych tym sposobem prowadzone jest w wielu przypadkach przed procesem ciśnieniowej aglomeracji dla uzyskania materiałów o odpowiednim składzie granulometrycznym.

**Badania właściwości fizycznych i chemicznych**

Dla badanych rozdrobnionych surowców wyznaczono wilgotność metodą suszarkową zgodnie z PN-ISO 712:2002. Określono podstawowe właściwości fizyczne (skład granulometryczny, średni wymiar cząstek, gęstość w stanie zsypanym i utrzesionym, kąt zsypania i usypu) oraz skład chemiczny (zawartość: tłuszczu, białka, popiołu, włókna i węglowodanów przyswajalnych).

Skład granulometryczny surowców określono zgodnie z PN-89/R-64798 przy wykorzystaniu laboratoryjnego przesiewacza SASKIA Thyr 2 i zestawu sit o wymiarach oczek: 0,2; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,2 mm. Próbkę o masie 100 g poddawano przesiewaniu na zestawie sit przez pięć minut. Każdą klasę wymiarową ważono na wadze WPE 300 z dokładnością do  $\pm 10^{-2}$  g. Średni wymiar cząstek (moduł rozdrobnienia) obliczono ze wzoru:

$$d_c = \frac{\sum_{i=1}^{i=n+1} h_i \cdot P_i}{100} \quad (1)$$

gdzie:  $d_c$  – średni wymiar cząstek;  $h_i$  – średni wymiar otworów dwóch sąsiednich sit, mm;  $P_i$  – pozostałości cząstek zatrzymanych na danym sicie, %;  $n$  – liczba stosowanych sit.

Gęstość w stanie zsypanym (masę usypową) surowca określono zgodnie z PN-ISO 7971-2:1998. W badaniach wykorzystano gęstościomierz zbożowy RP T 01 77 o objętości 1 dm<sup>3</sup>. Oznaczenie gęstości w stanie utrzesionym (gęstości pozornej) wykonano zgodnie z PN-80/C-04532 przy pomocy urządzenia typu Backer-Rosenmuller. Oznaczenie kąta zsypania wykonano zgodnie z PN-74/Z-04002/08, wykorzystując aparat uchylny z płytą stalową ocynkowaną. Kąt usypu oznaczono zgodnie z PN-74/Z-04002/07. Oznaczenia zawartości poszczególnych składników

chemicznych wykonano w Centralnym Laboratorium Aparaturowym Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. Określono w słomie ilość (w %):

- tłuszczu (metodą Soxhleta, zgodnie z PN-A-79011-4:1998),
- białka (metodą Kjeldahla, zgodnie z PN-75/A-04018/Az3:2002),
- popiołu (metodą wagową, zgodnie z PN-A-79011-8:1998),
- włókna (metodą Kürschnera-Hanaka w modyfikacji Kürschnera-Scharrera),
- węglowodanów przyswajalnych, obliczonych z wzoru: węglowodany przyswajalne = 100-(woda + tłuszcz + białko + popiół + włókno).

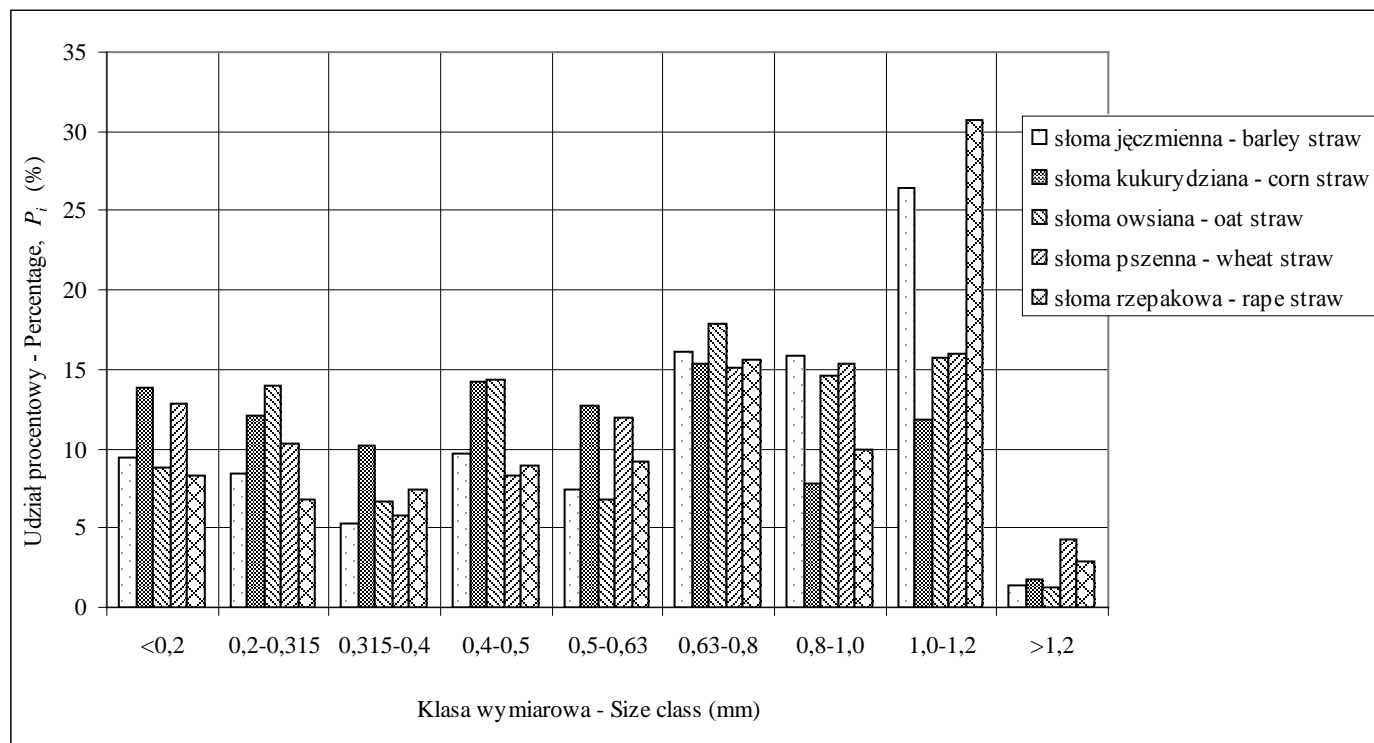
### Ocena statystyczna wyników badań

Obliczono średnie wartości właściwości fizycznych i ilości poszczególnych składników chemicznych oraz odchylenia standardowe. Wyznaczono 95% przedziały ufności (na rys. 2 i 3 przedstawione za pomocą słupków). Określono istotność różnic pomiędzy średnimi wartościami badanych właściwości w zależności od surowca (test Tukeya). Do analiz przyjęto poziom istotności  $p = 0,05$ . Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu programu StatSoft, Inc. (2007), STATISTICA (data analysis software system), version 8.0.

## WYNIKI I DYSKUSJA

Wyniki badań właściwości fizycznych przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunkach 1 i 2, natomiast składu chemicznego w tabeli 2 i na rysunku 3. Na podstawie wartości odchylenia standardowego (tab. 1 i 2) i pokazanych na rysunkach 2 i 3 przedziałów ufności można stwierdzić, że występuje różna zmienność rozrzutu wartości poszczególnych właściwości fizycznych i chemicznych i zależy ona od rodzaju słomy. Odchylenia standardowe (tab. 1 i 2) wynoszą dla:

- gęstości w stanie zsypanym od  $0,321 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (słoma rzepakowa) do  $3,961 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (słoma owsiana),
- gęstości w stanie utrzesionym od  $1,377 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (słoma pszenna) do  $3,457 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (słoma owsiana),
- kąta zsypania od  $0,0^\circ$  (słoma jęczmienna, kukurydziana i rzepakowa) do  $0,577^\circ$  (słoma owsiana i pszenna),
- kąta usypu od  $0,356^\circ$  (słoma rzepakowa) do  $0,973^\circ$  (słoma pszenna),
- ilości tłuszczu od  $0,012\%$  (słoma pszenna) do  $0,231\%$  (słoma jęczmienna),
- ilości białka od  $0,031\%$  (słoma rzepakowa) do  $0,24\%$  (słoma pszenna),
- ilości popiołu od  $0,047\%$  (słoma jęczmienna) do  $0,192\%$  (słoma kukurydziana),
- ilości włókna od  $0,095\%$  (słoma kukurydziana) do  $0,425\%$  (słoma jęczmienna),
- ilości węglowodanów przyswajalnych od  $0,05\%$  (słoma rzepakowa) do  $0,556\%$  (słoma jęczmienna).



**Rys. 1.** Udział procentowy poszczególnych frakcji badanych surowców

**Fig. 1.** Percentage shares of the particular fractions of the tested materials

Skład granulometryczny badanych słom przedstawiono na rysunku 1. Z rysunku tego wynika, że poszczególne słomy mają podobny skład granulometryczny. Dla dwu surowców tj. słomy jęczmiennej i rzepakowej największą frakcję stanowią cząstki o wymiarach w zakresie od 1,0 mm do 1,2 mm, a procentowy udział wynosi odpowiednio 26% i 31%. Surowce dla klasy wymiarowej 0,63-0,8 mm mają zbliżone wartości udziału procentowego w zakresie 15-17%. Najmniej w badanych słomach jest cząstek o wielkości powyżej 1,2 mm (udział procentowy wynosi dla tej klasy wymiarowej od 1,2% dla słomy owsianej do 4,3% dla słomy pszennej).

**Tabela 1.** Właściwości fizyczne i porównanie średnich wartości w zależności od rodzaju słomy  
**Table 1.** Physical properties and comparison of average values depending on the type of straw

Właściwości fizyczne Physical properties	Rodzaj słomy Type of straw	Wartość – Value			Odch. stand. Stand. dev.
		Średnia (x)* Average (x)*	Minimum	Maksimum Maximum	
Gęstość w stanie zsypanym Density in the bulk state (kg·m <sup>-3</sup> )	Jęczmienna – Barley	100,5 (c)	99,4	101,2	0,964
	Kukurydziana – Corn	108,8 (b)	108,4	109,2	0,400
	Owsiana – Oat	84,6 (a)	80,3	88,1	3,961
	Pszenna – Wheat	84,4 (a)	83,5	85,9	1,286
	Rzepakowa – Rape	110,5 (b)	110,1	110,7	0,321
Gęstość w stanie utrzązionym Density in the shaken up state (kg·m <sup>-3</sup> )	Jęczmienna – Barley	122,1 (c)	119,8	123,2	1,899
	Kukurydziana – Corn	132,9 (b)	131,6	134,7	1,567
	Owsiana – Oat	107,8 (a)	105,7	111,7	3,457
	Pszenna – Wheat	104,1 (a)	102,5	104,9	1,377
	Rzepakowa – Rape	137,2 (b)	133,0	140,5	3,808
Kąt zsypania Angle of slide (°)	Jęczmienna – Barley	37,0 (a)	37,0	37,0	0,000
	Kukurydziana – Corn	38,0 (b)	38,0	38,0	0,000
	Owsiana – Oat	37,3 (a, b)	37,0	38,0	0,577
	Pszenna – Wheat	41,7 (d)	41,0	42,0	0,577
	Rzepakowa – Rape	39,0 (c)	39,0	39,0	0,000
Kąt usypienia Angle of repose (°)	Jęczmienna – Barley	32,1 (c)	31,7	32,4	0,397
	Kukurydziana – Corn	35,8 (a, b)	35,6	36,3	0,362
	Owsiana – Oat	37,3 (b)	36,3	38,1	0,928
	Pszenna – Wheat	35,4 (a)	34,4	36,3	0,973
	Rzepakowa – Rape	36,6 (a, b)	36,3	36,9	0,356

(x)\* – Litery a, b, c, d w nawiasach oznaczają grupy jednorodne (średnie wartości właściwości różnią się istotnie pomiędzy grupami) – Letters in parentheses a, b, c, d denote homogeneous groups (average property values differ significantly between groups).

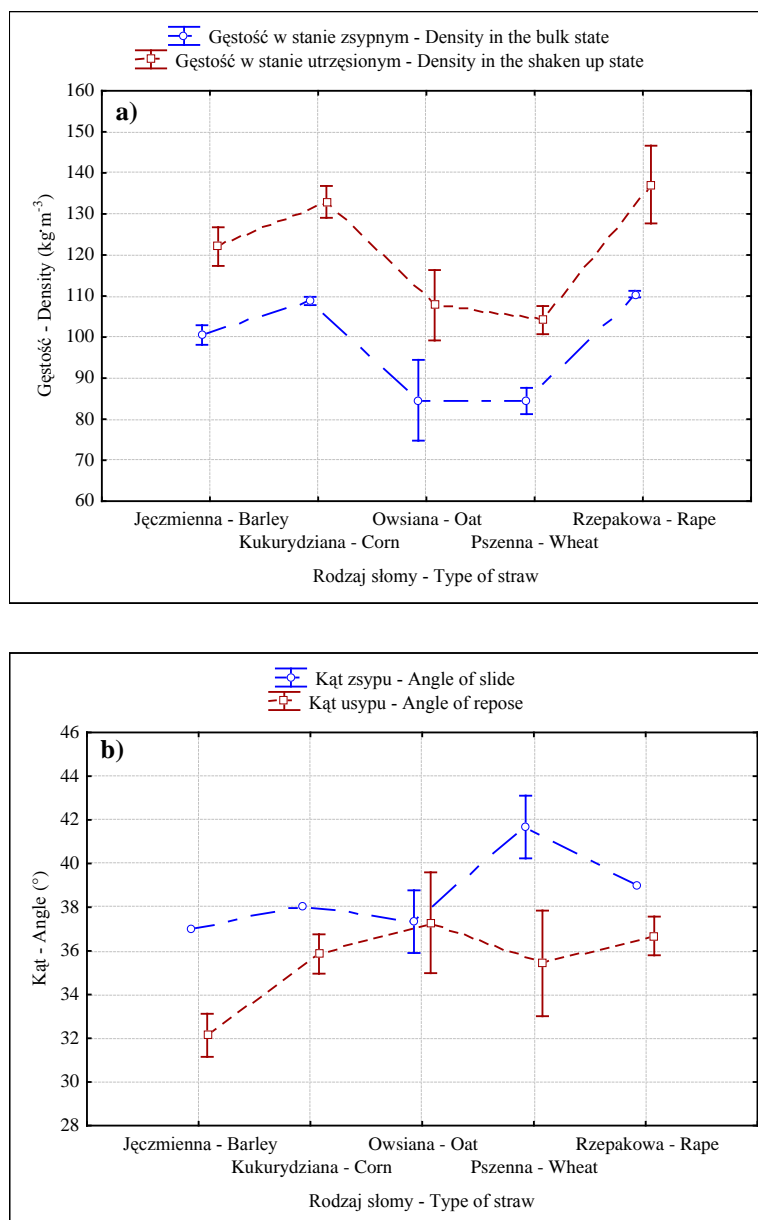
Skład granulometryczny słom wskazuje na podobny stopień rozdrobnienia surowców i uzyskanie w słomach cząstek z poszczególnych klas wymiarowych o zbliżonym udziale procentowym. Natomiast średni wymiar cząstek badanych surowców przedstawia się następująco: słoma jęczmienna 0,66 mm, słoma kukurydziana 0,55 mm, słoma owsiana 0,60 mm, słoma pszena 0,64 mm, słoma rzepakowa 0,71 mm.

Wartości gęstości w stanie zsypanym i utrzesionym badanych surowców podano w tabeli 1 i na rysunku 2a. Najmniejszą gęstością zarówno w stanie zsypanym jak i utrzesionym odznacza się słoma pszena i owsiana, odpowiednio gęstość usypowa dla tych surowców wynosi  $84,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $84,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; gęstość w stanie utrzesionym  $104,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $107,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Natomiast największą gęstość w stanie zsypanym i utrzesionym (tab. 1) uzyskano dla słomy rzepakowej i kukurydzianej (gęstość nasypowa odpowiednio wynosi  $110,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $108,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; w stanie utrzesionym  $137,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $132,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Średnie wartości gęstości w stanie zsypanym i utrzesionym nie różnią się istotnie dla słomy pszennej i owsianej (grupa jednorodna a) oraz słomy rzepakowej i kukurydzianej (grupa jednorodna b). Natomiast dla słomy jęczmiennej wartości gęstości w stanie zsypanym i utrzesionym są pośrednie pomiędzy grupami a, b i wynoszą  $100,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $122,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  (należą do grupy c).

Wartości kąta zsypania dla badanych materiałów zawierają się w przedziale od  $37,0^\circ$  (dla słomy jęczmiennej) do  $41,7^\circ$  (dla słomy pszennej), natomiast kąta usypu od  $32,1^\circ$  (dla słomy jęczmiennej) do  $37,3^\circ$  (dla słomy owsianej) (tab. 1, rys. 2b). Analiza istotności różnic średnich wartości kąta zsypania (tab. 1) wykazała, że kąt zsypania jest różny dla badanych słom, z wyjątkiem słomy owsianej, dla której kąt zsypania należy do grup jednorodnych a, b (słomy jęczmiennej i kukurydzianej). Średnie wartości kąta usypu również istotnie różnią się w zależności od rodzaju słomy (grupy jednorodne a, b, c stanowią: słoma pszena – a, owsiana – b, jęczmienna – c). Dla słomy kukurydzianej i rzepakowej wartości kąta usypu wynoszą odpowiednio  $35,8^\circ$  i  $36,6^\circ$  i należą do grup a, b (nie różnią się istotnie od uzyskanej dla słomy pszennej i owsianej).

W tabeli 2 i na rysunku 3 przedstawiono wyniki analizy zawartości składników chemicznych w badanych słomach. Wilgotność niewiele różni się pomiędzy poszczególnymi słomami (występują dwie grupy jednorodne a, b) i wynosi od 6,87% (dla słomy kukurydzianej) do 7,84% (dla słomy pszennej) – tabela 2.

Z danych przedstawionych w tabeli 2 i na rysunku 3a wynika, że zawartość tłuszczu w surowcach zawiera się w przedziale od 0,92% do 1,59%. Zawartość tłuszczu w słomie jęczmiennej, kukurydzianej, owsianej i pszennej nie różni się istotnie (grupa jednorodna a) i wynosi od 0,92% do 1,13%. Jedynie słoma rzepakowa zawiera istotnie różniącą się od pozostałych surowców ilość tłuszczu (1,59%).



**Rys. 2.** Średnie wartości właściwości fizycznych słomy: a) gęstości w stanie zsypanym i utrzązionym, b) kąta zsypania i usypu (pionowe słupki oznaczają 95% przedziały ufności)

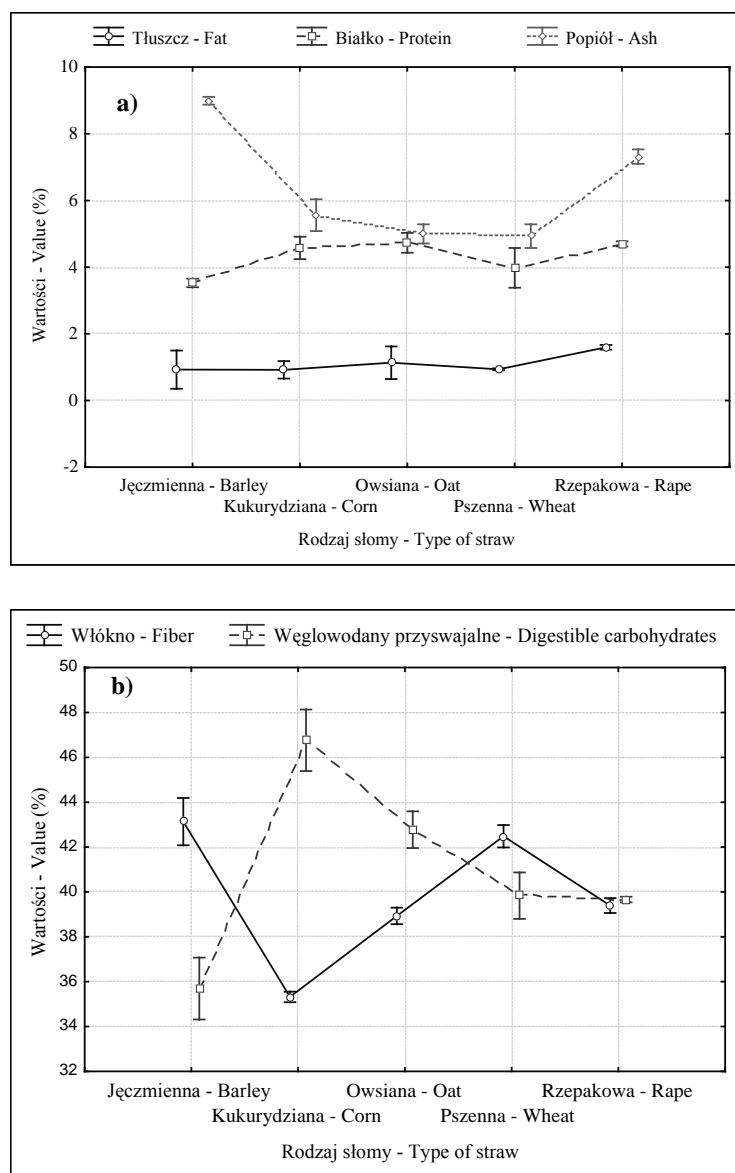
**Fig. 2.** Average values of physical properties of straw: a) density in the bulk state and in the shaken up state, b) angle of slide and of repose (vertical bars represent 95% confidence intervals)



**Tabela 2.** Skład chemiczny i porównanie średnich wartości ilości poszczególnych składników w zależności od rodzaju słomy**Table 2.** Chemical composition and comparison of average values for the individual components, depending on the type of straw

Skład chemiczny Chemical composition	Rodzaj słomy Type of straw	Wartość – Value			Odch. stand. Stand. dev.
		Średnia (x)* Average (x)*	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	
Tłuszcz Fat (%)	Jęczmienna – Barley	0,92 (a)	0,79	1,19	0,231
	Kukurydziana – Corn	0,92 (a)	0,81	1,02	0,105
	Owsiana – Oat	1,13 (a)	0,91	1,29	0,197
	Pszenna – Wheat	0,93 (a)	0,92	0,94	0,012
	Rzepakowa – Rape	1,59 (b)	1,56	1,61	0,029
Białko Protein (%)	Jęczmienna – Barley	3,52 (b)	3,48	3,58	0,051
	Kukurydziana – Corn	4,57 (a)	4,44	4,71	0,135
	Owsiana – Oat	4,73 (a)	4,59	4,81	0,119
	Pszenna – Wheat	3,98 (c)	3,70	4,13	0,240
	Rzepakowa – Rape	4,69 (a)	4,66	4,72	0,031
Popiół Ash (%)	Jęczmienna – Barley	8,99 (d)	8,95	9,04	0,047
	Kukurydziana – Corn	5,55 (b)	5,38	5,76	0,192
	Owsiana – Oat	4,99 (a)	4,87	5,10	0,116
	Pszenna – Wheat	4,93 (a)	4,83	5,09	0,142
	Rzepakowa – Rape	7,31 (c)	7,21	7,37	0,087
Włókno Fibre (%)	Jęczmienna – Barley	43,14 (d)	42,67	43,50	0,425
	Kukurydziana – Corn	35,33 (b)	35,22	35,40	0,095
	Owsiana – Oat	38,94 (a)	38,81	39,10	0,148
	Pszenna – Wheat	42,49 (c)	42,28	42,68	0,200
	Rzepakowa – Rape	39,40 (a)	39,30	39,55	0,134
Węglowodany przyswajalne Digestible carbohydrates (%)	Jęczmienna – Barley	35,70 (b)	35,34	36,34	0,556
	Kukurydziana – Corn	46,76 (d)	46,35	47,39	0,552
	Owsiana – Oat	42,78 (c)	42,40	42,97	0,329
	Pszenna – Wheat	39,84 (a)	39,44	40,27	0,416
	Rzepakowa – Rape	39,67 (a)	39,62	39,72	0,050
Wilgotność Moisture (%)	Jęczmienna – Barley	7,73 (a)	7,51	7,93	0,211
	Kukurydziana – Corn	6,87 (b)	6,35	7,32	0,488
	Owsiana – Oat	7,43 (a, b)	7,29	7,61	0,163
	Pszenna – Wheat	7,84 (a)	7,57	7,98	0,231
	Rzepakowa – Rape	7,34 (a, b)	7,30	7,38	0,040

(x)\* – Litery a, b, c, d w nawiasach oznaczają grupy jednorodnie (średnie wartości właściwości różnią się istotnie pomiędzy grupami) – Letters in parentheses a, b, c, d denote homogeneous groups (average property values differ significantly between groups).



**Rys. 3.** Średnie wartości zawartości poszczególnych składników chemicznych w słomie: a) tłuszczu, białka i popiołu, b) włókna i węglowodanów przyswajalnych (pionowe słupki oznaczają 95% przedziały ufności)

**Fig. 3.** Average values of levels of the individual chemical components in the straw: a) fat, protein and ash, b) fiber and digestible carbohydrates (vertical bars represent 95% confidence intervals)

Zawartość białka wynosi od 3,52% dla słomy jęczmiennej do 4,73% dla słomy owsianej (tab. 2, rys. 3a). Średnie wartości ilości białka nie różnią się istotnie dla słomy kukurydzianej, owsianej i rzepakowej (tab. 2 – grupa jednorodna a). Dla tych surowców zawartość białka jest największa i wynosi od 4,57% do 4,73%. Najmniejszą ilość białka 3,52% zawiera słoma jęczmienna. Surowiec ten charakteryzuje się natomiast największą zawartością popiołu i włókna, wynoszącą odpowiednio 8,99% i 43,14% (tab. 2, rys. 3a, b). Najmniej popiołu otrzymamy ze spalania słomy pszennej (4,93%) i owsianej (4,99%) i dla tych surowców ilość popiołu nie różni się istotnie (grupa jednorodna a). Średnie wartości ilości popiołu dla pozostałych surowców różnią się istotnie i wynoszą dla słomy: kukurydzianej 5,55%, rzepakowej 7,31%. Ilość włókna (tab. 2, rys. 3b) jest najmniejsza w słomie kukurydzianej i wynosi 35,33%. Słoma owsiana i rzepakowa zawierają podobną ilość włókna (odpowiednio 38,94% i 39,4%) nie różniącą się istotnie (grupa jednorodna a). Średnia ilość włókna dla pozostałych słom różni się istotnie (występują grupy jednorodne: b – słoma kukurydziana, c – słoma pszena, d – słoma jęczmienna).

Ilość węglowodanów przyswajalnych w badanych surowcach wynosi ponad 35% (tab. 2, rys. 3b). Analiza istotności różnic średnich wartości ilości węglowodanów wykazała, że zawartość tego składnika jest istotnie różna w badanych słomach, za wyjątkiem słomy pszennej i rzepakowej (grupa jednorodna a – ilość węglowodanów wynosi około 39,7%). Najwięcej węglowodanów zawiera słoma kukurydziana (46,76% – grupa jednorodna d), a najmniej słoma jęczmienna (35,70% – grupa jednorodna b).

## WNIOSKI

1. Analiza statystyczna (odchylenie standardowe, przedział ufności, ocena istotności różnic pomiędzy średnimi wartościami) właściwości fizycznych (gęstości w stanie zsypanym i utrzesionym, kąta zsypania i usypu) i ilości składników chemicznych (tłuszczu, białka, popiołu, włókna i węglowodanów przyswajalnych) wykazała, że właściwości te zależą istotnie od rodzaju słomy.

2. Najmniejszą gęstością w stanie zsypanym i utrzesionym odznacza się słoma pszena i owsiana. Gęstość w stanie zsypanym dla tych surowców wynosi  $84,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  i  $84,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; gęstość w stanie utrzesionym  $104,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  i  $107,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Natomiast największą gęstość w stanie zsypanym i utrzesionym uzyskano dla słomy rzepakowej i kukurydzianej (gęstość nasypowa odpowiednio wynosi  $110,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $108,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ; w stanie utrzesionym  $137,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ,  $132,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ).

3. Średnie wartości kąta zsypania i usypu istotnie różnią się w zależności od rodzaju słomy. Najmniejszą wartością kąta zsypania ( $37,0^\circ$ ) i usypu ( $32,1^\circ$ ) charakte-

ryzuje się słoma jęczmienna. Największą wartość kąta zsypu wynoszącą 41,7° uzyskano dla słomy pszennej, natomiast kąta usypu 37,3° dla słomy owsianej.

4. Zawartość tłuszczu w badanych surowcach jest mniejsza od 1,6%, a białka od 4,8%. Średnia zawartość tłuszczu nie różni się istotnie dla słomy jęczmiennej, kukurydzianej, owsianej i pszennej. Ilość tłuszczu zawiera się w przedziale od 0,92% (słoma jęczmienna i kukurydziana) do 1,59% (słoma rzepakowa). Natomiast zawartość białka wynosi od 3,52% (słoma jęczmienna) do 4,73% (słoma owsiana).

5. Najmniejszą ilość popiołu zawiera słoma pszena (4,93%) i owsiana (4,99%) i ona nie różni się istotnie dla tych surowców. Średnie wartości ilości popiołu dla pozostałych słom różnią się istotnie. Największą ilość popiołu wynosząca prawie 9% ma słoma jęczmienna.

6. Badane surowce zawierają: włókna od 35,33% (słoma kukurydziana) do 43,14% (słoma jęczmienna) i węglowodanów przyswajalnych od 35,7% (słoma jęczmienna) do 46,76% (słoma kukurydziana). Ilość tych składników w surowcu zależy istotnie w większości przypadków od rodzaju słomy.

#### PIŚMIENNICTWO

- Adamczyk F., Frąckowiak P., Mielec K., Koźmicki Z., 2005. Problematyka badawcza w procesie zagęszczania słomy przeznaczonej na opał. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering*, 50(4), 5-8.
- Denisiuk W., 2008. Słoma – potencjał masy i energii. *Inżynieria Rolnicza*, 2(100), 23-30.
- Gradziuk P., 2006. Ekonomiczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele energetyczne w lokalnych systemach grzewczych. *Acta Agrophysica*, 8(3), 591-601.
- Gradziuk P., Kościak K., 2007. Analiza możliwości i kosztów pozyskania biomasy na cele energetyczne na potrzeby energetycznego wykorzystania w gminie Clomas. Opracowanie na zlecenie Urzędu Gminy Clomas.
- Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K., 2001. Słoma-energetyczne paliwo. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa.
- Hejft R. 2002. Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytut Technologii i Eksploatacji, Radom
- Hejft R., 2006. Wytwarzanie brykietów z odpadów roślinnych w ślimakowym układzie roboczym. *Inżynieria Rolnicza*, 5(80), 231-238.
- Horabik J., 2001. Charakterystyka właściwości fizycznych roślinnych materiałów sypkich istotnych w procesach składowania. *Acta Agrophysica*, 54, 1-121.
- Kalembasa D., 2006. Ilość i skład chemiczny popiołu z biomasy roślin energetycznych. *Acta Agrophysica*, 7(4), 909-914.
- Kowalczyk-Juško A., 2009. Uciążliwa, ale bardzo atrakcyjna. *Agroenergetyka*, 4, 17-20.
- Kulig R., Laskowski J., 2005. Wpływ zawartości tłuszczu na proces granulowania materiałów paszowych. *Inżynieria Rolnicza*, 7(67), 59-68.
- Kulig R., Laskowski J., 2006. Wpływ zawartości włókna na proces granulowania materiałów paszowych. *Inżynieria Rolnicza*, 5(80), 365-374.

- Laskowski J., 1989. Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych. Seria Wydawnicza - Rozprawy Naukowe, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, 113.
- Mani S., Tabil L., Sokhansanj S., 2006. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from Grasses. *Biomass and Bioenergy*, 30, 648-654.
- Skonecki S., Laskowski J., 2010. Wpływ wilgotności śruty zbożowej na proces wytlaczania. *Acta Agrophysica*, 15(1), 155-165.
- Skonecki S., Potręć M., 2008 a. Wpływ wilgotności łusek kolb kukurydzy na parametry zagęszczania. *Acta Agrophysica*. 11 (3), 725-732.
- Skonecki S., Potręć M., 2008 b. Wpływ wilgotności słomy owsianej na podatność na zagęszczanie. Rozdział nr 9 w Monografii pod redakcją B. Dobrzańskiego, A. Rutkowskiego i R. Rybczyńskiego „Właściwości fizyczne i biochemiczne materiałów roślinnych”. Wyd. Nauk. FRNA, Komitet Agrofizyki PAN, Lublin, 147-156.
- Skonecki S., Potręć M., 2010. Właściwości fizyczne i chemiczne biomasy roślinnej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 546, 335-340.
- Tabil L.G., Sokhansanj S., 1996. Process conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets. *Applied Engineering in Agriculture*, 12(3), 345-350.
- Winnicka G., Tramer A., Świeca G., 2005. Badania właściwości biomasy stałej do celów energetycznych. *Karbo*, 2, 141-147.
- Wisniewski J., Matwiejew A., 2005. Biomasa - badania w laboratorium w aspekcie przydatności do energetycznego spalania. *Energetyka*, 9, 631-635.
- Wouters I., Geldart D., 1996. Characterising semi-cohesive powders using angle of repose. *Particle and Particle Systems Characterisation*, 13(4), 254-259.

## PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF AGRICULTURAL WASTES

*Stanisław Skonecki, Milena Potręć, Janusz Laskowski*

Department of Food Industry Machinery Operation, University of Life Sciences in Lublin  
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin  
e-mail: stanislaw.skonecki@up.lublin.pl

**Abstract.** The paper presents the results of investigations of physical properties and chemical composition of barley straw, corn, oats, wheat and rapeseed. The parameters determined included moisture content of raw materials, granulometric composition, average particle size, density in the bulk state, density in the shaken up state, angle of slide, angle of repose. Raw materials were tested and to determine the chemical composition of the contents: fat, protein, ash, fibres, digestible carbohydrates. The results were evaluated statistically. The mean values, standard deviations and the significance of differences of mean values of the physical and chemical quantities of ingredients depending on the material were determined. It was found that there is a different variation of the distribution of values of the various physical and chemical properties, and that these properties depend significantly on the type of straw.

**Keywords:** physical properties, chemical composition, straw: barley, corn, oat, wheat, rape