

WPŁYW WILGOTNOŚCI SŁOMY NA TRWAŁOŚĆ KINETYCZNA BRYKIETÓW

Tomasz Hebda, Andrzej Złobecki

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Celem pracy było określenie wpływu wilgotności słomy na trwałość wykonanych z niej brykietów. Do analizy wykorzystano słomę żytnią, pszeną oraz rzepakową o czterech poziomach wilgotności (6,10,15 i 20%). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najlepsza wilgotność słomy do brykietowania przy ciśnieniu 48 MPa zawiera się w przedziale od 10 do 15%. Ze słomy o wilgotności 20% nie można było wyprodukować brykietów o akceptowalnej trwałości. Największą trwałością wyróżniły się brykiety ze słomy rzepakowej (ich trwałość mieściła się w przedziale od 90% do 97%). Najmniejszą jakością miały natomiast brykiety ze słomy żytniej (trwałość od 84% do 96%).

Słowa kluczowe: słoma, brykiety, trwałość

Wstęp

Rozwój przemysłu stał się równoznaczny ze wzrostem zapotrzebowania na paliwa kopalne - węgiel kamienny i brunatny, ropę naftową oraz gaz ziemny. Ich intensywna eksploatacja oraz zanieczyszczenia, jakie powodują zmusiły ludzkość do poszukiwań nowych źródeł energii, które nie byłyby tak bardzo uciążliwe dla środowiska naturalnego. Badania naukowców skupiły się na poszukiwaniu takich źródeł energii oraz surowców, które są czyste dla środowiska i tanie w pozyskiwaniu a przede wszystkim odnawialne lub niewyczerpalne.

Jednym z najbardziej obiecujących źródeł energii odnawialnej jest biomasa. Może ona pochodzić z różnorodnych produktów m.in. z polowej produkcji roślinnej, odpadów występujących w rolnictwie, przemyśle rolno-spożywczym, gospodarstwach domowych jak i w gospodarce komunalnej. Może ona również pochodzić z odpadów drzewnych w leśnictwie, przemyśle drzewnym i celulozowo-papierniczym. Podejmuje się też produkcję biomasy na specjalnych plantacjach drzew szybko-rosnących (wierzba, platan, topola, eukaliptus), trzciny cukrowej, słonecznika, rzepaku oraz wybranych gatunków traw. Większa część tych produktów może być wykorzystywana w energetyce jako biopaliwa [Graczyk i in. 2003].

Biomasa może być używana na cele energetyczne w procesach bezpośredniego spalania, gazyfikacji oraz pirolizy materiałów takich jak drewno, odpady drzewne, słoma, osady ściekowe, makulatury czy siano.

Jednym z powszechnie występujących źródeł biomasy jest słoma. W Polsce co roku można by wykorzystać około 10 mln ton słomy na cele energetyczne, co daje jej duży

potencjał [Grzybek i in. 2001, Dreszer i in. 2003]. Problemem z jakim borykają się badacze jest zmniejszenie objętości słomy, która w stanie luźnym jest kłopotliwa w transporcie i przechowywaniu. Najczęstszym sposobem zagęszczania słomy jest jej belowanie oraz brykietowanie. Aby brykiet posiadał odpowiednie cechy wytrzymałościowe należy właściwie przygotować materiał użyty do jego produkcji. Głównymi wytycznymi trwałości brykietu jest długość oraz wilgotność słomy.

Słoma wykorzystywana na cele energetyczne musi spełniać określone wymagania technologiczne. Parametry charakteryzujące słomę, jako materiał energetyczny, jak do tej pory, w Polsce nie zostały znormalizowane. Najczęściej ocena polega na analizie wartości opałowej, wilgotności oraz stopnia zwiędnięcia [Gradziuk 2003].

Najważniejszym parametrem jest wartość opałowa, która według PN-73/G-04513 określana jest jako ilość ciepła uzyskiwana podczas spalania jednostki masy paliwa stałego w atmosferze tlenu pomniejszona o ciepło parowania wody (uzyskanej w procesie spalania oraz wilgotności higroskopijnej). Dla suchej słomy wartość opałowa mieści się w zakresie 14-17 MJkg⁻¹ i zależy przede wszystkim od rodzaju rośliny. Porównując to z węglem, którego wartość opałowa zawiera się w przedziale 18,8-30 MJkg⁻¹ można przyjąć że 1,5 tony słomy odpowiada 1 tonie węgla średnio-energetycznego [Tymiński 1997].

Wartość energetyczna słomy uzależniona jest przede wszystkim od jej wilgotności. Dla słomy świeżej (prasowanej w bele do bezpośredniego spalania) zawiera się ona między 12 a 22% wilgoci, a w pewnych przypadkach może być nawet większa. Uzależnione jest to od rodzaju rośliny oraz od warunków atmosferycznych jakie panowały podczas zbioru. Duża wilgotność słomy zmniejsza nie tylko wartość uzyskanej energii, ale także wpływa na przebieg samego spalania, powodując podwyższoną emisję zanieczyszczeń w spalinach. Znaczna wilgotność może również powodować problemy z jej magazynowaniem, transportowaniem a także rozdrabnianiem podczas zadawania do pieca. Wilgotność słomy przeznaczanej na cele energetyczne waha się od 10 do 20% – w praktyce jest to zwykle w granicach 18-25% [Grzybek i in. 2001; Dreszer i in. 2003].

Słoma świeża nazywana „zółta” w swoim składzie zawiera wiele metali alkalicznych i związków chloru, które nie pozostają bez wpływu na procesy korozji i powstawania żużla. Słoma przeznaczona na cele energetyczne powinna być poddawana procesowi wędnięcia, który polega na wymywaniu szkodliwych związków przez opady atmosferyczne. Stopień zwiędnięcia świadczy o tym jak długo słoma była poddawana działaniu zmiennych warunków atmosferycznych, a następnie została wysuszona. Im stopień zwiędnięcia większy tym większe prawdopodobieństwo zmniejszenia szkodliwości metali, chloru oraz ich związków na zmniejszenie kaloryczności i zażużlenie elementów kotła podczas spalania. Ta słoma charakteryzuje się szarym kolorem w porównaniu do słomy świeżej. I jest bardziej przydatna dla celów energetycznych.

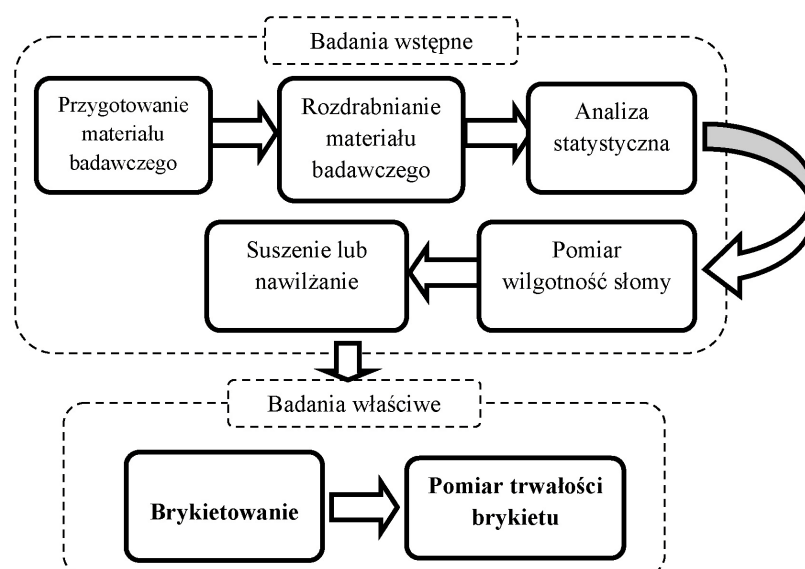
Cel pracy

W literaturze jest mała ilość informacji na temat wpływu zawartości wody lub wilgotności na cechy mechaniczne brykietów, dlatego w pracy podjęto próbę określenia optymalnej wilgotności słomy, przy której brykiet wykazuje największą trwałość.

Celem przeprowadzonych badań było określenie cech wytrzymałościowych brykietów wykonanych ze słomy żytniej, pszennej oraz rzepakowej. Zakres pracy obejmował badania: wilgotności słomy (6, 10, 15 i 20%) i trwałości brykietów.

Metodyka

Do badań wybrano słomę trzech przedstawicieli roślin uprawianych w Polsce. Jako przedstawicieli roślin zbożowych wybrano żyto (*Sacale* L.) oraz pszenicę (*Triticum* L.), natomiast jako przedstawiciela roślin oleistych - rzepak (*Brassica napus* L.). Słoma pochodziła ze zbiorów przeprowadzonych w 2010 roku. Badania przeprowadzono zgodnie ze schematem blokowym przedstawionym na rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy prowadzonych badań
Fig. 1. Block scheme of the conducted research

Pierwszym etapem wykonanych badań było rozdrobnienie słomy w celu uzyskania frakcji o długości poniżej 60 mm. Zabieg ten był podyktowany tym, że sieczka o zbyt długich odcinkach może powodować zawieszanie się (tworzyć puste przestrzenie) materiału w koszu zasypowym i w konsekwencji obniżać wydajność brykietarki. Rozdrabnianie słomy przeprowadzono na rozdrabniaczu nożowym firmy TESTCHEM typ LMNo-100. Określenie składu odbyło się na odsiewaczu sitowym firmy MULTISERW typ LPzE-4e na sicie o średnicy oczek 45 mm.

Kolejnym etapem było nawilżanie lub suszenie słomy do poziomów wilgotności przyjętych w celu badań. Słomę nawilżaną okresowo mieszano, w celu wyrównania wilgotności

w całej objętości próbki, natomiast słomę zbyt wilgotną dosuszano w sposób naturalny. Wilgotność słomy określono metodą suszarkowo-wagową, odważono pięć 2 gramowych próbek, dla poszczególnych rodzajów roślin na wadze laboratoryjnej WPS 510/C/1, które następnie umieszczano w komorze suszarki konwekcyjnej Elkon typ KC 100N. Temperatura suszenia wynosiła 50°C, a proces trwał 24 godziny. Wilgotność dla poszczególnych próbek obliczano z następującej zależności:

$$W = \frac{(M_p - M_k)}{M_p} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (1)$$

gdzie:

- W – wilgotność [%],
- M_p – masa początkowa próbki [kg],
- M_k – masa końcowa próbki [kg].

W rezultacie uzyskano cztery wilgotności słomy dla danego rodzaju rośliny, następnie słoma była aglomerowana w brykociarce firmy POR-ECOMEC model Junior. Ciśnienie robocze brykociarki wynosiło 48 MPa. Średnica uzyskanych brykietów wynosiła 50 mm i była podyktowana konstrukcją w/w urządzenia.

Uzyskano brykiet tylko z 3 wilgotności: 6%, 10% i 15%. Aglomerat o wilgotności 20% po wyjściu z brykociarki, zwiększał gwałtownie swoją objętość, aż do momentu w którym ulegał rozkruszeniu na drobne cząstki. Uzyskanie więc brykietów ze słomy o wilgotności 20% nie powiodło się, dyskwalifikowało ją również z dalszych badań.

Kolejnym krokiem po procesie brykietowania było określenie trwałości brykietu. W tym celu wykorzystano metodę dynamiczną, zgodną z normą CEN/TS 15210-2.

Testy trwałości brykietów przeprowadzono po 24 godzinach od ich wytworzenia (czas stabilizacji brykietów). Procedura oceny trwałości brykietów według w/w normy polegała na przygotowaniu próbki o masie 1 kg brykietów (wykorzystano w tym celu wagę laboratoryjną WPT 12/C, której dokładność wynosi 0,2 g). Brykiety umieszczano w komorze (bębnie) testera (rys. 2). Następnie bęben obracano 105 razy z dokładnością do pół obrotu, z prędkością 21 obr min⁻¹. Prędkość obrotową uzyskano dzięki zastosowaniu motoreduktora, czas pomiaru wynosił 5 minut. Następnie próbkę przesiano przez sito o średnicy oczka 35,5 mm, aż do usunięcia wszystkich drobnych cząstek. Wsad pozostały na sicie zważono za pomocą ww wagi.

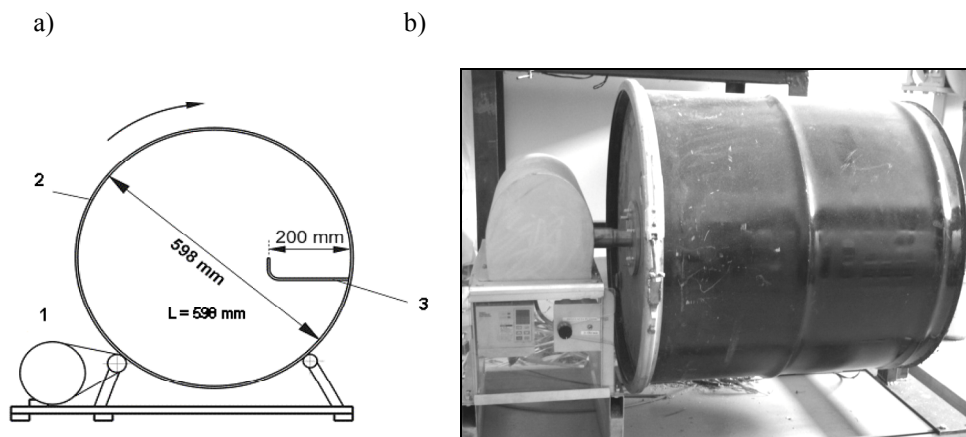
Trwałość brykietów określono zgodnie ze wzorem:

$$T = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

gdzie:

- T – trwałość mechaniczna [%],
- M_1 – masa wsadu w bębnie [kg],
- M_2 – masa wsadu po przesianiu [kg].

Wykonano po 10 powtórzeń dla każdej z wilgotności.

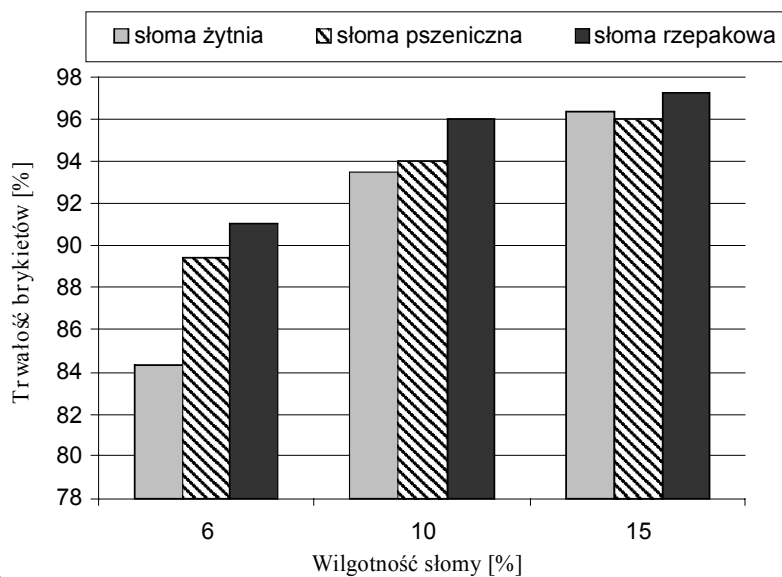


Rys. 2. Stanowisko do oceny trwałości brykietu: a – schemat komór testera: 1 – silnik, 2 – bęben, 3 – przegroda; b – widok urządzenia

Fig. 2. Assessment stand of briquette durability: a – a scheme of tester chambers: 1 – engine, 2 – cylinder, 3 – divider; b – view of device

Wyniki badań i ich analiza

Wyniki wartości średnich trwałości brykietów przedstawiono na wykresie (rys. 3).



Rys. 3. Trwałość brykietów
Fig. 3. Briquettes durability

Spośród wszystkich analizowanych rodzajów roślin oraz poziomów wilgotności słomy największą jakością charakteryzowały się brykiety wykonane ze słomy rzepakowej, ich trwałość przy 15% wilgotności wynosi ponad 97%, natomiast przy wilgotności 6% trwałość tych brykietów była niższa tylko o 6%. Nieco niższe wartości trwałości brykietów stwierdzono dla brykietów wykonanych ze słomy pszenicznej, w tym przypadku różnica w trwałości brykietów przy najniższej i najwyższej analizowanej wilgotności wynosiła prawie 7%. Największe różnice w jakości brykietów, dla przyjętych poziomów wilgotności, zaobserwowano dla słomy żytniej. Różnica ta wynosiła prawie 11%. Oceniając natomiast jakość brykietów wykonanych z danego rodzaju słomy w przyjętych poziomach wilgotności należy stwierdzić, że dla poziomu 6% największa różnica (ponad 6%) wystąpiła pomiędzy brykietami wykonanymi ze słomy żytniej i rzepakowej. Dla wilgotności 10% różnice pomiędzy trwałością brykietów rzepakowych a żytnich i pszenicznych nie były już tak duże i wynosiły około 2%. Najmniejsze różnice w jakości brykietów wykonanych z badanych rodzajów słomy zarejestrowano dla wilgotności 15%. Wartości te nie przekraczały 0,6%.

Na dalszym etapie opracowywania badań przeprowadzono testy statystyczne. Wykonano test analizy wariancji klasyfikacji podwójnej z powtórzeniami, gdzie jako czynniki główne przyjęto rodzaj rośliny (z której wyprodukowano brykiet) oraz wilgotność słomy. Obliczone wartości funkcji testowej ($F=15,24$) dały podstawę do wnioskowania o istotności wpływu wilgotności na trwałość brykietów ($F=1,22$). Nie stwierdzono natomiast wpływu rodzaju rośliny na ten parametr. Wyniki analizy wariancji wykazały statystyczną istotność ($F=13,38$) dla takich interakcji jak (rodzaj rośliny x wilgotność). Następnie dla występujących istotności różnic przeprowadzono test Duncana, którego wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Test Duncana dla analizy wariancji
Table 1. Duncan test for analysis of variance

Czynnik	Grupy homogeniczne
Wilgotność słomy	x_1 x_2 x_3 $x_1 - 88,56\%$ $x_2 - 94,50\%$ $x_3 - 96,44\%$
gdzie: x_1 – brykiet wykonany ze słomy żytniej; x_2 – brykiet wykonany ze słomy pszenicznej; x_3 – brykiet wykonany ze słomy rzepakowej.	

*różnice nieistotne podkreślono

Wyniki testu Duncana wykazują, że w przypadku czynnika wilgotność słomy nie zaobserwowano grup jednorodnych, co świadczy o znacznym (istotnym statystycznie) wpływie wilgotności słomy na trwałość brykietów.

Uzyskana w wyniku testu analizy wariancji istotność interakcji pomiędzy zmiennymi dała podstawę do przeprowadzenia dla nich testu Duncana.

W przypadku brykiety wykonanego ze słomy żytniej jak i rzepakowej zaobserwowano występowanie po jednej grupie homogenicznej dla wilgotności 10% i 15%. Natomiast w przypadku brykiety ze słomy pszenicznej zaobserwowano dwie grupy homogeniczne. Wystąpiły one dla wilgotności 6% i 10% oraz 10% i 15% świadczy to o istnieniu różnic dla większego zakresu wilgotności (różnice dla 6% i 15%). Uzyskane wyniki wskazują na nieco odmienne właściwości słomy pszenicznej w porównaniu do słomy żytniej i rzepako-

Wpływ wilgotności słomy...

wej i należy wnioskować, że trwałość uzyskanych z niej brykietów w mniejszym stopniu będzie zależeć od wilgotności.

Tabela 2. Test Duncana dla interakcji (wilgotność x rodzaj rośliny)

Table 2. Duncan test for interaction (moisture x a plant type)

Brykiet (rodzaj)	Grupy homogeniczne
Ze słomy żytniej	<p>$X_1 - 84,58\%$ $X_2 - 93,84\%$ $X_3 - 96,60\%$</p>
Ze słomy pszenicznej	<p>$X_1 - 91,68\%$ $X_2 - 93,20\%$ $X_3 - 94,60\%$</p>
Ze słomy rzepakowej	<p>$x_1 - 90,80\%$ $x_2 - 96,00\%$ $x_3 - 97,00\%$</p>

gdzie: x_1 – słoma o wilgotności 15%; x_2 – słoma o wilgotności 10%;
 x_3 – słoma o wilgotności 6%.

*różnice nieistotne podkreślono

Wnioski

1. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że najlepsza wilgotność słomy do brykietowania zawiera się w przedziale od 10% do 15%.
2. Brykiet wykonany ze słomy o wilgotności 20% bezpośrednio po opuszczeniu brykieciarki gwałtownie zwiększał swoją objętość, aż do momentu jego zniszczenia. Ze słomy o tej wilgotności nie można było wyprodukować brykietów o akceptowalnej trwałości.
3. Słoma o wilgotności 6% może być wykorzystywana do brykietowania, lecz trwałość aglomeratów z niej wykonanych jest stosunkowo niska.
4. Największą trwałością wyróżniały się brykiety ze słomy rzepakowej (na wszystkich analizowanych poziomach wilgotności). Ich trwałość mieściła się w przedziale od 90% do 97%. Najmniejszą jakość miały natomiast brykiety ze słomy żytniej. Ich trwałość mieściła się w granicach od nieco ponad 84% do 96%.

Bibliografia

- Gradziuk P. 2003. Biopaliwa. Wyd. „Wieś Jutra” Sp. z o.o., Warszawa. s. 114.
- Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K. 2001. Słoma-energetyczne paliwo. Wieś Jutra Sp. z o.o. Warszawa. ISBN. 83-88368-19-2.
- Dreszer K., Michalek R., Roszkowski A. 2003. Energia odnawialna - możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Wyd. PTIR, Kraków. ISBN 83-9170-530-7.
- Tymiński J. 1997. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w Polsce do 2030 roku – aspekty energetyczne i ekologiczne. IBMER. Warszawa. s. 174.
- CEN/TS 15210-2: 2006-09 Methods for the determination of the mechanical durability of briquettes.

INFLUENCE OF STRAW MOISTURE ON KINETICS DURABILITY OF BRIQUETTES

Abstract. The purpose of the study was to determine the influence of straw moisture on durability of briquettes made of it. Rye straw, wheat straw and rape straw at four levels of moisture (6, 10, 15 and 20%). Based on the conducted research it was determined that the best moisture of straw for briquetting at pressure of 48 MPa is between the range of 10 to 15%. Briquettes of acceptable durability could not be produced out of the straw of 20% moisture content. Rape straw briquettes were the most durable (their durability was between 90 to 97%). Rye straw briquettes were of the worst quality (durability from 84% to 96%).

Key words: straw, briquettes, durability

Adres do korespondencji:

Tomasz Hebda; e-mail Tomasz.Hebda@ur.krakow.pl
Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 120
30-149 Kraków