

Dr inż. Sławomir OBIDZIŃSKI  
Politechnika Białostocka

## OCENA WŁAŚCIWOŚCI ENERGETYCZNYCH WYCIERKI ZIEMNIACZANEJ®

*W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości energetycznych wycierki ziemniaczanej. W ramach badań określono następujące parametry wycierki: wilgotność bezwzględna, ciepło spalania, wartość opałową i zawartość popiołu. Uzyskane wyniki badań wskazują, że wycierka jest surowcem o walorach energetycznych zbliżonych do innych odpadów roślinnych.*

### WPROWADZENIE

Przemysł spożywczy generuje olbrzymie ilości odpadów poprodukcyjnych (m. in. łuska gryki powstająca przy produkcji kaszy w zakładach zbożowych, wytloki rzepakowe – przy produkcji oleju rzepakowego). Odpady te często wykorzystane są w niewielkim stopniu i stanowią olbrzymi problem dla danego zakładu. Alternatywnym sposobem zagospodarowania odpadów jest ich spalanie w kotłach energetycznych.

Obecnie coraz częściej sięga się po surowce odpadowe oraz biomasę z upraw energetycznych jako surowce do produkcji peletu lub brykietu opałowego. Jest to również spowodowane umocowaniami prawnymi m.in. Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 14.08.2008r. [Dziennik Ustaw Nr 156. Poz. 969]. Przepisy prawne mają zachęcić „dużą energetykę” do inwestowania w uprawy energetyczne, które w Polsce rozwijają się zbyt wolno (mimo dostępnego na ten cel arealu), a także do podjęcia wysiłku zagospodarowania różnego rodzaju odpadów z biomasy pochodzenia nieleśnego [7]. W związku z tym zasoby „biomasy nieleśnej”, będą cieszyły się coraz większym popytem.

Jednym z odpadów poprodukcyjnych powstających w zakładach przemysłu rolno-spożywczego, który może stanowić bogate źródło tzw. „biomasy nieleśnej”, jest wycierka ziemniaczana. Stanowi ona uciążliwy i trudny do zagospodarowania odpad organiczny, będący pozostałością po wyfłokowaniu z ziemniaków skrobi. Wycierka ziemniaczana składa się z włókna surowego, resztek skrobi i związków mineralnych. Znajdujące się na terenie miasta Łomża zakłady PEPEES SA corocznie, w trakcie trwającej ok. 90 dni kampanii ziemniaczanej, przy dobrych plonach surowca, przerabiają ok. 150 tys. ton ziemniaków [11]. Przekłada się to na powstanie odpadu w postaci ok. 22.500 ton wycierki o wilgotności ok. 80%. W przeliczeniu na suchą substancję daje to ok. 4.500 ton. Taka ilość stanowi liczący się surowiec z punktu widzenia energetyki zawodowej. W chwili obecnej, wobec braku zainteresowania rolników wykorzystywaniem wycierki jako nawozu (w postaci kompostu) bądź wypełniacza paszowego stanowi ona kłopotliwy dla zakładu odpad [11].

Według Wandrasza [13], do oceny właściwości energetycznych biomasy obowiązują te same zasady, jak do oceny tradycyjnych paliw stałych i płynnych. Do podstawowych właściwości biopaliw należy zaliczyć [3]: ciepło spalania, wartość opałową, wilgotność bezwzględna, wilgotność względna, gęstość usypową oraz zawartość popiołu. Jak wynika z badań [14] biomasa pochodzenia naturalnego charakteryzuje się dosyć

wysoką wartością opałową, w stanie suchym zbliżoną do wartości 18500 kJ/kg i o 17% niższa niż wartość opałowa węgla brunatnego.

Ogromna ilość powstającej wycierki ziemniaczanej (która jest włóknem roślinnym), wydaje się być alternatywnym paliwem dla energetyki. **Celem artykułu jest prezentacja badań określających właściwości energetyczne wycierki ziemniaczanej pod kątem jej wykorzystania jako ekologicznego paliwa stałego.**

### METODYKA BADAŃ

#### Material badawczy

Do badań wykorzystano wycierkę ziemniaczaną pochodzącą z Zakładu PEPEES S.A w Łomży. Wycierka powstaje jako odpad poprodukcyjny przy produkcji skrobi ziemniaczanej. Do badań wykorzystano wycierkę pobraną z kilku miejsc przyzmy, na której była składowana na placu w Zakładach Pepees S.A. w Łomży. Próbkę pobierano ze środkowej części przyzmy, po odrzuceniu warstwy wierzchniej. Skład analizowanej wycierki ziemniaczanej przedstawiono w tabeli 1.

**Tab. 1.** Skład i parametry wycierki ziemniaczanej [Obidziński i in. 2008]

Parametry	Zawartość
sucha masa [sm]	ok. 13%
azot [N]	0,5-1% sm
amony [NH <sub>4</sub> ]	0,04% sm
tlenek fosforu [P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ]	0,1-0,2% sm
tlenek potasu [K <sub>2</sub> O]	1814 mg/kg sm
wapń [Ca]	19,3 mg/kg sm
chlor [Cl]	4,8 mg/kg sm
sód [Na]	262,5 mg/kg sm
magnez [Mg]	154,1 mg/kg sm
azotany [NO <sub>3</sub> -N]	0,56 mg/kg sm

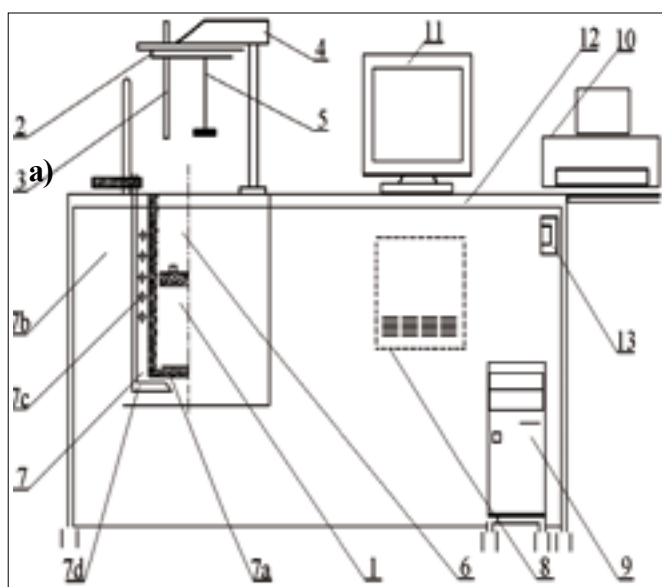
#### Oznaczenie wilgotności roboczej wycierki

Oznaczenie wilgotności rozdrobnionej wycierki wykonano zgodnie z PN-76/R-64752 za pomocą wagosuszarki WPE 300S. W trakcie badań każdorazowo określano wilgotność

pięciu próbek. Do pomiaru pobierano próbki o masie 5g i suszono je w temperaturze 105 °C do momentu uzyskania stałej masy (wskazania wagosuszarki w trakcie trzech kolejnych odczytów w odstępach 15s pozostają niezmiennione). Za wynik końcowy oznaczenia wilgotności przyjmowano wartość średnią z otrzymanych oznaczeń.

### Określenie ciepła spalania i wartości opałowej

Badania ciepła spalania i wartości opałowej wykonano na stanowisku badawczym przedstawionym na rys. 1 z wykorzystaniem kalorymetru KL-12Mn. Oznaczenie wykonano zgodnie z normą PN-73/G-04513: Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej.



**Rys. 1.** Stanowisko KL 12Mn do wyznaczenia ciepła spalania i wartości opałowej [Instrukcja obsługi kalorymetru KL 12Mn]: a) schemat stanowiska: 1- bomba kalorymetryczna, 2-pokrywa kalorymetru, 3-czujnik temperatury, 4-uchwyt pokrywy z umieszczonym w nim napędem mieszadła, 5-mieszadło mechaniczne, 6-naczynie kalorymetryczne, 7-płaszcz kalorymetru, 7a-ścianka wewnętrzna, 7b-ścianka zewnętrzna, 7c-węzownica, 7d-mieszadło ręczne, 8-zespół sterujący kalorymetru, 9-komputer, 10-drukarka, 11- monitor, 12-stół kalorymetru, 13-listwa zasilająca, b) widok stanowiska.

Zasada pomiaru polega na całkowitym i zupełnym spalaniu próbki paliwa w bombie kalorymetrycznej w atmosferze tlenu pod zwiększonym ciśnieniem i pomiarze przyrostu temperatury jako efektu cieplnego spalania próbki [8]. Dla materiału o znanej wilgotności wykonano pięć próbek (pastylek z wprasowanym drutem zapłonowym) do spalania, które po zważeniu na wadze analitycznej umieszczono w tygielku bomby 1, a końce drutu zapłonowego zamocowano do zacisków elektrod. Następnie zamknięto bombę 1 i napełniono ją tlenem pod ciśnieniem ok. 0,3 MPa. Kalorymetr 6 napełniono wodą o temperaturze ok. 1°K niższej od temperatury wody w płaszczu, po czym wstawiono kalorymetr 6 do płaszcza 7 na podstawkę izolującą i umieszczono w nim bombę 1, mieszadło 5, termometr 3. Następnie połączono elektrody bomby z pulpitem sterowniczym, włożono mieszadło i zakryto kalorymetr i płaszcz pokrywami. Po wprowadzeniu do programu danych o próbce (numer, masa próbki i rodzaj paliwa) uruchamiano program obsługujący kalorymetr, który rejestruje przebieg zmian temperatury wody w kalorymetrze (pomiar i rejestracja charakterystycznych temperatur bilansu cieplnego składającego się z czterech okresów). Wartości temperatury są przetwarzane na postać cyfrową, analizowane, przeliczane przez program i zapamiętywane [Instrukcja obsługi kalorymetru]. Ciepło spalania wyliczane jest w sposób automatyczny na podstawie następującej zależności:

$$Q_s = K \cdot (T_3 - T_2 - k) \quad [\text{kJ/kg}] \quad (1)$$

gdzie:

$Q_s$  - ciepło spalania próbki paliwa [kJ/kg],  $K$  - stała kalorymetru [J/oC],  $T_2, T_3$  - temperatury charakterystyczne bilansu [°C],  $k$  - poprawka na wymianę ciepła kalorymetru z otoczeniem [°C].

Na podstawie wartości ciepła spalania obliczono następnie wartość opałową  $Q_i$  ze wzoru [Bakinowska i in. 1993]:

$$Q_i = Q_s - \gamma \cdot (8,94 \cdot H + w) \quad [\text{MJ/kg}] \quad (2)$$

gdzie:

$Q_s$  - ciepło spalania [MJ/kg],  $\gamma$  - ciepło parowania wody w temperaturze 20 °C odpowiadające zawartości 1% wody w paliwie ( $\gamma=24,55$  kJ/kg) [kJ/kg], 8,94 - współczynnik przeliczeniowy wodoru na wodę,  $H$  - zawartość wodoru w próbce [%],  $w$  - ilość pary wodnej zawartej w spalinach [%].

Wartość opałowa suchej masy  $Q_{i(s.m.)}$  paliwa jest równa różnicy ciepła spalania suchej masy i ciepła kondensacji pary wodnej powstałej na skutek utleniania wodoru [1]:

$$Q_{i(s.m.)} = Q_{s(s.m.)} - \gamma \cdot (8,94 \cdot H) \quad (3)$$

gdzie:

$Q_{s(s.m.)}$  - ciepło spalania suchej masy paliwa [MJ/kg].

W dalszej części analiz, mając określoną wartość ciepła spalania i wartości opałowej dla suchej masy paliwa wyznaczono zależność modelową przedstawiającą wartość opałową wycierki ziemniaczanej w funkcji wilgotności w postaci [1]:

$$Q_i = \frac{100 - w}{100} Q_{i(s.m.)} - \frac{\gamma \cdot w}{100} \quad [\text{MJ/kg}] \quad (4)$$

## WYNIKI BADAŃ

W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań wilgotności roboczej wycierki poddanej suszeniu w wagosuszarce WPE 300S.

Tab. 2. Wilgotności robocza wycierki

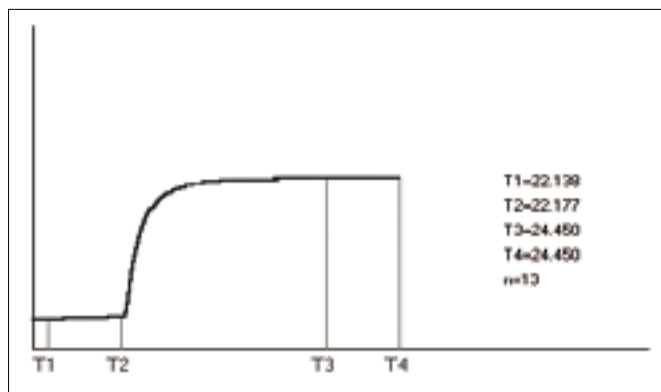
Nr pomiaru	Wilgotność [%]	Wilgotność średnia [%]	Odchylenie standardowe [%]
1.	88,20	88,02	0,1997
2.	87,80		
3.	87,82		
4.	88,10		
5.	88,20		

Powyższe wyniki (tab. 2) pokazują, że wycierka jest materiałem o bardzo wysokiej wilgotności, przekraczającej 88 %. Maksymalna wartość wilgotności wyniosła 88,2 %. Na rys. 2 przedstawiono widok wycierki przed suszeniem (rys. 2a) i po wysuszeniu (rys. 2b).



Rys. 2. Wycierka z ziemniaków: a) przed wysuszeniem, b) po wysuszeniu.

Przykładowy przebieg zmian temperatury wody w kalorymtrze podczas spalania przedstawia rys. 3. Zmiany temperatury dzieli się na 4 okresy wyznaczone poprzez odczytywane automatycznie charakterystyczne temperatury bilansu cieplnego.



Rys. 3. Przebieg zmian temperatury wody w naczyniu kalorymtrycznym podczas spalania próbki wycierki ziemniaczanej.

0 -  $T_1$  - okres wstępny (od momentu uruchomienia pomiaru do chwili ustalenia się zmian temperatury i rejestracji temperatury  $T_1$ ),

$T_1 - T_2$  - okres I (od końca okresu wstępnego do momentu zainicjowania zapłonu próbki i pomiaru  $T_2$  - trwa 5 min),

$T_2 - T_3$  - okres II (jest okresem głównym, w którym następuje wymiana ciepła uzyskanego ze spalania próbki między bombą a wodą w naczyniu – kończy się rejestracją temperatury maksymalnej  $T_3$ ),

$T_3 - T_4$  - okres końcowy (trwa 5 min od momentu rejestracji  $T_3$  i kończy się rejestracją temperatury  $T_4$ ).

W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań wpływu wilgotności wycierki na jej wartość opałową i ciepło spalania. Uzyskane wartości ciepła spalania i wartości opałowej wycierki (tab. 3) pokazują, że jest ona materiałem o wysokich walorach energetycznych. Jej ciepło spalania w stanie suchym wynosi 16,33 MJ/kg, zaś wartość opałowa w 15,41 MJ/kg. Na wartości ciepła spalania i wartości opałowej wycierki bardzo istotny wpływ ma jej wilgotność. Wraz ze wzrostem wilgotności bardzo wyraźnie maleje ciepło spalania i wartość opałowa wycierki.

Tab. 3. Wyniki badań ciepła spalania i wartości opałowej wycierki z ziemniaków

Nr pomiaru	Wilgotność spalanej wycierki [%]	Ciepło spalania [MJ/kg]		Wartość opałowa [MJ/kg]	
		(dla danej wilgotności)	(dla suchej masy)	(dla danej wilgotności)	(dla suchej masy)
1.	4,96	15,571	16,384	14,577	15,465
2.		15,540	16,351	14,545	15,432
3.		15,414	16,219	14,420	15,300
4.		15,522	16,332	14,528	15,413
5.		15,546	16,358	14,552	15,439
średnia	4,96	15,519	16,329	14,524	15,410

Mając wyznaczone wartości ciepła spalania i wartości opałowej wycierki (tab. 2) dla wilgotności 4,96 % i dla suchej masy (0%) wyznaczono model matematyczny przedstawiający zależność ciepła spalania wycierki od wilgotności:

$$Q_s = -0,1638w_i + 16,384 \quad (5)$$

oraz zależność wartości opałowej wycierki od wilgotności:

$$Q_i = -0,1791w_i + 15,465 \quad (6)$$

Korzystając z zależności (5) i (6) wyznaczono wartość ciepła spalania i wartość opałową wycierki przy innych wartościach wilgotności (tab. 4).

Tab. 4. Wartości ciepła spalania i wartości opałowej wycierki przy różnej wilgotności

Wilgotność [%]	Ciepło spalania [MJ/kg]	Wartość opałowa [MJ/kg]
0	16,384	15,465
10	14,746	13,674
20	13,108	11,883
30	11,470	10,092
40	9,832	8,301
50	8,194	6,510
60	6,556	4,719
70	4,918	2,928
80	3,280	1,137
85	2,461	0,241

Po spaleniu wycierki w bombie kalorymetrycznej (rys. 1) oznaczono zawartość żużla (popiołu). Po wysuszeniu zawartości tygielka określono, w procentach wagowych zawartość popiołu będącego efektem spalania wycierki (tab. 5). Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że wycierka ziemniaczana jest materiałem o niewielkiej zawartości popiołu pozostającego po procesie spalania. Średnia zawartość popiołu uzyskana w trakcie przeprowadzonych badań wynosiła 4,42 %.

**Tab. 5.** Zawartość popiołu w wycierce ziemniaczanej

Nr pomiaru	Zawartość popiołu [%]	Średnia zawartość popiołu [%]	Odchylenie standardowe
1.	4,41	4,42	0,1567
2.	4,39		
3.	4,32		
4.	4,69		
5.	4,30		

## DYSKUSJA WYNIKÓW

Uzyskane wyniki badań ciepła spalania i wartości opałowej wycierki ziemniaczanej, w porównaniu do innych surowców pochodzenia roślinnego pokazują, że wycierka jest surowcem o walorach energetycznych zbliżonych do innych odpadów pochodzenia roślinnego m.in. słomy, której wartość opałowa dla suchej masy wynosi 16,1-17,4 MJ/kg [9], czy trocin (tab. 6) [12].

Przy wykorzystaniu wycierki w postaci granulatu lub brykietów opałowych (ekologiczne paliwo stałe) może stać się ona pełnowartościowym, tanim paliwem do wykorzystania w ciepłowniach spalających biomasę.

**Tab. 6.** Wartości ciepła spalania i wartości opałowej materiałów pochodzenia roślinnego [Obidziński 2004]

Badany materiał	Ciepło spalania [MJ/kg]	Wartość opałowa [MJ/kg]
trociny świerkowe	18,89	17,58
słoma:		
żytnia	17,78	17,12
rzepakowa	19,14	17,82
łuska gryki	20,12	18,76
papier (makulatura)	17,05	16,39
węgiel drzewny	31,55	30,23
kora:		
dębowa	19,05	17,51
brzozowa	23,37	21,86
olchowa	21,73	20,31
wierzbowa	18,19	16,76
sosnowa	21,08	19,66

Uzyskana w trakcie badań zawartość popiołu jest niższa od analogicznej zawartości uzyskanej przy spalaniu węgla kamiennego czy też innego rodzaju biomasy. Wg Grzybek i współautorów [4] zawartość popiołu w węglu wynosi

ok. 12%, w słomie zbóż 3÷4%. Wg Niedziółki i Zuchniarza [10], podczas spalania czystej biomasy powstaje niewielka ilość popiołu, oceniana na 0,5÷12,5 %, zaś jego większy udział świadczy o zanieczyszczeniu surowca.

## WNIOSKI

1. Wycierka z ziemniaka jest materiałem o bardzo wysokiej wilgotności, przekraczającej 88 %. Taka zawartość wilgoci stanowi poważny problem przy stosowaniu wycierki jako paliwa stałego.

2. Uzyskane wartości ciepła spalania i wartości opałowej wycierki świadczą, że jest ona materiałem o wysokich walorach energetycznych. Jej ciepło spalania w stanie suchym wynosi -16,33 MJ/kg, zaś wartość opałowa 15,41 MJ/kg.

3. Zawartość popiołu po procesie spalania w badanej wycierce wynosi 4,42 %.

4. Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że wycierka ziemniaczana może zostać wykorzystana jako materiał (surowiec) do produkcji ekologicznego paliwa stałego w postaci granulatu lub brykietów opałowych.

## LITERATURA

- [1] **BAKINOWSKA i inni 1993.** *Pomiary cieplne*. Cz. I. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- [2] **Dziennik Ustaw Nr 156. Poz. 969.** *Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej...*
- [3] **GRADZIUK P. i in. 2003.** *Biopaliwa*, Wydawnictwa Akademii Rolniczej w Lublinie.
- [4] **GRZYBEK A., GRADZIUK P., KOWALCZYK K. 2001.** *Słoma energetyczne paliwo*. Wyd. Wieś Jutra, Warszawa.
- [5] **Instrukcja obsługi kalorymetru KL-12Mn**, Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, Katedra Termodynamiki i Mechaniki Płynów, Białystok.
- [6] **IRT Sp. z o.o. 2008.** *Technologiczne, techniczne, logistyczne, ekonomiczne i prawne aspekty możliwości pozyskania biomasy w podregionie łomżyńskim*. Łomża.
- [7] **KAMIEŃSKI Z. 2008.** *Koniec wakacji, początek zmian*. Czysta Energia, nr 9/2008, s. 7.
- [8] **KORDYLEWSKI W. i in. 2001.** *Spalanie i paliwa*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
- [9] **LIPSKI R., ORLIŃSKI S., TOKARSKI M. 2006.** *Energetyczne wykorzystanie biomasy na przykładzie kotłowni opalanej słomą we Fromborku*. MOTROL, 8A, 202-209.
- [10] **NIEDZIÓŁKA I. i ZUCHNIARZ A. 2006.** *Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego*. MOTROL, 8A, s. 232-237.
- [11] **OBIDZIŃSKI i inni 2008.** *Badania oraz opracowanie koncepcji i technologii nowego paliwa z biomasy nieleśnej*. Sprawozdanie z projektu badawczego własnego PWSiP w Łomży, Łomża.
- [12] **OBIDZIŃSKI S. 2004.** *Odpady pochodzenia roślinnego i metody ich zagospodarowania*. Technique of environment protection: TOP'2004, Častá-Papiernička, 30 June-2 July 2004. Bratislava, s. 245-250.

- [13] **WANDRASZ J., WANDRASZ A. 2006.** *Paliwa formowalne, Biopaliwa i paliwa z odpadów w procesach termicznych.* Wydawnictwo „Seidel-Przywecki” Sp. z o.o., Warszawa.
- [14] **WISZ J., MATWIEJEW A. 2005.** *Biomasa – badania w laboratorium w aspekcie przydatności do energetycznego spalania.* Energetyka 2005 9 (615), Rocznik 58, s. 631-637.

## **ESTIMATE OF ENERGY PROPERTIES OF THE POTATO PULP**

### *SUMMARY*

*The paper presents the results of investigations of energetistic properties of pulp potato. During of investigations was qualified: the working moisture, heat of combustion and heat value and content of ash formed in result the combustion. The results of investigations show, that pulp potato is the material about the high energetistic values approximate to different the wastes of vegetable origin.*

Praca wykonana w ramach pracy własnej W/WM/5/07.