

**Gabriel Borowski\***

## **BADANIA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH BRYKIETÓW WĘGLA Z BIOMASĄ**

### **WPROWADZENIE**

Brykiety węgla z biomasą są ekologicznym źródłem energii i są coraz częściej stosowane w procesie wytwarzania energii cieplnej zarówno w elektrociepłowniach, jak i w gospodarstwach indywidualnych. Produkowane obecnie brykiety zawierają miał węgla kamiennego, brunatnego, koksu oraz biomasę w postaci trocin, torfu, słomy lub innych surowców. Brykiety takie wytwarza się bez żadnych dodatków lub z dodatkiem materiałów wiążących. Często stosowanymi lepiszczami są skrobia, cukier, ług sodowy, szkło wodne, wapno, gips i wiele innych. Dodatki te nie tylko wiążą drobnoziarnistą strukturę materiałów składowych brykietów, ale także przyczyniają się do zwiększenia ich właściwości mechanicznych [1].

Do brykietowania mieszanek węglowo-biomasowych można stosować zarówno prasy stemplowe jak i walcowe. Brykieciarki walcowe są znacznie wydajniejsze od stemplowych i mają szersze zastosowanie tam, gdzie powinna być zachowana ciągłość produkcji. Prasy stemplowe natomiast mają zastosowanie do określenia właściwości brykietów w warunkach laboratoryjnych, a także w przemysłowej produkcji wyrobów w niewielkich seriach. Mieszanka przeznaczona do scalania na prasach musi być odpowiednio przygotowana. Poszczególne składniki trzeba dobrać w określonych proporcjach, dodać lepiszcze, następnie dokładnie wymieszać oraz dosuszyć masę do określonej wilgotności [4].

Brykiety węgla z biomasą przeznaczone do spalania w kotłach powinny charakteryzować się wysokim efektem energetycznym. Ich odporność mechaniczna musi być dostosowana do warunków transportu i składowania, przy czym właściwości mechaniczne powinny być zachowane w okresie sezonowania. W przypadku transportu w odkrytych pojemnikach brykiety powinny cechować się dodatkowo wysoką wodoodpornością.

Wyniki dotychczasowych prac doświadczalnych oraz prób eksploatacyjnych dotyczących wykorzystania brykietów węgla z biomasą stwierdzają, że jako paliwo energetyczne spełniają one normy ochrony środowiska, szczególnie w zakresie niskiej

---

\* Gabriel BOROWSKI – Katedra Podstaw Techniki, Wydział Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

emisji szkodliwych substancji do atmosfery [5–8]. Masowa produkcja brykietów wymaga jednakże opracowania kryteriów określających wysoką i powtarzalną jakość tych wyrobów. W tym celu wykonuje się stosowne badania doświadczalne. Niniejsze opracowanie przedstawia sposoby wykonania oraz wyniki badań w zakresie określenia właściwości mechanicznych brykietów węgla z biomasą z dodatkiem melasy jako lepiszcza.

## MATERIAŁ BADAWCZY

Określono właściwości mechaniczne brykietów uzyskanych z mialu węgla kamiennego pochodzącego ze śląskiej kopalni oraz trocin pochodzących z obróbki drzew liściastych – dębu i buku. Lepiszczem dodawanym do mieszanki była melasa, będąca ubocznym produktem otrzymywanym podczas rafinacji cukru. Melasa występuje w postaci gęstej cieczy o ciemnobrązowym zabarwieniu i w naturalnej postaci trudno się miesza z materiałem sypkim, dlatego też zastosowano roztwór wody z melasą. Wybór tego lepiszcza spośród wielu innych uzasadniony jest wynikami autorskich badań brykietowania materiałów drobnoziarnistych, które potwierdziły korzystny wpływ melasy na właściwości mechaniczne brykietów. Istotny też był fakt, że nie stwierdzono zwiększenia szkodliwych emisji w procesie spalania brykietów z melasą w porównaniu do próbek kontrolnych [1].

Zgodnie z zaleceniami węgiel oraz trociny rozdrabniano do momentu uzyskania próbek analitycznych o wielkości ziarna poniżej 0,425 mm [9]. Rozdrobnione surowce posiadały dużą objętość oraz niską gęstość nasypową, przy czym gęstość biomasy wynosiła przeciętnie  $80 \text{ kg/m}^3$ , podczas gdy węgla wynosiła ok.  $880 \text{ kg/m}^3$  [3].

Biomasę jako surowiec energetyczny określają następujące parametry i charakterystyczne właściwości [2]:

- wartość opałowa,  $\text{MJ kg}^{-1}$
- zawartość wody – wilgotność, %
- temperatura spalania,  $^{\circ}\text{C}$
- temperatura topnienia popiołu,  $^{\circ}\text{C}$
- gęstość usypowa,  $\text{kg m}^{-3}$
- gęstość,  $\text{kg m}^{-3}$
- objętość właściwa,  $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$
- współczynnik koncentracji energii,  $\text{MWh m}^{-3}$
- potencjał energetyczny,  $\text{GJ ha}^{-3}$
- rozmiar cząstek (uziarnienie).

Wartość opałowa biomasy zależy ściśle od jej wilgotności. Brykiety z drewna liściastego o wilgotności 3,8–14,1% posiadają wartość opałową 16,9–20,4  $\text{MJkg}^{-1}$  [6]. Podstawowe składniki chemiczne węgla kamiennego oraz biomasy są takie same. Poszczególne pierwiastki i związki chemiczne występują jednak w odmiennych udziałach. Udział popiołu w spalonym drewnie kształtuje się na poziomie 2% i jest znacznie niższy niż ze spalania węgla. Zawartość części lotnych natomiast jest znacznie wyższa

w biomacie niż w węglu – kształtuje się na poziomie powyżej 80% wag. Zawartość węgla pierwiastkowego w biomacie jest na poziomie typowym dla związków organicznych i kształtuje się w granicach od 35 do 50%. Zawartość tlenu wynosi ok. 40% i jest znacznie większa, niż w przypadku węgla. Udział zaś wodoru mieści się w granicach 4-5%. Z ekologicznego punktu widzenia duże znaczenie ma niewielka zawartość siarki – niemal 10 razy mniejsza niż w węglu.

Do badań przygotowano brykiety o różnym udziale wagowym biomasy w stosunku do węgla: 10%, 15%, 20% oraz 25%. Wykonano też brykiety kontrolne z samego węgla oraz biomasy. Wilgotność próbek wynosiła od 6% do 12%. Zawartość roztworu melasy w roli lepiszcza (określona na podstawie badań [1]) wynosiła ok. 8%. Badano brykiety świeże oraz sezonowane.

## **METODYKA BADAŃ I STANOWISKA BADAWCZE**

Węgiel drobnoziarnisty należy do materiałów wykazujących słabą podatność na scalanie w prasach do brykietowania. Pożądane są więc działania mające na celu zmianę właściwości materiału. W dotychczasowych badaniach procesu scalania materiałów drobnoziarnistych istotną rolę odgrywały czynniki związane z przygotowaniem materiału [1, 4].

Przygotowanie materiału do brykietowania obejmowało rozdrabnianie, mieszanie składników oraz dosuszanie do określonej wilgotności. Do rozdrabniania wykorzystano młynek elektryczny Ze względu na istotne różnice w właściwościach fizycznych węgla i materiałów włóknistych do rozdrabniania stosowano dwa typy młynków – udarowy do węgla oraz młynek nożowy (tnący) do biomasy.

Do mieszania składników zastosowano laboratoryjną mieszarkę elektryczną, a następnie przeprowadzono dosuszenie termiczne do określonej wilgotności. Badania wilgotności wykonano przy pomocy laboratoryjnej wagosuszarki firmy KETT typu FD-620 (rys. 1). Urządzenie umożliwia pomiar wilgotności z dokładnością  $\pm 0,1\%$  w zakresie temperatur 50–195 °C, przy czym zadana temperatura suszenia wynosiła 100 °C.

Przygotowaną mieszankę brykietowano wykorzystując laboratoryjną prasę hydrauliczną PHR-20. Maksymalny nacisk jednostkowy stempla wynosi ok. 35 MPa, zaś przemieszczenie stempla 200 mm. Średnica trzpienia stempla z gniazdem mocującym wynosi 40 mm (rys. 2).

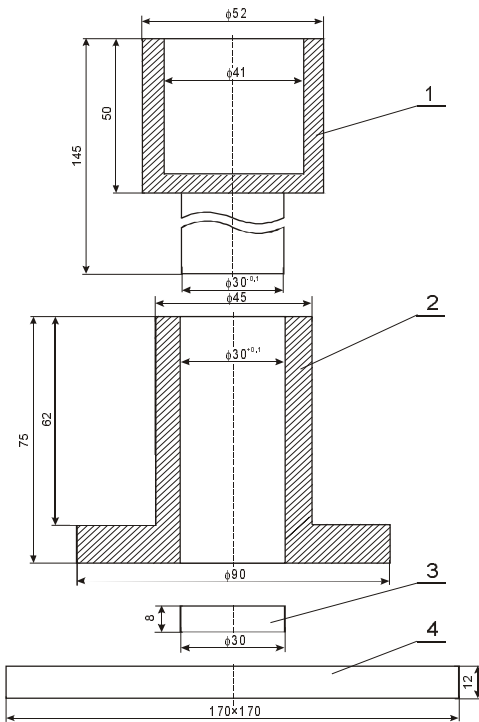
Opracowano i wykonano specjalny zespół formujący do brykietowania odpadów drobnoziarnistych składający się z matrycy i stempla (rys. 3), Matryca (2) umożliwia uzyskanie brykietów o walcowym kształcie (rys. 4). Stosowanie przeciwstempla (3) ma na celu uzyskanie bardziej równomiernego rozkładu naprężeń. Sprasowany wyrób opuszcza matrycę w jej dolnej części po usunięciu przeciwstempla i podstawy (4) oraz wypchnięciu za pomocą stempla (1). Istnieje możliwość szybkiej wymiany matrycy i stempla w celu uzyskania brykietów o innych wymiarach i kształtach.



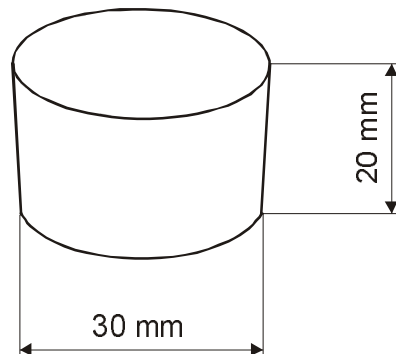
Rys. 1. Wagosuszarka FD-620



Rys. 2. Prasa hydrauliczną PHR-20



Rys. 3. Schemat konstrukcyjny zespołu formującego: 1 – stempel, 2 – matryca, 3 – przeciwstempel, 4 – podstawa



Rys. 4. Kształt i wymiary próbki badawczej

Scalano porcje materiału o masie 17–18 g przy nacisku jednostkowym stempla od 20 do 35 MPa, a wysokość uzyskanego brykietu odpowiadała w przybliżeniu 2/3 średnicy (rys. 4).

Właściwości mechaniczne brykietów określono poprzez odporność na zrzut grawitacyjny oraz wartość siły ściskania niszczącej brykiet. Odporność brykietu na zrzut grawitacyjny ocenia się poprzez procentowy ubytek masy po co najmniej trzykrotnym zrzuconiu partii brykietów z wysokości 2,0 m na stalową płytę. Po każdym zrzucie przesiewano próbki przez sito o rozmiarze oczek większym niż dopuszczalny minimalny wymiar brykietu. Odporność brykietu na zrzut oblicza się z następującego wzoru [4]:

$$K = \frac{B_z}{B} \cdot 100\%$$

gdzie: B – masa brykietów przed zrzutem [kg],

$B_z$  – masa pozostającego na sicie nadziarna [kg].

Wartość siły ściskania niszczącej brykiet określono eksperymentalnie w ten sposób, że ściskano umieszczony między płaskimi powierzchniami urządzenia badawczego walcowy krążek, aż do momentu zniszczenia jego struktury. Badania przeprowadzono wykorzystując maszynę wytrzymałościową ZWICK Z100. Umożliwia ona ciągły pomiar nacisków i przemieszczeń stempla, rejestrując dane w pamięci komputera. Dane na wydruku prezentowane są w formie tabeli oraz wykresu, ponadto przedstawione są podstawowe parametry statystyczne.

## ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

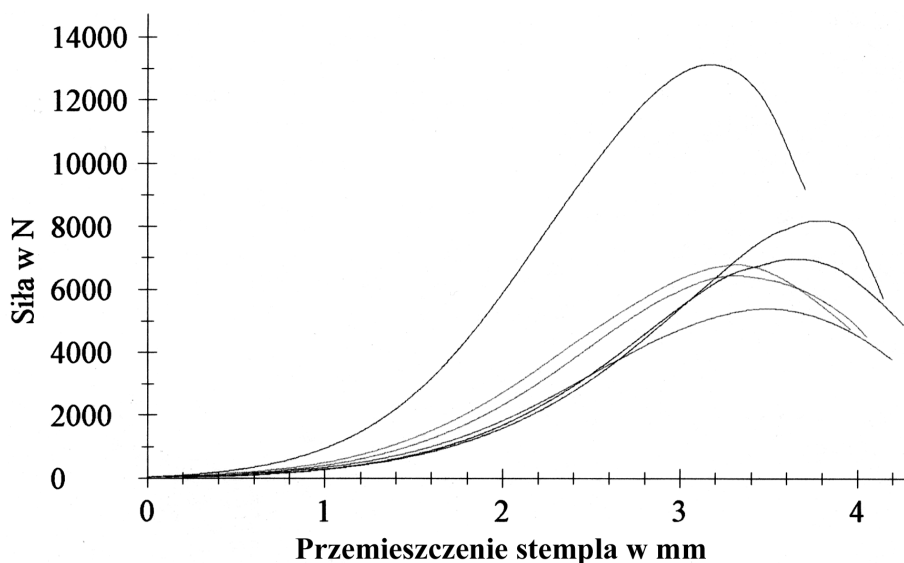
Wyniki badań przedstawiają wpływ wybranych parametrów na właściwości mechaniczne brykietów. Analizowano takie parametry jak: udział biomasy, wilgotność mieszanki biomasy z węglem i lepiszczem, nacisk prasy formującej brykiety oraz czas sezonowania. Przykładowe dane do analiz przedstawiono w tabeli 1 i 2 oraz na rys. 5.

**Tabela 1.** Wpływ analizowanych parametrów na odporność grawitacyjną na zrzut

Nr próbki	Udział biomasy, %	Wilgotność, %	Nacisk prasy, MPa	Odporność grawitacyjna na zrzut, %
1	20,0	11,5	30,0	82,0
2	20,0	9,6	30,0	90,5
3	20,0	7,5	30,0	95,6
4	20,0	6,3	35,0	99,0
5	20,0	8,0	35,0	98,2
6	25,0	7,4	30,0	91,0
7	25,0	7,9	35,0	96,3

**Tabela 2.** Wartość siły ściskania niszczącej brykiet w zależności od analizowanych parametrów

Nr próbki	Udział biomasy, %	Wilgotność, %	Czas sezonowania, doby	Maksymalna siła ściskania, kN
1	0,0	6,6	60	1,09
2	25,0	7,4	60	5,20
3	25,0	7,5	20	6,45
4	25,0	8,9	15	5,25
5	20,0	7,9	60	4,80
6	20,0	7,5	20	6,95
7	20,0	7,4	15	5,75

**Rys. 5.** Przebieg siły ściskania wybranej partii brykietów

Dane przedstawione w tabeli 1 pokazują, że w większości przypadków odporność grawitacyjna na zrzut osiągała wartość powyżej 90%, którą uznano jako wymagane minimum. Odporność ta jest niewystarczająca przy scalaniu materiału o wilgotności powyżej 10%. Stwierdzono, że wilgotność mieszanki powinna zawierać się w granicach od 6 do 9%.

Wysoką odporność brykietów uzyskano stosując nacisk prasy 30 oraz 35 MPa, przy czym przy większej wartości nacisku uzyskuje się większy stopień zgniotu, więc

w efekcie wartości odporności są wyższe. Ma to szczególne znaczenie gdy zwiększymy udział biomasy w brykietach. Dane wskazują, że dla 25%-go udziału biomasy uzyskuje się wyroby o zmniejszonej odporności (jednakże na granicy minimum), natomiast poprzez zwiększenie wartości siły nacisku uzyskuje się wyroby o wysokiej odporności na zrzut.

Zauważono, że w próbach zrzutu grawitacyjnego większą odporność wykazały próbki spadające na powierzchnię zaokrągloną, a mniejszą, gdy spadały na krawędzie lub część płaską. Potwierdza to słuszność konstruowania takiej matrycy i stempla, aby brykiety pozbawione były ostrych krawędzi i płaskich ścian.

Na podstawie danych przedstawionych w tabeli 2 stwierdzono, że brykiety uzyskane z samego węgla posiadają znacznie niższą wytrzymałość na ściskanie od brykietów z dodatkiem biomasy. Stosowanie biomasy wpływa więc na wzrost wytrzymałości mechanicznej brykietów. Analizując uzyskane dane zauważono, że maksymalna wartość siły ściskania jest nieco wyższa dla brykietów z 20%-ym udziałem biomasy, a niższa dla 25%-ego udziału biomasy przy zastosowaniu tej samej siły nacisku prasy (wynoszącej 30 MPa). Uzasadnione jest zatem stosowanie wyższych nacisków prasy w przypadku ściskania materiału zawierającego większy udział biomasy.

Prezentowane w tabeli 2 dane potwierdzają także zasadność sezonowania brykietów. Brykiety sezonowane charakteryzowały się większą wytrzymałością na ściskanie niż świeże. Wyniki badań wskazują, że w okresie trzech tygodni ich wytrzymałość na ściskanie wzrasta, jednak sezonowanie w dłuższym czasie jest niekorzystne. Wyraźne zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie występuje po 60 dniach sezonowania brykietów.

Analizując przebieg krzywych pokazanych na rysunku 5 zaobserwowano trzy fazy procesu ściskania brykietów. W początkowej fazie niewielki przyrost siły ścisniającej powoduje duże zbliżenie ruchomych szczęk maszyny wytrzymałościowej, pomiędzy którymi znajduje się badana próbka. Spowodowane to jest znaczną porowatością brykietów. W etapie tym występuje proces ściskania, a więc wzajemne zbliżenie drobnoziarnistych składników struktury brykieta. Druga faza procesu charakteryzuje się stopniowym wzrostem siły aż do wartości maksymalnej, gdzie następuje zniszczenie próbki. W ostatniej fazie następuje dalsza destrukcja próbki przy łagodnym zmniejszaniu się wartości siły ściskania. Wynika stąd, że badane wyroby posiadają dobre właściwości plastyczne. Rezultaty badań potwierdzają więc, że zastosowany rodzaj lepszczka przyczynia się do polepszenia zarówno właściwości mechanicznych jak i plastyczności brykietów.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Opracowana metoda wytwarzania brykietów z węgla i biomasy z dodatkiem melasy jako lepszczka umożliwia uzyskanie wyrobów o wysokiej jakości ze względu na dużą wytrzymałość mechaniczną. Wykazano, że zwiększenie masowego udziału

biomasy nie powoduje znacznego obniżenia wytrzymałości brykietów. Uzyskanie wysokich wartości odporności na zrzut grawitacyjny oraz wytrzymałości na ściskanie w dużym stopniu zależy od wilgotności mieszanki, nacisków stempla prasy, a także okresu sezonowania brykietów. Stwierdzono, że brykiety wykazują wystarczającą wytrzymałość nawet w postaci świeżej, jednak korzystne jest ich sezonowanie przez okres 2 do 4 tygodni.

Na podstawie wyników badań przedstawiono następujące wnioski:

1. W procesie przygotowania mieszanki do brykietowania istotny jest dobór określonych proporcji składników oraz dosuszenie jej do doświadczalnie wyznaczonego zakresu wilgotności.
2. Dodatek melasy jako lepiszcza istotnie wpływa na wzrost właściwości mechanicznych oraz na zwiększenie plastyczności brykietów.
3. Zwiększenie udziału biomasy wymaga zwiększenia nacisku prasy, wzrasta więc zużycie energii i koszt wytworzenia brykietów.
4. Wyniki badań parametrów wytrzymałościowych potwierdziły możliwość uzyskania brykietów nadających się do wykorzystania przemysłowego.

## Piśmiennictwo

1. Borowski G., Kuczmaszewski J.: Utylizacja drobnodziarnistych odpadów metalowych. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2005.
2. Denisiuk W.: Aspekt techniczny i technologiczny zastosowania słomy w energetyce. Sesja naukowa nt. „Perspektywy rozwoju agroenergetyki i technologii energooszczędnych”. Wydział Inżynierii Rolniczej AR, Poznań 2006.
3. Gnutek M., Moron W., Rybak W.: Problematyka zapłonu i współzapłonu węgla i biomasy. *Czysta Energia*, 09, 2002.
4. Hryniewicz M.: Badania procesów przygotowania drobnodziarnistych odpadów żelazonośnych do recyklingu. Materiały IV Forum Inżynierii Ekologicznej, Nałęczów 2002: 75–83.
5. Kubica K.: Spalanie biomasy i jej współpalanie z węglem – techniki, korzyści i bariery, *Mat. z II Seminarium „Czysta i zielona energia – czyste powietrze w woj. śląskim”*, Katowice 2003.
6. Niedziółka I., Zuchniarz A.: Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego. *MOTROL*, 2006, 8A: 232–237.
7. Ściażko M., Zieliński H.: *Termochemiczne przetwórstwo węgla i biomasy*. Wyd. Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla i Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Zabrze-Kraków 2003.
8. Ściażko M., Zuwała J., Pronobis M.: Zalety i wady współpalania biomasy w kotłach energetycznych na tle doświadczeń eksploatacyjnych pierwszego roku współpalania biomasy na skalę przemysłową. *Energetyka*, 3, 2006: 207–220.
9. Praca zbiorowa: *Ekonomiczne i prawne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Polsce*. Europejskie Centrum Energii Odnawialnej – Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Warszawa 2000.



## Streszczenie

W publikacji przedstawiono wyniki badań właściwości mechanicznych brykietów węgla kamiennego z biomasa drzewną oraz dodatkiem melasy jako lepiszcza. Opisano właściwości materiału badawczego składającego się z surowców odpadowych. Przedstawiono proces przygotowania materiału do brykietowania obejmujący rozdrobnienie i wymieszanie składników oraz doprowadzenie mieszanki do określonej wilgotności. Badano wpływ wybranych parametrów procesu scalania w prasie stemplowej na właściwości mechaniczne brykietów. Analizowano takie parametry jak: udział biomasy w mieszance z węglem i lepiszczem, wilgotność mieszanki, nacisk prasy formującej oraz czas sezonowania. Wyniki potwierdziły możliwość uzyskania brykietów o wysokiej jakości. Posiadają one odpowiednie właściwości mechaniczne oraz wysoką wartość opałową co kwalifikuje je do wykorzystania w przemyśle energetycznym.

## STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF COAL-BIOMASS BRIQUETTES

### Summary

This publication presents the results of investigations into the mechanical properties of mineral coal briquettes from charcoal and biomass together with molasses as an adhesive. The properties of the material investigated, consisting of raw waste material, are described. The process for preparing the material into briquettes comprised of crumbled and mixed constituents, together with the specific reduction of moisture of the mixture, are presented. The effect of the selected parameters of the consolidation process in the pressing stamp on the mechanical properties of briquettes is investigated. Analysis was made of such parameters as: contribution of the biomass in the mixture of charcoal and adhesive, moisture in the mixture, press pressure on the formation, and seasoning. The results confirm the possibility of utilizing high quality briquettes. They possess mechanical properties and high value combustible fuel which qualifies them for utilization in industrial energy.