

Roman Hejft  
Politechnika Białostocka

## WYTWARZANIE BRYKIETÓW Z ODPADÓW ROŚLINNYCH W ŚLIMAKOWYM UKŁADZIE ROBOCZYM

### Streszczenie

W artykule omówiono proces brykietowania rozdrobnionych materiałów roślinnych. Przedstawiono budowę brykieciarki do materiałów roślinnych ze ślimakowym układem roboczym. Określono zależności energochłonności procesu brykietowania od jego wydajności.

**Słowa kluczowe:** rozdrobnione materiały roślinne, brykietowanie, energochłonność, wydajność

### Wstęp

Ilość odpadów drzewnych w Polsce szacuje się na około 3 mln ton rocznie. Dotychczas wykorzystuje się około 49% odpadów na cele energetyczne. Pozostała część jest sprzedawana (około 30%) lub wywożona na wysypiska (21%) [Demianiuk 2001]. Biorąc pod uwagę wysoką wartość opałową odpadów drzewnych, która wynosi średnio od 8,3 MJ/kg (odpady wilgotne -50% wilgotności) do 16,7 MJ/kg (odpady suche -10% wilgotności), należy uznać je za cenny materiał energetyczny, który powinien być racjonalnie zagospodarowany. Najlepszą formą materiału opałowego z odpadów średnich (głównie wióry) i małych (trociny) są brykiety [Hejft 2002]. Brykiety powstają w procesie ciśnieniowej aglomeracji (brykietowania), w którym sypki materiał w wyniku działania sił zewnętrznych (naciski zagęszczające) i wewnętrznych (siły i wiązania międzycząsteczkowe) przybiera trwałą postać o określonych wymiarach geometrycznych [Hejft 2002, Grochowicz 1996; Kania 1991]. Najczęściej są to walce o średnicy od 30 mm do 100 mm i długości od kilku do kilkunastu centymetrów. Za formą brykietów przemawiają następujące zalety [Hejft 2002]:

- brykiety można spalać we wszystkich istniejących piecach,
- podczas spalania 1 m<sup>3</sup> brykietów o gęstości około 1000 kg/m<sup>3</sup> można uzyskać średnio od 2,58 do 3,44 MWh energii, podczas gdy przy spaleniu 1 m<sup>3</sup> trocin czy wiórów można uzyskać średnio od 0,65 do 1,29 MWh,

- kinetyka spalania brykietów jest podobna do spalania kawałków (polan) drewna,
- parokrotnie zmniejsza się powierzchnia magazynowania,
- brykiety mogą być przechowywane przez długi okres (od kilku do kilkunastu miesięcy), co daje możliwość zgromadzenia odpowiednich zapasów (w suchych pomieszczeniach magazynowych),
- parokrotnie większa gęstość brykietów w porównaniu z wiórami czy trocinami co istotnie zmniejsza koszty transportu,
- spalanie brykietów jest bezpieczne i nie grozi wybuchem,
- zwiększa się komfort obsługi (eliminacja pyłów).

Spalanie drewna w różnych postaciach jest znacznie korzystniejsze (ze względów ekologicznych) niż spalanie węgla czy oleju opałowego (brak dwutlenku siarki, piętnastokrotnie mniejsza emisja  $N_2O_5$ , siedmiokrotnie niższa emisja pyłów, 1/4 raza mniejsza emisja  $CO_2$  itp.) [Demianiuk 2001]. Brykiety mogą być eksportowane za granicę jako ekologiczne paliwo.

### Podstawy procesu brykietowania

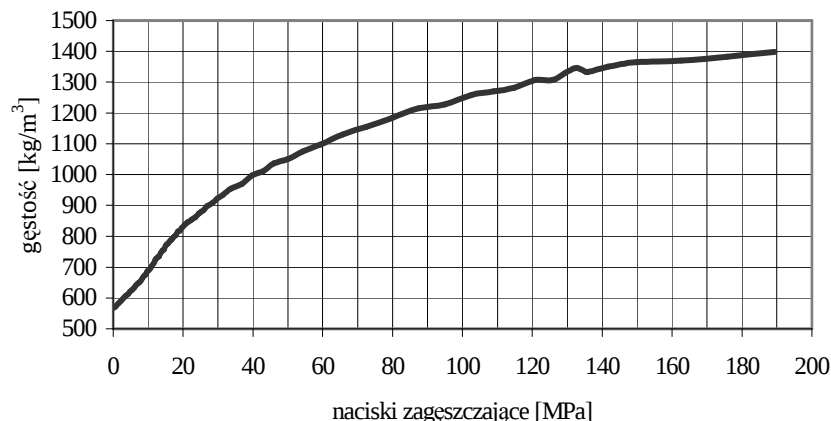
Mechanizm wiązania cząstek sypkiego materiału pochodzenia roślinnego nie jest jednoznacznie dotychczas wyjaśniony. Najbardziej popularna jest teoria molekularna związana z występowaniem wiązań fizykochemicznych. Podczas tworzenia się bryketu występują następujące siły [Hejft 2002]:

- przyciągania między cząstkami ciał stałych (van der Waalsa, elektostatyczne),
- powierzchniowe, na granicy rozdziału fazy stałej i ciekłej,
- adhezyjne, powstające w warstwie adsorpcyjnej,
- spójności, przejawiające się w tworzeniu mostków, występujące przy spiekaniu, zateżnieniu środka wiążącego, stapianiu i krystalizacji rozpuszczonych substancji.

Stąd też duże znaczenie przypisywane jest odpowiedniemu rozdrobnieniu materiału, właściwemu składowi frakcyjnemu oraz jakości powierzchni cząstek. Otrzymanie trwałego bryketu wymaga dostatecznego zbliżenia do siebie cząstek. Najważniejsze parametry procesu brykietowania trocin to:

- *ciśnienie (naciski) zagęszczające*

Na rysunku 1 przedstawiono zmianę gęstości formowanego bryketu od nacisków zagęszczających.



Rys. 1. Charakterystyka zagęszczania trocin świerkowych tłokiem płaskim (średnica tłoka 0,048m)

Fig. 1. Characteristics of densification of spruce sawdust with a flat piston (piston diameter 0,048m)

Można zaobserwować największy wzrost gęstości przy wzroście nacisków do około 40-50 MPa. Brykietowanie trocin przy dużych naciskach (większych od 120-140 MPa) nie powoduje znacznych wzrostów gęstości brykietów a pociąga za sobą istotny wzrost energochłonności procesu. Brykietowanie należy prowadzić przy naciskach, które zapewniają uzyskanie gęstości gwarantującej żądaną trwałość (wytrzymałość mechaniczną) brykietów.

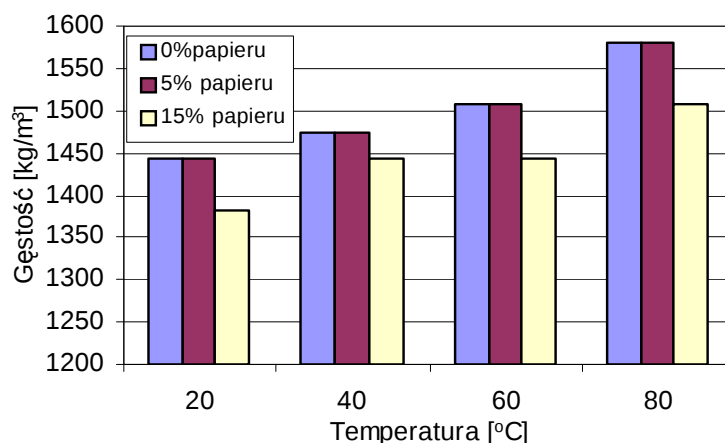
– *wilgotność materiału*

Większa wilgotność (więcej cząstek wody) przeciwdziała zbliżeniu cząstek materiału podczas brykietowania, tym samym wiązania wewnętrzne są słabsze i trwałość brykietów jest mniejsza. Wilgotność zapewniająca odpowiednią wysoką odporność na ścieranie (wytrzymałość mechaniczną) wynosi około 8-15%.

– *temperatura brykietowania*

Szkielet materiału drzewnego zbudowany jest z celulozy. Również lignina i chemiceluloza instruktujące poszczególne błony usztywniają materiał. Stąd zagęszczanie na zimno nie zapewnia (nawet przy znacznym rozdrobnieniu) takiego zbliżenia się łańcuchów celulozowych aby powstały trwałe wiązania (brykiet o odpowiednio dużej wytrzymałości mechanicznej). Obok chemiceluloz rozpuszczalnych w wodzie w postaci cukrów, spełniających rolę lepiszcza, istotne znaczenie ma również żywica zawarte w drewnie. Podwyższona temperatura brykietowania drewna wywołuje częściową hydrolizę chemiceluloz oraz powoduje rekrytalizację celulozy (uplastycznienie cząstek materiału). Wpływ tempe-

ratury brykietowania na gęstość (a tym samym trwałość) przedstawia rys. 2. Przykładowo: wzrost temperatury trocin sosnowych z 20 do 80 C powoduje, że przy brykietowaniu uzyskujemy brykiety o gęstości większej o około 125 kg/m<sup>3</sup> [Hejft 2002].



Rys. 2. Wpływ temperatury podczas brykietowania trocin sosnowych na gęstość formowanych brykietów, z różnym udziałem procentowym rozdrobnionego papieru otrzymanych przy naciskach zagęszczających 110 MPa

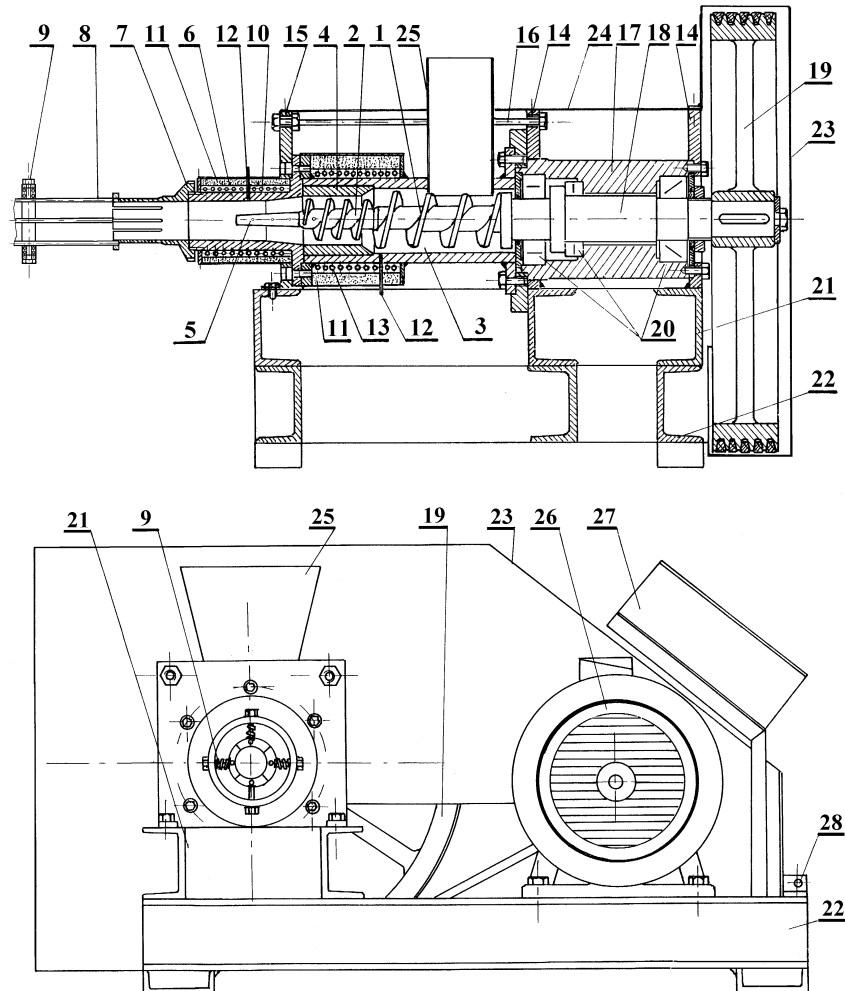
Fig. 2. Impact of temperature during the briquetting of pine sawdust on the density of the briquettes that are being formed, with different percentage share of comminuted paper obtained at compression pressure of 110 MPa

#### – wielkość cząstek

Odpadowe trociny czy wióry posiadają cząstki o zróżnicowanej wielkości. Przykładowo, trociny sosnowe o składzie granulometrycznym 31,3 % cząstek zatrzymanych na sicie o oczkach 1,5x1,5 mm, 16 % na sicie 1x1 mm, 13,5 % na sicie 3x3 mm, 15,4 % na sicie 2x2 mm są dobrym materiałem do brykietowania. Na podstawie badań można uważać, że udział frakcji bardzo drobnych cząstek jak i dużych nie sprzyja brykietowaniu materiałów pochodzenia roślinnego [Grochowicz 1996]. Rodzaj materiału, skład chemiczny (biologiczny) brykietowanego materiału wpływa na przebieg procesu, brykiety z trocin sosnowych są bardziej trwałe od brykietów z trocin drzew liściastych.

## Wytwarzanie brykietów

Na rysunku 3 przedstawiono schemat budowy brykietciarki ślimakowej o niewielkiej wydajności, której konstrukcję opracowano w Katedrze Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego Politechniki Białostockiej [Hejft 2002].



Rys. 3 Prototyp brykietciarki ślimakowej HD-3: 1- ślimak podający, 2- ślimak zagęszczający, 3- komora robocza, 4- tuleja gardzieli, 5- trzpień formujący, 6- matryca formująca, 7- matryca przejściowa, 8- prowadnice brykietu, 9- regulacja nacisku prowadnic, 10- element grzejny matrycy formującej, 11- izolacja termiczna, 12- czujnik temperatury, 13- element

grzejny tulei gardzieli, 14- płyta mocująca, 15- płyta dociskowa, 16- trzpień dociskowy, 17- korpus, 18- wał napędowy, 19- koło pasowe, 20- łożyska, 21- rama mocująca, 22- podstawa, 23- osłona przekładni, 24- osłona układu roboczego, 25- zasyp, 26- silnik elektryczny, 27- szafka sterownicza, 28- zawias osłony

Fig. 3. Prototypes of a worm briquetting machine HD-3: 1- feeding worm, 2- compression worm, 3- working chamber, 4- throat sleeve, 5- forming pin, 6- forming die, 7- transition die, 8- briquette guides, 9- guide pressure adjustment, 10- heating element of forming die, 11- thermal insulation, 12- temperature sensor, 13- heating element of throat sleeve, 14- backing plate, 15- clamping plate, 16- clamping arbour, 17- housing, 18- driving shaft, 19- pulley, 20- bearings, 21- fixing frame, 22- base, 23- gear cover, 24- tool-in-use system cover, 25- charge, 26- motor, 27- control cabinet, 28- cover hinge

Urządzenie brykietujące przedstawione na rys. 3 przeznaczone jest do brykietowania odpadowych materiałów roślinnych np. trocin, wiórów drzewnych, rozdrobnionej słomy, kory itp. do celów energetycznych.

Brykietciarka ślimakowa przedstawiona na rys. 3 składa się zespołu zagęszczającego, w skład którego wchodzi: ślimak podający 1, ślimak zagęszczający 2, komora robocza 3, tuleja gardzieli 4, trzpień stożkowy 5 oraz matryca formująca 6. Matryca przejściowa 7, prowadnice brykietu 8 i regulacja nacisku prowadnic 9 stanowią zespół utrwalający formowany brykiet. Zespół zagęszczający posiada zamontowane układy grzejne 10, 13 wyposażone w czujniki temperatury 12. Układ grzejny zabezpieczony jest izolacją termiczną 11. Układ zagęszczający napędzany jest silnikiem elektrycznym 26 poprzez przekładnię pasową 19, ułożyskowany w korpusie 17 wał napędowy 18. Układ napędowy z układem zagęszczającym sprzężony jest poprzez płyty mocujące 14, płyty dociskowe 15 oraz trzpień dociskowy 16 oraz ramę mocującą 21. Całość urządzenia umocowana jest na podstawie 22. Brykietciarkę ślimakową wyposażono w osłonę układu roboczego 24, osłonę przekładni 23, tablicę sterowniczą 27 oraz zasyp 25.

### **Energochłonność procesu brykietowania**

Przy opracowaniu założeń konstrukcyjnych do brykietciarki przedstawionej na rys. 3 wykonano badania zagęszczania trocin sosnowych na stanowisku badawczym wyposażonym w ślimakowy układ roboczy [Demianiuk 2001; Hejft 2002]. Badania realizowano przy następujących parametrach procesu brykietowania:

- materiał: trociny sosnowe o wilgotności 12%,

- zakres wydajności procesu od 40 do 100 kg/h,
- brykiety cylindryczne: średnica zew. 70 mm, średnica wew. 26 mm,
- temperatura tulei formującej brykiet: 285°C (558 K). Moc grzałek do podgrzewania układu roboczego: 1,6 kW.

Zależność energochłonności  $N_B$ , energochłonności jednostkowej  $N_{Bj}$  od wydajności procesu przedstawiają równania (1) i (2):

$$N_B = -0,0004Q^2 + 0,1076Q - 1,3829 \text{ [kWh]} \quad R^2=0,9963 \quad (1)$$

$$N_{Bj} = -7 \cdot 10^{-6} \cdot Q^2 + 0,0008Q + 0,0348 \text{ [kWh/kg]} \quad R^2=0,9667 \quad (2)$$

gdzie:

$Q$  – wydajność procesu [kg/h].

Zależność  $N_B=f(Q)$ ;  $N_{Bj}=f(Q)$  dotyczą energii zużywanej na zagęszczanie trocin świerkowych w układzie roboczym brykieciarki (po odjęciu energii zużywanej na pokonanie oporów pracy układu roboczego nieobciążonego). Równania (1) i (2) nie uwzględniają energii elektrycznej zużytej na grzanie układu roboczego.

### Podsumowanie

Przedstawiony układ roboczy brykieciarki ze ślimakowym układem zagęszczającym o niewielkiej wydajności (ok. 100 kg/h), charakteryzuje się korzystnym (w porównaniu do brykieciarek dostępnych na rynku) zapotrzebowaniem energetycznym (ok. 58 kWh/t brykietu).

### Bibliografia

Demianiuk L. 2001. Brykietowanie rozdrobnionych materiałów roślinnych. Praca doktorska. Politechnika Białostocka, Białystok.

Grochowicz J. 1996. Technologia produkcji mieszanek paszowych. PWRiL, Warszawa.

Hejft R. 2002. Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Wyd. ITE, Radom.

Kania S. 1991. Prasowanie rozdrobnionych mas lignocelulozowych. Przemysł Drzewny. Nr 4, s. 4-7.

*Pracę wykonano w ramach pracy W/WM/2/03.*

## **MANUFACTURING OF BRIQUETTES FROM PLANT WASTE IN A WORM TOOL-IN-USE SYSTEM**

### **Summary**

In the article, the process of briquetting of comminuted plant material is discussed. The construction of a briquetting machine for plant material with a worm tool-in-use system is presented. The dependence of energy consumption in the briquetting process from its productivity has been determined.

**Key words:** comminuted plant material, briquetting, energy consumption, productivity