

## THE INVESTIGATIVE PROBLEMS IN THE PROCESS OF INPISSATION OF THE STRAW INTENDED ON THE FUEL

### Summary

*The utilization of the straw as fuels, in the form of briquettes, for the low-power boiler room is in Poland not great to a quantity of the cereal straw produced by Polish farms. The traditional method of the creation of briquettes from cut up straw is expensive and energy-consuming. Proposed competitive method of the inspissation of not cut up straw by method of curling is an energy-saving process. The paper presents investigative problems in the mentioned above method of the inspissation of the straw.*

## PROBLEMATYKA BADAWCZA W PROCESIE ZAGĘSZCZANIA SŁOMY PRZEZNACZONEJ NA OPAŁ<sup>1</sup>

### Streszczenie

*Wykorzystanie słomy jako paliwa, w postaci brykietów, dla kotłowni małej mocy jest w Polsce niewielkie w porównaniu z ilością słomy zbożowej produkowanej przez gospodarstwa rolne. Tradycyjna metoda tworzenia brykietów z pociętej słomy jest kosztowna i energochłonna. Zaproponowana konkurencyjna metoda zagęszczania nie pociętej słomy metodą zwijania jest procesem energooszczędnym. Praca zawiera problematykę badawczą we wspomnianej metodzie zagęszczania słomy.*

### 1. Wstęp

Słoma jako biomasa stanowi pokaźne źródło energii. W Polsce produkuje się ok. 25-26 mln ton słomy zbożowej rocznie [2, 3], jednak większa część tej produkcji jest pozostawiana na polach i przyorywana lub, co gorsza wypalana. Taka produkcja słomy zbożowej stanowi równoważnik wartości opałowej ok. 14 mln ton węgla [3], co stanowi ok. 10% obecnego (2005) rocznego wydobycia węgla kamiennego w Polsce. Mimo tak wysokiej wartości opałowej jedynie kilka procent słomy jest obecnie spalane w kotłowniach. Przyczyną tego jest mała gęstość objętościowa słomy, co powoduje konieczność posiadania znacznej przestrzeni magazynowej, gdyż słoma do spalania musi być składowana w pomieszczeniach zadaszonych i osłoniętych. Sposobem najbardziej zmniejszającym gęstość usypową słomy jest jej brykietowanie.

Tradycyjne brykietowanie słomy wymaga jednak jej wcześniejszego rozdrobnienia, stosowania bardzo wysokich ciśnień brykietowania w prasach brykietujących a także stosowania dodatków ułatwiających sklejanie. Są to dodatkowe nakłady energii, które zwiększają koszt takiego procesu, czyniąc wykorzystanie słomy w charakterze paliwa nieopłacalnym. W badanej metodzie założono możliwość utworzenia trwałych aglomeratów ze słomy poprzez jej zwijanie w brykieciarce walcowej. Spójność brykietu ma wynikać głównie z włóknistej struktury materiału [4, 5].

### 2. Cel badań

Celem projektu badawczego jest pozyskanie danych poznawczych i użytkowych oraz opracowanie podstaw teoretycznych i praktycznych do projektowania energooszczęd-

nych maszyn, zagęszczających słomę metodą zwijania, przeznaczoną do kontrolowanego spalania w kotłowniach małej mocy.

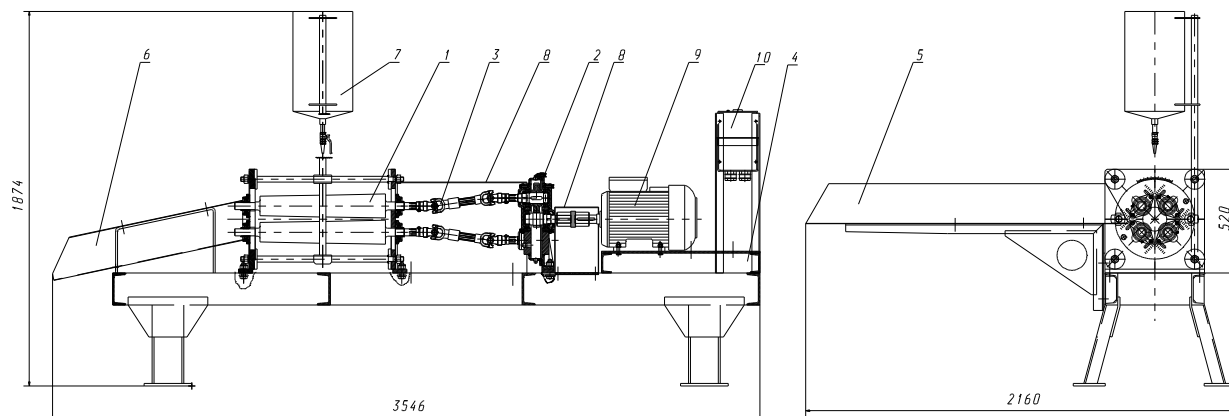
### 3. Stanowisko badawcze

W latach 70. ubiegłego wieku w krajach Europy Zachodniej, jak również w Polsce, zainicjowano prace nad konstrukcją maszyn polowych oraz stacjonarnych, brykietujących siano. Istotną korzyścią w procesie brykietowania siana jest 10 do 20 krotne zmniejszenie objętości gotowego produktu - w porównaniu z luźnym sianem [6, 7]. Brykietujące maszyny polowe formowały zagęszczoną masę w wałki, za pomocą mechanizmu składającego się z czterech wałków cylindrycznych lub stożkowych i umożliwiały uzyskanie produktu w postaci zagęszczonego siana o średnicy ok. 100 mm i długości ok. 150 mm.

Na podstawie dotychczasowego stanu wiedzy, można wnioskować, że mechanizm składający się z czterech wałców lub stożków, usytuowanych pod różnymi kątami w przestrzeni, jest właściwym kierunkiem, zmierzającym do rozwiązania problemu efektywnego zagęszczania słomy przeznaczonej do spalania w piecach. Dla weryfikacji tego procesu zaprojektowano i zbudowano stanowisko badawcze do badania procesu zagęszczania słomy metodą zwijania (rys. 1).

Wszystkie zasadnicze zespoły stanowiska są przymocowane do podstawy. Stanowisko jest napędzane silnikiem elektrycznym – zwartym o mocy 11 kW. Napęd z silnika jest przekazywany za pośrednictwem przekładni pasowej-klinowej o przełożeniu 1:4, do przekładni wielodrożnej o przełożeniu 1:2. Z czterech wyjściowych wałków przekładni, napęd przekazywany jest na segment rolujący i spęczający słomę, który zbudowany jest z czterech wałków w postaci ściętych stożków, o kandelurowanej powierzchni, długości 700 mm i kącie wierzchołkowym wynoszącym 2°.

<sup>1</sup> Praca zrealizowana w ramach własnego projektu badawczego nr 4T07C 021 27 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego do badania procesu zagęszczania słomy metodą zwijania: 1 – segment rolujący, 2 – przekładnia wielodrożna, 3 – wały przegubowo – teleskopowe, 4 – podstawa, 5 – stół podający, 6 – stół odbierający, 7 – zbiornik z lepiszczem, 8 – osłony zabezpieczające, 9 – silnik elektryczny, 10 – instalacja elektryczna

Fig. 1. The schema of the test stand to the research of the process of the inspissation of the straw by method of curling

Walce stożkowe osadzone są w łożyskach samonastawnych o dużym kącie wychylenia ( $30^\circ$ ). Wymienione łożyska, wraz z walcami stożkowymi, mogą być w sposób ciągły promieniowo rozstawiane, umożliwiając przy tym zagęszczanie wałków słomy o średnicach w zakresie od 85 do 300 mm. Łożyska wraz z ze swoimi oprawami mocowane są do dwóch ścian, ustawionych prostopadłe do podstawy. Ściana segmentu rolującego od strony większej średnicy stożka ściętego posiada tarczę obrotową, do której mocowane są łożyska wahliwe. Tarczę można obracać w sposób ciągły wraz z łożyskami wahlivymi, a następnie blokować, umożliwiając skośne ustawienie stożków rolujących względem osi głównej stanowiska. Tarcza może być obracana w zakresie  $\pm 30^\circ$ . Nad zespołem rolującym, znajduje się zbiornik z lepiszczem, który może być dowolnie ustawiany wzdłuż osi głównej segmentu rolującego.

Dozowanie słomy do zespołu rolującego umożliwia stół podający oraz przenośnik taśmowy, a odbiór zrolowanego materiału umożliwia stół odbierający i prowadnica brykiety w postaci rury stalowej o odpowiednim przekroju.



Rys. 2. Stanowisko badawcze do badania procesu brykietowania słomy metodą zwijania

Fig. 2. The test stand by the research of the process of the inspissation of the straw by method of curling

W skład całego stanowiska badawczego wchodziło ponadto stanowisko komputerowe wyposażone w program Matrix 2.0 sterujący przetwornicą częstotliwości „pDRIVE” typu MX służąca do regulacji oraz rejestracji parametrów pracy silnika (rys. 2).

#### 4. Program badań

Badania laboratoryjne zasadnicze będą obejmowały [1]:

- weryfikację empiryczną poprawności modelu matematycznego procesu zagęszczania słomy,
- identyfikację słomy poddawanej brykietowaniu (gatunek, wilgotność, ściśliwość) dla uzyskania maksymalnej trwałości brykietów),
- wyznaczenie parametrów charakteryzujących brykiety (średnica, długość, stopień zagęszczenia) w zależności od zastosowanego układu wałków zagęszczających,
- wyznaczenie trwałości brykietów,
- wyznaczenie wpływu lepiszcza dla polepszenia spójności brykietów,
- wyznaczenie parametrów eksploatacyjnych zespołu brykietującego (zapotrzebowanie mocy, przepustowość modelu badawczego, praca jednostkowa procesu).

#### 5. Wykaz zmiennych niezależnych i zależnych, wskaźników i ich definicje

Dla uzyskania możliwości przeanalizowania procesu brykietowania słomy metodą zwijania przyjęto następujące zmienne niezależne i zależne [1].

##### 5.1. Zmienne niezależne

###### 1) Kąt skręcenia walców $\alpha$ [ $^\circ$ ]

Założono, że kąt skręcenia walców jest płynnie regulowany w zakresie  $\pm 30^\circ$ , kolejne próby należy wykonywać przy zmianie kąta o  $10^\circ$ , dla wartości  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $-10^\circ$ ,  $-20^\circ$ ,  $-30^\circ$ .

W toku badaniach wstępnych ustalono, że najlepsze parametry brykietowania uzyskuje się dla kąta skręcenia walców w zakresie  $0^\circ \pm 10^\circ$ . Większe kąty skręcenia powodowały szybsze opuszczanie komory brykietującej przez brykiet w efekcie, czego brykiet był słabo zagęszczony i podatny na rozwarstwianie.

## 2) Odległość między osiami walców $l$ [mm]

Założono, że walce stożkowe mogą być w sposób ciągły promieniowo rozstawiane, umożliwiając przy tym zmianę średnic wałków zagęszczanej słomy w zakresie od 85 do 300 mm.

Badania wstępne prowadzone były głównie dla najmniejszej średnicy brykiety. Brykiety o większej średnicy, jakie wykonano miały małe zagęszczenie i dużą podatność na rozwarstwianie. Wpływ na to miała zapewne także nierównomierność zasilania komory brykietowania.

## 3) Prędkość obrotowa walców $n_w$ [obr·min<sup>-1</sup>]

Maksymalną prędkość obrotową walców przyjęto na poziomie 700 obr·min<sup>-1</sup>. Połączenie silnika z przetwornicą częstotliwości „pDRIVE” umożliwi uzyskanie i wykorzystanie w badaniach prędkości 600, 650 i 700 obr·min<sup>-1</sup>.

Badania wstępne rozpoczęto dla zakładanych prędkości walców jednak moc silnika okazała się zbyt mała dla zachodzących w czasie brykietowania, a wynikających z nierównomierności zasilania przeciążeń. W celu poprawy warunków pracy silnika zastosowano dodatkową przekładnię pasową, klinową o przełożeniu 1:2. W efekcie rzeczywista prędkość obrotowa walców mieści się w zakresie 100-200 obr·min<sup>-1</sup>.

W trakcie badań wstępnych zauważono także, że zwiększając, o ile to możliwe, prędkość obrotową walców w chwili wciągnięcia przez nie większego kęsa słomy można uniknąć zablokowania walców i przeciążenia silnika. Jednak takie zmiany prędkości walców wywoływane nierównomiernością zasilania zaburzają stabilność warunków przeprowadzania eksperymentu tym samym czynią jego efekt niemożliwym do powtórzenia.

Kolejnym problemem, który wystąpił podczas badań wstępnych było wirowanie wychodzącego z komory brykietującej brykiety będące efektem procesu zwijania słomy. W wyniku tego wirowania następowało rozwarstwianie i niszczenie brykiety. Zjawisko to nasilało się ze wzrostem prędkości obrotowej walców i brykiety. Aby temu zapobiec zastosowano prowadnicę brykiety w postaci rury o odpowiedniej średnicy.

## 4) Ilość lepiszcza $q$ [cm<sup>3</sup>/kg]

Założono pomiar ilości zużytego lepiszcza na kg brykietowanej słomy, dla ilości lepiszcza 0 cm<sup>3</sup>/kg, oraz dla dwu poziomów ilości określonych w doświadczeniu wstępnym (w planie doświadczenia określono jako:  $q_0$ ,  $q_1$  i  $q_2$ ).

Badania wstępne wykonywano bez udziału lepiszcza. Dodawano tylko wodę w celu zwiększenia wilgotności słomy, co przyspieszało inicjację procesu brykietowania.

## 5.2. Zmienne zależne

### 1) Jednostkowe zapotrzebowanie mocy $A_j$ [kWh/t]

Wartości odczytywane z programu MatriX 2.0.

### 2) Stopień zagęszczania słomy $\eta$ [kg/m<sup>3</sup>]

Będzie obliczany na podstawie ciężaru i gabarytów uzyskanego brykiety.

### 3) Trwałość brykiety (ubytek masy po cyklu badań) $T_b$ [%],

Zostanie wyznaczona na specjalnym stanowisku laboratoryjnym do badania trwałości brykietów.

### 4) Wydajność stanowiska badawczego $Q_s$ [kg/s].

Wyznaczana na podstawie czasu brykietowania określonej ilości słomy, przy stałych, ustabilizowanych parametrach pracy maszyny brykietującej.

Ponadto zostaną wyznaczone:

$\Psi$  – współczynnik trwałości brykietów

Współczynnik trwałości brykietów  $\Psi$  jest iloczynem masy (ciężaru) brykietów po próbie trwałości  $G_{Bt}$  do masy brykiety przed próbą trwałości  $G_B$

$Mn$  – moment obrotowy na wale napędowym [Nm].

## 6. Metodyka badań

### 6.1. Czynnności wstępne

Przed przystąpieniem do brykietowania należy sprawdzić poprawność działania wszystkich zespołów stanowiska. Dokonać pomiaru wilgotności przygotowanej słomy przeznaczonej do brykietowania. Ustawić odpowiednie nastawy kąta skręcenia walców oraz rozstawu ich osi. Pomiedzy walce segmentu brykietującego należy włożyć słomę i utworzyć zwitek początkowy (rys. 3), przez naprzemienne obracanie walcami w obu kierunkach. W razie trudności z utworzeniem zwitka, gdy słoma jest za sucha zmoczyć ją wodą. Po utworzeniu zwitka, czyli w momencie, kiedy nastąpi jego obracanie się pomiędzy walcami, należy ustawić odpowiedni kierunek obrotów walców, ustawić w programie MatriX 2.0 pozostałe parametry pracy silnika.



Rys. 3. Tworzenie zwitka początkowego

Fig. 3. The creation of the initial roll

### 6.2. Przebieg eksperymentu

Uruchomić program MatriX 2.0, zapoczątkować zapis sesji pomiarowej i uruchomić brykieciarę. Odczekać chwilę do ustabilizowania się parametrów pracy brykieciarzki. Uruchomić przenośnik taśmowy zasilający stanowisko słomą. Podawaną przez przenośnik słomę ręcznie wyrównywać i zadawać pomiędzy walce brykietujące jednocześnie utrzymywać jednakową, stałą prędkość obrotową walców. Na wychodzący z komory brykietowania brykiet nałożyć prowadnicę brykiety. Zasilac segment brykietując do momentu uzyskania brykiety długości równej prowadnicy, lub do momentu zużycia przygotowanej słomy. Wyłączyć brykieciarę, zatrzymać program rejestrujący i zapisać parametry brykietowania. Wysunąć nieznacznie prowadnicę odsłaniając fragment brykiety i piłką do metalu odciąć uzyskany brykiet (rys. 4). Wysunąć go z prowadnicy, opisać danymi i złożyć w odpowiednim miejscu.



Rys. 4. Odcinanie brykietu  
Fig. 4. Cutting off of the briquette

### 6.3. Dodawanie lepiszcza

W dotychczasowych badaniach wstępnych nie dodawano lepiszcza. W kolejnych próbach planuje się dodawanie gliceryny powstałej jako produkt uboczny estryfikacji biopaliwa z rzepaku oraz skrobi ziemniaczanej.

### 7. Wyniki badań wstępnych

W toku badań wstępnych, wykonano wiele prób brykietowania słomy metodą zwijania. Słoma używana do brykietowania posiadała wilgotność ok. 20%. Zmieniając parametry pracy maszyny brykietującej uzyskiwano brykiet o różnym stopniu zagęszczenia. Brykiet o największym zagęszczeniu ok.  $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  uzyskano dla kąta skreślenia osi walców brykietujących  $5^\circ$ , odległości między osiami walców 85 mm i prędkości obrotowej walców  $160 \text{ min}^{-1}$ . Przekrój przez ten brykiet przedstawia rys. 5.



Rys. 5. Przekrój przez brykiet  
Fig. 5. The section through the briquette

### 8. Podsumowanie

Badania wstępne potwierdziły możliwość wykonania brykietu ze słomy metodą zwijania przez walcowy zespół zwijający. Należy dalej prowadzić pracę w kierunku uzyskania równomierności zasilania segmentu rolującego i poprawy spoiwości uzyskiwanych brykietów.

Podczas badań zasadniczych należy ustalić i sprecyzować optymalne parametry pracy dla uzyskania brykietu o zadawalającym zagęszczeniu i trwałości. Dlatego założone teoretyczne wartości parametrów zmiennych niezależnych należy w dalszym ciągu doświadczalnie weryfikować i zmieniać.

Słoma poddawana procesowi brykietowania metodą zwijania powinna mieć odpowiednią wilgotność, ok. 20 [%]. Zbyt sucha słoma będzie się kruszyła i rozwijała po wyjściu z zespołu rolującego. Zbyt wilgotna słoma ma tendencję do przecierania swych włókien w procesie brykietowania, co powoduje jej rozdrabnianie. Taka słoma również nie nadaje się do przechowywania, ponieważ jest bardzo podatna na gnicie czy kompostowanie.

Wychodzący z zespołu rolującego brykiet musi być umieszczony w prowadnicy, aby zabezpieczyć go przed rozwarstwieniem będącym efektem prędkości obrotowej brykietu wynikającej z przebiegu procesu zagęszczania słomy metodą zwijania.

### 9. Literatura

1. Adamczyk F., Kośmicki Z., Mielec K., (2004) Energooszczędny proces zagęszczania słomy do spalania kotłowniach małej mocy. Program i metodyka badań. Prace PIMR.
2. Fiszer A., (2003) Próba zastosowania lepiszcza skrobiowego do formowania brykietów ze słomy przeznaczonych do bezpośredniego spalania. J. Res. Appl. Agric. Eng. vol 48(2), s. 52-54
3. Hejft R., (1994) Słoma jako surowiec energetyczny. Problemy Inżynierii Rolniczej 2/94, s. 65 – 71
4. Kęska W., Kośmicki Z., Mielec K., (2005) Matematyczne modelowanie brykietowania słomy metodą zwijania. VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Teoretyczne i aplikacyjne problemy inżynierii rolniczej. Wrocław – Polanica Zdrój 21 – 24 VI 2005, s. 275 – 278
5. Łabiak M., Fiszer A., Świgoń J., (2005) Brykietowanie słomy – ocena wybranych parametrów fizykochemicznych. Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie. Monografia. t 2. Pr. zbiorowa pod red. Z. Zbytka. PIMR, Poznań, s. 51 – 55
6. Olejnik A. (1974) Brykietowanie siana metodą zwijania. Teoria i konstrukcja. wyd.: PIMR, Poznań
7. Olszewski T., (1973) Dobór optymalnych parametrów zespołu brykietującego zielonki metodą zwijania. Praca doktorska, Akademia Rolnicza w Poznaniu, 1973.