

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESS OF INSPISSATION OF STRAW WITH THE METHOD OF CURLING

Summary

The utilization of straw as fuels, in the form of briquettes, for the boiler room of low power 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 cut-up straw by method of curling is an energy-saving process. The paper presents experimental findings on the inspissation of wheat straw.

BADANIA EKSPERYMENTALNE PROCESU ZAGĘSZCZANIA SŁOMY METODĄ ZWIJANIA *

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. Przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych zagęszczania słomy pszennej wspomnianą metodą.

* Praca zrealizowana w ramach własnego projektu badawczego nr 4T07C 021 27 finansowanego przez Ministra Nauki i Informatyzacji

1. Wstęp

Słoma jest najczęściej używanym materiałem ściółkowym. Stosuje się ją w chowie wszystkich zwierząt gospodarskich, zwłaszcza w gospodarstwach posiadających tradycyjne budynki inwentarskie. Taki sposób wykorzystania słomy dominował w kraju jeszcze na początku lat osiemdziesiątych dwudziestego wieku. Od drugiej połowy wspomnianych lat osiemdziesiątych obserwowany jest, z jednej strony, znaczący spadek pogłowia zwierząt w tym przede wszystkim: bydła, owiec i koni, z drugiej zaś, wzrost udziału w strukturze zasiewów zbóż i rzepaku. Ponadto, głównie na gruntach po byłych PGR, w większości gospodarstw prowadzona jest gospodarka bezinwentarzowa. W tej sytuacji pojawił się problem nadwyżek słomy. Jedną z możliwości zagospodarowania nadwyżek słomy jest wykorzystanie jej w energetyce. W porównaniu z innymi powszechnie stosowanymi nośnikami energii, słoma w postaci nieprzetworzonej jest dość uciążliwym materiałem energetycznym. Wynika to stąd, że jest to materiał niejednorodny, o niższej wartości energetycznej, szczególnie odniesionej do jednostki objętości, w porównaniu do konwencjonalnych nośników energii. Dla ujednoczenia i polepszenia przydatności słomy do celów energetycznych należy zwiększyć jej ciężar objętościowy, co można uzyskać przez zagęszczenie luźnych mas słomy. Zagęszczenie uzyskuje się przez zgniecenie, czyli prasowanie. W celu dalszego ułatwienia manipulacji słomą formuje się ze słomy stosunkowo niewielkie elementy (brykiety) w postaci trwałych kostek, krótkich wałków lub innych form. Taką formę można uzyskać przez brykietowanie. W praktyce brykiety ze słomy są wytwarza-

ne w urządzeniach z układami roboczymi „komora zamknięta – tłok zagęszczający” lub przy zastosowaniu zwężającego się ślimaka dwuzwojowego. Do wad tych urządzeń należy zaliczyć wysoką energochłonność procesu oraz konieczność pocięcia słomy na sieczkę.

Inny sposób o niewielkim jednostkowym zapotrzebowaniu energii dla wykonania procesu brykietowania polega ogólnie biorąc na zwijaniu warstwy nie pociętego materiału dostarczanego do wnętrza komory utworzonej między wałkami obracającymi się w żądanym kierunku. Dotychczas opracowane maszyny brykietujące metodą zwijania 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 przeznaczonego na cele paszowe [4, 7-10].

Wykonawcy niniejszego projektu badawczego, w trakcie wyjazdów studyjnych na wystawy rolnicze, organizowane w krajach Unii Europejskiej, nie natrafili na jakąkolwiek maszynę przeznaczoną do formowania brykietów ze słomy, dla celów opałowych. Również w kraju nie wprowadzono dotychczas na rynek żadnej maszyny, zagęszczającej nie pocięte materiały słomiste (zwłaszcza słomę), przeznaczone tylko dla formowania brykietów dla celów energetycznych. Realizację takiego przedsięwzięcia uniemożliwiał brak podstaw teoretycznych i doświadczeń praktycznych nad zagęszczaniem słomy, formowanie w wałki o niewielkiej średnicy i małej długości. Przedmiotem badań był więc energooszczędny proces zagęszczania nie pociętej słomy metodą zwijania, realizowany na stanowisku laboratoryjnym.

2. Cel badań

Nie udało się na drodze teoretycznej ustalić związku ilościowego pomiędzy parametrami konstrukcyjnymi zespołu brykietującego, parametrami materiału brykietowanego a spójnością brykiety [5, 6]. Ten aspekt zagadnienia może być rozwiązywany jedynie na drodze empirycznej. Dopiero po zebraniu odpowiednich danych z doświadczeń, można próbować rozwijać dalej to zagadnienie.

Celem przeprowadzonych badań eksperymentalnych była więc praktyczna weryfikacja założeń modelu matematycznego procesu zagęszczania słomy i założeń metodycznych parametrów pracy maszyny brykietującej oraz opracowanie podstaw teoretycznych i praktycznych do projektowania energooszczędnych maszyn zagęszczających słomę metodą zwijania.

3. Stanowisko badawcze

Badania eksperymentalne zostały zrealizowane na stanowisku laboratoryjnym, którego postać wynika bezpośrednio z przyjętego programu badań i metod badawczych (rys. 1) [1-3]. Stanowisko to zostało zaprojektowane i wykonane w ramach realizacji omawianego tematu.

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 i przekładni wielodrożnej na segment rolujący i spęczający słomę, który zbudowany jest z czterech walców w postaci ściętych stożków, o rowkowanej wzdłużnie powierzchni, długości 700 mm i kącie wierzchołkowym wynoszącym 2° . Walce stożkowe osadzone są w łożyskach samonastawnych o dużym kącie wychylenia (30°). Łożyiska, wraz z ze swoimi oprawami, mocowane są do dwóch ścian, ustawionych prostopadle 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 wahlowymi, a następnie blokować, umożliwiając

skośne ustawienie stożków rolujących względem osi głównej stanowiska. Tarcza może być obracana w zakresie $\pm 30^\circ$.

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

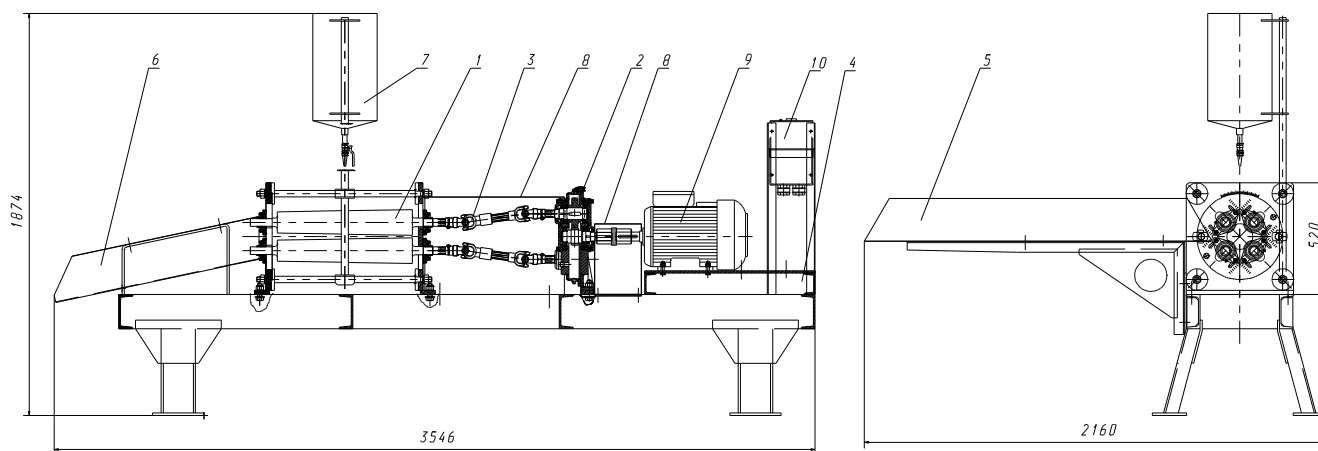
W skład całego stanowiska badawczego wchodziło ponadto stanowisko komputerowe, wyposażone w program *MatriX 2.0* sterujący przetwornicą częstotliwości „pDRIVE” typu MX służącą do regulacji oraz rejestracji parametrów pracy silnika (rys. 2).

4. Metodyka pomiarów

Metodyka przewidywała przed każdym pomiarem wykonanie wielu czynności pomocniczych, przygotowawczych, powtarzających się przed każdym pomiarem i po jego zakończeniu [1, 3]. Czynności są typowe w tego rodzaju badaniach i nie wymagają opisu.

Przebieg zasadniczego etapu eksperymentu był następujący:

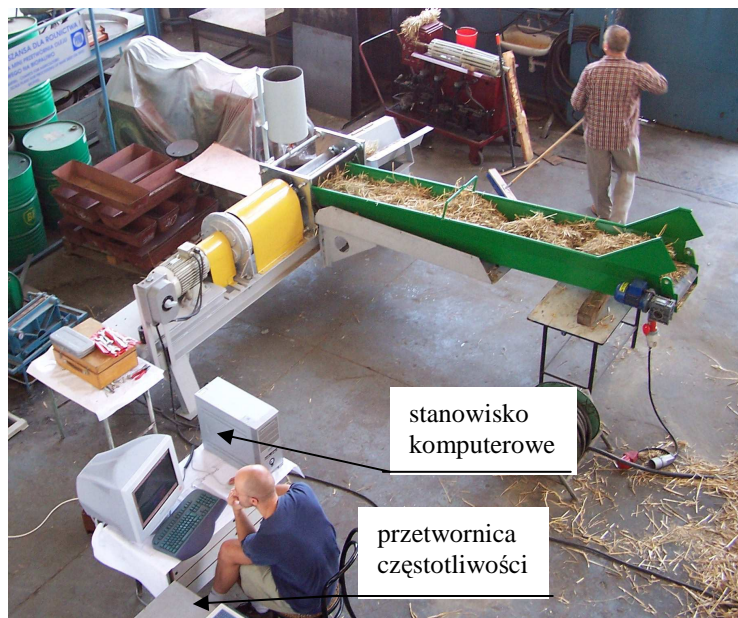
- a) na oznaczonym odcinku stołu podającego układano równomiernie odważone porcje słomy,
- b) przed każdym pomiarem, dla zapoczątkowania zwijania, wkładano do komory brykietującej zwitek słomy (zawsze o tej samej masie) pobranej z tej samej porcji materiału,
- c) właściwy pomiar przeprowadzano po napełnieniu komory brykietującej, tzn. po uprzednim zbrykietowaniu materiału przy takich parametrach, przy których zamierzano przeprowadzić dany pomiar,
- d) na okres przemieszczania słomy przez zespół brykietujący włączano aparaturę pomiarową, rejestrującą zmienność momentu na wale silnika, pobieranej przez stanowisko mocy silnika oraz prędkość obrotową walców,
- e) zwinięty walec słomy cięto następnie piłą do metalu na brykiety (wybierając brykiety do dalszej obróbki ze środkowej części walca),
- f) wybrane brykiety mierzono i następnie poddawano badaniom trwałości na stanowisku,
- g) w czasie pracy zespołu okruszane żdźbła chwytało do specjalnych pojemników i następnie ważono je.



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 z prowadnicą brykiety, 7 – zbiornik na lepiszcze, 8 – osłony zabezpieczające, 9 – silnik elektryczny, 10 – instalacja elektryczna

Fig. 1. The schema of the test stand to the research of the process of inspissations of straw with the method of curling



Rys. 2. Stanowisko badawcze do badania procesu brykietowania słomy metodą zwijania
 Fig. 2. The test stand to the research of the process of inspissations of straw with the method of curling

Dokładność pomiarów, liczba ich powtórzeń i metody obróbki próbek były zgodne z metodykami obowiązującymi w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych.

W badaniach była wykorzystywana słoma pszenna zebrana i dostarczona w postaci zwijanych bel okrągłych o zagęszczeniu ok. $70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, (ze zbiorów w 2005 r.). Oznaczano gęstość słomy i jej wilgotność względną.

5. Wyniki pomiarów

Badania laboratoryjne obejmowały pomiary wilgotności słomy poddawanej brykietowaniu, wartości jej zagęszczenia w czasie brykietowania, przepustowości stanowiska badawczego i pracy jednostkowej procesu brykietowania [3].

5.1. Wilgotność słomy

Wilgotność względną słomy w procentach wagowych oznaczano metodą suszarkowo-wagową. [3]. Wilgotność wykorzystywanej w czasie badań słomy zawierała się pomiędzy 16-25%, średnio 20%; jest to wilgotność odpowiednia do tworzenia brykietów i ich długotrwałego przechowywania. Zbyt sucha słoma kruszy się i rozwija po wyjściu z zespołu rolniczącego a zbyt wilgotna może butwieć i gnić w czasie przechowywania. Wilgotność tego rzędu posiada będąca docelowym materiałem do brykietowania - słoma pozostająca na polu po kombajnowanym zbiorze.

5.2. Zagęszczenie brykietów

Z brykietu uzyskanego po każdej przeprowadzonej właściwej próbie brykietowania odcinano aglomerat o długości ok. 150 mm i ważono na wadze laboratoryjnej WS-21. Następnie mierzono jego wymiary geometryczne - długość oraz średnicę (w 3-4 miejscach) i obliczano średnią wartość średnicy brykietu. Z uzyskanych danych wyliczano objętość brykietu i wyznaczano zagęszczenie brykietu γ , w $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Widok przekroju uzyskanego typowego brykietu zamieszczono na rys. 3.

Zagęszczenie brykietów uzależnione było od geometrii komory brykietowania, a ściślej od kąta zwichrowania wałków brykietujących β realizowanego poprzez skreślenie obrotowej płyty łożyskowej o stały kąt β . Badania prowadzono dla następujących kątów skreślenia płyty łożyskowej β : 5° , 10° , 20° .

Na rys. 4 przedstawiono zależność zagęszczenia brykietów γ od kąta β . Pomiary przeprowadzono przy stałym zasileniu słomą komory brykietowania i przy stałej prędkości obrotowej wałków roboczych. Z przebiegu tej zależności wynika, że wraz ze wzrostem kąta β , zagęszczenie brykietów odpowiednio się zmniejsza.

Przeprowadzone eksperymenty potwierdzają rozważania teoretyczne, z których wynikało, że zagęszczenie będzie malało ze wzrostem kąta β , spowodowane to jest bowiem zmianą składowej prędkości obwodowej wałków, która jest funkcją kąta β . Wzrasta wobec tego liniowo także prędkość osiowa przemieszczania się brykietowanego materiału i spada jego zagęszczenie na skutek skrócenia czasu przebywania w komorze roboczej. Pogarszają się przez to warunki zwijania i zgniatania materiału. Spadek omawianych właściwości brykietów, wraz ze wzrostem kąta β , tłumaczy się także tym, że źdźbła słomy zwijane są jakby w spiralę o zwiększającym się skoku. Dlatego powiązanie ich między sobą jest mniej korzystne z punktu widzenia zagęszczenia i trwałości (wytrzymałości) brykietów. I odwrotnie, przy mniejszych kątach β , źdźbła roślin są zwijane bliżej siebie i czas przebywania ich w komorze jest dłuższy, co zwiększa zagęszczenie i trwałość brykietów. Spadek zagęszczenia materiału (jak wynika z rys. 4) przy wzroście kąta β z 5° do 20° wynosi ok. $300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Największe zagęszczenie ok. $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ uzyskano dla brykietu wykonanego przy kącie skreślenia płyty łożyskowej β równym 5° , najmniejsze zaś – ok. $150 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ uzyskano przy kącie skreślenia osi płyty łożyskowej β równym 20° .



Rys. 3. Przekrój porzeczy przez wykonany brykiet
Fig. 3. Section through the briquette

5.3. Pomiar poboru mocy silnika napędowego

Badania energetyczne polegały na pomiarach całkowitego momentu obrotowego przekazywanego przez silnik napędowy na zespół roboczy podczas pracy. Pomiaru poboru mocy przez silnik napędowy stanowiska brykietującego dokonywano przy użyciu przetwornicy częstotliwości typu pDRIVE” MX BASIC 22/30 3x400 V i sterującego jej pracą programu MatriX 2.0. Każdorazowo przed rozpoczęciem próby brykietowania w konsoli rejestrującej programu wybierano parametry pracy przetwornicy częstotliwości i silnika elektrycznego, które będą mierzone i zapisywane. Równocześnie z rozpoczęciem brykietowania przygotowanej porcji słomy uruchamiano program rejestrujący. Kończąc brykietowanie danej porcji słomy przerywano rejestrację. Zmiany poboru mocy przez silnik napędowy stanowiska badawczego odczytywano z wykresów zarejestrowanych przez program rejestrujący (rys. 5).

Badania te prowadzono przy prędkości obrotowej wałków roboczych $210 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$. Różne zagęszczenie brykietów uzyskiwano drogą zmiany kąta skręcenia płyty łożyskowej β .

W celu wyznaczenia pracy jednostkowej procesu brykietowania wyznaczano pracę podczas każdej próby. Pracę

te wyliczono z następującej zależności [Adamczyk i in. 2004]:

$$W_1 = N_1 \cdot t_{bl} \cdot 3600^{-1} \text{ [kWh]},$$

gdzie:

N_1 – moc użyta na brykietowanie poszczególnych, kolejnych porcji słomy, w [kW],

t_{bl} – czas brykietowania poszczególnych, kolejnych porcji słomy, w [s].

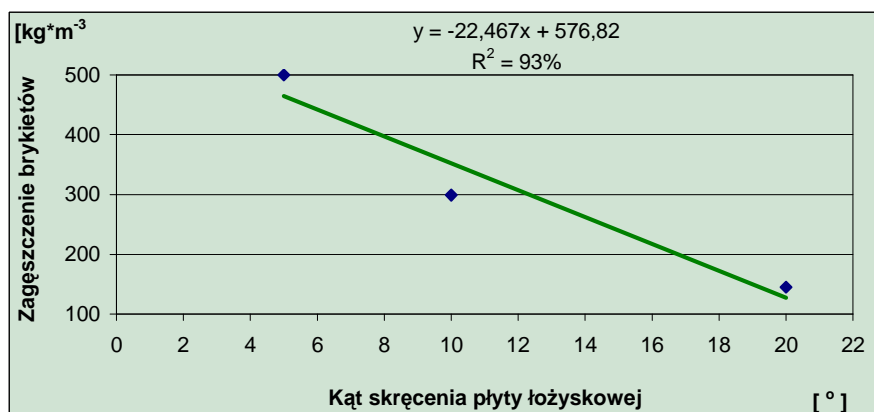
Odniesienie obliczonej w ten sposób pracy do masy pojedynczej porcji słomy daje pracę jednostkową. Pracę jednostkową procesu brykietowania słomy wyliczano z zależności [Adamczyk i in. 2004]:

$$W_j = \frac{W_1}{G_s} \text{ [kWh} \cdot \text{kg}^{-1}\text{]},$$

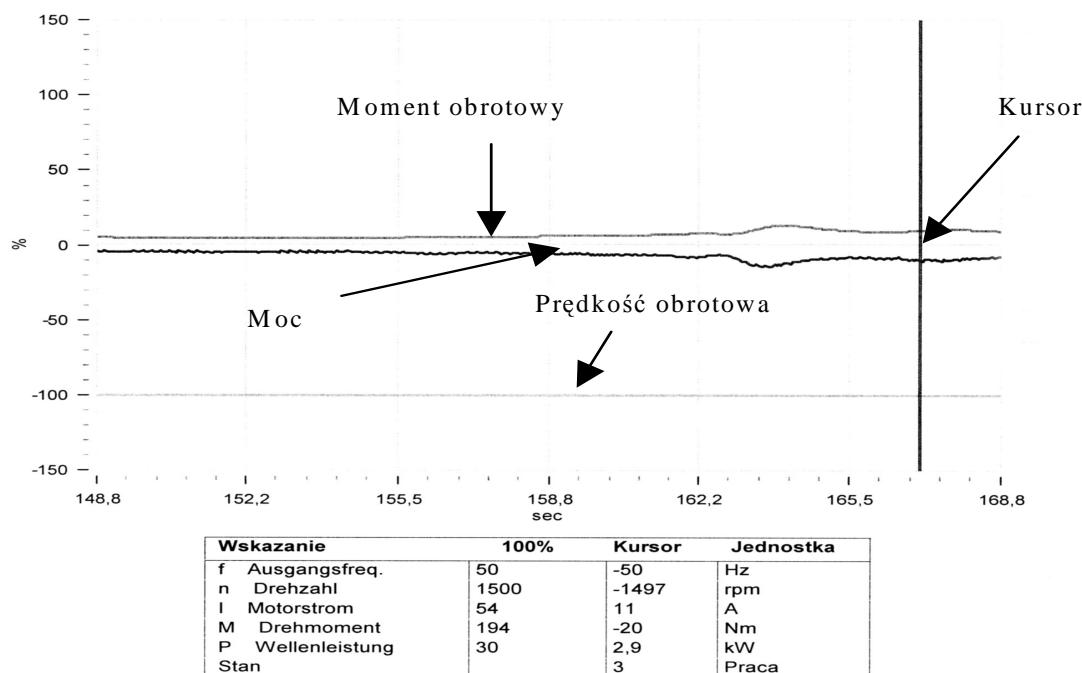
gdzie:

G_s – masa porcji słomy poddawanej brykietowaniu, w [kg].

Jednostkowy pobór energii, w odniesieniu do jednej tony brykietowanego materiału, w zależności od zagęszczenia brykietów zawierał się w przedziale od $3,27$ do $7,11 \text{ kWh} \cdot \text{t}^{-1}$ (rys. 6). Największy jednostkowy pobór energii wystąpił dla największego uzyskanego zagęszczenia brykietu ($500 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$).



Rys. 4. Wpływ kąta skręcenia płyty łożyskowej β na zagęszczenie brykietów
Fig. 4. The influence of the steering angle of the bearing plate β on the condensation of briquettes



Rys. 5. Przebieg zmienności momentu obrotowego oraz prędkości obrotowej i mocy na wale napędowym silnika stanowiska laboratoryjnego do brykietowania słomy dla kąta skręcenia płyty łożyskowej $\beta = 5^\circ$

Fig. 5. The course of the variability of the torque, the rotational speed and the power on the driving shaft of the test stand engine of the laboratory – by the bearing plate angle $\beta = 5^\circ$

5.4. Wpływ stopnia zagęszczenia brykietów na przepustowość zespołu brykietującego

Przepustowość stanowiska badawczego, będąca zarazem wydajnością tego stanowiska i samego procesu zagęszczania słomy metodą zwijania, wyznaczano z następującej zależności [1]:

$$Q_{mb} = \frac{G_s}{t_b} \text{ [kg}\cdot\text{s}^{-1}\text{]},$$

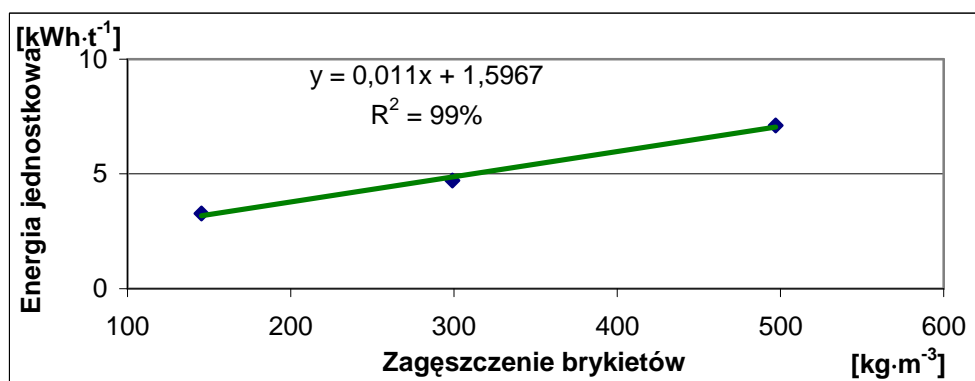
gdzie:

t_b – czas brykietowania jednej porcji słomy, w [s].

Zależność przepustowości badanego zespołu brykietującego od zagęszczenia brykietów przedstawiono na rys. 7. Różne zagęszczenie uzyskiwano drogą zmiany kąta skręcenia płyty łożyskowej β .

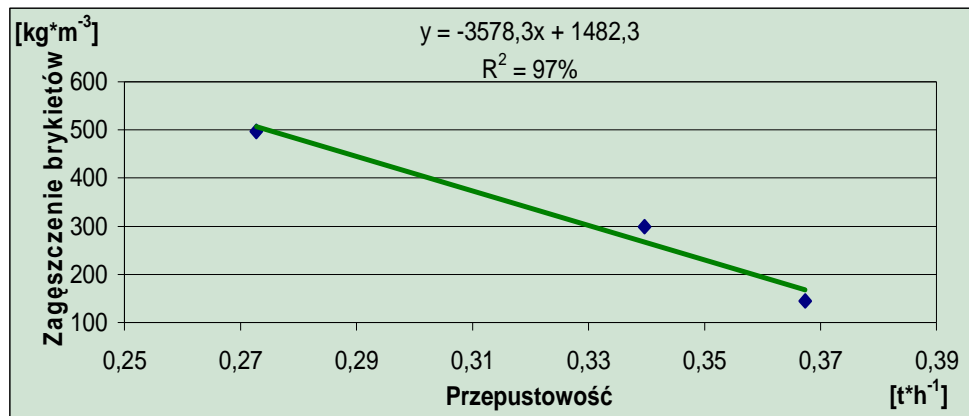
Przebieg zależności przedstawionej na rys. 7 wskazuje na wyraźny spadek przepustowości zespołu brykietującego, wraz ze wzrostem zagęszczenia brykietów, przy czym najniższą przepustowość ($0,27 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$) uzyskano przy zagęszczeniu brykietów $500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, a najwyższą ($0,37 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$) uzyskano przy zagęszczeniu brykietów $145 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Uzyskane w czasie badań na stanowisku laboratoryjnym wartości przepustowości są jednak niewielkie i nie zadowalające.

Zwiększenie wydajności procesu, jakie konieczne będzie w przypadku maszyny połowej, można uzyskać poprzez zwiększenie obrotów wałków zespołu roboczego (przy zwiększonej mocy silnika napędowego) oraz zastosowanie walców wstępnie ugniatających i wyrównujących podawaną przez przenośnik słomę.



Rys. 6. Wpływ zagęszczenia brykietów na energię jednostkową wydatkowaną w czasie brykietowania

Fig. 6. The influence of the condensation of briquettes on the unitary energy spent during briquetting



Rys. 7. Wpływ zagęszczenia tworzonych brykietów na przepustowość stanowiska badawczego
 Fig. 7. The influence of the condensation of created briquettes on the capacity of the investigation stand

6. Wnioski

Analiza wyników przeprowadzonych badań eksperymentalnych pozwala na wysnucie następujących wniosków:

1. Koncepcja badanego zespołu roboczego maszyny do brykietowania słomy, składającego się z czterech stożków usytuowanych pod różnymi kątami w przestrzeni, jest właściwa; zmierza ona do rozwiązania problemu efektywnego zagęszczania słomy przeznaczonej do spalania w kotłowniach małej mocy. Wyniki badań eksperymentalnych pozwalają na ustalenie najkorzystniejszych, z punktu widzenia jakości uzyskiwanego produktu, parametrów konstrukcyjnych i technologicznych procesu brykietowania i zespołów brykietujących słomę metodą zwijania;
2. Optymalna wilgotność słomy przeznaczonej do zagęszczania metodą zwijania, ze względu na trwałość otrzymywanych brykietów, zawiera się pomiędzy 15-25%. Odpowiada ona wilgotności słomy pozostającej na polu po zbiorze, a więc wilgotności materiału technologicznego procesu pracy przyszłej maszyny polowej. Słoma o mniejszej wilgotności wykazuje się znaczną łamliwością i kruchością, co utrudnia jej zwijanie i zagęszczanie. Słoma o dużej wilgotności zagęszcza się bardzo dobrze, ale w czasie składowania będzie miała tendencję do butwienia i gnicia, jeżeli nie zostanie poddana dosuszeniu;
3. Przeprowadzone badania potwierdzają rozważania teoretyczne, z których wynika, że zagęszczenie brykietów będzie malało ze wzrostem kąta zwichrowania wałków brykietujących β' realizowanego poprzez skrócenie obrotowej płyty łożyskowej o stały kąt β przy stałym zasilaniu zespołu brykietującego. Jednocześnie ze zmniejszeniem zagęszczenia brykietów spada ich trwałość. Spadek omawianych właściwości brykietów, wraz ze wzrostem kąta β' , tłumaczy się tym, że źdźbła słomy zwijane są jakby w spiralę o zwiększającym się skoku. Dlatego powiązanie ich między sobą jest mniej korzystne z punktu widzenia zagęszczenia i trwałości (wytrzymałości) brykietów. Największe zagęszczenie ok. $500\text{-kg}\cdot\text{m}^{-3}$ uzyskano dla brykietu wykonanego przy kącie skrócenia płyty łożyskowej β równym 5° ;
4. Przepustowość równą maksymalnej wydajności stanowiska badawczego, jaką uzyskano, wyniosła ok. $0,4\text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$. Dla uzyskania większej wydajności należałoby w maszynie polowej podnieść obroty wałków zespołu roboczego, przy zwiększonej mocy silnika napędowego;
5. Określone podczas badań wskaźniki energetyczne wykazały niewielkie zapotrzebowanie energii dla wykonania procesu brykietowania słomy metodą zwijania. Jednostko-

wy pobór energii, w odniesieniu do jednej tony brykietowanego materiału, w zależności od kąta skrócenia wałków brykietujących, a więc i od uzyskanego zagęszczenia zawierał się w przedziale od 3,27 do 7,11 kWh·t⁻¹.

7. Literatura

1. Adamczyk F., Kośmicki Z., Mielec K., 2004: Energooszczędny proces zagęszczania słomy do spalania w kotłowniach małej mocy. Program i metody badań. PIMR-Poznań.
2. Adamczyk F., Frąckowiak P., Kośmicki Z., Mielec K., 2005a: Koncepcja zagęszczania słomy przeznaczonej na opał poprzez jej zwijanie. Journal of Research and Application in Agricultural Engineering. Poznań, Vol. 50, Nr 4, (s. 4÷7).
3. Adamczyk F., Frąckowiak P., Jankowiak St., Kośmicki Z., Mielec K., Zielnica M., 2005b: Energooszczędny proces zagęszczania słomy do spalania w kotłowniach małej mocy. Badania laboratoryjne i zasadnicze. Matematyczne opracowanie i analiza wyników. PIMR-Poznań.
4. Kanafojski Cz. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. T. 2, cz. 1, PWRiL, Warszawa, 1980.
5. 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. 65 – 71.
6. Kęska W., 2004: Energooszczędny proces zagęszczania słomy do spalania w kotłowniach małej mocy. Program i metodyka badań, modelowanie matematyczne procesu. PIMR-Poznań.
7. Krzemiński J., 1988: Brykietowanie suszu uzyskanego z zielonek. Prace IBMER Warszawa.
8. Łabiak M., Fiszer A., Świgoń J., 2005: Brykietowanie słomy – ocena wybranych parametrów fizykochemicznych. Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie Monografia. t.2., Praca zbiorowa pod red. Z Zbytką. PIMR-Poznań, s. 51 – 55.
9. Olejnik A., 1974: Brykietowanie siana metodą zwijania. Teoria i konstrukcja. PIMR-Poznań.
10. Olszewski T., 1973: Dobór optymalnych parametrów zespołu brykietującego zielonki metodą zwijania. Praca doktorska. Akademia Rolnicza w Poznaniu.