

THE INFLUENCE OF VARIABILITY OF SPECIES AND THE VARIETY OF STRAW ON THE COURSE AND EFFECTS OF THE PROCESS OF ITS BRIQUETTING BY THE METHOD OF THE CURLING

Summary

One of the methods the high-compaction straw is briquetting whole stalks in cylindrical roller brquetting maschnes. For energy production purposes can be used for practically all types of straw cereals. Differences existing between them provoking question about the differences in the course and the briquetting process parameters and the parameters of obtained briquettes. The paper icludeed attempts to explain this issue. The results of these tests for the various varieties of two types of cereals (wheat and oats) briquetted with the method of the carling, lead to the conclusion that it is possible to use this method for compacting uncut straw cereals, in effect, to give briquettes with high stability ($\Psi=0,90-0,92$), reproducible, high (volume) density for a similar intensity in all cases the process ($E_{jo}=0,0779-0,0848 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-3}$).

Key words: wheat, oat, straw, briquette presses, briquetting, method of the curling, density, coefficient of durability, energy unit

WPLYW ZMIENNOŚCI GATUNKOWEJ I ODMIANOWEJ SŁOMY NA PRZEBIEG I EFEKTY PROCESU JEJ BRYKIETOWANIA METODĄ ZWIJANIA

Streszczenie

Przeprowadzono badania wpływu zmienności gatunkowej i odmianowej pszenicy i owsa na parametry brykietów uzyskiwanych metodą zwijania za pomocą brykieciarek walcowych. W wyniku badań stwierdzono, że tą metodą uzyskuje się brykiety z niepociętej słomy o wysokim współczynniku trwałości ($\Psi=0,90-0,92$) i powtarzalnej, wysokiej gęstości właściwej (objętościowej) dla zbliżonej we wszystkich przypadkach energochłonności procesu ($E_{jo}=0,0779-0,0848 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-3}$).

Słowa kluczowe: pszenica, owies, słoma, brykietowanie, metoda zwijania, gęstość właściwa, współczynnik trwałości, energia jednostkowa

1. Wprowadzenie

Jedną z możliwości zagospodarowania nadwyżek słomy jest jej wykorzystanie w energetyce. Do spalania może być użyta słoma wszystkich rodzajów zbóż oraz rzepaku i gryki. Aby możliwe było racjonalne wykorzystanie słomy do celów energetycznych musi ona spełniać określone wymagania technologiczne (odpowiednią wartość opałową, wilgotność, stopień zwiędnięcia, stopień zagęszczenia) [9, 13, 14]. Niewielki ciężar objętościowy sprawia, że słoma ma równocześnie niższą wartość opałową odniesioną do jednostki objętości. Należy zwiększyć jej stopień zagęszczenia i to najlepiej bezpośrednio na polu za pomocą pras kostkujących lub rolujących, co pozwala nawet na dziesięciokrotne zwiększenie stopnia zagęszczenia słomy. Są to wartości pozwalające na obniżenie kosztów transportu słomy oraz spalanie jej jako ekologicznego paliwa w specjalnych kotłach wrzutowych lub automatycznych. Większe stopnie zagęszczenia słomy, a przez to większą wartość opałową odniesioną do jednostki objętości, uzyskuje się przez jej brykietowanie lub peletowanie.

Słomę zbóż, jak i inne materiały żdźbłowe, można brykietować pociętą na sieczkę używając brykieciarek tłokowych lub ślimakowych, co jest procesem energochłonnym, lub w postaci całych żdźbeł, pozostałych po kombajnowym omłocie zboża, używając brykieciarek walcowych (zwijających) o znacznie mniejszej energochłonności [3].

Zagęszczanie niepociętych materiałów metodą zwijania polega na skręcaniu ich kilkoma (w analizowanym przy-

padku - czterema) walcami cylindrycznymi lub walcami w kształcie stożka, ustawionymi pod kątem i obracającymi się w jednym kierunku.

Jak wspomniano, na cele energetyczne może być wykorzystywana słoma wszystkich gatunków zbóż. Różne właściwości poszczególnych gatunków zbóż powodują, że przebieg procesu brykietowania metodą zwijania oraz parametry uzyskanych brykietów mogą się od siebie różnić. W pracy podjęto próbę wyjaśnienia tego zagadnienia.

2. Cel i zakres badań

Celem pracy było określenie wpływu zmienności odmianowej i gatunkowej słomy zbóż na parametry uzyskiwanych brykietów oraz energochłonność procesu brykietowania. Badaniem objęto proces brykietowania niepociętej słomy metodą zwijania trzech odmian słomy pszenicy (Ostroga, Roma i Zyta) i dwóch odmian słomy owsa (Chwat i Bajka).

3. Metodyka badań

Badania przeprowadzono według metodyki i na stanowisku badawczym, które opisano w pracach [1-4].

Badania eksperymentalne zostały zrealizowane na stanowisku badawczym, zaprojektowanym i wykonanym w ramach realizacji własnego tematu badawczego PIMR nr 4T07C 021 27. W celu przeprowadzania zmian prędkości obrotowych walców brykietujących w układ napędowy sta-

nowiska laboratoryjnego została włączona przetwornica częstotliwości typu „pDRIVE” MX BASIC 22/30 3x400 V. Pracą przetwornicy sterował program MatriX 2.0.

Przyjęto następujące założenia badawcze:

1. badania będą prowadzone na słomie pszenicznej i owsianej pobieranej z beli zwijanej,
2. naturalna zmienność wilgotności brykietowanej słomy, dla każdej beli będzie zawierała się w niewielkim zakresie od 13 do 16%,
3. badania będą wykonywane dla prędkości obrotowej walców brykietujących $n_w = 250 \text{ obr/min}^{-1}$ oraz kącie ustawienia płyty walców brykietujących $\beta = 5^\circ$,
4. w trakcie badań zostaną wyznaczone: gęstość właściwa (objętościowa) brykietów γ , współczynniki trwałości brykietów Ψ oraz energia jednostkowa E_{jo} procesu brykietowania słomy różnych gatunków i odmian zbóż. Metodę wyznaczania tych parametrów przedstawiono poniżej.

3.1. Gęstość właściwa (objętościowa) brykietów γ

Brykiet tworzony metodą zwijania ma w przybliżeniu kształt walca. Z wytworzonego brykietu odcinano aglomerat o długości ok. 150 mm, ważono na wadze WS-21, a następnie mierzono jego długość i w czterech równo od siebie oddalonych punktach średnicę, wyliczając następnie średnią wartość średnicy brykietu. Pomiarów średnicy i długości brykietu wykonywano z dokładnością 1 mm.

Każdorazowo pomiary wykonywano przez dociśnięcie suwmiarką luźnej warstwy wierzchniej do kolejnej, utwardzonej warstwy brykietu aż do momentu wyczuwalnego oporu. Pomiarów wartości średnicy brykietu dokonywano z dokładnością 0,1 mm ze względu na oczywistą nierównomierność wierzchniej warstwy brykietu, wynikającą z specyfiki brykietowanego materiału i z przebiegu samego procesu brykietowania metodą zwijania.

Z uzyskanych danych wyliczano objętość brykietu i następnie, na podstawie masy i objętości, wyznaczano jego gęstość właściwą (objętościową) γ , w $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

3.2. Współczynnik trwałości Ψ brykietów

Współczynniki trwałości brykietów Ψ wyznaczano z następującej zależności [15, 16]:

$$\Psi = \frac{G_{bt}}{G_b}, \quad (3)$$

gdzie:

G_{bt} – masa brykietu po próbie trwałości [kg],

G_b – masa brykietu przed próbą trwałości [kg].

Trwałość brykietów określano przez ubytek masy po cyklu badań na stanowisku badawczym zgodnym z normami: ASAE S269.3 i GOST 23513-79 opisanym szczegółowo w pracy [2]. Badania rozpoczęto przed opracowaniem i wejściem w życie obecnie obowiązującej normy PN-EN 15210-2:2011 wprowadzającej bębnowy typ stanowiska badawczego i dlatego podjęto decyzję, aby dla celów porównawczych kontynuować je na posiadanym stanowisku.

Widok przekroju brykietu uzyskanego ze słomy pszenicy odmiany Roma przedstawiono na rys. 1, a brykietu ze słomy owsa odmiany Chwat na rys. 2.



Źródło: fot. F. Adamczyk / Source: own photo

Rys. 1. Brykiety ze słomy pszenicy odmiany Roma
Fig. 1. Briquettes from straw from wheat varieties Roma



Źródło: fot. F. Adamczyk / Source: own photo

Rys. 2. Brykiety ze słomy owsa odmiany Chwat
Fig. 2. Briquettes from straw of oat varieties Chwat

3.3. Energia jednostkowa E_{jo} procesu brykietowania słomy

W celu wyznaczenia energii jednostkowej procesu E_{jo} brykietowania wyznaczano pracę podczas każdej próby. Pracę tę wyliczono z następującej zależności:

$$W_l = N_l \cdot t_{bl} \cdot 3600^{-1} \text{ [kWh]}, \quad (1)$$

gdzie:

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

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

Odniesienie obliczonej w ten sposób pracy do masy pojedynczej porcji słomy daje energię jednostkową. Energię jednostkową procesu brykietowania słomy wyliczono z zależności [15]:

$$E_{jo} = \frac{W_l}{G_s} \text{ [kWh}\cdot\text{kg}^{-1}], \quad (2)$$

gdzie:

G_s – masa porcji słomy poddawanej brykietowaniu [kg].

4. Dyskusja wyników badań

Błąd bezwzględny pomiaru był znacznie mniejszy niż odnotowana zmienność kształtu. Dla badanych brykietów ze słomy dwóch gatunków zbóż większe wartości gęstości właściwej γ uzyskiwano dla brykietów ze słomy pszenicznej aniżeli z owsianej (tab. 1). Wykonana analiza wariancji testem F (Fishera-Sendecora) wykazała, dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$, że wystąpiły statystycznie istotne różnice pomiędzy wartościami gęstości właściwej γ badanych brykietów dla gatunków słomy.

Na podstawie wieloletnich badań stwierdzono, że zmiana wymiaru średnicy brykietu o 1 mm powoduje zmianę obliczonej wartości gęstości właściwej tego brykietu o 2,3%. Ponieważ, jak widać na rys. 1 i 2, zewnętrzna warstwa brykietu nie jest sztywna i gładka, bezwzględny błąd wymiaru średnicy brykietu wynosi ± 1 mm. W konsekwencji powyższego założenia, obliczone wartości gęstości właściwej brykietów zostają obciążone błędem równym 4,6%. Przyjęta różnica średnich wartości gęstości pomiędzy gatunkami jest znacznie większa aniżeli zakres wyznaczonego błędu. Pomimo, że różnice między średnimi wartościami gęstości właściwej brykietów w obrębie każdego gatunku zawierają się w granicach założonego błędu, ze względu na uzyskiwanie we wszystkich wykonywanych kolejnych powtórzeniach i replikacjach prowadzonych doświadczeń podobne relacje zdecydowano się przeprowadzić ich analizę.

Spośród badanych wariantów największą średnią wartość gęstości właściwej γ brykietów równą $395,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ uzyskano dla słomy pszenicy odmiany Roma, a najmniejszą równą $324,75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dla słomy owsa odmiany Bajka. Różnica średnich wartości gęstości właściwych (objętościowych) γ uzyskanych brykietów, dla wszystkich badanych gatunków i odmian słomy wyniosła 17,9%. W odniesieniu tylko do słomy badanych odmian pszenicy różnica ta wyniosła 4,6%, a dla słomy owsa – 2,9%. Różnice te są efektem oczywistego zróżnicowania parametrów jakościowych słomy poddawanej procesowi brykietowania metodą zwijania. Żdźbła słomy pszenicy były, w odniesieniu do żdźbeł słomy owsa, krótsze, o mniejszej średnicy i posiadały większą sprężystość. Lisowski [10] za [12] podaje, że jedną z ważniejszych właściwości fizycznych charakteryzujących żdźbła słomy pod względem wytrzymałościowym jest właśnie ich sprężystość. Można ją zdefiniować jako zdolność materiału do odzyskiwania pierwotnego kształtu i wymiarów po usunięciu sił zewnętrznych wywołujących deformację. A zatem zmianie tensora naprężeń towarzyszy zmiana tensora odkształceń i odwrotnie, przy czym zmiany te są

w pełni odwracalne. Sprężystości żdźbeł brykietowanej słomy nie badano bezpośrednio. Jej wielkość określano jedynie przez obserwację swobodnego rozprężania się słomy po rozcięciu elementów (sznurka lub siatki) obwiązujących bele zwijane, w jakich została ona dostarczona do laboratorium.

Na wielkość zagęszczenia tworzonych metodą zwijania brykietów wpływa grubość żdźbeł poszczególnych odmian zarówno owsa, jak i pszenicy. Krótsze, bardziej sprężyste i o mniejszej średnicy żdźbła słomy pszenicy pozwalały na uzyskiwanie brykietu o większej gęstości objętościowej niż dłuższe i grubsze żdźbła owsa. Jednak uzyskane różnice gęstości właściwej γ brykietów, mimo iż istotne statystycznie, są na tyle niewielkie, że nie będą miały bezpośredniego wpływu na sposób wykonywania czynności koniecznych do dostarczenia uzyskanego brykietu, np. do paleniska kotła lub pieca.

Trwałe aglomeraty tworzone ze słomy przez jej zwijanie w brykietniarce walcowej, przeznaczone do spalania w kotłowniach małej mocy, powinny wykazywać się dużą spójnością. Ta cecha słomianych brykietów jest także istotna ze względu na konieczność ich długotrwałego przechowywania i transportu z miejsca ich przechowywania do kotłowni. Cechę tę określa się mianem trwałości brykietów. Pod pojęciem trwałości brykietu należy więc rozumieć jego odporność na rozwijanie się i okruszenie. Wielkością liczbowa określającą tę odporność jest współczynnik trwałości brykietu Ψ . Jego największą średnią wartość 0,92, spośród badanych odmian słomy dla obydwu rozpatrywanych gatunków uzyskano dla brykietów ze słomy pszenicy Roma, a najmniejszą 0,90 dla słomy pszenicy odmiany Zyta i owsa odmiany Bajka (tab. 2). Podobne wyniki uzyskano w czasie badań zawartych w pracy [2].

Wykonana analiza wariancji testem F (Fishera-Sendecora) wykazała dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$, że nie wystąpiły statystycznie istotne różnice pomiędzy wartościami współczynnika trwałości brykietu Ψ powstałego w efekcie procesu brykietowania słomy metodą zwijania. Porównując średnie wartości współczynnika trwałości brykietu Ψ stwierdzono, że różnica pomiędzy średnimi wartościami współczynnika Ψ dla wszystkich badanych gatunków i odmian słomy, wyniosła 3,1%. Analizując różnicę pomiędzy średnimi wartościami współczynnika Ψ tylko w odniesieniu do brykietów wykonanych ze słomy badanych odmian pszenicy stwierdzono, że jest ona niewielka i wynosi 2,2%. Natomiast w odniesieniu do brykietów uzyskanych ze słomy obydwu badanych odmian owsa różnica ta była jeszcze mniejsza i wyniosła 1,1%.

Tab. 1. Gęstość właściwa γ uzyskiwanych brykietów w zależności od gatunku i odmiany brykietowanej słomy zbóż
Table 1. Obtained density of the briquettes γ , depending on the species and varieties of briquetting wheat straw

Lp.	Parametr	Gatunki i odmiany słomy zbożowej	Wartość			
			Minimum	Maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe
1.	Gęstość właściwa brykietów γ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	Pszenica <i>Roma</i>	389,34	400,09	395,54	4,55
2.		Pszenica <i>Zyta</i>	379,17	398,32	388,75	7,50
3.		Pszenica <i>Ostroga</i>	364,34	392,06	377,20	11,94
4.		Owies <i>Chwat</i>	318,51	346,53	334,31	12,77
5.		Owies <i>Bajka</i>	309,45	338,76	324,75	12,66

Źródło: opracowanie własne / own working

Tab. 2. Współczynniki trwałości Ψ uzyskiwanych brykietów w zależności od gatunku i odmiany brykietowanej słomy zboża
 Table 2. Coefficients of durability Ψ obtained briquettes depending on the species and varieties of brquetting wheat straw

Lp.	Parametr	Gatunki i odmiany słomy zbożowej	Wartość			
			Minimum	Maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe
1.	Współczynnik trwałości Ψ	Pszenica <i>Roma</i>	0,90	0,95	0,92	0,019
2.		Pszenica <i>Zyta</i>	0,88	0,93	0,90	0,021
3.		Pszenica <i>Ostroga</i>	0,88	0,94	0,91	0,025
4.		Owies <i>Chwat</i>	0,89	0,93	0,91	0,018
5.		Owies <i>Bajka</i>	0,87	0,92	0,90	0,021

Źródło: opracowanie własne / own working

Zbliżone i zarazem wysokie wartości uzyskiwanych współczynników trwałości brykietu Ψ wskazują na wysoką jakość wykonywanych brykietów niezależnie od gatunku i rodzaju słomy zboża. Pozwala to na ich wysoką ocenę jakościową. Jednak o rzeczywistej trwałości brykietów będzie decydowała wytrzymałość na czynności manipulacyjne (np. przemieszczanie, przerzucanie w magazynie, załadunek do kosza zasypowego podajnika brykietów zasilającego kocioł c.o.).

Energochłonność procesu brykietowania słomy metodą zwijania wyrażono przez wyznaczenie energii jednostkowej E_{jo} tego procesu. Spośród badanych wariantów, największą średnią wartości energii jednostkowej E_{jo} procesu brykietowania słomy metodą zwijania równą $0,0848 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-3}$ uzyskano dla słomy pszenicy odmiany Roma, a najmniejszą $0,0779 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-3}$ dla słomy pszenicy odmiany Ostroga (tab. 3).

Wykonana analiza wariancji testem F (Fishera-Sendecora) wykazała, dla poziomu istotności $\alpha = 0,05$, że nie wystąpiły statystycznie istotne różnice pomiędzy wartościami energii jednostkowej E_{jo} procesu brykietowania słomy metodą zwijania. Porównując średnie wartości energii jednostkowej E_{jo} , za-

uważono, że różnica dla wszystkich badanych gatunków i odmian słomy wyniosła 5,9%. Taką samą różnicę odnotowano analizując proces brykietowania tylko dla słomy badanych odmian pszenicy. Natomiast w odniesieniu dla słomy obydwu badanych odmian owsa ta różnica praktycznie nie wystąpiła, jej wartość wyniosła 0,1%. Niewielkie i zbliżone wartości energii jednostkowej E_{jo} procesu brykietowania metodą zwijania słomy różnych odmian pszenicy i owsa wskazują na stabilność przebiegu badanego procesu dla ustalonych jego parametrów, a także na jego małą wrażliwość na zmiany brykietowanego materiału.

Wartość energii jednostkowej E_{jo} procesu brykietowania słomy metodą zwijania należy zawsze odnosić do ilości energii, jaką można z jednostki przerabianego materiału uzyskać w procesie jego spalania. Wiadomo, że wartość opałowa 1 kg słomy szarej o wilgotności 10-15% wynosi 14-15MJ [7, 8, 11], co stanowi równowartość około 4 kWh energii uzyskanej z jej spalania. Porównując te dwie wartości wyraźnie widać, że uzysk energii z 1 kg spalanej słomy jest kilkadziesiąt razy większy niż konieczny jej wkład w proces brykietowania przy zachowaniu stałych pozostałych parametrów procesu i wilgotności samej słomy.

Tab. 3. Energia jednostkowa E_{jo} procesu brykietowania słomy metodą zwijania uzyskane w zależności od gatunku i odmiany brykietowanej słomy zbóż

Table 3. Energy unit E_{jo} of briquetting straw process with the method of the carling obtained depending on the species and varieties of briquetting wheat straw

Lp.	Parametr	Gatunki i odmiany słomy zbożowej	Wartość			
			Minimum	Maksimum	Średnia	Odchylenie standardowe
1.	Energia jednostkowa E_{jo} $\text{kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$	Pszenica <i>Roma</i>	0,0825	0,0883	0,0848	0,00230
2.		Pszenica <i>Zyta</i>	0,0824	0,0832	0,0827	0,00033
3.		Pszenica <i>Ostroga</i>	0,0795	0,0803	0,0799	0,00032
4.		Owies <i>Chwat</i>	0,0795	0,0845	0,0817	0,00220
5.		Owies <i>Bajka</i>	0,0799	0,0828	0,0816	0,00119

Źródło: opracowanie własne / own working

5. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań brykietowania nieopiętej słomy różnych odmian pszenicy i owsa metodą zwijania pozwalają stwierdzić, że możliwe jest wykorzystanie tej metody do zagęszczania nieopiętej słomy zbóż. W efekcie uzyskano brykiety o powtarzalnej, wysokiej (dla odpowiednich parametrów pracy zespołu brykietującego) gęstości właściwej (objętościowej) przy zbliżonej we wszystkich przypadkach energochłonności procesu. Badania potwierdziły także, że powstające brykiety utrzymują wysoki współczynnik trwałości. Przedstawione wyniki badań upoważniają więc do wysnucia następujących wniosków i stwierdzeń:

1. Największą średnią gęstość właściwą γ brykietów równą $395,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ wyznaczono dla słomy pszenicy odmiany Roma, a najmniejszą równą $324,75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dla słomy owsa odmiany Bajka.

2. W przypadku pomiarów energochłonności procesu wyrażanej energią jednostkową E_{jo} , jej największą średnią wartość równą $0,0848 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-3}$ uzyskano dla słomy pszenicy odmiany Roma, a najmniejszą równą $0,0779 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-3}$ dla słomy pszenicy odmiany Ostroga.

3. Trwałość brykietów określano współczynnikiem Ψ . Jego największą średnią wartość równą $0,92$, spośród badanych odmian słomy dla obydwu rozpatrywanych gatunków, uzyskano dla brykietów ze słomy pszenicy Roma, a najmniejszą równą $0,90$ dla słomy pszenicy odmiany Zyta i owsa odmiany Bajka.

4. Uzyskane różnice gęstości właściwej γ brykietów, mimo iż istotne statystycznie, są na tyle niewielkie, że nie powinny mieć bezpośredniego wpływu na sposób i jakość wykonywania czynności koniecznych do dostarczenia uzyskanego brykietu np. do paleniska kotła lub pieca.

5. Niewielkie i zbliżone do siebie wartości energii jednostkowej E_{jo} procesu brykietowania metodą zwijania słomy różnych odmian pszenicy i owsa wskazują na stabilność przebiegu badanego procesu dla ustalonych jego parametrów, a także na jego małą wrażliwość na zmiany gatunków i odmian brykietowanego materiału.

6. Znajomość współczynnika trwałości brykietu pozwala wyłącznie na porównanie jakościowe brykietów wykonanych w różnych warunkach; nie pozwala natomiast na oszacowanie trwałości osiąganą w praktyce, bowiem stan brykietów zależy w dużym stopniu od sposobu ich przemieszczania i od rzeczywistego obciążenia, wywołanego różnymi warunkami transportu, rozładunku, składowania, manipulacji, dozowania itp.

6. Bibliografia

- [1] Adamczyk F., Frąckowiak P., Kośmicki Z., Mielec K.: Problematyka badawcza w procesie zagęszczania słomy przeznaczonej na opał. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2005, Vol. 50(4), s. 5-8.
- [2] Adamczyk F., Frąckowiak P., Kośmicki Z., Mielec K.: Trwałość brykietów ze słomy przeznaczonej na opał, uzyskanych metodą zwijania *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2006, Vol. 51(1), s. 33-36.
- [3] Adamczyk F., Frąckowiak P.: The energy-consuming of the process of straw compaction by the method of curling. *Annual Review of Agricultural Engineering*, 2009, 7(1), s. 41-50.
- [4] Adamczyk F.: Wpływ wilgotności słomy zbożowej na stopień zagęszczenia uzyskiwanych brykietów. *Inżynieria Rolnicza*, 2010, nr 1 (119) s. 7-13.
- [5] ASAE S269.3: Wafers, pellets, and crumbles – definitions and methods for determining density, durability and moisture content, ASAE Standard, 1989, 346.
- [6] GOST 23513-79: Feeds in cakes pellets. Specifications, (Brikety i granuly kormovye. Tekhnicheskie uslovija)
- [7] Hejft R: Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Biblioteka problemów eksploatacji, Politechnika Białostocka, Białystok, 2002.
- [8] Juliszewski T.: Ogrzewanie biomasa. PWRiL Warszawa, 2009. ISBN 978-83-09-01041-8.
- [9] Kanafojski Cz., Karwowski T.: Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. T. 2. Maszyny do zbioru ziemiopłodów. PWRiL Warszawa, 1972.
- [10] Lisowski A. [red.]: Technologie zbioru roślin energetycznych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2010, s. 26.
- [11] Łabiak M., Fiszler A., Świogoń J.: Brykietowanie słomy – ocena wybranych parametrów fizykochemicznych. Wybrane zagadnienia ekologiczne we współczesnym rolnictwie Monografia. t. 2. Praca zbiorowa pod red. Z. Zbytka. PIMR, Poznań, 2005, s. 51-55.
- [12] Niezgodziński M.E., Niezgodziński T.: Wytrzymałość materiałów. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2009, ss. 288.
- [13] O'Dogherty M.J., Wheeler J.A.: Compression of straw to high densities in closed cylindrical dies. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1984, vol. 29 (1), 61-72.
- [14] O'Dogherty M.J.: A review of the mechanical behaviour of straw when compressed to high densities. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1989, vol. 44 (4), 241-265.
- [15] Olszewski T.: Dobór optymalnych parametrów zespołu brykietującego zielonki metodą zwijania. Praca doktorska. Akademia Rolnicza w Poznaniu, 1973.
- [16] Osobov V.I., Vasiljev G.K., Golianovskij A.V.: Mashiny i oborudovanie dla uplotnienija seno-solomistykh materialov. *Mashinostrojenie*, Moskva, 1974.
- [17] PN-EN 15210-2:2011: Biopaliwa stałe – Oznaczanie wytrzymałości mechanicznej brykietów i peletów. Część 2: Brykiety.