

ANALIZA PARAMETRÓW PRACY TULEI WYLOTOWYCH W MASZYNIE BRYKIETUJĄCEJ SŁOMĘ METODĄ ZWIJANIA

Streszczenie

Przedstawiono budowę kilku typów tulei wylotowych brykietu z komory brykietownia maszyny brykietującej słomę metodą zwijania. Wskazano, z jakich materiałów zostały wykonane. Określono ich wytrzymałość na ścieranie oraz na wysoką temperaturę pracy. Dokonano wyboru najlepszego rozwiązania.

Słowa kluczowe: słoma, brykietowanie metodą zwijania, maszyna brykietująca, wytrzymałość na ścieranie, temperatura,

Wprowadzenie

Słomę zbóż po zbiorze kombajnowym można zagospodarować na wiele różnych sposobów. Jednym z racjonalnych, ekologicznych i zgodnych z prawem sposobów zagospodarowania nadwyżek słomy jest jej wykorzystanie w energetyce. Dla zwiększenia efektywności pozyskiwania energii ze spalania słomy musi być ona wcześniej zagęszczona, np. przez brykietowanie. Nową metodą takiego zagęszczenia słomy jest brykietownie metodą zwijania. Pomysł wykorzystania tej metody kilka lat temu zrodził się w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu [1, 2, 3].

W efekcie tych prac pierwotnie został wykonany czterowalcowy zespół brykietujący, a następnie zespół z pięcioma wałcami brykietującymi. W obydwu tych zespołach, niezależnie od rodzaju brykietowanego materiału, w znajdującym się w płycie obrotownicy otworze wylotowym brykietu musi być zamontowana tuleja wylotowa. Ma ona za zadanie utrzymać i utrwalać kształt i formę utworzonego brykietu oraz wprowadzić go do tulei zespołu odcinającego [3].

Konieczność zastosowania tulei wylotowej brykietu z zespołu brykietującego słomę metodą zwijania wynika z zachowania brykietu po wyjściu z komory brykietowania. Brykiety tworzone tą metodą jest wałcem bez końca, który jest następnie cięty na odcinki o odpowiedniej długości. Wychodzący z komory brykietowania brykiety, zwłaszcza wykonany ze słomy zbóż, ma tendencję do rozprężania się, co prowadzi do jego rozwarstwiania się. Dodatkowo brykiety wychodzący z komory brykietowania musi być precyzyjnie wprowadzony do kanału zespołu odcinającego. Rozprężanie się wierzchniej warstwy brykietu utrudnia lub nawet uniemożliwia wprowadzenie go do kanału zespołu odcinającego. Z tego powodu zaistniała konieczność zastosowania tulei wylotowej brykietu montowanej do płyty obrotownicy zespołu brykietującego [1-8].

Poniżej podano analizę parametrów pracy opracowanych różnych rozwiązań konstrukcyjnych tulei wylotowej brykietu i wytyczne konstrukcyjne do wykonania tulei.

Cel badań

Celem badań było wyznaczenie charakterystyki pracy wybranych rozwiązań konstrukcyjnych tulei wylotowej brykietu z zespołu brykietującego niepociętą słomę metodą zwijania.

Przebieg i metodyka badań

Badania prowadzono na prototypowej stacjonarnej maszynie brykietującej wyposażonej w czterowalcowy zespół zagęszczający, będącej zarazem profesjonalnym stanowiskiem badawczym.

Przedmiotem badań były 4 różnego rodzaju tuleje wylotowe brykietu z zespołu brykietującego niepociętą słomę metodą zwijania. Tuleje te były wykonane z następujących materiałów:

- stal,
- iglidur® G,
- PCW.

Zestawienie badanych tulei przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Zestawienie badanych tulei wylotowych
Tab. 1. List of tested outlet tubes

Typ tulei	Rodzaj materiału	Model 3D
Stała I	Stal	
Stała II	Stal	
Obrotowa	Stal	
Stała z wymiennym wkładem	igidur® G	
Stała z wymiennym wkładem	PCW	

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

W ramach prowadzonych badań podczas brykietowania słomy zbóż metodą zwijania wykonano badania zmian temperatury na zewnętrznej ścianie tulei, analizowano wygląd i stan tulei przed i po przeprowadzeniu prób. Następnie dokonano analizy uzyskanych wyników badań.

Pomiary temperatury pracy tulei wykonywano dwiema metodami:

- za pomocą termometru na podczerwień PTSI 9 A1 Powerfix Profi o zakresie pomiarowym od -50 do +220°C i rozdzielczości 0,5°C, (wykonywano pomiar chwilowy),
- za pomocą 6-kanalowego systemu pomiaru AVT5330 o zakresie pomiarowym od -55 do +125°C i rozdzielczości 0,5°C (wykonywano pomiar ciągły temperatury).

Pomiar temperatury pracy tulei wylotowej wykonywano na zewnętrznej stronie jej poboczniczy bądź na zewnętrznej stronie poboczniczy tulei prowadzącej, w której osadzano tuleje wylotowe. W przypadku pomiaru ciągłego jeden czujnik (T1) przymocowano na górze tulei (patrząc na stanowisko badawcze od strony zespołu podającego materiał do komory brykietowania), a drugi (T2) po przeciwnej stronie, na dole tulei.

Pomiarów grubości ścianki poboczniczy tulei wylotowej dokonywano przed rozpoczęciem po raz pierwszy procesu brykietowania z wykorzystaniem danej tulei oraz po zakończeniu wszystkich prób brykietowania dla danej tulei wylotowej. Pomiaru dokonywano w kilku miejscach na obwodzie tulei za pomocą suwmiarki o dokładności pomiaru 0,01 mm.

Wielkość, sposób i rodzaj zużycia wewnętrznej ścianki poboczniczy tulei wylotowej oceniano metodą oceny arbitrażowej.

Badania prowadzono dla kąta skręcenia płyty łożyskowej β wynoszącego 4. Do badań wykorzystano słomę jęczmienną, której zawartość wody zawierała się w zakresie 15-25%. Przyjęto, że dla każdej z badanych tulei w czasie cyklu badań zostanie poddane brykietowaniu 600 kg słomy.

Wyniki badań i ich analiza

W przypadku stałej i obrotowej tulei stalowej pomiary wykonywano termometrem na podczerwień PTSI 9 A1 Powerfix. Wyniki tych pomiarów prowadzonych w ustalonych warunkach podczas pracy ciągłej zebrano w tab. 2.

Analizując uzyskane wyniki badań temperatury pracy stałej i obrotowej stalowej tulei wylotowej brykietu z komory brykietowania walcowego zespołu brykietującego niepociętą słomę (agrobiomasę) metodą zwijania można stwierdzić, że zakres zmian temperatury pracy tulei wynosił 4°C i zawierał się pomiędzy wartościami 57 a 62°C. Najniższe wartości wystąpiły na początku pomiaru w powtórzeniu nr II dla tulei stałej i w powtórzeniu nr I dla tulei ruchomej, natomiast wartość maksymalna (62°C) została zmierzona w przypadku większości badanych powtórzeń. Nie wystąpiła jedynie w przypadku powtórzeń nr I dla obydwu badanych tulei. Należy także zwrócić uwagę na niewielki zakres zmian temperatur w czasie normalnej pracy, po ustabilizowaniu się bilansu cieplnego, w przypadku tych dwóch tulei wylotowych brykietu. Zmierzona maksymalna wartość temperatury pracy, wykonanych ze stali, tulei wylotowych brykietu wynosząca 62°C, pozytywnie wpływa na stan zewnętrznej warstwy powstającego brykietu. Zarazem nie powinna ona negatywnie wpływać na bezpieczeństwo pożarowe na stanowisku pracy.

W przypadku pozostałych badanych tulei wylotowych, tj. z wkładką z materiału pod nazwą iglidur® G oraz z PCW, pomiary temperatury prowadzono w sposób ciągły za pomocą 6-kanalowego systemu pomiaru temperatury AVT5330, opracowanego do tego celu. Przebiegi zmian tych pomiarów przedstawiają wykresy na rys. 1 i 2.

Tab. 2. Wyniki pomiarów temperatury pracy stalowych tulei wylotowych

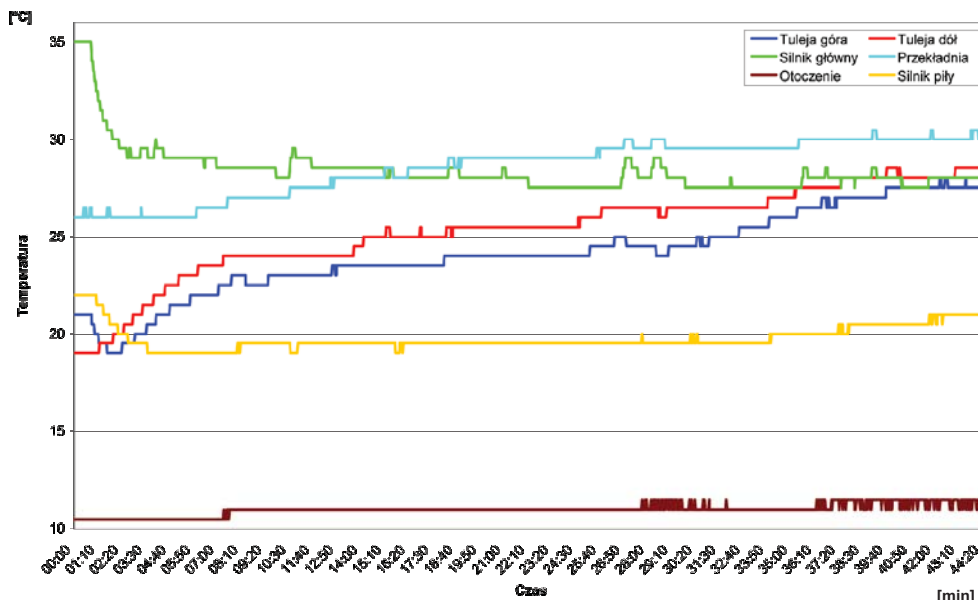
Tab. 2. The results of operating temperatures measurements of steel outlet tubes

Lp.	Typ i rodzaj tulei	Nr powtórzeń	Temperatura początkowa	Temperatura pracy tulei
			°C	°C
1.	stała tuleja stalowa	I	18	58
2.				59
3.				60
4.				60
5.		II	20	57
6.				61
7.				62
8.				62
9.		III	19	59
10.				60
11.				61
12.				62
13.		IV	20	58
14.				60
15.				62
16.				62
17.	obrotowa tuleja stalowa	I	20	57
18.				59
19.				60
20.				60
21.		II	21	59
22.				61
23.				61
24.				62
25.		III	19	58
26.				60
27.				61
28.				62
29.		IV	20	60
30.				61
31.				61
32.				62

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

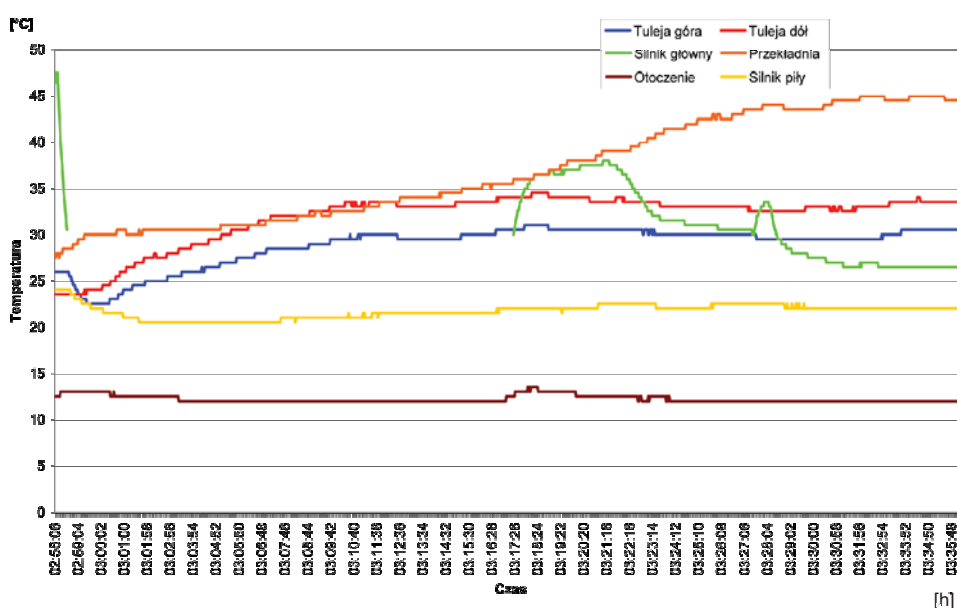
W przypadku tulei wylotowej brykietu wykonanej z materiału iglidur® G temperatura na zewnętrznej stronie poboczniczy tulei prowadzącej oscylowała w granicach od 25 do 27°C. Natomiast w przypadku tulei wylotowej brykietu wykonanej z PCW zmierzone temperatury pracy były nieco wyższe i oscylowały w zakresie od 30 do 35°C. Należy także zwrócić uwagę na niewielkie zmiany temperatury w czasie normalnej pracy, po ustabilizowaniu się bilansu cieplnego, w przypadku tych dwóch tulei wylotowych brykietu.

Zastosowanie w stanowisku badawczym tulei wylotowych wykonanych z obydwu tych materiałów spowodowało więc znaczne obniżenie średniej temperatury pracy w porównaniu z tulejami stalowymi. Należy jednak zwrócić uwagę na dwa aspekty: po pierwsze - w przypadku tulei stalowych dokonywano pomiaru chwilowego, a w przypadku tulei z PCW i iglidur® G prowadzono pomiar ciągły; po drugie - w przypadku tulei stalowych mierzono wartość temperatury na zewnętrznej stronie poboczniczy tulei wylotowej, a w przypadku tulei z tworzyw sztucznych wprowadzono temperaturę mierzono również na zewnętrznej stronie poboczniczy, ale stalowej tulei prowadzącej, w której była umieszczona badana tuleja wylotowa, co jak już zaznaczono, miało wpływ na zmierzone wartości temperatury pracy tulei wylotowych brykietu.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 1. Przebieg zmian wartości temperatur w trakcie zwijania brykietów - tuleja wylotowa z materiału iglidur® G
 Fig. 1. The course of changes in temperature values during rolling briquettes - the outlet tube of iglidur® G



Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rys. 2. Przebieg zmian wartości temperatur w trakcie zwijania brykietów - tuleja wylotowa z PCW
 Fig. 2. The course of changes in temperature values during rolling briquettes - the outlet tube made of PVC

Największe znaczenie dla tak znacznego obniżenia temperatury pracy tulei wylotowej miał jednak zastosowany materiał i jego parametry techniczne, a w szczególności wartości współczynników tarcia kinetycznego tych materiałów po słomie. Zastosowane tuleje z polimerów charakteryzują się znacznie mniejszymi niż stal współczynnikami tarcia kinetycznego μ_k dla słomy. W przypadku stali wartość tego współczynnika wynosi 0,5-0,6, dla PCW ok. 0,2-0,3 [4], a dla iglidur® G - 0,08-0,15 [9]. Temperatura pracy tulei wylotowej w przypadku tulei wykonanych z materiału iglidur® G oraz PCW, jest jednym z elementów wpływających na ich trwałość. Takim wpływ miały znaczne chwilowe wzrosty wartości temperatury pracy tulei wylotowych odnotowywane wówczas, kiedy dochodziło do zakłóceń procesu brykietownia lub jego

nagłego zatrzymania, w różnych miejscach na odcinku od komory brykietownia do kanału wysuwania się odciętych brykietów. Doprowadzało to do sytuacji, że temperatura pracy chwilowo podnosiła się powyżej granicznych wartości normalnej pracy materiałów, z których te tuleje zostały wykonane. Te szybkie chwilowe wzrosty wartości temperatury wpływały destrukcyjnie na stan wewnętrznej powierzchni pobocznic tulei wylotowej brykieta.

Analizując uzyskane wyniki można zauważyć, że dla wszystkich badanych tulei wystąpiły zmiany grubości ścianek ich pobocznic po zakończeniu prób. W przypadku tulei wykonanych ze stali praktycznie nie wystąpiło zużycie ściernie. Podobna sytuacja wystąpiła również w przypadku tulei z materiału iglidur® G. W przypadkach tych tulei zmierzone

grubości ścianki pobocznic w niektórych z wybranych punktów na jej obwodzie były, co prawda, mniejsze od założonej wartości nominalnej, ale wielkość tych różnic mieściły się w zakresie dokładności pomiarowej. Jedynie w przypadku tulei wykonanej z PCW zmierzona grubość ścianki, w niektórych punktach pomiarowych, bardziej odbiegała od wartości nominalnej wynoszącej 4,30 mm. Najmniejszą zmierzoną wartością grubości ścianki pobocznic tulei, po zakończeniu procesu brykietowania, dla tulei z tego materiału było 4,11 mm. To zmniejszenie grubości ścianki było spowodowane wspólnym oddziaływaniem temperatury, wynoszącej 35°C dla normalnej, ustabilizowanej pracy, ale chwilowo, w czasie niekontrolowanych zapchań, przewyższającej dopuszczalne górne wartości normalnej pracy materiału, z którego ją wykonano i tarcia wywołanego obrotem oraz próbami przesuwania się przez tuleję znacznie zagęszczonego materiału.

Z kolei większe od nominalnej wartości grubości ścianki pobocznic tulei były efektem przylegania wierzchniej warstwy brykieta do wewnętrznej strony pobocznic tulei. Zjawisko to zachodziło w czasie opisanego zapchania tulei wylotowej z równoczesną nieprzerwaną pracą stanowiska badawczego. Wtopione lub bardzo mocno przyklejone do powierzchni pobocznic pozostałości po tym rodzaju zużycia ciernego tulei wylotowej powodowały miejscowy wzrost grubości ścianki pobocznic. Widok wewnętrznych ścianek pobocznic badanych tulei pokazano na rys. 3-6.



Źródło: opracowanie własne / Source: own work
Rys. 3. Widok pobocznic stałej tulei stalowej
Fig. 3. View of the peripheral surface of outlet fixed steel tube



Źródło: opracowanie własne / Source: own work
Rys. 4. Widok pobocznic obrotowej tulei stalowej
Fig. 4. View of the peripheral surface of outlet rotating steel tube



Źródło: opracowanie własne / Source: own work
Rys. 5. Widok pobocznic tulei wykonanej z materiału iglidur® G
Fig. 5 View of the peripheral surface of outlet tube made from iglidur® G



Źródło: opracowanie własne / Source: own work
Rys. 6. Widok pobocznic tulei wykonanej z PCW
Fig. 6. View of the peripheral surface of outlet tube made from PVC

Wielkość zużycia oceniano po przejściu określonej ilości materiału przez badaną tuleję (tab. 3).

Analizując dane zawarte w tab. 3 wyraźnie widać, że w przypadku tulei wylotowej wykonanej z PCW szybko zaprzestano badań (po brykietowaniu jedynie 33,0% ilości słomy w odniesieniu do ilości słomy brykietowanej podczas badań tulei stalowych i 26,7% w porównaniu do tulei wykonanej z materiału iglidur® G). Spowodowane to było zniszczeniem struktury wewnętrznej strony pobocznic tulei wylotowej brykieta. Było to efektem jednoczesnego zachodzenia kilku procesów w czasie przechodzenia brykieta przez tuleję wylotową wytworzonego w zespole brykietującym.

Negatywny, destrukcyjny wpływ na stan powierzchni wewnętrznej pobocznic tulei wylotowej miały znaczne chwilowe wzrosty wartości temperatury pracy tulei wylotowych odnotowywane wówczas, kiedy dochodziło do nagłego zatrzymania procesu brykietowania. Taka sytuacja powodowała szybki wzrost nacisków powierzchniowych spęczającego się brykieta na pobocznice tulei wylotowej. To zjawisko, spowodowane czynnikami takimi jak: twardość żdźbeł, wartość współczynnika ich tarcia po materiale, a być może przede wszystkim wymuszone wynikłym z istoty samego procesu (trwającym nieprzerwanie do momentu zatrzymania stanowiska badawczego) obrotowym i posuwistym zarazem ruchem przechodzącego przez tuleję materiału - słomy, powodowało gwałtowny wzrost siły tarcia kinetycznego o pobocznice tulei. Doprowadzało to w efekcie do sytuacji, że temperatura pracy pobocznic tulei wylotowej chwilowo podnosiła się powyżej wartości granicznych dla normalnej pracy materiałów, z których te tuleje zostały wykonane. Te szybkie chwilowe wzrosty wartości temperatury wpływały destrukcyjnie na stan wewnętrznej strony pobocznic tulei wylotowej brykieta.

Tab. 3. Wyniki pomiarów grubości ścianki poboczniczy tulei wylotowych
 Tab. 3. The results of the thickness of the peripheral wall measurements of outlet tube

Lp.	Rodzaj tulei	Grubość ścianki poboczniczy tulei		Masa przerobionego materiału
		Przed rozpoczęciem prób	Po zakończeniu prób	
		mm	mm	
1.	Stalowa stała	3,00	2,98-3,03	600
2.	stalowa obrotowa	3,50	3,49-3,55	600
3.	iglidur® G	2,50	2,42-3,03	750
4.	PCW	4,30	4,11-4,25	200

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Występowało tu zjawisko przylegania wierzchniej warstwy brykietu do wewnętrznej strony poboczniczy tulei wylotowej, co pociągało za sobą niszczenie struktury wewnętrznej poboczniczy. Zjawiska tego z oczywistych względów nie można było obserwować (zachodziło ono wewnątrz tulei, na styku dwóch ściśle współpracujących powierzchni: wewnętrzna pobocznicza tulei - zewnętrzna pobocznicza brykietu). Jego prawdopodobny przebieg był następujący: wysuwający się przez tuleję wylotową z komory brykietowania i równocześnie dążący do rozprężenia brykieta w postaci wałka powoduje, w efekcie wykonywania równocześnie ruchu obrotowego i posuwistego, zachodzenie zjawiska tarcia na zewnętrznej powierzchni wałka brykietu o wewnętrzną powierzchnię poboczniczy tulei. To wzajemne tarcie powoduje wzrost temperatury pracy tulei. W momencie zatrzymania się ciągłości strumienia przepływu brykietu przez stanowisko brykietujące, czyli zatrzymania się ruchu posuwistego brykietu przy wciąż trwającym ruchu obrotowym brykietu, lub równoczesnego zatrzymania się obydwu tych ruchów tworzonego brykietu przy nieprzerwanym dopływie słomy do komory brykietowania, w efekcie spęcznienia się brykietu, następował wzrost sił tarcia pomiędzy powierzchnią brykietu i poboczniczy tulei, co w krótkim czasie powodowało wzrost temperatury pracy tulei.

W przypadku stałej tulei stalowej często następowało zatrzymywanie się brykietu wewnątrz tulei spowodowane występującymi dużymi siłami tarcia (współczynniki tarcia kinetycznego słomy po stali są znacznie większe niżeli w przypadku polimerów) oraz wydzielaniem się substancji smolistych z zewnętrznej warstwy brykietu po długotrwałej pracy. W efekcie prac badawczych postanowiono, w następnym etapie, zamienić tuleję stałą na obrotową. W przypadku tej drugiej również, choć w mniejszym stopniu, dochodziło do zapychania się i konieczności zatrzymywania procesu po długotrwałej pracy z powodu oklejania się wierzchniej warstwy brykietu na wewnętrznej powierzchni poboczniczy tej tulei.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na wytypowanie najlepszej spośród badanych rodzajów i typów tulei z uwagi na jakość pracy i trwałość materiału. Zasadnicze wnioski płynące z tych badań są następujące:

- Najlepszą jakością pracy i trwałością spośród badanych tulei charakteryzowała się tuleja wylotowa brykietu wykonana z materiału iglidur® G.

- Większe zmiany temperatury pracy na zewnętrznej powierzchni poboczniczy tulei podczas normalnej, ustabilizowanej ich pracy występowały dla obydwu typów tulei stalowych, stałej i obrotowej, aniżeli dla tulei wykonanych z PCW i iglidur® G. W przypadku tych ostatnich tulei wpływ na mierzone wartości miał fakt, że pomiaru dokonywano na zewnętrznej powierzchni poboczniczy stalowej tulei prowadzącej, w którą wtłoczona była tuleja wylotowa.

- Destrukcyjny wpływ na stan wewnętrznej powierzchni poboczniczy tulei wykonanych z polimerów (PCW i iglidur® G) miały znaczne chwilowe wzrosty wartości temperatury ich pracy odnotowywane w chwilach nagłego zatrzymywania procesu brykietowania połączone ze znacznymi wzrostami wartości sił tarcia pomiędzy zewnętrzną powierzchnią brykietu a wewnętrzną powierzchnią poboczniczy tulei.

Bibliografia

- [1] 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), 33-36.
- [2] Adamczyk F.: Wpływ zmienności gatunkowej i odmianowej słomy na przebieg i efekty procesu jej brykietowania metodą zwijania. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2013, Vol. 58(1), 12-16.
- [3] Frąckowiak P., Adamczyk F., Jankowiak S., Spychała W., Szaroleta M., Wąchalski G.: Badania nad nowymi technikami pracy maszyn rolniczych oraz opracowanie sprzętu dla nowych technologii rolniczych. Zadanie 5. Badania procesu przepływu słomy przez tuleję wylotową zespołu brykietującego w aspekcie zwiększenia jej trwałości i zmniejszenia zakłóceń przepływu. *Maszynopis*, PIMR-8125, 2014.
- [4] Kanafojski Cz., Karwowski T.: Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. T. 2. Maszyny do zbioru ziemiopłodów. Warszawa: PWRiL, 1972.
- [5] Kobr Z., Čermak A., Lanča J.: Poznatky z výzkumu briketovani píče svinovacim způsobem v ČSR. *Zemledska Technika*, 1970, 10, 621-633.
- [6] Lanča J., Čermak A.: Dalsi poznatky z výzkumu briketovani píče a nektere fyzikalne-mechanicke hodnoty briket vytvorených svinovanim. *Zemledska Technika*, 1971, 10, 649-662.
- [7] Molitorisz J., McColly H.F.: Development and Analysis of the Rolling Compressing Wafering Process. *Transactions of the ASABE*, 1969, 12 (4), 0419-0422.
- [8] Osobov W.I., Wasilev G.K., Golyanowskij A.W.: Mashiny i obrodovanie dlya uplotniyenia sieno-solomistykh materialov. *Mashinostroenie*, Moskva, 1974.
- [9] www.igus.pl/wpck/1859/iglidur_G_Werkstoffdaten?C=PL&L=pl.

ANALYSIS OF THE OUTLET TUBES OPERATING PARAMETERS OF THE MACHINE BRIQUETTING STRAW BY CURLING METHOD

Summary

The publication presents a construction of several types of outlet tubes of briquette from the chamber of briquetting machine for straw rolling. This paper shows materials of which they were made. The publication determines their resistance to abrasion and high temperature and shows best solution.

Key words: straw, briquetting by the curling, briquetting machine, resistance to abrasion, temperature, laboratory research