

WPŁYW WILGOTNOŚCI WIÓRÓW DREWNA SOSNY I TOPOLI NA PARAMETRY BRYKIETOWANIA

Stanisław Skonecki, Ryszard Kulig, Janusz Laskowski, Milena Potręć
Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań nad określeniem wpływu wilgotności odpadów drewnianych (wiórów z sosny i topoli) na proces brykietowania, podatność materiału na zagęszczanie oraz odporność (wytrzymałość) mechaniczną aglomeratu. Brykietowanie surowca przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Zwick typ ZO20/TN2S przy wykorzystaniu zespołu prasującego z matrycą zamkniętą. Wilgotność surowców wynosiła od 8% do 20%. Wyniki wykazały, że zwiększenie wilgotności powoduje zmniejszenie gęstości aglomeratu i pracy zagęszczania, zwiększenie rozprężenia aglomeratu, polepszenie podatności surowca na zagęszczanie oraz pogorszenie jakości aglomeratów pod względem ich wytrzymałości.

Słowa kluczowe: parametry brykietowania, wilgotność, odpady drewniane, wióry sosnowe i topolowe

Wstęp

Biomasa roślinna wykorzystywana jako surowiec energetyczny to pochodząca głównie z uprawy traw i drzew, produktów ubocznych gospodarki komunalnej i pozostałości przemysłowych, odpadów rolniczych oraz leśnych, w tym z przemysłu drzewnego (np. trociny i wióry drewniane). Surowce te, ze względu na małą gęstość oraz niską wartość opałową (szczególnie odniesioną do jednostki objętości) są trudne w dystrybucji w postaci nieprzetworzonej [Adamczyk i in. 2005, 2006].

Dla polepszenia przydatności biomasy do celów energetycznych należy zwiększyć jej gęstość, co uzyskuje się między innymi przez ciśnieniowe zagęszczenie luźnego surowca w procesie brykietowania w urządzeniach z układami roboczymi „komora zamknięta – tłok zagęszczający”. Badania tego procesu, prowadzone w skali laboratoryjnej, umożliwiają określenie parametrów zagęszczania, w tym energochłonności, podatności materiału na zagęszczanie i jakości aglomeratów. Parametry procesu i jakość uzyskanego aglomeratu zależą od właściwości fizycznych i chemicznych przetwarzanego surowca, a szczególnie od jego wilgotności [Adapa i in. 2009; Hejft 2002; Kaliyan i Morey 2009; Laskowski i in. 2005; Laskowski i Skonecki 1997; Mani i in. 2006; Obernberger i Thek 2004]. We wcześniejszych pracach określono wpływ wilgotności łusek kolb kukurydzy, słomy owsianej i trawy turzycowej na parametry aglomerowania, podatność materiału na zagęszczanie i jakość aglomeratu [Skonecki i Potręć 2008 a, b; 2010].

Celem niniejszego opracowania jest określenie wpływu wilgotności odpadów drewnianych (wiórów z sosny i topoli) na parametry brykietowania i jakość uzyskanego aglomeratu.

Materiał i metodyka badań

Do badań przyjęto wióry sosnowe i topolowe pochodzące z prywatnego tartaku. Średni wymiar cząstek (określony zgodnie z PN-89/R-64798) wynosił: dla wiórów z sosny 1,19 mm; z topoli 0,96 mm. Gęstość w stanie zsypanym oznaczona zgodnie z PN-ISO 7971-2:1998 dla surowców o wilgotności 12% wynosiła: dla wiórów z sosny $0,048 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, z topoli $0,046 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Badania brykietowania prowadzono, podobnie jak w pracach Skoneckiego i Potręć [2008 a, b; 2010], zgodnie z metodyką przedstawioną przez Laskowskiego i Skoneckiego [2001] dla materiału o wilgotności od 8% do 20% (co 2% +/-0,2%). Do badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową ZWICK typ ZO20/TN2S oraz zespół prasujący z matrycą zamkniętą o średnicy komory $d_k = 15 \text{ mm}$. Maksymalna siła zagęszczania wynosiła $F_{max} = 20 \text{ kN}$, (jednostkowy nacisk $P_{max} = 114 \text{ MPa}$), a prędkość przemieszczania tłoka $V = 10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Zagęszczanie prowadzono każdorazowo w trzech powtórzeniach. Podczas badań rejestrowano krzywą zagęszczania [Laskowski i Skonecki 2001; Skonecki i Potręć 2008 b; 2010].

Z krzywej wyznaczono: maksymalną gęstość materiału w komorze ρ_c , całkowitą pracę zagęszczania L_c . Obliczono współczynnik k_c charakteryzujący podatność materiału na zagęszczanie ($k_c = L_c' \cdot (\rho_c - \rho_n)^{-1}$, gdzie: $L_c' = L_c \cdot m^{-1}$ – jednostkowa praca zagęszczania, m – masa próbki materiału, ρ_n – gęstość początkowa materiału w stanie zsypanym). Dla otrzymanego produktu określono gęstość aglomeratu bezpośrednio po wyjęciu z komory ρ_a oraz po 48 godz. przechowywania ρ_{a1} .

Następnie określano jakość aglomeratu ze względu na wytrzymałość (odporność) mechaniczną określoną w teście ściskania „brazylijskim” [Li i in. 2000; Ruiz i in. 2000]. Test polega na ściskaniu (zgniataniu) aglomeratu (o średnicy d i długości l) poprzecznie do osi do momentu zniszczenia (pęknięcia) i wyznaczeniu maksymalnej siły niszczącej F_n . Badania wykonano na maszynie wytrzymałościowej ZWICK ZO20/TN2S (prędkość przemieszczania głowicy wynosiła $10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$). Odporność mechaniczną σ_n (MPa) obliczono ze wzoru: $\sigma_n = 2 \cdot F_n \cdot (\pi \cdot d \cdot l)^{-1}$ [Fell i Newton 1970; Li i in. 2000; Ruiz i in. 2000; Skonecki i Laskowski 2010; Skonecki i Potręć 2010].

Określono także stopień zagęszczenia (krotność zmniejszenia objętości) materiału w komorze S_{zm} i uzyskanego aglomeratu S_{za} , obliczany z wzorów: $S_{zm} = \rho_c \cdot \rho_n^{-1}$, $S_{za} = \rho_{a1} \cdot \rho_n^{-1}$. Dla oceny spadku gęstości aglomeratu w wyniku ekspansji zwrotnej obliczono stopień rozprężenia aglomeratu S_{ra} jako iloraz gęstości ρ_{a1} i ρ_c ($S_{ra} = \rho_{a1} \cdot \rho_c^{-1}$).

Wyniki badań poddano analizie statystycznej za pomocą programu SAS Enterprise Guide 3.0. Obliczono równania regresji opisujące zależności pomiędzy badanymi cechami a wilgotnością surowca.

Wyniki badań

Równania regresji zależności badanych cech od wilgotności w podano w tabeli 1, a interpretację graficzną przedstawiono na rys. 1-5.

Tabela 1. Równania regresji opisujące zależności $\rho_c, \rho_a, \rho_{a1}, L_c, k_c, S_{zm}, S_{za}, S_{ra}$ i σ_n od wilgotności materiału w i wartości współczynnika determinacji R^2

Table 1. Regression equations describing dependences of $\rho_c, \rho_a, \rho_{a1}, L_c, k_c, S_{zm}, S_{za}, S_{ra}$ and σ_n on material humidity w and the value of determination coefficient R^2

Materiał	Cecha	Równanie regresji	R^2
Wióry sosnowe	gęstość materiału w komorze, ρ_c	$\rho_c = 0,0046w + 1,58$	0,639
	gęstość aglomeratu, ρ_a	$\rho_a = -0,0019w^2 + 0,045w + 0,741$	0,919
	gęstość aglomeratu po 48 h., ρ_{a1}	$\rho_{a1} = -0,0048w^2 + 0,123w + 0,037$	0,846
	praca zagęszczania, L_c	$L_c = -0,046w^2 + 0,048w + 67,46$	0,917
	współczynnik, k_c	$k_c = -0,01w^2 - 0,179w + 24,029$	0,958
	stopień zagęszczenia mat., S_{zm}	$S_{zm} = -0,015w^2 + 0,464w + 8,75$	0,814
	stopień zagęszczenia agl., S_{za}	$S_{za} = -0,038w^2 + 0,981w - 0,231$	0,915
	stopień rozprężenia agl., S_{ra}	$S_{ra} = -0,0028w^2 + 0,07w + 0,063$	0,912
Wióry topolowe	odporność mechaniczna, σ_n	$\sigma_n = -0,0056w^2 + 0,141w - 0,396$	0,935
	gęstość materiału w komorze, ρ_c	$\rho_c = 0,0091w + 1,5546$	0,875
	gęstość aglomeratu, ρ_a	$\rho_a = -0,0016w^2 + 0,018w + 0,889$	0,941
	gęstość aglomeratu po 48 h., ρ_{a1}	$\rho_{a1} = -0,002w^2 + 0,014w + 0,783$	0,956
	praca zagęszczania, L_c	$L_c = -0,078w^2 + 0,636w + 63,31$	0,958
	współczynnik, k_c	$k_c = -0,0236w^2 + 0,055w + 22,28$	0,964
	stopień zagęszczenia mat., S_{zm}	$S_{zm} = -0,0159w^2 + 0,447w + 9,346$	0,740
	stopień zagęszczenia agl., S_{za}	$S_{za} = -0,0179w^2 + 0,189w + 5,277$	0,973
Wióry topolowe	stopień rozprężenia agl., S_{ra}	$S_{ra} = -0,0009w^2 - 0,002w + 0,542$	0,974
	odporność mechaniczna, σ_n	$\sigma_n = -0,0003w^2 - 0,016w + 0,461$	0,974

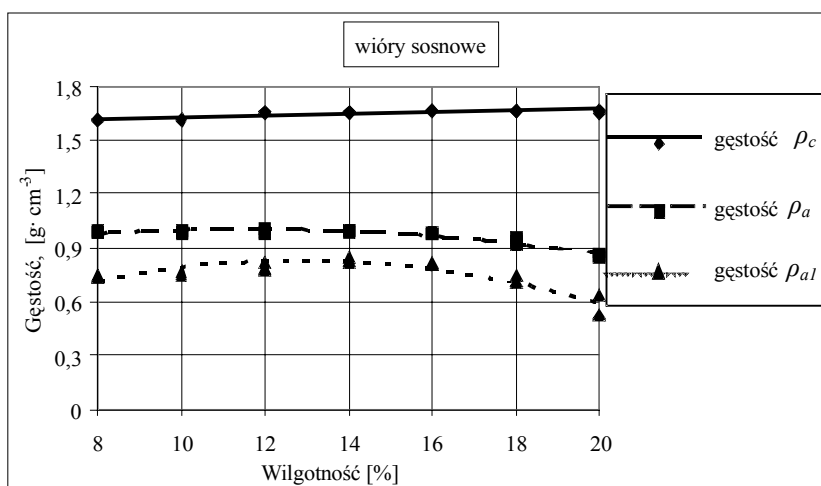
Źródło: obliczenia własne autorów

Stwierdzono, że wraz ze wzrostem wilgotności zwiększa się maksymalna gęstość badanych materiałów w komorze ρ_c i w większości przypadków maleje gęstość aglomeratu ρ_a i ρ_{a1} (tab. 1, rys. 1), co spowodowane jest przypuszczalnie zwiększeniem plastyczności materiału. Wyższe wartości gęstości aglomeratu uzyskano dla wiórów sosnowych, dla których gęstość ρ_{a1} była największa dla wilgotności 14% i wynosiła $0,82 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Dla wiórów z topoli występuje zmniejszenie gęstości aglomeratu ρ_a i ρ_{a1} ze zwiększeniem wilgotności.

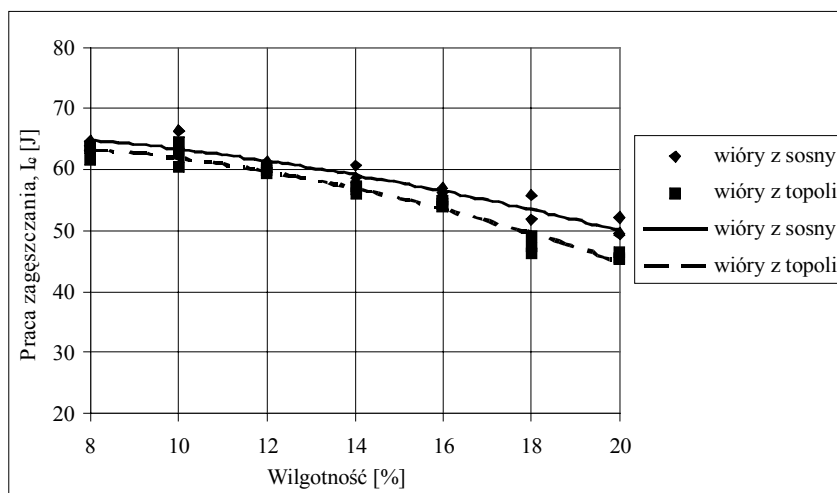
Wraz ze zwiększeniem wilgotności maleją nakłady pracy na zagęszczanie L_c (rys. 2). Wartość całkowitej pracy zagęszczania odniesiona do masy próbki zawiera się dla obu surowców w przedziale od $32,5 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ do $22,5 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$. Wyższe wartości pracy zagęszczania L_c uzyskano dla wiórów sosnowych.

Wzrost wilgotności polepsza podatność materiału na aglomerowanie, gdyż współczynnik k_c maleje wraz ze wzrostem wilgotności (rys. 3). Współczynnik k_c dla badanych surowców zawiera się w przedziale od $23 \text{ J}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-2}$ do $14 \text{ J}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-2}$. Największą wartość k_c

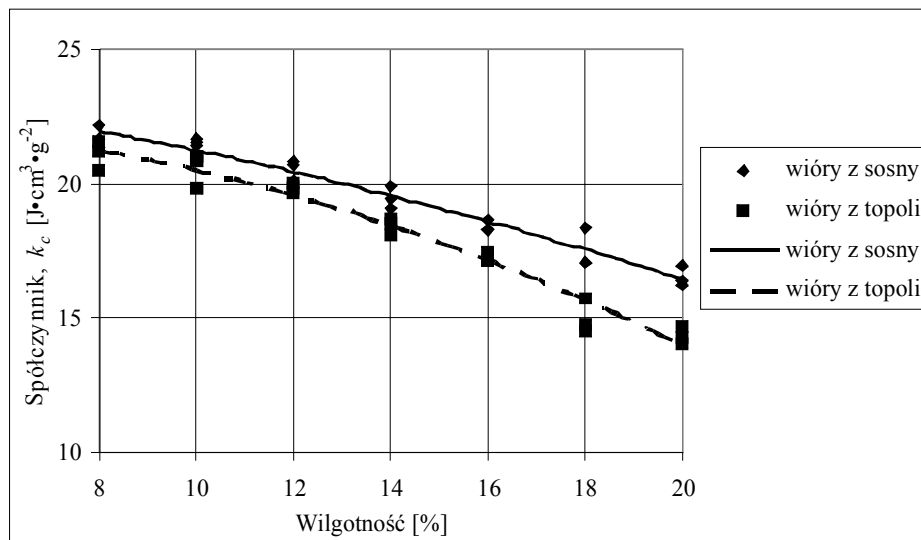
uzyskano dla wiórów o wilgotności 8%, natomiast najmniejszą o wilgotności 20%. Podobnie jak dla pracy zagęszczania wyższe wartości współczynnika k_c uzyskano dla wiórów sosnowych. Większą podatnością na zagęszczanie cechują się więc wióry z topoli.



Rys. 1. Zależność gęstości surowca w komorze (ρ_c), aglomeratu (ρ_a) i aglomeratu po 48 h. przechowywania (ρ_{a1}) od wilgotności materiału (w) (wióry sosnowe)
 Fig. 1. The relationship between the density of raw material in the chamber (ρ_c), the agglomerate (ρ_a) and the agglomerate after 48 h of storage (ρ_{a1}), and material humidity (w) (pine chips)



Rys. 2. Zależność całkowitej pracy zagęszczania (L_c) od wilgotności materiału (w)
 Fig. 2. The relationship between total compaction work (L_c) and material humidity (w)



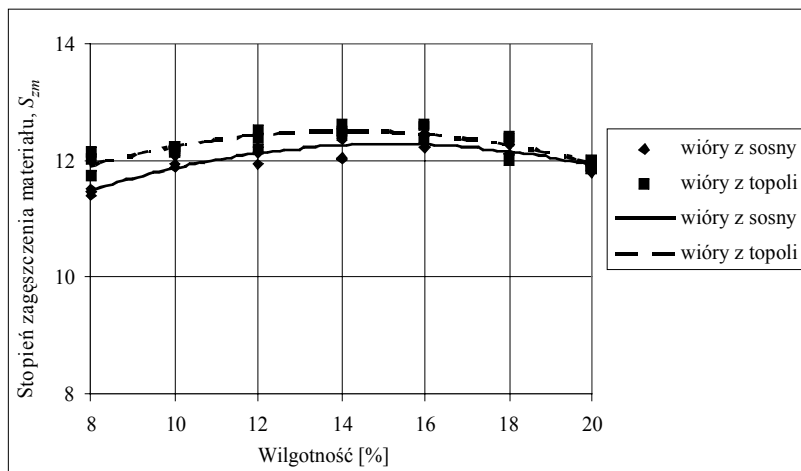
Rys. 3. Zależność współczynnika podatności na zagęszczanie (k_c) od wilgotności materiału (w)
 Fig. 3. The relationship between compaction susceptibility coefficient (k_c) and material humidity (w)

Stopień zagęszczenia materiału w komorze S_{zm} i aglomeratu S_{za} charakteryzują zmianę gęstości materiału w procesie zagęszczania oraz gęstości aglomeratu po wyjęciu z matrycy i rozprężeniu w ciągu 48 godz. przechowywania w stosunku do gęstości początkowej materiału. Jak wynika z rys. 4 nieznacznie zmienia się S_{zm} , a maksymalna gęstość surowca w komorze (ρ_c) jest około 12 razy większa od gęstości początkowej materiału. Natomiast gęstość aglomeratu po przechowywaniu jest większa od gęstości początkowej od około 6 do 2 razy. Wraz ze wzrostem wilgotności stopień zagęszczenia aglomeratu S_{za} wiórów z topoli maleje w całym zakresie wilgotności. Natomiast dla wiórów sosnowych stopień zagęszczenia aglomeratu S_{za} jest największy dla wilgotności tego materiału 14%.

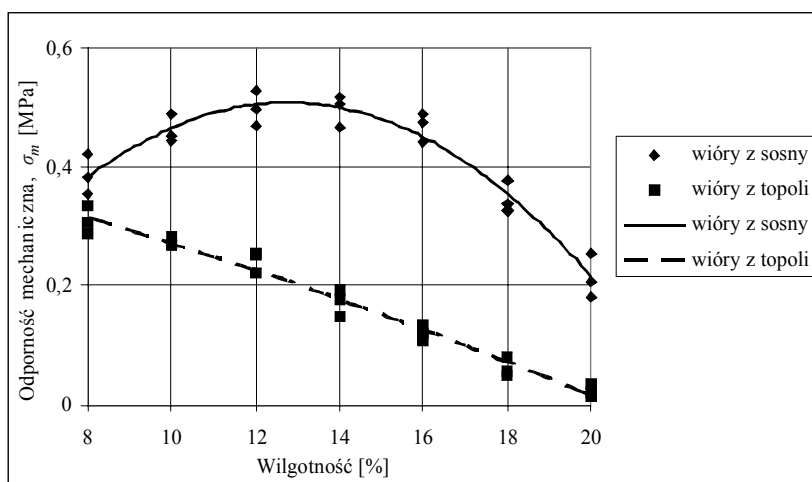
Podobne zmiany jak dla stopnia zagęszczenia S_{za} obserwuje się dla stopnia rozprężenia aglomeratu S_{ra} (tab. 1). Z zależności tych wynika, że wzrost wilgotności powoduje zwiększenie rozprężenia aglomeratu po wyjęciu z matrycy. Mniejsze rozprężenie wykazują aglomeraty z wiórów sosnowych.

Badania wytrzymałości aglomeratu wykazały, że wyższą odpornością mechaniczną σ_n cechują się aglomeraty wytworzone z wiórów sosnowych (rys. 5).

Największą wytrzymałość uzyskano dla aglomeratu z wiórów sosnowych o wilgotności około 13% ($\sigma_n \approx 0,5$ MPa). Ze wzrostem wilgotności wiórów z topoli uzyskuje się aglomeraty o mniejszej wytrzymałości (maleje odporność mechaniczna od 0,3 MPa do 0,015 MPa).



Rys. 4. Zależność stopnia zagęszczenia materiału (S_{zm}) od wilgotności materiału (w)
 Fig. 4. The relationship between material compaction degree (S_{zm}) and material humidity (w)



Rys. 5. Zależność odporności mechanicznej (σ_n) od wilgotności materiału (w)
 Fig. 5. The relationship between mechanical resistance (σ_n) and material humidity (w)

Przeprowadzone badania wiórów sosnowych i topolowych potwierdziły tendencje do zmiany parametrów brykietowania i wytrzymałości mechanicznej aglomeratu w zależności od wilgotności, które przedstawiono w innych opracowaniach dla różnych surowców paszowych i energetycznych [Laskowski i in. 2005; Laskowski i Skonecki 1997; Skonecki i Potręć 2008 a, b; 2010].

Wnioski

Wyniki eksperymentu wykazały, że wilgotność przyjętej do badań biomasy roślinnej odgrywa istotną rolę podczas brykietowania oraz ma znaczny wpływ na wytrzymałość mechaniczną uzyskanego aglomeratu. Zwiększenie wilgotności materiału wywołuje:

- zwiększenie maksymalnej gęstości surowca w komorze (ρ_c),
- zwiększenie rozprężenia aglomeratu, co powoduje spadek wytrzymałości (odporności mechanicznej (σ_n)) aglomeratu,
- zmniejszenie energochłonności procesu - całkowitej pracy zagęszczania (L_c),
- polepszenie podatności materiału na zagęszczanie, o czym świadczy mniejsza wartość współczynnika k_c .

Bibliografia

- Adamczyk F., Frąckowiak P., Mielec K., Kośmicki Z.** 2005. Problematyka badawcza w procesie zagęszczania słomy przeznaczonej na opał. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering*. 50(4). s. 5-8.
- Adamczyk F., Frąckowiak P., Mielec K., Kośmicki Z., Zielnica M.** 2006. Badania eksperymentalne procesu zagęszczania słomy metodą zwijania. *Journal of Research and Application in Agricultural Engineering*. 51(3). s. 5-10.
- Adapa P., Tabil L., Schoenau G.** 2009. Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw. *Biosystems Engineering*. 104. s. 335-344.
- Fell J. T., Newton J. M.** 1970. Determination of tablet strength by the diametral compression test. *J. Pharm. Sci.* 59 (5). s. 688-691.
- Hejft R.** 2002. Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Politechnika Białostocka, Wyd. i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu. ISBN 8372042519.
- Kaliyan N., Morey R.V.** 2009. Densification characteristics of corn stover and switchgrass. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 52(3). s. 907-920.
- Laskowski J., Lysiak G., Skonecki S.** 2005. Mechanical properties of granular agro-materials and food powders for industrial practice. Part II. Material properties in grinding and agglomeration. Centre of Excellence for Applied Physics in Sustainable Agriculture AGROPHYSICS, Institute of Agrophysics PAS, Lublin. ISBN 83-89969-35-1.
- Laskowski J., Skonecki S.** 1997. Influence of moisture on the physical properties and parameters of the compression process of legumes' seeds. *Int. Agrophysics*. 11. s. 245-256.
- Laskowski J., Skonecki S.** 2001. Badania procesów aglomerowania surowców paszowych – aspekt metodyczny. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 2(22). s. 187-193.
- Li Y., Wu D., Zhang J., Chang L., Wu D., Fang Z., Shi Y.** 2000. Measurement and statistics of single pellet mechanical strength of differently shaped catalysts. *Powder Technology*. 113. s. 176-184.
- Mani S., Tabil L.G., Sokhansanj S.** 2006. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*. 30(7). s. 648-654.
- Obernberger I., Thek G.** 2004. Physical characterization and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behavior. *Biomass and Bioenergy*. 27(6). s. 653-669.
- Ruiz G., Ortiz M., Pandolfi A.** 2000. Three-dimensional finite-element simulation of the dynamic Brazilian tests on concrete cylinders. *Int. J. Numer. Meth. Engng*. 48. s. 963-994.

- Skonecki S., Laskowski J.** 2010. Wpływ wilgotności śruty zbożowej na proces wyłaczania. *Acta Agrophysica*. 15(1). s. 155-165.
- Skonecki S., Potręć M.** 2008a. Wpływ wilgotności łusek kolb kukurydzy na parametry zagęszczania. *Acta Agrophysica*. 11 (3). s. 725-732.
- Skonecki S., Potręć M.** 2008b. Wpływ wilgotności słomy owsianej na podatność na zagęszczanie. Rozdział nr 9 w Monografii pod redakcją B. Dobrzańskiego, A. Rutkowskiego i R. Rybczyńskiego „Właściwości fizyczne i biochemiczne materiałów roślinnych”. Wyd. Nauk. FRNA, Komitet Agrofizyki PAN, Lublin. s. 147-156. ISBN-13: 978-83-60489-09-3.
- Skonecki S., Potręć M.** 2010. Wpływ wilgotności na ciśnieniowe zagęszczanie biomasy roślinnej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*. z. 546. s. 341-346.

THE INFLUENCE OF PINE AND POPLAR WOOD CHIPS HUMIDITY ON BRIQUETTING PARAMETERS

Abstract. The work presents the results of the research on determining the influence of wood waste (pine and poplar chips) humidity on the briquetting process, material susceptibility to compaction, and agglomerate mechanical resistance (strength). Material briquetting was carried out on a Zwick testing machine, type ZO2O/TN2S, using a pressing unit with closed die. The humidity of raw materials ranged from 8% to 20%. The obtained results have proven that the increase in humidity results in the reduced agglomerate density and compaction work, increasing the agglomerate decompression, the improvement of material susceptibility to compaction, and quality deterioration of agglomerates as regards their strength.

Key words: briquetting parameters, humidity, wood wastes, pine and poplar chips

Adres do korespondencji:

Stanisław Skonecki; e-mail: stanislaw.skonecki@up.lublin.pl
Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Doświadczalna 44
20-236 Lublin-Felin