

CIŚNIENIOWE ZAGĘSZCZANIE TROCIN SOSNOWYCH I TOPOŁOWYCH – PARAMETRY PROCESU I JAKOŚĆ AGLOMERATU

Stanisław Skonecki, Ryszard Kulig, Milena Potręć

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin
e-mail: stanislaw.skonecki@up.lublin.pl

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań parametrów ciśnieniowego zagęszczania, podatności surowca na zagęszczanie oraz wytrzymałości mechanicznej aglomeratu trocin sosnowych i topolowych. Określono wpływ wilgotności materiału na cechy zagęszczania. Wilgotność materiału wynosiła od 8% do 20%. Do badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową ZWICK typ ZO2O/TN25 i zespół prasujący z matrycą zamkniętą. Maksymalny nacisk jednostkowy wynosił 114 MPa, a prędkość przemieszczania tłoka $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Do analizy przyjęto następujące parametry: gęstość materiału w komorze, pracę zagęszczania, współczynnik podatności materiału na zagęszczanie, stopień zagęszczenia i rozprężenia aglomeratu oraz gęstość i odporność mechaniczną aglomeratu. Stwierdzono, że ze zwiększeniem wilgotności maleje gęstość aglomeratu oraz praca zagęszczania. Wzrost wilgotności polepsza podatność trocin do aglomerowania oraz pogarsza jakość aglomeratów pod względem ich wytrzymałości.

Słowa kluczowe. parametry zagęszczania, wilgotność, trociny sosnowe i topolowe

WSTĘP

Bilans energetyczny Polski przewiduje, że w 2015 roku 10-11% zużywanego energii będzie pochodziło ze źródeł odnawialnych, w tym z biomasy roślinnej (Kalembasa 2006). Udział biomasy w strukturze wytworzonej energii pierwotnej z odnawialnych źródeł energii (OZE) wynosi w Polsce ponad 92%. Energetyczne wykorzystanie biomasy jest możliwe poprzez spalanie, gazyfikację i pirolizę. Rozwój tego sektora następował będzie głównie w oparciu o biopaliwa stałe z biomasy roślinnej. Biomasa jako paliwo stałe stosowana jest w elektroenergetyce i ciepłownictwie, w tym w energetyce zawodowej, do ogrzewania mieszkań, budynków inwentarskich w gospodarstwach rolnych, jak i kotłowniach komunalnych (Dreszer i in. 2003, Gradziuk i Kościak 2007).

Biomasa roślinna to głównie produkty pochodzące z rolnictwa (słoma, siano), uprawy traw i drzew, odpady przemysłu spożywczego, odpady drzewne w leśnictwie, przemyśle drzewnym (zrębki, wióry, trociny, kora). Surowce te w porównaniu z innymi nośnikami energii, ze względu na małą gęstość oraz niską wartość opałową odniesioną do jednostki objętości, są dość uciążliwym materiałem energetycznym i dlatego też powinny być przetworzone w procesie ciśnieniowego zagęszczania do paliwa w postaci brykietu lub peletu (Adamczyk i in. 2005, Gradziuk i Kościk 2007, Grzybek 2003, Piotrowski i in. 2004, Stolarski i Szczukowski 2007). Ważnym zagadnieniem jest określenie przebiegu zagęszczania i jakości produktu.

Badania procesu ciśnieniowego zagęszczania w skali laboratoryjnej prowadzone są przy wykorzystaniu układu roboczego „komora zamknięta - tłok zagęszczający”. Umożliwiają one określenie parametrów w tym energochłonności zagęszczania i podatności materiału na zagęszczanie. Badania własne i innych autorów wykazały, że przebieg procesu i uzyskanie produktu o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej zależy od właściwości fizycznych i chemicznych surowca (Adapa i in. 2009, Hejft 2002, Kaliyan i Morey 2009, Kulig i Laskowski 2005, Laskowski i in. 2005, Laskowski i Skonecki 1999, Mani i in. 2006, Skonecki i in. 2003, Skonecki i Laskowski 2010).

Istotnym czynnikiem wpływającym na zagęszczanie biomasy roślinnej jest wilgotność. Badania w tym zakresie przedstawiono dla łusek kolb kukurydzy, słomy owsianej i pszennej, biomasy łąkowej (trawy turzycowe) oraz miskanta olbrzymiego w pracach (Skonecki 2010, Skonecki i Potręć 2008a, 2008b, 2010).

Niniejsza praca jest kontynuacją tych badań i jej celem jest określenie wpływu wilgotności na parametry charakteryzujące proces ciśnieniowego zagęszczania biomasy roślinnej – odpadów drzewnych.

MATERIAŁ I METODY

Do badań przyjęto trociny sosnowe i topolowe pochodzące z prywatnego tartaku. Dla próbek materiału o wilgotności 12% (+/-0,2%) określono podstawowe właściwości fizyczne: gęstość w stanie zsypanym, skład granulometryczny i średni wymiar cząstek. Wilgotność wyznaczono metodą suszarkową zgodnie z PN-ISO 712:2002.

Gęstość w stanie zsypanym (oznaczona zgodnie z PN-ISO 7971-2:1998 przy wykorzystaniu gęstościomierza zbożowego RP T 01 77 o objętości 1 dm³) wynosiła dla trocin: z sosny 0,159 g·cm⁻³, z topoli 0,081 g·cm⁻³.

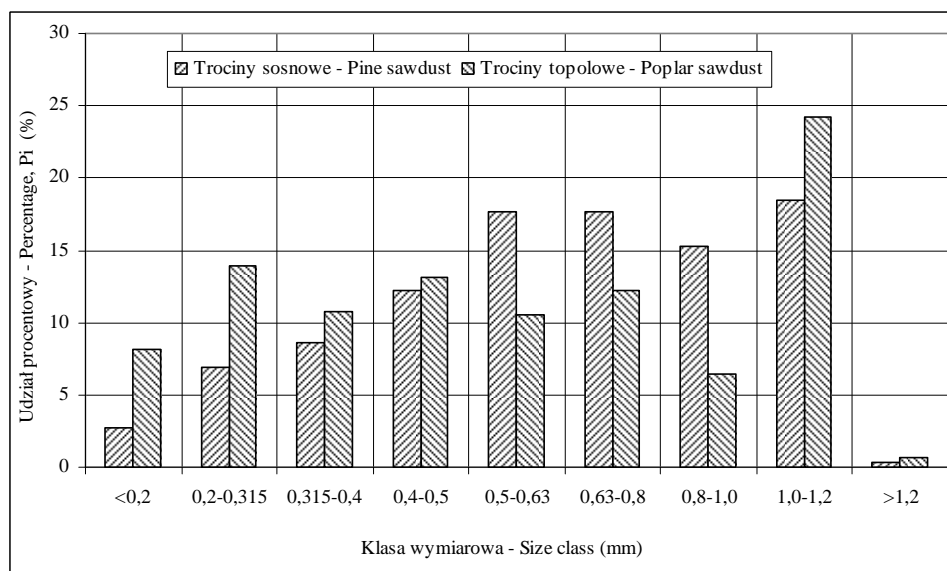
Pomiary składu granulometrycznego wykonano zgodnie z PN-89/R-64798 przy wykorzystaniu laboratoryjnego przesiewacza SASKIA Thyr 2 i zestawu sit o wymiarach oczek: 0,2; 0,315; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,2 mm. Próbkę o masie

100 g przesiewano na zestawie sit przez 5 minut. Każdą klasę wymiarową ważono na wadze WPE 300 z dokładnością do $\pm 10^{-2}$ g. Na podstawie wyników składu granulometrycznego obliczono średni wymiar cząstek d_c ze wzoru:

$$d_c = \frac{\sum_{i=1}^{i=n+1} h_i \cdot P_i}{100} \quad (1)$$

gdzie: h_i – średni wymiar otworów dwóch sąsiednich sit, mm; P_i – pozostałości cząstek zatrzymanych na danym sicie, %; n – liczba stosowanych sit.

Skład granulometryczny badanych trocin przedstawiono na rysunku 1. Z rysunku tego wynika, że najliczniejszą frakcją stanowią cząstki należące do klasy wymiarowej 1,0-1,2 mm. Dla tej frakcji procentowy udział wynosi 18,5% dla trocin sosnowych i 24,3% dla trocin topolowych. Najmniej w badanych trocinach jest cząstek o wielkości powyżej 1,2 mm (udział procentowy dla tej klasy wymiarowej wynosi 0,4% dla trocin sosnowych, 0,7% dla trocin topolowych).



Rys. 1. Udział procentowy (P_i) poszczególnych frakcji badanych surowców
Fig. 1. Particle size distribution (P_i) of studied raw materials

Obliczony średni wymiar cząstek badanych surowców przedstawia się następująco: trocin sosnowe $d_c = 0,68$ mm, trocin topolowe $d_c = 0,63$ mm.

Badania ciśnieniowego zagęszczenia przeprowadzono dla próbek trocin o wilgotności od 8% do 20% (co 2% $\pm 0,2\%$). Wilgotność materiału osiągnęto poprzez suszenie lub dodanie wymaganej ilości wody do próbek o znanej masie

i wilgotności. Przygotowane próbki do badań przechowywano przez 48 godzin w szczelnie zamkniętych pojemnikach.

Do badań zagęszczania wykorzystano, tak jak w pracach (Skonecki 2010, Skonecki i Potręć 2008a, 2008b, 2010), maszynę wytrzymałościową Zwick Z020/TN2S oraz zespół prasujący z matrycą zamkniętą o średnicy cylindra (komory zagęszczania) 15 mm. Warunki badań były następujące: masa próbki materiału 2 g, temperatura cylindra (materiału zagęszczanego) 20°C, prędkość przemieszczenia tłoka 10 mm·min⁻¹, maksymalny nacisk jednostkowy tłoka 114 MPa. Zagęszczanie prowadzono każdorazowo w trzech powtórzeniach.

Efektom pomiaru jest krzywa (charakterystyka) zagęszczania - zależność siły zagęszczania od przemieszczenia tłoka (Laskowski i Skonecki 2001, Skonecki 2010, Skonecki i Potręć 2008 a, b). Na podstawie danych z charakterystycznych punktów krzywej (Laskowski i Skonecki 2001) wyznaczono: maksymalną gęstość materiału w komorze ρ_c , całkowitą pracę zagęszczania L_c . Obliczono współczynnik podatności materiału na zagęszczanie k_c :

$$k_c = \frac{L_c}{m \cdot (\rho_c - \rho_n)} \quad (2)$$

gdzie: m – masy próbki materiału, ρ_n – gęstość początkowa materiału w komorze w stanie zsypanym.

Dla otrzymanego aglomeratu określono gęstość bezpośrednio po wyjęciu z komory ρ_a i po 48 godzinach przechowywania ρ_{a1} .

Wyznaczono następnie wytrzymałość (odporność) mechaniczną aglomeratu σ_m , określoną w teście ściskania „brazylijskim” (Li i in. 2000, Ruiz i in. 2000). Badania wykonano na maszynie wytrzymałościowej ZWICK Z020/TN2S (prędkość głowicy ruchomej wynosiła 10 mm·min⁻¹). Aglomerat o średnicy d i długości l ściskano między płaskimi płytami poprzecznie do osi do momentu zniszczenia (pęknięcia) i wyznaczono maksymalną siłę niszczącą F_n . Odporność mechaniczną σ_m obliczono ze wzoru (Fell i Newton 1970, Li i in. 2000, Ruiz i in. 2000, Skonecki i Laskowski 2010, Skonecki i Potręć 2010):

$$\sigma_m = \frac{2 \cdot F_n}{\pi \cdot d \cdot l} \quad (3)$$

Ponadto określono stopień zagęszczenia materiału w komorze S_{zm} i uzyskanego aglomeratu S_{za} , obliczany odpowiednio jako iloraz gęstości ρ_c i ρ_{a1} do gęstości początkowej w komorze ρ_n ($S_{zm} = \rho_c \cdot \rho_n^{-1}$, $S_{za} = \rho_{a1} \cdot \rho_n^{-1}$). Dla oceny spadku gęstości aglomeratu w wyniku ekspansji zwrotnej obliczono stopień rozprężenia aglomeratu S_{ra} jako iloraz gęstości ρ_{a1} i ρ_c ($S_{ra} = \rho_{a1} \cdot \rho_c^{-1}$).

Dokonano analizy statystycznej wyników badań. Obliczono, przy wykorzystaniu programu StatSoft, Inc. (2007), STATISTICA (data analysis software system) version 8.0, zależności pomiędzy cechami zagęszczania a wilgotnością (w) materiału. Wykresy tych zależności wykonano także za pomocą programu STATISTICA.

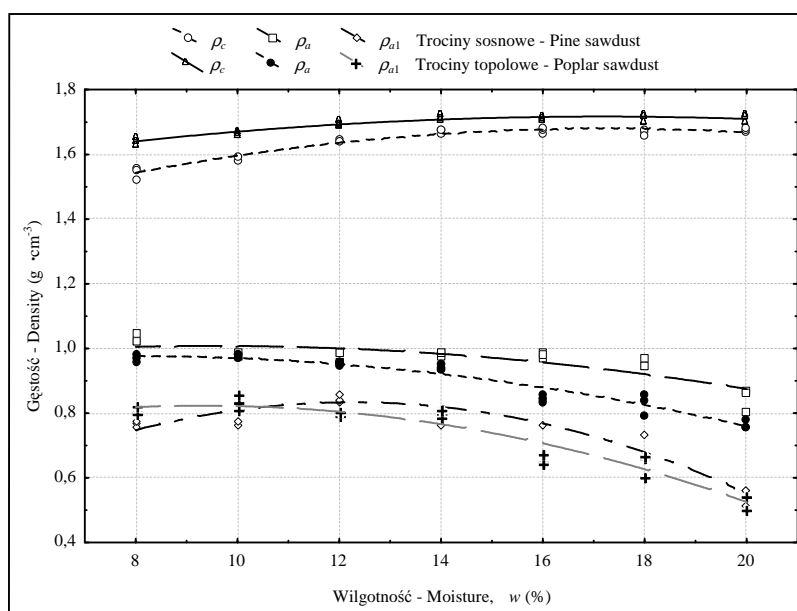
WYNIKI

Równania regresji opisujące zależności badanych cech zagęszczania od wilgotności materiału podano w tabeli 1. Analiza regresji wykazała, że zależności mogą być opisane wielomianem drugiego stopnia lub równaniem liniowym. Zależności te przedstawiono na rysunkach 2-5.

Gęstość surowca w komorze i aglomeratu

Z rysunku 2 i równań regresji (tab. 1) wynika, że wraz ze wzrostem wilgotności materiału w zwiększa się maksymalna gęstość badanych materiałów w komorze ρ_c i w większości przypadków maleje gęstość aglomeratu ρ_a i ρ_{a1} .

Zakres zmienności maksymalnej gęstości trocin w komorze ρ_c wyniósł od $1,55 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ do $1,72 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Największą gęstość ρ_c uzyskano dla trocin topolowych, która wynosiła od $1,64 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (dla $w = 8\%$) do $1,72 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (dla $w = 20\%$) (rys. 2).



Rys. 2. Zależność gęstości materiału w komorze (ρ_c), aglomeratu (ρ_a) i aglomeratu po 48 h. (ρ_{a1}) od wilgotności materiału (w)

Fig. 2. Relation of density of the material in the chamber (ρ_c), agglomerate (ρ_a) and agglomerate after 48 h. (ρ_{a1}) to material moisture (w)

Tabela 1. Równania regresji opisujące zależności gęstości ρ_c , ρ_a , ρ_{a1} , pracy L_c , współczynnika k_c , stopnia zagęszczenia S_{zm} i S_{za} , stopnia rozprężenia S_{ra} oraz odporności mechanicznej σ_m od wilgotności w surowca i wartości współczynnika determinacji R^2

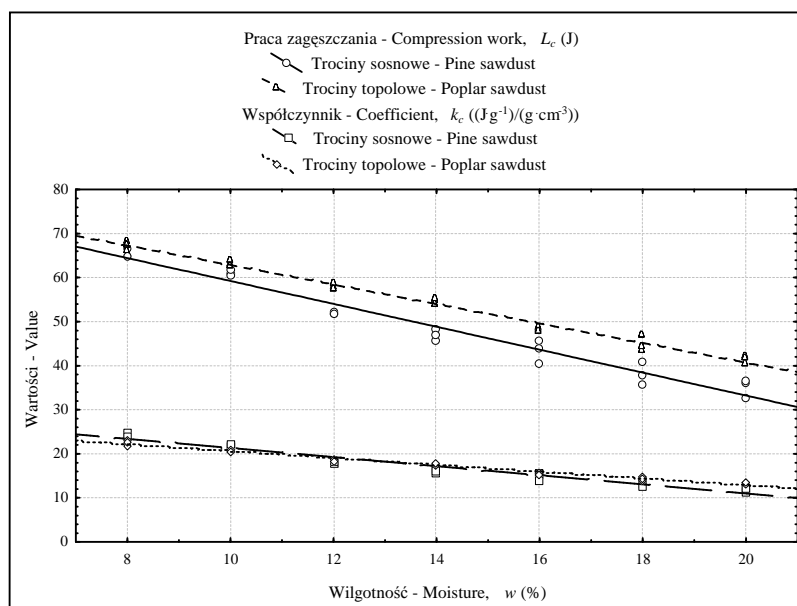
Table 1. Regression equations describing the relations of density ρ_c , ρ_a , ρ_{a1} , work L_c , coefficient k_c , degree of compaction S_{zm} and S_{za} , degree of expansion S_{ra} , and mechanical strength σ_m to the material moisture w and the values of determination coefficients R^2

Surowiec Material	Cecha Feature	Równanie regresji Regression equation	R^2
Trociny sosnowe Pine sawdust	Gęstość materiału w komorze Density of material in the chamber, ρ_c	$\rho_c = -0,0016w^2 + 0,055w + 1,205$	0,942
	Gęstość aglomeratu Density of agglomerate, ρ_a	$\rho_a = -0,0012w^2 + 0,023w + 0,898$	0,723
	Gęstość aglomeratu po 48 h. Density of agglomerate after 48 h., ρ_{a1}	$\rho_{a1} = -0,0047w^2 + 0,116w + 0,124$	0,855
	Praca zagęszczania Compression work, L_c	$L_c = -2,601w + 85,26$	0,961
	Współczynnik podatności na zagęszczenie Coefficient of susceptibility to compaction, k_c	$k_c = -1,032w + 31,66$	0,948
	Stopień zagęszczenia materiału Degree of compaction of material, S_{zm}	$S_{zm} = -0,011w + 8,01$	0,017
	Stopień zagęszczenia aglomeratu Degree of compaction of agglomerate, S_{za}	$S_{za} = -0,017w^2 + 0,366w + 2,031$	0,857
	Stopień rozprężenia aglomeratu Degree of expansion of agglomerate, S_{ra}	$S_{ra} = -0,001w^2 + 0,013w + 0,468$	0,854
	Odporność mechaniczna aglomeratu Agglomerate mechanical strength, σ_m	$\sigma_m = -0,016w + 0,354$	0,942
	Trociny topolowe Poplar sawdust	Gęstość materiału w komorze Density of material in the chamber, ρ_c	$\rho_c = -0,0009w^2 + 0,031w + 1,449$
Gęstość aglomeratu Density of agglomerate, ρ_a		$\rho_a = -0,0015w^2 + 0,023w + 0,887$	0,932
Gęstość aglomeratu po 48 h. Density of agglomerate after 48 h., ρ_{a1}		$\rho_{a1} = -0,0026w^2 + 0,049w + 0,596$	0,924
Praca zagęszczania Compression work, L_c		$L_c = -2,213w + 84,98$	0,987
Współczynnik podatności na zagęszczenie Coefficient of susceptibility to compaction, k_c		$k_c = -0,771w + 28,29$	0,984
Stopień zagęszczenia materiału Degree of compaction of material, S_{zm}		$S_{zm} = -0,073w + 12,51$	0,342
Stopień zagęszczenia aglomeratu Degree of compaction of agglomerate, S_{za}		$S_{za} = -0,013w^2 + 0,138w + 5,674$	0,934
Stopień rozprężenia aglomeratu Degree of expansion of agglomerate, S_{ra}		$S_{ra} = -0,0005w^2 + 0,0003w + 0,501$	0,887
Odporność mechaniczna aglomeratu Agglomerate mechanical strength, σ_m		$\sigma_m = -0,0351w + 0,823$	0,971

Po wyjęciu z komory i po 48 h przechowywania brykiety trocin uległy swobodnemu rozprężeniu i ich gęstości ρ_a oraz ρ_{a1} maleją (rys. 2). Większe rozprężenie występuje w przypadku brykietów wytworzonych z trocin topolowych, dla których gęstości ρ_a i ρ_{a1} są mniejsze niż dla trocin sosnowych. Najwyższą wartość gęstości aglomeratu po przechowywaniu $\rho_{a1} = 0,84 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ uzyskano dla trocin sosnowych o wilgotności $w = 12\%$. Natomiast najmniejszą gęstość wykazuje aglomerat z trocin topolowych o $w = 20\%$ ($\rho_{a1} = 0,52 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

Praca zagęszczania i podatność materiału na zagęszczanie

Zwiększenie wilgotności (w) powoduje, że materiał staje się bardziej plastyczny i następuje polepszenie jego podatności na zagęszczanie. Informuje o tym zmniejszenie (wraz ze wzrostem wilgotności w) pracy zagęszczania L_c i współczynnika podatności na zagęszczanie k_c (rys. 3). Równania liniowe (tab. 1) dobrze opisują te zależności, współczynnik determinacji R^2 jest wyższy od 0,94.



Rys. 3. Zależność pracy zagęszczania (L_c) i współczynnika podatności na zagęszczanie (k_c) od wilgotności materiału (w)

Fig. 3. Compression work (L_c) and coefficient of susceptibility to compaction (k_c) in relation to material moisture (w)

Wartość całkowitej pracy zagęszczania L_c zawiera się dla badanych surowców w przedziale od 67 J do 33 J w zakresie wilgotności od 8% do 20% (rys. 3).

Wartości tej pracy są większe dla trocin topolowych i wynoszą od 67 J dla $w = 8\%$ do 40 J dla $w = 20\%$. Dla trocin sosnowych praca zagęszczania maleje od 65 J ($w = 8\%$) do 33 J ($w = 20\%$).

Podobnie jak praca zagęszczania zmienia się współczynnik podatności materiału na zagęszczanie k_c (rys. 3). Dla badanych trocin współczynnik k_c zawiera się w przedziale od $24,5 \text{ (J}\cdot\text{g}^{-1})\cdot\text{(g}\cdot\text{cm}^{-3})^{-1}$ (dla $w = 8\%$) do $11,2 \text{ (J}\cdot\text{g}^{-1})\cdot\text{(g}\cdot\text{cm}^{-3})^{-1}$ (dla $w = 20\%$). Najmniejszą wartość k_c uzyskano dla trocin sosnowych o wilgotności 20%. Większą podatnością na zagęszczanie cechują się więc trociny z sosny o wyższej wilgotności.

Stopień zagęszczenia i rozprężenia aglomeratu

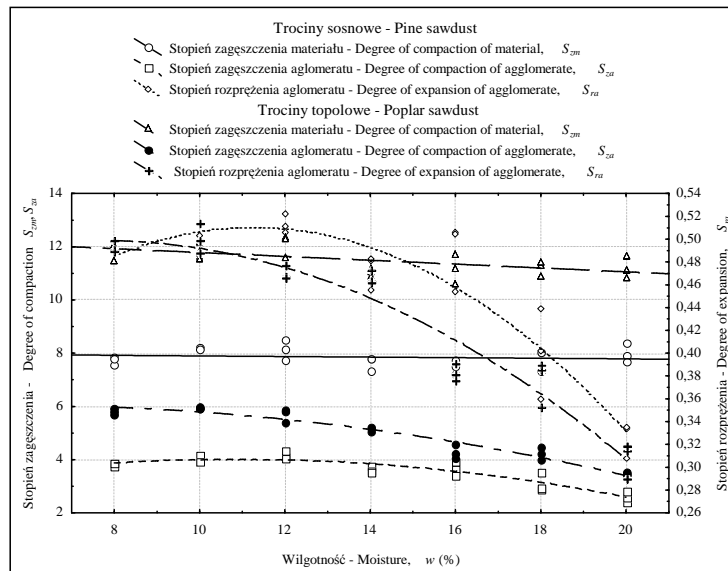
Wartości stopnia zagęszczenia materiału w komorze S_{zm} i aglomeratu S_{za} informują o wielkości zmiany gęstości materiału w procesie zagęszczania oraz gęstości aglomeratu po wyjęciu z matrycy i po rozprężeniu w ciągu 48 h. przechowywania w stosunku do gęstości początkowej materiału. Stopień rozprężenia aglomeratu S_{ra} charakteryzuje natomiast wielkość zmiany gęstości aglomeratu po przechowywaniu w stosunku do maksymalnej gęstości aglomeratu w komorze.

Jak wynika z rysunku 4 stopień zagęszczenia materiału w komorze S_{zm} nieznacznie zmienia się w zależności od wilgotności materiału. Dla trocin sosnowych maksymalna gęstość surowca w komorze (ρ_c) jest około 8 razy większa od gęstości początkowej materiału. Trociny topolowe charakteryzują się większym stopniem zagęszczenia S_{zm} , a maksymalna gęstość materiału w komorze (ρ_c) jest od 12 (dla $w = 8\%$) do 11,5 (dla $w = 20\%$) razy większa od gęstości początkowej materiału. Natomiast z wartości stopnia zagęszczenia aglomeratu S_{za} (rys. 4) wynika, że gęstość aglomeratu po przechowywaniu badanych trocin jest większa od gęstości początkowej od około 6 razy (trociny topolowe o $w = 8\%$) do około 2,5 razy (trociny sosnowe o $w = 20\%$). Większy stopień zagęszczenia S_{za} uzyskują aglomeraty trocin topolowych.

Wraz ze wzrostem wilgotności maleje stopień zagęszczenia aglomeratu S_{za} badanych surowców. Również obserwuje się, że ze zwiększeniem wilgotności następuje spadek stopnia rozprężenia aglomeratu S_{ra} od 0,52 do 0,32 (rys. 4).

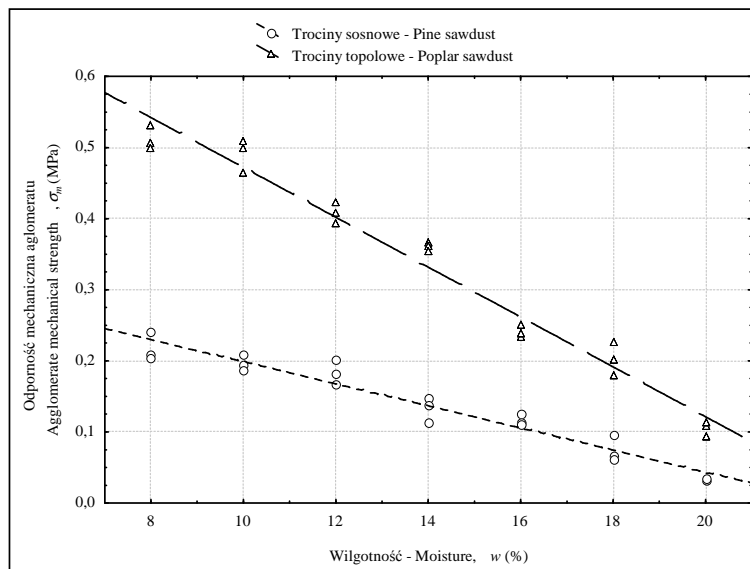
Wytrzymałość aglomeratu

Badania odporności mechanicznej aglomeratu (σ_m) wykazały, że ze zwiększeniem wilgotności materiału (w) uzyskuje się brykiety o mniejszej wytrzymałości (rys. 5). Zależności σ_m od w dla badanych trocin są wprost proporcjonalne (tab. 1), opisano je równaniem liniowym (współczynnik determinacji R^2 jest większy od 0,94).



Rys. 4. Zależność stopnia zagęszczenia materiału (S_m), stopnia zagęszczenia aglomeratu (S_{za}) i stopnia rozprężenia aglomeratu (S_{ra}) od wilgotności materiału (w)

Fig. 4. Degree of compaction of material (S_m), degree of compaction of agglomerate (S_{za}) and degree of expansion of agglomerate (S_{ra}) in relation to material moisture (w)



Rys. 5. Zależność odporności mechanicznej aglomeratu (σ_m) od wilgotności materiału (w)

Fig. 5. Agglomerate mechanical strength (σ_m) in relation to material moisture (w)

Wartość odporności mechanicznej zawiera się w przedziale od 0,52 MPa (trociny topolowe, $w = 8\%$) do 0,04 MPa (trociny sosnowe, $w = 20\%$) (rys. 5). Wyższą odpornością mechaniczną σ_m cechują się aglomeraty wytworzone z trocin topolowych (wartość σ_m dla tego surowca zawiera się w przedziale od 0,52 MPa do 0,1 MPa w przedziale wilgotności 8-20%). Ze wzrostem wilgotności badanych materiałów maleje wytrzymałość mechaniczna brykietów. Należy zaznaczyć, że uzyskiwanie aglomeratu o dobrej jakości (wysokiej wytrzymałości) wymaga większych nakładów pracy zagęszczania L_c (rys. 3).

Podsumowując wyniki badań można stwierdzić, że wpływ wilgotności na parametry zagęszczania, podatność materiału na zagęszczanie i wytrzymałość mechaniczną brykietu jest podobny jak dla innej biomasy roślinnej (Skonecki 2010, Skonecki i Potręć 2008 a, 2008 b, 2010), czy też surowców paszowych (Laskowski i in. 2005, Laskowski i Skonecki 1999).

WNIOSKI

Wyniki eksperymentu wykazały, że wilgotność trocin sosnowych i topolowych odgrywa istotną rolę podczas ciśnieniowego zagęszczania w komorze zamkniętej oraz ma znaczny wpływ na wytrzymałość mechaniczną uzyskanego aglomeratu. Zwiększenie wilgotności materiału od 8% do 20% powoduje:

1. zwiększenie maksymalnej gęstości surowca w komorze zagęszczania o około 5%,
2. większe rozprężenie aglomeratu po wyjęciu z matrycy i po 48 h. przechowywania co skutkuje uzyskaniem produktu – aglomeratu o mniejszej gęstości dla surowca o wysokiej wilgotności (niewiele większe gęstości mają brykiety trocin sosnowych w porównaniu z gęstością brykietów trocin topolowych),
3. zmniejszenie pracy zagęszczania i współczynnika podatności materiału na zagęszczanie przeciętnie odpowiednio o 55% i 60%, a tym samym polepszenie podatności trocin na zagęszczanie (większą podatnością na zagęszczanie cechują się trociny sosnowe),
4. spadek odporności mechanicznej otrzymywanych aglomeratów średnio 5-krotny (większą wytrzymałość mechaniczną uzyskano dla brykietów trocin z topoli, która jest ponad 2 razy większa niż dla brykietów trocin z sosny).

Wyniki badań wykazały także, że materiał o większej podatności na zagęszczanie przy wyższej wilgotności nie oznacza uzyskiwania aglomeratu o dobrej wytrzymałości.

PIŚMIENNICTWO

- 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), 5-8.

- Adapa P., Tabil L., Schoenau G., 2009. Compaction characteristics of barley, canola, oat and wheat straw. *Biosystems Engineering*, 104, 335-344.
- Dreszer K., Michałek R., Roszkowski A., 2003. *Energia odnawialna-możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie*. Wyd. PTIR, Kraków-Lublin- Warszawa.
- Fell J. T., Newton J. M., 1970. Determination of tablet strength by the diametral compression test. *J. Pharm. Sci.*, 59(5), 688-691.
- Gradziuk P., Kościak K., 2007. Analiza możliwości i kosztów pozyskania biomasy na cele energetyczne na potrzeby energetycznego wykorzystania w gminie Clomas. Opracowanie na zlecenie Urzędu Gminy Clomas.
- Grzybek A., 2003. Kierunki zagospodarowania biomasy na cele energetyczne. *Więś Jutra* 9, 10-11.
- Hejft R., 2002. Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Politechnika Białostocka, Wyd. i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu.
- Kalembasa D., 2006. Ilość i skład chemiczny popiołu z biomasy roślin energetycznych. *Acta Agrophysica*, 7(4), 909-914.
- 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), 907-920.
- Kulig R., Laskowski J., 2005. Wpływ procesu kondycjonowania surowców zbożowych na wybrane właściwości fizyczne granulatu. *Acta Agrophysica*, 5(2), 325-334.
- Laskowski J., Łysiak 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.
- Laskowski J., Skonecki S., 1999. Influence of moisture on the physical properties and parameters of the compression process of cereal grains. *Int. Agrophysics*, 13, 477-486.
- Laskowski J., Skonecki S., 2001. Badania procesów aglomerowania surowców paszowych-aspekt metodyczny. *Inżynieria Rolnicza*, 2(22), 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, 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), 648 - 654.
- Piotrowski K., Wiltowski T., Mondal K., 2004. Biomasa-kłopotliwe pozostałości czy strategiczne rezerwy czystej energii? *Czysta Energia*, 10, 16-19.
- 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, 963-994.
- Skonecki S., 2010. Brykietowanie wybranej biomasy roślinnej na cele energetyczne-parametry procesu i wytrzymałość aglomeratu. *Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 11, 335-345.
- Skonecki S., Laskowski J., 2010. Wpływ wilgotności śruty zbożowej na proces wytlaczania. *Acta Agrophysica*, 15(1), 155-165.
- Skonecki S., Potręć M., 2008a. Wpływ wilgotności łusek kolb kukurydzy na parametry zagęszczania. *Acta Agrophysica*, 11 (3), 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, 147-156.

- Skonecki S., Potręć M., 2010. Wpływ wilgotności na ciśnieniowe zagęszczanie biomasy roślinnej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 546, 341-346.
- Skonecki S., Sudół A., Laskowski J., 2003. Wpływ cech mechanicznych ziarna pszenicy na parametry zagęszczania. *Acta Agrophysica*, 2(1), 179-189.
- Stolarski M., Szczukowski S., 2007. Różnorodność surowców do produkcji pelet. *Czysta Energia*, 6, 42-43.

PRESSURE COMPACTION OF PINE AND POPLAR SAWDUSTS – PROCESS PARAMETERS AND QUALITY OF THE AGGLOMERATE

Stanisław Skonecki, Ryszard Kulig, Milena Potręć

Department of Machine Operation in Food Industry, University of Life Sciences
ul. Doświadczalna 44, 20-280 Lublin
e-mail: stanislaw.skonecki@up.lublin.pl

Abstract. The paper presents the results of investigations of pressure compression parameters, susceptibility to compaction of the raw material and the mechanical strength of agglomerate of pine and poplar sawdust. The influence of moisture content on the characteristics of compaction was also determined. Material moisture ranged from 8% to 20%. The experiments were performed with the help of a universal strength tester, Zwick Z020/TN25, and a closed compression assembly (die). The maximum unit pressure was 114 MPa, and the piston velocity was 10 mm min⁻¹. The following parameters were analysed - material density in the die, compression work, coefficient of susceptibility to compaction, degree of compaction and expansion of the agglomerate, density and mechanical strength of agglomerates. A decrease of density of agglomerate and compression work for higher values of moisture were observed. Increase in moisture content improves the susceptibility of sawdust to agglomeration and worsens the quality of the agglomerates in terms of their strength.

Key words: compression parameters, moisture, pine and poplar sawdust