

WPLYW WILGOTNOŚCI MATERIAŁU I ŚREDNICY KOMORY NA PARAMETRY ZAGĘSZCZANIA MISKANTA OLBRZYMIEGO

Stanisław Skonecki, Janusz Laskowski, Ryszard Kulig, Grzegorz Łysiak

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

Streszczenie. Praca jest kontynuacją badań nad określeniem wpływu wilgotności materiału i parametrów komory na zagęszczanie materiałów biologicznych. Przedstawiono wyniki badań nad określeniem wpływu warunków zagęszczania miskanta olbrzymiego na parametry procesu i wytrzymałość aglomeratu. W badaniach wykorzystano maszynę wytrzymałościową ZWICK typ ZO2O/TN25 oraz zespół prasujący z matrycą zamkniętą o trzech średnicach komory 12 mm, 15 mm i 18 mm. Określono zależności pomiędzy gęstością materiału w komorze i aglomeratu, stopniem zagęszczenia aglomeratu, nakładami pracy na zagęszczanie, współczynnikiem podatności materiału na zagęszczanie oraz odpornością mechaniczną aglomeratu a wilgotnością miskanta dla trzech średnic komory. Wykazano, że parametry zagęszczania w różnym stopniu zależą od wilgotności miskanta olbrzymiego i średnicy komory matrycy. Zwiększenie wilgotności polepsza podatność materiału na zagęszczanie oraz pogarsza jakość aglomeratów pod względem ich wytrzymałości.

Słowa kluczowe: aglomerowanie, miskant olbrzymi, parametry zagęszczania

WYKAZ OZNACZEŃ

d_a – średnica aglomeratu (mm),

d – średnica komory (mm),

F_n – siła niszcząca aglomerat (N),

k_c – współczynnik podatności materiału na zagęszczanie $\{k_c=(L_c')\cdot(\rho_c-\rho_n)^{-1}\}$; (J·cm³·g⁻²),

l – długość aglomeratu (mm),

L_c – praca zagęszczania (J),

L_c' – jednostkowa praca zagęszczania $\{L_c'=L_c\cdot m^{-1}\}$; (J·g⁻¹),

m – masa zagęszczanego materiału (g),

R^2 – współczynnik determinacji,

S_{za} – stopień zagęszczenia aglomeratu $\{S_{za}=\rho_{a1}\cdot\rho_n^{-1}\}$,

ρ_c – maksymalna gęstość materiału w komorze zagęszczania (g·cm⁻³),

ρ_{a1} – gęstość aglomeratu po 48 h. przechowywania ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$),
 ρ_n – początkowa gęstość materiału w komorze zagęszczania (w stanie zsypanym) ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$),
 σ_n – odporność mechaniczna aglomeratu (MPa).

WSTĘP

Strategia rozwoju energetyki odnawialnej wiąże się z koniecznością uprawy specjalnych gatunków roślin z przeznaczeniem wyłącznie na cele energetyczne. Do roślin tych należą między innymi wieloletnie trawy, np. miskant olbrzymi (*Miscanthus giganteus*). Rośliny te, ze względu na małą gęstość oraz niską wartość opałową (odniesioną do jednostki objętości) są trudne w dystrybucji w postaci nieprzetworzonej (Adamczyk i in. 2005). Niska wartość gęstości roślin energetycznych wymaga zmiany ich pierwotnej postaci w aglomeraty, co uzyskuje się przez ciśnieniowe zagęszczenie luźnego surowca w procesie brykietowania lub peletowania. Ważnym zagadnieniem jest określenie przebiegu zagęszczania i jakości produktu. Badania te umożliwiają 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, Kaliyan i Morey 2009, Laskowski i in. 2005, Laskowski i Skonecki 1999, Mani i in. 2006).

W procesie zagęszczania szczególnego znaczenia nabiera wilgotność materiału (Mani i in. 2006, Skonecki i Kulig 2011, Skonecki i Potręć 2008). Uzyskiwane wartości parametrów ciśnieniowego aglomerowania zależne są również od warunków zagęszczania, w tym od wielkości komory i masy próbki materiału. W pracach Laskowskiego i Skoneckiego (2004, 2005, 2006) przedstawiono wyniki badań prowadzonych dla ziarna pszenicy, nasion łubinu i poekstrakcyjnej śruty rzepakowej. W innej pracy (Skonecki i Laskowski 2012) przytoczono wyniki badań wpływu wielkości komory i wilgotności słomy pszennej na parametry zagęszczania. Prezentowana praca stanowi kontynuację badań nad określeniem wpływu warunków pomiaru na przebieg zagęszczania surowców roślinnych.

Celem badań jest określenie wpływu wilgotności miskanta olbrzymiego i średnicy komory na parametry zagęszczania oraz jakość uzyskanego aglomeratu.

MATERIAŁ I METODY

Do badań przyjęto trawę kępową miskanta olbrzymiego. Materiał rozdrobniono na rozdrabniaczu ML 500 z sitem o średnicy otworów 4 mm. Średni wymiar cząstek rozdrobnionego materiału, określony zgodnie z PN-89/R-64798 przy

wykorzystaniu laboratoryjnego przesiewacza SASKIA Thyr 2 i zestawu sit o wymiarach oczek: 1,0; 0,8; 0,63; 0,4; 0,2 mm, wynosił 0,9 mm. Zagęszczano materiał o wilgotności od 10% do 18% (co $2 \pm 0,2\%$).

Badania ciśnieniowego zagęszczania wykonano zgodnie z własną metodyką przedstawioną w pracy Laskowskiego i Skoneckiego (2001). Zagęszczanie surowca prowadzono, podobnie jak w pracy Skoneckiego i Laskowskiego (2012), przy użyciu maszyny wytrzymałościowej ZWICK Z020/TN2S i zespołu prasującego z matrycą zamkniętą. Zastosowano trzy matryce o średnicach komory 12, 15 i 18 mm, w których zagęszczano surowiec o masie odpowiednio 1, 2 i 3 g. W ten sposób uzyskiwano w przybliżeniu jednakowy stosunek wysokości do średnicy próbki materiału w komorze przed procesem zagęszczania (około 8) oraz przy maksymalnym zagęszczeniu surowca w komorze (około 0,4). Prędkość przemieszczania tłoka wynosiła $10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, temperatura cylindra (materiału zagęszczanego) 20°C , maksymalna siła zagęszczania $F_{max} = 20 \text{ kN}$. Przy tej sile zagęszczania uzyskiwano maksymalny jednostkowy nacisk tłoka na materiał dla poszczególnych średnic komory, wynoszący 177 MPa ($d = 12 \text{ mm}$), 114 MPa ($d = 15 \text{ mm}$) i 77 MPa ($d = 18 \text{ mm}$). Zagęszczanie prowadzono każdorazowo w trzech powtórzeniach. Efektem pomiaru była krzywa opisująca zależność siły zagęszczania od przemieszczenia tłoka. Analizie poddano następujące parametry: maksymalną gęstość materiału w komorze ρ_c , pracę zagęszczania L_c , jednostkową pracę zagęszczania L_c' , stopień zagęszczenia aglomeratu S_{za} oraz współczynnik k_c charakteryzujący podatność materiału na zagęszczanie. Dla uzyskanego aglomeratu obliczono po 48 h przechowywania gęstość ρ_{a1} . Następnie określano jakość aglomeratu ze względu na wytrzymałość mechaniczną. Wyznaczono tzw. odporność mechaniczną aglomeratu. W badaniach wykorzystano maszynę wytrzymałościową ZWICK Z020/TN2S (prędkość przemieszczania głowicy wynosiła $10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$). Aglomerat o średnicy d_a i długości l ścisłano poprzecznie do osi do momentu zniszczenia (pęknięcia) i wyznaczono maksymalną siłę niszczącą F_n . Odporność mechaniczną σ_n (MPa) obliczono ze wzoru (Fell i Newton 1970):

$$\sigma_n = \frac{2 \cdot F_n}{\pi \cdot d_a \cdot l} \quad (1)$$

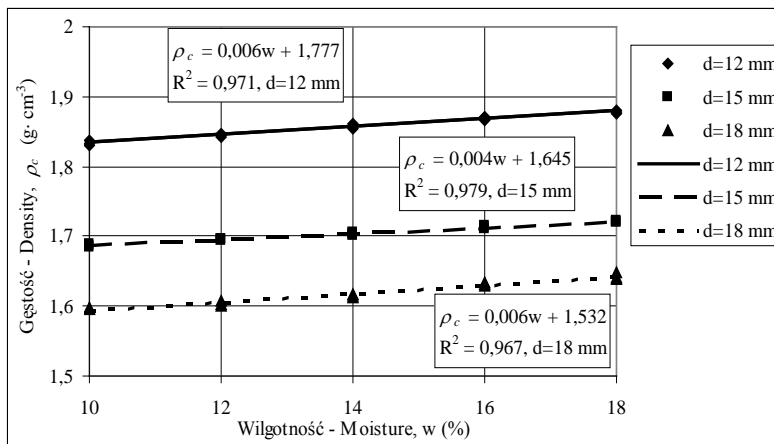
gdzie: d_a – średnica aglomeratu (mm), l – długość aglomeratu (mm), F_n – siła niszcząca aglomerat (N).

WYNIKI

Wyznaczono zależności pomiędzy parametrami procesu zagęszczania i cechami aglomeratu a wilgotnością (w) materiału dla każdej średnicy komory. Wykresy przedstawiające te zależności oraz równania regresji i wartości współczynnika determinacji R^2 przedstawiono na rysunkach 1-7.

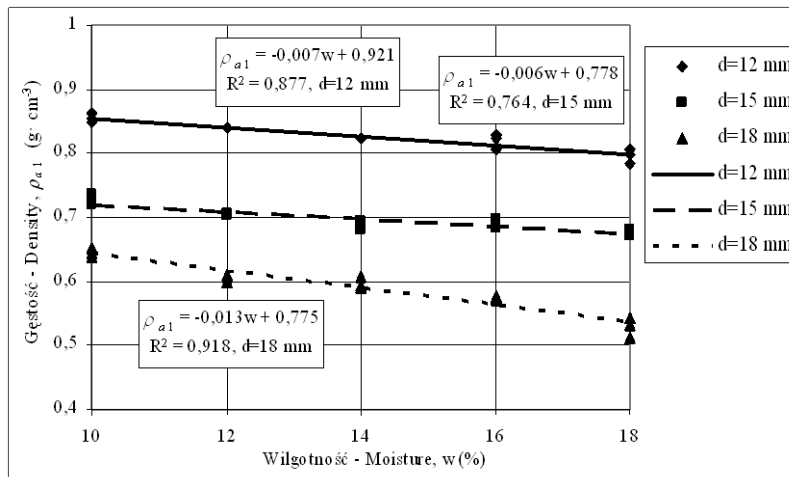
Gęstość surowca w komorze i aglomeratu oraz stopień zagęszczenia aglomeratu

Oddziaływanie stopnia wilgotności surowca i średnicy komory na gęstość materiału w komorze i gęstość aglomeratu zobrazowano na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Zależności gęstości surowca w komorze ρ_c od wilgotności materiału w dla trzech średnic d komory

Fig. 1. Relation of density of the raw material in the chamber ρ_c to material moisture w for the three chamber diameters d

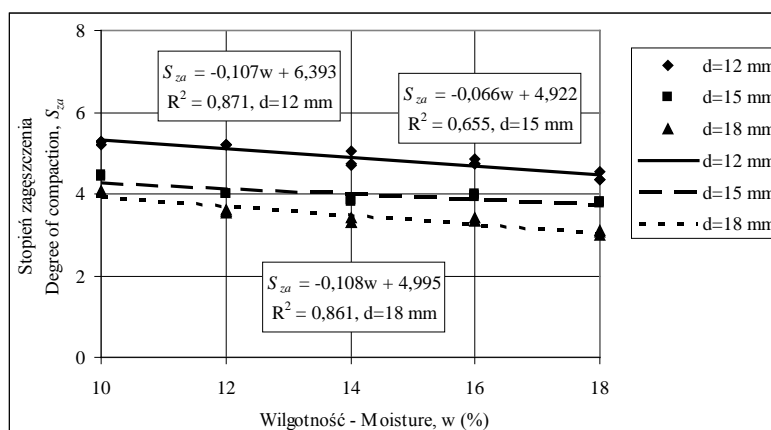


Rys. 2. Zależności gęstości aglomeratu ρ_{a1} od wilgotności materiału w dla trzech średnic d komory

Fig. 2. Relation of density of agglomerate ρ_{a1} to material moisture w for the three chamber diameters d

Uzyskane liniowe równania regresji dobrze opisują zależność maksymalnej gęstości materiału w komorze (ρ_c) i gęstości aglomeratu (ρ_{a1}) od wilgotności miska olbrzymiego dla każdej średnicy komory zagęszczania. Zwiększenie wilgotności od 10% do 18% powoduje (przy tej samej maksymalnej wartości nacisku zagęszczającego) wzrost gęstości materiału w komorze ρ_c , co przypuszczalnie wywołane jest zwiększeniem plastyczności materiału. Następuje wzrost gęstości upakowania cząstek. Natomiast gęstość aglomeratu ρ_{a1} maleje ze zwiększeniem wilgotności materiału. Gęstości ρ_c i ρ_{a1} mają największe wartości dla najmniejszej średnicy komory zagęszczania $d = 12$ mm. Wartość gęstości w przedziale wilgotności 10-18% dla tej komory wynosi dla ρ_c od $1,83 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ do $1,88 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, a dla ρ_{a1} od $0,86 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ do $0,78 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Najmniejsze wartości tych gęstości uzyskano w przypadku zagęszczania surowca w komorze o największej średnicy $d = 18$ mm. Wynoszą one: ρ_c od $1,59 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ do $1,64 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, ρ_{a1} od $0,63 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ do $0,53 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Wyniki dla stopnia zagęszczenia aglomeratu S_{za} , charakteryzującego wielkość zmiany gęstości aglomeratu po przechowywania w stosunku do gęstości początkowej materiału (krotność zmniejszenia objętości), potwierdzają zmiany gęstości aglomeratu. Największy stopień zagęszczenia S_{za} (rys. 3) uzyskano dla miska o wilgotności 10% zagęszczanego w komorze o średnicy $d = 12$ mm (gęstość aglomeratu jest około 5,4 razy większa od gęstości początkowej materiału). Stopień zagęszczenia aglomeratu maleje ze zwiększeniem wilgotności materiału, co wskazuje na większe rozprężenie aglomeratu po wypchnięciu z matrycy, a tym samym zmniejszenie jego gęstości ze wzrostem wilgotności.

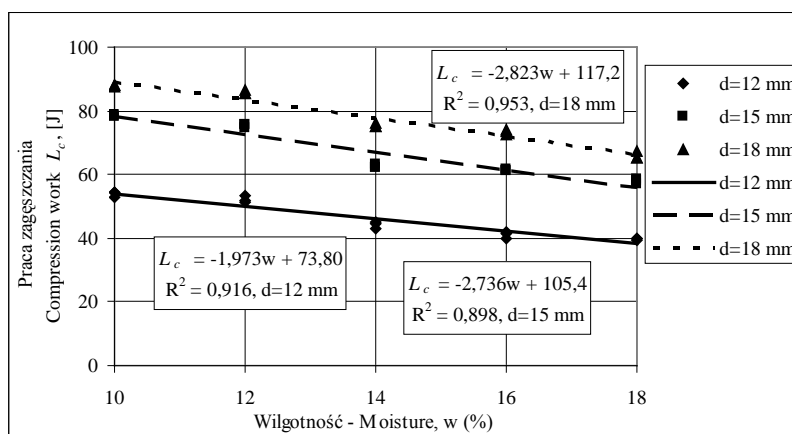


Rys. 3. Zależność stopnia zagęszczenia aglomeratu S_{za} od wilgotności materiału w dla trzech średnic d komory

Fig. 3. Degree of compaction of agglomerate S_{za} in relation to material moisture w for the three chamber diameters d

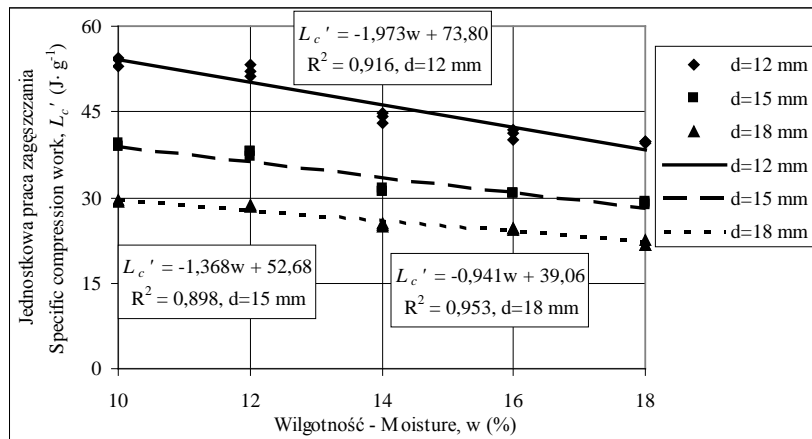
Praca zagęszczania i podatność materialu na zagęszczanie

Zależności pomiędzy pracą zagęszczania L_c a wilgotnością miskanta dla trzech średnic komory przedstawiono na rysunku 4. Wartość całkowitej pracy zagęszczania L_c (rys. 4) zawiera się w przedziale od 88 J dla średnicy 18 mm ($w = 10\%$) do 39 J dla średnicy 12 mm ($w = 18\%$). Praca ta maleje wraz ze zwiększeniem wilgotności miskanta dla każdej matrycy i największe jej wartości uzyskano w przypadku zagęszczania materialu w matrycy o średnicy $d = 18$ mm. Natomiast wartość jednostkowej pracy zagęszczania L_c' (rys. 5) dla badanego surowca zawiera się w przedziale od $53 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ dla średnicy $d = 12$ mm ($w = 10\%$) do $21 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ dla $d = 18$ mm ($w = 18\%$). Ze wzrostem wilgotności materialu, podobnie jak dla pracy zagęszczania L_c maleją nakłady jednostkowej pracy L_c' . Największe wartości jednostkowej pracy L_c' uzyskano jednak dla zagęszczania badanego miskanta w matrycy o najmniejszej średnicy $d = 12$ mm.



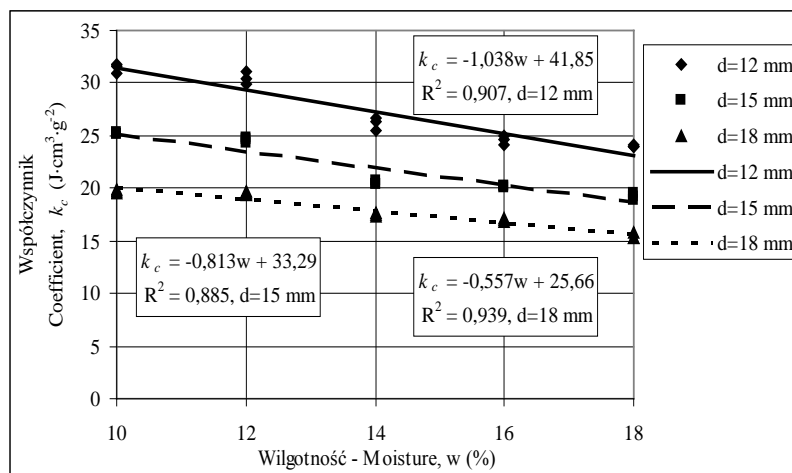
Rys. 4. Zależność pracy zagęszczania L_c od wilgotności materialu w dla trzech średnic d komory
Fig. 4. Compression work L_c in relation to material moisture w for the three chamber diameters d

Z kolei z rysunku 6 wynika, iż zwiększenie wilgotności surowca powoduje wzrost jego podatności na zagęszczanie. Przypuszczalnie material na skutek wzrostu wilgotności staje się bardziej plastyczny dzięki czemu nakłady energii niezbędne do jego zagęszczenia maleją. Z równań regresji opisujących zależność współczynnika k_c od wilgotności miskanta wynika, że współczynnik k_c maleje wraz ze zwiększeniem wilgotności dla każdej średnicy komory. Największe wartości k_c , dla każdej wilgotności uzyskano w przypadku zagęszczania miskanta olbrzymiego w matrycy o średnicy $d = 12$ mm, a najmniejsze dla $d = 18$ mm.



Rys. 5. Zależność jednostkowej pracy zagęszczania L_c' od wilgotności materiału w dla trzech średnic d komory

Fig. 5. Specific compression work L_c' in relation to material moisture w for the three chamber diameters d



Rys. 6. Zależność współczynnika podatności na zagęszczanie k_c od wilgotności materiału w dla trzech średnic d komory

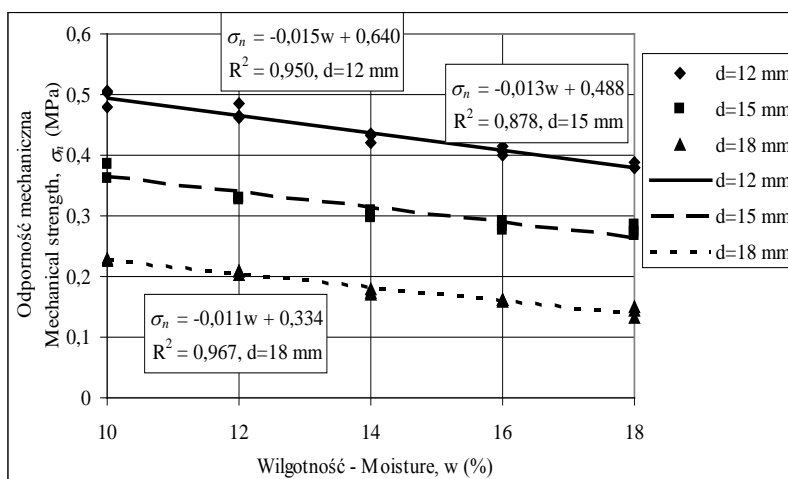
Fig. 6. Coefficient of susceptibility to compaction k_c in relation to material moisture w for the three chamber diameters d

Najmniejsza wartość k_c dla $d = 12$ mm ($w = 18\%$) wynosi $24 \text{ J}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-2}$, a maksymalna $31 \text{ J}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-2}$. W przypadku średnicy $d = 18$ mm, ze zwiększeniem wilgotności miska od 10% do 18%, współczynnik k_c maleje od $19 \text{ J}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-2}$ do $15 \text{ J}\cdot\text{cm}^3\cdot\text{g}^{-2}$.

Uzyskane wyniki współczynnika k_c (rys. 6) potwierdzają tendencje jego zmiany ze zwiększeniem wilgotności jak dla zagęszczania innych surowców (Skonecki i Kulig 2011, Skonecki i Laskowski 2012, Skonecki i Potręć 2008).

Wytrzymałość aglomeratu

Badania odporności mechanicznej σ_n wykazały, że wytrzymałość aglomeratu maleje ze zwiększeniem wilgotności miska ołbrzymiego przy stosowaniu każdej matrycy (rys. 7). Największą odpornością mechaniczną cechują się aglomeraty miska otrzymane podczas zagęszczania w komorze o średnicy $d = 12$ mm, najmniejszą zaś w komorze o średnicy 18 mm. Wartość odporności mechanicznej σ_n (rys. 7) zawiera się w przedziale od 0,5 MPa dla średnicy 12 mm (wilgotność $w = 10\%$) do 0,13 MPa dla średnicy 18 mm (wilgotność $w = 18\%$). Wyniki badań gęstości aglomeratu (rys. 2) wskazują na podobną jej zmienność w zależności od wilgotności i wielkości komory jak odporności mechanicznej. Można zatem stwierdzić, że zagęszczając materiał w komorze o najmniejszej średnicy, przy największym maksymalnym nacisku jednostkowym, uzyskuje się aglomeraty o największej gęstości (rys. 2) i odporności mechanicznej (rys. 7), jednak ze względu na największe nakłady jednostkowej pracy (rys. 5) proces może być energochłonny. Podobne zależności uzyskano w przypadku zagęszczania słomy pszennej (Skonecki i Laskowski 2012).



Rys. 7. Zależność odporności mechanicznej aglomeratu σ_n od wilgotności materiału w dla trzech średnic d komory

Fig. 7. Agglomerate mechanical strength σ_n in relation to material moisture w for the three chamber diameters d

WNIOSKI

1. Badania wykazały, że wilgotność przyjętej do badań biomasy roślinnej (miskanta olbrzymiego) oraz średnica komory matrycy istotnie wpływają na parametry zagęszczania oraz na wytrzymałość mechaniczną uzyskanego aglomeratu.

2. Wykazano, iż wzrost wilgotności miskanta olbrzymiego od 10% do 18% powoduje zwiększenie maksymalnej gęstości surowca w komorze (ρ_c) (około 3%) oraz zmniejszenie: gęstości aglomeratu (ρ_{a1}) (około 10%), pracy zagęszczania (L_c) (około 25%), jednostkowej pracy zagęszczania (L_c') (około 27%) oraz stopnia zagęszczenia aglomeratu (S_{za}) (około 15%).

3. Zwiększenie wilgotności polepsza podatność materiału na zagęszczanie, powoduje większe rozprężenie aglomeratu, co wywołuje spadek wytrzymałości (odporności mechanicznej (σ_n)) aglomeratu.

4. W wyniku zagęszczania w matrycy o coraz większej średnicy komory uzyskuje się mniejszą maksymalną gęstość surowca w komorze (ρ_c), gęstość aglomeratu (ρ_{a1}), jednostkową pracę zagęszczania (L_c') oraz mniejszy stopień zagęszczenia aglomeratu (S_{za}). Większą wytrzymałością mechaniczną odznaczają się aglomeraty miskanta olbrzymiego otrzymane w matrycy o najmniejszej średnicy komory.

PIŚMIENNICTWO

- Adameczyk 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.
- Fell J. T., Newton J. M., 1970. Determination of tablet strength by the diametral compression test. *J. Pharm. Sci.*, 59(5), 688-691.
- 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.
- 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, 159 ss.
- 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.
- Laskowski J., Skonecki S., 2004. Wpływ masy materiału i średnicy komory na parametry zagęszczania ziarna pszenicy. *Inżynieria Rolnicza*, 5 (60), 195-204.
- Laskowski J., Skonecki S., 2005. Wpływ parametrów komory i masy materiału na zagęszczanie nasion łubinu. *Inżynieria Rolnicza*, 7 (67), 101-108.
- Laskowski J., Skonecki S., 2006. Wpływ średnicy komory i masy materiału na zagęszczanie poekstrakcyjnej śruty rzepakowej. *Inżynieria Rolnicza*, 6 (81), 15-23.

- 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.
- Skonecki S., Kulig R. 2011. Wpływ wilgotności biomasy roślinnej i nacisku tłoka na parametry brykietowania i wytrzymałość aglomeratu. *Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 10, 375-386.
- Skonecki S., Laskowski J. 2012. Wpływ średnicy komory i wilgotności słomy pszennej na parametry zagęszczania. *Acta Agrophysica*, 19(2), 415-421.
- Skonecki S., Potręć M., 2008. Wpływ wilgotności łusek kolb kukurydzy na parametry zagęszczania. *Acta Agrophysica*, 11(3), 725-732.

INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT OF MATERIAL AND CHAMBER DIAMETER ON COMPACTION PARAMETERS OF GIANT MISCANTHUS

Stanisław Skonecki, Janusz Laskowski, Ryszard Kulig, Grzegorz Łysiak

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 work is a continuation of studies to determine the impact of moisture content and chamber parameters on densification of biological raw materials. The paper presents the results of investigations conducted to determine the impact of giant miscanthus compaction conditions on the parameters of the process and the strength of the agglomerate. The experiments were performed with the help of a universal strength tester, ZWICK Z020/TN25, and a closed compression assembly (die) with three chamber diameters of 12 mm, 15 mm and 18 mm. The relationship between the density of the material in the chamber and the agglomerate, the degree of compaction of the agglomerate, work effort on the compaction, coefficient of susceptibility of the material to compaction and the agglomerate mechanical strength and moisture content of giant miscanthus for the three diameters of the chamber were determined. It was found that the densification parameters depend in varying degrees on the moisture content of giant miscanthus and on the die chamber diameter. Increase in moisture content improves the susceptibility of material to agglomeration and worsens the quality of the agglomerates in terms of their strength.

Keywords: agglomeration, giant miscanthus, compaction parameters