

WPLYW WILGOTNOŚCI MATERIAŁU I NACISKU TŁOKA
NA PARAMETRY ZAGĘSZCZANIA I WYTRZYMAŁOŚĆ AGLOMERATU
ŚLĄZOWCA PENSYLWAŃSKIEGO (*SIDA HERMAPHRODITA*)

Stanisław Skonecki, Ryszard Kulig, Grzegorz Łysiak, Renata Różyło, Monika Wójcik

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

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu wilgotności biomasy roślinnej (ślazowca pensylwańskiego) oraz nacisku jednostkowego tłoka na parametry brykietowania (zagęszczania), podatność surowca na zagęszczanie oraz jakość uzyskanych aglomeratów. Zagęszczanie surowca przeprowadzono przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej Zwick typ ZO2O/TN2S i zespołu prasującego z matrycą zamkniętą o średnicy komory 15 mm. Wilgotność materiału wynosiła od 10 do 18%. Zagęszczanie prowadzono dla trzech maksymalnych nacisków jednostkowych tłoka na materiał 57 MPa, 85 MPa i 113 MPa. Stwierdzono, że wraz ze wzrostem wilgotności rośnie gęstość materiału w komorze i rozprężenie aglomeratu, natomiast maleje gęstość aglomeratu oraz praca zagęszczania. Wzrost wilgotności polepsza podatność surowca na zagęszczanie oraz pogarsza jakość aglomeratów pod względem ich wytrzymałości. Wraz ze zwiększeniem nacisku tłoka rośnie gęstość aglomeratu, praca zagęszczania i odporność mechaniczna aglomeratu.

Słowa kluczowe: aglomerowanie, ślaziowiec pensylwański, parametry zagęszczania

WYKAZ OZNACZEŃ

d_a – średnica aglomeratu (mm),
 F_n – siła niszcząca aglomerat (N),
 k_c – współczynnik podatności materiału na zagęszczanie $\{k_c=(L_c') \cdot (\rho_c \cdot \rho_n)^{-1}\}$; (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),
 R^2 – współczynnik determinacji,
 S_{za} – stopień zagęszczenia aglomeratu $\{S_{za}=\rho_a \cdot \rho_n^{-1}\}$,
 ρ_c – maksymalna gęstość materiału w komorze zagęszczania (g·cm⁻³),
 ρ_a – gęstość aglomeratu (g·cm⁻³),
 ρ_n – początkowa gęstość materiału w komorze zagęszczania (w stanie zsypanym) (g·cm⁻³),
 σ_n – odporność mechaniczna aglomeratu (MPa).

WSTĘP

Zwiększające się zapotrzebowanie na energię, jak również pozyskiwanie energii ze źródeł kopalnych przyczyniające się do zanieczyszczania środowiska naturalnego spowodowały wzrost zainteresowania uzyskiwaniem energii z odnawialnych źródeł. Wśród odnawialnych źródeł energii znaczące miejsce zajmuje biomasa roślinna pozyskiwana z odpadów, produktów ubocznych lub z celowej uprawy specjalnych gatunków roślin z przeznaczeniem wyłącznie na cele energetyczne (Borkowska i in. 2016, *Obidziński* 2013, 2014). Do roślin tych należy między innymi ślazowiec pensylwański (*Sida hermaphrodita*). Wartość ślazowca pensylwańskiego jako źródła energii odnawialnej wynika z możliwości uzyskiwania wysokich plonów biomasy – 9-20 t·ha⁻¹ s.m. (Borkowska i Molas 2012), niskiej wilgotności w czasie zbioru – 22-25%, wysokiego ciepła spalania – 18,7-19,0 MJ·kg⁻¹ s.m. oraz przydatności do uprawy na glebach lekkich (Borkowska i in. 2016).

Rośliny te ze względu na małą gęstość (co utrudnia transport, magazynowanie i dozowanie do kotłów) są trudne w dystrybucji w naturalnej postaci (Adamczyk i in. 2005). Dlatego w celu polepszenia przydatności roślin do celów energetycznych należy zwiększyć ich gęstość, co uzyskuje się przez ciśnieniowe zagęszczenie luźnego surowca do postaci aglomeratu w procesie brykietowania lub peletowania. Proces ten jest realizowany w urządzeniach z układami roboczymi „komora zamknięta – tłok zagęszczający”. Umożliwia on określenie parametrów zagęszczania, w tym energochłonności oraz podatności materiału na zagęszczanie. Ważnym zagadnieniem jest określenie zmian zachodzących w materiale podczas jego zagęszczania i jakości produktu. Przebieg procesu i jakość (wytrzymałość) uzyskanego aglomeratu zależą od właściwości fizycznych i chemicznych przetwarzanego surowca, a szczególnie od jego wilgotności oraz od czynników technicznych i technologicznych, w tym od ciśnienia zagęszczania (jednostkowego nacisku tłoka) (Adapa i in. 2009, Jha i in. 2008, Kaliyan i Morey 2009, Kulig i Skonecki 2011, Laskowski i in. 2005, Li i Liu 2000, Laskowski i Skonecki 1999, Mani i in. 2006, Skonecki i in. 2013).

We wcześniejszych pracach własnych przedstawiono wyniki badań wpływu wilgotności surowców paszowych (Laskowski i in. 2005) oraz różnej biomasy roślinnej (Kulig i Skonecki 2011, Skonecki i in. 2013, Skonecki i Laskowski 2012, Skonecki i Potręć 2008) na parametry aglomerowania, podatność materiału na zagęszczanie i jakość aglomeratu. Niniejsza praca dotyczy badań nad określeniem wpływu czynników materiałowych i procesowych na przebieg zagęszczania surowców roślinnych.

Celem badań jest określenie wpływu wilgotności ślazowca pensylwańskiego oraz jednostkowego nacisku tłoka na parametry zagęszczania i jakość uzyskanego aglomeratu.

MATERIAŁ I METODY

Do badań przyjęto łądygi ślázowca pensylwańskiego. Surowiec rozdrobniono na rozdrabniaczu ML 500 z sitem o średnicy otworów 4 mm. Dla rozdrobnionego materiału określono podstawowe właściwości fizyczne: gęstość w stanie zsypanym, skład granulometryczny i średni wymiar cząstek. Jako wynik oznaczeń właściwości fizycznych przyjęto średnią arytmetyczną z trzech pomiarów.

Oznaczenie gęstości w stanie zsypanym wykonano zgodnie z PN-ISO 7971-2:1998 przy pomocy gęstościomierza RP T 01 77 o objętości 1 dm³.

Określenie składu granulometrycznego surowca 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. Masa próbki poddanej przesiewaniu wynosiła 100 g, a czas trwania przesiewania wynosił pięć minut. Po przesianiu każdą klasę wymiarową ważono na wadze WPE 300 z dokładnością do $\pm 10^{-2}$ g. Na podstawie wyników składu granulometrycznego obliczono średni wymiar cząstek (moduł rozdrobnienia) d_c ze wzoru:

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

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

Wilgotność materiału wyznaczono metodą suszarkową zgodnie z PN-ISO 712:2002.

Zagęszczanie wykonano dla próbek ślázowca pensylwańskiego o wilgotności od 10% do 18% (co $2 \pm 0,2\%$). Wymaganą wilgotność surowca uzyskiwano poprzez suszenie lub nawilżanie. Tak przygotowane próbki przechowywano przez 48 h w szczelnie zamkniętych pojemnikach.

Badania ciśnieniowego zagęszczania prowadzono, podobnie jak w pracach (Kulig i Skonecki 2011, Skonecki i Laskowski 2012, Skonecki i in. 2013, Skonecki i Potręć 2008), przy użyciu maszyny wytrzymałościowej ZWICK Z020/TN2S i zespołu prasującego z matrycą zamkniętą. Średnica komory zagęszczania wynosiła 15 mm, masa próbki materiału 2 g, temperatura cylindra (materiału zagęszczanego) 20°C, prędkość przemieszczania tłoka 10 mm·min⁻¹. Zagęszczanie prowadzono dla trzech wartości maksymalnej siły zagęszczania 10, 15 i 20 kN, czyli dla nacisków jednostkowych tłoka na materiał P1 = 57 MPa, P2 = 85 MPa, P3 = 113 MPa. Wykonano je każdorazowo w trzech powtórzeniach.

W trakcie badania rejestrowano charakterystykę zagęszczania (zależność siły zagęszczania od przemieszczenia tłoka), z której na podstawie danych z charakterystycznych punktów określono parametry procesu. Wyznaczono maksymalną gęstość materiału w komorze ρ_c , jednostkową pracę zagęszczania L_c' ($L_c' = L_c \cdot m^{-1}$, gdzie: L_c – praca zagęszczania, m – masa próbki materiału). Dla otrzymanego

aglomeratu określono gęstość bezpośrednio po wyjęciu z komory ρ_a . Obliczono stopień zagęszczenia aglomeratu (krotność zmniejszenia objętości) S_{za} ($S_{za} = \rho_a \cdot \rho_n^{-1}$) oraz współczynnik podatności materiału na zagęszczanie k_c ($k_c = L_c \cdot (\rho_c - \rho_n)^{-1}$ gdzie: ρ_n – gęstość początkowa materiału w stanie zsypanym).

Uzyskane aglomeraty poddano badaniom na wytrzymałość mechaniczną określoną w teście ściskania na maszynie wytrzymałościowej ZWICK Z020/TN2S (prędkość przemieszczania głowicy wynosiła $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$). Aglomerat o średnicy d_a i długości l ściskano poprzecznie do osi, do momentu jego zniszczenia (pęknięcia). Wyznaczono maksymalną siłę niszczącą F_n i obliczono tzw. odporność mechaniczną aglomeratu σ_n z wzoru (Fell i Newton 1970, Li i in. 2000, Ruiz i in. 2000):

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

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

Wyniki badań poddano analizie statystycznej. Wyznaczono zależności pomiędzy parametrami procesu zagęszczania i cechami aglomeratu a wilgotnością w materiale dla każdego nacisku jednostkowego tłoka.

WYNIKI

Analiza regresji wykazała, że zależności mogą być opisane równaniem liniowym lub wielomianem drugiego stopnia. Wykresy obrazujące te zależności oraz równania regresji i wartości współczynnika determinacji R^2 przedstawiono na rysunkach 2-7.

Właściwości fizyczne materiału

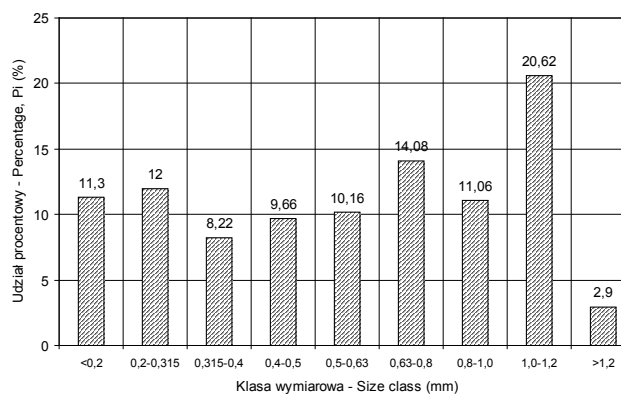
Właściwości fizyczne określono dla rozdrobnionego materiału o wilgotności 10% ($\pm 0,2\%$).

Wartości gęstości w stanie zsypanym dla badanego materiału wyniosła $0,186 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Skład granulometryczny badanego surowca przedstawiono na rysunku 1.

Największą frakcję stanowiły cząstki należące do klasy wymiarowej 1,0-1,2 mm, a procentowy udział wynosił 20,62%. Najmniej w badanym surowcu jest cząstek o wielkości powyżej 1,2 mm (udział procentowy dla tej klasy wymiarowej wynosił 2,9%).

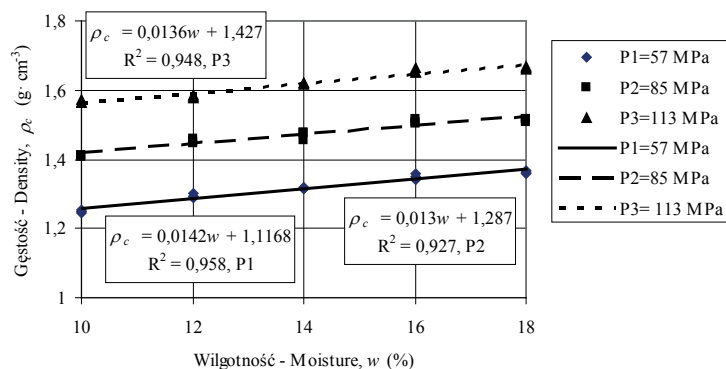
Średni wymiar cząstek badanego surowca obliczony z wzoru (1) wyniósł 0,64 mm.



Rys. 1. Udział procentowy (P_i) poszczególnych frakcji badanego surowca
Fig. 1. Particle size distribution (P_i) of studied raw material

Gęstość surowca w komorze i aglomeratu

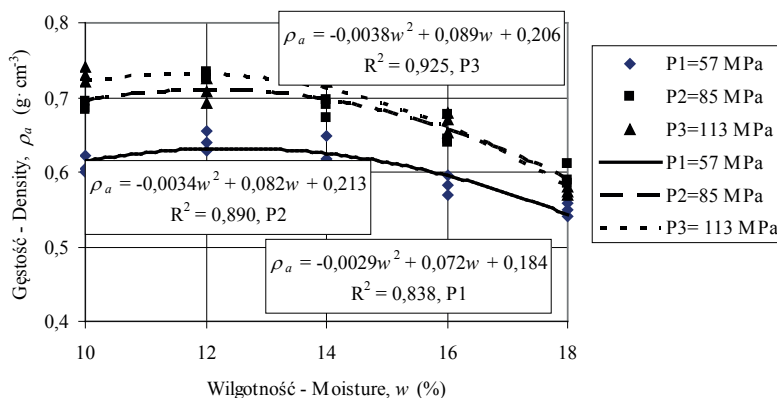
Wpływ wilgotności ślazuwca pensylwańskiego i nacisku tłoka na gęstość materiału w komorze i gęstość aglomeratu zobrazowano na rysunkach 2 i 3. Wraz ze zwiększeniem wilgotności rośnie gęstość materiału w komorze ρ_c , a gęstość aglomeratu ρ_a nieznacznie rośnie do wilgotności 12% i następnie maleje ze zwiększeniem wilgotności od 12 do 18% dla każdego jednostkowego nacisku P1, P2 i P3.



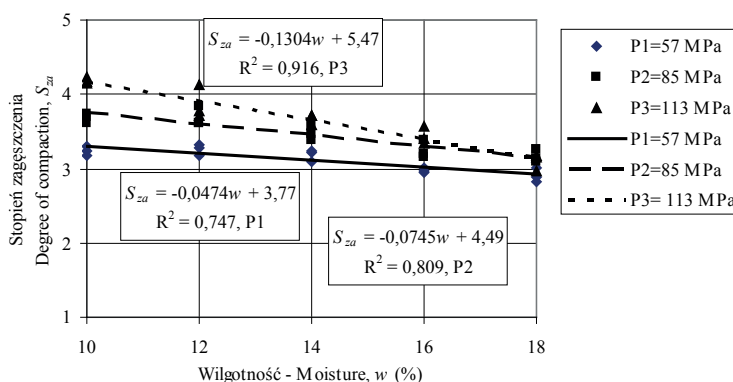
Rys. 2. Zależności gęstości surowca od wilgotności materiału w w komorze ρ_c dla trzech nacisków tłoka: P1, P2, P3

Fig. 2. Relation of density of the raw material in the chamber ρ_c to material moisture w for three levels of piston pressure: P1, P2, P3

Gęstości ρ_c i ρ_a mają w całym zakresie wilgotności największe wartości dla największego stosowanego nacisku P3. Dla nacisku P3 zakres zmienności gęstości w przedziale wilgotności 10-18% wynosi odpowiednio dla ρ_c od 1,56 do 1,68 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, a dla ρ_a od 0,74 do 0,58 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.



Rys. 3. Zależności gęstości aglomeratu ρ_a od wilgotności materiału w dla trzech nacisków tłoka: P1, P2, P3
Fig. 3. Relation of density of the raw material in the chamber ρ_a to material moisture w for three levels of piston pressure: P1, P2, P3



Rys. 4. Zależność stopnia zagęszczenia aglomeratu S_{za} od wilgotności materiału w dla trzech nacisków tłoka: P1, P2, P3

Fig. 4. Degree of compaction of agglomerate S_{za} in relation to material moisture w for the three levels of piston pressure: P1, P2, P3

Natomiast najmniejsze wartości tych gęstości uzyskano w przypadku zagęszczenia surowca przy stosowanym najmniejszym nacisku tłoka P1. Gęstości wynoszą odpowiednio: ρ_c od 1,26 do 1,36 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, ρ_a od 0,61 do 0,53 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Uzyskiwane gęstości surowca w komorze ρ_c podczas zagęszczania przy nacisku tłoka P3 są o około 23% większe od tej gęstości w przypadku zagęszczania przy nacisku P1.

Natomiast dla gęstości aglomeratu ρ_a , w przypadku zagęszczania przy nacisku P3, gęstość była większa o około 9-14% od gęstości uzyskanej przy nacisku P1.

Stopień zagęszczania

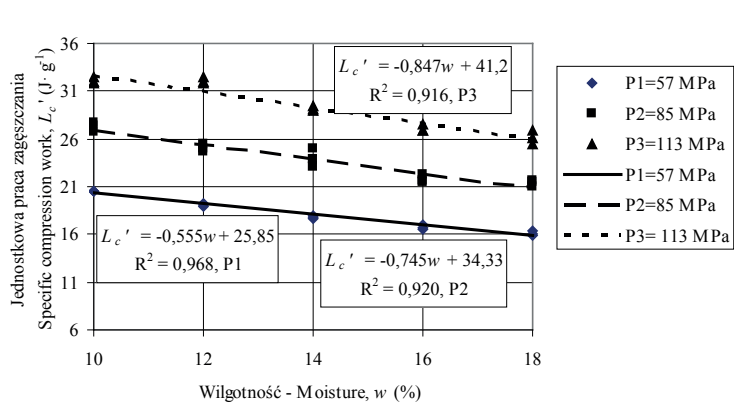
Uzyskane wartości gęstości ρ_c i ρ_a wskazują, że po wyjęciu z matrycy aglomeraty uległy swobodnemu rozprężeniu i gęstość ich maleje. Zmiany gęstości aglomeratu potwierdzają wyniki stopnia zagęszczenia aglomeratu S_{za} (rys. 4), charakteryzującego wielkość zmian gęstości aglomeratu w stosunku do gęstości początkowej materiału (krotność zmniejszenia objętości).

Największym stopniem zagęszczenia S_{za} charakteryzuje się ślazowiec pensylwański o wilgotności 10% zagęszczany przy stosowanym największym nacisku P3 (gęstość aglomeratu jest około 4,2 razy większa od gęstości początkowej materiału). Zwiększenie wilgotności surowca powoduje zmniejszenie stopnia zagęszczenia aglomeratu. Występuje wówczas większe rozprężenie aglomeratu po wyjęciu z matrycy, a tym samym zmniejszenie jego gęstości. Stosując wyższy nacisk tłoka, uzyskuje się większy stopień zagęszczenia aglomeratu i rozprężenie jest mniejsze. Wraz ze wzrostem wilgotności materiału stopień zagęszczenia aglomeratu S_{za} maleje w całym zakresie wilgotności, dla każdego nacisku tłoka.

Jednostkowa praca zagęszczania i podatność materiału na zagęszczanie

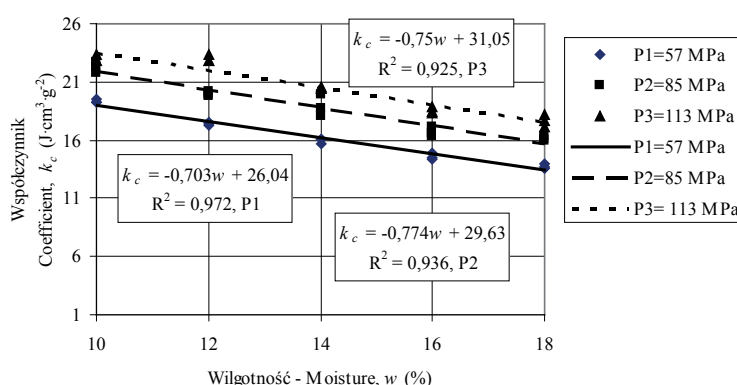
Zależności pomiędzy jednostkową pracą zagęszczania L_c' a wilgotnością ślazowca pensylwańskiego dla trzech nacisków P1, P2 i P3 przedstawiono na rysunku 5.

Ze zwiększeniem wilgotności praca zagęszczania maleje dla każdego nacisku tłoka. Największe wartości pracy uzyskano w przypadku zagęszczania surowca przy stosowaniu największego nacisku P3. Wartość jednostkowej pracy zagęszczania L_c' zawiera się w przedziale od $32 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ (nacisk P3, wilgotność $w = 10\%$) do $16 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ (nacisk P1, wilgotność $w = 18\%$). Zwiększenie wilgotności powoduje, że zagęszczany materiał jest bardziej plastyczny, dzięki czemu nakłady energii niezbędne do jego zagęszczenia maleją i następuje polepszenie podatności materiału na zagęszczanie. Świadczy o tym spadek pracy L_c' (rys. 5) i współczynnika podatności na zagęszczanie k_c (rys. 6), wraz ze wzrostem wilgotności materiału. Dla badanego surowca wartość współczynnika podatności na zagęszczanie k_c (rys. 6) zawiera się w przedziale od $23 \text{ J} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-2}$ (nacisk P3, wilgotność $w = 10\%$) do $14 \text{ J} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-2}$ (nacisk P1, wilgotność $w = 18\%$). Podobne tendencje zmiany współczynnika podatności na zagęszczanie k_c ze wzrostem wilgotności uzyskano w przypadku zagęszczania innych surowców (Kulig i Skonecki 2011, Skonecki i Laskowski 2012, Skonecki i in. 2013, Skonecki i Potręć 2008).



Rys. 5. Zależność jednostkowej pracy zagęszczenia L_c' od wilgotności materiału w dla trzech nacisków tłoka: P1, P2, P3

Fig. 5. Specific compression work L_c' in relation to material moisture w for the three levels of piston pressure: P1, P2, P3



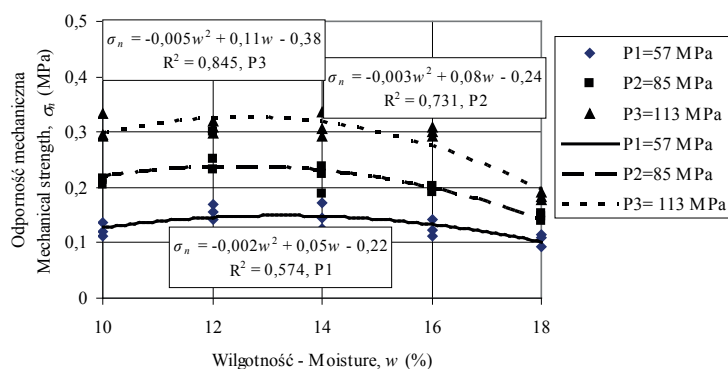
Rys. 6. Zależność współczynnika podatności na zagęszczenie k_c od wilgotności materiału w dla trzech nacisków tłoka: P1, P2, P3

Fig. 6. Coefficient of susceptibility to compaction k_c in relation to material moisture w for the three levels of piston pressure: P1, P2, P3

Wytrzymałość aglomeratu

Wyniki badań odporności mechanicznej σ_n wykazały, że wytrzymałość aglomeratu rośnie nieznacznie do wilgotności około 13%, a następnie maleje wraz ze zwiększeniem wilgotności dla każdego nacisku tłoka (rys. 7). Odporność mechaniczna σ_n dla badanego materiału zawiera się w przedziale od 0,33 do 0,09 MPa.

Odporność mechaniczna zmienia się w zależności od wilgotności i wielkości nacisku tłoka, podobnie jak gęstości aglomeratu (rys. 3). Zagęszczając materiał przy największym nacisku jednostkowym P3, uzyskuje się więc aglomeraty o największej gęstości (rys. 3) i odporności mechanicznej (rys. 7). Jednak uzyskiwanie aglomeratu o wysokiej wytrzymałości mechanicznej wymaga większej jednostkowej pracy zagęszczania (rys. 5) i proces jest bardziej energochłonny.



Rys. 7. Zależność odporności mechanicznej aglomeratu σ_n od wilgotności materiału w dla trzech nacisków tłoka: P1, P2, P3

Fig. 7. Agglomerate mechanical strength σ_n in relation to material moisture w for the three levels of piston pressure: P1, P2, P3

WNIOSKI

1. Wilgotność przyjętej do badań biomasy roślinnej (ślazowca pensylwańskiego) oraz wielkość jednostkowego nacisku tłoka istotnie wpływają na parametry procesu ciśnieniowego zagęszczania materiału w komórce zamkniętej oraz mają znaczny wpływ na wytrzymałość mechaniczną uzyskanego aglomeratu.

2. Zwiększenie wilgotności materiału od 10 do 18% wywołuje: zwiększenie maksymalnej gęstości surowca w komórce ρ_c , zmniejszenie gęstości aglomeratu ρ_a , jednostkowej pracy zagęszczania L_c , stopnia zagęszczenia aglomeratu S_{za} , oraz zmniejszenie współczynnika k_c , czyli polepszenie podatności materiału na zagęszczanie, a także zwiększenie rozprężenia aglomeratu, co powoduje spadek wytrzymałości mechanicznej aglomeratu σ_n .

3. Zagęszczanie materiału przy zwiększaniu nacisku tłoka w zakresie od 57 do 113 MPa powoduje uzyskanie aglomeratów o większej gęstości i wyższej wytrzymałości mechanicznej. Jednak należy zaznaczyć, że przy wyższych naciskach, ze względu na większe nakłady jednostkowej pracy, proces zagęszczania jest energochłonny.

PIŚMIENNICTWO

- Adamczyk F., Frąckowiak P., Mielec K., Kośmicki Z., 2005. Problematyka badawcza w procesie zagęszczania słomy przeznaczonej na opał. *J. Res. Appl. Agric. Engng.*, 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.
- Borkowska H., Molas R., 2012. Two extremely different crops, *Salix* and *Sida*, as sources of renewable bioenergy. *Biomass Bioenergy*, 36, 234-240.
- Borkowska H., Molas R., Skiba D., Machaj H., 2016. Plonowanie oraz wartość energetyczna ślazuca pensylwańskiego w zależności od poziomu nawożenia azotem. *Acta Agroph.*, 23(1), 5-14.
- Fell J. T., Newton J. M., 1970. Determination of tablet strength by the diametral compression test. *J. Pharm. Sci.*, 59(5), 688-691.
- Jha S.K., Singh A., Kumar A., 2008. Physical characteristics of compressed cotton stalks. *Biosystems Engineering*, 99(2), 205-210.
- Kaliyan N., Morey R.V., 2009. Densification characteristics of corn stover and switchgrass. *T ASABE*, 52(3), 907-920.
- Kulig R., Skonecki S., 2011. Wpływ wilgotności na parametry procesu zagęszczania wybranych roślin energetycznych. *Acta Agroph.*, 17(2), 335-344.
- 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. Agrophys.*, 13, 477-486.
- Li Y., Liu H., 2000. High pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. *Biomass Bioenergy*, 19(3), 177-186.
- 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 Bioenergy*, 30(7), 648-654.
- Obidziński S., 2013. Ocena procesu wytwarzania granulatu opałowego z otrąb owsianych z udziałem wycierki ziemniaczanej. *Acta Agrophysica*, 20(2), 389-401.
- Obidziński S., 2014. Pelletization of biomass waste with potato pulp content. *Int. Agrophys.*, 28, 85-91.
- 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., Laskowski J., 2012. Wpływ średnicy komory i wilgotności słomy pszennej na parametry zagęszczania. *Acta Agroph.*, 19(2), 415-421.
- Skonecki S., Laskowski J., Kulig R., Łysiak G., 2013. Wpływ wilgotności materiału i średnicy komory na parametry zagęszczania miskanta olbrzymiego. *Acta Agroph.*, 20(1), 185-194.
- Skonecki S., Potręć M., 2008. Wpływ wilgotności łusek kolb kukurydzy na parametry zagęszczania. *Acta Agroph.*, 11(3), 725-732.

INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT OF MATERIAL AND PISTON
PRESSURE ON COMPACTION PARAMETERS AND STRENGTH
OF AGGLOMERATE OF VIRGINIA MALLOW (*SIDA HERMAPHRODITA*)

Stanisław Skonecki, Ryszard Kulig, Grzegorz Łysiak, Renata Różyło, Monika Wójcik

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

Abstract. The paper presents the results of a study on the influence of moisture content of plant biomass (Virginia mallow) and of unit piston pressure on the parameters of briquetting (compaction), on the compaction ability of raw material, and on the quality of obtained agglomerates. Compaction of the raw material was carried out using a Zwick testing machine type ZO20/TN2S and a closed die compression assembly with a diameter of 15 mm. Material moisture varied from 8 to 18%. Compaction was performed for three maximum levels of unit pressure of the piston on the material – 57, 85 and 113 MPa. It was found that an increase in the moisture content caused an increase of the density of the material in the chamber and of the expansion of the agglomerate, while the agglomerate density and the work of compaction decreased. The increase in raw material moisture content improved the compaction ability and worsened the quality of the agglomerates in terms of their strength. With increasing piston pressure there was an increase of the density of the agglomerate, compaction work and mechanical strength of the agglomerate.

Key words: agglomeration, Virginia mallow, compaction parameters