

WPLÝW WILGOTNOŒCI ŁUSEK KOLB KUKURYDZY NA PARAMETRY ZAGĘSZCZANIA

Stanisław Skonecki, Milena Potręć

Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Uniwersytet Przyrodniczy
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin
e-mail: stanislaw.skonecki@ar.lublin.pl

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań nad określeniem wpływu wilgotności łusek kolb kukurydzy na parametry zagęszczania, podatność surowca na aglomerowanie oraz jakość uzyskanych aglomeratów. Wilgotność materiału wynosiła od 12% do 22%. Do badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową ZWICK typ ZO2O/TN25. Zagęszczanie surowca przeprowadzono w zespole prasującym z matrycą zamkniętą. Maksymalna siła zagęszczania wynosiła 20 kN, a prędkość przemieszczania tłoka $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Do analizy przyjęto następujące parametry: maksymalna gęstość materiału w komorze, całkowita praca zagęszczania, jednostkowa praca zagęszczania, współczynnik charakteryzujący podatność materiału na zagęszczanie oraz gęstość i trwałość aglomeratu. Stwierdzono, że ze zwiększeniem wilgotności maleje gęstość łusek kolb kukurydzy w komorze matrycy i gęstość aglomeratu oraz zmniejsza całkowita i jednostkowa praca zagęszczania. Wzrost wilgotności polepsza podatność surowca do aglomerowania oraz pogarsza jakość aglomeratów pod względem ich wytrzymałości.

Słowa kluczowe. parametry zagęszczania, wilgotność, łuska kolb kukurydzy

WSTĘP

Proces ciśnieniowego aglomerowania jest stosowany w przemyśle rolno-spożywczym, chemicznym, farmaceutycznym, ceramicznym, metalurgicznym i innych (Ewsuk 1997, Ferrero i Molenda 1999, Georget i in. 1994, Hejft 2002, Grochowicz 1998, Melcion 1995). Wzrastające zainteresowanie wykorzystaniem surowców roślinnych (biomasy) do produkcji biopaliw stałych powoduje, że coraz więcej uwagi poświęca się aglomerowaniu (brykietowaniu i paletyzacji) tych materiałów. Spowodowane jest to głównie małą gęstością biomasy, co utrudnia transport, magazynowanie i dozowanie do kotłów. Ponadto szeroki przedział jej wilgotności (od kilku do 60%) oraz niska wartość opałowa na jednostkę objętości powodują utrudnienia w dystrybucji biomasy w postaci pierwotnej. Obecnie brykiety

i pelety produkuje się głównie z biomasy odpadowej oraz poszukuje się nowych surowców energetycznych (Stolarski 2004, Stolarski i Szczukowski 2007).

Istotnym zagadnieniem jest określenie przebiegu aglomerowania i jakości produktu, co w warunkach laboratoryjnych dokonuje się w badaniach ciśnieniowego zagęszczania surowców. Badania te umożliwiają określenie parametrów procesu w tym energochłonności oraz podatności materiału na zagęszczanie. Wcześniejsze prace objęły analizę zagęszczania surowców roślinnych stosowanych do produkcji pasz (ziarna zbóż, nasion roślin strączkowych i innych). Określono między innymi wpływ wilgotności i temperatury materiału, warunków zagęszczania, zawartości tłuszczu czy też cech mechanicznych ziarna na parametry aglomerowania, jak również podatność materiału na zagęszczanie i jakość aglomeratu. Dane dotyczące badań nad tymi zagadnieniami przedstawiono w pracach (Laskowski i in. 2005, Laskowski i Skonecki 1999, Skonecki i Laskowski 2006 a, b, Skonecki i in. 2003).

Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu wilgotności jednego z potencjalnych surowców do produkcji biopaliw stałych tj. łusek (plewek) z rdzeni kolb kukurydzy na parametry zagęszczania i jakość uzyskanego aglomeratu.

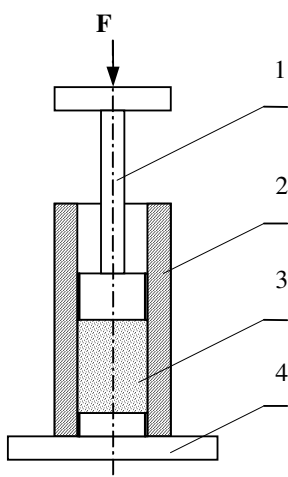
MATERIAŁ I METODY

Do badań przyjęto łuski z kolb kukurydzy odmiany Fuxxol. Surowiec pochodził z Katedry Maszynoznawstwa Rolniczego Akademii Rolniczej w Lublinie. Średni wymiar cząstek (określony zgodnie z PN-89/R-64798 przy wykorzystaniu sit o otworach prostokątnych o wymiarach oczek: 2,8; 2,5; 2,2; 2,0; 1,8; 1,6 mm) dla badanego surowca wynosił 2,55 mm. Gęstość w stanie zsypanym oznaczona zgodnie z PN-ISO 7971-2 dla surowca o wilgotności 27,5% wynosiła $0,13 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Badania zagęszczenia przeprowadzono dla materiału o wilgotności 12%, 14%, 16%, 18%, 20% i 22% ($\pm 0,2\%$). Wilgotność surowca osiągnęto poprzez suszenie lub dodanie wymaganej ilości wody do próbek o znanej masie i wilgotności. Tak przygotowane próbki przechowywano przez 48 godzin.

Badania procesu zagęszczania zostały wykonane zgodnie z metodyką opracowaną w Katedrze Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego AR w Lublinie (Laskowski i Skonecki 2001). Zagęszczanie surowca prowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Zwick Z020/TN2S, z komputerową rejestracją siły zagęszczania (w zakresie obciążeń 0-20 kN, jednostkowy maksymalny nacisk $P_{max} = 114 \text{ MPa}$). W badaniach zastosowano zespół prasujący z matrycą zamkniętą (rys. 1).

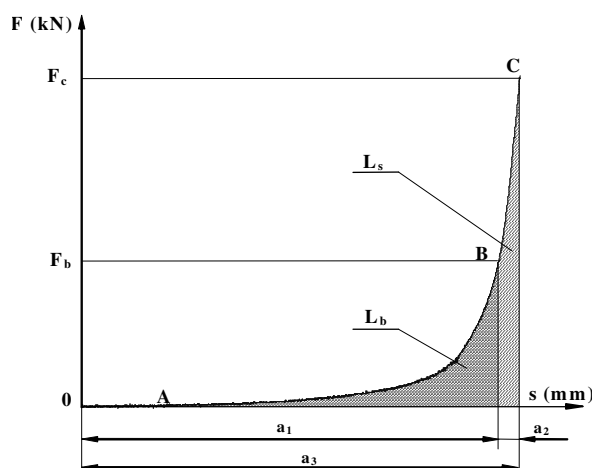
Średnica komory zagęszczania wynosiła $d = 15 \text{ mm}$, temperatura cylindra (materiału zagęszczanego) 20°C , prędkość przemieszczania tłoka $10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Zagęszczanie prowadzono każdorazowo w trzech powtórzeniach. Efektem pomiaru jest zarejestrowana krzywa, charakterystyka zagęszczania (zależność siły zagęszcza-

nia od przemieszczenia tłoka – rys. 2). Opis charakterystyki zawiera praca (Laskowski i Skonecki 2001). Z krzywej wyznaczono parametry dla maksymalnego nacisku (punkt C krzywej): maksymalną gęstość materiału w komorze ρ_c i całkowitą pracę zagęszczania L_c ($L_c = L_b + L_s$). Ponadto obliczono jednostkową pracę zagęszczania L_c' (praca odniesiona do masy materiału) oraz współczynnik k_c charakteryzujący podatność materiału na zagęszczanie ($k_c = L_c' / (\rho_c - \rho_n)$), gdzie ρ_n – gęstość materiału w stanie zsypanym). Dla uzyskanego aglomeratu określono gęstość ρ_a . Aglomeraty poddano badaniom wytrzymałościowym. Aglomerat o długości l ściskano na maszynie Zwick ZO20/TN2S poprzecznie do osi i wyznaczono maksymalną siłę niszczącą F_n . Twardość aglomeratu σ_n ($\text{N}\cdot\text{cm}^{-1}$), obliczono z wzoru: $\sigma_n = F_n \cdot (l)^{-1}$.



Rys. 1. Schemat zespołu prasującego: 1 – tłok, 2 – cylinder, 3 – zagęszczany materiał, 4 – podstawa

Fig. 1. Schematic of the compression assembly: 1 – piston, 2 – cylinder, 3 – compressed material, 4 – bottom stand



Rys. 2. Charakterystyka zagęszczania (Laskowski i Skonecki 2001)

Fig. 2. Characteristic of compaction process (Laskowski and Skonecki 2001)

Dokonano analizy statystycznej wyników badań. Wyznaczono, przy wykorzystaniu programu Statistica firmy StatSoft Inc., zależności pomiędzy badanymi cechami a wilgotnością (w) materiału.

WYNIKI

Równania regresji opisujące badane parametry w zależności od wilgotności materiału zawarto w tabeli 1, a wybrane zależności przedstawiono na rysunkach.

Gęstość surowca w komorze i aglomeratu

Stwierdzono, że wraz ze wzrostem wilgotności zmniejsza się maksymalna gęstość surowca w komorze ρ_c i gęstość aglomeratu ρ_a (tab. 1, rys. 3). Zakres zmienności gęstości surowca w komorze ρ_c wyniósł od $1,74 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ do $1,68 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Natomiast zakres zmienności gęstości aglomeratu ρ_a wyniósł od $1,14 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ do $0,95 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Wraz ze zwiększeniem wilgotności aglomerat bardziej rozpręża się. Największą gęstość uzyskano dla surowca o wilgotności 16%, najmniejszą dla wilgotności 22%.

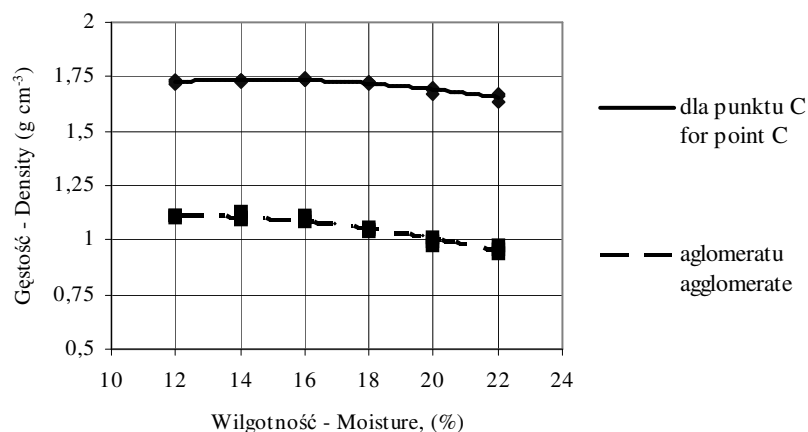
Praca zagęszczania i podatność materiału na zagęszczanie

Zwiększenie wilgotności powoduje jednoznaczne zmiany parametrów zagęszczania (tab. 1). Wraz ze wzrostem wilgotności surowca maleją nakłady pracy na zagęszczanie. Wartość całkowitej pracy zagęszczania L_c zawiera się w przedziale od 42 J do 21 J. Wartość jednostkowej pracy zagęszczania L_c' dla badanego surowca zawiera się w przedziale od $21 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ do $11 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (rys. 4).

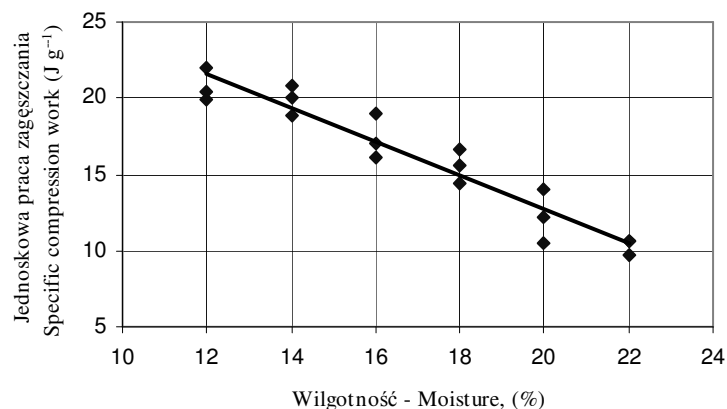
Tabela 1. Równania regresji opisujące zależności gęstości ρ_c , ρ_a , całkowitej i jednostkowej pracy zagęszczania L_c i L_c' , współczynnika k_c i twardości aglomeratu σ_n od wilgotności w surowca i wartości współczynnika determinacji R^2

Table 1. Material density ρ_c , ρ_a , compression and specific compression work L_c and L_c' , coefficient k_c , and strength of the agglomerate σ_n in the function of the material moisture w and the values of determination coefficients R^2

Parametr – Parameter	Równanie regresji Regression equation	R^2
Gęstość materiału w komorze (punkt C) Density of material in the chamber (point C)	$\rho_c = -0,0015w^2 + 0,043w + 1,424$	0,895
Gęstość aglomeratu Density of agglomerate	$\rho_a = -0,0016w^2 + 0,038w + 0,889$	0,945
Praca zagęszczania Compression work	$L_c = -2,205w + 69,53$	0,918
Jednostkowa praca zagęszczania Specific compression work	$L_c' = -1,102w + 34,77$	0,918
Współczynnik (k_c) Coefficient (k_c)	$k_c = -0,6581w + 21,293$	0,912
Twardość aglomeratu Agglomerate strength	$\sigma_n = -2,29w + 58,95$	0,953



Rys. 3. Zależność gęstości dla punktu C (ρ_c) oraz aglomeratu (ρ_a) od wilgotności materiału (w)
Fig. 3. Relation of density for point C (ρ_c), and agglomerate density (ρ_a) to material moisture (w)

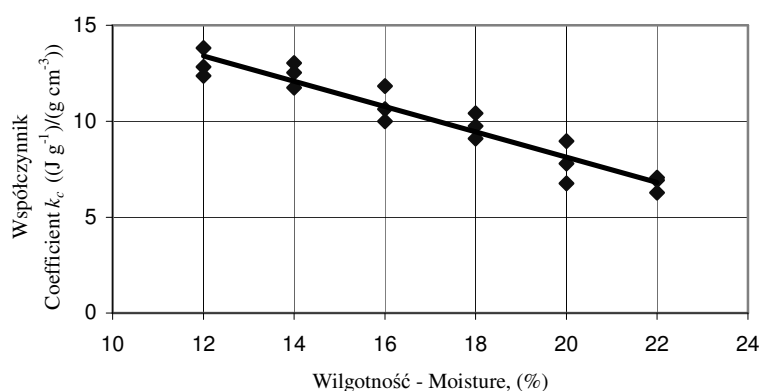


Rys. 4. Zależność jednostkowej pracy zagęszczania (L_c') od wilgotności materiału (w)
Fig. 4. Specific compression work (L_c') in relation to material moisture (w)

Z tabeli 1 oraz z rysunku 5 wynika, że ze zwiększeniem wilgotności (w) maleje współczynnik k_c , polepsza się podatność materiału na zagęszczanie. Wartość współczynnika k_c zawiera się w przedziale od $13,52 \text{ (J}\cdot\text{g}^{-1})/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$ do $6,9 \text{ (J}\cdot\text{g}^{-1})/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$. Największą wartość współczynnika k_c uzyskano dla surowca o wilgotności 12%, natomiast najmniejszą dla materiału o wilgotności 22%.

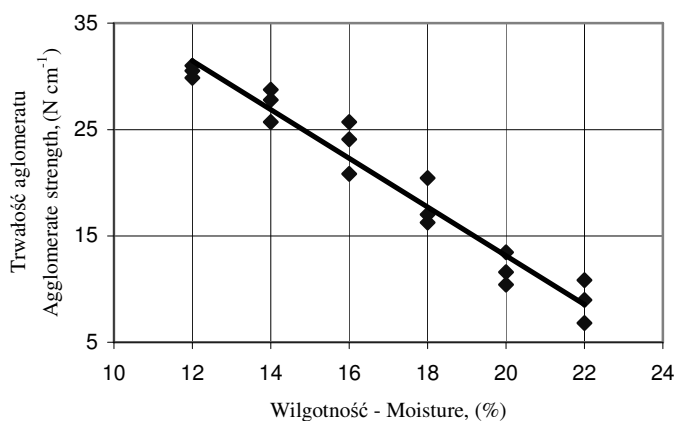
Wytrzymałość aglomeratu

Badania aglomeratu na ściskanie wykazały, że ze wzrostem wilgotności materiału uzyskuje się aglomeraty o mniejszej wytrzymałości (maleje twardość) (rys. 6). Równanie regresji opisujące zależności wytrzymałości (twardości) (σ_n) od wilgotności (w) podano w tabeli 1. Twardość zawiera się w przedziale od 30,45 ($\text{N}\cdot\text{cm}^{-1}$) (dla $w = 12\%$) do 8,86 ($\text{N}\cdot\text{cm}^{-1}$) (dla $w = 22\%$).



Rys. 5. Zależność współczynnika (k_c) od wilgotności materiału (w)

Fig. 5. Coefficient (k_c) in relation to material moisture (w)



Rys. 6. Zależność twardości aglomeratu (σ_n) od wilgotności materiału (w)

Fig. 6. Agglomerate strength (σ_n) in relation to material moisture (w)

Podsumowując wyniki badań można stwierdzić, że wpływ wilgotności na parametry zagęszczania, gęstości surowca, podatność materiału na zagęszczanie i twardość są podobne jak dla innych surowców takich jak ziarna zbóż, nasiona roślin strączkowych (Laskowski i in. 2005). Zwiększenie wilgotności powoduje zmniejszenie gęstości oraz wytrzymałości aglomeratu. Materiał o większej podatności na zagęszczanie przy wyższej wilgotności nie oznacza uzyskiwania aglomeratu o dobrej wytrzymałości.

WNIOSKI

1. Wilgotność ma istotny wpływ na zmianę gęstości surowca w komorze zagęszczania i gęstości aglomeratu, na parametry procesu oraz na podatność materiału na zagęszczanie i jakość uzyskanego aglomeratu.
2. Wraz ze wzrostem wilgotności maleje gęstość surowca i aglomeratu, całkowita i jednostkowa praca zagęszczania.
3. Badania współczynnika zdolności materiału na zagęszczania wskazują, że wraz ze wzrostem wilgotności polepsza się podatność surowca do aglomerowania.
4. Wzrost wilgotności materiału pogarsza jakość uzyskanych aglomeratów pod względem ich wytrzymałości (twardości).

PIŚMIENNICTWO

- Ewsuk K. G., 1997. *Compaction Science and Technology*. Materials Research Society Bulletin, 22(12), 14-18.
- Ferrero A., Molenda M., 1999. Device for continuous measurement of straw briquette expansion. *Int. Agrophysics*, 13, 87-92.
- Georget D. M. R., Parker R., Smith A.C., 1994. A study of the effects of water content on the compaction behaviour of breakfast cereal flakes. *Powder Technology*, 81, 189-195.
- Grochowicz J., 1998 (red.). *Zaawansowane techniki wytwarzania przemysłowych mieszanek paszowych*. PAGROS, Lublin.
- Hejft R., 2002. *Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych*. Politechnika Białostocka, Wyd. i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji w Radomiu.
- 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.
- Melcion J. P., 1995. Testing procedures for pelleting research. *Feed Mix*, 3 (5), 33-37.
- Skonecki S., Laskowski J., 2006a. Wpływ średnicy komory i masy próbki na zagęszczanie poekstrakcyjnej śrutu rzepakowej. *Inżynieria Rolnicza*, 6 (81), 15-23.

- Skonecki S., Laskowski J., 2006b. Wpływ prędkości przemieszczenia tłoka na parametry zagęszczania pszenicy. *Acta Agrophysica*, 8(4), 975-984.
- Skonecki S., Sudół A., Laskowski J., 2003. Wpływ cech mechanicznych ziarna pszenicy na parametry zagęszczania. *Acta Agrophysica*, 2(1), 179-189.
- Stolarski M., 2004. Ekonomiczne aspekty produkcji pelet z surowców roślinnych. *Czysta Energia*, 6, 32-33.
- Stolarski M., Szczukowski S., 2007. Różnorodność surowców do produkcji pelet. *Czysta Energia*, 6, 42-43.

INFLUENCE OF MOISTURE CONTENT OF MAIZE COB CORES ON COMPRESSION PROCESS PARAMETERS

Stanisław Skonecki, Milena Potręć

Department of Machine Operation in Food Industry, University of Life Sciences
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin
e-mail: stanislaw.skonecki@ar.lublin.pl

Abstract. The paper presents results of a study on the influence of moisture of maize cob cores on some compression process parameters, agglomeration ability and agglomerate quality. Material moisture was established from 12% to 22%. The experiments were done with the help of a universal machine Zwick Z020/TN25. The material was compressed in a closed compression assembly (die). Maximum load was established at 25 kN, and the piston velocity at 10 mm min⁻¹. The following parameters were analysed i.e. material density in the die, compression and specific compression work, a coefficient describing the material ability to compression, and strength of agglomerates. A decrease of density of maize cob cores in the die and density of agglomerate as well as compression and specific compression work for higher values of moisture were observed. Higher level of moisture had a positive effect on agglomeration ability and, conversely, a negative one on the strength of agglomerates and on their quality.

Key words: compression parameters, moisture, maize cob cores