

WPLYW CECH MECHANICZNYCH ZIARNA PSZENICY NA PARAMETRY ZAGĘSZCZANIA

Stanisław Skonecki¹, Agnieszka Sudół¹, Janusz Laskowski²

¹Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego, Akademia Rolnicza
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin
e-mail: KEMPS@faunus.ar.lublin.pl

²Wyższa Szkoła Inżynieryjno-Ekonomiczna, ul. Mickiewicza 10, 39-100 Ropczyce

Streszczenie. Przedstawiono wyniki badań wpływu cech mechanicznych na parametry zagęszczania nierozdrobnionego i rozdrobnionego ziarna pszenicy. Test ściskania ziarna między płaskimi płytami i zagęszczanie materiału rozdrobnionego w komorze zamkniętej przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Zwick Z020/TN2S. Stwierdzono, że ze zwiększeniem wytrzymałości ziarna rośnie praca zagęszczania i maleje podatność materiału na zagęszczanie. Największą gęstość aglomeratu uzyskano dla średnich cech mechanicznych ziarna (materiał o wilgotności około 14-15%).

Słowa kluczowe: pszenica, właściwości mechaniczne, parametry zagęszczania

WSTĘP

Właściwości mechaniczne materiałów biologicznych decydują o rozwiązaniach konstrukcyjnych maszyn i urządzeń oraz istotnie wpływają na przebieg procesów przetwórczych. Większość badań nad wytrzymałością ziarna prowadzona była w oparciu o próby jego ściskania pomiędzy płaskimi płytami. Dotyczyły one określenia wpływu działania obciążeń na wartość biologiczną i przetwórczą ziarna [1,4,5,14] oraz wyznaczenia cech wytrzymałościowych [2,11-13,15]. Wyznaczano naprężenia i odkształcenia oraz siłę lub pracę przy danym odkształceniu. Badania te w powiązaniu z badaniami procesów przetwórczych mogą przyczynić się do wyjaśnienia przebiegu i efektu procesu przetwórczego.

Analiza zagęszczania biologicznych surowców ziarnistych wskazała, że parametry procesu aglomerowania, jak również podatność materiału na zagęszczanie zależą istotnie od wilgotności i temperatury [7-10], a więc od czynników decydu-

jących o właściwościach reologicznych. Parametry zagęszczania mogą być zatem związane z właściwościami nasion. Celem pracy jest określenie wpływu wybranych cech mechanicznych ziarna na parametry zagęszczania i podatność na zagęszczanie ziarna pszenicy.

MATERIAŁ I METODY

Charakterystyka materiału i stanowisko badawcze

Do badań wybrano ziarno pszenicy odmiany Sukces pochodzące z Rolniczego Zakładu Doświadczalnego Akademii Rolniczej w Lublinie, ze zbiorów 2002r. Cechy mechaniczne i parametry zagęszczania określono dla materiału o wilgotności 10%, 12%, 14%, 16%, 18% i 20% (+/-0,2%). Zagęszczanie przeprowadzono dla ziarna i materiału rozdrobnionego. Pszenicę rozdrobniono na rozdrabniaczu bijakowym z sitem o wielkości oczek 5 mm.

Badania ściskania ziarna i zagęszczania prowadzono przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Zwick Z020/TN2S (odpowiednio w zakresie obciążeń 0-2,5 kN, 0-20 kN) zgodnie z metodyką opracowaną w Katedrze Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego AR w Lublinie [3,6].

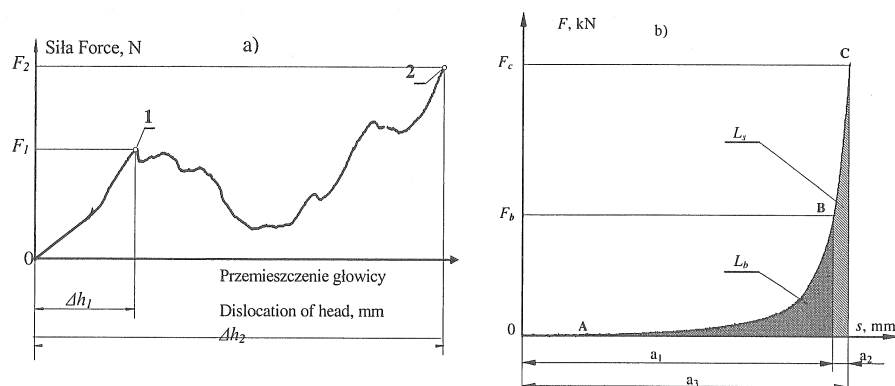
Badania ściskania ziarna

Ziarno pszenicy podzielono według grubości na klasy wymiarowe (stosowano wstrząsarkę Steineckera - Vogla z kompletem sit o otworach podłużnych). Do badań wytrzymałościowych użyto ziarna o grubości 2,8-3,1 mm (udział masy 46%).

Pomiary zgniatania ziarna polegały na jego ściskaniu pomiędzy równoległymi płytami stalowymi. Pojedyncze ziarno pszenicy, po wcześniejszym zważeniu z dokładnością do 10^{-4} g, umieszczano bruzdką na dolnej nieruchomej płycie, a następnie zgniatano przy pomocy górnej płyty poruszającej się ze stałą prędkością $10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Siła działała wzdłuż grubości ziarna. Pomiar prowadzono do momentu kiedy odległość pomiędzy płytami wynosiła 0,5 mm. Ściskanie dla jednej wilgotności wykonano dla 30 wybranych losowo ziaren, a wartości cech mechanicznych obliczano jako średnią arytmetyczną.

Podczas pomiaru rejestrowano krzywą zgniatania (rys. 1a). Z krzywych zgniatania określono: wartości sił (F), przemieszczenia głowicy (Δh), nakładów pracy (L) do charakterystycznych punktów, tj.: progu wytrzymałości doraźnej ($F_1, \Delta h_1, L_1$) i progu zgniecenia ($F_2, \Delta h_2, L_2$). Prace odnoszono do masy ziarna, co oznaczono jako prace jednostkowe: L_{j1} – do progu wytrzymałości doraźnej, L_{j2} – do progu zgniecenia.

Obliczono odkształcenie ziarna h (iloraz przemieszczenia głowicy do wysokości ziarna). Do analizy przyjęto następujące cechy mechaniczne: siłę i odkształcenie dla przegu wytrzymałości doraźnej F_1, h_1 oraz jednostkowe prace L_{j1}, L_{j2} .



Rys. 1. Charakterystyki: a – ściskania ziarna [3], b – zagęszczania [6]
Fig. 1. Characteristics of: a – compression [3] and b – compaction process [6]

Badania zagęszczania

W badaniach zastosowano zespół zagęszczający z matrycą zamkniętą (średnica komory zagęszczania $d = 15$ mm). Masa materiału wynosiła 6 g, temperatura cylindra 20°C , prędkość przemieszczenia tłoka $10\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Maksymalna siła zagęszczania 20 kN. Zagęszczanie prowadzono w trzech powtórzeniach, a parametry obliczano jako średnią arytmetyczną.

Podczas każdego pomiaru rejestrowano krzywą zagęszczania (rys. 1b. – zmiana siły zagęszczania F od przemieszczenia tłoka s), której opis zawierają prace [6,7]. Z krzywej zagęszczania wyznaczono parametry uzyskane dla maksymalnej siły zagęszczania (punkt C krzywej [6]), to znaczy gęstość materiału w komorze ρ_c , całkowitą pracę zagęszczania L_c (L_c – suma pracy zagęszczania L_b do punktu B i pracy ściskania L_s). Obliczono jednostkową pracę zagęszczania L_c' (praca odniesiona do masy materiału) oraz współczynnik k_c charakteryzujący podatność materiału do zagęszczania (wartość jednostkowej pracy zagęszczania odniesionej do przyrostu gęstości, $k_c = L_c' / (\rho_c - \rho_n)$, gdzie ρ_n – gęstość usypowa materiału). Cechy zagęszczania oznaczono symbolami: dla pszenicy rozdrobnionej $\rho_{cr}, \rho_{kr}, L_{cr}', k_{cr}$, dla ziarna $\rho_{cz}, \rho_{kz}, L_{cz}', k_{cz}$. Dla uzyskanego aglomeratu określono gęstość bezpośrednio po wyjęciu z komory ρ_{kr} (materiał rozdrobniony) i ρ_{kz} (ziarno).

Ocena statystyczna wyników badań

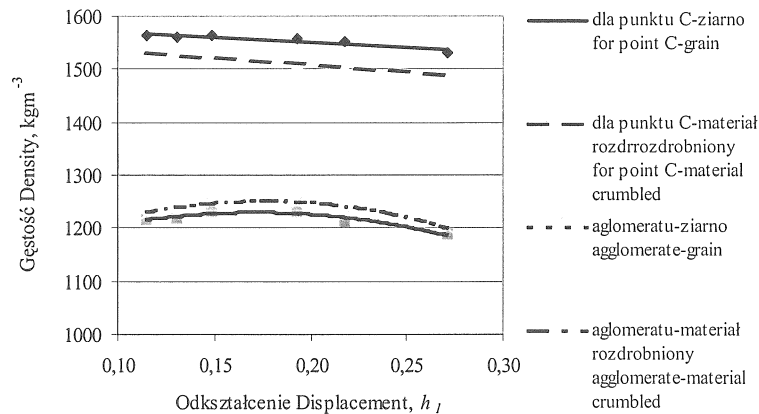
Wyznaczono zależności regresyjne pomiędzy parametrami zagęszczania (ρ_{cr} , ρ_{kr} , L_{cr}' , k_{cr} , ρ_{cz} , ρ_{kz} , L_{cz}' , k_{cz}) i cechami mechanicznymi ziarna (F_1 , h_1 , L_{j1} , L_{j2}). Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu programu komputerowego Statistica (firmy StatSoft Inc. 2300 East 14 th Street, Tulsa OK 74104). Analiza ta wykazała, że zależności mogą być opisane równaniem liniowym lub wielomianem drugiego stopnia. Uzyskane zależności podano w tabelach lub przedstawiono graficznie na rysunkach.

WYNIKI

Gęstość surowca w komorze i aglomeratu

Z zależności przedstawionych w tabeli 1 oraz przykładowego rysunku 2 wynika, że gęstość materiału w komorze (punkt C) uzyskana dla ziarna jest większa od gęstości dla materiału rozdrobnionego. Natomiast większą gęstość aglomeratu uzyskano dla materiału rozdrobnionego. Zakres zmienności gęstości (w zakresie wilgotności 10-20%) wyniósł: ρ_{cz} od 1565 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do 1530 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, ρ_{cr} od 1530 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do 1490 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, ρ_{kz} od 1230 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do 1185 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i ρ_{kr} od 1250 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do 1200 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Stwierdzono niewielkie i różne zmiany gęstości w zależności od cech mechanicznych (tab. 1). Gęstości materiału w komorze ρ_{cz} i ρ_{cr} maleją ze zwiększeniem odkształcenia ziarna dla progu wytrzymałości doraźnej h_1 (rys. 2) i jednostkowej pracy do tego progu L_{j1} . Gęstości te rosną ze wzrostem siły F_1 i jednostkowej pracy



Rys. 2. Zależność gęstości dla punktu C oraz gęstości aglomeratu od odkształcenia h_1
 Fig. 2. Relation of density for point C and of the agglomerate's density to displacement h_1

do progu zgniecenia L_{j2} . Zmiany te wywołane są oddziaływaniem wilgotności na cechy mechaniczne ziarna. Ze zwiększaniem wilgotności ziarno pszenicy staje się bardziej plastyczne co powoduje spadek siły F_1 i jednostkowej pracy L_{j2} , a wzrost odkształcenia h_1 i pracy L_{j1} .

Aglomeraty uzyskują największą gęstość ρ_{kz} i ρ_{kr} przy średnich wielkościach cech mechanicznych (dla materiału o wilgotności około 14-15%).

Tabela 1. Równania regresji opisujące zależności gęstości ρ_{cz} , ρ_{cr} , ρ_{kz} i ρ_{kr} od cech mechanicznych ziarna i wartości współczynnika determinacji R^2

Table 1. Regression equations describing relations of densities ρ_{cz} , ρ_{cr} , ρ_{kz} i ρ_{kr} to grain mechanical properties and the values of determination coefficients R^2

Cecha mechaniczna ziarna Grain mechanical properties	Gęstość Density	Równanie regresji Regression equation	R^2	
Odkształcenie, h_1 Displacement, h_1	Materiału w komorze zagęszczania (punkt C) Material in the compression chamber (point C)	$\rho_{cz} = -190,1h_1 + 1589,3$ $\rho_{cr} = -260,2h_1 + 1560,4$	0,812 0,993	
	Aglomeratu Agglomerate	$\rho_{kz} = -4425,5h_1^2 + 1516,1h_1 + 1100,1$ $\rho_{kr} = -5699,1h_1^2 + 212,3h_1 + 1073,2$	0,942 0,987	
	Siła, F_1 Force, F_1	Materiału w komorze zagęszczania (punkt C) Material in the compression chamber (point C)	$\rho_{cz} = -0,0542F_1^2 + 12,495F_1 + 850,2$ $\rho_{cr} = -0,0608F_1^2 + 14,32F_1 + 690,92$	0,692 0,929
		Aglomeratu Agglomerate	$\rho_{kz} = -0,0803F_1^2 + 17,929F_1 + 231,9$ $\rho_{kr} = -0,091F_1^2 + 20,133F_1 + 137,87$	0,491 0,458
Jednostkowa praca, L_{j1} Specific work, L_{j1}	Materiału w komorze zagęszczania (punkt C) Material in the compression chamber (point C)	$\rho_{cz} = -0,2713L_{j1} + 1729,5$ $\rho_{cr} = -0,3874 L_{j1} + 1762,7$	0,729 0,971	
	Aglomeratu Agglomerate	$\rho_{kz} = -0,014 L_{j1}^2 + 17,871 L_{j1} - 4468,8$ $\rho_{kr} = -0,0169 L_{j1}^2 + 21,618 L_{j1} - 5666,6$	0,994 0,969	
	Jednostkowa praca, L_{j2} Specific work, L_{j2}	Materiału w komorze zagęszczania (punkt C) Material in the compression chamber (point C)	$\rho_{cz} = 0,0076 L_{j2} + 1469,7$ $\rho_{cr} = 0,0109 L_{j2} + 1391,1$	0,703 0,943
Aglomeratu Agglomerate		$\rho_{kz} = -0,00001 L_{j2}^2 + 0,2233 L_{j2} - 53,9$ $\rho_{kr} = -0,00001 L_{j2}^2 + 0,2661 L_{j2} - 267,1$	0,980 0,949	

Jednostkowa praca zagęszczania

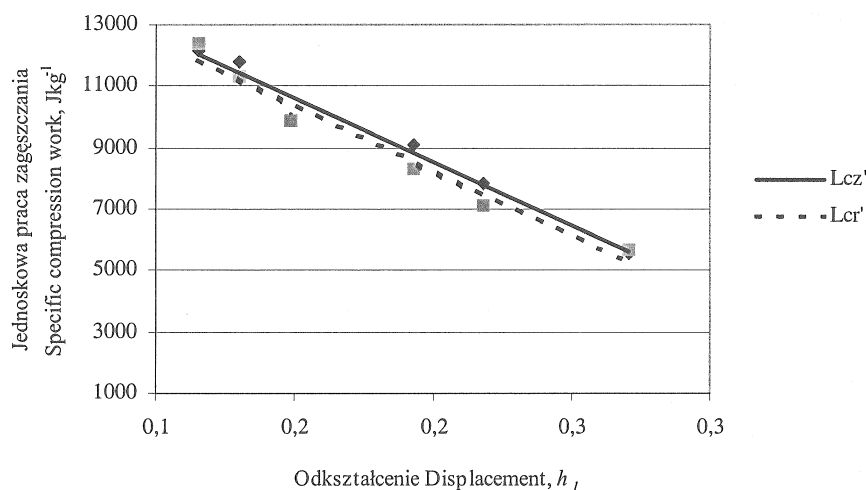
Z wyników badań stwierdzono, że jednostkowa praca zagęszczania ziarna pszenicy L_{cz}' jest nieznacznie większa od pracy dla zagęszczania surowca rozdrobnionego L_{cr}' . W zakresie wilgotności 10-20% uzyskane wartości jednostkowej pracy wyniosły od 12420 J·kg⁻¹ do 5560 J·kg⁻¹.

Z zależności przedstawionych w tabeli 2 wynika, że jednostkowe prace zagęszczania (L_{cz}' , L_{cr}') maleją ze zwiększeniem odkształcenia h_1 i pracy L_{j1} oraz rosną ze zwiększeniem siły F_1 i pracy L_{j2} . Przykładowe zależności pokazano na rysunkach 3 i 4.

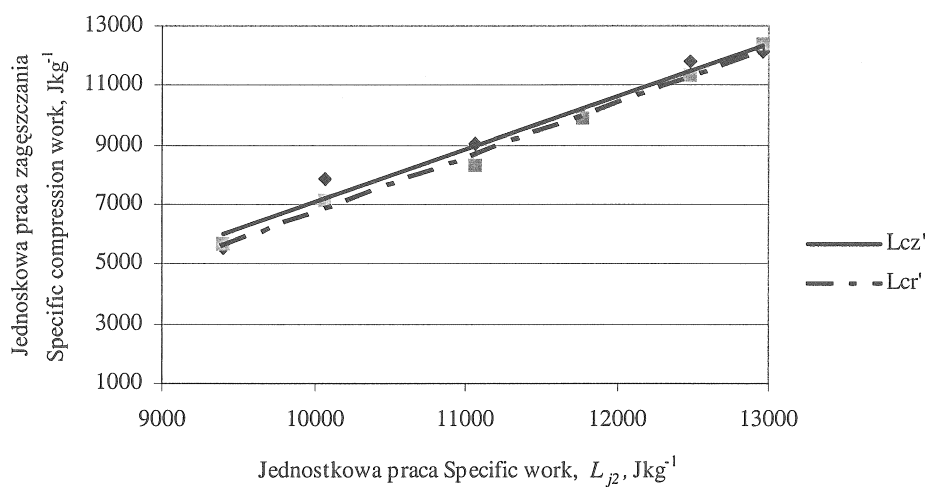
Tabela 2. Równania regresji opisujące zależność jednostkowej pracy zagęszczania L_{cz}' , L_{cr}' od cech mechanicznych ziarna i wartości współczynnika determinacji R^2

Table 2. Regression equations describing relations of specific compression works L_{cz}' , L_{cr}' to grain mechanical properties and the values of determination coefficients R^2

Cecha mechaniczna ziarna Grain mechanical properties	Surowiec Material	Równanie regresji Regression equation	R^2
Odkształcenie, h_1	Ziarno Grain	$L_{cz}' = -41524 h_1 + 16839$	0,977
Displacement, h_1	Materiał rozdrobniony Material crumbled	$L_{cr}' = -42584 h_1 + 16762$	0,969
Siła, F_1	Ziarno Grain	$L_{cz}' = -8,2941 F_1^2 + 1987,2 F_1 - 10641$	0,954
Force, F_1	Materiał rozdrobniony Material crumbled	$L_{cr}' = -6,9879 F_1^2 + 1715,4 F_1 - 92733$	0,989
Jednostkowa praca, L_{j1}	Ziarno Grain	$L_{cz}' = -61,816 L_{j1} + 49107$	0,955
Specific work, L_{j1}	Materiał rozdrobniony Material crumbled	$L_{cr}' = -64,11 L_{j1} + 50313$	0,969
Jednostkowa praca, L_{j2}	Ziarno Grain	$L_{cz}' = 1,776 L_{j2} - 10659$	0,974
Specific work, L_{j2}	Materiał rozdrobniony Material crumbled	$L_{cr}' = 1,8457 L_{j2} - 11713$	0,992



Rys. 3. Zależność jednostkowej pracy zagęszczania L_{cz}' , L_{cr}' od odkształcenia h_1
 Fig. 3. Relation of specific compression works L_{cz}' , L_{cr}' to displacement h_1



Rys. 4. Zależność jednostkowej pracy zagęszczania L_{cz}' , L_{cr}' od jednostkowej pracy L_{j_2}
 Fig. 4. Relation of specific compression works L_{cz}' , L_{cr}' to specific work L_{j_2}

Wyniki wskazują, że jednostkowa praca zagęszczania ziarna i rozdrobnionej pszenicy zależy od wytrzymałości ziarna. Większa wytrzymałość ziarna (np. większa siła progu wytrzymałości doraźnej F_1 czy też większa jednostkowa praca zgniatania L_{j_2}) powoduje zwiększenie jednostkowej pracy zagęszczania.

Badania podatności materiału na zagęszczanie

Stwierdzono, że współczynnik podatności materiału na zagęszczanie (k_{cr} i k_{cz}) zmienia się podobnie jak jednostkowa praca zagęszczania zarówno dla ziarna jak i rozdrobnionej pszenicy (tab. 3). W zakresie wilgotności materiału 10-20% uzyskane wartości współczynnika wyniosły od $16,2 \text{ J}\cdot\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-2}$ do $6,5 \text{ J}\cdot\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-2}$.

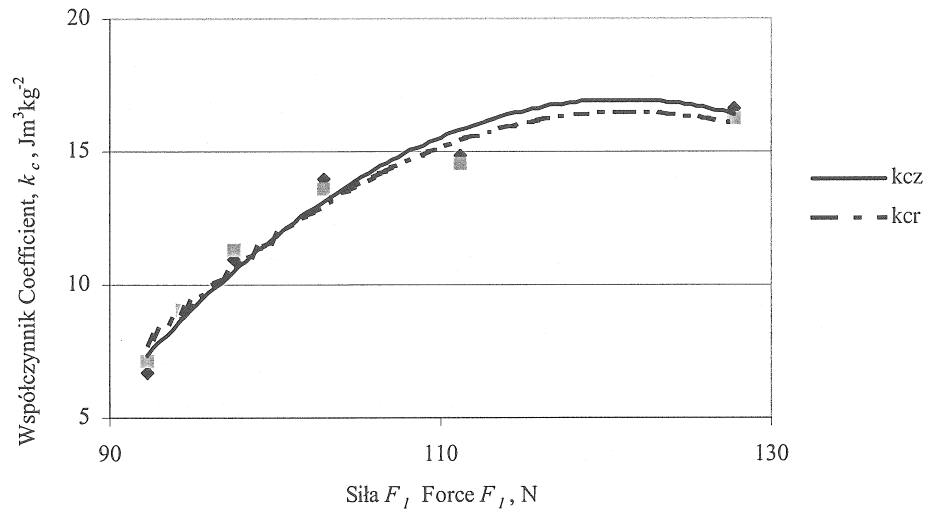
Z tabeli 3 wynika, że współczynnik zdolności materiału na zagęszczanie (k_{cr} i k_{cz}) maleje ze zwiększeniem odkształcenia h_1 i pracy L_{j1} oraz rośnie ze zwiększeniem siły F_1 i pracy L_{j2} . Przykładowe zależności pokazano na rysunkach 5 i 6.

Tabela 3. Równania regresji opisujące zależności współczynnika k_{cz} i k_{cr} od cech mechanicznych ziarna oraz wartości współczynnika determinacji R^2

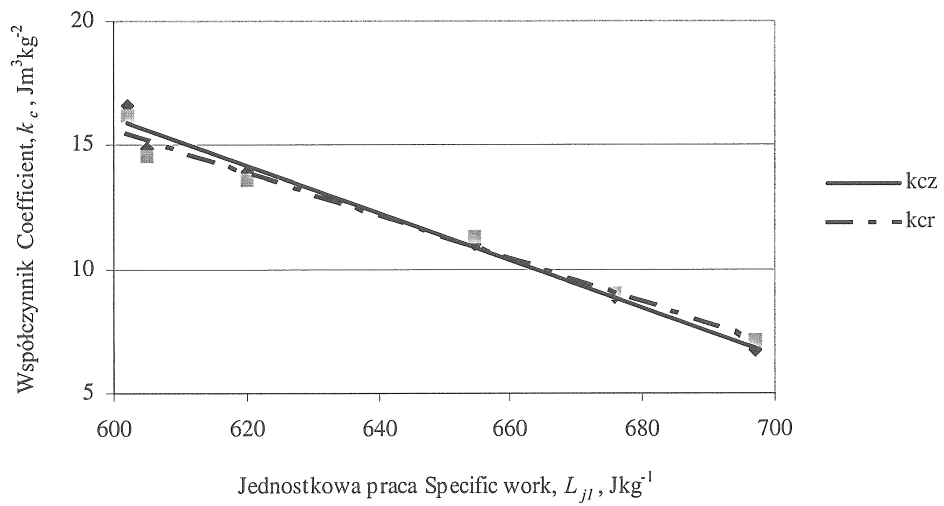
Table 3. Regression equations describing relations of coefficient k_{cz} i k_{cr} to grain mechanical properties and the values of determination coefficients R^2

Cecha mechaniczna ziarna Grain mechanical properties	Surowiec Material	Równanie regresji Regression equation	R^2
Odkształcenie, h_1	Ziarno Grain	$k_{cz} = -63,615 h_1 + 23,4$	0,985
Displacement, h_1	Materiał rozdrobniony Material crumbled	$k_{cr} = -57,925 h_1 + 22,3$	0,982
Siła, F_1	Ziarno Grain	$k_{cz} = -0,0116 F_1^2 + 2,8105 F_1 - 153,05$	0,968
Force, F_1	Materiał rozdrobniony Material crumbled	$k_{cr} = -0,0103 F_1^2 + 2,5009 F_1 - 135,23$	0,964
Jednostkowa praca, L_{j1}	Ziarno Grain	$k_{cz} = 0,0027 L_{j1} - 18,818$	0,988
Specific work, L_{j1}	Materiał rozdrobniony Material crumbled	$k_{cr} = 0,0025 L_{j1} - 16,207$	0,992
Jednostkowa praca, L_{j2}	Ziarno Grain	$k_{cz} = -0,0957 L_{j2} + 73,479$	0,984
Specific work, L_{j2}	Materiał rozdrobniony Material crumbled	$k_{cr} = -0,087 L_{j2} + 67,862$	0,978

Podatność materiału do aglomerowania jest większa, gdy współczynnik k_c maleje (mniejsze nakłady pracy na zagęszczanie materiału). Podatność materiału na zagęszczanie jest większa, gdy wytrzymałość ziarna jest mniejsza, czyli dla materiału o większej wilgotności.



Rys. 5. Zależność współczynników k_{cz} i k_{cr} od siły F_1
 Fig. 5. Relation of coefficients k_{cz} and k_{cr} to force F_1



Rys. 6. Zależność współczynników k_{cz} i k_{cr} od jednostkowej pracy L_{j1}
 Fig. 6. Relation of coefficients k_{cz} and k_{cr} to specific work L_{j1}

WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Cechy mechaniczne określone w próbie ściskania ziarna zależą od wilgotności materiału i wpływają na gęstość surowca w komorze i aglomeratu, parametry procesu zagęszczania oraz na podatność do aglomerowania materiału.

2. Maksymalna gęstość w komorze zagęszczania nieznacznie zmniejsza się ze zwiększeniem odkształcenia ziarna dla progu wytrzymałości doraźnej h_1 i jednostkowej pracy do tego progu L_{j1} , oraz rośnie ze wzrostem siły F_1 i jednostkowej pracy do progu zgniecenia L_{j2} . Gęstość aglomeratu osiąga maksymalne wartości przy średnich cechach mechanicznych ziarna, czyli dla materiału o wilgotności około 14-15%.

3. Ze zwiększeniem wytrzymałości ziarna rośnie praca zagęszczania i maleje podatność materiału na zagęszczanie. Różnice wartości parametrów zagęszczania dla ziarna i materiału rozdrobnionego są niewielkie (nieco większe wartości uzyskano dla ziarna).

PIŚMIENNICTWO

1. **Gąska R., Kolowca J., Ślipek Z.:** Wpływ obciążeń mechanicznych na wartość biologiczną ziarna pszenicy. *Rocz. Nauk Roln., Seria C*, t.73, z. 4, 17-24, 1978.
2. **Haman J.:** Rheological properties of cereals and their theoretical interpretation. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z. 203, 107-121, 1978.
3. **Janiak G., Laskowski J.:** Metodyka określania cech wytrzymałościowych ziarna dla potrzeb procesów przetwórczych. *Biul. Nauk. Przem. Pasz.*, 1, 45-58, 1996.
4. **Janiak G.:** Ocena wpływu szklistości ziarna pszenicy na jego cechy wytrzymałościowe. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z. 443, 303-309, 1996.
5. **Laskowski J., Lysiak G.:** Use of compression behaviour of legume seeds in view of impact grinding prediction. *Powder Technology*, 105, 83-88, 1999.
6. **Laskowski J., Skonecki S.:** Badania procesów aglomerowania surowców paszowych-aspekt metodyczny. *Inżynieria Rolnicza*, 2, 187-193, 2001.
7. **Laskowski J., Skonecki S.:** Influence of moisture on the physical properties and parameters of the compression process of legumes' seeds. *Int. Agrophysics*, 11, 245-256, 1997.
8. **Laskowski J., Skonecki S.:** Influence of moisture on the physical properties and parameters of the compression process of cereal grains. *Int. Agrophysics*, 13, 477-486, 1999.
9. **Laskowski J., Skonecki S.:** Wpływ temperatury materiału na parametry zagęszczania rozdrobnionych ziarn żyta. *Inżynieria Rolnicza*, 4 (37), 177-182, 2002.
10. **Laskowski J., Skonecki S.:** Wpływ temperatury na parametry zagęszczania nasion roślin strączkowych. *Inżynieria Rolnicza*, 5 (16), 133-146, 2000.
11. **Mohsenin N. N.:** Physical properties of plant and animal materials. 2ed. Gordon and Breach Sc. Publ. New York-London-Paris, 1978.
12. **Mohsenin N.N.:** Application of engineering techniques to evaluation of texture of solid food materials. *J. of Texture Studies*, 1, 133-154, 1970.

13. **Skonecki S., Łysiak G.:** Badania cech wytrzymałościowych ziaren jęczmienia. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 443, 209 – 215, 1996.
14. **Styk B., Szot B.:** Zmienność zdolności kiełkowania nasion pszenicy jarej poddanych obciążeniom mechanicznym. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 316, 171-178, 1987.
15. **Zoerb G.C., Hall C.W.:** Some mechanical and rheological properties of grains. J. Agric. Engng. Res., Vol.5, 1, 83-93, 1960.

INFLUENCE OF GRAIN MECHANICAL PROPERTIES ON THE COMPRESSION PARAMETERS OF WHEAT

Stanisław Skonecki¹, Agnieszka Sudół¹, Janusz Laskowski²

¹Department of Machine Operation in Food Industry, University of Agriculture
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin, Poland

²University of Engineering and Economics, ul. Mickiewicza 10, 39-100 Ropczyce

Abstract. Paper presents results of the influence of grain mechanical properties on compression parameters of grounded and non-grounded wheat grain. Uniaxial compression test (grain crushed between two flat plates) and compaction closed die were carried out with on universal testing machine Zwick Z020/TN2S. It was shown that with increase in grain strength the specific compression work increases and material's compressibility decreases. The highest agglomerate density was obtained for average range of grain mechanical properties (for material of about 14-15% of moisture content).

Key words: wheat, mechanical properties, compression parameters

