

## WPLYW PROCESU KONDYCJONOWANIA SUROWCÓW ZBOŻOWYCH NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE GRANULATU

*Ryszard Kulig, Janusz Laskowski*

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

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wpływ warunków prowadzenia procesu kondycjonowania śrut zbożowych (jęczmień, kukurydza, pszenica, owies) na właściwości fizyczne granulatu. Porównano kondycjonowanie parowe z kondycjonowaniem z dodatkiem wody. Stwierdzono, iż zastosowanie kondycjonowania parowego prawie w każdym przypadku zapewnia otrzymanie granulatu o wytrzymałości kinetycznej ( $P_{DI}$ ) powyżej 90%. Jednocześnie zaobserwowano brak wpływu ciśnienia pary na wartość parametru  $P_{DI}$ . Wykazano, że ze wzrostem temperatury kondycjonowania zwiększa się twardość granulatu (średnio od 45,2 do 181,4 N·cm<sup>-1</sup>). Natomiast podwyższanie wilgotności materiału podczas kondycjonowania zimnego powoduje skutek odwrotny. Warunki kondycjonowania nie niwelują różnic w wartościach tego parametru wynikających z rodzaju surowca.

Słowa kluczowe: kondycjonowanie, wytrzymałość kinetyczna, twardość granulatu

### WSTĘP

Podstawowym kryterium oceny jakości granulatu jest jego trwałość mechaniczna, określająca zdolność do zachowania stałej postaci w określonych, niesprzyjających warunkach działania mechanicznych czynników zewnętrznych. Cecha ta ma istotne znaczenie zarówno z punktu żywienia zwierząt hodowlanych, jak też warunków chłodzenia, składowania, czy też transportu gotowego produktu [5].

W przypadku granulowania mieszanek bazujących na surowcach zbożowych, gwarantem uzyskania granulatu wysokiej jakości jest zajście procesu kleikowania skrobi w obrabianym materiale. Skala tego zjawiska wynika zarówno z zastosowanej dawki ciepła, jak i zawartości wody w surowcu. Zdaniem Heffner'a i Pfost'a [3] oraz Skoch'a i in. [6] obróbka hydrotermiczna materiału zapewnia efekt wstępny (kleikowanie skrobi w zewnętrznych warstwach cząstek mieszanki

na poziomie od 10 do 12%), konieczny do osiągnięcia silnych połączeń między cząstkami materiału podczas prasowania, gdzie zjawisko to przyjmuje szerszy zakres.

Oprócz oddziaływania cieplnego, dla uzyskania trwałych wiązań między cząstkami materiału, niezbędne jest jego odpowiednie nawilżenie. Thomas i in. [7] oraz Laskowski [5] podają, iż obecność wody w materiale powoduje powstawanie mostków cieczowych między jego cząstkami (wiązania wodorowe) oraz stymuluje procesy rozpuszczania soli i cukrów, które krystalizując podczas suszenia granulatu tworzą dodatkowe trwałe wiązania. Greer i Fairchild [2], badając wpływ wilgotności mieszanki sypkiej zawartej między 12 a 15% na jakość granulatu, wykazali istnienie wysokiej korelacji ( $r = 0,97$ ) między wilgotnością mieszanki a wartością wytrzymałości kinetycznej. Z kolei Friedrich i Robohm [1], porównując wpływ dodatku wody pod postacią cieczy i pary na spoistość granulatu, wykazali większą wytrzymałość kinetyczną produktu w przypadku, gdy woda zwilżająca materiał pochodziła z kondensacji pary. Podobne zależności zaobserwował również Wood [8].

Mając na uwadze powyższe, celem prezentowanej pracy było określenie wpływu warunków prowadzenia procesu kondycjonowania wybranych surowców zbożowych na wytrzymałość kinetyczną oraz twardość uzyskiwanego granulatu.

## MATERIAŁ I METODY

Do badań wykorzystano cztery surowce zbożowe (jęczmień, kukurydza, pszenica, owies), rozdrobnione na uniwersalnym rozdrabniaczu bijakowym H-950 wyposażonym w sito o wymiarach otworów  $\phi$  3 mm. Po rozdrobnieniu materiał badawczy doprowadzano do stałej wilgotności 14%.

Proces kondycjonowania prowadzono metodą parową oraz metodą z dodatkiem wody („kondycjonowanie zimne”). W pierwszym przypadku badane surowce doprowadzano do pięciu poziomów temperatury: 50, 60, 70, 80 i 90°C. Wymaganą temperaturę materiału uzyskiwano poprzez traktowanie materiału parą wodną o pięciu wartościach ciśnienia; 200, 250, 300, 350, i 400 kPa. W drugiej metodzie stosowano dowilżanie materiału zimną wodą do wilgotności 14, 16, 18, 20 i 22%. Ilość dodawanej wody obliczano według wzoru:

$$I_w = \frac{W_2 - W_1}{100 - W_2} M_w \quad (\text{g}) \quad (1)$$

gdzie:  $W_1$  – wilgotność surowca po rozdrobnieniu (%);  $W_2$  – wymagana wilgotność surowca przed granulowaniem (%),  $M_w$  – masa surowca przyjęta do badań (g).

Prasowanie materiału odbywało się w granulatorze firmy Amandus Kahl typ 14-175 przy wykorzystaniu matrycy o grubości 20 mm i średnicy otworów 4 mm [4].

Badania wytrzymałości kinetycznej granulatu, po czasie 30 minut od jego wytworzenia, przeprowadzono według PN-R-64834/98 [9] na testerze Pfost'a.

Twardość granulatu określano przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Zwick Z020/TN2S w zakresie obciążeń 0-500 N. Pojedyncze granule, po uprzednim zmierzeniu długości z dokładnością do  $\pm 0,1$  mm, umieszczano poziomo na nieruchomym stoliku i zgniatano przy pomocy poruszającej się ze stałą prędkością (10 mm·min) głowicy pomiarowej. Pomiar prowadzono do momentu osiągnięcia maksymalnej wartości siły, której przekroczenie niszczy granule. Znajomość wartości siły niszczącej oraz długości granulatu pozwoliła na wyznaczenie jego twardości według wzoru:

$$H_p = \frac{F_n}{l} \quad (\text{N}\cdot\text{cm}^{-1}) \quad (2)$$

gdzie:  $F_n$  – maksymalna siła niszcząca granule (N),  $l$  – długość granuli (cm).

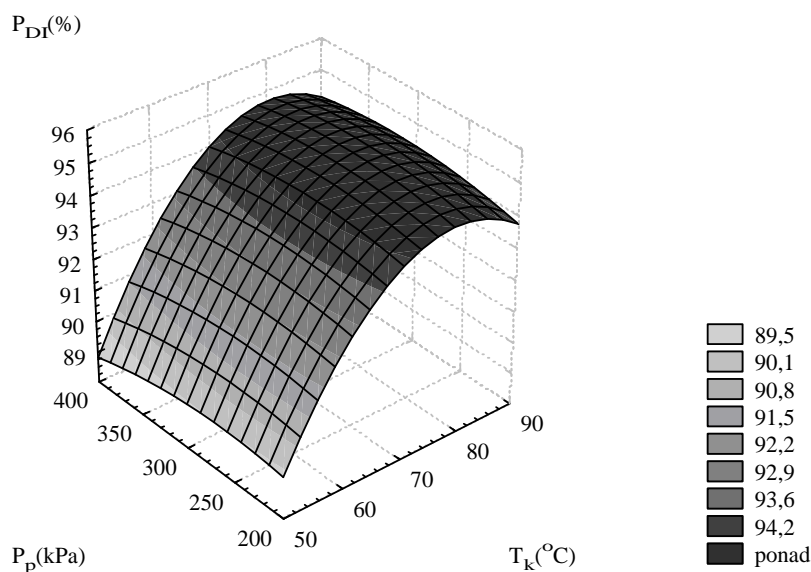
Analizę zależności pomiędzy parametrami procesu kondycjonowania a cechami wytrzymałościowymi granulatu wykonano przy wykorzystaniu procedur statystycznych zawartych w programie STATISICA, przyjmując za każdym razem poziom istotności  $\alpha_i = 0,05$ . Przy wyborze postaci równań stosowano metodę regresji krokowej wstecznej. Istotność współczynników równania regresji badano testem t-Studenta. Natomiast adekwatność modelu sprawdzano stosując test Fishera.

Na wybranych rysunkach przedstawiono wyniki analizy istotności różnic pomiędzy średnimi wartościami badanego parametru w odniesieniu do poszczególnych surowców. Surowce, które różnią się istotnie między sobą średnią wartością danego parametru, oznaczono różnymi literami.

## WYNIKI BADAŃ

Oddziaływanie temperatury kondycjonowania i ciśnienia pary na wytrzymałość kinetyczną granulatu przedstawiono na rysunku 1. Stwierdzono, iż wzrost temperatury kondycjonowania w przyjętym zakresie badawczym powoduje zwiększanie wartości analizowanego parametru średnio od 89 do 95%. Należy podkreślić, że maksymalny poziom wartości wytrzymałości kinetycznej osiągany jest po przekroczeniu temperatury kondycjonowania  $70^\circ\text{C}$ . Natomiast w dalszym zakresie wzrostu temperatur nie stwierdzono statystycznie istotnych zmian wytrzymałości. Jednocześnie w przyjętym zakresie badawczym zaobserwowano brak wpływu ciśnienia pary na wartość parametru  $P_{DI}$ . Jedynie w zakresie niższych temperatur kondycjonowania ( $50\text{-}60^\circ\text{C}$ ) – a więc braku intensywnego oddziaływania cieplnego na materiał – występuje pewny wpływ ciśnienia pary na wytrzymałość granulatu z pszenicy, jęczmienia i owsa. Przypuszczalnie efekt taki jest wynikiem różnicy w wilgotności materiału po kondycjonowaniu parą o różnym ciśnieniu, co w konsekwencji może powodować wzrost siły wiązań wodorowych

między cząstkami surowca. Jednak otrzymane różnice w wartościach wytrzymałości kinetycznej okazują się statystycznie nieistotne ( $p > 0,05$ ). Świadczy to o istotniejszym oddziaływaniu ciepła, aniżeli wilgotności na cechy wytrzymałościowe granulatu. Uwagi te znajdują także odzwierciedlenie w równaniach regresji przedstawionych w tabeli 1, gdzie nie występuje zmienna ciśnienie pary.



**Rys. 1.** Zależność wytrzymałości kinetycznej granulatu ( $P_{DI}$ ) od temperatury kondycjonowania ( $T_k$ ) i ciśnienia pary ( $P_p$ ) (wartości średnie dla 4 badanych surowców)

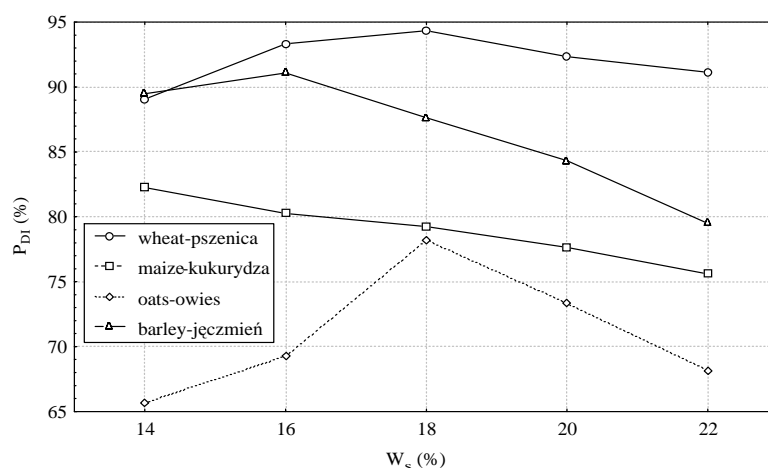
**Fig. 1.** Dependence of pellet durability index ( $P_{DI}$ ) on conditioning temperature ( $T_k$ ) and steam pressure ( $P_p$ ) (mean values obtained for four raw materials examined)

**Tabela 1.** Równania regresji opisujące wpływ temperatury kondycjonowania ( $T_k$ ) na wytrzymałość kinetyczną granulatu ( $P_{DI}$ ) (wartości średnie dla 5 ciśnień pary)

**Table 1.** Regression equations describing the effects of conditioning temperature ( $T_k$ ) on pellet durability index ( $P_{DI}$ ) (mean values obtained for five steam pressure levels)

Surowiec – Material	Postać równania – Equation	A	B	C	$R^2$
Pszonica – Wheat	$P_{DI} = -AT_k^2 + BT_k + C$	0,009	1,410	42,14	0,943
Kukurydza – Maize	$P_{DI} = -AT_k^2 + BT_k + C$	0,004	0,677	62,01	0,912
Jęczmień – Barley	$P_{DI} = -AT_k^2 + BT_k + C$	0,007	1,060	54,22	0,931
Owies – Oats	$P_{DI} = -AT_k^2 + BT_k + C$	0,005	0,888	60,21	0,941

Wpływ wilgotności surowca na wytrzymałość kinetyczną granulatu otrzymanego podczas kondycjonowania metodą „na zimno” zobrazowano na rysunku 2.



**Rys. 2.** Zależność wytrzymałości kinetycznej granulatu ( $P_{DI}$ ) od wilgotności surowca ( $W_s$ ) (kondycjonowanie z dodatkiem wody)

**Fig. 2.** Dependence of pellet durability index ( $P_{DI}$ ) on moisture content of raw materials ( $W_s$ ) (cold conditioning)

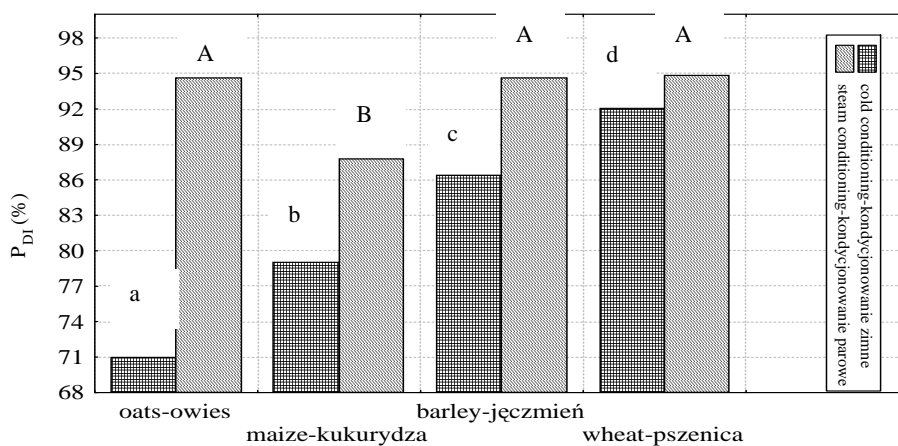
W przypadku kukurydzy, która charakteryzuje się wysoką podatnością na wytlaczanie (wyższa zawartość tłuszczu) wzrost wilgotności w całym badanym zakresie powoduje spadek wartości wytrzymałości kinetycznej. Dzieje się tak zapewne ze względu na zmniejszanie się wartości współczynnika tarcia pomiędzy materiałem a ściankami kanałów, a tym samym temperatury granulatu na wyjściu z matrycy. Odmienne natomiast zachowują się surowce o relatywnie niskiej zawartości tłuszczu, ale bogate w skrobię (pszenica, jęczmień). W tym przypadku, w celu osiągnięcia wyższych wytrzymałości, konieczne jest stosowanie wilgotności w przedziale 16-18%, przy których uzyskiwany wzrost temperatury powoduje wystąpienie zjawiska kleikowania skrobi, a tym samym podwyższenie wytrzymałości granulatu. Nie można jednak w tym miejscu nie docenić też roli wiązań wodorowych. Zdaje się to potwierdzać granulaty z owsa, który osiąga najwyższą wytrzymałość przy 18% wilgotności, a jednocześnie na wyjściu z matrycy posiada średnią temperaturę nie przekraczającą 52°C. Równania regresji opisujące powyżej przedstawione zależności umieszczono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Równania regresji opisujące wpływ wilgotności surowca ( $W_s$ ) na wytrzymałość kinetyczną granulatu ( $P_{DI}$ )

**Table 2.** Regression equations describing the effect of moisture content of raw materials ( $W_s$ ) on pellet durability index ( $P_{DI}$ )

Surowiec – Material	Postać równania – Equation	A	B	C	R <sup>2</sup>
Pszenvica –Wheat	$P_{DI} = -AW_s^2 + BW_s + C$	0,025	9,10	10,71	0,891
Kukurydza – Maize	$P_{DI} = -AW_s + C$	0,022		86,34	0,971
Jęczmień –Barley	$P_{DI} = -AW_s^2 + BW_s - C$	0,561	20,66	114,61	0,882
Owies – Oats	$P_{DI} = -AW_s^2 + BW_s + C$	0,227	6,83	38,77	0,969

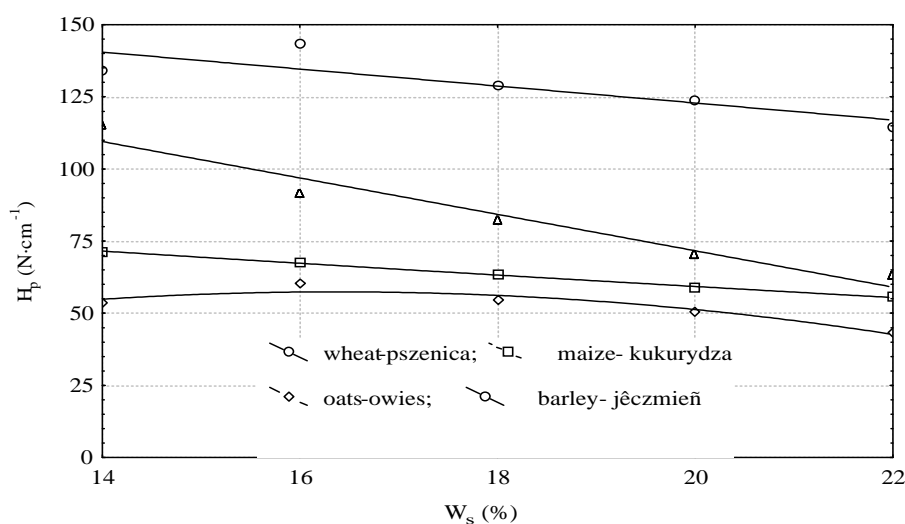
Oddziaływanie rodzaju surowca, a tym samym jego właściwości fizykochemicznych na wytrzymałość kinetyczną granulatu przedstawiono na rysunku 3. Z porównania obydwu metod granulowania wynika, że zastosowanie kondycjonowania parowego prawie w każdym przypadku zapewnia otrzymanie granulatu o wytrzymałości powyżej 90%, i dla większości surowców nie występują statystycznie istotne różnice w średnich wartościach analizowanego parametru. Największą różnicę w wartościach wytrzymałości uzyskaną na skutek stosowania różnych metod granulowania zaobserwowano w odniesieniu do owsa. W tym przypadku wzrost wytrzymałości otrzymanej w wyniku stosowania kondycjonowania parowego wynosi 24 punkty procentowe.



**Rys. 3.** Zależność wytrzymałości kinetycznej granulatu ( $P_{DI}$ ) od rodzaju surowca i metody kondycjonowania (wartości średnie)

**Fig. 3.** Effects of raw material and conditioning method on pellet durability index ( $P_{DI}$ ) (means obtained)

Wyniki badań twardości granulatu otrzymanego metodą parową przedstawiono na rysunku 4. Średnie wartości tego parametru zawierają się w przedziale od 52,3 do 184,2 N·cm<sup>-1</sup>. Biorąc pod uwagę wpływ temperatury kondycjonowania uzyskane zależności przyjmują charakter liniowy lub opisane są równaniem drugiego stopnia. W przypadku takich surowców jak pszenica i kukurydza nieistotne staje się oddziaływanie ciśnienia pary. Natomiast dla surowców, gdzie oddziaływanie to jest istotne, otrzymane zależności przyjmują charakter liniowy (tab. 3). Ze względu na powyższe uwagi na rysunku 4 przedstawiono jedynie wpływ temperatury kondycjonowania na wartość analizowanego parametru.



**Rys. 4.** Zależność twardości granulatu ( $H_p$ ) od temperatury kondycjonowania ( $T_k$ ) (wartości średnie dla 5 ciśnień pary)

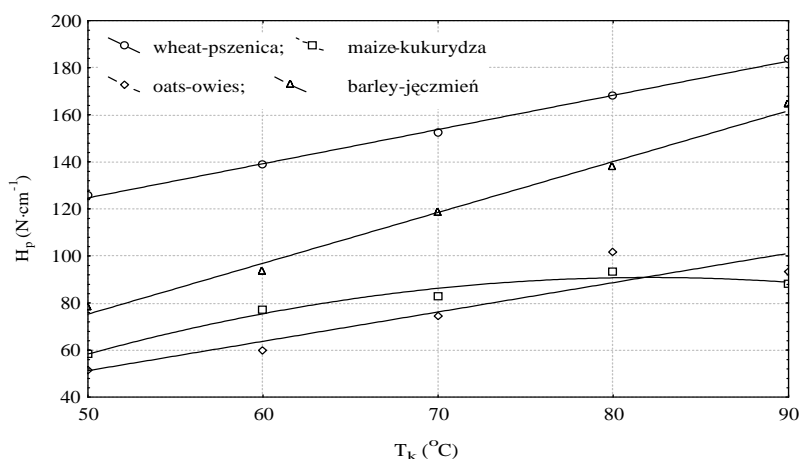
**Fig. 4.** Dependence of pellet hardness ( $H_p$ ) on conditioning temperature ( $T_k$ ) (mean values obtained for 5 steam pressure levels)

**Tabela 3.** Równania regresji opisujące wpływ temperatury kondycjonowania ( $T_k$ ) i ciśnienia pary ( $P_p$ ) na twardość granulatu ( $H_p$ )

**Table 3.** Regression equations describing the effects of conditioning temperature ( $T_k$ ) and steam pressure ( $P_p$ ) on pellet hardness ( $H_p$ ).

Surowiec – Material	Postać równania – Equation	A	B	C	D	R <sup>2</sup>
Pszenica –Wheat	$H_p = AT_k^2 + BT_k + D$	0,005	0,788		71,49	0,991
Kukurydza – Maize	$H_p = -AT_k^2 + BT_k - D$	0,032	5,196		122,29	0,992
Jęczmień –Barley	$H_p = BT_k + CP_p - D$		1,24	0,055	27,51	0,982
Owies – Oats	$H_p = BT_k + CP_p + D$		0,015	0,040	27,99	0,985

Wyniki badań wpływu wilgotności surowca na twardość granulatu, otrzymane podczas kondycjonowania „na zimno”, przedstawiono na rysunku 5. W większości analizowanych przypadków, wzrost wilgotności materiału po kondycjonowaniu powoduje zmniejszanie się twardości granulatu. Wynika to zapewne z faktu, iż przy wyższych wilgotnościach surowca w mniejszym stopniu zachodzą w nim zmiany związane z oddziaływaniem ciepła (kleikowanie skrobi czy upłynnianie białek) a sama struktura granulatu staje się bardziej miękka. Najmniej podatne na oddziaływanie wilgotności są kukurydza i owies. Wynika to prawdopodobnie z wyższej zawartości tłuszczu w tych surowcach, co przy zmniejszonym tarcu o ścianki matrycy uniemożliwia osiągnięcie wysokich temperatur w czasie przetłaczania, nawet przy wilgotności materiału wynoszącej 14%. W tym przypadku istotne statystycznie różnice w wartościach twardości odnotowano jedynie dla skrajnych wartości wilgotności. Otrzymane zależności przedstawiono w tabeli 4.



**Rys.5.** Zależność twardości granulatu ( $H_p$ ) od wilgotności surowca ( $W_s$ ) (kondycjonowanie z dodatkiem wody)

**Fig. 5.** Dependence of pellet hardness ( $H_p$ ) on moisture content of raw materials ( $W_s$ ) (cold conditioning)

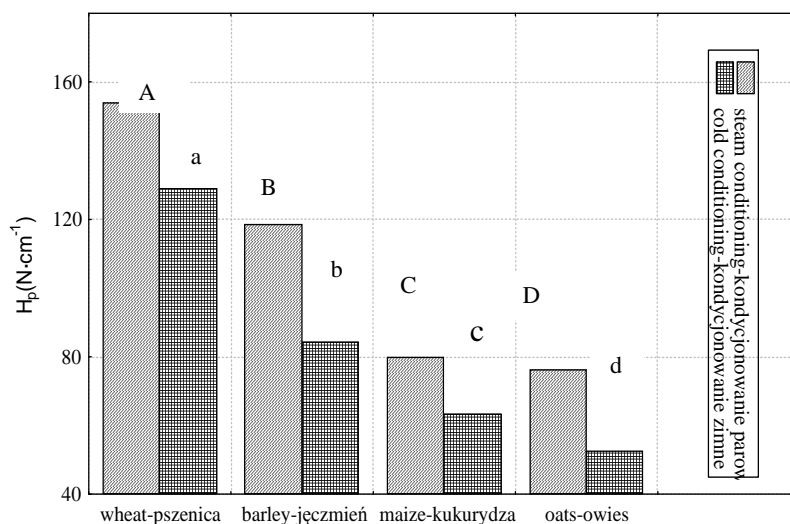
**Tabela 4.** Równania regresji opisujące wpływ wilgotności surowca ( $W_s$ ) na twardość granulatu ( $H_p$ )

**Table 4.** Regression equations describing the effect of moisture content of raw materials ( $W_s$ ) on pellet hardness ( $H_p$ )

Surowiec – Material	Postać równania – Equation	A	B	C	R <sup>2</sup>
Pszenica –Wheat	$H_p = -AW_s^2 + C$	0,083		156,47	0,881
Kukurydza – Maize	$H_p = -BW_s + C$		2,012	99,58	0,901
Jęczmień –Barley	$H_p = -AW_s^2 + BW_s - C$	0,464	15,189	66,86	0,882
Owies – Oats	$H_p = AW_s^2 - BW_s + C$	0,550	26,11	371,64	0,955



Zależność twardości granulatu od rodzaju surowca i warunków kondycjonowania przedstawiono na rysunku 6. Niezmiennie położenie większości surowców w szeregu wartości analizowanego parametru, niezależnie od metody kondycjonowania, pozwala sądzić, że twardość granulatu otrzymanego w danych warunkach obróbki wstępnej wynika przede wszystkim z właściwości fizykochemicznych przerabianego materiału. Potwierdza to analiza istotności różnic między średnimi wartościami twardości dla poszczególnych surowców. Jak wynika z rysunku 6, w ramach danej metody granulowania nie odnotowano ani jednej jednorodnej grupy zawierającej przynajmniej dwa surowce. Jest to sytuacja odmienna od wytrzymałości kinetycznej, gdzie zastosowanie kondycjonowania parowego praktycznie niweluje różnice wynikające z rodzaju materiału, pozwalając na osiągnięcie wysokich wartości tego parametru, niezależnie od rodzaju surowca.



**Rys. 6.** Zależność twardości granulatu ( $H_p$ ) od metody kondycjonowania i rodzaju surowca (wartości średnie)

**Fig. 6.** Effects of raw material and conditioning method on pellet hardness index ( $H_p$ ) (means obtained)

## WNIOSKI

1. Kondycjonowanie parowe zapewnia uzyskanie wysokiej wytrzymałości kinetycznej granulatu ( $P_{DI}>90\%$ ) niezależnie od rodzaju surowca. W przypadku kondycjonowania z dodatkiem wody, tak wysokie wartości tego parametru uzyskuje jedynie pszenica.

2. Wykazano, że ze wzrostem temperatury kondycjonowania zwiększa się twardość granulatu. Natomiast podwyższanie wilgotności materiału podczas kondycjo-

nowania wodnego powoduje zmniejszenie twardości. Warunki kondycjonowania nie niwelują różnic w wartościach tego parametru wynikających z rodzaju surowca.

3. Stwierdzono, iż ciśnienie pary wpływa istotnie na twardość granulatu jedynie w przypadku jęczmienia i owsa (materiały o znacznej zawartości włókna). Natomiast w przypadku wytrzymałości kinetycznej oddziaływanie to jest nieistotne statystycznie.

#### PIŚMIENNICTWO

1. **Friedrich W., Robohm K.F.:** Pressversuche mit Ligninsulfonatbindemitteln. Kraftfutter, 54, 344-349, 1970.
2. **Greer D., Fairchild F.:** Cold Mash Moisture Control Boosts Pellet Quality. Feed Management, 50 (6), 20, 1999.
3. **Heffner L.E., Pfost H.B.:** Gelatinization during pelleting. Feedstuffs, 45 (23), 32-33, 1973.
4. **Kulig R., Laskowski J.:** Pomiar zużycia pary wodnej w procesie kondycjonowania surowców i mieszanek paszowych. Inżynieria Rolnicza, 4 (24), 134-141, 2002.
5. **Laskowski J.:** Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych. Seria Wydawnicza – Rozprawy Naukowe, nr 113, Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Lublinie, 1989.
6. **Skoch E.R., Behnke K.C., Deyoe C.W., Binder S.F.:** The effect of steam conditioning rate on the pelleting process. Anim. Feed Sci. Tech., 6, 83-90, 1981.
7. **Thomas M., van Zuilichem D.J., van der Poel A.F.B.:** Physical quality of pelleted animal feed. 2. Contribution of processes and its conditions. Anim. Feed Sci. Tech., 64, 173-192, 1997.
8. **Wood J.F.:** The functional properties of feed raw materials and their effect on the production and quality of feed pellets. Anim. Feed Sci. Tech., 18, 1-17, 1987.
9. PN-R-64834:1998. Pasze – Badanie wytrzymałości kinetycznej granul.

#### INFLUENCE OF CONDITIONING OF CEREAL RAW MATERIALS ON SELECTED PHYSICAL PROPERTIES OF PELLETS

*Ryszard Kulig, Janusz Laskowski*

Department of Machine Operation in Food Industry, University of Agriculture  
ul. Doświadczalna 44, 20-236 Lublin  
e-mail: Kemps@faunus.ar.lublin.pl

**Abstract.** The aim of the work was to determine the influence of initial treatment of cereal raw materials (wheat, barley, oats and maize grain) on pellet durability and hardness. The study was made for different tempering conditions: steam conditioning and cold conditioning. The research showed that the temperature of the hydrothermal treatment is the main factor determining pellet durability and hardness. The steam pressure is less important. Maximum pellet durability (more than 90%) was obtained for conditioning temperature levels above 70°C. Hardness of pellet increased with increase of the steam conditioning temperature (from 45.2 to 181.4 N cm<sup>-1</sup>), while the rise of moisture of material during cold conditioning caused the opposite result. The conditions of conditioning do not eliminate the differences in the values of this parameter resulting from the kind of material.

**Keywords:** conditioning, pellet durability, pellet hardness