

Ryszard Kulig, Janusz Laskowski
Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego
Akademia Rolnicza w Lublinie

WPŁYW PARAMETRÓW MATRYCY NA EFEKTYWNOŚĆ GRANULOWANIA MIESZANEK PSZENICY Z RZEPAKIEM

Streszczenie

Praca zawiera wyniki badań nad wpływem średnicy i długości kanałów matrycy na przebieg procesu granulowania mieszanek pszenicy z rzepakiem (o zawartości rzepaku od 5 do 20%). W czasie badań stosowano matryce o średnicy kanału (S) 3, 4 i 5mm oraz długości (D) 20, 25 i 30mm. Wykazano, iż najniższe opory przetłaczania materiału występują w przypadku stosowania matrycy o parametrach: S=4mm, D=20mm, a najwyższe podczas używania matrycy o parametrach: S=4mm, D=30mm. Zaobserwowano, iż dla stosowanych matryc wytrzymałość kinetyczna granulatu maleje wraz ze wzrostem zawartości rzepaku w mieszaninie, przyjmując najniższą wartość ($P_{DI}=84\%$) w przypadku stosowania matrycy o parametrach: S=5mm, D=30mm. Stwierdzono, iż najniższe ($168 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) zapotrzebowanie na energię granulowania występuje w odniesieniu do mieszanek o zawartości 15% rzepaku, wytłaczanych na matrycy o parametrach: S=5mm, D=30mm.

Słowa kluczowe: granulowanie, parametry matrycy, jakość granulatu, energochłonność

Wykaz symboli i oznaczeń

- E_g – jednostkowe całkowite nakłady energii granulowania (cieplna + elektryczna), kJ/kg
- E_p – jednostkowe nakłady energii prasowania, kJ/kg
- F_n – maksymalna siła niszcząca granulę, N
- D – długość kanału prasującego matrycy, mm
- H_p – twardość granulatu, N/cm
- l – długość granuli, cm
- p – obliczony poziom istotności
- P_{DI} – wytrzymałość kinetyczna granulatu, %

- R^2 – współczynnik determinacji
S – średnica kanału prasującego matrycy, mm
 T_g – temperatura granulatu, °C
 Z_r – zawartość rzepaku w mieszaninie, %
 α_i – przyjęty poziom istotności

Wprowadzenie

Parametry matrycy wpływają zarówno na przebieg procesu granulowania, jak też jakość gotowego produktu. Wydajność granulatora oraz energochłonność procesu, związana jest w głównej mierze z długością i średnicą kanału prasującego matrycy [Thomas i in. 1997]. Według Friedricha [1978] dwukrotny wzrost długości kanałów prasujących matrycy wpływa na półtorakrotny wzrost energochłonności procesu oraz zwiększenie wytrzymałości kinetycznej produktu. Z kolei Hejft [2002] podaje, iż zmiana średnicy kanałów matrycy z 13 mm na 14 mm powoduje spadek zapotrzebowania na moc o około 10 kW. Poza tym maleje gęstość i wytrzymałość kinetyczna otrzymanego granulatu. Stosunek długości kanału prasującego do jego średnicy - zwany stopniem sprężania matrycy - dobierany jest w odniesieniu do podatności materiału paszowego na granulowanie [Fairfield 2003]. W celu uzyskania granulatu spełniającego normy jakościowe, do mieszanek o dużej zawartości tłuszczu należy stosować matryce o wysokim stopniu sprężania, natomiast do mieszanek mało podatnych na wytlaczanie - matryce o niskim stopniu sprężania [Laskowski 1997].

Mając na uwadze powyższe, celem prezentowanej pracy było określenie wpływu średnicy i długości kanału prasującego matrycy na przebieg procesu granulowania mieszanin pszenicy z rzepakiem.

Metodyka i przebieg badań

Do badań wykorzystano śrutę z pszenicy odmiany *Emika* oraz mieszaninę pszenicy z rzepakiem (odmiana *Lirajet*) o zawartości rzepaku od 5 do 20% (co 5%). Surowce śrutowano w rozdrabniaczu bijakowym H-950 zaopatrzonym w sito o wymiarach otworów ϕ 3mm. Po rozdrobnieniu materiał badawczy doprowadzano do stałej wilgotności 14%.

Całość badań przeprowadzono na stanowisku pomiarowym w laboratorium Katedry Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego AR Lublin. Szczegółowy opis wyposażenia stanowiska wraz z metodyką określania zużycia pary, ciepła i nakładów energii elektrycznej przedstawiono w następujących pracach: [Kulig i in. 1999], [Kulig i Laskowski 2002]. Proces granulowania prowadzono z zastosowa-

niem kondycjonowania parowego. Badane surowce przed prasowaniem doprowadzono do temperatury 70°C, poprzez traktowanie parą wodną o ciśnieniu 400 kPa. Prasowanie materiału odbywało się w granulatorze firmy Amandus Kahl typ L-175. W czasie badań stosowano matryce o następujących parametrach: S=3mm, D=20mm; S=4mm, D=20mm; S=4mm, D=25mm; S=4mm, D=30mm; S=5mm, D=30mm; gdzie (S) oznacza średnicę otworów, a (D) długość kanału prasującego matrycy.

Temperaturę granulatu mierzono przy pomocy termometru laboratoryjnego z dokładnością do $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Otrzymany produkt bezpośrednio po wyjściu z zespołu prasującego pobierano do naczynia z izolacją cieplną, w którym umieszczano termometr. Jako wynik przyjmowano wartość średnią z trzech oznaczeń.

Badania wytrzymałości kinetycznej granulatu, po czasie 30 minut od jego wytworzenia, przeprowadzono według PN-R-64834/98 na testerze Pfost'a. Natomiast pomiary twardości granulatu przeprowadzono 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:

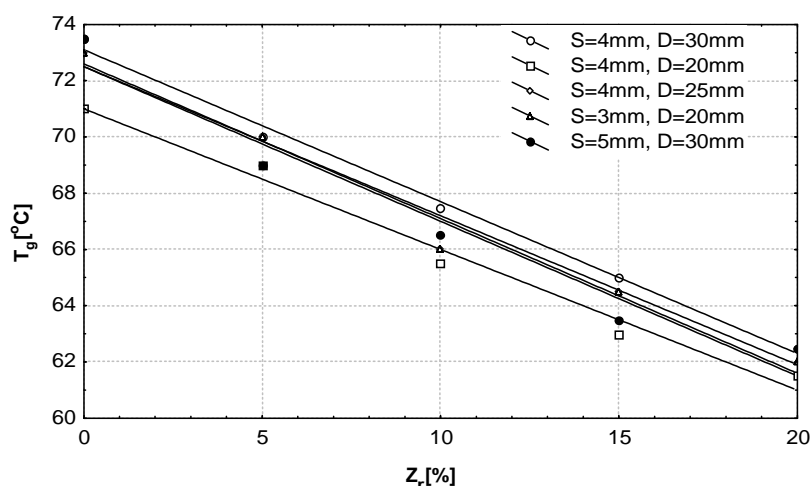
$$H_p = \frac{F_n}{l} \quad (\text{N/cm}) \quad (1)$$

Analizę zależności pomiędzy parametrami matrycy i zawartością rzepaku w mieszaninie a parametrami procesu granulowania wykonano w oparciu o pojedyncze pomiary przy wykorzystaniu standardowych procedur statystycznych zawartych w programie STATISICA, przyjmując za każdym razem poziom istotności $\alpha_i = 0,05$.

Wyniki badań

Wyniki badań temperatury granulatu po wyjściu z matrycy przedstawiono na rys. 1. Uzyskane dane wskazują, iż najniższe opory przetłaczania materiału występują w odniesieniu do matrycy o parametrach: S=4mm, D=20mm (średnia temperatura granulatu wynosi 64°C), a najwyższe podczas używania matrycy o parametrach S=4mm, D=30mm (średnia temperatura granulatu przyjmuje wartość 69°C). Natomiast w przypadku pozostałych matryc - dla których stopień sprężania jest jednakowy i wynosi około 6 - otrzymane różnice w wartościach temperatur są statystycznie nieistotne ($p > 0,05$). Dzieje się tak w odniesieniu do wszystkich badanych

zawartości rzepaku w mieszaninie. Równania regresji opisujące powyżej przedstawione zależności umieszczono w tabeli 1.



Rys.1. Zależność temperatury granulatu (T_g) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) dla różnych parametrów matrycy (S , D)

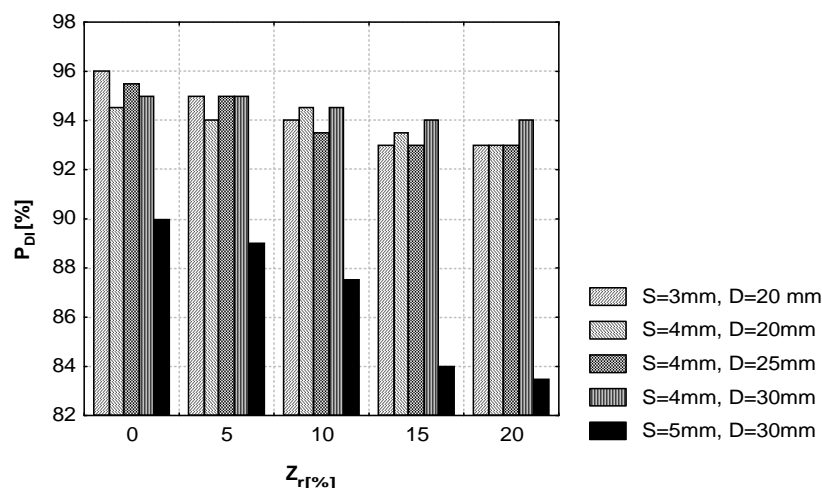
Fig. 1. Dependence of the pellets temperature (T_g) from the content of rapeseed mixed with wheat (Z_r) for different die parameters (S , D)

Tabela 1. Równania funkcji regresji opisujące zależność temperatury granulatu (T_g) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) dla różnych parametrów matrycy (S , D)

Table 1. Regression function equations describing the dependence of the pellets temperature (T_g) from the content of rapeseed mixed with wheat (Z_r) for different die parameters (S , D)

Lp.	Matryca	R ²	Równanie regresji
1	S=3mm, D=20mm	0,959	$T_g = -0,54 Z_r + 73,1$
2	S=4mm, D=20mm	0,959	$T_g = -0,51 Z_r + 71$
3	S=4mm, D=25mm	0,956	$T_g = -0,53 Z_r + 72,5$
4	S=4mm, D=30mm	0,962	$T_g = -0,55 Z_r + 72,6$
5	S=5mm, D=30mm	0,931	$T_g = -0,55 Z_r + 72,5$

Wyniki badań dotyczące wpływu zawartości rzepaku i parametrów matrycy na wytrzymałość kinetyczną granulatu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Zależność wytrzymałości kinetycznej granulatu (P_{DI}) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) dla różnych parametrów matrycy (S, D)

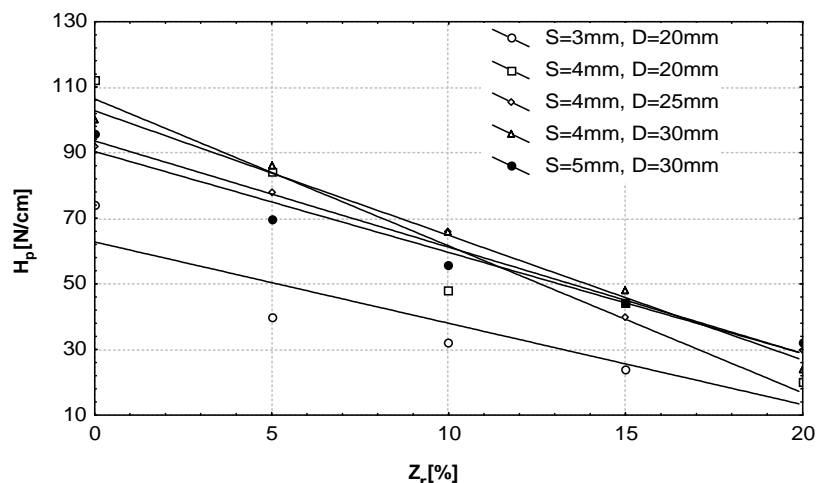
Fig. 2. Dependence of kinetic strength of the pellets (P_{DI}) from the content of rapeseed mixed with wheat (Z_r) for different die parameters (S, D)

Otrzymane wyniki pozwalają wnioskować, iż najniższą wytrzymałość przyjmuje granulaty otrzymane na matrycy charakteryzującej się największą średnicą kanałów prasujących ($S=5\text{mm}$). Wartość analizowanego parametru jest średnio o 6 punktów procentowych niższa od wartości otrzymanych na pozostałych matrycach. Jak wynika z analizy statystycznej, w przypadku stosowania wspomnianych pozostałych matryc, zmienność wartości wytrzymałości zachodzi w granicach błęd pomiarowego i jest statystycznie nieistotna ($p>0,05$) dla każdej zawartości rzepaku w mieszaninie. Z tego względu równaniem regresji opisano jedynie zależność występującą w przypadku matrycy o parametrach $S=5\text{mm}$, $D=30\text{mm}$ w następującej postaci:

$$P_{DI} = -0,38 Z_r + 90,4; R^2=0,971 \quad (2)$$

Zależność twardości granulatu od parametrów matrycy i udziału rzepaku w mieszaninie zobrazowano na rys. 3. Najwyższe wartości analizowanego parametru przyjmuje granulaty otrzymane na matrycy charakteryzującej się największymi oporami przetłaczania ($S=4\text{mm}$, $D=30\text{mm}$). Związane jest to zapewne z większą intensywnością zmian fizykochemicznych jakie zachodzą w materiale pod wpływem oddziaływania ciepła na takie składniki jak skrobia i białko. Natomiast

najniższą twardość otrzymano dla granulatu o najmniejszych wymiarach tj. wyprodukowanego na matrycy o parametrach: $S=3\text{mm}$, $D=20\text{mm}$. Jednocześnie zaobserwowano, iż wzrost udziału rzepaku powoduje spadek twardości granulatu przeciętnie o 8%. Ilościową ocenę analizowanych zależności zestawiono w tab. 2.



Rys. 3. Zależność twardości granulatu (H_p) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) dla różnych parametrów matrycy (S , D)

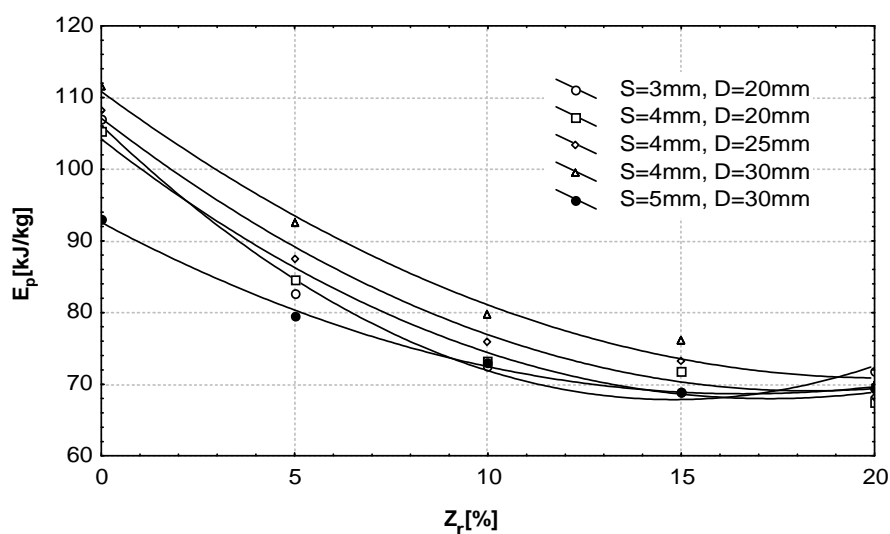
Fig. 3. Dependence of the hardness of the pellets (H_p) from the content of rapeseed mixed with wheat (Z_r) for different die parameters (S , D)

Tabela 2. Równania funkcji regresji opisujące zależność twardości granulatu (H_p) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) dla różnych parametrów matrycy (S , D)

Table 2. Regression function equations describing the dependence of the pellets hardness (H_p) from the content of rapeseed mixed with wheat (Z_r) for different die parameters (S , D)

Lp.	Matryca	R^2	Równanie regresji
1	$S=3\text{mm}$, $D=20\text{mm}$	0,959	$H_p = -4,48 Z_r + 106,4$
2	$S=4\text{mm}$, $D=20\text{mm}$	0,959	$H_p = -2,48 Z_r + 62,8$
3	$S=4\text{mm}$, $D=25\text{mm}$	0,956	$H_p = -3,24 Z_r + 93,6$
4	$S=4\text{mm}$, $D=30\text{mm}$	0,962	$H_p = -3,8 Z_r + 102,8$
5	$S=5\text{mm}$, $D=30\text{mm}$	0,931	$H_p = -3,08 Z_r + 90,4$

Wyniki pomiarów energochłonności prasowania materiału zobrazowano na rys. 4. Analiza otrzymanych wyników pozwala stwierdzić, że największe zapotrzebowanie na energię prasowania występuje w przypadku matrycy o parametrach: $S=4\text{mm}$ i $D=30\text{mm}$, a więc jak wyżej wspomniano, charakteryzującej się największymi oporami przetłaczania. Natomiast najniższą wartość analizowanego parametru odnotowano dla matrycy o największej średnicy kanału prasującego tj. $S=5\text{mm}$. Warto podkreślić jest również to, iż różnice energochłonności pomiędzy poszczególnymi matrycami maleją wraz ze wzrostem udziału rzepaku. Przykładowo, dla matryc o parametrach: $S=4\text{mm}$, $D=30\text{mm}$ i $S=4\text{mm}$, $D=20\text{mm}$; w przypadku granulowania materiału bez udziału rzepaku różnica wynosi 19 kJ/kg , zaś przy 15% udziale rzepaku zmniejsza się do 5 kJ/kg . Równania regresji opisujące powyżej przedstawione zależności umieszczono w tabeli 3.



Rys. 4. Zależność jednostkowych nakładów energii prasowania (E_p) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) dla różnych parametrów matrycy (S , D)

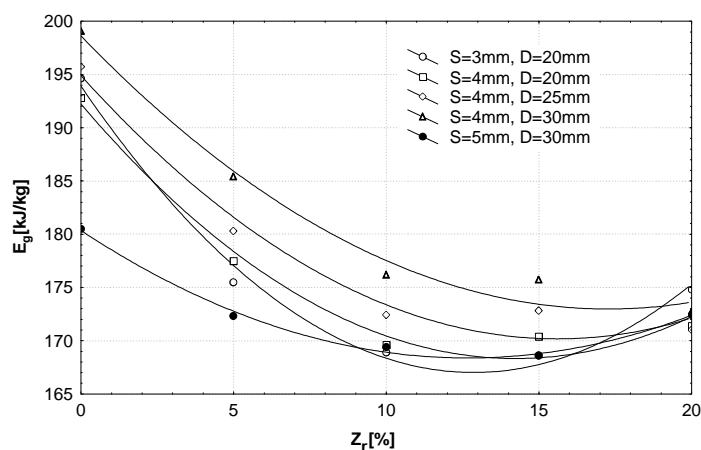
Fig. 4. Dependence of unit energy expense for compression (E_p) from the content of rapeseed mixed with wheat (Z_r) for different die parameters (S , D)

Tabela 3. Równania funkcji regresji opisujące zależność jednostkowych nakładów energii prasowania (E_p) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) dla różnych parametrów matrycy (S, D)

Table 3. Regression function equations describing the dependence of unit energy expense for compression (E_p) from content of rapeseed mixed with wheat (Z_r) for different matrix parameters (S, D)

Lp.	Matryca	R^2	Równanie regresji
1	S=3mm, D=20mm	0,959	$E_p = 0,174 Z_r^2 - 5,168 Z_r + 106,14$
2	S=4mm, D=20mm	0,959	$E_p = 0,121 Z_r^2 - 4,195 Z_r + 104,21$
3	S=4mm, D=25mm	0,956	$E_p = 0,113 Z_r^2 - 4,155 Z_r + 107,11$
4	S=4mm, D=30mm	0,962	$E_p = 0,098 Z_r^2 - 3,958 Z_r + 110,84$
5	S=5mm, D=30mm	0,931	$E_p = 0,087 Z_r^2 - 2,877 Z_r + 92,56$

Wyniki badań energochłonności całkowitej granulowania zilustrowano na rys. 5. Dane te wskazują, iż całkowite zapotrzebowanie na energię granulowania maleje wraz ze wzrostem zawartości rzepaku w przedziale do 15%. Najmniejsze wartości odnotowano w przypadku matrycy o średnicy kanałów 5mm i długości 30mm. Natomiast zwiększenie udziału rzepaku do 20%, powoduje wzrost wartości analizowanego parametru ze względu na zwiększający się udział energii cieplnej. Ilościową ocenę analizowanych zależności przedstawiono w tab. 4.



Rys. 5. Zależność jednostkowych całkowitych nakładów energii granulowania (E_g) od zawartości rzepaku w mieszaninie z pszenicą (Z_r) dla różnych parametrów matrycy (S, D)

Fig. 5. Dependence of total unit energy expense for granulating (E_g) from the content of rapeseed mixed with wheat (Z_r) for different die parameters (S, D)

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wysunąć następujące wnioski:

1. Najniższe opory przetłaczania materiału występują w przypadku stosowania matrycy o parametrach: S=4mm, D=20mm (średnia temperatura granulatu wynosi 64°C), a najwyższe podczas używania matrycy o parametrach: S=4mm, D=30mm (średnia temperatura granulatu wynosi 69°C). Dla matryc o takim samym stopniu sprężania różnice w wartościach temperatury granulatu są statystycznie nieistotne.
2. Wytrzymałość kinetyczna granulatu przyjmuje najniższą wartość ($P_{DI}=84\%$) w odniesieniu do matrycy o największej średnicy kanału prasującego tj. S=5mm. W przypadku pozostałych matryc zmienność wartości wytrzymałości zachodzi w granicach błędu pomiarowego i jest statystycznie nieistotna
3. Najwyższą wartość twardości przyjmuje granulak otrzymany na matrycy charakteryzującej się największymi oporami przetłaczania (S=4mm, D=30mm). Natomiast najniższą twardością charakteryzuje się granulak o najmniejszych wymiarach tj. wyprodukowany na matrycy o parametrach: S=3mm, D=20mm.
4. Wzrost zawartości rzepaku w mieszaninie powoduje spadek zapotrzebowania na energię prasowania, przy czym najmniejszą wartość redukcji energochłonności uzyskano dla matrycy o parametrach: S=5mm, G=30mm (zmniejszenie o 23 kJ/kg); a największa wystąpiła w przypadku matrycy S=4mm, G=30mm (zmniejszenie o 40 kJ/kg).
5. Najniższe zapotrzebowanie na całkowitą energię granulowania (suma elektrycznej i cieplnej) uzyskano dla mieszanek o zawartości 15% rzepaku, granulowanych na matrycy o parametrach: S=5mm, G=30mm.

Bibliografia

- Fairfield D. 2003. Correct pellet die selection, *Feed International*, 6 (24): 26-30.
- Friedrich W. 1978. Das palletieren von Mischfutter-Grundlagen und Einflussgrößen des Pressprozesses und Wirkung auf die Nährstoffe, *Aufbereitungs-Technik*, 19 (9): 401-406.
- Hejft R. 2002. Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych, Politechnika Białostocka, Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu.
- Kulig R., Laskowski J., Skonecki S. 1999. Wykorzystanie komputera w badaniach procesu granulowania na prasie firmy Kahl typ 14-175, VI Krajowa Konferencja "Komputerowe Wspomaganie Badań Naukowych", s. 397-400.

Kulig R., Laskowski J. 2002. Pomiary zużycia pary wodnej w procesie kondycjonowania surowców i mieszanek paszowych, *Inżynieria Rolnicza*, 4 (24): 134-141.

Laskowski J. 1997. Badania warunków granulowania mieszaniny rozdrobnionych nasion rzepaku i ziarna pszenicy, *Biul. Inf. Przem. Pasz.*, 2: 43-49.

Thomas M., van Zuilichem D.J., van der Poel A.F.B. 1997. Physical quality of pelleted animal feed. 2. Contribution of processes and its conditions, *Anim. Feed Sci. Tech.*, 64: 173-192.

PN-R-64834:1998. Pasze – Badanie wytrzymałości kinetycznej granul.

IMPACT OF MATRIX PARAMETERS ON GRANULATION EFFECTIVENESS OF WHEAT AND RAPESEED MIXTURES

Summary

The study contains the results of research on the impact of diameters and length of die channels on the process of granulating of mixtures of wheat with rapeseed (with the content of rapeseed from 5 to 20%). During the tests the dies with channel diameter (S) of 3, 4 and 5mm and length (D) of 20, 25 and 30mm were used. It was shown that the lowest resistance to forcing through the material are in the case of using a die with the parameters: S=4mm, D=20mm, and the highest while using a die with the parameters: S=4mm, D=30mm. It was observed that for the used dies the kinetic strength of the pellets decreases with the increase of the content of rapeseed in the mixture, taking as the lowest value ($P_{di}=84\%$) in the case of using a die with parameters: S=5mm, D=30mm. It was established that the lowest ($168 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) demand for energy in granulating exists in case of the mixtures with the content of rapeseed 15%, extruded on a die with the parameters: S=5mm, D=30mm.

Key words: granulating, die parameters, pellets quality, energy consumption