

THE INFLUENCE OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS OF THE FODDERS PELLETING PROCESS ON THE QUALITY OF OBTAINED PRODUCT

Summary

The paper presents the results of the investigations into the influence of technical and technological factors of the fodders granulating process on the quality of obtained product. The tests were carried out in a technical scale on a SS-2 test stand whose basic component is a pellet mill with a ring working system. Density of the pellets was measured with METTLER TOLEDO scale and kinetic durability of the pellets was determined with the Pfof's method in accordance with Polish Standard. The density of pellets measured during the investigations was in the range 1187-1254 kg/m³. The linear increase with the augmentation of his density characterizes kinetic durability of obtained pellets.

Key words: fodders; pelleting; quality; density; kinetic strenght; experimentation

WPŁYW PARAMETRÓW TECHNICZNO-TECHNOLOGICZNYCH PROCESU GRANULOWANIA PASZ NA JAKOŚĆ OTRZYMANEGO PRODUKTU

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badan wpływu czynników techniczno-technologicznych procesu granulowania pasz na jakość uzyskanego produktu. Badania przeprowadzono w skali technicznej na stanowisku badawczym SS-2, którego podstawowym elementem jest granulador z pierścieniowym układem roboczym. Oznaczanie gęstości odbywało się z wykorzystaniem wagi METTLER TOLEDO XS, zaś badania wytrzymałości kinetycznej granulatu wykonano metodą Pfofa zgodnie z Polskimi Normami. W trakcie badań uzyskano gęstość granulatu w przedziale 1187-1254 kg/m³. Wytrzymałość kinetyczną otrzymanego granulatu charakteryzuje liniowy wzrost wraz ze wzrostem jego gęstości.

Słowa kluczowe: pasze; granulowanie; jakość; gęstość; wytrzymałość kinetyczna; badania

1. Wprowadzenie

Na przebieg procesu ciśnieniowej aglomeracji materiałów roślinnych oraz jakość otrzymanego granulatu ma wpływ szereg czynników, które można podzielić na następujące grupy [2, 3, 4, 6]:

- czynniki chemiczno-biologiczne (skład chemiczny zagęszczanego materiału, budowa biologiczna cząstek),
- czynniki materiałowe – związane z przygotowaniem materiału do procesu zagęszczania (wilgotność materiału, temperatura materiału, skład granulometryczny cząstek zagęszczanego materiału),
- czynniki aparaturowe – konstrukcyjne (średnica matrycy, średnica i liczba rolek zagęszczających, średnica, długość i stan powierzchni otworów w matrycy, wielkość szczeliny między matrycą a rolką, itp.),
- czynniki procesowe – związane z przebiegiem procesu zagęszczania (naciski zagęszczające, natężenie przepływu zagęszczanego materiału, prędkość zagęszczania, temperatura procesu, kondycjonowanie).

Według wielu badaczy [9, 10, 16], dobry jakościowo granulatu poprawia efektywność żywienia zwierząt niezależnie od gatunku. Stosowanie granulatu o niskiej jakości obniża wyniki produkcyjne.

Otrzymanie granulatu o wysokiej jakości jest jednak trudne, gdyż wpływa na nią wiele czynników, np. skład surowcowy mieszanki, stopień rozdrobnienia poszczególnych składników, jednorodność mieszanki, zawartość tłuszczu,

metoda granulowania, parametry konstrukcyjne układu roboczego użytego do zagęszczania [10, 16]. Dobierając skład surowcowy mieszanki należy oprócz właściwości żywieniowych mieć na uwadze podatność na granulowanie poszczególnych składników mieszanki i ich stopień rozdrobnienia.

Naciski zagęszczające są bardzo istotnym czynnikiem warunkującym otrzymanie produktu (granulatu, brykietu) o pożądanej jakości. Dobór właściwych nacisków nie jest jednak łatwy, gdyż ich wartości zmieniają się w zależności od właściwości danego materiału. Wzrost nacisków zagęszczających powoduje wzrost gęstości i wytrzymałości kinetycznej aglomeratu, wzrost energochłonności procesu, spadek wartości współczynnika tarcia pomiędzy ściankami otworu matrycy a aglomerowaną mieszanką oraz wzrost czasu relaksacji naprężeń w aglomerowanym produkcie [4].

Polskie przepisy nie określają minimalnych wartości wytrzymałości kinetycznej granulatu. Z badań Walczyńskiego [12] wynika, że jakość granulatu uważa się za zadowalającą, jeżeli jego wytrzymałość kinetyczna wynosi powyżej 80%, zaś granulatu o wytrzymałości powyżej 90% uważa się za granulatu o wysokiej jakości.

Według licznych pozycji literaturowych [1, 4, 11, 13, 14] wytrzymałość kinetyczna granulatu otrzymanego z mieszanek paszowych, przy której można uznać, że spełnia on wymogi jakościowe dopuszczające go do obrotu, powinna wynosić powyżej 90% (według testu Pfofa).

2. Cel pracy

Celem pracy było określenie wpływu badanych parametrów techniczno-technologicznych na jakość pasz granulowanych w układzie roboczym granulatora z pierścieniową matrycą.

3. Metodyka badawcza

Do badań wykorzystano mieszankę paszową pełnoporcjową DK- Finiszer o wilgotności 16%. Mieszanka ta używana jest do skarmiania kurcząt i brojlerów od 6 tygodnia do końca tuczu, jak również jest często stosowana do określania zdolności produkcyjnych wytwórni pasz.

Skład granulometryczny mieszanki paszowej DK-Finiszer przedstawiono na rys. 1.

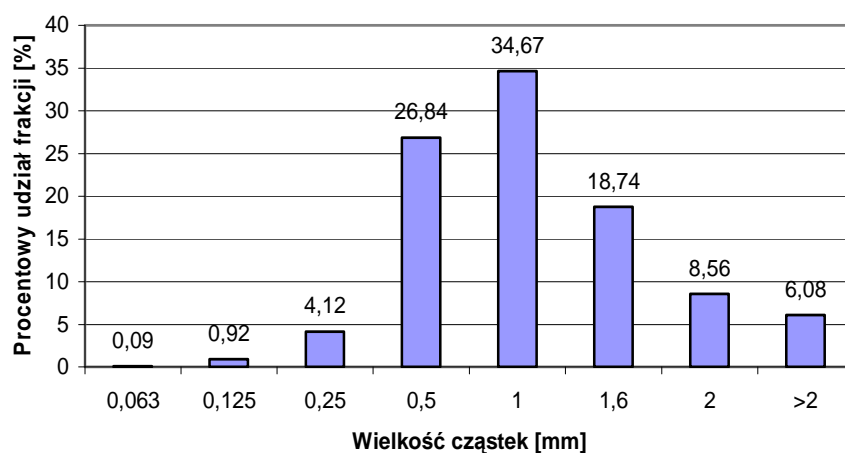
Badania procesu granulowania przeprowadzono w skali technicznej na stanowisku SS-2 (rys. 2), którego głównym

elementem jest układ roboczy z pierścieniową matrycą [5].

Podajnik ślimakowy 1 (rys. 2) jest napędzany przez silnik 2 poprzez przemiennik częstotliwości 3. Dzięki temu masowy strumień podawanego surowca zasypywanego do zasobnika podajnika ślimakowego 1 jest regulowany poprzez bezstopniową zmianę prędkości obrotowej ślimaka podającego.

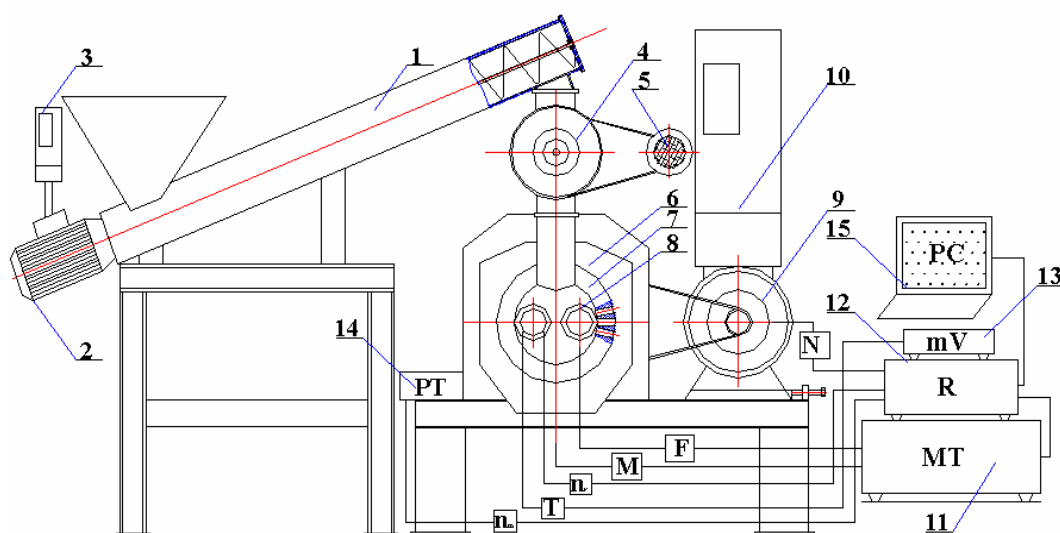
Następnie surowiec trafia do mieszalnika (kondycjonera) 4, w którym zostaje zmieszany z parą wodną dostarczoną z wytwornicy pary 6, uzyskując odpowiednią wilgotność i temperaturę. Z kondycjonera 4 surowiec poprzez zasyp surowca w granulatorze, dostaje się do układu roboczego – pomiędzy obrotową matrycę 7 i rolki zagęszczające 8.

Do płynnej zmiany prędkości obrotowej silnika 9 napędzającego obrotową matrycę 7, poprzez przekładnię pasową, służy przemiennik częstotliwości 10. W układzie roboczym materiał zostaje zagęszczony i w postaci granul



Rys. 1. Rozkład granulometryczny cząstek mieszanki paszowej DK-Finiszer

Fig. 1. Particle size distributions of the DK-Finiszer fodder mixture



Rys. 2. Schemat stanowiska SS-2: 1- podajnik ślimakowy, 2- silnik napędzający dozownik, 3- przemiennik częstotliwości, 4- mieszalnik, 5- napęd mieszalnika (silnik elektryczny), 6- zasyp surowca do granulatora, 7- obrotowa matryca, 8- rolki zagęszczające, 9- napęd granulatora (silnik elektryczny), 10- przemiennik częstotliwości, 11- mostek tensometryczny, 12- rejestrator, 13- miliwoltomierz, 14- multitachometr cyfrowy, 15- komputer PC

Fig. 2. Diagram of test bench SS-2: 1- screw feeder, 2- feeder drive motor, 3- frequency converter, 4- mixer, 5- mixer drive (electric motor), 6- raw product charging into granulator, 7- rotary matrix, 8- compacting rollers, 9- granulator drive (electric motor), 10- frequency converter, 11- tensometer bridge, 12- recorder, 13- millivolt meter, 14- digital multitachometer, 15- PC computer

W trakcie pomiarów badano wpływ parametrów techniczno-technologicznych procesu granulowania mieszanki paszowej w pierścieniowym układzie granulującym urządzenia na gęstość uzyskanego granulatu oraz współczynnik wytrzymałości kinetycznej otrzymanego granulatu. Badania wykonano według planu eksperymentu Hartleya PS/DS-P Ha4 [7], w którym wielkościami wejściowymi były parametry techniczno-technologiczne procesu:

- $x_1=l_{otw}$ - długość otworów matrycy (52,5 mm, 57,5 mm i 62,5 mm),
- $x_2=h_r$ - szczelina robocza (0,4 mm, 0,6 mm i 0,8 mm),
- $x_3=n_m$ - prędkość obrotową matrycy (280obr/min, 330obr/min, 380obr/min),
- $x_4=Q_s$ - masowe natężenie przepływu surowca (350 kg/h, 450 kg/h, 550 kg/h).

Oznaczenie gęstości przeprowadzono za pomocą wagi METTLER TOLEDO XS. Podczas pomiaru zważono masę piętnastu losowo wybranych granul w powietrzu, a następnie w wodzie destylowanej (w określonej temperaturze). Różnica ciężarów jest wypornością, na podstawie której oprogramowanie wagi pozwala wyznaczyć gęstość według zależności:

$$\rho = \frac{A}{A - B}(\rho_o - \rho_L) + \rho_L \quad (1)$$

gdzie:

A – ciężar próbki w powietrzu [g],

B – ciężar próbki w cieczy pomocniczej [g],

ρ_o - gęstość cieczy pomocniczej (wody destylowanej) [g/m³],

ρ_L - gęstość powietrza (0,0012 g/cm³),

Wytrzymałość kinetyczną P_{dx} otrzymanego granulatu określano zgodnie z normą PN-R-64834:1998 i zaleceniami

zamieszczonymi w pracach [7, 11, 14]. Obroty tester ustalono na 50 obr/min, a czas trwania testu – 10 min. Wytrzymałość kinetyczną P_{dx} otrzymanego granulatu określano po 24 godzinach, po zakończeniu granulowania, jako stosunek masy granulatu po wykonaniu próby i odsianiu rozkruszonych części do masy granulatu przed próbą.

4. Wyniki badań

W tab. 1 oraz na rys. 3-4 przedstawiono wyniki badań wpływu badanych parametrów techniczno-technologicznych na gęstość otrzymanego granulatu oraz współczynnik wytrzymałości kinetycznej granulatu.

Z przeprowadzonych badań eksperymentalnych (rys. 3) wynika, że wzrost długości otworów l_{otw} i wielkości szczeliny roboczej h_r powoduje wzrost wartości gęstości granulatu ρ_g , natomiast wzrost masowego natężenia przepływu surowca

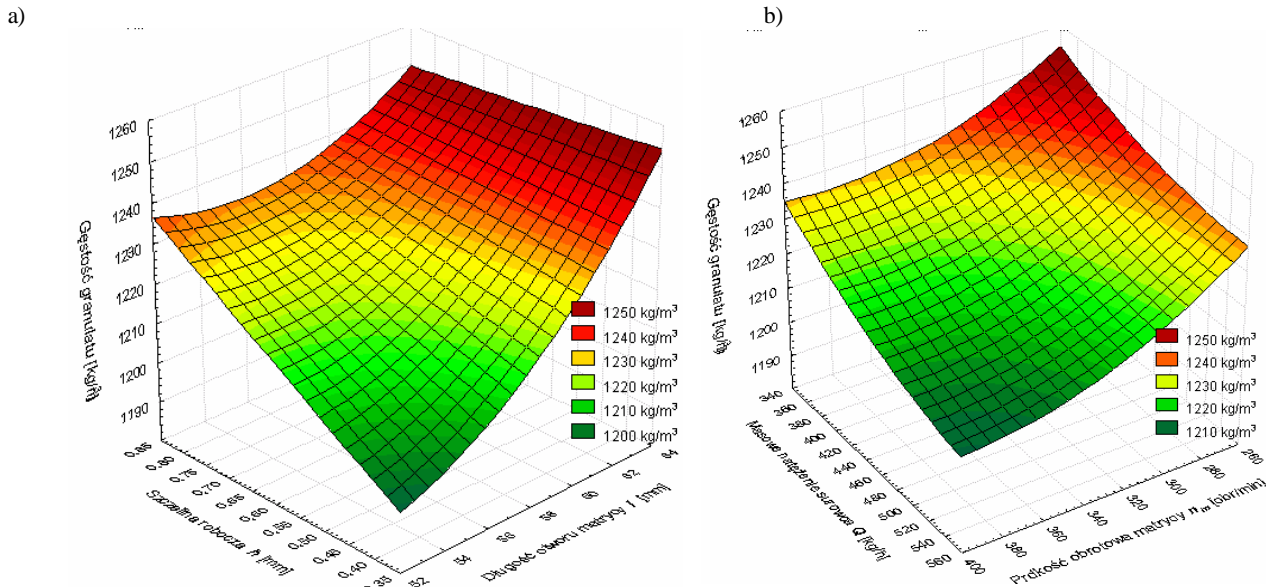
Q_s oraz prędkości obrotowej matrycy n_m powoduje obniżenie gęstości otrzymanego granulatu.

Wzrost gęstości spowodowany był przede wszystkim zwiększeniem oporów przetłaczania mieszanki przez dłuższe otwory w matrycy. Powodowało to wzrost nacisków zagęszczających, co z kolei sprawiało, że mieszanka na wejściu do otworów w matrycy uzyskiwała większą gęstość. Poza tym skutek zwiększenia długości otworów wydłużał się czas przebywania mieszanki w otworach matrycy, a tym samym wzrastał czas oddziaływania temperatury na elementarne porcje mieszanki. Dzięki temu zwiększał się stopień zżelowania skrobi w mieszance i powstanie trwalszych wiązań w otrzymanym granulacie. Przy dłuższych otworach w matrycy wzrastał również czas relaksacji naprężeń w formowanym granulacie, co również istotnie wpływało na gęstość granulatu.

Tab. 1. Wyniki badań wpływu parametrów techniczno-technologicznych na gęstość granulatu i współczynnik wytrzymałości kinetycznej

Table 1. The results of investigations into the influence of technical and technological parameters on the value of pellets density and kinetic durability

Nr planu	$x_1=l_{otw}$	$x_2=h_r$	$x_3=n_m$	$x_4=Q_s$	ρ_g [kg/m ³]	P_{dx} [%]
1.	62,5	0,4	280	350	1252,43	94,36
2.	52,5	0,8	280	350	1241,92	93,47
3.	52,5	0,4	380	350	1212,36	89,49
4.	62,5	0,8	380	350	1254,41	94,28
5.	62,5	0,4	280	550	1237,84	92,41
6.	52,5	0,8	280	550	1221,36	90,37
7.	52,5	0,4	380	550	1187,62	86,77
8.	62,5	0,8	380	550	1234,32	91,89
9.	52,5	0,6	330	450	1215,05	90,03
10.	62,5	0,6	330	450	1240,28	92,90
11.	57,5	0,4	330	450	1212,74	89,93
12.	57,5	0,8	330	450	1229,81	91,36
13.	57,5	0,6	280	450	1237,49	92,16
14.	57,5	0,6	380	450	1211,69	89,51
15.	57,5	0,6	330	350	1236,81	92,49
16.	57,5	0,6	330	550	1211,78	89,38
17.	57,5	0,6	330	450	1219,55	90,69



Rys. 3. Wpływ parametrów techniczno technologicznych na wartości gęstości granulatu a) wpływ długości otworu i szczeliny roboczej, b) wpływ prędkości obrotowej matrycy i masowego natężenia przepływu surowca

Fig. 3. The influence of technical and technological parameters on the value of pellets density: a) the influence of the length of a hole in the die and the size of a gap between the compacting roller and the die, b) the influence of the rotational speed of the die and flow of raw material

Zwiększenie szczeliny roboczej h_r granulatora z wartości 0,4 mm do 0,8 mm powodowało niewielki wzrost gęstości granulatu (rys. 3). Wzrost ten był związany ze zwiększeniem grubości pasma utworzonego pomiędzy rolką a matrycą, a tym samym wzrostem wartości siły wypadkowej pod rolką zagęszczającą. Zwiększenie szczeliny roboczej powodowało również wzrost ilości materiału, nie wtłoczonego do otworów w matrycy, który mając kontakt z rolką zagęszczającą został częściowo rozdrobniony. Wzrost ilości cząstek drobnych w zagęszczanej mieszance wpływało na zwiększenie gęstości formowanego granulatu.

Spadek gęstości wraz ze wzrostem masowego natężenia surowca spowodowany był skróceniem czasu przebywania porcji mieszanki w otworze matrycy. Zmniejszał się czas oddziaływania wysokiej temperatury na mieszankę, co ujemnie wpływało na powstawanie trwałych wiązań w tworzonym aglomeracie. Krótszy czas przebywania mieszanki w otworze wiązał się również ze spadkiem czasu relaksacji naprężeń w formowanym granulacie, co ujemnie wpływało na jego gęstość.

Zwiększenie prędkości obrotowej matrycy n_m granulatora z wartości 280 obr/min do 380 obr/min powodowało spadek gęstości uzyskanego granulatu. Spadek ten związany był z tym, iż wraz ze wzrostem prędkości obrotowej zmniejszała się elementarna porcja, która była wtłaczana do otworu matrycy w jednym cyklu zagęszczania. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej rosła liczba warstw w powstającej granuli, co obniżało jej gęstość.

W przeprowadzonych badaniach gęstość granulatu, jaką uzyskano mieściła się w przedziale od 1187 do 1254 kg/m³.

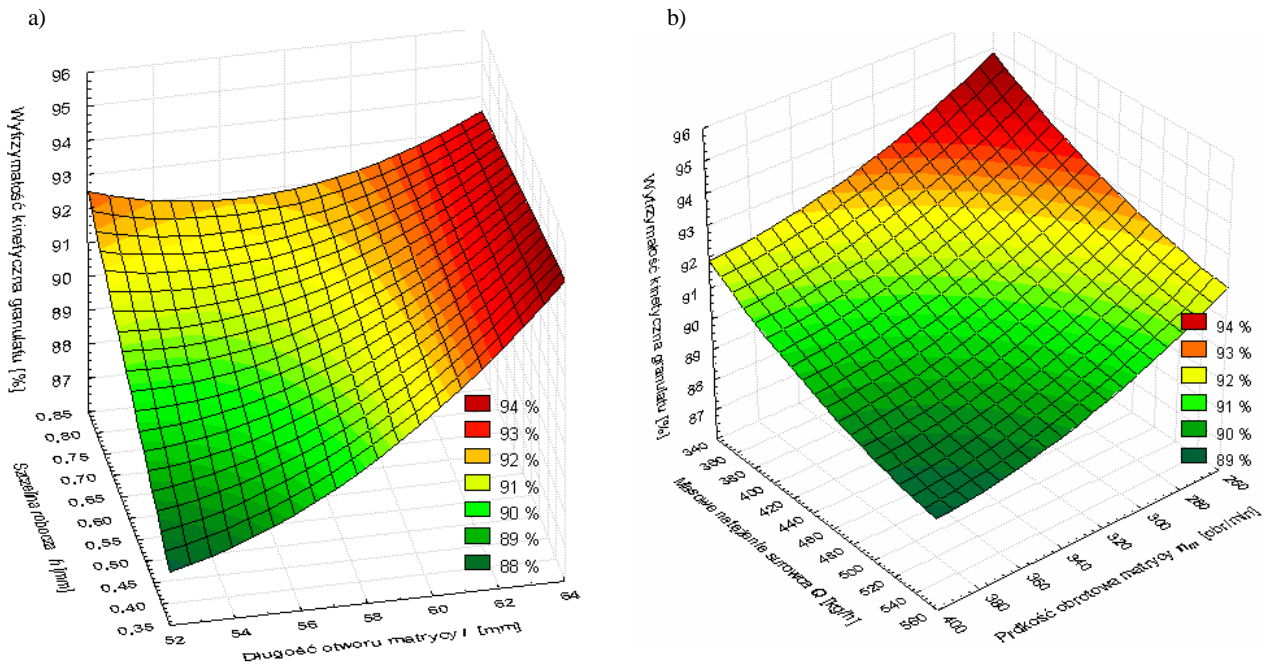
Na rys. 4 przedstawiono wyniki badań wpływu badanych parametrów na wartości współczynnika wytrzymałości kinetycznej granulatu P_{dx} . Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zwiększenie długości otworów l_{otw} i wielkości szczeliny roboczej między rolką zagęszczającą a matrycą h_r powodowało wzrost wartości współczynnika wytrzymałości kinetycznej granulatu P_{dx} (rys. 4a). Na-

tomiał wzrost masowego natężenia przepływu surowca \dot{Q}_s oraz wartości prędkości obrotowej matrycy n_m powodowały spadek jego wartości (rys. 4b).

Zwiększenie długości otworów w matrycy wydłużało czas przebywania mieszanki w otworach matrycy, a tym samym wydłużał się czas oddziaływania temperatury na elementarne porcje mieszanki. Nastąpiło zwiększenie stopnia żelowania skrobi w mieszance i powstanie trwalszych wiązań w otrzymanym granulacie, zwiększa się gęstość granulatu, a tym samym i współczynnik wytrzymałości kinetycznej granulatu. Dłuższy czas przebywania mieszanki w otworze wiązał się również ze wzrostem czasu relaksacji naprężeń w formowanym granulacie, co pozytywnie wpływało na wytrzymałość granulatu.

Wzrost współczynnika wytrzymałości kinetycznej granulatu wraz ze zwiększeniem szczeliny roboczej jest związany z powiększaniem się warstwy materiału, który poddawano zagęszczaniu podczas jednego cyklu zagęszczania. Ponieważ granulaty mają budowę warstwową, to zmniejszenie ilości warstw (wskutek zwiększenia ilości materiału w jednej warstwie) w powstałej granuli wpływało na zwiększenie jego wytrzymałości kinetycznej. Zwiększenie szczeliny roboczej powodowało również wzrost ilości drobnych cząstek w zagęszczanej mieszance, które powstały na skutek rozdrabniania materiału, który nie został wtłoczony do otworów w matrycy. Wpływało to na zwiększenie gęstości formowanego granulatu, jak i jego wytrzymałości kinetycznej.

Spadek współczynnika wytrzymałości kinetycznej granulatu wraz ze zwiększeniem gęstości strumienia masy (masowego natężenia surowca) spowodowany był skróceniem czasu przebywania porcji mieszanki w otworze matrycy. Wpływało to ujemnie na powstawanie trwałych wiązań w tworzonym aglomeracie, a tym samym spadała jego wytrzymałość kinetyczna. Skrócenie czasu przebywania mieszanki w otworze wiązało się ze spadkiem czasu relaksacji naprężeń w formowanym granulacie, co ujemnie wpływało na jego wytrzymałość kinetyczną.



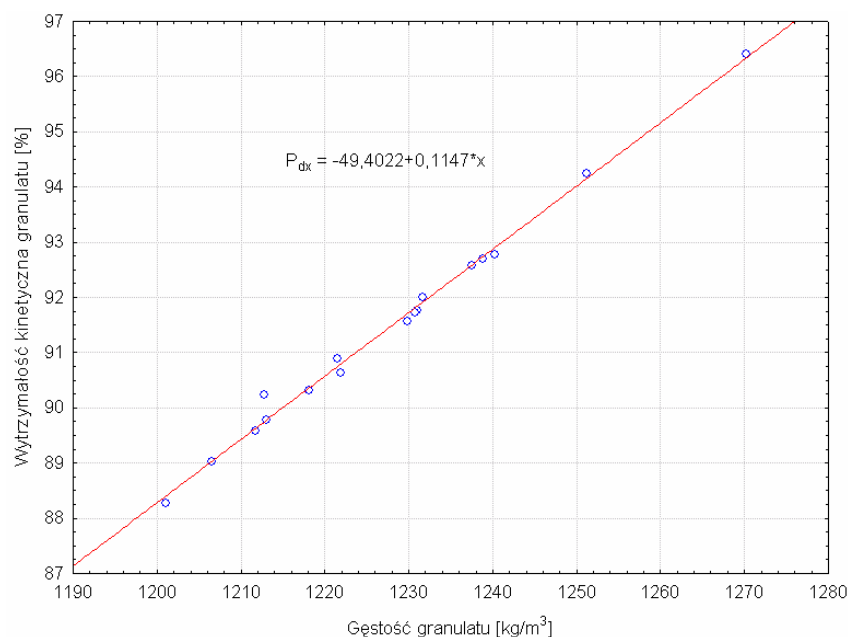
Rys. 4. Wpływ parametrów techniczno-technologicznych na współczynnik wytrzymałości kinetycznej granulatu: a) wpływ długości otworu i szczeliny roboczej, b) wpływ prędkości obrotowej matrycy i gęstości strumienia masy (masowego natężenia przepływu surowca)
 Fig. 4. The influence of technical and technological parameters on the kinetic durability of pellets: a) the influence of the length of a hole in the die and the size of a gap between the compacting roller and the die, b) the influence of the rotational speed of the die and flow of raw material

Największy spadek współczynnika wytrzymałości kinetycznej granulatu wiąże się ze wzrostem prędkości obrotowej matrycy. Obniżenie współczynnika wytrzymałości kinetycznej granulatu wskutek wzrostu prędkości obrotowej matrycy wiąże się ze zmniejszeniem się elementarnej porcji materiału, którą włącza się do otworu matrycy w jednym cyklu zagęszczania. Zwiększa się ilość warstw w powstałej granuli (zwiększa się ilość powierzchni podziału granuli), co obniża jego właściwości wytrzymałościowe.

Na rys. 5 przedstawiono zależność wytrzymałości kinetycznej uzyskanego granulatu od jego gęstości. Z przedsta-

wionej zależności wynika, że wytrzymałość kinetyczna granulatu rośnie liniowo wraz ze wzrostem jego gęstości.

Na podstawie zależności wytrzymałości kinetycznej od gęstości uzyskanej w badaniach (rys. 5) stwierdzono, że gęstość granulatu od 1215 kg/m³ (gęstość odpowiadająca 90% wytrzymałości kinetycznej uzyskanego granulatu) do 1250 kg/m³ (gęstość odpowiadająca wytrzymałości kinetycznej ok. 94%) stanowi przedział, który zapewnia wysoką jakość granulatu (ze względu na jego trwałość, cechy wytrzymałościowe oraz wymagania żywieniowe), a jednocześnie nie spowoduje wzrostu energochłonności procesu.



Rys. 5. Zależności wytrzymałości kinetycznej granulatu otrzymanego z mieszanki DK-Finiszera od jego gęstości
 Fig. 5. The dependence of the kinetic durability of pellets obtained from the mixture DK-Finiszera on his density

5. Wnioski

1. Zwiększenie długości otworów matrycy i wielkości szczeliny roboczej powoduje wzrost wartości gęstości granulatu oraz jego wytrzymałości kinetycznej, natomiast zwiększenie masowego natężenia przepływu surowca oraz prędkości obrotowej matrycy powoduje obniżenie gęstości otrzymanego granulatu oraz jego wytrzymałości kinetycznej.
2. Długość otworu w matrycy i prędkość obrotowa matrycy mają decydujący wpływ na wartości gęstości granulatu oraz jego wytrzymałości kinetycznej.
3. Wytrzymałość kinetyczna granulatu rośnie liniowo wraz ze wzrostem jego gęstości.
4. Gęstość granulatu od 1215 do 1250 kg/m³ stanowi przedział wartości zapewniający wysoką jakość granulatu ze względu na jego trwałość, cechy wytrzymałościowe oraz wymagania żywieniowe.

6. Bibliografia

- [1] Czaban J.: Ciśnieniowa aglomeracja pasz w układzie roboczym granulatora. Praca doktorska. Politechnika Białostocka. Białystok, 2000.
- [2] Demianiuk L.: Brykietowanie rozdrobnionych materiałów roślinnych. Praca doktorska. Politechnika Białostocka. Białystok, 2001.
- [3] Grochowicz J.: Technologia produkcji mieszanek paszowych. Warszawa: PWRiL, 1996.
- [4] Hejft R.: Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Biblioteka Problemów Eksploatacji. ITE Radom, 2002.
- [5] Obidziński S.: Stanowisko do badań granulowania rozdrobnionych materiałów roślinnych. III Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Problemy w Budowie i Eksploatacji Wybranych Maszyn i Urządzeń Technologicznych” i III Ogólnopolskie Forum „Maszyny i Procesy do Utylizacji Odpadów”. Monografie AGH. Kraków, 2004: 143-148.
- [6] Obidziński S., Hejft R.: Granulacja ciśnieniowa – parametry aparaturowo-procesowe. GRANULACJA'2005: VII Ogólnopolskie Sympozjum, Puławy-Kazimierz Dolny, 11-13. 10. 2005 r.: 28-32.
- [7] Polański Z.: Planowanie doświadczeń w technice. Warszawa: PWN, 1984.
- [8] Thomas M., van der Poel A.F.B.: Physical quality of pelleted animal feed. 1. Criteria for pellet quality. Animal Feed Science Technology, 1996, 61: 89-112.
- [9] 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. Animal Feed Science Technology, 1997, 64: 173-192.
- [10] Thomas M., van der Vliet T., Poel A.F.B.: Physical quality of pelleted animal feed. 3. Contribution of feedstuff components. Animal Feed Science Technology, 1998, 71: 59-78.
- [11] Walczyński S., Zawisłak K., Podgórska H.: Wpływ składu mieszanek paszowych i metod granulowania na jakość granulatu. Biuletyn Naukowy Przemysłu Paszowego, 2000, nr 3-4: 67-78.
- [12] Walczyński S.: Porównanie metod oznaczania wytrzymałości kinetycznej granulatów. Pasze Przemysłowe, 1997, nr 11-12: 17-19.
- [13] Walczyński S., Zawisłak K.: Wpływ dodatku tłuszczu na jakość granul w procesie aglomeracji bez dodatku pary wodnej. Pasze Przemysłowe, 2000, nr 4-5: 17-19.
- [14] Walczyński S., Zawisłak K.: Badanie jakości granul w procesie aglomeracji bez dodatku pary wodnej. Biuletyn Naukowy Przemysłu Paszowego, 2000, nr 1-4: 95-101.
- [15] Walczyński S.: Niektóre właściwości surowców i mieszanek paszowych oraz metody ich oznaczania. Pasze Przemysłowe, 2001, nr 2-3: 7-9.
- [16] Walczyński S.: Jakość granulatu ważnym czynnikiem w hodowli zwierząt. Pasze Przemysłowe, 2004, nr 10: 14-16.

Praca wykonana w ramach projektu (grantu) MNiSW N N504 488239 (G/WM/4/2010).