

THE INFLUENCE OF POTATO PULP ADDITION TO THE OAT BRAN ON THE ENERGY CONSUMPTION OF THE PELLETISATION PROCESS AND PELLETS QUALITY

Summary

The paper presents the results of the investigations of densification process of the plant wastes mixture of oat bran and potato pulp. The preliminary investigations of densification oat bran were conducted on the SS-3 stand, with an "open densification chamber-densification piston" working system, using the open chamber of diameter 8 mm and length $l_0=47$ mm. The proper investigations of densification process were conducted in the working system of a P-300 pellet mill with the 'flat matrix-densification rolls' tool-in-use system. The tests determined the energy consumption of the pelletisation process and the quality (density and kinetic durability) of the obtained pellets. The kinetic durability of the pellets obtained in the working system of the pelletizer was determined with the Holmen's method in accordance with Polish Standard. The results of the conducted investigations affirmed that the addition of potato pulp to oat bran had caused the growth of the susceptibility of the mixture and the lowering of the energy consumption of the pelletizer. The approx 20% addition of the potato pulp let on obtainment of the high quality pellets which is making up the balanced solid fuel.

Key words: *pelletting, potato pulp, oat bran, density, kinetic durability*

WPLYW DODATKU WYCIERKI ZIEMNIACZANEJ DO OTRĘBÓW OWSIANYCH NA ENERGOCHŁONNOŚĆ PROCESU GRANULOWANIA I JAKOŚĆ GRANULATU

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań procesu zagęszczania mieszaniny roślinnych odpadów otrębów owsianych i wycierki ziemniaczanej. Badania wstępne zagęszczania otrębów owsianych przeprowadzono na stanowisku SS-3, z układem roboczym „otwarta komora zagęszczania-tłok zagęszczający”, używając komory otwartej o średnicy 8 mm i długości 47 mm. Badania właściwe procesu zagęszczania przeprowadzono w układzie roboczym granuladora typu P-300 z układem płaska matryca-rolki zagęszczające. W badaniach tych określono energochłonność procesu granulowania oraz jakość uzyskanego granulatu (gęstość i wytrzymałość kinetyczną). Oznaczanie wytrzymałości kinetycznej granulatu otrzymanego w układzie roboczym granuladora wykonano zgodnie z Polskimi Normami metodą Holmena. Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły stwierdzić, że dodatek wycierki ziemniaczanej do otrębów owsianych spowodował zwiększenie podatności mieszanki na zagęszczanie i obniżenie zapotrzebowania granuladora na moc. Dodatek wycierki do ok. 20% pozwala na uzyskanie granulatu o wysokiej jakości stanowiącego pełnowartościowe paliwo stałe.

Słowa kluczowe: *granulowanie, wycierka ziemniaczana, otręby owsiane, gęstość, wytrzymałość kinetyczna*

1. Wprowadzenie

Obecnie coraz częściej sięga się po surowce odpadowe oraz biomasę z upraw energetycznych jako surowce do produkcji energii elektrycznej i ciepła. Jest to spowodowane umocowaniami prawnymi, m.in. Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 14. 08. 2008 r. [2].

Innym powodem wykorzystywania biomasy jako surowca do produkcji energii elektrycznej i ciepła jest wymóg zmniejszenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery [12].

Jednym ze sposobów zagospodarowania różnego rodzaju odpadów roślinnych jest ich granulowanie lub brykietowanie do postaci paliwa stałego (granulatu, brykietu) [1, 4; 5, 7].

Podstawowym surowcem do produkcji granulatu opałowego są różnego rodzaju odpady drzewne, ale wykorzystywane są również agropozostałości, takie jak słoma, odpady przemysłu spożywczego i rolniczego [15, 17].

Bardzo często niemożliwe jest jednak bezpośrednio wykorzystanie tych odpadów jako surowca do produkcji granulatu lub brykietu, np. z powodu zbyt małej wielkości cząstek – materiały pyliste, z powodu zbyt dużej zawartości tłuszczu – makiuchy rzepakowe, czy też zbyt dużej wilgotności odpadu, czego przykładem jest wycierka ziemniaczana (powstająca w za-

kładach przemysłu rolno-spożywczego, będąca odpadem po-produkcyjnym w produkcji skrobi ziemniaczanej), itp. W związku z tym często poddaje się procesowi zagęszczania różne mieszanki odpadów, co pozwala na realizację procesu ciśnieniowej aglomeracji i zapewnia wysoką jakość otrzymanego granulatu [11].

Przykładami badań związanych z wykorzystaniem takich kompilacji odpadów do produkcji paliw stałych są: badania zagęszczania mieszaniny odpadów poźniwnych pszenicy, owsa i kukurydzy w połączeniu ze słomą, trocinami oraz ze zużytym olejem jadalnym [9], badania procesu peletowania mieszaniny odpadów tytoniowych w połączeniu z odpadami zielowymi [10], badania zagęszczania mieszaniny poprodukcyjnych odpadów rzepy powstających przy produkcji oleju z rzepy w mieszaninie z trocinami [13] lub też badania wytwarzania granulatu opałowego z mieszaniny wysortu zbożowego (odpady z elewatora) w połączeniu z trocinami dębowymi oraz z odpadami po produkcji soku jabłkowego [14]. Miranda i in. [8] stwierdzili natomiast, że dodawanie odpadów dębu pirenejskiego do mięszu oliwkowego (odpad powstający przy produkcji oleju z oliwek), zapewnia bardziej efektywne zagęszczanie mieszaniny, a także polepsza wytrzymałość kinetyczną otrzymanego granulatu.

2. Cel badań

Celem badań było określenie wpływu dodatku wycierki ziemniaczanej do otrębów owsianych na energochłonność procesu granulowania oraz jakość uzyskanego granulatu, w aspekcie jego wykorzystania jako paszy lub paliwa opałowego.

3. Metodyka badawcza

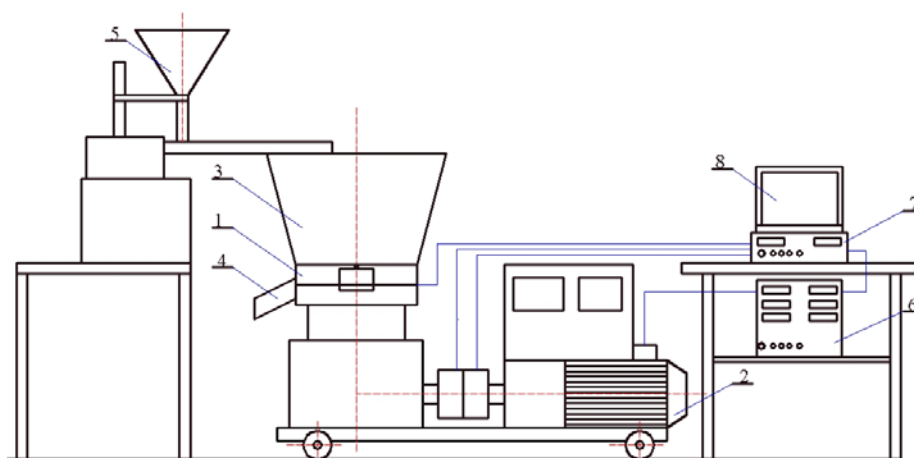
W pracy przedstawiono wyniki badań procesu granulowania mieszaniny odpadów zbożowych w postaci otrębów owsianych (powstających w Podlaskich Zakładach Zbożowych S.A. w Białymstoku) i wycierki ziemniaczanej pozostającej jako odpad przy wyplukiwaniu z ziemniaków skrobi (w zakładach PEPEES S.A w Łomży).

Oznaczanie wilgotności surowców (otrębów owsianych, wycierki oraz przygotowywanych mieszanek wycierki i otrębów owsianych) przed procesem zagęszczania wykonano zgodnie z PN-76/R-64752 za pomocą wagosuszarki WPE 300S z dokładnością 0,01%. Każdorazowo określano wilgotność a)

ność pięciu próbek. Do pomiaru pobierano próbki o masie 5 g i suszono je w temperaturze 105°C do momentu aż wskazania wagosuszarki w trakcie trzech kolejnych odczytów w odstępach 15 s pozostaną niezmienione. Za wynik końcowy oznaczenia wilgotności przyjmowano wartość średnią z otrzymanych oznaczeń.

Badania wstępne zagęszczania otrębów owsianych przeprowadzono na stanowisku SS-3, z układem roboczym „otwarta komora zagęszczania-tłok zagęszczający” [10]. W trakcie badań wstępnych określono podatność na zagęszczanie samych otrębów owsianych poprzez określenie maksymalnych nacisków zagęszczających surowiec oraz gęstości uzyskanego granulatu. W trakcie badań poddawano zagęszczaniu po 20 próbek o masie 1 g w komorze otwartej o średnicy 8 mm i długości 47 mm. Badania przeprowadzono przy trzech wartościach temperatury procesu: 50, 70 i 90°C.

Badania podstawowe procesu granulowania wykonano na stanowisku badawczym SS-4 (rys. 1), którego głównym elementem był granulator typu P-300 z układem roboczym płaska matryca-rolki zagęszczające.



b)



Rys. 1. Stanowisko badawcze SS-4: a) schemat stanowiska: 1- układ roboczy granulatora z matrycą płaską, 2- silnik elektryczny napędzający granulator, 3- zasyp surowca, 4- wysyp granulatu, 5- dozownik wibracyjny, 6- uniwersalny miernik do pomiaru zapotrzebowania na moc, 7- rejestrator Spider, 8- komputer PC, b) widok stanowiska

Fig. 1. Investigation SS-4 stand: a) the schema of the stand: 1- working system of pellet mill with flat matrix, 2- electric motor driving the pellet mill, 3- raw material inlet, 4- pellet outlet, 5- vibrating feeder, 6- universal meter for measuring electric power demand, 7- Spider 8 recorder, 8- PC computer, b) the view of the stand

Napęd granulatora 1 stanowił silnik elektryczny 2, z którego moment obrotowy przekazywany był poprzez przekładnię zębatą stożkową na wał, na którym osadzona była płaska obrotowa matryca, współpracująca z nieruchomym układem dwóch ułożyskowanych rolek zagęszczających, włączających zagęszczany surowiec w otwory matrycy. Równomierne doprowadzenie zagęszczanego surowca do układu roboczego granulatora 1 zapewniono poprzez zastosowanie dozownika wibracyjnego 5, podającego surowiec do układu roboczego granulatora poprzez zasyp 3. Granulat opuszczał układ roboczy granulatora wysypem 4. Stanowisko SS-4 oprzyrządowano w uniwersalny miernik do pomiaru zapotrzebowania urządzenia na moc 6, oraz rejestrator 7 (Spider 8) sprzężony z komputerem 8. Sygnały z czujnika 6 doprowadzano do rejestratora 7 w postaci plików binarnych, które poddano dalszej obróbce z wykorzystaniem oprogramowania Microsoft Excel oraz Statistica 10.0 PL.

Badania zagęszczania mieszaniny otrębów owsianych z wycierką w układzie roboczym granulatora przeprowadzono przy szczelinie roboczej między rolką zagęszczającą a matrycą $h_r=0,4$ mm, przy masowym natężeniu przepływu mieszanki ok. $Q_s=150$ kg/h oraz przy prędkości obrotowej matrycy $n_m=280$ obr/min. Matryca użyta w trakcie badań posiadała otwory o średnicy $d_o=8$ mm i długości $l_o=28$ mm.

W trakcie pomiarów na stanowisku SS-4 określono wpływ zawartości wycierki ziemniaczanej ($z_w=10, 20$ i 30%) w mieszaninie z otrębami owsianymi na zapotrzebowanie na moc przez silnik napędzający granulator oraz na gęstość i wytrzymałość kinetyczną otrzymanego granulatu.

Oznaczenie gęstości otrzymanego granulatu przeprowadzono mierząc suwmiarką wysokość i średnicę piętnastu losowo wybranych próbek z dokładnością $\pm 0,02$ mm oraz określając ich masę wagą laboratoryjną z dokładnością $\pm 0,001$ g. Gęstość granulatu ρ_g obliczano jako stosunek masy do objętości oznaczanych próbek.

Wytrzymałość kinetyczną otrzymanego granulatu oznaczano zgodnie z normą PN-R-64834:1998 oraz zaleceniami zamieszczonymi w pracach [16, 19, 20], po 24 godzinach od

momentu opuszczenia układu roboczego przez granulat, z wykorzystaniem testera Holmena (rys. 2).

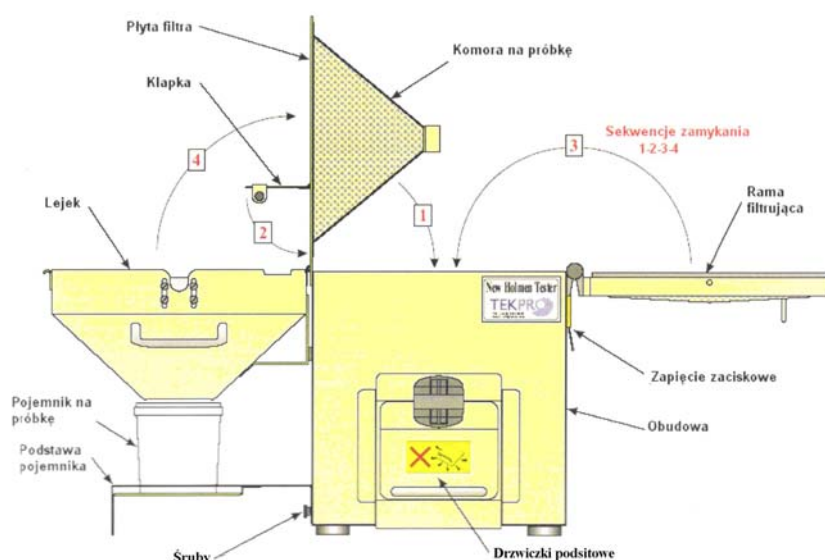
W trakcie badań metodą Holmena do komory testera wprowadzano za każdym razem próbkę granulatu o masie 100 g, która w komorze testera wprowadzana była w strumień powietrza i cyrkulując w nim uderzała o metalowe perforowane ścianki testera. W trakcie badań oznaczano wpływ czasu testu na wytrzymałość kinetyczną granulatu. Granulat przebywał w komorze, zgodnie z normą PN-R-64834, 60 s. Po upływie tego czasu pozostałość granulatu z komory testera wprowadzano na sito, przesiewano i ważono. Wytrzymałość kinetyczną granulatu obliczano jako stosunek masy granulatu po teście do masy granulatu przed testem.

4. Wyniki badań

Rys. 3 przedstawia wyniki badań wstępnych wpływu temperatury procesy na wartości nacisków zagęszczających oraz na gęstość otrzymanego granulatu z otrębów owsianych.

Z przeprowadzonych badań eksperymentalnych (rys. 3) wynika, że zwiększenie temperatury w trakcie realizacji procesu granulowania otrębów owsianych od 50 do 90°C powoduje spadek wartości maksymalnych nacisków zagęszczających od 6,21 do 2,11 MPa. Niestety, zwiększenie temperatury procesu powoduje również spadek gęstości otrzymanego granulatu. Nierozdrobnione otręby owsiane (po dostarczeniu z PZZ Białystok) o wilgotności 5,09% są materiałem o niskiej podatności na zagęszczanie. Śliska łuska owsiana i niewielka ilość pozostałego w otrębach bielma oraz niska zawartość wilgoci powodują, że w trakcie zagęszczania otręby są przetłaczane przez otwory matrycy przy niewielkich naciskach zagęszczających (rys. 3a), jednak gęstość otrzymanego granulatu jest bardzo niska. Wzrost temperatury procesu od 50 do 90°C spowodował spadek gęstości otrzymanego granulatu z 676,09 do 424,58 kg/m³. Otrzymany granulat przy niewielkich naciskach ulega rozkruszaniu. W związku z tym należałoby rozdrabniać otręby owsiane, co zmniejszyłoby ich tendencję do ślizgania się po powierzchni otworu w matrycy, lub zwiększyć wilgotność otrębów przed procesem granulowania albo też dodatkowo zastosować lepiszcze.

a)

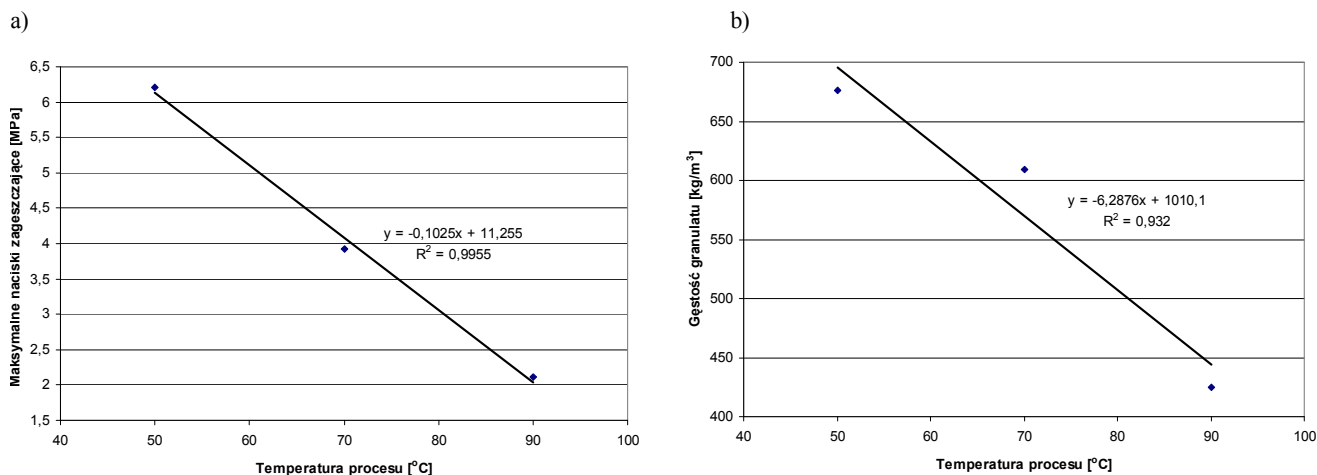


b)



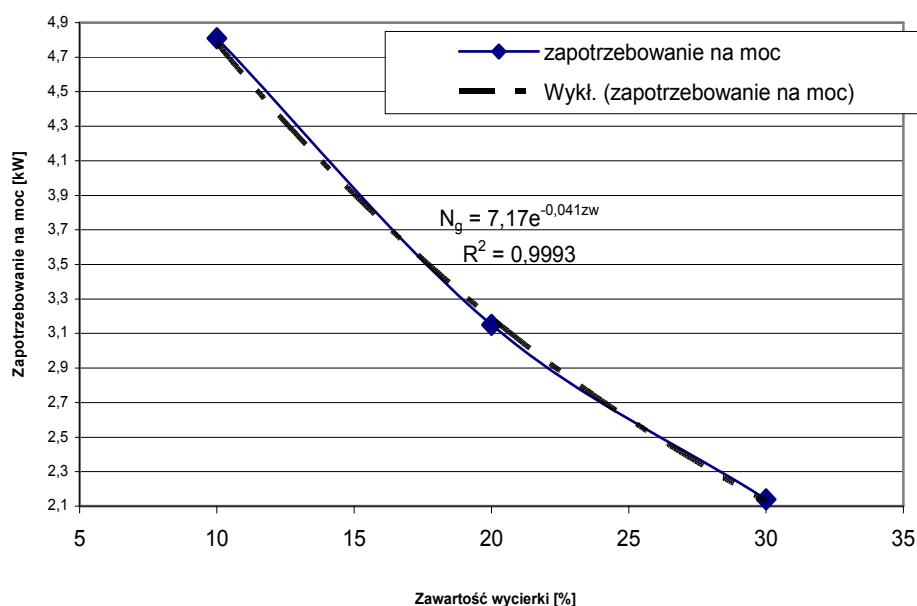
Rys. 2. Stanowisko do pomiaru współczynnika wytrzymałości kinetycznej P_{dk} granulatu metodą Holmena: a) schemat stanowiska, b) widok testera

Fig. 2. The investigation stand to the measurement of the pellets kinetic durability P_{dk} Holmen method's: a) the schema of the stand, b) the view of the tester



Rys. 3. Wpływ temperatury procesu granulowania otrębów owsianych na: a) wartości nacisków zagęszczających, b) gęstość otrzymanego granulatu

Fig. 3. The influence of pelleting process temperature of the oat bran on the: a) value of the maximum densification pressure, b) density of the obtained pellets



Rys. 4. Wpływ zawartości wycierki ziemniaczanej w mieszaninie z otrębami owsianymi na zapotrzebowanie na moc granulatora

Fig. 4. The influence of the potato pulp content in the mixture with oat bran on the power consumption of the pelletizer

Na rys. 4 przedstawiono wyniki badań wpływu zawartości wycierki ziemniaczanej w mieszaninie z otrębami owsianymi na zapotrzebowanie na moc granulatora (peleciarki) typu P-300 zarejestrowaną w trakcie zagęszczania mieszaniny.

Uzyskane wyniki badań (rys. 4) pozwoliły stwierdzić, że zwiększenie zawartości wycierki ziemniaczanej od 10 do 30% w mieszance z otrębami owsianymi spowodowało spadek zapotrzebowania granulatora na moc o ok. 55,5% (z 4,81 do 2,14 kW).

Zaobserwowany w trakcie badań spadek zapotrzebowania granulatora na moc był spowodowany znacznym wzrostem wilgotności mieszaniny w konsekwencji zwiększenia zawartości wycierki ziemniaczanej (rys. 5). Wilgotność mieszaniny wzrosła z 13,38% (przy 10% zawartości wycierki w zagęszczanej mieszance) do 29,58% (przy 30% zawartości wycierki w zagęszczanej mieszance). Wzrost zawartości wycierki w zagęszczanej mieszaninie powodował powstanie coraz większych ilości lepiska (w postaci lepkiej cieczy powstałej ze skrobi i wilgoci) w trakcie procesu peletowania. Rosnąca

zawartość powstałej lepkiej cieczy powodowała efekt „smarowania” powierzchni otworów w matrycy granulatora i spadek oporów przetłaczania. Obniżenie oporów przetłaczania dało w konsekwencji zmniejszenie wartości zapotrzebowania granulatora na moc (rys. 4), przy jednoczesnym wzroście gęstości i wytrzymałości kinetycznej powstałego granulatu, który po schłodzeniu i zastygnięciu w nim lepkiego żelu tworzył w połączeniu z otrębami trwałe aglomeraty.

Przeprowadzone badania pozwalają na stwierdzenie, że dodatek wycierki bardzo korzystnie wpływa na przebieg i stabilność procesu granulowania, o czym świadczy spadające zapotrzebowanie granulatora na moc, które jest znacznie niższe niż analogiczne zapotrzebowanie w przypadku granulowania samych otrębów.

Wpływ zawartości wycierki z_w na zapotrzebowanie granulatora na moc N_g podczas zagęszczania otrębów owsianych i wycierki w układzie roboczym granulatora z płaską matrycą opisano ogólnym równaniem funkcji wykładniczej:

$$N_g = 7,17e^{-0,0413z_w} \quad R^2 = 0,9993 \quad (1)$$

gdzie:

z_w – zawartość wycierki ziemniaczanej w mieszaninie [%].

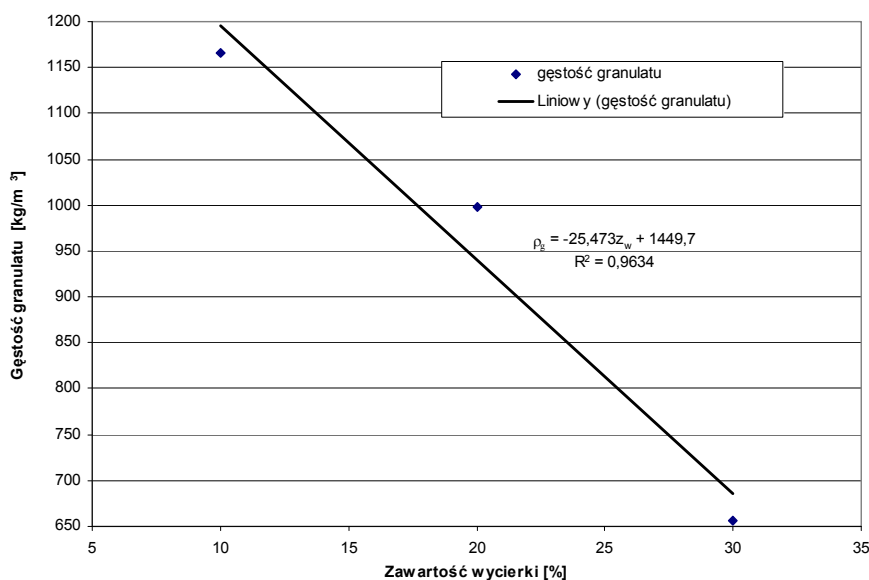
Na rys. 5 przedstawiono wpływ zawartości wycierki ziemniaczanej w mieszaninie z otrębami owsianymi na gęstość granulatu oraz wartość wytrzymałości kinetycznej granulatu oznaczoną metodą Holmena. Zgodnie z wynikami przeprowadzonych badań (rys. 5) można stwierdzić, że zwiększenie zawartości wycierki ziemniaczanej z 10 do 30% w mieszaninie z otrębami owsianymi, spowodowało spadek gęstości i wytrzymałości kinetycznej granulatu. Zwiększenie zawartości wycierki ziemniaczanej z 10 do 30% w mieszaninie z otrębami owsianymi, spowodowało spadek wytrzymałości kinetycznej granulatu oznaczonej metodą Holmena o ok. 60% (z 98,6 do 38,81%). Gęstość granulatu spadła natomiast o ponad 56% (z wartości 1162,27 do 656,61 kg/m³). Spadek gęstości i wytrzymałości kinetycznej granulatu spowodowany był wzrostem wilgotności mieszaniny. Dodatek 10% wycierki ziemniaczanej w zagęszczanej mieszaninie spowodował wzrost wilgotności mieszaniny do 13,38% i powstanie lepiszcza w trakcie

procesu granulowania. Zwiększenie ilości lepiszcza w zagęszczanej mieszance powodowało powstawanie coraz trwalszych wiązań cząstek mieszanki i w konsekwencji wzrost gęstości granulatu.

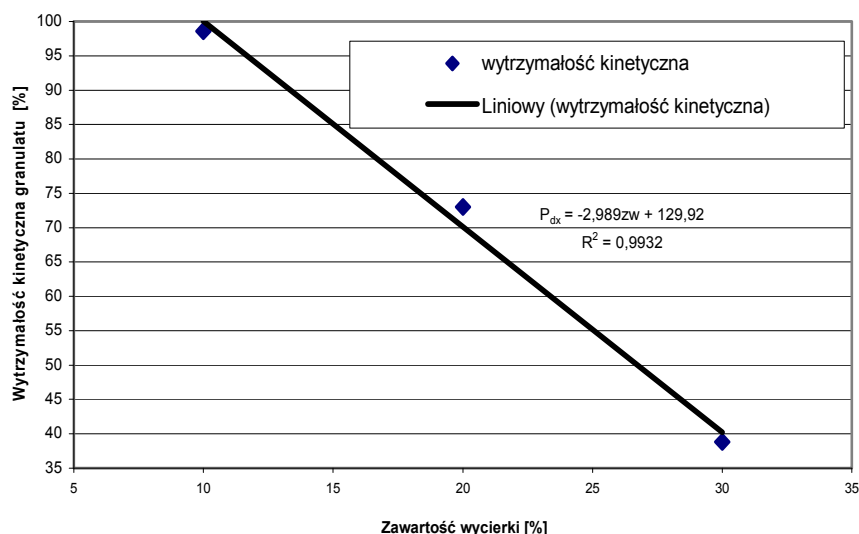
Wzrost ilości lepiszcza spowodował również nieznaczny wzrost nacisków zagęszczających (w porównaniu z zagęszczaniem samych otrębów), które w kontakcie z powierzchnią otworu w matrycy powodowały zwiększenie oporów przetłaczania (mieszanka już nie ślizgała się po powierzchni otworu w matrycy jak to miało miejsce przy zagęszczaniu samych otrębów) i w konsekwencji pozwoliły na uzyskanie wysokiej gęstości (1162,27 kg/m³) i wytrzymałości kinetycznej (98,6%) powstałego granulatu.

Dalszy wzrost wilgotności mieszanki do 29,58% (przy 30% udziale wycierki ziemniaczanej) spowodował jednak spadek oporów przetłaczania oraz rozprężanie powstającego granulatu wskutek parowania nadmiaru wody zawartej w granulacie, po opuszczeniu otworów w matrycy, w których był formowany. Uzyskane wartości gęstości granulatu przy 30% udziale wycierki ziemniaczanej (656,61 kg/m³) i wytrzymałości kinetycznej (38,81%) dyskwalifikuje taki granulak jako paliwo stałe.

a)



b)



Rys. 5. Wpływ zawartości wycierki ziemniaczanej w mieszaninie z otrębami owsianymi na: a) gęstość granulatu, b) wytrzymałość kinetyczną granulatu oznaczoną metodą Holmena

Fig. 5. The influence of the potato pulp content in the mixture with oat bran on the: a) pellets density, b) kinetic durability of pellets appointed Holmen's method

Jednak dodatek wycierki ziemniaczanej do otrębów pozwolił na uzyskanie znacznie lepszego jakościowo granulatu (o większej gęstości i wytrzymałości kinetycznej) niż przy padku peletu z samych otrębów. Nawet granulaty otrzymane przy 30% dodatku wycierki ziemniaczanej po wysuszeniu nie rozsypanywały się w takim stopniu jak granulaty z samych otrębów. Było to spowodowane działaniem lepkiego żelu powstałego w trakcie procesu granulowania z wilgoci i skrobi zawartej w wycierce, w wyniku oddziaływania wysokiej temperatury procesu. Żel ten po zastygnięciu spowodował powstawanie trwałych wiązań cząstek zagęszczanej mieszanki.

Wpływ zawartości wycierki z_w na gęstość granulatu ρ_g oraz wartość wytrzymałości kinetycznej granulatu P_{dx} podczas zagęszczania otrębów owsianych i wycierki w układzie roboczym granulatora z płaską matrycą opisano równaniami funkcji liniowej:

$$\rho_g = -25,47z_w + 1449,7 \quad R^2=0,9634 \quad (2)$$

$$P_{dx} = -2,989z_w + 129,9 \quad R^2=0,9932 \quad (3)$$

gdzie:

z_w – zawartość wycierki ziemniaczanej w mieszaninie [%].

Uzyskane w trakcie procesu granulowania w układzie roboczym granulatora typu P-300 gęstości granulatu (ok. 1162 kg/m³ przy zawartości wycierki 10% i ok. 1000 kg/m³ przy zawartości wycierki 20%) pozwalają na stwierdzenie, że dodatek wycierki do ok. 20% pozwala na uzyskanie granulatu o zadowalającej jakości, stanowiącego pełnowartościowe paliwo stałe. Za takie paliwo uważa się paliwo o gęstości ponad 1000 kg/m³. Jest to zgodne z istniejącymi normami dotyczącymi granulatu drzewnego w krajach europejskich, tj.: DIN 51731 – Niemcy, ÖNORM M 7135 – Austria, SS 18 71 20 – Szwecja oraz zgodne z wprowadzonym w 2011 roku certyfikatem EN 14961 i jego polskim odpowiednikiem – normą PN-EN 14961 (EN 14961).

5. Wnioski

1. Nierozdrobnione otręby owsiane są materiałem o niskiej podatności na zagęszczanie. W celu zwiększenia ich podatności i otrzymania granulatu o wysokiej gęstości należy je rozdrabniać, zwiększyć ich wilgotność przed procesem granulowania lub dodatkowo zastosować lepszecze.
2. Dodatek wycierki ziemniaczanej do granulowanych otrębów owsianych spowodował zwiększenie podatności mieszanki na zagęszczanie.
3. Zwiększenie zawartości wycierki ziemniaczanej od 10 do 30% w mieszaninie z otrębami owsianymi spowodowało spadek zapotrzebowania granulatora na moc o ok. 55,5% (z 4,81 do 2,14 kW).
4. Dodatek 10% wycierki ziemniaczanej do granulowanych otrębów owsianych pozwolił na uzyskanie wysokiej gęstości (1162,27 kg/m³) i wytrzymałości kinetycznej (98,6%) otrzymanego granulatu.
5. Zwiększenie zawartości wycierki ziemniaczanej z 10 do 30% w mieszaninie z otrębami owsianymi, spowodowało spadek wytrzymałości kinetycznej granulatu o ok. 60% (z 98,6 do 38,81%) oraz spadek gęstości granulatu o ponad 56% (z wartości 1162,27 do 656,61 kg/m³).
6. Dodatek wycierki do granulowanych otrębów owsianych do ok. 20% pozwala na uzyskanie granulatu o zadowalającej

jakości (gęstości i wytrzymałości kinetycznej) stanowiącego pełnowartościowe paliwo stałe.

6. Bibliografia

- [1] Adamczyk F., Frąckowiak P., Kośmicki Z., Mielec K., Zielnica M.: Badania eksperymentalne procesu zagęszczania słomy metodą zwijania. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2006, Vol. 51(3).
- [2] Dziennik Ustaw Nr 156. Poz. 969. Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dn.14 sierpnia 2008 w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii.
- [3] EN 14961 – 1 (PN-EN 14961-1: 2010). Biopaliwa stałe. Specyfikacje paliw i klasy. Część 1: Wymagania ogólne.
- [4] Fiszer A.: Wpływ wilgotności słomy i temperatury procesu brykietowania na jakość aglomeratu. *Journal of Research and Application in Agriculture Engineering*, 2009, Vol. 54(3).
- [5] Hejft R.: Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Biblioteka Problemów Eksploatacji. ITE Radom, 2002.
- [6] Hiegl W., Janssen R., Pichler W.: Advancement of pellets-related European standards. *WIP Renewable Energies*, 2009.
- [7] Kulig R.: Wpływ warunków kondycjonowania na straty wydajności w procesie granulowania materiałów. *Journal of Research and Application in Agriculture Engineering*, 2009, Vol. 54(2).
- [8] Miranda T., Arranz J.I., Montero I., Román S., Rojas C.V., Nogales S. Characterization and combustion of olive pomace and forest residue pellets, *Fuel Processing Technology*, 2012. doi10.1016-j.fuproc.2011.10.016.
- [9] Niedziółka I., Szymanek M., Zuchniarz A., Zawisław K.: Characteristics of pellets produced from selected plants mixes. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln. – OL PAN*, 2008, Vol. 8, 157–162.
- [10] Obidziński S.: Pelletization process of postproduction plant waste. *Int. Agrophysics*, 2012, Vol. 26(3), 279–284.
- [11] Obidziński S.: Granulat opałowy i paszowy i technologia jego wytwarzania. Zgłoszenie patentowe P.398399 z dnia 12.03.2012 r. Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej.
- [12] Rosillo-Calle F, Hemstock S, De Groot P, Woods J.: The biomass assessment handbook. London: Earthscan, 2007.
- [13] Stahl M., Berghel J.: Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust and rapeseed cake. *Biomass and Bioenergy* 35 (2011), 4849–4854.
- [14] Stolarski M.: Wykorzystanie biomasy do produkcji pelet. *Czysta Energia* 55/2006, 28.
- [15] Sultana A, Kumar A, Harfield D.: Development of agri-pellet production cost and optimum size. *Bioresource Technology*, 2010, 101, 5609–21.
- [16] 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, s. 173–192.
- [17] Verma VK, Bram S, Delattin F, Laha P, Vandendael O, Hubin A, De Ruyck, J.: Agropellets for domestic heating boilers: standard laboratory and real life performance. *Appl Energy*, 2012, Vol. 90, issue 1, 17–23.
- [18] Wach E.: Właściwości granulatu drzewnego. *Czysta Energia*, 6/2005 (44).
- [19] Walczyński S.: Porównanie metod oznaczania wytrzymałości kinetycznej granulatów. *Pasze Przemysłowe*, 1997, Nr 11/12, s. 17–19.
- [20] Walczyński S.: Niektóre właściwości surowców i mieszanek paszowych oraz metody ich oznaczania. *Pasze Przemysłowe*, 2001, Nr 2/3, s. 7–9.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010–2013 jako projekt badawczy MNiSzW Nr N N504488239.