

FIZYCZNE I MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI PELETÓW Z TROCIN SOSNOWYCH Z DODATKIEM TROCIN DRZEW LIŚCIASTYCH

Marek Rynkiewicz

*Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie*

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań fizycznych i mechanicznych właściwości peletów wytworzonych z trocin sosnowych z dodatkiem trocin dębowych, jesionowych, orzecha włoskiego i czereśni. Średnia gęstość nasypowa peletowanych mieszanek wynosiła od 183,98 do 187,12 kg m⁻³. Wytrzymałość mechaniczna w zależności od składu peletowanych mieszanek trocin uzyskiwała wartości od 98,34 do 98,87%. Przeprowadzone badania wykazały, że bardziej zróżnicowane długości zaobserwowano dla peletów, które były wytwarzane w pelecierce z matrycą o średnicy otworów 8 mm. Przeprowadzona analiza statystyczna nie wykazała statystycznie istotnych różnic pomiędzy ilością pęknięć a średnicą peletów.

Słowa kluczowe: biomasa, pelety, wytrzymałość mechaniczna

Wprowadzenie

Peletowana biomasa obecnie spotyka się z bardzo dużym zainteresowaniem ze strony odbiorców, którzy chcą przyczynić się do ochrony środowiska przyrodniczego. Z tego względu wiele firm w kraju i zagranicą zajmuje się produkcją aglomeratów z biomasy. Grzybek (2005) uważa, że biomasa jest i będzie najważniejszym odnawialnym źródłem energii. Szeroki zakres dostępnych surowców umożliwia wytwarzanie peletów o zróżnicowanych parametrach fizycznych i mechanicznych. Na rynku można spotkać pelety z biomasy roślinnej (słoma, ziarna, nasiona), biomasy owocowej (pozostałości produkcyjne z przetwarzania owoców) oraz biomasy drzewnej w postaci mieszanek. Jedną z ważniejszych cech określających jakość peletów jest wytrzymałość mechaniczna (Hejft, 2002). Niedziółka i Szpryngiel (2012) twierdzą, że na jakość peletów największy wpływ ma rodzaj peletowanych surowców. Gustavsson i in. (2005) podają, że istnieje możliwość pełnego zautomatyzowania systemu ogrzewania, ponieważ pelety są paliwem standaryzowanym w świecie. Norma EN 14961-2:2011 podaje, że pelety drzewne do zastosowań nieprzemysłowych

słowych mogą być produkowane z następujących surowców: z produktów leśnictwa, plantacji leśnych, pozostałości przemysłu drzewnego oraz drewna użytkowego.

Celem badań było określenie wpływu składu peletowanych trocin sosnowych z dodatkiem trocin z drzew liściastych na fizyczne i mechaniczne parametry wytwarzanego peletu.

Metodyka badań

Badania przeprowadzono dla peletów drzewnych, które były wytwarzane z surowców oznaczonych symbolami SDJ i SCO o następującym składzie:

SDJ – trociny sosnowe 80%, dębowe 10% i jesionowe 10%,

SCO – trociny sosnowe 80%, czereśniowe 10% i orzecha włoskiego 10%.

Pelety wytwarzane były w pelecierce o wydajności $4 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$, którą wyposażono w matrycę o średnicy otworów 6 lub 8 mm. Wytworzony pelet oznaczono następująco:

SDJ6 – trociny o składzie SDJ peletowane w pelecierce o średnicy otworów matrycy 6 mm;

SDJ8 – trociny o składzie SDJ peletowane w pelecierce o średnicy otworów matrycy 8 mm;

SCO6 – trociny o składzie SCO peletowane w pelecierce o średnicy otworów matrycy 6 mm;

SCO8 – trociny o składzie SCO peletowane w pelecierce o średnicy otworów matrycy 8 mm.

Linia technologiczna produkcji peletu składała się z następujących elementów: zbiornika surowca, suszarni, rozdrabniacza, mieszarki, kondycjonera z dozownikiem pary, pelecierce, chłodnicy i przesiewacza.

Wilgotność badanych próbek wykonywano zgodnie z normą EN 14774-3:2009 i obliczano wg wzoru (1):

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

M_{ad} – wilgotność (%),

m_1 – masa pustego naczynia (g),

m_2 – masa naczynia z próbką przed suszeniem (g),

m_3 – masa naczynia z próbką po suszeniu (g).

Gęstość nasypową peletowanych składników i peletów obliczano wg wzoru (2) określonego przez normę EN 15103:2009. Badania wykonano z użyciem naczynia o objętości $0,001 \text{ m}^3$.

$$BD_{ar} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (2)$$

gdzie:

BD_{ar} – gęstość nasypowa ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),

m_2 – masa naczynia z próbką (kg),

m_1 – masa pustego naczynia (kg),

V – objętość naczynia (m^3).

Gęstość utrzesioną wyznaczano przy użyciu aparatu Engelsmanna. Badania polegały na umieszczeniu próbki o objętości $0,0005 \text{ m}^3$ w naczyniu aparatu Engelsmanna, a następnie utrzesianiu przez 5 min z częstotliwością 150 Hz i amplitudą 10 mm. Po zakończeniu utrzesiania odczytywano objętość próbki. Gęstość w stanie utrzesionym obliczono wg wzoru (3):

$$TD = \frac{m}{V_t} \quad (3)$$

gdzie:

- TD – gęstość w stanie utrzesionym ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),
- m – masa próbki (kg),
- V_t – objętość po utrzesieniu (m^3).

Jako wynik przyjęto średnią arytmetyczną z trzech powtórzeń.

Do pomiaru wytrzymałości mechanicznej peletów wykorzystano tester mechaniczny ZU-05, którego budowa i zasada działania jest zgodna z normą europejską EN 15210-1:2009. Z pobranej próbki peletu drzewnego o masie ok. 3 kg odsiewano rozkruszone części na sicie o średnicy otworów 3,15 mm. Następnie z peletu pozostałego na sicie przygotowano trzy próbki, każdą o masie 500 g. Próbkę umieszczano w komorze, którą wirowano przez 10 min z prędkością $50 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$. Po zatrzymaniu testera próbki odsiewano na sicie o średnicy otworów 3,15 mm, a pozostałość na sicie ważono. Obliczenia wytrzymałości mechanicznej peletu drzewnego dokonano wg wzoru (4) określonego przez normę EN 15210:2009.

$$D_U = \frac{m_A}{m_E} \cdot 100 \quad (4)$$

gdzie:

- D_U – wytrzymałość mechaniczna peletu (%),
- m_E – masa próbki laboratoryjnej badanego peletu – 500 g,
- m_A – masa peletu pozostałego na sicie po próbie wytrzymałości mechanicznej (g).

Pomiar średnicy i długości peletów wykonywano zgodnie z normą EN 16127:2012 przy użyciu suwmiarki z dokładnością pomiaru do 0,01 mm. Mierzono 10 losowo wybranych peletów z próbki o masie 100 g.

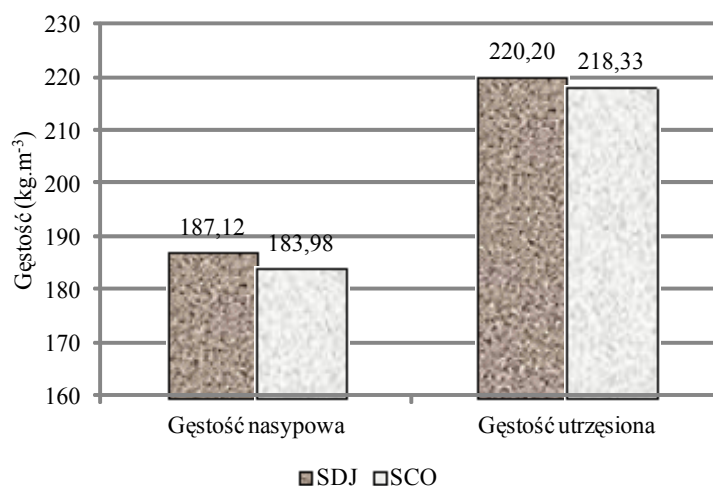
Określano również liczbę peletów z pęknięciami wzdłużnymi, poprzecznymi i mieszanymi (wzdłużne i poprzeczne). Badanie polegało na losowym wybraniu 100 peletów z próbki laboratoryjnej o masie 500 g. Następnie z wyselekcjonowanej próbki wybrano pelety z widocznymi pęknięciami i podzielono je na trzy grupy, w zależności od rodzaju pęknięcia. Na podstawie liczby uszkodzonych peletów określano ich procentowy udział w danej próbce.

Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą programu Statistica i Excel. Dla badanych parametrów sprawdzono ich zgodność z rozkładem normalnym. Badania rozkładu przeprowadzono testem W Shapiro-Wilka. Krytyczny poziom istotności przyjęto dla $p=0,05$. Istotność różnic wartości średnich dla parametrów o rozkładzie normalnym sprawdzano testem t-Studenta. Istotność różnic wartości średnich w więcej niż dwóch popula-

cjach sprawdzono testem ANOVA. W celu porównania parametrów jakościowych oceny dokonano testem χ^2 (Stanisz, 1998).

Wyniki badań

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki gęstości nasypowej i utrząsionej badanych surowców użytych do wytworzenia peletów przy wilgotności 10%.



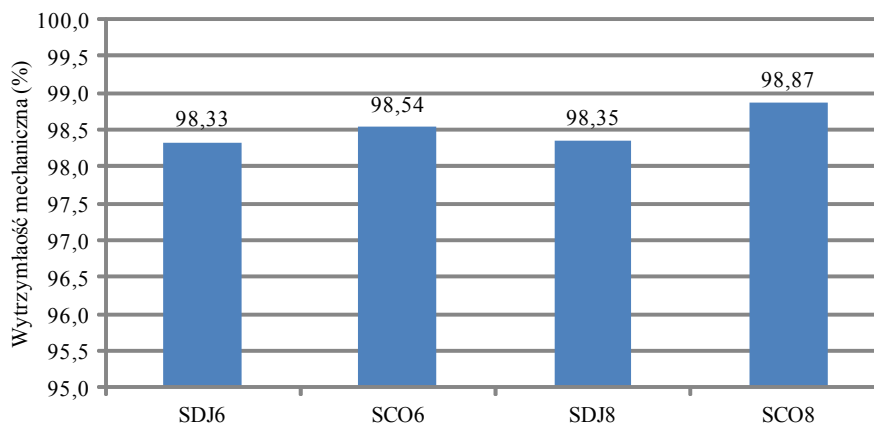
Rysunek 1. Wyniki badań gęstości nasypowej i utrząsionej peletów wytworzonych z mieszanek o składzie SDJ i SCO

Figure 1. Research results of bulk density and tapped density of pellets produced of mixtures of SDJ and SCO composition

Gęstość nasypowa peletowanej mieszanki o składzie SDJ wynosiła 187,12 kg·m⁻³, natomiast dla mieszanki o składzie SCO była mniejsza o 3,14 kg·m⁻³. Różnica pomiędzy gęstością utrząsioną badanych mieszanek SDJ i SCO wynosiła 1,86 kg·m⁻³.

Przeprowadzona analiza statystyczna testem t-Studenta wykazała statystycznie istotną różnicę średnich wartości gęstości nasypowej pomiędzy mieszankami SDJ i SCO ($p=0,0369$). W przypadku gęstości utrząsionej przeprowadzona analiza statystyczna nie wykazała statystycznie istotnych różnic wartości średnich ($p=0,6175$). Na podstawie przeprowadzonych analiz statystycznych można stwierdzić, że skład badanych mieszanek miał istotny wpływ na gęstość nasypową, natomiast nie wpływał na gęstość utrząsioną.

Na podstawie rysunku 2 można stwierdzić, że najwyższą, średnią wartość wytrzymałości mechanicznej uzyskał pelet o średnicy 8 mm, wytworzony z trocin sosny, czereśni i orzecha włoskiego (SCO8), która wyniosła 98,87%. Najmniejszą wartość wytrzymałości mechanicznej uzyskał pelet o średnicy 6 mm, który wytwarzany był z trocin sosnowych, dębowych i jesionowych (SDJ6). Badania wytrzymałości mechanicznej wykonano przy wilgotności peletów 10%.



Rysunek 2. Średnie wyniki badań wytrzymałości mechanicznej wytworzonych peletów
Figure 2. Average research results of mechanical strength of the produced pellets

Przeprowadzona analiza statystyczna nie wykazała statystycznie istotnych różnic wartości średnich wytrzymałości mechanicznej dla badanych peletów w zależności od składu i średnicy otworów matrycy.

W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów długości badanych peletów.

Tabela 1

Wyniki pomiarów długości badanych peletów (mm)

Table 1

Measurements results of the researched pellets length (mm)

Pelet	Długość peletów			
	min.	średnia	max.	OS
SDJ6	19,90	18,27	22,02	1,57
SCO6	19,34	15,26	21,40	1,96
SDJ8	19,24	17,54	24,73	2,25
SCO8	18,22	14,12	22,06	2,37

OS – odchylenie standardowe

Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 1 można stwierdzić, że największą średnią długość (18,27 mm) uzyskał pelet o średnicy 6 mm, wytworzony z trocin sosny, dębu i jesionu (SDJ6), natomiast najmniejszą średnią długość (14,22 mm) uzyskał pelet o średnicy 8 mm, wytworzony z trocin sosny, czereśni i orzecha (SCO8).

W poszczególnych grupach badanych peletów najbardziej zróżnicowane pod względem długości okazały się pelety wytwarzane w matrycy o średnicy otworów 8 mm. Wartość odchylenia standardowego dla peletów SDJ8 wynosiła 2,25 mm, natomiast dla peletów SCO8 – 2,37 mm. Wśród peletów o większych średnicach ich długości są bardziej zróżnicowane.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki pomiarów średnicy badanych peletów.

Tabela 2

Wyniki pomiarów średnicy badanych peletów (mm)

Table 2

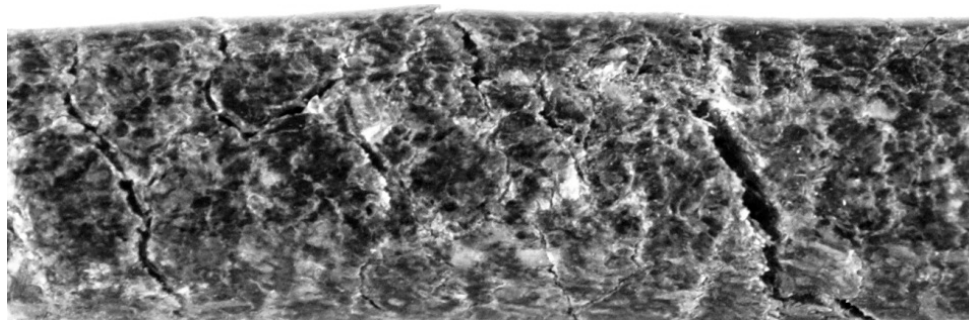
Measurements results of the researched pellets (diameter mm)

Pelet	Średnica peletów			
	min.	średnia	max.	OS
SDJ6	6,22	6,09	6,34	0,09
SCO6	6,24	6,15	6,40	0,09
SDJ8	8,21	8,13	8,34	0,08
SCO8	8,29	8,19	8,40	0,07

OS – odchylenie standardowe

Na podstawie danych zamieszczonych w tabeli 2 można stwierdzić, że różnica pomiędzy minimalną a maksymalną średnicą peletu SDJ6, wytworzonego w pelecjarce o średnicy otworów matrycy 6 mm, wynosiła 0,12 mm, natomiast dla tego samego peletu wytworzonego w matrycy o otworach 8 mm – 0,13 mm. Najmniejszą wartość odchylenia standardowego uzyskano dla peletów SCO8 (0,07 mm), co świadczy o dużej jednorodności ich średnic.

Przeprowadzone badania dotyczące określenia liczby peletów z pęknięciami (tab. 3) wykazały, że wskaźnik ten wynosił od 29% dla peletu SCO8 do 34% dla peletu SDJ6. Przeprowadzona analiza statystyczna testem χ^2 nie wykazała statystycznie istotnych różnic w poszczególnych grupach.



Rysunek 3. Przykład peletu z pęknięciami mieszanymi (poprzecznymi i wzdłużnymi)

Figure 3. Example of a pellet with mixed fractures (transverse and lengthwise)

Tabela 3
Procentowy udział peletów z pęknięciami
 Table 3
Percentage share of pellets with fractures

Pelet	Pęknięcia (%)			
	poprzeczne	wzdłużne	mieszane	razem
SDJ6	19	8	7	34
SCO6	16	9	6	31
SDJ8	19	8	5	32
SCO8	17	7	5	29

Wnioski

1. Stwierdzono statystycznie istotną różnicę pomiędzy gęstością nasypową badanych mieszanek trocin, która dla mieszanki SDJ wynosiła 187,12 kg·m⁻³, natomiast dla mieszanki SCO 183,98 kg·m⁻³.
2. Badane pelety charakteryzowały się wysokimi wartościami wytrzymałości mechanicznej (powyżej 98,3%).
3. Średnice otworów matrycy nie miały statystycznie istotnego wpływu na uzyskiwane wyniki wytrzymałości mechanicznej.
4. Pelety wytwarzane w matrycy o średnicy otworów 6 mm odznaczały się bardziej jednorodnymi długościami niż pelety wytwarzane w matrycy o średnicy otworów 8 mm.

Literatura

- Grzybek, A. (2005). Wykorzystanie pelet jako paliwa. *Czysta Energia*, 6(46), 31-33.
- Gustavsson, L.; Madlener, R.; Mahapatra, K. (2005). Energy systems in transition: perspectives for the diffusion of small-scale wood pellet heating technology. *Int. J. Technology Management*, Vol. 29, No. 3/4, 327-347.
- Hejft, R. (2002). *Cisnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych*. Wyd. ITE w Radomiu, ISBN 83-7204-251-9.
- Niedziółka, I.; Szpryngiel, M. (2012). Ocena cech jakościowych peletów wytworzonych z biomasy roślinnej. *Inżynieria Rolnicza*, 2(136), 267-276.
- Stanisz, A. (1998). *Przystępny kurs statystyki w oparciu o program Statistica PL*. Kraków, Statsoft Polska, ISBN 83-904735-4-2.
- EN 14774-3:2009. *Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven dry method – Part 3: Moisture in general analysis sample.*
- EN 14961-2:2011. *Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2: Wood pellets for non-industrial use.*
- EN 15210-1:2009. *Solid biofuels – Determination of mechanical of pellets and briquettes – Part 1: Pellets.*
- EN 16127:2012. *Solid biofuels - Determination of length and diameter of pellets.*
- EN15103:2009. *Solid biofuels - Determination of bulk density.*

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PELLETS MADE OF PINE TREE SAWDUST WITH ADDITION OF DECIDUOUS TREE SAWDUST

Abstract. The paper presents results of physical and mechanical properties of pellets made of pine tree sawdust with addition of oak, ash, walnut and cherry tree sawdust. Average bulk density of the pelleted mixtures was within the range of 183.98 to 187.12 kg m⁻³. Mechanical strength depending on the composition of the pelleted mixtures of sawdust obtained values from 98.34 to 98.87%. The research that was carried out proved that more varied lengths were reported for pellets, which were produced in a pelleting machine with a matrix of 8 mm-diameter openings. Statistical analysis which was carried out did not prove any significant differences between the number of fractures and a diameter of pellets.

Key words: biomass, pellets, mechanical strength

Adres do korespondencji:

Marek Rynkiewicz; e-mail: marek.rynkiewicz@zut.edu.pl
Katedra Budowy i Użytkowania Urządzeń Technicznych
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI/3
71-459 Szczecin



Dofinansowanie ze środków Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Opolu