

## WPŁYW RODZAJU SUROWCA I PARAMETRÓW ROBOCZYCH GRANULATORA NOWEJ KONSTRUKCJI NA ODPORNOŚĆ PELETÓW NA ŚCISKANIE

Agnieszka Starek<sup>1</sup>, Monika Kośko<sup>2</sup>, Janusz Zarajczyk<sup>1</sup>,  
Józef Kowalczyk<sup>1</sup>, Jarosław Tatarczak<sup>1</sup>, Kazimierz Zawiaślak<sup>1</sup>,  
Paweł Sobczak<sup>1</sup>, Jacek Mazur<sup>1</sup>, Marek Szmigielski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

<sup>2</sup>Wyższa Szkoła Informatyki i Ekonomii w Olsztynie

**Streszczenie.** Celem badań było określenie odporności na ściskanie peletów wykonanych z czterech rodzajów słomy (pszennej, żytniej, rzepakowej, kukurydzianej) oraz z wycieków z oliwek przy trzech prędkościach obrotowych głowicy (25, 38 i 45 obr·min<sup>-1</sup>) urządzenia. Do ich wytwarzania zastosowano nową konstrukcję granulator pierścieniowy z otwartą komorą zagęszczania. Odporność próbek peletów na ściskanie określano przy użyciu maszyny wytrzymałościowej INSTRON 4302 współpracującej z komputerem. Przed właściwymi badaniami określano wilgotność względną peletu. Stwierdzono, że odporność peletów na ściskanie na poziomie  $\alpha = 0,05$  zależy statystycznie istotnie od rodzaju surowca użytego do ich produkcji, nie zależy zaś od prędkości obrotowej głowicy granulatora, przy której wykonano pelety.

**Słowa kluczowe:** pelety, surowce, odporność na ściskanie

### WSTĘP

Nowoczesnym i ekologicznym paliwem jest pelet składający się z granulek w kształcie walca o długości 10÷50 mm i średnicy 4÷25 mm. Do jego produkcji wykorzystywane są odpady drzewne (trociny, wióry, zrżyny), słoma zbóż i rzepaku oraz inne rośliny energetyczne [Łucka 2010, Mazur 2011]. Pelet powstaje w wyniku zgniatania i sprasowywania półproduktów pod bardzo dużym ciśnieniem. Dzięki temu zagęszczona zostaje również wartość kaloryczna i w rezultacie otrzymuje się paliwo o bardzo dobrych właściwościach fizykochemicznych [Jakubiak 2008, Kraszkiewicz i in. 2013].

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Agnieszka Starek, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, e-mail: agnieszka.starek@up.lublin.pl

Technologia produkcji peletu dla energetyki zawodowej to ciąg zabiegów techniczno-technologicznych, podczas których ze słomy lub odpadów drzewnych powstaje paliwo stałe o ciężarze nasypowym  $400\div 600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Paliwo to ma wartość opałową  $13,5\div 15,5 \text{ GJ}\cdot\text{t}^{-1}$ , zależną od rodzaju surowca i jego wilgotności. Technologia peletowania polega na prasowaniu mechanicznym rozdrobnionej słomy lub odpadów drzewnych w specjalnym granulatorze [Wolf i in. 2003, Döring 2013]. Pelet ma kształt cylindra o średnicy do 25 mm i przypadkowej długości. Cechuje się niską zawartością wilgoci  $8\div 12\%$ . W trakcie jego spalania otrzymuje się neutralny bilans emisji  $\text{CO}_2$  – podobnie jak w przypadku spalania drewna. Popiół uzyskany ze spalania granulatu drzewnego może być wykorzystywany jako nawóz. Wartość opałowa peletu zawiera się według DIN 51731 między  $4,9$  a  $5,4 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$  [Niedziółka i Szpryngiel 2014].

Podczas spalania peletu, w porównaniu do spalania węgla oraz różnych frakcji oleju, uzyskuje się znacznie mniejszą emisję szkodliwych gazów i pyłów [Witt i Kaltschmitt 2007, Skonecki i in. 2011].

Wytrzymałość na ściskanie materiału, który ulega uszkodzeniu wskutek pęknięcia powodującego rozpadanie się, można określić w obrębie dość wąskiego przedziału jako niezależną właściwość. Jednakże wytrzymałość na ściskanie w przypadku materiałów, które nie rozpadają się pod działaniem obciążenia, musi być definiowana jako wielkość naprężenia potrzebnego do odkształcenia materiału w arbitralnie określonym stopniu. Wytrzymałość na ściskanie oblicza się, dzieląc maksymalne obciążenie przez pierwotne pole przekroju poprzecznego próbki poddawanej próbie ściskania [Wiśniewski 2010, Kornacki i Maj 2011].

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Przedmiotem badań były pelety wykonane ze słomy kukurydzianej, pszennej, żytniej, rzepakowej lub z wyłoków z oliwek. Pochodziły one z firmy URSUS S.A. w Dobrym Mieście. Do ich wytwarzania zastosowano nową konstrukcję granulator pierścieniowy z otwartą komorą zagęszczania (rys. 1), który wchodził w skład linii technologicznej do produkcji peletu. Przed aglomeracją słoma była wstępnie rozdrabniana na rozdrabniaczu RZ01 na frakcje o długości  $20\div 50 \text{ mm}$ , a następnie w młynie bijakowym HM05 na frakcje o długości  $12\div 15 \text{ mm}$ .

Celem badań było określenie odporności na ściskanie peletów wytworzonych z różnych surowców (ze słomy: pszennej, żytniej, rzepakowej i kukurydzianej oraz z wyłoków z oliwek) przy trzech prędkościach obrotowych głowicy granulatora ( $25$ ,  $38$  i  $45 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

Przed wykonaniem pomiarów określano wilgotność peletów metodą suszarkowo-wagową, zgodnie z procedurami opisanymi w normie PN-93/Z-15008/02. W celu oznaczenia początkowej wilgotności skorzystano ze wzoru:

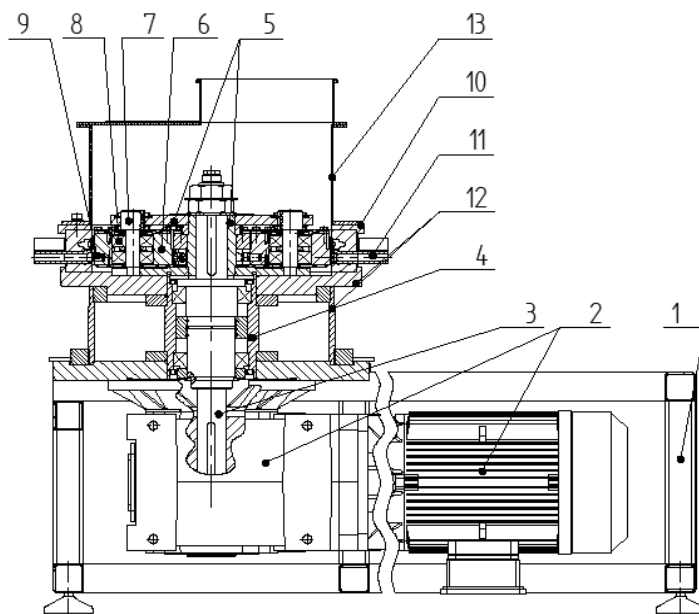
$$w = \frac{a_1 \cdot b_1 - (a_2 \cdot b_2)}{a_1 \cdot b_1} \cdot 100\%$$

gdzie:  $a_1, a_2$  – masa próbki przed i po wstępnym suszeniu,

$b_1, b_2$  – masa próbki po rozdrobnieniu przed i po suszeniu.

Wszystkie pomiary wilgotności wykonywano w pięciu powtórzeniach, a za wynik końcowy przyjmowano średnią arytmetyczną z pięciu oznaczeń.

Z każdej partii peletów wytworzonych z czterech rodzajów słomy oraz z wytłoków z oliwek przy trzech prędkościach obrotowych głowicy granulatora pobrano losowo próbki (po 6 sztuk peletu każda). Miały one kształt walca o średnicy podstawy 2,5 cm i wysokości około 8 cm.



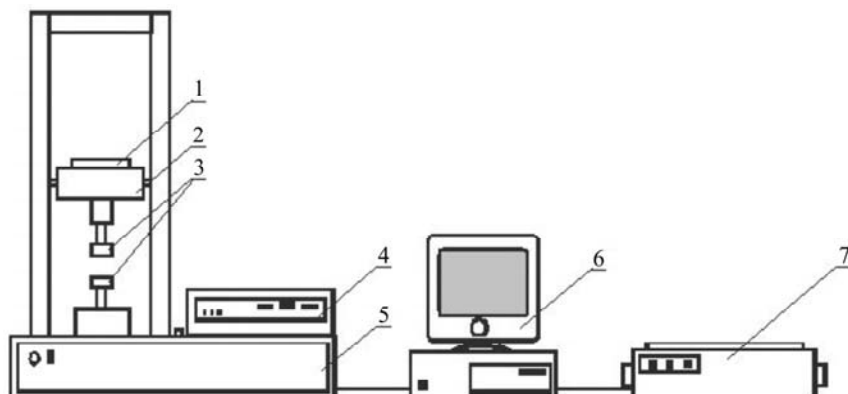
Rys. 1. Główne podzespoły robocze pierścieniowego granulatora do produkcji peletu: 1 – korpus granulatora, 2 – motoreduktor, 3 – wał główny, 4 – łożyskowanie wału głównego, 5 – głowica, 6 – rolki, 7 – sworznie rolek, 8 – łożyskowanie rolek, 9 – trzpienie wyciskające, 10 – matryca, 11 – tulejki formujące, 12 – obudowa, 13 – osłona

Fig. 1. The main working components of the ring pelletizer to produce pellets: 1 – housing granulator, 2 – motoreducer, 3 – the main shaft, 4 – bearing main shaft, 5 – head, 6 – rolls, 7 – pin rolls, 8 – bearing rollers, 9 – pins extrusion, 10 – matrix, 11 – sleeve forming, 12 – housing, 13 – cover

Odporność peletów na ściskanie określano, używając do tego celu maszyny wytrzymałościowej INSTRON 4302, która wyposażona była w głowicę tensometryczną o sile nacisku  $F = 10 \text{ kN}$  i prędkości przesuwu  $25 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Proces ściskania prowadzono przy stałej deformacji próbek wynoszącej 50% ich wysokości.

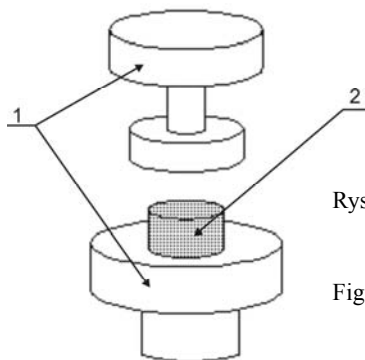
Pomiar odporności na ściskanie prowadzono na stanowisku badawczym (rys. 2). Polegał on na umieszczeniu próbki aglomeratu między płytkami roboczymi głowicy pomiarowej (rys. 3), uruchomieniu urządzenia i zarejestrowaniu maksymalnej wartości siły, przy której próbka uległa zniszczeniu.

W celu oszacowania wpływu rodzaju surowca, z jakiego zostały wykonane pelety, i prędkości obrotowej głowicy granulatora na odporność na ściskanie przeprowadzono



Rys. 2. Schemat laboratoryjnego urządzenia do badania wytrzymałości: 1 – głowica pomiarowa, 2 – belka, 3 – płytki robocze, 4 – panel sterowania, 5 – maszyna wytrzymałościowa Instron 4302, 6 – komputer, 7 – drukarka

Fig. 2. Schematic of laboratory equipment for testing strength: 1 – measuring head, 2 – beam, 3 – operating plates, 4 – control panel, 5 – Instron 4302, 6 – computer, 7 – printer



Rys. 3. Sposób umieszczenia próbki peletu między płytkami roboczymi maszyny wytrzymałościowej Instron 4302: 1 – płytki robocze, 2 – próbka peletu

Fig. 3. The placement of the sample pellet of the plate working machine Instron 4302: 1 – tile work, 2 – sample pellet

dwuczynnikową analizę wariancji z interakcją. Dokonano także, wykorzystując test statystyczny Tukeya, jednoczesnych porównań średnich wartości pomiarów odporności na ściskanie w zależności od rodzaju surowca, z którego wykonano pelety i prędkości obrotowej głowicy granulatora.

### Metody statystyczne

W celu zbadania, czy rodzaj surowca i prędkość obrotowa głowicy granulatora mają statystycznie istotny wpływ na odporność na ściskanie próbek peletów przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji z interakcją (tab. 1). Na podstawie dwuczynnikowej analizy wariancji określono stopień dopasowania dla wszystkich badanych cech i wynosił on  $R^2 = 0,916$ .

Najniższą odpornością na ściskanie (tab. 2) charakteryzowały się pelety wykonane ze słomy pszennej i rzepakowej. Wyniki te różniły się statystycznie istotnie od odporności na ściskanie peletów wykonanych z pozostałych rodzajów surowców ( $\alpha = 0,05$ ).

Tabela 1. Analiza wariancji wyników odporności na ściskanie próbek peletów wytworzonych z przyjętych do badań surowców i prędkości obrotowych głowicy granuladora

Table 1. Analysis of variance of the results of resistance to compression of the pellets samples produced from testing materials and the head speed granulator

Źródło zmienności Source of variation	Stopnie swobody Degrees of freedom	Suma kwadratów Sum of squares	Średnia kwadratów Average squares	Wartość $F_0$ Value $F_0$	$P(F > F_0)$
Rodzaj surowca Type of material	4	574,1331	143,5332	178,17	< 0,0001
Prędkość obrotowa głowicy Rotating speed	2	17,6668	8,8334	10,97	< 0,0001
Rodzaj surowca Type of raw material*	8	63,2595	7,9074	9,82	< 0,0001
Prędkość obrotowa głowicy Rotating speed					
Błąd – Error	75	60,4195	0,8055	–	–
Całość – Whole	89	715,4790	–	–	–

Tabela 2. Jednoczesne porównania testów Tukeya dla wyników odporności na ściskanie próbek peletów wykonanych z różnych surowców przy różnych prędkościach obrotowych głowicy granuladora

Table 2. The simultaneous comparisons of Tukey for resistance to compression results of samples of the pellets made from different materials at different speeds, the head of the granulator

Rodzaj surowca Type of material	Słoma kukurydziana Corn stover	Słoma pszenna Wheat straw	Słoma żytnia Rye straw	Słoma rzepakowa Rapeseed straw	Wytłoki z oliwek Pomace oil
Średnie wartości Average values	7,8376 <sup>A</sup>	1,9201 <sup>B</sup>	7,9328 <sup>A</sup>	3,4280 <sup>B</sup>	7,4006 <sup>A</sup>
Prędkości – Speeds	25 obr·min <sup>-1</sup>		38 obr·min <sup>-1</sup>		45 obr·min <sup>-1</sup>
Średnie wartości Average values	5,3983 <sup>A</sup>		5,3828 <sup>A</sup>		6,3303 <sup>A</sup>

Średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ /Average of the same letter don't differ essentially at significance level  $\alpha = 0.05$ .

## WYNIKI I DISKUSJA

Wyniki badań dotyczące pomiaru wilgotności peletu zamieszczono w tabeli 3.

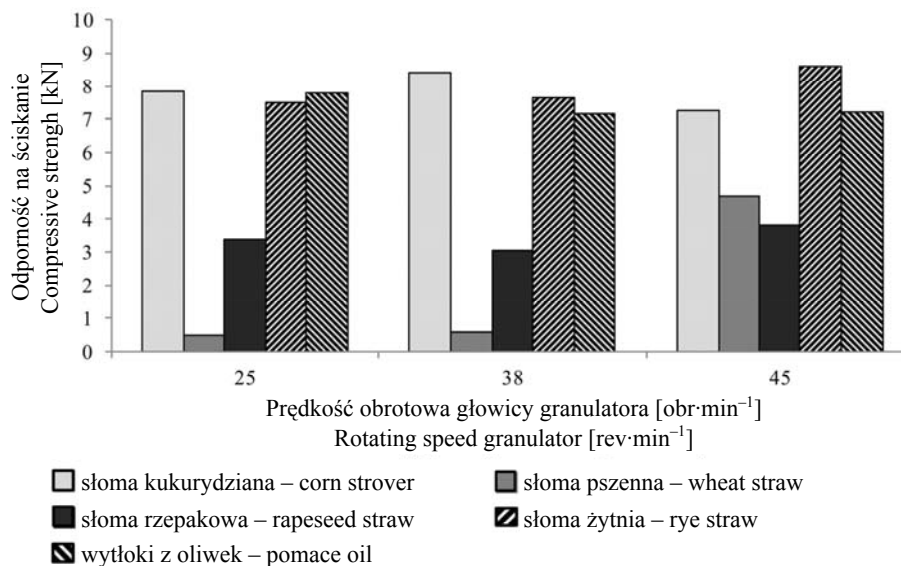
Wilgotność względna peletów wynosiła od 7,22 do 8,59%. Najniższą wilgotnością odznaczały się pelety wykonane ze słomy pszennej, najwyższą zaś pelety wykonane z wytłoków z oliwek (tab. 3).

Tabela 3. Wilgotność względna peletów wykonanych z różnych rodzajów surowców

Table 3. The relative moisture of the pellets made from various types of materials

Surowiec użyty do produkcji peletu Material used for pellet production	Masa próbki przed suszeniem Weight of sample before drying [g]	Masa wody Weight of water [g]	Sucha masa Dry matter [g]	Wilgotność względna Relative humidity [%]
Słoma – Straw				
pszenna – wheat	10	0,722	9,278	7,22
żytnia – rye	10	0,794	9,206	7,94
kukurydziana – corn	10	0,723	9,277	7,23
rzepakowa – rapeseed	10	0,734	9,245	7,34
wytłoki z oliwek pomace oil	10	0,859	9,141	8,59

Średnie wartości pomiarów odporności na ściskanie próbek peletów wykonanych z czterech rodzajów słomy oraz z wytlóków z oliwek (przy trzech prędkościach obrotowych głowicy granulatora – 25, 38 i 45 obr·min<sup>-1</sup>) przedstawiono na rysunku 4, z którego wynika, że najwyższą odpornością na ściskanie charakteryzowały się próbki peletów wykonanych ze słomy żytniej i kukurydzianej oraz z wytlóków z oliwek, niż-



Rys. 4. Wyniki pomiarów odporności na ściskanie próbek z peletu wykonanego przy różnych prędkościach obrotowych głowicy granulatora w zależności od rodzaju surowca użytego do jego produkcji

Fig. 4. The results of the measurements of resistance to compression of the pellet samples made at different speeds, the head of the granulator, depending on the type of raw material used for its production

szą pelety ze słomy rzepakowej, najniższą zaś pelety ze słomy pszennej. Odporność na ściskanie próbek peletów (wewnątrz grupy) wykonanych przy różnych prędkościach obrotowych głowicy granuladora nie wpływała istotnie na poziomie  $\alpha = 0,05$  na ten parametr. Wyjątkiem były jedynie pelety ze słomy pszennej uzyskane przy prędkości głowicy granuladora  $15 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ , dla której uzyskano odporność na ściskanie prawie 10-krotnie większą niż dla próbek peletów uzyskanych przy prędkościach głowicy granuladora  $25$  i  $38 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$ . Prędkość obrotowa głowicy granuladora w badanym zakresie dla badanych materiałów nie wpływała istotnie na poziomie  $\alpha = 0,05$  na odporność na ich ściskanie.

Biorąc pod uwagę dotychczasowe osiągnięcia w badaniach nad ciśnieniowym procesem aglomeracji surowców pochodzenia roślinnego na cele energetyczne, konieczne stało się uruchomienie produkcji peletu przeznaczonego dla energetyki zawodowej z odpadowych surowców pochodzenia roślinnego, jakimi są m.in. słomy roślin zbożowych oraz wytloki z oliwki. Uzyskane wyniki pozwoliły ocenić jakość produkowanych peletów w odniesieniu do parametrów pracy niniejszego granuladora.

## WNIOSKI

1. Badania wykazały, że odporność na ściskanie peletów zależy od rodzaju surowca użytego do ich produkcji. Najwyższą odpornością na ściskanie charakteryzowały się pelety wykonane ze słomy żytniej (7,93 kN), kukurydzianej (7,84 kN) oraz wytlóków z oliwki (7,4 kN). Wartości te nie różniły się istotnie na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  przy wszystkich badanych prędkościach obrotowych głowicy granuladora.

2. Prędkość obrotowa głowicy granuladora, przy której wykonano pelety, nie wpływała statystycznie istotnie na ich odporność na ściskanie na poziomie  $\alpha = 0,05$ .

3. Najniższą odpornością na ściskanie charakteryzowały się pelety wykonane ze słomy pszennej (1,92 kN) i rzepakowej (3,43 kN), które nie różniły się istotnie między sobą na poziomie  $\alpha = 0,05$  przy wszystkich badanych prędkościach obrotowych głowicy granuladora.

## LITERATURA

- Döring S., 2013. Biomass Types for Pellet Production. Power from Pellets, 13–30.
- Jakubiak M., Kortylewski W., 2008. Pelety podstawowym paliwem dla energetyki. *Archiwum Spalania* 3–4(8), 1–12.
- Kornacki A., Maj G., 2011. Wybrane właściwości peletów wytworzonych z trawy pozyskanej z trawnika przydomowego. *Inż. Rol.* 1(126), 103–108.
- Kraszkiewicz A., Kachel-Jakubowska M., Szpryngiel M., Niedziółka I., 2013. Analiza wybranych cech jakościowych peletów wytworzonych z surowców roślinnych. *Inż. Rol.* 2(143), 167–173.
- Łucka A.I., 2010. *Brykiety ze słomy*. Barzkowice, Zachodniopomorski Ośrodek Doradztwa Rolniczego, ISBN 978-83-61534-37-2.
- Mazur Z., 2011. Wpływ długotrwałego stosowania obornika i słomy łącznie z nawozami mineralnymi na niektóre właściwości gleby płodowej. *ZPPNR* 565, 201–206.

- Niedziółka I., Szpryngiel M., 2014. Ocena energochłonności wytwarzania peletów i brykietów w urządzeniach zagęszczających. Inż. Rol. 2(150), 145–154.
- PN-93/Z-15008/02: Odpady komunalne stałe – Badania właściwości paliwowych – Oznaczanie wilgotności całkowitej.
- Skonecki S., Kulig R., Potręć M., 2011. Ciśnieniowe zagęszczanie trocin sosnowych i topolowych – parametry procesu i jakość aglomeratu. Acta Agrophysica 18(1), 149–160.
- Wiśniewski G., 2010. Analiza możliwości rozwoju produkcji urządzeń dla energetyki odnawialnej w Polsce dla potrzeb krajowych i eksportu. Instytut Energetyki odnawialnej EC BREC IEO, Warszawa.
- Witt J., Kaltschmitt M., 2007. Mass pellets for the Power plant section. VGB Powertech 9(101), 10–11.
- Wolf J., Bindraban P.S., Luijten J.C., Vleeshouwers L.M., 2003. Exploratory study on the land area required for global food supply and the potential global production of bioenergy. Agric. Systems 76, 841–861.

## THE INFLUENCE OF TYPE OF MATERIAL AND PARAMETERS NEW GRANULATOR CONSTRUCTION ON RESISTANCE COMPRESSION PELLETS

**Summary.** Biomass as a renewable energy source is a growing interest among potential customers of her in the world, including Poland. Among the many types of biomass is the most important biomass of plant origin. It can be used for energy purposes in the processes of direct combustion of solid raw materials or processed into liquid fuels and gas. For solid biofuels include: straw, wood, energy crops, and grain. The most popular is the burning of wood in the form of: lump, chip, chips, dust, or in processed form, for example: pellets. Pellets are granules similar to animal feed. They are produced from sawdust, small chips or wood dust. The most common raw material for their production are waste from the wood processing industry, which perfectly suited to the task because of the low moisture content, no bark, leaves, sand and other impurities. By using the waste material pre-processed, for example. Subjected to a drying process, can avoid some of the costs associated with production. There is also a technological possibility to produce pellets from straw or reeds, can also be used additives fruit seeds and nut shells. The raw materials are pressed under high pressure without the use of any additives. Pellets have a diameter of from 4 to 10 mm and a length of 10÷25 mm, the moisture is not greater than 10%, an apparent density of 1.2÷1.4 t·m<sup>-3</sup>. The calorific value of this fuel should be 17,5÷21 MJ·kg<sup>-1</sup>.

The aim of the study was to determine the compressive strength of pellets made from four types of straw (wheat, rye, rapeseed and corn) and pomace oil, at three speeds of the head (25, 38 and 45 rev·min<sup>-1</sup>) device. Used in their manufacture new design ring pelletizer open chamber compaction. The compression resistance of the samples of the pellets were determined using INSTRON 4302 testing machine cooperating with the computer. Before the relevant studies determined the relative moisture of the pellet. It was found that the resistance to compression of the pellets at the  $\alpha = 0.05$  level depends significantly on the type of material used for their production, and doesn't depend on the rotational speed of the head of the granulator, with the pellets made.



The Polish market of customers of pellets is still developing. From year to year their consumption rapidly increases. Wood pellets are an alternative to fuel oil, LPG, natural gas or coal. Currently the country is the overproduction of pellets in relation to domestic demand, which is why most of the fuel produced is exported to Western Europe, where the pellets are very popular fuel.

**Key words:** pellets, materials, resistance to compression