

# GRANULOWANIE DROBNYCH FRAKCJI ODPADU WYDOBYWCZEGO Z GNEJSU METODĄ CIŚNIENIOWĄ

## GRANULATION OF FINE FRACTIONS OF GNEISS MINING WASTE USING THE PRESSURE METHOD

Amelia Zielińska, Andrzej Pomorski - „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

*Celem artykułu jest ocena jakościowa granulatu wytworzonego z gnejsu i dolomitu jako nawozu rolniczego. Wytworzony metodą ciśnieniową granulak został oceniony pod kątem jego właściwości fizycznych i mechanicznych: suchej masy, masy właściwej, gęstości nasypowej i nasypowej utrząszonej oraz wytrzymałości kinetycznej. Do przygotowania granulatu zastosowano różne dodatki lepiszcza w postaci bentolizera (1%; 2%; 5%) oraz karboksymetylocelulozy (0,5%; 1%; 2%). Najwyższą jakość spośród testowanych granulatów uzyskano przy 5% dodatku bentolizera oraz 2% dodatku karboksymetylocelulozy.*

**Słowa kluczowe:** granulowanie, gnejs, odpady, dodatki do gleby

*The aim of the article is to qualitatively assess granules made of gneiss and dolomite as agricultural fertilizer. The granulate produced by the pressure method was assessed in terms of its physical and mechanical properties: dry mass, specific weight, tapped bulk and loose bulk density and kinetic durability. Various binder additives in the form of bentolizer (1%; 2%; 5%) and carboxymethylcellulose (0.5%; 1%; 2%) were used to prepare the granulate. The highest quality among the tested granulates was obtained with 5% addition of bentolizer and 2% addition of carboxymethylcellulose.*

**Keywords:** granulation, gneiss, waste, soil additives

### Wstęp

Znaczącą część górnich odpadów wydobywczych stanowią odpady przerobcze, które obejmują materiał skalny wydzielony w procesach, rozdrabniania i przesiewania kopaliny. Są to drobne frakcje skalne o strukturze pyłów i drobnych piasków. Ich udział w ogólnej masie odpadów jest znaczący. W kopalni gnejsu spółki TESM w Doboszowicach w procesach przerobczych powstają mieszanki skalne drobne i piaszczysto-pylaste. Z dotychczasowych badań [1] wynika, że te drobne frakcje odpadów wydobywczych gnejsu posiadają cechy umożliwiające ich zastosowanie w rolnictwie oraz w przemyśle ceramicznym.

Mieszanka skalna na bazie gnejsu może być naturalnym środkiem podnoszącym żyzność gleby i wspomagającym wzrost roślin [2], który jest nieprzetworzony chemicznie, gdyż powstaje w procesach mechanicznej przeróbki naturalnego materiału skalnego zawierającego szereg makro- i mikroelementów. Dotychczasowe badania wykazały, że zawartość metali ciężkich w mieszance skalnej z gnejsu jest znacznie

poniżej dopuszczalnych wartości przyjętych w rozporządzeniu (DZ.U. Nr 119 poz. 765). W suchej masie gnejsu zawarte są: Pb – w ilości 11,9 mg/kg, Cd – w ilości 0,2 mg/kg, As – w ilości 5,3 mg/kg oraz Hg – w ilości 0,02 mg/kg. Mieszanka cechuje się też niską radioaktywnością [3].

### Granulacja

Granulacja, określana również jako aglomeracja, peletyzacja, grudkowanie jest procesem łączenia drobnych cząstek, takich jak pyły, mieszaniny drobnych piasków oraz ich kombinacje w większe agregaty (granule), o określonej wytrzymałości mechanicznej i wielkości granulek powyżej 1 mm. Sam proces granulacji (aglomeracji) może odbywać się z zastosowaniem dodatkowych substancji spajających (lepiszczowych, np. wody, skrobi, substancji mineralnych).

Granulacja, substancji pylastych o wysokim stopniu dyspersji jest techniką realizowaną w różny sposób, jednak zawsze ma na celu przygotowanie substancji pylasto-piaszczystych do dalszych operacji technologicznych albo też nadanie im kształtu i właściwości charakterystycznych dla

końcowego produktu (katalizatory, produkty przemysłu farmaceutycznego). Granulacja jest stosowana dla uzyskania wygodnej, akceptowalnej przez użytkowników końcowej formy produktu, często granulowane są surowce, bądź półprodukty, aby ułatwić, bądź nawet umożliwić ich stosowanie w odpowiednich technologiach. Przykładem może być granulacja surowców, czy odpadów komunalnych, kopalnianych, przed ich przetworzeniem, jak również stałych biopaliw [4].

Z uwagi na kryteria procesowe i aparaturowe, proces granulacji może być realizowany: bezciśnieniowo lub ciśnieniowo. Granulacja bezciśnieniowa może być prowadzona w swobodnie przesypanych warstwie materiału granulowanego (granulatory bębnowe, talerzowe, wibracyjne) lub w złożu fluidalnym (granulatory dynamiczne). Jeżeli granulacji podlegają surowce z dużą domieszką frakcji pylistych, to niezależnie od tego, czy jest to granulacja ciśnieniowa, czy bezciśnieniowa, wykorzystuje się w procesie ciecz wiążącą [5].

Nawożenie jest nieodłącznym elementem uprawy roślin, którego celem oprócz poprawy żyzności gleby jest uzupełnienie zasobów naturalnych składników pokarmowych oraz uzyskanie wysokich plonów o zadowalającej jakości ziarna przy niskich kosztach. Nawozy mineralne i polepszacze do gleby należą do najważniejszych czynników plonotwórczych w produkcji roślinnej pod warunkiem, że ich stosowanie ma zrównoważony charakter. Oprócz składu polepszacza glebowego istotna, ze względów praktycznych i ekonomicznych, jest forma jego aplikacji. Polepszacze glebowe w postaci granulatu posiadają wiele zalet, do których można zaliczyć: wyższy poziom kontroli (podczas wysiewania na polach), większą koncentrację składników aktywnych, ułatwiony transport, a także dłuższe okresy ich przydatności [6].

## Badania granulacji metodą ciśnieniową

### *Pozyskanie komponentów skalnych oraz komponentu dodatkowego*

Na potrzeby badań pozyskany został ze złoża Doboszowice odpad gnejsu o uziarnieniu ciągłym od 0 – 0,5 mm (w postaci pyłu gnejsowego o wielkości ziaren do 0,05 mm w ilości ok. 20,0% wag. oraz gnejsowego piasku łamanego o wielkości ziaren od 0,05 do 0,50 mm w ilości ok. 80,0% wag.). Pochodzi on z procesu zaawansowanej przeróbki kopaliny. Waga wykorzystanej w badaniach próbki wyniosła Około 4,5 kg. Ponadto, pozyskano komponent dodatkowy, odpad dolomitu z kopalni Romanowo. Powstał on w instalacji odpylającej zakładu przerobczego dolomitu i był to dolomit pylisty o uziarnieniu od 0 – 0,5 mm. Waga dostarczonej próbki wyniosła ok. 2 kg.

### *Metodyka badawcza*

Wykonano próbkę kontrolną z gnejsu (400g), dolomitu (100g) oraz wody wodociągowej. Początkowo dodano 115 ml, a następnie 38 ml wody (łącznie 153 ml). W efekcie uzyskano plastyczną masę (fot. 1).

### *Przygotowanie granulatu z gnejsu, dolomitu i bentolizera SN*

Materiał badawczy stanowił odpad wydobywczy w postaci gnejsu o uziarnieniu 0 – 0,5 mm, oraz dolomit w tym samym przedziale ziarnowym. Wymienione surowce pozyskano z TESM sp. z o.o. sp.k.



Fot. 1. Masa uzyskana po zwilżeniu mieszanki gnejsu i dolomitu wodą wodociągową

Photo 1. Mass obtained after wetting a mixture of gneiss and dolomite with tap water



Fot. 2. Granule uzyskane przy granulacji z dodatkiem 1% BSN

Photo 2. Granules obtained during granulation with 1% of BSN

Ponadto stosowano wybrane materiały scalające: bentolizer SN (nazywany dalej BSN) i karboksymetylocelulozę (CMC). Składnikami mieszaniny poddanej granulacji były: gnejs (80%) i dolomit (20%) oraz materiał scalający. Wykonano mieszanki z wybranymi stężeniami składników scalających tj. z bentolizerem SN – 1%, 3% i 5% oraz z karboksymetylocelulozą: 0,5%, 1% i 2%, do osiągnięcia pożądanej konsystencji produktu, czyli wytworzenia odpowiednich granul.

Do mieszanki z 1% zawartością BSN dodano początkowo 109 ml wody wodociągowej, a następnie 12 ml, uzyskano masę mało zwartą, rozpadającą się, jednak dosyć wilgotną. W związku z tym poddano ją granulacji. Granule zachowywały swój kształt, jednak ulegały delikatnemu rozkruszaniu (fot. 2).

Do mieszanki z 3% zawartością BSN dodano 112 ml wody, uzyskano masę dosyć zwartą i wilgotną. Otrzymane granule podatne są na rozkruszanie (fot. 3).

Do mieszanki z 5% zawartością BSN dodano 110 ml wody, otrzymano masę bardziej zwartą niż w przypadku dodatku 1% i 3% BSN. Poza tym masa dobrze formowalna i stosunkowo łatwo można było poddać ją granulacji (fot. 4).



Fot. 3. Granule uzyskane przy granulacji z 3% dodatkiem BSN  
Photo 3. Granules obtained during granulation with 3% BSN



Fot. 4. Granule uzyskane przy granulacji z 5% dodatkiem BSN  
Photo 4. Granules obtained during granulation with 5% BSN

#### Przygotowanie granulatu z gnejsu, dolomitu i CMC

Sporządzono 0,5%, 1%, 2% (m/m) mieszaniny CMC z gnejssem i dolomit. Do mieszanki gnejs-dolomit dodawano naważki CMC i odpowiednią ilość wody wodociągowej.

Do mieszanki z 0,5% zawartością CMC dodano 121 ml wody wodociągowej, uzyskano masę zwartą, mniej wilgotną niż w przypadku zastosowania BSN, zauważalna różnica. Granule kształtne (fot. 5).



Fot. 5. Granule uzyskane przy granulacji z 0,5% dodatkiem CMC  
Photo 5. Granules obtained during granulation with 0,5% of CMC

Do mieszanki z 1% zawartością CMC dodano początkowo 109 ml wody, następnie kolejne 10 ml, gdyż masa była dosyć twarda i trudne było formowanie granul (fot. 6).

Do mieszanki z 2% zawartością CMC dodano początkowo 100 ml wody, jednak masa była zbyt zwarta i granulacja była



Fot. 6. Granule uzyskane przy granulacji z 1% dodatkiem CMC  
Photo 6. Granules obtained during granulation with 1% of CMC



Fot. 7. Granule uzyskane przy granulacji z 2% dodatkiem CMC  
Photo 7. Granules obtained during granulation with 2% of CMC

niemożliwa. Dodatkowo dodano jeszcze 10 ml wody, wówczas uzyskana masa dobrze się formowała (fot. 7).

#### Badania jakościowe granulatu polepszacza wytworzonych metodą ciśnieniową

##### Zakres badań i zastosowana aparatura

Badany materiał stanowiły granulaty polepszaczy glebowych wytworzone metodą ciśnieniową - (7 prób). Zakres przeprowadzonych analiz został przedstawiony w tabeli 1. Poza tym oznaczono suchą masę otrzymanych granulatu.

Tab. 1. Badanie charakterystyki fizycznej granulatu  
Tab. 1. Examination of the physical characteristics of granules

Rodzaj granulatu	Parametr	Norma /metoda
Granulat wytworzony metodą ciśnieniową	Wytrzymałość kinetyczna [%]	PN-EN ISO 17831-1:2016-02 metodą Holmena
	Gęstość nasykowa luźna [kg·m <sup>-3</sup> ]	PN-EN ISO 17828:2016-02
	Gęstość nasykowa utrząsiona [kg·m <sup>-3</sup> ]	PN-EN 1237:2000
	Masa właściwa (gęstość fizyczna) [kg·m <sup>-3</sup> ]	PN-EN ISO 17829:2016-02

### Oznaczenie suchej masy granulatu

Wykonano oznaczenie suchej masy uzyskanego granulatu w wybranych przedziałach czasowych, tzn. w pierwszej godzinie od wyprodukowania granulatu i po 48 h. Celem była ocena przebiegu procesu suszenia produktu w temperaturze pokojowej. Suchą masę wyznaczano metodą wagową w temperaturze 105°C z użyciem wagosuszarki MAX 50/1 firmy Radwag. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Sucha masa granulatu oznaczana w wybranych przedziałach czasowych

Tab. 2. Dry mass of granules determined in selected time intervals

Materiał scalający	Sucha masa [%]	
	1h	48h
Próbka kontrolna	82,88	99,6
Bentolizer SN 1%	83,21	99,65
Bentolizer SN 3%	84,34	99,14
Bentolizer SN 5%	88,03	98,98
CMC 0,5%	83,49	99,59
CMC 1%	85,18	98,51
CMC 2%	86,80	98,49

Wyniki zestawione w tabeli 2 wskazują, że po 48 h zawartość wody w granulach nie zmienia się, a sucha masa jest na poziomie  $\geq 98\%$ . Do dalszych badań wykorzystywano, granulki powietrznie suche, których wilgotność była  $\leq 2\%$ , jak ustalono doświadczalnie.

### Wytrzymałość kinetyczna

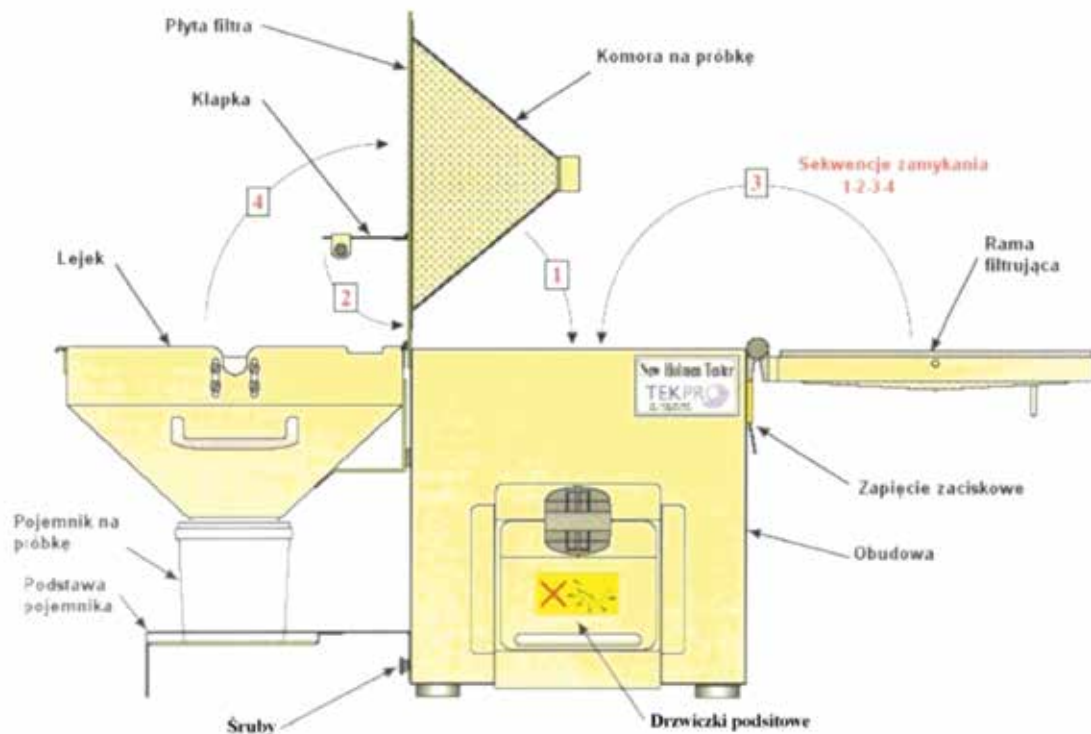
Badania wytrzymałości kinetycznej granulatu przeprowadzono metodą Holmena [7]. Stanowisko do badania wytrzymałości kinetycznej granulatu przedstawiono na rysunku 1.



Fot. 8. Tester do badania jakości granulatu NEW HOLMEN PORTABLE NHP100

Photo 8. NEW HOLMEN PORTABLE NHP100 granules quality tester

Próbkę granulatu o znanej masie umieszczano w komorze testera (fot. 8). Komora została zamknięta i zabezpieczona ramą filtrującą, w celu zapobiegania nadmiernemu pyleniu próbki. Po uruchomieniu urządzenia granulaty, na skutek wytworzonego przez wentylator testera strumienia powietrza, został wpra-



Rys. 1. Schemat urządzenia do badania wytrzymałości kinetycznej granulatu [8]

Fig. 1. Diagram of a device for testing of the kinetic durability of granules [8]

wiony w ruch i uderzał w ściany perforowanej komory. Czas trwania pojedynczej próby wynosił 60 sekund. Pozostały po teście granulaty opuścił urządzenie poprzez lejek.

Wytrzymałość kinetyczną granulatu obliczano jako stosunek masy granulatu po teście, do masy granulatu przed testem:

$$P_x = \frac{m_{H2} \cdot 100}{m_{H1}} \quad [\%] \quad (1)$$

gdzie:

$m_{H1}$  – masa próbki wprowadzonej do testera [g],

$m_{H2}$  – masa próbki po przeprowadzeniu testu [g].

#### Masa właściwa (gęstość)

W celu określenia masy właściwej granulatu zważono z dokładnością 0,0001 g masę dziesięciu losowo wybranych granul (których brzegi były wcześniej szlifowane, aby możliwie zbliżyć ich kształt do postaci walca) i zmierzono ich wysokość oraz średnicę przy pomocy suwmiarki elektronicznej o dokładności 0,01 mm. Gęstość fizyczną granul obliczono ze wzoru:

$$\rho_f = \frac{4m_g}{\pi d_g^2 h_g} \quad [kg \cdot m^{-3}] \quad (2)$$

gdzie:

$m_g$  – masa granul [kg],

$d_g$  – średnica granul [m],

$h_g$  – wysokość granul [m].

#### Wyniki badań

Wyniki przeprowadzonych analiz przedstawiono w tabelach 3-6. Z oceny wytrzymałości kinetycznej granulatu przeprowadzonej metodą Holmena wynika, że korzystny wpływ na wytrzymałość granul ma zastosowanie materiału wiążącego w postaci karboksymetylocelulozy. Dokonana ocena wytrzymałości potwierdza, iż zwiększenie zawartości lepiszcza w postaci CMC, z 0,5% do 1-2% sprawia, iż wytrzymałość wzrasta o około 10%. Natomiast dodatek spoiwa w postaci BSN, dopiero przy wyższym stężeniu tj. 5% pozwala na uzyskanie wytrzymałości kinetycznej ok. 9%. Przy niskich stężeniach tj. 1% i 3% wytrzymałość kinetyczna granulatu wynosi 0% (granulat całkowicie się rozpada w trakcie testu), w związku z czym polepszacz glebowy tego rodzaju nie spełniałby wymogów dotyczących magazynowania oraz transportu materiałów ziarnistych (tab. 3).

Kolejnym istotnym parametrem jest gęstość nasypowa luźna, która wyraża się stosunkiem masy luźno nasypanej

Tab. 3. Wytrzymałość kinetyczna granul

Tab. 3. Kinetic durability of granules

Oznaczenie próby	Średnia wytrzymałość kinetyczna [%]	±SD
CMC2%	45,8	1,1
CMC1%	46,4	0,5
CMC0,5%	37,8	0,0
BSN5%	9,1	0,5
BSN3%	0,0	0,0
BSN1%	0,0	0,0
PKc	0,0	0,0

próbki sypkiej do jej objętości, zajmowanej łącznie z wolnymi przestrzeniami między cząstkami. Wartość tej wielkości fizycznej zmienia się w zależności od tego, w jakim stanie lub w jaki sposób materiał jest składowany. Pod jego własnym ciężarem lub w wyniku nacisku zewnętrznego przestrzenie między cząstkami zmniejszają się, przez co gęstość nasypowa wzrasta.

Analizy otrzymanych granulatów (tab. 4) wskazują, iż największe wartości gęstości nasypowych luźnych występują w przypadku granulatów z najmniejszym dodatkiem materiału wiążącego tj. CMCc 0,5% oraz BSNc 1%. Można także zauważyć, iż stosując karboksymetylocelulozę, niezależnie od jej stężenia, uzyskuje się wartości bardzo zbliżone, różniące się jedynie o 2-3 % od siebie. Natomiast w przypadku BSN wartości gęstości nasypowych są wyższe i wynoszą maksymalnie powyżej 10%.

Znajomość tego parametru jest niezwykle istotna i użyteczna np. przy projektowaniu pojemności magazynów płaskich i silosów, przy obliczaniu wydajności maszyn transportujących i obrabiających surowce sypkie, takie jak: przenośniki, dozowniki objętościowe i mieszarki [3].

Tab. 4. Gęstość nasypowa luźna

Tab. 4. Loose bulk density

Oznaczenie próby	Średnia gęstość nasypowa luźna [kg·m <sup>-3</sup> ]	±SD
CMC2%	214,94	1,13
CMC1%	215,54	0,48
CMC0,5%	218,13	0,36
BSN5%	188,23	0,73
BSN3%	181,04	0,85
BSN1%	200,94	0,77
PKc	209,37	0,35

Gęstość nasypowa utrzęsiona, określana niekiedy pozorną, dostarcza informacji o podatności danego surowca na zagęszczenie w warunkach występowania wstrząsów i zlegania. Cecha ta ma szczególne znaczenie przy składowaniu materiałów luzem, w transporcie oraz w procesach ciśnieniowej aglomeracji cząstek, tj. podczas granulowania. Największą wartość gęstości nasypowej utrzęsionej osiągnięto dla granulatu ze spoiwem BSN (1%) – 326 kg/m<sup>3</sup>, w porównaniu do próbki kontrolnej, w której cieczą wiążącą była jedynie woda. Wynik ten wskazuje o upakowanej strukturze aglomeratów. Pozostałe wartości w przypadku CMCc 0,5-2% wzrastają także w porównaniu do gęstości nasypowej luźnej (tab. 5).

Tab. 5. Gęstość nasypowa utrzęsiona

Tab. 5. Tapped bulk density

Oznaczenie próby	Średnia gęstość nasypowa utrzęsiona [kg·m <sup>-3</sup> ]
CMC2%	262,45
CMC1%	266,57
CMC0,5%	262,45
BSN5%	244,96
BSN3%	262,45
BSN1%	326,02
PKc	316,16

Masa właściwa (gęstość) granul jest masą jednostki objętości całkowicie (teoretycznie) nimi wypełnionej. Gęstość materiałów zależy od ich wilgotności [3], co można zauważyć porównując otrzymane wyniki suchej masy materiałów (tab. 2) z masą właściwą granul zamieszczoną w tabeli 6. Granulat o największej zawartości spoiwa – CMCc 2% charakteryzował się wilgotnością na poziomie 1,5% i jego masa właściwa była na poziomie około 1747 kg/m<sup>3</sup>. W przypadku mniejszej zawartości spoiwa, tj. 0,5% i 1% masa właściwa jest mniejsza o około 50-100 kg/m<sup>3</sup>. Podobnie sytuacja wygląda w przypadku granulatu z kolejnym materiałem wiążącym - bentolizerem SN (BSNc 5%), który osiągnął największą masę właściwą w porównaniu do granul o mniejszej zawartości tego spoiwa (1% i 3%) Różnica wynosi około 100 kg/m<sup>3</sup>.

Tab. 6. Masa właściwa granul

Tab. 6. Volumetric mass of granules

Oznaczenie próby	Średnia masa właściwa [kg·m <sup>-3</sup> ]	±SD
CMCc 2%	1746,83	46,02
CMCc 1%	1654,76	88,05
CMCc 0,5%	1693,33	98,10
BSNc 5%	1587,77	77,84
BSNc 3%	1454,57	98,00
BSNc 1%	1481,07	89,33
PKc	1567,89	59,36

## 2.5. Podsumowanie

Spośród wytworzonych metodą ciśnieniową granulatów z dodatkiem materiału scalającego najlepsze rezultaty otrzymano dla bentolizera SN (5%) i karboksymetylocelulozy (2%). Najlepszymi właściwościami reologicznymi charakteryzowały się dwa wymienione granulaty, które nie będą narażone na trudności podczas transportu, składowania czy opracowywania tych polepszaczy glebowych.

Warto podkreślić, iż produkcja granulatu z odpadowego materiału mineralnego jakim jest gnejs, jest technicznie możliwa, a także wpisuje się w zasady gospodarki o obiegu zamkniętym. Istotnym ograniczeniem metody ciśnieniowej jest jej możliwość wykorzystania tylko do aglomeracji odpadów drobnych o uziarnieniu do 0,5 mm i bardzo drobnych (pyłów). Poza tym sama metoda wytwarzania jest dosyć czasochłonna i uciążliwa, pozwala na otrzymanie małych ilości granulatów. W związku z tym, w dalszym etapie badań, planuje się wytworzenie granulatów metodą bezciśnieniową, obecnie rozpowszechnioną, dzięki której będzie możliwe otrzymanie granulatów w ilości adekwatnej do zastosowań rolniczych oraz przyczyni się to do skrócenia procesu produkcji, wpływając istotnie na czynnik ekonomiczny produkcji.

*Publikacja zrealizowana w ramach prac statutowych „Poltegor - Instytut” IGO nr 267013/N*

## Literatura

- [1] Witt A., Schmidt Z., Pomorski A., *Aktualne kierunki wykorzystania gnejsów ze złóż dolnośląskich i opolskich oraz perspektywy zastosowania ich w nowych gałęziach przemysłu*, Górnictwo Odkrywkowe nr 1, 2016, s. 47 – 57
- [2] Kufka D., Cichoń T., Pomorski A., *Wykorzystanie odpadu gnejsowego do uprawy kukurydzy w warunkach nastłonecznienia naturalnego*, Górnictwo Odkrywkowe nr 6, 2019, s. 25 – 29
- [3] <https://mech.pg.edu.pl/documents/4555684/4565480/wmz.pdf>  
Ćwiczenie laboratoryjne „Badanie wybranych właściwości fizyko-mechanicznych materiałów ziarnistych”
- [4] Szymajda A., Łaska G.; Joka M.. 2021. *Assessment of Cow Dung Pellets as a Renewable Solid Fuel in Direct Combustion Technologies* Energies 14, no. 4: 1192  
<https://doi.org/10.3390/en14041192>
- [5] Hejft R., *Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych*, Białystok, POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA BIBLIOTEKA PROBLEMÓW EKSPLOATACJI, 2002, ISBN 83-7204-251-9, s. 9-39
- [6] Zagożdżon P., Mączki bazaltowe w zastosowaniach rolniczych i pokrewnych. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej* 2008, nr 123
- [7] Walczyński S., *Porównanie metod oznaczania wytrzymałości kinetycznej granulatów*. *Pasze Przemysłowe* nr 11-12, 1997, s. 17-20.
- [8] Obidziński S., *Badania porównawcze metod oceny wytrzymałości kinetycznej granulatu*, *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego* 2/4–2014(10)