



Wpływ dodatku granulatu z ubocznych produktów spalania odpadów komunalnych na właściwości zawiesin popiołowo-wodnych

*Waldemar Kępys, Radosław Pomykała
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza*

1. Wstęp

Coraz ostrzejsze wymagania w zakresie ochrony środowiska oraz rosnąca świadomość ekologiczna społeczeństwa powodują, że jedną z najpilniejszych potrzeb w zakresie gospodarki odpadami komunalnymi jest zmniejszenie ich ilości. Dotyczy to przede wszystkim ilości odpadów dotychczas składowanych [3]. Jedną z najskuteczniejszych metod pozwalających na redukcję masy i objętości odpadów jest ich spalanie. Powstające w tym procesie stałe uboczne produkty spalania (popiół i żużel), w zależności od ich właściwości mogą być uznawane za odpady niebezpieczne, co znacznie ogranicza możliwości ich wykorzystania [1].

Poszukując możliwych kierunków zagospodarowania ubocznych produktów spalania odpadów komunalnych, analizowane są technologie, w których stosuje się odpady energetyczne pochodzące ze spalania węgla w instalacjach energetyki przemysłowej. Jednym z takich kierunków jest zastosowanie odpadów drobnoziarnistych w technologiach górniczych, jako składnika zawiesin (podsadzki zestalanej lub mieszaniny do doszczelniania zrobów) [4, 6, 7]. Uboczne produkty spalania odpadów komunalnych nie spełniają jednak wymagań (określonych m.in. w normie PN-G 11011:1998 [8]) stawianych tego typu materiałom, przede wszystkim w zakresie wymywalności zanieczyszczeń chemicznych, głównie metali ciężkich. Dlatego przed przystąpieniem do sporządzania zawiesin z udziałem ubocznych produktów spalania odpadów komunalnych, poddano je procesowi granulowania. Miało to na celu ograniczenie wymywania zanieczyszczeń chemicznych. Doświadczenia w tym zakresie opi-

sano we wcześniejszych pracach [2, 5]. W niniejszym artykule przeanalizowano właściwości fizyczne wodnych zawiesin z popiołów lotnych ze spalania węgla wraz z dodatkiem granulatu z ubocznych produktów spalania odpadów komunalnych.

2. Materiały i metodyka badań

Do procesu granulacji przeznaczono dwa rodzaje popiołów pobranych z instalacji do spalania odpadów komunalnych: popiół z kotła odzysknicowego oraz popiół z filtrów workowych. Popioły te granulowano w granulatorze talerzowym z dodatkiem cementu portlandzkiego CEM I 32,5R, jako środka wiążącego (rys. 1).



Rys. 1. Granulat przygotowany na bazie popiołu z kotła odzysknicowego oraz popiołu z filtrów workowych instalacji spalania odpadów komunalnych

Fig. 1. Granulate prepared on the base of fly ash from municipal solid waste incineration

Do przygotowania zawiesin popiołowo-wodnych wykorzystano dwa rodzaje popiołu, pochodzące z tej samej elektrowni spalającej węgiel kamienny. Wykorzystano popiół lotny z kotła fluidalnego (oznaczony symbolem PFT) oraz popiół lotny z kotła pyłowego, nie zawierający produktów odsiarczania spalin (oznaczony symbolem PLT). Do przygotowanych zawiesin popiołowo-wodnych, dodawano granulat o wielkości ziaren 2–6,3 mm, w stosunku masowym granulatu do zawiesiny (g/z) wynoszącym od 0,1 do 1,0. Całość mieszano w mieszarce. Udział popio-

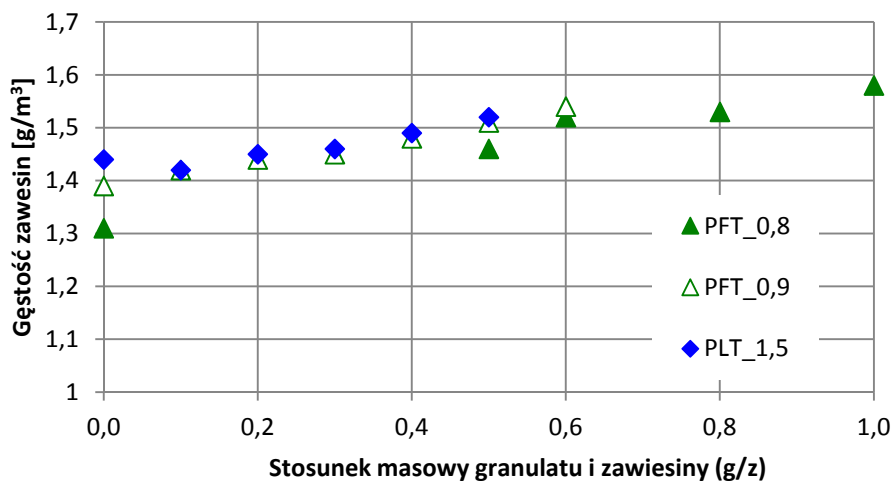
łu w zawiesinach dobierano tak, aby zapewnić możliwości transportu ich grawitacyjnego w kopalniach, a jednocześnie ograniczyć sedymentację granulatu w okresie sezonowania. Badania wybranych właściwości zawiesin i mieszanin zawiesin z granulatami przeprowadzono według normy PN-G-11011:1998 [8]. Wykonano oznaczenia:

- gęstości mieszanin,
- rozlewności,
- ilości wody nadosadowej,
- wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie (R_c),
- rozmakalności.

3. Wyniki badań

Wyniki badań właściwości zawiesin zestawiono w tabeli 1. Zawiesiny oznaczone numerami 1, 8 oraz 13 traktowano jako kontrolne, ponieważ zostały przygotowane bez udziału granulatu.

We wszystkich badanych przypadkach dodatek granulatu oznaczał zwiększenie gęstości zawiesin (rys. 2.). Wraz ze wzrostem gęstości zawiesin zmniejszała się ich rozlewność oraz ilość wody nadosadowej (rys. 3. i 4.).

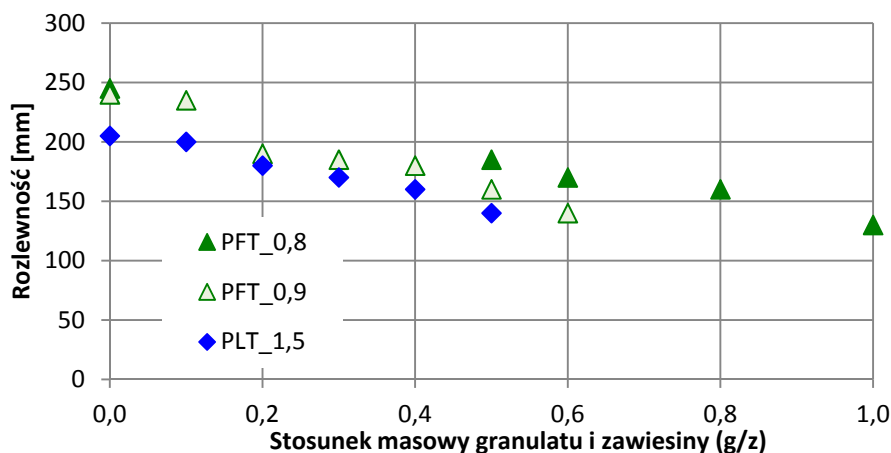


Rys. 2. Gęstość zawiesin i mieszanin w zależności od udziału granulatu

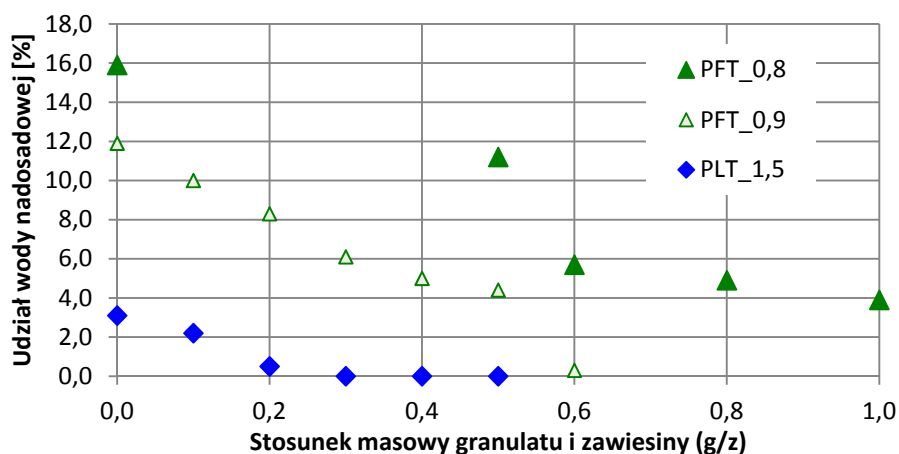
Fig. 2. Density of suspensions and mixtures depending on the share of granulate

Tabela 1. Właściwości zawiesin bez dodatku i z dodatkiem granulatu**Table. 1.** Properties of suspensions without addition and with addition granulates

Lp.	Popiół	Stosunek popiołu do wody w zawieszynie p/w	Stosunek wagowy granulatu do zawiesziny g/z	Gęstość [g/cm ³]	Rozlew-ność [mm]	Ilość wody nadosadowej [%]	Wytrzymałość na ściskanie Rc [MPa]	Rozmakal-ność [%]
1	PFT	0,9	0,0	1,39	240	11,9	3,20	3
2	PFT	0,9	0,1	1,42	235	10,0	2,49	21
3	PFT	0,9	0,2	1,44	190	8,3	2,20	25
4	PFT	0,9	0,3	1,45	185	6,1	1,40	40
5	PFT	0,9	0,4	1,48	180	5,0	1,36	44
6	PFT	0,9	0,5	1,51	160	4,4	1,30	52
7	PFT	0,9	0,6	1,54	140	0,3	1,02	59
8	PFT	0,8	0,0	1,31	245	15,9	1,93	15
9	PFT	0,8	0,5	1,46	185	11,2	1,16	30
10	PFT	0,8	0,6	1,52	170	5,7	1,07	43
11	PFT	0,8	0,8	1,53	160	4,9	0,87	57
12	PFT	0,8	1,0	1,58	130	3,9	0,81	69
13	PLT	1,5	0,0	1,44	205	3,1	0,09	100
14	PLT	1,5	0,1	1,42	200	2,2	0,15	100
15	PLT	1,5	0,2	1,45	180	0,5	0,24	61
16	PLT	1,5	0,3	1,46	170	0,0	0,41	58
17	PLT	1,5	0,4	1,49	160	0,0	0,73	54
18	PLT	1,5	0,5	1,52	140	0,0	0,79	52

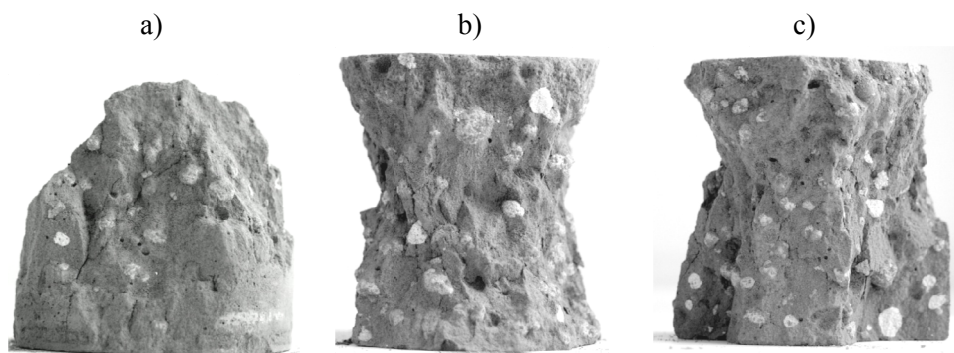


Rys. 3. Rozlewność zawiesin i mieszanin w zależności od udziału granulatu
Fig. 3. Fluidity of suspensions and mixtures depending on the share of granulate



Rys. 4. Ilość wody nadosadowej zawiesin i mieszanin w zależności od udziału granulatu
Fig. 4. Amount of supernatant water depending on the share of granulate

Po 28 dniach sezonowania w warunkach powietrzno-suchych zawiesin oraz mieszanin zawiesin z granulem, wykonano badania wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie (R_c) oraz rozmałalności. Zdjęcia zniszczonych próbek zawiesin z popiołu PLT z dodatkiem granulatu, po badaniu wytrzymałości na ściskanie przedstawiono na rys. 5.

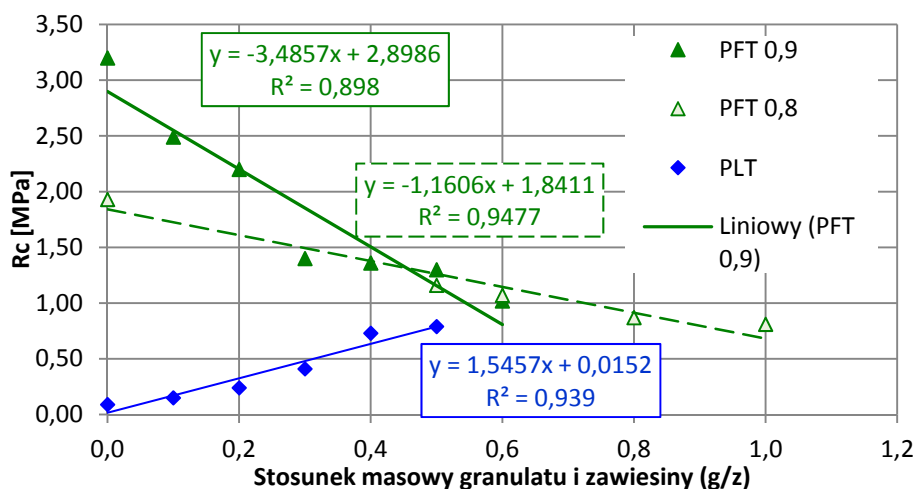


Rys. 5. Przykładowe próbki, zniszczone podczas próby jednoosiowego ściskania, mieszanin o stosunku granulatu do zawieszin: a) 10%, b) 20%, c) 30%

Fig. 5. Samples destroyed during single-axis compression tests, the weight ratio of granulates to suspensions: a) 10% b) 20% c) 30%

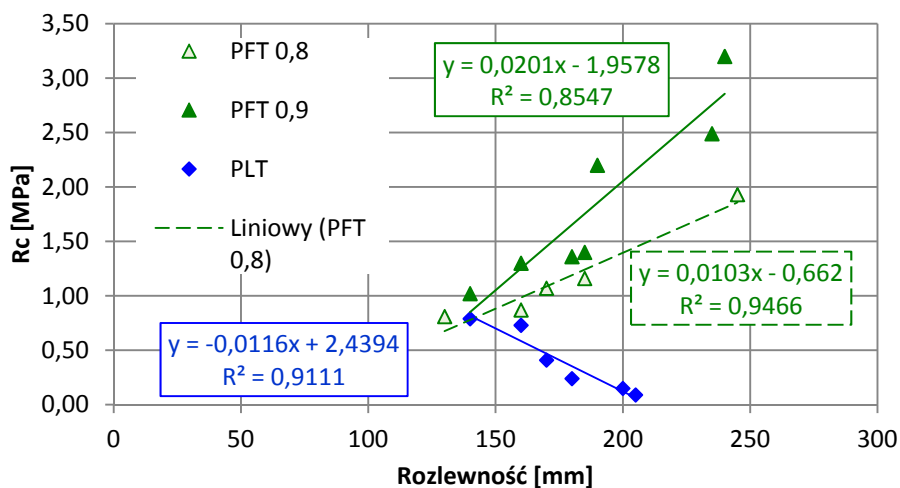
W zależności od rodzaju popiołu lotnego ze spalania węgla, największą i najmniejszą wytrzymałość na ściskanie zaobserwowano dla próbek nie zawierających dodatku granulatu. Wartość maksymalną 3,2 MPa – dla zawiesziny na bazie popiołu fluidalnego o stosunku popiołu do wody $p/w = 0,9$; a minimalną: 0,09 MPa, dla zawiesziny przygotowanej z popiołu bez produktów odsiarczania spalin o $p/w = 1,5$. Wytrzymałości na ściskanie zawieszin z dodatkiem granulatu zawierały się w przedziale od 0,09 do 3,2 MPa. Zależności R_c od zawartości granulatu oraz od rozlewności przedstawiają rys. 6 i 7. Charakterystyczne jest, że obecność granulatu w zawieszinach przygotowanych z popiołu fluidalnego PFT, spowodowała obniżenie ich wytrzymałości na ściskanie. Odwrotna sytuacja miała miejsce dla zawieszin przygotowanych z popiołu lotnego PLT. Tutaj wytrzymałości na ściskanie była wyższa dla próbek zawierających większy udział granulatu. We wszystkich przypadkach zależności te były bardzo wyraźne, co potwierdzają wysokie wartości współczynników determinacji.

Odmienne zachowanie próbek, w stosunku do badań wytrzymałości na ściskanie, zaobserwowano podczas określania ich rozmakalności (rys. 8). W przypadku zawieszin z udziałem popiołu fluidalnego PFT, wraz ze wzrostem udziału granulatu rozmakalność była wyraźnie wyższa. Dodatek granulatu do zawieszin na bazie popiołu lotnego PLT spowodował zmniejszenie ich rozmakalności, chociaż w tym wypadku zależność ta była mniej ewidentna.



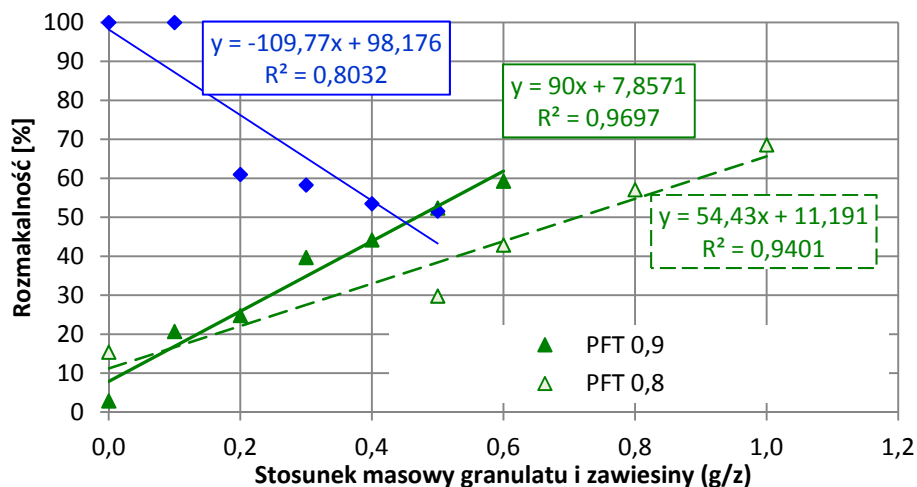
Rys. 6. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie zawiesin i mieszanin w zależności od udziału granulatu

Fig. 6. Single-axis compression strength of suspensions and mixtures samples depending on the share of granulate



Rys. 7. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie zawiesin i mieszanin w zależności od ich rozlewności

Fig. 7. Single-axis compression strength of suspensions and mixtures samples depending on its fluidity



Rys. 8. Rozmakalność próbek zawiesin i mieszanin w zależności od udziału granulatu

Fig. 8. Collapsing behavior of suspensions and mixtures samples depending on the share of granulate

4. Podsumowanie badań

Przygotowanie zawiesin z dodatkiem granulatu wiąże się z szeregiem problemów, z których najważniejszy dotyczy równomiernego rozmieszczenia granul, nie tylko bezpośrednio po mieszaniu, ale również w całym okresie ich sezonowania. Ustalono, że wpływ na równomierność rozmieszczenia granul w zawieszynie mają takie czynniki jak: gęstość i konsystencja zawiesiny (zależne m.in. od rodzaju popiołu), wielkość ziaren granulatu, jego wilgotności oraz nasiąkliwości.

Dodatek granulatu do zawiesin popiołowo-wodnych powoduje istotne zmiany ich właściwości. Z powodu jego niskiej wilgotności oraz nasiąkliwości, już podczas mieszania z zawieszynami następowało pochłanianie wody zarobowej. Skutkowało to zmniejszeniem rozlewności zawiesin, a następnie również ilości wody nadosadowej mieszanin zawierających granul, w porównaniu do zawiesin o takim samym składzie (p/w), ale bez udziału granulatu. O ile mniejsza rozlewność może oznaczać utrudnienia w hydrotransporcie zawiesin, o tyle ograniczenie ilości wody nadosadowej jest zjawiskiem korzystnym z punktu widzenia wymagań wspomnianej normy, oraz technologii stosowania zawiesin. Do-

puszczalne wartości ilości wody nadosadowej dla podsadzki zestalanej to 7%, a dla mieszanin do doszczelniania zrobów zawałowych – 15%. Spośród badanych zawiesin, wszystkie na bazie popiołu PLT z dodatkiem granulatu spełniają wymagania normowe, natomiast zawiesiny z popiołu PFT, wtedy gdy stosunek granulatu do zawiesiny jest większy niż 0,2.

Interesujące wyniki uzyskano w rezultacie badań właściwości mechanicznych. Zaobserwowano wyraźny wzrost wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie zawiesin na bazie popiołu PLT wraz ze zwiększaniem udziału granulatu. Z kolei dla zawiesin sporządzonych z popiołu fluidalnego PFT, największe wartości R_c uzyskano dla zawiesin o jak najmniejszym oraz zerowym udziale granulatu. Cecha ta może być bardzo korzystna w przypadku stosowania granulatów wraz z zawiesinami na bazie popiołów bez produktów odsiarczania spalin, które w ostatnim czasie są najczęściej oferowane zakładom górniczym.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że istnieje możliwość sporządzenia zawiesin z dodatkiem granulatu, spełniających wymagania normy PN-G-11011:1998. W tym celu konieczne jest poprawne dobranie konsystencji zawiesiny popiołowo-wodnej oraz udziału i rodzaju granulatu. Dokładna receptura takich trójskładnikowych mieszanin powinna zapewniać spełnienie wymagań normy oraz bezproblemowy transport rurociągiem.

Zawiesiny popiołowo-wodne z dodatkiem granulatu mogą znaleźć zastosowanie w technologiach górniczych nie tylko jako sposób zagospodarowania kłopotliwych odpadów. Zawiesiny takie mogą stanowić korzystne rozwiązanie w przypadku konieczności stosowania odpadów energetycznych nie zapewniających wysokich wartości wytrzymałościowych zawiesin, gdy konieczne jest ograniczenie ilości wody nadosadowej czy też w przypadku niedoboru odpadów z energetyki zawodowej.

Literatura

1. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration (August 2006), pobrano z: http://ftp.jrc.es/eippcb/doc/wi_bref_0806.pdf.

2. **Kępys W., Wisła-Walsh E.:** *A pelletizing of fly ashes from municipal solid waste incineration – an effect of binding agents and additives on granulate chemical and mechanical properties*. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 16, no. 3B, 223–227 (2007).
3. Krajowy plan gospodarki odpadami 2014, przyjęty uchwałą Rady Ministrów nr 217 z dnia 24 grudnia 2010 r. (M.P. nr 101, poz. 1183).
4. **Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., Tajduś A.:** *Lokowanie odpadów w kopalniach*. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków. 1997.
5. **Mięso R., Wisła-Walsh E., Kępys W., Piotrowski Z.:** *Scalanie odpadów niebezpiecznych: bezpieczne składowanie i wykorzystanie*. Ochrona i inżynieria środowiska: zrównoważony rozwój. Szkoła Ochrony i Inżynierii Środowiska. KIŚ PAN, Kraków, 41–48 (2004).
6. **Piotrowski Z.:** *Odzysk odpadów drobnofrakcyjnych w górnictwie węgla kamiennego*. Archiwum Górnictwa, Monografia 12/2011, Wyd. Instytutu Mechaniki Górotworu PAN, Kraków. 2011.
7. **Piotrowski Z., Pomykała R., Kanafek J.:** *The utilization of energy waste in Polish underground coalmines*. WOCA 2009 Proceeding, International Ash Utilization Symposia Series, CAER UK, Lexington. 2009.
8. PN-G-11011:1998. Materiały do podszadzki zestawianej i doszczelniania zrobów. Wymagania i badania.

Effect of Addition of Granulate from By-products of Municipal Solid Waste Incineration on Properties of Fly Ash Suspension

Abstract

As a result of incineration of municipal solid waste, fly ashes as by-products are produced. New methods and directions of reusing of this kind of wastes are constantly looking for. The ashes have been granulated and in this form were added to the ash-water suspensions prepared with ashes from coal combustion in power plant. Two kinds of ashes were used: fly ash without flue gas desulphurization products and fly ash from fluidized bed combustion boiler. Applied recipes prepared in order to meet the requirements of Polish Standard in the field of use it as a solidification backfill or mixture for gob filling in underground coal mining. The main objective of the study was to investigate the effect of the addition of varying amounts of granules obtained from fly ash from incineration of municipal solid waste on the properties of suspensions used for backfill or gob filling. Studies have shown that the addition of granules has a positive effect on the mechanical properties of suspensions prepared from the ash produced without flue gas desulphurization products.