

Franciszek PLEWA*, Piotr PIERZYNA**, Piotr PIONTEK***

Wpływ rodzaju odpadów energetycznych na właściwości mechaniczne mieszanin kompozytowych stosowanych w różnych środowiskach górnictwa podziemnego

STRESZCZENIE. Popioły lotne są bardzo zróżnicowane pod względem składu chemicznego i mineralogicznego w zależności od rodzaju spalonego węgla, technologii spalania i odsiarczania spalin. Zróżnicowanie tych właściwości wśród odpadów energetycznych pociąga za sobą odmienność uzyskanych parametrów mechanicznych zestalonych hydromieszanin kompozytowych, a co za tym idzie zróżnicowanie w możliwościach ich stosowania w technologiach górniczych. Ogromny wpływ na właściwości mechanicznych zestalonych mieszanin kompozytowych mają również warunki ich sezonowania: temperatura oraz środowisko (jego wilgotność oraz agresywność). W referacie przedstawiono porównanie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie mieszanin kompozytowych wytworzonych na bazie wybranych odpadów energetycznych z udziałem cementu sezonowanych w odmiennych środowiskach.

SŁOWA KLUCZOWE: górnictwo, zagospodarowanie odpadów energetycznych, materiały kompozytowe, wytrzymałość na ściskanie.

* Prof. dr hab. inż., ** Dr inż. — Politechnika Śląska, Gliwice.

*** Inż. — Firma „NADIR” Sp. z o.o., Rybnik.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Eugeniusz MOKRZYCKI

Wprowadzenie

Popioły lotne są bardzo zróżnicowane pod względem składu chemicznego i mineralogicznego w zależności od rodzaju spalanego węgla, technologii spalania i odsiarczenia spalin [3]. Dlatego też jednym ze sposobów opracowania nowych kierunków przemysłowego zagospodarowania odpadów energetycznych jest prowadzenie szerokiej gamy badań różnych odpadów z wodą (hydromieszanin) i różnego rodzaju dodatków oraz środków wiążących wspomagających podstawowe parametry mechaniczne materiałów kompozytowych wytworzonych na ich bazie [2, 4, 6, 8].

Zróżnicowanie właściwości chemicznych i mineralogicznych wśród odpadów energetycznych pociąga za sobą odmienność uzyskanych właściwości mechanicznych zestalonych hydromieszanin kompozytowych, a co za tym idzie zróżnicowanie w możliwościach ich stosowania w technologiach górniczych. W wielu technologiach stosowanych w górnictwie podziemnym (korki izolacyjne, pasy podsadzkowe, likwidacja wyrobisk itp.) wykorzystujących odpady energetyczne konieczne jest dodawanie środków wiążących w celu uzyskania materiałów kompozytowych o odpowiednich parametrach [5]. Z wielu względów najczęściej określanym parametrem mechanicznym jest wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie. Przy modelowaniu stateczności konstrukcji wykorzystuje się dodatkowo wytrzymałość na rozciąganie oraz ścinanie, lecz pomiar ich jest trudniejszy niż w przypadku powszechnie wykonywanej wytrzymałości na ściskanie. Należy jednak mieć na uwadze to, że wytrzymałości na rozciąganie lub ścinanie stanowią pewien procent wytrzymałości na ściskanie. Przykładowo dla mieszanin kompozytowych popiołowo-żużlowo-wodnych z udziałem cementu iloraz R_r/R_c waha się od około 9 do około 11%, a dla popiołowo-wodnych w granicach około 7–8% [3, 7, 9]. W betonach stosunek R_r/R_c wynosi od 6 do 15% i określa jego kruchość. Im wyższa jest jego wytrzymałość graniczna na ściskanie tym niższy jest stosunek R_r/R_c , a beton jest bardziej kruchy [1].

Na zróżnicowanie właściwości mechanicznych hydromieszanin popiołowych (oprócz właściwości chemicznych i mineralogicznych) mają również wpływ warunki ich sezonowania: temperatura oraz środowisko (jego wilgotność oraz agresywność). W kopalniach węgla kamiennego funkcjonują dwa środowiska: wilgotne odpowiadające atmosferze kopalnianej (powszechne) oraz wodne odpowiadające wyrobiskom zatopionym, które można uznać za ekstremalne.

1. Metodyka i zakres badań

Badania wytrzymałościowe mieszanin drobnofrakcyjnych przeprowadzono w stanie jednoosiowego naprężenia na próbkach walcowych o średnicy 50 mm i smukłości równej 1, zgodnie z normą PN-G-11011:1998. Materiały sezonowano w dwóch odmiennych środowiskach:

- 1) klimatyzowanym (celem odwzorowania warunków klimatycznych panujących na dole kopalń – temp. 25°C przy wilgotności wynoszącej 90–92%) – oznaczenie KK,
- 2) wodnym (woda kopalniana pochodząca z jednego z likwidowanych szybów KWK Katowice–Kleofas – temp. 20°C) – oznaczenie W.

2. Charakterystyka materiałów użytych do badań

Badania przeprowadzono dla następujących odpadów energetycznych:

- ❖ popiołu lotnego bez produktów odsiarczania spalin z El. Ł,
- ❖ popiołu lotnego po półsuchym odsiarczaniu spalin z El. R,
- ❖ żużła z kotłów fluidalnych z El. Ch.

Jako środek wiążący zastosowano cementu portlandzkiego CEM I 42,5R w ilości 5, 10, 15 i 20%. Mieszanki sporządzono w oparciu o wodę zarobową kopalnianą pochodzącą z jednego z likwidowanych szybów KWK Katowice–Kleofas. Skład i oznaczenie badanych mieszanin przedstawiono w tabeli 1.

Badane mieszaniny charakteryzowały się rozlewnością na poziomie 120 mm ± 3. Celem łatwiejszej interpretacji otrzymanych wyników badań wprowadzono dla badanych mieszanin grupy materiałowe: popiołowo-żużlową (oznaczenie GPŻ) oraz popiołową (oznaczenie GP).

TABELA 1. Skład oraz oznaczenie poszczególnych mieszanin kompozytowych

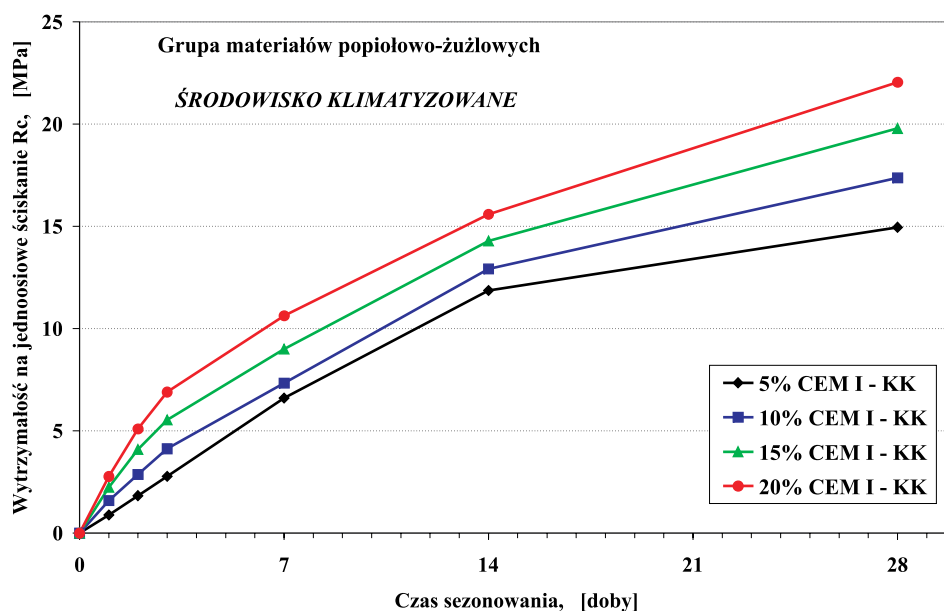
TABLE 1. Composition and description of composite mixtures

Grupa materiałowa	Oznaczenie mieszaniny	Udział masowy poszczególnych składników mieszaniny			
		popiół lotny bez produktów odsiarczania spalin z El. Ł [%]	popiół lotny po półsuchym odsiarczaniu spalin z El. R [%]	żużel z kotłów fluidalnych z El. Ch [%]	CEM I 42,5R [%]
Popiołowo-żużlowa (GPŻ)	RpCH-5C	–	47,5	47,5	5
	RpCH-10C	–	45,0	45,0	10
	RpCH-15C	–	42,5	42,5	15
	RpCH-20C	–	40,0	40,0	20
Popiołowa (GP)	Łb-5C	95	–	–	5
	Łb-10C	90	–	–	10
	Łb-15C	85	–	–	15
	Łb-20C	80	–	–	20

3. Wyniki badań wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie

3.1. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie materiałów grupy popiołowo-żużlowej

Wyniki badań zmienności wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie w czasie mieszania grupy popiołowo-żużlowej sezonowanych w środowisku klimatyzowanym (KK) i wodnym (W) przedstawiono odpowiednio na rysunkach 1 i 2.

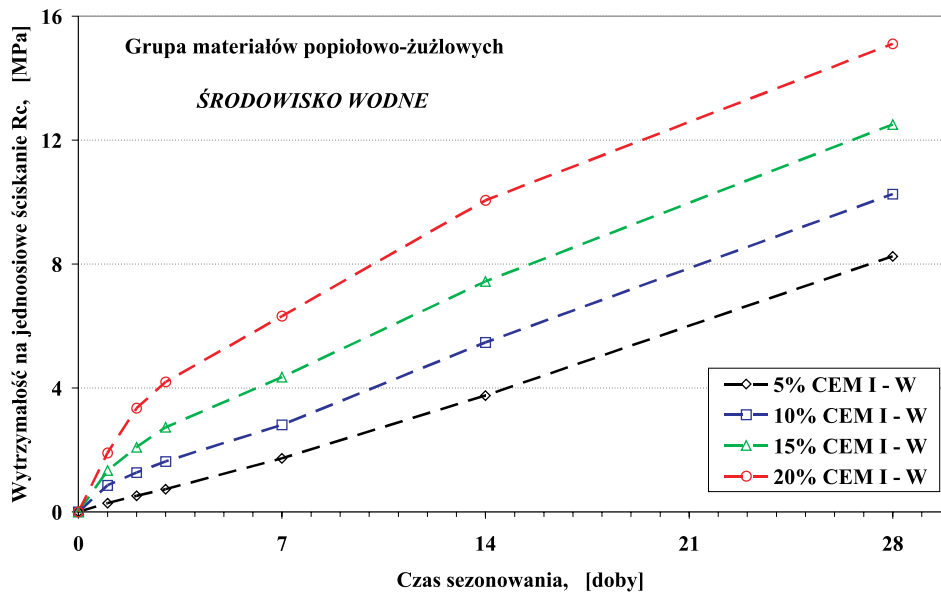


Rys. 1. Zmienność wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie w czasie mieszania grupy popiołowo-żużlowej sezonowanych w środowisku klimatyzowanym (KK)

Fig. 1. Variability of uniaxial compressive strength of mixtures from fly ash – slug group cured in air-conditioned environment (KK)

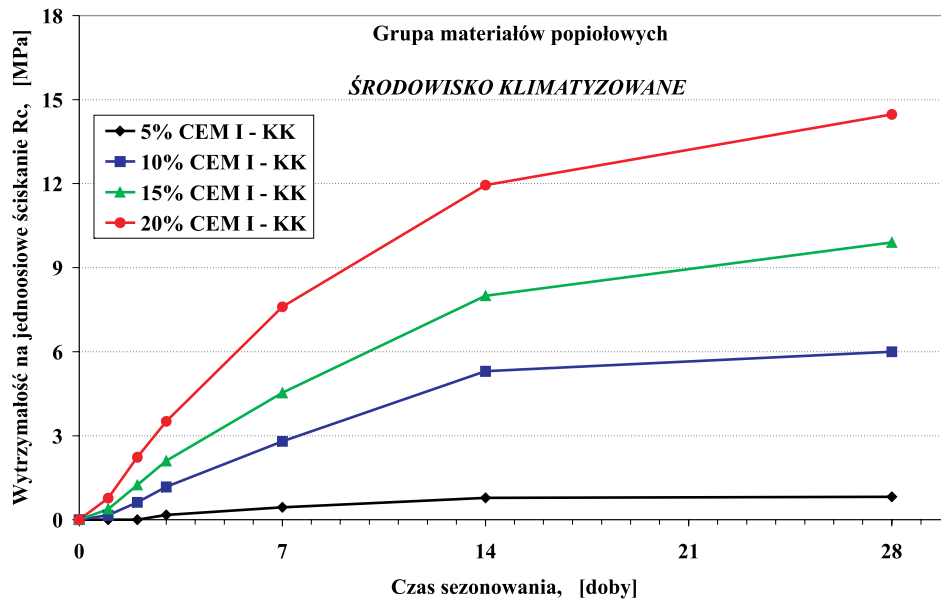
Wytrzymałość na ściskanie mieszanin grupy popiołowo-żużlowej po 28 dniach sezonowania w środowisku klimatyzowanym kształtuje się na poziomie od około 15 MPa z 5% dodatkiem cementu do około 22 MPa dla materiału z 20% jego udziałem.

Natomiast wytrzymałość na ściskanie omawianej grupy materiałowej sezonowanej w środowisku wodnym po 28 dniach wynosi od około 8 MPa dla materiału z dodatkiem 5% cementu do około 15 MPa dla materiału z 20% jego udziałem.



Rys. 2. Zmienność wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie w czasie mieszanin grupy popiołowo-żużlowej sezonowanych w środowisku wodnym (W)

Fig. 2. Variability of uniaxial compressive strength of mixtures from fly ash – slug group cured in water environment (W)

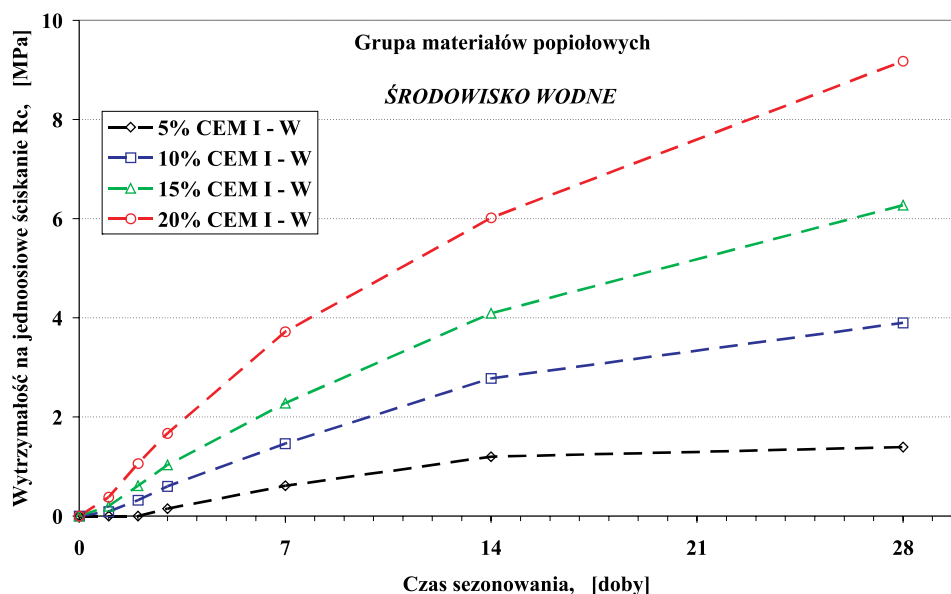


Rys. 3. Zmienność wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie w czasie mieszanin grupy popiołowej sezonowanych w środowisku klimatyzowanym (KK)

Fig. 3. Variability of uniaxial compressive strength of mixtures from fly ash group cured in air-conditioned environment (KK)

3.2. Wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie materiałów grupy popiołowej

Wyniki badań zmienności wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie w czasie mieszanin grupy popiołowej sezonowanych w środowisku klimatyzowanym (KK) i wodnym (W) przedstawiono odpowiednio na rysunkach 3 i 4.



Rys. 4. Zmienność wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie w czasie mieszanin grupy popiołowej sezonowanych w środowisku wodnym (W)

Fig. 4. Variability of uniaxial compressive strength of mixtures from fly ash group cured in water environment (W)

Wytrzymałość na ściskanie mieszanin grupy popiołowej po 28 dniach sezonowania w środowisku klimatyzowanym kształtuje się na poziomie od około 0,8 MPa z 5% dodatkiem cementu do około 14,5 MPa dla materiału z 20% jego udziałem.

Natomiast wytrzymałość na ściskanie omawianej grupy materiałowej sezonowanej w środowisku wodnym po 28 dniach wynosi od około 1,4 MPa dla materiału z dodatkiem 5% cementu do około 10 MPa dla materiału z 20% jego udziałem.

Należy jednak zauważyć, że w tej grupie materiałowej mieszanina kompozytowa z dodatkiem 5% cementu sezonowana w środowisku wodnym osiągnęła wyższą wytrzymałość na ściskanie (1,39 MPa) po 28 dniach sezonowania, niż jej odpowiednik sezonowany w środowisku klimatyzowanym (0,82 MPa).

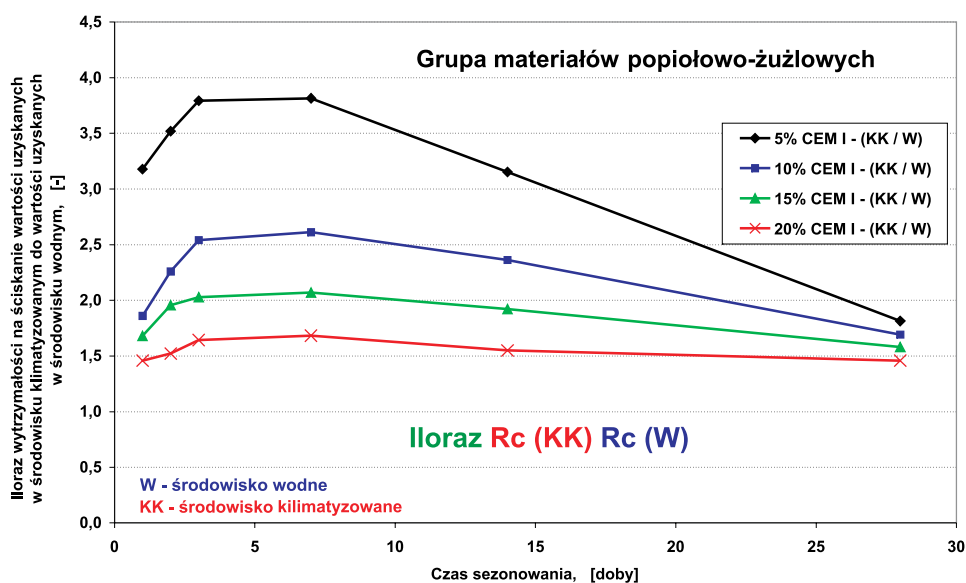
4. Porównanie własności wytrzymałościowych badanych mieszanin

4.1. Porównanie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie dla poszczególnych grup materiałowych – wpływ środowiska sezonowania

W celu określenia wpływu oddziaływania środowiska na właściwości wytrzymałościowe danej grupy materiałowej porównano wartości wytrzymałości na ściskanie uzyskane w środowisku wodnym do wartości uzyskanych w środowisku klimatyzowanym, odpowiednio dla każdego materiału (dla identycznych udziałów procentowych cementu).

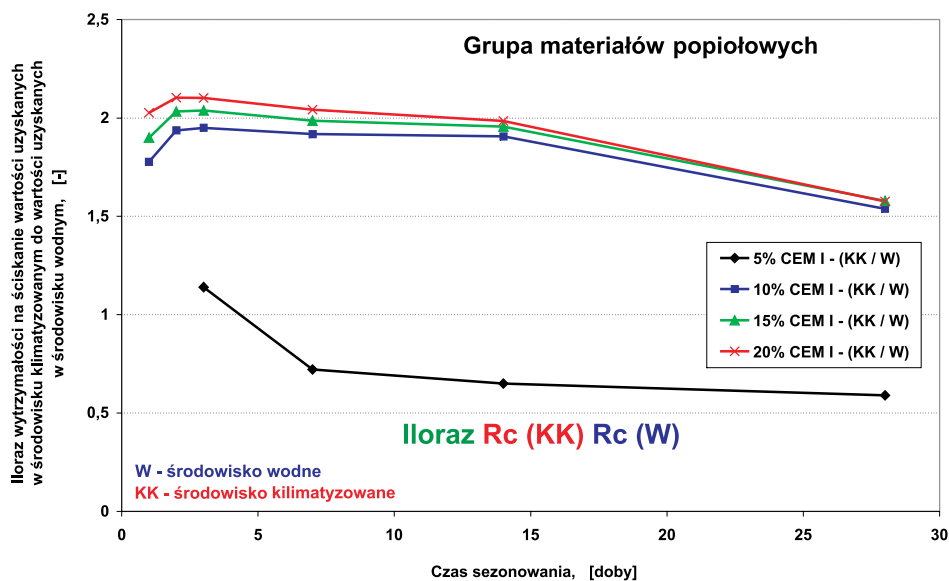
Zmienność ilorazu wartości wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie uzyskanych w środowisku klimatyzowanym (KK) do wartości uzyskanych w środowisku wodnym (W) materiałów grupy popiołowo-żuźlowej przedstawiono na rysunku 5, a materiałów grupy popiołowej na rysunku 6.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że ilorazy uzyskanych wartości wytrzymałości na ściskanie w okresie badawczym wynoszącym 28 dni nie są stałe dla wszystkich materiałów grupy popiołowo-żuźlowej. Należy zauważyć, że ilorazy te do



Rys. 5. Zmienność ilorazów wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie wartości uzyskanych w środowisku klimatyzowanym (KK) do wartości uzyskanych w środowisku wodnym (W) materiałów grupy popiołowo-żuźlowej

Fig. 5. Variability of ratios of uniaxial compressive strength of mixtures from fly ash – slug group cured in air-conditioned environment to (KK) cured in water environment (W)



Rys. 6. Zmienność ilorazów wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie wartości uzyskanych w środowisku klimatyzowanym (KK) do wartości uzyskanych w środowisku wodnym (W) materiałów grupy popiołowej

Fig. 6. Variability of ratios of uniaxial compressive strength of mixtures from fly ash group cured in air-conditioned environment to (KK) cured in water environment (W)

siódmego dnia sezonowania rosną, przy czym bardzo znacząco do dnia trzeciego, co jest wynikiem szybszego przyrostu wytrzymałości materiałów sezonowanych w środowisku klimatyzowanym – opóźnienie i/lub wydłużenie procesu wiązania wywołanego środowiskiem wodnym. Po tym okresie następuje systematyczny spadek wartości uzyskanych ilorazów R_c .

Najmniejszą zmianą wartości omawianego ilorazu wytrzymałości na ściskanie cechuje się materiał z 20% dodatkiem cementu (RpCH-20C), dla którego wartość ta wynosząca 1,46 po jednym dniu wzrasta do 1,64; po siedmiu dniach sezonowania, a następnie maleje do wartości 1,46; po 28 dniach sezonowania (amplituda zmiany ilorazu R_c wynosi 0,0,22).

Największą zmianą wartości omawianego ilorazu wytrzymałości na ściskanie cechuje się materiał z 5% dodatkiem cementu (RpCH-5C), dla którego wartość ta wynosząca 3,18 po jednym dniu wzrasta do 3,79; po siedmiu dniach sezonowania, a następnie mocno maleje do wartości 1,88; po 28 dniach sezonowania (amplituda zmiany ilorazu R_c wynosi 2,0).

Pozostałe dwa materiały (z dodatkiem 10 i 15% cementu – odpowiednio RpCH-10C RpCH-15C) cechują się średnimi wartościami omawianego ilorazu. Materiał z dodatkiem 10% cementu (RpCH-10C) charakteryzuje się wartością ilorazu R_c 1,86 po jednym dniu, która po siedmiu dniach rośnie do wartości 2,54, a następnie maleje do wartości około 1,69 po 28 dniach sezonowania (amplituda zmiany ilorazu R_c wynosi 0,92). Natomiast materiał z dodatkiem 15% cementu (RpCH-15C) osiągnął wartość ilorazu R_c wynoszącą około 1,68 po jednym dniu, która po siedmiu dniach rośnie do 2,03, a następnie maleje do wartości około 1,58 po 28 dniach sezonowania (amplituda zmiany ilorazu R_c wynosi 0,49).

Z przeprowadzonej analizy wynika, że ilorazy wytrzymałości na ściskanie wartości uzyskanych w środowisku klimatyzowanym (KK) do wartości uzyskanych w środowisku wodnym (W) po 28 dniach sezonowania oraz amplitudy zmiany tych ilorazów dla grupy materiałów popiołowo-żużlowych maleją wraz z udziałem cementu. Ilorazy R_c zawierają się w przedziale 1,81–1,46, a amplitudy zmiany tych ilorazów wahają się w granicach 2,00–0,22 (odpowiednio dla udziału CEM I: 5–20%).

Przystępując do analizy porównawczej uzyskanych wyników badań (wartości R_c środowiska klimatyzowanego i wodnego) należy zauważyć diametralnie odmienne przebiegi zmienności ilorazu R_c w przypadku materiału z dodatkiem 5% cementu w porównaniu do pozostałych materiałów tej grupy (z udziałem 10, 15 i 20% cementu – Łb-10C, Łb-20C). Z tego powodu analiza uzyskanych wartości ilorazów R_c materiału z dodatkiem 5% cementu będzie prowadzona oddzielnie dla tej grupy materiałowej.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że ilorazy uzyskanych wartości wytrzymałości na ściskanie w okresie badawczym wynoszącym 28 dni również nie są stałe dla materiałów grupy popiołowej z udziałem 10–20% cementu (Łb-10C, Łb-20C), podobnie jak dla grupy popiołowo-żużlowej, lecz charakteryzują się znacznie mniejszymi zmianami. Ilorazy wartości R_c materiałów z udziałem 10–20% cementu nieznacznie rosną do trzeciego dnia sezonowania, przy czym znacząco do dnia drugiego. Po tym okresie następuje systematyczny spadek wartości uzyskanych ilorazów R_c . Mając na uwadze prawie pokrywające się przebiegi zmienności ilorazów R_c materiałów omawianej grupy z udziałem 10–20% cementu (Łb-10C, Łb-15C i Łb-20C) przeprowadzono dla tych trzech materiałów analizę uśrednionych wartości tych ilorazów. Te trzy materiały (z udziałem 10, 15 i 20% cementu) charakteryzują się uśrednionym ilorazem R_c wynoszącym 1,90 po jednym dniu, który rośnie do wartości średniej wynoszącej 2,03, a następnie maleje do średnio 1,56 (średnia amplituda zmian ilorazu R_c wynosi 0,56).

Z analizy tej wynika, że iloraz wytrzymałości na ściskanie wartości uzyskanych w środowisku wodnym do wartości uzyskanych w środowisku klimatyzowanym po 28 dniach sezonowania dla materiałów grupy popiołowej z dodatkiem 10–20% cementu (Łb-10C, Łb-15C i Łb-20) są podobne i praktycznie w pomijalny sposób zależne od jego udziału.

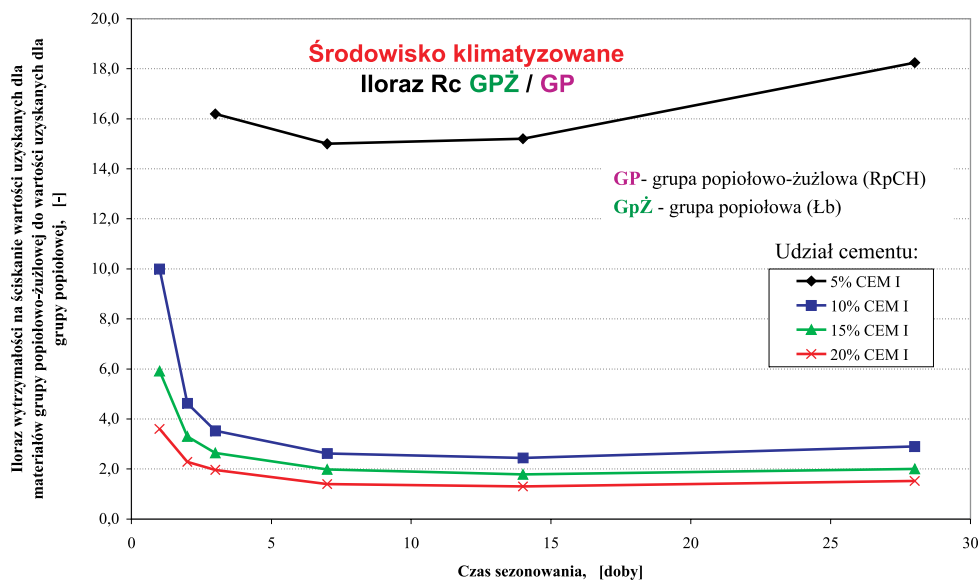
Przystępując do analizy ilorazów wytrzymałości na ściskanie materiału grupy popiołowej z udziałem 5% cementu (Łb-5C) należy stwierdzić, że do trzeciego dnia próbki sezonowane w środowisku klimatyzowanym i wodnym były plastyczne i nie podlegały badaniom wytrzymałościowym. W przypadku omawianego materiału (z dodatkiem 5% cementu) wartość ilorazu wytrzymałości na ściskanie w całym okresie badawczym wynoszącym 28 dni maleje. Uzyskana wartość stosunku R_c po trzech dniach sezonowania (wynosząca 1,14) świadczy o tym, że w tym okresie wytrzymałość na ściskanie omawianego materiału sezonowanego w środowisku klimatyzowanym była wyższa niż w środowisku wodnym. Sytuacja ta ulega zmianie w dalszym okresie sezonowania tego materiału, czego wynikiem jest wartość ilorazu R_c po 14 dniach wynosząca 0,72. Po 28 dniach sezonowania iloraz R_c dla materiału grupy popiołowej z udziałem 5% cementu (Łb-5C) osiąga wartość 0,59. Amplituda zmian ilorazu R_c tego materiału w rozpatrywanym okresie sezonowania wynosi 0,55 i jest podobna do amplitudy pozostałych materiałów grupy popiołowej.

5. Porównanie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie pomiędzy poszczególnymi grupami materiałowymi

Analizie porównawczej poddano właściwości wytrzymałościowe badanych grup materiałowych dla danych środowisk sezonowania (klimatyzowanego lub wodnego) odpowiednio dla każdego materiału (dla identycznych udziałów procentowych cementu).

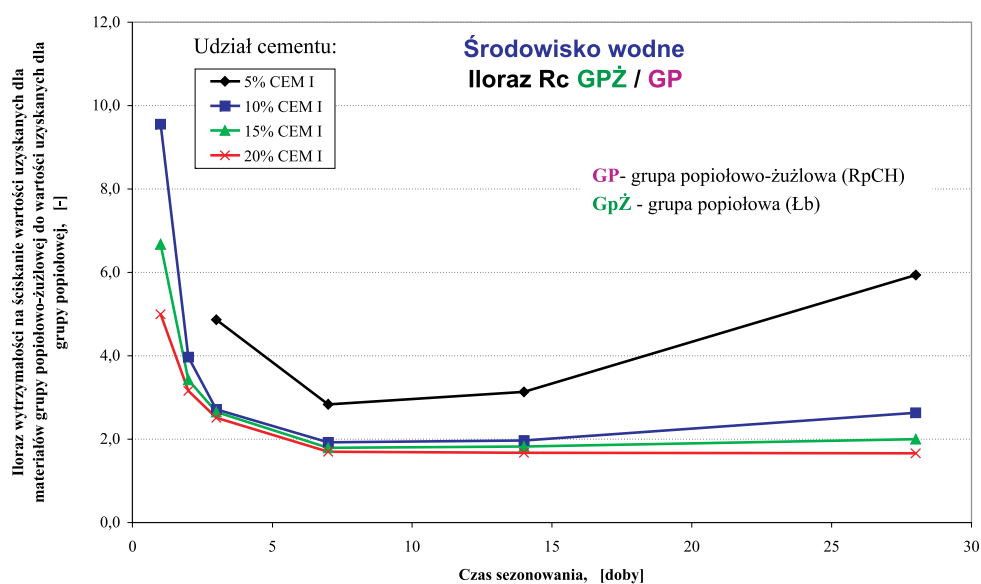
Zmienność ilorazów wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie wartości uzyskanych przez materiały grupy popiołowo-żużlowej do wartości uzyskanych przez materiały grupy popiołowej w środowisku klimatyzowanym przedstawiono na rysunku 7, a w środowisku wodnym na rysunku 8.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że ilorazy uzyskanych wartości wytrzymałości na ściskanie przez materiały grupy popiołowo-żużlowej do wartości materiałów grupy popiołowej dla odpowiednich udziałów cementu w środowisku klimatyzowanym nie są stałe i zależą przede wszystkim od czasu sezonowania, jak również od ilości udziału cementu. Należy zauważyć, że ilorazy te do czternastego dnia sezonowania maleją, przy czym bardzo znacząca zamiana ich wartości następuje do siódmego dnia. Po tym okresie następuje systematyczny niewielki wzrost wartości uzyskanych ilorazów R_c , które po 28 dniach sezonowania obu grup materiałowych w środowisku klimatyzowanym



Rys. 7. Zmienność ilorazu wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie wartości uzyskanych przez materiały grupy popiołowo-żużlowej (GPŻ) do wartości uzyskanych przez materiały grupy popiołowej (GP) w środowisku wodnym (KK)

Fig. 7. Variability of ratios of uniaxial compressive strength of mixtures from fly ash – slug group (GPZ) to mixtures from fly ash group (GP) cured in air-conditioned environment (KK)



Rys. 8. Zmienność ilorazu wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie wartości uzyskanych przez materiały grupy popiołowo-żużlowej (GPŻ) do wartości uzyskanych przez materiały grupy popiołowej (GP) w środowisku wodnym (W)

Fig. 8. Variability of ratios of uniaxial compressive strength of mixtures from fly ash – sludge group to mixtures from fly ash group (GP) cured in water environment (W)

wynoszą od 2,9 (dla 10% udziału cementu) do 1,3 (dla 20% udziału cementu). Wyjątek stanowią tutaj jedynie materiały z dodatkiem 5% cementu, dla których spadek ilorazu R_c widoczny jest do siódmej doby. Po czym następuje słaby, a dalszym czasie wzmoczony wzrost wartości ilorazu R_c do około 18.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że ilorazy uzyskanych wartości wytrzymałości na ściskanie przez materiały grupy popiołowo-żużlowej do wartości materiałów grupy popiołowej dla odpowiednich udziałów cementu w środowisku wodnym nie są stałe i zależą przede wszystkim od czasu sezonowania oraz od masowego udziału cementu. Należy zauważyć, że ilorazy te do siódmego dnia sezonowania maleją, przy czym bardzo znacząca zmiana ich wartości następuje do trzeciego dnia. Po tym okresie następuje większy (materiały z udziałem 5% cementu) lub mniejszy (materiały z udziałem 10–20% cementu) wzrost wartości ilorazu R_c porównywanych grup materiałowych.

Ilorazy wytrzymałości na ściskanie wartości uzyskanych dla materiałów grupy popiołowo-żużlowej do wartości uzyskanych dla materiałów grupy popiołowej po 28 dniach sezonowania w środowisku wodnym wynoszą od 2,6 (dla 10% udziału cementu) do 1,7 (dla 20% udziału cementu). Wyjątek stanowi tutaj iloraz R_c materiałów z dodatkiem 5% cementu, który po 28 dniach sezonowania w środowisku wodnym wynosi około 6.

Podsumowanie i wnioski końcowe

Wytrzymałość na ściskanie mieszanin grupy popiołowo-żuźłowej (GPŻ) po 28 dniach sezonowania w środowisku klimatyzowanym (KK) kształtuje się na poziomie około 15–22 MPa, a w środowisku wodnym (W) na około 8–15 MPa (odpowiednio dla udziału cementu 5–20%). Wytrzymałość na ściskanie mieszanin grupy popiołowej (GP) po 28 dniach sezonowania w środowisku klimatyzowanym (KK) kształtuje się na poziomie około 0,8–14,5 MPa, a w środowisku wodnym (W) na około 1,4–10 MPa (odpowiednio dla udziału cementu 5–20%). Wytrzymałość na ściskanie obu grup materiałowych rośnie wraz z udziałem cementu w mieszaninie.

Ilorazy wytrzymałości na ściskanie wartości uzyskanych w środowisku klimatyzowanym (KK) do wartości uzyskanych w środowisku wodnym (W) po 28 dniach sezonowania oraz amplitudy zmiany tych ilorazów dla grupy materiałów popiołowo-żuźłowych maleją wraz z udziałem cementu. Ilorazy R_c zawierają się w przedziale 1,81–1,46, a amplitudy zmiany tych ilorazów wahają się w granicach 2,00–0,22 (odpowiednio dla udziału CEM I: 5–20%). Średnia ilorazu wytrzymałości na ściskanie wartości uzyskanych w środowisku klimatyzowanym do wartości uzyskanych w środowisku wodnym po 28 dniach sezonowania dla części grupy materiałów popiołowych (z udziałem 10–20% cementu) wynosi 1,56. Natomiast iloraz R_c wartości rozpatrywanych środowisk dla materiału grupy popiołowej z udziałem 5% cementu maleje przez cały okres badawczy i po 28 dniach sezonowania wynosi 0,59. Amplituda zmian ilorazów R_c w rozpatrywanym okresie sezonowania dla wszystkich materiałów grupy popiołowej wynosi około 0,55.

Ilorazy R_c oddzielnie rozpatrywanych grup materiałowych dla danego środowiska nie są stałe i zależą przede wszystkim od czasu sezonowania oraz od masowego udziału cementu, szczególnie w przypadku grupy materiałów popiołowo-żuźłowych.

Ilorazy wytrzymałości na ściskanie wartości uzyskanych przez materiały grupy popiołowo-żuźłowej do wartości uzyskanych przez materiały grupy popiołowej po 28 dniach sezonowania w środowisku klimatyzowanym wahały się w zakresie 2,9–1,3, a w środowisku wodnym w przedziale 2,6–1,7 (odpowiednio dla udziału cementu 10–20%). Natomiast iloraz R_c materiałów z udziałem 5% cementu porównywanych grup materiałowych po 28 dniach sezonowania dla środowiska klimatyzowanego wynosi około 18, a dla środowiska wodnego około 6.

Literatura

- [1] JAMROŹY Z., 2003 — Beton i jego technologie. Wyd. Naukowe PWN, Warszawa.
- [2] PLEWA F., MYSŁEK Z., 2001 — Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [3] PLEWA F., PIERZYNA P., 2005 — Materiały wypełniające i konstrukcyjne stosowane w górnictwie podziemnym oparte na bazie odpadów energetycznych w świetle badań i doświad-

- czeń własnych. XII Międzynarodowe Sympozjum Geotechnika 2005. Gliwice–Ustroń, 14–16.09.2005.
- [4] PLEWA F., PIERZYNA P., 2005 — Zależność zmian własności fizycznych wybranych zestalonych mieszanin popiołowo-wodnych. X Międzynarodowa Konferencja Przeróbki Kopalni, Beskidy, 05–07.09.2005.
- [5] PLEWA F., KLETA H., 2005 — Zastosowanie odpadów energetycznych do likwidacji wyrobisk górniczych w kopalniach metanowych. ZN Pol. Śl., s. Górnictwo, nr 250, Gliwice.
- [6] PLEWA F., 2005 — Odpady energetyczne jako materiał konstrukcyjny i wypełniający w świetle badań, doświadczeń i wymagań normowych. Konferencja pt. „Popioły lotne i spoiwa mineralne UTEX w technologiach górniczych”. Wisła, 15–16 czerwca 2005. str. 15–26.
- [7] PALARSKI J., PLEWA F., PIERZYNA P., 2005 — Wpływ dodatków modyfikujących na podstawowe własności popiołów lotnych z elektrowni „X”. Kwartalnik Górnictwo i Geoinżynieria. Wyd. AGH, nr 4, Kraków.
- [8] PALARSKI J., PLEWA F., PIERZYNA P., ZAJĄC A., 2005 — Właściwości zawiesin z materiałów odpadowych z dodatkiem środka wiążącego w aspekcie możliwości ich wykorzystania do likwidacji zawodnionych szybów. Kwartalnik Górnictwo i Geoinżynieria. Wyd. AGH, nr 4, Kraków.
- [9] PIERZYNA P., 2005 — Praca doktorska pt. „Wyznaczenie parametrów materiałów wykonanych z odpadów energetycznych służących do budowy barier izolacyjnych w podziemnych składowiskach odpadów”. Wydział Górnictwa i Geologii w Gliwicach, październik 2005, niepublikowana.

Franciszek PLEWA, Piotr PIERZYNA, Piotr PIONTEK

Influence of type of power generation waste on the mechanical properties of composite mixtures for application in different environments of underground mining

Abstract

Differences in chemical and mineralogical properties of power generation waste result in variability of mechanical properties of solidified hydraulic composite mixtures. Conditions of curing: temperature and humidity also influence strongly mechanical properties of solidified hydraulic composite mixtures. The paper presents comparison of uniaxial compressive strength of composite mixtures prepared with use of selected power generation waste and cement, cured in water and air-conditioned environments. Composition and description of tested mixtures have been shown in Table 1.

Compressive strength of mixtures type GPŽ after 28 days of cure time in air-conditioned environment (KK) range from 15 to 22 MPa (Fig. 1) and from 8 to 15 MPa (Fig. 2) in case of mixtures cured in water environment (W), relatively to amount of cement, which was in range from 5 to 20%.

Compressive strength of mixtures type GP after 28 days of cure time in air-conditioned environment (KK) range from 0,8 to 14,5 MPa (Fig. 3) and from 1,4 to 10 MPa (Fig. 4) in case of mixtures cured in water environment (W), relatively to amount of cement, which was also in range from 5 to 20%.

Ratios of R_c (28 days) obtained in analyzed environments for type GPŽ mixtures are from the range from 1,81 to 1,46, with amplitudes of their changes from 2,00 to 0,22 and decrease with amount of cement (Fig. 5).

Average value of R_c (28 days) ratio obtained in analyzed environments for GP type mixtures with 10 to 20% addition of cement equals 1,56 and 0,59 with 5% cement addition respectively. Amplitude of R_c ratios differences in analyzed cure time for all GP type mixtures equals round 0,55 (Fig.6).

Selective R_c ratios for considered material groups in each cure environment are not constant and depend on cure time in first place, and also on percentage of cement, especially in materials of type GPŽ.

Ratios of R_c for GPŽ type materials with 10 to 20% addition of cement after 28 days cure time in air-conditioned environment range from 2,9 to 1,3 (Fig. 7) and from 2,6 to 1,7 in case of water environment (Fig. 8). R_c ratio for materials from compared material groups containing 5% of cement after 28 days cure time equals round 18 in case air-conditioned environment (Fig. 7) and round 6 in case of water environment (Fig. 8).

Selective R_c ratios for considered material groups in each cure environment are not constant and depend in first place on type of waste used in mixture and cure time, and also on percentage of cement, especially in materials of type GPŽ.

KEY WORDS: mining, utilization of power generation waste, composite materials, compressive strength