

Franciszek PLEWA*, Marcin POPCZYK**, Piotr PIERZYNA**, Artur ZAJĄC***

Wykorzystanie materiałów z udziałem odpadów energetycznych do likwidacji zapadłisk wywołanych działalnością górniczą

STRESZCZENIE. W referacie przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości fizykomechanicznych hydromieszanin sporządzonych na bazie odpadów energetycznych, a w szczególności popiołów lotnych. Badania wykonano pod kątem zastosowania do wypełniania zapadłisk powierzchniowych wywołanych eksploatacją górniczą. Z uwagi na stawiane wymagania pod kątem właściwości wiążących i wytrzymałościowych w badaniach użyto środka wiążącego w postaci cementu. W drugiej części referatu przedstawiono przykład wykorzystania spoiw hydraulicznych sporządzonych na bazie popiołów lotnych do likwidacji zapadłiska powstałego w wyniku zawalenia się pustek podziemnych powstałych w wyniku działalności górniczej.

SŁOWA KLUCZOWE: górnictwo, zagospodarowanie UPS, zapadłiska powierzchniowe

Wprowadzenie

Stosowanie od wielu lat w Polsce ubocznych produktów spalania (UPS) w podziemnych technologiach górniczych w postaci hydromieszaniny pokazało, że korzyści wynikające

* Prof. dr hab. inż., ** Dr inż. — Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice.

*** Mgr inż., PPHU Utex sp. z o.o., Rybnik.

z tego procesu są niewspółmierne do poniesionych nakładów. Obecnie największymi odbiorcami UPS jest górnictwo oraz budownictwo. W górnictwie popioły lotne w dużych ilościach wykorzystywane są między innymi – w świetle obowiązujących przepisów prawnych – w formie odzysku do profilaktyki pożarowej w ścianach prowadzonych systemem zawałowym [1, 4, 5]. W budownictwie UPS-y stosowane są jako dodatki do cementu i betonu, produkcji materiałów budowlanych oraz na podbudowy drogowe i stabilizację gruntów. Intensywna, podziemna eksploatacja górnicza prowadzona powszechnie systemem zawałowym przy eksploatacji węgla kamiennego posiada negatywne oddziaływanie na powierzchnię terenu, objawiające się powstawaniem deformacji, obniżen oraz zapadlisk. Dodatkowym negatywnym czynnikiem potęgującym te deformacje jest ujawnianie się pustek powstałych po dawnej eksploatacji. Szczególnie niebezpieczne są deformacje nieciągłe w postaci zapadlisk, które mogą powstać w sposób nagły i gwałtowny. W przypadku powiązania powstania takiego zapadliska ze zniszczeniem obiektu budowlanego znajdującego się w jego rejonie mamy do czynienia z katastrofą budowlaną. Sposób likwidacji powstałego zapadliska uzależniony jest od miejsca jego powstania, budowy geologicznej górotworu, wielkości zapadliska, a także prognozowanego przyszłego wpływu na stateczność terenów oraz obiektów znajdujących się w strefie jego oddziaływania. W niektórych przypadkach likwidacja zapadliska może być przeprowadzona w formie luźnego zasypu materiałem skalnym, jednak często – szczególnie na terenach uprzemysłowionych – likwidacja zapadliska polega na wypełnieniu go materiałami specjalnymi z podziałem na warstwy o różnych właściwościach fizyko mechanicznych. Do materiałów takich zaliczyć można hydromieszanki sporządzone na bazie UPS z udziałem środków wiążących i dodatków uszlachetniających oraz spoiwa mineralne [6, 7]. Dobierając materiały wypełniające pustkę zapadliska należy kierować się następującymi kryteriami:

- ✧ materiał wypełniający powinien być nieszkodliwy dla środowiska,
- ✧ materiał powinien trwale zabezpieczyć obszar zapadliska przed jego rozprzestrzenieniem się,
- ✧ przy doborze materiału należy uwzględnić możliwość wykorzystania np. gruzu budowlanego z obiektów w obrębie zapadliska lub innych materiałów,
- ✧ materiał wypełniający powinien stanowić rodzaj zabezpieczenia dla terenów i obiektów przyległych,
- ✧ technologia wypełniania leja powinna być w miarę możliwości prosta i bezpieczna.

W przypadku katastrofy budowlanej powiązanej z powstaniem leja zapadliska często na dnie znajdują się części budynków lub stalowe konstrukcje, które uniemożliwiają w sposób bezpieczny wykonywanie jakichkolwiek prac w jego wnętrzu związanych np. z cięciem konstrukcji stalowych lub kruszeniem elementów budowlanych. W takim przypadku celem uzyskania stabilnego wypełnienia leja zapadliska zaleca się zastosowanie drobnofrakcyjnego materiału wiążącego o dobrych właściwościach migracyjnych. Podobny sposób likwidacji powierzchniowych zapadlisk powstałych w miejscu szybu kopalnianego z wykorzystaniem materiału betonopodobnego zastosowano w 2000 r. między innymi w okolicach Bochum (Niemcy). Problem ten został opisany w artykule pt. „Wpływ sposobu likwidacji szybu na zagrożenie powierzchni w jego otoczeniu” autorstwa P. Czaji i A. Gąsiorczyka (Geoinżynieria 01/2006). W Polsce podobne rozwiązanie zastosowano przy

likwidacji leja zapadliska powstałego po katastrofie budowlanej szybu w kopalni Szczygłowice w 2008 r. W referacie przedstawiono wyniki badań hydromieszanin z wykorzystaniem popiołów lotnych z dodatkiem środka wiążącego, ukierunkowanych na wykorzystanie do likwidacji zapadlisk powierzchniowych.

1. Metodyka oraz materiały użyte do badań

Badania przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi normami i obejmowały następujące podstawowe parametry fizykomechaniczne [2, 3]:

- ✧ czas wiązania,
- ✧ wytrzymałość na ściskanie,
- ✧ rozmakalność (wpływ działania środowiska wodnego).
- ✧ współczynnik filtracji (metoda permeamtru Kamieńskiego).

Celem dokładnego wypełnienia leja oraz dla zapewnienia dobrej migracji między fragmentami elementów budowlanych znajdujących się w jego wnętrzu dla badanych mieszanin przyjęto rozlewność na poziomie 150–160 mm.

Do badań wytypowano następujące materiały drobnofrakcyjne:

- ✧ popiół lotny z produktami półsuchego odsiarczania z El. Rybnik – kod 10 01 82,
- ✧ popiół lotny z kotłów fluidalnych El. Jaworzno – kod 10 01 82.

Jako środek wiążący zastosowano cement portlandzki szybkowiązący – CEM I 42,5R w ilości 5 i 10%. Skład i oznaczenie poszczególnych mieszanin przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Składy mieszanin użytych do badań laboratoryjnych

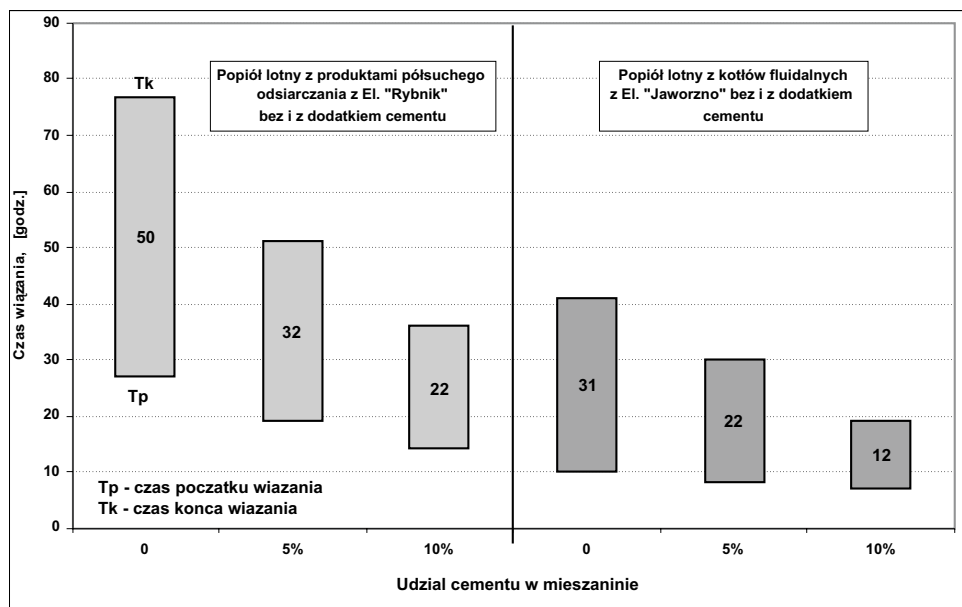
TABLE 1. Composition of mixtures examined in laboratory tests

Rodzaj popiołu	Udział masowy poszczególnych składników mieszaniny	
	popiół lotny [%]	CEM I 42,5R [%]
Popiół lotny z produktami półsuchego odsiarczania spalin z El. Rybnik	100	—
	95	5
	90	10
Popiół lotny z kotłów fluidalnych z El. Jaworzno III	100	—
	95	5
	90	10

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki badań czasów wiązania. Z analizy przedstawionych wartości wynika, że mieszanki sporządzone na bazie popiołu fluidalnego z El. Jaworzno charakteryzują się krótszymi czasami wiązania w porównaniu do mieszanek z popiołu z El. Rybnik zarówno z dodatkiem cementu jak i bez. Zakończenie procesu wiązania hydromieszanki sporządzonych wyłącznie z popiołu z El. Jaworzno następuje po 41 godzinach, przy udziale 5% cementu po 30 godzinach, a przy 10% cementu po 19 godzinach. W przypadku hydromieszanki wykonanych wyłącznie z popiołu z El. Rybnik koniec wiązania następuje po 77 godzinach, z dodatkiem 5% cementu po 51 godzinach, a z 10% cementu po 36 godzinach.

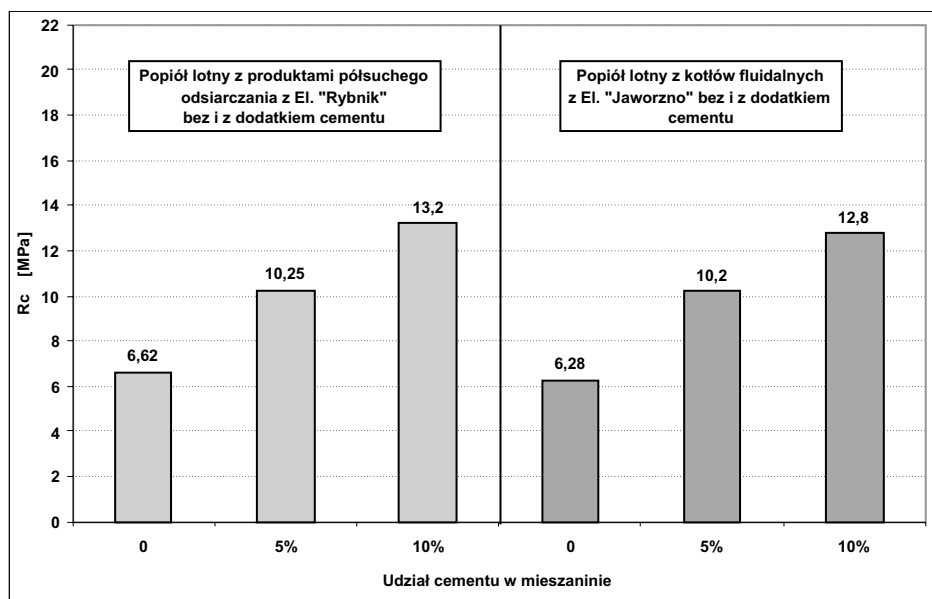
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach sezonowania badanych mieszanek drobnofrakcyjnych kształtowała się w zakresie od 6,28 MPa do 13,2 MPa (rys. 2). Jak widać wytrzymałości hydromieszanki wykonanych z różnych popiołów lotnych przy takim samym udziale cementu charakteryzują się podobnymi wartościami wytrzymałości R_c .

W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań rozmaczalności, która charakteryzuje odporność materiału na działanie środowiska wodnego. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że wraz ze wzrostem udziału cementu w mieszaninach rozmaczalność maleje. W przypadku hydromieszanki sporządzonych na bazie popiołu fluidalnego z El. Jaworzno przy udziale cementu w ilości od 0 do 10% rozmaczalność malała od 12,8 do 6,8%, natomiast w przypadku hydromieszanki sporządzonych na bazie popiołu z El. Rybnik również z udziałem cementu w zakresie od 0 do 10% rozmaczalność malała od 8,2 do 4,3%.



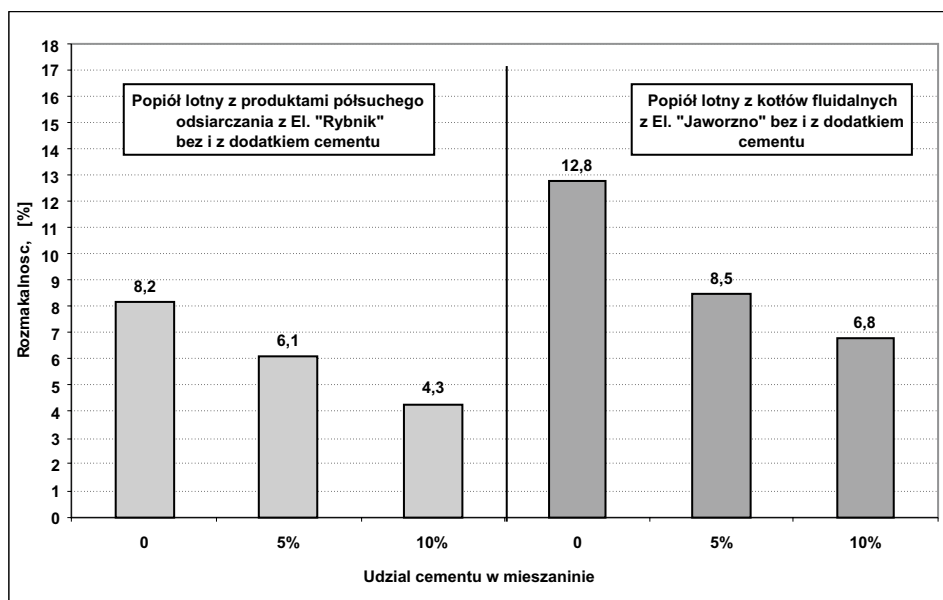
Rys. 1. Początek i koniec czasu czasu wiązania badanych mieszanek wiążących w zależności od udziału cementu

Fig. 1. Start and finally time of binding of solidifying mixtures in relation to cement



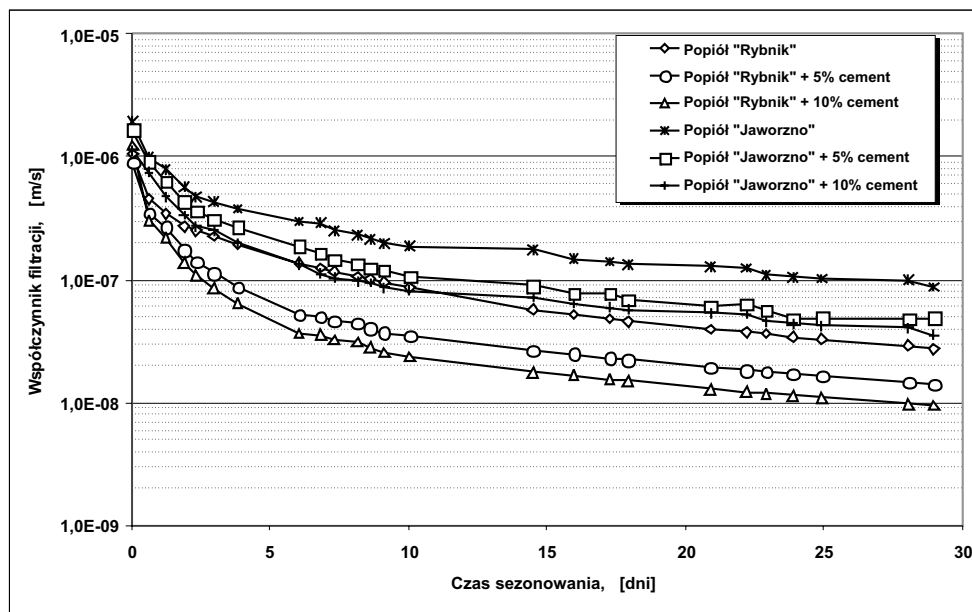
Rys. 2. Zależność wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie mieszanin po 28 dniach sezonowania od udziału cementu

Fig. 2. Uniaxial compressive strength of mixtures after 28 days of cure time in relation to cement content



Rys. 3. Zależność rozmakalności mieszanin zestalających od udziału cementu

Fig. 3. Soak resistance of solidifying mixtures in relation to cement content



Rys. 4. Zależność zmienności współczynnika filtracji mieszanin zestalających od czasu sezonowania próbek

Fig. 4. Filtration coefficient of solidifying mixtures in relation to cure time of the samples

Współczynnik filtracji określony metodą permeamtru Kamieńskiego badanych mieszanin drobnofrakcyjnych mieścił się w zakresie od $9,9 \cdot 10^{-8}$ m/s do $9,7 \cdot 10^{-9}$. Należy nadmienić, że wymagana graniczna wartość współczynnika filtracji dla materiałów stanowiących barierę izolacyjną w składowiskach odpadów wynosi $1 \cdot 10^{-9}$ m/s.

3. Przykład likwidacji zapadliska z wykorzystaniem spoiw wykonanych na bazie popiołów lotnych

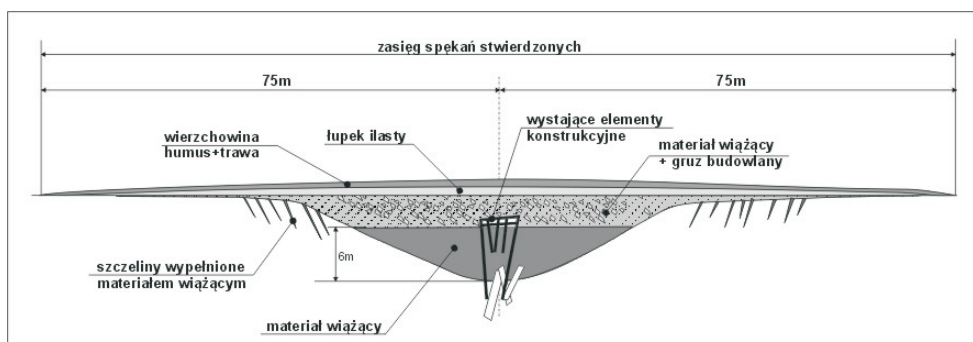
Jednym ze sposobów likwidacji zapadliska powstałego na terenach przemysłowych jest jego wypełnienie materiałami wiążącymi o określonych właściwościach wiążąco-wytrzymałościowych. Materiałami tymi mogą być między innymi hydromieszanki wiążące wykonane na bazie UPS z udziałem środków wiążących oraz innych dodatków lub gotowe spoiwa górnicze produkowane również na bazie UPS. Zastosowanie spoiw górniczych produkowanych przez firmę Utex sp. z o.o. do likwidacji leja zapadliska miało miejsce w 2010 roku na terenie Górnego Śląska. Widok z lotu ptaka zapadliska powstałego w wyniku działalności górniczej przedstawiono na fotografii 1. Projekt wypełnienia powstałego leja zakładał wykorzystanie dwóch spoiw górniczych Utex-15 oraz Solitex-G. Spoiwa te różnią się właściwościami wiążącymi oraz wytrzymałością na jednoosiowe ścis-

kanie. Gwarantowana wytrzymałość spoiwa Utex-15 w stanie płynnym przy rozlewności około 160 mm po 28 dniach wynosi 10 MPa, natomiast spoiwa Solitex-G – 5 MPa. Schemat wypełnienia leja zapadliska przedstawiono na rysunku 5.



Fot. 1. Widok z lotu ptaka leja zapadliska

Phot. 1. Overview of a collapsed basin



Rys. 5. Przekrój wypełnienia leja zapadliska

Fig. 5. Cross-sectional profile of the collapsed basin filling

Dolna część leja zapadliska wypełniona została materiałem mocniejszym Utex-15 natomiast górna część leja materiałem słabszym Solitex-G, który wymieszany został z pozyskanym z robót rozbiórkowych gruzem budowlanym. Górna część leja przykryto warstwą łupka ilastego oraz humusem z przeznaczeniem na zasiew trawy. Całość robót wykonana została w czasie około 3 miesięcy. Zastosowanie do likwidacji leja zapadliska spoiw mineralnych, a nie mieszanin popiołów z cementem, podyktowane było tym, że właściwości popiołów lotnych charakteryzują się dużą fluktuacją parametrów wiążących i wytrzymałościowych z uwagi na zmienność właściwości samych popiołów w dłuższym okresie czasu. Dlatego wytrzymałości tych mieszanin otrzymane w warunkach laboratoryjnych należy traktować jako teoretyczne, a nie gwarantowane w dłuższym okresie czasu. Przykładowo, wytrzymałość R_c hydromieszaniny przy kolejnej dostawie popiołów może być wyższa lub niższa od wyznaczonej wcześniej. Wady tej nie posiadają produkowane przemysłowo spoiwa mineralne, a podawane przez producentów wielkości ich parametrów wytrzymałościowych należy traktować jako gwarantowane i pewne.

Podsumowanie

Technologia oraz sposób likwidacji zapadliska powstałego na terenach zdegradowanych działalnością górniczą zależne są głównie od miejsca ich powstania oraz budowy geologicznej górotworu. Materiałem wypełniającym lej zapadliska może być luźny materiał skalny lub w szczególnych przypadkach hydromieszanina o właściwościach wiążących.

W referacie przedstawiono wyniki badań własności wiążąco-wytrzymałościowych hydromieszanin sporządzonych na bazie popiołu fluidalnego z El. Jaworzno i popiołu z produktami półsuchego odsiarczania z El. Rybnik z udziałem środka wiążącego w postaci cementu w ilości 5 i 10%. Jak wynika z przeprowadzonych badań zakończenie procesu wiązania hydromieszanin zawierało się w przedziale od 19 do 77 godzin. Wytrzymałość na ścislenie po 28 dniach sezonowania badanych mieszanin drobnofrakcyjnych kształtowała się w zakresie od 6,28 do 13,2 MPa. Rozmakalność charakteryzująca odporność materiału na działanie środowiska wodnego wynosiła od 4,3 do 12,8%. Współczynnik filtracji określony metodą permeometru Kamińskiego badanych mieszanin drobnofrakcyjnych mieścił się w zakresie od $9,9 \cdot 10^{-8}$ m/s do $9,7 \cdot 10^{-9}$. Otrzymane wyniki badań w pełni pozwalają rekomendować w/w mieszaniny do likwidacji zapadlisk powstałych na powierzchni terenu. Nadmienić należy, że popioły lotne należy traktować jako odpad o możliwych zmiennych w czasie właściwościach pucolanowych. W dalszej części referatu zaprezentowano przykład likwidacji zapadliska powstałego w skutek działalności górniczej na terenie Górnego Śląska w 2008 r. Przy jego likwidacji wykorzystano spoiwa mineralne produkowane na bazie popiołów lotnych o nazwie Utex-15 oraz Solitex-G produkowane przez Utex sp. z o.o. z Rybnika. Wybór spoiw mineralnych jako materiału wypełniającego, a nie mieszanin drobnofrakcyjnych popiołów lotnych z cementem, np. takich jak przedstawiono w referacie, pomimo podobnych właściwości wytrzymałościowych, podyktowany był w tym szcze-

gólnym przypadku wymogiem osiągnięcia gwarantowanych przez wykonawcę minimalnych parametrów wytrzymałościowych przez materiał wypełniający.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 21 marca 2006r. w sprawie odzysku lub unieszkodliwiania odpadów poza instalacjami i urządzeniami (Dz.U. nr 49 poz. 356).
- [2] PN-G/11011:1998 „Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów. Wymagania i badania.”
- [3] PN-G/11010:1993 „Materiały do podsadzki hydraulicznej. Wymagania i badania.”
- [4] PLEWA F., MYSŁEK Z., 2001 – Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- [5] PLEWA F., POPCZYK M., MYSŁEK Z., 2007 – Rodzaj produktów wytwarzanych w energetyce zawodowej i możliwość ich wykorzystania w podziemnych technologiach górniczych. Polityka Energetyczna t. 10, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [6] PLEWA F., MYSŁEK Z., STROZIK G., 2008 – Zastosowanie odpadów energetycznych do zestalania rumowiska skalnego. Polityka Energetyczna t. 11, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- [7] PLEWA F., POPCZYK M., PIONTEK P., 2009 – Zastosowanie ubocznych produktów spalania z kotłów fluidalnych energetyki zawodowej w podsadźce hydraulicznej. Polityka Energetyczna t. 12, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.

Franciszek PLEWA, Marcin POPCZYK, Piotr PIERZYNA, Artur ZAJĄC

Application of materials containing power generation waste for liquidation of collapses generated by mining operations

Abstract

Many years of practicing of combustion by-products (UPS) use in form of hydraulic mixtures in underground mining technologies showed that the advantages resulted from these operations fairly exceed related outlays. Nowadays the largest consumers of UPS are mining and building industries. Intensive mining operations conducted, in case of hard coal beds, mainly with longwall system with caving, leads to severe impacts on the ground surface, mainly in form of deformations, subsidence, and collapsed basins. Additional factor, which influences negatively evolution of these deformations, is activation of voids remaining from old mining operations. Particularly hazardous are non-linear deformations in form of collapsed basins, which are able to develop in suddenly and abruptly way. In case when inception of ground collapse is bound with destruction of a building structure located on endangered area, a building disaster is to be considered. Technology and the way the collapse will be liquidated depend mainly on the place of their origin and geological structure of the rockmass. As a fill

material for the collapsed basin loose rock rubble may be used or, in special cases, a hydraulic mixture with bind properties.

The paper presents results of binding-mechanical properties of hydraulic mixtures made with use of fluidal ashes from Jaworzno power plant, fly ash with flue gas desulphurization residues from Rybnik power plant, and a binder in a form of Portland cement in amount of 5 and 10%. As it can be seen from obtained results, end of binding process of hydraulic mixtures occurs between 19 and 77 hours. Compressive strength of analyzed hydraulic mixtures ranges from 6,28 to 13,2MPa. Soak resistance, which describes the resistance of material against impacts of water environment amounts from 4,3 to 12,8%. Coefficient of filtration measured with Kamienski permeameter ranged from $9,9 \cdot 10^{-8}$ to $9,7 \cdot 10^{-9}$ m/s for discussed fine-grained hydraulic mixtures. Obtained results allow recommending of discussed mixtures for liquidation of collapses occurred on the ground surface. It should be mentioned that fly ashes shall be considered as waste of potentially time-dependent differentiated pozzolanic properties. In further part of the paper an example of collapsed basin liquidation, which took place in the Upper Silesia area in 2008 in result of mining operations. During recovery operations mineral binders Utex-15 and Solitex-G have been used, which are produced on the basis of fly ashes by the company Utex ltd. Selection of mineral binders as a fill material instead of fly ash – water mixture with cement addition presented in this paper, in spite to their similar mechanical properties, has been dictated in this particular case by the requirement to reach assumed minimal values of mechanical parameters.

KEY WORDS: mining, utilization of combustion by-products, surface subsidence