

Franciszek PLEWA*, Krzysztof ZIĘBA**, Tomasz MIGDAS**,
Marcin POPCZYK***, Piotr PIERZYNA***

Badania wytrzymałości prób mieszanin zestalających wykonanych na bazie odpadów energetycznych stosowanych do likwidacji szybu Siedlec w Kopalni Soli Bochnia pobranych w warunkach *in situ*

STRESZCZENIE. Kopalnia Soli Bochnia obecnie prowadzi likwidację szybu Siedlec mieszaniną zestalającą sporządzaną na bazie spoiwa hydraulicznego, którego podstawowym składnikiem jest odpad energetyczny w postaci popiołu lotnego. Dodatkowymi składnikami mieszaniny są materiały własne kopalni: rumosz solny oraz solanka pełnonasycona. Mieszanina sporządzana jest w instalacji znajdującej się na szybie, a jej podstawowymi elementami są: mieszalnik, zbiornik spoiwa i solanki, przenośnik ślimakowy. W artykule zaprezentowano wyniki badań wytrzymałościowych prób pobranych z dna szybu w czasie prowadzenia prac likwidacyjnych. Pobieranie prób realizowane było z wykorzystaniem metalowego kubła opuszczanego na dno szybu za pomocą stalowej liny. Metodyka pobierania prób z dna szybu składała się z kilku czynności następujących kolejno po sobie. W pierwszej kolejności sporządzano na bazie spoiwa i solanki w mieszalniku bębnowym zaczyn spoiwowy o ustalonej konsystencji mierzonej wartością rozlewności wynoszącą około 160–180 mm. Następnie na dno szybu opuszczano kubel stalowy, po czym przystępowano do wprowadzenia do szybu, zgodnie z przyjętymi proporcjami technicznymi, rumoszu solnego równocześnie z wylewanym z mieszalnika zaczynem spoiwowym. Pobieranie prób mieszanin realizowano przy różnym udziale gruzu

* Prof. dr hab. inż., *** Dr inż. – Politechnika Śląska, Gliwice;
e-mail: franciszek.plewa@polsl.pl; marcin.popczyk@polsl.pl; piotr.pierzyna@polsl.pl
** Mgr inż. – Kopalnia Soli „Bochnia”; e-mail: k.zieba@salina.pl; t.migdas@salina.pl

solnego. W badaniach przyjęto proporcje techniczne (liczba łyżek ładowarki na jeden bęben mieszalnika) na poziomie 1:1, 2:1, 3:1 i 4:1. Kolejnym krokiem było wyciągnięcie z dna szybu kubła stalowego wypełnionego mieszaniną, a następnie przełożenie jej z kubła do walcowych form o średnicy wewnętrznej 100 mm i wysokości 100 mm celem dalszego sezonowania w warunkach laboratoryjnych. Pobrane próby przechowywane były w komorze klimatycznej, a następnie poddawane badaniu wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie po 28 i 60 dniach zgodnie z wymaganiami normowymi (PN-G 11011:1998). Wytrzymałość ta w zależności od proporcji technicznych po 28 dniach zawierała się w przedziale od 1,8 do 4,8 MPa, natomiast po 60 dniach w przedziale od 2,4 do 5,7 MPa. Na podstawie przeprowadzonej analizy uzyskanych wyników badań można stwierdzić również, że wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie mieszanin wyraźnie maleje wraz ze wzrostem w niej udziału rumoszu. Zaprezentowany w artykule przykład jednoznacznie pokazuje pełną przydatność materiałów odpadkowych własnych kopalni oraz odpadów energetycznych stanowiących podstawowy składnik spoiwa do wytworzenia pełnowartościowego materiału wypełniającego, spełniającego określone warunki wytrzymałościowe.

SŁOWA KLUCZOWE: górnictwo soli, likwidacja szybu, zagospodarowanie odpadów

Wprowadzenie

Likwidacja wyrobisk górniczych, a zwłaszcza szybów, jest zagadnieniem złożonym szczególnie w warunkach występujących zagrożeń wodnych i gazowych (Plewa, Mysłek 2001; Plewa i in. 2010) Sposób likwidacji szybu oraz dobór materiału zasypowego zależy przede wszystkim od stanu wyrobiska i jego wyposażenia, istniejących połączeń z wyrobiskami poziomymi oraz stopnia zagrożenia wodnego i gazowego (Czaja 2011). Z uwagi na obniżenie kosztów w ostatnim czasie coraz częściej stosuje się przy likwidacji szybów różnego rodzaju mieszaniny odpadów, w tym odpadów energetycznych, z udziałem środków wiążących. Coraz szersze stosowanie odpadów, w szczególności pogórnich, w różnych technologiach podyktowane jest również wymogami prawnymi wymuszającymi ich gospodarcze wykorzystanie (Góralczyk, Baic 2009). Rozwijanie nowych technologii wykorzystania odpadów, w tym ze spalania węgla kamiennego, jest przyszłością dla funkcjonowania sektora węglowego, który jest i w najbliższych latach będzie podstawowym źródłem pozyskiwania energii (Bednorz 2009).

Kopalnia Soli Bochnia jest w fazie likwidacji i obecnie prowadzi wypełnianie rury szybowej szybu Siedlec samozestalającą mieszaniną sporządzaną na bazie spoiwa hydraulicznego oraz materiałów własnych, będących w dyspozycji kopalni (Plewa i in. 2011). Likwidacja odbywa się zgodnie z przyjętym projektem likwidacji zatwierdzonym przez Wyższy Urząd Górniczy.

Komponentami mieszaniny zestalającej są:

- ✧ rumosz solny pochodzących z prac prowadzonych w wyrobiskach podziemnych,
- ✧ solanka pełnonasycona odpompowywana z kopalni,

✧ spoiwo hydrauliczne bazujące na drobnofrakcyjnych odpadach energetycznych przystosowane do zarobienia solanką.

Spoiwo hydrauliczne w swoim składzie jako podstawowy surowiec zawiera odpad energetyczny w postaci popiołu lotnego powstałego w wyniku spalania węgla kamiennego oraz cement portlandzki i szereg dodatków uszlachetniających.

Aktualnie poszczególne komponenty przechodzą przez instalację mieszalnikową, a następnie gotowa mieszanka wprowadzana jest do szybu. Podstawowymi elementami instalacji są:

- ✧ skład rumoszu solnego,
- ✧ zbiornik stacjonarny na spoiwo (silos),
- ✧ zbiornik solanki,
- ✧ przenośnik ślimakowy podających spoiwo,
- ✧ mieszarka dwuwałowa bębnowa,
- ✧ rynna zsypana,
- ✧ samojezdna ładowarka łyżkowa.

Widok poszczególnych elementów instalacji przedstawiono na fotografiach 1–3. Obecnie stosowany sposób mieszania przebiega następująco. Do pustej komory mieszalnika wprowadzana jest solanka, a następnie dodawane jest przenośnikiem ślimakowym spoiwo zmagazynowane w silosie. W komorze mieszalnika z wykorzystaniem obracających się łopat następuje mieszanie się solanki ze spoiwem, tworząc zaczyn spoiwowy. Przyjmuje się, że jednorazowa objętość wykonanej w mieszalniku mieszanki wynosi około 0,85 m³, natomiast jej konsystencja odpowiada rozlewności mierzonyj kubkiem Forda wynoszącej



Fot. 1. Mieszarka dwuwałowa bębnowa wraz z rynną zsypaną

Phot. 1. Construction for preparation of solidifying backfill



Fot. 2. Silos na spoiwo wraz z przenośnikiem ślimakowym

Phot. 2. Conveyor tank with binder



Fot. 3. Zbiornik solanki (cysterna) oraz ładowarka łyżkowa w czasie pracy

Phot. 3. Salinity tank while operating

160–180 mm. Kontrolę nad uzyskaniem wymaganej objętości mieszanki oraz jej konsystencji sprawuje przeszkolony pracownik.

1. Metodyka badań

Pobieranie próbek do badań wytrzymałościowych następowało przy zmiennym udziale rumoszu solnego do udziału zaczynu spoiwowego. Biorąc pod uwagę możliwości dozowania ilości rumoszu solnego w stosunku do ilości zaczynu spoiwowego przyjęto, że jednorazowa objętość wykonanego zaczynu spoiwowego (solanka i spoiwo) w mieszarce bębnowej wynosi około $0,85 \text{ m}^3$, a jednorazowa objętość rumoszu solnego podawana na rynnę zsypaną przez ładowarkę łyżkową wynosi około 1 m^3 . Założenie to pozwala na określenie proporcji objętościowych mieszanki rumoszu solnego i zaczynu spoiwowego jako krotność objętości łyżki ładowarki przypadająca na jedną objętość bębna mieszalnika. Proporcje te w dalszej części pracy nazywane będą proporcjami technicznymi.

Zakres czynności wykonanych na szybie obejmował pobranie próbek do badań wytrzymałościowych wykonanej i wprowadzonej do szybu mieszanki rumoszu solnego i zaczynu spoiwowego wykonanej przy proporcjach technicznych 1:1, 2:1, 3:1 i 4:1. Próbki pobrane z dna szybu Siedlec (głębokość około 300 m) przechowywane były w komorze klimatycznej w warunkach zbliżonych do rzeczywistych (temperatura 20°C , wilgotność 90%).

Metodyka pobierania próbek z dna szybu składała się z kilku czynności następujących kolejno po sobie, a mianowicie:

- ✧ wykonanie w mieszalniku bębnowym z solanki oraz wybranego spoiwa zaczynu spoiwowego o rozlewności około 160–180 mm,



Fot. 4. Kubek stalowy wyciągnięty z szybu wypełniony mieszanką

Phot. 4. Steel cup pullet out of the shaft filled slurry

- ✧ opuszczenie na dno szybu kubka stalowego,
- ✧ wprowadzenie do szybu zgodnie z przyjętymi proporcjami technicznymi rumoszu solnego oraz zaczynu spoiwowego,
- ✧ wyciągnięcie z dna szybu kubka stalowego wypełnionego mieszaniną,
- ✧ przełożenie mieszaniny z kubka do plastikowych walcowych form o średnicy wewnętrznej 100 mm i wysokości 100 mm celem dalszego sezonowania.

Na fotografii 4 pokazano kubek stalowy wyciągnięty z szybu wypełniony mieszaniną, natomiast na fotografii 5 – tacę z plastikowymi cylindrami wypełnionymi mieszaniną zestawiającą przełożoną z metalowego kubła.



Fot. 5. Cylindry plastikowe wypełnione mieszaniną wyciągniętą z szybu

Phot. 5. Plastic cylinder filled with slurry pullet out of the shaft

2. Wyniki badań

Badanie wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie przeprowadzono zgodnie z PN-G-11011:1998 po 28 i 60 dniach sezonowania w komorze klimatycznej. Ściskaniu podlegały każdorazowo co najmniej trzy próbki danej receptury. Za wynik pomiaru przyjmowano wartość średnią z pomiarów. Zestawienie wartości średnich wytrzymałości prób pobranych *in situ* przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 1.

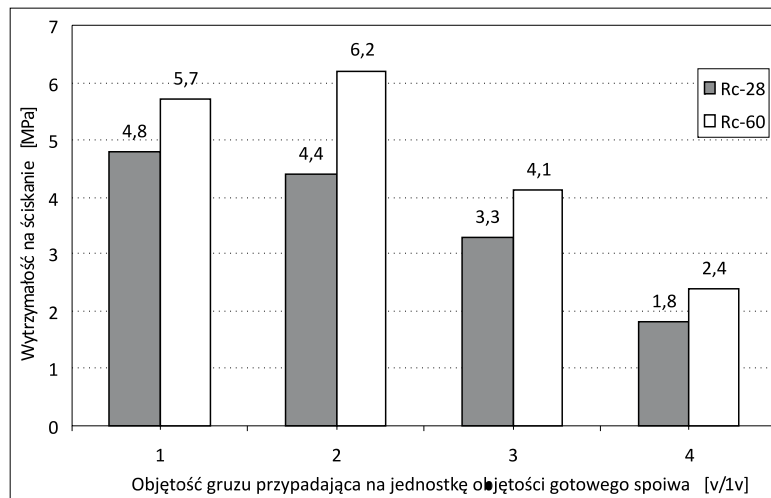
TABELA 1. Wytrzymałość na ściskanie prób mieszanin rumoszu solnego, spoiwa oraz solanki sporządzonych na szybie Siedlec

TABLE 1. Compressive strength of samples of mixtures, salt rock, binder, and brine water preparation on Siedlec mine

Lp.	Oznaczenie próbki	Miejsce sporządzenia prób	Proporcje techniczne (objętość gruzu przypadająca na jednostkę objętości zaczynu spoiwowego)	Średnia wytrzymałość na ściskanie po czasie	
				28 dni [MPa]	60 dni [MPa]
1	B-3P-1/1	Szyb Siedlec	1:1	4,8	5,7
2	B-3P-1/2		2:1	4,4	6,2
3	B-3P-1/3		3:1	3,3	4,1
4	B-3P-1/4		4:1	1,8	2,4

Jak wynika z otrzymanych wyników badań wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie po 28 dniach sezonowania prób mieszanin zestalających sporządzonych na szybie Siedlec przy proporcji 1:1 wynosiła 4,8 MPa, przy proporcji 2:1 – 4,4 MPa, przy proporcji 3:1 – 3,3 MP, natomiast przy proporcji 4:1 – 1,8MPa. Mieszanki te po 60 dniach sezonowania charakteryzowały się wzrostem wytrzymałości w porównaniu do wytrzymałości po 28 dniach. Wartości wytrzymałości po 60 dniach w zależności od proporcji technicznych kształtowały się następująco:

- ✧ dla proporcji 1:1 – 5,7 MPa,
- ✧ dla proporcji 2:1 – 6,2 MPa,



Rys. 1. Wytrzymałość po 28 i 60 dniach prób mieszanin zestalających pobranych z szybu Siedlec przy różnych proporcjach rumoszu solnego do zaczynu spoiwowego

Fig. 1. Compressive strength after 28 and 60 days, samples of solidifying slurries, Siedlec

✧ dla proporcji 3:1 – 4,1 MPa,

✧ dla proporcji 4:1 – 2,4 MPa.

Jak widać z przeprowadzonych badań, wyższe wytrzymałości osiągały mieszaniny zestalające, zawierające w swoim składzie mniejszą ilość rumoszu solnego. Jako zadawalające z punktu widzenia uzyskanej wytrzymałości należy uznać mieszaniny o proporcjach technicznych 1:1, 2:1 i 3:1.

Podsumowanie i wnioski końcowe

Kopalnia Soli Bochnia jest w fazie likwidacji i obecnie prowadzi wypełnianie rury szybowej szybu Siedlec samozestalającą mieszaniną sporządzaną na bazie spoiwa hydraulicznego oraz materiałów własnych będących w dyspozycji kopalni. Podstawowym składnikiem wykorzystywanego spoiwa jest drobnoziarnisty odpad energetyczny w postaci popiołu lotnego powstałego w wyniku spalania węgla kamiennego. Dodatkowymi składnikami są cement portlandzki oraz szereg dodatków uszlachetniających. Oprócz spoiwa w skład mieszaniny zestalającej wchodzi rumosz solny pochodzący z prac prowadzonych w wyrobiskach podziemnych oraz solanka pełnonasycona odpompowywana z kopalni. W referacie zaprezentowano wyniki badań wytrzymałościowych prób pobranych z dna szybu w czasie prowadzenia prac likwidacyjnych. Badania prowadzono przy zmiennych proporcjach rumoszu solnego do zaczynu spoiwowego. Pobieranie prób realizowane było zgodnie z metodyką przedstawioną w artykule z wykorzystaniem metalowego kubła opuszczonego na dno szybu o głębokości około 300 m.

Na podstawie przeprowadzonej analizy uzyskanych wyników badań wytrzymałości na jednoosiowe ściskanie można sformułować następujące wnioski:

1. Wytrzymałość R_c po 28 dniach sezonowania wynosiła w zależności od proporcji technicznych mieszaniny zestalającej od 1,8 MPa przy proporcji 4:1 do 4,8 MPa przy proporcji 1:1.
2. Wytrzymałość R_c po 60 dniach sezonowania wynosiła w zależności od proporcji technicznych mieszaniny zestalającej od 2,4 MPa przy proporcji 4:1 do 5,7 MPa przy proporcji 1:1.
3. W zależności od proporcji składników podanych wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie prób mieszanin zestalających jest zmienna i wyraźnie maleje wraz ze wzrostem udziału rumoszu solnego.
4. Jako zadawalające z punktu widzenia uzyskanej wytrzymałości należy uznać mieszaniny o proporcjach technicznych 1:1, 2:1 i 3:1.
5. Zaprezentowane wyniki badań jednoznacznie potwierdzają przydatność materiałów odpadowych, jakimi są odpady energetyczne, oraz odpady górnictwa soli do wytworzenia pełnowartościowego materiału wypełniającego, spełniającego wymagania wytrzymałościowe.

Literatura

- BEDNORZ J., 2009 – Węgiel gwarancją bezpieczeństwa politycznego Polski. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/2.
- CZAJA P., 2011 – Technologia likwidacji szybów oraz ich infrastruktury podziemnej i powierzchniowej. Monografia. Wyd. AGH, Kraków.
- GÓRALCZYK S., BAIC I., 2009 – Odpady z górnictwa węgla kamiennego i możliwości ich gospodarczego wykorzystania. *Polityka Energetyczna* t. 12, z. 2/2.
- PLEWA F., MYSŁEK Z., 2001 – Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- PLEWA i in. 2010 – PLEWA F., POPCZYK M., PIERZYNA P., 2010 – Wykorzystanie UPS z produktami pól suchego odsiarczania do likwidacji szybów w górnictwie węgla kamiennego. XIV Międzynarodowe Sympozjum „Geotechnika”. 19–20.11.2010 Gliwice–Ustroń. Wyd. Politechniki Śl., Gliwice 2010.
- PLEWA i in. 2011 – PLEWA F., POPCZYK M., PIERZYNA P., MIGDAS T., 2011 – Możliwości wykorzystania w górnictwie soli spojwa z udziałem odpadów energetycznych. *Polityka Energetyczna* t. 14, z. 2.
- Norma PN-G/11011:1998. Materiały do podsadzki zestalanej i doszczelniania zrobów. Wymagania i badania.

Franciszek PLEWA, Krzysztof ZIĘBA, Tomasz MIGDAS,
Marcin POPCZYK, Piotr PIERZYNA

Research on the strength of stabilized mixture samples from power generation waste, applied by the liquidation of shaft “Siedlec” at the Bochnia Salt Mine, collected under *in situ* conditions

Abstract

The Bochnia salt mine presently manages liquidation works for the Siedlec mine shaft through the use of a solidifying mixture from a hydraulic binder, salt rabble, and brine. The mixture is being prepared in a plant located by the shaft, consisting of the following main components: a mixer, binder tank, brine tank, and a screw conveyor. The paper presents the results of measurements of samples' mechanical strength collected directly from the bottom of the shaft during the liquidation operations. The samples have been collected using a steel bucket lowered to the bottom of the shaft by a steel rope. The sample collection procedure consisted of several consecutive operations. The first operation sampled a binding slurry of binder and the brine mixed in a drum mixer in order to achieve a required consistency level. The consistency was controlled through the use of table spread value slurry which,

it was determined, needed to be kept within the range of between 160 and 180 mm. In the next step, a steel bucket was lowered down to the bottom of the shaft. After this, salt rabble was dumped into the shaft with simultaneous pouring of the binder slurry from the outlet of the mixer, in proportions based on previously approved procedural requirements. After emptying the content of the mixer and dumping an adequate portion of the salt rabble, the steel bucket filled with the mixture of salt rabble and binder slurry was hauled up to the surface and transferred into plastic cylinders of 100 mm diameter and 100 mm height. These cylinders underwent curing in a special laboratory environment. Sample collection took place during differing conditions of salt rabble content. The collected samples were cured in a laboratory climatic chamber and underwent uniaxial compressive strength measurements after 28 and 60 days of cure time. In order to expand the range of measurements, certain solidifying mixture samples were prepared under '*ex situ*' conditions, meaning in a laboratory, through the use of the same proportions of the components as expected to be achieved by the '*in situ*' sample collection method executed in the shaft.

On the basis of comparative analysis of the research results, it can be concluded that, depending on the amount of the salt rabble, uniaxial compressive strength is variable and significantly decreases by increasing the amount of salt rabble.

KEY WORDS: salt mining, liquidation of shafts, waste disposal