

Marcin POPCZYK*

Możliwości zastosowania do podsadzki hydraulicznej mieszanki piasku z żużlem energetycznym

STRESZCZENIE. Piasek kopany od kilkudziesięciu lat z powodzeniem wykorzystywany jest jako materiał podsadzkowy do wypełniania pustek podziemnych celem ochrony powierzchni przed szkodami górnictwami. Biorąc od uwagę, że eksploatacja z wykorzystaniem podsadzki hydraulicznej jest bardziej czasochłonna i kosztowniejsza w porównaniu do eksploatacji na zawał stropu od wielu lat prowadzone są prace badawcze nad wprowadzeniem do mieszanki podsadzkowej tańszych materiałów alternatywnych najczęściej pochodzenia odpadowego. W referacie przedstawiono wyniki badań mieszanki piasku podsadzkowego pozyskanego z kopalni „Maczki-Bór” z odpadem energetycznym w postaci żużlu na zgodność z normą PN-G/11010 „Materiały do podsadzki hydraulicznej. wymagania i badania”. W ramach badań wykonano następujące oznaczenia: składu ziarnowego, rozmywalności, składu chemicznego i wymywalności substancji szkodliwych, promieniotwórczości oraz ściśliwości. Do badań wykorzystano mieszanki piasku z żużlem o udziale masowym żużlu w ilości 0, 5, 10, 15 i 20%. Na podstawie wykonanych badań można stwierdzić, że badane materiały w postaci piasku kopanego jak i żużel energetyczny oraz ich mieszanki spełniają wymagania normowe i mogą mieć zastosowanie do podsadzki hydraulicznej. Zastosowanie żużlu energetycznego jako składnika podsadzki posiada również aspekt ekologiczny, wpływając korzystnie na ochronę środowiska poprzez ograniczenie jego składowania.

SŁOWA KLUCZOWE: podsadzka hydrauliczna, odpad energetyczny, materiały podsadzkowe

* Dr inż. – Politechnika Śląska, Instytut Eksploatacji Złóż, Gliwice; e-mail: marcin.popczyk@polsl.pl

Wprowadzenie

Eksploatacja pokładów węgla kamiennego w Polsce prowadzona jest przede wszystkim systemem zawałowym, skutkującym powstawaniem szkód górniczych objawiających się głównie zniekształceniem i obniżeniem powierzchni terenu oraz powstawaniem deformacji nieciągłych. Wiele kopalń – szczególnie w rejonie aglomeracji śląskiej – prowadziło i prowadzi eksploatację pod terenami zurbanizowanymi o różnej zabudowie. Prowadzenie eksploatacji systemem z zawałem stropu pod terenami o zabudowie niskiej i jednorodzinnej jest możliwe po uzyskaniu odpowiednich uzgodnień, a obowiązek naprawy powstałych szkód związanych z eksploatacją spoczywa na kopalni. W przypadku terenów zabudowanych obiektami wysokimi czy zabytkowymi oraz wszystkimi, które wymagają ochrony prowadzona eksploatacja podziemna musi zapewnić minimalne odkształcenia powstałe na powierzchni terenu nie powodujące zagrożenia dla tych obiektów. Jednym z bardziej efektywnych sposobów takiej eksploatacji jest system wybierania z zastosowaniem podsadzki hydraulicznej.

Technologia podsadzki hydraulicznej jako sposób kierowania stropem posiada w górnictwie podziemnym węgla kamiennego ponad 100-letnią tradycję. Największy rozwój tej technologii nastąpił w latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia, kiedy ze ścian podsadzkowych pochodziło około 40% całej produkcji węgla kamiennego w Polsce [5].

Do zalet technologii podsadzki hydraulicznej możemy zaliczyć [2]:

- ✧ minimalizację wpływu prowadzonej eksploatacji na powierzchnię terenu,
- ✧ umożliwienie eksploatacji pod obiektami na powierzchni i w filarach ochronnych,
- ✧ możliwość czystego wybierania pokładów grubych, skłonnych do samozapalenia,
- ✧ zmniejszenie zagrożeń: gazowego, wodnego, pożarowego i tąpnięć.

Wśród wad technologii podsadzki hydraulicznej należy wymienić:

- ✧ konieczność budowy oraz utrzymywania kosztownych urządzeń i instalacji podsadzkowych, co zwiększa koszty budowy kopalni oraz koszty ruchowe,
- ✧ uzależnienie procesu eksploatacji złoża od dostawy materiału podsadzkowego (brak dostawy materiału podsadzkowego, zwłaszcza w okresie zimowym, powodował niejednokrotnie duże zaburzenia w produkcji kopalń węgla kamiennego),
- ✧ zwiększone koszty ruchowe, koszt materiału podsadzkowego, odwadniania, zużycia materiałów (drewno, płótno podsadzkowe, rury),
- ✧ zawilgocenie powietrza kopalnianego i pogorszenie klimatycznych warunków pracy,
- ✧ niebezpieczeństwo zbrylania i scalania się materiału podsadzkowego w odkrytym zbiorniku podsadzkowym w przypadku wykorzystania do sporządzania podsadzki materiałów odpadowych o właściwościach wiążących [7].

1. Materiały wykorzystane do badań

Do badań nad możliwością zastosowania do podsadzki hydraulicznej mieszanin materiałów ziarnistych wykorzystano piasek podsadzkowy z kopalni piasku „Maczki Bor” oraz żużel

pochodzący ze spalania węgla kamiennego zwany dalej żużlem energetycznym o kodzie zgodnie z rozporządzeniem 10 01 01 [8].

1.1. Piasek podsadzkowy

Piasek jest skałą osadową powszechnie występującą na terenie Polski. Najczęściej zalega płytko pod warstwą humusu. Najpowszechniejszym sposobem eksploatacji złóż piasku do celów przemysłowych czy gospodarczych jest metoda odkrywkowa prowadzona w suchym wyrobisku. Głównym odbiorcą piasku jest szeroko rozumiane budownictwo, w tym drogownictwo, a jednym z mniej znaczących kierunków pod względem ilości wykorzystywanego piasku głównie podsadzkowego jest górnictwo podziemne. Zestawienie wydobycia piasku oraz piasku podsadzkowego w latach 2007–2012 przedstawiono w tabeli 1. Pomimo wykorzystywania małej ilości piasku w górnictwie w porównaniu do ilości wykorzystywanych w innych dziedzinach zastosowanie piasku w podziemiu kopalń w technologii podsadzki hydraulicznej jest niejednokrotnie jedynym sposobem wydobycia złoża węgla w pokładach znajdujących się pod terenami zurbanizowanymi. Jak widać w tabeli 1 wydobycie piasku podsadzkowego w ostatnich kilku latach sukcesywnie spada od 6,6 mln Mg w roku 2007 do 3,8 mln Mg w roku 2012. Związane jest to bezpośrednio ze zmniejszającą się ilością czynnych ścian podsadzkowych eksploatujących węgiel kamienny. Obecnie ścian takich w Katowickim Holdingu Węglowym jest cztery, a w Kompani Węglowej jedna.

TABELA 1. Wydobycie ze złóż piaskowo-żużlowych oraz piasku podsadzkowego w Polsce w latach 2000–2012 [1]

TABLE 1. Extraction of sand and slag deposits and filling sand in Poland in the years 2000-2012 [1]

Rok	Wydobycie piasku ze złóż piaskowo-żwirowych [mlnMg]	Wydobycie piasku podsadzkowego [mlnMg]
2007	139,5	6,6
2008	150,0	6,4
2009	141,0	5,9
2010	163,4	5,1
2011	248,7	4,4
2012	184,7	3,8

1.2. Żużel energetyczny

Żużel energetyczny należy do grupy ubocznych produktów spalania (UPS), które powstają w trakcie przemiany w wyniku spalania węgla kamiennego w energię cieplną w elektrowniach

i elektrociepłowniach. Właściwości fizykochemiczne powstającego żużla zależne są od rodzaju spalanego węgla (zasiarczenie, zapopielenie) oraz rodzaju kotła energetycznego (warunki spalania, rodzaj paleniska). Podstawowym paliwem stałym spalany obecnie w zakładach energetycznych jest węgiel kamienny i brunatny. W ostatnich latach coraz szerzej stosowane jest tzw. współspalanie z wykorzystaniem różnych rodzajów biopaliw, paliw wtórnych zwanych alternatywnymi, powstającymi z segregacji, przeróbki lub specjalnego komponowania odpadów. Do podstawowych rodzajów obecnie stosowanych biopaliw do współspalania zaliczyć należy odpady z wydobywania, wzbogacania, przeróbki drewna, produkty odpadowe rolnicze i zwierzęce, a także odpady komunalne i osady z oczyszczalni ścieków. Spalanie paliw w kotłach energetycznych realizowane może być w paleniskach rusztowych, charakteryzujących się nieruchomą warstwą paliwa, oraz złożach fluidalnych, cechujących się cyrkulacyjną (tzw. wrzącą) warstwą spalanego paliwa. Podstawową różnicą tych dwóch metod spalania jest temperatura reakcji chemicznej, w której następuje uwolnienie energii cieplnej. W paleniskach rusztowych reakcja chemiczna paliwa zachodzi przy temperaturze w zakresie od 900 do 1400°, natomiast w kotłach ze spalaniem cyrkulacyjnym, tzw. fluidalnym, temperatura spalania wynosi 800–900°C. W obu przypadkach w palenisku powstaje stały produkt spalania, jednak zgodnie z rozporządzeniem wydanym do Ustawy o Odpadach odpady te posiadają różne kody. Odpad ze spalania w kotłach rusztowych (konwencjonalnych) posiada kod 10 01 01 (żużle, popioły paleniskowe i pyły z kotłów), natomiast odpad z kotłów fluidalnych 10 01 24 (piaski ze złoż fluidalnych) [8]. Do badań zaprezentowanych w referacie wykorzystano żużel energetyczny o kodzie 10 01 01, powstający bez współspalania biomasy. Właściwości fizykochemiczne żużla wymagane normowo przedstawiono w tabelach od 2 do 5, natomiast badania promieniotwórczości w tabeli 6.

2. Zakres oraz metodyka badań

W referacie przedstawiono badania mieszanin piasku podsadzkowego wydobywanego w kopalni „Maczki Bór” z odpadem energetycznym w postaci żużla powstającego po spalaniu węgla kamiennego o kodzie 10 01 01 (dalej zwanym w referacie żużlem energetycznym) wraz z oceną przydatności tych mieszanin w technologii podsadzki hydraulicznej. Masowy udział żużla energetycznego w mieszaninie wynosił 0, 5, 10, 15 i 20%. Zastosowanie materiałów podsadzkowych w technologii podsadzki hydraulicznej reguluje norma PN-93/G-11010, zgodnie z którą do podsadzki można stosować między innymi materiały skalne, takie jak piasek czy żwiry, oraz materiały odpadowe jak żużle, skały płonne lub inne odpady przemysłowe. Wszystkie te materiały muszą być przebadane na szereg właściwości wymaganych normą. Norma dopuszcza dwa zakresy badań: pełne i niepełne. Zakres badań pełnych wykonuje się zazwyczaj w przypadku konkretnego już miejsca aplikacji danego materiału. Natomiast na etapie rozpoznawczym zakres badań niepełnych jest w zupełności wystarczający na określenie zgodności materiału z wymaganiami normowymi. Zgodnie z normą dla różnych materiałów wymagane są różne rodzaje badań. W ramach badań wykonano następujące oznaczenia dla danych materiałów:

- ✧ zawartości ziarn o wymiarach poniżej 0,1mm (dla piasku i żuźla),
- ✧ rozmywalności (dla żuźla),
- ✧ składu chemicznego oraz wymywalności substancji chemicznych (dla żuźla),
- ✧ promieniotwórczości (dla żuźla),
- ✧ ściśliwości (dla gotowych mieszanin piskowo-żuźlowych).

3. Wyniki badań

Do badań wykorzystano kopany piasek podsadzkowy oraz żużel energetyczny o kodzie 10 01 01. Na bazie tych materiałów wykonano pięć mieszanek podsadzkowych, różniących się udziałem masowym żuźla w mieszaninie wynoszącym 0, 5, 10, 15 i 20%.

3.1. Oznaczenia zawartości ziarn poniżej 0,1 mm

Wyniki badań analizy ziarnowej (oznaczenia ziarn poniżej 0,1 mm) piasku oraz żuźla energetycznego przedstawiono w tabeli 2.

TABELA 2. Skład granulometryczny piasku oraz żuźla energetycznego

TABLE 2. Grain size distribution of sand and energetic slag

Wymiar oczka sita [mm]	Piasek podsadzkowy		Żużel energetyczny	
	pozostałość na sicie [%]	suma pozostałości [%]	pozostałość na sicie [%]	suma pozostałości [%]
8	–	–	–	–
4	–	–	8	8
2	–	–	11	19
1	5	5	10	29
0,5	8	13	11	40
0,1	85	98	49	89
Poniżej 0,1	2	100	11	100
Razem	100	–	100	–

Jak widać żużel charakteryzuje się w swoim składzie granulometrycznym udziałem frakcji o zawartości poniżej 0,1mm wynoszącym 11%. W przypadku badanego piasku udział ziarn poniżej 0,1mm wynosił 2%. W odniesieniu do wymagań normy w tym zakresie piasek klasyfikuje się w I klasie materiałów podsadzkowych, natomiast żużel w klasie II.

3.2. Oznaczenie rozmywalności

Badanie rozmywalności przeprowadzono wyłącznie dla żużla energetycznego zgodnie z zaleceniami normowymi. Wyniki badania przedstawiono w tabeli 3. Jak wynika z przeprowadzonych badań wykorzystany do badań żużel charakteryzował się rozmywalnością średnią wynoszącą 4,9%. Wartość ta spełnia wymagania normy, która dopuszcza materiał podsadzkowy o maksymalnej rozmywalności wynoszącej 20%.

TABELA 3. Rozmywalność żużla energetycznego

TABLE 3. Washout ability of energetic slag

Materiał badany	Rozmywalność [%]
Próba 1	4,5
Próba 2	5,3
Próba 3	4,8
Średnia	4,9

3.3. Skład chemiczny oraz wymywalność substancji chemicznych

Badanie składu chemicznego oraz test wymywalności substancji szkodliwych zgodnie z normą przeprowadzono tylko dla żużla. Z przeprowadzonych analiz chemicznych wynika,

TABELA 4. Analiza składu chemicznego żużla energetycznego

TABLE 4. Analysis of the chemical composition of energetic slag

Oznaczenie	Zawartość po przepaleniu w 815°C	Zawartość po przeliczeniu na stan wyjściowy
	[% wag.]	
SiO ₂	55,62	50,98
Al ₂ O ₃	25,40	23,28
Fe ₂ O ₃	8,32	7,63
CaO	2,75	2,52
MgO	1,79	1,64
Na ₂ O	0,60	0,55
K ₂ O	2,92	2,68
SO ₃	0,23	0,21
TiO ₂	1,18	1,08
P ₂ O ₅	0,37	0,34
Straty prażenia	–	8,35
Suma	99,18	99,26

że żużel energetyczny wykazuje krzemionkowo-glinowy charakter o zawartości 50,98% SiO₂ oraz 23,28 Al₂O₃ ze znacznym udziałem żelaza (7,63% Fe₂O₃). Dokładny skład chemiczny żużla zestawiono w tabeli 4, natomiast test wymywalności substancji chemicznych w tabeli 5. Wyciąg wodny z badanego żużla wykazuje lekko zasadowy charakter o wartości pH równym 8,24 i mieści się w dopuszczalnym przedziale dla materiałów podsadzkowych. Stwierdzone stężenia zarówno metali ciężkich w badanym wyciągu wodnym jak i stężenia siarczanów, chlorków, sodu, potasu są znacznie niższe niż od dopuszczalnych wartości określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. [6]. Stwierdzone stężenia wymienionych składników wyciągu wodnego z badanego żużla spełniają wymagania ekologiczne dla materiałów do podsadzki hydraulicznej zgodnie z PN-93/G-11010.

TABELA 5. Test wymywalności żużla energetycznego

TABLE 5. Leaching test of energetic slag

Oznaczenie	Wartość oznaczona	
	[mg/l]	[mg/kg s.m.]
SO ₄ ²⁻	92,61	854,8
Cl ⁻	<4,20	<38,77
Na	2,8	25,8
K	2,6	24,0
N _{NH4}	<0,45	<4,15
As	<0,02	<0,18
Cd	<0,005	<0,046
Cr	<0,02	<0,18
Cu	<0,02	<0,18
Fe	<0,03	0,28
Hg	<0,02	<0,18
Mn	<0,02	<0,18
Ni	<0,02	<0,18
Pb	<0,02	<0,18
Zn	<0,02	<0,18
ChZT _{Mn}	1,18	
pH	9,44	

3.4. Oznaczenie promieniotwórczości

Wyniki analizy spektrometrycznej żużla energetycznego przedstawiono w tabeli 6. Zgodnie z wymaganiami normowymi materiały odpadowe, w których sumaryczne stężenie izotopów radu nie przekracza 10kBq/kg, mogą być stosowane do podsadzki prowadzonej metodą

TABELA 6. Wyniki analizy spektrometrycznej żużla energetycznego

TABLE 6. The results of spectral analyses of energetic slag

Stężenie nuklidów promieniotwórczych, Bq/kg			
²²⁶ Ra	²²⁸ Ra	²²⁴ Ra	⁴⁰ K
88,1±6,4	83,4±1,7	83,2±2,4	800±26

na mokro. Jak wynika z tabeli 6 badany żużel energetyczny spełnia wymagania normowe w tym zakresie.

3.5. Oznaczenie ściśliwości

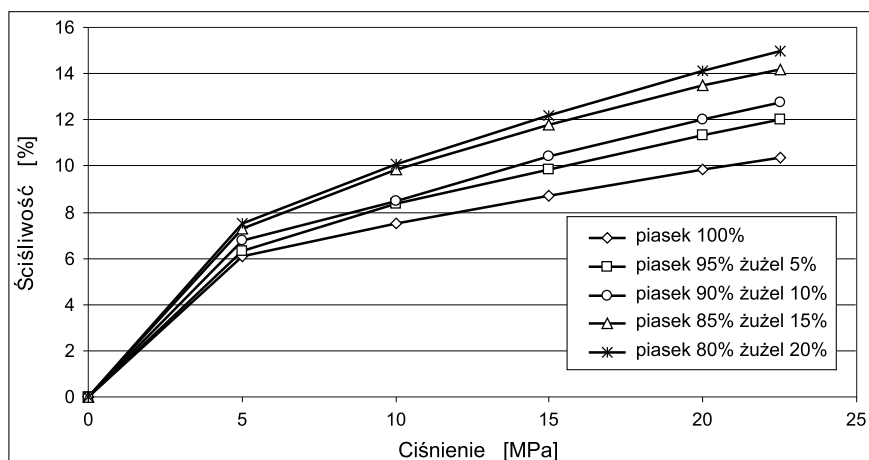
Badania ściśliwości przeprowadzono dla piasku oraz pięciu mieszanin piasku z żużlem, gdzie udział masowy żużla energetycznego zawierał się w przedziale od 5 do 20%. Każdorazowo badaniu podlegały trzy próbki tego samego materiału. Zestawienie wartości średnich otrzymanych wyników badań ściśliwości przedstawiono w tabeli 7 oraz na rysunku 1.

TABELA 7. Zestawienie uśrednionych wyników badań ściśliwości prób mieszanek piasku i żużla energetycznego

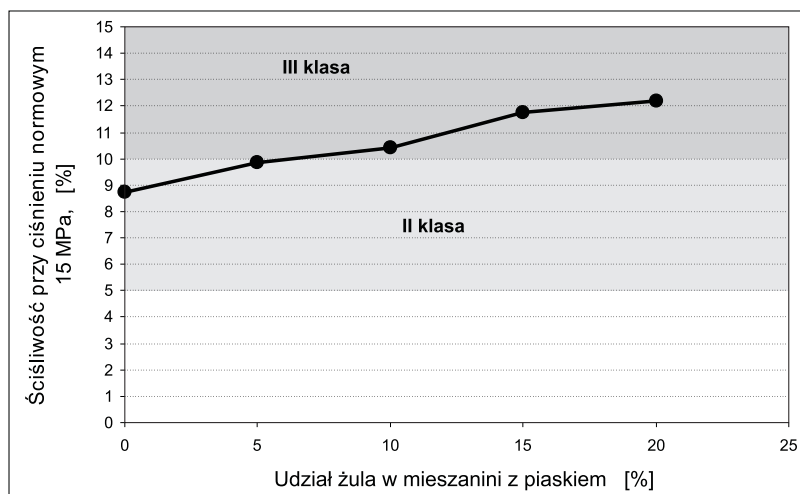
TABLE 7. Summary of averaged test results of compressibility samples, mixtures of sand and energetic slag

Skład masowy [%]		Ciśnienie [MPa]				
piasek	żużel	5	10	15	20	22,5
100	–	6,07	7,53	8,73	9,83	10,37
95	5	6,33	8,37	9,87	11,33	12,00
90	10	6,77	8,50	10,40	12,03	12,77
85	15	7,27	9,83	11,77	13,47	14,17
80	20	7,50	10,07	12,20	14,10	14,97

Zgodnie z wymaganiami normowymi za wynik badania ściśliwości przyjmuje się wartość osiągniętą przy ciśnieniu 15 MPa. Jak widać z przedstawionych wyników badań próbka składająca się ze 100% piasku przy ciśnieniu 15 MPa charakteryzowała się średnią ściśliwością 8,73%. Zgodnie z normą odpowiada to materiałom w II klasie ściśliwości. Mieszanki piasku i żużla o udziale masowym żużla do 20% posiadały wartości ściśliwości wyższe w zakresie od około 9 do 12,2%. Większy udział żużla w mieszaninie z piaskiem powoduje wzrost ściśliwości i przy maksymalnym udziale żużla wynoszącym 20% średnia wartość wynosiła 12,2%, co klasyfikuje tę mieszaninę w III klasie materiałów podsadzkowych. Zestawienie wartości ściśliwości przy ciśnieniu 15MPa z podziałem na klasy podsadzkowe zestawiono na rysunku 2.



Rys. 1. Ściśliwość mieszanin piasku i żużla energetycznego
 Fig. 1. The compressibility of sand and slag energy mixtures



Rys. 2. Wartości ściśliwości przy ciśnieniu 15MPa dla mieszanin piasku i żużla
 Fig. 2. Values of compressibility at the 15 MPa pressure for mixtures of sand and slag

Podsumowanie

Odkrywkowa kopalnia piasku „Maczki-Bór” od kilkadziesiąt lat jest stałym dostawcą piasku podsadzki wykorzystywanego w podsadźce hydraulicznej do podsadzania pustek poeksploatacyjnych w procesie wydobywania węgla kamiennego. Stosowanie podsadzki

hydraulicznej w polskich kopalniach węgla kamiennego rokrocznie spada i obecnie w Polsce technologia ta jest stosowana w czterech wyrobiskach ścianowych. Biorąc pod uwagę obecną trudną sytuację polskiego górnictwa węgla kamiennego, poszczególne kopalnie mogą być zmuszone – celem zapewnienia wydobycia – do sięgnięcia po udostępnione i rozcięte już partie złożowe zalegające często pod terenami zurbanizowanymi wymagającymi ochrony powierzchni. Wykorzystanie w takim przypadku do podsadzki jako składnika żużla energetycznego w istotny sposób może wpłynąć na obniżenie kosztów takiej eksploatacji

W referacie przedstawiono badania mieszanin piasku podsadzkowego wydobywanego w kopalni „Maczki Bór” z odpadem energetycznym w postaci żużla powstającego po spaleniu węgla kamiennego o kodzie 10 01 01 wraz z oceną przydatności tych mieszanin w technologii podsadzki hydraulicznej. Masowy udział żużla w mieszaninie wynosił 0, 5, 10, 15 i 20%. W dostępnej publikowanej literaturze w ostatnich kilkunastu latach nie ma wyników podobnych badań materiałów podsadzkowych. Zastosowanie materiałów podsadzkowych w technologii podsadzki hydraulicznej reguluje norma PN-93/G-11010, zgodnie z którą do podsadzki można stosować między innymi materiały skalne, takie jak piasek czy żwiry, oraz materiały odpadowe jak żużle, skały płonne lub inne odpady przemysłowe. Wszystkie te materiały muszą być przebadane na szereg właściwości wymaganych normą. Na podstawie uzyskanych wyników badań w referacie pokazano, że mieszanina piasku i żużla paleniskowego może być pełnowartościowym materiałem podsadzkowym spełniającym wymagania normowe, zapewniając jednocześnie aspekt ekologiczny związany z wykorzystaniem odpadu. Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- ✧ badania uziarnienia materiałów podsadzkowych wykazały, że w przypadku piasku ilość ziaren poniżej 0,1 mm wynosi około 2% natomiast w przypadku żużla około 11%,
- ✧ rozmywalność żużla wynosiła 4,9%, co klasyfikuje ten materiał w I klasie materiałów podsadzkowych,
- ✧ badania toksyczności i promieniotwórczości żużla wykazały, że materiał ten spełnia wymagania normowe i może mieć zastosowanie do podsadzki hydraulicznej,
- ✧ oznaczenie ściśliwości mieszanin piasku i żużla wykazało, że dla spełnienia wymagań normowych w II klasie możliwa jest domieszka żużla w ilości masowej do 5%. Większy jego udział do około 20% w mieszaninie powoduje zwiększenie ściśliwości i klasyfikację mieszaniny do klasy III.

Na podstawie przeprowadzonych badań należy stwierdzić, że mieszanina piasku z żużlem będącym odpadem energetycznym w ilości do 20% stanowi pełnowartościowy materiał podsadzkowy spełniający wymagania II i III klasy materiałów podsadzkowych. Taki udział żużla w znaczący sposób może obniżyć koszty zakupu materiału podsadzkowego oraz pozwoli na racjonalną gospodarkę obecnie eksploatowanego złoża piasku oraz ochronę terenów przed koniecznością tworzenia w przyszłości nowych wyrobisk odkrywkowych. Dodatkowym aspektem ekologicznym jest wykorzystanie w postaci odzysku do sporządzenia mieszaniny podsadzkowej odpadu energetycznego w postaci żużla, co znacznie ograniczy konieczność jego składowania.

Literatura

- [1] *Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce*. Państwowy Instytut Geologiczny Warszawa, 2012. ISSN 1425–2910.
- [2] PLEWA, F. i MYSLEK, Z. 2001. *Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice.
- [3] PN-93/G-11010. *Materiały do podsadzki hydraulicznej. Wymagania i badania*.
- [4] Materiały własne kopalnia piasku „Maczki-Bór”
- [5] LISOWSKI, A. 1979. *Podsadzka hydrauliczna w polskim górnictwie*. Wydawnictwo Śląsk.
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006r w sprawie warunków jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego (Dz.U. Nr 137, poz. 984 z późn. zmianami).
- [7] PLEWA i in. 2009 – PLEWA, F., POPCZYK, M. i PIONTEK, P. 2009. Zastosowanie ubocznych produktów spalania z kotłowni fluidalnych energetyki zawodowej w podsadzce hydraulicznej. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. Wydawnictwo IGSMiE PAN Kraków.
- [8] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001r w sprawie katalogu odpadów. Dz.U. z 2001 r. nr 112, poz. 1206.

Marcin POPCZYK

Applications for hydraulic backfill mixture of sand with energetic slag

Abstract

For decades, sand has successfully been used as a material for filling underground cavities to protect the surface terrain against mining damage. Hydraulic backfill operations are more time-consuming and expensive than the caving operation, thus for many years research has been undertaken on the introduction into the backfill mixture of cheaper materials from available waste products.

This paper presents the results of mixtures of backfill filling sand retrieved from the mine “Maczki-Bor”, using waste from energy production in the form of slag in compliance with PN-G/11010 “Hydraulic backfill materials”. The study made the following determinations: grain composition, washout ability, chemical composition and leaching of harmful substances, radioactivity, and compressibility.

For this test, a mixture of sand with slag was used with a mass fraction of the slag amounting to 0.5, 10, 15, and 20%. Based on the performed tests, it can be concluded that the test material, the sand and slag and their mixtures, meet the standard requirements, and may be applied to the hydraulic backfill. The use of energetic slag as a component of the backfill mixture also has a positive ecological aspect contributing to the environment by reducing its storage elsewhere.

KEY WORDS: hydraulic backfill, energetic waste, filling materials

