

Stanisław ROPSKI
Czesław KWIECIŃSKI

Instytut Górnictwa Podziemnego
i Bezpieczeństwa Pracy
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica
w Krakowie

NOWE TECHNOLOGIE STOSOWANIA ZAWIESINY POPIOŁOWO-WODNEJ W PRAKTYCE GÓRNICZEJ

Streszczenie. Autorzy prezentują wyniki badań laboratoryjnych podstawowych własności fizyko-mechanicznych zawiesin popiołowo-wodnych.

W oparciu o wyniki tych badań proponują nowe technologie stosowania zawiesiny popiołowo-wodnej w górnictwie podziemnym, a w szczególności do likwidacji wyrobisk korytarzowych, scalania gruzowiska zawałowego, izolacji zrobów i inne.

Poszczególne technologie zilustrowano przykładami praktycznego ich stosowania w kopalniach podziemnych.

1. Wprowadzenie.

Rozwój energetyki światowej, szczególnie w krajach, w których opiera się ona na paliwie węglowym spowodował, że zagadnienie składowania i zagospodarowywania odpadów elektrownianych stanowi jeden z podstawowych problemów dla gospodarki narodowej. Równocześnie ze wzrostem produkcji odpadów wzrasta ilość terenów przeznaczonych na ich składowanie.

Problem ten szczególnie jaskrawo występuje w Polsce, gdyż produkcja energii elektrycznej oparta jest głównie na węglu kamiennym i brunatnym. Tak wytworzonej energii towarzyszy aktualnie powstawanie rocznie ponad 20 mln. Mg. Odpady te to przede wszystkim odpady paleniskowe, na które składają się popioły i żużle.

Zagadnienie utylizacji popiołów bieżąco produkowanych i zalegających wielohektarowe składowiska stanowi od kilku lat przedmiot badań w szeregu ośrodkach naukowych.

Jeden z kierunków tych badań dotyczy masowego wykorzystania popiołów lotnych w technologiach stosowanych w górnictwie podziemnym, a w szczególności do różnych podsadzek.

Istotną nowością w tym zakresie są prowadzone w Zakładzie Techniki Podziemnej Eksploatacji Węgla Instytutu Górnictwa Podziemnego i Bezpieczeństwa Pracy Akademii Górniczo-Hutniczej badania zmierzające do zastosowania w kopalniach podziemnych zawiesiny popiołowo-wodnej [2, 3, 4, 5, 6].

Sposób sporządzenia zawiesiny oraz możliwości jej transportu wymuszonego lub grawitacyjnego oraz własności fizyko-mechaniczne i chemiczne zostały przedstawione przez Autorów w ramach V Seminarium "Transport i Sedymentacja Cząstek Stałych" [1] z omówieniem pierwszych eksperymentów i wdrożeń przemysłowych - zawiesiny, jako środka izolująco-uszczelniającego w kopalniach podziemnych. Kontynuowane badania w latach 1984-86 pozwoliły na rozszerzenie zakresu i możliwości zastosowania zawiesiny popiołowo-wodnej w różnych technologiach górniczych.

2. Badania laboratoryjne

Badaniami objęto popioły lotne z elektrowni i elektrociepłowni zawodowych oraz małych ciepłowni przykopalnianych. Należy zaznaczyć, że zakłady te spalały węgle pochodzące z różnych kopalń oraz z różnych pokładów, oznaczając wybrane własności fizyko-mechaniczne i chemiczne popiołów lotnych, jak również sporządzonych na ich bazie wodnych zawiesin. Wyniki badań laboratoryjnych popiołów lotnych zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Wybrane własności fizyko-chemiczne badanych popiołów lotnych

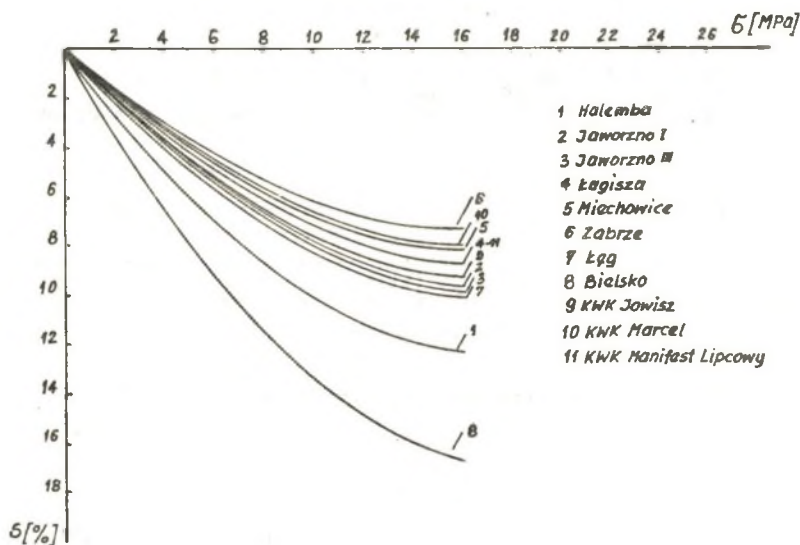
Popiół lotny z elektrowni	Gęstość właściwa g/cm^3	Powierzchnia właściwa cm^2/g	Zawartość CaO %	Stosunek zawartości $Si_2O_2 : Al_2O_3$	
				1	2
Halemba	2,2513	2725	4,17	2,15	
Jaworzno I	2,2503	3120	3,12	2,17	
Jaworzno III	2,1983	3100	2,25	2,47	
Łagisza	2,1854	2980	6,12	2,21	
Miechowice	2,3314	2614	7,5	2,07	
Zabrze	2,1734	2800	3,75	2,14	
Łęg	1,8211	2450	3,35	2,13	
Bielsko-Biała	2,4743	3520	2,48	2,04	
KWK "Jowisz"	1,9550	2850	3,15	2,38	
KWK "Marcel"	2,1326	3964	1,19	2,07	
KWK "Manifest Lipcowy"	2,1753	4950	3,34	2,11	

Badane popioły lotne charakteryzowały się zbliżonym ciężarem właściwym. Stwierdzono zróżnicowanie powierzchni właściwej, przy czym nie zawsze większą powierzchnię właściwą charakteryzowały się popioły o większym ciężarze właściwym (np. popiół z El. "Bielsko-Biała" i popiół z KWK "Manifest Lipcowy". Biorąc pod uwagę powierzchnię właściwą i skład granulometryczny badane popioły lotne zaliczyć można do grupy drobno i średnioziarnistych [6]. Badania chemiczne wykazały, że w związku z tym, iż stosunek zawartości $Si_2O_2 : Al_2O_3$ oraz $CaO < 15\%$, badane próbki należy zakwalifikować do grupy popiołów krzemianowo-glinowych.

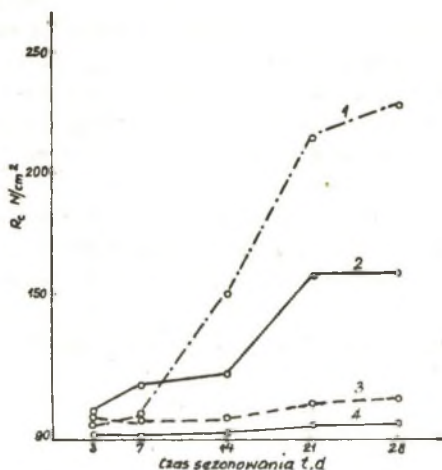
Zawiesinę popiołowo-wodną do badań laboratoryjnych sporządzono w specjalnie wykonanym mieszalniku, który zapewniał ustaloną dynamikę mieszania. Badano zawiesiny o koncentracji (popiół woda - wagowo) 1 : 1 i większej

(3 : 1) w oparciu o normę [6] określono maksymalną koncentrację zawiesiny wyrażającą się rozplywalnością. Stwierdzono, że zawiesina ma koncentrację maksymalną przy takim stosunku popiołu do wody, przy którym jej rozplyw wynosi 12 : 13 cm. W tabeli 2 zestawiono uzyskane w warunkach laboratoryjnych wybrane własności badanych zawiesin popiołowo - wodnych. Dla badanej grupy popiołów wynoszą one 1,2 : 3,1 części popiołu na 1 część wody. W tabeli 2 zestawiono również własności mechaniczne zawiesin o koncentracjach łatwych do uzyskania w próbach przemysłowych.

Zawiesina popiołowo-wodna po sporządzeniu charakteryzuje się konsystencją płynną, dzięki czemu można ją transportować rurociągami w sposób wymuszony lub grawitacyjnie. W zawieszynie popiołowo-wodnej mamy do czynienia z samodzielnym wiązaniem popiołu lotnego w kontakcie z wodą. W wyniku tego zawiesiny po 3 + 7 dobach charakteryzują się doraźną wytrzymałością na ściskanie (R_c) na ogół mniejszą od $0,1 \text{ kN/cm}^2$, która wzrasta wraz z czasem sezonowania, co przedstawiono na wykresie rys. 1 i 2.



Rys. 1. Wykres ścisłości zawiesin popiołowo-wodnych



Rys. 2. Wykres wytrzymałości doraźnej na ściskanie R_c próbek zawiesiny popiołowo-wodnej (2:1)
Elektrownie: 1-Zabrze, 2-Miechowice, 3-Łagisza, 4-Jaworzno

Tabela 2

Wybrane własności mechaniczne badanych zawiesin popiołowo-wodnych

Popiół lotny z elektrowni	Stosunek wagowy popiołu lotnego do wody		Wytrzymałość doraźna N/cm^2	Ściśliwość normowa po 28 dobach %	Wodoprzepuszczalność po 28 dobach m/s
	Maks. koncentr.	Badana koncentr.			
1	2	3	4	5	6
Halemba	2,1:1,0	2,0:1,0	100,8	12,2	$5,8 \cdot 10^{-6}$
Jaworzno I	2,4:1,0	2,0:1,0	100,5	9,6	$5,2 \cdot 10^{-6}$
Jaworzno III	3,1:1,0	2,0:1,0	100,5	9,8	$4,2 \cdot 10^{-7}$
Łagisza	2,7:1,0	2,0:1,0	111,5	8,6	$4,8 \cdot 10^{-6}$
Miechowice	2,6:1,0	2,0:1,0	160,0	8,2	$5,4 \cdot 10^{-7}$
Zabrze	2,5:1,0	2,0:1,0	228,9	7,3	$6,0 \cdot 10^{-7}$
Łęg	2,7:1,0	2,0:1,0	38,0	10,3	$5,7 \cdot 10^{-7}$
Bielsko-Biała	1,8:1,0	1,5:1,0	2,0	16,4	$1,9 \cdot 10^{-6}$
KWK "Jowisz"	1,8:1,0	1,5:1,0	8,0	9,1	$2,7 \cdot 10^{-6}$
KWK "Marcel"	1,2:1,0	1,0:1,0	8,1	8,1	$2,2 \cdot 10^{-6}$
KWK "Manifest Lipcowy"	1,6:1,0	1,5:1,0	20,0	8,6	$2,6 \cdot 10^{-6}$

Istotne znaczenie dla praktyki górniczej ma ściśliwość materiału pod-sadzowego. W tabeli 2 zestawiono ściśliwość stwardniałej zawiesiny (po 28 dobach) przy naprężeniu ściskającym $1,4 \cdot 715 \text{ kN/cm}^2$.

Ścisłość zawieszin zdecydowanej większości badanych przypadków jest mniejsza od 10%.

Reasumując, można stwierdzić, że z punktu widzenia przydatności zawiesziny popiołowo-wodnej do praktyki górniczej najbardziej istotnymi jej właściwościami fizyko-mechanicznymi są:

- konsystencja płynna świeżej zawiesziny umożliwiająca jej transport rurociągami (grawitacyjny lub wymuszony) oraz wnikanie w szczeliny górotworu,
- zjawisko twardnienia i wiązania (po 3 do 7 dobach),
- mała ścisłość stwardniałej zawiesziny (na ogół 10%),
- praktyczna nieprzepuszczalność dla wody i gazów.

Rozwinięciem prezentowanych w niniejszym rozdziale badań było określenie możliwości stosowania zawiesziny w różnych technologiach górniczych. Ograniczona objętość referatu nie pozwala na pełne i wyczerpujące przedstawienie wszystkich przeprowadzonych badań, jak również omówienie badań modelowych związanych z określeniem wpływu zawiesziny na rekonsolidację gruzowiska zawałowego, jego ścisłości oraz zastosowania do likwidacji zbiorników wodnych.

3. Praktyczne wykorzystanie zawiesziny popiołowo-wodnej w górnictwie podziemnym

Możliwości stosowania zawiesziny popiołowo-wodnej zaprezentowano wcześniej w szeregu pracach [1, 3, 4, 5]. Od tego czasu Autorzy zebrali nowe doświadczenia pozwalające na przedstawienie typowych przykładów nowych technologii jej stosowania w praktyce górniczej.

Główne zastosowania dotyczą:

- likwidacji zbędnych wyrobisk korytarzowych,
- wypełniania zrobów zawałowych,
- wypełniania i uszczelniania gruzowiska zawałowego w czynnych wyrobiskach ścianowych,
- izolacji zrobów,
- innych możliwości wykorzystania zawieszin.

3.1. Likwidacja zbędnych wyrobisk korytarzowych

Największym doświadczeniem w tym zakresie dysponuje KWK "Generał Zawadzki" [5, 7], w której stosując zawieszinę popiołowo-wodną zlikwidowano ponad 3500 m zbędnych wyrobisk korytarzowych z wykonaniem istniejącej instalacji podsadzkowej w połączonym układzie ze stacją sporządzania zawiesziny w Elektrowni "Łagisza" [9] rurociągiem o długości ponad 4000 m. Inne kopalnie, np. "Brzeszcze", "Marcel" wykorzystują zawieszinę również do tego celu z wykorzystaniem własnych powierzchniowych stacji sporządzania zawiesziny i grawitacyjnego transportu. W likwidowanych wyrobiskach korytarzowych niezbędnym jest wykonywanie szczelnych tam zabezpieczających niekontrolowany wpływ zawiesziny.

3.2. Wypełnianie zrobów zawałowych

Technologia ta jest stosowana w kopalniach "Generał Zawadzki", "Bobrek" [7, 8] i "Siemianowice". Przykładowo w KWK "Generał Zawadzki" wypełnianie zrobów prowadzi się równocześnie z likwidacją przyległych do ścian chodników. W trakcie tych prac uzyskano potwierdzenie własności penetrujących zawiesiny i jej zdolności do wciskania w szczeliny i spękania górotworu. Ponadto stwierdzono, że ilość wprowadzonej do zrobów zawiesiny przekroczyła dwukrotnie wcześniejsze teoretyczne obliczenia ich pojemności oraz zapewniła pełne wypełnienie i izolację.

3.3. Wypełnianie i uszczelnianie gruzowiska zawałowego w czynnych wyrobiskach ścianowych

Zebrane doświadczenia wypełniania zrobów zawałowych pozwoliły na rozszerzenie stosowania zawiesiny i wprowadzenie jej do wypełniania zrobów czynnych ścian zawałowych. Prace te prowadzone są w kopalniach "Generał Zawadzki" i "Bobrek". Celem zastosowania zawiesiny popiołowo-wodnej było zabezpieczenie przeciwpożarowe zrobów oraz stabilizacja sieci wentylacyjnej. Ponadto w KWK "Generał Zawadzki" zbadanie wpływu stosowania tej technologii na zmniejszenie odształceń powierzchni terenu. Uzyskany materiał dokumentacyjny prowadzonej eksploatacji (obserwacje geodezyjne) wykazały wyraźne zmniejszenie skutków deformacji terenu wywołanej eksploatacją zawałową przy zastosowaniu zawiesiny do wypełniania pustek międzyziarnowych zawału.

3.4. Izolacja zrobów

Zawiesina popiołowo-wodna jest doskonałym środkiem izolująco-uszczelniającym. Te własności wykorzystywane są przez większość kopalń stosujących zawiesinę. Szczególnie duże doświadczenie ma w tym zakresie KWK "Brzezcze" w kopalni tej za pomocą zawiesiny likwidowane są pochyłe wyrobiska korytarzowe w pokładzie, dzięki czemu ogranicza się do minimum wpływ metanu na główne drogi wentylacyjne. Z zawiesiny wykonuje się również izolację zrobów wokół tam izolacyjnych, dzięki czemu zmniejsza się przepływ powietrza przez zroby. W efekcie wzrasta koncentracja metanu za tamą, a tym samym zwiększa się ilość ujmowanego i przeznaczonego do wykorzystania metanu. W KWK "Mysłowice" wykorzystano własności izolujące zawiesiny do likwidacji pola pożarowego [5]. Zawiesinę sporządzono w Elektrowni "Łągisza" dostarczano do kopalni cementowozami, a następnie grawitacyjnie rurociągiem podszkawkowym opuszczano na dół kopalni do pola pożarowego.

3.5. Inne możliwości wykorzystania zawiesin

Oprócz przedstawionych, sprawdzonych technologii stosowania zawiesiny popiołowo-wodnej istnieje szereg innych możliwości jej zagospodarowania [5], [7]. Przede wszystkim to likwidacja płytkich pustek [10]. Pierwsze próby wykonane na terenie Sosnowca dały pozytywne wyniki, a sposób ten winien być rozpowszechniony.

Doświadczenia zebrane przy wypełnianiu gruzowisk zawałowych, możliwości penetracyjne zawiesiny oraz jej własności wiążące pozwalają na wykorzystanie zawiesiny jako materiału scalającego gruzowiska zawałowe, w celu wytworzenia sztucznego stropu przy eksploatacji grubego pokładu z podziałem na warstwy. W tym zakresie są prowadzone prace wdrożeniowe w KWK "Julian" i "Bobrek". Natomiast w KWK "Generał Zawadzki" rozpoczęto przygotowanie do likwidacji zbiornika wodnego według technologii opracowanej w oparciu o przedstawione wcześniej badania laboratoryjne.

4. Podsumowanie

Scharakteryzowane własności zawiesiny popiołowo-wodnej oraz przedstawione przykłady zastosowań przemysłowych dowodzą, że po raz pierwszy w kraju opracowane technologie pozwalają na masowe użycie popiołów lotnych w kopalniach podziemnych.

Dzięki wdrożeniu nowych technologii stosowania zawiesin popiołowo-wodnych w latach 1985-86 górnictwo podziemne węgla kamiennego zagospodarowało około 500 tys. Mg suchych popiołów lotnych, co ma ogromne znaczenie dla ochrony środowiska naturalnego.

W wyniku stosowania zawiesin kopalnie uzyskały wymierne efekty techniczno-ekonomiczne oraz poprawę bezpieczeństwa pracy.

Literatura

1. Rospki S., Mazurkiewicz M., Piotrowski Zb., Postawa J:
Zawiesina popiołowo wodna jako środek izolujące-uszczelniający w kopalniach podziemnych. V Seminarium Transportu i Sedymentacji Częstok Stałych. 3-7.09. 1984 r. Wrocław
2. Praca zbiorowa:
Badania przydatności zawiesiny popiołów lotnych w wodzie o dużej koncentracji Etap I, II, IGPiBP-AGH 1982. Maszynopis niepublikowany.
3. Praca zbiorowa.
Badania nad ustaleniem warunków stosowania popiołów lotnych z EC. "Łęg" do likwidacji wyrobisk podziemnych w KS "Wieliczka" - maszynopis niepublikowany AGH Kraków 1984 r.
4. Projekt wynalazczy AGH nr 124412:
Sposób likwidacji i zabezpieczania pustek podziemnych.
5. Ropski S., Mazurkiewicz M., Piotrowski Zb.:
O możliwościach stosowania zawiesiny popiołów lotnych w wodzie w kopalniach podziemnych. Przegląd Górniczy nr 1. 1985 r.
6. Norma BN-79/672209:
Popioły lotne i żużle z kotłów opalanych węglem kamiennym i brunatnym.
7. Dłużewski E., Gaździk F., Ropski S., Piotrowski Zb.:
Przemysłowe zastosowanie popiołów lotnych w postaci wodnej ich zawiesiny-emulgatu w KWK "Generał Zawadzki". Wiadomości Górnicze 5-6 1984 r.

8. Krajewski K., Naczyński A., Chwoła R., Nowicki S.:
Sposób masowego składowania popiołów lotnych (pyłów dymnicowych) na dole kopalni "Bobrek". Wiadomości Górnicze nr 5-6/85.
9. Projekt wynalazczy PdOEn nr P-218778:
Sposób sporządzania zawiesziny popiołów lotnych w wodzie oraz układ urządzeń do wytwarzania i transportu rurowego tej zawiesziny.
10. Mazurkiewicz M., Piotrowski Zb.:
Grawitacyjne podszadanie płytkich zrobów zawiesziną popiołów lotnych w wodzie. Ochrona Terenów Górniczych nr 66 1984 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan PALARSKI

Wpłynęło do Redakcji 1987.02.26

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛЬНО-ВОДНОЙ СУСПЕНЗИИ В КАМЕННО-УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Р е з ю м е

Летучая зола, являющаяся массовым отходом электростанций, уже свыше десяти лет представляет собой предмет исследований и дискуссий. Обсуждаются возможности ее широкого использования в каменноугольных шахтах.

В Польше теоретические работы по этому вопросу ведутся, главным образом, на Кафедре подземной эксплуатации угля в Институте горного дела и безопасности труда Краковской горно-металлургической академии. Существенным новшеством этой проблемы является применение летучей золы с большой ее концентрацией в воде в виде сгущенных суспензий с соотношением пепла и воды 1-3 до 1. Способ приготовления зольно-водной суспензии, а также возможности принудительной или гравитационной транспортировки были представлены авторами настоящей статьи на V Семинаре "Транспорт и седиментация твердых частиц" с обсуждением первых экспериментов и внедрений в угольных шахтах. В дальнейшем, благодаря экспериментам, проводимым в этой области в 1984-1986 гг., авторы представили результаты лабораторных исследований основных физико-химических особенностей зольно-водной суспензии. На основании полученных результатов были предложены новые технологии использования зольно-водной суспензии в каменноугольных шахтах, в особенности для ликвидации штрековых выработок, стабилизации обрушенного обломочного материала, изоляции выработанного пространства и т.п. Отдельные технологии представлены на примерах их практического применения в каменноугольных шахтах в Польше.

Благодаря внедрению предложенных технологий применения зольно-водной суспензии, в 1985-1986 гг. горноугольная промышленность утилизировала почти полмиллиона тонн сухой летучей золы, принося значительные технико-экономические эффекты, а также существенным образом повлияла на улучшение методов охраны окружающей среды.

NEW TECHNOLOGIES APPLICATION OF ASH-WATER SUSPENSION
IN MINING PRACTICE

S u m m a r y

Flying ashes, which are a mass power tailing, have been investigated and considered for many years in aspect of its wide application at underground mines.

In Poland such kind work have been carried out mainly in The Division of Underground Coal Exploitation in The Institute of Underground Mining and Work Safety at The Academy of Mining and Metallurgy in Cracow.

An essential newness in approach to the subject is an application of flying ashes with great concentration in water in the form of condensed suspension with the rate of ash to water as 1:3 to 1.

The way of preparation of the ash-water suspension and possibilities of its affected transport were presented on The Vth Seminary on Transport and Sedimentation of Solid Particles, with description the first experiments and industrial initiation at underground coal mines.

Developing the investigations which were being carried in 1984-86 the authors present the results of the laboratory tests on a basic physical-mechanical properties of ash-water suspensions. On the basis of this investigation they propose new technologies of application of the ash-water suspension in underground mining, especially to drift's liquidation, merge of cave heap, isolation of abandoned areas, etc. Each technology has been illustrated with the examples of its practical application at Polish coal mines.

Thanks to initiation of presented technology of application of ash-water suspension, in 1985-86 underground coal mining managed about 500,000 Mg of dry flying ashes, which apart from technical-economical effects at mines, especially has an positive effect on natural environment protection.