

Zbigniew Piotrowski*, Maciej Mazurkiewicz*

CHŁONNOŚĆ DOSZCZELNIANYCH ZROBÓW ZAWAŁOWYCH

1. Wprowadzenie

Doszczelnianie zrobów przy eksploatacji węgla z zawałem stropu stosowane było w przeszłości sporadycznie, jedynie w przypadku gaszenia pożarów [17]. W latach 70. XIX wieku używano do tego celu „miniinstalacji” (beczka jako mieszalnik), w których sporządzano zawieszinę najpierw ilów lub popiołów w wodzie [2], potem — piaskowej podsadzki hydraulicznej [1, 5]. Wprowadzenie techniki doszczelniania jako podstawowego środka profilaktyki przeciwpożarowej stało się możliwe dopiero po wdrożeniu w kopalniach technologii zawieszinowej [8]. Dziś technologia ta jest w polskich kopalniach węgla podstawowym środkiem profilaktycznym ograniczającym egzogeniczne pożary w zrobach zawałowych.

Już w początkowym okresie stosowania zawieszin [3, 8] zwrócono uwagę na możliwość wykorzystania doszczelniania zrobów również jako sposobu zmniejszenia deformacji powierzchni. Wykorzystano fakt zmniejszenia porowatości zawału. Pierwsze doświadczenia, uzyskane z początkiem lat 80. XX wieku w KWK „Generał Zawadzki”, wydawały się być obiecujące.

Kolejnymi celami technologicznymi, w których doszczelnianie zrobów zawałowych jest stosowane, to przeciwdziałanie przepływowi powietrza przez nie (ucieczkom), a tym samym polepszenie skuteczności przewietrzania przestrzeni roboczej ścian oraz przeciwdziałanie niekontrolowanemu przepływowi metanu.

We wszystkich przypadkach punktem wyjścia jest problem chłonności gruzowiska, czyli jego porowatości. Chłonność gruzowiska jest wynikiem właściwości skał stropowych, tworzenia się zawału, jego zasięgu, składu granulometrycznego gruzowiska itp. Dalsze rozważania ograniczą się do „klasycznego” stropu zawałowego, zbudowanego ze skał kruchych, to jest takiego, pod którym prowadzi się eksploatację z zawałem jako sposobem wypełniania pustki poeksploatacyjnej; są to więc warunki, w których bez zabiegów geotechnicznych powstaje zawał.

Dociekania nad powyższymi problemami prowadzono od wielu lat. Po raz pierwszy przedstawił je w swojej pracy Staroń [16]. Prowadzono je niejako przy okazji rozważań nad naprężeniami występującymi w skałach wokół wyrobiska ścianowego.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Za pierwsze polskie prace charakteryzujące gruzowisko zawałowe można uznać obserwacje Znańskiego [19, 20]. Wynika z nich, że gruzowisko kształtuje się tuż za linią łączącą, na głębokości do kilkunastu metrów za nią. Wysokość gruzowiska sięga 2–3-krotnej grubości wybranego pokładu. Wyższe warstwy, przemieszczają się pionowo w postaci brył tworzących się zgodnie z siatką podzielności, oddzielonych od siebie szczelinami.

Kolejne badania podjął Lisowski [6]. Przebrał 82 ściany, opisując szczegółowo tworzący się zawał. Ustalił, że grubość warstw stropu tworzących „zawał chaotyczny” wynosi średnio 1,5 grubości wybranego pokładu (maksymalnie 1,9) i jest zależna od warstw stratygraficznych (rodzaju skał stropowych).

Niezwykle dokładne pomiary, choć dla jednego przypadku, wykonał Ropski w początku lat 60. XX wieku [14, 15]. Zrealizował je w KWK „Wesoła”, prowadząc nad ścianą wybraną z zawałem chodnik badawczy, z którego poprzez otwory wiertnicze określał jego wysokość, a także charakter gruzowiska. Wprowadził pojęcia zawału pełnego i wysokiego. Zawał pełny to ten, który tworzą przemieszczające i dezintegrujące się bryły (u Lisowskiego „chaotyczny”). Natomiast zawał wysoki to ten, który tworzą bryły przemieszczające się tylko pionowo, bez dezintegracji (u innych autorów to już strefa osiadania).

Staron podjął temat tworzenia się zawału, prowadząc w ciągu kilkunastu lat obserwacje, w kilkunastu kopalniach [16]. Ich wyniki, co do mechanizmu tworzenia, pokrywały się z wynikami uzyskanymi przez Ropskiego. Stwierdził, że wysokość zawału pełnego osiąga przeciętnie 1–2-krotną grubość wybranego pokładu.

W Polsce rozważania nad charakterem zawału prowadzili również Biliński, Borecki, Chudek, Galanka oraz Sałustowicz. Zostały one szczegółowo omówione w pracy Staronia [16]. W stosunku do omówionych uprzednio, poszerzyły ich stronę opisową, potwierdzając wielkość wysokości zawału i charakter jego gruzowiska. Z badań prowadzonych za granicą zwracają uwagę prace Rosjan (Abramow, Awierszyn, Czuczałow, Czurakow, Slesariew, Słobodianiuk) [16]. Jakościowo zjawisko tworzenia się zawału opisywane jest przez nich analogicznie. Z uwagi na odmienności we właściwościach i charakterze górotworu, ich wyniki nie mają jednak dla nas praktycznego znaczenia.

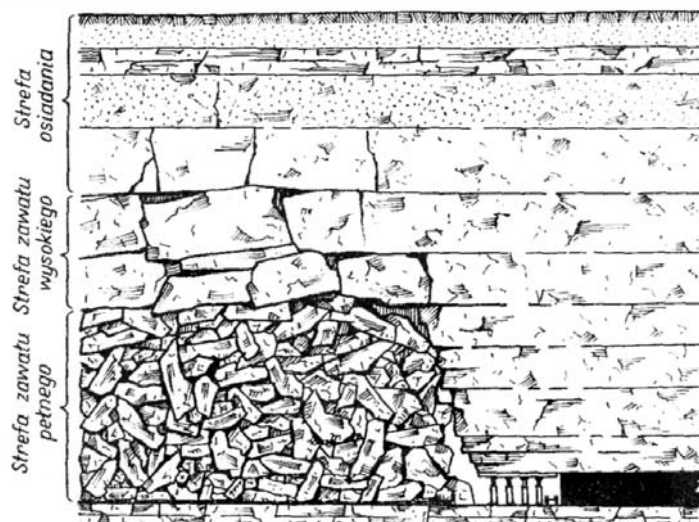
Współcześnie w Polsce, pomijając jednostkowe badania Plewy [13], nie prowadzi się pomiarów w zawałach. Wymienione wcześniej badania obejmowały wykonywanie z chodników przyścianowych zdjęć, a następnie poprzez planimetrywanie obrysów brył i pustek — określanie porowatości zawału.

2. Tworzenie się zawału

Wszyscy cytowani wcześniej Autorzy, zajmując się problematyką tworzenia się zawału, zwracają uwagę na występujące w nim pewne „strefy”. Z punktu widzenia chłonności, istotne są te, w których występują pustki międzybryłowe, drożne dla medium uszczelniającego zawał¹⁾.

¹⁾ W pracy pominięto problem wielkości porów, występowania zjawiska kolmatacji itp.

Ropski [14] tę strefę określa mianem „zawału pełnego” (rys. 1). Tworzące go bryły, opadając „chaotycznie”, powodują powstanie owych pustek międzybryłowych. Przez pustki te, jak wynika z obserwacji, może migrować medium uszczelniające. Powyżej tej strefy, Ropski wyróżnia „zawał wysoki”, czyli gruzowisko powstałe wskutek pionowych przemieszczeń skał i tworzenia się bloków skalnych oddzielonych szczelinami. Podaje, że tworzy go warstwa skał o grubości równej $1+1,5$ grubości wybieranego złoża. Istniejące w tej strefie zawału pustki mają charakter rozwartych szczelin o różnej rozwartości, nie zawsze łączących się ze sobą. Taki ich charakter utrudnia lub uniemożliwia migrację medium. Stąd, oceniając chłonność zrobów, odnosić ją należy jedynie do zawału pełnego.



Rys. 1. Schemat tworzenia się zawału według Ropskiego [16]

Według pozostałych cytowanych autorów, nad zawałem występuje również strefa spękań o nieokreślonej grubości. Nad nią, aż do powierzchni, występuje strefa osiadania, której towarzyszy pękanie skał, z powstawaniem charakterystycznych pustek Webera.

Z ciekawszych, aktualnie prowadzonych prac za granicą, należy wymienić prace Dasa [4], Palchika [10] i Yavuzza [18]. Podobnie jak wspomniane wcześniej prace Rosjana [16] również te dotyczą górotworu o odmiennej budowie, utworzonego z innych skał niż w Zagłębiu Górnośląskim. Ma to wpływ na określane wielkości, a przede wszystkim na wysokość i porowatość zawału.

3. Porowatość zawału

Objętość pustek międzyziarnowych (międzybryłowych) w zawałe z pewnością zależy od właściwości skał, jakie go tworzą. Zwraca na to uwagę Lisowski [6], podając, że gru-

bość warstw skalnych tworzących zawał, przy tej samej wysokości wyrobiska, jest różna dla skał z kilku badanych grup stratygraficznych. Również Szlązak [17], formułuje wniosek, że „współczynnik przepuszczalności zrobów” zależy od rodzaju skał stropowych tworzących zawał.

Według Palchika [10] wysokość, a więc i porowatość zawału zależy nie tylko od rodzaju i właściwości skał, ale również od głębokości eksploatacji.

Pustki, a więc i porowatość, mogą być opisane współczynnikiem rozluźnienia skał zdefiniowanym jako stosunek wysokości zawału pełnego (liczonej od spągu wybranego złoża do warstwy skał zawału wysokiego, z pustkami o charakterze szczelin) do grubości warstwy go tworzącej. Z badań cytowanych autorów wynika, że zawarty on jest w przedziale $1,2 \div 1,5$ (1,7).

Należy zwrócić uwagę, że niektórzy autorzy [11] współczynnik ten definiują inaczej. Proste przeliczenie pozwala na stwierdzenie, że porowatość zawału, a więc objętość pustek w gruzowisku zawału pełnego wynosi: od 17 do 40% (wg Plewy 50% [13]), lub w przeliczeniu na 1 m^3 wybranego złoża od $0,4$ do $1,0 \text{ m}^3$ pustki. Tę drugą granicę należy przyjmować z dużą ostrożnością, raczej jako występującą sporadycznie. Na cele praktyczne można założyć, że rozpatrywana wartość nie będzie przekraczać 1,0.

Jak wspomniano, o porowatości zawału decydują w dużej mierze właściwości skał stropowych. Z badań Lisowskiego [6], Palchika [10], Staronia [16], a zwłaszcza Szlązaka [17], wynika, że większą porowatością charakteryzować się będą skały trudniej przechodzące w stan zawału, a więc piaskowce i łupki piaszczyste.

Drugim zagadnieniem, istotnym z punktu widzenia chłonności zawału, jest zjawisko jego zaciskania (a tym samym zmniejszania porowatości) pod wpływem obciążenia uginających się skał nadległych. Brak jest jednoznacznych wyników, które umożliwiłyby określenie odległości pomiędzy linią zrobów (linia łamaczy) a strefą, w której proces zaciskania pustek międzybryłowych ma miejsce.

Z badań Ropskiego i Znańskiego [14, 15, 19, 20], a także z badań zagranicznych omówionych w pracy Staronia [16] i Dasa [4] wynika, że odległość ta wynosi od kilkunastu, do kilkudziesięciu (60) m, a przemieszczanie warstw stropowych w skałach karbońskich ma charakter przemieszczania bloków. Jest zgodne z badaniami [9] nad ciśnieniem obciążającym podszkłę, które również ma charakter przyrostu okresowo skokowego. Wynika z tego, że drożność zawału dla przepływającego medium będzie występować jedynie w strefie do 60 (100) metrów za linią zrobów.

Szlązak [17] podaje zmierzone przykłady zmian współczynnika przepuszczalności strefy zawału (a więc i porowatości zawału) w funkcji odległości od czoła ściany. Mają one charakter zmian zbliżonych do krzywej wykładniczej. Badania te nie potwierdzają więc cytowanych wniosków pochodzących z obserwacji, z wcześniejszych prac Ropskiego, Staronia i Znańskiego oraz z pomiarów autora. Sugerują, że strefa zaciskania pustek międzybryłowych może występować dalej, nawet kilkaset metrów od czoła ściany. Z punktu widzenia chłonności zrobów jest to korzystniejsze.

W dalszych rozważaniach należy zatem wziąć pod uwagę oba stanowiska, a problem charakteru zaciskania zrobów poddać dalszym obserwacjom.

4. Określenie chłonności zrobów

Badania chłonności zrobów wykonał w połowie lat 90. XX wieku Plewa [12]. Realizował je w skali laboratoryjnej — modelowej. Model, w postaci skrzyni (nie podano wymiarów, można jedynie wnioskować z wyników przedstawionych w formie wykresów, że długość była większa od 2,5 m) wypełniano skałami o ziarnach 150 mm. Porowatość takiego modelu ustalono na 53%. Taki model, beznaporowo, wypełniano mieszaninami wykonanymi z popiołów lotnych („Łaziska”) i odpadów z osadników „Dora” w różnych proporcjach, z istotną przewagą odpadów górniczych i obserwowano ich rozptył. W zależności od gęstości (zawartości wody) stwierdzono, iż rozptył w modelu ma różny zasięg i stopień wypełnienia pustek.

Badania autorów realizowano dla zawiesin popiołowo-wodnych poprzez:

- 1) modelowanie (badania laboratoryjne),
- 2) rejestrację ilości medium wprowadzanego do zrobów.

Te drugie, obejmują wycinkowe wyniki zebrane praktycznie w całym okresie stosowania technologii zawiesinowej w kopalniach, to jest w latach 1983–2003.

Badania modelowe

Celem badań była próba określenia zależności pomiędzy właściwościami zawiesiny a porowatością gruzowiska zawałowego, związaną z rodzajem tworzących go skał i kątem nachylenia modelu — spągu gruzowiska (kątem spływu zawiesiny). Badania realizowano dla zawiesin sporządzanych z dwu rodzajów popiołów lotnych (z kotła „konwencjonalnego” i fluidalnego²⁾) o dwu stosunkach wagowych popiołu do wody. Właściwości zawiesin podano w tabeli 1.

TABELA 1

Właściwości zawiesin stosowanych w badaniach modelowych

Właściwości	Rodzaj popiołu			
	konwencjonalny		fluidalny	
	Stosunek popiołu do wody (symbol)			
	1,25 : 1,0 (A)	1,75 : 1,0 (B)	0,6 : 1,0 (C)	0,7 : 1,0 (D)
Gęstość [Mg/m ³]	1,340	1,409	1,262	1,295
Rozlewność [mm]	285	230	270	220
Lepkość plastyczna	0,0259	0,0885	0,0170	0,0508

²⁾ W badaniach wykonywanych w latach 90. XX wieku wykorzystano popiół fluidalny z elektrowni kanadyjskiej.

W badaniach stosowano gruzowisko zawałowe formułowane z łupków ilastych (oznaczanych „L”) i łupków piaszczystych (oznaczanych „P”).

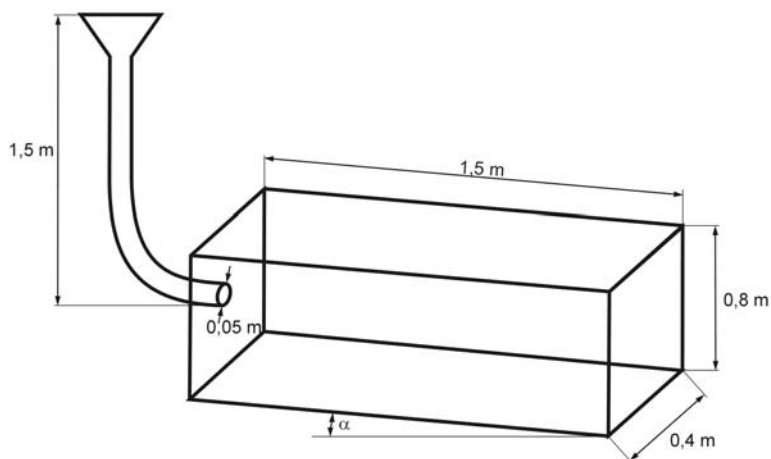
Przygotowano próbki o maksymalnej granulacji ziarn 50 mm i minimalnej 10 mm, w następujących klasach ziarnowych:

- 10÷20 mm,
- 20÷35 mm,
- 35÷50 mm.

Materiał charakteryzował się wilgotnością naturalną — około 35%.

Proporcje klas ziarnowych w próbkach dobierano według dwóch założeń. Po pierwsze — aby uzyskać model gruzowiska o porowatości najmniejszej, gdzie ziarna dobierano, opierając się na „krzywej Fulera” [7]. W drugim przypadku — aby uzyskać model o porowatości maksymalnej, którą uzyskano, stosując ziarna z klasy 35÷50 mm. Takiemu „modelowi” gruzowiska odpowiadały (ustalone pomiarami) odpowiednio średnie porowatości: 19 i 36% dla „L” oraz 22 i 42% dla „P”.

Z tak przygotowanych skał tworzono w modelu gruzowisko. Modelem była przestrzeń prostopadłościenna w kształcie rynny, wykonana z płyt z tworzywa przezroczystego o wymiarach: szerokość 0,4 m, wysokość 0,8 m i długość 1,5 m. Model sytuowany był, w stosunku do poziomu, pod kątem 5, 10, 15 i 20°. W przedniej ścianie modelu, na wysokości 0,3 m, pozostawiono otwór o średnicy około 50 mm, do którego przymocowano rurę, przez którą wprowadzano zawieszinę (rys. 2).



Rys. 2. Model gruzowiska

Ustalaną porowatość zawału przeliczano na objętość [m³] dla porównania z objętością wprowadzonej zawiesziny.

Należy zaznaczyć, co potwierdziły badania (określana masa modelu z gruzowiskiem), że nie ma możliwości powielenia modeli gruzowiska o identycznej porowatości. Przedział „modelowych” porowatości dla materiału „L” wynosił (18,5÷23,5%) i (33÷36,5%). Odpowiednio dla materiału „P” (21÷24%) i (38÷43%).

Zestawianie szczegółowych wyników pomiarów, z uwagi na pewną niedokładność spowodowaną rezygnacją z powielania pojedynczych oznaczeń, zdaniem autorów nie jest uzasadnione. Podajmy, że wykonano 64 pojedyncze badania, a ilość użytego do badań kamienia wynosiła około 65 Mg.

Uzyskane wyniki można przedstawić w postaci następujących wniosków:

- 1) Minimalny kąt nachylenia „spagu” modelu, przy którym następuje samoczynny spływ zawiesiny, to około 8° przy lepkościach < 0,05 Pa s oraz 12° przy lepkościach > 0,05 Pa s.
- 2) Przy kącie nachylenia „spagu” modelu większym od 10°, „strop” zawiesiny układa się pod kątem około 10÷15°. Daje się zauważyć zwiększenie tego kąta wraz z odległością od wyloty rury. Przy takiej długości modelu nie udało się jednoznacznie ustalić maksymalnego zasięgu (odległości od wyloty z rury) penetracji zawiesiny. Będzie on jednak jednoznacznie zależny od struktury i porowatości gruzowiska oraz lepkości zawiesiny.
- 3) Ilość wprowadzonej zawiesiny, w stosunku do zamodelowanej objętości pustek, wynosi od 75 do 90%. Pierwsza wartość występuje przy gruzowisku o mniejszej porowatości i większej lepkości zawiesiny (gruzowisko z łupku ilastego, zawiesina o większej gęstości sporządzona z popiołu z kotła fluidalnego), druga przy gruzowisku o porowatości dużej i zawiesinie o małej lepkości.

Szczegółowe wyniki znajdują się w niepublikowanych opracowaniach autorów³⁾.

Wyniki inwentaryzacji⁴⁾

Autorzy, będąc od początku stosowania technologii zawiesinowej czynnie zaangażowani w kopalniach w prace badawcze i projektowe, wykonywanie ekspertyz, nadzory autorskie nad licznymi wdrożeniami itp., gromadzili informacje o miejscach stosowania zawiesiny i ich ilościach.

W ostatnich latach informacje te zostały istotnie poszerzone i uzupełnione, dzięki wykorzystaniu materiałów zgromadzonych w archiwum utworzonym przez WUG dla przechowywania dokumentów (głównie plany ruchu) zlikwidowanych kopalń, z archiwalnych planów ruchu znajdujących się w innych instytucjach, a także z badań realizowanych w kopalniach.

³⁾ Materiały archiwalne w Katedrze Ekologii Terenów Górniczych, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

⁴⁾ Wykorzystano wyniki uzyskane w ramach realizacji projektu badawczego nr 4T12B04428 oraz badań własnych 10.10.100.968.

Niestety, brak na przestrzeni minionych lat jednolitego systemu dokumentowania i ewidencjonowania stosowania odpadów energetycznych w górnictwie znacznie utrudnia opracowanie tego tematu. Stąd należy zwrócić uwagę na fakt, iż podane dalej wyniki są niestety obciążone pewnym błędem. I druga uwaga.

Wobec restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego, zmian przedsiębiorstw zarządzających poszczególnymi zakładami górniczymi, zrezygnowano z podawania lokalizacji zrobów.

Zatem w tabeli 2 (na wklejce) podano:

- odmianę systemu (podłużna, poprzeczna, przekątna);
- kąt nachylenia pokładu ($^{\circ}$);
- sposób podawania zawiesiny (z chodnika nadścianowego, z przestrzeni roboczej ściany);
- średni postęp dobowy;
- grubość pokładu;
- długość ściany;
- rodzaj skał stropowych tworzących zawał;
- średnią ilość wybranego węgla w ciągu doby;
- średnią ilość podanej zawiesiny w ciągu doby.

Niestety, tylko w nielicznych przypadkach udało się zidentyfikować zarchiwizowane właściwości zawiesiny. Mając na względzie możliwość popełnienia grubego błędu (Autorzy nie wykonywali osobiście badań na pobranych próbkach), zrezygnowano z ich zestawiania. Wielkości podane w tabeli 2 pozwalają natomiast na określenie stosunku objętości użytej zawiesiny do objętości wybranego węgla. Dla łatwiejszego porównania, bez względu na okres, z którego pochodzą dane, w zestawieniu pogrupowano przypadki według stosowanych systemów eksploatacji: podłużnych, poprzecznych i przekątnych.

Na podstawie wyników zestawionych w tabeli 2 nie można sformułować wniosków istotnych z punktu widzenia chłonności zawału. Świadczy to o tym, że w praktyce, ilość wprowadzanej w zawał zawiesiny zależy od ilości będącego w dyspozycji popiołu lub uzyskania założonego celu technologicznego — np. ugaszenia pożaru.

Stwierdzone ilości zawiesiny wpływające w gruzowisko zawałowe powstałe w wyniku wydobycia 1 m^3 węgla mieszczą się w przedziale $0,07 \div 0,27 \text{ m}^3$. Przypomnijmy, że wielkość maksymalnej porowatości gruzowiska, wynikająca z właściwości zawału, zawarta jest w przedziale $0,4 \div 1$.

Można zatem stwierdzić, że jednostkowe przypadki mogą dotyczyć nawet 50% wypełnienia pustek. Natomiast maksymalne, stwierdzone wykorzystanie chłonności zawału nie przekracza 50%, a wynosi przeciętnie $10 \div 20\%$ objętości pustek międzybryłowych.

Wnioskiem wyraźnym jest to, że dzięki podawaniu zawiesiny z przestrzeni roboczej przy systemie podłużnym uzyskuje się wyraźnie większe ilości dostarczonej zawiesiny w przeliczeniu na 1 m^3 wydobytego węgla.

5. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych studiów literaturowych, badań oraz rozważań można sformułować następujące wnioski:

- 1) Zjawisko tworzenia się zawału, jego porowatość, zatem i chłonność teoretyczna, są poznane w dostatecznym stopniu.
- 2) Brak jest jednoznacznego określenia odległości od linii zawału, gdzie następuje jego zaciskanie, istotnie zmniejszające chłonność (zdolność migracji medium).
- 3) Z punktu widzenia występujących w zawałe pustek, w których można ulokować środek uszczelniająco-izolujący (wykorzystując do tego celu odpady drobnofrakcyjne), rozpatrywana może być tylko ta jego część (strefa), którą nazwano zawałem „wysokim” lub „chaotycznym”.
- 4) Strefa ta, licząc od spągu wyrobiska, w kopalniach górnośląskich jest równa 2–2,5-krotnej grubości wybieranego złoża.
- 5) Porowatość gruzowiska wynosi od 17 do 40%, co w przeliczeniu na 1 m³ wybranego złoża wynosi od 0,4 do 1,0 jego objętości.
- 6) Opierając się na wynikach badań modelowych, można przyjąć, że jest możliwe wypełnienie pustek nawet do 90%.
- 7) W praktyce pustki w gruzowisku zawałowym wypełnia się od 10 do 50%.
- 8) Istnieje zatem możliwość opracowania technologii, w której pustki (porowatość) gruzowiska zawałowego mogą zostać wykorzystane w większym stopniu niż dotychczas. Może mieć to wpływ na szersze wykorzystanie technologii doszczelniania zawału jako sposobu zmniejszenia deformacji powierzchni.
- 9) Brak jest opracowania teoretycznego przepływu przez zawał medium o charakterze zawiesin.

LITERATURA

- [1] *Budryk W.*: Pożary i wybuchy w kopalniach. Górnictwo, tom XI, Wyd. Górnictwo-Hutnicze, Stalinogród, 1956
- [2] *Caban* (tłumaczenie Zalewski F.): Kilka słów o gaszeniu pożarów kopalnianych za pomocą szlamowania (mulenia). Przegląd Górnictwo-Hutniczy, nr 7 (260), 1920
- [3] *Dłużewski E. i in.*: Przemysłowe zastosowanie popiołów w postaci wodnej ich zawiesiny — emulgatu w KWK „General Zawadzki”. Wiadomości Górnicze, nr 5–6, 1984
- [4] *Das S. K.*: Observations and classification of roof strata behaviour over longwall coal mining panels in India. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, nr 37, 2000
- [5] *Juroff J.*: Zamulanie w walce z ogniami węglowymi w kopalniach. Przegląd Górnictwo-Hutniczy, nr 10, 1913
- [6] *Lisowski A.*: Kierunek eksploatacji ścian zawałowych. Prace GIG, Komunikat nr 2001, Katowice, 1959
- [7] *Mazurkiewicz M.*: Ścisłość i wodoprzepuszczalność podsadzki hydraulicznej z udziałem odpadów elektrownianych. Prace Komisji Górnictwo-Geodezyjnej PAN, Górnictwo, z. 22, 1983
- [8] *Mazurkiewicz M.*: Technologiczne i środowiskowe aspekty stosowania stałych odpadów przemysłowych do wypełniania pustek w kopalniach podziemnych. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo, z. 152, 1990
- [9] *Mazurkiewicz M., Tajduś A.*: Einfluß der Versatzeigenschaften auf Geotechnisch verhältnisse im Streb. Archives of Mining Science, vol. 41, Busse 3, 1996
- [10] *Palchik V.*: Influence of physical characteristics of weak rock mass on height of caved zone over abandoned subsurface coal mines. Environmental Geology, vol. 44, Issue 1, May 2003

- [11] *Plewa F., Mysiek Z.*: Teoretyczne podstawy wyznaczania stopnia wypełniania rumowiska zawałowego mieszaniną odpadów drobnofrakcyjnych z wodą. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo*, z. 225, 1995
- [12] *Plewa F., Mysiek Z., Strozik G.*: Stopień doszczelniania zrobów zawałowych w zależności od parametrów mieszaniny drobnofrakcyjnej. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Górnictwo*, z. 236, 1997
- [13] *Plewa F., Strozik G., Jendruś R.*: Analiza procesu doszczelniania zrobów zawałowych mieszaninami popioło-wodnymi w warunkach kopalni X. VI Konferencja Naukowo-Techniczna „Ochrona środowiska na terenach górniczych”. Szczyrk, 31.V–2 VI 2006
- [14] *Ropski S.*: Stan pełnego i wysokiego zawału oraz strefy osiadania stropu za ścianą na podstawie pomiarów w kopalni Wesoła (Lenin) w pokładzie 329. *Prace Komisji Nauk Technicznych, Górnictwo*, z. 3, 1966
- [15] *Ropski S., Lama R. D.*: Susidence in the Near-Vicinity of a Longwall Face. *J. Rock Mechanic Mining Science & Geomechanic*, vol. 10, 1973
- [16] *Staroń T.*: Eksploatacja pokładów węgla z zawałem stropu w sąsiedztwie pól pożarowych. *Wyd. Śląsk, Katowice*, 1979
- [17] *Szłazak N., Szłazak J.*: Filtracja powietrza przez zroby ścian zawałowych w kopalniach węgla kamiennego. *UWND AGH, Kraków*, 2005
- [18] *Yavuz H.*: An estimation metod for cover pressure re-establishment distance and pressure distribution in the goaf of longwall coal mines. *International Journal of Rock Mechachanies & Mining Sciences*, 41, 2004
- [19] *Znański J.*: Przemieszczanie górotworu w otoczeniu przodka ścianowego. *Przegląd Górniczy*, nr 11, 1958
- [20] *Znański J.*: Podziemna eksploatacja pokładów węgla. *Wyd. Śląsk, Katowice* 1974

TABELA 2

Zestawienie warunków stosowania popiołów i użytych ilości w ścianach zawalowych w górnictwie węglowym (w latach 1985–2003) według dostępnych danych

Lp.	Grubość pokładu [m]	Kąt nachylenia pokładu [°]	Długość ściany [m]	Średni dobowy postęp [m/d]	Objętość węgla wydobytego [m ³ /d]	Odmiana systemu	Rodzaj skał stropowych	Usytuowanie wylotu rurociągu		Ilość wprowadzonej zawiesiny [m ³ /d]	Ilość wprowadzonej zawiesiny na 1 m ³ wydobytego węgla [m ³]
								przestrzeń robocza	chodnik ^{x)}		
1	2,3	7	80	3,5	650	podłużny	łupek ilasty		X	80	0,12
2	2,7	12	160	4,2	1800	podłużny	łupek ilasty		X	380	0,21
3	3,4	8	180	4,0	2450	podłużny	łupek ilasty		X	200	0,08
4	3,1	9	130	3,5	1500	podłużny	łupek ilasty		X	100	0,07
5	2,9	10	120	3,5	1100	podłużny	łupek ilasty		X	200	0,18
6	2,0	9	190	3,2	1200	podłużny	łupek ilasty		X	160	0,13
7	2,2	9	180	4,8	1900	podłużny	łupek ilasty		X	100	0,05
8	1,8	14	160	4,0	1150	podłużny	łupek ilasty		X	280	0,24
9	1,7	15	140	4,2	1000	podłużny	łupek ilasty		X	270	0,27
10	2,7	13	210	6,0	3400	podłużny	łupek ilasty		X	190	0,09
11	2,2	16	180	6,4	2550	podłużny	łupek ilasty		X	270	0,11
12	1,7	13	120	4,2	900	podłużny	łupek piaszczysty		X	200	0,23
13	1,9	10	200	4,0	1500	podłużny	łupek piaszczysty		X	300	0,21
14	2,6	8	150	3,5	1350	podłużny	łupek piaszczysty		X	180	0,14
15	2,0	6	180	6,4	2300	podłużny	łupek piaszczysty		X	250	0,11
16	2,3	8	190	6,4	2850	podłużny	piaskowiec		X	250	0,09
17	1,8	14	220	6,0	4400	podłużny	piaskowiec		X	350	0,08
18	3,7	12	160	5,0	3000	podłużny	piaskowiec		X	350	0,11
19	3,2	10	180	3,6	2050	podłużny	piaskowiec		X	400	0,23
20	2,4	15	160	3,5	1350	poprzeczny	łupek ilasty	X		350	0,27
21	2,8	17	180	4,8	2350	poprzeczny	łupek ilasty	X		600	0,25
22	1,8	12	120	4,5	1000	poprzeczny	łupek ilasty		X	150	0,13
23	1,4	8	200	5,6	1600	poprzeczny	łupek ilasty		X	140	0,09
24	3,1	14	180	6,4	3600	poprzeczny	łupek ilasty	X		700	0,20
25	2,7	10	160	6,0	2600	poprzeczny	łupek piaszczysty		X	400	0,15
26	1,9	7	160	5,5	1650	poprzeczny	łupek piaszczysty		X	180	0,11
27	2,2	12	180	4,5	1800	poprzeczny	łupek piaszczysty		X	130	0,13
28	2,8	10	120	3,6	1200	poprzeczny	łupek piaszczysty	X		250	0,21
29	3,5	8	220	6,0	2300	poprzeczny	piaskowiec		X	200	0,09
30	3,9	13	180	5,2	3650	poprzeczny	piaskowiec	X		350	0,10
31	2,4	17	140	3,6	1250	przekątny	łupek ilasty		X	200	0,17
32	1,7	14	180	4,5	1400	przekątny	łupek ilasty		X	200	0,15
33	1,9	19	200	5,3	2000	przekątny	łupek ilasty		X	300	0,15
34	2,3	13	180	5,5	2200	przekątny	łupek ilasty		X	300	0,14
35	1,9	12	120	4,8	1250	przekątny	łupek piaszczysty		X	120	0,10
36	3,5	10	180	6,0	3800	przekątny	łupek piaszczysty	X		400	0,11
37	3,2	15	160	4,2	2150	przekątny	łupek piaszczysty		X	300	0,14
38	3,3	17	160	4,0	2100	przekątny	łupek piaszczysty		X	350	0,17