

Jan PALARSKI, Franciszek PLEWA, Zdzisław MYSŁEK, Grzegorz STROZIK  
Politechnika Śląska, Gliwice

## LIKWIDACJA PŁYTKO ZALEGAJĄCYCH PUSTEK POEKSPLOATACYJNYCH I WYROBISK GÓRNICZYCH

**Streszczenie.** Stare płytko zalegające pustki poeksploatacyjne i wyrobiska górnicze aktywizują się po wielu latach, stwarzając poważne zagrożenie dla obiektów powierzchniowych zlokalizowanych na obszarze ich oddziaływania. Z reguły są przyczyną szczególnie groźnych dla infrastruktury powierzchniowej deformacji nieciągłych, takich jak zapadliska, szczeliny czy uskoki. Z tego powodu wymagają bardzo dokładnej lokalizacji i solidnej likwidacji. W referacie omówiono sposoby likwidacji płytko zalegających pustek poeksploatacyjnych i wyrobisk górniczych za pomocą otworów wiertniczych, rodzaje i własności materiałów wypełniających oraz metody kontroli i oceny stopnia wypełnienia pustki.

## LIQUIDATION OF SHALLOW MINING VOIDS AND WORKINGS

**Summary.** Old shallow mining voids and workings may activate after many years and create a serious hazards for surface structures located on their influence range. In most cases they generate the most dangerous for surface infrastructure non-linear subsidences like cavities, faults, and fractures. The paper discusses methods of liquidation of shallow mine voids and workings by filling them through bore holes with different fill materials. The properties of fill materials as well as control and assessment of fill rate have been also analysed.

### 1. Wstęp

Płytko zalegające stare pustki poeksploatacyjne oraz nie zlikwidowane wyrobiska górnicze uaktywniają się po wielu latach, powodując poważne szkody na powierzchni i w obiektach nad nimi zlokalizowanymi. Pustki te z reguły są przyczyną najgroźniejszych deformacji nieciągłych w postaci zapadlisk, szczelin, uskoków, itp. Są one rezultatem prowadzenia płytkiej

eksploatacji głównie przy wychodniach pokładów oraz znacznej ilości nieprawidłowo zlikwidowanych biederzybów, które po wielu latach w wyniku migracji wód podziemnych i ruchów górotworu, przekształciły się w puste kawerny zagrażające obiektom powierzchniowym. Najczęściej likwidacja takich pustek rozpoczyna się dopiero w chwili, gdy ujawnią się negatywne oddziaływania lub gdy przypadkowo zostaną odkryte, np. podczas prac budowlanych. Aby ograniczyć niekorzystne oddziaływanie płytko zalegających pustek w górotworze na środowisko, powinny zostać zlokalizowane i zinwentaryzowane, a następnie zlikwidowane. Szacuje się, że na terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego na głębokości do 150 m znajdują się setki starych pustek poeksploatacyjnych o łącznej pojemności kilku mln m<sup>3</sup>. Istnieje wiele metod wykrywania i lokalizacji pustek w górotworze, różniących się sposobem, jak i dokładnością lokalizacji. Od najbardziej prymitywnych opartych na radiestezji do stosunkowo dokładnych metod geofizycznych, takich jak ultradźwiękowe, grawimetryczne, elektrooporowe i inne. Oprócz lokalizacji ważnym zagadnieniem jest również określenie wielkości pustki, jej zalegania, drożności i stopnia zawodnienia. Czynniki te mają istotny wpływ na sposób likwidacji pustki i dobór materiału wypełniającego [2, 3, 5].

## 2. Sposoby wypełniania starych pustek w górotworze

Do wypełniania i likwidacji płytko zalegających pustek w górotworze stosowane są najczęściej metody wiertnicze, polegające na wykonaniu pionowego bądź skośnego otworu łączącego powierzchnię z pustką, przez który będzie opuszczany materiał podsadzkowy. Wiercenie otworu może być prowadzone sposobem rdzeniowym lub bezrdzeniowym w zależności od stopnia rozpoznania górotworu, w górotworze dobrze rozpoznanym można stosować tańsze wiercenie bezrdzeniowe, natomiast w górotworze słabo rozpoznanym bądź dla kontroli stanu wypełnienia pustki zaleca się stosowanie wiercenia rdzeniowego. W zależności od stanu górotworu w otoczeniu pustki wiercenie otworu może odbywać się jedno lub wieloetapowo. W przypadku gdy nadległy górotwór jest zwięzły, mało naruszony i zapewnia obieg płuczki wodnej, wiercenie otworu może odbywać się jednoetapowo, bezpośrednio do likwidowanej pustki. Jeżeli jednak górotwór nad pustką jest silnie spękany i będzie powodować całkowitą ucieczkę płuczki, wówczas wiercenie otworu należy prowadzić odcinkami. Wiercenie otworu przerywa się po stwierdzeniu ucieczek płuczki, a następnie

przystępuje się do iniekcji strefy spękań pozwalającej na jej uszczelnienie i wzmocnienie, po czym wykonuje się kolejny odcinek otworu. Ten sposób wiercenia otworu znany jest jako system wiercenia z uzdatnianiem górotworu strefami od góry (Patent OBRTG nr 110417) [1]. W przypadku gdy istnieje możliwość wykonania otworu bezpośrednio do pustki, a równocześnie zachodzi konieczność przeprowadzenia strefowych wzmocnień lub uszczelnień górotworu, otwór wierce się od razu na całą długość, a następnie przystępuje do wzmocniania górotworu strefami od dołu. Strefy spękań izoluje się specjalnymi uszczelniaczami, tzw. pakerami, wprowadzanymi do otworu, a mieszaninę wzmacniającą tłoczy się specjalną kolumną rur uszczelniacza. Jest to tzw. system wzmocniania górotworu strefami od dołu. Najprostszy sposób polega na wywierceniu otworu bezpośrednio do likwidowanej pustki i wtłaczaniu mieszaniny podsadzkowej bez wcześniejszego izolowania stref spękań w górotworze. Kolejny sposób polega na tym, że po wywierceniu otworu do likwidowanej pustki wprowadza się do niego kolumnę rur ze specjalną głowicą na kolumnie konduktorowej, przez którą tłoczy się pneumatycznie materiał podsadzkowy, np. popiół lotny. Kolumna rur powinna sięgać stropu likwidowanej pustki. Jest to tzw. system pneumatycznego wypełniania pustki materiałem drobnoziarnistym.

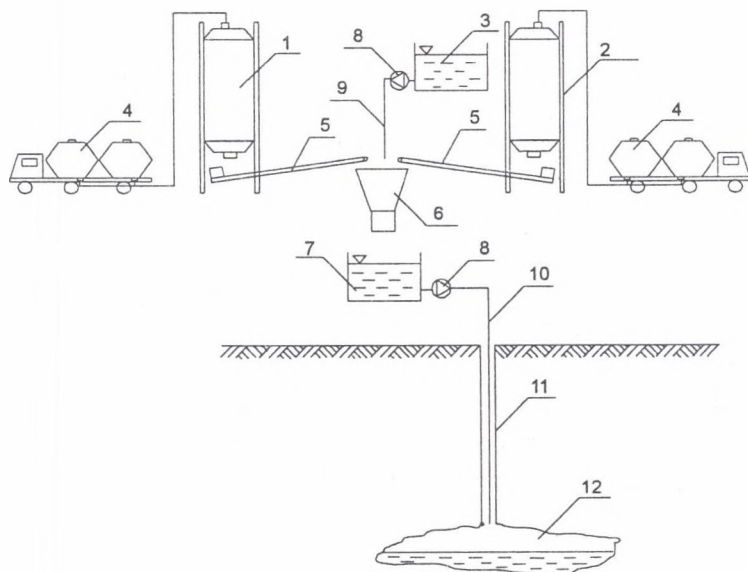
Do realizacji tych sposobów likwidacji pustek w górotworze nie są potrzebne wiertnice specjalnej konstrukcji. Wymagania techniczne spełniają bowiem wiertnice stosowane do wierceń geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych. Są to wiertnice samojezdne, łatwe w montażu i obsłudze. Spełniają one wymagania w zakresie głębokości i średnicy wierconych otworów, pobierania próbek rdzenia oraz wiercenia otworów w trudnych warunkach terenowych. Stosowane do wykonywania otworów służących do udostępniania i likwidacji starych płytkich pustek poeksploatacyjnych wiertnice samojezdne umożliwiają wiercenie otworów do głębokości około 150 m. Pustki poeksploatacyjne wymagające podsadzenia zalegają głównie na głębokości do 80 m. Średnica początkowa wiercenia uzależniona jest od głębokości zalegania pustki, wymaganej konstrukcji otworu oraz od warunków geologiczno-górnictwowych i wynosi od 132 do 216 mm. Natomiast średnica końcowa zależy od przeznaczenia otworu i technologii wypełniania pustki. Najczęściej średnica końcowa otworów likwidacyjnych wynosi  $93 \pm 112$  mm, rzadziej 216 mm.

Wypełnianie płytko zalegających starych pustek poeksploatacyjnych za pomocą otworów wiertniczych może się odbywać następującymi sposobami [1]:

- grawitacyjne podszadanie hydrauliczne przy użyciu piasku. Metoda ta przeznaczona jest głównie do wypełniania dużych komór i wyrobisk korytarzowych, suchych lub zawodnionych zalegających na dowolnej głębokości, nie zaciśniętych, o dobrej drożności. Siatka otworów wiertniczych powinna być dostosowana do wielkości pustek i ich usytuowania w górotworze,
- pneumatyczne wypełnianie pustek suchymi popiołami lotnymi z późniejszym nawilżaniem. Metoda ta jest przydatna do wypełniania pustek nie zaciśniętych o dużych przekrojach i dobrej drożności. Warunkiem stosowania tej metody jest nie zawodniony górotwór, ponieważ pneumatyczne wtłaczanie popiołów lotnych do pustek wypełnionych wodą jest mocno utrudnione. Metoda ta nie pozwala z reguły na szczelne wypełnienie pustki, zwłaszcza w większej odległości od otworu, ze względu na tworzenie się wokół otworu stożków nasypowych. Wymaga zatem stosowania dość gęstej siatki otworów. Ponadto cykliczne zatłaczanie wody do pustki w celu nawilżenia popiołów nie pozwala na stwierdzenie stopnia ich nawilżenia, gdyż proces ten jest niekontrolowany,
- wypełnianie pustek silnie zagęszczoną mieszaniną popiołowo-wodną. Metoda ta może być stosowana do wypełniania dużych nie zaciśniętych i nie zawodnionych pustek. W wyrobiskach zawodnionych stosowanie tej metody jest utrudnione ze względu na wymywanie i ługowanie popiołów uniemożliwiające ich zestalenie. Jest metodą znacznie skuteczniejszą od wypełniania pustek suchymi popiołami lotnymi,
- grawitacyjne wypełnianie silnie zawodnionych pustek w górotworze suchymi popiołami lotnymi. Metoda ta wymaga stosowania popiołów o dobrych własnościach wiążących, które pozwalają na związanie znacznych ilości wody. Woda nadmiarowa powinna być odpompowana sąsiednim otworem,
- wtłaczanie pod ciśnieniem mieszanin wiążących wytwarzanych z popiołów lotnych, cementu, odpadów cementowych, środków przyspieszających wiązanie i wody. Metoda ta jest przydatna w każdych warunkach, zarówno do wypełniania dużych, drożnych pustek jak i pustek zaciśniętych, a także do wypełniania i wzmocnienia górotworu silnie spękanego leżącego w zasięgu oddziaływania zrobów zawałowych. Do najważniejszych zalet tej metody należą:
  - możliwość transportu mieszanin na duże odległości, co zmniejsza liczbę wierconych otworów,
  - dobre własności migracyjne zapewniające wypełnienie nawet małych szczelin,

- krótki czas wiązania i duża wytrzymałość zestalonej mieszaniny,
- dobre wiązanie w środowisku wodnym i odporność na działanie wód agresywnych.

Schemat instalacji do wytwarzania mieszanin droбноziarnistych stosowanych przy likwidacji płytko zalegających pustek przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat instalacji do wytwarzania mieszanin popiołowo-wodnych i wypełniania płytko zalegających pustek

1 - zbiornik popiołów lotnych, 2 - zbiornik odpadów cementowych lub cementu, 3 - zbiornik wody zarobowej, 4 - autocysterna, 5 - podajnik ślimakowy, 6 - mieszalnik przepływowy, 7 - zbiornik retencyjny mieszaniny, 8 - pompa, 9 - rurociąg wodny, 10 - rurociąg transportowy, 11 - otwór wiertniczy, 12 - pustka w górotworze

Fig. 1. A scheme of a preparation plant and fill technology for filling of shallow voids with fly ash - water slurries

1 - fly ash tank, 2 - cement (cementous waste) tank, 3 - water tank, 4 - car tank, 5 - screw feeder, 6 - mixer, 7 - retention mixture tank, 8 - pump, 9 - water pipeline, 10 - filling pipeline, 11 - bore hole, 12 - a void to be filled

### 3. Własności mediów do wypełniania płytkich pustek

Do wypełniania płytkich pustek i wzmocnienia górotworu stosuje się głównie:

- podsadzkę hydrauliczną, przede wszystkim klasyczną z piasku, a także wytwarzaną na bazie specjalnych kruszyw,



- podsadzkę suchą z popiołów lotnych, zraszanych,
- emulgaty popiołowe,
- mieszaniny wiążące, wśród których wyróżniamy jedno- i wieloskładnikowe:
  - cementowe,
  - pyłowe,
  - cementowo-pyłowe,
  - cementowo-iłowe,
  - cementowo-popiołowo-wapienne,
  - popiołowo-pyłowe.

Podsadzki i emulgaty stosowane są zwłaszcza do wypełniania dużych pustek, które muszą być bezpośrednio udostępnione, a zatem wcześniej dokładnie zlokalizowane. Warunkiem ich stosowania jest brak lub niewielkie zawodnienie pustki. Stosowanie podsadzki hydraulicznej wiąże się z wprowadzaniem do górotworu znacznych ilości wody, co nie zawsze jest dopuszczalne. Zarówno podsadzki, jak i emulgaty najczęściej nie zapewniają dostatecznej podporności stropu dużych pustek. Ich sposób rozprzestrzeniania w pustce jest zwykle niekontrolowany, materiał podsadzkowy jest ściśliwy, mało wytrzymały, rozmywalny i porowaty.

Mieszaniny wiążące mają charakter mediów uniwersalnych, tzn. że mogą być stosowane we wszystkich warunkach i sposobach wypełniania pustek. Głównym ich przeznaczeniem jest nadanie cech wytrzymałościowych, całkowite wypełnienie pustek oraz uszczelnienie górotworu i wykonanie zabiegów poniżej poziomu wody. Pustki wypełnia się zarówno przez bezpośrednie udostępnienie, jak i pośrednio poprzez system szczelin. W większości posiadają dobre własności transportowe i penetracyjne, co jest szczególnie przydatne przy likwidacji pustek wtórnych, których położenie jest zwykle trudne do ustalenia. Rodzaj mieszaniny wiążącej ustala się zależnie od jego właściwości, wymagań i warunków stosowania. Lepsze rodzaje mieszanin wiążących, ale droższe stosowane są do prac poniżej zwierciadła wody i w przypadku konieczności dalekiego przetłaczania w podłożu. Mieszaniny wiążące mają także zastosowanie jako medium uzupełniające przy wypełnianiu pustek podsadzką lub emulgatem. Istotną zaletą stosowania mieszanin wiążących, w przeciwieństwie do podsadzki czy emulgatu, jest możliwość kontrolowania procesu ich rozplywu w górotworze metodą geofizyczną.

Przy wyborze materiałów do sporządzania mediów podsadzkowych lub uszczelniająco-wzmacniających decydują następujące czynniki:

- łatwy dostęp do dużych ilości materiałów,
- łatwość transportu,
- własności toksyczne i możliwość skażenia środowiska,
- możliwość wytwarzania mieszanin prostą technologią,
- możliwość regulowania parametrów technologicznych stosownie do wymagań technicznych,
- możliwość otrzymywania mieszanin o odpowiedniej wytrzymałości i przepuszczalności oraz dużej trwałości i odporności na działanie wód podziemnych.

Zgodnie z powyższymi wymaganiami podstawowymi materiałami stosowanymi do wypełniania pustek wzmacniania i uzdatniania górotworu są:

- cement,
- odpady cementowe,
- popioły lotne,
- wapno hydratyzowane,
- piasek,
- aktywatory i dodatki przyspieszające wiązanie.

Parametry technologiczne mieszanin wypełniających najlepiej regulować możliwie w maksymalnym stopniu wskaźnikiem wodnym i materiałami, które są wypełniaczami, ale równocześnie wykazują słabe lub tzw. utajone własności wiążące, bądź polepszają pewne parametry mieszaniny, a pozwalają zmniejszyć udział cementu.

Własności cementu jako środka wiążącego oraz przydatność piasku jako materiału podsadzkowego są powszechnie znane; na uwagę zasługują takie materiały odpadowe, jak odpady cementowe i popioły lotne. Odpady cementowe w postaci pyłu zwrotnego pochodzą z wypalania klinkieru i z jego przemiału. Wykazują dość znaczne własności wiążące. Stosowane są w zaczynach samodzielnie lub w mieszaninach z cementem lub popiołami. Pyły z poszczególnych cementowni różnią się znacznie składem, co rzutuje na własności zaczynów i mieszanin. Popioły lotne natomiast są produktem spalania węgla w elektrowniach i lektrociepłowniach, wychwytywanym przez elektrofiltry. Zależnie od rodzaju i gatunku

spalanego węgla mocno różnią się składem chemicznym, a uziarnienie zróżnicowane jest nawet zależnie od miejsca odłożenia się w elektrofiltrze.

Do wypełniania pustek w górotworze przez otwory wiertnicze stosowane są materiały w postaci następujących mieszanin, zapraw i zaczynów:

- zaczyny cementowe stosuje się o stosunku wodnym w granicach  $0,4 \div 0,6$ . W tym zakresie wykazują dobre parametry technologiczne i korzystne własności. Najkrótsze czasy wiązania uzyskują zaczyny wytwarzane z cementów szybkospawnych. Dodanie aktywatorów w postaci chlorku wapnia lub węglanu sodu w ilości  $1 \div 3\%$  skraca czas wiązania, zwiększa rozlewność i obniża ilość wody nadosadowej oraz znacznie podwyższa przyrost wytrzymałości,
- zaczyny pyłowe charakteryzują się stosunkowo długim czasem wiązania. Stosowane są przy wskaźniku wodnym  $0,5 \div 0,7$ . Mogą być stosowane samodzielnie lub z dodatkiem węglanu sodowego w ilości  $2 \div 3\%$ . W środowisku wód agresywnych powinny być stosowane w kompozycjach z innymi materiałami,
- zaprawy cementowe stosowane są do nadania podporności stropom dużych wyrobisk lub ich tamowania. Bazują głównie na piasku w proporcji równej ilości cementu. Wskaźnik wodny zależy głównie od sposobu transportu grawitacyjnego lub pompowego,
- zaczyny cementowo-pyłowe stosuje się przy zawartości cementu powyżej  $40\%$ . Przy wskaźniku wodnym  $0,5 \div 0,7$  charakteryzują się rozlewnością rzędu  $200 \div 220$  mm, gęstością  $1,7 \div 1,75$  g/cm<sup>3</sup>, ilość wody nadosadowej  $4,5 \div 5,5\%$ , początek wiązania  $7 \div 11,5$  godz., koniec wiązania  $15 \div 21,5$  godz. Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach wynosi około  $17$  MPa. Stosowanie aktywatorów powoduje skrócenie czasu wiązania i ilości wody nadosadowej,
- zaczyny cementowo-popiołowe, badając mieszaniny cementowo-popiołowe charakteryzujące się zawartością cementu w granicach  $10 \div 90\%$  stwierdzono, że mogą one spełniać wymagania przy wypełnianiu płytkich pustek w górotworze. Przy zawartości popiołu do  $50\%$  można utrzymywać wskaźnik wodny w granicach  $0,5 \div 0,6$ ; mieszanina charakteryzuje się dobrymi własnościami transportowymi, niezłym czasem wiązania oraz wytrzymałością na ściskanie po 48 godz.  $2,9 \div 5,5$  MPa. Ilość wody nadosadowej wynosi  $3 \div 4\%$ , gęstość mieszaniny  $1,67 \div 1,82$  g/cm<sup>3</sup>. Dodanie około  $2,5\%$  CaCl<sub>2</sub> lub Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> skraca czas wiązania z minimalnym obniżeniem wytrzymałości. Przy zawartości popiołu



60÷90%, w celu uzyskania rozlewności mieszanki rzędu 200 mm, należy wskaźnik wodny zwiększyć do 0,6÷0,7. Gęstość mieszanki maleje wówczas do 1,55÷1,65 g/cm<sup>3</sup>, a ilość wody nadosadowej wzrasta do 5÷6%. Początek wiązania wynosi 25÷91,5 godz., a koniec 32÷122 godz. Wytrzymałość na ściskanie po 48 godz. 0,45÷2,0 MPa,

- zaczyny cementowo-popiołowo-wapienne; przeprowadzone badania nad zastosowaniem wapna jako środka podnoszącego aktywność popiołów i ograniczającego zużycie cementu wykazały, że przy zawartości cementu powyżej 50% regulacja własności mieszanki wapnem jest nieuzasadniona, a jedynie komplikuje proces wytwarzania zaczynu. Przy niższych zawartościach cementu i stosowaniu popiołów lotnych z węgla kamiennego stosowanie wapna jest uzasadnione tym, że znacznie zmniejsza ilość wody nadosadowej oraz czas wiązania, ale równocześnie obniża wytrzymałość. Optymalny skład mieszanin cementowo-popiołowo-wapiennych - to zawartość cementu 20÷25%, wapna 5÷10%. Przy takich proporcjach składników i wskaźniku wodnym 0,5, rozlewność mieszanki wynosi 160÷220 mm, gęstość 1,42÷1,56 g/cm<sup>3</sup>, ilość wody nadosadowej 2÷4%, początek wiązania 1÷9 godz., koniec wiązania 4÷12,5 godz. Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach wiązania - 3÷6 MPa,
- mieszanki pyłowo-popiołowe; stosowanie takich mieszanin jest uzasadnione niskim kosztem materiałów, a także tym, że pyły cementowe wiążą lepiej niż popioły, zaś popioły zwiększają odporność na wody agresywne. Z licznych badań takich mieszanin wynika, że optymalny skład, to zawartość każdego składnika 40÷60%. Rozlewność mieszanki przy wskaźniku wodnym 0,6 wynosi 180÷200 mm. Ilość wody nadosadowej 4,5÷7%, a czas wiązania 26,5÷37,5 godz. początek, 39,5÷61,5 godz. koniec. Zastosowanie aktywatorów w postaci CaCl<sub>2</sub> lub Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> w ilości 2,5÷3% polepsza własności mieszanki, skracając czas wiązania do 11,5÷21,5 godz. początek i 16,5÷27 godz. koniec. Wytrzymałość na ściskanie po 8 godz. wiązania wynosi 2,1÷2,3 MPa,
- mieszanki popiołowe, własności takich mieszanin zależą od rodzaju i własności wiążących popiołów lotnych. Przy słabych własnościach wiążących czas zestalania mieszanin jest długi, a uzyskiwane wytrzymałości bardzo małe. Poprawę parametrów mieszanin popiołowych można uzyskać przez dodanie aktywatorów lub stosowanie popiołów o dobrych własnościach wiążących, takich jak popioły z produktami suchego odsiarczenia spalin lub popioły ze spalania w kotłach fluidalnych.

Wpływ rodzaju popiołu lotnego na własności mieszanin popiołowo-wodnych na podstawie wyników badań czterech rodzajów popiołów lotnych, popiołu bez produktów odsiarczania spalin, popiołu z produktami suchego odsiarczania spalin, popiołu z produktami półsuchego odsiarczania spalin pochodzących z elektrowni „Rybnik” i popiołu ze spalania węgla w kotłach fluidalnych z elektrociepłowni „Czechowice” przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

## Własności mieszanin popiołowo-wodnych

Lp	Rodzaj popiołu	Koncentracja masowa mieszaniny $c_w$	Rozlewność mieszaniny R [mm]	Objętość wody nadosadowej $V_{wn}$ [%]	Czas zestalania mieszaniny $t_z$ [godz]	Nośność jednostkowa po 72 godz $N_{72}$ [N]	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach $R_c$ [MPa]	Rozmakałność r [%]
1	Popiół bez produktów odsiarczania	0,645	200	4,4	468	6	0,37	100
2	Popiół z produktami suchego odsiarcz.	0,617	200	4,1	170	38	4,03	20
3	Popiół z produktami półsuch. odsiarcz.	0,595	200	10,2	216	23	0,65	49
4	Popiół ze spalania fluidalnego	0,483	200	3,3	126	40	2,14	19
5	Popiół bez produktów odsiarczania	0,568	300	6,3	636	5	0,28	100
6	Popiół z produktami suchego odsiarcz.	0,515	300	5,8	194	34	3,86	28
7	Popiół z produktami półsuch. odsiarcz.	0,510	300	12,7	243	19	0,57	54
8	Popiół ze spalania fluidalnego	0,417	300	5,2	138	37	1,94	26

W badanym zakresie rozlewności mieszanin popiołowo-wodnych wytwarzanych z różnych popiołów ze spalania węgla kamiennego własności fizyko-mechaniczne zmieniały się w następujących przedziałach:

- ilość wody nadosadowej w stosunku do pierwotnej objętości mieszaniny od 3,3 do 10,2% dla mieszanin o rozlewności 200 mm i od 5,2 do 12,7% dla mieszanin o rozlewności 300 mm,
- czas zestalania mieszanin popiołowo-wodnych wynosił od 126 do 468 godz dla mieszanin o rozlewności 200 mm i od 138 do 636 godz dla mieszanin o rozlewności 300 mm,

- nośność jednostkowa po 72 godz zestalania zawierała się od 6 do 40 N dla mieszanin o rozlewności 200 mm oraz od 5 do 37 N dla mieszanin o rozlewności 300 mm,
- wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach sezonowania w komorze klimatyzacyjnej wynosiła od 0,37 do 4,03 MPa dla mieszanin o rozlewności 200 mm i od 0,28 do 3,86 MPa dla mieszanin o rozlewności 300 mm,
- rozmakalność mieszanin popiołowo-wodnych rozumiana jako spadek wytrzymałości po nawilżaniu wodą w stosunku do pierwotnej wytrzymałości po 28 dniach wynosiła od 19 do 100% dla mieszanin o rozlewności 200 mm i od 26 do 100% dla mieszanin o rozlewności 300 mm.

Wśród badanych mieszanin popiołowo-wodnych lotnych najlepszymi właściwościami charakteryzują się mieszaniny wytwarzane z popiołów zawierających produkty suchego odsiarczenia spalin i popiołów ze spalania węgla w kotłach fluidalnych. Mieszaniny te mogą być stosowane do wypełniania pustek, w których wymagane są dobre parametry wytrzymałościowe materiału wypełniającego. Natomiast mieszaniny wytwarzane z pozostałych popiołów lotnych mogą być stosowane do wypełniania płytkich pustek, w których nie są wymagane określone parametry wytrzymałościowe, a zwłaszcza brak odporności na rozmakanie.

#### 4. Metody oceny i kontroli stopnia wypełnienia pustek w górotworze

Likwidacja płytko zalegających starych pustek poeksploatacyjnych przez wypełnienie materiałem podsadzkowym wymaga kontroli w zakresie stopnia i szczelności ich wypełnienia. Kontrola wypełnienia płytkich pustek poeksploatacyjnych może być prowadzona w trakcie procesu wypełniania i po jego zakończeniu. Bieżącą kontrolę stanu wypełnienia pustki umożliwia zastosowanie metody elektrooporowej, polegającej na rejestracji zmian oporności pustki w zależności od stopnia jej wypełnienia. Sposób pomiaru stopnia wypełnienia pustki materiałem podsadzkowym metodą elektrooporową obejmuje [1]:

- opuszczenie przez otwór wiertniczy do likwidowanej pustki elektrody centralnej,
- założenie wokół otworu sieci punktów z elektrodami pomiarowymi. Ilość i rozstaw elektrod pomiarowych powinna zapewniać rejestrację zasięgu rozprętu w każdym kierunku,

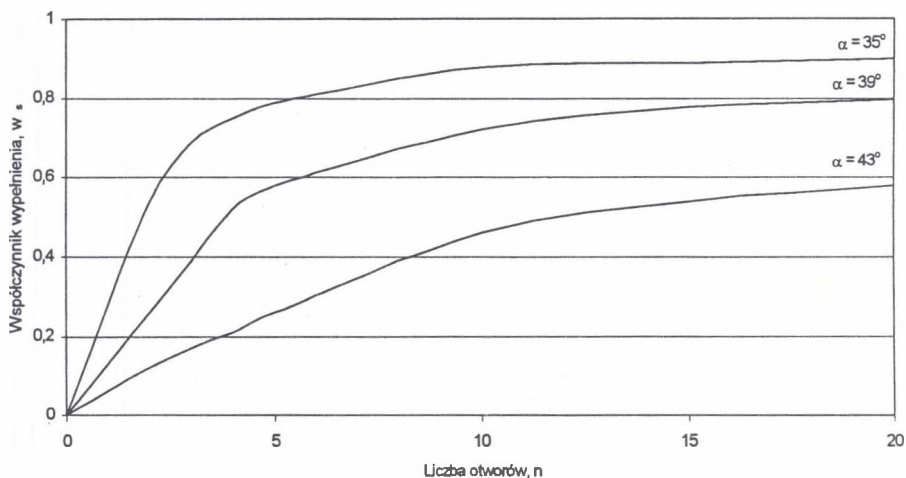
- dokonanie pomiarów oporności względnej między elektrodą centralną i każdym punktem pomiarowym przed rozpoczęciem wypełniania pustki,
- wykonanie pomiarów oporności względnej między elektrodą centralną i punktami pomiarowymi w trakcie wypełniania pustki.

Analiza wyników pomiarów prowadzona jest na bieżąco i opiera się na następujących założeniach:

- mieszanina wypełniająca pustkę będąc lepszym przewodnikiem prądu zmniejsza oporność ośrodka mierzoną między elektrodą centralną, a elektrodą pomiarową umieszczoną na powierzchni w stosunku do wartości uzyskanej przed rozpoczęciem wypełniania. Oporność ta stabilizuje się po dojściu mieszaniny do punktu pomiarowego lub na najmniejszą możliwą odległość,
- porównując czasy, po których nastąpiła stabilizacja oporności w poszczególnych punktach pomiarowych oraz obserwując tempo spadku oporności, określa się kierunki intensywnego i utrudnionego rozptywu mieszaniny. Pomiar oporności między punktami pomiarowymi umożliwia określenie zasięgu rozptywu mieszaniny,
- gdy mierzona oporność po osiągnięciu minimum zaczyna wzrastać, świadczy to o wystąpieniu szczelinowania skał. Kolejne wzrosty i spadki oporności mogą oznaczać wypełnienie pustki, szczelin mniej drożnych, osiągnięcie kolejnej pustki aż do wystąpienia szczelinowania stałego.

Analiza przebiegu i stopnia wypełnienia pustki opiera się na ocenie tempa spadków i przyrostów oporności w stosunku do stanu wyjściowego oraz różnic czasowych rejestrowanych zmian w poszczególnych punktach pomiarowych. Stosując ciągłą kontrolę można pozwolić na swobodny rozptyw mieszaniny w określonym kierunku lub przerwać wtłaczanie mieszaniny, gdy warunki są niekorzystne. Można również odpowiednio do chłonności zrobów regulować parametry mieszaniny, takie jak: gęstość czy czas wiązania. Sygnał o wystąpieniu zjawiska szczelinowania jest podstawą do przerywania tłoczenia mieszaniny. Śledzenie kierunków i zasięgów rozptywu mieszaniny w powiązaniu z dużą chłonnością i równoczesnym małym ciśnieniem tłoczenia pozwala wnioskować o wystąpieniu dużych drożnych szczelin, sprowadzających mieszaninę do likwidowanych zrobów. Metoda ta pozwala na sterowanie procesem wypełniania pustek w górotworze, a równocześnie zapewnia oszczędne zużycie materiałów i robocizny oraz eliminuje możliwość spowodowania szkód wywołanych szczelinowaniem skał i wypływu mieszaniny poza żądaną strefę.

Szczelność wypełnienia pustki lub wyrobiska przez otwory wiertnicze zależy od kształtu i rozmiaru pustki, stopnia wypełnienia gruzowiskiem skalnym, zatopienia wodą, rodzaju materiału wypełniającego, a w szczególności od ilości i usytuowania otworów wiertniczych. W pracy [4] przedstawiono zależności pozwalające określać współczynnik szczelności wypełnienia pustki przy stosowaniu zasypywania na sucho i hydraulicznego grawitacyjnego lub ciśnieniowego podsadzania materiałem drobnoziarnistym. Opierając się na podanych zależnościach można prognozować optymalną ilość i lokalizację otworów wiertniczych, zapewniających maksymalne wypełnienie pustki. Wpływ liczby otworów wiertniczych i rodzaju materiału zasypowego na szczelność wypełnienia pustki przedstawiono na wykresie (rys. 2).



Rys.2. Zależność współczynnika wypełnienia pustki od ilości otworów wiertniczych  
Komora o wymiarach  $a=10$  m,  $b=100$  m,  $h=20$  m. Materiał podsadzkowy o kącie tarcia wewnętrznego 35, 39 i 43°. Otwory usytuowane w jednej linii [4]

Fig.2. The relation between fill coefficient and number of bore holes  
Dimensions of the chamber:  $a=10$  m,  $b=100$  m,  $h=20$  m. Internal friction angle of the fill material 35, 39 i 43°. Bore holes placed in line [4]

## 5. Podsumowanie

Likwidacja płytko zalegających pustek poeksploatacyjnych za pomocą otworów wiertniczych na silnie zurbanizowanym terenie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego ma istotne znaczenie nie tylko dla zmniejszenia wpływów prowadzonej eksploatacji, ale także dla ograniczenia dewastacji środowiska. W procesie likwidacji płytko zalegających pustek



wykorzystuje się głównie materiały odpadowe, takie jak: popioły lotne, odpady cementowe, żużle, odpady flotacji, produkty odsiarczania spalin, ale także piasek, cement i aktywatory przyspieszające wiązanie. Dobór medium wypełniającego zależy od wielkości pustki, jej drożności i warunków zalegania. Przy dużych drożnych pustkach można je wypełniać materiałem suchym z późniejszym nawilżaniem. Najlepsze efekty uzyskuje przy wypełnianiu pustek hydraulicznie mieszaniną o określonych parametrach. Wtłaczanie mieszanin do pustek może być prowadzone grawitacyjnie lub pod ciśnieniem. Przy czym ciśnienie wtłaczania nie powinno powodować dodatkowego szczelinowania górotworu. Proces wypełniania płytko zalegających pustek powinien być kontrolowany zarówno pod kątem zasięgu rozprywu medium, jak i stopnia wypełnienia pustki. Przy dużych, lecz słabo drożnych pustkach zachodzi często potrzeba wielokrotnego przewiercania otworu i uzupełniania mieszaniny wypełniającej aż do całkowitego jej wypełnienia lub wykonywania dodatkowych otworów. Siatka otworów wiertniczych powinna być dostosowana do wielkości pustki oraz rodzaju i własności stosowanych materiałów wypełniających, a także sposobu wypełniania. Niezależnie od stosowanych metod należy w jak najszerszym zakresie prowadzić likwidację płytko zalegających pustek poeksploatacyjnych i starych wyrobisk górniczych, aby ograniczyć dalszą dewastację środowiska i niszczenie obiektów powierzchniowych. Ponadto likwidacja płytko zalegających pustek w górotworze pozwala zagospodarować znaczne ilości uciążliwych dla środowiska droбноziarnistych odpadów przemysłowych, a zwłaszcza popiołów lotnych.

## LITERATURA

1. Łabanowicz H., Ogrodowski H., Czubek W., Zawada S.: Technologia wiertniczych metod likwidacji płytko zalegających wyrobisk górniczych. *Ochrona Terenów Górniczych*, nr 75, 1986.
2. Matyszczuk S., Czekaj A.: Wykorzystanie popiołów lotnych do podsadzania podziemnych pustek. *Wiadomości Górnicze*, nr 10, 1976.
3. Mazurkiewicz M., Piotrowski Z.: Grawitacyjne podsadzanie płytkich zrobów zawiesiną popiołów lotnych w wodzie. *Ochrona Terenów Górniczych*, nr 66, 1984.
4. Palarski J.: Ocena szczelności podsadzania wyrobisk przez otwory wiertnicze. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo, z. 232, Gliwice 1996.

5. Ropski S.: Wybrane zagadnienia likwidacji zrobów, wzmocnienia i izolacji oraz uszczelniania górotworu. Zeszyty Naukowe AGH, seria Górnictwo, z. 143, Kraków 1989.

Recenzent: Dr inż. Tadeusz Bromek

### **Abstract**

Old shallow mining voids and workings may activate after many years and create a serious hazards for surface structures located on their influence range. In most cases they generate the most dangerous for surface infrastructure non-linear subsidence like cavities, faults, and fractures. The paper discusses methods of liquidation of shallow mine voids and workings by filling them through bore holes with different fill materials. The properties of fill materials as well as control and assessment of fill rate have been also analysed. The technology of filling has been described (Fig.1.) A problem of optimisation of bore hole localisation has been analysed (Fig.2.) in relation to dimensions of voids and properties of fill material.