

Stanisław JANICZEK

Jan BORYCZKO

Ryszard MAJCHRZAK

TWORZYWO EKSPANSYWNE DLA USZCZELNIANIA GÓROTWORU
I WYPEŁNIANIA PUSTEK W OTOCZENIU WYROBISK GÓRNICZYCH

Streszczenie. W artykule omówiono wynik prac nad uzyskaniem ekspansywnych spoiw mineralnych o wysokiej ekspansji do 30% oraz główne kierunki ich zastosowań. Na podstawie przeprowadzonych prób dołowych omówiono technologię stosowania spoiw ekspansywnych.

1. Wprowadzenie

Badania ekspansji kompozytów wiążących mają na celu uzyskanie grupy materiałów szczególnie przydatnych w budownictwie górniczym jako materiały wypełniające i uszczelniające. Dotychczas jedynym materiałem zwiężezającym ewę objętość w trakcie wiązania, stosowanym w polskim górnictwie do celów wypełniania pustek, było tworzywo organiczne uzyskiwane na bazie żywic mocznikowo-formaldehydowych. Stosunkowo wysoki koszt tego typu materiałów jak również trudności zaopatrzeniowe to główne przyczyny sporadycznego jak dotąd stosowania żywic mocznikowo-formaldehydowych. W Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni Politechniki Śląskiej podjęto zatem badania nad możliwością zastosowania do wymienionych celów materiałów nieorganicznych uzyskanych na bazie powszechnie dostępnych spoiw mineralnych przy możliwie maksymalnym wykorzystaniu odpadów przemysłowych. Badania podjęto, mając na uwadze fakt, iż najczęściej zachodzi konieczność wypełnienia przestrzeni przy zastosowaniu materiału podatnego o dużej ściśniętości. Warunki te mogą być spełnione dzięki zastosowaniu kompozytów charakteryzujących się wysoką ekspansją w trakcie procesu wiązania w efekcie czego powstaje materiał porowaty. Uzyskanie wysokiej ekspansji kompozytu (rzędu 10-30%) jest możliwe na drodze chemicznego rozkładu jednego lub kilku składników spoiwa bazowego, efektem czego będzie wydzielenie się substancji gazowych spulchniających zaczyn. W związku z powyższym nasuwa się kilka dalszych uwag, a mianowicie:

W spoiwie bazowym konieczne jest występowanie takiego składnika, który można rozłożyć na drodze chemicznej, przy czym sam proces rozkładu jak również powstające produkty nie mogą wpływać destruktywnie na przebieg procesu wiązania. Ponadto, mając na uwadze fakt stosowania kompozytów w górnictwie, powstające produkty rozkładu (ich ilość i jakość) nie mogą sta-

nowić jakiegokolwiek zagrożenia bezpieczeństwa w związku z ich stosowaniem. Muszą to być zatem związki nietoksyczne i niepalne. Tym samym warunkom muszą odpowiadać dodatki wywołujące rozkład. Reakcja rozkładu w zaczynie rozpoczyna się bezpośrednio po dodaniu środków ekspansywnych. Konieczne jest zatem stosowanie takich spoiw bazowych, dla których istniałaby możliwość regulacji czasu wiązania. Chodzi tu bowiem o synchronizację czasu wiązania spoiwa z czasem jego ekspandowania.

Mając powyższe na uwadze zdecydowano się na stosowanie spoiw siarczanowych (głównie gips budowlany, anhydryt i spoiwo fosfogipsowe), w których występują jako zanieczyszczenia, możliwe do rozłożenia na drodze chemicznej, węglany wapnia CaCO_3 i magnezu MgCO_3 . Jako materiał wypełniający zastosowano w badaniach wypełniacz aktywny w postaci pyłów dymnicowych.

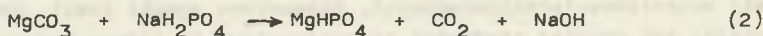
2. Charakterystyka procesów zachodzących w spoiwach siarczanowych w trakcie ich ekspansji

Rozkład występujących w spoiwach siarczanowych zanieczyszczeń w postaci węglanów wapnia CaCO_3 i magnezu MgCO_3 uzyskano dzięki zastosowaniu jako dodatku I-zasadowego fosforanu sodowego o wzorze NaH_2PO_4 .

Reakcja rozkładu węglanów zachodzi wg schematu:



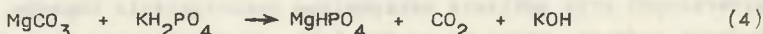
oraz



lub

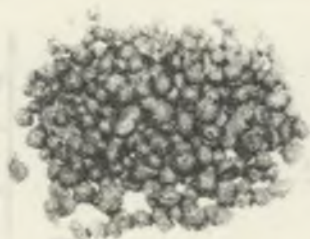


oraz



Produktami rozkładu węglanów wg schematów (1-4) są wodorofosforany wapnia CaHPO_4 i magnezu MgHPO_4 , które występują w kompozycie w postaci krystalicznej, następnie dwutlenek węgla CO_2 , którego wydzielanie się wywołuje ekspansję kompozytu oraz wodorotlenki sodu NaOH lub potasu KOH . Wodorotlenki te w późniejszym okresie stopniowo reagują z dwutlenkiem węgla, w efekcie czego wydziela się trudno rozpuszczalny węglan sodowy o wzorze Na_2CO_3 oraz węglan potasowy o wzorze K_2CO_3 . Tworzące się w zaczynie kryształki wodorofosforanu wapnia CaHPO_4 oraz magnezu MgHPO_4 wywołują efekt zarodnikowy, implikując budowę sieci krystalicznej kompozytu. Szczególnie wyraźnie efekt ten zachodzi dla układów typu: gips-pył dymnicowy oraz spoiwo fosfogipsowe - pył dymnicowy. Sposób budowy sieci krystal-

licznej kompozytu oraz przebieg procesu wiązania przedstawiają fotografie (rys. 1 oraz rys. 2). W zacynie pierwszą fazą procesu wiązania jest two-



Rys. 1. Rozwój zarodników i powstawanie makrocząstek



Rys. 2. Łączenie makrocząstek

rzenie się kryształów CaHPO_4 oraz MgHPO_4 , wokół których wytwarza się otoczka z mieszaniny spoiwa z dodatkiem pyłów dymnicowych (rys. 1). Wraz z upływem czasu następuje wzrost otoczki spoiwa wokół kryształu zarodnikowego oraz wzajemne łączenie się makrocząstek (rys. 2). Proces ten trwa do momentu całkowitego związania kompozytu. Z obliczeń stechiometrycznych potwierdzonych badaniami laboratoryjnymi wynika, iż dla całkowitego rozkładu występujących w spoiwach siarczanowych węglanów wymagany jest dodatek fosforanów w ilości zwykle 4-5%. Stosowanie dodatków w ilościach większych od stechiometrycznych przedłuża znacznie czas wiązania spoiw bazowych. Najbardziej korzystny jest zatem dodatek fosforanów w ilościach nieco mniejszych od ilości stechiometrycznych, tj. 2-3%.

3. Parametry techniczne kompozytów

3.1. Przebieg i wielkość ekspansji

Za miarę ekspansji przyjęto procentową zmianę objętości stwardniałego zaczynu w stosunku do objętości, jaką zaczyn posiada bezpośrednio po zarobieniu wodą. Wielkość tę można opisać wzorem:

$$E_x = \frac{V_x - V_0}{V_0} \cdot 100\%$$

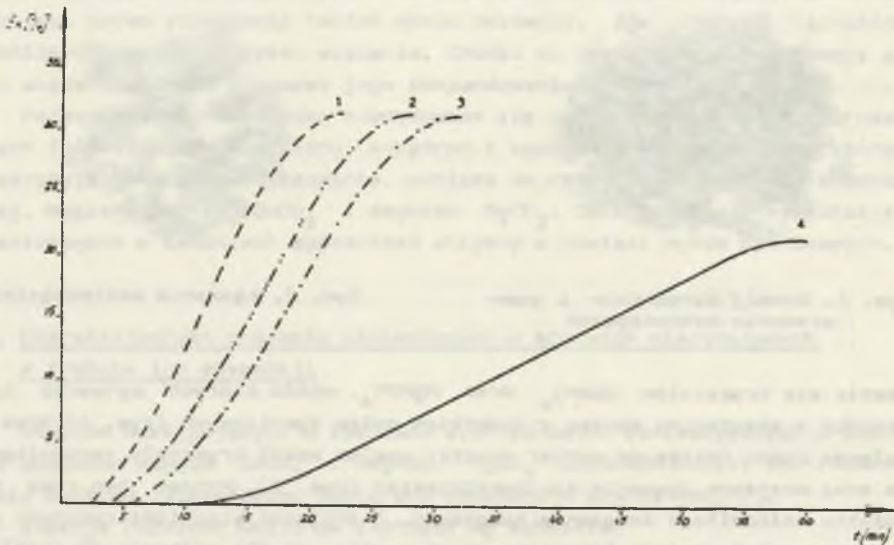
gdzie:

E_x - względna zmiana objętości zaczynu %,

V_x - objętość zaczynu mierzona w trakcie procesu pęcznienia,

V_0 - początkowa objętość zaczynu.

Przebieg procesu ekspansji wybranych kompozytów przedstawiono na rys.3. Maksymalna wielkość ekepancji zależna jest od ilości zastosowanego dodat-



Rys. 3. Ekspansja spoiw siarczanowych

1 - spoiwo gipsowe, 2 - anhydryt, 3 - spoiwo fosfogipsowe, 4 - kompozyt pyłowy

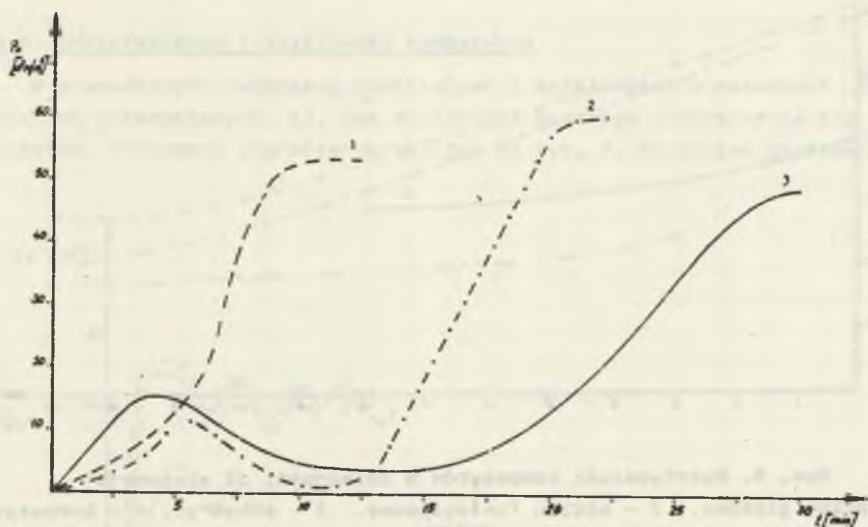
ku fosforanu, rodzaju kompozytu oraz, jak potwierdziły badania, do stosunku wody do spciwa. Na drodze doświadczalnej wyznaczono korzystne wartości współczynnika w/s dla kompozytów siarczanowych, ze względu na ich ekspansję:

- kompozyty gipsowe od 0,43-0,57
- kompozyty fosfogipsowe od 0,45-0,59
- anhydryt od 0,27-0,40

3.2. Ciśnienie ekspansji

Procesowi ekspansji często towarzyszy ciśnienie, jakie materiał wywiera na płaszczyzny ograniczające. Zależne jest to od czasu wiązania kompozytów, a ściślej od synchronizacji czasu wiązania z czasem ekspandowania. Możliwe jest zatem uzyskanie kompozytów wywierających ciśnienie w trakcie procesu wiązania (dzięki czemu np. przy wypełnianiu puetki w skałach uzyska się ich rozparcie lub przy wypełnianiu przestrzeni za obudowę murową możliwie będzie uzyskanie jej wstępnej podporności), jak również kompozytów, dla których uzyskuje się ciśnienia związane z ekspansją (ich stosowanie również umożliwia dokładne wypełnienie przestrzeni).

Przebieg procesu ciśnienia wybranych kompozytów przedstawiono na rys. 4. Wielkość ciśnienia zależy od rodzaju zastosowanych kompozytów, jak również od możliwości ekspandowania. W najbardziej korzystnych warunkach (przy $E_x = 0$) możliwe jest uzyskanie ciśnienia ekspansji rzędu $0,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.



Rys. 4. Charakterystyki procesu ciśnienia ekspansji

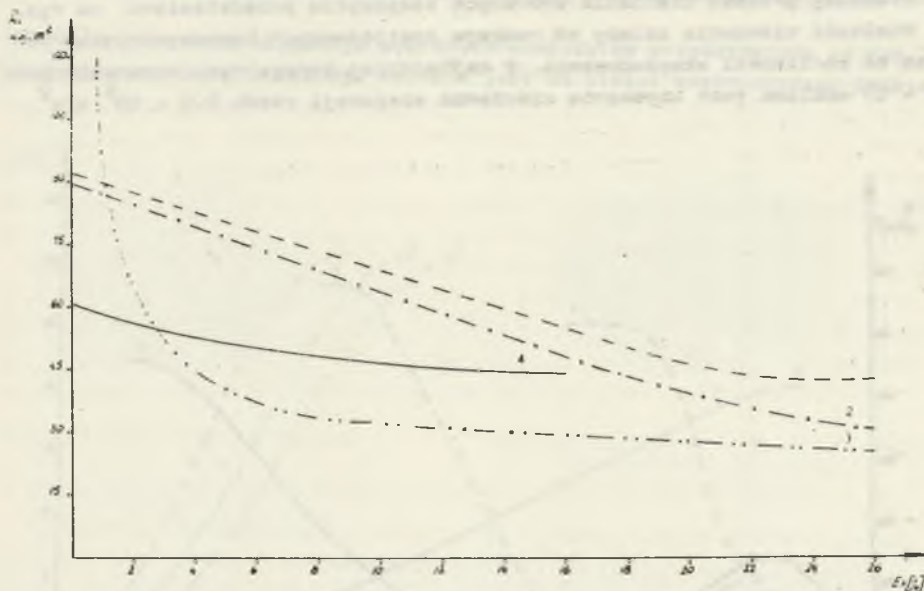
1 - spoiwo gipsowe, 2 - spoiwo fosfogipsowe, 3 - spoiwa siarczanowe z dodatkiem pyłów dymnicowych

3.3. Wytrzymałość kompozytów

Najistotniejszym parametrem wytrzymałościowych dla tworzyw wypełniających i uszczelniających jest wytrzymałość na ściskanie (R_c). Wielkość wytrzymałości uzależniona jest od rodzaju kompozytu, jak również od jego porowatości, tj. uzyskanej wielkości ekspansji w trakcie procesu wiązania. Dodatek pyłów dymnicowych wprawdzie powoduje obniżenie wytrzymałości, lecz wpływa korzystnie na przebieg procesu wiązania i twardnienia kompozytów w środowisku wodnym. Jak przedstawiono na wykresach (rys. 5) możliwe jest uzyskanie materiałów w szerokim zakresie wytrzymałości, co jest istotne przy ich doborze dla odpowiedniego kierunku zastosowania.

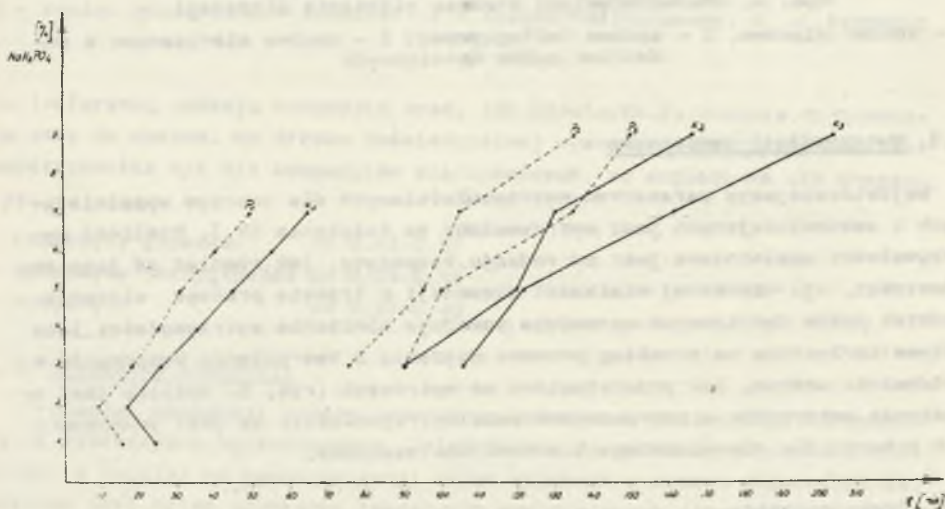
3.4. Czasy wiązania

Jak wynika z wykresów przedstawionych na rys. 6, czas wiązania kompozytów przedłuża się w miarę zwiększania się ilości dodatku fosforanów. Fakt ten jest zgodny z ogólnymi teoriami wiązania spoiw siarczanowych w roztwo-



Rys. 5. Wytrzymałość kompozytów w zależności od ekspansji

1 - spoiwo gipsowe, 2 - spoiwo fosfogipsowe, 3 - anhydryt, 4 - kompozyt pyłowy



Rys. 6. Czasy wiązania kompozytów

P_1, K_1 - początek i koniec wiązania spoiw gipsowych i fosfogipsowych,

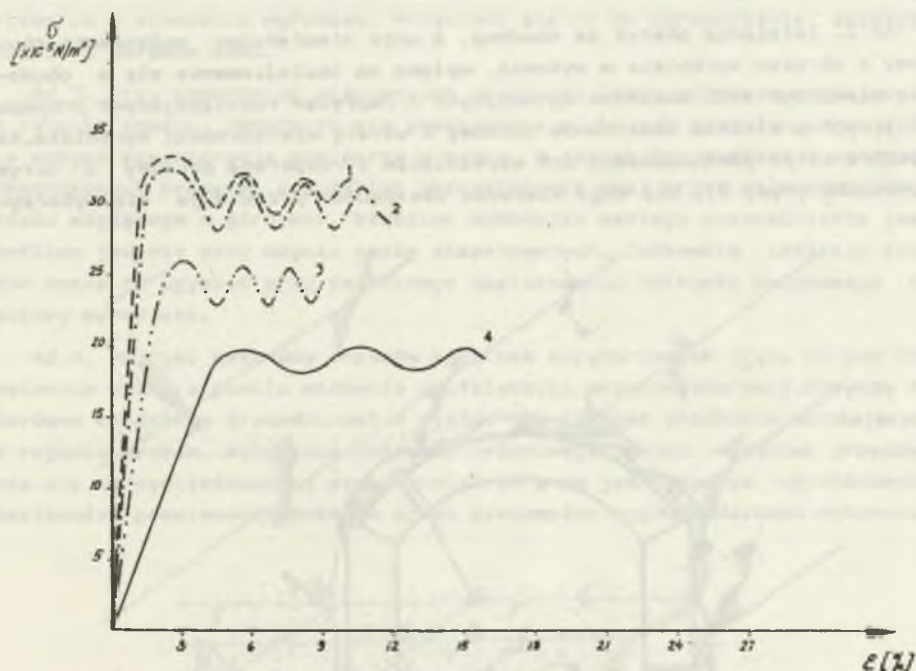
P_2, K_2 - początek i koniec wiązania kompozytów z 30% dodatkiem pyłu,

P_3, K_3 - początek i koniec wiązania kompozytów z 50% dodatkiem pyłu

rach soli. Również dodatek pyłów dymnicowych radykalnie wpływa na przedłużenie czasu wiązania spoiw. Istnieje zatem możliwość szerokiej regulacji czasu wiązania, co jest istotne dla niektórych rozwiązań technologicznych.

3.5. Odkształcenia i ściśliwość kompozycji

W prowadzonych badaniach odkształceń i ściśliwości w warunkach zbliżonych do przemysłowych, tj. bez możliwości bocznego rozszerzenia się kompozytów, otrzymano charakterystyki jak na rys. 7. Na skutek zaciskania się



Rys. 7. Charakterystyki $\sigma = (\epsilon)$ dla kompozytów ekspansyjnych
1 - spoiwo gipsowe, 2 - spoiwo fosfogipsowe, 3 - anhydryt, 4 - kompozyt pyłowy

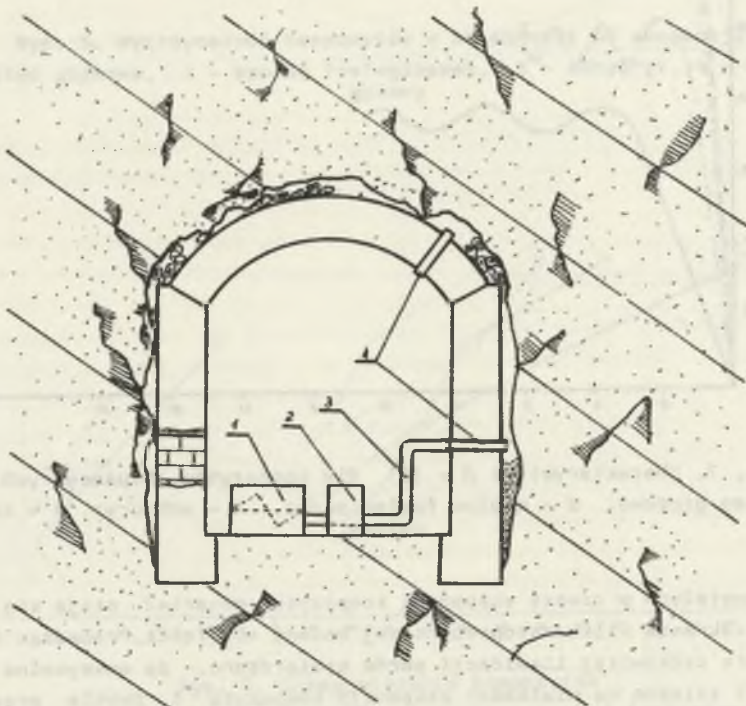
porów powstałych w czasie ekspansji kompozytu, materiał staje się przydatny w zakresie kilkunastoprocentowej zmiany objętości. Prowadząc badania do momentu całkowitej likwidacji porów stwierdzono, że maksymalna ściśliwość jest zależna od wielkości ekspansji kompozytu i zwykle przekracza wielkość ekspansji o 1-2%.

4. Kierunki zastosowania tworzyw ekepansywnych w górnictwie

Na podstawie rozeznania aktualnych potrzeb głównie w kopalniach węgla kamiennego można sprecyzować następujące kierunki zastosowań tworzyw ekepansywnych:

- 1) wypełnianie przestrzeni za obudową murową i segmentową wyrobisk górniczych,
- 2) wypełnianie pustek powstałych po obrywach skalnych,
- 3) uszczelnianie skał wokół chodników ścianowych w strefie zawału,
- 4) natrysk osłonowy ociosów wyrobisk,
- 5) doszczelnianie podsadzki hydraulicznej, itp.

Ad 1. Istnienie pustek za obudową, a więc niewłaściwe połączenie obudowy z obrysem wyrobiska w wyłomie, wpływa na kształtowanie się w obudowie niekorzystnych momentów zginających i naprężeń rozciągających przyspieszających w efekcie niszczenie obudowy i utratę stateczności wyrobiska. Konieczne zatem jest dokładne ich wypełnienie i rozparcie obudowy o obrys wyrobiska (rys. 8). Dla tego kierunku zastosowań przewiduje się wykorzy-



Rys. 8. Wypełnianie przestrzeni za obudową wyrobiska

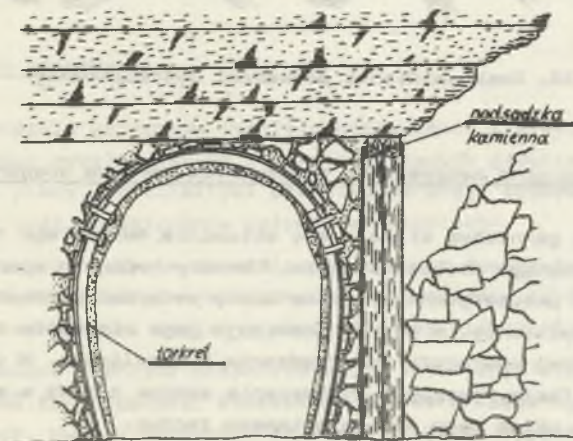
1 - zbiornik, 2 - pompa dozująca, 3 - przewody doprowadzające, 4 - króćce stalowe

stanie mineralnych tworzyw ekspansywnych o wytrzymałości na ściskanie rzędu $15-20 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ wykazujących ciśnienie ekspansji w trakcie procesu wiązania. Umożliwi to nadanie obudowie murowej podporności wstępnej. Upodatkowanie obudowy jest realizowane przez podatność materiału wypełniającego. Stosowanie wymienionych materiałów wypełniających jest korzystne przy wykonywaniu obudów wyrobisk udostępniających szczególnie w warunkach, wzmożonych ciśnień. Przewiduje się tu znaczne przedłużenie żywotności obudowy.

Ad 2. Zastosowanie tworzyw ekspansywnych do celów wypełniania pustek powstałych po obrywach skał oprócz szczelnego wypełnienia umożliwi również rozparcie skał, częściowo przywracając poprzednio istniejące warunki w górotworze w otoczeniu wyrobisk. Przyczyni się to do ograniczenia dalszych spękań i obrywów skał.

Ad 3. Przy wzmożonych ciśnieniach górotworu, szczególnie występujących w rejonie zawału, obserwuje się powstawanie w skałach szczelin, przez które odbywa się migracja powietrza w zroby. W takich przypadkach z wyrobisk chodnikowych prowadzi się zabieg uszczelniania skał przez wtłaczanie materiału wiążącego w górotwór. Właściwe wykonanie zabiegu uszczelniania jest możliwe jedynie przy użyciu spoiw ekspansywnych. Całkowitą izolację zrobów można tu uzyskać przy dodatkowym zastosowaniu natrysku osłonowego na ociosy wyrobiska.

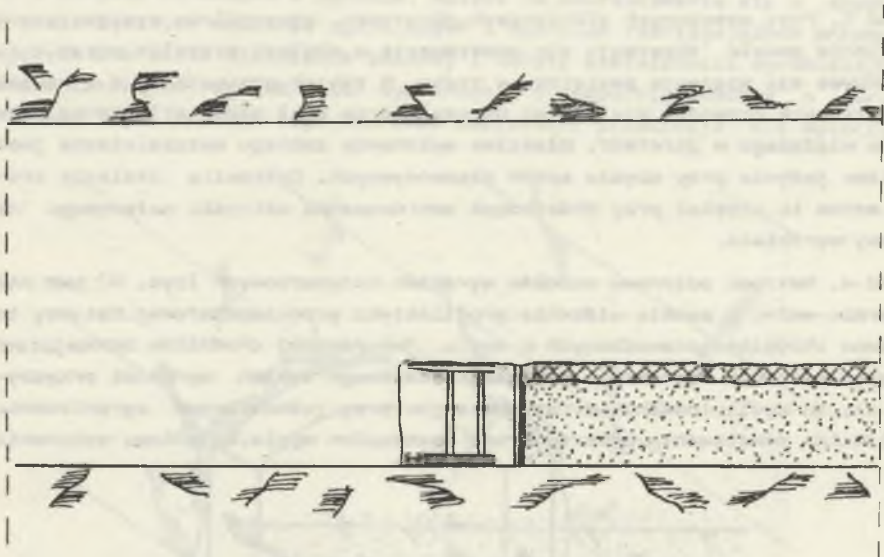
Ad 4. Natrysk osłonowy ociosów wyrobisk korytarzowych (rys. 9) jest niezmiernie ważny z punktu widzenia profilaktyki przeciwpożarowej. Dotyczy to zarówno chodników prowadzonych w węglu, jak również chodników istniejących w rejonie zrobów. Wykonanie natrysku osłonowego takich wyrobisk przyczynia się do wyeliminowania strat powietrza przy jednoczesnym ograniczeniu możliwości powstawania pożarów przez samozapłon węgla. Dodatkowo wykonanie



Rys. 9. Natrysk osłonowy ociosów wyrobisk w rejonie zawału

natrysku zabezpieczenia ociosy przed wietrzeniem, a dzięki spojeniu okruchów skał w najbliższym sąsiedztwie obudowy uzyskuje się większą ich stabilność.

Ad 5. Doszczelnianie podsadzki hydraulicznej (likwidacja zera podsadzkiowego) może być przydatna przy prowadzeniu eksploatacji pod obiektami chronionymi. Efektem tego zabiegu będzie maksymalne ograniczenie wpływów eksploatacji na powierzchnię i obiekty chronione. Również w przypadku prowadzenia eksploatacji w pokładach grubych ważnym zabiegiem, ułatwiającym wybieranie następnych warstw pokładu, będzie doszczelnienie podsadzki w części przystropowej, co przedstawiono na rys. 10. Efektem zabiegu będzie uzyskanie sztywnego spągu dla prowadzenia eksploatacji w kolejnej warstwie.



Rys. 10. Doszczelnianie podsadzki hydraulicznej

5. Uwagi technologiczne związane ze stosowaniem tworzyw ekspansywnych

W budownictwie górniczym stosuje się aktualnie dwojakiemu rodzaju aparaturę do mechanicznego podawania spoiw. Pierwszy rodzaj to aparatura na zasadzie transportu pneumatycznego, gdzie suchy materiał podawany jest przewodami do dyszy wylotowej, w której następuje jego mieszanie z wodą. Drugi rodzaj stosowanej aparatury to urządzenia hydrauliczne. W urządzeniach tych w pierwszej fazie następuje wymieszanie spoiwa z wodą w osobnym zbiorniku, a następnie układ pomp dozuje wykonany zaczyn.

Dla poszczególnych kierunków zastosowań tworzyw ekspansywnych w budownictwie górnictwym przewiduje się:

1. Stosowanie podawania pneumatycznego suchych spoiw, przy mieszaniu z wodą na dyszy wylotowej urządzenia, do celów:

- a) natrysku osłonowego ociosów wyrobisk korytarzowych i wypełniania kasetów,
- b) doszczelniania podsadzki hydraulicznej,
- c) wypełniania przestrzeni za obudową żelbetową (głównie segmentową) w studium wykonawstwa obudowy.

Z zastosowaniem tego typu urządzeń przeprowadzono próby dołowe, natrysku na ociosy wyrobisk w kopalniach KWK "Rozbark" oraz KWK "Manifest Lipcowy". Próby wykazały dobrą przyczepność kompozytów do ociosów wyrobiska. Jednocześnie możliwy jest natrysk na ociosy warstwy kompozytu grubości 13-15 cm.

2. Podawanie hydrauliczne spoiw w postaci zaczynu, do celów:

- a) uszczelniania i stabilizacji skał wokół wyrobisk, szczególnie w rejonie zawału,
- b) wypełniania pustek za istniejącą obudową murową lub betonową wyrobisk,
- c) wypełnianie pustek powstałych po obrywach skał.

W przypadku podawania hydraulicznego należy wziąć pod uwagę czas wiązania spoiwa i czas przetwarzania, związany z wydajnością aparatury. Ze względu na fakt, iż tworzywa ekspansywne generalnie należy zaliczyć do szybko wiążących, celowe jest orzedłużenie ich czasu wiązania przez zastosowanie dodatku pyłów dymnicowych. Pozytywne próby podawania hydraulicznego kompozytów ekspansywnych wykonano na kopalni "Powstańców Śląskich", gdzie prowadzono zabieg uszczelniania skał wokół wyrobiska korytarzowego w rejonie zawału oraz na kopalni "Barbara-Wyzwolenie", gdzie kompozyt ekspansywny zastosowano jako wypełnienie pustej przestrzeni występującej za obudową murową wyrobiska.

6. Stwierdzenia końcowe

1. W budownictwie górnictwym istnieje konieczność szerokiego stosowania mineralnych spoiw wypełniających i uszczelniających głównie dla poprawy bezpieczeństwa pracy, profilaktyki przeciwpożarowej, polepszenia warunków wentylacyjnych oraz ograniczenia wpływów eksploatacji.

2. Ubogi asortyment spoiw mineralnych, którymi dysponują kopalnie, to główne przyczyny realizacji wymienionych w opracowaniu zabiegów, jedynie w przypadkach awaryjnych, często z zastosowaniem niewłaściwych materiałów.

3. Przedstawione tworzywa ekspansywne charakteryzują się bardzo korzystnymi parametrami technicznymi, właściwymi dla materiałów wypełniających i uszczelniających. Wysoka ekspansja zapewnia dokładne wypełnienie przestrzeni a stwardniały zaczyn jest materiałem podatnym o dużej ścisłości. Two-

rzywa ekspansywne są przydatne szczególnie do celów wypełniania przestrzeni za obudowę wyrobisk oraz wypełniania pustek powstałych po obrywach skał, gdzie dzięki towarzyszącemu ekspansji ciśnieniu - możliwe jest np. rozparcie obudowy o obrys wyrobiska.

4. Zastosowanie pyłów dymnicowych w tworzywach ekspansywnych wpływa korzystnie na proces ich wiązania w środowisku wodnym. Korzystne jest również ze względów ekonomicznych.

ЭКСПАНСИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА И ЗАПОЛНЕНИЯ ПУСТОТ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Резюме

В статье рассматриваются результаты работ над получением экспансивных минеральных цементов высокой экспансии до 50%, а также главные направления их применения. На основе проведённых шахтных испытаний рассмотрено технологию применения экспансивных материалов.

EXPANSION MATERIALS FOR OROGEN PACKING AND VOID FILLING AROUND WORKINGS

Summary

Results in obtaining high expansion mineral materials of up to 30% expansion along with their utilisation have been discussed as well as techniques of underground laying as based upon test experience.