



Technologie uzdatniania terenów dla budownictwa

Andrzej Kubański

1. Wprowadzenie

Dokuczliwość zjawisk zapadliskowych na powierzchni spowodowała potrzebę działań ratunkowych. W pierwszym okresie działania te polegały na niekontrolowanym zasypywaniu zapadlisk materiałem pobieranym w najbliższym rejonie, co wymagało wykonania ponownego zasypu po kilku latach.

Potrzeba wykorzystania terenów dla budownictwa, wyrażająca się dużymi obciążeniami i koniecznością uzyskania stabilności na dziesiątki lat, skłania do podjęcia działań technicznych zmierzających do likwidacji skutków podziemnej eksploatacji i wtórnego zniszczenia struktury górotworu.

Do zadań procesów podsadzania należy wypełnienie pustek poeksploatacyjnych, co niekiedy nazywane jest lokowaniem odpadów, i nie wymaga się w tym procesie podparcia stropu i całkowitego wypełnienia pustki, a własności materiałów podsadzkowych dobierane są pod kątem jak największej chłonności, przy znikomym stopniu kontroli samego procesu podsadzania.

Pod pojęciem uzdatniania do zabudowy terenu zdewastowanego płytką eksploatacją górniczą rozumiemy: likwidację wyrobisk udostępniających – szybów i szybików, sztolni; likwidację pustek w strefie wyrobisk eksploatacyjnych i pustek wtórnych w górotworze nadległym wraz z ewentualnym krasem; wzmocnienie i uszczelnienie zruszonego górotworu nadległego nad wyrobiskami wraz z nadkładem; profilaktykę przeciwpożarową, obejmującą tamowanie, uszczelnianie i częściowo gaszenie ognisk pożarowych.

Sposób i zakres uzdatniania ma zapewnić możliwość zabudowy terenu albo prowadzenia głębszej eksploatacji lub spełnienie wymagań obu tych dziedzin równocześnie, tj.: wykluczenie lub ograniczenie do minimum powstawania deformacji nieciągłych jako procesu naturalnego, reaktywowanego lub pożarowego; wykluczenie procesów sufozji i nagłego wdarcia się nadkładu gruntowego do wyrobisk oraz inicjującego deformację wpływu wszelkich innych zmian warunków wodnych; zmniejszania osiadań, dosiadań i deformacji ciągłych do poziomu wymagań konstrukcyjnych lub prognozowanych przez górnictwo dopuszczalnych odkształceń łącznych od perspektywicznej i dokonanej eksploatacji.

2. Materiały podsadzkowe

Współcześnie w skali przemysłowej do uzdatniania i podsadzania wyrobisk górniczych stosuje się głównie:

- 1) podsadzki hydrauliczne, przede wszystkim klasyczne typu piaskowego i niekiedy sporządzone na bazie specjalnych kruszyw,
- 2) podsadzki z popiołów lotnych suchych i zraszanych,
- 3) pulpy (suspensje) popiołowe,
- 4) zaczyny wiążące, wśród których wyróżniamy jedno- i wieloskładnikowe pyły cementowe, zaprawy cementowo-piaskowe, cementowo-pyłowe, cementowo-popiołowe, cementowo-iłowe, cementowo-popiołowo-wapienne, żużlowo-cementowe.

Decyzja o doborze poszczególnych mediów do wprowadzenia w górotwór dla osiągnięcia założonego celu musi uwzględniać cały szereg uwarunkowań: od przyrodniczych, poprzez techniczne, do ekonomicznych. Jak każdy proces „leczący”, proces podsadzania i uzdatniania powoduje również niekorzystne zjawiska. Jednym z podstawowych jest zachowanie odpowiednich własności mieszanin, szczególnie proporcji materiału mineralnego do jego nośnika. Nadmiar powietrza lub niekontrolowa-

ny odpływ wody mogą spowodować nowe szkody w odległych rejonach. Mieszanki wyszczególnione w punktach od 1 do 3 nadają się zwłaszcza do podsadzania dużych pustek niewypełnionych wodą i gdzie nie jest wymagane uzyskanie podpórności stropu. Wtłaczanie ich do środowiska zawodnionego powoduje rozproszenie przestrzenne i niekontrolowane składowanie na kierunkach odpływu wód.

Zaczyny wymienione w punkcie 4 mają charakter mediów uniwersalnych, tzn. mogą być stosowane samodzielnie we wszystkich warunkach i zadaniach stawianych podsadzaniu i uzdatnianiu. Głównym ich przeznaczeniem jest nadanie cech wytrzymałościowych, całkowite wypełnienie pustek oraz uszczelnianie górotworu i wykonanie zabiegów poniżej zwierciadła wody.

3. Technologie udostępniania pustek

Utworzone na przestrzeni wieków działalności górniczej wyrobiska i powstałe w sposób naturalny nieciągłości w budowie górotworu są udostępniane dla potrzeb prac uzdatniających poprzez: system podziemnych wyrobisk górniczych, otworami wiertniczymi pionowymi lub kierunkowymi wykonywanymi z powierzchni, system kombinowany obejmujący wyrobiska podziemne uzupełnione otworami dołowymi kierunkowymi i powierzchniowymi pionowymi lub skośnymi.

Zwiększające się potrzeby działań, podejmowane niejednokrotnie w trybie awaryjnym, spowodowały, że kierunek udostępnienia pustek metodami wiertniczymi stał się dominujący. Technologie wiertnicze pozwalają na udostępnienie pustek pod istniejącymi obiektami, pustek zawodnionych oraz będących w stanie pożarowym.

O wyborze sposobu wypełnienia nieciągłości w strukturze górotworu decyduje stan jej wypełnienia. Spotykamy przestrzenie wypełnione druzgotem skalnym, wodą, solanką lub pozostające w ukształtowanym procesami naturalnymi bądź górniczymi kształcie geometrycznym. Wtłaczanie materiału wypełniającego spowoduje zakłócenie ukształtowanej naturalnie równowagi i dlatego powinno się odbywać odpowiednio dobranymi metodami.

4. Likwidacja płytkich wyrobisk pionowych

Działalność górnicza prowadzona w poprzednich wiekach pozostawiła swoje piętno na powierzchni, adekwatne do ówczesnych sposobów eksploatacji. Płytko zalegające surowce mineralne wydobywano głębiąc szyby o niewielkich rozmiarach, z których drążono poziome chodniki na odległość zapewniającą dyfuzyjną wymianę powietrza. Niekiedy chodniki miały połączenia z sąsiednimi wyrobiskami, uzyskiwano wtedy efekt termowentylacyjny.

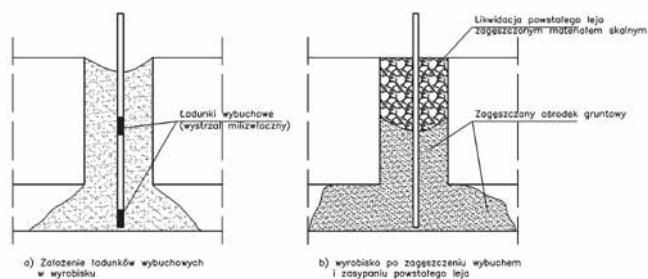
Pozostałością po takiej działalności górniczej są liczne zapadliska i leje na powierzchni. Upływ czasu i procesy przyrodnicze spowodowały częściowe podsadzenie tych wyrobisk materiałem zmytym z powierzchni i oberwanymi skałami stropowymi. Obecnie brak metod dla określenia stopnia wypełnienia wyrobisk.

Likwidacja szybików może się odbyć dwiema metodami:

A) ZAGĘSZCZANIE WYBUCHOWE

W zapadlisku lub w najbliższej odległości od niego wierci się otwory, do których wprowadza się materiał wybuchowy. Wywołany wybuch powoduje zagęszczenie ośrodka gruntowego w miejscu wyrobisk poziomych oraz opadnięcie materiału wypełniającego wewnątrz szybu. Powstały na powierzchni lej

zapadliskowy uzupełnia się zagęszczonym materiałem skalnym. Zastosowanie tego sposobu musi być poprzedzone analizą zachowania wód gruntowych i wpływem na sąsiednie obiekty fali wybuchu. Metoda była stosowana z powodzeniem do likwidacji wyrobisk po kopalni barytu w Boguszowie na Dolnym Śląsku.



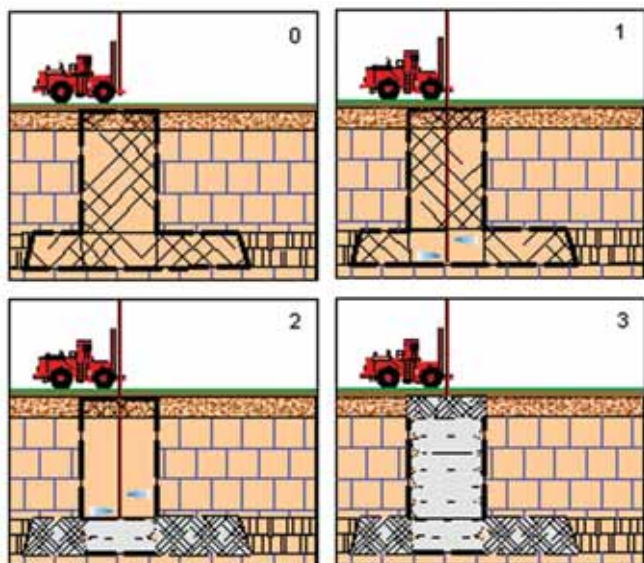
Ryc. 1. Schemat technologii likwidacji wyrobisk za pomocą zagęszczania wybuchowego

B) ZAGĘSZCZENIE INIEKCYJNE

Spśród licznych metod iniekcyjnego zagęszczania ośrodka gruntowego najbardziej wydajny jest sposób z zastosowaniem świda ciągłego z iniekcją strumieniową. Udostępnienie wnętrza szybika odbywa się otworami wiertniczymi wierconymi świdrami spiralnymi, przystosowanymi do prowadzenia iniekcji strumieniowej. Po osiągnięciu planowanej głębokości następuje podanie na dysze iniektora zaczynu wiążącego pod ciśnieniem od 20 do 50 MPa i wycofywanie świda odwrotnymi obrotami. Strumień zaczynu wiążącego wypływający z dysz miesza się z materiałem wypełniającym wyrobisko.

Zastosowanie świda ciągłego ma umożliwić większą penetrację zaczynu w wyrobiska. Uzyskuje się to przez uszczelnienie otworu urobkiem znajdującym się na świdrze, a tym samym przez utrudnienie wypływu na powierzchnię terenu zaczynu podawanego z dużą energią kinetyczną w modyfikowane podłoże gruntowe.

Zastosowanie jedynie początkowego odcinka iniektora w postaci świda, przy dalszych odcinkach jako żerdzie o zmniejszonym przekroju w stosunku do odcinka początkowego, nie daje pewności co do odcięcia wypływu zaczynu. Zaczyn, nie mając możliwości wypływu, znacznie lepiej penetruje w pustki i rozluźnienia w górotworze. Po związaniu powstaje gruntocement o znacznej wytrzymałości na ściskanie.

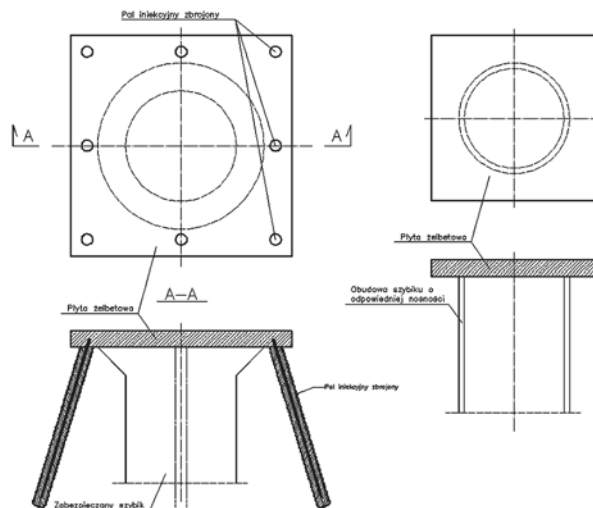


Ryc. 2. Schemat likwidacji wyrobiska za pomocą zagęszczania iniekcyjnego. Prezentowane rozwiązanie jest chronione patentem nr (11) 194187

Na odcinkach, na których istnieje duże zagęszczenie szybików o trudnej do odtworzenia lokalizacji, można zastosować walce wibracyjne dla wywołania lokalnych obwałów. Odkryte w trakcie robót ziemnych szybki należy inwentaryzować i po uzyskaniu

wymaganego stopnia likwidacji przykryć płytą żelbetową. Płyta żelbetowa może objąć kilka lub kilkanaście szybików.

Zastosowanie płyty żelbetowej uwarunkowane jest możliwością wykonania wystarczających warunków podparcia na jej brzegach. Zapewnienie przeniesienia projektowanych obciążeń można uzyskać dwójako. Poprzez oparcie na wystarczająco nośnej obudowie szybki lub poprzez wykonanie dodatkowych kolumn iniekcyjnych w otoczeniu szybki.



Ryc. 3. Schemat zabezpieczenia szybika po likwidacji

5. Likwidacja płytko zalegających wyrobisk poziomych

Likwidacja starych wyrobisk poziomych nastęrcza trudności związanych z ich odwzorowaniem na powierzchni. Badania pośrednie, jakimi są metody geofizyczne i analiza map górniczych, które z racji wieku i kilkakrotnego przerysowania utraciły swą dokładność, nie pozwalają precyzyjnie, z dokładnością wyznaczoną szerokością wyrobiska, określić lokalizację otworów wiertniczych udostępniających pustkę. Na podstawie doświadczeń z dotychczasowych prac można założyć, że ok. 40% otworów jest nietrafionych.

Nadzieję na podniesienie stopnia wykorzystania otworów udostępniających łączymy z wdrożeniem radarowych badań otworowych, które pozwolą na prześwietlenie górotworu w poziomie na odległość kilkudziesięciu metrów.

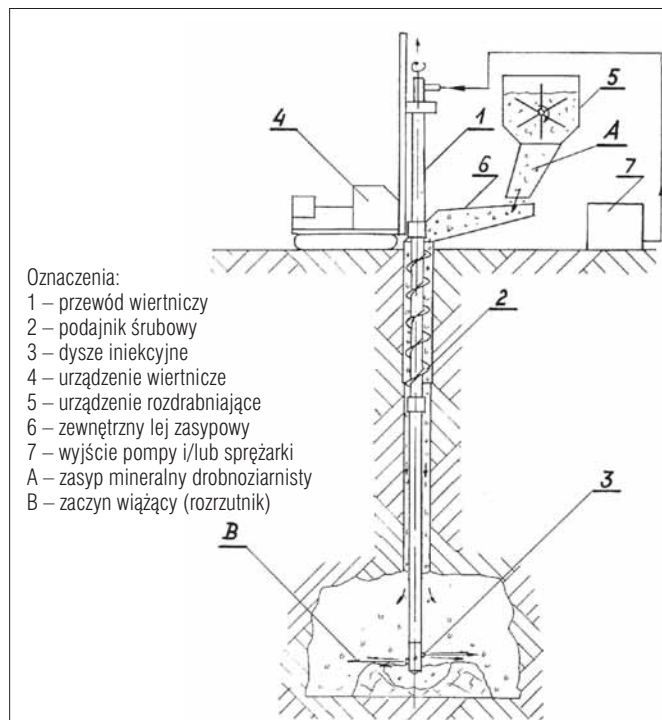
Pustki wypełnia się zarówno przez bezpośrednie udostępnianie, jak i pośrednio – poprzez przetłoczenia systemem szczelin. Dobór zaczynów, które posiadają dobre właściwości penetracji szczelin i rozlewność umożliwiającą przetłaczalność systemem pompowym, pozwala na skuteczne wypełnienie ciśnieniem niewiele większym od grawitacyjnego.

Jest to bardzo przydatne przy likwidacji pustek wtórnych, których położenie nie zawsze jest znane i często nie może być ustalone. Rodzaj zaczynu ustala się zależnie od jego właściwości, wymagań i warunków stosowania. Ogólnie można powiedzieć, że mieszaniny lepsze (ale droższe) są predysponowane do prac poniżej zwierciadła wody i w przypadkach konieczności dalszego przetłaczania w podłożu, np. pod obiektami istniejącymi.

Często zaczyny znajdują zastosowanie jako medium uzupełniające uzdatnianie, wykonane uprzednio podsadzką lub pulpą. Istotną zaletą stosowania zaczynów, w przeciwieństwie do podsadzki czy pulpy, jest możliwość kontrolowania procesu ich rozchodzenia się metodą geofizyczną, niezależnie od kontroli ciśnienia.

5.1. Wypełnianie pustek droбноziarnistą suchą mieszaniną wiążącą

Stosowane dawniej zasypywanie nawierconej pustki materiałem mineralnym, podawanym do otworu lejkiem zwykłym, kształtowało stożek nasypowy pod otworem i prowadziło do jego zacopowania. Nowy sposób polega na dozowanym podawaniu średnioziarnistego materiału mineralnego do wyrobiska przy pomocy specjalnego przewodu wiertniczego. Powstały stożek nasypowy wysokoenergetycznym strumieniem gazu, wody lub



- Oznaczenia:
 1 – przewód wiertniczy
 2 – podajnik śrubowy
 3 – dysze iniekcyjne
 4 – urządzenie wiertnicze
 5 – urządzenie rozdrabniające
 6 – zewnętrzny lej zasypany
 7 – wyjście pompy i/lub sprężarki
 A – zasyp mineralny drobnoziarnisty
 B – zaczyn wiązujący (rozrzutnik)

Ryc. 4. Metoda podawania materiału podsadzkowego do udostępnionych otworami wyrobisk

zaczynu wiązającego jest okresowo rozrzucany po wyrobisku. Zaczyn wiązający powoduje zeskalenie zasypu w pustce. Kilkakrotne cykliczne powtarzanie operacji pozwala na podsadzenie znacznej objętości pustki.

Technologia ta powstała dla potrzeb likwidacji kopalni barytu „Boguszów”, gdzie została pierwszy raz z powodzeniem wdrożona dla likwidacji części wyrobisk. Rozwiązanie jest chronione patentem nr (11) 194189.

5.2. Wypełnianie pustek płynną mieszaniną wiążącą

Spośród licznych możliwych podziałów technologii podsadzania wyrobisk i uzdatniania terenu najbardziej odpowiedni i obejmujący całość zagadnienia jest podział, biorący jako wyróżnik rodzaj medium służącego jako nośnik materiału wypełniającego. Możemy więc wyróżnić nośniki płynne, gazowe i kombinowane.

Uwzględniając chronologię rozwoju technologii, pierwszym nośnikiem była woda umożliwiająca zmycie piasku i doprowadzenie mieszaniny do wyrobisk, w których przy poziomym rozprowadzeniu zostawał piasek, a woda odpływała do dalszych wyrobisk.

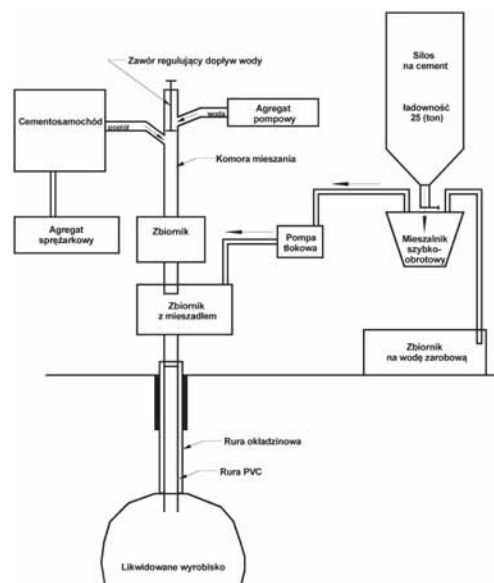
W ostatnich latach piasek został zastąpiony pyłami i popiołami elektrownianymi, a czysta woda coraz częściej jest zastępowana mieszaniną wiążącą, eliminując nadmiar płynnego nośnika i niekontrolowany jego rozplływ w wyrobiskach.

Konieczność podawania dużej objętości materiału pylistego spowodowała zastosowanie sprężonego powietrza. Technologia pneumatycznego podawania materiału podsadzkowego w przypadku wyrobisk węglowych niesie za sobą skutek w postaci pożarów, często w odległych polach eksploatacyjnych. Można ją jednak stosować przy wykorzystaniu gazów obojętnych nawet do gaszenia tych pożarów.

Płynne i gazowe nośniki doskonale nadają się do drobnoziarnistych materiałów wypełniających.

Do sporządzania i transportu mieszanin wypełniających pustki adoptowano przeważnie sprzęt używany w wiertnictwie i budownictwie. Schemat instalacji do sporządzania i zatłaczania zaczynu popiołowo-wodnego i cementowo-wodnego przedstawiono na rycinie 5.

W rejonach eksploatacji węgla wykształciła się w ostatnich latach stosowana przez wykonawców metoda uzdatniania podłoża



Ryc. 5. Schemat instalacji do sporządzania i zatłaczania zaczynu popiołowo-wodnego i cementowo-wodnego

określana mianem „z góry w dół”. Polega ona na rozpoczynaniu procesu zatłaczania odcinka z pierwszą napotkaną nieciągłością w górotworze sygnalizowaną zanikiem płuczki wiertniczej. Sposób ten pozwala na likwidację pustek wynikających z wtórnego rozluźnienia monolitu gruntowo skalnego już w strefie oddziaływania obciążeń budowlanych i zapobiega infiltracji wód w głąb. Szczególne zalety wykazuje ten sposób prowadzenia prac pod istniejącymi obiektami budowlanymi, choć niesie za sobą zwiększony zakres prac wiertniczych, związanych z ponownym wierceniem w strefach podsadzonych.

5.3. Wypełnianie zawodnionych pustek mieszaniną płynną

Coraz częściej zachodzi potrzeba likwidacji pustek w górotworze wypełnionych płynnym medium. Do najczęściej spotykanych w praktyce płynnych mediów wypełniających podziemnych wyrobiska pogórnice należą: wody gruntowe, wody zasolone, ścieki kanalizacyjne, wody zasiarczone, wody z zawartością związków ropopochodnych.

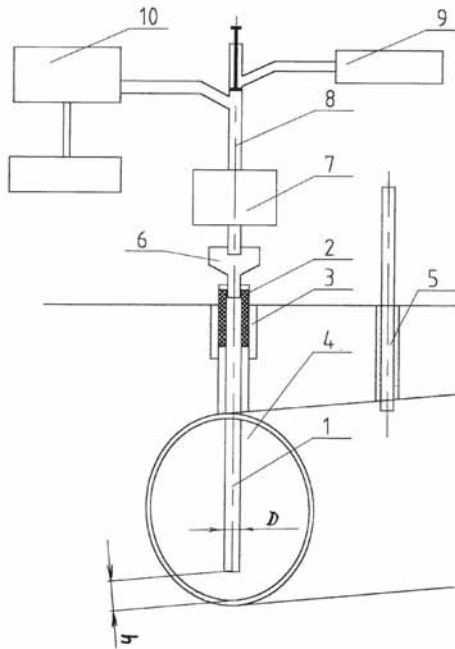
W dotychczasowej praktyce istnieją różne sposoby i metody likwidacji podziemnych obiektów i wyrobisk pogórnich wypełnionych płynnymi mediami. Jedną z metod jest metoda wiertnicza likwidacji (szczelnego wypełnienia) podziemnych obiektów i wyrobisk pogórnich zaczynami wiążącymi w płynnym medium. Jest to metoda pozwalająca na szybkie zrealizowanie przedsięwzięcia i zapewniająca szczelne wypełnienie wyrobisk podziemnych zaczynem wiążącym, dającym po związaniu tworzywo gwarantujące jego długoletnią trwałość.

Jednak coraz częściej zachodzi potrzeba likwidacji pustek w górotworze wypełnionych płynnym medium, których likwidacja może stanowić duże trudności. Tłoczenie mieszanin podsadzających pod ciśnieniem większym od hydrostatycznego do przestrzeni wyrobiska może spowodować niekorzystne oddziaływanie na inne wyrobiska lub budowle oraz zasoby wodne.

Doświadczenie nakazuje, aby wtłaczanie zaczynów wiążących odbywało się pod ciśnieniem hydrostatycznym z możliwością odprowadzenia wody wypełniającej pustkę.

Schemat podstawowych instalacji służących do sporządzania i zatłaczania wiążących zaczynów przeznaczonych do likwidacji podziemnych wyrobisk wypełnionych płynnym medium przedstawiono na rycinach 6 i 7. Rozwiązanie jest chronione patentem nr (11) 194188.

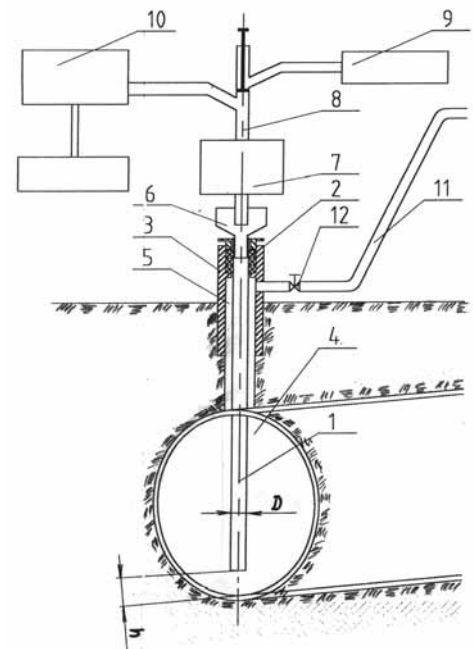
W schemacie przedstawionym na rycinie 7 otwór odprężający (5) stanowi przestrzeń pomiędzy wewnętrzną ścianą rury obsadowej (3) a zewnętrzną ścianą rury PCV (1), służącą do zatłaczania zaczynu, natomiast rura obsadowa (3) w górnej części poniżej uszczelki (2) posiada króciec odprowadzający (11) zaopatrzony w zawór (12).



Ryc. 6. Schemat instalacji do sporządzania i zatlaczania zaczynu popiołowo-cementowego do pustek wypełnionych płynnym medium z otworem odprężającym

Oznaczenia:

- 1 – przewód wiertniczy
- 2 – podajnik śrubowy
- 3 – dysze iniekcyjne
- 4 – urządzenie wiertnicze
- 5 – urządzenie rozdrabniające
- 6 – zewnętrzny lej zasypowy
- 7 – wyjście pompy i/lub sprężarki
- A – zasyp mineralny drobnoziarnisty
- B – zaczyn wiążący (rozrzutnik)



Ryc. 7. Schemat instalacji do sporządzania i zatlaczania zaczynu popiołowo-cementowego do pustek wypełnionych płynnym medium z zaworem odprowadzającym

5.4. Likwidacja płytko zalegających pustek przez zawał stropu

Pustki zalegające do głębokości ok. 10,0 m można likwidować poprzez zawał stropu wymuszony wstrząsami dynamicznymi, wywołanymi np. walcami wibracyjnymi lub ładunkami wybuchowymi, umieszczonymi w otworach wiertniczych dwierconymi do nich. Zapadliska należy wypełnić materiałem gruntowym trudno przepuszczalnym i gwarantującym uzyskanie wymaganej nośności podłoża.

5.5. Likwidacja spękań stref uskokowych

Brak warstw nadkładowych nad skalnym podłożem ujawnia bezpośrednio przebieg uskoków tektonicznych odwzorowanych zazwyczaj strefą uskokową o szerokości do kilkudziesięciu metrów. Stan naprężeń skał wokół uskoków jest zazwyczaj nieznan, a strefa uskokowa zbudowana z druzgotu skalnego przemieszanego z gruntami sypkimi i spoistymi jest drogą odpływu wód opadowych.

Budowa obiektów na strefie uskokowej jest czynnością bardzo ryzykowną, gdyż nieznaną jest możliwość uaktywnienia kinematyki ruchu mas skalnych. Ewentualne prace profilaktyki geotechnicznej mogą polegać na zmniejszeniu naprężeń w skałach przez ich wybuchowe rozdrobnienie i uzyskanie strefy kompensacji ruchów. Ponadto strefie uskoku można ograniczyć drogi spływu wód gruntowych przez iniekcyjne uszczelnienie i odpowiednie ukształtowanie terenu. Poczynania techniczne w strefie uskoku wymagają każdorazowo odrębnego projektu uwzględniającego odrębne warunki geotechniczne i tektoniczne oraz różnicowane cele budowlane.

6. Podsumowanie

Eksploatacja na przestrzeni wieków kopalni użytecznych, począwszy od rud darniowych poprzez rudy metali i węgla kamiennego oraz siarki i soli kamiennej, pozostawiła za sobą znaczne zniszczenia odwzorowane bezpośrednio na powierzchni ziemi lub przez potencjalne zagrożenie zawałenia się komór poeksploatacyjnych i jaskiń krasowych.

Rozwój budownictwa i deficyt terenów budowlanych powoduje konieczność prac likwidacyjnych i przywracaniu wartości budowlanej znacznych obszarów.

Prace uzdatniające rozpoczęto stosować w sposób awaryjny wówczas, gdy wystąpiło bezpośrednie zagrożenie budowli. Bardzo niewiele było zastosowań profilaktycznych przed budową obiektów. Doświadczenia zdobyte na licznych zastosowaniach ratunkowych technologii uzdatniania terenów pogórnich, pozwoliły na bezpieczne wybudowanie na terenie Śląska auto-

strady śródmiejskiej, zwanej Drogową Trasą Średnicową i autostrady A-4, szczególnie na odcinku katowickim, a także licznych obiektów punktowych.

Po okresie udostępniania pustek robotami górniczymi obecnie powszechnie stosuje się udostępnianie pustek otworami wiertniczymi o różnej konstrukcji i przeznaczeniu. Poprzez otwory podawane są mieszaniny wiążące o stopniu utwardzenia dobranym do celu zadania. Nowe techniki badań geofizycznych powinny znacznie poprawić trafność lokalizacji otworów oraz pozwolić na zwiększenie chłonności materiałów wypełniających.

Obecnie daje się zauważyć bardziej wnikliwe podejście do zagadnienia płytko zalegających pustek poeksploatacyjnych z uwagi na większą odpowiedzialność właścicieli terenów budowlanych i ostrożność inwestorów.

Literatura

1. Kuniewicz S. (1983): *Niektóre metody uzdatniania podłoża zagrożonego lub zdewastowanego płytką eksploatacją górniczą*. Konferencja NOT.
2. Kubański A., Zych J. (1999): *Projektowanie prac likwidacyjnych płytko zalegających pustek poeksploatacyjnych*. Międzynarodowa Konferencja IV Szkoła Geomechaniki, cz. I, Gliwice-Ustroń.
3. Kubański A., Zawada S. (1996): *Podsadzanie i uzdatnianie terenu z płytko zalegającymi pustkami poeksploatacyjnymi*. VII Międzynarodowe Sympozjum Geotechnika – Geotechnics '96, Gliwice-Ustroń.
4. Zych J., Kubański A., Piwowarski W., Gądek A.: *Sposób likwidacji płytkich wyrobisk górniczych byłej kopalni barytu w Boguszowie*. Warsztaty 2001. Przywracanie wartości użytkowych terenom górniczym. Stare kopalnie nowe perspektywy. Polska Akademia Nauk – Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią. Kraków 2001.
5. Moroński S., Zawada S.: *Urządzenie do zatlaczania wyrobisk górniczych*. Wzór użytkowy nr 507432 z 3 I 1990.
6. Patent nr (11) 194189. *Sposób wprowadzania materiałów podszadzkowych do pustek po wyrobiskach górniczych oraz zestaw urządzeń do realizacji tego sposobu*, listopad 2000.
7. Patent nr (11) 194188. *Sposób likwidacji wyrobisk górniczych oraz podziemnych pustek naturalnych, zwłaszcza wypełnionych płynnym medium, i zestaw urządzeń do realizacji tego sposobu*, listopad 2000.
8. Patent nr (11) 194187. *Sposób prowadzenia iniekcji strumieniowo-ciśnieniowej oraz urządzenia do realizacji tego sposobu*.