

Stanisław ZAWADA

Zakład Inżynieryjny „Georem”, Sosnowiec

Jan ZYCH

Politechnika Śląska, Gliwice

Andrzej KUBAŃSKI

Zakład Inżynieryjny „Georem”, Sosnowiec

Likwidacja wyrobisk górniczych wypełnionych płynnym medium

Streszczenie

W artykule przedstawiono technologię likwidacji podziemnych wyrobisk górniczych wypełnionych płynnym medium. Jednym z warunków właściwej realizacji technologii jest dobór odpowiednich zaczynów do likwidacji takich wyrobisk. W dalszej części artykułu przedstawiono sposób likwidacji wyrobisk górniczych wypełnionych płynnym medium na przykładzie likwidacji w 2000 roku zatopionych w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku obiektów podziemnych metra w rejonie Dworca Wileńskiego w Warszawie.

1. Wstęp

W wielu rejonach Polski istnieją stare zroby górnicze będące wynikiem eksploatacji górniczej płytko zalegających pokładów węgla kamiennego, rud cynku i ołowiu, miedzi oraz soli kamiennej.

Powstałe w wyniku płytkiej eksploatacji górniczej zroby powodują w pewnych warunkach duże ryzyko wystąpienia deformacji nieciągłych na powierzchni terenu. Ilość wyrobisk górniczych, które zagrażają powierzchni terenu w ostatnim okresie zwiększyła się o wyrobiska powstałe w wyniku wydobywania soli kamiennej w metodzie otworowej (ługowanie stropu i bocznych ścian) (Otworowa Kopalnia Soli „Łęczkowice” oraz siarki w rejonie Jeziórka). Rozbudowa miast, oraz budowa w nich nowoczesnych Centrów Handlowo – Usługowych i Biznesowych oraz sieci nowoczesnych dróg (autostrady) wymusza konieczność zabezpieczania nowoczesnych obiektów przed nierównomiernym osiadaniem. Mając na uwadze ochronę powierzchni oraz istniejących budowli lub przewidzianych do wybudowania, występujące w górotworze płytko zalegające wyrobiska pogórnice oraz silnie spękany górotwór (skały karbońskie) powinny być właściwie zabezpieczone poprzez wzmacnianie skał karbońskich oraz szczelne wypełnienie wyrobisk pogórnich (pustek) tworzywem zapewniającym jego długoletnią trwałość.

Likwidacja wyrobisk pogórnich nie następuje większych trudności i jest prowadzona właściwie. Jedyną trudnością są problemy dotyczące zdobycia środków na finansowanie wyżej wymienionych prac.

Duże trudności występują w przypadku likwidacji wyrobisk pogórnich wypełnionych płynnymi mediami. Do najczęściej spotykanych w praktyce płynnych mediów wypełniających

podziemne wyrobiska pogórnice należą: wody gruntowe, wody zasolone, ścieki kanalizacyjne, wody zasiarzone, wody z zawartością związków ropopochodnych.

2. Technologia likwidacji podziemnych obiektów i wyrobisk wypełnionych płynnymi mediami

W dotychczasowej praktyce istnieją różne sposoby i metody likwidacji podziemnych obiektów i wyrobisk pogórnice wypełnionych płynnymi mediami. W niniejszym artykule przedstawiona zostanie metoda wiertnicza likwidacji (szczelnego wypełniania) podziemnych obiektów i wyrobisk pogórnice wiążącymi zaczynami. Jest to metoda pozwalająca na szybkie zrealizowanie przedsięwzięcia i zapewniająca szczelne wypełnienie wyrobisk podziemnych zaczynem wiążącym, dającym po związaniu tworzywo gwarantujące jego długoletnią trwałość.

2.1 Badania laboratoryjne

Po gruntownej analizie stosowanych dotychczas metod likwidacji wyrobisk pogórnice na terenach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego oraz wyrobisk wypełnionych solanką – na przykład likwidacja w Otworowej Kopalni Soli „Łęczkowice”, stwierdzono, że dotychczasowe prace nie dają zadawalających efektów z powodu nadmiernego mieszania się zatłaczanych mieszanin lub zaczynu z cieczami wypełniającymi likwidowane wyrobiska. Mając powyższe na uwadze przeprowadzono badania laboratoryjne mające na celu dobór składu i własności technologicznych ograniczających do minimum mieszanie się zatłaczanych zaczynów z cieczami wypełniającymi likwidowane wyrobiska. Całość badań laboratoryjnych została wykonana zgodnie z normą PN-85/G62320 „Cementy i zaczyny cementowe do cementowania w otworach wiertniczych i wyrobiskach pogórnice.”

Badania laboratoryjne przeprowadzone zostały w dwóch etapach. W pierwszym etapie przeprowadzono badanie laboratoryjne polegające na doborze składu zaczynu wiążącego w obecności cieczy wypełniającej likwidowane wyrobisko. W trakcie prowadzonych badań stosowano dwa rodzaje cieczy wypełniających:

- woda wodociągowa z wodą gruntową (pobrana z likwidowanych podziemnych obiektów metra w Warszawie) o własnościach:
 - pH – 6,0
 - wapń – 180,0 mg/dcm³
 - chlorki – 100,0 mg/dcm³
 - kwaśny węglan (HCO₃) 231 mg/dcm³
 - siarczany 32,1 mg/dcm³
 - gęstość około 1,09 g/cm³
- solanka o gęstości 1,25 g/cm³.

W wyniku przeprowadzonych badań laboratoryjnych dla likwidacji podziemnych obiektów i wyrobisk pogórnice wypełnianych wodą wodociągową zmieszaną z wodą gruntową o gęstości powyżej 1,05 g/cm³, wytypowano do stosowania zaczyny wiążące o składzie: popiół lotny - 90 % wagi oraz cement CEM I 32,5 - 10 % wagi zmieszane w stanie suchym. W szczególnych przypadkach dodawano od 1,0 – 2,0 % wagi węglanu sodu.

Natomiast dla wyrobisk pogórnice wypełnionych solanką o gęstości około 1,25 g/cm³ stosowano:

- cement hutniczy,

- żużel hutniczy granulowany,
- piasek,
- żużel elektrowniany.

Zaczyn składający się z wyżej wymienionych surowców musi być sporządzony na roztworze solanki. Dobór procentowy poszczególnych składników oraz sposób sporządzenia zaczynu uzależniony jest od wymagań techniczno – technologicznych.

W trakcie, przeprowadzonych na dużą skalę badań laboratoryjnych symulacyjnych, których wyniki sprawdzono i potwierdzono na skalę techniczną w warunkach terenowych stwierdzono fakt, że przy odpowiedniej różnicy pomiędzy gęstością wtłaczanego grawitacyjnie zaczynu i gęstością medium płynnego wypełniającego likwidowane wyrobisko, zachodzi pełne wypieranie medium wypełniającego przez zatłaczany zaczyn, bez zauważalnego mieszania się tych dwóch substancji. Przeprowadzone badania laboratoryjne symulacyjne (fot. 2.1 i 2.2) pozwoliły na sformułowanie następujących stwierdzeń:



Fot. 2.1 Symulacja rozlewności zaczynu podsadzkowego w środowisku wodnym w warunkach laboratoryjnych

Fig. 2.1 Simulation of spillage of backfill material medium in water environment in laboratory conditions

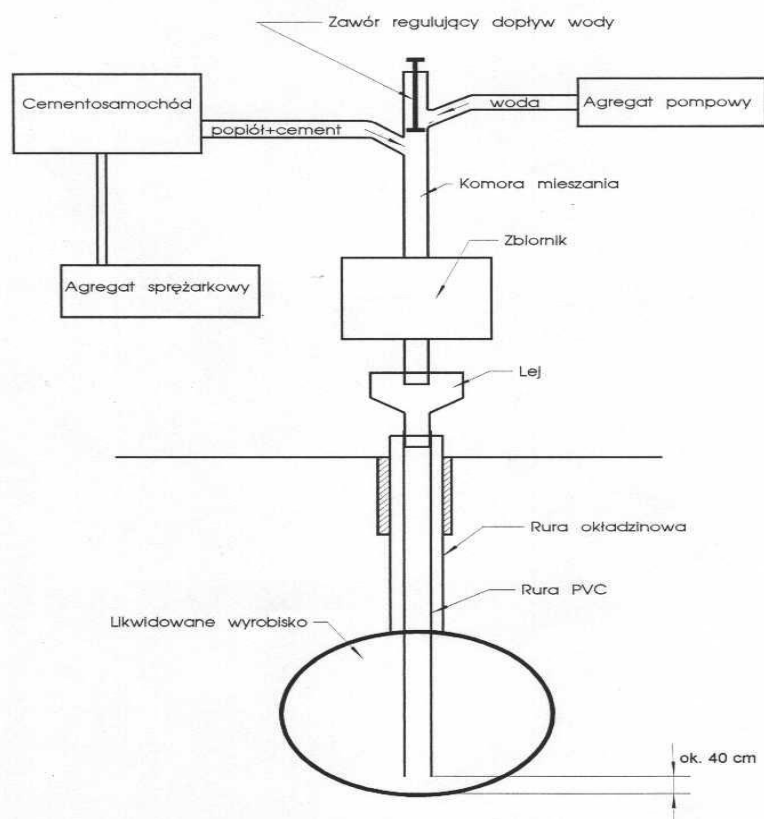


Fot. 2.2 Porównanie rozlewności i czasu wiązania w środowisku wodnym zaczynów o różnym składzie

Fig. 2.2 Comparison of spill-factor and time of bonding in water environment of backfill material medium of different compositions

- korzystne wypełnienie likwidowanego wyrobiska uzyskuje się, gdy zatłaczany grawitacyjnie wiążący zaczyn ma gęstość przynajmniej o $0,5 \text{ g/cm}^3$ większą od gęstości medium płynnego wypełniającego likwidowane wyrobisko, z zachowaniem równowagi pomiędzy objętością wtłaczanego zaczynu wiążącego, a objętością wypieranego lub pompowanego przez otwór odprężający medium płynnego,
- końcówka rury służącej do zatłaczania grawitacyjnego wiążącego zaczynu w trakcie rozpoczęcia operacji winna być umieszczona ponad dnem likwidowanego podziemnego wyrobiska w odległości nie mniejszej niż trzykrotna średnica rury służącej do zatłaczania zaczynu. Rurę należy systematycznie podnosić w zależności od poziomu powierzchni podnoszenia się zatłaczanego zaczynu, utrzymując go w stałej odległości od końcówki rury. Bardzo korzystnie wpływa na szczelne wypełnienie likwidowanego wyrobiska szybkość zatłaczania grawitacyjnie wiążącego zaczynu do likwidowanego wyrobiska, która nie powinna przekraczać około $20,0 \text{ m}^3/\text{godz}$.

Schemat podstawowych instalacji służących do sporządzania i zatłaczania wiążących zacy-nów przeznaczonych do likwidacji podziemnych wyrobisk wypełnionych płynnym medium przedstawiono na rys. 2.1.



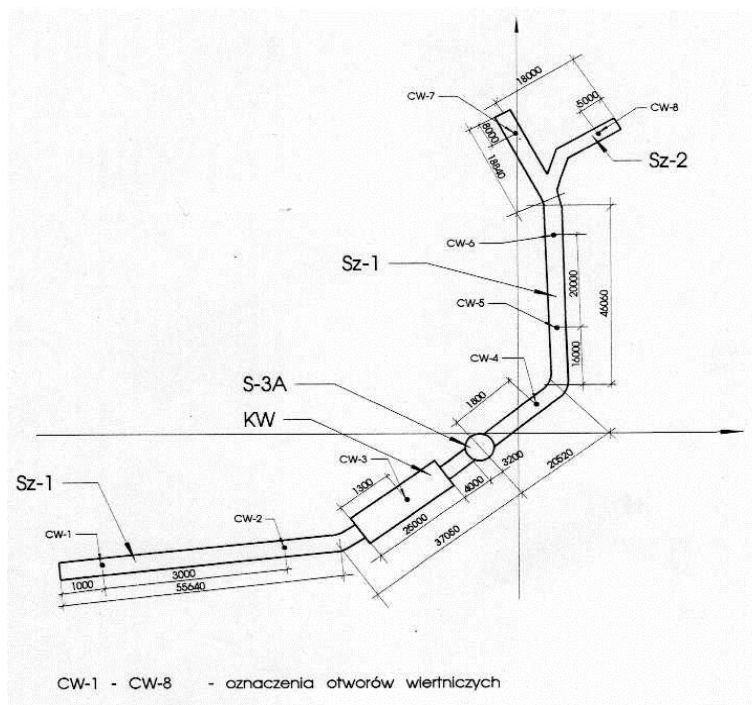
Rys. 2.1 Schemat instalacji do sporządzania i zatłaczania zacyznu popiołowo-cementowego
Fig. 2.1 Diagram of device used for making and forcing ash-cement backfill material medium

2.2 Likwidacja zatopionych podziemnych obiektów metra w Warszawie

Technologia budowy metra głębokiego w latach pięćdziesiątych spowodowała naruszenie stabilności gruntów nadległych oraz zmiany ich parametrów geotechnicznych. Posadowienie fundamentów nowobudowanego Centrum Handlowo – Usługowego w rejonie dworca PKP Warszawa Wileńska nad istniejącymi podziemnymi wyrobiskami metra [2] mogło spowodować przekroczenie dopuszczalnych osiadań, co miałyby wpływ na konstrukcję obiektu i jego wystrój architektoniczny [3].

2.2.1 Charakterystyka podziemnego metra

W skład wyrobisk podziemnych metra, wypełnionych zanieczyszczoną wodą o gęstości $1,08 \text{ g/m}^3$, wchodziły następujące wyrobiska przedstawione schematycznie na rys. 2.2:



Rys. 2.2 Lokalizacja obiektów podziemnych metra wraz z projektowaną lokalizacją otworów wiertniczych

Fig. 2.2 The localisation of underground construction of metro with designed localisation of boreholes

- S – szyb o średnicy wewnętrznej ϕ 5,60 m i głębokości 40,85 m,
- Sz-1 – dwutorowe sztolnie o wymiarach w świetle obudowy betonowej 2,72×2,66 m i długościach: zachodnia 64,5 m, wschodnia 82,0 m,
- Sz-2 – jednorodowa sztolnia o wymiarach w świetle obudowy 1,96×2,00 m i długości 18 m,
- Kw – komora wentylacyjna o wymiarach 4,50×4,40 m i długości 25 m.

2.2.2 Koncepcja likwidacji podziemnych obiektów metra

W świetle określonych warunków środowiskowych oraz istniejącego zagrożenia powierzchni, a zwłaszcza nowo powstającego Centrum, ze strony podziemnych obiektów metra, przyjęto następujące zasady likwidacji tego zagrożenia:

- obiekty podziemne metra: S – szyb, Sz-1 – dwutorowe sztolnie, Sz-2 – jednorodową sztolnię oraz Kw – komorę wentylacyjną, wypełnić szczelnie odpowiednio dobranym materiałem, zapewniającym odpowiednią jego wytrzymałość oraz długoletnią trwałość. Objętość w/w obiektów przeznaczonych do likwidacji wynosiła 3200 m³,
- likwidacja w/w obiektów wykonana zostanie poprzez otwory wiertnicze odwiercone pionowo z powierzchni oraz odpowiednio uzbrojone i przygotowane do zatłaczania wiążącego zaczynu,
- w celu wyeliminowania mieszania się zatłaczanego zaczynu z wypełniającą likwidowane

wyrobiska wodą zastosować zaczyny o odpowiedniej gęstości i charakteryzujące się niską rozlewnością i odstojem wody,

- dla zapewnienia szczelnego i równomiernego wypełnienia likwidowanych obiektów, w trakcie zatłaczania wiążących zaczynów, równocześnie odpompowywać z nich wodę, z wydajnością zbliżoną do ilości zatłaczanego zaczynu,
- proces likwidacji podziemnych obiektów metra kontrolować w sposób ciągły w zakresie jakości parametrów technologicznych stosowanych zaczynów jak i osiągniętych efektów ich rozplywu oraz wiązania w warunkach podziemnych w obecności wody.

2.2.3 Prace wiertnicze

Miejsca wierceń zostały wyznaczone w oparciu o mapę lokalizacji obiektów podziemnych metra i zaznaczone na rys. 2.2. Całość prac wiertniczych wykonana została urządzeniem wiertniczym WIRTH B-1A.

2.2.4 Technologia likwidacji podziemnych obiektów metra

Podstawowym zadaniem materiałów i surowców, z których sporządzano wiążące zaczyny, przeznaczone do likwidacji płytko zalegających wyrobisk metodą iniekcji otworowej, było szczelne i trwałe wypełnienie tych obiektów eliminujące i zapobiegające ich ujemnemu wpływowi na powierzchnię i nowo budowane obiekty Centrum Handlowego.

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych wytypowano podstawowe surowce do sporządzenia wiążących zaczynów przeznaczonych do likwidacji podziemnych obiektów metra głębokiego takie jak:

- popiół lotny z Elektrociepłowni SIEKIERKI,
 - cement portlandzki CEMI 32.5 R,
 - woda zarobowa pobierana z likwidowanych wyrobisk,
- oraz ustalono następujące parametry techniczne sporządzanych zaczynów:
- stosunek $w/(p+c)$ – 0,45-0,48,
 - gęstość w granicach 1,56-1,60 g/cm³,
 - odstój wody 1,5-2,0 % objętości,
 - wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach minimum 3,20 MPa.

2.2.5 Technologia sporządzania i zatłaczania wiążących zaczynów do podziemnych wyrobisk metra

Cykl przygotowawczy i sporządzanie wiążącego zaczynu przebiegało w następujący sposób:

- mieszanie popiołu lotnego z cementem w stosunku 9 części wagowych popiołu i 1 część wagowa cementu odbywało się w polowej stacji mieszania przy pomocy urządzenia dozującego – mieszającego,
- otrzymaną mieszaninę popiołowo – cementową przetłaczano do cementosamochodów i transportowano do miejsca przeznaczenia,
- sporządzanie wiążącego zaczynu odbywało się przy pomocy głowicy pneumatyczno–hydraulicznej ustawionej bezpośrednio nad odwierconym otworem wiertniczym,
- przetłaczanie suchej mieszaniny popiołowo – cementowej do głowicy odbywało się przy pomocy sprężonego powietrza pod ciśnieniem 0,15 MPa,

- podawanie wody zarobowej do głowicy w celu jej wymieszania z mieszaniną popiołowo – cementową odbywało się pod ciśnieniem 0,6 MPa i wydajności strumienia objętości od 400-450 dcm³/min,
- proces mieszania mieszaniny popiołowo – cementowej z wodą zarobową odbywał się w komorze mieszalniczej głowicy pneumatyczno – hydraulicznej [5],
- w trakcie sporządzania zaczynu do podszadania kontrolowano jego gęstość i rozlewność.

Ponieważ wszystkie przewidziane do likwidacji podziemne wyrobiska metra wypełnione były wodą, w trakcie ich wypełniania zaczynem wypompowywana była również z nich woda, z takim strumieniem objętości z jakim zatłaczany był zaczyn. Z równoczesnym podnoszeniem się poziomu zatłaczanego zaczynu w wyrobisku, systematycznie podnoszono rurę do zatłaczania z PCV tak, aby zachować odpowiedni odstęp od poziomu podnoszącego się zaczynu do ujścia rury.

W trakcie prowadzenia robót kontrolowano następujące parametry zarówno świeżego jak i stwardniałego zaczynu:

- gęstość za pomocą wagi Baroida,
- rozlewność,
- odstój wody,
- czas wiązania,
- pobierano próbki do badań wytrzymałości po sporządzeniu zaczynu z głowicy oraz z wyrobiska.

Przed przystąpieniem do zatłaczania w następnym dniu wykonywane były pomiary sprawdzające wysokość poziomu wypełnienia komór w poszczególnych odwiertach.

2.2.6 Zabiegi dotłaczające pod ciśnieniem

Zatłaczanie zaczynu metodą grawitacyjną kończono po stwierdzeniu podniesienia się słupa zaczynu w wyrobisku do poziomu od 10 do 15 cm poniżej stropu wyrobiska. Następnie wymowano kolumnę rur PCV a w rurach stalowych montowano uszczelkę typu PACKER i kontynuowano zatłaczanie zaczynu pod ciśnieniem max. 1,5 MPa.

2.2.7 Kontrola efektów prac likwidacyjnych

Do podstawowych czynności decydujących o skuteczności prac likwidacyjno-podsadzających podziemne wyrobisko należy zaliczyć [6]:

- stopień wypełnienia likwidowanego wyrobiska,
- parametry wytrzymałościowe stwardniałego zaczynu wypełniającego,
- stopień mieszania się wypełniającego zaczynu z wodą wypełniającą likwidowane wyrobisko,
- zasięg rozplywu (penetracji) zatłaczanych zaczynów, odporność związanego zaczynu na działanie wód gruntowych.

Mając powyższe na uwadze, ocenę skuteczności i efektywności wypełnienia podziemnych wyrobisk przeprowadzono dwoma metodami: geofizyczną i wiertniczą.

Pomiary geofizyczne mające na celu ocenę stopnia wypełnienia podziemnych wyrobisk wykonano metodą mikrograwimetrii przy użyciu mikrograwimetru CG-3 produkcji kanadyjskiej firmy Scintex. Uzyskane wyniki wykluczyły występowanie obszarów o zaniżonej gęstości, co pozwalało na stwierdzenie, że podziemne wyrobiska zostały całkowicie i skutecznie wypełnione.

Po wykonaniu zabiegów dotłaczających pod ciśnieniem 1,5 MPa zostały odwiercone dwa otwory kontrolno-pomiarowe, które osiągnęły spąg wyrobiska. Ze strefy likwidowanego wyrobiska w trakcie wiercenia pobrano rdzeń i wykonano badania wytrzymałości, które potwierdziły trafność zastosowanego składu oraz zastosowanej własnej technologii prac likwidacyjnych.

3. Podsumowanie

1. Przedstawiona w niniejszym artykule technologia wykonywania prac likwidacyjnych podziemnych obiektów i pustek wypełnionych mediami płynnymi została sprawdzona w praktyce i zdała egzamin.
2. W zależności od rodzaju oraz własności chemicznych medium wypełniającego podziemne wyrobiska należy każdorazowo projektować (dostosować) skład zaczynu przeznaczonego do podziemnego wyrobiska.
3. Kontrolę efektywności prac likwidacyjnych, związanych z likwidacją podziemnych wyrobisk, należy przeprowadzać metodą geofizyczną i metodą wiertniczą.
4. Metoda przedstawiona w niniejszym artykule została zgłoszona w Urzędzie Patentowym w Polsce jako wzór użytkowy.

Literatura

- [1] Schultz G. 1987: Osiadanie powierzchni terenu wartości dopuszczalne. Felsba 5/1987 nr 1.
- [2] Praca zbiorowa 1953: Projekt techniczny metra. Metroprojekt, Warszawa.
- [3] Praca zbiorowa 1999: Opinia techniczna określająca wpływ istniejących obiektów metra głębokiego na projektowane Centrum Handlowo – Usługowe w rejonie dworca PKP Warszawa Wileńska. Metroprojekt, Warszawa.
- [4] Stryczek S., Mazurkiewicz M., Zawada S. 2000: Projekt techniczno - technologiczny likwidacji metra głębokiego na terenie projektowanego Centrum Handlowo – Usługowego, Kraków.
- [5] Moroński S., Zawada S.: Urządzenie do zatłaczania wyrobisk górniczych. Wzór użytkowy nr 507432 z 03.01.1990 r.
- [6] Stryczek S., Zawada S., Wojtyszyn W. 2000: Dokumentacja powykonawcza likwidacji obiektów podziemnych metra głębokiego na terenie projektowanego Centrum Handlowo – Usługowego w rejonie dworca PKP Warszawa Wileńska, Sosnowiec.
- [7] Zawada S., Syrek A., 1985: Zaczyny stosowane do wykonania zabiegów uszczelniających w otworach wiertniczych przeznaczonych do eksploatacji soli kamiennej metodą ługowania. Technika Poszukiwań Geologicznych. Warszawa.

Liquidation of underground mine headings filled with liquid medium

This article describes the technology of liquidation of underground headings filled with liquid medium. One of the conditions of proper realisation of this technology is selection proper compositions of backfill material medium designed for liquidation (back-filling) of such headings. Further, the article presents the way of liquidation of underground mining headings filled with liquid medium based on the example of liquidation of flooded in fifties underground structures of old Warsaw tube in the area of Vilnius Railway Station.

Przekazano: 26 marca 2001