



Uzdatnianie zniszczonego robotami górniczymi podłoża do budowy tras komunikacyjnych

# Drogi na pustkach

mgr inż. Andrzej Kubański, Zakład Inżynierii „GEOREM”

## 1. Wstęp

Budowa komunikacyjnych szlaków lądowych na terenie, pod którym była prowadzona od kilku wieków eksploatacja rud metali i węgla kamiennego, wymaga szczególnego potraktowania procesu projektowego. Eksploatacja kopalni spowodowała powstanie pustek w górotworze o łącznej objętości sięgającej milionów metrów sześciennych. Często można też napotkać nieciągłości w górotworze wywołane zjawiskami krasowymi, szczególnie na terenie Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej.

Eksploatacja kopalni była prowadzona głównie systemem zawałowym, co oznacza, że po zakończeniu wydobywania pozostają pustki, w których rozpoczynają się procesy reologiczne, polegające na przemieszczeniu się poszczególnych warstw górotworu. Procesy te mają charakter ciągły i trwają do teraz. Zmiany polegają na propagacji obrysu górnej części pustki do wnętrza, zmierzając do osiągnięcia kształtu naturalnego oraz wypełnieniu jej skałami, gazami i wodą. Wiele pustek ulega samolikwidacji z widocznymi zmianami na powierzchni terenu i stwierdzonymi w wyniku badań zmianami we właściwościach skał i gruntów nadległych. Zwłaszcza płytka eksploatacja górnicza spowodowała największe spustoszenia w ukształtowanej pierwotnie sytuacji geologiczno-inżynierskiej i hydrogeologicznej masywu górotworu.

Największe i najbardziej katastrofalne skutki dla występujących na powierzchni terenu obiektów kubaturowych, liniowych, mostów i wiaduktów wywołują wyrobiska znajdujące się w strefie do głębokości ok. 80 m. Impulsem do ujawnienia ich destrukcyjnego działania mogą być różne czynniki, jak np. eksploatacja w głębszych warstwach górotworu, zmiana warunków hydrogeologicznych, wstrząsy górnicze, pożary w starych zrobach, występowanie dużych obciążeń punktowych na powierzchni.

Budowa szlaku kolejowego lub drogowego wymaga uwzględnienia w procesie projektowym, oprócz zagadnień geologii inżynierskiej i hydrogeologii, również zaszłości historycznych eksploatacji kopalni i wód głębinnych.

Przywrócenie wartości budowlanych podłoża jest pracą wymagającą wiedzy i umiejętności z zakresu wielu dziedzin nauki, a także praktyki. Odwrotny do eksploatacji kierunek poczynić nakazuje współpracę specjalistów z dziedzin związanych z wydobywaniem kopalni, lecz ukierunkowanych na odbudowę wartości technicznych i przyrodniczych górotworu.

Wskazane jest zaangażowanie poszczególnych specjalistów równocześnie, począwszy od etapu prac rozpoznawczych. Współpraca powinna obejmować fazę projektowania i realizacji prac uzdatniających, dzięki czemu zachowana zostaje ciągłość informacji i poczynić naprawczych.

## 2. Zasady projektowania uzdatnienia podłoża dla budownictwa

Podstawowym zadaniem projektu prac uzdatniających jest ustalenie postępowania zmierzającego do przywrócenia trwałej równowagi w naruszonym przez eksploatację górniczą górotworze.

Rozpoznanie geologiczno-geologiczne poprzedzone jest odszukiwaniem starych map i opisów oraz przeniesieniem informacji na współczesne mapy. Jest to bardzo ważny etap prac, gdyż od rzetelności i dokładności rozpoznania zależy lokalizacja otworów dla wprowadzenia wiążących mieszanin uzdatniających.

Rozpoznanie kameralne jest podstawą do prowadzenia rozpoznania metodami pośrednimi, wykorzystującymi własności geofizyczne gruntów i skał.

Prace w zakresie uzdatniania i zabezpieczenia terenów przed wpływami płytkiej eksploatacji są bardzo kosztowne i skomplikowane technicznie, dlatego należy je prowadzić w przypadkach uzasadnionych względami bezpieczeństwa, odbudowy wartości użytkowej i ekologicznej.

Projekt prac uzdatniających powinien obejmować następujące zagadnienia:

1. Uzasadnienie i cel prac likwidacyjnych.
  - 1.1. Likwidacja skutków i zagrożeń deformacjami nieciągłymi.
  - 1.2. Przywrócenie wartości technicznej podłoża budowlanego.
  - 1.3. Lokowanie w pustkach materiałów odpadowych.
2. Rozpoznanie wielkości i charakteru starych wyrobisk.
  - 2.1. Określenie stanu i charakteru infrastruktury technicznej na terenie zagrożonym.
  - 2.2. Ocena zjawisk występujących na powierzchni.
  - 2.3. Aktualna sytuacja górnicza obszaru poczynić likwidacyjnych.
3. Środowisko geologiczne starych wyrobisk górniczych.
  - 3.1. Budowa geologiczna obszaru.
  - 3.2. Warunki inżyniersko-geologiczne.
  - 3.3. Warunki hydrogeologiczne.
  - 3.4. Ocena zjawisk występujących w zrobach.
  - 3.5. Prognoza zmian w górotworze, jakie spowodują prace likwidacyjne.
  - 3.6. Rozpoznanie specjalistyczne starych zrobów.
    - 3.6.1. Badania geofizyczne.
    - 3.6.2. Badania inżyniersko-geologiczne.
    - 3.6.3. Badania i obserwacje hydrogeologiczne.
    - 3.6.4. Badania metodami specjalnymi.
4. Dobór metod likwidacji i uzdatniania.
  - 4.1. Ocena uzyskanego rozpoznania.
  - 4.2. Ustalenie ograniczeń wykonawczych.
  - 4.3. Ustalenie celów i zakresu prac likwidacyjnych.
  - 4.4. Dobór materiałów wypełniających pustki.
  - 4.5. Określenie sposobu udostępnienia starych wyrobisk.
    - 4.4.1. Robotami górniczymi.
    - 4.4.2. Otworami wiertniczymi.
    - 4.4.3. Innymi sposobami.
  - 4.5. Określenie metod kontroli przebiegu prac likwidacyjnych.
5. Projekt techniczny prac likwidacyjnych.
  - 5.1. Prace przygotowawcze
  - 5.2. Prace geodezyjne.
  - 5.3. Prace udostępniające.
  - 5.4. Transport docelowy materiałów podsadzkowych.
  - 5.5. Sporządzanie i transport mas podsadzkowych do wyrobisk.
  - 5.6. Technologia podsadzania.
  - 5.7. Kontrola techniczna poszczególnych faz prac podsadzkowych.
6. Dokumentacja wyników i atest jakości pracy.

### 3. Badanie pustek metodami pośrednimi

Do badań pośrednich pustek poeksploatacyjnych w górotworze należą głównie metody geofizyczne. Ich dużą zaletą jest bezinwazyjna technika pomiarowa, możliwość wykonywania badań ciągłych na dużych obszarach (w odróżnieniu od punktowych pomiarów wykonywanych in situ w otworach wiertniczych) oraz niskie koszty badań. Wadą pomiarów geofizycznych jest natomiast wyrażanie informacji o pustkach poeksploatacyjnych w sposób pośredni przez podanie informacji w jednostkach badanego pola fizycznego. Skalowanie jednostek pola fizycznego jest bardzo ważne i w tym zakresie jest wymagana odpowiednia wiedza i doświadczenie w interpretacji zdjęć terenowych.

Istnieje kilka różnych metod geofizycznych do badania płytkiego podłoża i procesów w nim zachodzących. Spośród najczęściej stosowanych należy wyróżnić: metodę elektrooporową, stosowaną najczęściej w odmianie profilowania elektrooporowego, sondowania elektrooporowego lub tomografii elektrooporowej; metodę sejsmiczną, stosowaną w formie profilowania sejsmicznego, zdjęcia tomograficznego oraz badania fal powierzchniowych; metodę georadarową; metodę elektromagnetyczną, stosowaną w wersji profilowania lub sondowania oraz metodę grawimetryczną.

#### 3.1 Metoda elektrooporowa

Metoda ta wykorzystuje zjawisko, że każdy materiał posiada inny opór elektryczny. W czasie badań rejestrowane są zmiany wartości oporu ziemi podczas przepływu prądu elektrycznego. Prąd przepływa pomiędzy wbitymi w ziemię elektrodami, połączonymi ze źródłem prądu elektrycznego. W badaniach elektrooporowych nie są istotne mierzone wartości oporów, lecz ich zmiany w stosunku do tła, czyli wartości względne. Mierzony opór może zmieniać się w granicach od 10  $\Omega$ m do 100 tys.  $\Omega$ m. Jest on zależny głównie od ilości wody oraz rodzaju skał. Materiały luźne i porowate mają zazwyczaj większą wilgotność.

W zależności od specyfiki metody używa się różnej ilości i konfiguracji elektrod. Pomiar wykonuje się najczęściej w profilu lub kilku profilach w celu uzyskania modeli przestrzennych. W szczególnych przypadkach dokonuje się także pojedynczych sondowań elektrooporowych. Pomiar polega na umieszczeniu w ziemi elektrod odniesienia w znacznej odległości od siebie i kolejnych sondowaniach elektrodą pomiarową wzdłuż wyznaczonego profilu.

W związku z niewielkim zasięgiem (do kilkudziesięciu metrów w głąb ziemi) metoda ta nadaje się do ustalania różnego rodzaju granic litologicznych i uskoków znajdujących się na niewielkich głębokościach. Szeroko natomiast stosowana jest w poszukiwaniu wód podziemnych, monitorowaniu stanu technicznego zapór i wałów przeciwpowodziowych, wykrywaniu i monitorowaniu obszarów skażonych i badaniach archeologicznych.

#### 3.2. Metoda sejsmiczna

Polega ona na wysłaniu w kierunku wnętrza Ziemi fal mechanicznych (sejsmicznych) o określonym natężeniu i częstotliwości oraz ich odbiór na powierzchni. Rozchodząca się fala we wnętrzu Ziemi ulega podstawowym fizycznym zjawiskom falowym, takim jak: odbicie, ugięcie, rozproszenie, pochłanianie. Zjawiska te zachodzą na granicach różnych ośrodków, którymi w tym przypadku są rozmaite rodzaje struktur geologicznych oraz skał. Na powierzchni dokonuje się rejestracji czasu powrotu oraz natężenia powracających fal. Na podstawie tych informacji dokonuje się interpretacji znajdujących się pod powierzchnią ziemi struktur geologicznych. Interpretacji dokonuje się przy wykorzystaniu komputerów, gdyż liczba informacji powracających do detektorów jest bardzo duża.

Wzbudzenie fal odbywało się kiedyś za pomocą ładunków wybuchowych umieszczonych w specjalnie do tego celu odwierconych otworach strzałowych. Obecnie stosuje się wzbudzenie wibracyjne poprzez grupy urządzeń umieszczonych na specjalnych pojazdach. Rejestracja odbywa się przez bardzo czułe na drgania przyrządy zwane geofonami. Urządzenia te rozmieszczane są wzdłuż profili pomiarowych. Z analizy pojedynczego profilu uzyskuje się przekrój, a poprzez analizę wielu

sąsiednich profili można uzyskać trójwymiarowy model struktur zalegających pod ziemią.

#### 3.3. Metoda georadarowa

Ze względu na zakresy częstotliwościowe anten i tłumienie fali elektromagnetycznej w ośrodku geologicznym, metoda georadarowa jest szczególnie predysponowana do badania wierzchniej warstwy skorupy ziemskiej. Przy niskoczęstotliwościowych antenach i korzystnych warunkach geologicznych można zarejestrować refleksy użyteczne z głębokości ok. 60 m. Oczywiście cały czas należy pamiętać o kompromisie pomiędzy rozdzielczością pomiaru i głębokością penetracji georadaru.

Metoda georadarowa pozwala na bardzo dobre poznanie budowy warstw przypowierzchniowych. Z reguły w takich pomiarach używa się anten niskoczęstotliwościowych (do ok. 100 MHz), chcąc osiągnąć maksymalny zasięg głębokościowy. Można powiedzieć, że georadar najlepiej nadaje się do rozwiązywania problemów inżynierskich, w tym oczywiście do poszukiwania pustek w górotworze. Dobre rezultaty metoda ta daje w utworach piaszczystych i żwirach. Domieszki materiałów ilastych czy słonej wody, powodują wzrost tłumienia fali elektromagnetycznej, a co za tym idzie maleje zasięg głębokościowy metody.

#### 3.4. Metoda elektromagnetyczna

Polega ona na badaniu przewodności ośrodka poprzez wzbudzenie (wyindukowanie) w nim pola elektromagnetycznego. System pomiarowy to dwie cewki: nadawcza i odbiorcza. Nadajnik wytwarza pierwotne pole elektromagnetyczne, które generuje wtórne pole elektromagnetyczne w ośrodku. Cewka odbiornika rejestruje wielkość pola wtórnego oraz stosunek pomiędzy polem pierwotnym i wtórnym. Wtórne pole elektromagnetyczne jest proporcjonalne do przewodnictwa ośrodka i reaguje na zmiany litologii, wody podziemne czy zanieczyszczenia. Obiekty metalowe wytwarzają silne, wtórne pole elektromagnetyczne, dlatego różnicowy pomiar pola pierwotnego i wtórnego stanowi wysmienite narzędzie do poszukiwania zakopanych przedmiotów metalowych (beczki, niewypały i inne). Dane pomiarowe są rejestrowane punktowo ze stałym krokiem pomiarowym wzdłuż ustalonej siatki profili. Odległość pomiędzy profilami jest zdeterminowana przewidywaną wielkością poszukiwanych obiektów oraz dokładnością pomiaru. Cyfrowe odczyty są zapisywane w elektronicznym rejestratorze i po badaniu przenoszone do komputera w celu dalszego przetwarzania i interpretacji. Najczęściej interpretacja polega na konturowaniu i identyfikowaniu anomalii w stosunku do poziomu tła przy użyciu specjalistycznego interaktywnego oprogramowania. Wyniki badań przedstawiane są w postaci zintegrowanych plotów zrozumiętych dla zamawiającego.

#### 3.5. Metoda grawimetryczna

Metoda daje bardzo dobre rezultaty przy poszukiwaniu podziemnych pustek i rozluźnień. Pomiar grawimetryczny polega na pomiarze przyspieszenia siły ciężkości. Przyspieszenie to jest w głównej mierze zależne od masy i od odległości od środka tej masy (Ziemi). Wykonując pomiary na jednym poziomie i porównując otrzymane wielkości z modelem teoretycznym rozkładu przyspieszeń, można ustalić różnice w masach skalnych pomiędzy nimi, a dodatkowo znając ich objętość, można ustalić ich gęstość i rodzaj. Metody te są także metodami względnymi. Znajomość przyspieszenia siły ciężkości w jednym punkcie nie daje istotnych dla tych celów informacji, lecz dopiero połączenie danych ze znajomością ich rozkładu stanowi materiał do dalszych analiz. W połączeniu z innymi metodami (szczególnie z różnego rodzaju sondowaniami) pomiary grawimetryczne mogą dostarczać wielu informacji.

Pomiary przeprowadzane są najczęściej na powierzchni ziemi wzdłuż zadanych profili lub powierzchniowo. Pomierzone grawimetrami przyspieszenia podlegają obliczeniom, a uzyskane w ich wyniku anomalie grawimetryczne stanowią materiał do interpretacji.

### 4. Badanie pustek metodami bezpośrednimi

Każda z wymienionych wyżej metod geofizycznych charakteryzuje się własnymi preferencjami w rozwiązywaniu poszcze-



gólnych problemów. Do analizy jakości górotworu wskazane jest posiadanie wyników przynajmniej z dwóch metod geofizycznych. Uzyskane wyniki i wskazania miejsc anomalii własności geofizycznych jest podstawą do podjęcia decyzji o zastosowaniu badań metodami bezpośrednimi.

Do metod bezpośrednich badania pustek poeksploatacyjnych należy zaliczyć wiercenia rozpoznawcze. W porównaniu z metodami pośrednimi (geofizycznymi) są to metody inwazyjne. Informacje o występujących pustkach otrzymuje się w miejscach wykonywania wierceń, czyli aby otrzymać zasięg przestrzenny pustki, należy wykonać szereg otworów wiertniczych w odpowiedniej siatce. Otwory wiertnicze bardzo dobrze nadają się do wykrywania pustek na niewielkich obszarach, np. pod istniejącymi obiektami budowlanymi lub w miejscach, gdzie powinny się one znajdować. Mając wywiercony otwór, w którym stwierdzono pustkę, można iniekować do niego odpowiednie mieszanki wypełniające.

Zaletą wierceń jest bezpośrednie uzyskanie informacji o pustkach i w przeciwieństwie do metod geofizycznych nie jest potrzebne skalowanie jednostek pola fizycznego i doświadczenie przy interpretacji wyników.

Powtórne zastosowanie metod badawczych jest niezbędne do kontroli prawidłowości wypełnienia pustek w górotworze. Jednym ze sposobów kontroli poprawności zlikwidowania pustek jest powtórne użycie metod geofizycznych, które określają w jakim stopniu zostały one wypełnione. W razie wątpliwości stosowane są wiercenia rdzeniowe dla pobrania prób materiału wiążącego.

Tak więc metody badawcze stosowane są zarówno w trakcie pierwszego etapu – poszukiwania pustek, jak i podczas ostatniego etapu, w którym to sprawdza się poprawność wypełnienia pustek.

## 5. Podsumowanie

Budowa w końcu lat 70. XX w. szlaków komunikacyjnych spowodowała zapotrzebowanie na nowy rodzaj usług geoinżynierskich. Wielką i przykrą niespodzianką było próbne obciążenie jednego z wiaduktów na wschodniej obwodnicy GOP, w czasie którego okazało się, że wiadukt jest wciskany w podłoże. Badania podłoża wykazały, że na głębokości kilkunastu metrów pod wiaduktem są wyrobiska górnicze. Analiza i wywiad środowiskowy wskazał na istnienie pod węzłem „Brzęczkowice” istnienie starej kopalni „Nowa Przemsza”, która została zalana w czasie wielkiego kryzysu. Brak rozpoznania warunków geologiczno-górnicznych w fazie projektowej przebiegu trasy autostrady A4 i obecnej S1, wymusił wykonanie prac uzdatniających.

Dla uzdatnienia terenu i przywrócenia wartości użytkowej dróg odwiercono 186 otworów o głębokości od 18 do 67,0 m i zatłoczono ok. 300 tys. m<sup>3</sup> zaczynu popiołowo-cementowego, stosując technologię iniekcji strefowej z góry w dół. Podobne prace wykonano również na czynnym odcinku miejskim autostrady od ul. Wita Stwosza do ul. Mikołowskiej w Katowicach, wierząc 47 otworów do głębokości 21–57,0 m i zatłaczając 21,7 tys. m<sup>3</sup> mieszaniny wiążącej.

Przykładem dużych prac uzdatniających jest budowa Drogowej Trasy Średnicowej, łączącej Katowice z Gliwicami. Odcinek trasy przez Chorzów i Świętochłowice wymagał likwidacji kilku nieczynnych szybów i uzdatnienia podłoża pod kilkoma obiektami inżynierskimi oraz pod trasą przełożonej linii kolejowej (ryc. 1 i 2). W trakcie realizacji robót uzdatniających napotkano na pożary, które należało ugasić w odpowiedni sposób.

Realizacja kilkudziesięciu zadań związanych z likwidacją zagrożenia nieciągłymi odkształceniami górotworów spowodowanych starą eksploatacją kopalni, pozwoliła na zebranie doświadczenia w tej nowej dziedzinie geoinżynierii.

## Literatura

*Ochrona środowiska w Górnośląskim i Donieckim Zagłębiu Węglowym.* Red. M. Chudek, K.F. Sapicki. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2004.

Zych J., Kubański A.: *Projektowanie prac likwidacyjnych płytko zalegających pustek poeksploatacyjnych.* Międzynarodowa Konferencja: IV Szkoła Geomechaniki. Politechnika Śląska. Wydział Górnicztwa i Geologii. Gliwice–Ustroń 18–22 października 1999, s. 369–382.

Zych J., Zawada S., Kubański A., Kruczkowski M.: *Uzdatnianie terenu w rejonie wiaduktu drogowego SC-0 dla potrzeb budowy Drogowej Trasy Średnicowej.* V Jubileuszowe Warsztaty 2001: Przywracanie wartości użytkowych terenom górniczym. Wieliczka 29 maja – 1 czerwca 2001.



Uzdatnianie pasma podłoża pod nasyp przełożonego szlaku PKP w Chorzowie



# KATOWICE 2007

MIĘDZYNARODOWE TARGI GÓRNICICTWA  
ENERGETYKI I METALURGII

11-14 września



Zapraszamy  
na XII edycję Targów KATOWICE 2007  
Najważniejsza branżowa ekspozycja w polsce  
Targi dobrych interesów

ORGANIZATOR



Międzynarodowe Targi Katowickie Sp. z o.o.  
tel. +48 (32) 78 99 105; 78 99 140  
fax +48 (32) 254 02 27  
e-mail: [katowice@mtk.katowice.pl](mailto:katowice@mtk.katowice.pl)  
[www.katowice.mtk.katowice.pl](http://www.katowice.mtk.katowice.pl)

PATRONAT MEDIALNY

SLUŻBY  
UTRZYMANIA  
RUCHU

RYNOK ZAGRANICZNE

produkcja

Nowoczesne Budownictwo Energetyczne

gigant  
energia

Nowoczesne Budownictwo Energetyczne

mechanik

transport

napędy  
i sterowanie

MM Magazyn Przemysłowy

COAL  
ENERGY

Magazyn Przemysłowy

UTRZYMANIE  
RUCHU

Pneumatyka