

Piotr Czaja *, *Adam Gąsiorczyk* **

WPŁYW SPOSOBU LIKWIDACJI SZYBU NA ZAGROŻENIE POWIERZCHNI W JEGO OTOCZENIU

1. Wprowadzenie [8]

Drugiego stycznia 2000 roku około godziny 9.00 na osiedlu mieszkaniowym w Bochum (Niemcy) w dzielnicy Wattenscheid-Höntrop powstało zapadlisko (rys. 1 i 2), którego krater szybko się powiększał i osiągnął ostateczną szerokość dochodzącą do 15 m i głębokość około 20 m. Kolejne zapadlisko podobnych rozmiarów powstało następnej nocy około godziny 3.00, kilka metrów dalej na wschód, pochłaniając garaż, wysokie drzewa i krzewy ozdobne. Z powstałych kraterów wyrzucone zostały tumany pyłu i fontanny wody przy jednocześnie dużym hałasie, świadczącym o znacznym zakresie przemieszczeń mas skalnych.



Rys. 1. Zapadlisko 1 w Bochum Wattenscheid-Höntrop, w pobliżu zlikwidowanego szybu IV kopalni „Vereinigete Maria Anna und Steinbank” [8]

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** dyplomant, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków



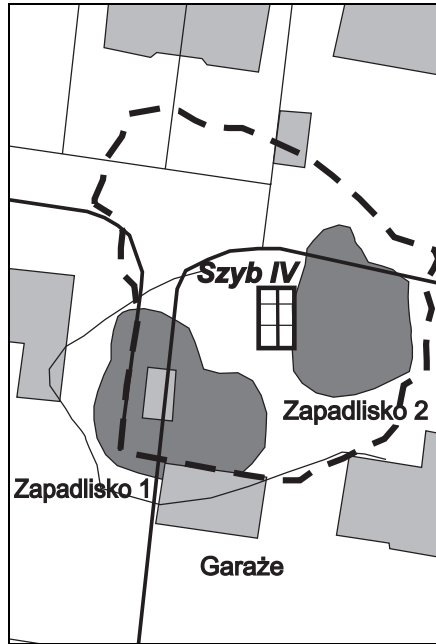
Rys. 2. Zdjęcie lotnicze zapadliska 1.
Szyb IV znajduje się w grupie drzew przy prawej krawędzi zdjęcia [8]

W wyniku szybko przeprowadzonych badań i konsultacji ustalono, że zapadliska powstały obok zlikwidowanego Szybu IV, zamkniętej w 1906 roku kopalni węgla kamiennego „Vereinigte Maria Anna und Steinbank”.

Zapadliska zastabilizowano, wypełniając je mieszaninami betonopodobnymi w ilości około 2300 m³ — (rys. 3), ale widoczne w otoczeniu zapadlisk pęknięcia gruntu na powierzchni i dalsze ruchy ziemi w promieniu od 15 do 25 m od środka szybu (rys. 4) wskazywały jednak na potrzebę dalszych rozległych prac zabezpieczających.



Rys. 3. Zapadlisko wypełnione materiałem betonopodobnym [8, 9]



Rys. 4. Szkic sytuacji na powierzchni terenu wokół szybu IV [8].
(linią przerywaną zakreślono obszar widocznych, dużych pęknięć na powierzchni terenu)

Równoległe do prac zabezpieczających rozpoczęto badania mające na celu wyjaśnienie przyczyn powstania zapadlisk. W badaniach uwzględniono wszystkie naturalne geologiczne i antropogeniczne czynniki, mogące mieć wpływ na stateczność górotworu w otoczeniu zlikwidowanych szybów.

2. Analiza warunków naturalnych i antropogenicznych w obszarze zapadlisk

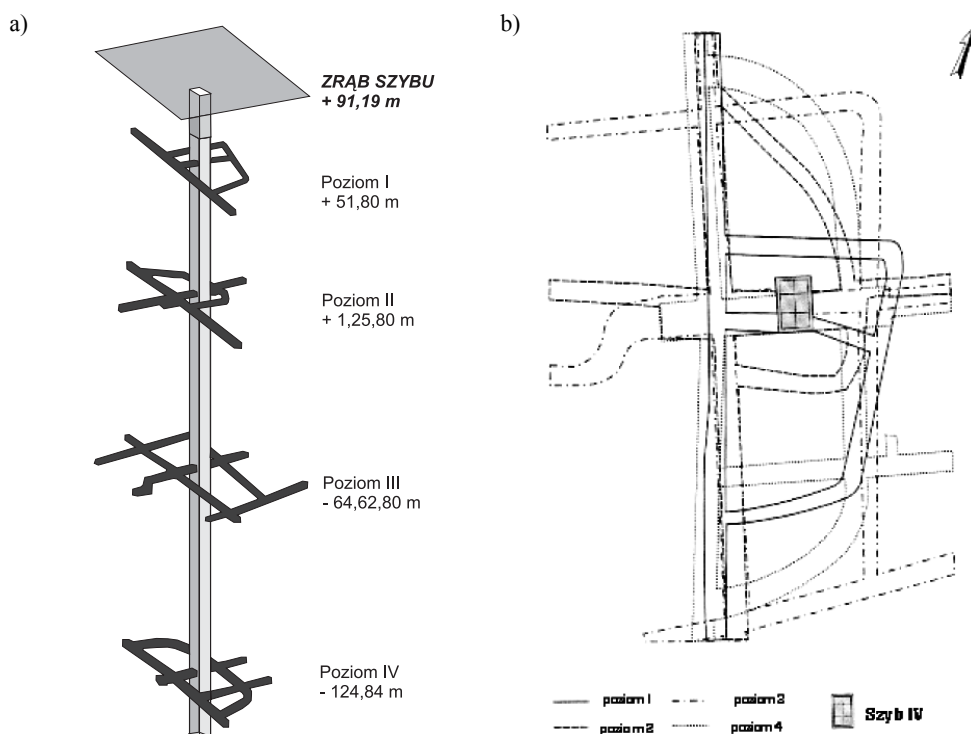
2.1. Charakterystyka szybu i sposób jego likwidacji

Szyb IV kopalni „Vereingte Maria Anna und Steinbank” został zgłębniony w latach 70. XIX wieku. Miał głębokość 461 m i udostępniał 5 poziomów (rys. 5) na głębokościach od 39,3 m do 440,2 m. Jak większość wtedy budowanych szybów miał przekrój prostokątny o wymiarach $6,7 \times 4,2$ m, co dawało powierzchnię przekroju równą $28,6 \text{ m}^2$. Prawie cały szyb był wykonany w obudowie drewnianej, jedynie górny odcinek o długości 29,3 m był wykonany w obudowie murowej, która to zabezpieczała go przed płytkimi wodami nadkładowymi oraz wodami opadowymi. Podobnie, również wloty do podszybi wykonane były w obudowie murowej. Od roku 1878 służył on jako główny szyb wydobywczy kopalni oraz

szyb do jej odwadniania. Zabudowana w nim instalacja odwadniająca była największą tego rodzaju w Zagłębiu Ruhry na przełomie XIX i XX wieku. Ze względu na znaczne problemy wodne, kopalnia nie mogła uzyskać rentowności, w związku z czym w 1904 roku została sprzedana gwarectwu Mathias Stinnes, a po przejściu natychmiast zamknięta.

Obudowa szybu wykonana była z drewna. Wieża szybowa konstrukcji stalowej obudowana została murem w celu minimalizacji wpływów atmosferycznych, stanowiącej formę przejściową pomiędzy wieżą typu Malakoff a stalową wieżą zastrzałową.

Na temat rozmiarów i obudowy podszybi, a także struktury wyrobisk w istniejącej dokumentacji nie ma dzisiaj żadnych informacji. Istnieje jednak dokumentacja graficzna dla wszystkich wlotów do poziomów. Położenie i rozmieszczenie wyrobisk przyszybowych na poziomach 1–4 przedstawiono poglądowo w ujęciu przestrzennym na rysunku 5a i w rzucie poziomym na rysunku 5b.



Rys. 5. Widok przestrzenny Szybu IV wraz z czterema górnymi poziomami (a) oraz rzut poziomy Szybu IV wraz z wyrobiskami przyszybowymi na poziomach 1–4 (b)

Mimo że ówczesne służby techniczne w roku 1904 stan szybu określiły jako ogólnie dobry, nie było tajemnicą, że w trakcie jego eksploatacji miały miejsce drobne obwały do szybu, a obudowę w wielu miejscach trzeba było przebudowywać.

W trakcie likwidacji szybu w 1906 r., kiedy demontowano wszystkie cenne urządzenia metalowe, wpadły do niego dwie rury tłoczne i uszkodziły obudowę do tego stopnia, że zaprzestano dalszych prac demontażowych, poświęcając nawet bardzo cenną instalację odwadniającą na poziomie 5. Następnie natychmiast i bez żadnych dalszych przygotowań rozpoczęto zasypywanie szybu. Po wsypaniu do szybu około 900 m³ skały doszło do zawalenia się jego głowicy, a wraz z nią pogrzebana została cała wieża szybowa łącznie z zewnętrznymi murami. Dla dalszego podsadzenia szybu do powierzchni zużyto jeszcze tylko 1300 m³ skały. Oczywiście więc było, że na głębokości około 45÷55 m nastąpiło „zawieszenie urobku”, skutkiem czego poniżej tego miejsca szyb pozostał praktycznie nie podsadzony.

2.2. Analiza możliwych niegórnicznych przyczyn powstania zapadlisk

Analizując przyczynę powstania zapadliska prawie po 94 latach od likwidacji szybu, trzeba odnotować zarówno zwiększoną ilość opadów atmosferycznych tak w czasie likwidacji szybu, jak również w latach 1999 i 2000. Objętość powstałych zapadlisk wskazywała jednak na jednoczesne wystąpienie innych przyczyn. Zaliczono tu częste w tej okolicy wstrząsy podziemne, których w tym okresie zarejestrowano co najmniej kilka. Ich energia nie była duża ale osiągnęła szczytowo nawet wartość $1,5 \cdot 10^5$ J (17.07.1999 r.).

Nie wykluczono, że co najmniej jeden z wstrząsów z 9 marca 1999 r. powstał w wyniku podziemnych obwałów w szybie IV i stanowił ewentualną fazę przygotowawczą późniejszych zapadlisk (ucieczka dolnego odcina kolumny zasypowej szybu).

2.3. Stan naprężeń w górotworze

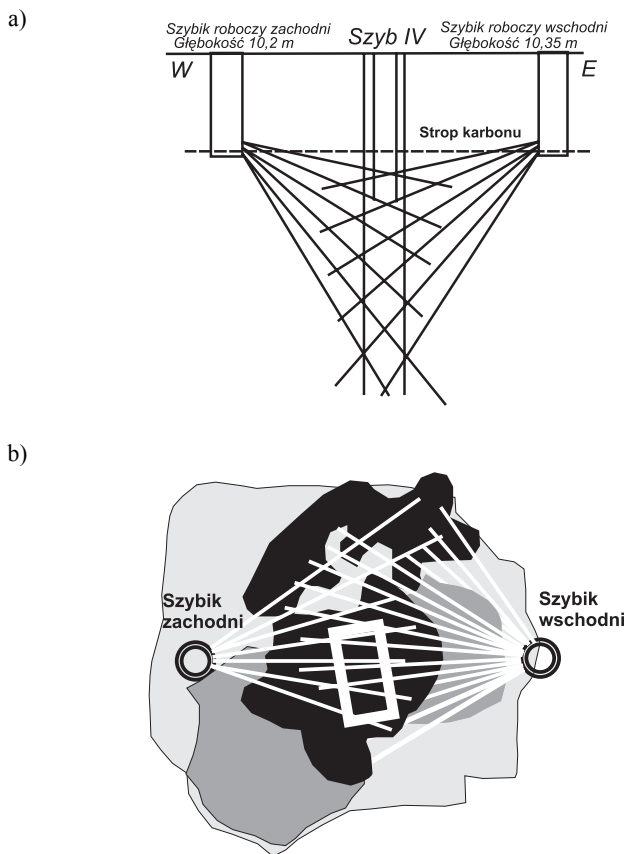
Dla potrzeb górnictwa węglowego Zagłębia Ruhry przeprowadzono w nim w ostatnich latach pomiary tektonicznego pierwotnego stanu naprężenia w górotworze. Zastosowano do tego celu wiele różnych metod pomiarowych. W rezultacie okazało się, że w wielu miejscach występują zwiększone naprężenia poziome, których wartości są zróżnicowane w różnych kierunkach. Maksymalne poziome naprężenia główne w górotworze karbońskim — skierowane były w przybliżeniu prostopadle do kierunku ENE-WSW, czyli podłużnej osi niecki. Z geomechanicznego punktu widzenia ten kierunek wzmoczonych ciśnień jest niekorzystny dla stateczności warstw karbońskich, a w szczególności dla dużych pustek w podszybiach analizowanego szybu na poziomach nr 2 i 3 przebiegających prostopadle do kierunku maksymalnego naprężenia poziomego. Stan ten powoduje przemieszczenia na słabych powierzchniach struktur skalnych, sprzyjając tym samym procesom pogarszania właściwości wytrzymałościowych górotworu.

3. Przeprowadzone zabiegi zabezpieczające i pomiary przed powstaniem zapadlisk

3.1. Analiza zagrożenia powierzchni i podjęte zabiegi zabezpieczające

W roku 1989 oceniono stan bezpieczeństwa na obszarze Szybu IV [8, 9], w celu określenia możliwości zagospodarowania powierzchni terenu. Po przeprowadzeniu badań doku-

mentacyjnych, poszukiwań wiertniczych i analiz geotechnicznych sporządzono ekspertyzę, z której wynikało, że nie można wykazać stateczności powierzchni ziemi w obszarze szybu. Na tej podstawie zostały zaplanowane i przeprowadzane prace zabezpieczające [8]. Zabezpieczenie polegało na zastabilizowaniu kolumny zasypowej na odcinku górnych 35 m za pomocą iniekcji mieszaninami wiążącymi (rys. 6). Po zakończeniu zabezpieczenia w zastalonej kolumnie zasypowej zostało zamontowanych pięć ekstensometrów, w celu umożliwienia prowadzenia kontroli zachowania się wzmocnionego odcinka zasypu szybowego.

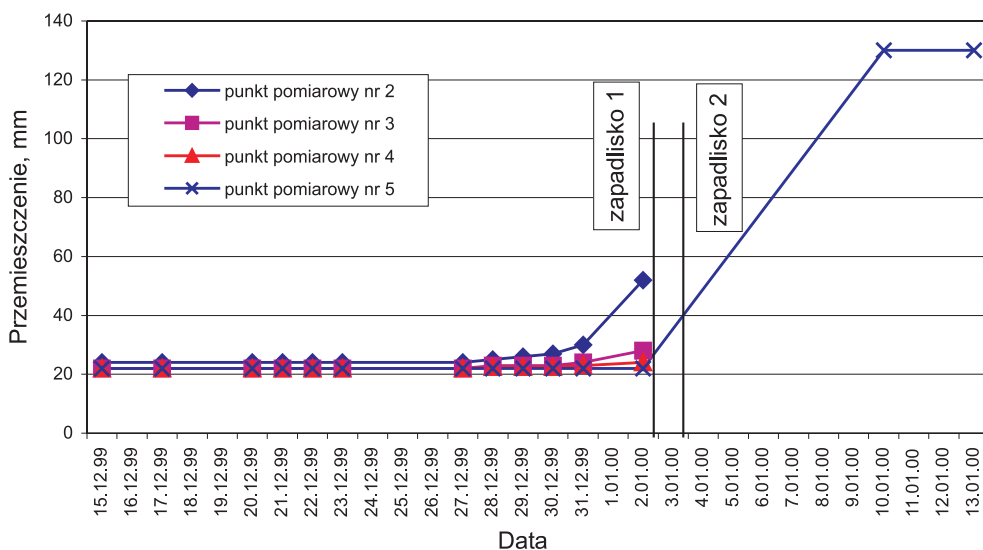


Rys. 6. Schemat otworów iniekcyjnych (a) oraz wyniki prac iniekcyjnych (b) (odcienie szarości wskazują na chłonność otworów)

3.2. Pomiary geodezyjne

Pomiary w zasypie szybowym z wykorzystaniem ekstensometrów wykonywano co-rocnie [8]. Ostatni pomiar, przy którym można było odczytać wartości odkształceń we wszystkich punktach pomiarowych, miał miejsce 25 czerwca 1998 roku. Przy kolejnym po-

miarze w grudniu 1999 roku niemożliwe było już odczytanie wartości z położonego najgłębiej — na głębokości 35 m — punktu pomiarowego 1. Fakt ten zainspirował do wykonywania codziennych pomiarów. Ich wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 7).



Rys. 7. Wyniki pomiarów ekstensometrycznych w okresie od 15.12.1999 r. do 13.01.2000 r. [8]

Tym sposobem zarejestrowano zmiany w zasypie bezpośrednio przed powstaniem zapadliska. Pomiar z 2 stycznia 2000 r. został przeprowadzony bezpośrednio po powstaniu zapadliska 1. W wyniku zamknięcia terenu wokół zapadlisk oraz prac zabezpieczeniowych kolejne pomiary można było przeprowadzić dopiero 10 stycznia, to znaczy dopiero kilka dni po powstaniu zapadliska 2. Zapadliska zniszczyły instalację pomiarową, dostępny był jedynie punkt pomiarowy 5, zabudowany pierwotnie na głębokości 11 m. Wskazał on obniżenie o 130 mm.

Z powyższych obserwacji i wyników przeprowadzonych pomiarów można wywnioskować, że:

- pierwsze ruchy kolumny zasypowej nastąpiły w okresie pomiędzy 25.01.1998 r. a 15.12.1999 r. i możliwy jest ich związek ze stwierdzonym wstrząsem sejsmicznym w obszarze Szybu IV z dnia 9.03.1999 roku;
- 28.12.1999 r. miały miejsce dalsze niewielkie ruchy zasypu szybowego, odnotowane w punktach pomiarowych 2 i 3 położonych w dolnym odcinku zabezpieczonej kolumny zasypowej, to jest na głębokości 23 m;
- po powstaniu zapadliska 1 doszło do niewielkiego rozluźnienia kolumny zasypowej, ale całość — pozostałych 30 m zasypu — nadal znajdowała się w szybie.

4. Przyczyny powstania zapadlisk

4.1. Rekonstrukcja procesu powstania zapadlisk

W wyniku rozległych analiz dokumentacji oraz przeprowadzonych badań, wierceń, pomiarów i obliczeń można było hipotetycznie ustalić przyczyny i przebieg powstania zapadlisk, a także wykluczyć tzw. pozagórnice bodźce ich inicjacji [8].

W obszarze Szybu IV — z dużym prawdopodobieństwem — należy umiejscowić epicentrum wstrząsu sejsmicznego z 3.09.1999 r. Mógł on być związany z ucieczką części kolumny zasypowej albo z zawalem otoczenia szybu w okresie poprzedzającym powstanie zapadlisk.

Analiza warunków geologicznych wykazała, że otoczenie szybu było bardzo silnie obciążone przez system czterech, krzyżujących się stref zaburzeń tektonicznych.

Szczegółowe badania rdzeni wiertniczych pokazały jednoznacznie, że w górotworze istniało wiele silnie osłabionych obszarów. Dotyczy to również obszaru leżącego poniżej kolumny zasypowej, zabezpieczonej w latach 1991–92, tzn. głębokości od około 30 do 52 m, włącznie z wlotem do poziomu 1.

W czasie prac zabezpieczających, przeprowadzonych w szybie w latach 1991–92 wspomniany odcinek szybu, pomiędzy 1 i 2 poziomem, wbrew zaleceniom nie został zabezpieczony, mimo iż został zaliczony również do zagrożonych. Ze względu na panujące warunki geologiczne, tektoniczne i geomechaniczne w obrębie szybu, poniżej zabezpieczonego odcinka kolumny zasypowej mógł się bez przeszkód rozwinąć zawal sięgający, obok zabezpieczonego odcinka kolumny zasypowej, aż do powierzchni terenu. Rozprzestrzenianie się zawalu dokonywało się stopniowo i najprawdopodobniej najpierw zatrzymało się na wysokości zwierciadła wody gruntowej, tzn. na głębokość około 21 m. Powstała w ten sposób podziemna nisza o bardzo rozległym zasięgu, do której obsuwały się później wierzchnie warstwy karbonu i czwartorzędu. Materiał w powstałym zawale miał konsystencję mulastą, a jego gęstość była stosunkowo mała. Wpadające z powierzchni elementy obiektów budowlanych wciągając powietrze, wypierały materiał zawalu, wywołując obserwowane fontanny płynnego materiału. Zaobserwowane również wstrząsy i hałas świadczyć mogą o zapadaniu się przypowierzchniowych mas skalnych do zawodnionej strefy zawalu i zatopionych wyrobisk górniczych.

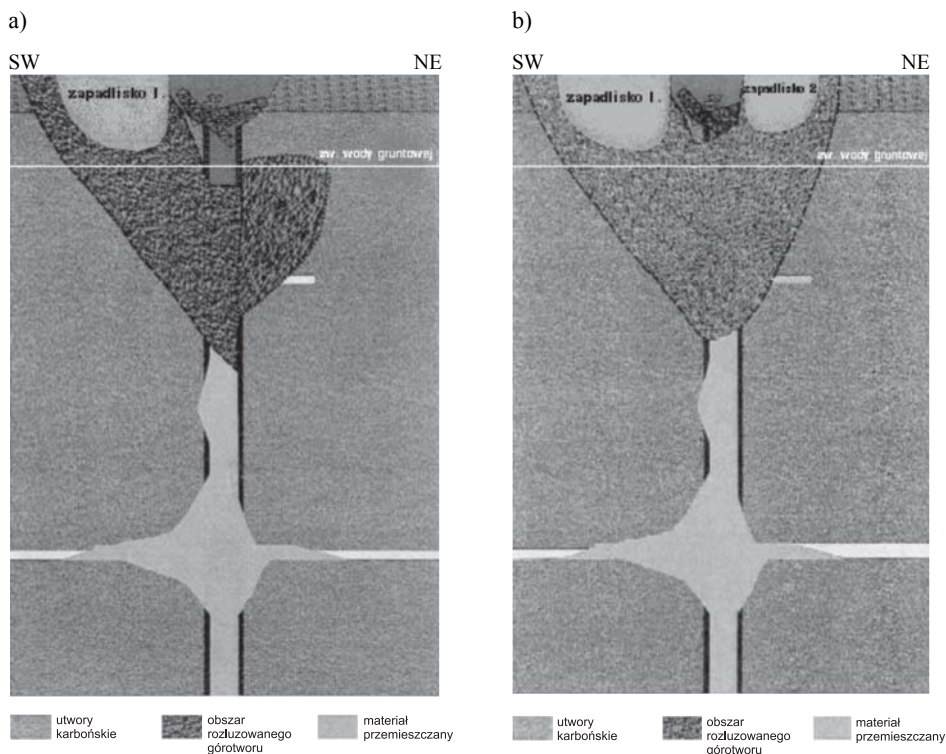
4.2. Analiza przyczyn powstania zapadlisk

Pierwsze problemy ze statecznością szybu wystąpiły po zniszczeniu obudowy szybu (1906 r.) w czasie wyzbrajania szybu. W obszarze 2. poziomu, w wyniku zawalenia się zniszczonych drewnianych części obudowy, utworzyło się dolne, luźne „zamknięcie” szybu.

Następnie w wyniku natychmiastowo rozpoczętego jego podszadzenia swobodnie spadający materiał skalny spowodował zakorkowanie rury szybowej — między innymi — przez wyrwane elementy obudowy, zaklinowane na odcinku uszkodzonym wcześniej przez spadające kolumny rur. Na powstałym korku utworzyła się częściowa kolumna zasypowa szybu, na którą dodatkowo wpadła wieża szybowa, tworząc górne zamknięcie (1906 r.).

W wyniku dalszego zasypywania szybu, powyżej górnego zamknięcia oraz zamulenia zrzuconego materiału, powstała górna część kolumny zasypowej o stosunkowo małej porowatości.

Na podstawie ekspertyzy określającej zagrożenie powierzchni z 1989 r. ustalono, że już w tamtym czasie najniższej leżąca część kolumny zasypowej opadła poprzez nieszczelne dolne zamknięcie na dno szybu. Przyjęto, że systematycznie postępował obwał fragmentów ociosów szybu, a w jego otoczeniu rozwijała się strefa zawału (1989 r.). Wyniki te potwierdza rozkład chłonności materiału iniekcyjnego w czasie zabezpieczania górnego odcinka kolumny zasypowej (lata 1991–92). Ustalono wtedy, że większość materiału iniekcyjnego została wtłoczona w obszar górotworu poza właściwą kolumną zasypową. Oznacza to, że w otoczeniu szybu nastąpiło już w latach 1991–92 rozluźnienie górotworu sięgające do głębokości 20 m poniżej powierzchni terenu. Następnie strefa zawału w otoczeniu szybu rozwinęła się obok zabezpieczonej kolumny zasypowej, osiągając poziom zwierciadła wody gruntowej. Zalegający powyżej, nienasycony wodą górotwór, utracił stabilne podparcie (grudzień 1999), doznając dodatkowego wyęźnienia. W wyniku tego doszło do przerwania, położonej na południowy wschód od szybu, nienasyconej wodą, półki skalnej, ponad strefą zawału, w wyniku czego powstało zapadlisko 1. Nie spowodowało to istotnego uszkodzenia wzmocnionej kolumny zasypowej. W innych rejonach wokół szybu nadal rozwijała się strefa zawału (2.01.2000 r., po godz. 9.00). Sytuację tę przedstawiono schematycznie na rysunku 8a.



Rys. 8. Uproszczony przebieg zawału w zapadlisku 1 (a) oraz w zapadlisku 2 (b) [8]

Następnie w wyniku powstania zapadliska 2 (rys. 8b) wzmocniona kolumna zasypowa utraciła utwierdzenie w górotworze i prawie całkowicie została wciągnięta do strefy zawału. W kolumnie zasypowej pozostała jedynie mała półka (korek) bezpośrednio na powierzchni terenu o grubości nieco ponad 11 m. Poza zaznaczonym przekrojem możliwy jest także rozwój kolejnych zapadlisk. Dzięki podjętym natychmiast po powstaniu zapadliska 1 pracom zabezpieczającym prawdopodobnie powstrzymano możliwość rozwoju kolejnych zapadlisk w obrębie strefy zawału.

5. Podsumowanie

Przeanalizowany przykład jest dobitnym dowodem na to, że problem zlikwidowanych szybów nie kończy się z położeniem płyty zamykającej na jego zrębie. Groźba powstania zapadliska dotyczyć może, przede wszystkim, szybu niepodsadzonego, ale jak wynika z zaprezentowanego zdarzenia — również szybu uznanego za zlikwidowany. Najczęstszym powodem kłopotów w zlikwidowanych szybach jest ucieczka materiału zasypowego, a niekiedy również jego komprymacja. Powodem deformacji nieciągłych powierzchni może być także zawał wyrobisk przyszybowych [1] i ich bezpośrednie oddziaływanie na powierzchnię lub pośrednie na kolumnę zasypową. Deformacjami nieciągłymi w postaci lejów i spękań zagrożone są również szyby czynne. Awarie i obserwacje szybów czynnych dają bardzo cenne informacje co do natury i przyczyn tego rodzaju zjawisk.

W problematyce zagrożenia powierzchni deformacjami nieciągłymi w pobliżu szybów górniczych wyróżnić można dwa przypadki. Pierwszy dotyczy szybów likwidowanych aktualnie i określenia koniecznego, a zarazem wystarczającego ich zabezpieczenia, drugi dotyczy szybów zlikwidowanych dawniej, gdy nie obowiązywały obecne standardy bezpieczeństwa i określenie stopnia ich likwidacji i ewentualnie ponownego zabezpieczenia. Wybierając obecne metody likwidacji i zabezpieczenia szybu, należy pamiętać, że metody stosowane dawniej — zwłaszcza w Niemczech — również uważano za bezpieczne dla powierzchni. W tym duchu należy oceniać obecne rozwiązania, które również mogą okazać się niewystarczające. Ponadto obliczenia konstrukcji i zachowania się górotworu, których podstawę stanowią rozwiązania z teorii sprężystości, dotyczą z reguły ośrodków jednorodnych, izotropowych, ciągłych, wyidealizowanych [3, 4, 6, 7]. Dlatego też stosując ją do opisanego mechanizmu powstawania deformacji tak w kolumnie zasypowej wraz z konstrukcjami odgradzającymi, jak też w otaczającym górotworze, należy zachować daleko idącą ostrożność.

W celu właściwej oceny stateczności zlikwidowanego szybu przydatne może być zastosowanie modelowania numerycznego, a także rozwój efektywnych metod oceny stanu geologiczno-geomechanicznego przypowierzchniowych warstw karbońskich w pobliżu zlikwidowanych szybów i innych wyrobisk udostępniających, w szczególności poniżej zwierciadła wody gruntowej.

Kontrola stanu likwidacji szybu polegać może na obserwacji geodezyjnej i geofizycznej. Obserwacje geodezyjne dotyczyć powinny położenia pokrywy i otoczenia szybu, oraz położenia powierzchni jego zasypu. Dzięki wykorzystaniu ekstensometrów możliwe

jest wykrywanie i śledzenie pustek powstających w zasypie i w otoczeniu szybu. Do śledzenia zmian gęstości kolumny zasypowej i otaczającego górotworu wykorzystać można również pomiary mikrograwimetryczne. Poprzez obserwacje sejsmologiczne możliwe jest odnotowanie obwałowań w szybie oraz innych zmian energetycznych w jego otoczeniu.

W przypadku powstania zapadlisk, badania przeprowadzone dla ustalenia przyczyn zapadlisk w Bochum – Wattenscheid (Niemcy) [8] pokazały, że zastosowane natychmiast zabiegi w celu wypełnienia ich lejów były prawidłowe i skutecznie zapobiegły powstawaniu dalszych zagrożeń w otoczeniu szybu.

Ważnym elementem profilaktyki zapadliskowej jest właściwa w danych warunkach waga problemu, który zarówno nie powinien być przeceniony, jak też niedoceniony, zwłaszcza gdy chodzi o bezpieczeństwo i życie ludzkie. Z tego powodu w prognozowaniu i profilaktyce zapadliskowej niesłychanie istotne jest doświadczenie oraz umiejętne kojarzenie i interpretowanie przesłanek czy też wszelkich nawet najdrobniejszych faktów.

LITERATURA

- [1] *Cala M., Flisiak J., Tajduś A.*: Wpływ niepodszczynionych wyrobisk przyszybowych na deformacje powierzchni. Człowiek i środowisko wobec procesu restrukturyzacji górnictwa węgla kamiennego. Kraków, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, seria z lampką górniczą, nr 6, 2001
- [2] *Dean J.W.*: Old Mine Shafts and their Hazards. The Mining Engineer, March, 1967
- [3] *Eckart D.*: Ergebnisse von Untersuchungen über Schäden an stillgelegten Bergwerksanlagen. Freiburger Forschungshefte Bergbautechnologie, A526, 1973
- [4] *Flake R., Hollmann F., Hülsmann K.H., Keiser F., Kleinevoß B., Schöne-Warnefeld G.*: Das Problem aufgebener Tagesschächte. Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, Bochum, 1975
- [5] *Gregory O.*: The definitions of the problem of disused coal mine shafts. Colliery Guardian, November, 1982
- [6] *Hollmann F., Hülsmann K.H., Meißner H., Schöne-Warnefeld G.*: Sicherheit an verfüllten Schächten I. Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, nr 33, Bochum, 1976
- [7] *Hollmann F., Hülsmann K.H., Meißner H., Schöne-Warnefeld G.*: Sicherheit an verfüllten Schächten II. Mitteilungen der Westfälischen Berggewerkschaftskasse, nr 33, Bochum, 1977
- [8] *Knoll P.*: Untersuchungen der Ursachen des Tagesbruchereignisses vom 2. und 3. Januar 2000 in Bochum-Wattenscheid. Glückauf — Forschungshefte 62, nr 2, 2001
- [9] *Perrefort T.*: „Das Bochumer Loch“ Exkursion zum Tagesbruch in Bochum — Wattenscheid, 21 stycznia 2000
- [10] <http://www.wdr.de/tv/q21>
- [11] <http://www.zeit.de/archiv/2000/3/200003.wattenscheid.xml>