

PROBLEMATYKA OCHRONY I ZABEZPIECZENIA PODZIEMNYCH WYROBISK W OBUDOWIE KAMIENNEJ

Stanisław DUŻY¹, Grzegorz DYDUCH¹, Wojciech PREIDL¹
Arkadiusz BĄCZEK², Artur CZEMPAS¹

¹ Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni, Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska – Gliwice.

² Kopalnia Zabytkowa „Guido” w Zabrze.

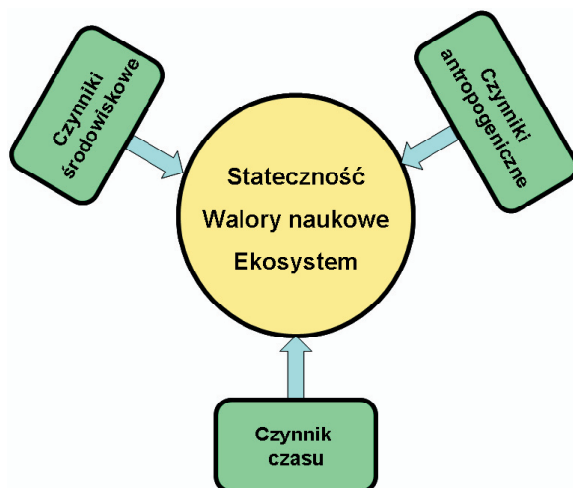
obudowa kamienna, ochrona zabytków

Zabezpieczenie i ochrona obiektów podziemnych o znaczeniu historycznym przed destrukcyjnym wpływem środowiska jest sprawą skomplikowaną i złożoną. Działania zmierzające do ich rewitalizacji lub zabezpieczenia wymagają kooperacji specjalistów o różnych specjalizacjach. Dopiero szeroko pojęta współpraca pomiędzy historykami sztuki, konserwatorami zabytków, specjalistami z zakresu budownictwa podziemnego, geomechanikami i ekologami może przynieść właściwe efekty w postaci prawidłowo wykonanego zabezpieczenia i rewitalizacji wyrobiska. Przedstawione w artykule zagadnienia, w sposób ogólny, przedstawiają czytelnikom złożone, zarówno z punktu technicznego jak i ochrony środowiska, zagadnienie ochrony wyrobisk podziemnych wykonanych w obudowie kamiennej.

1. Wstęp

Większość wyrobisk podziemnych, czy wykonanych przez człowieka innych pustek w górotworze, zabezpieczona jest mniej lub bardziej zaawansowaną technicznie obudową. W przypadku wyrobisk o znaczeniu historycznym, wykonanych do początków XIX wieku mamy do czynienia z obudową drewnianą lub kamienną, murowaną z kamienia naturalnego lub też sztucznego. W wyrobiskach dziewiętnastowiecznych, a zwłaszcza wyrobiskach, które powstały w XX wieku, obudową dominującą jest obudowa stalowa wykonana z walcowanych kształtowników. Jest to ściśle związane z rozwojem metalurgii jaki obserwujemy od przełomu wieków XIX i XX ale również ze znacznie większymi możliwościami poprawy bezpieczeństwa w wyrobiskach górniczych. Cechą wspólną, a jednocześnie wyróżniającą wyrobiska w budowie kamiennej spośród innych obiektów podziemnych, jest różnorodność

aspektów jakie należy rozważyć przed podjęciem decyzji o formie i sposobie ich zabezpieczenia przed destrukcyjnym oddziaływaniem czynników środowiskowych zarówno naturalnych jak i związanych bezpośrednio lub też pośrednio z działalnością człowieka. Sposoby i metody stosowane zazwyczaj w pracach związanych z zabezpieczeniem obiektów podziemnych, również w przypadku jaskiń, nie mogą być wykorzystane bezpośrednio. Decyzja o wyborze sposobu musi być poprzedzona głębokimi studiami i analizami uwzględniającymi złożoność zagadnienia. Należy zawsze pamiętać o prostej zasadzie, że działania podjęte w celu ochrony wyrobiska i jego obudowy przed czynnikami destrukcyjnym, mogą mieć istotny wpływ zarówno na wygląd zewnętrzny wyrobiska i jego obudowy, jak i mikroklimat, a tym samym wpływać na walory naukowo-dydaktyczne, chronionego obiektu jak i powodować zmiany w ekosystemie, który bardzo często jest przedmiotem ochrony prawnej. Współzależności pomiędzy podstawowymi czynnikami mającymi wpływ na obudowę wyrobiska podziemnego można w dużym uproszczeniu przedstawić na diagramie (ryc. 1), gdzie oprócz czynników środowiskowych naturalnych i antropogenicznych uwzględniono również czynnik czasu, który w tym przypadku jest najtrudniejszy do uchwycenia, ale którego nie można pominąć w rozważaniach. Należy zwrócić uwagę na fakt, że zarówno czynniki środowiskowe jak i czynnik czasu mają prawie zawsze destruktywny wpływ na system jakim jest wyrobisko podziemne lub jaskinia, natomiast czynniki antropogeniczne można podzielić na dwie grupy. Grupę pierwszą stanowią czynniki oddziałujące zdecydowanie destrukcyjnie, natomiast do grupy drugiej zalicza się czynniki związane z pracami mającymi na celu zachowanie stateczności wyrobiska i ewentualną ochronę jego walorów przyrodniczych i naukowych.



Ryc. 1. Czynniki wpływające na stan zachowania wyrobiska

Fig. 1. Factors affecting the condition of the excavation

2. Czynniki środowiskowe

Obudowa kamienna wyrobisk, zwłaszcza zlokalizowanych stosunkowo płytko przez cały czas jest poddawana intensywnemu oddziaływaniu czynników środowiskowych.

Zarówno czynniki antropogeniczne jak i czynniki środowiskowe mają duży wpływ na stan zachowania i stateczność obudowy kamiennej. Zmiany w układzie warstw, w których wyrobisko zostało pierwotnie wykonane, wywołane np. robotami ziemnymi prowadzonymi w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska jak i sposób zagospodarowania powierzchni terenu poprzez lokalizację obiektów kubaturowych lub liniowych w otoczeniu wyrobiska mają istotny wpływ na zaburzenie pierwotnych własności geomechanicznych skał otaczających jak i środowiska w samym wyrobisku. Nasadzenia drzewami, zwłaszcza głęboko ukorzeniającymi się, dość wyraźnie wpływają na stan zachowania samej obudowy wyrobiska płytkiego, jak i warstw skalnych zalegających wokół niego. Znane są z literatury oraz badań własnych (Duży i in., 2011) liczne przypadki, gdy korzenie drzew przerastają przez obudowę kamienną do wyrobiska tworząc „girlandy”, a w niektórych przypadkach wręcz zaśłaniając jego przekrój. Korzenie przerastając przez obudowę powodują rozsądzenie struktury muru, a tym samym przyczyniają się do jego destrukcji i wyraźnego spadku stateczności obudowy. Systemy korzeniowe drzew, zwłaszcza topól, wierzb, kasztanowców, drzew charakteryzują się głębokim i rozbudowanym systemem korzeniowym, mają widoczny destrukcyjny wpływ na stan zachowania obudowy kamiennej płytko zlokalizowanych wyrobisk.

Na większych głębokościach, poniżej strefy zasięgu korzeni, wśród czynników środowiskowych, największą rolę odgrywa oddziaływanie mikroorganizmów takich



Ryc. 2. Draperie na obudowie kamiennej utworzone z wypłukanego z zaprawy węglań wapienia (Główna Kluczowa Sztolnia Dziedziczna w Zabrze)

Fig. 2. Folds on rock lining formed from calcium carbonate leached from mortar (the Main Key Hereditary Adit in Zabrze)

jak grzyby, pleśnie i glony. Wszystkie te organizmy pozyskują składniki niezbędne do wegetacji poprzez oddziaływanie chemiczne na mury kamienne. Występowanie poszczególnych ich gatunków uzależnione jest od rodzaju materiału obudowy jak i od wilgotności muru, temperatury powietrza itp. Powstały w wyniku reakcji pomiędzy porastającymi mury obudowy mikroorganizmami a materiałami z których zostały mury wykonane, wodorowęglan wapnia $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ jest znacznie łatwiej rozpuszczalny w wodzie niż węglan wapnia a tym samym łatwiej wypłukiwany z materiału obudowy. Na ryc. 2 pokazano przykład tworzenia się draperii z wypłukanego z zaprawy węglanu wapnia na obudowie murowanej z kamienia łamanego. Należy zaznaczyć, że na tym etapie rozważań wpływów środowiskowych na zjawiska zachodzące w obrębie murów wykonanych z kamienia na zaprawach wapiennych uwzględniono tylko naturalne źródła CO_2 tj.:

- powietrze w dolnej warstwie atmosfery,
- procesy organiczne zachodzące w glebie i roślinności,
- procesy chemiczne i biochemiczne,
- procesy geologiczne.

W powyższym zestawieni nie uwzględniono źródeł CO_2 związanych z działalnością człowieka.

Drugim czynnikiem równie intensywnie oddziaływującym na stan zachowania płytkiego wyrobiska w obudowie kamiennej jest temperatura (ryc. 3). W szczególności przemarzanie obudowy w okresie zimowym, może skutkować złuszczeniem się lica obmurza oraz wykruszaniem zaprawy ze spoin. Nie bez znaczenia jest również możliwość skraplania się pary wodnej na elementach obudowy w wyniku przekroczenia temperatury punktu rosy. Przykładowo, jeżeli w warunkach zimowych temperatura powietrza w wyrobisku wynosi 4°C , a wilgotność względna powietrza 75% to kondensat pary wodnej pojawi się na elementach obudowy jeżeli osiągną one temperaturę poniżej $-0,09^\circ\text{C}$. Tego typu sytuacja występuje najczęściej w rejonie wlotu wyrobiska, połączenia wyrobiska z powierzchnią (Duży i in., 2011).



Ryc. 3. Ubytki lica cegły oraz ubytki zaprawy w spoinach spowodowane przemarzaniem obudowy Kopalni Ćwiczebnej „SztYGarka” w Dąbrowie Górniczej

Fig. 3. Brick face and mortar joints losses caused by the lining freezing in Drill Mine of the “SztYGarka” Municipal Museum in Dąbrowa Górnicza

Trzecim czynnikiem mającym duży wpływ, zwłaszcza na zachowanie obudowy kamiennej wyrobisk, są procesy związane z biocenozą. Stosunkowo mała miąższość warstwy stropowej, sprawia, że w wyrobiskach lub też jaskiniach można zauważyć korzenie drzew, które przerosły warstwę stropową i wniknęły do wnętrza (ryc. 4). Proces degradacji masywu skalnego wywołanego biocenozą, zwłaszcza w strefie przypowierzchniowej, jest często spotykany w przyrodzie. Korzenie roślin w procesie wzrostu wydzielają substancje chemiczne, które rozpuszczają lokalnie skałę i ułatwiają jej penetrację przez naturalne systemy mikrospełkań i szczelin. Również procesy gnilne towarzyszące rozkładowi substancji organicznej przyczyniają się do intensyfikacji procesów korozyjnych materiałów i spoiw na bazie wapna, często stosowanych, zwłaszcza w obiektach historycznych. Związane to jest ze zwiększonym wydzielaniem się CO_2 do atmosfery jak i jego przenikaniem do wody krążącej w warstwach otaczających wyrobisko. Podczas procesów gnilnych wydzielają się związki chemiczne, które również mogą przyczyniać się do uszkodzenia obudowy kamiennej (Domasłowski, 2011).

3. Czynniki antropogeniczne

Bardzo duży wpływ na zachowanie stateczności, walorów naukowo-dydaktycznych i ekosystemu wyrobiska mają czynniki związane bezpośrednio lub też pośrednio z szeroko pojętą działalnością gospodarczą człowieka. Istotnym czynnikiem związanym z nią, jest zwiększenie emisji CO_2 do atmosfery i zjawisko tzw. kwaśnych deszczy. Rolnictwo, w sposób pośredni, przyczynia się również do intensyfikacji



Ryc. 4. Korzenie drzew przerastające obudowę kamienną wyrobiska
(Główna Kluczowa Sztolnia Dziedziczna w Zabrze)

Fig. 4. Trees rooted in rock lining of excavation (the Main Key Hereditary Adit in Zabrze)

procesu destrukcji obudowy kamiennej. Proces ten jest tym bardziej widoczny im większy jest procentowy udział wapieni i jego pochodnych w składzie chemicznym obudowy. Zdeponowane w wodzie, spływającej z pól uprawnych składniki nawozów powodują zwiększenie mineralizacji wody, a tym samym znacznie podnoszą jej stopień agresywności względem wapienia. Dużą antropopresję na stan zachowania obudowy kamiennej obserwuje się w przypadku nieuregulowanej gospodarki wodno-ściekowej. Zmiany poziomu wód gruntowych oraz wprowadzanie do cieków powierzchniowych ścieków gospodarczych i komunalnych w znacznym stopniu przyspiesza procesy degradacyjne obudowy kamiennej. Bardzo dużym zagrożeniem dla płytko zalegających wyrobisk podziemnych, wykonanych w obudowach kamiennych, są obciążenia dodatkowe związane np. z transportem jak i infrastrukturą kubaturową zlokalizowaną na powierzchni. Prace ziemne prowadzone np. w związku z remontami sieci kanalizacyjnej mogą również negatywnie wpływać na stateczność starej obudowy kamiennej (Duży i in., 2011). Przykład takiego negatywnego wpływu robót ziemnych prowadzonych na powierzchni na obudowę kamienną płytko zalegającego wyrobiska podziemnego pokazano na ryc. 5.

4. Czynniki czasu

Efekt końcowy oddziaływania każdego z omówionych wcześniej czynników uzależniony jest od czasu przez jaki oddziałuje on na wyrobisko i jego obudowę. Jest on również najbardziej trudnym do uchwycenia. Stan wyężenia skał wokół pustki jest trudny do określenia. Może się on zmieniać w sposób dynamiczny w zależności od czasu trwania zjawiska. Generalnie można uznać, że w miarę upływu czasu deformacje ośrodka skalnego w otoczeniu wyrobiska będą wzrastały, co w konsekwencji może doprowadzić do jego samopodsadzenia przez zawał skał nadległych.



Ryc. 5. Zniszczenie ociosów związane z wzrostem obciążenia obudowy spowodowanego robotami ziemnymi prowadzonymi w bezpośrednim sąsiedztwie wyrobiska (Główna Kluczowa Sztolnia Dziedziczna w Zabrze)

Fig. 5. A destruction of excavation side walls related to increase of lining load caused by earthworks conducted in the immediate neighbourhood of the excavation (the Main Key Hereditary Adit in Zabrze)

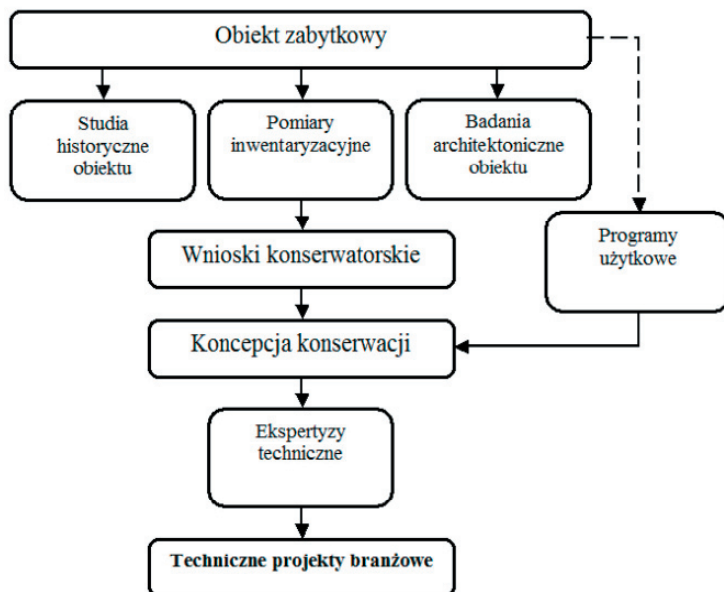
5. Ochrona i zabezpieczenie zabytkowych obiektów podziemnych

Najpełniej zagadnienie ochrony zabytkowych obiektów podziemnych zostało ujęte w pracach prowadzonych pod kierunkiem Z. Strzeleckiego i F. Zalewskiego (Mikoś i in., 2013). Opracowaną przez nich metodę zabezpieczenia podziemnych wyrobisk, określaną w skrócie metoda Z-S, można przedstawić schematycznie w postaci algorytmu (ryc. 6).

Łączy ona kompleksowo badania historyczne, inwentaryzacyjne i architektoniczne w całość, a na ich podstawie rodzi się koncepcja konserwatorska zabezpieczenia obiektu podziemnego. Dopiero po opracowaniu koncepcji konserwatorskiej można przystąpić do drugiej fazy czyli do opracowania ekspertyz technicznych, które mają określić zarówno przyczyny stwierdzonych zagrożeń dla istniejącej obudowy wyrobiska jak i określić metody i środki jakie należy przedsięwziąć w celu poprawy stateczności wyrobiska jak i jego obudowy. Ekspertyzy techniczne winny również określić orientacyjny koszt zamierzonych działań związanych z zabezpieczeniem i ochroną obiektu podziemnego. Koszty i zakres technicznych prac związane są oczywiście z przyjętym zakresem działań, czyli wstępną koncepcją konserwacji zabytku podziemnego oraz planowanym jego docelowym wykorzystaniem po zakończeniu działań konserwatorskich.

W konserwacji zabytków wyróżnia się sześć podstawowych kierunków działań, których celem jest zachowanie obiektu zabytkowego dla potomnych.

Zakres działań objętych pojęciem „konserwacja zabytków” obejmuje (Affelt, 2000):



Ryc. 6. Algorytm zabezpieczenia i ochrony zabytkowego obiektu podziemnego

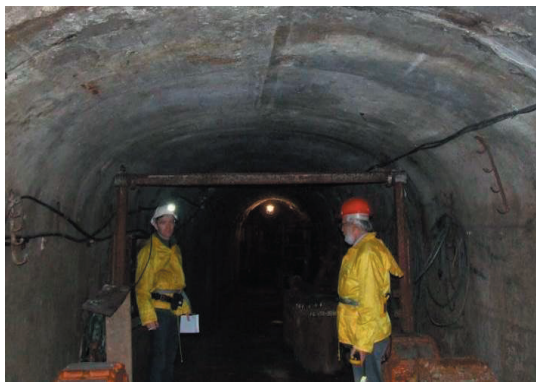
Fig. 6. An algorithm for protection and security of underground facility

- restaurację – praktyczne ujawnianie estetycznej i historycznej wartości zabytku,
- renowację – odtworzenie wartości materiałów, z których wykonano obiekt zabytkowy,
- rekonstrukcję – wierne odtworzenie brakującego elementu obiektu zabytkowego,
- rewitalizację – ponowne powołanie do życia zabytku, przy wprowadzeniu do obiektu nowych funkcji i osadzeniu ich w szerokim kontekście społeczno-gospodarczym,
- zabiegi zabezpieczające – różne dla poszczególnych rodzajów obiektów, jednak zawsze kończące zakres prac przy obiekcie,
- profilaktykę konserwatorską – zespół zabiegów utrzymujących zabytek w dobrej kondycji po przeprowadzeniu procesu konserwatorskiego

6. Prace techniczne związane z zabezpieczeniem obiektu podziemnego i zachowaniem jego stateczności

Działania związane z ochroną i zabezpieczeniem obiektu podziemnego powinny być poprzedzone szczegółową analizą dostępnej dokumentacji obiektu. Na tej podstawie prowadzi się inwentaryzację i ocenę makroskopową obiektu, określa zakres badań wytrzymałościowych poszczególnych elementów konstrukcji oraz rodzaj i wielkości oddziaływań zewnętrznych na konstrukcję.

Analiza dokumentacji obejmuje cały okres istnienia wyrobiska, liczony od rozpoczęcia jego drążenia (budowy, powstania), ze szczególnym zwróceniem uwagi na sposób drążenia, rodzaj materiału i konstrukcji obudowy oraz analizę warunków geologiczno-górnicznych i klimatycznych w otoczeniu wyrobiska. Etap inwentary-



Ryc. 7. Przykłady prowadzenie inwentaryzacji i oceny makroskopowej elementów obudowy wyrobiska (Główna Kluczowa Sztolnia Dziedziczna w Zabrze i Kopalnia Ćwiczebna „SztYGarka” w Dąbrowie Górniczej)

Fig.7. Examples of inventory and macroscopic evaluation of excavation lining components (the Main Key Hereditary Adit in Zabrze and Drill Mine of the “SztYGarka” Municipal Museum in Dąbrowa Górnicza)

zacji obejmuje ocenę zgodności parametrów obiektu z zachowaną dokumentacją techniczną oraz zmian wprowadzonych w trakcie jego użytkowania. Analiza makroskopowa prowadzona wewnątrz wyrobiska obejmuje ocenę stanu technicznego obiektu ze szczególnym uwzględnieniem wszelkiego typu uszkodzeń i miejsc osłabienia elementów konstrukcji powstałych zarówno na etapie wykonywania obiektu jak i w trakcie jego eksploatacji (ryc. 7). Istotne znaczenie mają również badania geomechanicznych własności skał otaczających wyrobisko (ryc. 8), lokalizacja wycieków i wykropleń wody, a w przypadku obiektów płytko zalegających również miejsc przerastania korzeni przez elementy obudowy.



Ryc. 8 Badania struktury górotworu w otoczeniu wyrobiska przy użyciu wideoendoskopu prowadzone w Głównej Kluczowej Sztolni Dziedzicznej w Zabrze

Fig. 8. Study of the rock mass structure in the area of excavation conducted by use of videoendoscope in The Main Key Hereditary Adit in Zabrze

Badania parametrów wytrzymałościowych obudowy można wykonywać metodami niszczącymi lub nieniszczącymi, przy czym, w przypadku obiektów zabytkowych o znaczeniu historycznym zaleca się stosowanie metod nieniszczących. Do najczęściej stosowanych metod nieniszczących, w przypadku badań obudów kamiennych, należą metody ultradźwiękowa i sklerometryczna.

Analiza oddziaływań zewnętrznych jest związana z oceną zmian klimatycznych (głównie temperatury i wilgotności) w otoczeniu obiektu, wielości dopływu wody do wyrobiska, jej składu chemicznego, własności i struktury górotworu oraz czynników biocenotycznych i antropogenicznych.

Na podstawie analizy przeprowadzonych badań wydaje się zalecenia dotyczące dalszego, bezpiecznego użytkowania obiektu lub jego utrzymania, a w przypadku podjęcia działań zabezpieczających o szerszym zakresie wykonuje się szczegółowy projekt zabezpieczenia obiektu uwzględniający zachowanie jego walorów architektonicznych i historycznych.

Zalecenia te obejmują najczęściej:

– wskazanie miejsc uszkodzenia obudowy (rysy, spękania, złuszczenia, odspojenia) oraz określenie sposobu ich monitorowania (np. plomby szklane lub cementowe) lub zabezpieczenia (np. wypełnienie materiałem wiążącym, wymiana uszkodzonych elementów),

- przeprowadzenie pomiarów geodezyjnych mających na celu ustalenie gabarytów wewnętrznych wyrobisk i ich położenia względem innych wyrobisk i obiektów powierzchniowych,
- ograniczenie dopływu wody do wyrobisk poprzez np. iniekcję materiału uszczelniającego za obudowę,
- określenie prędkości i stopnia dezintegracji masywu skalnego wokół wyrobiska, a przede wszystkim pomiaru aktywności procesów zachodzących w obrębie głównych szczelin (pomiaru głębokości i rozwartości szczelin oraz wzajemnego przemieszczania się bloków skalnych) (ryc. 8),
- ocenę warunków klimatycznych, obejmującą zakres zmian temperatury i wilgotności powietrza oraz intensywności i kierunku jego przepływu, ewentualną poprawę warunków klimatycznych poprzez opracowanie i wykonanie odpowiedniego systemu wentylacji,
- identyfikację przedstawicieli flory i fauny wraz z określeniem ich ważności dla procesów biologicznych zachodzących w obrębie wyrobisk i ich otoczeniu oraz najbardziej istotnych warunków niezbędnych dla ich egzystencji,
- wykonanie oceny drzewostanu porastającego powierzchnię nad płytko zlokalizowanymi wyrobiskami i podjęcie ewentualnych działań wycinkowych w najbardziej zagrożonych rejonach,
- zabezpieczenie powierzchni terenu bezpośrednio nad płytko zalegającymi wyrobiskami poprzez jej oznakowanie i ograniczenie lub eliminację ruchu kołowego.

7. Podsumowanie

Rozważając zagadnienie ochrony wyrobisk przed destrukcyjnym oddziaływaniem zarówno szeroko pojętych czynników środowiskowych, antropopresji czy też czynnika czasu należy opracować szczegółowy program badań który powinien obejmować następujące zagadnienia:

- ocenę stanu technicznego obudowy wyrobiska i stateczności masywu skalnego wokół wyrobiska wraz z identyfikacją najbardziej istotnych z punktu widzenia geomechaniki czynników mających wpływ na jej stateczność, ze szczególnym uwzględnieniem tych, które są związane z antropopresją na wyrobisko jak i masyw w którym zostało ono wykonane,
- ocenę układu biocenotycznego wyrobiska wraz z charakterystyką mikroklimatu i inwentaryzacją przedstawicieli flory i fauny, zarówno w wyrobisku jak i w jego bezpośrednim otoczeniu, ze szczególnym rozpatrzeniem tych czynników które w najbardziej istotny sposób wpływają na stan zachowania obudowy i jej stateczność,
- ocenę wartości dydaktycznych i historycznych wyrobiska i jego obudowy oraz możliwości jak najpełniejszego jej zabezpieczenia i rewaloryzacji dla potrzeb jego przyszłych użytkowników.

Dopiero w oparciu o uzyskane wyniki analiz i obserwacji prowadzonych *in situ*, obejmujących:

- badania geotechniczne skał otaczających wyrobisko,
- badania stanu zachowania obudowy wyrobiska,
- badania środowiskowe, dotyczące takich elementów jak chemizm wód infiltrujących do wyrobisk, roczne amplitudy zmian temperatury, czy wpływ czynników biologicznych na stan zachowania jego obudowy można przystąpić do fazy drugiej, obejmującej projekt prac prowadzonych pod kątem zachowania stateczności wyrobiska. Projekt ten powinien być opracowany przez specjalistów z zakresu historii techniki, geomechaniki, budownictwa podziemnego i ochrony środowiska, i obejmować metody oraz środki konieczne do właściwego zabezpieczenia wyrobisk, uwzględniając zachowanie ich walorów architektonicznych i historycznych.

Literatura

- AFFELT W., 2000. *Dziedzictwo w budownictwie albo o obiektach budowlanych jako dobrach kultury ksiąg dziesięć*. Wyd. Polit. Gdańskiej. Gdańsk.
- DOMASŁOWSKI W., 2011. *Zabytki kamienne i metalowe, ich niszczenie i konserwacja profilaktyczna*. Wyd. UMK. Toruń.
- DUŻY S., PREIDL W., BĄCZEK A., DYDUCH G., PAWLAS Ł., 2011. *Wpływ warunków środowiskowych na obudowę płytko zalegających budowli podziemnych*. Kwart. Górn. i Geol., 6, 1. Wyd. Polit. Śl. Gliwice.
- MIKOŚ. T., CHMURA J., TAJDUŚ A., 2013. *Górnictwo metody ratowania zabytkowych dzielnic staromiejskich*. Wyd. AGH. Kraków.

PROTECTION AND SECURITY OF UNDERGROUND EXCAVATIONS IN ROCK LINING

rock lining, preservation of historic monuments

The issue concerning security and protection of underground historic facilities against devastating influence of the environment is very complex. The actions aimed at revitalizing or security of such facilities require the cooperation of experts in various fields. Only a close collaboration of historians of art, restorers, specialists in the field of underground construction, geomechanical engineers and ecologists can bring the right results in the form of properly executed security and revitalization of the excavation. This article presents the complex, both from the technical as well as environmental point of view, issue of protection of underground excavations made in rock lining.