

Stanisław DUŻY, Wojciech PREIDL, Arkadiusz BĄCZEK, Grzegorz DYDUCH,
Łukasz PAWLAS
Politechnika Śląska, Gliwice
Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni

WPŁYW WARUNKÓW ŚRODOWISKOWYCH NA OBUDOWĘ PŁYTKO ZALEGAJĄCYCH BUDOWLI PODZIEMNYCH

Streszczenie. Jedną z głównych przyczyn zużycia technicznego obudów płytko zalegających budowli podziemnych jest niekorzystne oddziaływanie otaczającego je środowiska. Oddziaływanie to można podzielić na trzy grupy czynników, tj. czynniki atmosferyczne, wodne i biotyczne. Wpływ działania tych czynników na obudowę wyrobisk górniczych omówiono na przykładzie Kopalni Ćwiczebnej Muzeum Miejskiego „SztYGarka” w Dąbrowie Górniczej. Zaproponowano również wiele działań pozwalających na zniwelowanie skutków niekorzystnego oddziaływania warunków środowiskowych na obudowę płytko zalegających budowli podziemnych.

INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON THE LINING OF SHALLOW UNDERGROUND STRUCTURES

Summary. One of the main reasons for technical wear of lining of shallow underground structures is the adverse impacts of the surrounding environment. This interaction can be divided into three groups of factors, such as atmospheric, aqueous and biotic factors. Influence of these factors has been discussed on the housing of mining excavations on the example of Training Mine of the "SztYGarka" Municipal Museum in Dąbrowa Górnicza. A series of measures designed to overcome the effects of the adverse impact of environmental conditions on the lining of shallow underground structures has also been proposed.

1. Wprowadzenie

Budowla podziemna jest to konstrukcja inżynierska, zagłębiona poniżej powierzchni terenu [4]. Obciążenie budowli podziemnej stanowi zazwyczaj ciężar i parcie otaczającego ją górotworu. Ponadto, konstrukcja zarówno jako całość, jak i jej poszczególne elementy jest narażona na oddziaływanie otaczającego ją środowiska. Oddziaływanie to przyjmuje

zazwyczaj złożony charakter, powodując uszkodzenia poszczególnych elementów konstrukcji i stopniową jej degradację [6]. Oddziaływanie środowiska na budowle podziemne może mieć charakter bezpośredni (ciężar własny, obciążenia od górotworu itp.) lub pośredni (środowisko agresywne, temperatura, wilgotność, następstwa deformacji czy wybożenia), a w zależności od czasu trwania i sposobu działania, może mieć formę stałą (np. ciężar spękaną strefy skał otaczających konstrukcję), zmienną (np. obciążenia użytkowe i termiczne, dynamiczne oddziaływanie maszyn i urządzeń) oraz wyjątkową (np. wstrząsy, uderzenia, wybuchy) [3]. W zależności od rodzaju, charakteru i lokalizacji budowli podziemnej, formy oddziaływań środowiskowych mogą przyjmować zróżnicowany charakter.

Wpływ warunków środowiskowych na obudowę płytko zalegających budowli podziemnych przedstawiono na przykładzie wyrobisk podziemnych Kopalni Ćwiczebnej Muzeum Miejskiego „SztYGarka” w Dąbrowie Górniczej [2].

2. Ogólna charakterystyka Kopalni Ćwiczebnej

Kopalnia Ćwiczebna jest zlokalizowana w południowo-wschodniej części obszaru górniczego dawnej KWK „Paryż” w Dąbrowie Górniczej. Kopalnia powstała przy Państwowej Szkole Górniczej i Hutniczej w celu zaznajamiania uczniów zarówno z procesem wydobywania i transportu węgla, jak i różnego typu obudowami wyrobisk udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjnych oraz ze sposobami jej zabudowy w przodku górniczym.

W pierwszym etapie prac, w latach 1927 – 1929, wydrążono ok. 250 m wyrobisk, natomiast w późniejszym okresie (1958 – 1966) kolejnych 180 m. Kopalnia pełniła swoją funkcję szkoleniowo-dydaktyczną do 1994 r. Obecnie Kopalnia jest częścią Muzeum Miejskiego w Dąbrowie Górniczej, a w jej wyrobiskach zorganizowano trasę turystyczną. W 2010 r. Kopalnia Ćwiczebna „SztYGarka” została włączona do Szlaku Zabytków Techniki Województwa Śląskiego.

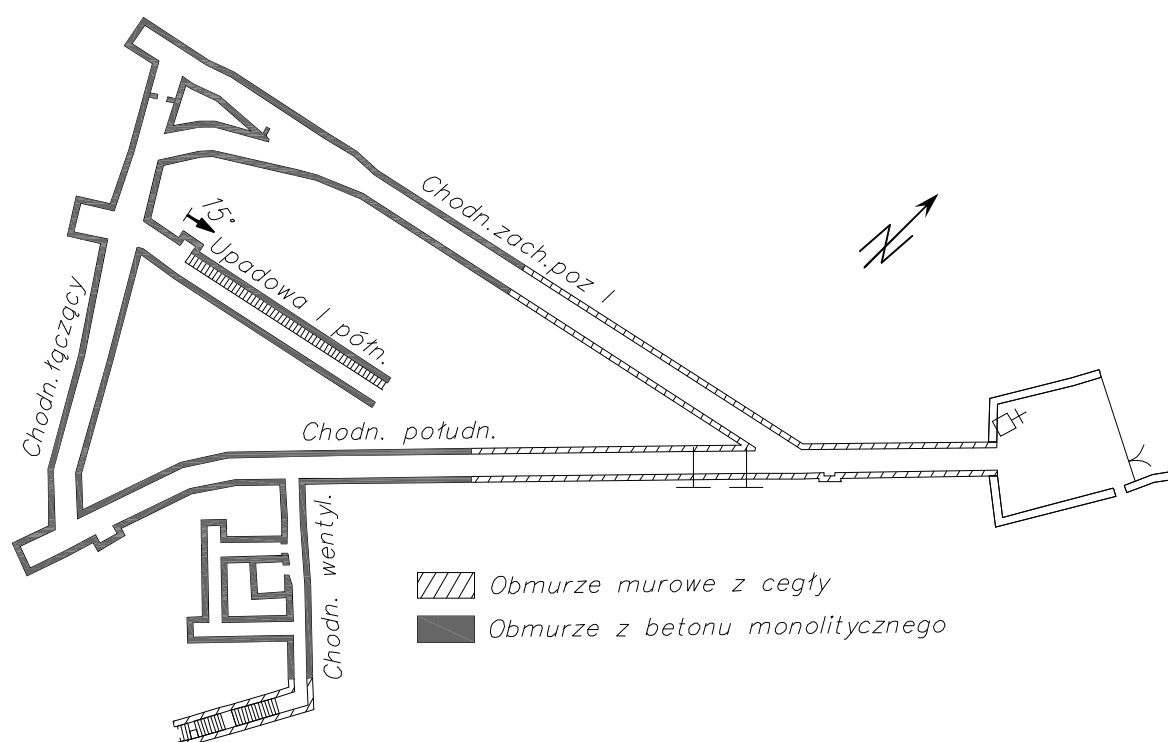
Wyrobiska Kopalni Ćwiczebnej wykonano w skałach czwartorzędowych i zalegających bezpośrednio pod nimi utworach karbońskich, zaliczanych do warstw załęskich i zabezpieczono obudową monolityczną betonową, murową z cegły, stalową obudową odrzwiową lub stalową obudową odrzwiową obetonowaną. Wyrobiska te zalegają na niewielkiej głębokości (od 0 do 25 m) i posiadają stosunkowo małe gabaryty przekroju

poprzecznego, wynoszące średnio: szerokość wyrobisk – 2,0 m, wysokość wyrobisk – 2,30 m.

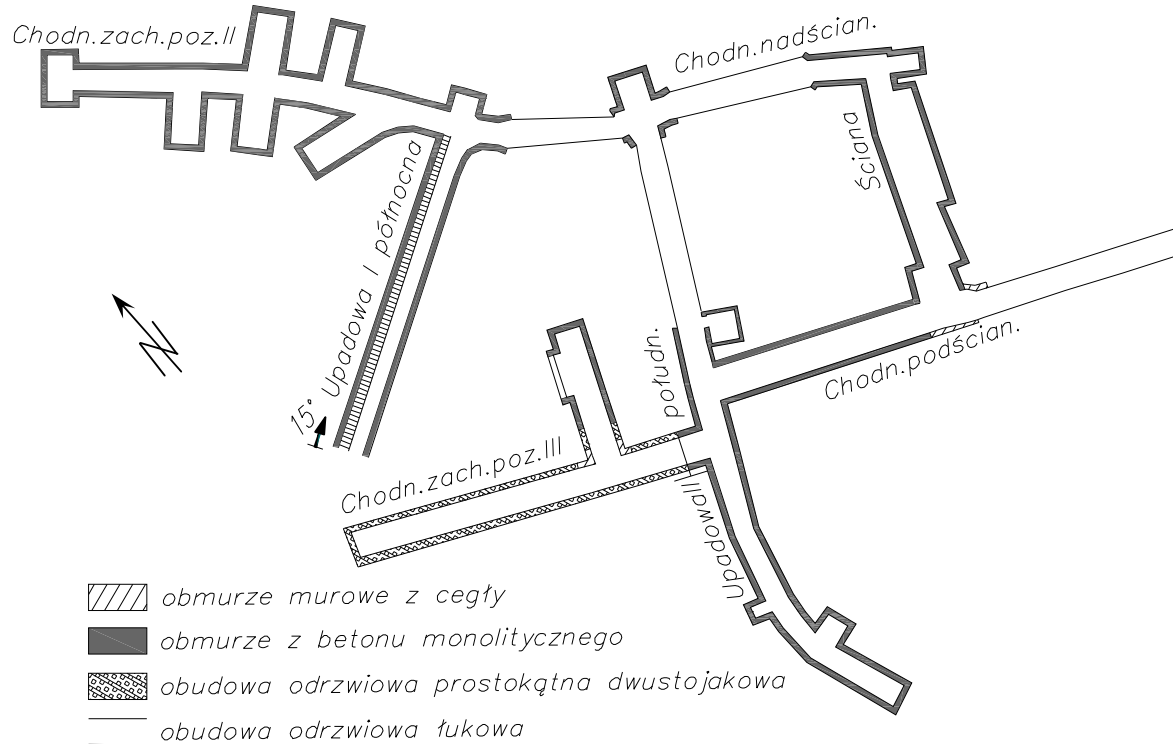
Na powierzchni terenu, bezpośrednio nad przedmiotowymi wyrobiskami górniczymi, znajduje się niewielki skwer miejski, usytuowany na łagodnym stoku nachylonym w kierunku północno-wschodnim. Ponadto, w okolicy Kopalni usytuowany jest kościół pw. św. Barbary oraz zabudowania Zespołu Szkół Zawodowych im. Stanisława Staszica i Muzeum Miejskiego „Szttygarka”.

3. Charakterystyka techniczna wyrobisk Kopalni Ćwiczebnej

Wyrobiska Kopalni Ćwiczebnej zlokalizowane są na trzech poziomach. **Poziom I** obejmuje: Chodnik wejściowy wraz z rozwidleniem, Chodnik zachodni poz. I, Chodnik łączący, Chodnik obejściowy, Chodnik południowy, Chodnik wentylacyjny, Pochylnię wentylacyjną oraz Upadową I północną. W skład **poziomu II** wchodzi: Chodnik zachodni poz. II, Chodnik nadścianowy, Ściana i Upadowa II południowa. Natomiast **poziom III** obejmuje: Upadową II południową, Chodnik podścianowy i Chodnik zachodni wraz z komorą warsztatową. Układ wyrobisk oraz rodzaj zastosowanej obudowy pokazano na rys. 1 i 2.



Rys. 1. Układ wyrobisk oraz rodzaj zastosowanej obudowy na poziomie I Kopalni Ćwiczebnej
Fig. 1. Layout of excavations and type of support used at Level I of the Training Mine



Rys. 2. Układ wyrobisk oraz rodzaj zastosowanej obudowy na poziomach II i III Kopalni Ćwiczebnej
 Fig. 2. Layout of excavations and type of support used at Levels II and III of the Training Mine

Na przełomie września i października 2010 r. przeprowadzono wizję lokalną w przedmiotowych wyrobiskach, połączoną z ich szczegółową inwentaryzacją w celu oceny stanu technicznego obudowy tych wyrobisk [2]. Na podstawie wyników wizji lokalnej stwierdzono, że:

- stan techniczny obudowy wyrobisk ogólnie jest dobry (poziom I i II) lub dostateczny (poziom III),
- na odcinkach wyrobisk wykonanych w obudowie murowej występują lokalne ubytki cegły oraz zaprawy w spoinach, przy czym największą liczbę i wielkość ubytków obserwuje się na odcinku ok. 20 m od wejścia do Kopalni (poziom I),
- na odcinkach wyrobisk wykonanych w obudowie betonowej (głównie w wyrobiskach poziomów II i III) obserwuje się liczne strefy niejednorodności struktury betonu, związane z segregacją i sedymentacją kruszywa,
- na całej długości wyrobisk obserwuje się liczne rysy i poprzeczne spękania obudowy kamiennej oraz nieco rzadziej występujące rysy podłużne,
- w szczelinach obudowy kamiennej poziomu I obserwuje się lokalnie, przerastające korzenie, pochodzące od rosnącego na powierzchni drzewostanu,
- na całej długości wyrobisk lokalnie występują wycieki wody zza obudowy,

- w narożach połączeń wyrobisk występują spękania i odspojenia obudowy (głównie poziom III),
- na całej długości wyrobisk wykonanych w stalowej obudowie odrzwiowej podatnej obserwuje się silną powierzchniową korozję kształowników,
- w wyrobiskach aktualnie niedostępnych dla turystów obudowa stalowa jest silnie skorodowana i wykazuje oznaki wyciężenia (poziom III),
- na odcinkach wyrobisk zabezpieczonych dodatkowo obudową drewnianą obserwuje się korozję biologiczną drewna.

Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że jednym z głównych czynników mających wpływ na stopień zużycia technicznego obudowy wyrobisk Kopalni Ćwiczebnej jest niekorzystne oddziaływanie otaczającego środowiska. Wśród pozostałych czynników wpływających na stopień zużycia technicznego obudowy można wymienić: długi okres istnienia wyrobisk, niską jakość wykonania obudowy oraz brak działań w zakresie jej bieżących konserwacji i napraw.

4. Formy oddziaływania środowiska na obudowę płytko zalegających budowli podziemnych

Budowle podziemne, jak każda konstrukcja inżynierska, są narażone na oddziaływanie otaczającego je środowiska, które z biegiem czasu powoduje uszkodzenia poszczególnych elementów konstrukcji i stopniową jej degradację. Formy oddziaływania środowiska na konstrukcje inżynierskie mogą przyjmować różny charakter, w zależności od czynników je wywołujących. Czynniki te można podzielić na trzy podstawowe grupy:

- czynniki atmosferyczne,
- czynniki wodne,
- czynniki biotyczne.

Do czynników atmosferycznych zalicza się: temperaturę, wilgotność, ruch (prędkość i kierunek przepływu) powietrza oraz zanieczyszczenie atmosfery cząstkami stałymi (kurz, piasek, pył węglowy, sadza itp.), ciekłymi (mgła, kondensacja pary wodnej nasyconej cząsteczkami agresywnych gazów) i gazowymi (CO_2 , SO_2 , H_2S , NH_3 itp.). Czynniki wodne są związane głównie z obecnością i korozyjnym oddziaływaniem wody na elementy konstrukcji, natomiast czynniki biotyczne są związane z oddziaływaniem organizmów żywych na budowle podziemne.

5. Wpływ warunków środowiskowych na obudowę wyrobisk Kopalni Ćwiczebnej

Z uwagi na zróżnicowaną konstrukcję obudowy wyrobisk Kopalni Ćwiczebnej, można w nich obserwować oddziaływanie wszystkich wymienionych w punkcie 4 czynników.

Charakterystyczny przykład oddziaływania czynników atmosferycznych można zaobserwować na odcinku o długości ok. 20 m, licząc od wejścia do Kopalni (poziom I), wykonanym w obudowie murowej, gdzie na całej długości obserwuje się ubytki cegły, lokalnie na głębokość do ok. 0,1 m oraz ubytki zaprawy na głębokość do ok. 0,02 m (rys. 3).



Rys. 3. Ubytki lica cegły oraz ubytki zaprawy w spoinach, spowodowane przemarzaniem obudowy
Fig. 3. Losses of face of bricks and losses of mortar in joints caused by frost penetration of the lining

Ubytki te są spowodowane przemarzaniem obudowy w okresie zimowym, zwłaszcza w obrębie chodnika wejściowego, co skutkuje złuszczeniem się powierzchni cegły oraz wykruszaniem zaprawy ze spoin. Na odcinku tym obserwuje się również lokalne wykroplenia wody z za obudowy, co przy działaniu niskich temperatur, zwiększa intensywność procesów korozyjnych. 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 na wlocie do Kopalni wynosi 4°C , a wilgotność względna tego powietrza wynosi 75%, kondensat pary wodnej pojawi się na elementach obudowy, jeżeli osiągną one temperaturę poniżej $-0,09^{\circ}\text{C}$.

Oddziaływanie czynników atmosferycznych na elementy obudowy obserwuje się również w odcinkach wyrobisk wykonanych w stalowej obudowie odrzwiowej, nienarażonych na stały kontakt z wodą wykraplającą się z górotworu. Przykładem takich wyrobisk są odcinki Upadowej II południowej (poziom II) czy Chodnika podścianowego (poziom III). Tam również obserwuje się okresowe skraplanie kondensatu pary wodnej na powierzchni metalu, co skutkuje intensyfikacją procesów korozyjnych w elementach

obudowy. Mimo iż w rejonach tych, niezależnie od pory roku, panuje zbliżona temperatura wynosząca ok. 10 – 11°C, i wilgotność względna sięgająca ok. 80 – 90%, to nawet niewielkie różnice temperatur przy tak dużej wilgotności powietrza mogą powodować skraplanie się pary wodnej na elementach obudowy [7]. Sytuację taką można zaobserwować np. w sezonie letnim, kiedy temperatura powietrza wlotowego do kopalni w ciągu dnia jest stosunkowo wysoka, co ułatwia nasycanie go wilgocią, a stopniowe schładzanie powietrza w porze nocnej powoduje osiągnięcie stanu nasycenia i skraplanie kondensatu pary wodnej na elementach obudowy. Przykładowo, jeżeli temperatura powietrza w rejonie przedmiotowych wyrobisk w ciągu dnia wzrośnie do ok. 13°C, a wilgotność względna tego powietrza będzie wynosić 85%, kondensat pary wodnej na elementach obudowy pojawi się, jeżeli w porze nocnej temperatura spadnie zaledwie o 2,5°C, a więc do stałej temperatury dla wyrobisk tego rejonu.

Ponadto, istotnymi czynnikami wpływającymi na prędkość przebiegu korozji atmosferycznej elementów obudowy stalowej są prędkość i kierunek przepływu powietrza oraz czas istnienia wyrobisk. Wzrost prędkości przepływu powietrza (szczególnie z przewagą substancji agresywnych w stosunku do metalu) powoduje szybsze i częstsze dostarczanie do układu czynników korozyjnych, natomiast kierunek przepływu przyczynia się do niesymetrycznego ubytku elementów konstrukcji, których części wystawione są na bezpośrednie oddziaływanie czynników korozyjnych. Istotnym elementem jest również czas ekspozycji obudowy na oddziaływanie środowiska agresywnego [1].

Oddziaływanie czynników wodnych jest widoczne niemal na całej długości przedmiotowych wyrobisk Kopalni Ćwiczebnej, przy czym największą ilość i intensywność wycieków obserwuje się w rejonie poziomów II i III.

Wyróżnia się trzy typy agresywnego oddziaływania wody na konstrukcje betonowe i murowe [5]:

- I typ korozji obejmuje rozpuszczanie i ługowanie składników zapraw i betonów (korozje ługująca, kwasowa, węglanowa, amonowa),
- II typ korozji obejmuje proces reakcji chemicznych pomiędzy składnikami tworzyw cementowych a związkami środowiska agresywnego, co prowadzi do powstawania wtrąceń w strukturze zapraw i betonów pozbawionych własności wiążących i wytrzymałościowych (korozja magnezowa),
- III typ korozji obejmuje proces krystalizacji słabo rozpuszczalnych soli w porach i kapilarach zapraw oraz betonów, które zwiększając swoją objętość, prowadzą do

powstawania naprężeń wewnętrznych w elementach konstrukcyjnych, co z biegiem czasu powoduje ich pęcznienie i rozkruszanie (korozja siarczanowa).

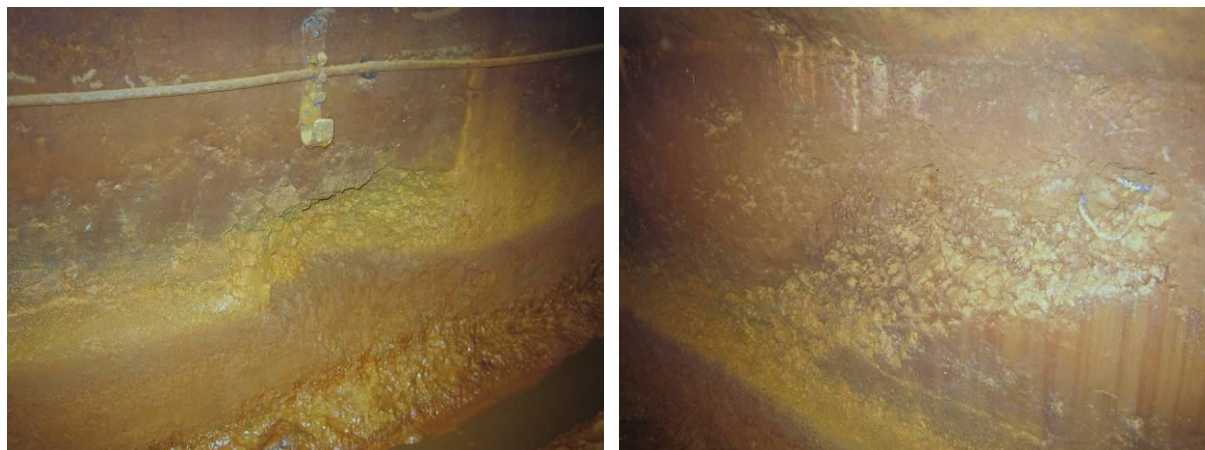
W wyrobiskach Kopalni Ćwiczebnej obserwuje się zazwyczaj I typ korozji zapraw i betonów, związany z odkładaniem się na elementach obudowy rozpuszczonych w wodzie soli w miejscach jej wycieków (rys. 4). Źródłem soli mogą być zarówno składniki zapraw i betonów, z których wykonano konstrukcję, jak również grunt, w którym ta konstrukcja jest posadowiona. Istotnym czynnikiem niezbędnym do przebiegu korozji tego typu jest nie tylko obecność wody w otoczeniu wyrobisk, ale również jej ciągły ruch.

Część nalotu obserwowanego w miejscach wycieków wody z za obudowy jest również związana z rozpuszczaniem i ługowaniem składników gruntu otaczającego przedmiotowe wyrobiska.



Rys. 4. Przykłady wykwitów solnych i nalotów w rejonie wycieków wody z za obmurza
Fig. 4. Examples of salt efflorescence and tarnish in the area of water leaks from behind the brick lining

W wyrobiskach poziomów II i III obserwuje się również liczne strefy niejednorodności struktury betonu, związane z segregacją i sedymentacją kruszywa (rys. 5). Powoduje to obniżenie spójności betonu, a co za tym idzie spadek jego własności mechanicznych. Obszary te są również miejscami potencjalnego zagrożenia korozyjnego.



Rys. 5. Strefy niejednorodności struktury betonu w ociosach wyrobiska

Fig. 5. Zones of inhomogeneity of the concrete structure in side walls of the excavation

Obecność wody w środowisku znacznie wzmacnia intensywność procesów korozyjnych w wyrobiskach zabezpieczonych stalową obudową odrzwiową [1]. Poczynione w trakcie wizji lokalnej obserwacje wykazały silną, powierzchniową korozję kształowników obudowy. W wyrobiskach tych przeprowadzono również pomiary grubości ścianek profili. Pomiary te wskazały na znaczne zwiększenie wielkości ubytków ścianek kształowników w miejscach oddziaływania wody wyciekającej z górotworu.

Oddziaływanie czynników biotycznych wiąże się głównie z przerastaniem przez obudowę korzeni pochodzących od rosnącego na powierzchni drzewostanu oraz korozją biologiczną elementów drewnianych na odcinkach wyrobisk zabezpieczonych dodatkowo obudową drewnianą (rys. 6). Przerastające korzenie obserwuje się głównie w szczelinach wyrobisk poziomu I. System korzeniowy drzew przyczynia się zarówno do rozluźniania warstw nadkładu, jak i do osłabiania obudowy – zwłaszcza betonowej.



Rys. 6. Oddziaływanie czynników biotycznych na elementy obudowy: a), b) szczeliny, w których obserwowano przerastające korzenie, c), d) stojaki drewniane zaatakowane przez grzyby

Fig. 6. Influence of biotic factors on the support components: a), b) gaps where growing roots were observed, c), d) wood props attacked by fungus

Korozję biologiczną drewna obserwuje się głównie w Chodniku zachodnim poz. III, gdzie część wyrobiska została dodatkowo zabezpieczona obudową drewnianą. Elementy obudowy są lokalnie pokryte białym nalotem, świadczącym o obecności grzybów prawdopodobnie z gatunku *phlebiopsis gigantea*, wywołujących tzw. biały rozkład drewna. Grzyby te mają zdolność rozkładu wszystkich składników drewna (celulozy, ligniny i hemicelulozy), powodując w stosunkowo krótkim czasie duże ubytki substancji drzewnej, a co za tym idzie znaczny spadek wytrzymałości elementów konstrukcyjnych.

6. Możliwości ograniczenia oddziaływania czynników środowiskowych na obudowę Kopalni Ćwiczebnej

Uwzględniając stopień zużycia obudowy wyrobisk Kopalni Ćwiczebnej oraz dbałość o ich utrzymanie i dalsze udostępnianie dla ruchu turystycznego, konieczne jest podjęcie systemowych działań dla poprawy warunków utrzymania stateczności przedmiotowych wyrobisk. Do podstawowych działań należy zaliczyć:

- poprawę warunków klimatycznych przez opracowanie projektu i wykonanie nowego systemu wentylacji Kopalni Ćwiczebnej, a w szczególności ograniczenie dopływu zimnego powietrza do wyrobisk przez zabudowę urządzeń grzewczych, które zapewniłyby utrzymanie w strefie chodnika wejściowego dodatniej temperatury, co w znacznym stopniu ograniczy korozję materiału w konstrukcji obudowy oraz utrzymywanie stałej temperatury powietrza, szczególnie w wyrobiskach zabezpieczonych obudową stalową,
- dla ograniczenia dopływu wody do wyrobisk należy przeprowadzić prace uszczelniające obudowę wyrobisk przez np. iniekcję za obudowę materiału uszczelniającego, tworzącego powłokę wodoszczelną,
- ocenę wpływu drzewostanu porastającego powierzchnię na wyrobiska Kopalni oraz podjęcie ewentualnych działań wycinkowych w najbardziej zagrożonych rejonach,
- wymianę drewnianych elementów obudowy zaatakowanych przez grzyby i zabezpieczenie wszystkich drewnianych elementów w Kopalni odpowiednimi środkami ochrony drewna (impregnatami).

7. Podsumowanie

Jedną z głównych przyczyn zużycia technicznego obudów płytko zalegających budowli podziemnych jest niekorzystne oddziaływanie otaczającego je środowiska. Oddziaływanie to przyjmuje zazwyczaj złożony charakter, powodując uszkodzenia poszczególnych elementów konstrukcji i stopniową jej degradację. Do głównych czynników wpływającymi na przebieg zużycia technicznego budowli podziemnych zalicza się czynniki atmosferyczne, wodne i biotyczne. Ich oddziaływanie na obudowę wyrobisk górniczych omówiono na przykładzie Kopalni Ćwiczebnej Muzeum Miejskiego „Sztęgarka” w Dąbrowie Górniczej.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji i analiz stwierdzono, że oddziaływanie to wiąże się głównie z przemarzaniem i korozją obudowy wyrobisk, rozpuszczaniem i ługowaniem składników tworzyw cementowych oraz destrukcyjnym działaniem organizmów żywych na elementy konstrukcyjne obudowy.

Zaproponowano wiele możliwości ograniczenia oddziaływania czynników środowiskowych na obudowę Kopalni Ćwiczebnej, przez poprawę wentylacji wyrobisk, uszczelnienie górotworu za obudową i wymianę uszkodzonych elementów oraz wycinkę drzewostanu nad najbardziej zagrożonymi rejonami Kopalni.

BIBLIOGRAFIA

1. Chudek M., Duży S., Dyduch G., Bączek A.: Korozja stalowej odrzwiowej obudowy podatnej a stateczność korytarzowych wyrobisk górniczych. *Budownictwo Górnicze i Tunelowe*, nr 3, Katowice 2008, s. 1-10.
2. Duży S. i in.: Ocena stanu technicznego i stopnia bezpieczeństwa obudów górniczych w wyrobiskach podziemnych Kopalni Ćwiczebnej. Praca naukowo-badawcza KGBPiZOP Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010 (praca niepublikowana).
3. Duży S., Dyduch G.: Wpływ czynników środowiskowych na zużycie techniczne konstrukcji obudowy budowli podziemnych. *Górnictwo i Geologia*, t. 5, z. 2, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2010, s. 37-46.
4. Glinicki S.P.: *Budowle podziemne*. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1994.
5. Jamroży Z.: *Beton i jego technologie*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa-Kraków 2000.
6. Lichołai L. i in.: *Budownictwo ogólne, tom 3. Elementy budynków, podstawy projektowania*. Wydawnictwo „Arkady”, Warszawa 2008.
7. www.muzeum-dabrowa.pl/kopalniainfo.html

Recenzent: Dr hab. inż. Stanisław Prusek, prof. GIG

Abstract

One of the main causes of technical wear of lining of shallow underground structures is the adverse impacts of the surrounding environment. This interaction is usually complex and causes damage to various construction elements and their progressive degradation. The main factors which affect on the course of the technical efficiency of underground structures includes atmospheric, aqueous and biotic factors. Their effect on the lining of mining excavations were discussed on the example of Training Mine of the "SztYGarka" Municipal Museum in Dąbrowa Górnicza.

On the basis of observations and analysis it was found that, this interaction is associated with frost penetration and corrosion of lining in the excavations, dissolving and leaching of cement material and destructive effects of living organisms on support components. Several possibilities of limiting the impact of environmental factors on the Training Mine lining were also proposed, such as improving the ventilation of workings, sealing the lining and replacing damaged support components and cutting down trees on the most threatened areas of the mine.