

# Wzmacnianie skorodowanej stalowej obudowy odrzwiowej za pomocą torkretowania na przykładzie KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit

Reinforcing the corroded steel arch support with shotcrete technology, supportive containers in Ziemowit part of Piast-Ziemowit coal mine



Mgr inż. Adam Rozmus<sup>\*)</sup>



Mgr inż. Paweł Ficek<sup>\*)</sup>

**Treść:** Powszechnie stosowana stalowa obudowa odrzwiowa w agresywnym środowisku kopalnianym ulega ciągłej degradacji. Największy wpływ na procesy korozji ma wysoce zmineralizowana woda oraz atmosfera kopalniana. Przebudowę zdegradowanej obudowy można zastąpić mniej kosztownym oraz bardziej bezpiecznym zabiegiem torkretowania. W artykule przedstawiono doświadczenia KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit w tym zakresie.

**Abstract:** Commonly used steel mining support suffers continuous degradation in aggressive underground environment. Main influence on the process of corrosion comes from highly mineralized water and aggressive underground atmosphere. Reconstruction of a degraded steel support could be done with a less expensive and safer shotcrete application. The article presents the experience of Ziemowit part of Piast-Ziemowit coal mine in this area.

## Słowa kluczowe:

torkret, beton natryskowy, korozja, przebudowa obudowy, obudowa górnicza

## Keywords:

shotcrete, corrosion, mining support, support reconstruction

## 1. Wprowadzenie

W podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny wykonuje się i utrzymuje dużą ilość wyrobisk korytarzowych. KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit posiada ponad około 160 km wyrobisk korytarzowych czynnych wentylacyjnie, w tym ponad 120 km kapitalnych wyrobisk o długim okresie użytkowania, z czego około 49 km to czynne przekopy, w większości o okresie użytkowania dłuższym niż 30 lat. Większość wyrobisk korytarzowych oraz niektóre wyrobiska komorowe wykonywane są w stalowej obudowie odrzwiowej podatnej. Do jej podstawowych zalet można zaliczyć (Chudek 1986):

- stosunkowo dużą nośność przy zadanej podatności,
- łatwość, szybkość i niewielką pracochłonność wykonywania,
- możliwość łatwego dostosowania kształtu obudowy do panujących warunków i kształtu przekroju wyrobiska.

Wyrobiska korytarzowe mogą spełniać swoje funkcje dopóki obudowa, a więc odrzwia, rozpory, okładziny, stopy podporowe, wykładka za obudową będą przyjmować

obciążenia pochodzące od górotworu, tzn. dopóki nośność obudowy jest większa niż obciążenia na nią działające. Znając wartości spodziewanych obciążeń, projektuje się obudowę o określonej podporności spełniającą powyższy warunek wytrzymałościowy.

Z biegiem czasu następuje stopniowe pogarszanie się stanu technicznego obudowy, wynikające m.in. z trwałości zastosowanych materiałów, jakości wykonania konstrukcji i sposobu jej użytkowania oraz warunków eksploatacyjnych (Dyduch 2011). Stanowi to poważne zagrożenie dla bezpiecznego użytkowania wyrobiska.

## 2. Korozja stalowej obudowy odrzwiowej

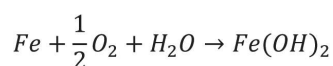
Jedną z głównych przyczyn pogarszania się stanu technicznego stalowej obudowy odrzwiowej, szczególnie w przypadku wyrobisk o długim okresie użytkowania, jest korozja jej elementów konstrukcyjnych. Proces ten powoduje obniżenie nośności konstrukcji wynikające ze zmiany parametrów geometrycznych i statycznych profili stalowych, z których wykonano elementy obudowy oraz zmianę charakterystyki pracy łącz podatnych (Bocheński i in.1993).

<sup>\*)</sup> Polska Grupa Górnicza S.A. oddział KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit.

Korozja jest zjawiskiem powszechnym, polegającym na niszczeniu materiałów pod wpływem chemicznej lub elektrochemicznej reakcji z otaczającym środowiskiem. Straty spowodowane zniszczeniami korozyjnymi są olbrzymie. W przypadku strat ekonomicznych dzieli się je na bezpośrednie i pośrednie. Do strat bezpośrednich zalicza się koszty wymiany zniszczonych urządzeń, np. skorodowanej obudowy chodnikowej. Natomiast straty pośrednie związane z wyłączeniem urządzeń z ruchu (także wyrobisk górniczych), zmniejszeniem wydajności oraz zmniejszeniem bezpieczeństwa pracy (Baskiewicz, Kamiński 1997).

Zjawiska korozyjne najczęściej dzieli się według mechanizmów, typów zniszczeń korozyjnych, środowisk oraz zastosowania. Jednak w odniesieniu do metalu najwygodniej jest przyjmować podział według mechanizmów lub typów zniszczeń korozyjnych.

Ze względu na mechanizmy procesów korozyjnych wyróżniamy: elektrochemiczny i chemiczny. Mechanizm chemiczny obserwuje się w gazach suchych, bezwonnej środowiskach organicznych (Rudnik 1998). Poniższa reakcja chemiczna opisuje przebieg procesu korozyjnego chemicznego:



Prowadzone na szeroką skalę badania wykazały, że najczęściej obserwowany przebieg procesów korozyjnych stalowej obudowy odrzwiowej w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit można opisać jako korozję elektrochemiczną przebiegającą w środowisku ciekłym (najczęściej w obecności wód kopalnianych) lub atmosferycznym o charakterze ogólnym, rzadziej szczelinowym lub wżerowym, stymulowaną lokalnie koncentracją naprężeń w elementach konstrukcyjnych (Dyduch 2011).

## 2.1. Warunki wpływające na szybkość korozji

Szybkość procesu korozji zależy od składu chemicznego stali, stanu powierzchni i warunków eksploatacyjnych elementu obudowy narażonego na jej działanie. Warunki eksploatacyjne obejmują wielkość obciążenia oraz stopień zanieczyszczenia atmosfery i wód (Stefaniak i in. 2009).

### Atmosfera kopalniana

Do kopalni doprowadza się świeże powietrze z powierzchni. Jest to powietrze atmosferyczne o składzie i zanieczyszczeniach charakterystycznych dla rejonu danej kopalni. Podczas

przepływu przez wyrobiska kopalniane skład tego powietrza ulega zmianom wskutek następujących działających stale lub okresowo czynników:

- utleniania węgla i drewna,
- oddychania ludzi,
- zanieczyszczeń powstających w wyniku wydzielających się gazów ze skał,
- lokalnie par i gazów powstałych w wyniku detonacji górniczych materiałów wybuchowych, pyłu węglowego (Graffstein-Markiewicz 1971).

### Wody kopalniane

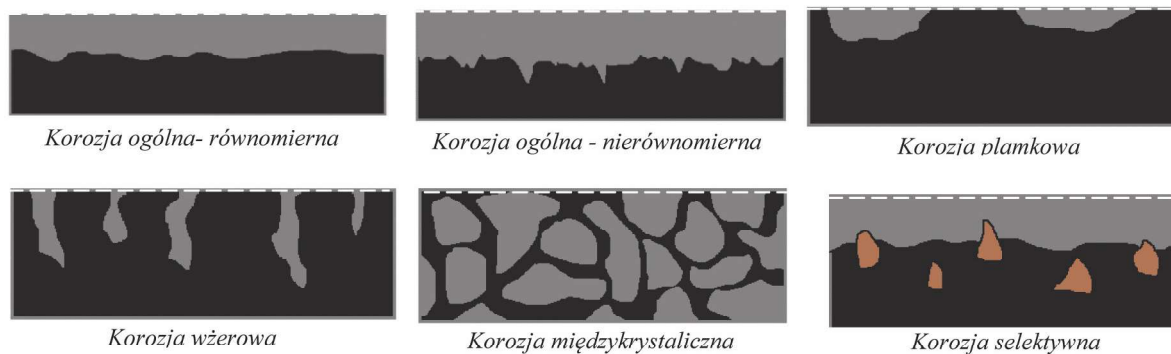
Woda ma szczególny wpływ na przyspieszenie procesów korozyjnych konstrukcji górniczych. Woda przedostająca się do kopalni ma zarówno bezpośredni kontakt z urządzeniami i konstrukcjami kopalni, jak również powoduje wzrost wilgotności powietrza. W górniczych suchych wyrobiskach szybkość korozji stali niestopowych może być 100-krotnie mniejsza od szybkości korozji tych stali w wyrobiskach mokrych (Graffstein-Markiewicz 1971). Wody dopływające do kopalni mogą pochodzić z 3 źródeł:

- otaczającego górotworu,
- ze zbiorników powierzchniowych,
- z dopływu sztucznego.

Zawartość poszczególnych soli w wodzie jest przyczyną twardości, zasadowości i kwasowości wody. Rozpuszczone sole wapnia i magnezu powodują twardość wody. Twardość wody oznacza się w stopniach bądź w mval/l, w Polsce najczęściej podaje się stopnie niemieckie (°n). 1 °n oznacza zawartość 1 części wagowej tlenku wapniowego (CaO) w 100 000 częściach wody co odpowiada 10 mg CaO/l wody lub 17,85 mg CaCO<sub>2</sub>/l wody.

Oprócz rodzaju i stężenia soli, istotnym czynnikiem charakteryzującym wody kopalniane jest stężenie jonów wodorowych (pH). Skład chemiczny wody zmienia się czasami bardzo szybko. Charakterystycznym jest to, że wody kwaśne nie pojawiają się na początku eksploatacji danego pokładu, lecz występują dopiero po pewnym czasie. Na podstawie badań i obserwacji stwierdzono, że o agresywności wód kopalnianych decydują cztery podstawowe składniki zawarte w wodach:

- stężenie jonów wodorowych (pH),
- twardość ogólna,
- ilość chlorków,
- ilość siarczanów (Czermiński 1986, Chudek i in. 2008).



Rys. 1. Podstawowe typ zniszczeń korozyjnych (Liberski 2013)  
Fig. 1. Basic types of corrosion caused destruction (Liberski 2013)



**Rys. 2.** Przykłady korozji stalowej obudowy korytarzowej w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit (materiał własny): a - poziom I, przekop północny. b - poziom II, chodnik 338, c - poziom II, przekop kołowy P-1, d - poziom III, przekop kołowy C-2.)

**Fig. 2.** Examples of steel arch support corrosion in Ziemowit part of Piast -Ziemowit coal mine (own study): a - 1st level , northern crosscut, b – 2nd level, gallery 338, c – 3rd level, crosscut P-1, d - 3rd level, crosscut C-2.)

**Tabela 1.** Charakterystyka wód naturalnych wg ich twardości ogólnej w stopniach niemieckich (Graffstein-Markiewicz 1971)

**Table 1.** Characteristics of natural waters according to their general hardness in German degrees (Graffstein-Markiewicz 1971)

Charakterystyka wody	Bardzo miękka	Miękka	Średnio twarda	Dość twarda	Twarda	Bardzo twarda
Twardość wody [on]	0÷4	4÷8	8÷12	12÷18	18÷30	>30

**Tabela 2. Przykładowe właściwości fizykochemiczne wody w KWK Piast- Ziemowit Ruch Ziemowit w danym punkcie pomiarowym**

**Table 2. Exemplary physical and chemical characteristics of water in Ziemowit part of Piast -Ziemowit coal mine at a given measuring point**

Wyrobnisko	Substancje rozpuszczone [mg/dm <sup>3</sup> ]	pH	Twardość ogólna [on]	Kationy [mg/dm <sup>3</sup> ]		Aniony [mg/dm <sup>3</sup> ]		
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Poziom II, Przekop P-1	5 265	7,72	22	59	85	2180	509	581
Poziom III, Przekop C-2	101 718	6,41	1 019	2 680	2 814	64 373	3 021	137
Poziom III, Chodnik 951	82 616	6,82	907	2573	2379	55904	3080	189

Wyniki przedstawione w tabeli 2 wskazują na wysoką mineralizację oraz zróżnicowanie właściwości fizykochemicznych wód występujących w Ruchu Ziemowit. Z uwagi na istotny wpływ wody na procesy korozyjne, trudnym do przewidzenia jest typ oraz stopień zniszczeń korozyjnych obudowy wyrobisk korytarzowych.

### 3. Torkret (beton natryskowy)

Większość wyrobisk z uwagi na koszt oraz dostępność wykonuje się w obudowie bez dodatkowego zabezpieczenia korozyjnego (Liberski 2013). W kopalniach, w których występują dopływy wody o dużej mineralizacji – a tak jest w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit - uszkodzenia obudowy spowodowane przyspieszoną korozją mają istotne znaczenie, zwłaszcza w tych wykonanych wyrobiskach, w których nie występują oznaki obciążenia obudowy podporowej. Taka sytuacja występuje często w wyrobiskach przyszybowych lub przekopach kamiennych. Pierwotne przekroje tych wyrobisk nie uległy zmianie, pomimo to obudowa powinna być wymieniona lub wzmocniona z uwagi na skorodowane odrzwia obudowy, które z czasem mogą ulec rozpadowi wskutek postępującej korozji, bez dodatkowego obciążenia. Wymiana obudowy to w efekcie przebudowa wyrobiska, która jest niebezpieczna, czasochłonna, kosztowna i zaburza ciągłość użytkowania wyrobiska. W celu poprawy stateczności wyrobisk w Ruchu Ziemowit stosowana jest obudowa powłokowa wykonywana za pomocą natrysku (torkret) (Nielacny i in. 2009).

Beton natryskowy - torkret jest to warstwa mieszanki betonowej (mieszanka cementu, piasku, żwiru, dodatków przyspieszających wiązanie oraz wody) nakładana na powierzchnię przy użyciu sprężonego powietrza (Chudek 1968).

Torkretowanie jest alternatywną metodą w stosunku do tradycyjnej przebudowy. Trzyosobowa brygada wykonująca przebudowę w ciągu jednej zmiany roboczej jest w stanie przeciętnie wymienić zaledwie pojedyncze odrzwia wraz z opinką. Brygada trzyosobowa wykonująca obudowę natryskową w ciągu zmiany roboczej może wzmocnić odcinek wyrobiska o długości około 10 mb (Nielacny i in. 2009).

Dla przykładu w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit w latach 2013-2018 przebudowano 5055 mb wyrobisk. W tym samym czasie kopalnia wykonała 11197 mb wzmocnienia wyrobisk poprzez torkretowanie. Koszt wykonania przebudowy w zależności od formatu obudowy kształtuje się na poziomie około 1000 zł/mb. Natomiast koszt torkretu to około 2000 zł/mb (w kosztach wykonania torkretowania ponad 60% wartości przypada na materiał, a mniej niż 40% na robociznę). Koszt wzmocnienia obudowy podporowej przy zastosowaniu torkretu jest około pięciokrotnie niższy od kosztów wykonania przebudowy w sposób tradycyjny (Rak i in. 2007).

### 4. Wykonanie wzmocnienia stalowej obudowy odrzwiowej warstwą betonu natryskowego

Stosowany obecnie sprzęt potrzebny do wykonania obudowy torkretowej składa się z mieszalnika, torkretnicy, rurociągów sprężonego powietrza i dyszy do natrysku. Przed przystąpieniem do torkretowania należy dokładnie oczyścić powierzchnię za pomocą strumienia wody bądź sprężonego powietrza. W przypadku naprawy starej warstwy betonu czynność ta powinna być wykonana co najmniej 24 h wcześniej. Znajdujące się w wyrobisku maszyny, kable, lutnie, itp. należy zabezpieczyć przed przypadkowym zanieczyszczeniem, które może wystąpić w trakcie aplikacji spoiwa. Torkretowana powierzchnia nie powinna być mokra, lecz wilgotna. Zwilżania powierzchni nie stosuje się tylko w przypadku występowania na niej warstw skłonnych do pęcznienia.

Mieszanka betonowa natryskiwana jest z dużą prędkością oraz energią kinetyczną. Od siły uderzenia zależy dobre zagęszczenie betonu. Duża prędkość wylotowa betonu opuszczającego dyszę sprawia, że warstwa natryskiwana jest zwarta, silnie przylega do podłoża, ma jednorodną strukturę i jest wodoszczelna.

W technologii torkretowania wykorzystywane są spoiwa wypełniające na bazie cementu. Po zastosowaniu odpowiedniej ilości mikrokrzemionki, jako dodatku poprawiającego właściwości betonu (dodatek mikrokrzemionki w ilości od 8 do 13 %) oraz zautomatyzowanych maszyn do torkretowania, wytrzymałość na ścislenie  $f_{ck}$  betonu otrzymanego w procesie może dochodzić do 100 MPa, a na zginanie do 15 MPa (Melbye i in. 2005).

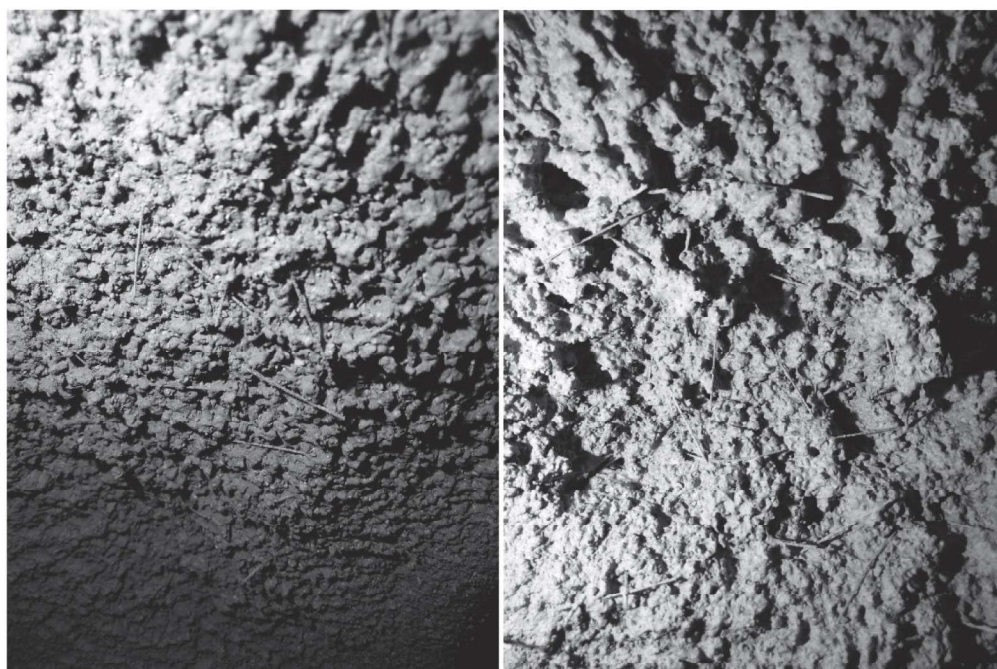
W betonie natryskowym powszechnie stosowane są mikrozbrojenia mające na celu poprawę jego zdolności do pochłaniania energii, wzrost podatności oraz poprawę jego parametrów wytrzymałościowych zarówno w stanie przed, jak i po zniszczeniu. Można więc stwierdzić, że mikrozbrojenie działa w skali mikro-przeciwdziałając propagacji mikrospekta i mikroszczelin, a także w skali makro-zbrojąc beton i zmieniając jego właściwości (Klimas, Madaj 2000).

W KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit powszechnie stosowane jest spoiwo Cover TW40, zbrojone włóknami polimerowymi o długości około 35 mm dodawanymi bezpośrednio do spoiwa. Chropowata powierzchnia zapewnia efektywne zakotwiczenie włókien w betonie i gwarantuje, poprzez specjalne wiązowanie, szybkie trójwymiarowe rozprowadzenie włókien w procesie mieszania. Cover TW40 jest materiałem wiążącym, konstrukcyjnym, o wysokiej dynamice narastania wytrzymałości w czasie i wysokiej wytrzymałości końcowej. Produkowany na bazie cementu, dodatków mineralnych oraz domieszek modyfikujących.



Rys. 3. Torkretnica wraz z spoiwem do torkretowania (materiał własny)

Fig. 3. Shotcrete machine with a binder for shotcreting (own study)



Rys. 4. Widoczne zbrojenie włókami polipropylenowymi na powierzchni warstwy torkretu

Fig. 4. Visible reinforcement with polymer fibers on the surface of the shotcrete layer (own study)

Ze względu na moment dodawania wody do suchych składników mieszanki betonowej możemy wyróżnić dwie metody torkretowania:

- metoda sucha (torkret suchy),
- metoda mokra (torkret mokry).

Obecnie w Ruchu Ziemi stosuje się metodę suchą. Polega ona na dostarczaniu mieszanki torkretowej do mieszalnika, gdzie następuje jej wymieszanie ze sprężonym powietrzem. Woda jest dodawana w dyszy, czyli wymieszanie mieszanki następuje w ostatnim stadium jej transportu. Zaletą metody torkretowania „na sucho” jest możliwość transportu mieszanki na duże odległości zarówno w poziomie, jak i

pionie, bez obawy stwardnienia materiału w torkretnicy czy w rurociągu. Metodę suchą charakteryzuje niewrażliwość na przerwy technologiczne (Chudek 1986).

Wśród zalet stosowania obudowy natryskowej można wymienić:

- przeciwdziałanie wietrzeniu skał,
- dobrą współpracę z górotworem i zwiększenie jego nośności,
- zmniejszenie oporów wentylacyjnych,
- jej ognioodporność.

Dużą zaletą obudowy natryskowej jest również możliwość jej współpracy z innymi rodzajami obudowy, tj. kotwioną oraz



**Rys. 5. Torkretowanie pierwszej warstwy torkretu: metoda sucha (materiał własny)**  
**Fig. 5. Shotcreting of the first layer of shotcrete using the dry method (own study)**

podporową, co w połączeniu z siatkami stalowymi tworzy obudowę ostateczną, powodując występowanie w górotworze trójosiowego stanu naprężenia (Chudek 1986).

Na podstawie dotychczasowych doświadczeń związanych z nakładaniem powłoki torkretowej w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit można zaobserwować w niektórych miejscach odspojenia warstwy torkretu w szczególności na łukach ociosowych w niewielkiej odległości od spągu wyrobiska. Związane jest to ze splanowaniem grawitacyjnym mieszanki betonowej po obudowie odrzwiowej i wytworzeniem grubszej warstwy torkretu na kształtowniku obudowy przy spągu wyrobiska. W warstwie torkretu nakładanej 15-20 lat temu można zaobserwować mikropełnięcia. Nakładana wówczas

mieszanka betonowa nie posiadała mikrowłókien, które w istotny sposób zwiększają parametry wytrzymałościowe torkretu i potwierdzają słusność ich zastosowania.

## 5. Wnioski

Przebudowa obudowy jest zabiegiem kosztownym oraz czasochłonnym. Wykonywanie przebudów zasadnym staje się jedynie w przypadku zaburzenia funkcjonowania wyrobiska ze względu na jego gabaryt oraz stan obudowy. Koszty wykonania wzmocnienia obudowy za pomocą betonu natryskowego są znacznie niższe niż w przypadku tradycyjnej przebudowy.



**Rys. 6. Wyrobisko korytarzowe w obudowie ŁP po wzmocnieniu warstwą betonu natryskowego (materiał własny)**  
**Fig. 6. The steel arch support lined gallery after strengthening with a layer of shotcrete (own study)**

Czasochłonność zabezpieczenia obudowy z wykorzystaniem torkretu w stosunku do tradycyjnych sposobów przywracania funkcjonalności wyrobiska poprzez wykonanie przebudowy jest znacznie mniejsza. W czasie wykonywania przebudowy ogranicza się w znacznym stopniu normalną pracę w wyrobisku, a technologia wykonywania przebudowy czyni ją w wysokim stopniu niebezpieczną. Nakładanie torkretu na skorodowaną obudowę znacznie zwiększa nośność wytworzonego układu. Warstwa torkretu zapewnia dobrą izolację stalowej obudowy odrzwiowej od atmosfery oraz wód kopalnianych, zmniejszając przy tym postęp procesów korozji. Wzmacnianie obudowy za pomocą torkretu wydłuża okres jej użytkowania bez konieczności wykonywania niebezpiecznych, czasochłonnych i kosztownych przebudów obudowy i powinno być oceniane pozytywnie.

## Literatura

- BASZKIEWICZ J., KAMIŃSKI M. 1997 - Podstawy korozji materiałów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- BOCHEŃSKI W., PACZEŚNIEWSKI K., RULKA K., SAWKA B. 1993 - Zabezpieczanie stalowych obudów odrzwiowych przed korozyjnym działaniem środowiska kopalnianego. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, nr 782.
- CHUDEK M. 1968 - Górnictwo. Tom VII. Obudowa wyrobisk górniczych. Część 2. Obudowa kamienna, metalowa i mieszana. Wydawnictwo Śląsk, Katowice.
- CHUDEK M. 1986 - Obudowa wyrobisk górniczych. Wydawnictwo Śląsk, Katowice.
- CHUDEK M., DUŻY S., DYDUCH G., BĄCZEK A. 2008 - Korozja stalowej odrzwiowej obudowy podatnej a stateczność korytarzowych wyrobisk górniczych. „Budownictwo Górnicze i Tunelowe”, nr 3, Katowice.
- CZERMIŃSKI J. 1986 - Ochrona przed korozją poradnik. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- DYDUCH G. 2011 - Wpływ korozji na zmianę właściwości technicznych stalowej obudowy odrzwiowej wyrobisk korytarzowych o długim okresie użytkowania. Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Wydział Górnictwa i Geologii, Gliwice.
- GRAFFSTEIN-MALKIEWICZ E. 1971 - Korozja w górnictwie węglowym. Wydawnictwo Śląsk, Katowice.
- KLIMAS W., MADAJ M. 2000 - Spoiwa mineralne w budownictwie podziemnym. Zeszyty Naukowe „Górnictwo” Politechnika Śląska, Gliwice.
- LIBERSKI P. 2013 - Antykorozyjne powłoki zanurzeniowe. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
- MELBYE T., DIMMOCK R., GARSHOL K. 2005 - Sprayed Concrete for rock support. Niepublikowane materiały katedry Górnictwa Podziemnego AGH, Kraków.
- NIEŁACNY P., STEFANIAK R., SETLAK K. 2009 - Doświadczenia KWK „Ziemowit” w zakresie zapewnienia stateczności wyrobisk górniczych o różnym przeznaczeniu. Zeszyty specjalne Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej, Gliwice. Międzynarodowa Konferencja. IX Szkoła Geomechaniki. Materiały konferencyjne, Gliwice-Ustroń 20-23 października 2009.
- RAK Z., SIODŁAK Ł., STASICA J. 2007 - Możliwości wzmocnienia obudowy podporowej wyrobisk korytarzowych z wykorzystaniem torkretowania. WUG, „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, nr 5, Katowice.
- RUDNIK S. 1998 - Metaloznawstwo. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- STEFANIAK R., MOSZKO M., ŚLADOWSKI G., CABAN P. 2009 - Metody ograniczania korozji obudowy stalowej wyrobisk korytarzowych na podstawie doświadczeń kopalni Ziemowit. „Wiadomości Górnicze” nr 9.

Artykuł wpłynął do redakcji – czerwiec 2020  
Artykuł zaakceptowano do druku – 25.07.202