

RAJMUND HORST
MAREK MODRZIK
PAWEŁ FICEK
MAREK ROTKEGEL
ANDRZEJ PYTLIK

Badania nośności skorodowanych złączy ciernych obudowy odrzwiowej na przykładzie Kopalni Węgla Kamiennego Piast-Ziemowit

W artykule przedstawiono wyniki badań nośności skorodowanych złączy ciernych pozyskanych z przebudowy wyrobiska. Głównym celem badań było określenie charakterystyk pracy silnie skorodowanych złączy ciernych oraz określenie ich nośności. Dodatkowym celem badań było wskazanie parametru skorodowanych odrzwi, kluczowego przy ocenie stanu technicznego obudowy – nośność złączy ciernych czy wytrzymałość łuków. W artykule scharakteryzowano również w skrócie warunki kopalniane, w których pracowała obudowa ŁP.

W związku z tym, że omówione w artykule badania mają charakter pilotażowy, a uzyskane wyniki wskazują na znaczny wpływ korozji na bezpieczeństwo pracy obudowy, badania skorodowanych złączy będą kontynuowane na większej liczbie próbek oraz przy różnych typach strzemion.

Słowa kluczowe: *korozja, obudowa wyrobisk, złącza cierne, badanie nośności*

1. WPROWADZENIE

Stalowa obudowa odrzwiowa jest podstawową obudową wyrobisk korytarzowych stosowaną w polskich kopalniach węgla kamiennego. Wynika to z wielu zalet takiej obudowy, między innymi z łatwego dostosowania jej do warunków geologiczno-górnich, szybkiego jej wykonywania, stosunkowo niskiej ceny, a także z szerokiego wachlarza dostępnych wariantów wymiarowych obudowy. Pomimo tego stalowa obudowa odrzwiowa ma istotną wadę. Jej nośność jest zmienna w czasie wraz z postępującą korozją odrzwi. Zatem jej trwałość jest ograniczona i zależy między innymi od agresywności środowiska, w którym jest zastosowana. Na podstawie obserwacji dołowych można stwierdzić, że stalowe obudowy odrzwiowe zachowują swą funkcjonalność w czasie od kilku do kilkudziesięciu lat. Oczywiście jest to, że poszczególne

elementy składowe obudowy odrzwiowej w różnym stopniu wrażliwe są na działanie agresywnego środowiska. Zdecydowanie większa jest trwałość odrzwi niż elementów cienkościennych, takich jak siatki okładzinowe czy rozpory międzyodrzwiowe. O ile w przypadku znacznego skorodowania większości akcesoriów możliwe jest ich uzupełnienie, wymiana lub zastosowanie zestawów naprawczych, o tyle w przypadku odrzwi konieczne jest ich wzmocnienie (podbudowanie) lub wymiana, związana z kosztowną przebudową wyrobiska [1]. Dla uniknięcia sytuacji awaryjnych, kiedy nośność obudowy spada do poziomu obciążeń na nią działających i grozi utratą stateczności wyrobiska, a także obwałami i zawałami prowadzone są przez służby kopalniane okresowe kontrole stanu technicznego obudowy. Dotychczas prowadzono szereg badań nad korozją, także obudowy górniczej [2–6] i opracowanych zostało wiele metod pozwalających

na oszacowanie nośności skorodowanych odrzwi na podstawie pomiarów rzeczywistej grubości ścianek kształtowników V [7–11]. Bardzo istotnym zagadnieniem jest także nośność złączy ciernych [12–15], która wpływa na rozstaw odrzwi, określane w procesie doboru obudowy [16–18], a w przytoczonych metodach oceny obudowy skorodowanej jest pomijana. Trudno jest bowiem w warunkach dołowych określić czy chociaż oszacować nośność złączy ciernych, w których na skutek zjawiska korozji szczelinowej nastąpiło zescalenie łuków obudowy. Dla oszacowania tej nośności przeprowadzono cykl badań stanowiskowych na złączach ciernych odrzwi, pozyskanych z przebudowanego wyrobiska. Dodatkowym celem badań było wskazanie, który parametr (nośność złączy ciernych czy wytrzymałość łuków) jest kluczowy w ocenie stanu technicznego skorodowanej obudowy.

2. CHARAKTERYSTYKA ŚRODOWISKA KOPALNIANEGO W MIEJSCU PRACY BADANYCH ZŁĄCZY CIERNYCH

Środowisko kopalniane zmienia się wraz z charakterystycznymi czynnikami, takimi jak: warunki hydrologiczne, głębokość zalegania, wilgotność, temperatura pierwotna skał otaczających, temperatura maszyn i urządzeń pracujących w danym wyrobisku, przepływ powietrza itp. Na podstawie badań i obserwacji stwierdzono, że największy wpływ na prędkość procesów korozji w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit ma agresywność wód kopalnianych.

O agresywności wód kopalnianych decydują cztery podstawowe składniki zawarte w wodach:

- stężenie jonów wodorowych (pH),
- twardość ogólna,
- ilość chlorków,
- ilość siarczanów.

Próbki złączy ciernych przeznaczone do badań laboratoryjnych pobrano z przekopu wschodniego 930, poziom III (650 m) w trakcie prowadzonej tam przebudowy. W tabeli 1 zebrano podstawowe dane dotyczące obudowy.

Obudowa została zabudowana w 1998 r., zatem eksploatowana była przez 20 lat. Na łukach obudowy widoczne są odspojenia produktów korozji oraz silnie skorodowane strzemiona. Środowisko w miejscu pobierania próbek jest bardzo agresywne. W wyrobisku panuje wilgotność względna powietrza na poziomie 88%. Dodatkowo analizowana woda charakteryzuje się bardzo wysoką mineralizacją. Zawiera ona 149 500 mg/dm³ substancji rozpuszczonych oraz posiada wysoką twardość – 1019° n. Średnie stężenie jonów chlorków 84 373 mg/dm³ oraz siarczanów 3323 mg/dm³ przy znacznej warstwie wilgoci na powierzchni obudowy wpływa na przyspieszenie procesów korozyjnych. Kationy magnezu 3466 mg/dm³ oraz wapnia 4280 mg/dm³ wpływają natomiast na znaczną twardość wody.

Biorąc pod uwagę czas eksploatacji obudowy oraz bardzo wysoką jak na warunki kopalniane mineralizację wody skraplającej się na powierzchni obudowy powodującą przyspieszenie procesów korozji, obudowę wraz z złączami ciernymi w przekopie wschodnim 930 można ocenić jako silnie skorodowaną.

Tabela 1
Charakterystyka obudowy [19]

Wielkość odrzwi	Kształtownik	Gatunek stali	Liczba strzemion w złączy	Typ strzemion	Rok zabudowy
ŁP9	V29	25G2	2	K29	1998 r.

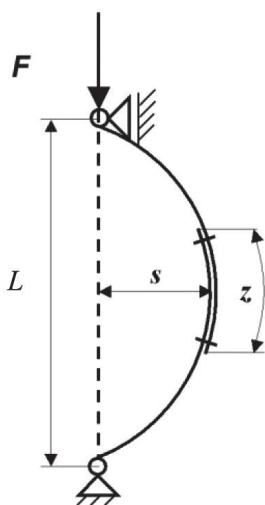
Tabela 2
Właściwości fizykochemiczne wody w miejscu eksploatacji badanej obudowy [19]

Substancje rozpuszczone [mg/dm ³]	pH	Twardość ogólna [°n]	Kationy [mg/dm ³]		Aniony [mg/dm ³]		
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻
149 500	6,5	1386	4280	3466	84 373	3323	122

3. PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

Badania stanowiskowe przeprowadzono na dwóch złączach ciernych obudowy ŁP z kształtownika V29 pozyskanych w trakcie przebudowy przekopu wschodniego 930 na poziomie III w KWK Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit.

Badania złączy łukowych elementów bez odporu biernego (siły biernej oddziałującej na złącze) przeprowadzono według schematu obciążeniowego przedstawionego na rysunku 1, na podstawie normy PN-G-15026:2017-04 [20].



Rys. 1. Schemat obciążenia złączy łukowych elementów siłą F działającą w osi przegubu podpory stałej, gdzie: L – długość cięciwy złącza, s – długość strzałki złącza, z – długość zakładki

Wartość ujemnego momentu zginającego M_g (powodującego zmniejszenie promienia krzywizny łuków złącza) w przekroju złącza, w miejscu jego strzałki s , została obliczona ze wzoru:

$$M_g = -F \cdot s \text{ [kN}\cdot\text{m]} \quad (1)$$

gdzie:

- F – siła obciążająca złącze w momencie jego zsuwu [kN],
- s – długość strzałki [m] złącza, obliczona jako odległość między osią obojętną dwóch kształtowników V29 w złączu a osią działania siły F .

Stanowisko badawcze wyposażone było w siłownik hydrauliczny z zamontowanym w tłoczysku tensometrycznym czujnikiem siły (pracującym w układzie pełnego mostka) o zakresie pomiarowym do 1000 kN (klasa 0,5) oraz w potencjometryczny przetwornik

przemieszczenia, o zakresie pomiarowym do 1500 mm (klasa 0,35), do pomiaru zmiany długości ΔL cięciwy złącza podczas jego obciążania.

Podczas badań mierzono siłę F obciążającą złącze oraz długość cięciwy c złącza z częstotliwością próbkowania $f_p = 10$ Hz, która (jak wykazały wieloletnie doświadczenia z badań złączy ciernych w ramach laboratorium akredytowanego) jest wystarczająca do określenia charakterystyki pracy złączy ciernych odrzwi obudowy ŁP. Czujniki połączone były do wzmacniacza pomiarowego typu DMCplus wykonanego w klasie dokładności 0,03. Dane pomiarowe rejestrowane były na komputerze za pomocą programu CATMAN.

Przed badaniem złącza miały zakładkę ok. 560 mm, natomiast strzałki s złączy miały wartość ok. 108 mm (pomiar od osi działania siły F do osi obojętnej złącza) [12, 13].

Końce złączy stykające się z równoległymi do siebie płytami obciążającymi maszyny wytrzymałościowej zostały tak przycięte, aby przylegały do płyt maszyny. W związku z tym, że stwierdzono perforację kształtowników w złączu (rys. 2), jego końce dodatkowo wzmocniono odcinkiem kształtownika V29 oraz pojedynczym strzemieniem. Miało to na celu niedopuszczenie do deformacji kształtowników V29 w złączu, co zablokowałoby jego zsuwanie, a tym samym zniekształciło przebieg pracy złącza. Widok złączy przygotowanych do badań przedstawiono na rysunkach 3 i 4.



Rys. 2. Perforacja kształtownika w rejonie jego kołnierza



Rys. 3. Złącze cierne 1 przygotowane do badań i stan techniczny strzemiön



Rys. 4. Złącze cierne 2 przygotowane do badań i stan techniczny strzemiön

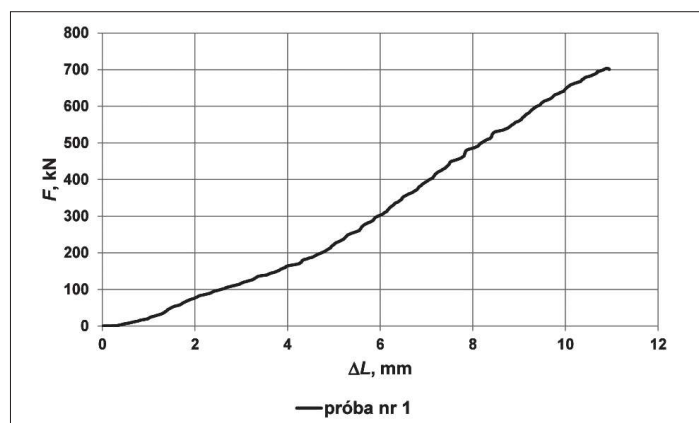
Wyniki badań w postaci przebiegów $F = f(\Delta L)$ przedstawiono na rysunkach 5 i 6.

Pomiary geometryczne strzemion kabłąkowych typu K29 w złączu nr 1 wykazały, że śruby kabłąkowe M27 posiadają nieznaczne ubytki korozyjne skutkujące zmniejszeniem się średnicy kabłąków do 25–26 mm zarówno w strzemienu dolnym jak i górnym. Zmierzona przed i po badaniu zakładka złącza $z = 560$ mm nie uległa zmianie.

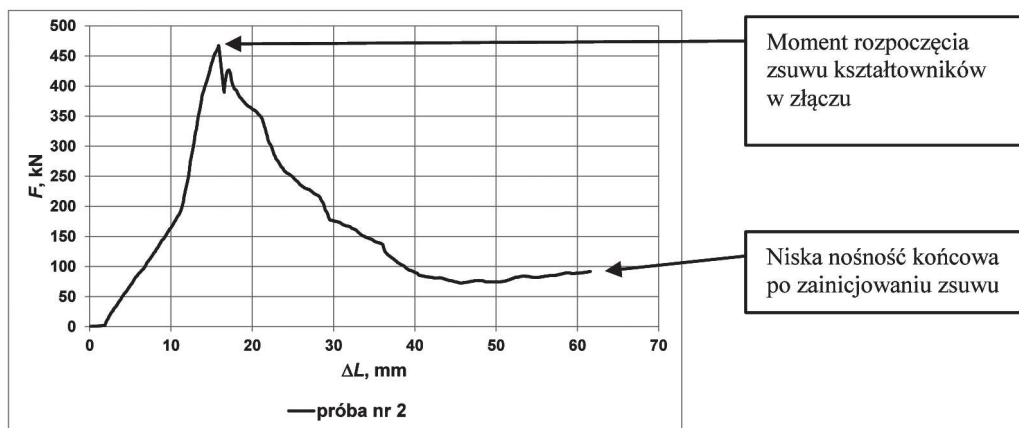
Złącze podczas próby nr 1 obciążone siłą $F = 700$ kN, przy momencie zginającym $M_g = 75,6$ kNm, nie zsunęło się, a po próbie nie stwierdzono również je-

go deformacji plastycznej. Łukowe złącza wykonane z kształtowników V29 połączonych dwoma strzemionami typu K29 zsuwają się zwykle przy sile obciążającej ok. 220 kN. Zablokowanie się złącza jest najprawdopodobniej wynikiem korozji szczelinowej pomiędzy łukami, która doprowadziła do szczepienia się kształtowników i strzemion w złączu.

Pomiary geometryczne strzemion kabłąkowych typu K29 w złączu nr 2 wykazały, że śruby kabłąkowe M27 posiadają znaczne ubytki korozyjne skutkujące zmniejszeniem się średnicy kabłąków do 7–20 mm w strzemienu górnym oraz do 18–23 mm w strzemienu dolnym.



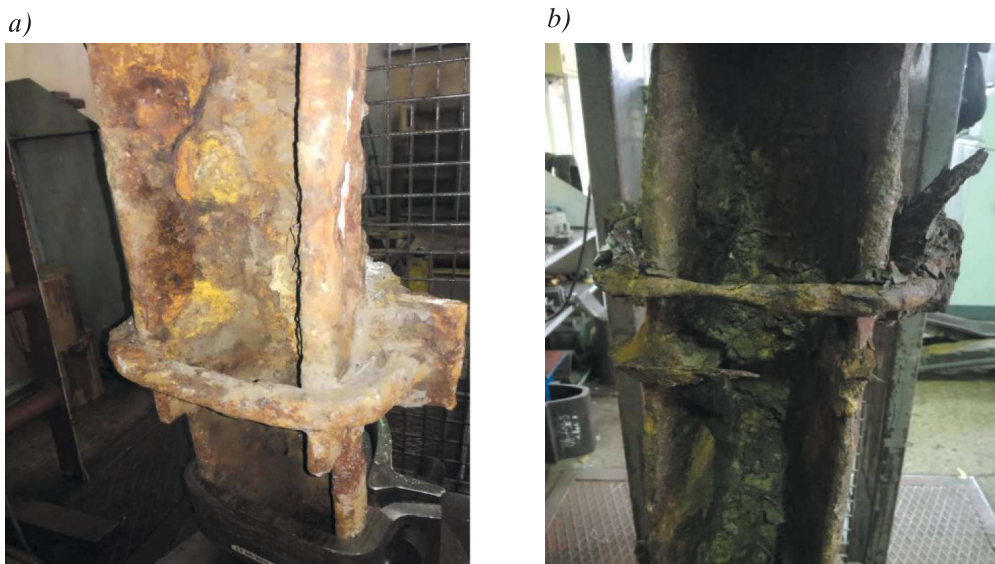
Rys. 5. Charakterystyka złącza ciernego 1



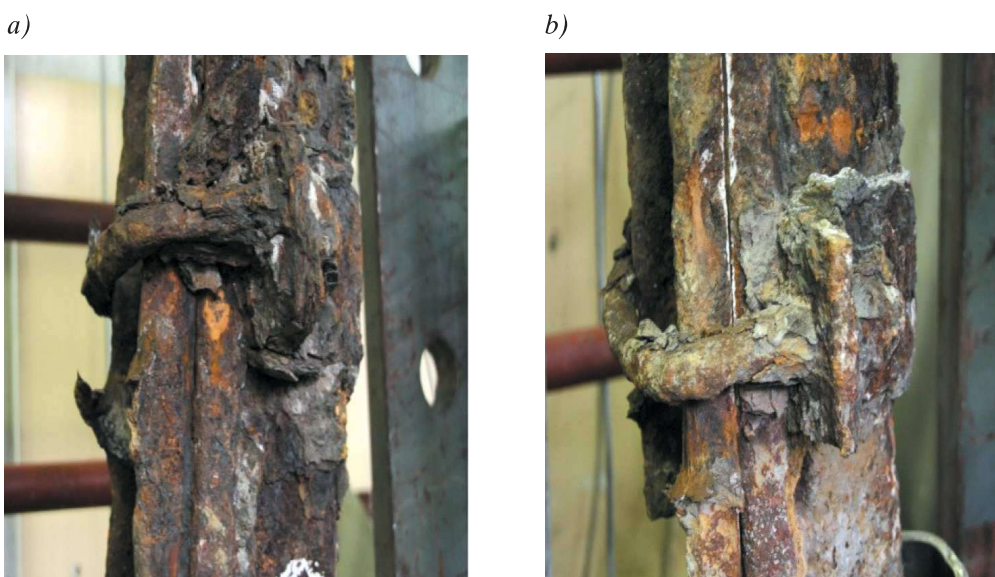
Rys. 6. Charakterystyka złącza ciernego 2

Odmienne charakter pracy zaobserwowano podczas próby nr 2. Złącze obciążone siłą $F = 467$ kN, przy momencie zginającym $M_g = 50,4$ kNm, zsunęło się (rys. 8). Zsuv miał charakter zsuwu ciągłego, a końcowa wartość nośności złącza ustabilizowała się na poziomie ok. 90 kN. Po próbie nie stwierdzono również deformacji plastycznej kształtowników w złączu. Najbardziej prawdopodobną przyczyną zsuwu złącza oraz systematycznym jej obniżaniem się był zły stan techniczny śrub kabłąkowych górnego i dolnego

strzemienia w porównaniu z kabłąkami strzemion użytych w próbie nr 1 (rys. 7). Śruby kabłąkowe podczas zsuwu ulegają lekkiemu ukosowaniu, co wywołuje w nich zwiększoną siłę naciągu w stosunku do nominalnej (wywołanej nominalnym momentem dokręcenia). Ponieważ śruby kabłąkowe mają znacznie zmniejszony przekrój spowodowany korozją (rys. 7), ulegają one znacznemu odkształceniu, co jest przyczyną zmniejszenia docisku kształtowników w złączu, a tym samym zmniejszenia się siły tarcia.



Rys. 7. Śruby kabłąkowe w złączach podczas prób: a) nr 1; b) nr 2



Rys. 8. Strzemiona złącza ciernego 2 po badaniach (widoczny zsuw)

Na niską wartość nośności końcowej złącza (ustaloną na poziomie ok. 90 kN) i jej charakter (brak typowych dla ciernego złącza skokowych zsuwów) ma również wpływ stan powierzchni złącza, które pokryte jest licznymi produktami korozji oraz pyłem kamiennym, wielkość tego wpływu jest jednak bardzo trudna do określenia przy tak różnorodnym stanie powierzchni złącza.

Przeprowadzone próby wykazały dużą nośność złączy ciernych, skorodowanych w znacznym stopniu. Szczególnie dotyczy to stanu przed wystąpieniem pierwszego zsuwu. Jak widać, nawet znaczny ubytek korozyjny strzemion kabłąkowych (złącze II) nie powoduje obniżenia nośności złącza (w zakresie

pierwszego zsuwu) w stosunku do złącza nowego – nieskorodowanego. Można zatem przyjmować, że (paradoksalnie) znaczna korozja złączy ciernych podnosi ich nośność. Dotyczy to jednak stanu przed pierwszym zsuwem i zerwaniem złącza korozyjnego. W związku z tym w warunkach znacznego zużycia korozyjnego odrzwi, przy jednoczesnym „przejściu” złączy ciernych w złącza korozyjne łuków oraz w przypadku niewystąpienia zsuwów łuków w zakładkach, w kwalifikowaniu skorodowanych odrzwi jako nadających się do dalszej pracy kwestie nośności złączy ciernych mogą zostać pominięte, a sama ocena nośności skorodowanych odrzwi może być ograniczona do wytrzymałości łuków.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Badania bardzo silnie skorodowanych złączy wykazały, że korozja ma znaczący wpływ na powstanie efektu szepiania się kształtowników w złączu. W zależności od stanu strzemion w złączu, które decydują o sile docisku kształtowników, korozja może doprowadzić do całkowitego zablokowania się złącza lub sytuacji, gdy jego nośność jest znacznie większa od nośności nominalnej. Paradoksalnie prowadzi to do wzrostu nośności odrzwi, gdyż zmienia się ich charakterystyka z podatnej na sztywną. Odbywa się to jednak kosztem ich podatności i prowadzi do niebezpiecznej sytuacji usztywnienia się obudowy, co w konsekwencji jest niekorzystne, zwłaszcza w przypadkach możliwości występowania wstrząsów górotworu, czy też obciążeń o charakterze deformacyjnym. Niepokój może także budzić niewielka nośność złącza ciernego po zaistnieniu pierwszego zsuwu, po zerwaniu połączenia adhezyjnego. Należy także mieć na uwadze fakt, że wraz z postępującą korozją maksymalna nośność odrzwi (usztywnionych) spada.

W związku z tym, że przedstawione badania mają charakter pilotażowy, a uzyskane wyniki wskazują na bardzo znaczący wpływ korozji na bezpieczeństwo pracy obudowy, badania skorodowanych złączy będą kontynuowane na większej liczbie próbek oraz przy różnych konfiguracjach strzemion.

Literatura

- [1] Prusek S., Rotkegel M., Małecki Ł.: *Wybrane sposoby wzmocnienia skorodowanej stalowej obudowy odrzwiowej*, „Przegląd Górniczy” 2015, 5: 71–77.
- [2] Baszkiewicz J., Kamiński M.: *Podstawy korozji materiałów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
- [3] Graffstein-Malkiewicz E., Leśniewski K.: *Korozja w górnictwie węglowym*, Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1971.
- [4] Prusek S., Rotkegel M.: *Zjawisko korozji w obudowie chodnikowej*, „Prace Naukowe GIG. Seria Konferencje” 2004, 48: 55–62.
- [5] Rotkegel M.: *Skutki korozji obudowy wyrobisk korytarzowych, sposoby im zapobiegania i minimalizacji strat*, Konferencja WUG i GIG-SITG „Problemy bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w polskim górnictwie”, Mysłowice 2006: 147–157.
- [6] Wranglen G.: *Podstawy korozji i ochrony metali*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1985.
- [7] Prusek S., Rotkegel M., Stokłosa J., Malesza A.: *Ocena stopnia skorodowania odrzwi obudowy chodnikowej na przykładzie ZG „Bytom III”*, „Miesięcznik WUG” 2004, 9: 13–20.

- [8] Prusek S., Rotkegel M.: *Korozja obudowy wyrobisk korytarzowych*, „Wiadomości Górnicze” 2005, 7–8: 336–341.
- [9] Rak Z., Siodłak Ł., Stasica J.: *Możliwości wzmocnienia obudowy podporowej wyrobisk korytarzowych z wykorzystaniem torkretowania*, „Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie”, 5, 2007.
- [10] Rotkegel M., Kowalski E.: *Wpływ stopnia skorodowania elementów odrzwi na nośność obudowy*, „Prace Naukowe GIG. Seria Konferencje” 2003, 46: 95–110.
- [11] Rotkegel M.: *Pomiary ubytku korozyjnego obudowy wyrobisk korytarzowych*, „Prace Naukowe GIG” 2006, 4: 23–32.
- [12] Pytlik A.: *Wpływ zginania na pracę ciernych złączy łukowych odrzwi ŁP przy obciążeniach statycznych i dynamicznych*, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2001 [praca doktorska].
- [13] Pytlik A.: *Charakterystyka pracy łukowych złączy badanych z odporem biernym przy obciążeniu statycznym i dynamicznym*, „Prace Naukowe GIG. Seria Konferencje nr 42. Problemy obudowy i utrzymania wyrobisk korytarzowych”, Katowice 2002: 109–123.
- [14] Pytlik A.: *Obudowa górnicza i jej akcesoria – wymogi bezpiecznego stosowania*, w: *Bezpieczeństwo pracy w kopalniach węgla kamiennego*, red. W. Konopko, t. 1: *Górnictwo i środowisko*, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2013: 111–133.
- [15] Rotkegel M.: *Wpływ cech konstrukcyjnych złączy na nośność stalowej obudowy odrzwiowej podatnej*, „Wiadomości Górnicze” 2011, 9: 480–484.
- [16] Chudek M. et al.: *Zasady doboru i projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny*, Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni, Politechnika Śląska, Gliwice–Kraków–Katowice 1999.
- [17] Drzęzła B. et al.: *Obudowa górnicza. Zasady projektowania i doboru obudowy wyrobisk korytarzowych w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny*, wyd. 2 poprawione, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
- [18] Rułka K. et al.: *Uprozczone zasady doboru obudowy odrzwiowej wyrobisk korytarzowych w zakładach wydobywających węgiel kamienny*, Główny Instytut Górnictwa, Seria Instrukcje, nr 15, Katowice 2001.
- [19] Materiały własne KWK Piast-Ziemowit.
- [20] Norma PN-G-15026:2017-04: *Obudowa wyrobisk górniczych – strzemiona oraz złącza odrzwi z kształtowników korytkowych. Badania wytrzymałościowe*.

mgr inż. RAJMUND HORST
mgr inż. MAREK MODRZIK
mgr inż. PAWEŁ FICEK
PGG KWK Piast-Ziemowit
ul. Granitowa 16, 43-155 Bieruń
{r.horst, m.modrzik, p.ficek}@pgg.pl

dr inż. MAREK ROTKEGEL
dr inż. ANDRZEJ PYTLIK
Główny Instytut Górnictwa
Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice
{mrotkegel, a.pytlik}@gig.eu