

Mirosław CHUDEK, Stanisław DUŻY, Grzegorz DYDUCH, Arkadiusz BĄCZEK

Politechnika Śląska, Gliwice

Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Zarządzania Ochroną Powierzchni

WPLYW WARUNKÓW ŚRODOWISKA NA STATECZNOŚĆ STALOWEJ ODRZWIOWEJ OBUDOWY PODATNEJ

Streszczenie. W artykule scharakteryzowano i omówiono rodzaje procesów korozyjnych tworzyw metalowych pod kątem korozji stalowej odrzwiowej obudowy podatnej. Na podstawie opracowanej metodologii badań w warunkach *in situ*, na przykładzie wyników prowadzonych pomiarów określono wpływ korozji na kształtowanie się parametrów geometrycznych i statycznych elementów obudowy odrzwiowej. Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie spadku nośności skorodowanej obudowy wyrobiska w stosunku do jej wielkości nominalnej, co daje możliwość doboru odpowiedniego rodzaju zabezpieczenia (wzmocnienia) obudowy, adekwatnego do jej aktualnego stanu technicznego.

ENVIRONMENTAL IMPACT ON THE STABILITY OF A STEEL FLEXIBLE FRAME TIMBERING

Summary. The article characterizes and describes kinds of corrosion processes of metal materials in the light of the corrosion of a steel flexible frame timbering. On the basis of a prepared method statement of *in situ* tests based on results of measurements taken, the impact of corrosion on the geometric and static parameters of the frame timbering elements was defined. The achieved results allowed to define the decrease in the load capacity of corroded frame timbering of a dog heading as compared to its nominal capacity, which allows to choose a proper kind of protection (strengthening) of the frame timbering which would be adequately adjusted to its current technical condition.

1. Wstęp

Zagadnienie nośności obudowy stalowej, pracującej w warunkach niekorzystnego oddziaływania agresywnego środowiska kopalnianego, ma szczególne znaczenie dla stateczności wyrobisk korytarzowych. Wynikiem oddziaływania środowiska agresywnego na konstrukcje stalowe jest postępująca korozja materiału, która w ekstremalnych przypadkach

może prowadzić do utraty stateczności i zniszczenia obudowy wyrobiska [1, 12]. Sytuacja taka stwarza poważne zagrożenie nie tylko dla bezpieczeństwa pracy załogi, ale również dla zachowania ciągłości przebiegu procesu wydobywczego kopalni. Znajomość przebiegu korozji oraz opracowanie i wdrożenie odpowiednich metod monitoringu stanu technicznego poszczególnych elementów stalowej obudowy odrzwiowej pozwala na odpowiednio wczesne wykrywanie i eliminowanie potencjalnych zagrożeń mogących spowodować jej zniszczenie, a związanych z postępującym procesem korozyjnym obudowy.

2. Rodzaje procesów korozyjnych

Zgodnie z PN-EN ISO 8044, korozję metali definiuje się jako „oddziaływanie fizykochemiczne między metalami i środowiskiem, w wyniku którego powstają zmiany we właściwościach metalu, które mogą prowadzić do znaczącego pogorszenia funkcji metalu, środowiska lub układu technicznego, którego są częściami” [10]. Z punktu widzenia stateczności korytarzowych wyrobisk górniczych wykonanych w stalowej obudowie odrzwiowej, postępujące zmiany we właściwościach metalu prowadzą do znaczącego pogorszenia jego funkcji, co w istotny sposób wpływa na parametry odrzwi stalowych, będących głównymi elementami układu technicznego obudowy decydującymi o jej stateczności.

Z uwagi na różnorodność i złożoność przebiegu procesów korozyjnych istnieje kilka klasyfikacji bazujących na różnych założeniach [9, 10]. Ze względu na mechanizm powstawania korozję można podzielić na: chemiczną, elektrochemiczną, mikrobiologiczną, bakteriologiczną, galwaniczną oraz wywołaną prądami zewnętrznymi i błędzącymi. Z uwagi na rodzaj środowiska w jakim zachodzą procesy korozyjne rozróżnia się korozję gazową, atmosferyczną, ziemną oraz korozję w cieczach (elektrolitach i nieelektrolitach). Z kolei według charakteru i umiejscowienia zniszczeń wyróżnić można korozję ogólną (równomierną lub nierównomierną), lokalną, wżerową, szczelinową, podosadową, na linii wodnej, międzykrystaliczną, spoinową, nożową czy warstwową. W przypadku jednoczesnego oddziaływaniem zarówno czynników korozyjnych, jak i mechanizmów sprzyjających jej rozwojowi, korozję można podzielić na: erozyjną, kawitacyjną, frettingową, cierną, zmęczeniową oraz naprężeniową.

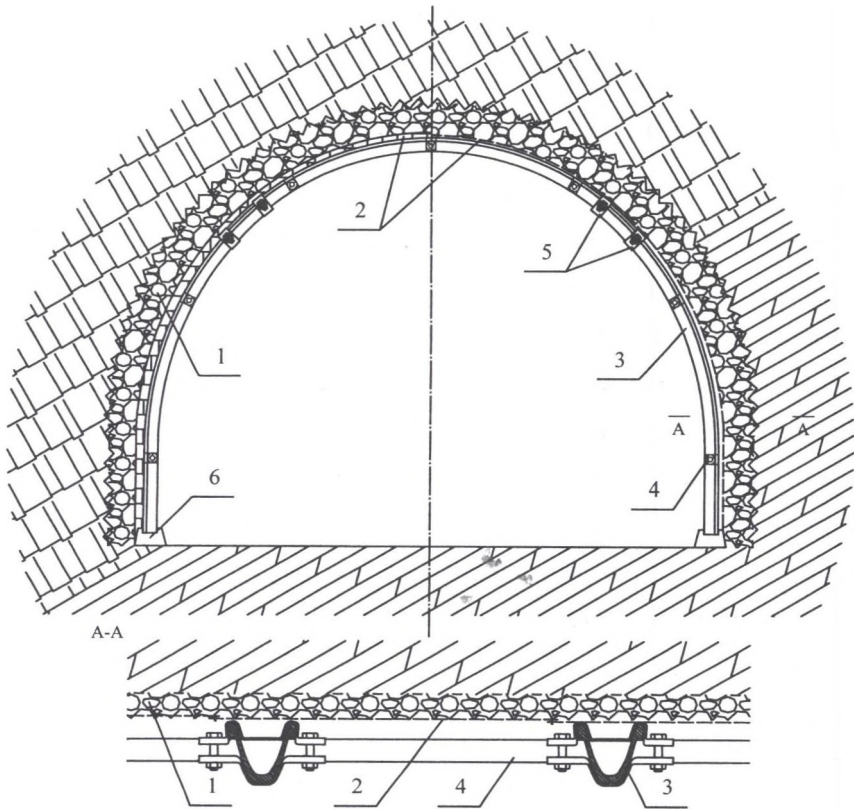
W górnictwie węglowym występują niemal wszystkie z wymienionych wyżej rodzajów korozji, przy czym w odniesieniu do obudowy wyrobisk górniczych przedział ten ulega znacznemu zawężeniu z uwagi na potencjalną dostępność czynników korozyjnych oraz charakter pracy tego typu konstrukcji. Najczęściej obserwowany przebieg procesu korozyjnego obudowy wyrobisk korytarzowych można opisać jako korozję elektrochemiczną przebiegającą w środowisku ciekłym (najczęściej w obecności wód kopalnianych) lub atmosferycznym o charakterze ogólnym, szczelinowym lub wżerowym stymulowaną lokalnie koncentracją naprężeń w elementach konstrukcyjnych.

3. Rodzaje korozji obudowy wyrobisk korytarzowych

Zgodnie z definicją obudowa odrzwiowa jest to „obudowa górnicza złożona z odrzwi rozstawionych w określonych odstępach od siebie oraz elementów współpracujących z tymi odrzwiami” [6]. Do podstawowych elementów wchodzących w skład obudowy należą [11]: odrzwia podatne otwarte lub zamknięte, strzemiona, rozpory, stopy podporowe, opinka oraz wykładka (rys. 1). Korozji w największym stopniu ulegają elementy stalowe, takie jak: odrzwia wykonane z kształtowników korytkowych, strzemiona, rozpory oraz siatki okładzinowe. Pozostałe elementy wchodzące w skład obudowy wyrobisk korytarzowych, takie jak: okładziny żelbetowe czy betonity fundamentowe, jako elementy prefabrykowane wykazują stosunkowo niewielki stopień skorodowania w porównaniu z elementami stalowymi, mimo iż pracują w takich samych warunkach środowiskowych [2, 3, 4].

Ze względu na mechanizm powstawania najczęściej występującym rodzajem korozji stalowych elementów obudów odrzwiowych jest korozja elektrochemiczna, spowodowana działaniem krótkozwartych ogniw na styku metalu z elektrolitem. Ogniwa te tworzą się w wyniku niejednorodności chemicznej, fizycznej lub mechanicznej metalu, np. na styku różnych metali, wskutek niejednorodności krystalicznej w strukturze metalu lub w wyniku koncentracji naprężeń wewnętrznych lub eksploatacyjnych w elementach. Może ona przebiegać zarówno w środowisku atmosferycznym, jak i ciekłym. W przypadku istnienia w wyrobisku trakcji elektrycznej obudowa górnicza może być również narażona na działanie prądów błądzących, a więc takich prądów zewnętrznych, które płyną innymi drogami niż dla niej przewidziane [10].

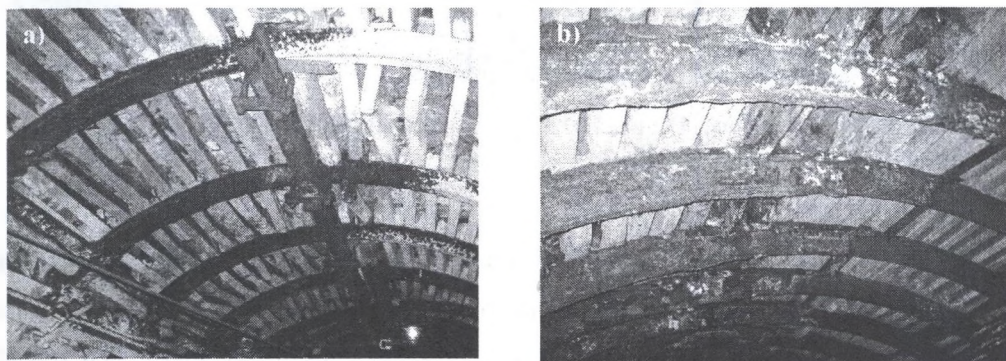
Najbardziej rozpowszechniona jest korozja atmosferyczna, związana z wykraplaniem się zawartej w powietrzu pary wodnej na powierzchni metalu (rys. 2a). W przypadku stałego i ciągłego kontaktu elementów stalowych z wodami kopalnianymi ma miejsce korozja w środowisku ciekłym. W obydwu przypadkach warunkiem koniecznym do inicjacji procesu korozyjnego jest możliwość przewodzenia przez ciecz stykającą się z metalem prądu elektrycznego (tzw. elektrolit) oraz istnienie różnicy potencjałów pomiędzy różnymi obszarami na powierzchni metalu.



Rys. 1. Elementy obudowy odrzwiowej: 1 – wykładka, 2 – okładziny (stalowe lub żelbetowe), 3 – odrzwia z kształtowników górniczych, 4 – rozpóra, 5 – strzemiona, 6 – stopa podporowa
 Fig. 1. Frame timbering elements: 1 – cladding, 2 – laggings, 3 – steel arching, 4 – stretcher bar, 5 – stirrups, 6 – support foot

Czynnikami wpływającymi na szybkość przebiegu korozji atmosferycznej elementów obudowy stalowej są przede wszystkim: wilgotność, temperatura oraz prędkość przepływu powietrza. Na wielkość korozji istotny wpływ wywiera również czas istnienia oraz funkcja, jaką spełnia dane wyrobisko w ciągu technologicznym kopalni. Pewną intensyfikację procesu

korozyjnego można zauważyć w wyrobiskach taśmowej odstawy urobku czy w wyrobiskach odprowadzających zużyte powietrze do szybu wydechowego [2, 3, 4]. Jest to związane w pierwszym przypadku z gromadzeniem się pyłu węglowego na odrzwiach obudowy, który wykazuje własności higroskopijne, a w drugim z oddziaływaniem zużytego, zanieczyszczonego i ogrzanego powietrza na konstrukcje stalowe, co sprzyja postępowi korozji materiału.

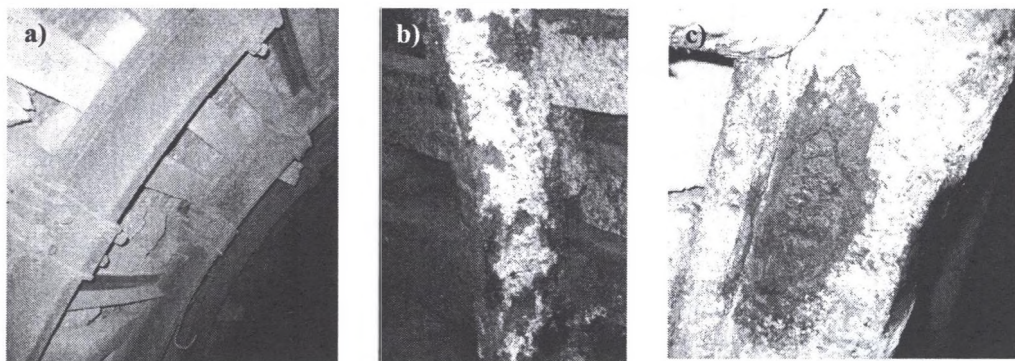


Rys. 2. Przykłady korozji obudowy wyrobisk korytarzowych: a) korozja atmosferyczna, b) korozja spowodowana wpływami wody z górotworu (widoczna bardzo silna korozja lewych części stropnic i łuków ociosowych w miejscu wypływu wody, natomiast prawa część stropnic i łuków ociosowych pozostała w stanie nienaruszonym)

Fig. 2. Examples of dog headings timbering corrosion: a) atmospheric corrosion, b) aqueous corrosion

Do głównych czynników wpływających na przebieg korozji w środowisku ciekłym można zaliczyć: agresywność kwasową (pH) wody, rodzaj jonów (kationów i anionów) w elektrolicie, temperaturę i szybkość przepływu wody, zawartość tlenu oraz rodzaj i stężenie soli w elektrolicie [9]. W przypadku obecności w środowisku silnie agresywnej wody kopalnianej (a więc zawierającej najbardziej niekorzystne zestawienie wyżej wymienionych czynników), korozja elementów obudowy postępuje w sposób niezwykle szybki (rys. 2b).

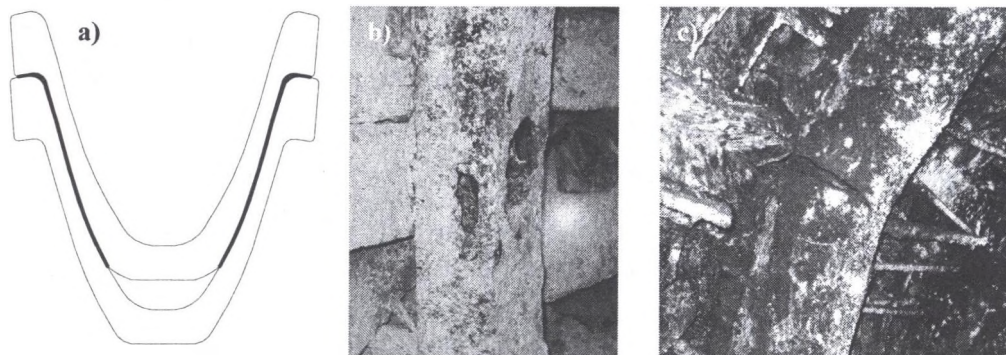
Z punktu widzenia charakteru i umiejscowienia zniszczeń spowodowanych postępującym procesem korozyjnym najczęściej obserwuje się korozję ogólną (rys. 3). Zachodzi ona na całej powierzchni metalu i może występować w dwóch odmianach: równomiernej (jednakowa wielkość ubytku korozyjnego na całej powierzchni) lub nierównomiernej (zmienna wielkość ubytku korozyjnego w różnych miejscach powierzchni). Korozja ogólna dotyczy zazwyczaj wszystkich elementów składowych stalowych obudów odrzwiowych.



Rys. 3. Przykłady korozji obudowy wyrobisk korytarzowych: a) korozja ogólna równomierna, b, c) korozja ogólna nierównomierna

Fig. 3. Examples of dog headings timbering corrosion: a) general uniform corrosion, b, c) general ununiform corrosion.

W przypadku korozji szczelinowej miejscami najbardziej narażonymi na jej występowanie są szczeliny między łukami łączonymi na zakładkę (rys. 4a), między łukiem a strzemieniem oraz między łukiem a obejmą w przypadku niektórych konstrukcji rozpór stalowych. Efektem działania korozji tego typu (szczególnie w rejonie złączy) może być zmiana charakterystyki pracy odrzwi podatnych, prowadząca w efekcie do całkowitego ich usztywnienia [5, 12].



Rys. 4. Przykłady korozji obudowy wyrobisk korytarzowych: a) korozja szczelinowa, b) korozja wżerowa, c) korozja naprężeniowa

Fig. 4. Examples of dog headings timbering corrosion: a) crevice corrosion, b) pitting corrosion c) stress corrosion

Korozja wżerowa powoduje lokalne ubytki metalu w postaci wgłębień postępujących od powierzchni w głąb materiału. Efektem jej długotrwałego działania mogą być perforacje poszczególnych elementów konstrukcyjnych, niosące ze sobą poważne zagrożenie dla stateczności obudowy wyrobiska (rys. 4b).

W miejscach koncentracji naprężeń w elementach obudowy (szczególnie rozciągających) i w obecności czynnika korozyjnego może dochodzić do korozji naprężeniowej. Charakteryzuje się ona umiejscowionym atakiem i objawia pęknięciem lub kruchym złamaniem elementu (rys. 4c) [9]. Poza obecnością środowiska powodującego korozję i koncentracją naprężeń rozciągających warunkiem koniecznym do jej wystąpienia jest materiał skłonny do tego rodzaju korozji (np. stal) oraz działanie wyżej wymienionych czynników w odpowiednio długim przedziale czasowym.

Spośród wymienionych rodzajów korozji najmniej niebezpieczna jest korozja ogólna, przebiegająca w sposób równomierny. Przy niewielkich prędkościach jej postępu widoczny wpływ ubytku korozyjnego na nośność obudowy ujawnia się dopiero po kilkunastu latach użytkowania. Szczególnie niebezpieczne są natomiast korozje wżerowa i naprężeniowa, atakujące profile korytkowe, gdyż wytrzymałość całej konstrukcji zależy w głównej mierze od wytrzymałości jej najmniejszego przekroju.

4. Metody oceny stopnia skorodowania elementów odrzwiowej obudowy stalowej podatnej

Określenie stopnia skorodowania poszczególnych elementów odrzwiowej obudowy stalowej podatnej jest stosunkowo proste w wykonaniu, zarówno w warunkach dołowych, jak i powierzchniowych. W niezabudowanych elementach łatwo można uzyskać dostęp do badanych powierzchni w celu ich oczyszczenia i wykonania bezpośredniego pomiaru grubości. Problemy ujawniają się w przypadku odrzwi zmontowanych w warunkach dołowych, gdzie zazwyczaj brak jest dostępu np. do wewnętrznych powierzchni kształtownika. Niemożność dokładnego oczyszczenia badanych powierzchni, która jest warunkiem poprawnego pomiaru, praktycznie go uniemożliwia, utrudnia również dokładną ocenę makroskopową.

W pomiarach tych stosuje się dwie główne grupy metod: metody bezpośrednie i metody pośrednie.

Bezpośrednie pomiary stopnia skorodowania elementów obudowy polegają na określeniu ich grubości. Pomiar wykonuje się za pomocą typowych przyrządów pomiarowych (lub adoptowanych), takich jak: mikrometr i suwmiarka [5, 12]. Badania te wymagają dostępu do obudwy badanych powierzchni zarówno w celu wykonania pomiaru, jak i wcześniejszego

dokładnego oczyszczenia tych powierzchni z produktów korozji, co jest szczególnie trudne w przypadku profili korytkowych. Metodą bezpośrednią, pozwalającą na szacunkową ocenę stopnia skorodowania, jest również pomiar za pomocą wielu szablonów odpowiadających danym typom kształtownika.

Pośrednie metody pomiaru grubości ścianek elementów obudowy eliminują niedogodności metod bezpośrednich. Należą do nich: metoda ultradźwiękowa i metoda radiologiczna. W metodzie ultradźwiękowej, polegającej na pomiarze czasu przejścia podłużnej fali ultradźwiękowej przez badany element, wymagany jest jednostronny dostęp do badanego obiektu. Powierzchnia elementu musi być gładka, całkowicie pozbawiona produktów korozji i dokładnie oczyszczona. Jako środek sprzągający stosuje się najczęściej smar techniczny. Metoda radiologiczna natomiast nie wymaga oczyszczania badanych powierzchni, lecz ze względu na szkodliwe promieniowanie i skalę przeprowadzanych badań nie jest powszechnie stosowana.

5. Badania obudowy w warunkach dołowych

Badania mają na celu ocenę stopnia skorodowania poszczególnych elementów obudowy w wytypowanych odcinkach wyrobisk korytarzowych przez ocenę makroskopową oraz pomiar grubości elementów odrzwi stalowych.

Makroskopowa ocena stanu technicznego odrzwi obudowy obejmuje zazwyczaj:

- wizualną ocenę stopnia skorodowania elementów odrzwi obudowy stalowej,
- wizualną ocenę stopnia skorodowania rozpór stalowych,
- wizualną ocenę stanu technicznego okładzin stalowych lub żelbetowych.

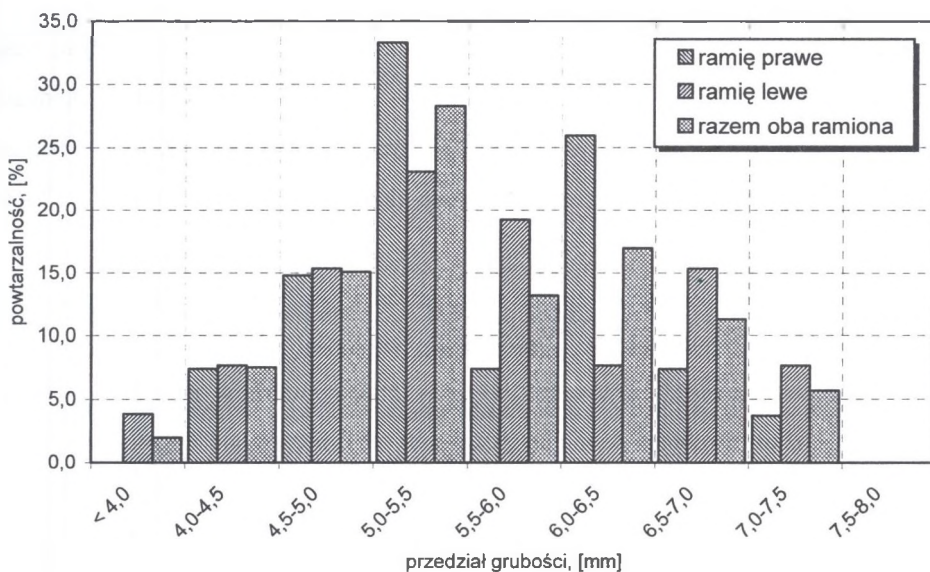
Badania wizualne pozwalają na przybliżone określenie rodzaju środowiska agresywnego oraz wychwycenie najbardziej niebezpiecznych rodzajów korozji, takich jak: korozja szczelinowa, wżerowa czy naprężeniowa. Uważne oględziny makroskopowe pozwalają również na określenie rodzaju korozji ogólnej.

Pomiary grubości ścianek kształtownika wykonuje się najczęściej za pomocą różnego typu grubościomierzy ultradźwiękowych z uwagi na prostotę obsługi, małą awaryjność, niewielkie wymiary i stosunkowo dużą dokładność otrzymywanych wyników. Pomiary wykonuje się na obydwu łukach ociosowych wybranych odrzwi obudowy w trzech miejscach,

na ustalonych horyzontach pomiarowych (np. w odległości ok. 0,5, 1,25 i 2,0 m licząc od spagu wyrobiska). Każdorazowo bada się grubość prawego ramienia, dna i lewego ramienia kształtownika.

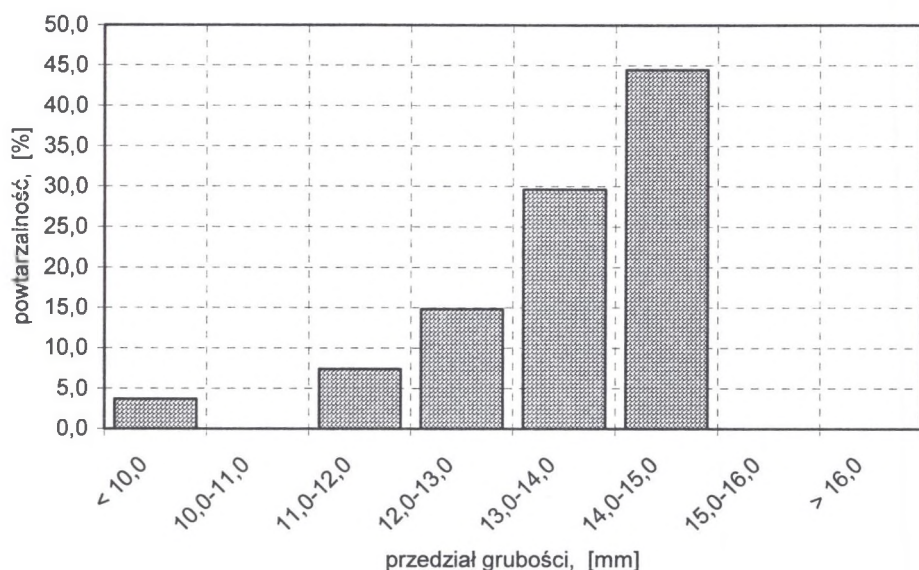
Tabela 1
Przykładowe statystyczne zestawienie wyników pomiarów dla badanego odcinka wyrobiska w obudowie ŁP-8/V25/A

	Wyniki pomiarów [mm]			Wielkość ubytku [mm]			Ramiona razem [mm]
	Ramię prawe	Dno	Ramię lewe	Ramię prawe	Dno	Ramię lewe	
Minimalna pomierzona wartość	4,4	8,6	3,9	0,1	0,1	0,0	3,9
Maksymalna pomierzona wartość	7,4	14,9	7,5	3,1	6,4	7,5	7,5
Wartość średnia	5,70	13,49	5,65	1,80	1,51	2,06	5,68
Odchylenie standardowe	0,78	1,39	0,97	0,78	1,39	1,44	0,87
Wartość dla poziomu ufności $p = 95\%$	4,4	11,2	4,1	–	–	–	4,3



Rys. 5. Przykładowy rozkład pomierzonych grubości ramion kształtownika dla badanego odcinka wyrobiska w obudowie ŁP-8/V25/A

Fig. 5. Example of distribution measurements of thickness arms shape for dog heading section in ŁP-8/V25/A frame timbering



Rys. 6. Przykładowy rozkład pomierzonych grubości dna kształtownika dla badanego odcinka wyrobiska w obudowie ŁP-8/V25/A

Fig. 6. Example of distribution measurements of thickness bottom shape for dog heading section in ŁP-8/V25/A frame timbering

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można dokonać analizy statystycznej wielkości i rozkładu korozji kształtownika obudowy ŁP w poszczególnych odcinkach analizowanych wyrobisk (tab 1). Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono przykładowe rozkłady pomierzonych grubości ścianek i dna kształtownika odrzwi obudowy uzyskane z badań dołowych.

Przedstawione wyniki pomiarów stopnia skorodowania profilu wykazują, że proces ten przebiega w sposób nierównomierny. Porównując wielkości ubytków poszczególnych elementów kształtownika można stwierdzić wyraźny brak symetrii w przebiegu procesu, korozyjnego, tzn. różnica grubości pomiędzy ściankami profilu waha się w granicach od 0,1 do 0,5 mm. Obserwuje się tu również prawidłowość wiążącą wielkość korozji z kierunkiem przepływu powietrza w wyrobisku. Zauważono, że większa korozja obejmuje ścianę kształtownika od strony nawietrznej.

6. Wpływ korozji na kształtowanie się podstawowych parametrów geometrycznych i statycznych elementów obudowy odrzwiowej

Obserwując proces korozji elementów obudowy górniczej, jednym z podstawowych problemów staje się określenie obniżenia nośności konstrukcji. Obniżenie nośności konstrukcji odrzwi spowodowane korozją wiązać można z [1, 5, 12]:

- zmniejszeniem wielkości przekroju poprzecznego elementów konstrukcyjnych obudowy ŁP,
- zmniejszeniem wielkości momentu bezwładności i wskaźnika zginania przekroju poprzecznego poszczególnych elementów konstrukcyjnych obudowy ŁP,
- zmianą kąta pomiędzy kierunkiem obciążenia i kierunkiem osi przekroju kształownika stosowanego do wykonania odrzwi obudowy ŁP,
- zmianą nośności zamka w wyniku zmiany parametrów geometrycznych i wytrzymałościowych jego elementów.

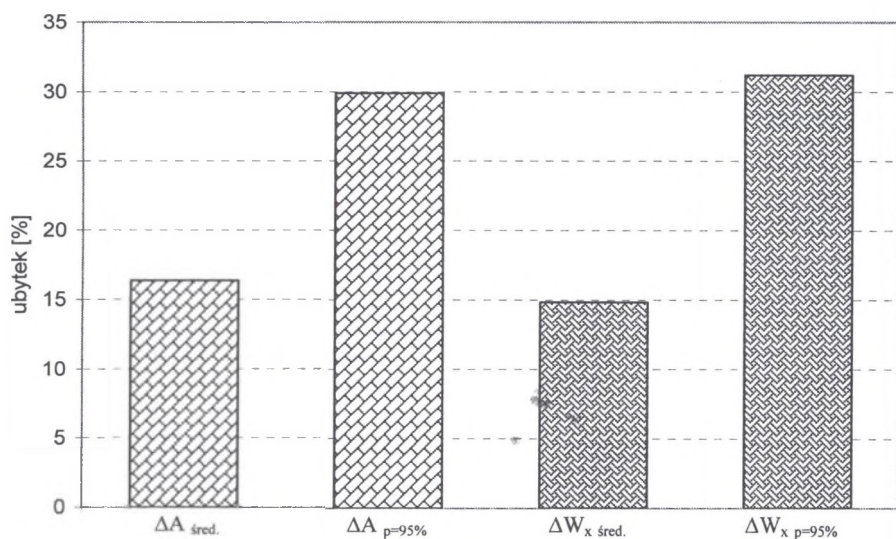
O nośności odrzwi obudowy decydują w głównej mierze podstawowe parametry geometryczne i wytrzymałościowe kształownika, z którego wykonane są poszczególne elementy odrzwi [7, 8]. Przyjmując, że większość metod wyznaczania nośności obudowy stalowej opiera się na założeniu mimośrodowego ściskania przekroju kształownika, analizą obejmuje się podstawowe parametry geometryczne i statyczne wykorzystywane w obliczeniach. Podobne parametry przyjmuje się dla pozostałych elementów konstrukcyjnych obudowy.

Obliczenia zmiany parametrów geometrycznych i statycznych poszczególnych elementów obudowy spowodowanej korozją prowadzi się przy przyjęciu następujących założeń:

- wielkość i charakter ubytku kształownika i pozostałych elementów obudowy przyjmuje się na podstawie wyników badań dołowych,
- przekroje poprzeczne kształowników, elementów siatek i rozpór są figurami płaskimi,
- obliczenia wielkości przekroju poprzecznego oraz wskaźnika zginania poszczególnych elementów obudowy zaleca się wykonać za pomocą odpowiedniego oprogramowania komputerowego, co znacznie podnosi dokładność obliczeń i eliminuje możliwość ewentualnych pomyłek.

Jeżeli pomocnicze elementy obudowy ŁP, takie jak rozpory czy okładziny nie są wykonane ze stali (np. rozpory drewniane i okładziny żelbetowe, które występują m.in. w omawianym przykładzie), to analizie poddaje się wyłącznie parametry geometryczne i wytrzymałościowe kształtownika.

Na rysunku 7 przedstawiono przykładowe kształtowanie się ubytku pola powierzchni przekroju poprzecznego (ΔA) i wskaźnika zginania (ΔW_x) kształtownika w badanym odcinku wyrobiska dla przyjętych do analizy wielkości statystycznych (tab. 1). Średni ubytek przekroju poprzecznego profilu ($\Delta A_{\text{śred.}}$) wyniósł ok. 16%, a wskaźnika zginania ($\Delta W_{x \text{ śred.}}$), ok. 15%. Z kolei dla poziomu ufności $p = 95\%$ wartość ubytku przekroju poprzecznego kształtownika ($\Delta A_{p=95\%}$) wyniosła ok. 30%, a wskaźnika zginania ($\Delta W_{x p=95\%}$) ok. 31%.



Rys. 7. Kształtowanie się ubytku pola powierzchni przekroju poprzecznego (ΔA) i wskaźnika zginania (ΔW_y) kształtownika w badanym odcinku wyrobiska dla przyjętych do analizy wielkości statystycznych (tab. 1)

Fig. 7. Forming of loss cross-section area (ΔA) and bending shape modulus (ΔW_y) in dog heading section for accepted to analysis statistical quantities (tab. 1)

Na podstawie analizy statystycznej parametrów geometrycznych i statycznych elementów obudowy można określić prawdopodobieństwo jej uszkodzenia związane z postępującym procesem korozyjnym.

7. Określenie spadku nośności skorodowanej obudowy wyrobiska na podstawie wyników badań dołowych

Nośność obudowy stalowej podatnej charakteryzuje się najczęściej jako maksymalne obciążenie, które może przenieść obudowa bez utraty stateczności. W odniesieniu do obudowy stalowej podatnej nośność obudowy określa się przy przyjęciu następujących założeń:

- nośność obudowy wyrażana jest jako graniczne obciążenie obudowy, które może przenieść obudowa bez utraty stateczności,
- nośność obudowy określana jest jako mniejsza wartość kryterium wytrzymałości profilu oraz kryterium nośności zamka,
- drzwi obudowy poddane są procesowi mimośrodowego ściskania,
- elementy, z których wykonana jest obudowa, odpowiadają wymaganiom poszczególnych norm,
- obudowa wykonana jest zgodnie z wymaganiami odpowiednich norm.

Nośność drzwi obudowy stalowej podatnej określono z zależności [6, 7, 8]:

$$P = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_d}{d \cdot \left[\frac{M_{\max}}{W_x} + \frac{N_0}{\varphi \cdot A} \right]} \cdot 1 \text{ m} \\ \frac{N_z}{d \cdot N} \cdot 1 \text{ m} \end{array} \right. , \quad (1)$$

gdzie:

P – nośność drzwi obudowy stalowej podatnej, MPa,

M_{\max} – wartość maksymalnego momentu zginającego na obwodzie drzwi obudowy dla obciążenia równego 1 kPa, MN·m,

N_0 – wartość siły osiowej w miejscu maksymalnego momentu zginającego na obwodzie drzwi obudowy dla obciążenia równego 1 kPa, MN,

W_x – wartość wskaźnika zginania przekroju kształownika drzwi, m³,

φ – wartość współczynnika wyboczenia wg PN-80/B-03200,

A – wartość przekroju poprzecznego kształownika drzwi obudowy, m²,

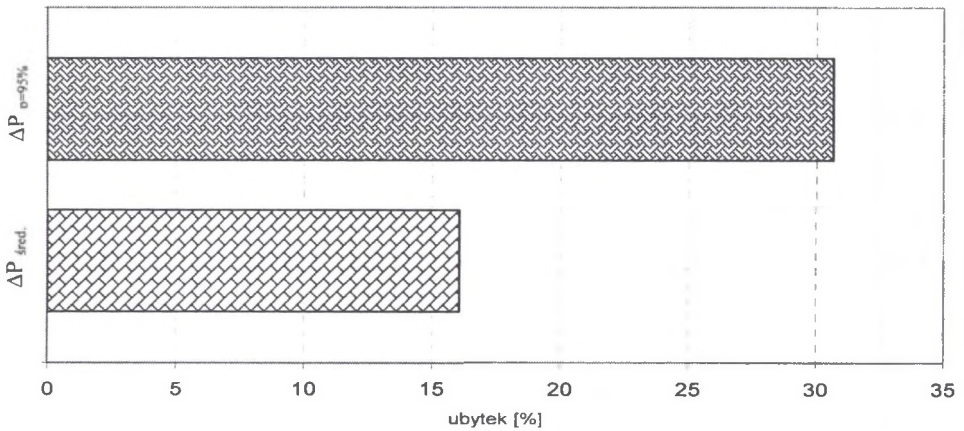
N_z – wartość nośności zsuwnej drzwi obudowy ŁP, MN,

N – wartość siły osiowej w miejscu zamka dla obciążenia równego 1 kPa, MN,

f_d – wytrzymałość obliczeniowa na ściskanie i rozciąganie stali, MPa,

d – odległość między odrzwiami obudowy ŁP, m.

Na podstawie uzyskanych wartości parametrów geometrycznych i statycznych kształtownika, otrzymanych z wyników badań dołowych, można obliczyć spadek nośności odrzwi obudowy spowodowany korozją profilu. Dla analizowanego przykładu średni spadek nośności odrzwi obudowy ($\Delta P_{\text{śred.}}$) w stosunku do wartości nominalnej wynosi ok. 16%, natomiast maksymalny spadek nośności obudowy dla badanego odcinka wyrobiska ($\Delta P_{p=95\%}$) nie powinien przekroczyć 31% z prawdopodobieństwem na poziomie 95% (rys. 8).



Rys. 8. Kształtowanie się ubytku nośności odrzwi obudowy ŁP w badanym odcinku wyrobiska dla przyjętych do analizy statystycznych wielkości parametrów geometrycznych i statycznych kształtownika

Fig. 8. Forming of loss bearing capacity of the ŁP frame timbering in dog heading section for accepted to analysis statistical quantities of geometrical and statical shape parameters

Analiza uzyskanych wyników obliczeń pozwala na dobór odpowiedniego rodzaju zabezpieczenia (wzmocnienia) obudowy, adekwatnego do jej aktualnego stanu technicznego, przy uwzględnieniu warunków górniczo-geologicznych w otoczeniu wyrobiska i wynikającej z nich wielkości obciążenia, jakie będzie oddziaływać na obudowę w trakcie dalszego użytkowania.

8. Podsumowanie

Najczęściej stosowaną obudową wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego jest obudowa stalowa typu ŁP. Do podstawowych jej zalet można zaliczyć [8]:

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

Oddziaływanie środowiska agresywnego na konstrukcje stalowe powoduje jednak spadek nośności odrzwi na skutek postępującej korozji kształtownika. Dzięki znajomości i właściwej identyfikacji procesów korozyjnych można w stosunkowo prosty sposób określić stopień zagrożenia utratą stateczności obudowy, co pozwala na podjęcie odpowiednich działań zaradczych w postaci zabezpieczenia (wzmocnienia) zagrożonych odcinków wyrobiska. Zabezpieczenie to musi być adekwatne do aktualnego stanu technicznego obudowy, przy uwzględnieniu warunków górniczo-geologicznych w otoczeniu wyrobiska i wynikającej z nich wielkości obciążenia, jakie będzie oddziaływać na nią w trakcie dalszego użytkowania. Głównym problemem staje się w tym przypadku określenie nośności obudowy skorodowanej. Dzięki zastosowaniu odpowiedniej metodologii pomiarowej określa się wielkość ubytku powierzchni profilu, na podstawie którego można odwzorować geometrię kształtownika skorodowanego. Transponując otrzymaną geometrię do modelu numerycznego, uzyskuje się podstawowe parametry geometryczne i statyczne profilu skorodowanego. Pozwala to na określenie aktualnej nośności obudowy i dobór odpowiedniego rodzaju jej zabezpieczenia, co w bezpośredni sposób przekłada się na poprawę bezpieczeństwa pracy załogi i zachowanie ciągłości przebiegu procesu wydobywczego kopalni.

BIBLIOGRAFIA

1. Bocheński W., Paczeński K., Rułka K., Sawka B.: Zabezpieczanie stalowych obudów odrzwiowych przed korozyjnym działaniem środowiska kopalnianego. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 1993.
2. Chudek M. i in.: Ocena stateczności przekopu Feliks 2 w obudowie ŁP z uwzględnieniem czasu użytkowania (istnienia), stanu korozji obudowy w świetle badań

- in situ wraz z opracowaniem sposobu ich zabezpieczenia w aspekcie ochrony środowiska górniczego w warunkach górniczo-geologicznych KWK „Kazimierz – Juliusz”. Katowice 2007 (praca niepublikowana).
3. Chudek M. i in.: Ocena stateczności przekopu południowego do szybu „Kazimierz I”, przekopu do szybu „Kazimierz V” i przekopu M-3 w obudowie ŁP z uwzględnieniem czasu użytkowania (istnienia), stanu korozji obudowy w świetle badań in situ wraz z opracowaniem sposobu ich zabezpieczenia w aspekcie ochrony środowiska górniczego w warunkach górniczo-geologicznych KWK „Kazimierz – Juliusz”. Katowice 2007 (praca niepublikowana).
 4. Chudek M. i in.: Optymalizacja stateczności (podporność obudowy) wyrobisk korytarzowych, wykonywanych i utrzymywanych w obudowie podatnej odrzwiowej stalowej z powłoką torkretową przy zmiennych odległościach jej odrzwi w warunkach górniczo-geologicznych KWK „Wieczorek” w zakresie współpracy tej obudowy z górotworem w aspekcie ochrony środowiska górniczego i efektów ekonomicznych. Katowice 2005 (praca niepublikowana).
 5. Chudek M., Duży S., Dyduch G.: Wpływ korozji na nośność stalowych odrzwi podatnych. Kwartalnik Naukowo-Techniczny „Budownictwo górnicze i tunelowe”, nr 3/2005.
 6. Chudek M., Duży S., Kleta H., Kłeczek Z., Stoiński K., Zorychta A.: Zasady doboru i projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Wydawca Katedry Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni. Gliwice – Kraków – Katowice 2000.
 7. Chudek M., Duży S., Kleta H.: Praktyczne aspekty projektowania stalowej obudowy łukowej podatnej. Budownictwo Górnicze i Tunelowe, nr 4, 1999, nr 4, s. 15-22.
 8. Chudek M.: Obudowa wyrobisk górniczych. Część 1 – Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1986.
 9. Graffstein-Malkiewicz E., Leśniewski K.: Korozja w górnictwie węglowym. Wydawnictwo „Śląsk”, Katowice 1971.
 10. PN-EN ISO 8044 Korozja metali i stopów. Podstawowe terminy i definicje.
 11. PN-G-06011:1990 Wyrobiska korytarzowe poziome i pochyle w kopalniach. Wyrobiska obudowane odrzwiami z kształtowników korytkowych. Wymagania i badania przy odbiorze.

12. Rotkegel M., Kowalski E.: Wpływ stopnia skorodowania elementów odrzwi na nośność obudowy. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa, s. Konferencje, nr 46, Katowice 2003.

Recenzent: Prof. dr hab.inż. Andrzej ZORYCHTA

Abstract

The most commonly used kind of lining in coal mines is a steel one of ŁP type. Its basic advantages are as follows:

- comparatively load bearing capacity at the required susceptibility
- its construction is easy, quick and not very time consuming
- it is possible to adjust easily the shape of lining to the existing conditions and the shape of a mine working.

However, impact of the aggressive environment on steel constructions results in the decrease of load capacity of the set due to progressing corrosion of a section. Thanks to the knowledge of and a proper identification of corrosion processes it is quite easy to define the extent of the hazard of a lining stability loss, which allows to take adequate preventive measures in a form of protection (strengthening) of a mine working sections in danger. Such a protection has to be properly adjusted to the present technical condition of the set, taking into account mining-geological conditions in the mine working environment and the resulting load capacity which will occur during further mining exploitation. In this case a main problem is to define the load capacity of a corroded lining. Thanks to the application of a proper measurement method it is possible to define the size of a loss of the profile area, on the basis of which it is possible to measure the geometry of a corroded section. When we transfer the obtained geometry to the numerical model, basic geometrical and static parameters of the corroded profile are obtained. This allows to define the current load capacity of the lining and chose a proper kind of its protection, which directly improves work safety and allows to keep the continuity of the mining process in a coal-mine.