

Daniel Wałach, Jan Witosiński**

KOROZJA OBUDOWY SZYBÓW GÓRNICZYCH W ŚWIELE BADAŃ NISZCZĄCYCH I NIENISZCZĄCYCH SZYBU „ANTONI” KWK „MARCEL”**

1. Wprowadzenie

W kopalniach węgla kamiennego w Polsce szyby górnicze pełnią jedną z głównych funkcji w procesie technologicznym wydobywania kopaliny na powierzchnię. Szybami bowiem odbywa się wyciąganie urobku z wyrobisk podziemnych, zjazd i wyjazd załogi, opuszczanie materiałów itp. Z tego też względu stawiane są wysokie wymagania dotyczące stanu technicznego urządzeń wyciągowych oraz obudowy szybów. Polska Norma PN-G-04211 [3] nakazuje dokonywanie przeglądów stanu obudowy szybów oraz oceny ich stateczności w odstępach czasowych nie większych niż 5 lat. Z tego też względu w roku 2006 autorzy tego artykułu przeprowadzili badania, których celem było określenie rzeczywistych parametrów wytrzymałościowych i defektoskopii obudowy szybu „Antoni” KWK „Marcel” na podstawie wyników badań przeprowadzonych metodami nieniszczącymi i laboratoryjnymi oraz oceny jej aktualnej nośności. Na podstawie szczegółowej analizy makroskopowej stanu powierzchni obmurza określono zasięg i wielkość występujących uszkodzeń. Wykonano również ocenę parametrów wytrzymałościowych materiału i stanu konstrukcji obudowy wykonując badania laboratoryjne pobranych próbek rdzeniowych.

Badania stanu murowej obudowy szybu wykonano na podstawie wymogów normy PN-G-04210 [2]. Przeprowadzono oględziny zewnętrzne, określono szczelność obudowy oraz wytrzymałość na ściskanie muru z betonitów metodą ultradźwiękową i na podstawie pobranych z obudowy fragmentów muru. Dla oceny parametrów lokalnych nieciągłości, zwłaszcza na połączeniach odcinków, głównie dla określenia ich głębokości i zasięgu osłabień, stosowano technikę defektoskopii ultradźwiękowej.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

** Artykuł powstał w ramach pracy statutowej nr 11.11.100.588

Na podstawie przeprowadzonych badań przeanalizowano celowość i zakres ewentualnego zabezpieczenia lub wzmocnienia obudowy. Zakres badań obejmował całą długość szybu ze szczególnym uwzględnieniem miejsc, gdzie występują największe uszkodzenia korozyjne.

2. Charakterystyka i dane techniczne szybu „Antoni”

Szyb „Antoni” zlokalizowany jest w centralnej części kopalni, pełniąc funkcję szybu wdechowego z przeznaczeniem do jazdy ludzi i transportu materiału. Szyb posiada przekrój kołowy o średnicy 5,5 m i wykonany jest na całej długości z betonitów szybowych BSz o grubości ok. 40,0 cm na zaprawie cementowej. Dno szybu znajduje się na rzędnej – 724,59 m a głębokość całkowita wynosi 1011,28 m.

Szyb „Antoni” jest szybem dwuklatkowym materiałowo-zjazdowym. Każda klatka posiada 4 piętra. Szyb uzbrojony jest w prowadniki o wymiarach 160 × 180 × 6000 mm przytwierdzone do dźwigarów wykonanych z ceowników NP-300, mocowanych w odstępach co 3,0 m. Na całej długości czynny jest przedział drabinowy po stronie północnej.

3. Warunki hydrogeologiczne w rejonie szybu „Antoni”

Szyb „Antoni” zglębiony został na terenie zabudowanym o wyrównanej powierzchni nasypowej (ok. 6,5 m nasypu żuźlowo-kamiennego). W jego podłożu występują czwartorzędowe utwory piaszczysto-gliniaste, poniżej zalegają plastyczne ility trzeciorzędowe oraz piaskowce karbońskie z pokładami węgla.

W czasie glębienia szybu nie stwierdzono dopływu wody, a jedynie warstwy piaszczyste wykazywały nieznaczny stopień zawilgocenia. W czasie dotychczasowej pracy szybu również nie stwierdzono przecieków wody do szybu o pojedynczym wydatku $Q > 1$ l/min. Łączny dopływ wody do szybu utrzymuje się w ilości $Q \leq 15$ l/min (zmierzony w roku 1980 i według danych kopalni nie uległ zmianie).

W najbliższym sąsiedztwie szybu w podziemowych zrobach pokładu 630 występuje zbiornik wody, który jest jednak stale odwadniany otworem wiertniczym, przez który woda ze zrobów jest odprowadzana na poziom 800 m. Wody dołowe doprowadzone do chodników wodnych wykazują silną węglanową i słabą siarczanową agresywność korozyjną w stosunku do betonu. Jedynie wody na poziomie 400 m oraz w części północnej na poziomie 600 m nie wykazują agresywności względem betonu. Według dokumentacji podstawowej kopalni wody złożowe nie stanowią zagrożenia dla kopalni, natomiast według własnych ustaleń w dolnych partiach obudowy szybu mogą lokalnie stanowić zagrożenie dla stabilności mocowania wsporników dźwigarów oraz innego wyposażenia tarczy szybu. Wody dołowe i ich mineralizacja mogą lokalnie być przyczyną intensywniejszych procesów korozyjnych głównie w dolnej części szybu, tj. pomiędzy poziomami 600 m i 800 m.

4. Wyniki badań laboratoryjnych

Do badań wytrzymałościowych materiału obudowy pobrano na głębokości ok. 20÷25 cm próbki rdzeniowe z obmurza. Przyjęta głębokość wiercenia miała na celu pobranie próbek z wnętrza konstrukcji obudowy. Z obudowy szybu pobrano 4 rdzenie, z których wycięto 7 próbek poddanych następnie badaniom wytrzymałościowym w prasie hydraulicznej. Z rdzeni wycięto piłą diamentową próbki o smukłości $s = 1$. Liczba uzyskanych próbek zależna była od stanu pobranych rdzeni. Próbki miały średnicę ok. 50,0 mm. Podczas badań stosowano zakres obciążeń 0÷200 kN oraz normową prędkość przyrostu obciążenia.

Przy obliczaniu wytrzymałości wartości uzyskane z badań korygowano współczynnikami przeliczeniowymi efektu kształtu oraz efektu wielkości. Obliczonym współczynnikiem korygowano wytrzymałość betonu zastosowanego do betonitów, odnosząc ją do wartości otrzymanych z badań na próbkach normowych. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Wyniki laboratoryjnych badań wytrzymałościowych próbek pobranych z obmurza

Lokalizacja				Rodzaj materiału	Wytrzymałość materiału, MPa
Numer próbki	Numer dźwigara	Strona szybu	Głębokość pobrania, cm		
1	68	północ	1÷6	betonit	37,48
2	68	północ	7÷12	betonit	47,37
3	123	południe	5÷10	betonit	52,47
4	123	północ	1÷6	cegła	16,39
5	123	północ	7÷12	cegła	28,58
6	213	północ	1÷6	betonit	38,88
7	213	północ	7÷12	betonit	54,82

Uzyskane wartości w sposób jednoznaczny określają jako wysokie parametry wytrzymałościowe betonu w betonitach, a w miejscach nieskorodowanych również parametry wytrzymałościowe zaprawy.

Dla betonitów zabudowanych na poziomie dźwigara nr 68 uzyskano wartości wytrzymałości 37,48 MPa dla próbki wykonanej z przypowierzchniowej części obmurza oraz 47,37 MPa dla próbki z wnętrza obudowy. Pierwszy wynik wskazuje na niewielkie osłabienie strefy powierzchniowej obmurza spowodowany przede wszystkim występowaniem wypływów wody na tym poziomie. Wnętrze obudowy pozostaje jednak bez uszkodzeń. Zasięg osłabienia jest niewielki i sięga 2÷5 cm.

Porównując uzyskane wartości wytrzymałości z wynikami badań z 1999 r. [1] (dźwigar nr 51 — $R_{nb} = 35,1$ MPa, dźwigar nr 78 — $R_{nb} = 43,0$ MPa) zauważamy brak zmiany wytrzymałości obudowy zarówno w strefie przypowierzchniowej, jak i rdzenia obudowy.

Z poziomu dźwigara nr 123 pobrano dwa rdzenie. Pierwszy wykonany został w obudowie betonitowej po stronie południowej, a drugi w częściowo wymurowanej obudowie z cegły (rys. 1). Dla próbki z betonu uzyskano wytrzymałość równą 52,48 MPa, przy czym jest to wartość odpowiadająca wewnętrznej części obudowy. Uzyskana wartość wytrzymałości wskazuje na bardzo dobrą jakość wnętrza obudowy.



Rys. 1. Fragment obudowy wykonanej z cegły na poziomie dźwigara nr 123

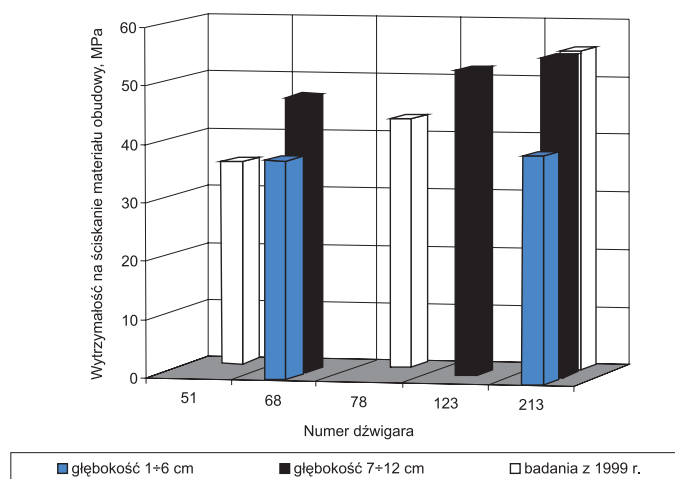
Próbki z cegły wykazywały znacznie niższą wytrzymałość, szczególnie próbka wykonana z przypowierzchniowej części obudowy — $R_m = 16,40$ MPa. Jest to efekt korozji powierzchniowej oraz występowania narostów solnych oraz lokalnych wycieków wody na tym poziomie. Wewnętrzna część obudowy wykonana z cegły nie wykazuje uszkodzeń, a uzyskana wytrzymałość 28,58 MPa wskazuje na cegłę dobrej jakości.

Materiał pobrany z poziomu dźwigara nr 213 (rys. 2) wykazywał właściwości zbliżone do parametrów uzyskanych w badaniach z 1999 r. [1]. Próbka pobrana z warstwy przypowierzchniowej uzyskała wytrzymałość równą 38,89 MPa (w poprzednich badaniach 40,3 MPa). Z kolei próbka pobrana z głębokości 7÷12 cm uzyskała wytrzymałość 54,82 MPa (w poprzednich badaniach 52,12 MPa). Widoczny jest brak postępu korozji powierzchniowej przy bardzo dobrym stanie rdzenia obudowy.

Zaznaczyć należy, że wskazane miejsca pobierania próbek rdzeniowych charakteryzowały się makroskopowo największymi uszkodzeniami — wycieki wody, złuszczenia powierzchni muru, wymycia zaprawy itp. Uzyskane wartości wytrzymałości wskazują jednoznacznie, że rdzeń obudowy znajduje się w bardzo dobrym stanie, a zasięg korozji i uszkodzeń powierzchniowych nie przekracza ok. 5 cm. Porównanie wyników badań wytrzymałości obudowy betonitowej szybu z wynikami badań z 1999 r. przedstawiono graficznie na rysunku 3.



Rys. 2. Stan obudowy na poziomie dźwigara nr 123



Rys. 3. Porównanie wytrzymałości obudowy betonitowej szybu „Antoni” KWK „Marcel”

5. Badania nieniszczące metodą ultradźwiękowo-sejsmoakustyczną

5.1. Opis metodyki badań i stosowanej aparatury pomiarowej

Badanie materiałów metodą ultradźwiękowo-sejsmoakustyczną polega na wykorzystaniu w znacznej części empirycznych związków pomiędzy parametrami propagacji impulsów fal sprężystych i parametrami fizyko mechanicznymi materiału oraz stanem badanej konstrukcji. Wykorzystuje się parametry propagacji w odniesieniu czasowym i częstotliwościowym w ultradźwiękowym oraz częściowo akustycznym paśmie częstotliwości.

W zrealizowanych badaniach zestaw ultradźwiękowy stanowił miernik typu *Materials Tester 543* produkcji Unipan, służący do badań skalujących (dokładność odczytu 0,1 μ s), czę-

stotliwość głowic 40 kHz. Pomiary zasadnicze wykonano w paśmie częstotliwości 6÷100 kHz zestawem sejsmoakustycznym opracowanym i zbudowanym w IPiBK AGH, przeznaczonym do pomiaru następujących parametrów:

- czasu przejścia czoła fali z odczytem (cyfrowym). Miernik posiada możliwość odczytu czasu propagacji dowolnego punktu na zobrazowanym przebiegu falowym z dokładnością $\pm 1 \mu\text{s}$. Wybór punktu na przebiegu jest dokonywany ręcznie, przesuwającym prostokątnym znacznikiem (zbocze opadające) o zmiennej szerokości;
- analizy widma amplitudowego w paśmie 6÷38 kHz, ze zmienną częstotliwością pasma filtra pasmowoprzepustowego;
- zmian energii odbieranych impulsów;
- odbioru w warunkach typowych impulsów odbitych, do pomiarów grubości próbki lub obudowy.

Zasada pomiaru polega na wysłaniu do badanego ośrodka krótkiego impulsu drgań sprężystych, tj. impulsu falowego, i odebraniu go przez odbiornik umieszczony w pewnej odległości. Transformacja drgań elektrycznych na mechaniczne i odwrotnie odbywa się w głowicach przez przetworniki piezoelektryczne, wykonane z soli Seignette'a (KNT) lub z ceramiki (PZT). Pomiar czasu przejścia impulsu różnych postaci fal odczytywany jest bezpośrednio na cyfrowym wskaźniku miernika. Odczytując czas przejścia poszczególnych typów fal przy określonej odległości nadajnik-odbiornik można obliczyć prędkość fali. Nadajnik i odbiornik są punktowo dociskane do powierzchni badanego ośrodka.

Pomiary, ze względu na jednostronny dostęp do konstrukcji, wykonano zgodnie z założeniami metodyki zalecanej przez RILEM i PN-EN 12504-4. Ponieważ obserwacja zjawisk związanych z uszkodzeniem powierzchni (korozja, przemrożenie) wymaga wykonania co najmniej kilku odczytów na bazach o różnej długości, zastosowano dwupunktowe głowice odbiorcze z przełączanymi odbiornikami i możliwością zmiany odległości pomiędzy nimi w zakresie 200÷350 mm.

Mierząc interwałowy czas i obliczając prędkość, określa się:

- średnią prędkość fazową fali 10^3 m/s

$$\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad (1)$$

- wariancja prędkości

$$S_c^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2 \quad (2)$$

- współczynnik zmienności prędkości fali podłużnej (%)

$$v_c = \frac{S_c}{\bar{C}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Przy określaniu wytrzymałości muru, po sprawdzeniu ciągłości materiału, przyjmowano związki w postaci (uwzględniając rozrzuty parametrów):

- wytrzymałości średniej na ściskanie materiału obudowy (cegły betonitowej)

$$R_c = \bar{C} \cdot \left[a\bar{C} \cdot (v_c^2 + 1) + b + \frac{c}{\bar{C}} \right] \quad (4)$$

gdzie a, b, c oznaczają współczynniki równania ze skalowania;

- odchylenie standardowe wytrzymałości materiału obudowy

$$S_R = \bar{C} v_c \cdot \sqrt{2a^2 \bar{C}^2 (v_c^2 + 2) + 4ab\bar{C} + b^2} \quad (5)$$

- współczynnik zmienności wytrzymałości materiału obudowy

$$v_R = \frac{S_R}{R_c} \cdot 100\% \quad (6)$$

Pomiary wykonano po obu stronach szybu w dwóch pionowych liniach pomiarowych, tj. po stronie wschodniej i zachodniej na całej długości szybu. W zależności od stanu obmurza głowice pomiarowe przy pomiarach w narożach przesuвано na boki w celu objęcia pomiarami określonej powierzchni obudowy. Pomiary odnoszono do poziomu poszczególnych dźwigarów, przyjmując dany poziom za kolejny element pomiarowy.

5.2. Wyniki badań nieniszczących

Na podstawie uzyskanych wyników badań w obudowie szybu można wydzielić strefy o zbliżonym stanie i parametrach, a także odcinki o zwiększonych uszkodzeniach. Strefy osłabienia występują przede wszystkim w miejscach wycieków wody, a ich zasięg jest stosunkowo niewielki. Dla każdej ze stref można przyjmować charakterystyczny stan oraz wartości parametrów wytrzymałościowych. Przykładowe wyniki badań obudowy przedstawiono w tabeli 2.

W przypadku obudowy betonitowej zauważyć można niewielką zmienność uzyskanych wyników wytrzymałości obudowy. W zasadzie na całym odcinku obudowy betonitowej nie stwierdzono większych defektów czy też spadku wytrzymałości, która waha się w granicach 5,8÷8,5 MPa. Tylko początkowy odcinek obudowy (dźwigary nr 1–6) wykazuje niższą wytrzymałość 3,2 MPa, co jest związane z dużym wpływem czynników atmosferycznym (dopływ wody opadowej, strefa przemarzania itp.).

Odnosząc obliczone wytrzymałości obudowy do wyników badań nieniszczących z roku 1999 [1], można stwierdzić, iż w analizowanym okresie nie nastąpił znaczący wzrost korozji obudowy. W 1999 r. średnia wartość wytrzymałości obudowy na poszczególnych odcinkach wahała się a granicach 6,0÷8,1 MPa.

TABELA 2

Wyniki badań nieniszczących na odcinku szybu między poziomem 400 a poziomem 600

Dźwigar numer	Głębokość od zębłu m	Wyniki pomiarów 10^3 m/s		Parametry i stan obudowy								Dane dla strefy
				Wytrzymałość betonitów			Wytrzymałość muru					
		Średnia C_{sr}	Wsp. zm. v_c	R_c MPa	S_R MPa	R_{cmin} MPa	Obliczeniowa średnia		Obliczeniowa minimalna			
							R_{nc} MPa	k_c MPa	R_{ncmin} MPa	k_{cmin} MPa		
Poziom 400												
132	396	4,178	0,035	26,265	1,579	23,68	14,4	7,2	13,0	6,5	VIII strefa $k_c > 6,5$ MPa	
135	405	4,206	0,022	26,609	1,007	24,96	14,6	7,3	13,7	6,8		
138	414	4,526	0,025	31,019	1,342	28,82	17,0	8,5	15,8	7,9		
141	423	4,579	0,008	31,764	0,440	31,04	17,4	8,7	17,0	8,5		
144	432	4,474	0,068	30,426	3,566	24,58	16,7	8,3	13,5	6,7		
150	450	4,484	0,081	30,641	4,271	23,64	16,8	8,4	13,0	6,5		
153	459	4,539	0,068	31,359	3,679	25,33	17,2	8,6	13,9	6,9	IX strefa $k_c > 7,5$ MPa	
156	468	4,186	0,010	26,334	0,453	25,59	14,4	7,2	14,0	7,0		
159	477	4,674	0,033	33,204	1,900	30,09	18,2	9,1	16,5	8,2		
162	486	4,494	0,038	30,592	2,010	27,30	16,8	8,4	15,0	7,5		
165	495	4,534	0,023	31,130	1,240	29,10	17,1	8,5	15,9	8,0		
168	504	4,385	0,068	29,174	3,413	23,58	16,0	8,0	12,9	6,5		
171	513	4,504	0,026	30,706	1,381	28,44	16,8	8,4	15,6	7,8		
172	516	4,541	0,018	31,223	0,973	29,63	17,1	8,6	16,2	8,1		
176	528	4,540	0,054	31,308	2,921	26,52	17,2	8,6	14,5	7,3		
177	531	4,741	0,028	34,199	1,662	31,47	18,7	9,4	17,2	8,6		
181	543	4,813	0,024	35,292	1,472	32,88	19,3	9,7	18,0	9,0		
184	552	4,561	0,052	31,604	2,841	26,94	17,3	8,7	14,8	7,4		
189	567	4,557	0,040	31,504	2,180	27,93	17,3	8,6	15,3	7,7		
192	576	4,532	0,030	31,116	1,616	28,47	17,0	8,5	15,6	7,8		
195	585	4,423	0,032	29,574	1,635	26,89	16,2	8,1	14,7	7,4		
198	594	4,531	0,036	31,116	1,938	27,94	17,0	8,5	15,3	7,7		
Poziom 600												

6. Wnioski i uwagi końcowe

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- 1) Badania obudowy szybu „Antoni” w KWK „Marcel” metodami nieniszczącymi wykonane według normy PN-G-04211 pozwoliły stwierdzić na całym odcinku szybu miejsca o największych uszkodzeniach.
- 2) Obserwacje makroskopowe oraz badania szybu wskazują na lokalne występowanie następujących uszkodzeń:
 - korozja powierzchniowa,
 - złuszczenia zewnętrznej powierzchni obudowy,
 - wykruszenia zaprawy,
 - osad na powierzchni obudowy.
- 3) Uzyskane wartości wytrzymałości z badań laboratoryjnych wskazują jednoznacznie, że rdzeń obudowy jest w bardzo dobrym stanie, a zasięg korozji i uszkodzeń powierzchniowych nie przekracza ok. 5 cm.
- 4) Obliczone średnie wartości wytrzymałości na ściskanie obudowy szybu (badania sejsmoakustyczne) wynoszą 7,0 MPa, lokalnie w miejscach występowania mikrospekkań wytrzymałość ta wynosi ok. 5,0 MPa. Generalnie można przyjąć, że rdzeń obudowy nie jest naruszony i posiada założone w projekcie wytrzymałości.
- 5) Ze względu na znikomy dopływ wody na dno szybu (ujęcia wycieków lokalnych do rynien odprowadzających) obudowę szybu można określić jako szczelną.
- 6) Uzyskane wartości wytrzymałości obudowy z badań laboratoryjnych i sejsmoakustycznych w porównaniu z wynikami badań z 1999 r. wskazują na brak znaczących zmian parametrów wytrzymałościowych obudowy oraz na brak w tym czasie wzrostu stopnia korozji powierzchni obmurza.
- 7) Generalnie można przyjąć, że obudowa szybowa charakteryzuje się małymi zmianami zarówno wytrzymałości, jak i naprężeń dopuszczalnych na ściskanie, przy czym w niektórych strefach występują narosty z krystalizującymi solankami i uszkodzenia powierzchniowe. Aktualny stan obudowy w szybie „Antoni” zapewnia bezpieczną jego eksploatację.

LITERATURA

- [1] *Witosiński J.*: Ocena stateczności, parametrów wytrzymałościowych i stan obudowy szybu „III” oraz szybu „Antoni” w KWK „Marcel” metodami nieniszczącymi, wraz z inwentaryzacją uszkodzeń i oceną ich stanu technicznego. Kraków, AGH 1999 (praca niepublikowana)
- [2] PN-G-04210: 1997. Szyby górnicze. Obudowa. Kryteria oceny i metody badań
- [3] PN-G-04211: 1997. Szyby górnicze. Obudowa betonowa. Kryteria oceny i metody badań