

Wielowariantowa odrzwiowa obudowa spłaszczona

Multi-option flattened steel arch support



Dr hab. inż. Marek Rotkegel^{)}*



Mgr inż. Dagmara Sobczak^{)}*



*Mgr inż. Mateusz Fryszta^{**)}*



*Inż. Cezary Kasper^{***)}*

Treść: Spłaszczona obudowa odrzwiowa w polskich kopalniach węgla kamiennego stosowana jest od ponad dwudziestu lat. W tym czasie opracowanych zostało wiele różnych typoszeregów o zróżnicowanej geometrii, nośności i przeznaczeniu. Można tu wymienić typoszeregi oznaczone symbolami LPrP, LPrPJ, LPS, LPSp, LPSp3R, OLSN, SPL i inne. Obudowa taka znajduje zastosowanie przede wszystkim do zabezpieczania rozciętek rozruchowych ścian. Rzadziej stosowana jest w innych wyrobiskach, najczęściej specjalnych, o znacznej szerokości przy niewielkiej wysokości. Jest ona kompromisowym rozwiązaniem pomiędzy obudową prostokątną (o niewielkiej nośności, lecz korzystnym kształcie przekroju ułatwiającym rozruch ściany) a łukową (o korzystnej nośności, ale utrudniającą rozparcie sekcji i uruchomienie ściany). Jednym z nowszych rozwiązań takiej obudowy jest typoszereg odrzwi WITMET. Odrzvia zostały opracowane w dwóch zasadniczych wariantach – lekkim oraz ciężkim – o większej nośności (ze zwiększoną zakładką stropnicową). Dodatkowo przewidziano możliwość dostosowania usytuowania złącza ciernego do wysokości zbrojonej ściany. W niniejszym artykule przedstawiono w skrócie przebieg i założenia procesu projektowego, konstrukcję odrzwi, wyniki badań laboratoryjnych i analiz wytrzymałościowych oraz badania i obserwacje dołowe obudowy.

Abstract: The flattened steel arch support has been used in Polish hard coal mines for over twenty years. During this time, many series of such kind of support with different geometry, load capacity and purpose were developed. Among those there are series marked with symbols: LPrP, LPrPJ, LPS, LPSp, LPSp3R, OLSN, SPL and others. This kind of support is favorably used in longwall face development. Less frequently, it is used as a support of other special mining excavations - those with a considerable width at low height. The oblate arch support is a compromise solution between a rectangular frame (that is advantageous in the longwall face development) and an arched support (with a satisfying load capacity). The WITMET series is one of the newest types of oblate arch support. It has been developed in light variant and heavy one with a higher load capacity. Additionally, it is possible to adjust the position of the friction joint to the height of the reinforced wall. This article presents the design of the steel arches, the results of strength analyzes as well as research and underground observations of the housing.

^{*)} Główny Instytut Górnictwa, Katowice

^{**)} WITMET Sp. z o.o.

^{***)} ZG SILTECH Sp. z o.o.

Słowa kluczowe:

górnictwo, obudowa łukowa, rozcinki ścianowe

Keywords:

mining, arch support, longwall face development

1. Wprowadzenie

Odrzvia łukowo-splaszczone znajdują zastosowanie w polskich kopalniach węgla kamiennego od ponad dwudziestu lat. Do dotychczas stosowanych typoszeregów odrzwi obudowy splaszczonej należą te oznaczone symbolami ŁPrP, ŁPS, ŁPrw (Katalog wyrobów dla górnictwa 2017), ŁPSP, ŁPSP3R (Głuch 2015a, 2015b, Kudela i in. 2015), OLSN (Głuch, Dragon 2006), SPL (WITMET) czy ŁPrPJ.

Ze względu na konstrukcję, która łączy zalety standardowej obudowy łukowej (o korzystnych parametrach nośności) i obudowy prostokątnej (o korzystnej geometrii ułatwiającej rozruch ściany) splaszczona obudowa odrzwiowa najczęściej stosowana jest w rozcinkach ścianowych, a jej zabudowa poprzedza uruchomienie ściany wydobywczej (Kowalski i in. 2003). Nowe odrzvia obudowy łukowo-splaszczonej typu WITMET przeznaczone są głównie do zabezpieczenia właśnie rozcinek ścianowych i wyrobisk o znacznej szerokości, jednak mogą być również z powodzeniem stosowane w wyrobiskach korytarzowych głównych, udostępniających oraz eksploatacyjnych, w warunkach występowania ciśnień stropowych, zwłaszcza charakteryzujących się znaczną szerokością przy zachowaniu stosunkowo niewielkiej wysokości.

Projektowanie prezentowanych odrzwi przebiegało zgodnie z ogólnym schematem procesu projektowo-konstrukcyjnego środków technicznych (Prusek i in. 2006, Prusek i in. 2007; Prusek i in. 2008; Prusek i in. 2009), z uwzględnieniem specyficznych uwarunkowań górnictwa podziemnego. Pierwszym etapem było rozpoznanie potrzeby, ściśle powiązanej z założeniami projektowymi. Przyjęto przy tym, że odrzvia WITMET będą odrzvwiami splaszczonymi, a typoszereg obejmować będzie dziewięć wielkości o zakresie szerokości od 5,8 m do 7,4 m i odpowiednio wysokości 3,3 m do 4,1 m. Dodatkowymi założeniami była możliwość zmiany usytuowania złączy ciernych oraz uzyskanie korzystnych parametrów podpornościowych. Mając na uwadze powyższe założenia zaprojektowano typoszereg, a następnie przeprowadzono analizy numeryczne i badania stanowiskowe. Etapem wieńczącym proces projektowo-konstrukcyjny było zastosowanie odrzwi w warunkach dołowych, dające zwrotną informację od użytkownika na temat funkcjonalności nowo zaprojektowanej obudowy.

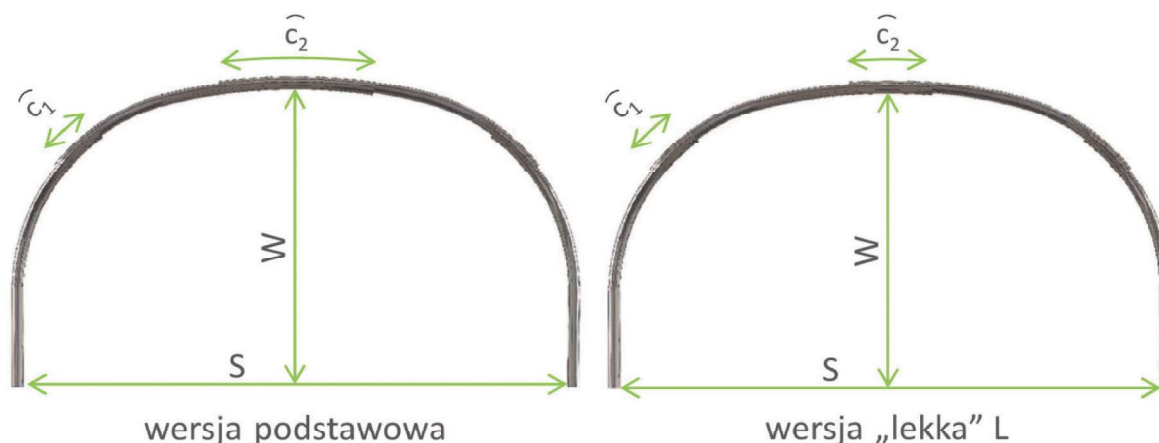
2. Opis konstrukcji odrzwi

Odrzvia obudowy WITMET zaprojektowano jako cztero-elementowe wykonywane z kształtowników V29, V32 i V36. Składają się z czterech łuków – dwóch ociosowych i dwóch stropnicowych. Stropnice posiadają dwa promienie gięcia, natomiast elementy ociosowe – odcinek łukowy oraz odcinek prosty. Łuki łączone są ze sobą końcami o jednakowych promieniach gięcia. Odrzvia zostały opracowane w dwóch zasadniczych wariantach, w wersji podstawowej oraz wersji lekkiej.

W wersji podstawowej odrzvia odznaczają się większą nośnością, uzyskaną poprzez zwiększenie zakładki stropnicowej. W związku z tym również masa poszczególnych odrzwi uległa zwiększeniu. Natomiast typoszereg „lekki” charakteryzuje się mniejszą zakładką stropnicową, przy zachowaniu gabarytów odrzwi. Wiąże się to z mniejszą masą odrzwi oraz z niższymi parametrami podpornościowymi. Dodatkowo przewidziano możliwość zmiany usytuowania złącza ciernego ociosowego, dostosowując jego położenie do optymalnego dla danej technologii, na przykład z uwagi na wysokość zbrojonej ściany. W tym celu zamawiający określa oczekiwane położenie końca łuku stropnicowego po demontażu łuku ociosowego, a producent odpowiednio modyfikuje długości łuków. Ponadto dopuszczono możliwość skrócenia lub wydłużenia przyspągowych odcinków ociosowych, uzyskując w ten sposób dodatkowe warianty wymiarowe odrzwi. Na rysunku 1 zamieszczono szkic odrzwi obudowy WITMET w wersji podstawowej i wersji „lekkiej” L wraz z zaznaczonymi podstawowymi parametrami: wysokością W i szerokością S w świetle obudowy oraz długością zakładek c_1 i c_2 . Natomiast na rysunku 2 – ideę dostosowania położenia zakładki ociosowej do eksploатовanego pokładu węgla.

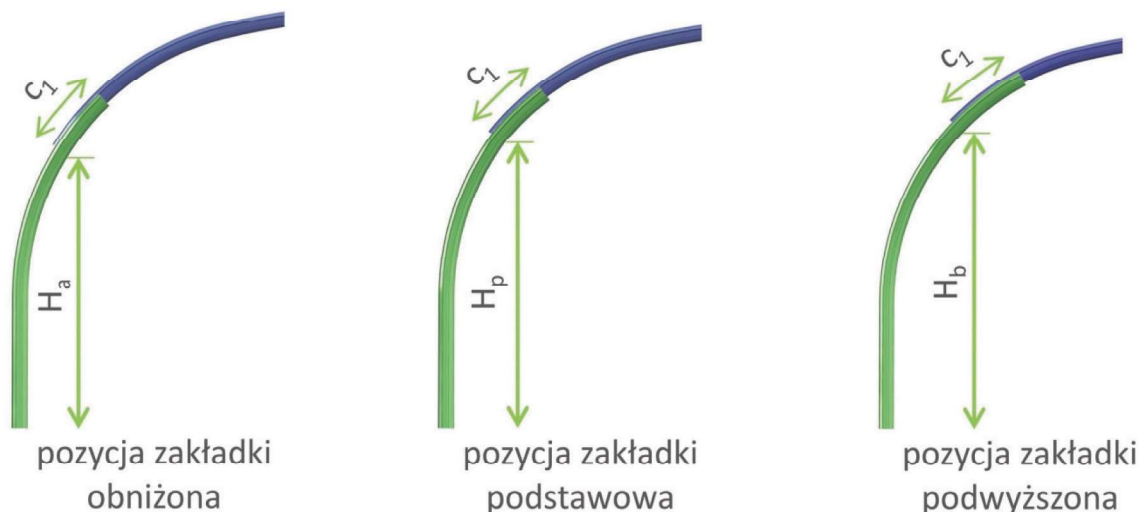
Odrzvia oznacza się przywołując kolejno nazwę typoszeregu „WITMET”, wielkość odrzwi (ewentualnie z oznaczeniem wariantu lekkiego) i wielkość kształtownika – wg wzoru WITMET5.8/L/V32.

Podstawowy typoszereg obejmuje 9 wielkości odrzwi o szerokości od 5,8 m do 7,4 m i wysokości od 3,3 m do 4,1 m. Masa kompletu odrzwi wynosi od 364,7 kg (WITMET5.8/L/V29) do 595,6 kg (WITMET7.4/V36).



Rys. 1. Podstawowe parametry obudowy WITMET

Fig. 1. WITMET support basic parameters



Rys. 2. Idea zmiany usytuowania zakładki ociosowej
Fig. 2. Different locations of friction joint

3. Badania stanowiskowe i modelowe odrzwi

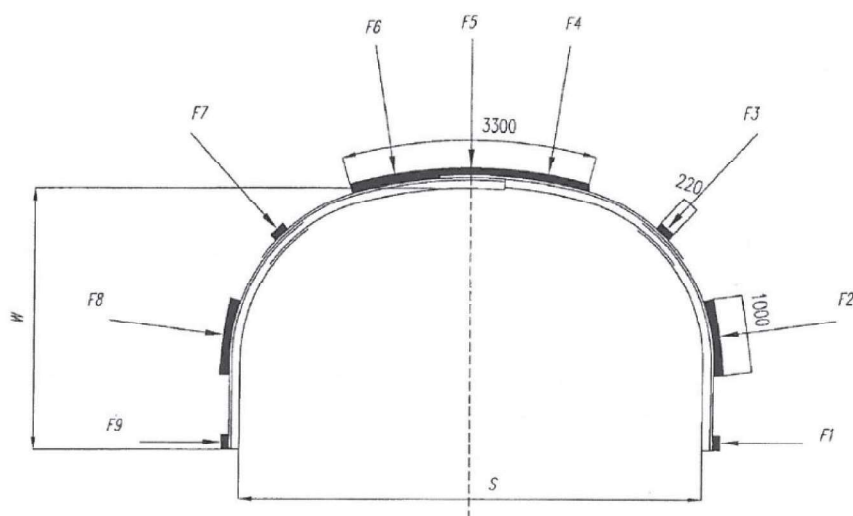
Badania stanowiskowe przeprowadzono dla odrzwi obudowy łukowo-podatnej specjalnej (wersji lekkiej) WITMET6.0/L/V32. Celem badań odrzwi w stanie podatnym i usztywnionym było wyznaczenie ich podstawowych parametrów podpornościowych oraz sprawdzenie ich pracy w warunkach działającego obciążenia normowego. Badania numeryczne przeprowadzono natomiast metodą elementów skończonych na wybranych odrzwiach z typoszeregu. W badaniach przyjęto schemat obciążenia odrzwi, przedstawiony na rysunku 3, nawiązujący do zapisów normy PN-G-15000/5 (Obudowa chodników z odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych, 1992).

Badaniom stanowiskowym poddano trzy komplety odrzwi obudowy WITMET6.0/L wykonanych z kształtownika V32 ze stali S480W. Elementy łukowe łączone były ze sobą w złączach za pomocą dwujarzmowych strzemion typu SDOw36 z momentem dokręcenia śrub strzemion 400 Nm (w odrzwiach badanych w stanie podatnym). W wyniku przeprowadzo-

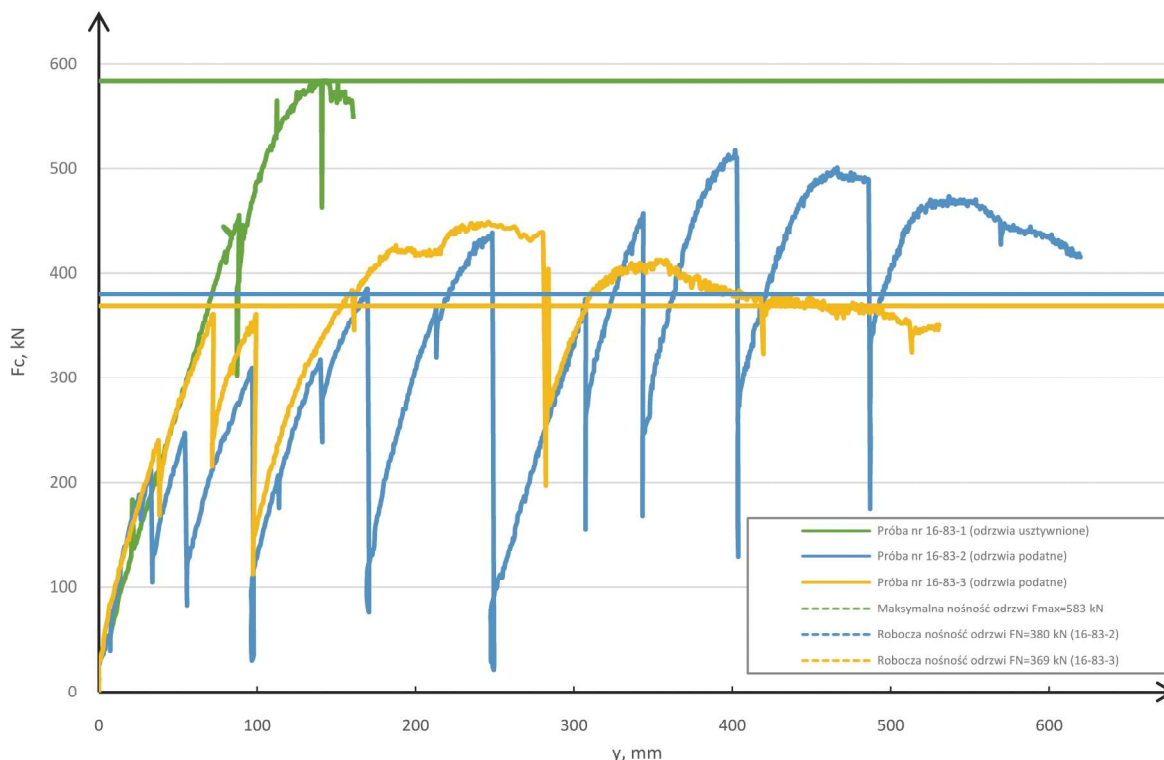
nych prób uzyskano dwie charakterystyki odrzwi badanych w stanie podatnym oraz jedną – w stanie usztywnionym (Pacześniowski i in. 2016). Wyniki tych prób przedstawiono na rysunku 4.

W trakcie prób odrzwia pracowały poprawnie, a stan wyczerpania nośności związany z maksymalnymi naprężeniami i deformacjami w stropnicy w okolicy zakładki stropnicowej. Takie zachowanie odrzwi potwierdzają również badania modelowe, czego dowodem może być barwna mapa naprężeń zredukowanych w elementach odrzwi przedstawiona na rysunku 5.

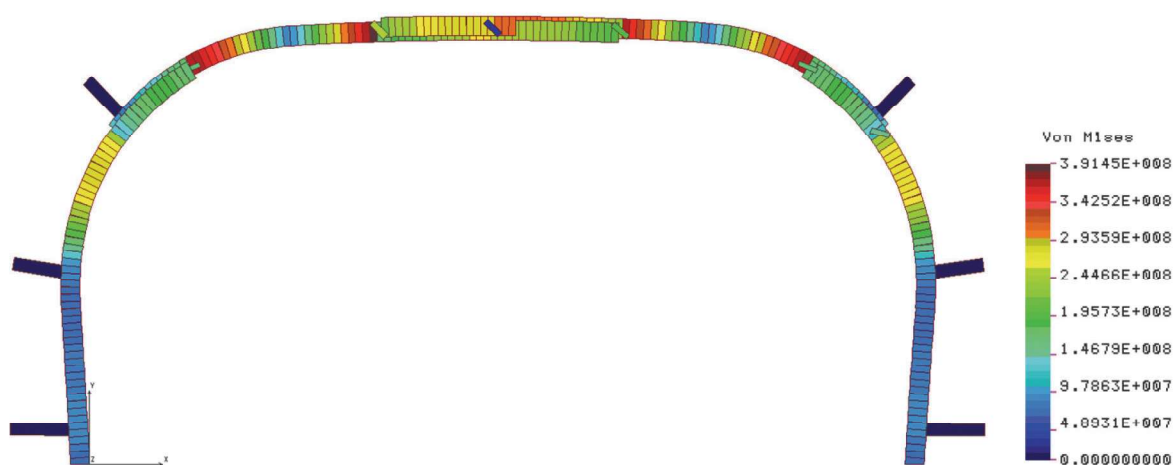
Przeprowadzone badania i analizy pozwoliły określić przede wszystkim parametry podpornościowe odrzwi. Bardzo istotnym parametrem charakteryzującym odrzwia jest wskaźnik wykorzystania maksymalnej nośności odrzwi, określany w normie PN-G-15000/05 jako k_r . W przypadku przedmiotowych odrzwi jest on wysoki i sięga 0,63-0,65, co świadczy o wysokiej nośności roboczej odrzwi w stosunku do wytrzymałości łuków i przekłada się na większe bezpieczne rozstawy odrzwi budowanych w wyrobisku.



Rys. 3. Schemat obciążenia odrzwi obudowy WITMET6.0/L/V32 podczas badań stanowiskowych i modelowych (F_4, F_5, F_6 – siły czynne, $F_1, F_2, F_3, F_7, F_8, F_9$ – siły bierne)
Fig. 3. Load scheme of WITMET steel arch support for bench and model tests (F_4, F_5, F_6 – active forces, $F_1, F_2, F_3, F_7, F_8, F_9$ – passive forces)



Rys. 4. Charakterystyki odrzwi uzyskane z badań stanowiskowych (Pacześniowski i in. 2016)
 Fig. 4. Pressure test graph of steel arch support (Pacześniowski i in. 2016)



Rys. 5. Przykładowa mapa naprężeń zredukowanych w modelu odrzwi WITMET
 Fig. 5. Distribution of reduced stresses in a model of WITMET arch support

4. Badania dołowe

Badania i obserwacje dołowe odrzwi typoszeregu WITMET przeprowadzono w 2017 roku w Zakładzie Górniczym SILTECH. Obudowę z odrzwi łukowo-splaszczonych zastosowano do zabezpieczenia Chodnika wodnego B1/7 zlokalizowanego w pokładzie 507 na poziomie 260. Chodnik, o długości około 160 m, charakteryzował się dużymi gabarytami – maksymalną szerokością 7,2 m i maksymalną wysokością 4,2 m. W chodniku zastosowano obudowę WITMET w dwóch wielkościach odrzwi (6.6 oraz 7.2) i dwóch wariantach długości zakładki stropnicowej (podstawowym oraz lekkim), tj:

- WITMET 6.6 L x 4.2 V29/S480W (50 odrzwi),
- WITMET 6.6 x 4.2 V29/S480W (10 odrzwi),
- WITMET 7.2 L x 4.2 V29/S480W (50 odrzwi),

- WITMET 7.2 x 4.2 V29/S480W (10 odrzwi).

Na rysunku 6 przedstawiono ogólny widok na kompletną obudowę zabudowaną w Chodniku wodnym B1/7.

Badania i obserwacje w wyrobisku przeprowadzono czterokrotnie w okresie od czerwca do września 2017. Na podstawie oceny makroskopowej możliwe było określenie stanu technicznego obudowy. Szczególną uwagę zwracano na geometrię odrzwi, ich posadowienie w wyrobisku, położenie poszczególnych odrzwi względem siebie, ich rozstaw, deformacje i przemieszczenia rozpór, czy też stan opinki wykonanej z siatki zgrzewanej. Obserwacje poczynione w trakcie zjazdów dołowych pozwalają wnioskować o poprawnej pracy obudowy z odrzwi WITMET, a dodatkowo z informacji przedstawicieli kopalni wynika, że zabudowa odrzwi nie stwarza problemów.



Rys. 6. Ogólny widok obudowy Chodnika wodnego B1/7 (obudowa w wersji lekkiej)

Fig. 6. Photograph of mining excavation Chodnik wodny B1/7

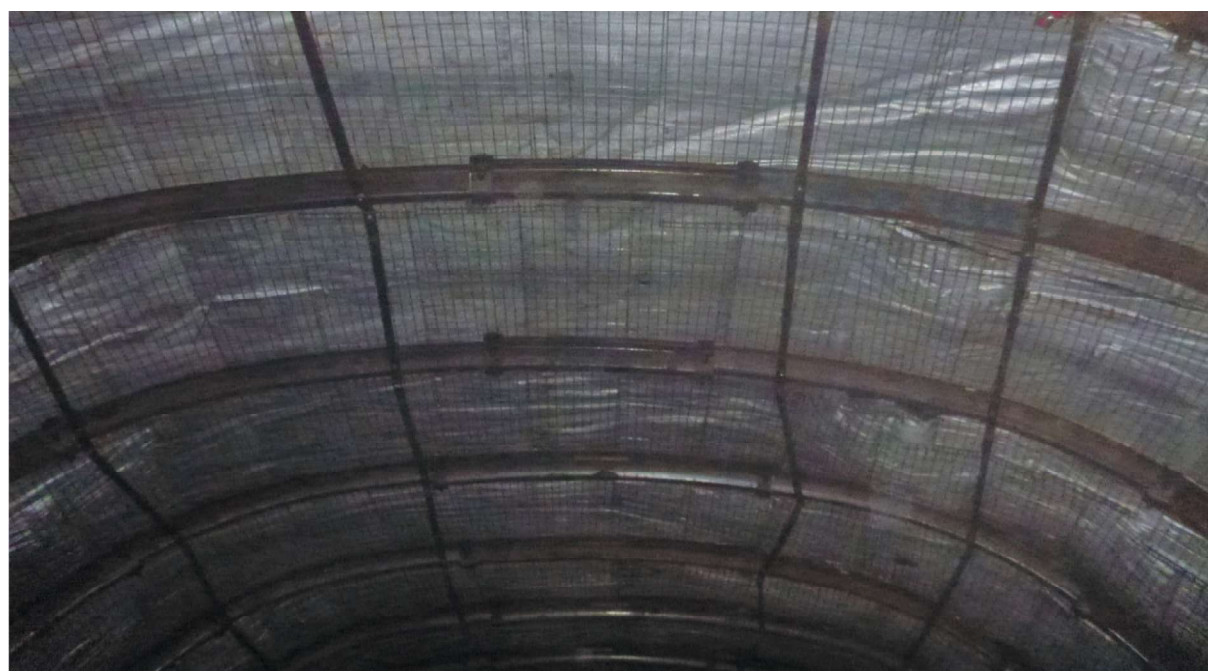
Na rysunku 7 przedstawiono fotografię zabudowy stropu Chodnika wodnego B1/7.

Ze względu na niewielkie zmiany gabarytów i kształtu obudowy, pomiary wymiarów odrzwi wykonano skanerem laserowym (Szade i in. 2016). Powstały w wyniku badania obrys odrzwi pomógł w identyfikacji deformacji mniejszych niż dostrzegalne gołym okiem.

Inwentaryzację odrzwi przeprowadzono przy pomocy dalmierza laserowego Leica DISTO D810 touch. Umożliwiło to dokładne określenie geometrii obudowy wyrobiska w układzie płaskim, we wcześniej ustalonych przekrojach. Badania

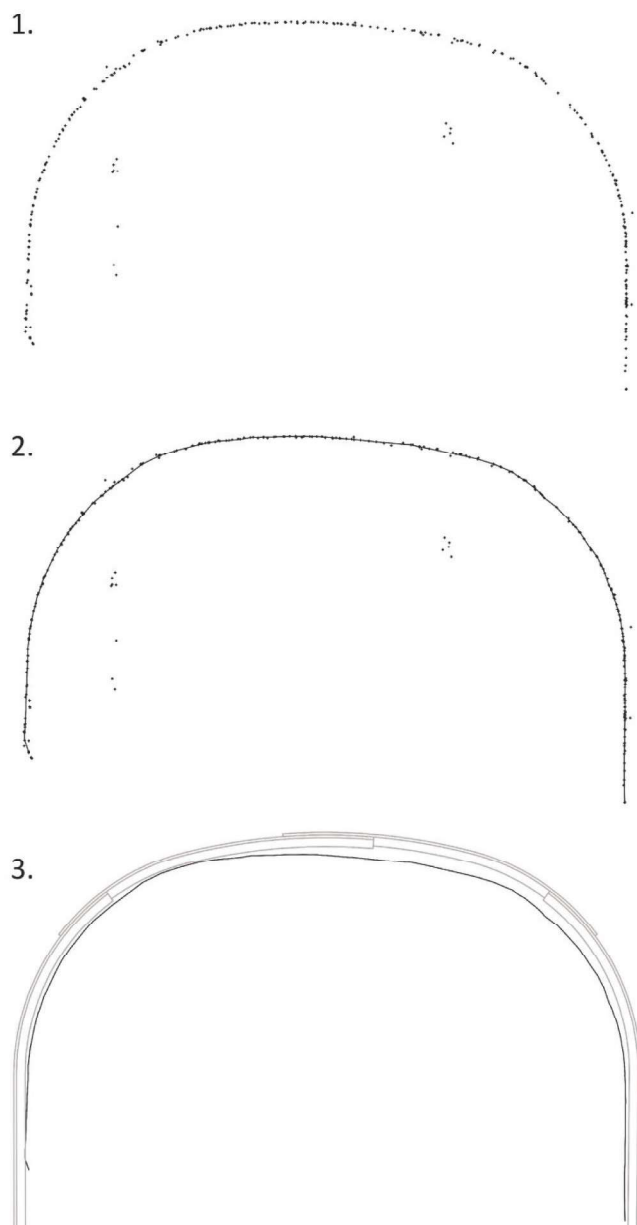
obejmowały określenie geometrii wyznaczonych odrzwi. W wyniku wykonanych pomiarów otrzymano zbiór punktów należących do jednej płaszczyzny, odpowiadających obrysowi odrzwi po denku kształtownika V29.

Dalmierz laserowy w trakcie wykonywania pomiaru był posadowiony na stojaku geodezyjnym za pośrednictwem obrotowej głowicy. Skanowanie przeprowadzono od spągu przy jednym z ociosów wyrobiska do spągu po drugiej stronie. Pomiędzy pomiarami dokonywano zmiany kąta nachylenia wskaźnika laserowego w płaszczyźnie przekroju pionowego wyrobiska. W celu wyeliminowania „martwego pola”, które



Rys. 7. Zabudowane łuki stropnicowe w Chodniku wodnym B1/7

Fig. 7. Roof support arches in Chodnik wodny B1/7



1. Zapis wyników pomiaru w postaci zbioru punktów na jednej płaszczyźnie.

2. Odtworzenie obrysu odrzwi po denku kształtownika V29 na podstawie zbioru punktów otrzymanych w wyniku pomiaru skanerem laserowym.

3. Porównanie geometrii odrzwi zabudowanych w wyrobisku i geometrii tych odrzwi według dokumentacji.

Rys. 8. Etapy opracowania wyników pomiarów dolowych geometrii odrzwi

Fig. 8. Stages of developing field measurement results

może pojawić się w przypadku występowania zabudowanych w świetle elementów wyposażenia wyrobiska, pomiar geometrii wykonywano kilkakrotnie w różnych pozycjach stojaka geodezyjnego. W wyniku pomiaru uzyskuje się obraz wyrobiska w układzie współrzędnych biegunowych.

Celem badań było ustalenie różnicy geometrii odrzwi obudowy zabudowanych w wyrobisku korytarzowym w stosunku do nominalnych wartości parametrów geometrii tych odrzwi wynikających z dokumentacji, jak również określenie konwergencji wyrobiska, na podstawie porównania okresowo powtarzanych pomiarów. Etapy opracowania danych otrzymanych ze skaningu laserowego przedstawiono na rysunku 8.

W wyniku porównania geometrii konkretnych odrzwi otrzymanych z pomiarów przeprowadzonych w różnych dniach w okresie od czerwca do września 2017 roku, otrzymano różne obrysy odrzwi. Obrysy te nie różniły się między sobą znacznie, a wręcz pokrywały się na całej długości, poza kilkoma wyjątkami. Zauważalną zmianę geometrii odnotowano w przypadku dwóch (z trzynastu) par odrzwi. Maksymalne deformacje o charakterze ugięcia wynosiły około 190 mm.

Porównanie geometrii odrzwi zabudowanych w Chodniku wodnym B1/7 z geometrią zgodną z dokumentacją wykazało znaczne różnice. Ugięcia odrzwi sięgały 235 mm i związane były z dużymi gabarytami obudowy odrzwiowej, a co za tym idzie, dużą wartością długości ich obrysu.

5. Podsumowanie

Obudowa odrzwiowa typu WITMET charakteryzuje się łukowo-splaszczonym obrysem, z czego wynika jej podstawowe zastosowanie – zabezpieczanie rozciniek rozruchowych ścian. Może być ona również stosowana w innych wyrobiskach wielkogabarytowych, o zwiększonym stosunku szerokość/ wysokość. Typoszereg został opracowany wielowariantowo, tak że użytkownik może wybrać odrzwia podstawowe, lub dla korzystniejszych warunków geologiczno-górnicych w wariancie lekkim – o mniejszej masie i nośności. Dodatkowo, na etapie produkcji odrzwi, możliwe jest dostosowanie położenia złącza ciernego ociosowego do wymagań kopalni. Uzyskuje się to przez odpowiednie wydłużenie i skrócenie łuków ocio-

sowych i stropnicowych. Jak wykazały badania stanowiskowe, pomimo spłaszczonego obrysu, odrzwia charakteryzują się wysokimi parametrami podpornościowymi. Szczególnie istotny jest tu wskaźnik wykorzystania maksymalnej nośności odrzwi k4, który dla badanych odrzwi przekracza wartość 0,6. Świadczy to o wysokiej nośności roboczej odrzwi FN w stosunku do nośności maksymalnej F_{max} i przekłada się na większe rozstawy odrzwi uzyskiwane w procesie doboru obudowy. Obserwacje i badania dołowe również wskazały na poprawną pracę prezentowanej obudowy. Odrzwia typu WITMET są zatem ciekawym rozwiązaniem obudowy łukowej-splaszczonej.

Literatura

- PN-G-15000-05:1992 Obudowa chodników z odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe otwarte. Badania stanowiskowe.
- PACZEŚNIEWSKI I IN. 2016 – Sprawozdanie z badań nr BL-2/16-83. Badania odrzwi łukowych podatnych specjalnych obudowy WITMET6.0/L/V32. Katowice.
- GLUCH P., DRAGON T. 2006 – Obudowa łukowa splaszczona dla przecinek rozruchowych ścian – projektowanie i przykłady zastosowania. Budownictwo Górnicze i Tunelowe nr 2, s. 18–28.
- Katalog wyrobów dla górnictwa. Huta Łabędy SA, Gliwice 2017.
- GLUCH, P. 2015a – Charakterystyka pracy odrzwi obudów podporowych splaszczonych. Materiały Konferencyjne – Akademia Obudowy, s. 1–73.
- GLUCH, P. 2015b – Technologiczne aspekty wykonywania wyrobisk korytarzowych w obudowach poszerzonych. Materiały konferencyjne – Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego – XI Międzynarodowa Konferencja „Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie”, Monografia rozdz. 21, s. 1–10.
- KUDELA, J., HORST, R., KRASUCKI, K., ŚPIEWAK, T. I GLUCH, P. 2015 – Rozwiązanie obudowy splaszczonej dla chodnika przyscianowego. Materiały Konferencyjne – XXXVIII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej, „CUPRUM” Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwo Rud nr 1(74), s. 41–52.
- WITMET: www.witmet.pl (dostęp 3.12.2018).
- KOWALSKI E., ROTKEGEL M., KOŚCIERZYŃSKI Z., WÓJCIK D. 2003 – Obudowa łukowo-prosta przeznaczona głównie do zabezpieczenia rozcięć ścian z podsadzką hydrauliczną. „Przeгляд Górnicy” nr 2, s.13–18.
- PRUSEK S., ROTKEGEL M., SKRZYŃSKI K. 2006 – Komputerowe wspomaganie projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń. „Przeгляд Górnicy” nr 3, s. 21-26.
- PRUSEK S., ROTKEGEL M., SKRZYŃSKI K. 2007 – Proces projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych z wykorzystaniem systemu CAD. Górnictwo i Geoinżynieria. Kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej, R. 31, z. 3/1, s. 485–496.
- PRUSEK S., ROTKEGEL M., TOR A. 2008 – Przebieg kompleksowego procesu projektowania nowej konstrukcji obudowy wyrobisk korytarzowych. Szkoła Eksploatacji Podziemnej, s. 333–351.
- PRUSEK S., ROTKEGEL M., BOCK S. 2009 – Design and control of working support in Polish coal mines based on three-dimensional numerical modeling. 28th International Conference on Ground Control in Mining, 28–30.06., Morgantown, WV, USA.
- SZADE A., ROTKEGEL M., SZOT Ł. 2016 - Zastosowanie skaningu laserowego 2D w ocenie stanu technicznego podziemnych obiektów geoinżynierskich. „Przeгляд Górnicy” nr 6, s. 67–77.

Artykuł wpłynął do redakcji – luty 2019

Artykuł akceptowano do druku – marzec 2019