

PIOTR CABAN
KAZIMIERZ STOIŃSKI
MAREK ROTKEGEL
SYLWESTER RAJWA
ADAM GNATOWSKI
KRZYSZTOF PACZEŚNIEWSKI

Rozwój konstrukcji stalowych odrzwi do rozcinek ścianowych

Artykuł przedstawia rozwój konstrukcji obudów stalowych dla górnictwa, produkowanych przez Hutę Łabędy S.A. z przeznaczeniem do zabezpieczania wyrobisk korytarzowych, a szczególnie rozcinek ścianowych. Na przestrzeni ostatnich dekad obudowa rozcinek rozruchowych ewoluowała między innymi pod względem kształtu. Stosowane początkowo odrzwia prostokątne i typowe odrzwia ŁP z poszerzeniami zostały zastąpione przez odrzwia spłaszczone na bazie łuków ŁP (ŁPKO), a następnie przez specjalne odrzwia dostosowane kształtem do sekcji obudowy zmechanizowanej. Uzyskano w ten sposób obrys odrzwi pośredni, będący kompromisem pomiędzy prostokątnym (korzystnym z uwagi na zbrojenie i uruchomienie ściany), a łukowym (korzystnym z uwagi na wysokie parametry podpornościowe).

Słowa kluczowe: odrzwia, obudowa chodnikowa, rozcinka ścianowa

1. WSTĘP

W początkowym okresie działalności górniczych przedsiębiorstw wydobywających węgiel metodami podziemnymi stosowana technika była w niewielkim stopniu zmechanizowana. Eksploatowane były pokłady płytko zalegające od 200 m do 350 m. Wraz z postępem technicznym sięgano po coraz głębiej zalegające złoża, których efektywna eksploatacja wymagała zastosowania zawansowanej technologii i techniki, między innymi urabiania kombajnów ścianowych. Stosowana eksploatacja metodą ścianową wymaga wykonania określonego układu chodników przygotowawczych, między innymi tzw. rozcinek ścianowych, zwanych też rozruchowymi. Jest to specyficzna grupa krótkotrwałych wielkogabarytowych wyrobisk korytarzowych, charakteryzujących się znaczną szerokością i wysokością dostosowaną do pokładu przeznaczonego do eksploatacji. Roczinki ścianowe drążone są w celu zainstalowania zmechanizowanej obudowy ścianowej

i niezbędnych urządzeń towarzyszących, umożliwiających rozruch ściany i eksploatację pokładu węgla. W polskich kopalniach węgla kamiennego w ostatnim czasie drąży się około 60–70 rozcinek ścianowych rocznie. Z uwzględnieniem średniej długości ściany daje to około 13 km wyrobisk, co przy założeniu rozstawu 0,75 m wymaga zastosowania odrzwi o wadze blisko 8 tysięcy ton. Zatem w skali globalnej stanowi to sporą ilość obudowy.

Celem artykułu jest przedstawienie całego spektrum konstrukcji odrzwi produkowanych przez ostatnie 30 lat w Hucie Łabędy, przeznaczonych do zabezpieczania rozcinek rozruchowych ścian. Przedstawione rozwiązania konstrukcyjne odrzwi pozwalają na zabezpieczenie rozcinek rozruchowych z uwzględnieniem gabarytów wszystkich stosowanych w kopalniach węgla kamiennego obudów zmechanizowanych. Zaprezentowane konstrukcje zostały opracowane w Głównym Instytucie Górnictwa we współpracy z Hutą Łabędy i kopalniami węgla kamiennego, wśród których można

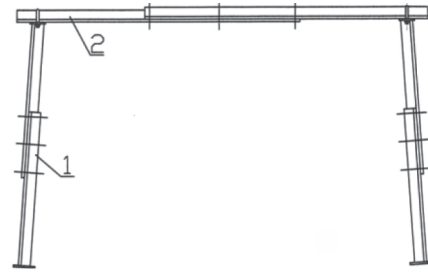
wyróżnić KWK Ziemowit, KWK Wesoła, LW Bogdanka, KWK Bobrek, KWK Wujek, KWK Pniówek, KWK Zofiówka oraz nieistniejące już kopalnie Katowice i Kleofas. Kopalnie wniosły duży wkład w zakresie weryfikacji odrzwi obudów i ich walorów użytkowych, co było podstawą do pewnych korekt i doprecyzowania szczegółów konstrukcyjnych w Głównym Instytucie Górnictwa. Taka współpraca tych trzech środowisk w ramach wdrażania nowych rozwiązań odrzwi pozwala połączyć ze sobą doświadczenie GIG w projektowaniu i badaniach z szerokimi możliwościami produkcyjnymi Huty Łabędy przy uwzględnieniu potrzeb i spostrzeżeń użytkowników – Kopalń. Huta Łabędy produkuje prezentowane konstrukcje z nowoczesnych stali 25G2Ti, S480W [1] i S550W [2], dzięki czemu charakteryzują się one wysokimi mechanicznymi parametrami wytrzymałościowymi i podwyższoną odpornością korozyjną.

2. GENEZA ODRZWI OBUDÓW ROZCINEK ŚCIANOWYCH

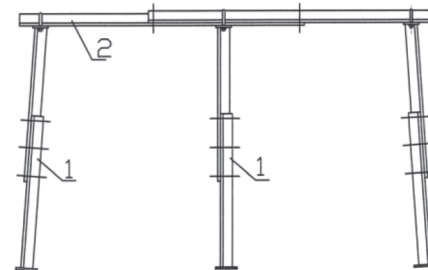
W początkowym okresie eksploatacji pokładów węgla metodą ścianową z wykorzystaniem kombajnów ścianowych do wykonywania obudów przecinek ścianowych były stosowane odrzwia łukowe podatne typu ŁP [3–5].

Wadą tych rozwiązań była konieczność wypełniania drewnem znacznej przestrzeni stropowej między stropnicą obudowy zmechanizowanej a łukami stropnicowymi obudowy podporowej w celu zapewnienia odpowiedniego rozparcia obudowy zmechanizowanej na etapie zbrojenia ściany i jej rozruchu. W celu zmniejszenia przestrzeni wykładki zaczęto stosować odrzwia ŁP o skróconych łukach ociosowych, co zmniejszało ilość stosowanego drewna do kasztowania, zmniejszając tym samym czas i koszty zbrojenia ściany.

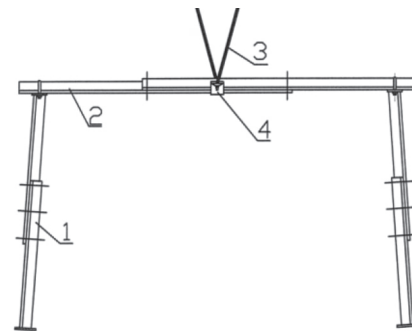
Alternatywą dla tych rozwiązań były odrzwia prostokątne, w których dzięki prostej stropnicy ułatwione było rozparcie sekcji obudowy zmechanizowanej. Jednak niewielka nośność takiej obudowy ograniczała zakres jej stosowania [6, 7]. Konieczne okazało się wzmocnienie płaskiej stropnicy. Jednym z takich rozwiązań jest obudowa o kształcie trapezowym, oznaczona symbolami OPP, której warianty wykonania przedstawiono na rysunkach 1–3 [8]. W zależności od warunków stropowych założono podparcie stropnicy stojakiem pośrednim lub jej przykotwienie.



Rys. 1. Odrzwia OPP wariant 1:
1 – stojak (element wsporczy), 2 – stropnica prosta



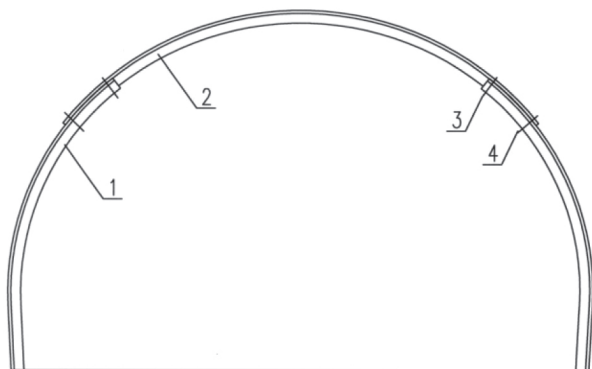
Rys. 2. Odrzwia OPP wariant 2:
1 – stojak (element wsporczy), 2 – stropnica prosta



Rys. 3. Odrzwia OPP wariant 3:
1 – stojak (element wsporczy), 2 – stropnica prosta,
3 – kotwa, 4 – podkładka

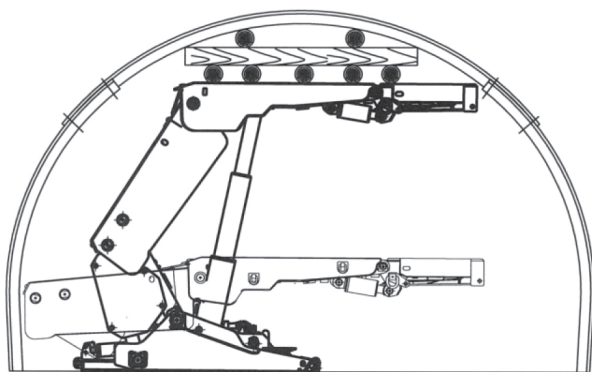
W związku z dążeniem do optymalizacji geometrii odrzwi przeznaczonych do zabezpieczania rozciniek ścianowych w 1995 roku powstał projekt katalogu obudów [9], zawierający propozycję typoszeregów odrzwi na potrzeby zabezpieczania rozciniek ścianowych. Typoszeregi odrzwi zawarte w katalogu uwzględniały parametry wówczas powszechnie stosowanych sekcji obudów zmechanizowanych. Przyjęto zasadę, że długość manewrowa sekcji (wielkość przekątnej sekcji w pozycji manewrowej powiększona o 5%) stanowić będzie podstawowe kryterium, określające możliwości wprowadzania danego typu obudowy zmechanizowanej do określonej obudowy rozciniki ścianowej. Przyjęcie tej zasady w doborze odrzwi obudowy rozciniki ścianowej zapewniało możliwość manewrowania wprowadzaną sekcją obudowy zmechanizowanej w pozycji transportowej. Głównymi konstrukcjami zawartymi w ww. katalogu, które zy-

skwały aprobatę kopalń i były powszechnie stosowane w praktyce to typoszereg trzelementowych odrzwi (kojarzonych) ŁPK, przedstawionych na rysunkach 4 i 5 [9] oraz czteroelementowych odrzwi (kombinowanych) ŁPKO. Odrzwia ŁPK konfigurowane były z różnych wielkości łuków stropnicowych i ociosowych odrzwi ŁP trzelementowych o wielkościach od 5 do 10 [9]. Rysunki 6 i 7 [10] przedstawiają obudowę przecinki zabezpieczoną obudową ŁPK oraz zbrojenie ściany. Natomiast typoszereg ŁPKO, konfigurowany był z dwóch par różnej wielkości łuków ociosowych odrzwi ŁP trzelementowych o wielkościach 4 do 8.



Rys. 4. Odrzwia ŁPK (kojarzone):

1 – łuk ociosowy, 2 – łuk stropnicowy, 3, 4 – strzemiona



Rys. 5. Odrzwia kojarzone ŁPK z zabudowaną sekcją (widok sekcji przed i po rozparciu)



Rys. 6. Rozcinka wykonana w odrzwiach kojarzonych ŁPK ze skróconymi łukami ociosowymi



Rys. 7. Zbrojenie ściany, rozcinka wykonana w odrzwiach kojarzonych ŁPK

Doświadczenia uzyskane w trakcie drążenia rozciniek ścianowych, a później zbrojenia i rozruchu ściany spowodowały intensywny rozwój konstrukcji w kierunku odrzwi specjalnych, przeznaczonych głównie do zabezpieczania takich wyrobisk.

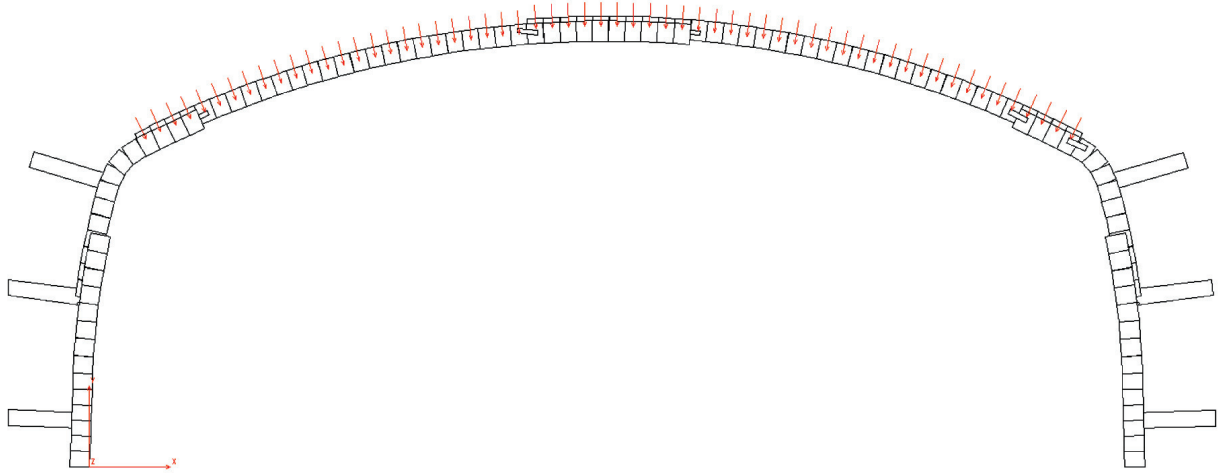
3. PRACE I BADANIA NAD ROZWOJEM KONSTRUKCJI ODRZWI

Prace nad nowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi odrzwi do zabezpieczania rozciniek rozruchowych ścian wynikały głównie z obserwacji pracy i funkcjonalności już stosowanych odrzwi. Obserwacje te obejmowały cały cykl trwania wyrobiska – od drążenia, przez zbrojenie ściany, aż po jej rozruch. Stwierdzone liczne mankamenty zarówno typowych obudów ŁP, kojarzonych ŁPK, jak i prostokątnych skłoniły kopalnie, producentów obudów i projektantów do poszukiwania rozwiązań poprawiających funkcjonalność obudowy. W wyniku tych działań powstały liczne rozwiązania konstrukcji odrzwi, stanowiące kompromis pomiędzy obudową łukową ŁP (o wysokich parametrach podpornościowych, ale niekorzystnym obrysie przy rozpieraniu sekcji i rozruchu ściany) i obudową prostokątną (o niskich parametrach podpornościowych, ale bardziej funkcjonalną z uwagi na zbrojenie i rozruch ściany). Prace badawczo-rozwojowe prowadzone były w Zakładzie Technologii Eksploatacji, Tępań i Obudów Górniczych oraz w Zakładzie Badań Urządzeń Mechanicznych i Skał Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach. Zakres prac obejmował zaprojektowanie konstrukcji odrzwi na podstawie wymagań odbiorców oraz badania laboratoryjne i modelowe, a także uzyskanie stosownego certyfikatu.

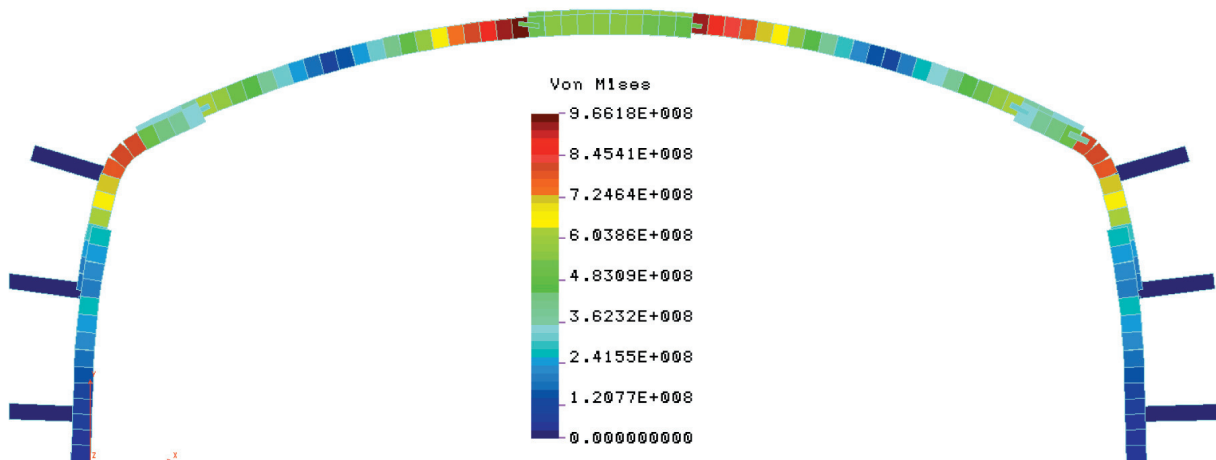
Kluczowym etapem prac projektowych są wspomniane wcześniej badania modelowe. W połączeniu

z badaniami stanowiskowymi i ich wynikami pozwalają na kalibrowanie modeli numerycznych w celu określenia parametrów podpornościowych całego typszeregu odrzwi [11, 12]. Wyniki analiz numerycznych są szczególnie istotne w przypadku projektowania i optymalizacji odrzwi o geometrii odbiegającej od typowych odrzwi ŁP, jak to ma miejsce przy odrzwiach łukowo-prostych, spłaszczonych. Analizy takie przeprowadza się metodą elementów skończonych [13, 14], np. za pomocą programu COSMOS/M [15, 16]. W pierwszym etapie buduje się model geometryczny odrzwi, uwzględniający ich gabaryty i parametry przekrojowe. W następnej kolejności nadaje się odpowiednie parametry materiałowe. Kluczowym zagadnieniem, zwłaszcza przy modelowaniu odrzwi łukowo-prostych, jest zdefiniowanie schematu podparcia i obciążenia odrzwi. Jak istotne są to czynniki, można przekonać się, analizując wyniki symulacji pracy odrzwi

łukowo-prostych ŁPrP. Dla zobrazowania tego zagadnienia przeprowadzono analizę wytrzymałościową sześcieelementowych odrzwi ŁPrP w rozmiarze 28 o szerokości nominalnej 6200 mm i wysokości 2600 mm, wykonanych z kształtownika V29 [17] walcowanego ze stali 25G2 lub 34GJ (wg PN-H-93441-1 [18]). W celu przeprowadzenia tych analiz zbudowano model odrzwi składający się z 126 elementów belkowych (BEAM) modelujących łuki, 10 elementów belkowych modelujących strzemiona oraz z 6 elementów sprężystych (SPRING) modelujących odpór ociosów o określonej sztywności. Kompletny model przedstawiono na rysunku 8. W wyniku przeprowadzonych symulacji uzyskano zdeformowane postacie odrzwi, wartości reakcji podporowych, rozkłady sił wewnętrznych oraz barwne mapy naprężeń zredukowanych. Przykładowy rozkład naprężeń zredukowanych przedstawiono na rysunku 9.

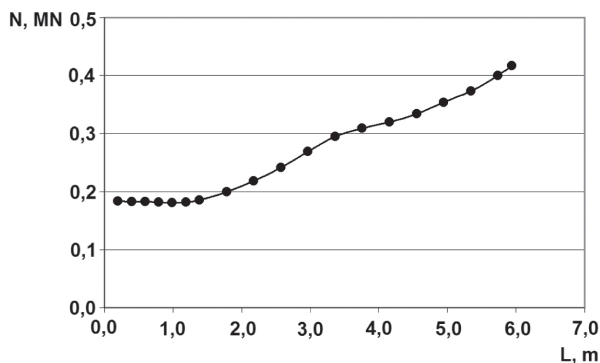


Rys. 8. Model odrzwi ŁPrP/6/B/28 (6200 mm × 2600 mm)



Rys. 9. Rozkład naprężeń zredukowanych w odrzwiach ŁPrP (naprężenia w Pa, skala deformacji I_x , sztywność odporu $k = 1 \text{ MN/m}$, długość obciążonego odcinka stropnicy 2,18 m)

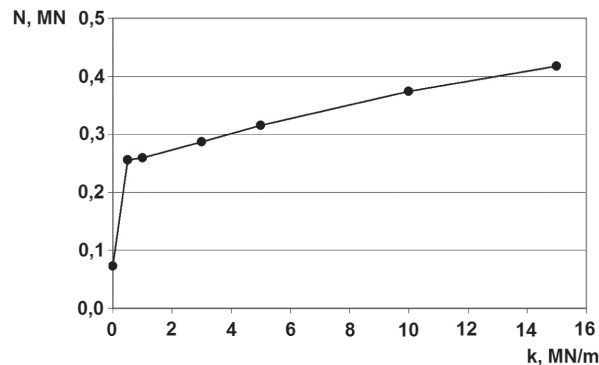
W trakcie badań analizowano wpływ sposobu obciążenia odrzwi (długości obciążonego odcinka stropnicy) na ich nośność oraz wpływ sztywności odporu ociosów na nośność odrzwi. Uwzględniono przy tym wytrzymałość kształtownika V29 wykonanego ze stali wg PN-H-93441-1 [18]. Z analiz wynika, że wraz z wydłużeniem odcinka stropnicy poddanego działaniu obciążenia wyraźnie wzrasta nośność odrzwi. Widać to na wykresie przedstawionym na rysunku 10. W przypadku analizowanego modelu i sztywności każdego z elementów modelujących odpór ociosu (tzw. wahaczy) na poziomie $k = 15 \text{ MN/m}$ odrzwia poddane obciążeniu prawie punktowemu (obciążony odcinek stropnicy $L = 200 \text{ mm}$) charakteryzują się nośnością $N = 183 \text{ kN}$, natomiast gdy obciążenie działa na stropnicę na odcinku $5,94 \text{ m}$, nośność osiąga wartość $N = 417 \text{ kN}$.



Rys. 10. Nośność odrzwi N w zależności od długości obciążonego odcinka stropnicy L dla sztywności elementów modelujących odpór ociosów $k = 15 \text{ MN/m}$

Bardzo interesujące wnioski można także wyciągnąć z analizy wpływu sztywności odporu na nośność odrzwi. Przy założeniu, że obciążenie działa na całej długości stropnicy w zależności od sztywności odporu nośność odrzwi może zmieniać się w zakresie od 72 kN przy braku odporu ociosów do 417 kN przy szczelnej, sztywnej wykładce. Zmiany te przedstawia wykres na rysunku 11. Wynika z tego konieczność zapewnienia sztywnego odporu ze strony ociosów, zwłaszcza w narożu, na granicy stropu i ociosów.

Dodatkowo zwrócono uwagę na siły wewnętrzne i naprężenia zredukowane w łukach wywołane maksymalnym obciążeniem przenoszonym przez odrzwia. W tabeli 1 przedstawiono odczyty tych wielkości w charakterystycznych miejscach.



Rys. 11. Nośność odrzwi N w zależności od sztywności k elementów modelujących odpór ociosów przy obciążeniu działającym na całej długości stropnicy

Tabela 1

Siły wewnętrzne i naprężenia zredukowane w charakterystycznych miejscach odrzwi w chwili osiągnięcia ich nośności dla przypadku obciążenia działającego na całej długości stropnicy i wybranych sztywności odporu ociosów (przekroje, w których następuje utrata nośności kształtownika pogrubiono)

Miejsce odczytu	Sztywność elementów modelujących odpór ociosów	Przekrój	Siła osiowa	Siła tnąca	Moment zginający	Naprężenia zredukowane
	k [MN/m]		N [kN]	T [kN]	M_g [kNm]	σ_{red} [MPa]
	0	A	19,3	29,2	10,0	143,8
		B	8,8	6,5	57,7	625,0
	0,5	A	139,7	56,1	50,9	581,7
		B	115,9	15,9	54,3	625,0
	15,0	A	331,9	23,9	47,6	625,0
		B	312,9	16,3	31,4	434,6

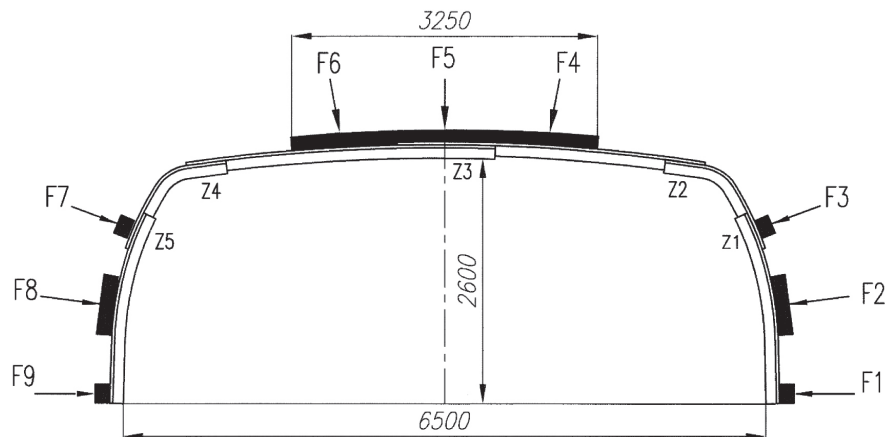
Jak wynika z przedstawionego zestawienia w przypadku braku odporu ociosów, uszkodzeniom ulega stropnica tuż przy złączu ciernym (przekrój B). Powstają w tym miejscu momenty zginające o dużych wartościach, a odrzwia pracują jak sztywne, ponieważ przy niewielkich wartościach sił osiowych nie mogą wystąpić zsuwy w zakładkach [19–21]. Sytuacja ta ma miejsce już przy niewielkich wartościach obciążenia. Natomiast przy sztywnym odporze ociosów utrata nośności odrzwi następuje przez przekroczenie wytrzymałości elementu narożnego w miejscu o dużej krzywiznie (tzw. hokejki). Jednocześnie w stropnicy naprężenia mają wyraźnie niższe wartości, a duże siły osiowe i niewielki moment zginający tuż przy złączu ciernym umożliwiają zsuw w zakładkach i pracę odrzwi jako podatne. Dodatkowo przedstawiona analiza wskazuje na znaczenie elementu narożnego w nośności całych odrzwi. Element ten musi być wykonany dokładnie i z odpowiednich materiałów, tym bardziej że proces gięcia kształtownika V na tak mały

promień stawia szereg wymagań co do parametrów materiałowych.


Prototypy odrzwi w skali naturalnej są badane w stanowisku badawczym w Zakładzie Badań Urządzeń Mechanicznych i Skał Głównego Instytutu Górnictwa, przedstawionym na rysunku 12. W trakcie badań odrzwia w stanie usztywnionym i podatnym zostają poddane obciążeniom statycznym. Celem tych badań jest wyznaczenie rzeczywistych parametrów nośnościowo-deformacyjnych nowej konstrukcji odrzwi i potwierdzenie ich poprawnej pracy. Badania odrzwi prowadzone były wg normy PN-G-15000-05 [22], zaś obecnie stosowana jest norma PN-G-15022 [23]. Określają one sposób podparcia i obciążania, a także pozostałe parametry badania. Na rysunku 13 przedstawiono schemat obciążania badanych odrzwi na stanowisku badawczym. Oprócz badań całych konstrukcji przeprowadza się też badania złączy ciernych, które odpowiadają za właściwą pracę odrzwi [19–21].



Rys. 12. Stanowisko badawcze z zainstalowanymi odrzwiami w trakcie badań



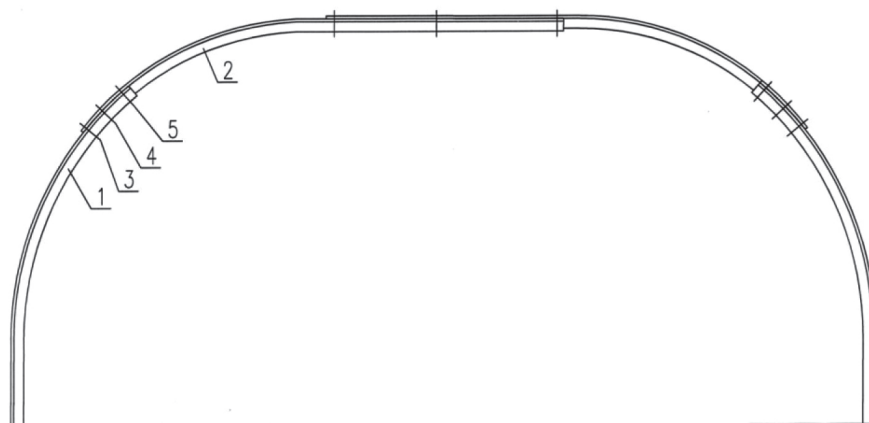
Rys. 13. Schemat obciążenia odrzwi lukowo-prostych w stanowisku badawczym (F_4, F_5, F_6 – siły czynne, $F_1, F_2, F_3, F_7, F_8, F_9$ – siły bierne)

Wyniki uzyskane ze stanowiskowych badań konstrukcji odrzwi pozwalają na porównanie z wynikami obliczeń numerycznych i badań zarówno innych konstrukcji przeznaczonych do rozciniek, jak i typowych odrzwi obudowy ŁP. Analiza wyników pozwala również na doprecyzowanie cyfrowych modeli odrzwi (kalibracja modeli) i jest podstawą do wprowadzenia ewentualnych zmian w ich konstrukcji. Sprawozdanie z badań stanowiskowych odrzwi i dokumentacja techniczno-ruchowa są podstawą do udzielenia producentowi certyfikatu uprawniającego do oznaczania odrzwi znakiem bezpieczeństwa „B” .

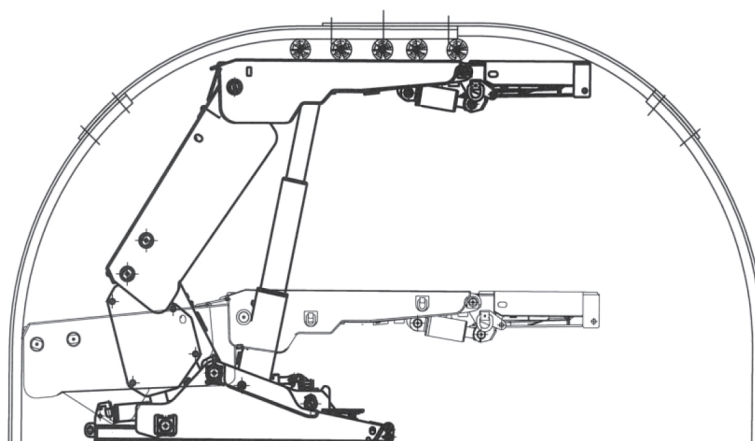
4. ODRZWI DO ROZCINEK ŚCIANOWYCH PRODUKCJI HUTY ŁABĘDY

Jednym z pierwszych rozwiązań konstrukcyjnych przeznaczonych do zabezpieczania rozciniek ściannych jest typoszereg odrzwi ŁPKO. Został on opracowany na podstawie sugestii zawartych w projekcie katalogu z 1995 roku [9] oraz doświadczeń górniczych w czasie wykonywania robót przygotowawczych.

Typoszereg usystematyzowano i rozszerzono o nowe warianty wykonywane ze wszystkich kształtowników typu V powszechnie stosowanych w kopalniach. Odrzvia obudowy typu ŁPKO i ŁPKOw przeznaczone są głównie do zabezpieczania rozruchowych rozciniek ściannych, w których zabudowywane będą sekcje obudowy zmechanizowanej. W konstrukcji odrzwi ŁPKO wykorzystywane są znormalizowane i produkowane seryjnie łuki ociosowe trzelementowych odrzwi ŁP i ŁPP (w rozmiarach 7–10). W celu precyzyjnego dopasowania geometrii odrzwi do planowanego wyrobiska dopuszcza się modyfikację odrzwi przez skrócenie łuku ociosowego od strony odcinka prostego oraz zmianę wielkości zakładek. W ostatnim czasie typoszereg odrzwi ŁPKO został rozszerzony o wariant ŁPKOw oparty na łukach ociosowych trzelementowych odrzwi ŁPw i ŁPPw, które charakteryzują się jednym promieniem gięcia łuków ociosowych i stropnicowych [24–27]. Rozszerzony typoszereg obejmuje odrzvia o szerokości 5400–8485 mm i wysokości 3145–5320 mm. Na rysunkach 14 i 15 pokazano konstrukcję odrzwi ŁPKOw i ŁPKO, a na rysunku 16 [28] – rozcinke zabezpieczoną obudową ŁPKO.



Rys. 14. Odrzvia ŁPKOw: 1 – łuk ociosowy odrzwi ŁP, 2 – łuk ociosowy odrzwi ŁPP zabudowany jako stropnicowy, 3–5 – strzemiona



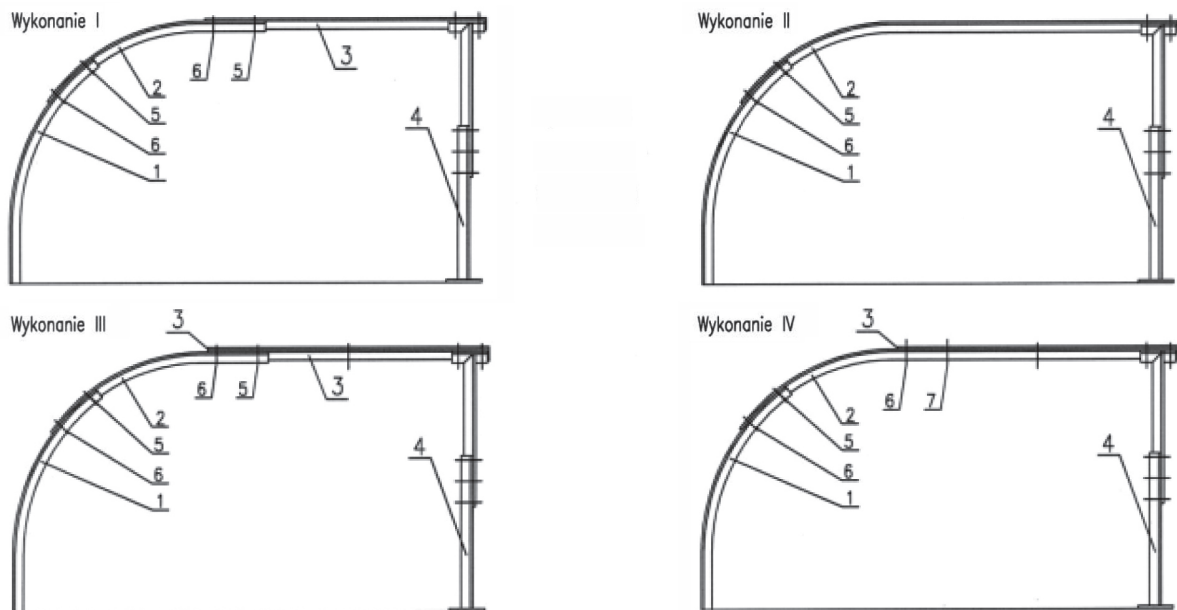
Rys. 15. Odrzvia ŁPKO z zabudowaną sekcją (widok sekcji przed rozparciem i po nim)



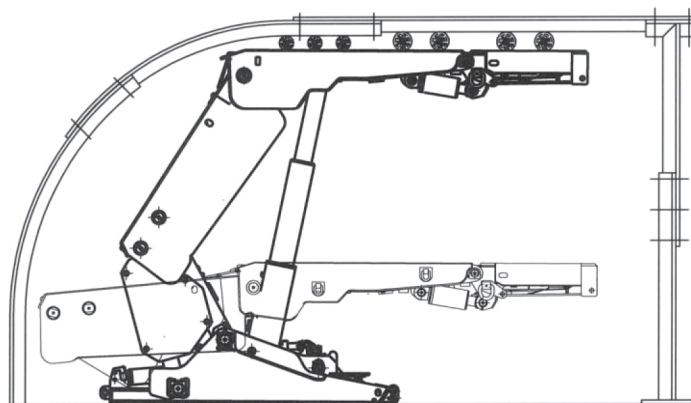
Rys. 16. Rozcinka zabezpieczona obudową ŁPKO

Pewną modyfikacją typoszeregu ŁPKO są odrzwia ŁPro/B. Na jednym odciosie zabudowana jest „połówka” odrzwi ŁPKO, natomiast na drugim – prosty odcinek kształtownika V podparty stojakiem. Uzyskane w ten sposób odrzwia mają obrys łukowo-prostokąty [29]. W 2003 roku zostały opracowane dwa typoszeregi tych odrzwi – ŁPro/A i ŁPro/B. Odrzwia łukowo-prostokątne typoszeregu ŁPro/B przeznaczone są głównie do zabezpieczania rozcinek ścianowych i kanałów likwidacyjnych ścian, gdzie sprawdzają się w trakcie zbrojenia i rozruchu ściany, a także przy kończeniu wybiegu ścian. Odrzwia te w konfiguracji z odrzwiami KaPa [30] mogą być stosowane z po-

wodzeniem do zabezpieczania skrzyżowań wyrobisk korytarzowych [31]. Typoszereg odrzwi ŁPro/B występuje w czterech wariantach wykonania, przedstawionych na rysunku 17. Wykonania I i III stanowią wersję z dwuelementową stropnicą, a wykonanie II i IV to wariant z jednoelementową stropnicą nazywaną w żargonie górniczym „fajką”. Typoszereg obejmuje odrzwia o szerokości 3120–7900 mm i wysokości 3200–5420 mm. Z racji obrysu odrzwi doskonale wpisują się w nie sekcje obudowy zmechanizowanej, co pokazano na rysunku 18. Natomiast przykłady zastosowania tej obudowy w wyrobisku przedstawiono na rysunkach 19 i 20.



Rys. 17. Odrzwia ŁPro/B: 1 – łuk ociosowy, 2 – łuk ociosowy górny, 3 – stropnica prosta, 4 – stojak (element wsporczy), 5–7 – strzemiona



Rys. 18. Odrzwia ŁPro/B, wykonanie I z zabudowaną sekcją (widok sekcji przed rozparciem i po nim)



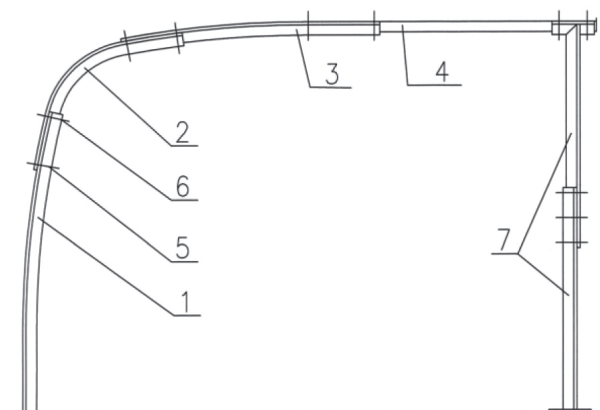
Rys. 19. Rozcinka rozruchowa zabezpieczona obudową ŁPro/B



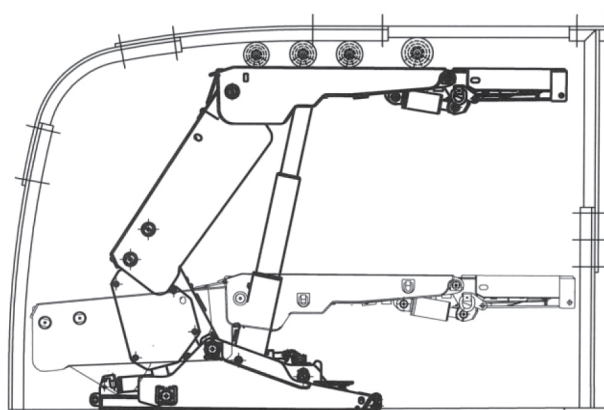
Rys. 20. Kanał likwidacyjny ściany zabezpieczony obudową ŁPro/B

Odmianą wykorzystującą ideę odrzwi ŁPro/B są odrzwia łukowo prostokątne typoszeregu ŁPro/A, przedstawione na rysunkach 21 i 22. Podobnie jak odrzwia typoszeregu ŁPro/B przeznaczone są głównie do zabezpieczania rozcinek ścianowych, kanałów likwidacyjnych ścian oraz skrzyżowań wyrobisk chodnikowych. Typo-

szereg powstał w 2003 roku na potrzeby LW „Bogdanka”. Konstrukcja oparta jest na elementach łukowych odrzwi ŁPrP K, omówionych w dalszej części artykułu, a zakres gabarytów obejmuje szerokość 5900–6900 mm i wysokość 3300–4400 mm. Przykłady zastosowania odrzwi ŁPro/A przedstawiono na rysunkach 23 i 24.



Rys. 21. Odrzwia ŁPro/A: 1 – łuk ociosowy, 2 – łuk ociosowy górny, 3 – łuk stropnicowy, 4 – stropnica prosta, 7 – stojak (element wsporczy), 5, 6 – strzemiona



Rys. 22. Odrzwia ŁPro/A z zabudowaną sekcją (widok sekcji przed rozparciem i po nim)



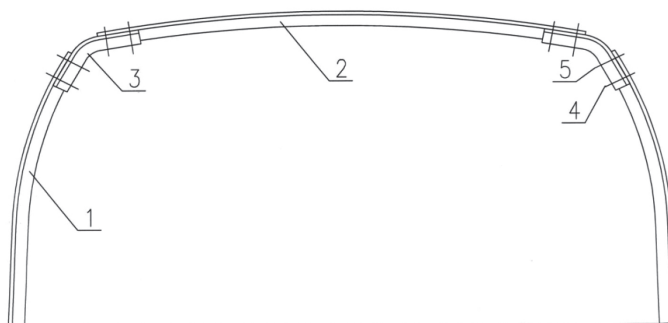
Rys. 23. Rozcinka ścianowa zabezpieczona obudową ŁPro/A



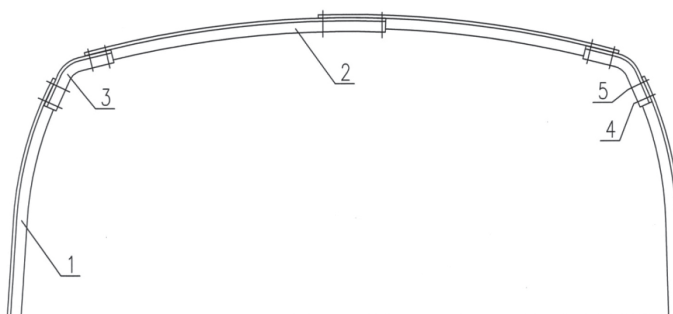
Rys. 24. Rozcinka ścianowa zabezpieczona obudową ŁPro/A

Obserwacje pracy obudów z prostoliniową stropnicą i zidentyfikowane mankamenty z tym związane spowodowały opracowanie nowego typoszeregu o łukowej, spłaszczonej stropnicy – o niewielkiej krzywiznie. Jedną z pierwszych konstrukcji tego typu są odrzwia ŁPS – pierwsza wersja powstała w 1995 roku. Są to odrzwia łukowo-proste z przeznaczeniem do wykonywania obudowy rozciniek ścianowych. Konstrukcja odrzwi obejmuje dwa warianty: pierwszy –

z jednoelementową stropnicą, przedstawiony na rysunku 25, oraz wariant drugi z dwuelementową stropnicą, pokazaną na rysunku 26. Z uwagi na sposób połączenia łuku stropnicowego z łukiem ociosowym (krótka zakładka) były to odrzwia sztywne. Brak podatności odrzwi znacznie ograniczał ich zastosowanie, w rezultacie czego obudowa ta została zastąpiona przez odrzwia ŁPrP, stosowane do obecnych czasów.



Rys. 25. Odrzwia ŁPS z jednoelementową stropnicą: 1 – łuk ociosowy, 2 – łuk stropnicowy, 3 – łącznik, 4, 5 – strzemiona



Rys. 26. Odrzwia ŁPS z dwuelementową stropnicą: 1 – łuk ociosowy, 2 – łuk stropnicowy, 3 – łącznik, 4, 5 – strzemiona

Wspomniane wcześniej odrzwia łukowo-proste ŁPrP są kolejnym typoszeregiem odrzwi wpisującym się w trend konstrukcji dedykowanych do wykonywania obudów przecieków ścianowych. Został on opracowany w 1997 roku w Głównym Instytucie Górnictwa. Odrzwia łukowo prostokątne podatne ŁPrP z kształ-

towników typu V przeznaczone są głównie do zabezpieczania rozciniek ścianowych, jak również innych wyrobisk korytarzowych funkcyjnych o zwiększonych wymiarach poprzecznych. Spłaszczona geometria odrzwi w stosunku do normowych odrzwi ŁP ogranicza urabianie skały płonnej w strefie stropowej

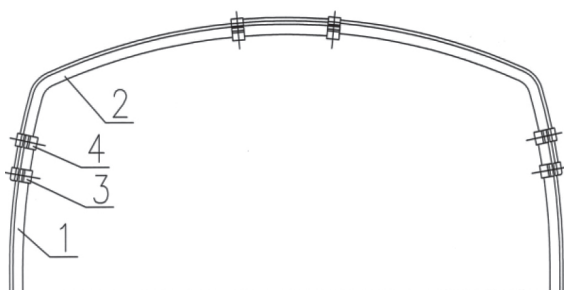
w przypadku niskich pokładów, a zwiększona szerokość ułatwia zbrojenie ścian wydobywczych. Typoszereg obejmuje odrzwia w trzech wariantach wykonania:

- czteroelementowym o szerokości 4700–7650 mm i wysokości 2100–3000 mm (rys. 27 i 28), ze stropnicą o trzech krzywiznach, wyprofilowaną do połączenia z łukiem ociosowym;
- pięcioelementowym o szerokości 3700–4200 mm i wysokości 2100–3000 mm (rys. 29 i 30), z niedzieloną stropnicą i elementami narożnymi do łączenia stropnicy z łukami ociosowymi;
- sześćcioelementowym o szerokości 4700–7650 mm i wysokości 2100–3000 mm (rys. 31 i 32), z dzieloną stropnicą i elementami narożnymi do łączenia stropnic z łukami ociosowymi.

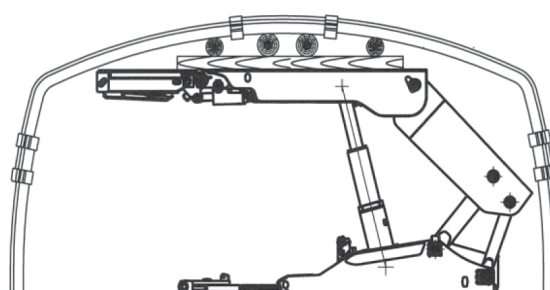
Odrzwia zyskały uznanie działów górniczych ds. robót przygotowawczych, czego dowodem mogą być

przykładowe zastosowania, przedstawione na rysunkach 33 i 34 [10].

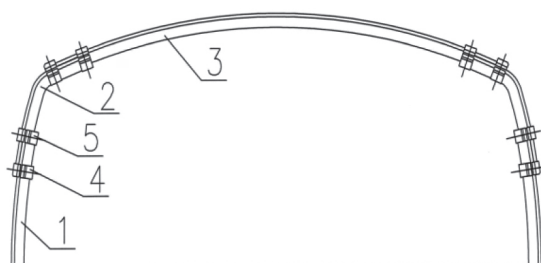
W roku 2000 typoszereg odrzwi ŁPrP został rozszerzony o warianty ŁPrP wykonane z ciężkich kształtowników – V32 i V36 pod kątem zastosowań w LW „Bogdanka”. Odrzwia zostały zaprojektowane w dwóch wykonaniach nieznacznie się różniących obrysem, a ich oznaczenia nawiązywały do ówczesnych nazw producentów Huty Łabędy Ł i Huty Katowice K. Dodatkowo zaprojektowane zostały spągnice, zabudowywane opcjonalnie w razie konieczności. Odrzwia przewidziano do zabezpieczania wyrobisk w zakresie szerokości 4800–6400 mm i wysokości 3300–4400 mm. Na rysunkach 35 i 36 przedstawiono odrzwia ŁPrP Ł, a na rysunkach 37 i 38 – odrzwia ŁPrP K. Natomiast przykładowe realizacje obudowy przedstawiono na rysunkach 39–44.



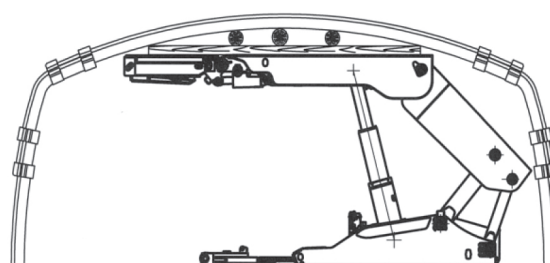
Rys. 27. Odrzwia ŁPrP czteroelementowe:
1 – łuk ociosowy, 2 – łuk stropnicowy, 3, 4 – strzemiona



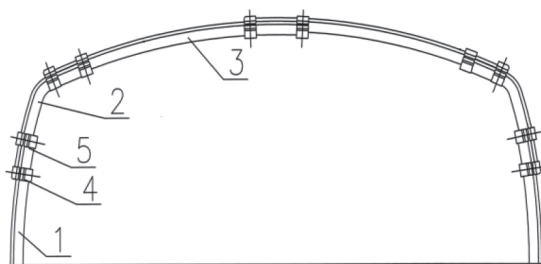
Rys. 28. Odrzwia ŁPrP czteroelementowe: widok z zabudowaną sekcją obudowy zmechanizowanej



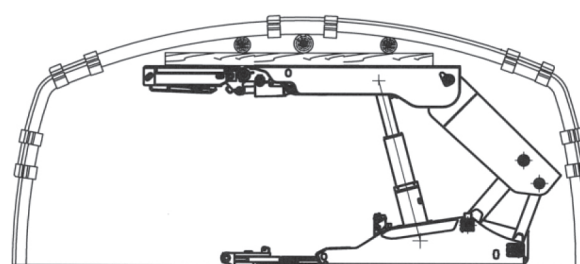
Rys. 29. Odrzwia ŁPrP pięcioelementowe:
1 – łuk ociosowy I, 2 – łuk ociosowy II,
3 – łuk stropnicowy, 4, 5 – strzemiona



Rys. 30. Odrzwia ŁPrP pięcioelementowe: widok z zabudowaną sekcją obudowy zmechanizowanej



Rys. 31. Odrzwia ŁPrP sześćcioelementowe: 1 – łuk ociosowy I, 2 – łuk ociosowy II, 3 – łuk stropnicowy,
4, 5 – strzemiona



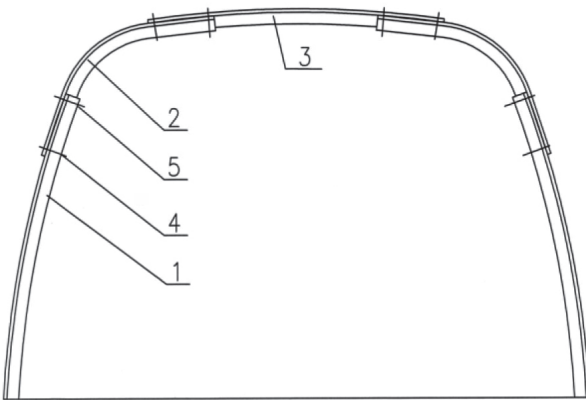
Rys. 32. Odrzwia ŁPrP sześćcioelementowe: widok z zabudowaną sekcją obudowy zmechanizowanej



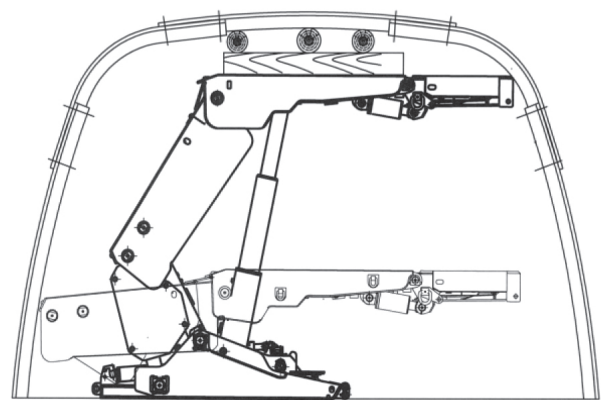
Rys. 33. Rozcinka ścianowa zabezpieczona odrzwiami ŁPrP czteroelementowymi



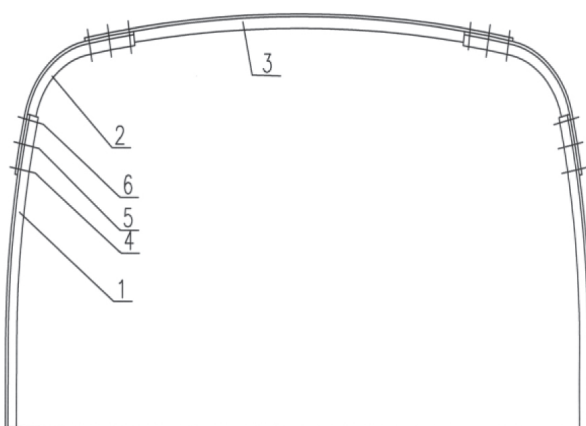
Rys. 34. Zbrojenie ściany, rozcinka zabezpieczona odrzwiami ŁPrP czteroelementowymi



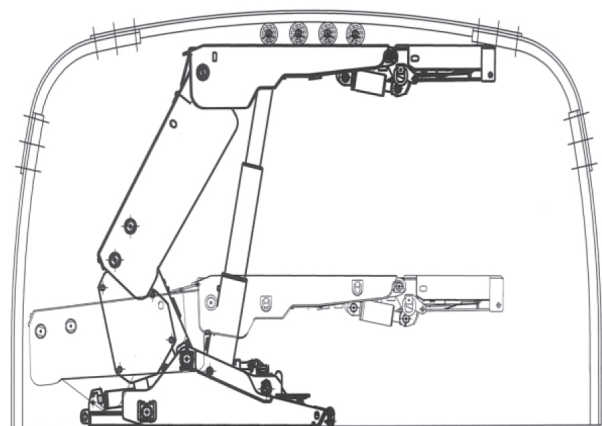
Rys. 35. Odrzwia ŁPrP, wykonanie Ł:
1 – łuk ociosowy I, 2 – łuk ociosowy II,
3 – łuk stropnicowy, 4, 5 – strzemiona



Rys. 36. Odrzwia ŁPrP, wykonanie Ł z zabudowaną sekcją (widok sekcji przed rozparciem i po nim)



Rys. 37. Odrzwia ŁPrP, wykonanie K: 1 – łuk ociosowy I,
2 – łuk ociosowy II, 3 – łuk stropnicowy,
4-6 – strzemiona



Rys. 38. Odrzwia ŁPrP, wykonanie K z wprowadzoną sekcją obudowy zmechanizowanej



Rys. 39. Rozcinka ścianowa zabezpieczona obudową ŁPrP, wykonanie Ł



Rys. 40. Rozcinka ścianowa zabezpieczona obudową ŁPrP, wykonanie K



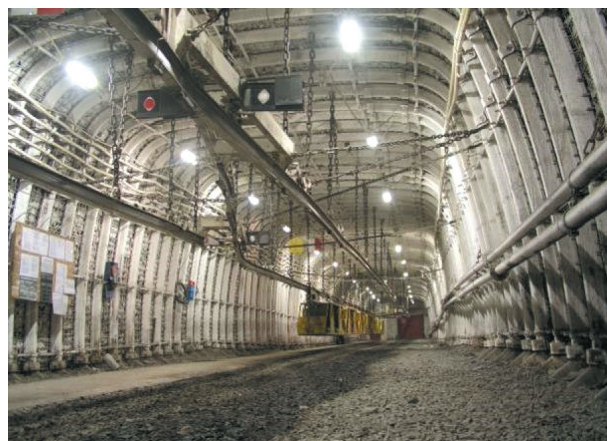
Rys. 41. Zbrojenie ściany w rozcince ścianowej zabezpieczonej obudową ŁPrP, wykonanie K



Rys. 42. Zbrojenie ściany w rozcince ścianowej zabezpieczonej obudową ŁPrP, wykonanie K



Rys. 44. Dworzec zrealizowany w obudowie ŁPrP, wykonanie Ł



Rys. 43. Zbrojenie ściany w rozcince ścianowej zabezpieczonej obudową ŁPrP, wykonanie K

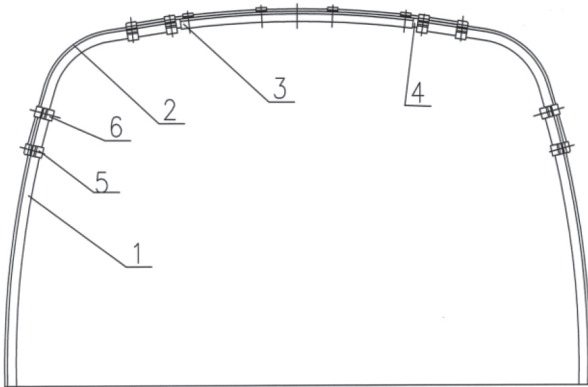
Pewną modyfikacją i rozszerzeniem powyższych są odrzwa łukowo-proste wzmocnione ŁPrw, przedstawione na rysunkach 45 i 46, wykonywane są z kształtowników V29, V32, V34 i V36. Obudowa została zaprojektowana z myślą o zabezpieczeniu rozciniek rozruchowych ścian prowadzonych z podsadzką hydrauliczną, umożliwiającą uzbrojenie w sekcje o znacz-

nych wymiarach. Z tego też wynikają znaczne, jak na tamte czasy, gabaryty odrzwi. Pierwotnie typoszereg obejmował odrzwa przeznaczone do wyrobisk o maksymalnej szerokości 7200 mm i wysokości 5000 mm i był szeroko konsultowany z pierwszym użytkownikiem – Kopalnią Węgla Kamiennego „Wujek” [32]. Obecny typoszereg został kilka lat temu istotnie rozbudowany

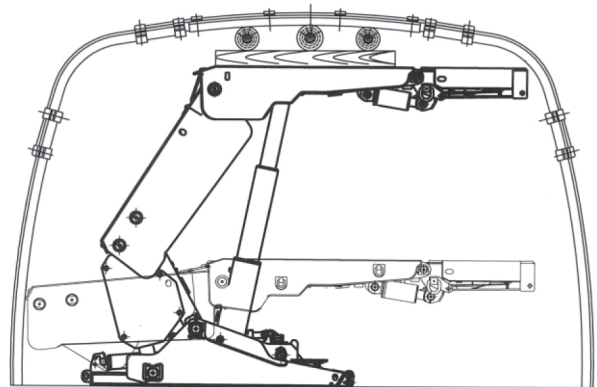
o kolejne wielkości odrzwi. Wysokie parametry podpornościowe odrzwi przy znacznych ich szerokościach i małej krzywiznie stropnicy osiągnięto przez zastosowanie łuku wzmacniającego stropnicę, wykonanego z kształtownika stosowanego na jarzma strzemion. Na rysunkach 47 i 48 przedstawiono przykłady praktycznego zastosowania odrzwi ŁPrw [33].

W tym samym czasie podjęto próbę połączenia obudowy prostokątnej z łukową (nieco spłaszczoną). W efekcie tego powstały odrzwia łukowo-prostokątne, podwójne typu KaPa [30, 34, 35]. Przeznaczone były

przede wszystkim do rozcinek ścianowych o znacznych szerokościach, wykonywanych w trudnych warunkach geologiczno-górnich, gdzie z uwagi na skały stropowe o niskiej wytrzymałości nie było możliwe przykotwienie stropnicy. Ich konstrukcja jest *de facto* połączeniem odrzwi ŁPKO z odrzwiami prostokątnymi. Konstrukcję tych odrzwi przedstawiono na rysunkach 49 i 50. Odrzwia tego typu w połączeniu z odrzwiami ŁPro doskonale nadają się również do zabezpieczania wlotu do wyrobiska w miejscu skrzyżowania [31].



Rys. 45. Odrzwia ŁPrw: 1 – łuk ociosowy, 2 – łuk ociosowy górny, 3 – łuk stropnicowy, 4 – łuk stropnicowy wzmacniający, 5, 6 – strzemiiona



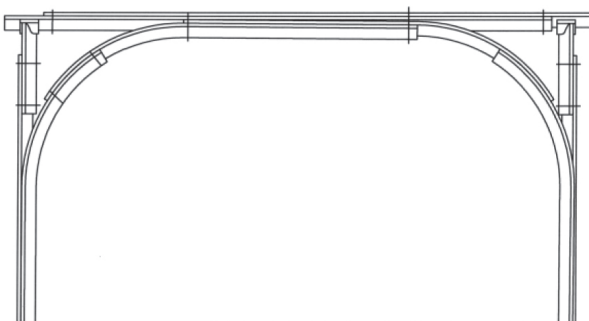
Rys. 46. Odrzwia ŁPrw z wprowadzoną sekcją obudowy zmechanizowanej



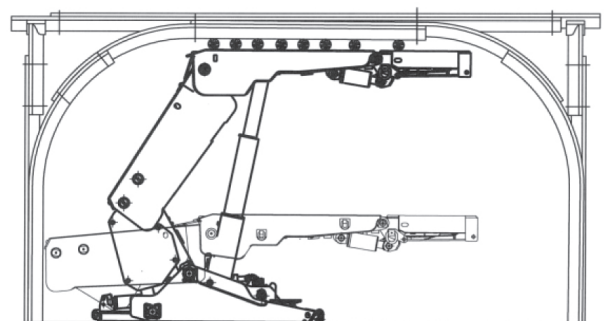
Rys. 47. Rozcinka zabezpieczona obudową ŁPrw



Rys. 48. Zbrojenie ściany, przecinka zabezpieczona obudową ŁPrw



Rys. 49. Odrzwia KaPa



Rys. 50. Odrzwia KaPa z zabudowaną sekcją (widok sekcji przed rozparciem i po nim)

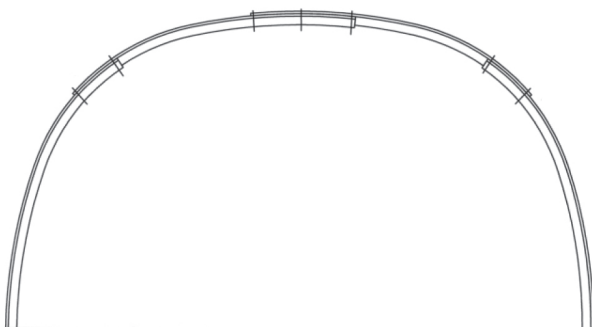
W 2014 roku w Głównym Instytucie Górnictwa został opracowany nowy uniwersalny typoszereg odrzwi łukowych podatnych o oznaczeniu ŁPS [36]. Mimo że oznaczeniem nawiązują do wcześniejszej konstrukcji, są to zupełnie inne odrzwia niż prezentowane wcześniej. Odrzwia przeznaczone są do zabezpieczania wszystkich rodzajów wyrobisk korytarzowych w podziemnych zakładach górniczych. Ich uniwersalność polega na tym, że można je dowolnie konfigurować z 17 wielkości łuków. Dzięki odpowiedniej geometrii łuki różnych wielkości można łączyć ze sobą, uzyskując zarówno zróżnicowane gabaryty odrzwi, jak i różny ich obrys. Poszerza to zakres stosowania odrzwi także poza rozcinke. W ten sposób uzyskano uniwersalny typoszereg odrzwi przy maksymalnej unifikacji elementów.

Odrzwia obudowy ŁPS II generacji zaprojektowane zostały jako czteroelementowe o zarysie łukowym z kształtowników V29, V32 i V36. W podstawowym wykonaniu składają się z czterech jednakowych łuków tej samej wielkości. Każdy z łuków posiada dwie różne krzywizny, z których jedna jest wspólna dla całego typoszeregu. W całym typoszeregu odrzwi zasada kompletowania łuków jest jednakowa – łuki łączone

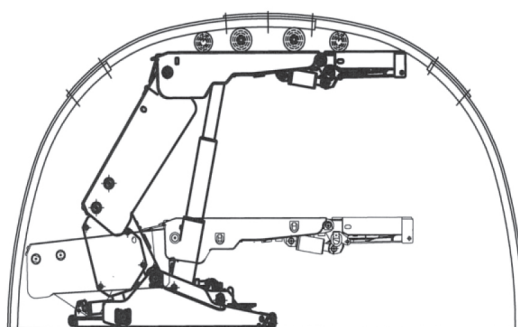
są ze sobą końcami o identycznych parametrach geometrycznych. Konstrukcję tych odrzwi przedstawiono na rysunkach 51 i 52 [8], a na rysunkach 53 i 57 [37] – zbrojenie ściany. Obecnie typoszereg podstawowy (cztery łuki jednakowe) obejmuje 18 odrzwi natomiast typoszereg kombinowany (dwie pary łuków różnych rozmiarów) daje możliwość uzyskania kolejnych 306 wielkości odrzwi. Nominalny zakres wymiarowy całego typoszeregu obejmuje szerokości od 5400 mm do 8800 mm i wysokości od 2790 mm do 5200 mm. Z łuków nominalnych możliwe jest skompletowanie 324 różnych wielkości odrzwi, a uwzględniając możliwości zmiany długości łuków ociosowych i wartości zakładek, liczba kombinacji dodatkowo wzrasta.

Tak dużo wariantów odrzwi możliwych do uzyskania w ramach jednego typoszeregu spowodowało konieczność opracowania specjalnego ogólnodostępnego programu komputerowego wspomagającego projektowanie tych odrzwi [38]. Okno tego programu przedstawiono na rysunku 55.

W 2020 roku typoszereg odrzwi ŁPS II generacji został rozszerzony o warianty asymetryczne, przedstawione na rysunkach 56 i 57 [8].



Rys. 51. Uniwersalne odrzwia ŁPS II



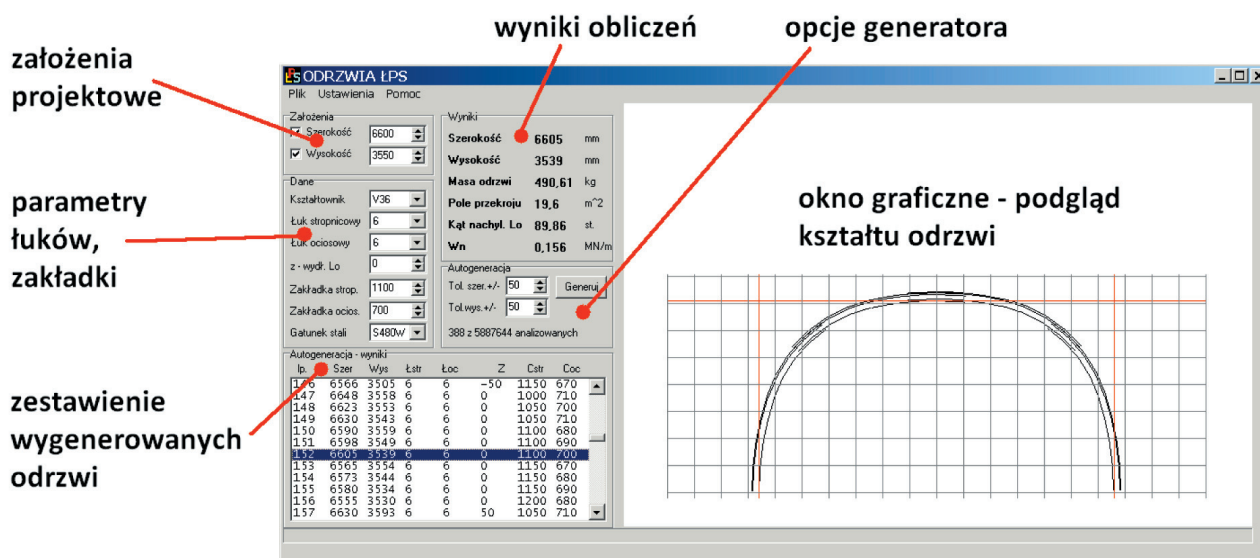
Rys. 52. Uniwersalne odrzwia ŁPS II z wprowadzoną sekcją obudowy zmechanizowanej



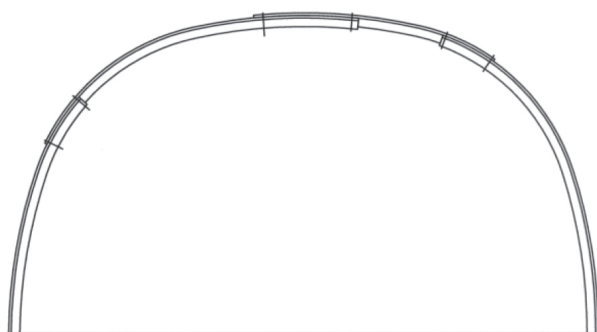
Rys. 53. Zbrojenie przecinki ścianowej wykonanej w uniwersalnych odrzwiach ŁPS II



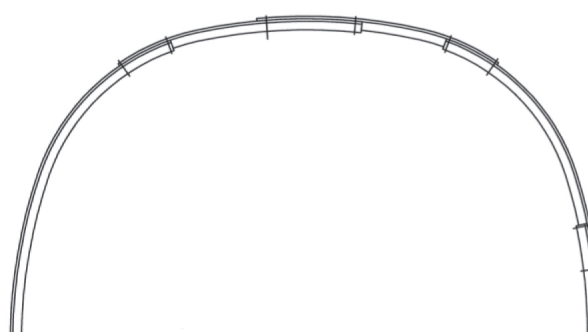
Rys. 54. Zbrojenie przecinki ścianowej wykonanej w uniwersalnych odrzwiach ŁPS II



Rys. 55. Główne okno programu wspomagającego projektowanie odrzwi ŁPS II [23]



Rys. 56. Uniwersalne odrzwi ŁPS II generacji w wersji asymetrycznej



Rys. 57. Uniwersalne odrzwi ŁPS II generacji w wersji asymetrycznej z dzielonym łukiem ociosowym

5. PODSUMOWANIE

Na przestrzeni ostatnich czterdziestu lat w ramach trójstronnej współpracy Głównego Instytutu Górniczego, Huty Łabędy i kopalń węgla kamiennego opracowanych zostało wiele typoszeregów drzwi dedykowanych do zabezpieczania rozcięć ściennych. Wiele z nich obejmuje dodatkowo kilka wersji wykonań, co daje użytkownikom – kopalniom kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt wariantów konstrukcji drzwi. Rozwiązania uwzględniają różnorodność warunków geologiczno-górnictwowych panujących w poszczególnych kopalniach oraz indywidualnych uwarunkowań wynikających z technologii eksploatacji i stosowanych obudów zmechanizowanych.

Ta liczba rozwiązań konstrukcyjnych pozwala na dobór obudowy optymalnej do specyficznych uwarunkowań – wymaganych gabarytów, spodziewanych obciążeń ze strony górotworu, wysokości ściany,

co przekłada się na bezpieczeństwo oraz efektywność wykonywania prac zarówno w trakcie wprowadzania i rozpierania sekcji obudowy zmechanizowanej, jak i późniejszego rozruchu ściany.

Opracowane rozwiązania są efektem wieloletnich prac projektowych, badawczych oraz zbierania informacji na temat pracy obudowy drzwiowej i współpracy z obudową zmechanizowaną.

Jednocześnie należy spodziewać się dalszego rozwoju tego typu obudowy, szczególnie w sytuacji zwiększania głębokości eksploatacji, pogarszających się warunków geologiczno-górnictwowych i co za tym idzie – wzrostu obciążeń. Ponadto bardzo prawdopodobne jest zwiększanie rozmiarów poprzecznych rozcięć ścian i obudowy wynikające z postępującej koncentracji wydobywania i zwiększania gabarytów sekcji obudowy zmechanizowanej i całych kompleksów ściennych. Wiązać się to będzie z pewnością ze zwiększonym udziałem kotwi w sposobach zabezpie-

czenia rozciniek ścian (obudowa kotwowo-podporowa, przykotwienie odrzwi), zwłaszcza na skutek konieczności redukcji kosztów obudowy przy zachowaniu wysokiego poziomu bezpieczeństwa [39, 40]. Innym kierunkiem rozwoju tych obudów, realizowanym jednocześnie, może być dalsze dostosowanie do warunków górniczych – do wysokości ściany czy typu i rozmiaru sekcji obudowy zmechanizowanej – przez odpowiedni dobór długości łuków i optymalne usytuowanie złączy ciernych. Pozwoli to na sprawniejszy wyjazd sekcji z rozcinke i uruchomienie ściany.

Literatura

- [1] PN-H-84042:2009: *Stale mikrostopowe na kształtowniki i akcesoria górnicze*.
- [2] ZN/TT/2012/1: *Stal mikrostopowa S550W na kształtowniki i akcesoria górnicze*.
- [3] PN-93-G-15000-02: *Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe podatne ŁP, z kształtowników typu V, typoszereg A. Wymiary*.
- [4] PN-93-G-15000-03: *Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe podatne ŁP, z kształtowników typu V, typoszereg A. Łuki*.
- [5] PN-G-15021:2019-05: *Obudowa wyrobisk górniczych. Odrzwia podatne z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe podatne ŁP z kształtowników typu V*.
- [6] Rotkegel M.: *Contribution to the problem of frame clear interval determination of rectangular steel, support*, „Archives of Mining Sciences” 2001, 46, 3: 267–289.
- [7] Rotkegel M.: *Siły wewnętrzne i reakcje podporowe w elementach obudowy prostokątnej*, „Kwartalnik Prace Naukowe Głównego Instytutu Górniczego” 2009, 1: 51–66.
- [8] Katalog Wyrobów dla Górniczego, Huta Łąbędy 2019.
- [9] Katalog obudów rozciniek ścianowych „Projekt” – Komisja ds. Obudów Zmechanizowanych i Kierowania Stropem w Podziemnych Zakładach Górniczych przy Centrum Mechanizacji Górniczego KOMAG, Gliwice 1997.
- [10] Bobek R., Śledź T., Ratajczak A., Mąka B., Głuch P.: *Doswiadczenia ze stosowania obudów podporowych i podporowo-kotwowych w przecinkach ścianowych w kopalni „Knurów-Szczygłowie”* *Ruch Knurów*, Warsztaty Górnicze 2012 z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”.
- [11] Prusek S., Rotkegel M., Bock S.: *Design and control of working support in Polish coal mines based on three-dimensional numerical modeling*, 28th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, USA, 2009.
- [12] Prusek S., Rotkegel M., Tor A.: *Przebieg kompleksowego procesu projektowania nowej konstrukcji obudowy wyrobisk korytarzowych*, Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2008: 333–351.
- [13] Chmielewski T., Nowak H.: *Mechanika budowy. Metoda przemieszczeń. Metoda Crossa. Metoda elementów skończonych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1996.
- [14] Rakowski G., Kacprzyk Z.: *Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1993.
- [15] Rusiński E.: *Metoda elementów skończonych. System COSMOS/M*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1994.
- [16] COSMOS/M – User’s Guide, Structural Research & Analysis Corp. Los Angeles, USA 1999.
- [17] PN-H-93441-3:2004: *Kształtowniki stalowe walcowane na gorąco dla górnictwa. Kształtowniki typu V. Wymiary*.
- [18] PN-H-93441-1:2013-12: *Kształtowniki stalowe walcowane na gorąco dla górnictwa. Ogólne wymagania i badania*.
- [19] Brodny J.: *Determining the working characteristic of a friction joint in a yielding support*, „Archives of Mining Sciences” 2010, 55, 4: 733–746.
- [20] Brodny J.: *Tests of Friction Joints in Mining Yielding Supports Under Dynamic Load*, „Archives of Mining Sciences” 2011, 56, 2: 303–318.
- [21] Pytlak A.: *Experimental studies of static and dynamic steel arch support load capacity and sliding joint temperature parameters during yielding*, „Archives of Mining Sciences” 2020, 65, 3: 469–491.
- [22] PN-G-15000-05:1992: *Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe otwarte. Badania stanowiskowe*.
- [23] PN-G-15022:2018: *Obudowa wyrobisk górniczych. Odrzwia podatne z kształtowników korytkowych. Wymagania wytrzymałościowe i badania*.
- [24] Rotkegel M., Prusek S., Grodzicki M.: *Odrzwia obudowy chodnikowej ze stali nowej generacji. Nowa konstrukcja odrzwi i wyniki przeprowadzonych badań*, Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2012.
- [25] Kuziak R., Żak A., Woźniak D., Rotkegel M., Grodzicki M., Nawrot J.: *Odrzwia obudowy chodnikowej ze stali II generacji*, „Prace Instytutu Metalurgii Żelaza” 2012, 4: 4–17.
- [26] Rotkegel M., Prusek S., Kuziak R., Grodzicki M.: *Obudowa ŁPw ze stali o podwyższonych parametrach mechanicznych II generacji*, Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2013.
- [27] Rotkegel M.: *Odrzwia obudowy ŁPw – projektowanie i wyniki badań*, „Journal of Sustainable Mining” 2013, 1, 12: 34–40.
- [28] Bobek R., Śledź T., Ratajczak A. i Głuch P.: *Porównanie obudowy ŁPKO i ŁPSp w rozcinke ściany wydobywczej w trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych w kopalni Knurów-Szczygłowie*, „Budownictwo Górnicze i Tunelowe” 2013, 4: 1–9.
- [29] Rotkegel M.: *The conditions for proper operation of the arch-rectangular support*, „Archives of Mining Science” 2019, 64, 1: 213–222.
- [30] Skrzyński K., Rotkegel M.: *Obudowa podwójna dla rozciniek ścianowych wykonywanych w trudnych warunkach geologicznych*, Prace Naukowe GIG, Seria „Konferencje”, Nr 31, Katowice 1999.
- [31] Rotkegel M., Bock S., Witek M., Adamiec P.: *Sposób zabezpieczenia połączenia wyrobisk korytarzowych w warunkach strefy uskokowej*, w: *Nowe spojrzenie na wybrane zagrożenia naturalne w kopalniach*, red. S. Prusek, J. Cygankiewicz, GIG, Katowice 2012: 5–14.
- [32] Kowalski E., Rotkegel M., Kościerzyński Z., Wójcik D.: *Obudowa łukowo-prosta przeznaczona głównie do zabezpieczenia rozciniek ścian z podsadzką hydrauliczną*, „Przegląd Górniczy” 2003, 2: 13–18.
- [33] Moszko M.: *Stosowanie obudów specjalnych do wykonywania rozciniek ścianowych w kopalni „Ziemowit”*, Konferencja Techniczno-Naukowa Huty Łąbędy, 2009.
- [34] Skrzyński K., Rotkegel M.: *Obudowa kombinowana prosto-łukowa jako skuteczne zabezpieczenie rozciniek ścianowych*, Szkoła Eksploatacji Podziemnej, Kraków – Szczyrk 2000.

- [35] Kowalski E., Rotkegel M., Rułka K., Skrzyński K.: *Obudowy drzwiowe proste i łukowo-proste*, w: *Stalowe obudowy drzwiowe. Nowe rozwiązania konstrukcyjne i metody projektowania*, red. K. Rułka, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2006.
- [36] Rotkegel M.: *Nowy typoszereg drzwi łukowo-prostych*, „Wiadomości Górnicze” 2016, 11: 604–611.
- [37] Łaskawiec Ł., Siudyła W., Caban P.: *Efekty techniczno-ekonomiczne z zastosowania uniwersalnych drzwi ŁPS w warunkach KWK „Bobrek-Piekary”*, „Budownictwo Górnicze i Tunnelowe” 2018, 1: 28–34.
- [38] Rotkegel M.: *Program komputerowy wspomagający dobór obudowy typu ŁPS*, „Wiadomości Górnicze” 2017, 1: 8–12.
- [39] Pytlik A.: *Comparative bench testing of steel arch support systems with and without rock bolt reinforcements*, „Archives of Mining Sciences” 2019, 64, 4: 747–764.
- [40] Pytlik A.: *Tests of steel arch and rock bolt support resistance to static and dynamic loading induced by suspended monorail transportation*, „Studia Geotechnica et Mechanica” 2019, 41, 2: 81–92.

inż. PIOTR CABAN

Huta Łabędy S.A.

ul. Anny Jagiellonki 45, 44-109 Gliwice

pcaban@hutralab.com.pl

prof. dr hab. inż. KAZIMIERZ STOIŃSKI

dr hab. inż. MAREK ROTKEGEL, prof. GIG

dr inż. SYLWESTER RAJWA

ADAM GNATOWSKI

dr inż. KRZYSZTOF PACZEŃNIOWSKI

Główny Instytut Górnictwa

pl. Gwarków 1, 40-166 Katowice

{k.stoinski; mrotkegel; srajwa; agnatowski;

kpaczesniowski}@gig.eu