

## ODRZWIA OBUDOWY ŁPw – PROJEKTOWANIE I WYNIKI BADAŃ

Marek Rotkegel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Główny Instytut Górnictwa, e-mail: mrotkegel@gig.eu

### Streszczenie

Coraz trudniejsze warunki geologiczno-górniczne skłaniają do poszukiwania nowych, efektywniejszych sposobów zabezpieczania wyrobisk korytarzowych. Nowe obudowy muszą charakteryzować się nie tylko wysoką wytrzymałością poszczególnych elementów, ale przede wszystkim podpornością wynikającą z optymalnego jej wykorzystania. Odrzwia obudowy typu ŁPw były projektowane właśnie z uwzględnieniem tych dwóch kierunków. Wysoką wytrzymałość łuków uzyskano w wyniku zastosowania stali o podwyższonych parametrach mechanicznych, natomiast wysokie parametry podpornościowe – przez odpowiednie ukształtowanie elementów odrzwi. Prace prowadzone były w ramach projektu celowego nr 6ZR8 2008 C/07012 realizowanego w latach 2010–2012 przez Hutę Łabędy SA, Instytut Metalurgii Żelaza i Główny Instytut Górnictwa.

### Słowa kluczowe

obudowa, nośność, badania, projekt

### 1. WPROWADZENIE

Ciągle pogarszanie się warunków geologiczno-górnicznych w kopalniach węgla kamiennego i związane z tym zwiększenie obciążeń działających na obudowę wynika przede wszystkim z prowadzenia eksploatacji na coraz większych głębokościach, występowania zaszłości eksploatacyjnych, a także zaburzeń geologicznych i wstrząsów górotworu. Jednocześnie na zwiększenie obciążeń niebagatelny wpływ ma stosowanie coraz większych przekrojów poprzecznych wyrobisk związanych ze stosowanymi maszynami i urządzeniami. W tej sytuacji dla zapewnienia bezpieczeństwa na odpowiednio wysokim poziomie konieczne jest stosowanie obudowy wyrobisk korytarzowych o wysokich parametrach podpornościowych. Nie bez znaczenia jest także pełne wykorzystanie tych parametrów, co można osiągnąć przez poprawę warunków pracy poszczególnych odrzwi – zastosowanie szczelnej wykładki za obudową, właściwej stabilizacji obudowy oraz skutecznego posadowienia na spodku wyrobiska i właściwego rozparcia o ociosy (Konopa, Sawka 1987; Pacześniowski 1997; Skrzyński i in. 1999). Dodatkowo w przypadku obudowy z podatnych odrzwi istotne jest odpowiednie zastosowanie złączy ciernych, adekwatne do wartości, rozkładu i charakteru działających obciążeń.

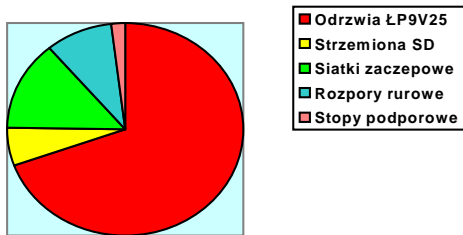
Na powyższe zagadnienia, szczególnie w ostatnich latach, nakładają się względy ekonomiczne. Kopalnie, reagując na realia wolnego rynku, są zmuszone do obniżania kosztów wydobywania węgla. Jest to powodem między innymi poszukiwania i stosowania nowych, bardziej efektywnych metod zabezpieczenia wyrobisk korytarzowych oraz pełnego wykorzystania już istniejących rozwiązań. Wychodząc naprzeciw, projektanci i producenci obudów podporowych ciągle rozszerzają zakres możliwych rozwiązań tak, aby było możliwe zastosowanie obudowy optymalnej dla konkretnych warunków geologiczno-górnicznych. W ten sposób powstała szeroka

gama typów odrzwi obudowy chodnikowej, wykonanych z różnych wielkości kształtowników V, ze stali o zróżnicowanych parametrach mechanicznych (Katalog...).

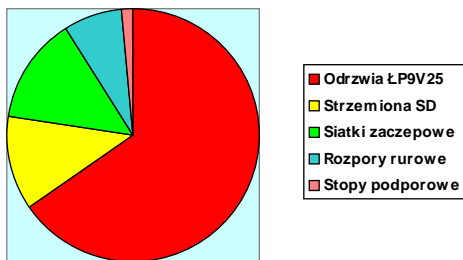
Podstawową obudową chodnikową stosowaną w polskich kopalniach węgla kamiennego jest stalowa podatna obudowa odrzwiowa. Głównym jej elementem są stalowe odrzwia, wykonywane z łuków z kształtowników typu V o wyróżnikach wielkości 25, 29, 32, 34 i 36, oznaczających masę jednego metra kształtownika. Należy zaznaczyć, że najczęściej stosowane są obecnie odrzwia z kształtowników V29 i V32. Najbardziej kosztotwórczym elementem obudowy są odrzwia, stanowiąc element o największym ciężarze. Zmniejszenie kosztów obudowy zarówno materiałowych, jak i związanych z jej zabudową, musi być zatem powiązane ze zmniejszeniem liczby odrzwi, w największym stopniu wpływających na zużycie stali w obudowie. Masowy udział stali w poszczególnych elementach obudowy w jednym metrze bieżącym obudowy przy podziałce 1 m przedstawiono na rysunku 1. Na rysunku 2 natomiast przedstawiono rozkład kosztów materiałowych przypadających na poszczególne elementy składające się na 1 m obudowy. Jak wynika z przedstawionych wykresów, najprostszym i najefektywniejszym sposobem na poprawę ekonomiczności zastosowanych rozwiązań i zmniejszenie ciężaru jednostkowego obudowy, jest zwiększenie rozstawu odrzwi, których udział w wadze i cenie obudowy przekracza 60%. Jednak odbywać się to może przy zachowaniu nośności obudowy.

Jak widać, zmniejszenie zużycia stali w obudowie chodnikowej związane jest w największym stopniu z podziałką obudowy. Jej zwiększenie bez dodatkowych działań przekłada się na zmniejszenie nośności całej obudowy. Dla zachowania odpowiedniego bezpieczeństwa konieczne jest w takich przypadkach zastosowanie odrzwi o większej nośności – o korzystniejszym kształcie lub wykonanych ze stali o podwyższonych parametrach mechanicznych. Taki kieru-

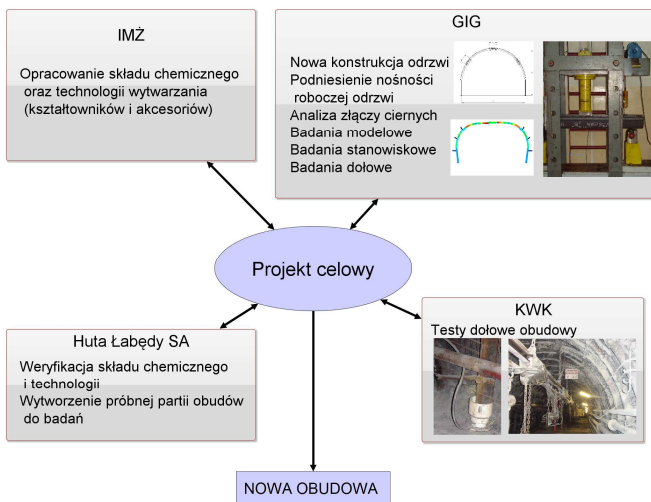
nek działań przyjęto w projekcie celowym nr 6ZR8 2008 C/07012, realizowanym w latach 2010–2012 przez Hutę Łabędy SA, Instytut Metalurgii Żelaza i Główny Instytut Górnictwa. Jednym z pierwszych etapów było opracowanie składu chemicznego nowego gatunku stali o wysokich parametrach mechanicznych oraz dopracowanie technologii walcowania kształtowników z tej stali. Drugim etapem było opracowanie konstrukcji odrzwi obudowy z nowej stali, pozwalającej w optymalny sposób wykorzystać wysoką wytrzymałość poszczególnych elementów. Zakres działań poszczególnych wykonawców przedstawiono w postaci schematu na rysunku 3.



Rys. 1. Udział stali poszczególnych elementów w wadze całej obudowy (Rotkegel i in. 2005)



Rys. 2. Rozkład kosztów materiałowych obudowy do zabezpieczenia 1 m wyrobiska (Rotkegel i in. 2005)

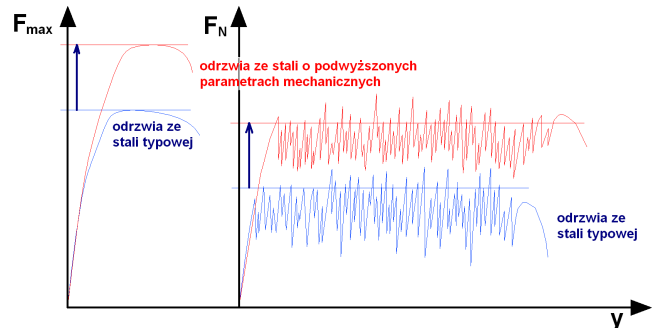


Rys. 3. Podział zadań realizowanych w ramach projektu celowego

## 2. NOWA KONSTRUKCJA ODRZWI

Najistotniejszym zadaniem realizowanym w ramach projektu celowego, było opracowanie konstrukcji odrzwi z nowego gatunku stali, o wysokiej podporności. Jak wynika z charakterystyk pracy odrzwi podatnych ŁP nośność robocza  $F_N$  (zsuwna) stanowi zaledwie 45–55% nośności maksymalnej odrzwi  $F_{max}$ . Zgodnie z normą PN-G-15000/05, stopień

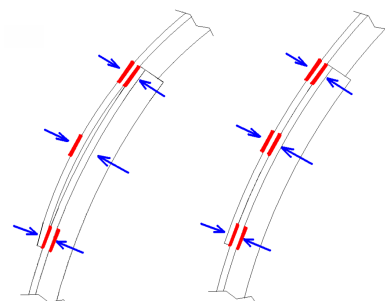
wykorzystania maksymalnej nośności odrzwi określa współczynnik  $k_4 = F_N/F_{max}$ . Zatem dla odpowiedniego wykorzystania maksymalnej nośności odrzwi konieczne jest jednoczesne podniesienie wartości obu tych parametrów rzutuujących na „podniesienie charakterystyki” odrzwi usztywnionych oraz podatnych. Ideę tych działań przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Istota podniesienia charakterystyk odrzwi:  $F_{max}$  – nośność maksymalna odrzwi (usztywnionych),  $F_N$  – nośność robocza odrzwi (podatnych),  $y$  – obniżenie odrzwi

Podniesienie wartości parametrów podpornościowych odrzwi podatnych pozwala na lepsze wykorzystanie wytrzymałości poszczególnych elementów – łuków. Jednak nadmierne – prowadzi do usztywnienia odrzwi, których nośność i funkcjonalność wyczerpuje się już przy niewielkich deformacjach. Konieczne jest zatem znalezienie optymalnej wartości współczynnika  $k_4$  – takiej, przy której odrzwia uzyskują największą wartość nośności roboczej, a przy tym zachowują podatność. Kolejnym zagadnieniem jest odpowiednie ukształtowanie złączy ciernych i właściwy dobór strzemion dla uzyskania właśnie takiej wartości współczynnika  $k_4$ .

Dla rozpoznania tych zagadnień przeprowadzone zostały liczne analizy i badania stanowiskowe złączy ciernych. Obejmowały one zarówno badania stanów prostych odcinków kształtowników, jak i całych odrzwi. Z badań i analiz wynika oczywisty fakt, że złącza cierne przenoszą większe obciążenia w przypadku zastosowania trzeciego strzemienia w złączu. Jednak wzrost nośności tym powodowany jest jeszcze większy w przypadku wyeliminowania „soczewki” (szczeliny pomiędzy kołnierzami współpracujących łuków). Wyklucza ona kontakt i w efekcie tego tarcie między współpracującymi łukami w obszarze poza końcami złączy ciernych, co pokazano na rysunku 5.

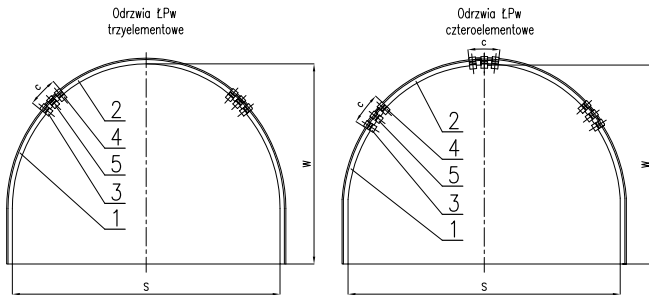


Rys. 5. Zwiększenie liczby współpracujących powierzchni w złączu ciernym przez eliminację „soczewki”

Dla poprawy tego stanu i wyeliminowania „soczewki” konieczne jest zapewnienie jednakowej krzywizny współpracujących elementów. Postulat ten spełniają nowo zaprojektowane

wane odrzwia ŁPw. W odrzwiach tych zastosowano jednako-  
wą krzywiznę współpracujących łuków ociosowych i stro-  
pnicowych, co pozwala efektywniej niż w odrzwiach ŁP  
wykorzystać trzecie strzemień w złączu oraz poprawia współ-  
pracę łuków.

Gabaryty nowo zaprojektowanych odrzwi są zgodne  
z wymiarami odrzwi typoszeregu ŁP według PN-G-15000/02  
i obejmują wielkości 7–19 oraz kształtowniki V29, V32  
i V36. Na rysunku 6 przedstawiono zarys odrzwi oraz zakres  
typoszeregu.



Oznaczenie odrzwi	F	S	W	c			Masa odrzwi bez strzemion			
				V29	V32	V36	V29	V32	V36	
	m <sup>2</sup>			mm			kg			
3 elem.	ŁPw7-/A	11,0	4200 <sup>±84</sup>	3100 <sup>±62</sup>	500 <sup>±25</sup>	500 <sup>±25</sup>	500 <sup>±25</sup>	277,6	313,6	346,7
	ŁPw8-/A	13,0	4700 <sup>±94</sup>	3300 <sup>±66</sup>	500 <sup>±25</sup>	500 <sup>±25</sup>	500 <sup>±25</sup>	297,3	335,8	371,2
	ŁPw9-/A	14,6	5000 <sup>±100</sup>	3500 <sup>±70</sup>	550 <sup>±28</sup>	550 <sup>±28</sup>	550 <sup>±28</sup>	316,2	357,0	394,8
	ŁPw10-/A	17,4	5500 <sup>±110</sup>	3800 <sup>±76</sup>	550 <sup>±28</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	341,6	388,7	429,9
	ŁPw7-/4/A	11,1	4200 <sup>±82</sup>	3100 <sup>±62</sup>	500 <sup>±28</sup>	500 <sup>±25</sup>	500 <sup>±25</sup>	292,4	330,0	364,8
4 elem.	ŁPw8-/4/A	13,1	4700 <sup>±94</sup>	3300 <sup>±66</sup>	550 <sup>±28</sup>	500 <sup>±25</sup>	500 <sup>±25</sup>	316,4	352,4	389,6
	ŁPw9-/4/A	14,8	5000 <sup>±100</sup>	3500 <sup>±70</sup>	600 <sup>±30</sup>	550 <sup>±28</sup>	550 <sup>±28</sup>	336,8	375,6	415,2
	ŁPw10-/4/A	17,6	5500 <sup>±110</sup>	3800 <sup>±76</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	362,0	408,4	451,6
	ŁPw11-/4/A	19,7	5800 <sup>±116</sup>	4025 <sup>±81</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	380,2	428,8	474,4
	ŁPw12-/4/A	21,7	6100 <sup>±122</sup>	4225 <sup>±85</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	396,0	446,8	494,0
	ŁPw13-/4/A	23,9	6400 <sup>±128</sup>	4425 <sup>±89</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	412,8	465,5	514,8
	ŁPw14-/4/A	25,6	6700 <sup>±134</sup>	4550 <sup>±91</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	424,8	478,8	529,6
	ŁPw15-/4/A	27,6	7000 <sup>±140</sup>	4700 <sup>±94</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	437,6	494,4	546,8
	ŁPw16-/4/A	29,7	7200 <sup>±144</sup>	4900 <sup>±98</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	452,4	511,2	565,2
	ŁPw17-/4/A	32,2	7500 <sup>±150</sup>	5110 <sup>±102</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	469,6	529,6	585,6
	ŁPw18-/4/A	34,9	7800 <sup>±156</sup>	5325 <sup>±107</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	486,8	549,6	607,2
	ŁPw19-/4/A	36,8	8000 <sup>±160</sup>	5465 <sup>±109</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	600 <sup>±30</sup>	498,0	561,6	621,2

Rys. 6. Odrzwia obudowy ŁPw: 1 – łuk ociosowy, 2 – łuk stropnicowy, 3 – strzemień dwujarzmowe dolne, 4 – strzemień dwujarzmowe górne, 5 – strzemień dwujarzmowe środkowe

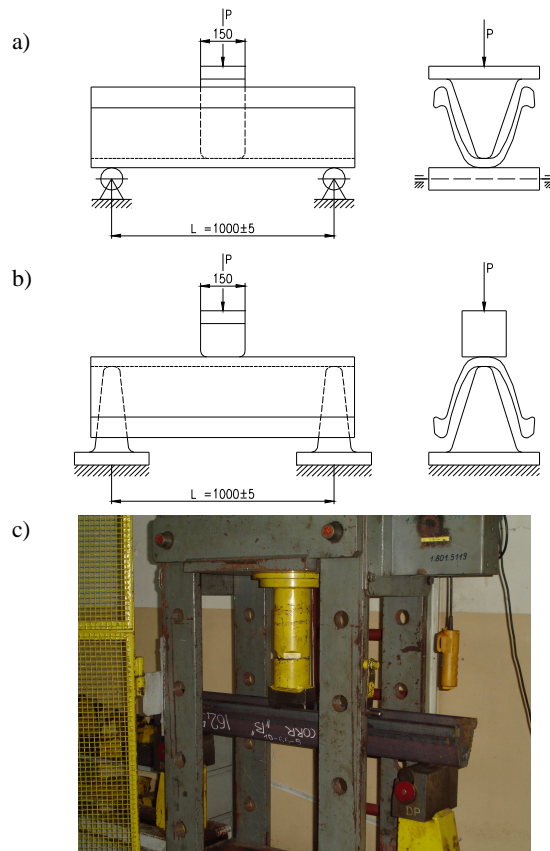
### 3. PARAMETRY KSZTAŁTOWNIKÓW I ODRZWI

Z uwagi na bezpieczne stosowanie nowej obudowy oraz elementów wchodzących w jej skład konieczna jest znajomość ich podstawowych parametrów wytrzymałościowych. W przypadku wprowadzania nowego gatunku stali na odrzwiowe obudowy chodnikowe niezbędne jest określenie wytrzymałości zarówno prostych odcinków kształtowników, jak i całych odrzwi z nich wykonanych, a także skuteczności połączenia poszczególnych łuków w złączach ciernych.

#### 3.1. Badania prostych odcinków kształtowników V

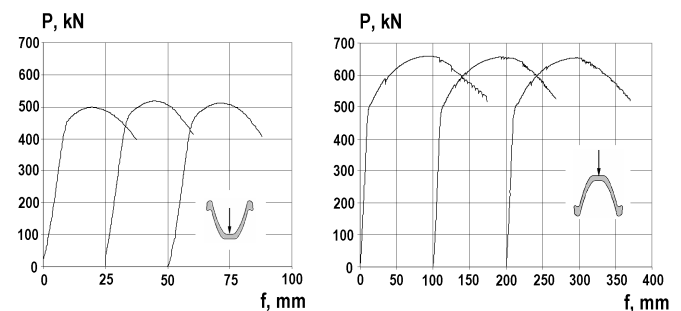
Pierwszym przeprowadzonym badaniem były próby zginania w dwóch kierunkach próbek prostych kształtowników V wykonanych z nowego gatunku stali. Badania te są jedną z podstawowych metod określania przydatności profili na elementy obudowy górniczej, pozwalają także określić maksymalny moment zginający przenoszony przez badane kształtowniki (Rotkegel, Witek 2010; Pytlik 1999). Badania, prowadzone zgodnie z PN-G-15000/09, obejmują próby zginania kształtowników w dwóch kierunkach. Zakres badań wynika z charakteru pracy obudowy chodnikowej. W łukowej obudowie odrzwiowej pod wpływem obciążenia górotworem powstają między innymi momenty zginające, działające

w dwóch kierunkach. W części stropowej występuje tzw. zginanie kształtownika „dnem w dół”, natomiast w części ociosowej – zginanie „dnem w górę”. Schemat badań i stanowisko badawcze przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Schemat próby zginania „dnem w dół” (a) i „dnem do góry” (b) prostych odcinków kształtowników i stanowisko badawcze (c)



W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano charakterystyki kształtowników V wykonanych z nowego gatunku stali – ugięcie kształtowników w zależności od ich obciążenia. Wykresy te przedstawiono na rysunku 8. Wyniki badań znajdują się w tabeli 1, a fotografia 1 pokazuje kształtowniki po badaniach.



Rys. 8. Wykresy z prób zginania kształtowników V36 ze stali z wytopu 162547; kierunek zginania – „dnem w dół” i „dnem w górę” (Pacześniowski i in. 2010)

Na podstawie wyników przeprowadzonych prób, oprócz określenia parametrów wytrzymałościowych poszczególnych próbek, wybrano do dalszych prac badawczych optymalny skład chemiczny stali, pozwalający na uzyskanie kształtowników o wysokich parametrach wytrzymałościowych, przy minimalnym wzroście ceny nowej obudowy.

Tabela 1. Wyniki prób zginania kształtowników V36 (Paczeński i in. 2010)

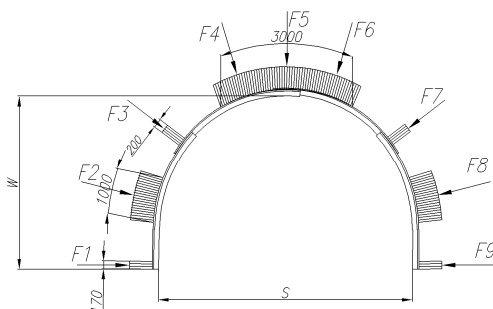
Kierunek zginania	Wytop 162547			Wytop 162550				
	Numer próbki	$P_{max}$ kN	$f_{max}$ mm	$M_{gmax}$ kNm	Numer próbki	$P_{max}$ kN	$f_{max}$ mm	$M_{gmax}$ kNm
	10-66-4	498,3	19,3	124,6	10-55-12	472,5	22,7	118,1
	10-66-5	518,0	19,7	129,5	10-66-13	457,5	20,1	114,4
	10-66-6	511,7	21,4	127,9	10-66-14	465,6	20,2	116,4
	10-66-7	659,1	94,3	164,8	10-66-15	603,8	92,9	150,9
	10-66-8	657,1	92,9	164,3	10-66-16	609,3	92,8	152,3
	10-66-9	654,1	97,7	163,5	10-66-17	610,0	97,7	152,5



Fot. 1. Kształtownik po próbie zginania „dnem w dół” (u góry) i „dnem w górę” (u dołu)

### 3.2. Badania odrzwi

Badania stanowiskowe odrzwi przeprowadzono zgodnie z PN-92-G-15000/05 dla stanu usztywnionego oraz podatnego. W trakcie prób odrzwa obciążane są zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 9. W czasie badania zarejestrowano zmniejszenie wysokości odrzwi ( $y$ ), wartości poszczególnych sił czynnych ( $F4$ ,  $F5$ ,  $F6$ ), wartości poszczególnych sił biernych ( $F1$ ,  $F2$ ,  $F3$ ,  $F7$ ,  $F8$ ,  $F9$ ) oraz zmiany położenia punktów pomiaru deformacji.

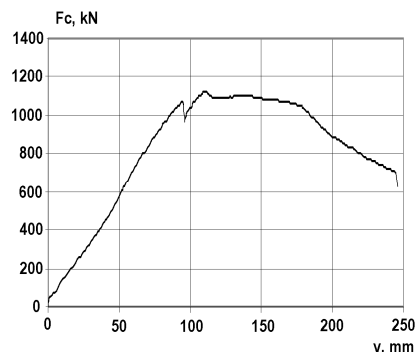
Rys. 9. Schemat geometrii i obciążenia odrzwi obudowy ŁPw4/A podczas badań stanowiskowych:  $F4$ ,  $F5$ ,  $F6$  – siły czynne;  $F1$ ,  $F2$ ,  $F3$ ,  $F7$ ,  $F8$ ,  $F9$  – siły biernie

#### 3.2.1. Badania odrzwi w stanie usztywnionym

Podstawowym celem badań było określenie charakterystyk sztywnościowych wybranych odrzwi z typoszeregu. Na podstawie analizy uzyskanych charakterystyk można określić nośność badanych odrzwi, a także kalibrować modele numeryczne dla zwiększenia dokładności obliczeń numerycznych. Badania prowadzi się na odrzwiach z zablokowanymi złączami ciernymi, co całkowicie wyklucza zsuwy w złączach.

W trakcie realizacji projektu celowego przeprowadzone zostały badania odrzwi ŁPw8/V32/4/A, ŁPw10/V32/4/A, ŁPw12/V32/4/A, ŁPw10/V29/4/A i ŁPw10/V36/4/A. Na rysunku 10 przedstawiono przykładową charakterystykę

odrzwi usztywnionych, a w tabeli 2 – uzyskane wyniki prób. Wyniki badań porównano też w formie wykresu przedstawionego na rysunku 11.

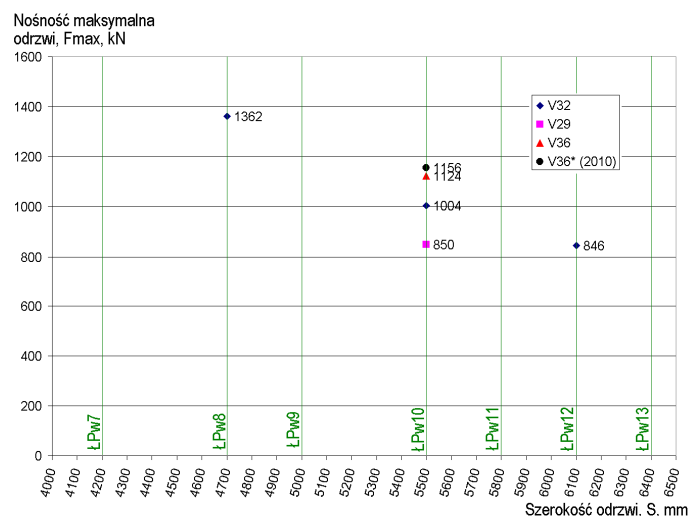


Rys. 10. Przykładowa charakterystyka deformacyjna odrzwi ŁPw10/V36/4/A (Paczeński i in. 2010)

Tabela 2. Parametry nośnościowe odrzwi obudowy ŁPw4/A badanych w stanie usztywnionym (Paczeński i in. 2010, 2011)

Numer odrzwi	Typ odrzwi	$F_{max}$ kN	$y$ , mm	Ogledziny odrzwi po badaniu
11-173-1	ŁPw8/V32/4/A	1362	104	deformacja łuku stropnicowego
11-173-2	ŁPw10/V32/4/A	1004	103	
11-173-3	ŁPw12/V32/4/A	846	70	
11-173-4	ŁPw10/V29/4/A	850	94	
11-173-7	ŁPw10/V36/4/A	1124	110	
10-267-1*	ŁP10/V36/4/A (zmodyfikowane)	1151	198	

\* Próba wykonywana w pierwszym roku realizacji projektu (2010 r.).



Rys. 11. Nośność maksymalna badanych odrzwi

Jak wynika z przeprowadzonych badań, nośność odrzwi wzrasta wraz z zamianą kształtowników na większe oraz maleje wraz ze zwiększeniem wielkości odrzwi (Paczeński 1997; Skrzyński i in. 1999). Wniosek ten jest oczywisty, jednak wyniki badań pozwalają ilościowo ująć te zmiany, jak to pokazano na wykresie (rys. 11).

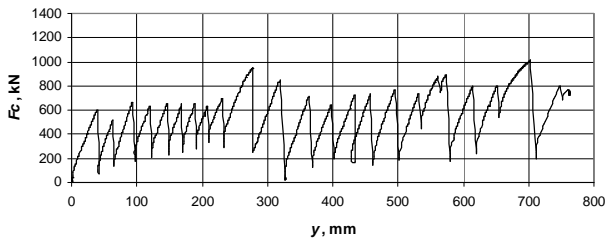
#### 3.2.2. Badania odrzwi w stanie podatnym

Badania odrzwi podatnych są szczególnie istotne dla poznania charakterystyk roboczych odrzwi. Wynika to między innymi z faktu odwzorowania w trakcie badań warunków zbliżonych do panujących w wyrobisku górnictwym.

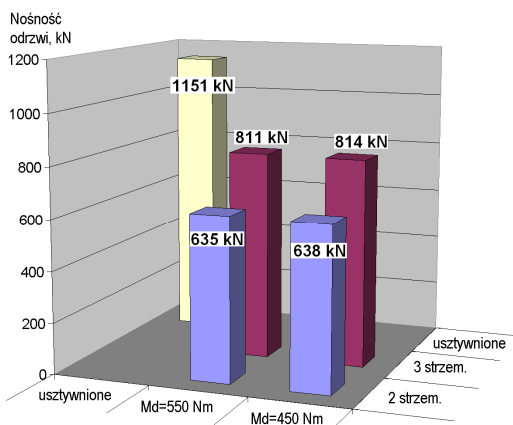
Próba nośności odrzwi podatnych przebiega w podobny sposób jak w przypadku usztywnionych. Różnica polega na zachowaniu podatnych złączy ciernych. Celem takich badań jest sprawdzenie poprawności pracy obudowy oraz określenie charakterystyki roboczej odrzwi wraz z nośnością. W ramach projektu wykonanych zostało 10 prób odrzwi (Pacześniowski i in. 2011). Próby przeprowadzono dla zmiennej liczby strzemion w złączach ciernych oraz dla wybranych wartości momentu dokręcenia nakrętek śrub. Na fotografii 2 przedstawiono odrzwia zabudowane w stanowisku badawczym. Badaniom poddano odrzwia ŁPw10/V29/4/A oraz ŁPw10/V36/4/A. Wyniki prób – przykładową charakterystykę pracy odrzwi przedstawiono na rysunku 12, a analizę nośności – na rysunku 13.



Fot. 2. Odrzwia ŁPw w stanowisku badawczym w trakcie badania



Rys. 12. Charakterystyka pracy odrzwi podatnych ŁPw10/V36/4/A – dwa strzemiona w złączu, moment dokręcenia śrub strzemion  $M_d = 450$  N·m (Pacześniowski i in. 2011)



Rys. 13. Uśrednione wyniki badań odrzwi ŁPw10/V36/4/A: usztywnionych w złączach (kolor żółty), z dwoma strzemionami w każdym złączu (kolor niebieski), z trzema strzemionami w każdym złączu (kolor bordowy)

W wyniku przeprowadzonej analizy nośności odrzwi można zauważyć, że wartość momentu dokręcenia nakrętek śrub strzemion w analizowanym zakresie w znikomym stop-

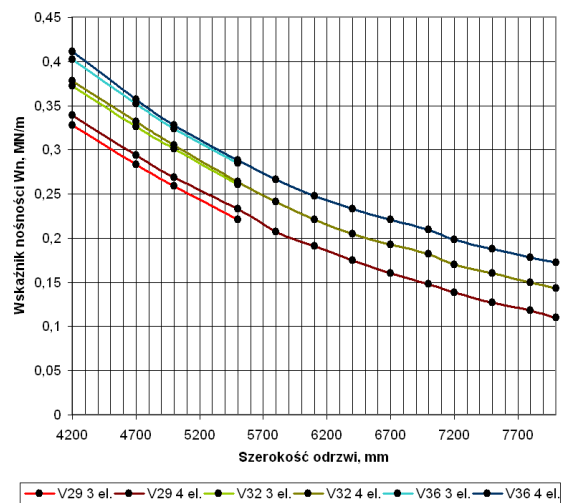
niu wpływa na ich nośność. Znacznie większy wpływ ma zastosowanie trzeciego strzemienia.

### 3.2.3. Badania modelowe odrzwi

Ważnym sposobem określania parametrów nośnościowych obudowy, możliwym do przeprowadzenia już na etapie jej projektowania, jest analiza numeryczna, prowadzona najczęściej metodą elementów skończonych – MES (ang. FEA, FEM) (Chmielewski, Nowak 1996; Cook i in. 2002). Z punktu widzenia użytkownika modelowanie we współczesnych programach MES, na przykład stosowanych w GIG COSMOS/M (COSMOS/M... 1999; Rusiński i in. 1994) czy RAMA 3D (Grajek 2000), sprowadza się do wprowadzenia geometrii całego badanego obiektu oraz określenia parametrów poszczególnych jego części. Parametrami tymi są właściwości materiałowe, parametry przekrojowe. Geometrię można zadać, tworząc ją w programach obliczeniowych, bądź importując trójwymiarowy rysunek z programu CAD, np. AutoCAD czy ODRZWI (Rotkegel 2003). Uciążliwa dyskretyzacja natomiast, szczególnie w przypadku skomplikowanych modeli, dokonywana jest za pomocą programu w sposób automatyczny, ale pod kontrolą użytkownika. Tak zamodelowany układ zostaje podparty i obciążony w sposób odzwierciedlający warunki rzeczywiste. W wyniku obliczeń otrzymuje się przede wszystkim rozkład naprężeń zredukowanych, a także barwne mapy odkształcenia obiektu, odkształcenia względne elementów, wartości sił wewnętrznych oraz reakcji podporowych (Chmielewski, Nowak 1996; Dyląg, Jakubowicz, Orłoś 1996).

Przeprowadzenie analiz wytrzymałościowych odrzwi wymaga każdorazowo zbudowania modeli, które odwzorowują zarówno kształt, jak i parametry przekrojowe łuków. Ponadto konieczne jest przyjęcie odpowiednich parametrów materiałowych. Tak zamodelowane odrzwia podpira się i obciąża zgodnie ze schematem badania odrzwi ujętym w PN-G-15000/05 lub zgodnie z rozkładem obciążenia panującym w danym wyrobisku górniczym, określonym na przykład w wyniku odrębnej analizy.

W wyniku przeprowadzonej analizy otrzymano wskaźniki nośności odrzwi z nowego gatunku stali. Wskaźniki te przedstawiono na rysunku 14.



Rys. 14. Nośność odrzwi ze stali S550W dla różnych wielkości kształtownika V

### 3.3. Badania i obserwacje dołowe

Na podstawie przeprowadzonych badań stanowiskowych i modelowych można wnioskować o prawidłowej pracy odrzwi oraz ich wysokich parametrach podpornościowych. W związku z tym było możliwe przeprowadzenie badań dołowych odrzwi wykonanych z nowego gatunku stali, których celem było sprawdzenie poprawności ich pracy. Badania dołowe prowadzono w oparciu o metodykę opracowaną w GIG (Prusek 2008), na odcinkach chodników przyścianowych. W miejscach prowadzenia badań zainstalowano bazy pomiarowe na odrzwiach z nowego gatunku stali oraz na odrzwiach ze stali typowej. W trakcie badań rejestrowano obciążenie odrzwi, zsuwy w złączach ciernych, a także zaciśkanie pionowe, poziome i wypiętrzanie spągu. Górotwór otaczający wyrobisko w rejonie prowadzenia badań został rozpoznany z wykorzystaniem dostępnych metod (Kuziak i in. 2012).

Jako miejsce badań wytypowano trzy kopalnie: „Bogdanka” SA, „Bobrek-Centrum” oraz „Jas-Mos”. Badania prowa-

dzono na różnych konstrukcjach odrzwi – przebadane zostały nowo zaprojektowane odrzwia ŁPw, odrzwia ŁPSC stosowane w LW „Bogdanka” SA oraz odrzwia SPŁ. Dzięki temu możliwe było uzyskanie szerszej informacji na temat pracy różnych obudów wykonanych z nowego gatunku stali.

W wyniku realizacji tego zadania pozytywnie zweryfikowano nowo zaprojektowane odrzwia, a także odrzwia wcześniej stosowane (ŁPSC i SPŁ) wykonane ze stali S550W. Przeprowadzone badania potwierdziły wysoką nośność odrzwi wykonanych ze stali o podwyższonych parametrach mechanicznych II generacji. W związku z tym mogą być one z powodzeniem stosowane do zabezpieczania wyrobisk korytarzowych wykonywanych w trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych – na dużych głębokościach, w warunkach występowania zaszłości eksploatacyjnych czy zaburzeń geologicznych. Na fotografiach 3–5 przedstawiono obudowę oraz stanowiska badawcze zainstalowane w kopalniach.



Fot. 3. Odrzwia ŁPw zabudowane w dowerzchni 3 badawczej w pokładzie 504 w kopalni „Bobrek-Centrum” (Kuziak i in. 2012)



Fot. 4. Obudowa o podwyższonych parametrach mechanicznych II generacji zabudowana w chodniku nadścianowym ściany 6/VI/385, w pokładzie 385 w LW „Bogdanka” SA (Kuziak i in. 2012)



Fot. 5. Odrzvia SPŁ6.8-7.2/3.5/V29 ze stali S550 zabudowane w chodniku nadścianowym 3-Z1,Z2 w pokładzie 510/2 w kopalni „Jas-Mos” (Kuziak i in. 2012)

#### 4. PODSUMOWANIE

W ramach realizacji prezentowanego projektu celowego opracowano nową stal oraz konstrukcję odrzwi o wysokich parametrach podpornościowych. Parametry te wynikają z zastosowania stali S550W o podwyższonej granicy plastyczności i wytrzymałości w stosunku do dotychczas stosowanych materiałów, a także (w przypadku obudowy ŁPw) z modyfikacji kształtu zarysu odrzwi. Modyfikacja ta polega na ujednoczeniu krzywizn współpracujących łuków ociosowych i stropnicowych, dzięki czemu uzyskuje się korzystniejszą charakterystykę pracy odrzwi. Obudowa z nowego gatunku stali pozytywnie przeszła cały cykl badań, obejmujących próby stanowiskowe oraz dołowe w kopalniach „Bogdanka”, „Bobrek-Centrum” i „Jas-Mos”.

Mając na uwadze powyższe, można stwierdzić, że zaprojektowane odrzvia mogą być z powodzeniem stosowane w podziemiach kopalń, zwłaszcza do zabezpieczania wyrobisk prowadzonych w trudnych warunkach geologiczno-górnictwowych, gdzie wymagane są wysokie parametry podpornościowe odrzwi.

#### Literatura

- Chmielewski T., Nowak H. (1996): *Mechanika budowli. Metoda przemieszczeń. Metoda Crossa. Metoda elementów skończonych*. Warszawa, Wydaw. Naukowo-Techniczne.
- Cook R.D., Malkus D.S., Plesha M.E., Witt R.J. (2002): *Concepts and applications of finite element analysis*. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- COSMOS/M – User’s Guide, Structural Research & Analysis Corp. Los Angeles, USA 1999.
- Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z. (1996): *Wytrzymałość materiałów*. Warszawa, Wydaw. Naukowo-Techniczne.
- Grajek K. (2000): *PRO-MES. Przewodnik po systemie*. Gliwice, Politechnika Śląska.
- Katalog wyrobów dla górnictwa, Huta Łabędy SA.
- Konopa W., Sawka B. (1987): *Nośność i wytrzymałość odrzwi łukowej obudowy chodnikowej ŁP-V jako funkcja ich wielkości*. Prace Głównego Instytutu Górnictwa, Komunikat nr 742.
- Kuziak R., Żak A., Woźniak D., Rotkegel M., Grodzicki M., Nawrot J. (2012): *Odrzvia obudowy chodnikowej ze stali II generacji*. Prace Instytutu Metalurgii Żelaza nr 4.
- Pacześniowski K. (1997): *Wpływ wybranych czynników mechanicznych i geometrycznych na nośność łukowych odrzwi ŁP*. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 825.
- Pacześniowski K. i inni (2010): *Sprawozdanie z badań nr 10/66 – Próby statycznego zginania i skręcania kształtownika V36 (2 wytopy)*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (niepublikowane).
- Pacześniowski K. i inni (2010): *Sprawozdanie z badań nr BL-2/10-267 – Stanowiskowe badania odrzwi obudowy typu ŁP10/V36/4/A (gat. stali S480W) ze strzemiionami SDw32/34/36 (jarzma – gat. stali S480W)*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (niepublikowane).
- Pacześniowski K. i inni (2011): *Sprawozdanie z badań nr BL-2/11-173 – Stanowiskowe badania odrzwi obudowy typu ŁPw/4/A ze strzemiionami SDw*. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (niepublikowane).
- PN-G-15000/02:1993 *Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzvia łukowe podatne ŁP, z kształtowników typu V, typoszereg A. Wymiary*.
- PN-G-15000/05:1992 *Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzvia łukowe otwarte*. Badania stanowiskowe.
- PN-G-15000/09:1998 *Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Kształtowniki korytkowe proste. Próba statyczna zginania*.
- Prusek S. (2008): *Możliwości monitoringu obudowy wyrobisk korytarzowych*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 8.
- Pytlík A. (1999): *Kryteria oceny parametrów wytrzymałościowych na zginanie i skręcanie kształtowników V25 i V29*. Prace Naukowe Głównego Instytutu Górnictwa nr 836.
- Rotkegel M. (2003): *Specjalistyczny program do projektowania geometrii odrzwi łukowej obudowy wyrobisk korytarzowych*. Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 12.
- Rotkegel M. i inni (2005): *Analiza parametrów najczęściej stosowanych odrzwi dla minimalizacji zużycia stali*. Praca statutowa GIG nr 19400705-151. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (niepublikowana).
- Rotkegel M., Witek M. (2010): *Odwzorowanie stanowiskowych badań zginania kształtowników KO za pomocą programu ANSYS*. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisk nr 2.
- Rusiński E. (1994): *Metoda elementów skończonych. System COSMOS/M*. Warszawa, Wydaw. Komunikacji i Łączności.
- Skrzyński K. i inni (1999): *Opracowanie ujednoczonej metodyki analitycznego określania nośności i wytrzymałości odrzwi obudowy z kształtowników V z uwzględnieniem charakterystyki sił biernych*. Praca statutowa GIG. Katowice, Główny Instytut Górnictwa (niepublikowana).