

Kazimierz Rulka, Edward Kowalski, Krzysztof Skrzyński

BADANIA NAD ZASTOSOWANIEM STALI O ZWIĘKSZONYCH PARAMETRACH WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH DO PRODUKCJI STALOWYCH OBUDÓW TYPU V

Streszczenie

W poszukiwaniu optymalnych rozwiązań konstrukcji stalowych obudów odrzwiowych zwrócono uwagę na stosowane tworzywo (gatunek stali). W miejsce stosowanej stali 34GJ do badań wytypowano stal G480V o korzystniejszych parametrach mechanicznych ($R_e = 500$ MPa i $R_m = 700$ MPa). Proste odcinki profilu V29 wykonane z tej stali poddano badaniom wytrzymałościowym na zginanie i skręcanie. Uzyskane pozytywne wyniki badań pozwoliły na dokonanie analizy oraz określenie na drodze teoretycznej, wskaźników nośności typoszeregu odrzwi. Równocześnie określono możliwości wykonywania (gięcia) profili ciężkich w Polskich Hutach Stali Oddział Huta „Katowice” oraz wykonano serię próbną obudowy ŁPZS V36/9 z nowego gatunku stali do badań dołowych. Przeprowadzone w 2003 roku porównawcze badania dołowe w kopalni „Bogdanka” S.A., wykazały znaczną przewagę nowej obudowy nad analogiczną obudową wykonaną ze stosowanej tradycyjnie stali 34GJ.

Researches over employment of steel with higher durability parameters for steel casings production of V type

Abstract

Searching an optimal solution of steel casing construction it paid attention on applicable material (kind of steel). For research has been used steel G480V with advantageous mechanical parameters ($R_e = 500$ MPa and $R_m = 700$ MPa) in place of steel 34GJ. Straight sections of V29 profile made by this steel have been a subject of research about flexing and twisting durability. Gotten positive results of research have allowed effecting of analysis and determination on theoretical way. Simultaneously it define possibilities of heavy profiles executing in Polish Steel Plants Division of Katowice Plant and it executed series of trial casing ŁPZS V36/9 made by new type of steel for underground research. Comparative underground researches carried out on Bogdanka S.A. mine in 2003, have shown considerable superiority of new casing over analogous made by steel 34GJ.

WPROWADZENIE

Koncentracja wydobywania i eksploatacja na coraz większych głębokościach spowodowały zdecydowane pogorszenie warunków geologiczno-górnictwowych. Konieczne więc jest skuteczne zabezpieczenie wyrobisk udostępniających przy zwiększonych ich wymiarach wynikających zarówno z technicznego wyposażenia wyrobisk, jak i wentylacji i klimatyzacji przodków eksploatacyjnych.

Zwiększenie głębokości eksploatacji w istniejących kopalniach, oprócz wzrostu ciśnienia górotworu, stwarza dodatkowe zagrożenie wstrząsami górotworu (tąpnięciami) powodowane zaszłościami eksploatacyjnymi, występowaniem w sąsiednich pokładach krawędzi eksploatacyjnych, resztek itp.

Z uwagi na występowanie trudnych warunków geologicznych, w tym tąpnięć, których skutki są najbardziej odczuwalne w wyrobiskach korytarzowych, niezbędne jest ciągle doskonalenie konstrukcji odrzwiowej obudowy chodnikowej, wraz z jej akcesoriami.

Wprowadzenie nowych rozwiązań powinno – oprócz poprawy parametrów technicznych i bezpieczeństwa – zapewnić obniżenie kosztów zabezpieczania i utrzymania wyrobisk korytarzowych, tak istotnych w obecnym okresie restrukturyzacji górnictwa.

W artykule przedstawiono badania przeprowadzone w Głównym Instytucie Górnictwa nad zwiększeniem nośności odrzwiowej obudowy stalowej przez zastosowanie nowego gatunku stali o zwiększonych parametrach technicznych w stosunku do stali 34GJ do wykonywania łukowych i prostych elementów tych odrzwi.

Przeprowadzone rozeznanie u producenta odrzwi obudowy z walcowanego typoszerogu kształtowników własnej produkcji wykazało, że istnieje możliwość uruchomienia produkcji odrzwi o zwiększonych parametrach nośnościowych przy zachowaniu jej opłacalności zarówno dla producenta, jak i dla stosujących tę obudowę.

1. ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCI KSZTAŁTOWNIKÓW TYPU V

Stosowane obecnie do produkcji obudowy kształtowniki typu ciężkiego (V29, V32, V34 i V36) powstały w wyniku procesów optymalizacyjnych będących rezultatem długoletnich badań wytrzymałościowych, dołowych obserwacji obudowy, a także teoretycznych analiz konstrukcji wykorzystywanych w celu optymalizacji ich własności mechanicznych. Materiałem do ich produkcji jest stal 34GJ o własnościach mechanicznych: granicy plastyczności R_e wynoszącej 340 MPa i doraźnej wytrzymałości na rozciąganie R_m wynoszącej 540 MPa.

Parametrem decydującym o przydatności kształtownika jest jego odporność na zginanie.

W celu zwiększenia tej wytrzymałości zastosowano stal G480V o własnościach mechanicznych: $R_e = 500$ MPa i $R_m = 700$ MPa, a następnie przeprowadzono teoretyczną analizę wytrzymałościową stosowanych profili. Dane wejściowe stanowiły podstawowe parametry wytrzymałościowe wymienionych wyżej kształtowników.

W celu określenia maksymalnych wartości momentów zginających, jakie mogą przenosić poszczególne kształtowniki, wykonano następujące obliczenia.

Maksymalny moment zginający obliczono z zależności

$$M_{g_{\max}} = \frac{\sigma}{W_x} \quad (1)$$

gdzie:

σ_n – naprężenia niszczące, MPa;

W_x – wskaźnik sprężystego zginania (wg PN-H-93441-3), m³.

Naprężenia niszczące obliczono ze wzoru (według PN-90/B-03200)

$$\sigma_n = \frac{R_e \left(\frac{m+1}{n} \right)}{\gamma_s} \quad (2)$$

gdzie:

R_e – naprężenia równe granicy plastyczności materiału, MPa;

γ_s – współczynnik materiałowy uwzględniający kształt przekroju oraz grubość ścianek, według PN-90/B-03200 $\gamma_s = 1,15$;

m – geometryczny współczynnik uplastycznienia kształtownika, bezwymiarowy;

n – materiałowy współczynnik uplastycznienia kształtownika, bezwymiarowy.

Geometryczny współczynnik uplastycznienia wyrażony jest wzorem

$$m = \frac{F_g y_g + F_d y_d}{W_x} \quad (3)$$

gdzie:

F_g, F_d – pola powierzchni części przekroju poprzecznego kształtownika znajdujące się nad i pod osią obojętną $X-X$, m²;

y_d, y_g – rzędne środków masy liczone od osi obojętnej $X-X$, m;

zaś materiałowy współczynnik uplastycznienia określony jest zależnością

$$n = \frac{R_m - R_e}{R_e} \quad (4)$$

gdzie R_m – doraźna wytrzymałość materiału na rozciąganie, MPa.

Materiałowy współczynnik uplastycznienia kształtownika w przypadku zastosowania stali typu 34GJ wynosi 0,5882, zaś stali typu G480V – 0,4.

Obliczone z zależności (1) i (2) wartości $M_{g_{max}}$ oraz σ_n dla kształtowników V29, V32, V34 i V36 ze stali 34GJ oraz G480V zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Wartości $M_{g_{max}}$ i σ_n dla kształtowników V29, V32, V34 i V36 ze stali 34GJ oraz G480V

Kształtownik	Stal 34GJ		Stal G480V	
	σ_n , MPa	$M_{g_{max}}$ kN·m	naprężenie niszczące σ_n , MPa	moment zginający $M_{g_{max}}$ kN·m
V29	614,54	53,72	821,90	71,85
V32	586,92	71,44	781,27	95,10
V34	605,22	76,46	808,19	102,11
V36	604,86	77,21	807,66	103,10

Z tablicy 1 wynika, że maksymalne wartości momentów zginających, jakie mogą przenosić kształtowniki wykonane ze stali G480V są średnio o 33% większe od maksymalnych wartości momentów zginających, jakie mogą przenosić kształtowniki ze stali 34GJ.

2. BADANIA LABORATORYJNE PROSTYCH ODCINKÓW KSZTAŁTOWNIKA V29 WYKONANYCH ZE STALI O ZWIĘKSZONYCH PARAMETRACH MECHANICZNYCH (G480V)

Badania laboratoryjne wykonano na prostych odcinkach kształtownika V29 wykonanego w PHS Oddział Huta „Katowice” i obejmowały one:

- próbę statycznego zginania, zgodnie z normą PN-86/G-15000/09,
- próbę statycznego skręcania, zgodnie z normą PN-G-15000-12:1994.

2.1. Wyniki badań

PRÓBA STATYCZNEGO ZGINANIA

Próby statycznego zginania sześciu prostych odcinków kształtownika V29 długości około 1200 mm wykonano zgodnie z normą PN-86/G-15000/09. Trzy odcinki kształtownika umieszczono w maszynie wytrzymałościowej dnem w górę, trzy natomiast dnem w dół. Wyniki prób statycznego zginania przedstawiono w tablicach 2 i 3. W celu porównania podano w nich także wyniki uzyskane na kształtownikach wykonanych ze stali 34GJ.

Tablica 2. Wartości wyznaczonych parametrów dla próby zginania kształtowników usytuowanych w maszynie wytrzymałościowej dnem w dół

Nr próbki	Material	P_{\max}	P_k	f_{\max}	f_k	$M_{g\max}$, kN·m
		kN		mm		
1	34GJ	218,38	174,70	17,3	30,5	54,59
2		218,12	174,49	17,5	29,0	54,53
3		205,50	164,40	17,8	31,6	51,38
średnio						53,50
1'	G480V	337,5	270,0	16,7	31,7	84,4
2'		326,3	270,0	15,8	28,2	81,6
3'		335,3	268,3	17,9	32,1	83,8
średnio						83,1

P_{\max} – siła maksymalna, kN;

P_k – siła na granicy proporcjonalności obciążeń i odkształceń, kN;

f_{\max} – maksymalne ugięcie próbki, mm;

f_k – ugięcie próbki na granicy proporcjonalności obciążeń i odkształceń, mm;

$M_{g\max}$ – maksymalny moment zginający, kN·m.

Tablica 3. Wartości parametrów wyznaczonych w próbie zginania kształtowników usytuowanych w maszynie wytrzymałościowej dnem w górę

Nr próbki	Material	P_{max}	P_k	f_{max}	f_k	M_{gmax} kN·m
		kN		mm		
4	34GJ	308,91	247,13	94,8	167,3	77,23
5		311,28	249,02	95,1	168,5	77,82
6		317,98	254,38	97,2	177,4	79,94
średnio						78,33
4'	G480V	418,1	334,5	79,7	172,1	104,5
5'		429,9	343,9	89,3	173,5	107,5
6'		430,7	345,9	81,9	178,2	107,7
średnio						106,6

Uwaga: Oznaczenia jak w tablicy 2.

PRÓBA STATYCZNEGO SKRĘCANIA

Próbie statycznego skręcania prostych odcinków kształtownika V29 przeprowadzono zgodnie normą PN-G-15000-12:1994, a wyniki zamieszczono w tablicy 4.

Tablica 4. Wartości parametrów wyznaczonych w próbie skręcania kształtowników

Nr próbki	Material	M_{25}	M_{90}
		kN·m	
7	34GJ	4,232	6,064
8		3,915	6,034
9		3,985	5,929
średnio		4,044	6,009
7'	G480V	5,10	7,97
8'		5,98	8,60
9'		5,77	8,15
średnio		5,62	8,24

Z danych zawartych w tablicach wynika, że zmierzone i obliczone wartości parametrów poszczególnych próbek kształtowników ze stali o podwyższonych parametrach mechanicznych są bardzo korzystne, w szczególności wartości momentów zginania, decydujące o wartości wskaźnika nośności odzwi W_N . Wyniki badań laboratoryjnych kształtowników potwierdzają teoretyczne obliczenia tych momentów (rozd. 1).

3. ANALIZA NOŚNOŚCI ODRZWI

Obliczenia wytrzymałości odrzwi obudowy przeprowadzono dla wszystkich wielkości obudowy, tzn. ŁP7–ŁP19.

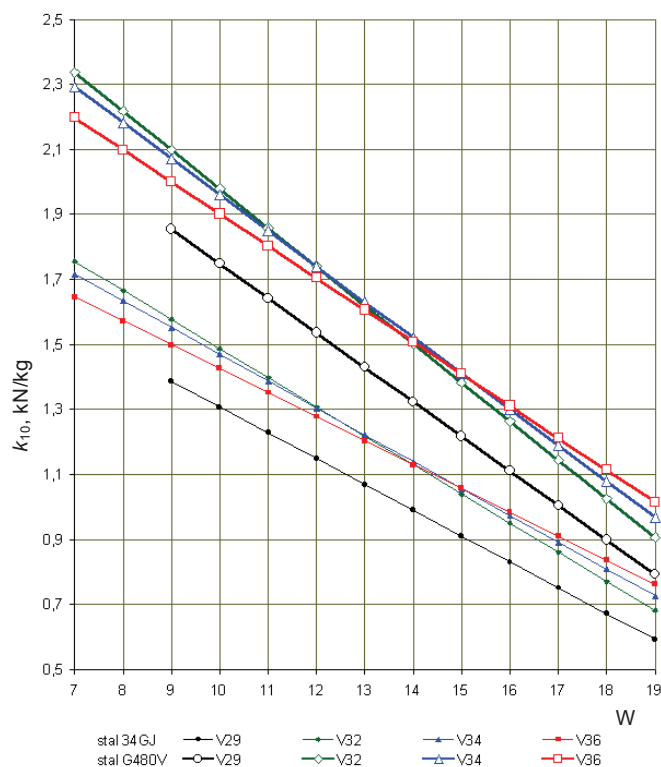
Do określenia odporności odrzwi na przenoszenie obciążeń zewnętrznych posłużono się wskaźnikiem nośności odrzwi W_N , określonym jako wartość dopuszczalnego obciążenia równomiernie rozłożonego na długości jednego metra elementu stropnicowego (bez zakładki z elementami ociosowymi), zgodnie z normą, wyrażonym w meganiutonach na metr. Wartości wskaźnika nośności odrzwi zestawiono w tablicy 5.

Tablica 5. Wskaźniki nośności odrzwi obudowy ŁP z kształtowników V29, V32, V34 i V36 wykonanych ze stali 34GJ i G480V

Oznaczenie odrzwi	Pole powierzchni odrzwi F, m^2	GATUNEK STALI							
		34GJ				G480V			
		wielkość kształtownika odrzwi							
		V29	V32	V34	V36	V29	V32	V34	V36
$W_N, MN/m$									
ŁP7/-/4/A	11,16	0,281	0,304	0,312	0,313	0,375	0,404	0,417	0,418
ŁP8/-/4/A	13,15	0,238	0,265	0,275	0,279	0,318	0,352	0,367	0,372
ŁP9/-/4/A	14,89	0,210	0,238	0,249	0,255	0,280	0,317	0,333	0,340
ŁP10/-/4/A	17,77	0,175	0,206	0,217	0,225	0,235	0,274	0,290	0,300
ŁP11/-/4/A	19,8	0,157	0,188	0,200	0,208	0,210	0,250	0,267	0,278
ŁP12/-/4/A	21,82	0,143	0,173	0,185	0,194	0,191	0,230	0,247	0,259
ŁP13/-/4/A	23,95	0,130	0,160	0,172	0,182	0,174	0,213	0,230	0,242
ŁP14/-/4/A	25,66	0,121	0,151	0,163	0,173	0,162	0,201	0,218	0,231
ŁP15/-/4/A	27,61	0,112	0,142	0,154	0,164	0,150	0,189	0,206	0,219
ŁP16/-/4/A	29,98	0,103	0,133	0,145	0,155	0,138	0,176	0,193	0,207
ŁP17/-/4/A	32,14	0,096	0,125	0,137	0,147	0,129	0,166	0,183	0,196
ŁP18/-/4/A	34,79	0,089	0,117	0,129	0,139	0,119	0,156	0,172	0,186
ŁP19/-/4/A	36,67	0,084	0,112	0,124	0,134	0,113	0,149	0,165	0,179

Ważną wielkością zarówno ze względów ekonomicznych, jak i technicznych jest wskaźnik wykorzystania masy odrzwi k_{10} , określony w normie PN-92/G-15000-05 jako stosunek wartości całkowitego obciążenia stropowego odrzwi, wyrażonego w kiloniutonach, do łącznej masy kształtownika odrzwi, wyrażonej w kilogramach.

W celu zobrazowania wartości współczynnika k_{10} skorelowano wartości teoretycznie obliczonego całkowitego obciążenia stropowego odrzwi q_c , odpowiadającego nośności roboczej odrzwi N_{rob} , z masą m_e elementów z kształtowników V. Otrzymano w ten sposób zależności, które przedstawiono na wykresie (rys. 1).



Rys. 1. Wskaźnik wykorzystania masy odrzwi k_{10} , odrzwi z kształtników V29, V32, V34 i V36 wykonanych ze stali 34GJ i G480V; W – wielkość odrzwi

Fig. 1. Utilisation indicator of sets k_{10} mass, sets with V29, V32, V34 and V36 profiles made by steel 34GJ and G480V; W – sets largeness

4. MOŻLIWOŚCI WYKONYWANIA ELEMENTÓW ŁUKOWYCH ODRZWI

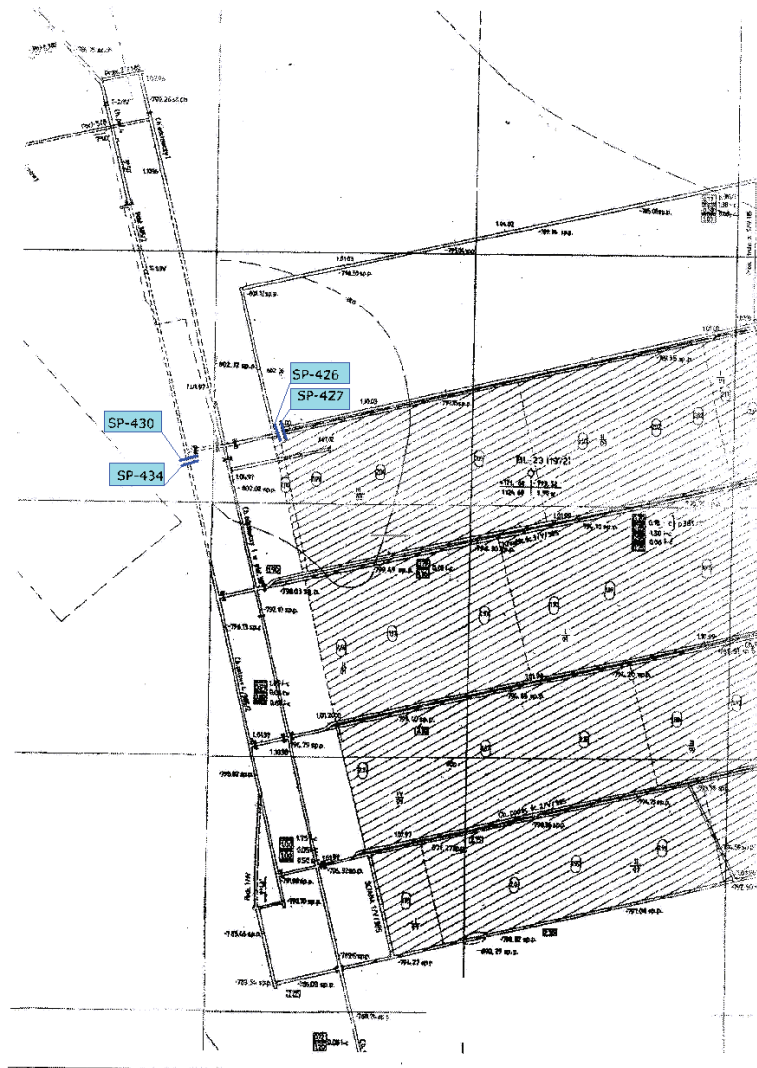
Zainstalowana w PHS Oddział Huta „Katowice” linia technologiczna jest w pełni zautomatyzowana i pozwala na produkcję elementów łukowych odrzwi obudowy z całego typoszeregu produkowanych w kraju kształtników typu V, tj. V21, V25, V29, V32, V34, V36 i V44. Giętarka zapewnia wykonywanie łuków o parametrach:

- minimalna długość łuku – 1900 mm,
- maksymalna długość łuku – 5000 mm,
- minimalny promień gięcia – 1100 mm,
- maksymalny promień gięcia – 11 000 mm,
- długość prostych odcinków łuków – 750–2500 mm,
- maksymalna długość niewygiętego łuku – 190 mm,
- maksymalna masa łuku – 195 kg,
- właściwości mechaniczne stali – zgodnie z normą PN-H-93441-1.

5. WYNIKI OBSERWACJI I BADAŃ DOŁOWYCH ODRZWI OBUDOWY WYKONANYCH Z KSZTAŁTOWNIKÓW ZE STALI O ZWIĘKSZONYCH PARAMETRACH MECHANICZNYCH

Badania porównawcze i obserwacje dołowe pilotażowych serii obudowy wykonanych z kształtowników ze stali o zwiększonych parametrach mechanicznych i stali 34GJ przeprowadzono w kopalni „Bogdanka” S.A. w 2003 roku.

Lokalizację odcinków badawczych przedstawiono na rysunku 2.



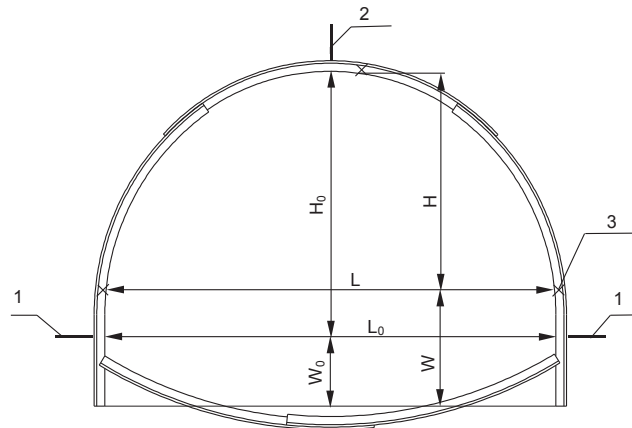
Rys. 2. Lokalizacja odcinków chodników w obudowie ze stali o zwiększonych parametrach mechanicznych

Fig. 2. Localisation of footpath section in casing from steel with higher mechanical parameters

W chodniku połowym 4/385 zabudowano 40 drzwi obudowy ŁPZS V-36/9 o rozstawie 0,4 m i wyznaczono stanowisko pomiarowe SP 434 dla drzwi wykonanych z kształtowników ze stali o zwiększonych parametrach mechanicznych. Dla takiej samej wielkości drzwi, ale wykonanych ze stali 34GJ, wyznaczono stanowisko pomiarowe SP 430.

W chodniku nadścianowym ściany 4/V/385 podobnie zabudowano 40 drzwi obudowy ŁPZS V-36/9 o rozstawie 0,75 m i wyznaczono stanowiska pomiarowe SP 426 dla drzwi wykonanych z kształtownika ze stali o zwiększonych parametrach, a dla drzwi wykonanych ze stali 34GJ wyznaczono stanowisko pomiarowe SP 427.

Zasady pomiaru deformacji drzwi przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat pomiaru deformacji drzwi: 1 – reper ociosowy, 2 – reper stropowy, 3 – cecha na obudowie, L , H – zaciskanie obudowy, L_0 , H_0 – zaciskanie górotworu, W , W_0 – wypiętrzenie spagu

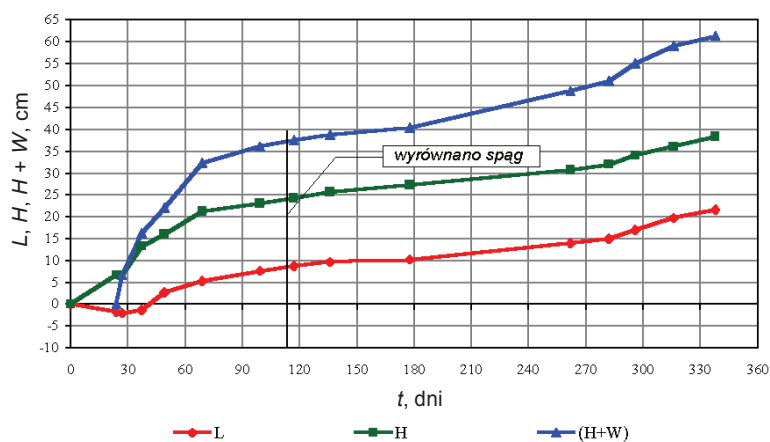
Fig. 3. Scheme of sets deformation measurement: 1 – hewn bench mark, 2 – ceiling bench mark, 3 – feature on casing, L , H – casing locking, L_0 , H_0 – formation locking, W , W_0 – sill uplift

Wyniki pomiarów dla górotworu i obudowy przedstawiono na rysunkach 4–7. Wykresy przedstawiają zależność przemieszczeń charakterystycznych punktów na obudowie w czasie.

Analiza zaciskania drzwi w chodniku połowym – stanowiska pomiarowe SP 430 i SP 434 (rys. 4 i 5) – wykazała podobny przebieg procesu zaciskania drzwi wykonanych ze stali o zwiększonych parametrach mechanicznych i drzwi wykonanych ze stali 34GJ. Wartości zaciskania po upływie 12 miesięcy były nieco większe dla drzwi wykonanych ze stali 34GJ.

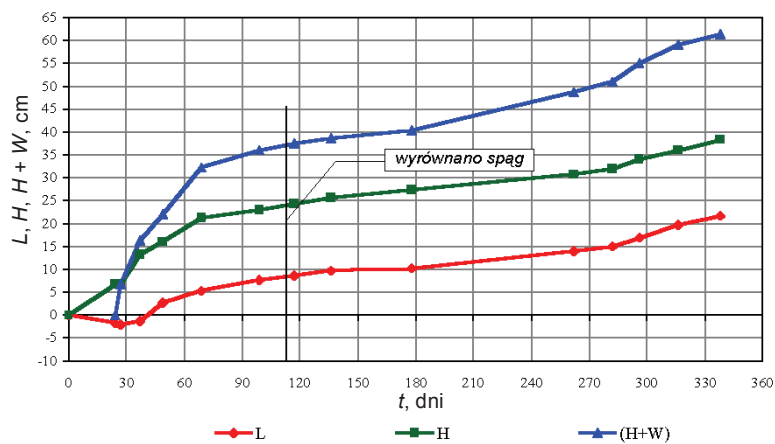
Przebieg zaciskania w chodniku nadścianowym – stanowiska pomiarowe SP 426, SP 427 (rys. 6 i 7) – wykazał znacznie większe wartości zaciskania dla drzwi wykonanych ze stali 34GJ.

Różnica w przebiegu zaciskania drzwi wykonanych z różnych gatunków stali w chodniku połowym i chodniku nadścianowym spowodowana była znacznie większymi obciążeniami drzwi w chodniku nadścianowym, wynikającymi z dwukrotnie większego rozstawu drzwi. Obserwacje dołowe wykazały lokalne deformacje łuków ociosowych i spągnicowych tylko drzwi wykonanych ze stali 34GJ.



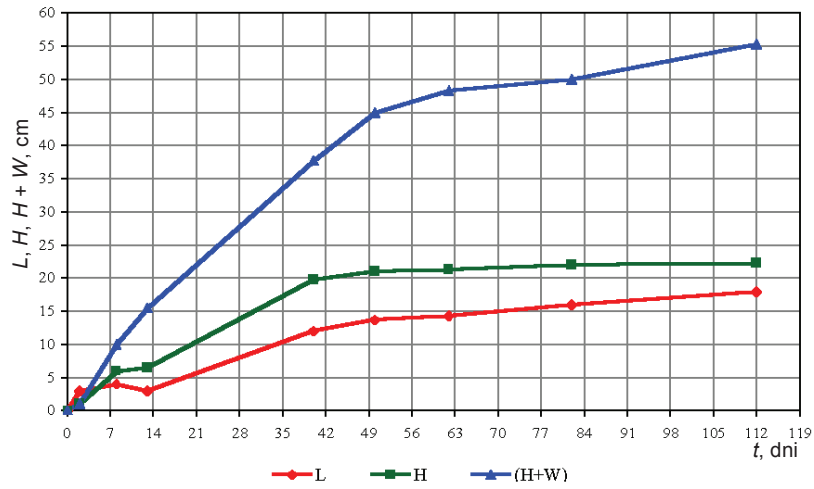
Rys. 4. Zaciskanie poziome i pionowe obudowy ŁPZS V-36/9×0,4 m zakniętej ze stali typowej w chodniku połowym 4 w pokładzie 385 na stanowisku pomiarowym SP-430:
t – czas, *L*, *H*, *H + W* – zaciskanie

Fig. 4. Horizontal and vertical locking of ŁPZS V-36/9×0,4 m casing made by typical steel in footpath 4, seam 385 on measurement post SP-430: *t* – time, *L*, *H*, *H + W* – locking



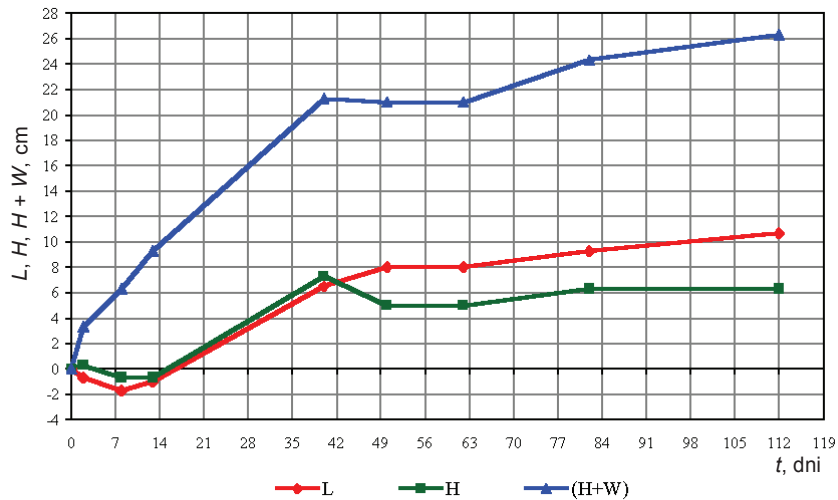
Rys. 5. Zaciskanie poziome i pionowe obudowy ŁPZS V-36/9×0,4 m zakniętej ze stali typowej w chodniku połowym 4 w pokładzie 385 na stanowisku pomiarowym SP-434:
t – czas, *L*, *H*, *H + W* – zaciskanie

Fig. 5. Horizontal and vertical locking of ŁPZS V-36/9×0,4 m casing made by typical steel in footpath 4, seam 385 on measurement post SP-434: *t* – time, *L*, *H*, *H + W* – locking



Rys. 6. Zaciskanie poziome i pionowe obudowy ŁPZS V-36/9×0,75 m zakniętej ze stali typowej w chodniku nadścianowym ściany 4/V/385 na stanowisku pomiarowym SP-427
t – czas, *L*, *H*, *H + W* – zaciskanie

Fig. 6. Horizontal and vertical locking of ŁPZS V-36/9×0,75 m casing made by typical steel in footpath of wall 4/V/385, on measurement post SP-427: *t* – time, *L*, *H*, *H + W* – locking



Rys. 7. Zaciskanie poziome i pionowe obudowy ŁPZS V-36/9×0,75 m zakniętej ze stali o zwiększonej wytrzymałości w chodniku nadścianowym ściany 4/V/385 na stanowisku pomiarowym SP-426
t – czas, *L*, *H*, *H + W* – zaciskanie

Fig. 7. Horizontal and vertical locking of ŁPZS V-36/9×0,75 m casing made by typical steel in footpath of wall 4/V/385, on measurement post SP-426: *t* – time, *L*, *H*, *H + W* – locking

Przykład uszkodzenia spągnicy wykonanej ze stali 34GJ przedstawiono na zdjęciu 1, natomiast widok spągu chodnika polowego zabezpieczonego obudową wykonaną ze stali G480V – na zdjęciu 2.



Fot. 1. Uszkodzona spągnica wykonana z kształtownika V36 ze stali 34GJ zabudowana w chodniku polowym

Photo 1. Sill machine broken made by V36 profile in footpath



Fot. 2. Spąg chodnika polowego na odcinku z zabudowanymi spągnicami wykonanymi z kształtownika V36 ze stali o podwyższonych parametrach mechanicznych (brak deformacji)

Photo 2. Sill of footpath on section with sill machine made by V36 profile of steel with higher mechanical parameters (lack of deformation)

WNIOSKI

Przedstawione w artykule wyniki badań nad zastosowaniem stali o zwiększonych własnościach mechanicznych do produkcji stalowych obudów odrzwiowych pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Właściwości stali do produkcji typoszeregu kształowników V: $R_m \text{ min} = 700 \text{ MPa}$, $R_e \text{ min} = 500 \text{ MPa}$, oraz $R_e/R_m < 0,7$ zapewniają uzyskanie korzystnych parametrów wytrzymałościowych walcowanych kształowników.
2. Zastosowanie kształowników ciężkich (V29, V32, V34 i V36) do produkcji elementów łukowych odrzwi pozwoli na zwiększenie wskaźnika nośności odrzwi o około 30%.
3. Celowe jest uruchomienie produkcji podatnych odrzwi z kształownika V32 ze stali o zwiększonych parametrach mechanicznych. Takie rozwiązanie pozwoli na zastąpienie odrzwi podatnych z kształownika V36, co zapewni, oprócz poprawy BHP, uzyskanie znaczących efektów ekonomicznych.
4. Podatne odrzwia obudowy wyrobisk korytarzowych w zależności od charakterystyki występujących obciążeń górotworu można składać z elementów łukowych o różnej wytrzymałości, przez co zwiększa się wskaźnik nośności odrzwi. Takie rozwiązanie należy zastosować głównie w konstrukcji odrzwi obudowy zamkniętej oraz w przypadku wystąpienia niesymetrycznych obciążeń.
5. W celu odróżnienia elementów łukowych wykonanych z kształowników o zwiększonych parametrach wytrzymałościowych należy kształowniki trwale znakować w procesie ich walcowania.
6. W złączach podatnych, aby wykorzystać zwiększone parametry wytrzymałościowe elementów łukowych, należy stosować większe opory zsuwu, średnio o 30%.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Władysław Konopko