

Włodzimierz Hałat\*

## NOŚNOŚCI ODRZWI WYBRANYCH OBUDÓW ŁUKOWYCH\*\*

### 1. Wprowadzenie

Istotnym elementem obudów wyrobisk korytarzowych są odrzwia wykonywane z łuków podatnych. Ocenę pracy odrzwi można wykonać, wykorzystując wskaźnik nośności. Znajomość wskaźnika oraz próba jego numerycznej weryfikacji w odniesieniu do wartości otrzymywanych w laboratorium może być cenną informacją przy projektowaniu wyrobisk korytarzowych.

Z definicji wiadomo, iż wskaźnik nośności odrzwi  $W_N$  [MN/m] jest to graniczne, maksymalne obciążenie jednego metra długości stropnicy [6].

Wartości wskaźników nośności odrzwi  $W_N$  podane zostały w pracy [9] oraz w katalogach wyrobów stalowych Huty „Łabędy” [2, 3]. Dla wybranych typów obudów wartości wskaźnika nośności zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

**Wartości wskaźników nośności  $W_N$  dla trzyczęściowych odrzwi obudowy ŁP**

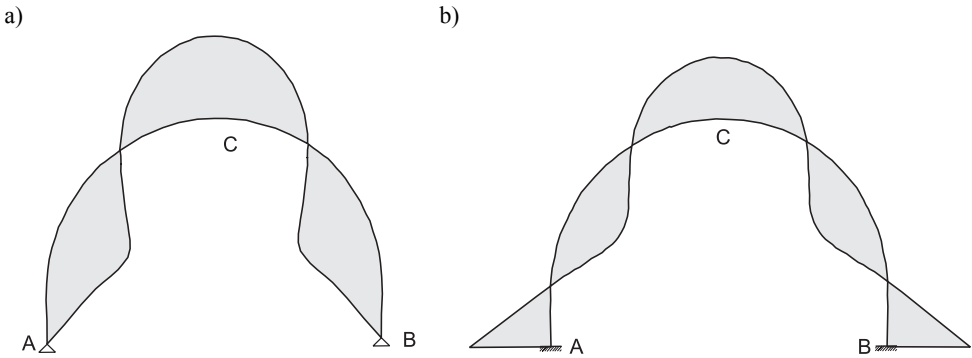
Oznaczenie odrzwi	Wymiary odrzwi obudowy		$W_N$ [MN/m]		
	szerokość [mm]	wysokość [mm]	V21	V25	V29
ŁP8/A	4700	3300	0,150	0,178	0,221
ŁP9/A	5000	3500	0,135	0,164	0,202
ŁP10/A	5500	3800	0,110	0,138	0,173

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

\*\* Artykuł oparty jest na badaniach statutowych AGH nr 11.11.100.588

## 2. Metody badań stanowiskowych [6]

Z wytrzymałości materiałów wiadomo, iż sposób zamocowania łuku, czyli jego podparcie, w zdecydowany sposób wpływa na charakter jego pracy.



**Rys. 1.** Wykresy momentów zginających w obudowie: a) dwuprzegubowej; b) bezprzegubowej

Na rysunku 1 przedstawiono wykresy momentów zginających w odrzwiach obudów łukowych obciążonych symetrycznie bez uwzględniania odporu sprężystego ociosów.

Z wykresów momentów zginających wynika, że:

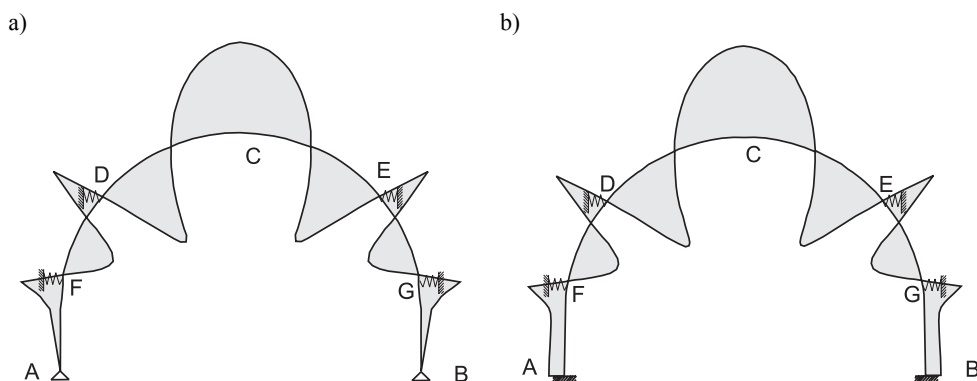
- w łuku dwuprzegubowym maksymalny moment zginający występuje w kluczu — punkt C, na podporach (punkty A i B) ma on wartości równe zeru;
- w łuku bezprzegubowym mamy do czynienia z odmienną sytuacją, a mianowicie w węzłach łuku (punkty A i B) występują maksymalne wartości momentów zginających, zaś w kluczu — zworniku (punkt C) wartość momentu zginającego, (przy tego typu obciążeniu [6]) jest mniejsza niż na podporach.

Wiadomo, że na obudowy oprócz obciążenia czynnego działa odpór sprężysty pochodzący od ociosów wykonanego wyrobiska. Po uwzględnieniu odporu wykresy momentów zginających w obudowach mają kształty przedstawione na rysunku 2.

W punktach D, E, F, G zaznaczono schematycznie odpór sprężysty ociosów wyrobiska. Uwzględnienie odporu sprężystego ociosów powoduje, że wykresy momentów zginających w obudowach są jakościowo niepodobne do siebie (rys. 1 i 2).

Wartość momentu zginającego w zworniku (punkt C), w łukach dwuprzegubowych, w dużej mierze zależy od wartości odporu ociosów. Intuicyjnie można stwierdzić, że im odpór ociosów jest większy, tym moment zginający w zworniku będzie mniejszy. Jakościowe wykresy momentów zginających, w części górnej obudów łukowych (od dolnej linii odporu sprężystego — punkty F i G na rys. 2) w obudowach bezprzegubowych (rys. 2b) i obudowach dwuprzegubowych (rys. 2a), są podobne do siebie. Jakościowa różnica w wykresach

momentów zginających występuje w części dolnej obudów łukowych (czyli od podpór do dolnej linii odporu sprężystego — linii poprowadzonej przez punkty F i G). W obudowach bezprzegubowych w utwierdzeniach nie wystąpią już maksymalne wartości momentów zginających.



**Rys. 2.** Wykresy momentów zginających w obudowie — po uwzględnieniu odporu sprężystego odciosów: a) dwuprzegubowej; b) bezprzegubowej

Jeżeli przekrój poprzeczny łuku ma wartość stałą na całej swojej długości (założenie upraszczające przyjmowane powszechnie przy obliczaniu obudów górniczych), wówczas wykresy naprężeń normalnych czy też wykresy naprężeń zredukowanych wyznaczone na podstawie hipotezy Hubera są jakościowo podobne do wykresów momentów zginających.

### 3. Obliczanie nośności łukowej obudowy stalowej

Dla wyznaczenia nośności odrzwi obudów łukowych, na podstawie przedstawionego w normie [6] schematu stanowiska badawczego i wynikającego z niego statycznego schematu obciążenia odrzwi obudowy łukowej, posłużono się metodą elementów skończonych.

Programy metody elementów skończonych (MES) pozwalają m.in. na obliczanie przemieszczeń, odkształceń oraz naprężeń w konstrukcjach wykonanych z elementów prętowych i belkowych o dowolnym kształcie pola przekroju poprzecznego.

W Hucie „Łabędy” stalowe odrzwia obudów górniczych wykonywane są z siedmiu gatunków stali. Do obliczeń przyjęto, że elementy obudów ŁP mogą być wykonane ze stali St5 lub 34 GJ. Wartość granicy plastyczności stali 34 GJ mająca decydujący wpływ na wyznaczanie nośności odrzwi obudów jest większa o 15,25% niż stali St5.

Należy nadmienić, że w pracach [2, 3, 9] nie podano gatunku stali, dla którego wyznaczone zostały wartości wskaźników nośności obudów (tab. 1).

Geometria modeli numerycznych została zbudowana zarówno w oparciu o normy [4, 5], jak i katalog [2, 3]. Zgodnie z zasadami wynikającymi z normy [6] obudowę obciążono symetrycznie na łuku stropnicowym czynnym obciążeniem równomiernie rozłożonym.

Oddziaływanie bierno górotworu na obudowę zamodelowano numerycznie poprzez jednowęzłowe elementy skończone w postaci sprężyn o określonej sztywności. Obciążenie zostało przyłożone do łuków ociosowych obudowy zgodnie ze schematem statycznym wynikającym z [6].

Obliczenia numeryczne przeprowadzono dla wytypowanych odrzwi obudów górniczych (tab. 1). Dla każdego odrzwi zbudowano cztery modele numeryczne odpowiadające różnym odporom sprężystym ociosów [3].

Modelami tymi są:

- 1) model a –  $k = 0$  kN/mm (brak wykładki — najgorsze warunki pracy obudowy),
- 2) model b –  $k = 10$  kN/mm,
- 3) model c –  $k = 20$  kN/mm,
- 4) model d –  $k = 30$  kN/mm.

Dla każdego modelu obliczenia realizowano poprzez zwiększanie obciążenia przykładanego do łuku stropnicowego obudowy aż do momentu osiągnięcia przez nią naprężeń zredukowanych równych granicy plastyczności stali 34 GJ (340 MPa). Ponieważ jakościowe rozkłady wartości momentów zginających oraz wartości naprężeń zredukowanych są zbliżone do wykresów przedstawionych na rysunkach 1 i 2, nie zostaną zamieszczone w pracy.

#### 4. Wyniki obliczeń numerycznych

W ramach analizy wyników numerycznych główny nacisk położono na wartości obciążenia powodującego powstanie naprężeń zredukowanych równych granicy plastyczności. Dla wartości obciążenia powodującego powstanie granicy plastyczności w łuku stropnicowym obudowy odczytano wartość ściskającej siły osiowej występującej w zamkach obudowy oraz wyznaczono maksymalne obniżenie pionowe (punkt C na rys. 1 i 2). Wyniki obliczeń zestawiono w tabelach, w których podano również współczynnik  $\alpha_{W_N}$  zdefiniowany jako

$$\alpha_{W_N} = \frac{W_{NO}}{W_{NKt}} \quad (1)$$

gdzie:

$W_{NO}$  — wartość wskaźnika nośności wyznaczona na podstawie obliczeń numerycznych,

$W_{NKt}$  — wartość wskaźnika nośności  $W_N$  na podstawie katalogu (tab. 1).

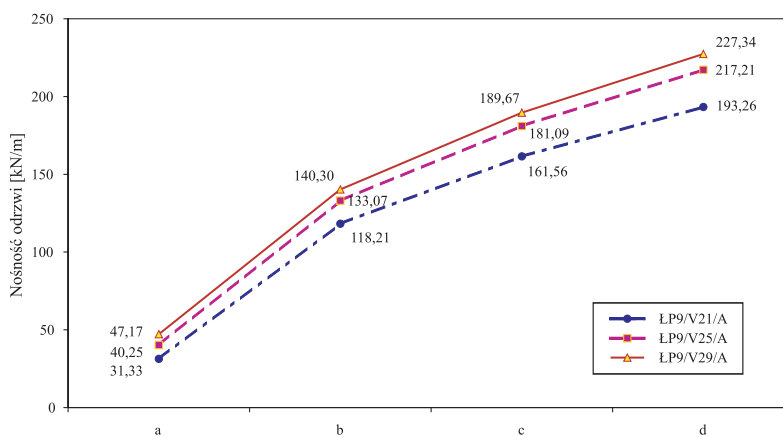
## Obudowy górnicze jako łuki dwuprzegubowe

Przykładowe wyniki dla łuków obudowy ŁP9 zestawiono w tabeli 2. Dla pozostałych numerycznych modeli odrzwi obudów (łuki ŁP8 i ŁP10) wyniki zamieszczono w pracy [1].

TABELA 2

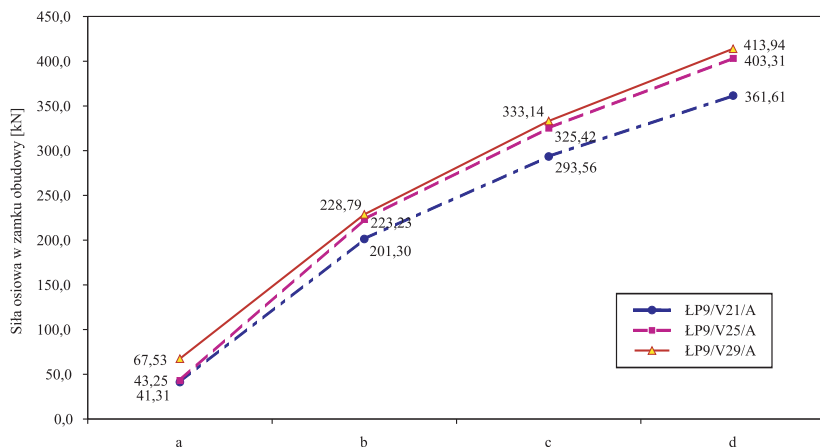
### Wartości charakterystyczne łuków obudowy ŁP9

Oznaczenie odrzwi	Model	Nośność odrzwi [kN/m]	Przemieszczenie [mm]	Siła osiowa [kN]	$\alpha_{WN}$
ŁP9/V21/A	a	31,33	39,76	41,31	0,232
	b	118,21	24,83	201,30	0,876
	c	161,56	22,52	293,56	1,197
	d	193,26	21,40	361,61	1,431
ŁP9/V25/A	a	40,25	36,92	67,53	0,245
	b	133,07	24,70	223,23	0,811
	c	181,09	22,38	325,42	1,104
	d	217,21	21,28	403,31	1,324
ŁP9/V29/A	a	47,17	34,0	43,25	0,233
	b	140,30	23,69	228,79	0,689
	c	189,67	21,41	333,14	0,938
	d	227,34	20,33	413,94	1,125



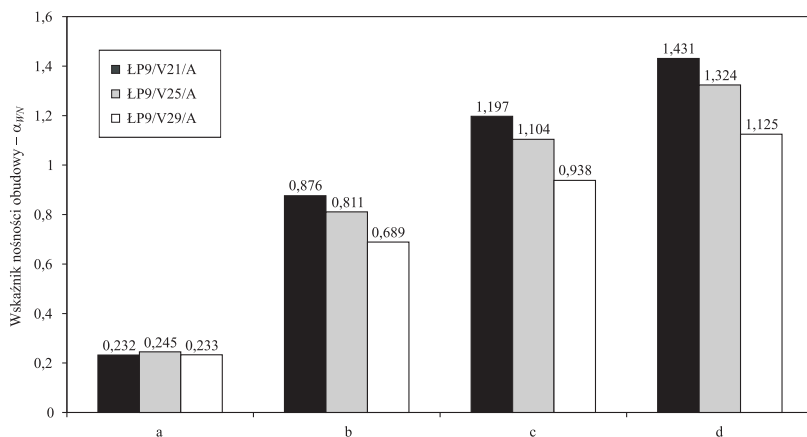
Rys. 3. Nośność odrzwi obudowy ŁP9 — modele a, b, c, d

Na rysunku 3 przedstawione zostały w postaci graficznej wartości nośności odrzwi obudowy ŁP9.



**Rys. 4.** Siła osiowa w zamkach odrzwi obudowy ŁP9 — modele a, b, c, d

Wartości sił osiowych w zamkach obudów przedstawiono na rysunku 4.



**Rys. 5.** Wartości współczynnika  $\alpha_{W_N}$  dla obudowy ŁP9— modele a, b, c, d

Na rysunku 5 przedstawiono wartości współczynnika  $\alpha_{W_N}$ .

Z otrzymanych wyników (tab. 2) oraz wyników podanych w pracy [1] i zamieszczonych tam wykresów wynika, że:

- współczynnik nośności obudowy  $\alpha_{W_N}$  przyjmuje minimalne wartości dla modeli typu a, czyli modeli, w których nie uwzględniony został odpór sprężysty ociosów (wartości  $\alpha_{W_N}$  są w granicach od 0,155 do 0,313);
- w miarę wzrostu odporu sprężystego ociosów wyrobiska wzrasta wartość  $\alpha_{W_N}$  (w granicach od 0,689 do 1,696).

Wyznaczone na podstawie rozwiązań numerycznych wartości nośności  $W_{N\_num}$  nie we wszystkich przypadkach będą miały decydujący wpływ na pracę odrzwi obudów, gdyż w wielu przypadkach otrzymane wartości naprężeń zredukowanych mające wartości równe granicy plastyczności powodują, iż w zamkach łuków obudowy powstają większe siły osiowe, niż zamki są w „stanie przenieść”.

Spowodowało to weryfikację otrzymanych wyników obliczeń numerycznych, która polegała na zmniejszaniu obciążenia tak, aby w zamkach obudów otrzymać wartość dopuszczalnej siły osiowej.

W rezultacie weryfikacji poddano: siedem odrzwi obudów ŁP8, 6 odrzwi obudów ŁP9 i osiem odrzwi obudów ŁP10.

W wyniku weryfikacji wyznaczono współczynnik  $\beta_{W_N}$  zdefiniowany jako

$$\beta_{W_N} = \frac{W'_{NO}}{W_{NK}} \quad (2)$$

gdzie:

$W'_{NO}$  — wartość wskaźnika nośności wyznaczona na podstawie obliczeń numerycznych przy dopuszczalnej wartości siły osiowej w zamkach obudowy,

$W_{NK}$  — wartość wskaźnika nośności  $W_N$  na podstawie katalogu (tab. 1).

TABELA 3

**Zweryfikowane wartości charakterystyczne łuków obudowy ŁP9**

Oznaczenie odrzwi	Model	Nośność odrzwi [kN/m]	Przemieszczenie [mm]	Siła osiowa [kN]	$\beta_{W_N}$
ŁP9/V21/A	b	118,21	24,83	201,30	0,875
	c	137,58	19,18	250,00	1,019
	d	133,61	14,79	250,00	0,989
ŁP9/V25/A	b	133,07	24,70	223,23	0,811
	c	139,12	17,19	250,00	0,848
	d	134,64	13,19	250,00	0,821
ŁP9/V29/A	b	140,30	23,69	228,79	0,689
	c	142,33	16,07	250,00	0,704
	d	137,30	12,28	250,00	0,679

W tabeli 3 podane zostały zweryfikowane wartości charakterystyczne łuków obudowy ŁP9. W przypadku modeli nie podlegających weryfikacji  $\beta_{W_N} = \alpha_{W_N}$ .

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania numeryczne umożliwiają określanie sposobu wyznaczania nośności odrzwi stalowych obudów łukowych. Korzystając z rozwiązań numerycznych, można wyznaczać nośności odrzwi stalowych obudów łukowych o dowolnych kształtach i wymiarach, uwzględniając jednocześnie oddziaływanie górotworu na obudowę. Określanie rozkładu stanu naprężenia i wyężenia może pozwolić na zoptymalizowanie kształtu obudów.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że nieuwzględnianie odporu sprężystego górotworu prowadzi do zaniżenia wartości współczynnika wykorzystania nośności maksymalnej odrzwi obudowy.

Konsekwencją pominięcia biernego odporu górotworu jest zaniżanie rzeczywistej nośności obudów, co wiąże się z jej przewymiarowaniem.

Z przeprowadzonych obliczeń numerycznych wynika, że nie można przyjmować jednej konkretnej wartości współczynnika wykorzystania nośności maksymalnej odrzwi dla wszystkich typów obudów.

Należy także podkreślić, że na pełne wykorzystanie nośności odrzwi obudowy wpływa nie gatunek stali uwarunkowany granicą plastyczności, ale także połączenia poszczególnych elementów odrzwi.

### LITERATURA

- [1] *Halat W.*: Obliczenia wytrzymałościowe obudów wyrobisk korytarzowych. Badania statutowe AGH nr 11.11.100.588), Kraków 2004 (praca niepublikowana)
- [2] Katalog wyrobów dla górnictwa. Huta „Łabędy” SA (wersja drukowana — nie podano roku wydania)
- [3] Katalog wyrobów dla górnictwa. Huta „Łabędy” SA (<http://www.hutalab.com.pl/index.htm>)
- [4] PN-93/G-15000/02: Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe podatne ŁP, z kształtowników typu V, typoszereg A. Wymiary
- [5] PN-93/G-15000/03: Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe podatne ŁP, z kształtowników typu V, typoszereg A. Łuki
- [6] PN-92/G-15000/05: Obudowa chodników odrzwiami podatnymi z kształtowników korytkowych. Odrzwia łukowe otwarte. Badania stanowiskowe
- [7] PN-H-93441-3:1994: Kształtowniki stalowe walcowane na gorąco dla górnictwa. Kształtowniki typu V. Wymiary
- [8] PN-H-93441-3 Kształtowniki stalowe walcowane na gorąco dla górnictwa Część 3: Kształtowniki typu V. Wymiary, czerwiec 2004
- [9] *Rulka K. i in.*: Uprozczone zasady doboru obudowy odrzwiowej wyrobisk korytarzowych w zakładach wydobywających węgiel kamienny, Katowice, Główny Instytut Górnictwa, Seria Instrukcje, nr 15, 2001