

*Andrzej Wichur**, *Kornel Frydrych***, *Maciej Bober***

PORÓWNANIE METOD NORMATYWNYCH PROJEKTOWANIA OBUDOWY STALOWEJ ŁUKOWEJ PODATNEJ STOSOWANEJ W PODZIEMNYCH ZAKŁADACH GÓRNICZYCH***

1. Wstęp

Obudowa stalowa wyrobisk korytarzowych pojawiła się w drugiej połowie XIX w. [9] w postaci sztywnych ram wykonanych z dwuteowników i szyn. Obudowa sztywna nie była w wielu przypadkach odpowiednia dla warunków górniczych, co spowodowało ograniczenie jej stosowania w kopalniach. W roku 1924 powstała przegubowa obudowa stalowa łukowa (tzw. łuki Molla), która w latach następnych stała się najbardziej popularną obudową wyrobisk korytarzowych. Pierwsza konstrukcja łuków podatnych typu Toussaint — Heintzman ukazała się w 1932 roku i obecnie uznawana jest za najbardziej odpowiedni typ obudowy (por. [8]) do zabezpieczania długotrwałych wyrobisk korytarzowych w przypadku ich lokalizacji w skałach zwięzłych o średnio zaawansowanej tektonice i charakteryzujących się odpornością na działanie atmosfery kopalnianej.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami [5] kierownik działu robót górniczych dokonuje doboru obudowy w poszczególnych wyrobiskach na podstawie rozeznania warunków geologiczno-górnictwa. Poprzednia wersja przepisów [6] stanowiła, że doboru obudowy wyrobisk korytarzowych w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny, należy dokonywać w oparciu o zasady określone przez rzeczoznawcę wskazanego przez Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego. Na podstawie upoważnienia Prezesa WUG zostały wykonane i uzyskały pozytywną opinię Komisji do spraw Obudowy Wyrobisk Korytarzowych i Komorowych trzy opracowania:

- Uproszczone zasady doboru obudowy odrzwiowej wyrobisk korytarzowych w zakładach wydobywających węgiel kamienny [7] (w pracy nazywana metodą 1);

* Emerytowany profesor zwyczajny AGH, Kraków

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

*** W pracy wykorzystano wyniki uzyskane w ramach badań własnych nr 10.10.100.377

- Zasady doboru i projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny [2] (metoda 2);
- Obudowa górnicza. Zasady projektowania i doboru obudowy wyrobisk korytarzowych i komorowych w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny [3] (metoda 3).

Ustalenia te nie znalazły odpowiednika w nowej wersji przepisów [5], w związku z czym opracowane zasady doboru obudowy straciły moc obowiązującą, ale są nadal stosowane w zakładach górniczych (w niniejszej pracy nazywane są metodami „normatywnymi”).

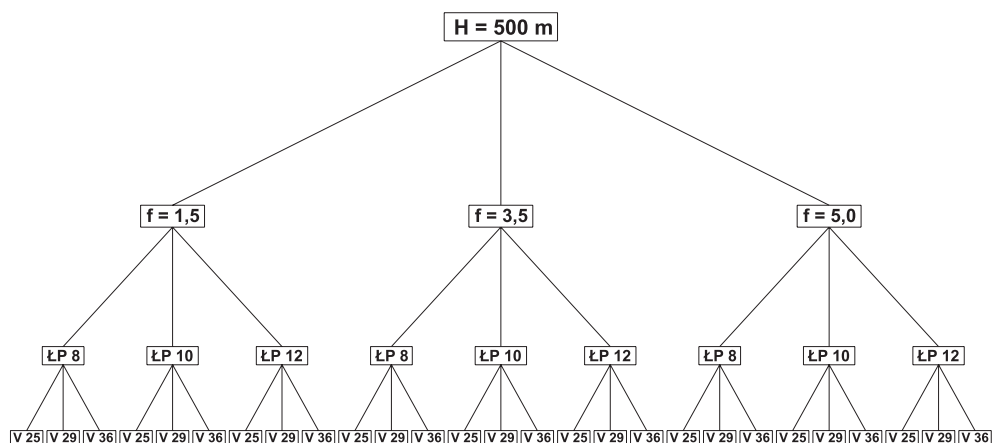
W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analizy porównawczej wyżej wymienionych normatywnych metod projektowania i doboru obudowy wyrobisk korytarzowych. W szczególności praca dotyczy zasad projektowania obudowy stalowej łukowej podatnej.

Wyniki uzyskane na podstawie przeprowadzonych obliczeń zestawiono tabelarycznie, zamieszczono ich prezentację graficzną oraz interpretację. Obliczenia skonstruowano w sposób umożliwiający porównanie metod przy uwzględnieniu różnorodnych warunków geologiczno-górnictwowych.

2. Analiza porównawcza metod projektowania

2.1. Organizacja obliczeń i przyjęte założenia

Celem porównania metod projektowania i doboru obudowy ŁP zostały przeprowadzone przykładowe obliczenia. Schemat organizacyjny obliczeń przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat organizacyjny obliczeń dla $H = 500$ m

Obliczenia zostały przeprowadzone dla następujących parametrów:

- głębokość zalegania wyrobiska — 500, 750, 1000 m;
- wskaźnik zwięzłości skały — 1,5; 3,5; 5,0;
- rozmiar odrzwi obudowy — ŁP 8, ŁP 10, ŁP 12;
- wielkość kształtownika odrzwi — V 25, V29, V36.

Parametry wytrzymałościowe skał zostały dobrane z normy BN-82/0434-07 [1], a wartości współczynnika rozmałności i podzielności warstwowej zostały przyporządkowane wartości wskaźnika zwięzłości skał na podstawie PN-G-05020:1997 [4].

W celu stworzenia identycznych warunków geologiczno-górnictwowych przyjęto następujące założenia dla obliczeń:

- projektowane wyrobisko jest wyrobiskiem kapitalnym,
- górotwór nie jest skłonny do indukowania wstrząsów,
- brak występowania zaburzeń tektonicznych,
- warstwy skalne otaczające wyrobisko zalegają poziomo,
- brak występowania w sąsiedztwie wyrobiska resztek pokładów i krawędzi eksploatacyjnych,
- brak wpływów na wyrobisko ze strony zaszczości eksploatacyjnych,
- wyrobisko zlokalizowane jest poza strefą wpływów eksploatacyjnych,
- kąt nachylenia wyrobiska jest mniejszy od 15° ,
- obudowa wyrobiska wykonana jest z nowych elementów,
- typ wykładki — szczelna, ręczna.

2.2. Wyniki obliczeń oraz interpretacja graficzna

Ogólnie wykonano obliczenia 81 zestawów danych dla każdej metody. W tabeli 1 zestawiono przykładowo wyniki obliczeń rozstawu odrzwi i obciążeń obudowy dla $H = 500$ m.

Na podstawie otrzymanych wyników sporządzono wykresy obciążeń (rys. 2–4) oraz rozstawu odrzwi obudowy (rys. 5–7). Rozstaw odrzwi dla odpowiednich rozmiarów odrzwi obudowy obliczono jako wartość średnią wyników otrzymanych dla poszczególnych wielkości kształtownika.

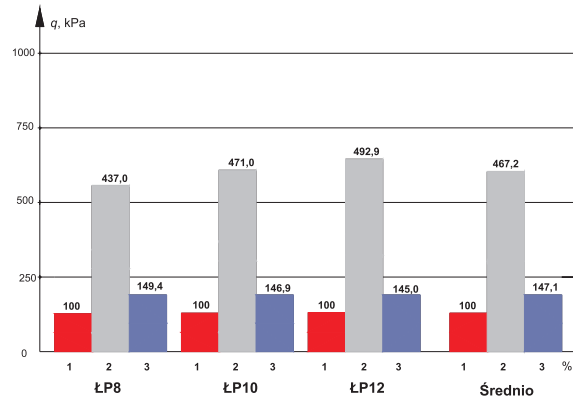
2.3. Interpretacja wyników

W pracy porównano metody obliczania obciążeń i rozstawu odrzwi obudowy stalowej łukowej wyrobisk niepoddanych działaniu wpływu eksploatacji. Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń można zauważyć duże rozbieżności pomiędzy wynikami uzyskanymi z użyciem poszczególnych metod doboru obudowy.

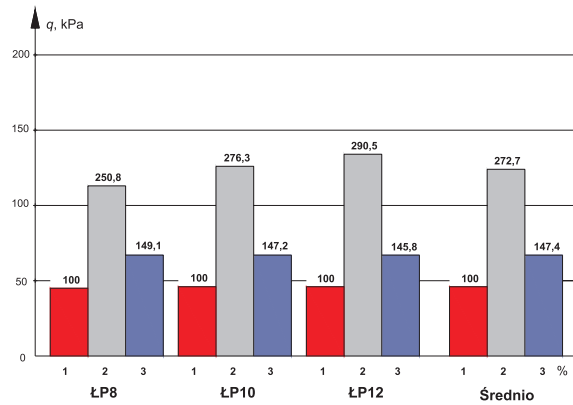
TABELA 1

Wyniki obliczeń rozstawu odrzwi i obciążenia obudowy dla $H = 500$ m

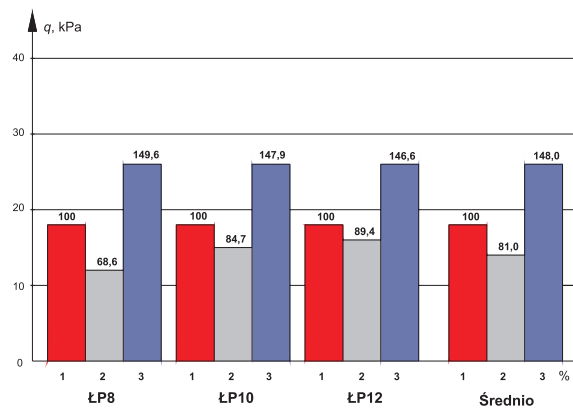
DANE			WYNIKI					
Wskaźnik zwięzłości skał	Rozmiar odrzwi	Wielkość kształtownika	Metoda 1		Metoda 2		Metoda 3	
f	ŁP	V	d , m	q , kPa	d , m	q , kPa	d , m	q , kPa
1,5	8	25	0,50	127,45	0,17	557,0	0,34	190,4
		29	0,62		0,18		0,40	
		36	0,76		0,26		0,58	
	10	25	0,38	129,08	0,11	608,0	0,25	189,6
		29	0,48		0,12		0,29	
		36	0,62		0,18		0,44	
	12	25	0,29	130,85	0,07	645,0	0,21	189,8
		29	0,40		0,08		0,25	
		36	0,53		0,12		0,36	
3,5	8	25	1,40	45,05	1,00	113,0	0,96	67,2
		29	1,74		1,00		1,14	
		36	2,16		1,00		1,50	
	10	25	1,07	45,60	0,90	126,0	0,71	67,1
		29	1,35		0,96		0,81	
		36	1,75		1,00		1,24	
	12	25	0,82	46,13	0,76	134,0	0,59	67,3
		29	1,15		0,81		0,70	
		36	1,51		1,00		1,00	
5,0	8	25	3,61	17,50	1,00	12,0	1,50	26,2
		29	4,48		1,00		1,50	
		36	5,56		1,00		1,50	
	10	25	2,76	17,71	1,00	15,0	1,50	26,2
		29	3,47		1,00		1,50	
		36	4,51		1,00		1,50	
	12	25	2,12	17,90	1,00	16,0	1,50	26,2
		29	2,95		1,00		1,50	
		36	3,88		1,00		1,50	



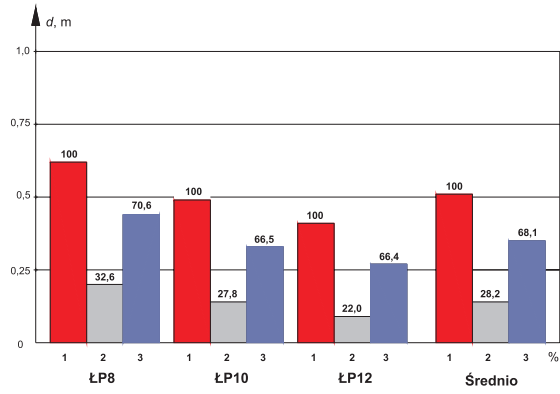
Rys. 2. Wyniki obliczeń obciążenia obudowy dla $H = 500$ m i $f = 1,5$



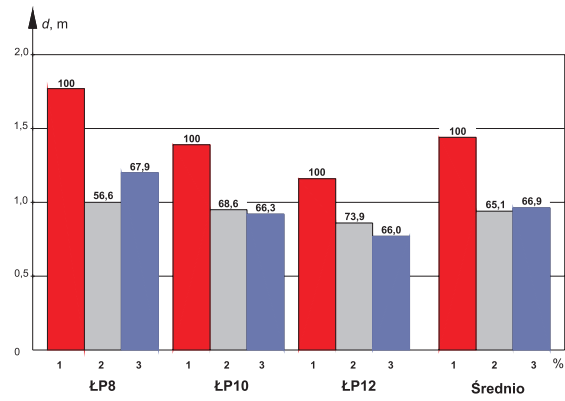
Rys. 3. Wyniki obliczeń obciążenia obudowy dla $H = 500$ m i $f = 3,5$



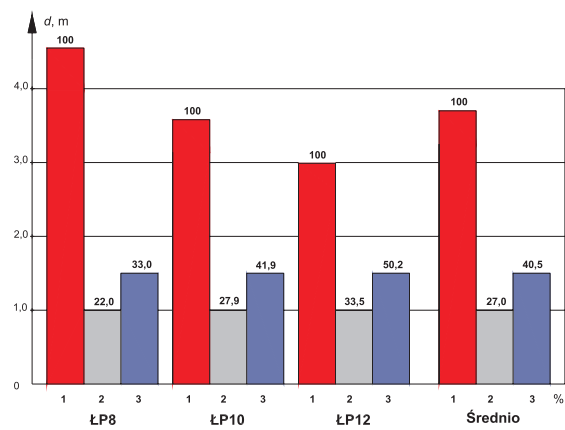
Rys. 4. Wyniki obliczeń obciążenia obudowy dla $H = 500$ m i $f = 5,0$



Rys. 5. Wyniki obliczeń rozstawu odrzwi obudowy dla $H = 500$ m i $f = 1,5$



Rys. 6. Wyniki obliczeń rozstawu odrzwi obudowy dla $H = 500$ m i $f = 3,5$



Rys. 7. Wyniki obliczeń rozstawu odrzwi obudowy dla $H = 500$ m i $f = 5,0$

Obliczona wartość obciążenia odrzwi obudowy wzrasta wraz ze wzrostem głębokości oraz ze zmniejszeniem wartości współczynnika zwięzłości skał. Największe wartości obciążenia odrzwi obudowy uzyskano, stosując metodę 2, natomiast najmniejsze — za pomocą metody 1 (rys. 2–4). Wartość obciążenia uzyskana przy pomocy metody 1 była średnio niemal trzykrotnie (czasem pięciokrotnie rys. 2) mniejsza niż wartość obciążenia uzyskana za pomocą metody 2. Tylko w jednym przypadku uzyskano zbliżone wartości obciążenia — w bardzo korzystnych warunkach geologiczno-górnicych, dla $H = 500$ m i $f = 5,0$ (rys. 4).

Tak duże różnice obliczonych wartości obciążenia odrzwi obudowy należy tłumaczyć brakiem dostatecznej wiedzy na temat zjawisk zachodzących w górotworze w sąsiedztwie projektowanego wyrobiska, a w szczególności brakiem jej doświadczalnego (pomiarów *in situ*) potwierdzenia.

Obliczona wartość rozstawu odrzwi obudowy maleje wraz ze wzrostem obciążenia odrzwi obudowy. Największe wartości rozstawu odrzwi obudowy uzyskano stosując metodę 1, natomiast najmniejsze stosując metodę 2 (rys. 5–7). W niektórych przypadkach można zauważyć, że wartość rozstawu odrzwi uzyskana za pomocą metody 1 jest niemal pięciokrotnie większa niż wartość rozstawu odrzwi uzyskana za pomocą metody 2 (rys. 7). Średnio wartość rozstawu uzyskana za pomocą metody 1 jest około dwukrotnie większa niż wartości uzyskane za pomocą pozostałych metod. Tak duże różnice powstały na skutek braku określenia w metodzie 1 maksymalnego dopuszczalnego rozstawu odrzwi obudowy (wg metody 2÷1,0 m, wg metody 3÷1,5 m); nie jest bowiem możliwe skonstruowanie poprawnie współpracującej z górotworem obudowy o rozstawie odrzwi rzędu 3, 4 czy 5 m (rys. 7). Podczas doboru obudowy wg metody 2 korzystano z wielu nomogramów, co również miało istotny wpływ na dokładność ostatecznych wyników. Nie udało się zaprojektować obudowy przy pomocy tej metody dla $H = 750$ m, $f = 1,5$ oraz dla $H = 1000$ m, $f = 1,5$. Spowodowane było to brakiem możliwości odczytu z nomogramu wartości obciążenia statycznego obudowy dla parametru charakteryzującego stan górotworu n_{sg} większego od 3,5.

3. Wnioski

W pracy przeprowadzono analizę porównawczą normatywnych metod projektowania obudowy stalowej łukowej wyrobisk korytarzowych w warunkach niewystępowania wpływów eksploatacji.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że najszersze możliwości zastosowania, z wszystkich porównanych metod, ma metoda 3. Korzystając z niej można dokonać doboru obudowy wyrobisk korytarzowych (w odmianie prostej i łukowej) połączeń wyrobisk oraz skrzyżowań ścian z chodnikami przyścianowymi. W zasadach tych uwzględniono szereg współczynników, pominiętych w pozostałych metodach doboru obudowy, mających wpływ na projektowane wyrobisko, takich jak:

- czas istnienia wyrobiska,
- stabilizacja odrzwi obudowy,
- urządzenia zainstalowane w wyrobisku.

Obliczenie rozstawu odrzwi obudowy według metody 2 i 3 odbywa się z uwzględnieniem dwóch kryteriów — nośności kształtownika oraz złąc elementów obudowy. Według kryterium nośności złąc elementów obudowy [1] zostało uwzględnione w sposób pośredni, podczas określania wartości wskaźnika nośności WN.

Zwraca uwagę brak określenia przez Autorów metody 1 [7] maksymalnego dopuszczalnego rozstawu odrzwi, co w wielu przypadkach miało istotny wpływ na wartości uzyskanych wyników obliczeń.

Różnice uzyskanych wyników obliczeń obciążenia (średnio trzykrotne) i rozstawu odrzwi obudowy (średnio dwukrotne), pomiędzy poszczególnymi metodami, należy tłumaczyć brakiem dostatecznej wiedzy na temat zjawisk zachodzących w górotworze w sąsiedztwie projektowanego wyrobiska, a w szczególności brakiem jej doświadczalnego potwierdzenia (pomiaru *in situ*).

LITERATURA

- [1] BN-82/0434-07: Wyrobiska korytarzowe i komorowe. Obudowa powłokowa. Wytyczne projektowania i obliczeń statycznych
- [2] Chudek M. i in.: Zasady doboru i projektowania obudowy wyrobisk korytarzowych i ich połączeń w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Katedra Geomechaniki, Budownictwa Podziemnego i Ochrony Powierzchni, Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska w Gliwicach, Gliwice — Kraków — Katowice, 2000
- [3] Drzęzła B. i in.: Obudowa górnicza. Zasady projektowania i doboru obudowy wyrobisk korytarzowych w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Politechnika Śląska, Instytut Eksploatacji Złóż, Gliwice, wrzesień 1999
- [4] PN-G-05020:1997: Podziemne wyrobiska korytarzowe i komorowe. Obudowa sklepiena. Zasady projektowania i obliczeń statycznych
- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 czerwca 2002 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. Nr 139 poz. 1169)
- [6] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 1 grudnia 1997 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy, prowadzenia ruchu oraz specjalistycznego zabezpieczenia przeciwpożarowego w podziemnych zakładach górniczych (Dz.U. Nr 3 poz. 6)
- [7] Rulka K. i in.: Uprozczone zasady doboru obudowy odrzwiowej wyrobisk korytarzowych w zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny. Główny Instytut Górnictwa, Zakład Technologii Eksploatacji i Obudów Górniczych, Katowice, sierpień 2001
- [8] Rulka K. i in.: Zasady projektowania, obliczania i doboru obudów dla długotrwałych wyrobisk korytarzowych i komorowych. Prace Naukowo-Badawcze OBR BG „Budokop”, Mysłowice, 1983
- [9] Spruth F.: Streckenausbau in Stahl. Ein Handbuch für die Praxis. Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1959