ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1983

Seria: GÓRNICTWO z. 128 Nr kol. 778

Piotr GŁUCH
Zenon SZCZEPANIAK

Instytut Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni
Politechniki Śląskiej

PODPORNOŚĆ 5- I 6-SEGMENTOWEJ OBUDOWY ŻELBETOWEJ W ŚWIETLE BADAŃ LABORATORYJNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych w skali 1:1 segmentowej obudowy żelbetowej przeznaczonej do stosowania w udostępniających wyrobiskach korytarzowych i specjalnych. Za pomocą badań stwierdzono, że zaprojektowana obudowa segmentowa posiada podporność większą od 1,0 MPa, przy niekorzystnym czynnym obciążeniu 1/5 części obwodu pierścienia obudowy wykazującego podatność w granicach 0,12 m.

1. Wprowadzenie

Przy budowie nowych kopalń lub nowych poziomów wydobywczych w krajowym budownictwie górniczym spotyka się złożone warunki geotechniczne utrudniające utrzymanie korytarzowych wyrobisk udostępniających i innych.

W przypadku wyrobisk o kształcie zbliżonym do kołowego można przyjąć, że w otaczających je skałach ma miejsce koncentracja naprężeń, których maksymalna wielkość równa się dwukrotnej wartości naprężeń pierwotnych p_z i na głębokości 1000 m wynosi około 50,0 MPa.

Wykonanie zatem na dużej głębokości wyrobiska w skałach o mniejszej wytrzymałości na ściskanie od powstałych wokół niego naprężeń objawia się wystąpieniem tzw. deformacyjnego ciśnienia górotworu polegającym na niszczeniu pierwotnej struktury skały wokół wyrobiska oraz na intensywnym przemieszczaniu się w jego kierunku.

Wielkość deformacyjnego ciśnienia górotworu jest dodatkowo potęgowana przy lokalizacji wyrobiska w strefach zaburzeń tektonicznych, jak: fałdy, uskoki oraz w strefach wpływu eksploatacji górniczej.

Przeciwstawienie się deformacyjnemu działaniu deformacyjnego ciśnienia górotworu wymaga zastosowania odpowiedniej konstrukcji obudowy wyrobiska charakteryzującej się następującymi cechami:

Zamkniętym kształtem najkorzystniej kołowym

Konstrukcja obudowy o kształcie kołowym pozwala w maksymalnym stopniu wykorzystać parametry wytrzymałościowe materiału obudowy oraz wytworzyć korzystny stan naprężeniowo-deformacyjny w rejonie wyrobiska. Obudowa o kształcie kołowym charakteryzuje się małym zróżnicowaniem jej elementów, symetrią ze względu na wytrzymałość pierścienia obudowy pod wpływem działającego obciążenia.

Wadą kształtu kołowego jest trudna technologia drążenia, a szczególnie wybieranie urobku poniżej poziomu podtorza wyrobiska.

Dużą podpornością przy ograniczonej podatności

Wytworzona wokół wyrobiska strefa skał odprężonych na swoim konturze (na kontakcie z skałami nieodprężonymi) znajduje się w stanie równowagi granicznej. Jeżeli naprężenia zastępcze skały na konturze są równe jej wytrzymałości lub nawet nieco mniejsze, występuje zjawisko pełzania skały i powolnego niszczenia jej struktury objawiające się powolnym zaciskaniem wyrobiska nawet po kilku jego przebudowach.

Dla warunków geologicznych charakteryzujących się występowaniem względnie jednorodnych skał o małej wytrzymałości wokół wyrobiska wytwarzanie równowagi między obudową, strefą odprężoną a strefą górotworu nieodprężonego jest praktycznie możliwe przy zastosowaniu konstrukcji obudowy o znacznej podporności zarówno na obciążenie jednostronne, jak i obciążenie wszechstronne.

Stosowane w polskim górnictwie konstrukcje odrzwiowych obudów stalowych charakteryzują się małą podpornością przy dużej podatności. Stateczność wyrobiska w stalowych obudowach odrzwiowych w trudnych warunkach geotechnicznych jest możliwa do uzyskania po kilkukrotnej pobierce spągu lub wielokrotnych przebudowach wyrobiska, gdy na konturze strefy odprężonej (we współpracy z obudową) zostanie zachowany stan równowagi. Wytworzenie stanu równowagi może mieć tutaj charakter stały, gdy strefa skał odprężonych na swoim konturze napotyka skały o dużej wytrzymałości lub charakter czasowy związany z wytrzymałością skały w czasie. Powstająca wokół wyrobiska strefa skał odprężonych może wywierać takie ciśnienie na obudowę, którego wielkość będzie przekraczać jej parametry wytrzymałościowe. Zruszony górotwór wokół wyrobiska przy występowaniu w nim wody ma dodatkowo obniżone wartości kąta tarcia wewnętrznego i kohezji, co w znacznym stopniu utrudnia zachowanie jego równowagi.

Zachowanie wymaganej długotrwałej funkcjonalności wyrobiska bez konieczności wykonywania kosztownych, pracochłonnych i często niebezpiecznych przebudów w warunkach występowania deformacyjnych ciśnień górotworu wymaga stosowania konstrukcji obudowy o dużej podporności i określonej ograniczonej podatności.

Według szeregu przeprowadzonych badań eksperymentalnych [5] podporność obudowy powinna wynosić powyżej 1,0 MPa przy podatności 10-20 cm.

Na podstawie doświadczeń praktycznych można stwierdzić, że w zależności od głębokości, rodzaju skał górotworu, wpływu zaburzeń tektonicznych na wyrobisko będzie wymagana różna podporność obudowy przy określonej jej podatności.

Posiadanie przez obudowę dużej podporności przy określonej ograniczonej podatności wpływa korzystnie na jej współpracę z górotworem przez:

- zmniejszenie zasięgu strefy skał odprężonych wokół wyrobiska,
- wytworzenie w strefie skał odprężonych trójosiowego stanu naprężenia zwiększającego jej nośność.

Posiadanie przez konstrukcję obudowy ograniczonej podatności jest korzystne ze względu na możliwość częściowego odprężenia skał górotworu wokół wyrobiska i zmniejszenia jego ciśnienia do wielkości roboczej podporności obudowy. Nadawanie obudowie małej wartości podatności końcowej przy dużej jej podporności jest również korzystna z punktu widzenia zachowania funkcjonalności wyrobiska oraz małej ilości przybieranej skały w przypadku konieczności przeprowadzenia jego przebudowy.

Szybkiego nawiązania współpracy z górotworem przez możliwość natychmiastowego przejmowania jego obciążenia

Konstrukcja obudowy ostatecznej stosowana w przypadku wykonywania wyrobiska bezpośrednio po wybraniu skały na długości danego zabioru lub z określonym opóźnieniem technologicznym dla wstępnego odprężenia skał górotworu powinna charakteryzować się możliwością przejmowania obciążenia bezpośrednio po jej wykonaniu.

Przejmowanie ciśnienia górotworu przez obudowę bezpośrednio po jej wykonaniu ogranicza odprężenie się otaczających ją skał i wpływa korzystnie na zachowanie stateczności wyrobiska.

Rozwiązanie konstrukcyjne upodatnienia obudowy, którego największa wielkość jest zgodna z kierunkiem działania na nią maksymalnego obciążenia

Zgodność kierunku największej podatności konstrukcji obudowy z kierunkiem działania na nią ciśnienia deformacyjnego pozwala skutecznie obniżyć jego wielkość i zapewnić prawidłową współpracę obudowy z górotworem.

Wymienione wyżej cztery zasadnicze wymagania stawiane konstrukcjom obudów przeznaczonych do stosowania w warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu są spełnione przez prefabrykowane obudowy o kształcie kołowym zamk-

niętym - wykonywane z betonitów klinowych oraz w większym stopniu z segmentów żelbetowych (paneli).

Praktyczne zastosowanie obudowy z segmentów żelbetowych w trudnych warunkach geotechnicznych polskiego budownictwa górniczego wymagało opracowania szeregu zagadnień, wśród których należy wymienić:

- Zaprojektowanie konstrukcji obudowy segmentowej o dużym przekroju użytecznym odpowiadającym odrzwiom obudowy ŁP 8 - ŁP 9 o podporności powyżej 1,0 MPa przy niekorzystnym jednokierunkowym obciążeniu oraz przy podatności pod jego wypadkową obciążenia 10-15 cm.
- Opracowanie produkcji prefabrykatów o wysokiej wytrzymałości betonu (klasa B400) oraz konstrukcji zbrojenia.
- Przeprowadzenie wytrzymałościowych badań laboratoryjnych pełnych pierścieni obudowy oraz jej indywidualnych elementów (segmentów) potwierdzających poprawność zaprojektowanej konstrukcji obudowy.
- Opracowanie technologii montażu obudowy segmentowej oraz drążenia wyrobiska korytarzowego przy zagwarantowanym postępie i bezpieczeństwie jego wykonywania.
- Praktyczne zastosowanie obudowy segmentowej w warunkach dołowych.

2. Konstrukcja segmentowej obudowy żelbetowej

Segmentową obudowę żelbetową dla potrzeb krajowego budownictwa górniczego zaprojektowano jako obudowę 5- i 6-segmentową o parametrach technicznych zestawionych w tablicy 1. Pierścienie obudowy są wykonane z pięciu lub sześciu segmentów żelbetowych i mogą być ułożone w dwa odmienne sposoby przedstawione na rys. 1.

Konstrukcja obudowy z górotworem jest ściśle powiązana utwardzoną podsadzką lub ohudym betonem.

Tablica 1

Dane techniczne 5- i 6-segmentowej obudowy żelbetowej

Lp.	Nazwa	Obudowa 5-segment.	Obudowa 6-segment.	Jednostka
1	2	3	4	5
1	Średnica wewnętrzna obudowy	4600	4800	mm
2	Przekrój użyteczny w świetle obudowy:			
	- przy szer. podsypki podtorze 3,7 m	12,7	15,9	m^2
	- przy szer. podsypki podtorze 3,4 m	14,8	16,4	m^2
3	Ilość segmentów w pierścieniu	5	6	sztuk

cd. tablicy 1

1	2	3	4	5
4	Wymiary segmentu żelbetowego - grubość	250	250	mm
	- szerokość	320	320	mm
	- długość maks. po cięciwie	2900	2400	mm
5	Klasa betonu	B400	B400	
6	Zbrojenie główne - stal 34GS	6xØ16	6xØ16	szt. x mm
7	Masa segmentu	600	500	kg
8	Grubość wkładki podatnej	22	25	mm
9	Zbrojenie strzemionami Ø 6 St3Sx	30	22	szt.

3. Stoisko i sposób prowadzenia badań segmentowej obudowy żelbetowej

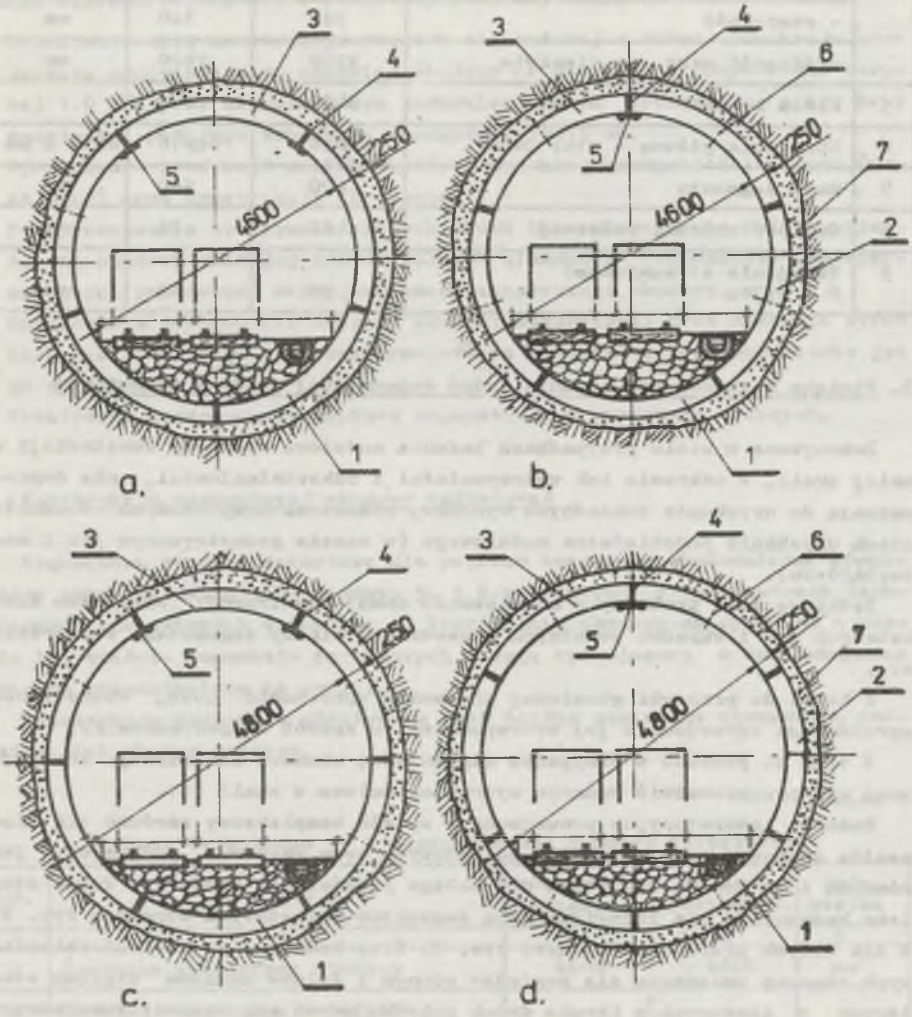
Dokonywane w wielu przypadkach badania modelowe różnych konstrukcji w małej skali, w zakresie ich wytrzymałości i odkształcalności, nie doprowadzają do uzyskania dokładnych wyników, zwłaszcza przy dużych trudnościach uzyskania podobieństwa modelowego (w sensie geometrycznym jak i materiałowym).

Istnieją duże problemy w modelowaniu samej konstrukcji elementów żelbetowych jak i wkładek podatnych stosowanych między segmentami w pierścieniu.

Z kolei do praktyki górniczej nie można wprowadzić nowej obudowy bez uprzedniego sprawdzenia jej wytrzymałości w sposób eksperymentalny.

Z tych to powodów w przypadku segmentowej obudowy żelbetowej zdecydowano się przeprowadzić badania wytrzymałościowe w skali 1:1.

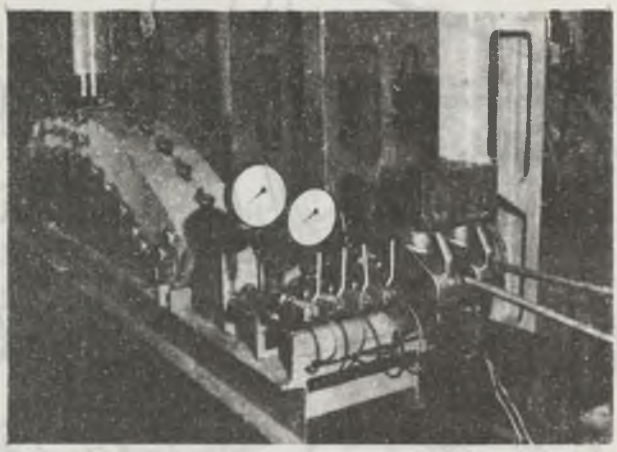
Badania laboratoryjne prowadzono w sposób kompleksowy zarówno dla elementów obudowy, tzn. segmentów żelbetowych oraz wkładek podatnych, jak również i to przede wszystkim dla całego pierścienia obudowy. Widok stoiska badawczego dla indywidualnych segmentów żelbetowych obrazuje rys. 2, a dla całych pierścieni obudowy rys. 3. Przy badaniu pierścieni żelbetowych obudowę umieszcza się pomiędzy górnym i dolnym układem cięgien stalowych 1 ułożonych w formie dwóch pokrywających się szesnastoramiennych gwiazd. Sąsiednie cięgna tworzą między sobą kąt $20^{\circ}30'$ (rys. 4). W środkowej części stoiska cięgna przymocowane są w sposób rozłączony do tarcz stalowych 3,, zaś drugi koniec spoczywa na słupkach oporowych 2. Między górnymi i dolnymi cięgnami znajdują się siłowniki hydrauliczne 4 wywierające nacisk na obudowę. Siłowniki te z jednej strony oparte są o słupki oporowe 2, a z drugiej strony podparte są przez blachy podporowe 9.



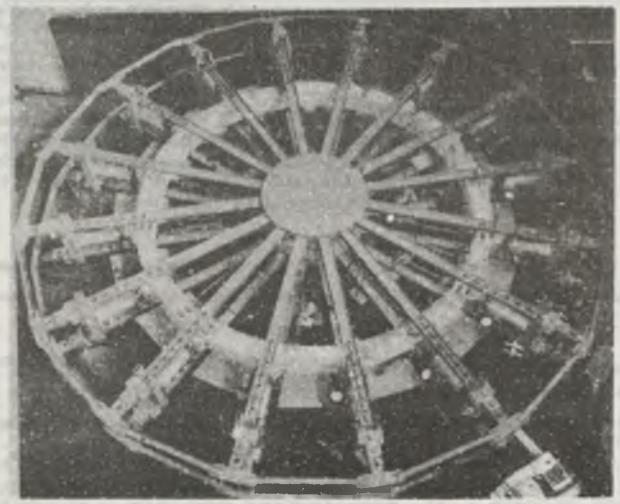
Rys. 1. Konstrukcja 5- i 6-segmentowej obudowy żelbetowej

a - pierścień obudowy z dwoma segmentami spągowymi i jednym stropowym, b - pierścień obudowy z jednym segmentem spągowym a dwoma segmentami stropowymi, c - pierścień z dwoma segmentami spągowymi i stropowymi, d - pierścień z jednym segmentem spągowym i stropowym

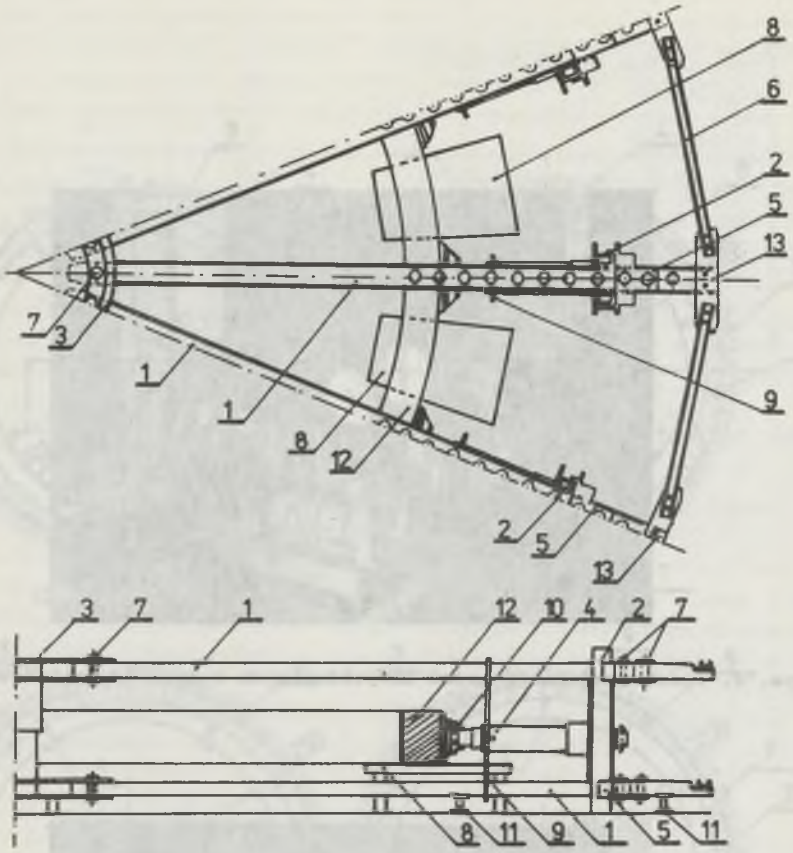
1 - segment spągowy, 2 - segment ociosowy, 3 - segment stropowy, 4 - składki podatne, 5 - złącza śrubowe, 6 - otwory montażowe, 7 - podsadzka utwardzona lub chudy beton



Rys. 2. Widok stoiska do badań indywidualnych segmentów żelbetowych



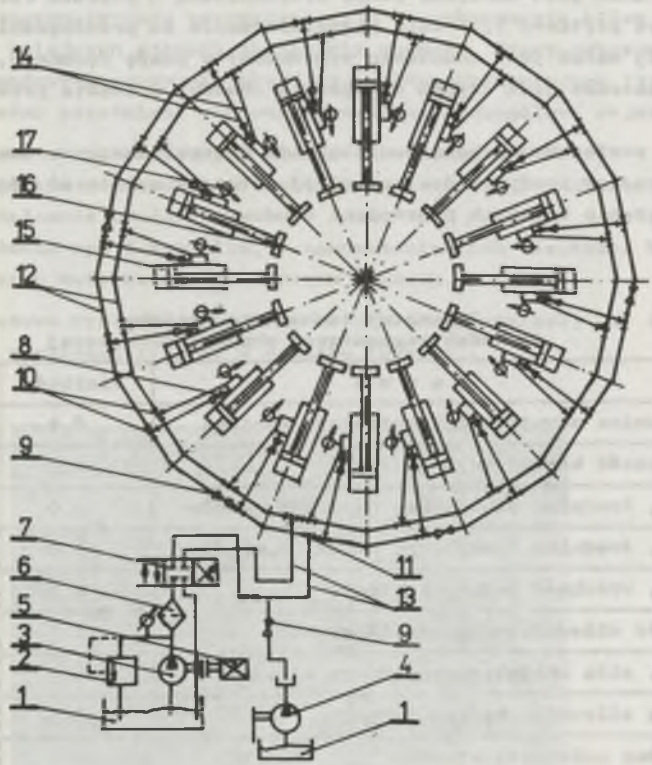
Rys. 3. Widok stoiska do badań segmentowej obudowy żelbetowej



Rys. 4. Fragment konstrukcji stoiska badawczego segmentowej obudowy żelbetowej

1 - cięgna stalowe, 2 - słupki oporowe, 3 - blachy węzłowe, 4 - siłowniki hydrauliczne, 5 - jarzma oporowe, 6 - stężenia obwodowe, 7 - sworznie stalowe, 8 - podstawy stalowe, 9 - blachy podporowe siłowników, 10 - płyty dociskowe, 11 - śruby regulacyjne, 12 - badana obudowa, 13 - blachy łączące stężenia obwodowe

Słupki oporowe współpracują z cięgnami stalowymi poprzez jarzma oporowe 5. Jarzma przenoszą obciążenie na cięgna za pomocą sworzni stalowych 7. Otwory w cięgnach stalowych 1 umożliwiają dokonywanie zmian położenia jarzma, a tym samym słupków oporowych i siłowników. Możliwość takich zmian pozwala na badanie zamkniętych obudów górniczych o różnym kształcie. Zewnętrzne usztywnienie konstrukcji stoiska badawczego stanowią stężenia obwodowe 6, które powiązane są blachami łączącymi 13 jednym końcem za pomocą spawu, drugim zaś rozłącznie za pomocą śrub. Blachy łączące stężenia obwodowe przymocowane są trzema śrubami do końców cięgien stalowych 1. Do poziomowania konstrukcji służą śruby regulacyjne - 11, które znajdują się



Rys. 5. Układ hydrauliczny stoiska do badań segmentowej obudowy żelbetowej

1 - zbiornik oleju, 2 - zawór przelewowy, 3 - pompa hydrauliczna, 4 - pompa ręczna, 5 - silnik elektryczny, 6 - filtr oleju, 7 - rozdzielacz płytowy, 8 - zawór NW-10, 9 - zawór NW-25, 10 - trójnik ø 25/10/25, 11 - trójnik ø 25/25/25, 12 - przewód ø 25/1700, 13 - przewód ø 25/2200, 14 - przewód ø 10/600, 15 - siłownik hydrauliczny, 16 - głowica dociskowa, 17 - manometr GTL (400 atn)

pod każdym cięgnem dolnym. Przedstawiona konstrukcja stoiska jest całkowicie rozbieralna, przy czym czynności związane z jej montażem lub demontażem są bardzo proste.

Układ hydrauliczny stoiska przedstawiony na rysunku 5 składa się z 16 siłowników usytuowanych radialnie w konstrukcji ramy. Mają one możliwość oddziaływania na badaną obudowę w sposób czynny i bierny.

Siłowniki hydrauliczne (dwustronnego działania) wyposażone są w kulowe zawory odcinające 8 i manometry 17 do pomiaru wielkości ciśnienia w cylindrze. Układ jest zasilany pompą hydrauliczną 3 poprzez filtr oleju 6 i rozdzielacz płytkowy 7. W celu niedopuszczenia do przeciążenia pompy hydraulicznej układ jest dodatkowo wyposażony w pompę ręczną 4, za pomocą której wywierane jest czynne obciążenie obudowy w czasie prowadzenia badań.

Dzięki zastosowaniu połączenia układu hydraulicznego w dwa pierścienie (doprowadzający i odprowadzający olej) istnieje możliwość dowolnego sposobu obciążenia badanych pierścieni obudowy.

Tablica 2

Parametry techniczne stoiska
do badań segmentowej obudowy żelbetowej

Lp.	N a z w a	Wielkość	Jednostka
1	Średnica zewnętrzna konstrukcji stoiska	8,2	m
2	Wysokość konstrukcji stoiska	0,9	m
3	Max. średnica zewnętrzna badanych obudów	6,0	m
4	Min. średnica zewnętrzna badanych obudów	2,0	m
5	Max. wysokość badanych obudów	0,5	m
6	Ilość siłowników hydraulicznych	16	szt.
7	Max. siła obciążająca jednego siłownika	700	kN
8	Skok siłownika hydraulicznego	30,0	cm
9	Ciężar całkowity stoiska	60	kN

W czasie badań segmentowej obudowy żelbetowej prowadzono szczegółowe pomiary odkształceń obwodowych i przemieszczeń radialnych stosując następujące urządzenia pomiarowe:

1. Mechaniczne czujniki zegarowe o dokładności 0,01 mm i zakresie pomiarowym 10 mm ze specjalnie wykonanymi elementami mocującymi je do segmentu - pomiar odkształceń obwodowych.

2. Mechaniczne czujniki zegarowe o dokładności 0,01 mm i zakresie pomiarowym 10 mm ze specjalnie wykonanymi elementami mocującymi je na statywach - pomiar przemieszczeń radialnych.

3. Czujniki elektryczne oporowe o zakresie ± 20 mm z dokładnością 0,01 mm ze specjalnie wykonanymi elementami mocującymi - pomiar odkształceń obwodowych.

4. Pomiary fotogrametryczne przy użyciu komory typu UMK-10 1318 prod. NRD.

5. Czujniki tensometryczne do pomiaru odkształceń obwodowych.

Czujniki tensometryczne były podłączone do mostków tensometrycznych TSA-63 prod. CSRS.

Pomiary fotogrametryczne sprowadzały się do wykonywania klisz fotograficznych przy kolejnych stanach obciążenia obudowy. Stany odkształceń radialnych i obwodowych odczytano przy użyciu Stereokomparatora 1318.

W czasie badań pierścieni obudowy prowadzono szczegółową rejestrację:

- wskazań manometrów obrazujących wielkość obciążenia obudowy,
- wskazań czujników zegarowych i elektrycznych obrazujących przemieszczenia i odkształcenia obudowy,
- miejsc powstania rys i szczelin, z zaznaczeniem ich wielkości kształtujących się przy zwiększonym obciążeniu obudowy.

Segmenty żelbetowe wyprodukowano przy użyciu formy stalowej w zakładzie prefabrykacji górniczej PREFBET w Rybniku (rys. 6).

Rys. 6. Produkcja segmentów żelbetowych w zakładzie prefabrykacji w pojedynczej formie stalowej z zastosowaniem wibratorów EW_c - 1,2 a

Do produkcji segmentów stosowano beton charakteryzujący się następującym doborem wagowym składników w odniesieniu do 1 m^3 mieszanki betonowej

$$C : P : K : W = 450 : 780 : 1170 : 160,$$

gdzie:

C - cement portlandzki marki 450,

P - piasek kwarcowy 0-3 mm,

K - kruszywo 200 kG o granulacji 2-10 mm 970 kG o granulacji 10-20 mm,

W - woda.

Zaprojektowany beton jak wykazały badania próbek sześciennych □ 200 mm osiągnął średnią wytrzymałość sprowadzoną do próbek □ 150 mm wg PN-75/B-06250

$$\bar{R} = 46,2 \text{ MPa}$$

co pozwala stwierdzić, że dla $\vartheta_R = 0,09$ mamy do czynienia z betonem klasy B400.

Wykorzystując próbki z betonu wykonano badania ultradźwiękowe i sklerometryczne, uzyskując następujące zależności:

$$R = 44,4\ V^2 - 378\ V + 843,6 \text{ MPa} \qquad (1)$$

przy

$$\eta_V = 0,795 \quad \text{oraz} \quad \lambda_V = 5,1\%,$$

gdzie:

R - wytrzymałość betonu na ściskanie uzyskaną metodą ultradźwiękową w MPa,

V - prędkość przejścia fali ultradźwiękowej w km/s,

η_V - paraboliczny współczynnik korelacji między V i R_V,

λ_V - średnie odchylenie kwadratowe - v.

$$R_L = 0,026\ L^2 - 0,921\ L + 37,6 \text{ MPa} \qquad (2)$$

przy

$$\eta_L = 0,846 \quad \text{oraz} \quad \lambda_L = 4,7\%,$$

gdzie:

R_L - wytrzymałość betonu na ściskanie uzyskana metodą sklerometryczną MPa,

L - liczba odbicia,

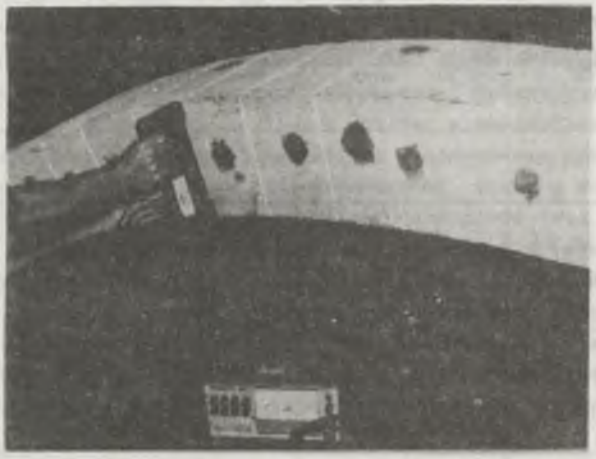
η_L - paraboliczny współczynnik korelacji i między L i R_L,

λ_L - średnie odchylenie kwadratowe - L.

Badania prowadzono przy wykorzystaniu betonoskopu typu BI-12R młotka Schmidta typu N i norm PN-74/B-06261 - Metoda ultradźwiękowa badania betonu na ściskanie i PN-74/B-06262 - "Metoda sklerometryczna badania wytrzymałości betonu na ściskanie".

Każdorazowo przed badaniem pierścienia obudowy określono wytrzymałość betonu metodą ultradźwiękową oraz sklerometryczną wykorzystując podane wcześniej zależności.

W celu uniknięcia zakłóceń przejścia fali ultradźwiękowej przez zbrojenie badanego segmentu wyznaczono położenie zbrojenia przy wykorzystaniu ferometru typu 2E1 (rys. 7).



Rys. 7. Wyznaczanie położenia zbrojenia w segmencie żelbetowym ferometronu 2E1

Drogą badań laboratoryjnych stwierdzono, że beton w wyprodukowanych segmentach żelbetowych posiadał średnią wytrzymałość na ściskanie R zawartą w przedziale 42,4 MPa $\leq \bar{R} \leq$ 43,3 MPa.

Przebadane próbki prętów (stosowane do zbrojenia segmentów) wykazały, że uzyskane wyniki wytrzymałości na rozciąganie mieszczą się w granicach wytrzymałości normowej.

4. Badania segmentowej obudowy żelbetowej

Przeprowadzone badania wytrzymałościowe pierścieni 5- i 6-segmentowej obudowy żelbetowej miały głównie na celu określenie ich parametrów wytrzymałościowych przy różnych niekorzystnych sposobach obciążenia obwodowy, z jakimi należy się liczyć w warunkach dołowych.

Badania pozwoliły uzyskać odpowiedź na następujące pytania stanowiące podstawę stosowania obudowy segmentowej w górnictwie.

1. Jaka jest graniczna podporność i podatność pierścienia obudowy przy różnym zakresie obciążenia i dokładnym powiązaniu obudowy z obrysem wyłomu wyrobiska?

2. Jaki jest wpływ podatności wkładek między segmentami na wytrzymałość pierścienia obudowy?

3. Jaka jest charakterystyka pracy obudowy w zakresie podatności i podporności w różnych fazach jej obciążenia aż do uzyskania podporności granicznej?

4. W jaki sposób należy uzyskać najkorzystniejszą współpracę obudowy z górotworem w celu zapewnienia jej maksymalnej podporności?

5. Jak współpracuje konstrukcja zaprojektowanego zbrojenia segmentów z betonem przy granicznym obciążeniu obudowy?

Ad. 1. Uzyskane drogą badań laboratoryjnych w skali naturalnej 1:1 wielkości podporności i podatności badanej 5- i 6-segmentowej obudowy żelbetowej przedstawiono w tablicy 3.

W przypadku stosowania w pierścieniu obudowy pojedynczej ilości wkładek podatnych z płyty paździerzowej, najmniejszą podporność graniczną stwierdzono przy obciążeniu trzema siłami skupionymi (tj. o zasięgu 67,5° obwodu obudowy) z wypadkową działającą w środku segmentu.

Podporność graniczna dla tak obciążonego pierścienia wynosi 1,4 MPa (140 T/m^2) przy podatności wynoszącej ~ 0,1 m.

Realizując analogiczny sposób obciążenia pierścienia z wypadkową usytuowaną na połączeniu dwóch segmentów (bad. 4 tabl. 3), podporność graniczna wynosi 1,8 MPa (180 T/m^2) przy podatności wynoszącej ~ 0,105 m (10,5 cm).

Dalsze zwiększenie zasięgu obciążenia obwodu pierścienia (działania siłowników akcyjnych) pozwoliło określić podporność pierścienia, które przy wypadkowej działającej w środku segmentu (bad. 7 tabl. 3) wynosiła 2,18 MPa (218 T/m^2) przy średniej podatności ~ 0,07 m (7 cm), a przy wypadkowej działającej na połączeniu segmentów nie nastąpiło zniszczenie pierścienia przy jego obciążeniu 2,18 MPa i nie stwierdzono występowania rys i spękań w obudowie.

Przeprowadzone kolejne badania (bad. 9-15 tabl. 3) wykazały, że zwiększenie zakresu obciążenia obwodu pierścienia obudowy wpływa w sposób korzystny na jego wytrzymałość.

Wielkość podporności granicznej pierścienia segmentowej obudowy żelbetowej przy jego wszechstronnym radialnym obciążeniu można określić z zależności (3).

$$p = \frac{\varphi(R_b b \cdot d + R_{ac} F_{ac} + R_w \cdot \sigma_w \cdot b)}{r \cdot b} \tag{3}$$

Podatność obudowy można obliczyć ze wzoru (4)

$$U_r = \frac{n \cdot \alpha \cdot \sigma_w}{2\pi} (R_b db + R_{ac} F_{ac}), \tag{4}$$

Tablica 3

Zestawienie badań 5- i 6-segmentowej obudowy żelbetowej

Lp.	Sposób obciążenia obudowy	Obciążenie obudowy				Podatność obudowy przy obciążeniu		Grubość wkładek podatn.
		rysujące		niszczące		rys.	niszcz.	
		MN	MPa	MN	MPa	mm	mm	mm
1 2 3		0,3 0,3 0,3	0,312 0,312 0,312	1,37 1,00 0,93	1,420 1,020 0,938	23,25 18,00 15,00	108,00 85,00 100,00	22 44 88
4		0,6	0,625	1,74	1,81	31,50	105,20	22
5		0,6	0,625	1,50	1,56	25,07	84,06	22
6		2x0,6	2x0,625	2x1,68	2x1,75	2x39,0	2x86,00	22
7		1,35	0,84	3,50	2,18	25,05	71,05	22
8		Maksymalne obciążenie badanych pierścieni (podyktowane wytrzymałością stoiska badawczego) bez rysowania i niszczenia segmentów		>3,50	>2,18	-	60,00	22
9				>4,90	>2,18	-	50,00	22
10				>4,90	>2,18	-	68,00	22
11				>6,30	>2,18	-	35,00	22
12				>6,30	>2,18	-	50,00	22
13 14 15				>11,2 >11,2 >11,2	>2,18 >2,18 >2,18	- - -	24,50 31,00 50,00	22 44 154
16		0,3	0,312	1,26	1,364	12,00	90,00	22
17		0,64	0,70	1,80	1,876	24,00	100,00	22

gdzie:

R_b - wytrzymałość betonu obudowy,
b - szerokość pierścienia obudowy,
d - grubość obudowy,
R_{ac} - wytrzymałość stali zbrojeniowej,
F_{ac} - pole przekroju stali zbrojeniowej,
r - promień obudowy,
n - ilość wkładek podatnych w pierścieniu obudowy,
g_w - grubość wkładki podatnej,
R_w - wytrzymałość materiału wykładki za obudową,
φ - współczynnik wyboczeniowy,
α - odkształcenie jednostkowe wkładki podatnej w m/N.

Wykonane badania obciążenia obudowy trzema siłownikami z wypadkową działającą przy końcówce segmentu (bad. 5 tabl. 3) wykazały podporność graniczną 1,56 MPa (156 T/m^2) przy podatności 0,084 (84 cm).

Obciążenie obudowy ze strony ociosowej (bad. 5 tablica 3) wykazało jej podporność 2 x 1,57 MPa (2 x 175 T/m^2 przy podatności 2 x 0,086 m), (2 x x 8,6 cm).

Przeprowadzone badania obudowy 6-segmentowej o parametrach zestawionych w tablicy 2 wykazały podporność obudowy przy obciążeniu trzema siłami z wypadkową w środku segmentu 1,36 MPa (136 T/m^2) przy podatności 90,0 mm (9,0) (bad. 16 tabl. 3) oraz 1,87 MPa (187 T/m^2) przy wypadkowej działającej na połączeniu segmentów. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że najmniejsza podporność pierścienia obudowy występuje przy obciążeniu go trzema siłami z wypadkową działającą w środku segmentu. Przyczyną zmniejszonej wytrzymałości pierścienia w stosunku do obciążenia przeciwnego (tj. wypadkowej na połączeniu segmentów) jest odkształcalność wkładek podatnych na końcówkach segmentu obciążonego w sposób czynny. Odkształcenia wkładek zmniejszają rozpór segmentu i umożliwiają powstanie silnej strefy jego zarysowań od strony wewnętrznej pierścienia. Obciążenie działające z wypadkową na połączeniu dwóch segmentów tworzy znacznie korzystniejszy układ statyczny, szczególnie dzięki możliwości rozparcia zginanych segmentów o siłowniki pracujące jako reakcje po wystąpieniu w nich strefy zarysowań po zewnętrznej stronie badanego pierścienia.

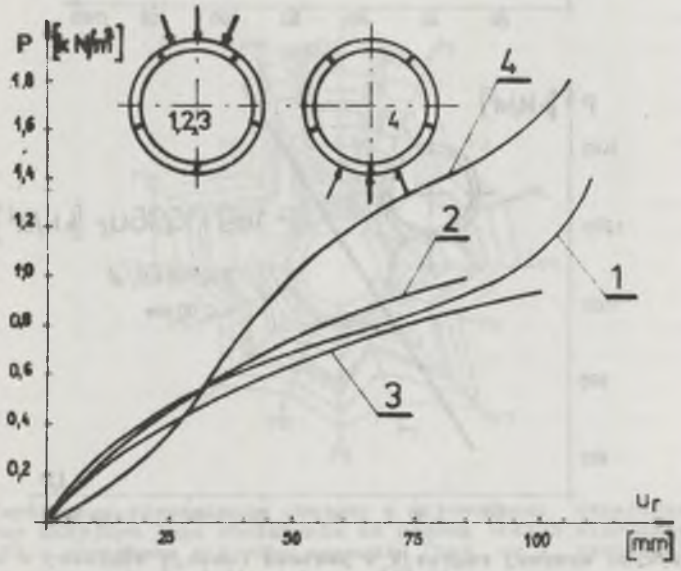
Ad. 2. Wpływ podatności wkładek łączących poszczególne segmentu w pierścieniu obudowy określono w badaniu 2, 3, 13, 14, 15 (tablica 3). Badania pozwoliły stwierdzić, że zwiększenie ilości wkładek w pierścieniu przy niekorzystnym jego obciążeniu trzema siłami skupionymi z wypadkową w środku segmentu zmniejszają podporność obudowy.

Przy zastosowaniu podwójnej ilości wkładek podatnych podporność graniczna wynosiła 1,02 MPa (102 T/m^2) przy podatności ~ 0,085 m (8,5 cm), a przy poczwórnej ilości wkładek w pierścieniu podporność graniczna wynosiła 0,9 MPa (90 T/m^2) przy podatności ~ 0,1 m (10 cm).

Końcowa podatność badanych pierścieni nie jest większa od podatności pierścieni z pojedynczą ilością wkładek podatnych, co wynika ze wcześniejszej utraty podporności pierścienia ze względu na swobodniejszą możliwość jego odkształcania się.

Badania obudowy segmentowej przy wszechstronnym obciążeniu radialnym z różną grubością wkładek wykazały, że nie wpływają one na podporność pierścienia a jedynie na jego podatność.

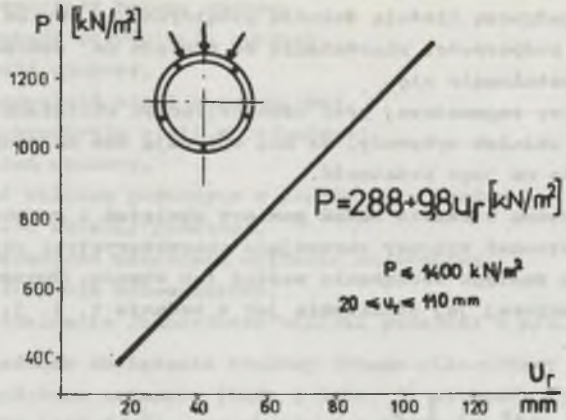
Ad. 3. Wykonywane w czasie badań pomiary obciążeń i przemieszczeń obudowy pozwoliły wykonać wykresy obrazujące charakterystykę pierścieni obudowy przy różnym zasięgu obciążenia wzdłuż ich obwodu. Charakterystyki pracy obudowy segmentowej jej obciążenia jak w badaniu 1, 2, 3, 4 przedstawiono na rys. 8.

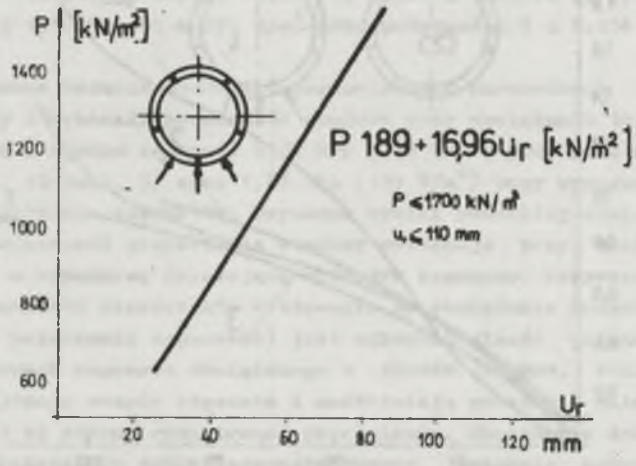


Rys. 8. Charakterystyka pracy pierścieni obudowy ustalonej za pomocą badań nr 1, 2, 3, 4 - tablica 3

Celem uzyskania funkcji matematycznej opisującej zależność podporności obudowy od jej podatności wykorzystano równania regresji matematycznej.

Uzyskane funkcje liniowe dla dwóch przypadków obciążenia przedstawiono na rys. 9.





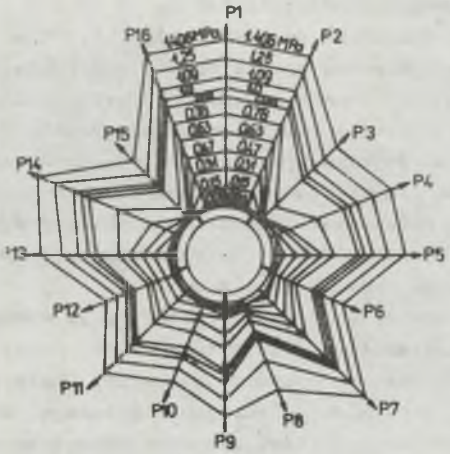
Rys. 9. Wykres krzywej regresji w postaci funkcji liniowej w układzie podporność (P) - podatność (u_r) dla

a - obciążenie jak w bad. 1, tabl. 3, b - obciążenia jak w bad. 4, tabl. 3

Ad. 4. Prowadzone w czasie badań pomiary czynnego i biernego oddziaływania siłowników hydraulicznych na obudowę potwierdziły pogląd o korzyściach wynikających z dokładnego powiązania konstrukcji obudowy z obrysem wyłomu wyrobiska. Dokładne powiązanie obudowy z górotworem pozwala uzyskać natychmiastowy odpór górotworu w miejscach zmniejszego jego ciśnienia, co czyni ją bardziej stateczną.

Uzyskane wykresy obrazujące oddziaływanie siłowników hydraulicznych, wykazały, że w fazie przed zniszczeniem pierścienia obudowy siły w siłownikach pracujących biernie bezpośrednio przy obciążeniu czynnym obudowy ulegają znacznemu wzrostowi i prawidłowe rozparcie obudowy ma tutaj duże znaczenie

dla jej podporności. Zasługą przeprowadzonych badań jest wykazanie wielkości oddziaływania biernego siłowników na obudowę, którą wielkość w warunkach dołowych powinno przyjąć otaczające ją: podsadzka i skały. Każde miejsce niedokładnie powiązanej obudowy z obrysem wyłomu wyrobiska ogranicza w znacznym stopniu jej podporność. Podsadzka wypełniająca przestrzeń między obudową a górotworem powinna charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością na ściskanie w granicach wywieranego na nią ciśnienia około 1,0-2,0 MPa. Przy obciążeniu obudowy przekraczającym wytrzymałość podsadzki powinno nastąpić jej upodatnienie w celu obniżenia wielkości obciążenia deformacyjnego górotworu. Przykładowe kształtowanie się odporu reakcyjnego obudowy (obrazujące pracę podsadzki) przy obciążeniu siłownikami P16, P1, P2 przedstawiono na rys. 10.



Rys. 10. Współpraca pierścienia obudowy z siłownikami działającymi jako reakcje przy akcyjnym jego obciążeniu za pomocą trzech siłowników P16, P1, P2 z wypadkową w środku segmentu (bad. nr 1, tablica 3)

Ad. 5. Istotnymi elementami decydującymi o wytrzymałości segmentu żelbetowego (pierścienia) obudowy na zginanie są:

- gabaryty segmentu, jak: rozpiętość, grubość, szerokość,
- krzywizna segmentu,
- dokładność rozparcia segmentu na końcówkach (podatność wkładek w pierścieniu),
- budowa segmentu pod względem materiałowym:

a) klasa betonu,
b) układ materiału i wielkość przekroju głównych prętów zbrojeniowych,
c) zagęszczenie strzemion, rodzaj ich materiału, wielkość przekroju poprzecznego i sposób powiązania z prętami zbrojenia głównego.

Jak wykazały badania zaprojektowany do wykonawstwa segmentów beton o klasie B400 zapewnił w pełni wysoką podporność pierścienia. Należy stwierdzić, że zwiększenie wytrzymałości betonu wpłynie korzystnie na podporność obudowy i umożliwi zmniejszenie ciężaru segmentów przez zmniejszenie ich grubości.

Badania w pełni potwierdziły zaprojektowany układ, rodzaj i wielkość przekroju głównych prętów zbrojeniowych. Odnośnie do strzemion zbrojenia stwierdzono przy obciążeniu granicznym ich rozrywanie. Zwiększenie wytrzymałości konstrukcji zbrojenia przez zagęszczenie strzemion na całej długości segmentu i zwiększenie ich przekroju poprzecznego pozwoli uzyskać w efekcie większą podporność pierścienia obudowy.

Przy badaniu pierścieni obudowy (bad. 1, tablica 3) pierwsze rysy wystąpiły przy obciążeniu 0,313 MPa w środkowej części segmentu obciążonego czynnie trzema siłownikami P16, P1-P2.

Przy obciążeniu zbliżonym do granicznego (1,3 MPa) występowały każdorazowo rysy ukośne i szeroka strefa spękań w betonie z równoczesnym jego miażdżeniem w ściskanej strefie segmentu powyżej występujących w nim rys i szczelin. Utrata nośności pierścienia następowała zawsze po rozerwaniu strzemion na odcinku objętym przez strefę spękań w segmencie, przy równoczesnym zmiażdżeniu nad nią betonem i dużym wyboczeniu się głównych prętów zbrojeniowych. Zniszczenie pierścienia obudowy w badaniu 1 tabl. 3 obrazuje rys. 11. Powyższy sposób zniszczenia był charakterystyczny dla wszystkich przypadków prowadzonych badań.

W czasie badań stwierdzono niekorzystny wpływ spawania strzemion do prętów głównych zbrojenia na jego wytrzymałość. Pręty bardzo często ulegały rozrywaniu w miejscach wykonanych spawów. Skutecznym uniknięciem tej wady jest łączenie strzemion do zbrojenia głównego drutem wiązadełkowym. W żadnym z przeprowadzonych badań nie stwierdzono zarysowań i spękań na końcówkach segmentów w miejscach ich połączenia ze sobą poprzez wkładki podatne, co świadczy o ich prawidłowym zaprojektowaniu pod względem wytrzymałościowym.

5. Zakończenie

Zaprojektowana w Instytucie Projektowania, Budowy Kopalń i Ochrony Powierzchni 5-segmentowa obudowa żelbetowa charakteryzuje się szeregiem zalet predysponujących ją do stosowania w warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu.

Podstawowymi zaletami 5-segmentowej obudowy żelbetowej są:

- Wysoka podporność pierścieni obudowy powyżej 1,0 MPa przy określonej ograniczonej podatności w granicach 10 do 15 cm.
- Owalny (kołowy) kształt obudowy szczególnie korzystny w warunkach występowania ciśnień wszechstronnych, z którymi należy się liczyć w warunkach dużych głębokości.

Rys. 11. Zniszczenie pierścienia obudowy segmentowej przy obciążeniu trzema siłami z wypadkową w środku segmentu (bad. 1, tablica 3)

- Duży przekrój poprzeczny wyrobiska ok. 14,8 m^2 odpowiadający odrzwiom ŁP-9, który to numer odrzwi jest powszechnie stosowany w udostępniających wyrobiskach na dużych głębokościach.
- Natychmiastowa możliwość przejmowania przez obudowę obciążenia od strony otaczających ją skał, co ma duże znaczenie w przypadku jego występowania w krótkim okresie czasu po odsłonięciu obrysu wyrobiska.
  Zjawisko takie jest charakterystyczne dla warunków dużych głębokości i słabych skał.
- Dokładne powiązanie obrysu wyłomu wyrobiska z obudową dzięki zastosowaniu utwardzonej podsadzki charakteryzującej się określoną ekspansją i podatnością w granicach 20%, ujawniającą się przy obciążeniu obudowy zbliżonym do dopuszczalnego. Ekspansja podsadzki pozwala nawiązać natychmiastową współpracę obudowy z górotworem.
- Możliwość łatwego przemiennego układania segmentów w sąsiadujących ze sobą pierścieniach, co wpływa na zwiększenie podporności całej konstrukcji obudowy wzdłuż osi wyrobiska do średniej wartości granicznej 1,63 MPa przy niekorzystnym jednokierunkowym jej obciążeniu.
- Konstrukcja segmentów żelbetowych pozwalająca na zastosowanie nowych technologii i pełnej mechanizacji robót przy praktycznym wykonawstwie segmentowej obudowy żelbetowej w warunkach dołowych.

Segmentowa obudowa żelbetowa wymaga obok dokładnego opracowania jej konstrukcji i technologii wyznaczenia charakterystyki jej pracy w układzie podporność - podatność, co ma duże znaczenie dla określania zakresu jej praktycznego zastosowania w krajowym budownictwie górniczym.

Przeprowadzenie badań laboratoryjnych segmentowej obudowy żelbetowej w naturalnej skali 1:1 na specjalnie skonstruowanym do tego celu stoisku pozwoliło dokładnie określić wpływ szeregu czynników na podporność i pracę segmentowej obudowy żelbetowej.

Wykonane badania umożliwiły opracowanie następujących wniosków:

- Przy niekorzystnym czynnym obciążeniu pierścienia obudowy na 1/5 części jego obwodu jej podporność wynosi powyżej 1,0 MPa przy podatności w granicach 8 do 12 cm.
- Przy obciążeniu obudowy wzdłuż łuku o długości większej od 1/4 obwodu pierścienia podporność wynosi 2,0 MPa, a podatność od 4-8 cm.
- Zniszczenie przekroju segmentu następuje wskutek rozerwania strzemion i ścięcia ściskanej strefy betonu.
  Zwiększenie wytrzymałości segmentu przy ustalonych jego gabarytach i klasie betonu jest możliwe przez zmniejszenie odległości między strzemionami z równoczesnym zwiększeniem ich przekroju.
- Uzyskane drogą badań laboratoryjnych wielkości odkształceń wkładek podatnych i betonu pozwalają określić stan naprężenia w badanych pierścieniach obudowy przy różnych sposobach ich obciążenia.

- Analiza wykresów obciążenia czynnego i biernego pozwala określić wielkość obciążenia biernego, a tym samym sposób współpracy obudowy z górotworem, jaki zastępują siłowniki pracujące na zasadzie reakcji. Rozkład obciążenia biernego umożliwia ponadto przyjęcie prawidłowego kształtu oporu sprężystego górotworu i opracowanie sposobu obliczania obudowy pod względem wytrzymałościowym.

6. Literatura

[1] Chudek M., Rułka K.: Prefabrykowana żelbetowa obudowa pierścieniowa dla wyrobisk korytarzowych drążonych w trudnych warunkach geologicznych. Archiwum Górnictwa t. XIX z. 2, 1974.

[2] Szczepaniak Z., Głuch P.: Segmentowa obudowa żelbetowa dla udostępniających wyrobisk korytarzowych o dużym przekroju użytecznym stosowanym w warunkach deformacyjnych ciśnień górotworu. W monografii pt.: "Metody i środki eksploatacji na dużych głębokościach". Wybrane zagadnienia. Politechnika Śląska. Gliwice 1982.

[3] Szczepaniak Z., Głuch P.: Przebudowa przekopu polowego I wschodniego na poz. 713 m w KWK "Borynia". Budownictwo Węglowe, Projekty-Problemy nr 4-5, 1982.

[4] Szczepaniak Z.: Podporność segmentowej obudowy żelbetowej oraz jej wpływ na stateczność wyrobisk udostępniających na dużych głębokościach. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej nr 121 s. Górnictwo, 1980.

[5] Zasławski J.Z., Zorin A.N., Czerniak I.Ł.: Rasczot paramietrow krepi wyrabotok głubokich szacht. Technika, Kijew 1972.

Recenzent: Dr hab. inż. Józef MAŁOSZEWSKI

Wpłynęło do Redakcji w maju 1983 r.

ПОДПОРНОСТЬ 5-ТИ И 6-ТИ СЕГМЕНТНОГО ЧУГУННОГО КРЕПЛЕНИЯ НА ОСНОВАНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Р е з ю м е

В работе представлены результаты лабораторных исследований с масштабом 1:1 сегментного чугунного крепления предназначенного для применения в предоставляемых коридорных и специальных выработках. При помощи исследований показано, что спроектированное сегментное крепление имеет подпорность больше, чем 1,0 МРа, при наличии действующей неблагоприятной нагрузки на 1/5 часть периметра кольца крепления, имеющего податливость в пределах 0,12 м.

THE SUPPORTING PROPERTIES OF 5- AND 6-SEGMENTAL FERRO-CONCRETE LININGS IN THE LIGHT OF LABORATORY INVESTIGATIONS

S u m m a r y

The paper deals with the results of laboratory tests of a 1:1 scale segmental ferro-concrete lining to be applied in opening dog-headings and special excavations. It has been found that the supporting strength of the designed segmental lining exceeds 1.0 MPa, even if the active load of 1/5 of the ring perimeter of the lining is unfavourable, the lining displaying a flexibility of about 0.12 m.